



CIEM



DOE



UNITED NATIONS
UNIVERSITY

UNU-WIDER

World Institute for Development
Economics Research

TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TỚI TĂNG TRƯỞNG VÀ PHÁT TRIỂN KINH TẾ Ở VIỆT NAM

IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE
FOR ECONOMIC GROWTH AND DEVELOPMENT
IN VIETNAM



NHÀ XUẤT BẢN THỐNG KÊ
HÀ NỘI - 2012

**NHÓM NGHIÊN CỨU KINH TẾ PHÁT TRIỂN
KHOA KINH TẾ
ĐẠI HỌC TỔNG HỢP COPENHAGEN
VIỆN NGHIÊN CỨU QUẢN LÝ KINH TẾ TRUNG ƯƠNG
VÀ
VIỆN NGHIÊN CỨU KINH TẾ PHÁT TRIỂN THẾ GIỚI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC LIÊN HỢP QUỐC**

**TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU
TỚI TĂNG TRƯỞNG VÀ PHÁT TRIỂN KINH TẾ
Ở VIỆT NAM ĐẾN NĂM 2050**



**NHÀ XUẤT BẢN THỐNG KÊ
THÁNG 8 NĂM 2012**

Lời nói đầu

Báo cáo về: “Tác động của biến đổi khí hậu tới tăng trưởng và phát triển kinh tế ở Việt Nam” được chuẩn bị trong khuôn khổ pha IV của Dự án giảm nghèo do Danida tài trợ về “Nâng cao năng lực nghiên cứu và phân tích chính sách phát triển của Viện Nghiên cứu quản lý kinh tế trung ương”. Dự án này hỗ trợ hợp tác nghiên cứu và nâng cao năng lực giữa Viện Nghiên cứu quản lý kinh tế trung ương (NCQLKTTW) và Nhóm Nghiên cứu kinh tế phát triển (DERG) của trường Đại học tổng hợp Copenhagen. Quá trình chuẩn bị báo cáo nghiên cứu này còn có sự hợp tác và trao đổi với nhóm nghiên cứu của Viện Nghiên cứu kinh tế phát triển thế giới của Đại học Liên hợp quốc (UNU-WIDER), mà nghiên cứu của họ sẽ thể hiện trong các báo cáo nghiên cứu của tổ chức này và dự kiến công bố trên các tạp chí quốc tế trong thời gian tới.

Nhóm nghiên cứu trân trọng cảm ơn sự chỉ đạo và hỗ trợ của PGS.TS. Lê Xuân Bá, Viện trưởng và bà Vũ Xuân Nguyệt Hồng, Phó Viện trưởng, Viện NCQLKTTW trong suốt quá trình nghiên cứu. Chúng tôi cũng xin trân trọng cảm ơn ngài John Nielsen, Đại sứ Đan Mạch tại Việt Nam và cán bộ sứ quán đã nhiệt tình ủng hộ, khích lệ và giúp đỡ chúng tôi hoàn thành nghiên cứu này. Chúng tôi chân thành cảm ơn Danida đã tài trợ cho nghiên cứu.

Biến đổi khí hậu là hiện tượng phức tạp và liên ngành, vì vậy, rất nhiều chuyên gia thuộc các lĩnh vực khác nhau đã tham gia thực hiện nghiên cứu này. Nghiên cứu được dẫn dắt về mặt chuyên môn bởi GS. Channing Arndt, Paul Chinowsky, Kenneth Strzepek và TS. James Thurlow. GS. Finn Tarp, điều phối nhóm Nghiên cứu kinh tế phát triển, giám sát và chỉ đạo sự tham gia của nhóm cũng như đóng góp trong các giai đoạn nghiên cứu và Simon McCoy, chuyên gia của trường Đại học Tổng hợp Copenhagen, đóng tại Viện Nghiên cứu Quản lý kinh tế Trung ương (NCQLKTTW) giúp điều phối các hoạt động của nghiên cứu.

Những chuyên gia đóng góp cho báo cáo nghiên cứu này còn có Charles Fant, Kerry Emanuel, Yohannes Gebretsadik, Lindsay C. Ludwig, James Neumann, Sai Ravela, Amy Schweikert, Niko Strzepek, Caroleen Verly, Len Wright và Nguyễn Mạnh Hải, Hồ Công Hòa.

Chúng tôi xin cảm ơn những ý kiến đóng góp của các chuyên gia bình luận cũng như đại biểu tại hai buổi tọa đàm tổ chức tại Viện NCQLKTTW. Chúng tôi cũng xin cảm ơn TS. Hoàng Minh Tuyên của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường đã tổ chức buổi họp nhóm nghiên cứu tại Viện.

Cuối cùng, Jean Marc Mayotte, Nguyễn Hương và Travis Hobbs đã hỗ trợ tích cực cho nghiên cứu.

Tất cả những sai sót trong báo cáo thuộc trách nhiệm của nhóm tác giả.

MỤC LỤC

Lời nói đầu	iii
Tóm tắt	1
1. Giới thiệu	15
2. Các kịch bản biến đổi khí hậu	17
3. Nông nghiệp: Tác động của biến đổi khí hậu đến sản lượng trồng trọt và nhu cầu thủy lợi	25
3.1. Phương pháp.....	27
3.2. Kết quả.....	28
3.2.1. Kịch bản gốc.....	28
3.2.2. Các kịch bản trong tương lai	30
3.3. Kết luận.....	31
4. Tài nguyên nước bao gồm thủy điện	32
4.1. Tổng quan lưu vực sông và thủy điện	32
4.1.1. Phân loại tiểu lưu vực sông	32
4.1.2. Lượng mưa	33
4.1.3. Nhiệt độ	36
4.1.4. Dòng chảy trong quá khứ	37
4.2. Mô hình hóa dòng chảy bề mặt - CLIRUN	37
4.2.1. Phương pháp.....	37
4.2.2. Ước tính từ số liệu dòng chảy quan sát được và dòng chảy GRDC	38
4.2.3. Ước tính từ bộ số liệu GRDC.....	39
4.2.4. Tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy	41
4.3. Phân tích nguồn nước: mô hình WEAP	45
4.3.1. Phương pháp và mô hình hóa hệ thống	45
4.3.2. Giả định và đơn giản hóa mô hình.....	45
4.4. Nhu cầu nước	46
4.4.1. Nhu cầu thủy lợi.....	46
4.4.2. Thủy điện.....	50
4.4.3. Nhu cầu về nước công nghiệp và nước sinh hoạt	52
4.5. Kết quả phân tích nguồn nước	53
4.5.1. Tác động đến thủy lợi	53
4.5.2. Tác động đến thủy điện	55
4.6. Chính sách thích ứng	56
4.6.1. Tiểu lưu vực sông miền Bắc.....	56
4.6.2. Tiểu lưu vực sông miền Trung và miền Nam	56
5. Đường giao thông.....	57
5.1. Đường giao thông và tăng trưởng kinh tế	57
5.2. Đường giao thông và biến đổi khí hậu	58
5.3. Phương pháp.....	60
5.3.1. Các tham số trong nghiên cứu.....	61

5.3.2. Khí hậu và yếu tố quyết định của hệ thống đường	61
5.4. Các hàm tác động.....	63
5.4.1. Phân tích ảnh hưởng khí hậu GCM: Lũ lụt, lượng mưa và nhiệt độ	63
5.4.2. Phương pháp xem xét tác động của nước biển dâng	63
5.5. Đơn vị đo tác động.....	64
5.6. Các kết quả nghiên cứu	65
5.6.1. Các kết quả nhiệt độ, lượng mưa và lũ lụt.....	68
5.6.2. Kết quả nước biển dâng.....	70
5.6.3. Các kết quả theo vùng	71
5.7. Các hạn chế	75
5.8. Thảo luận và kết luận.....	75
6. Vùng duyên hải, nước biển dâng và bão	77
6.1. Tổng quan: Bão lụt ven biển ở Việt Nam.....	77
6.2. Các phương pháp	81
6.2.1. Tạo bão	82
6.2.2. Mô hình “ Biển, hồ và nước dâng vào đất liền do bão”	83
6.2.3. NBD và ảnh hưởng thời gian quay trở lại của bão	84
6.3. Các kết quả.....	85
6.4. Các tác động kinh tế	87
6.5. Thảo luận.....	90
7. Tác động đến nền kinh tế.....	91
7.1. Mô hình kinh tế đa ngành.....	91
7.2. Kết quả: Tác động của biến đổi khí hậu	93
7.2.1. Kịch bản gốc.....	93
7.2.2. Tác động đến nền kinh tế.....	93
8. Kết luận	100
9. Tài liệu tham khảo	102

DANH MỤC ĐỒ THỊ

Đồ thị 2-1: Độ tập trung CO ₂ được dự báo bởi các kịch bản SRES (IPCC, 2007)	18
Đồ thị 2-2: Thay đổi nhiệt độ trong những năm 2040 so với kịch bản gốc.	19
Đồ thị 2-3: Thay đổi về lượng mưa trong những năm 2040 so với kịch bản gốc.	20
Đồ thị 2-4: Thay đổi về lượng nước bốc hơi so với kịch bản gốc.....	21
Đồ thị 2-5: Thay đổi về chỉ số độ ẩm tương đối so với kịch bản gốc.	22
Đồ thị 2-6: Thay đổi nhiệt độ so với kịch bản gốc (2011-2050).	23
Đồ thị 2-7: Thay đổi lượng mưa trung bình cho vùng phía Bắc.	24
Đồ thị 2-8: Thay đổi lượng mưa trung bình cho khu vực miền Trung.....	24
Đồ thị 2-9: Thay đổi lượng mưa trung bình cho phía Nam.....	25
Đồ thị 3-1: Vùng của Việt Nam	26
Đồ thị 3-2: Thay đổi hệ số sản lượng trung bình 2041-2050 so với kịch bản gốc.....	30
Đồ thị 3-3: Thay đổi về nhu cầu thủy lợi trung bình của Việt Nam giai đoạn 2041-2050 so với kịch bản gốc.....	31
Đồ thị 4-1: Phân loại cấp 4 tiểu lưu vực theo bộ ảnh dữ liệu địa hình SRTM - DEM toàn cầu với độ phân giải 90 mét	33
Đồ thị 4-2: Lượng mưa hàng năm của các tiểu lưu vực chính	34
Đồ thị 4-3: Lượng mưa hàng tháng của tiểu lưu vực sông phía Bắc	35
Đồ thị 4-4: Lượng mưa hàng tháng của tiểu lưu vực sông miền Trung.....	35
Đồ thị 4-5: Lượng mưa hàng tháng của tiểu lưu vực sông phía Nam.	36
Đồ thị 4-6: Phân bố nhiệt độ theo không gian (độ C).	36
Đồ thị 4-7: Xu hướng nhiệt độ dự báo đến 2050.....	37
Đồ thị 4-8: Số liệu quá khứ và kết quả mô phỏng từ mô hình CliRun-II.....	40
Đồ thị 4-9: So sánh dòng chảy trung bình hàng tháng giữa kịch bản gốc và 56 kịch bản GCM (2041-2050).	42
Đồ thị 4-10: So sánh dòng chảy hàng tháng của kịch bản gốc với kết quả dòng chảy cao nhất và thấp nhất từ mô hình CLIRUN.	42
Đồ thị 4-11: So sánh kết quả dòng chảy theo không gian của kịch bản khô và ẩm ướt.	43
Đồ thị 4-12: Số lần kết quả kịch bản về dòng chảy thấp hơn kịch bản gốc.	44
Đồ thị 4-13: Sự khác biệt của dòng chảy trung bình hàng năm của các kịch bản so với kịch bản gốc (mm).	44
Đồ thị 4-14: Phác thảo nguồn nước trong mô hình WEAP của tiểu lưu vực sông Đồng Nai.....	46
Đồ thị 4-15: Mật độ trồng lúa từ bộ số liệu SPAM.	48
Đồ thị 4-16: Phân bố diện tích được thủy lợi theo loại cây trồng từ số liệu SPAM.	48
Đồ thị 4-17: Nhu cầu về nước cho thủy lợi hàng năm theo giá trị tuyệt đối và kịch bản gốc (đường đỏ).....	49
Đồ thị 4-18: Nhu cầu cung ứng thủy lợi hàng năm so với kịch bản gốc.....	49
Đồ thị 4-19: Tăng dân số và dự báo nhu cầu nước sinh hoạt và nước công nghiệp hàng năm.....	53
Đồ thị 4-20: Nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng so với kịch bản gốc.	54
Đồ thị 4-21: Nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng so với kịch bản gốc của 3 vùng đến năm 2050.....	54

Đồ thị 4-22: Công suất phát thủy điện so với kịch bản gốc (%)	55
Đồ thị 4-23: Độ bền của một số nhà máy thủy điện.....	56
Đồ thị 5-1: Tác động tổng hợp của biến đổi khí hậu đến đường giao thông đến năm 2050.	66
Đồ thị 5-2: Tác động tổng hợp của biến đổi khí hậu đến đường giao thông đến năm 2050.	66
Đồ thị 5-3: Tác động của biến đổi khí hậu (lượng mưa và nhiệt độ) đến đường giao thông đến năm 2050 – % GCMs với các kết quả tương ứng.....	68
Đồ thị 5-4: Tác động của biến đổi khí hậu (lượng mưa và nhiệt độ) lên đường giao thông đến năm 2050- Tỷ lệ phần trăm của GCMs với các kết quả tác động tương ứng.....	68
Đồ thị 5-5: Tổng % và tổng chi phí thiệt hại ước tính cho một mét NBD theo tỉnh và vùng	71
Đồ thị 5-6: Tổng chi phí thiệt hại ở cấp tỉnh (triệu USD) theo kịch bản nóng nhất.....	72
Đồ thị 5-7: Tổng chi phí thiệt hại ở cấp tỉnh (triệu USD) theo kịch bản nóng trung bình.	73
Đồ thị 6-1: Vùng nghiên cứu đồng bằng sông Hồng.	78
Đồ thị 6-2: Dân số năm ở vùng thấp ở đồng bằng sông Hồng.....	79
Đồ thị 6-3: Các đường đi của bão.	85
Đồ thị 6-4: Tốc độ gió và ước tính thời gian quay lại.	86
Đồ thị 6-5: Đường cong dâng bão từ kết quả của mô hình SLOSH trường hợp có và không có thay đổi về mực nước biển.....	86
Đồ thị 6-6: Ước tính thời gian quay trở lại của các cơn bão xuất hiện có tần suất 100 năm với các kịch bản NBD.	87
Đồ thị 6-7: Các vùng bị ảnh hưởng bởi nước biển dâng và dâng bão đến năm 2050.....	88
Đồ thị 7-1: Mức GDP thực tế theo giá sản xuất (trung bình từ 2046 đến 2050).....	94
Đồ thị 7-2: Tỷ trọng nông nghiệp trong GDP (trung bình giai đoạn 2046-2050).....	94
Đồ thị 7-3: Chỉ số độ dài hệ thống đường so với kịch bản gốc (trung bình giai đoạn 2046-2050).	95
Đồ thị 7-4: Thiệt hại biên đối với vốn do Bão và nước biển dâng.	96
Đồ thị 7-5: Giảm GDP thực tế so với kịch bản gốc (trung bình 2046-2050).....	97
Đồ thị 7-6: Tác động của biến đổi khí hậu đến tốc độ tăng trưởng GDP trình quân hàng năm.....	98
Đồ thị 7-7: Giá trị hiện tại ròng của thiệt hại do biến đổi khí hậu.	98
Đồ thị 7-8: Giá trị hiện tại thuần của thiệt hại do biến đổi khí hậu theo thập kỷ trong kịch bản Bão (tỷ USD năm 2007).....	99

DANH MỤC BẢNG

Bảng 3-1: Hệ số sản lượng cho kịch bản gốc của Việt Nam.....	29
Bảng 3-2: Thiếu hụt nước trung bình (mm/chu kỳ) cho kịch bản gốc của Việt Nam.....	29
Bảng 4-1: Phân loại và diện tích tiêu lưu vực	34
Bảng 4-2: Tham số của mô hình CLURUN-II.....	38
Bảng 4-3: Kết quả ước tính của lưu vực trạm dòng chảy có thể quan sát được.....	39
Bảng 4-4: Ước tính số liệu dòng chảy của mô hình dựa vào bộ số liệu GRDC.....	41
Bảng 4-5: Kết quả dòng chảy theo khu vực của ba kịch bản cho kết quả cao nhất và thấp nhất.	43
Bảng 4-6: Xu hướng nhu cầu về nước cho nông nghiệp và các ngành kinh tế khác (1990- 2010).....	47
Bảng 4-7: Khả năng sản xuất thủy điện hiện nay (đến năm 2011).	50
Bảng 4-8: Nhà máy thủy điện hiện tại: Công suất phát điện và địa điểm.	51
Bảng 4-9: Nhà máy thủy điện đang được xây dựng theo các tiêu lưu vực sông.....	51
Bảng 4-10: Nhà máy thủy điện hiện tại đang được xây dựng.....	52
Bảng 4-11: Nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng trung bình 10 năm của một số kịch bản biến đổi khí hậu (đơn vị triệu mét khối).....	55
Bảng 5-1: Chi phí làm lại đường khi hệ thống đường cũ bị ngập do nước biển dâng lên 1 mét.	64
Bảng 5-2: Chi phí thích ứng và không thích ứng và lợi ích thích ứng của tác động tổng hợp của biến đổi khí hậu (lượng mưa, nhiệt độ, lũ lụt).	67
Bảng 5-3: Chi phí thích ứng và không thích ứng và lợi ích thích ứng của tác động biến đổi thời tiết lên đường giao thông (lượng mưa, nhiệt độ, lũ lụt).....	69
Bảng 5-4: Chi phí thích ứng và không thích ứng và lợi ích thích ứng đối với tác động của lũ lụt lên đường xá.	70
Bảng 5-5: Tổng thiệt hại do NBD dưới 1 mét. Quy về chi phí năm 2010 với tỷ lệ chiết khấu 5%.....	70
Bảng 5-6: Phân tích vùng (kịch bản khí hậu nóng nhất)	72
Bảng 5-7: Phân tích vùng (kịch bản khí hậu nóng trung bình).	73
Bảng 6-1: Lịch sử các cơn bão nhiệt đới gây thiệt hại ở đồng bằng sông Hồng trong giai đoạn 1990 - 2008.	80
Bảng 6-2: Diện tích đất sử dụng - tổng hiện tại và diện tích chịu rủi ro bởi NBD và dâng bão trước năm 2050.	89
Bảng 6-3: Thiệt hại GDP hàng năm do NBD và dâng bão đến năm 2050.....	90

CÁC CHỮ VIẾT TẮT

CLICROP	: Mô hình trồng trọt
CLIROAD	: Mô hình cơ sở hạ tầng
CLIRUN	: Mô hình lưu vực sông
CMI	: Chỉ số đo độ ẩm
DCGE	: Mô hình cân bằng tổng thể động
ET	: Chỉ số đo lượng nước bốc hơi thực tế
EVN	: Tập đoàn điện lực Việt Nam
GCM	: Mô hình tuần hoàn tổng thể
IFPRI	: Viện Nghiên cứu Chính sách nông nghiệp quốc tế
IMPEND	: Mô hình thủy điện
IPCC	: Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu
NBD	: Nước biển dâng
NHTG	: Ngân hàng thế giới
PET	: Chỉ số đo lượng nước bốc hơi tiềm năng
UNU-WIDER	: Viện Nghiên cứu Kinh tế phát triển thế giới của Đại học Liên hợp quốc
WEAP	: Mô hình nguồn nước

Tóm tắt

Giới thiệu

Giống như ở các nước khác, tác động của biến đổi khí hậu đang rất được quan tâm ở Việt Nam. Nghiên cứu này phân tích một cách tổng hợp nhất tác động của biến đổi khí hậu đối với Việt Nam đến năm 2050. Các phân tích trong nghiên cứu có ba đặc điểm quan trọng. *Thứ nhất*, nghiên cứu áp dụng cách tiếp cận cấu trúc từ dưới lên. Các phân tích trong nghiên cứu dựa vào các mô hình cấu trúc kết nối kịch bản khí hậu với các kết quả kinh tế. *Thứ hai*, cách tiếp cận về phân tích tác động ở nghiên cứu này tương đối tổng hợp so với các nghiên cứu tác động khác, theo 6 kênh: năng suất cây trồng, sự sẵn có của nguồn nước cho thủy lợi, thủy điện, hệ thống đường giao thông, nước biển dâng và bão. *Cuối cùng*, nghiên cứu lồng ghép kết quả dự báo về biến đổi khí hậu của 56 kịch bản theo mô hình Tuần hoàn tổng thể (GCM) được sử dụng trong Báo cáo tác động lần thứ tư của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC). Sự kết hợp ba đặc điểm này là đặc trưng của báo cáo, giúp xem xét một cách rất chi tiết về tác động của biến đổi khí hậu đối với Việt Nam. Việc sử dụng nhiều kịch bản của mô hình dự báo về biến đổi khí hậu đặc biệt quan trọng bởi vì tác động của biến đổi khí hậu có thể thay đổi rất nhiều theo các kịch bản dự báo khác nhau. Như vậy, việc lựa chọn kết quả dự báo của một số kịch bản nhất định thay vì các kết quả khác có thể ảnh hưởng không nhỏ đến các kết luận. Ở đây, toàn bộ kết quả của 56 kịch bản biến đổi khí hậu đều được xem xét.

Khí hậu Việt Nam nóng hơn và có thể khô hơn trong tương lai

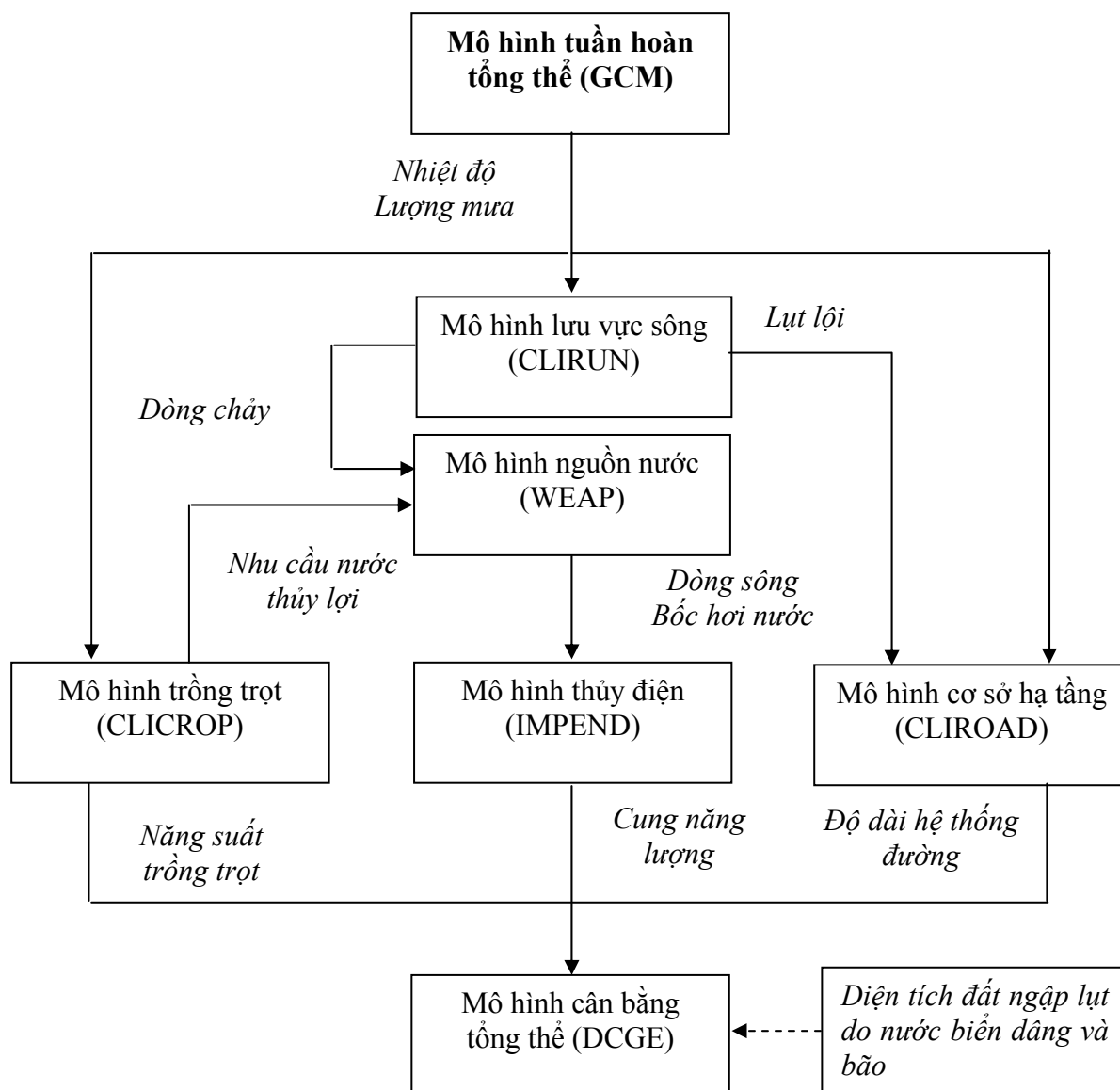
Nhiệt độ trung bình của Việt Nam dự báo sẽ tăng lên khoảng trên dưới 1,5 độ C với hầu hết các kết quả đều gần giá trị trung vị. Đối với tất cả các khu vực ở Việt Nam, nhiệt độ tăng trong khoảng từ tối thiểu dưới 1 độ C đến tối đa là hơn 2 độ C. Dự báo về lượng mưa mang tính không chắc chắn nhiều hơn so với dự báo về nhiệt độ. Việt Nam được dự báo sẽ có lượng mưa giảm nhẹ, theo đó những thay đổi lượng mưa trung vị đều mang giá trị âm trong tất cả 56 kịch bản khí hậu tương lai. Tuy nhiên, độ ẩm của cả nước và ở tất cả các khu vực trong một chừng mực nào đó có thể có xu hướng giảm nhiều hơn là tăng. Đối với tất cả các tỉnh và các kịch bản dự báo, kết quả dự báo trong khoảng tứ vị phân (25% đến 75%) cho kết quả hoặc tăng hoặc giảm về lượng mưa. Giá trị tối đa và tối thiểu nằm trong khoảng tăng 10%-20% và giảm 10%-15%. Về tổng thể, do lượng nước bốc hơi tăng và lượng mưa trung bình giảm nhẹ, điều kiện khí hậu của Việt Nam sẽ có xu hướng khô hơn mặc dù thay đổi của giá trị trung vị không lớn.

Kết nối biến đổi khí hậu với kết quả hoạt động kinh tế

Đánh giá tác động kinh tế của các kịch bản biến đổi khí hậu được thực hiện bằng một loạt các mô hình chuyên ngành. Sơ đồ 1 mô tả dòng thông tin qua các mô hình nguồn nước và lưu vực sông kết nối với 3 mô hình ngành ước lượng tác động đến nông nghiệp, năng lượng và cơ sở hạ tầng. Mô hình lưu vực sông quyết định dòng chảy trong mô hình nguồn nước sau đó ước lượng được lượng nước cho mô hình thủy điện. Mô hình lưu vực sông dự báo tần suất và mức độ lụt lội và cùng với lượng mưa và nhiệt độ quyết định mức độ phá hủy đường sá trong mô hình hạ tầng cơ sở. Dự báo về khí hậu trực tiếp tác động đến sản xuất nông nghiệp trong mô hình trồng trọt. Cuối cùng, kết

quả tác động trên được chuyển vào mô hình kinh tế đa ngành để ước lượng tác động của biến đổi khí hậu đối với nền kinh tế. Chúng tôi cũng lồng ghép một kênh tác động thứ tư là tác động của mất đất do nước biển dâng và bão.

Sơ đồ 1: Khung khổ mô hình tích hợp



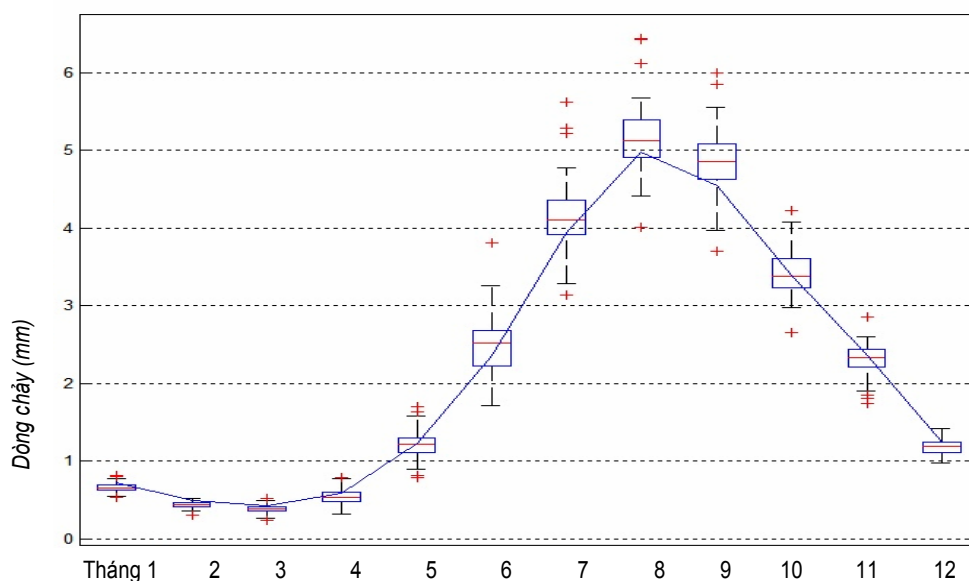
Nguồn: Nhóm tác giả.

Nguồn nước và thủy điện

Mô hình lưu vực sông “CLIRUN” là mô hình mở rộng của hệ mô hình thủy học được xây dựng nhằm phân tích tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy. Nước được đưa vào mô hình CLIRUN thông qua lượng mưa và thoát ra bằng bốc hơi và dòng chảy. Sự khác biệt giữa dòng chảy vào và ra là sự thay đổi về trữ nước và nước ngầm. Tổng số 22 tiểu lưu vực sông, với diện tích từ 1.500 đến 45.000 km² được xác định trong mô hình. Mô hình hóa sự lưu chuyển qua biên giới giữa các lưu vực sông là rất quan trọng bởi vì tất cả các sông chính ở Việt Nam đều chạy qua các nước khác trước khi vào Việt Nam.

Đồ thị 2 thể hiện dòng chảy theo tháng của những năm 2040 cho phương án gốc và cho 56 kịch bản dự báo khí hậu sẽ được xem xét trong tương lai. Dòng chảy của 56 dự báo khí hậu được trình bày dưới dạng hộp và điểm. Trong đó, điểm màu đỏ thể hiện sự thay đổi dòng chảy trung vị; hộp thể hiện kết quả trong khoảng 25%-75% (tứ phân vị), các điểm ở mép thể hiện giá trị lớn nhất và nhỏ nhất đã loại bỏ những giá trị ngoại vi. Những giá trị ngoại vi được thể hiện bằng dấu cộng (+). Về mặt tổng thể, ở tầm quốc gia, vào thời gian trước những năm 2040, tính mùa vụ của dòng chảy và mức độ của dòng chảy có xu hướng không thay đổi nhiều.

Đồ thị 2: Dòng chảy trung bình hàng tháng so với kịch bản gốc và kết quả dòng chảy của 56 kịch bản GCM (2041-2050)



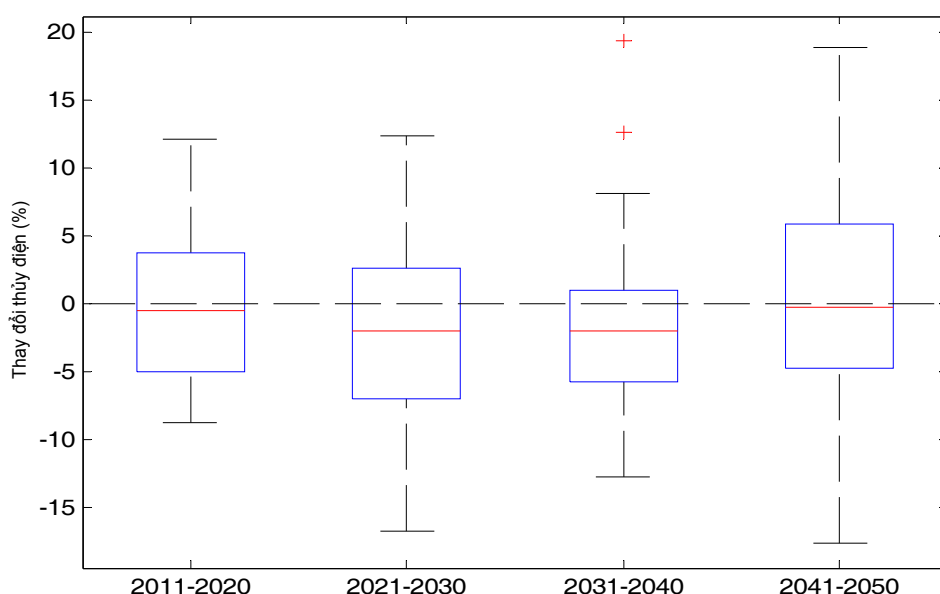
Ở vị trí hạ lưu với dòng chảy mạnh nhất làm cho Việt Nam trở nên dễ bị tổn thương trước những thay đổi ở đầu nguồn. Vì vậy, dòng chảy ước lượng được từ mô hình CLIRUN được chuyển sang mô hình nguồn nước (WEAP), mô hình mô phỏng sự quản lý nguồn nước từ tất cả các lưu vực sông xuyên biên giới trong lãnh thổ Việt Nam và ở vùng đầu nguồn (thượng lưu). Nước cho các ngành và sử dụng cho sinh hoạt được quyết định bên ngoài mô hình WEAP, sau đó mô hình ước lượng giá trị tối ưu về sử dụng nước cho thủy lợi và khả năng dự trữ để tối đa hóa lợi ích ròng.

Sản xuất thủy điện dựa vào sự kết hợp của dòng chảy và độ cao so với mực nước biển để sản xuất điện nhờ quay các tuốc bin. Có 14 nhà máy thủy điện lớn ở Việt Nam. Chúng tôi sử dụng mô hình thủy điện có tên gọi là “IMPEND”, bắt nguồn từ mô hình xây dựng cho Ethiopia (Block và Strzepek, 2010). IMPEND là mô hình tối ưu và hạch toán nguồn nước sử dụng thông tin đầu vào về dòng chảy, sự thoát hơi nước và hồ chứa sẽ quyết định lượng điện sản xuất và chi phí liên quan. Thêm vào đó 14 dự án thủy điện có quy mô trung bình lớn đang được xây dựng và được tính đến trong các phân tích ở đây. Tổng sản lượng điện sản xuất trong dài hạn từ các nhà máy thủy điện này được ước tính là khoảng 22.656 GWH. Trong kịch bản gốc, các tham số của IMPEND được ước tính theo công suất hiện nay và quy hoạch phát triển giai đoạn 2010-2050 cũng như kết quả về dòng chảy và nước bốc hơi từ kết quả mô hình CLIRUN và WEAP. IMPEND sau đó được chạy

theo 56 kịch bản biến đổi khí hậu, với giả định không có sự thay đổi trong quy hoạch thủy điện (nghĩa là sự thay đổi trong sản lượng điện sản xuất là do những biến đổi khí hậu chứ không phải do xây dựng thêm đập ngăn).

Đồ thị 3 minh họa thay đổi về sản xuất thủy điện so với kịch bản gốc trong các thập kỷ. Trung bình, sản lượng thủy điện có xu hướng giảm chút ít trong tất cả các thập kỷ. Tuy nhiên, sản lượng thủy điện cũng rất có thể tăng. Mức độ dao động của sản lượng điện có xu hướng tăng theo thời gian (trừ những năm 2030). Đến năm 2050, sản lượng thủy điện có thể bị ảnh hưởng trong khoảng trên dưới 18%. Tuy nhiên, khoảng một nửa các kết quả kịch bản về sản lượng điện có thể nằm trong khoảng trên dưới 5%. Thêm vào đó, trong khi ở kịch bản gốc, sản lượng thủy điện chiếm hơn 35% tổng sản lượng điện sản xuất thì tỷ trọng này có xu hướng giảm xuống 8% trước năm 2050. Như vậy, việc thay đổi về sản lượng thủy điện ít quan trọng hơn đối với nền kinh tế theo thời gian.

**Đồ thị 3: Tác động của biến đổi khí hậu đến sản xuất thủy điện
(phần trăm thay đổi so với kịch bản gốc)**



Cơ sở hạ tầng

Nhiều nghiên cứu khẳng định sự quan trọng của đường giao thông đến tăng trưởng kinh tế. Cả lý thuyết và kinh nghiệm thực tế cho thấy cơ sở hạ tầng là một yếu tố quan trọng tác động đến tăng trưởng kinh tế và giảm đói nghèo. Ở hầu hết các nước đang phát triển, đầu tư cho xây dựng đường chiếm phần lớn ngân sách công và tổng đầu tư. Nếu đầu tư công nói chung và đầu tư cho hệ thống đường nói riêng có ý nghĩa quan trọng đối với tăng trưởng kinh tế và giảm đói nghèo thì sự suy giảm của chúng cũng có tác động không nhỏ. Biến đổi khí hậu có thể tác động đến hệ thống giao thông; quá trình vận hành; và nhu cầu dịch vụ giao thông. Chinowsky và cộng sự (2011a) ghi nhận chi phí dự tính của biến đổi khí hậu đến hệ thống đường trong 10 nước có nền kinh tế và vị trí địa lý khác nhau. Nhóm tác giả minh họa chi phí cơ hội của việc thay đổi hệ thống đường để ứng phó với biến đổi khí hậu.

Những mối quan hệ được phát hiện trong nghiên cứu của Chinowsky và cộng sự (2011a) được thể hiện trong mô hình mô phỏng hệ thống đường động có tên gọi là “CliRoad”. Mô hình mô phỏng hệ thống đường bị phá hủy theo tuổi kể từ khi được xây dựng (hoặc tuổi thọ 20 năm), loại đường (cấp 1, cấp 2 và cấp 3), kiểu đường (nhựa, sỏi hay đất) và khu vực cho mỗi năm trong giai đoạn mô phỏng là 2007-2050. Trong khi các yếu tố khác được mô phỏng như nhau giữa các vùng thì những yếu tố về khí hậu (lượng mưa, nhiệt độ và lũ lụt) được thay đổi theo vùng. CliRoad được lồng ghép vào mô hình cân bằng tổng thể động trong phân tích kinh tế. Vì vậy, kết quả mô hình CliRoad sẽ được mô tả ở phần sau cùng với những tác động kinh tế khác.

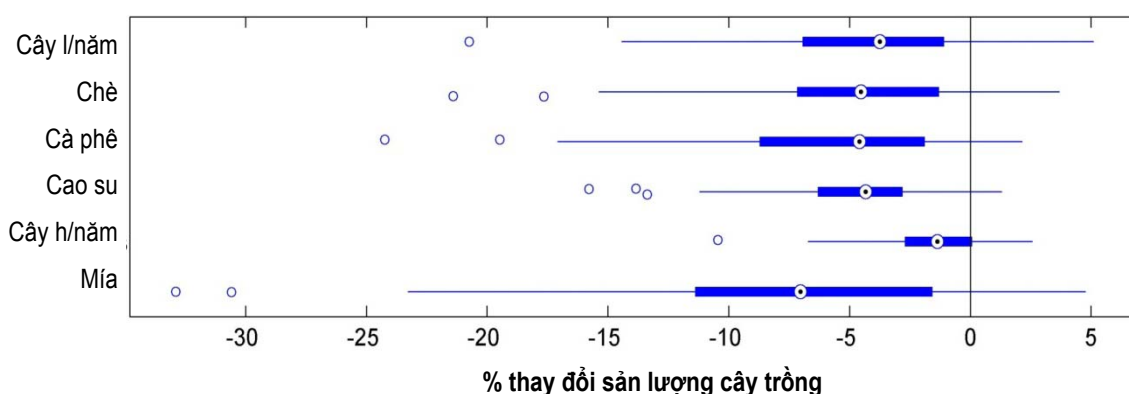
Nông nghiệp

Nông nghiệp là một trong những khu vực quan trọng của Việt Nam, chiếm 16% thu nhập quốc dân. Chúng tôi sử dụng mô hình trồng trọt có tên gọi là ‘CliCrop’ để mô phỏng tác động của kịch bản gốc và các kịch bản biến đổi khí hậu đến sản lượng cây trồng được tưới tiêu và lên nhu cầu nước cho thủy lợi. Phiên bản đặc biệt của mô hình CliCrop được xây dựng riêng cho lúa. CliCrop được thiết kế đặc biệt để nắm bắt được những tác động của biến đổi khí hậu.

Đồ thị 4 minh họa sự thay đổi về sản lượng của các vụ chính. Những kết quả này dựa trên các giả định lượng nước đáp ứng được nhu cầu về thủy lợi. Với giả định như vậy, đến năm 2050, biến đổi khí hậu làm giảm sản lượng cây trồng nhưng không nhiều. Đối với hầu hết các mùa vụ, giảm sản lượng trung vị khoảng dưới 5%. Sản lượng có thể tăng nhưng không tăng đối với tất cả các loại cây trồng. Việc giảm sản lượng nhiều, hơn 10% cũng có thể xảy ra cho tất cả các loại cây nhưng những kết quả như vậy chỉ ở một vài kịch bản biến đổi khí hậu. Mía là trường hợp ngoại lệ, sản lượng trung bình giảm khoảng 7% và có khả năng sụt giảm đến hơn 20%.

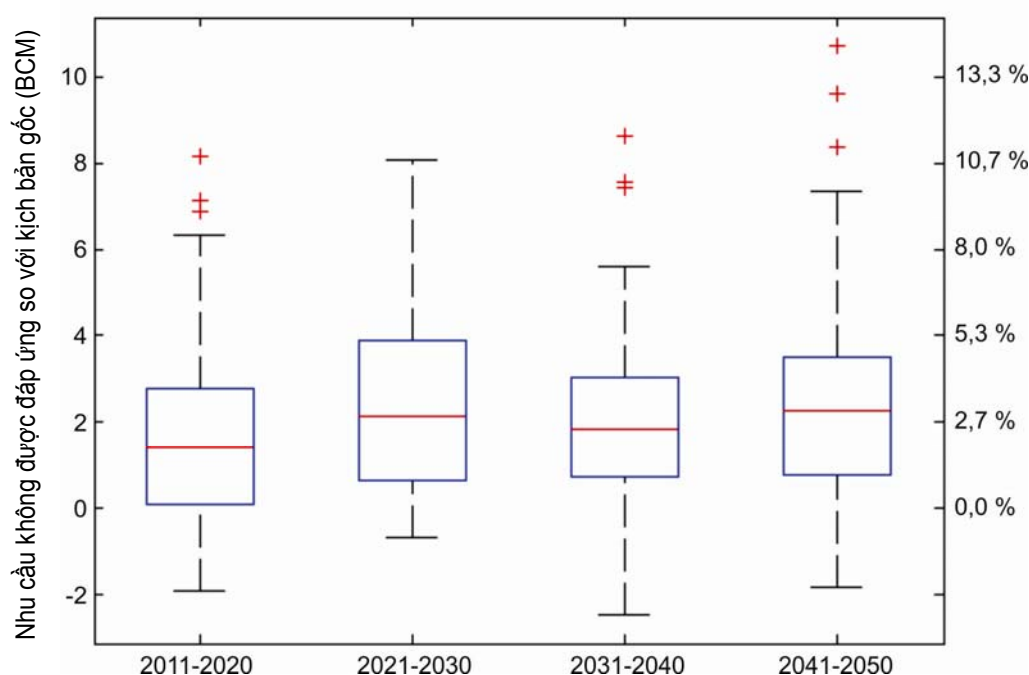
Để cân bằng cung cầu về nước cho thủy lợi, nguồn cung nước từ mô hình WEAP được so sánh với cầu về nước thủy lợi từ mô hình Clicrop. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, nhìn chung, nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng có thể gia tăng. Hộp trong Đồ thị 5 thể hiện thiếu hụt về nước cho thủy lợi của 56 kịch bản biến đổi khí hậu tương đối so với kịch bản gốc. Giá trị trung vị đạt khoảng 2,1 tỷ mét khối nước đến năm 2050. Trường hợp xấu nhất, mức nước thiếu hụt tối đa khoảng 7 tỷ mét khối. Hay lượng nước thiếu hụt trung vị tăng khoảng 3%. Đối với lúa, sản lượng thay đổi chủ yếu do thay đổi về khả năng đáp ứng nhu cầu nước tưới tiêu.

Đồ thị 4: Phần trăm thay đổi sản lượng từ mô hình CliCrop cho nông nghiệp



Chú thích: Cây l/năm: Cây lâu năm khác; Cây h/năm: Cây hàng năm khác.

Đồ thị 5: Thiếu hụt nước tưới tiêu so với kịch bản gốc



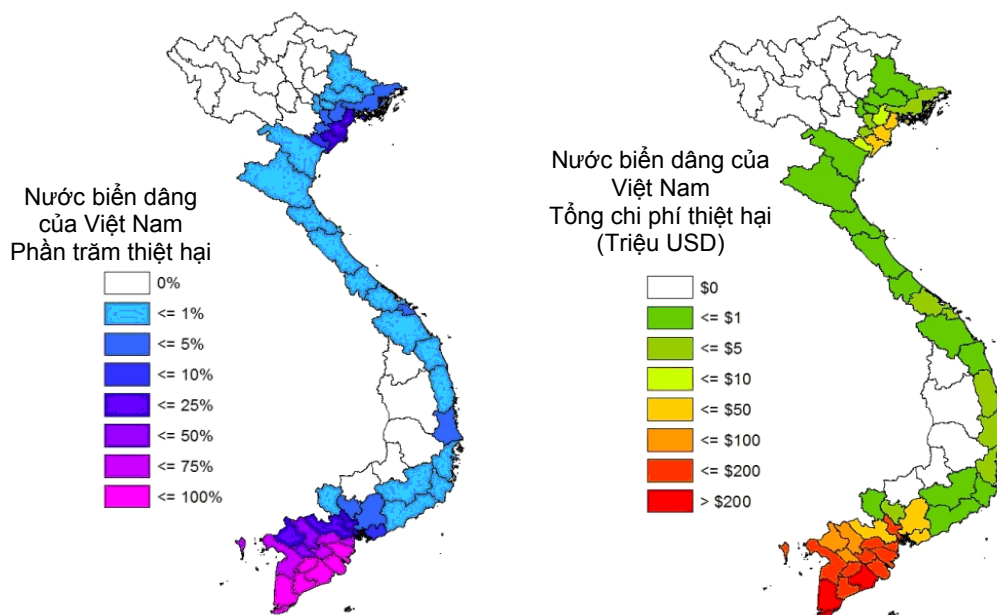
Vùng duyên hải, nước biển dâng và bão

Những dự báo về mực nước biển sẽ dâng thường không chắc chắn và có biên độ dao động rất lớn. Một số nghiên cứu gần đây dự báo mực nước biển sẽ dâng cao hơn 1 mét trước năm 2100 (Nichols và Cazenave, 2010). Báo cáo đánh giá lần thứ 4 của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC) xuất bản năm 2007 dự báo mức tăng trung bình là 60cm trước năm 2100. Trước 2050, nước biển có thể dâng tối thiểu là 16 cm và tối đa là 38 cm.

Phân tích nước biển dâng cho Việt Nam bị hạn chế bởi chất lượng số liệu về độ cao so với mực nước biển. Đối với khu vực thấp, nhóm nghiên cứu chỉ có thể lấy thông tin về độ cao so với mực nước biển với thước đo có tỷ lệ một mét. Để xem xét tác động của những độ cao này trong các kịch bản nước biển dâng trong phạm vi số liệu sẵn có, một số giả định đã được đưa ra. Đặc biệt, chúng tôi giả định phân bố về đất nông nghiệp và đường giao thông giống nhau ở các khu vực hành chính. Vì vậy, nếu một nửa diện tích dự báo bị ngập do nước biển dâng thì một nửa đất nông nghiệp và hệ thống đường trong khu vực đó được ước tính sẽ bị phá hủy.

Đồ thị 6 thể hiện tỷ lệ diện tích ước tính có độ cao so với mực nước biển thấp hơn 1m và bên phải thể hiện giá trị của hệ thống đường có trong diện tích đó. Khu vực đồng bằng sông Cửu Long là mối quan tâm đặc biệt bởi tỷ trọng vùng đất có độ cao so với mực nước biển dưới 1 mét rất lớn. Khu vực đồng bằng sông Hồng cũng cần được quan tâm mặc dù với mức độ ít hơn.

Đồ thị 6: Tỷ lệ diện tích bị ngập đối với khu vực có độ cao so với mực nước biển dưới 1m và giá trị của hệ thống đường ước tính nằm trong khu vực đó



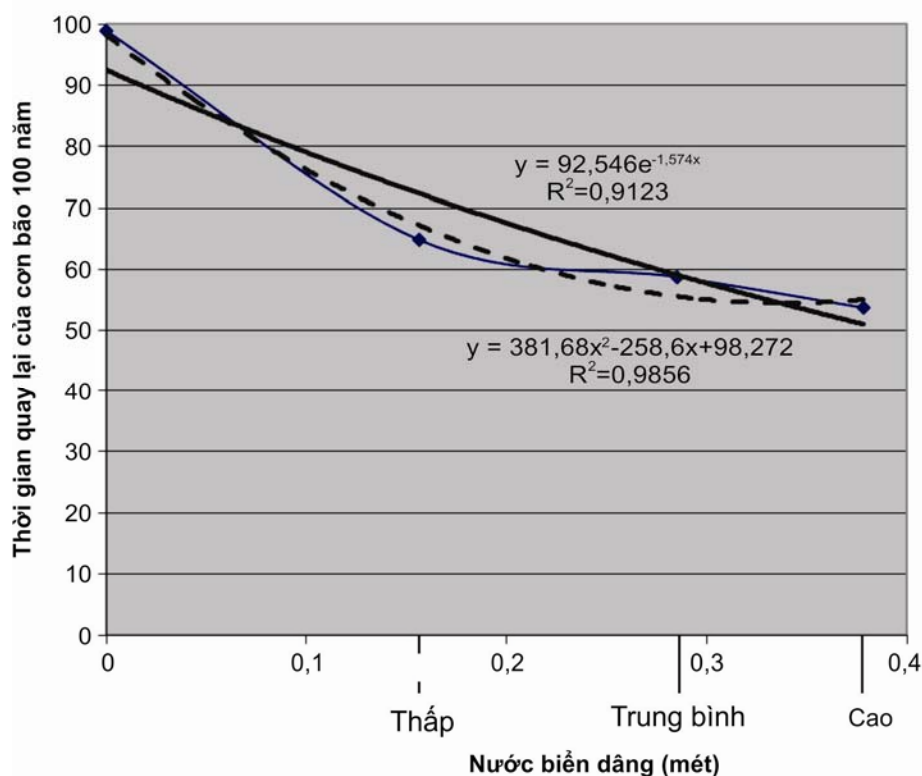
Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

Phân tích chi tiết kết hợp giữa nước biển dâng và dâng bão do bão được thực hiện cho đồng bằng sông Hồng. Tác động của biến đổi khí hậu đến bão có thể bao gồm thay đổi về cường độ, tần suất và đường đi của các cơn bão. Thay đổi về nhiệt độ là yếu tố quan trọng trong thay đổi của bão nhưng bởi vì bão là hiện tượng tương đối hiếm, sự khác biệt trong các hoạt động tạo bão có thể có đến năm 2050 khó có thể phân biệt được với phương pháp hiện nay. Do đó, chúng tôi giả định tần suất và cường độ của bão là cố định.

Nước biển dâng có thể có tác động quan trọng qua việc gia tăng sự phá hủy của bão. Nước biển cao hơn tạo ra các cơn bão có nước biển dâng cao hơn và làm tăng mức độ và độ sâu của nước dâng bão trong các khu vực vốn đã dễ bị tổn thương đối với lốc vùng duyên hải. Hơn thế nữa, dự báo về nước biển dâng đến năm 2050 mặc dù bất định nhưng thường vẫn đáng tin cậy hơn so với dự báo bão. Nhìn chung, mức dâng của nước biển có thể làm các cơn bão hiện nay trở lên nguy hiểm hơn đáng kể.

Sự kết hợp giữa dâng bão và nước biển dâng được xem xét cho đồng bằng sông Hồng. Đồ thị 7 cung cấp ước lượng thay đổi thời gian quay lại của dâng bão có tần suất 100 năm hiện nay do kết quả của nước biển dâng. Hiện tượng thiên tai có chu kỳ 100 năm hiện nay ở Hà Nội có thể xảy ra với tần suất cao hơn trong kịch bản nước biển dâng. Đến năm 2050, thay vì thiên tai xảy ra 100 năm một lần thì có thể xảy ra 65 năm một lần trong kịch bản nước biển dâng thấp và 54 năm trong kịch bản nước biển dâng cao. Tương tự đối với thời gian quay lại của các cơn bão khác. Sự thay đổi thời gian quay trở lại này có ý nghĩa tương đối quan trọng. Thiên tai xảy ra trong vòng 100 năm là trình diễn của dâng bão khoảng 5 mét. Khoảng 42,5% GDP của đồng bằng sông Hồng được ước tính nằm ở độ cao dưới 5 mét so với mực nước biển. Con số này cho cả Việt Nam vào khoảng 9% GDP. Xem xét vấn đề này trong nghiên cứu của chúng tôi là phù hợp bởi vì Noy (2009) chỉ ra rằng thiệt hại do thiên tai có mối quan hệ chặt chẽ với tăng trưởng kinh tế giai đoạn hậu thiên tai.

Đồ thị 7: Thay đổi về thời gian quay lại của các cơn bão tần suất 100 năm do nước biển dâng



Mô hình kinh tế vĩ mô đa ngành

Kết quả của các mô hình ở trên được chuyển sang mô hình cân bằng tổng thể của Việt Nam để ước tính tác động kinh tế của kịch bản gốc và các kịch bản biến đổi khí hậu, bao gồm tác động từ bốn lĩnh vực quan trọng đến toàn bộ nền kinh tế (nghĩa là mối liên hệ gián tiếp hoặc các mối liên kết trong toàn bộ nền kinh tế). Các quyết định kinh tế trong mô hình cân bằng tổng thể động là kết quả của quá trình tối ưu hóa phi tập trung của nhà sản xuất và người tiêu dùng trong một nền kinh tế có các mối quan hệ chặt chẽ. Để thích ứng với biến đổi khí hậu, các cơ chế thay thế được diễn ra để đáp lại những thay đổi tương đối về giá, bao gồm cả sự thay thế giữa các nhân tố sản xuất, giữa hàng nhập khẩu và sản xuất trong nước, giữa xuất khẩu và tiêu dùng nội địa. Mô hình của Việt Nam có 8 vùng, 30 ngành, bao gồm cả ngành sản xuất điện, dịch vụ vận tải và 10 ngành nông nghiệp. Ba mươi bảy yếu tố sản xuất bao gồm: ba loại lao động (phân theo trình độ cấp tiểu học, cơ sở và trung học sau đó được phân tổ tiếp theo nông thôn và thành thị), vốn, đất nông nghiệp, vốn nông nghiệp, gia cầm và thủy sản. Vốn nông nghiệp, đất nông nghiệp, gia cầm và thủy sản được chia ra theo 8 vùng. Việc phân chia chi tiết theo vùng và ngành giúp phản ánh kết cấu của nền kinh tế và ảnh hưởng đến kết quả của mô hình.

Biến đổi khí hậu ảnh hưởng đến tăng trưởng kinh tế và phúc lợi trong mô hình cân bằng tổng thể động (DCGE) qua bốn nhóm yếu tố. Thứ nhất, năng suất thay đổi trong nông nghiệp được lấy từ mô hình CliCrop/WEAP và sau đó mô hình cân bằng tổng thể động quyết định nguồn lực phân bổ cho mỗi loại cây trồng dựa vào khả năng sinh lợi tương đối của nó so với các ngành khác (nghĩa là điều chỉnh nội sinh). Thứ hai, mô hình DCGE trực tiếp lồng ghép sự thay đổi trong sản xuất thủy điện từ IMPEND. Thứ ba, CliRoad được lồng ghép trực tiếp vào mô hình DCGE. Độ dài của hệ

thông đường giao thông từ CLIROAD được sử dụng trong mô hình DCGE để giúp quyết định tăng trưởng năng suất. Hệ thống đường ngắn hơn sẽ làm giảm năng suất vận tải và tăng chi phí vận chuyển hàng hóa từ nơi sản xuất đến người tiêu dùng. Cuối cùng, mô hình DCGE xem xét tác động của nước biển dâng bằng cách giảm diện tích đất canh tác và hệ thống đường giao thông ở mỗi khu vực bởi diện tích đất bị ngập lụt ước tính như đã trình bày ở trên. Thêm vào đó, tác động của bão cũng được xem xét. Những kênh tác động khác được ghi nhận nhưng chưa được xem xét chính thức ví dụ như ảnh hưởng về sức khỏe, du lịch.

Tác động của biến đổi khí hậu sẽ diễn ra trong thời gian dài vì vậy việc xem xét quá trình động là hết sức quan trọng. Tính chất động độ quy của mô hình DCGE cho phép mô hình nắm bắt được thay đổi hàng năm về tỷ lệ tích tụ vốn vật chất và vốn con người và thay đổi công nghệ. Vì vậy, ví dụ nếu biến đổi khí hậu giảm sản lượng nông nghiệp hoặc sản lượng thủy điện trong một năm nào đó, nó cũng sẽ giảm thu nhập, và kéo theo là tiết kiệm. Những sụt giảm tiết kiệm đó dẫn đến giảm đầu tư và giảm sản xuất tiềm năng. Tương tự như vậy, chi phí duy trì đường cao hơn làm giảm đầu tư cơ sở hạ tầng và giảm độ dài của hệ thống đường hiện tại và tương lai. Những sự kiện bất thường, như lũ lụt do bão, cũng phá hủy cơ sở hạ tầng gây ra những tác động lâu dài. Nhìn chung, thậm chí sự khác biệt nhỏ nhưng được tích lại cũng gây ảnh hưởng lớn đến kết quả kinh tế trong dài hạn. Mô hình DCGE của chúng tôi được thiết kế phù hợp để nắm bắt được những ảnh hưởng này.

Tác động của biến đổi khí hậu đến tăng trưởng kinh tế

Để ước tính chi phí kinh tế của biến đổi khí hậu cho Việt Nam, điều đầu tiên là cần xây dựng được kịch bản gốc, thể hiện xu hướng phát triển, chính sách và những định hướng ưu tiên trong trường hợp không có biến đổi khí hậu. Kịch bản gốc cung cấp hướng tăng trưởng và thay đổi cơ cấu của nền kinh tế giai đoạn 2007-2050 và làm cơ sở để so sánh. Với các giả định ở kịch bản gốc, kinh tế Việt Nam tăng khoảng 5,4% hàng năm với tỷ trọng nông nghiệp trong GDP giảm từ 16% xuống 7,6% giai đoạn 2007-2050. GDP bình quân đầu người tăng liên tục dẫn đến phúc lợi hộ gia đình bình quân được cải thiện đáng kể.

Để nhận định tác động của biến đổi khí hậu đối với tăng trưởng và phát triển kinh tế, các kênh tác động nêu trên được xem xét lần lượt. Tổng thể 6 kênh được xem xét dưới đây dưới tiêu đề là tên của các kịch bản.

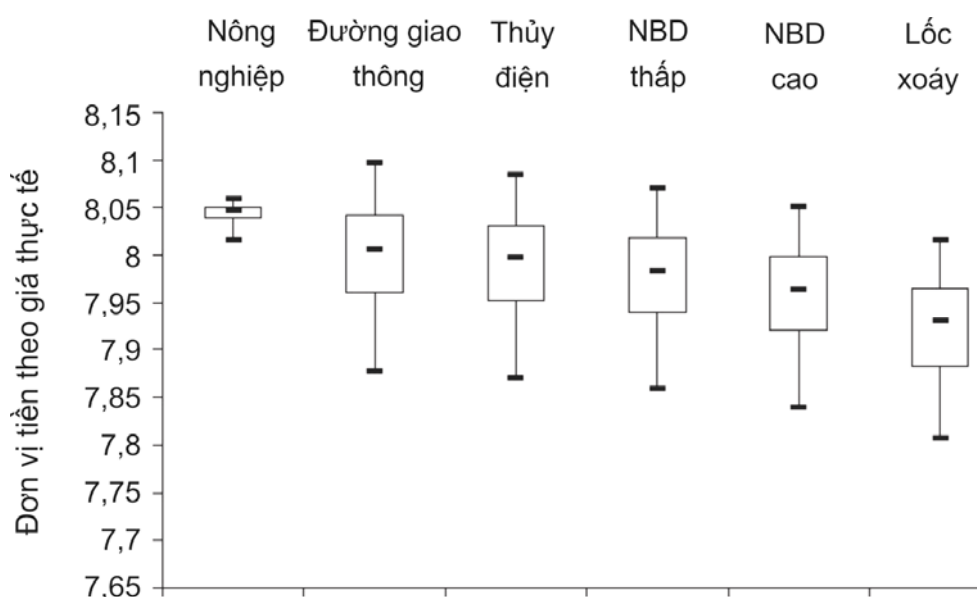
1. Nông nghiệp. Tác động của thay đổi nhiệt độ và lượng mưa đến sản lượng cây trồng được chia theo khu vực có kết hợp với nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng.
2. Đường giao thông. Tác động của biến đổi khí hậu từ mô hình CliRoad.
3. Thủy điện. Phần trăm thay đổi trong sản xuất thủy điện được mô phỏng.
4. Nước biển dâng thấp. Đến năm 2050, nước biển giả định tăng khoảng 16 cm. Gia tăng này tuyến tính theo giai đoạn mô phỏng.
5. Nước biển dâng cao. Nước biển giả định tăng 38 cm đến năm 2050 và được mô phỏng giống như kịch bản nước biển dâng thấp.
6. Bão. Xác suất của các cơn bão được mô phỏng cho 56 kịch bản và chỉ xem xét tác động biên của nước biển dâng.

Những kịch bản này được mô phỏng theo cách tăng dần. Do đó kịch bản Đường giao thông bao gồm cả các cú sốc trong kịch bản Nông nghiệp và cú sốc trong kịch bản Đường giao thông. Kịch bản cuối cùng, Bão, bao gồm cả các cú sốc của 3 kịch bản đầu và kịch bản Nước biển dâng cao. Với kịch bản Nước biển dâng thấp, tác động của bão do dâng bão nhỏ và không trình bày.

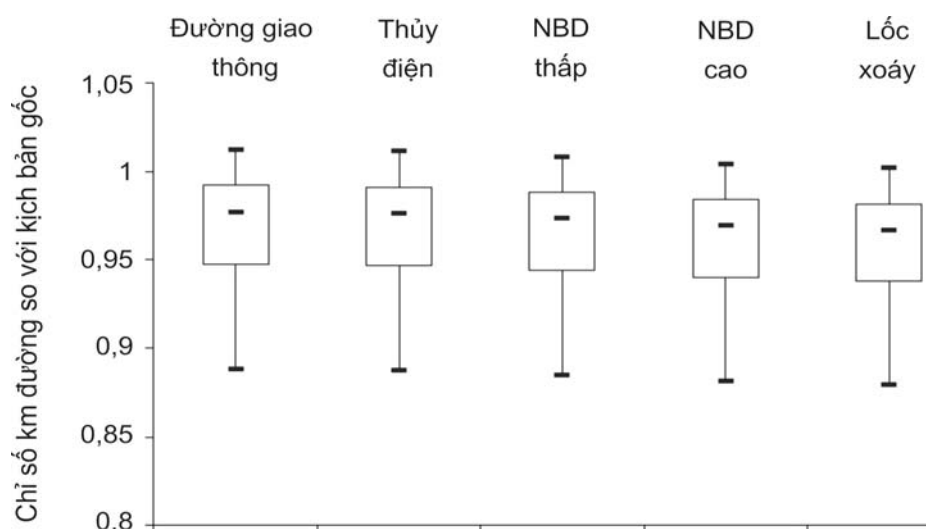
Đồ thị 8 trình bày giá trị GDP thực trung bình của giai đoạn 2046-2050 của tất cả các kịch bản. Giá trị trung bình được xem xét để tránh tác động của các cú sốc vào từng năm cụ thể. Bắt đầu với kịch bản Nông nghiệp, tác động của biến đổi khí hậu tương đối nhẹ khi chưa tính đến ảnh hưởng của nước biển dâng. Hay nói cách khác, trong kịch bản này, chỉ có tác động qua ảnh hưởng đến năng suất cây trồng tôm tất trong Đồ thị 4 và thiếu cung nước cho thủy lợi tôm tất trong Đồ thị 5 được tính đến. Tác động của những cú sốc này đối với nền kinh tế và tăng trưởng là tương đối thấp bởi hai lý do. Thứ nhất, bản thân các cú sốc không lớn xét trên mọi khía cạnh. Thứ hai và quan trọng là tỷ trọng nông nghiệp trong GDP giai đoạn 2046-2050 không lớn. Tỷ trọng này chỉ dao động ở khoảng 7% đến 8% GDP cho tất cả các kịch bản. Bởi vì tỷ trọng nông nghiệp giảm (đây là xu hướng thực tế), những thay đổi hoặc suy giảm trong nông nghiệp sẽ có ảnh hưởng không đáng kể đến nền kinh tế và tốc độ tăng trưởng chung.

Đối với kịch bản Đường giao thông ở Đồ thị 8, tác động của biến đổi khí hậu trở lên mạnh hơn và cũng có thể tích cực nhưng có khả năng tác động tiêu cực nhiều hơn ở tầm quốc gia. Những tác động này được truyền từ mô hình CliRoad (không bao gồm tác động lên hệ thống đường do nước biển dâng). Đồ thị 9 cung cấp phân bổ độ dài hệ thống đường so với kịch bản gốc không có biến đổi khí hậu. Như đã đề cập ở trên, CliRoad được lồng ghép trực tiếp vào mô hình DCGE. Độ dài hệ thống đường ảnh hưởng đến tốc độ tăng năng suất các yếu tố tổng hợp trong mô hình. Thêm vào đó, đầu tư vào hệ thống đường được giả định tỷ lệ thuận với tốc độ tăng chi tiêu chính phủ. Kết quả của các tương tác này là độ dài hệ thống đường khác nhau trong các kịch bản.

Đồ thị 8: GDP thực theo giá sản xuất (trung bình giai đoạn 2046-2050)



Đồ thị 9: Chỉ số độ dài hệ thống đường so với kịch bản gốc (trung bình giai đoạn 2046-2050).



Trong một số kịch bản, hệ thống đường dài hơn so với kịch bản gốc. Các kịch bản khô hơn có xu hướng thuận lợi hơn cho độ dài hệ thống đường do không bị lũ và mưa làm xói mòn. Tuy nhiên, hầu hết các kịch bản làm giảm độ dài của hệ thống đường. Điều này do 3 nguyên nhân. Thứ nhất, tất cả các kịch bản biến đổi khí hậu GCM đều làm nhiệt độ tăng. Nhiệt độ tối đa càng cao càng nâng cao tốc độ xuống cấp của đường trừ khi đường được thiết kế có thể chống chịu được với nhiệt độ cao. Trong mô hình, thiết kế này không được xem xét do đó nhiệt độ tăng làm tăng chi phí duy tu đường, giảm đầu tư xây đường mới. Thứ hai, mặc dù lượng mưa trên cả nước giảm nhẹ nhưng cường độ mưa có xu hướng tăng lên dẫn đến tăng tốc độ xói mòn đường giao thông, đặc biệt là đường đất. Thứ ba, gia tăng cường độ mưa trong hầu hết các kịch bản dẫn đến tăng nhẹ tần suất và cường độ lũ lụt. Trong một vài kịch bản GCM, lũ lụt với quy mô lớn trở lên thường xuyên hơn dẫn đến giảm hệ thống đường.

Xuống cấp hay phá hủy cơ sở hạ tầng khác với tác động nông nghiệp bởi vì những tác động này diễn ra trong thời gian dài. Một khi đường bị cuốn trôi, tác động tiêu cực của nó vẫn còn đến tận lúc đường được làm lại. Tuy nhiên, với nguồn lực cho đường giao thông là cố định, việc làm lại đường do lũ cuốn trôi làm giảm nguồn lực cho việc xây đường mới hoặc sửa chữa duy tu hệ thống đường hiện có. Vì vậy, đối với đường giao thông, biến đổi khí hậu ảnh hưởng đến hệ thống đường hiện có và do đó ảnh hưởng đến tốc độ tăng năng suất của các ngành sản xuất. Do tác động đó có tính cộng dồn nên càng lớn theo thời gian. Ngược lại, trong nông nghiệp, biến đổi khí hậu ảnh hưởng đến sản xuất trong một thời gian nhất định nhưng không nhất thiết ảnh hưởng đến tốc độ tăng của tiềm năng sản xuất theo thời gian. Nếu điều kiện tăng trưởng không thuận lợi, sản xuất giảm, và điều kiện thuận lợi thì sản xuất tăng.

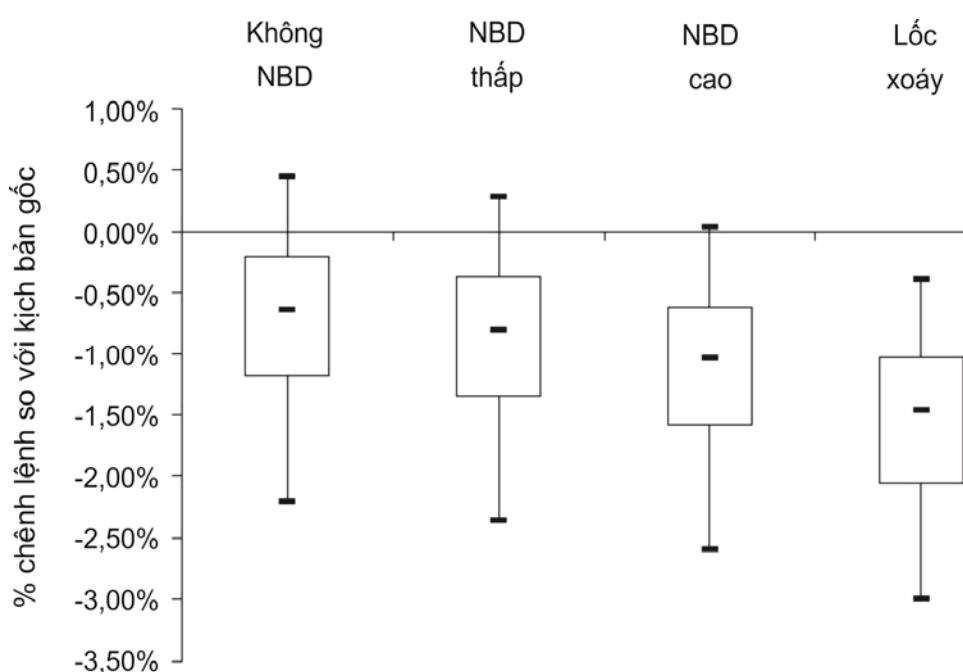
Kịch bản thứ ba được diễn tả trong Đồ thị 8, bổ sung thêm cú sốc liên quan đến thủy điện. Như đã trình bày trong Đồ thị 3, tác động đến thủy điện về cơ bản ở xung quanh giá trị 0 trong những năm 2040. Tuy nhiên, trong những năm 2020 và 2030 khi thủy điện chiếm tỷ trọng lớn trong nguồn điện, tác động có thể tiêu cực. Những ảnh hưởng này làm giảm nhẹ tốc độ tăng trưởng trong giai đoạn và dẫn đến giảm nhẹ GDP bình quân giai đoạn 2046-2050 ở tất cả các kịch bản.

Tác động của nước biển dâng như chỉ ra trong Đồ thị 8 tiêu cực ở tất cả các kịch bản, làm GDP giảm. Nước biển dâng không liên quan tới kịch bản GCM lựa chọn. Vì vậy, cú sốc nước biển dâng như nhau được mô phỏng cho tất cả các kịch bản. Có hai yếu tố chi phối thiệt hại từ nước biển dâng là thiệt hại đất nông nghiệp và thiệt hại hệ thống đường giao thông. Như đã nhấn mạnh ở trên, số liệu về độ cao so với mặt nước biển được đo bằng mét trong khi biến đổi khí hậu làm cho nước biển dâng khoảng 38 cm trước năm 2050 (có thể lớn hơn nhiều tới năm 2100). Kết quả là không thể phân tích tác động chính xác của nước biển dâng nếu không có thêm các giả định. Chúng tôi, giả định rằng với 38 cm nước biển dâng, 38% diện tích ngập khoảng 1 mét so với mực nước biển sẽ không thể sản xuất được. Chúng tôi cũng giả định rằng diện tích này bao gồm cấu thành cơ bản của đất nông nghiệp và hệ thống đường giao thông. Các loại vốn khác như máy móc, nhà cửa bị ảnh hưởng trong kịch bản Bảo sẽ được trình bày ngay dưới đây.

Kịch bản Bảo xem xét tác động kết hợp của bão và nước biển dâng so với kịch bản gốc. Như đã thảo luận, chúng tôi giả định không có sự thay đổi về tần suất và cường độ của các cơn bão. Hầu hết các phá hủy của bão là do tốc độ gió, tuy nhiên, yếu tố này được giữ cố định cho cả kịch bản gốc và các kịch bản khác. Như vậy, tác động của bão do biến đổi khí hậu sẽ là tác động kết hợp giữa dâng bão và nước biển dâng. Nước biển dâng 38 cm làm dâng bão ảnh hưởng sâu hơn nữa vào đất liền và tăng đất ngập lụt trong vùng bị ảnh hưởng.

Tuy nhiên, tổng tác động kinh tế không quá lớn. Đồ thị 10 cho thấy phần trăm suy giảm của GDP giai đoạn 2046-2050. Kịch bản Không có nước biển dâng là kịch bản Thủy điện (nghĩa là kết hợp của kịch bản Nông nghiệp, Đường giao thông và Thủy điện). Kịch bản nước biển dâng thấp gây tác động ít nhất trong các kịch bản. GDP trong giai đoạn đó nằm trong khoảng +, - 0,25 và - 2,5% với hầu hết các kết quả rơi vào khoảng -0,5 đến -1,5%. Với kịch bản Nước biển dâng cao và Bảo, GDP trong giai đoạn 2046-2050 thấp hơn từ 0,5 đến 3,0%.

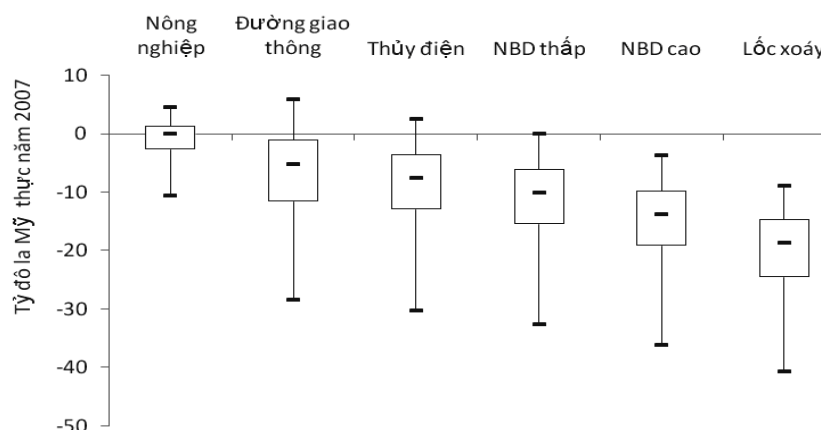
Đồ thị 10: Giảm GDP thực so với kịch bản gốc (trung bình giai đoạn 2046-2050)



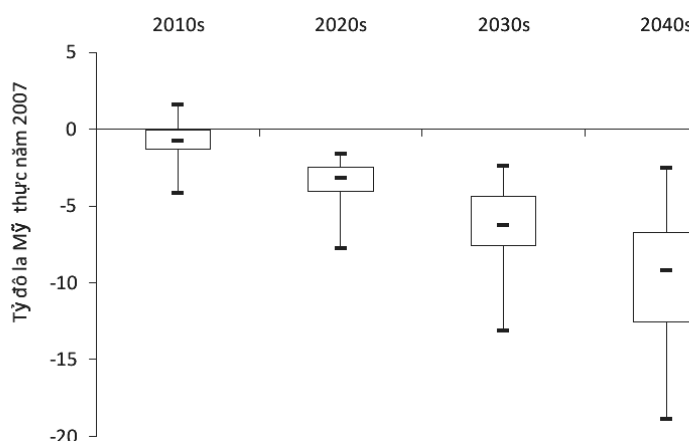
Bởi vì tăng trưởng là một quá trình, những suy giảm GDP nói trên dẫn đến giảm sút nhỏ tốc độ tăng trưởng trung bình hàng năm trong giai đoạn mô phỏng (2007-2050). Trong kịch bản Bão, tốc độ tăng GDP bình quân giảm từ 0,01 điểm phần trăm đến 0,08 điểm phần trăm. Hay nói một cách khác, nếu tốc độ tăng trưởng bình quân hàng năm của kịch bản gốc không có biến đổi khí hậu là 5,4% thì tốc độ tăng trưởng cho kịch bản có biến đổi khí hậu dao động trong khoảng 5,32 đến 5,39%.

Trong khi biến đổi khí hậu không làm suy giảm nhiều tốc độ tăng trưởng kinh tế bình quân trong 40 năm tới thì tác động của nó không hề nhỏ. Thêm vào đó, phân tích cho thấy biến đổi khí hậu gây cản trở nền kinh tế và đến năm 2040 trở lên tương đối lớn. Giá trị hiện tại thuần của thiệt hại theo kịch bản được minh họa trong Đồ thị 11 và theo thập kỷ của kịch bản Bão trong Đồ thị 12. Giá trị hiện tại ròng của thiệt hại có thể lên đến khoảng 40 tỷ USD năm 2007 trong trường hợp xấu nhất. Thiệt hại ước tính trong khoảng từ 8 đến 21 tỷ USD. Mặc dù có trường hợp có những tác động tích cực khi không có nước biển dâng, các kịch bản khi bao gồm tất cả các tác động (kịch bản Nước biển dâng thấp, Nước biển dâng cao và Bão) đều tạo ra giá trị hiện tại thuần âm. Đồ thị 12 nhấn mạnh rằng mặc dù tỷ lệ chiết khấu chỉ có 5%, giá trị hiện tại thuần của các tác động của biến đổi khí hậu tăng theo thời gian và cao nhất vào những năm 2040. Điều này là do tác động tất yếu của nước biển dâng.

Đồ thị 11: Giá trị hiện tại thuần của thiệt hại theo kịch bản (2008-2050).



Đồ thị 12: Giá trị thiệt hại hiện tại thuần theo thập kỷ của kịch bản Bão.



Chú thích: Tỷ lệ chiết khấu 5% cho cả 2 đồ thị 11 và 12.

Tóm tắt và kết luận

Tính đến năm 2050, những biến đổi về khí hậu có thể xảy ra là: nhiệt độ tăng 1 đến 2 độ C; lượng mưa có xu hướng giảm nhẹ và lượng nước bốc hơi tăng nhẹ. Sự kết hợp giữa giảm nhẹ lượng mưa với tăng nhẹ nước bốc hơi dẫn đến thời tiết sẽ khô hơn. Dòng nước cũng có sự thay đổi nhẹ, khả năng tăng và giảm là như nhau (giá trị trung vị giảm nhẹ). Những thay đổi này không đủ mạnh để tạo ra sụt giảm lớn về sản lượng nông nghiệp và cũng không gia tăng mạnh các hiện tượng thời tiết cực đoan ví dụ như lụt lội, có thể đe dọa đến cơ sở hạ tầng. Hơn thế nữa, sản xuất thủy điện có xu hướng bị ảnh hưởng tiêu cực nhưng không lớn để có thể gây ra một cú phanh gấp cho tăng trưởng kinh tế.

Nước biển dâng có thể tạo nên tác động mạnh nhất, đặc biệt khi nước biển dâng cao và khi kết hợp với bão. Đồng bằng sông Cửu Long đặc biệt dễ bị tổn thương với tỷ lệ đất bị ngập đến năm 2050 là lớn trong kịch bản nước biển dâng cao. Nhìn tổng thể, đến năm 2050 biến đổi khí hậu tác động tiêu cực đến tăng trưởng kinh tế của Việt Nam. Tuy nhiên, dưới góc độ kinh tế vĩ mô, những tác động đến khoảng trước năm 2040 không lớn. Những yếu tố khác có thể đóng vai trò quyết định hơn đối với tăng trưởng kinh tế của Việt Nam trong vòng mấy thập kỷ tới.

Các số liệu ước tính về giá trị thiệt hại hiện tại thuận cho thấy tác động của biến đổi khí hậu có thể đáng quan tâm và nên có chính sách điều chỉnh kịp thời. Những hành động chính sách bao gồm:

- Đầu tư vào hệ thống thông tin để theo dõi tác động của biến đổi khí hậu, bao gồm nâng cấp hệ thống thông tin địa lý, tập trung vào dữ liệu độ cao so với mặt nước biển đối với những tỉnh có độ cao thấp, ven sông và theo dõi dự báo quốc tế về nước biển dâng;
- Phát triển và đa dạng hóa cây trồng chịu nhiệt;
- Nâng cao hiệu quả sử dụng nước;
- Thay đổi tiêu chuẩn thiết kế cơ sở hạ tầng để đối phó với sự thay đổi thường xuyên của khí hậu và thời tiết nóng lên ví dụ như thiết kế đường giao thông.

Mối quan tâm chính sách lớn nhất là tác động của nước biển dâng kết hợp với bão. Về cơ bản, có hai lựa chọn chủ động. Thứ nhất, chính phủ Việt Nam có thể hướng các hoạt động kinh tế đầu tư đến các địa điểm cao. Thứ hai, chính phủ đầu tư chuẩn bị cơ sở hạ tầng hạn chế những tác động tiêu cực của nước biển dâng trong tương lai. Những lựa chọn này không loại trừ nhau và các quyết định ứng phó với biến đổi khí hậu không nhất thiết phải ban hành ngay lập tức. Tuy nhiên, trong khi cần có thêm các nghiên cứu khác, kết quả nghiên cứu hiện nay cho thấy hướng các hoạt động vào vùng đất cao hơn có thể có hiệu quả kinh tế và chắc chắn đỡ rủi ro hơn. Lý do để phản đối đầu tư cho cơ sở hạ tầng là vấn đề về vốn đầu tư. Cả chi phí của việc xây đê bao cũng như vốn đổ vào đó đều có thể phải đối mặt với rủi ro là khu vực đó nằm trong vùng ảnh hưởng đáng kể của bão. Vì vậy, lựa chọn đầu tư cơ sở hạ tầng để ứng phó với biến đổi khí hậu luôn có chịu rủi ro là tổn thất rất lớn. Đối với chiến lược chuyển dần các hoạt động sản xuất lên vùng đất cao, các hoạt động được thực hiện dần dần do đó có hiệu quả nhưng cần được triển khai sớm, trong vòng 10 năm tới, đặc biệt trong trường hợp nếu dự báo về kịch bản nước biển dâng cao trở thành hiện thực.

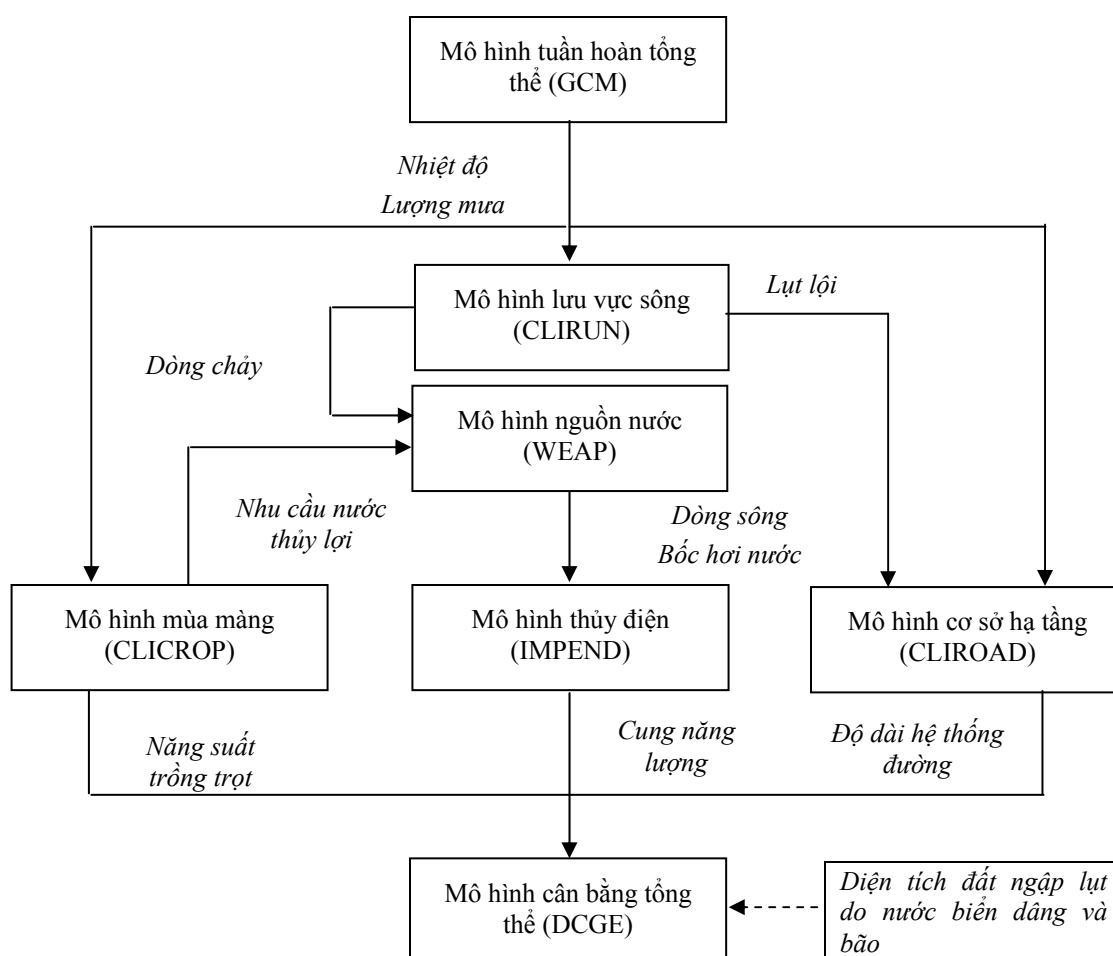
TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN TĂNG TRƯỞNG VÀ PHÁT TRIỂN KINH TẾ CỦA VIỆT NAM

1. Giới thiệu

Giống như ở nhiều nước, Việt Nam quan tâm đến tác động của biến đổi khí hậu đến tăng trưởng và phát triển kinh tế. Báo cáo này trình bày phân tích tổng hợp về tác động của biến đổi khí hậu cho Việt Nam. Báo cáo tập trung phân tích tác động đến năm 2050. Ba yếu tố trong phân tích cần được đề cập ở đây. Thứ nhất, cách tiếp cận cấu trúc từ dưới lên được áp dụng ở nghiên cứu này. Các phân tích dựa vào hàng loạt mô hình cấu trúc nối những kịch bản biến đổi khí hậu với kết quả về kinh tế. Thứ hai, so với các phân tích tác động khác, cách tiếp cận trong báo cáo này tương đối tổng hợp, xem xét 6 kênh tác động quan trọng: sản lượng cây trồng, nước cho thủy lợi, sản xuất thủy điện, hệ thống đường giao thông, nước biển dâng và bão. Cuối cùng, phân tích xem xét dự báo khí hậu của 56 kịch bản của mô hình tuần hoàn tổng thể (GCM), sử dụng trong Báo cáo đánh giá lần thứ tư của IPCC. Sự kết hợp giữa 3 yếu tố trên làm cho báo cáo mang nét đặc trưng riêng biệt và cho phép những phân tích chi tiết về tác động của biến đổi khí hậu cho Việt Nam. Việc sử dụng nhiều kịch bản biến đổi khí hậu đặc biệt quan trọng. Kết quả biến đổi khí hậu rất khác nhau qua các kịch bản. Do đó, việc lựa chọn một số kịch bản biến đổi khí hậu thay vì lựa chọn các kịch bản khác có thể ảnh hưởng lớn đến các kết luận đưa ra. Ở đây, các kết quả về biến đổi khí hậu của 56 kịch bản được sử dụng.

Cách tiếp cận được trình bày trong Đồ thị 1-1. Đồ thị chỉ ra các dòng thông tin trong hệ thống phân tích. Như được trình bày trong đồ thị, dự báo về khí hậu cho kịch bản gốc và kịch bản biến đổi khí hậu khác được chuyển tải sang tác động kinh tế qua các mô hình chuyên dụng. Đó là mô hình về lưu vực sông và nguồn nước, 3 mô hình ngành xem xét tác động biến đổi khí hậu đến nông nghiệp, năng lượng và cơ sở hạ tầng. Mô hình lưu vực sông quyết định dòng chảy trong mô hình nguồn nước, sau đó mô hình này ước lượng lượng nước cho sản xuất thủy điện và đáp ứng nhu cầu thủy lợi. Mô hình lưu vực sông cũng dự đoán tần suất và cường độ lũ, cùng với lượng mưa và nhiệt độ quyết định giá trị đường bị phá hủy trong mô hình cơ sở hạ tầng đường. Xem xét tác động của biến đổi khí hậu ảnh hưởng đến nông nghiệp trong mô hình trồng trọt. Cuối cùng, kết quả của các mô hình trên được chuyển tải sang mô hình kinh tế đa ngành để ước tính tác động kinh tế của biến đổi khí hậu. Chúng tôi, cũng xem xét kênh tác động ngành thứ tư quyết định thiệt hại về đất, cơ sở hạ tầng và vốn từ nước biển dâng cũng như kết hợp giữa nước biển dâng và bão.

Đồ thị 1-1: Khung mô hình tích hợp.



Nguồn: Nhóm tác giả

Phân tích sâu trình bày trong báo cáo được xuất phát từ những vấn đề đáng được quan tâm đề cập trong các nghiên cứu. Dasgupta và cộng sự (2007) chỉ ra tính dễ bị tổn thương trong trường hợp nước biển dâng. Adger (1999) đề cập đến tổn thương xã hội, tập trung vào vùng duyên hải của Việt Nam. Gần đây nhất, Yu và cộng sự (2010) cho rằng “Việt Nam có thể là một trong những nước bị tác động mạnh nhất của biến đổi khí hậu” thông qua nghiên cứu tập trung hoàn toàn vào khu vực nông nghiệp. Ngân hàng thế giới (2010c) trình bày nỗ lực đầu tiên trong đánh giá tác động đến tăng trưởng trong tương lai. Nghiên cứu cho thấy biến đổi khí hậu sẽ tác động đáng kể tới một số khu vực và một số ngành; tuy nhiên, tác động kinh tế vĩ mô có thể tương đối thấp, ít nhất là đến năm 2050. Tuy nhiên, nghiên cứu này chỉ sử dụng ba kịch bản biến đổi khí hậu và xem xét một số ít kênh tác động.

Báo cáo này có cấu trúc như sau: Phần 2 tóm tắt các kịch bản biến đổi khí hậu qua 56 vòng chạy của GCM. Mục 3 đến 6 tóm tắt cách thức xem xét tác động kinh tế của các kịch bản biến đổi khí hậu. Mục 7 trình bày kết quả tập trung vào tăng trưởng kinh tế đến năm 2050. Mục 8 tóm tắt và kết luận. Chúng tôi phát hiện rằng GDP giai đoạn 2046-2050 có thể cao hơn khoảng 0,25% và thấp hơn khoảng 3,0%, trong đó hầu hết các kịch bản rơi vào khoảng -0,5 đến - 2,0%. Bởi vì tăng trưởng là một quá trình, vì vậy mức sụt giảm đó chiếm tỷ trọng nhỏ trong tốc độ tăng trưởng hàng

năm trung bình giai đoạn mô phỏng (2007-1050). Trong kịch bản Bảo, tốc độ tăng trưởng trung bình hàng năm giảm khoảng từ 0,012 đến 0,08 điểm phần trăm.

Trong khi biến đổi khí hậu không gây ra sự suy giảm nhiều trong tốc độ tăng trưởng kinh tế trung bình của 40 năm tới, ý nghĩa của nó không nhỏ. Thêm vào đó, phân tích chỉ ra rằng biến đổi khí hậu gây cản trở đến nền kinh tế ngày càng mạnh hơn và đặc biệt lớn trước những năm 2040. Giá trị thiệt hại hiện tại ròng (với chiết khấu 5%) trong trường hợp xấu nhất lên tới 40 tỷ USD (giá năm 2007). Mức thiệt hại trung bình nằm trong khoảng 8 đến 21 tỷ USD. Hơn thế nữa, mặc dù với tỷ lệ chiết khấu 5%, giá trị thiệt hại hiện tại ròng do biến đổi khí hậu tăng dần theo thời gian và lên đến đỉnh điểm vào những năm 2040. Hậu quả là, đặc biệt trong trường hợp thiếu vắng chính sách giảm thiểu toàn cầu, tác động lớn hơn nhiều có thể xảy ra trong nửa cuối thế kỷ 21 với sự kết hợp của kịch bản nước biển dâng và bão gây ra thảm họa lớn.

2. Các kịch bản biến đổi khí hậu

Biến đổi khí hậu trong tương lai rất khó định đoán do sự phức tạp của hệ thống khí quyển trái đất và do các yếu tố tác động của loài người. Các mô hình tuần hoàn tổng thể (GCM) hiện nay phỏng đoán nhiều kịch bản biến đổi khí hậu, đặc biệt ở tầm quốc gia (xem Solomon và cộng sự, 2007). Điều này do sự khác biệt trong khoa học mô hình hóa hệ thống khí hậu toàn cầu và do sự không chắc chắn trong việc nền kinh tế toàn cầu sẽ vận hành như thế nào trong nhiều thập kỷ tới. Sự không chắc chắn đó ngụ ý rằng các mô hình GCM phải được sử dụng để dự báo biến đổi khí hậu trong tương lai cho nhiều kịch bản phát thải có thể dựa trên các giả định khác nhau về dân số trong tương lai, tiến bộ công nghệ, hiệp định toàn cầu về giảm thải các bon.

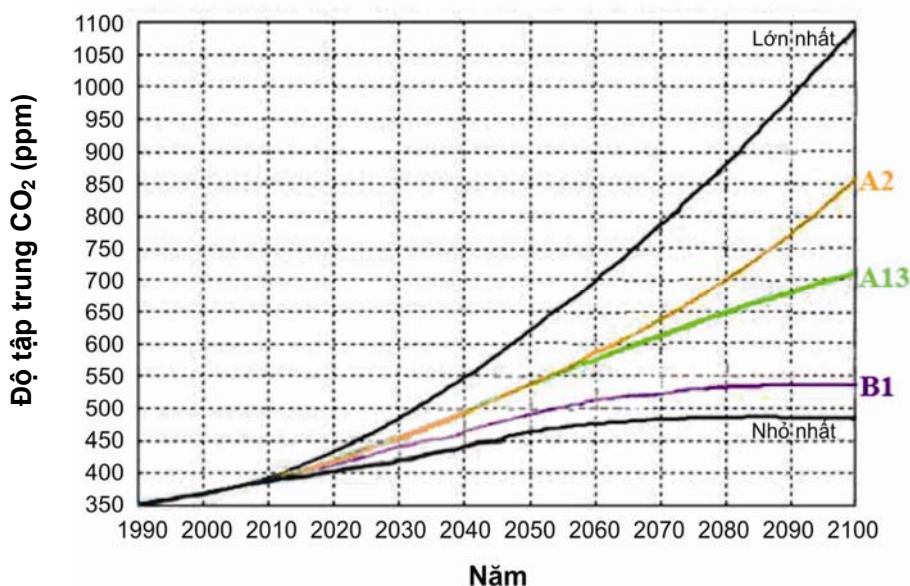
Được trình bày lần đầu tiên tại Báo cáo đặc biệt về kịch bản phát thải của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC) (2000), kịch bản phát thải A2, A1B, và B1 đại diện ba kịch bản của thế kỷ 21 với 2 giả định về tác động của con người tới biến đổi khí hậu. Trong kịch bản A2, toàn cầu hóa tiến triển không nhanh lắm, chủ yếu là hội nhập trong từng khu vực, tăng dân số tương đối nhanh, tăng trưởng GDP tăng tương tự như kịch bản gốc, sử dụng năng lượng toàn cầu tương đối lớn, sử dụng đất bao hàm duy trì tốc độ hiện nay và có nhiều sự thay đổi, nguồn năng lượng sẵn có không nhiều, thay đổi công nghệ để tăng cường tiết kiệm năng lượng rất chậm và đặc biệt không tập trung vào các giải pháp để giảm thiểu nhằm ứng phó với biến đổi khí hậu.

Kịch bản A1 mô phỏng thế kỷ 21 với tốc độ toàn cầu hóa nhanh hơn, kinh tế khu vực hội nhập với nền kinh tế toàn cầu làm giảm mạnh khoảng cách GDP bình quân đầu người giữa các khu vực. Kịch bản A1B mô phỏng thế kỷ 21 với nền kinh tế toàn cầu hóa cân bằng giữa tiến bộ công nghệ gia tăng hiệu quả sử dụng năng lượng hóa thạch và phát triển công nghệ năng lượng tái tạo. Trong kịch bản này, GDP bình quân đầu người của khu vực kém phát triển tăng để bắt kịp với các nền kinh tế phát triển, tỷ lệ sinh đẻ giảm trên toàn cầu cùng giảm xuống một mức khá thấp. Tốc độ tăng GDP toàn cầu nhanh dẫn đến mức sử dụng năng lượng rất cao trong khi đó tốc độ thay đổi công nghệ nhanh, tập trung vào công nghệ sử dụng năng lượng hiệu quả, giảm thiểu phát thải khí nhà kính. Thay đổi sử dụng đất trong kịch bản này rất ít và nguồn nhiên liệu vẫn trong khả năng đáp ứng như ở nửa cuối thế kỷ 20.

Kịch bản B2 là kịch bản gốc. Tốc độ tăng dân số, tăng GDP, sử dụng năng lượng, sử dụng đất nguồn năng lượng sẵn có và thay đổi công nghệ liên quan đến năng lượng trong thế kỷ 21 vẫn diễn ra bình thường, duy trì tốc độ của nó như nửa cuối thế kỷ 20.

Trong phân tích này, kịch bản A2, B1, và A1B được lựa chọn để thể hiện tương ứng các trường hợp bi quan, lạc quan và trường hợp trung bình. Lượng phát thải CO₂ cộng dồn toàn cầu (GtC) từ 1990 đến 2100 cho những trường hợp này trình bày trong Đồ thị 2-1.

Đồ thị 2-1: Độ tập trung CO₂ được dự báo bởi các kịch bản SRES (IPCC, 2007)

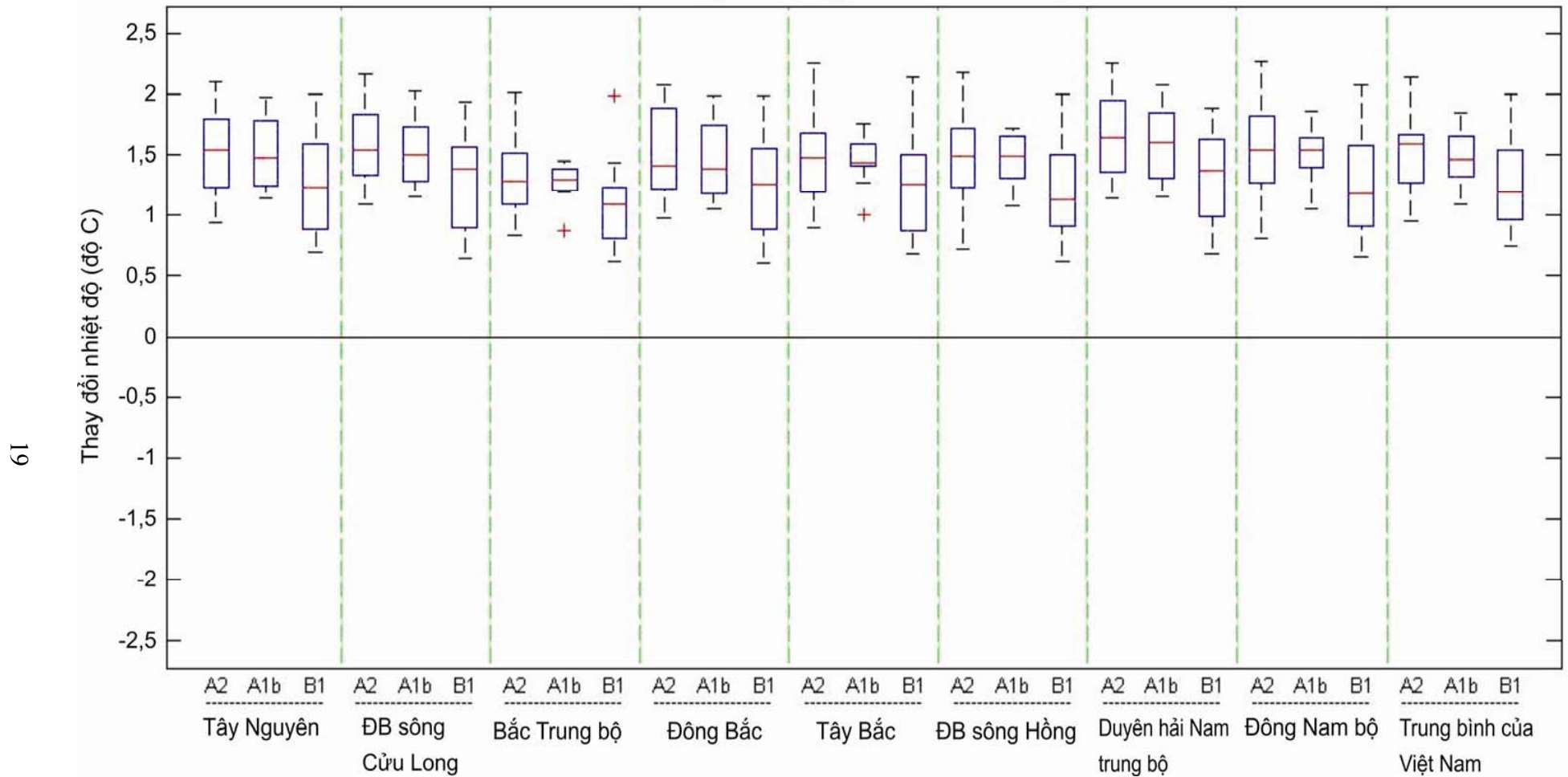


Để bao phủ hết các khả năng biến đổi khí hậu có thể xảy ra, báo cáo này sử dụng kết quả từ 22 mô hình tuần hoàn tổng thể (GCM) cho 3 kịch bản trong báo cáo đặc biệt về phát thải (SRESs) nói trên. Như vậy, báo cáo sử dụng tất cả 56 kịch bản khí hậu trong tương lai, đại diện cho tập hợp kịch bản được xem xét tại Báo cáo đánh giá lần thứ 4 (AR4) (không phải tất cả các kịch bản kết hợp GCM-SRES được xem xét trong AR4).

Kết quả của các mô hình này cho Việt Nam được tóm tắt trong Đồ thị 2-2 đến Đồ thị 2-5 dưới dạng hộp và điểm. Đồ thị 2-2 thể hiện sự gia tăng của nhiệt độ trong cả 3 kịch bản, SRESs (A2, A1B, and B1) và theo khu vực của Việt Nam. Dựa vào những mô hình này, nhiệt độ trung vị bình quân đến năm 2050 tăng khoảng nhỏ hơn 1,5 độ C, với các kết quả hội tụ xung quanh trung vị. Đối với tất cả các khu vực của Việt Nam, nhiệt độ tăng tối thiểu từ dưới 1 độ C đến tối đa là hơn 2 độ C.

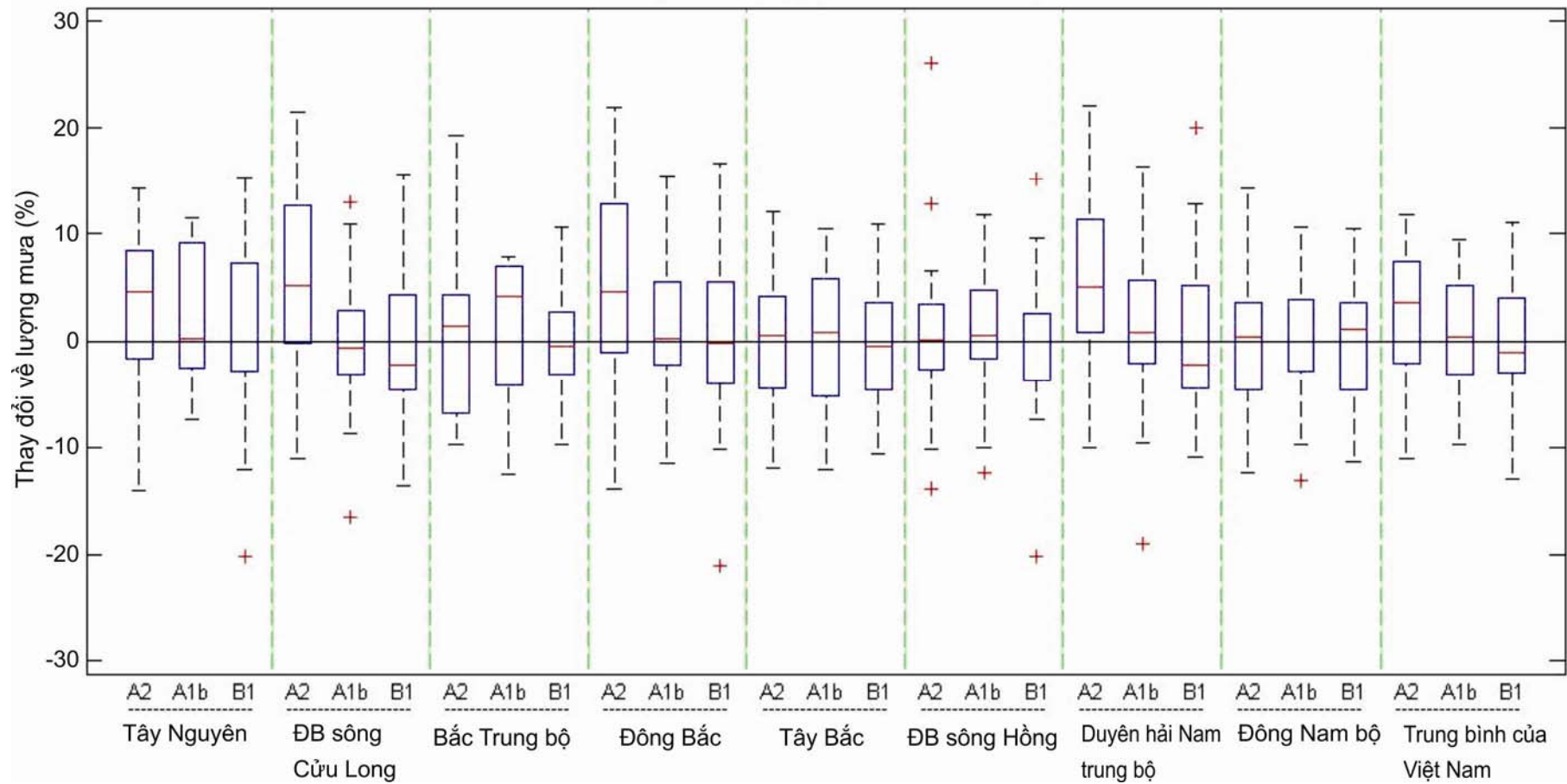
Như Đồ thị 2-3 cho thấy dự báo về lượng mưa không chắc chắn như dự báo về nhiệt độ. Về tổng thể, Việt Nam có khả năng có lượng mưa giảm nhẹ, thay đổi của giá trị trung vị mang dấu âm đối cho tất cả các kịch bản khí hậu. Tuy nhiên, điều kiện khí hậu khô hơn chỉ có khả năng xảy ra nhiều hơn một chút so với khí hậu ẩm hơn ở tầm quốc gia. Sự không chắc chắn này tương tự cho tất cả các vùng. Đối với tất cả các tỉnh và kịch bản SRES, giá trị thay đổi trong khoảng tứ phân vị (thể hiện trong khoảng hộp trong Đồ thị) có cả giá trị tăng và giảm về lượng mưa. Giá trị lớn nhất và nhỏ nhất nằm trong khoảng rất lớn (kể cả khi loại trừ trường hợp ngoại vi), với giá trị tăng chiếm khoảng 10-20% và giảm chiếm khoảng 10-15%. Nếu xem xét cả điểm ngoại vi (dấu + trong Đồ thị) thì khoảng này càng rộng hơn.

Đồ thị 2-2: Thay đổi nhiệt độ trong những năm 2040 so với kịch bản gốc



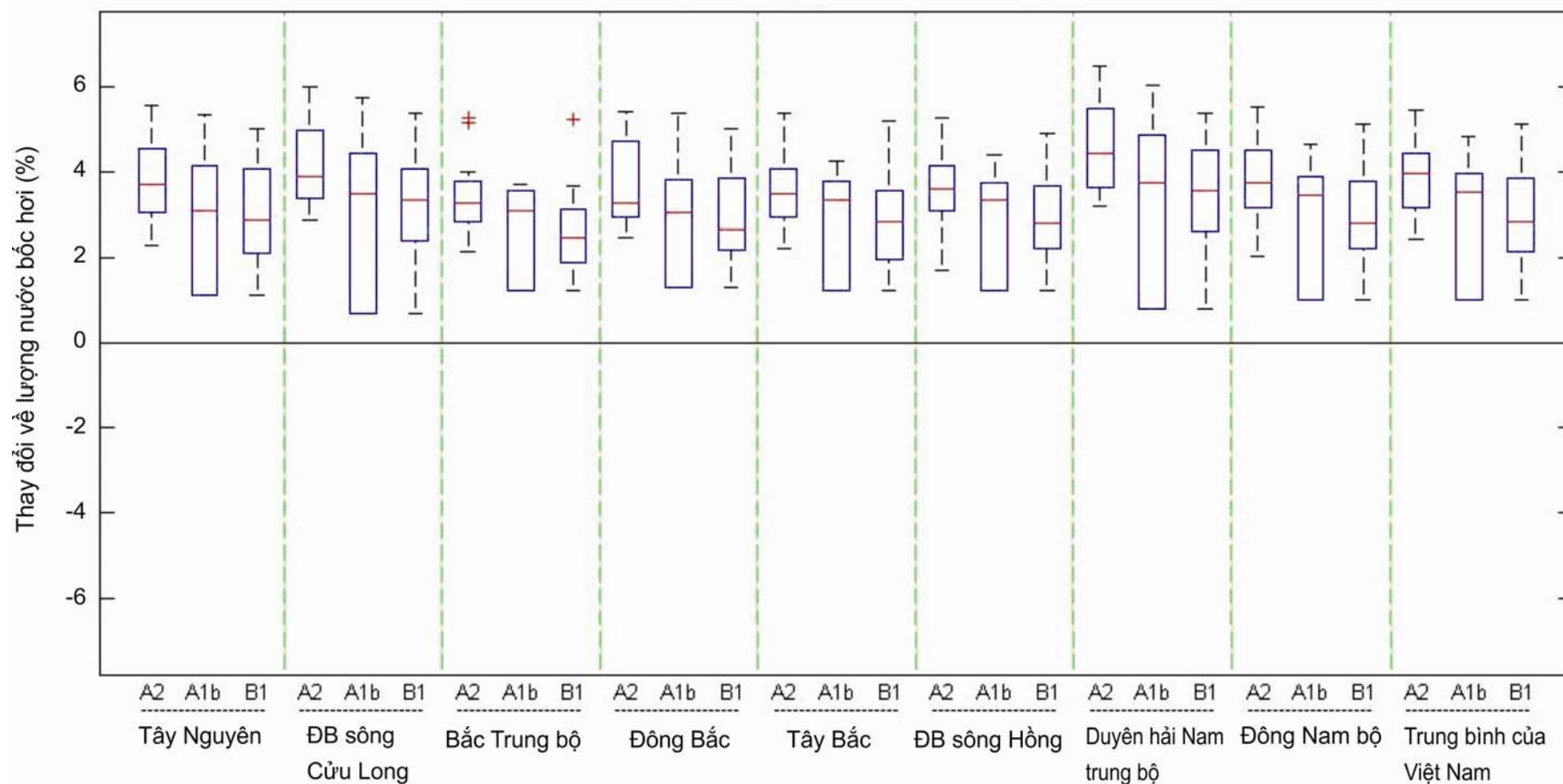
Chú thích: Đường kẻ đồ thể hiện thay đổi nhiệt độ trung vị. Hộp minh họa các kết quả trong khoảng giá trị 25-75% kết quả (khoảng tứ phân vị) và các điểm miêu tả giá trị lớn nhất và nhỏ nhất, ngoại trừ những điểm ngoại vi. Những điểm ngoại vi được thể hiện bằng dấu +.

Đồ thị 2-3: Thay đổi về lượng mưa trong những năm 2040 so với kịch bản gốc



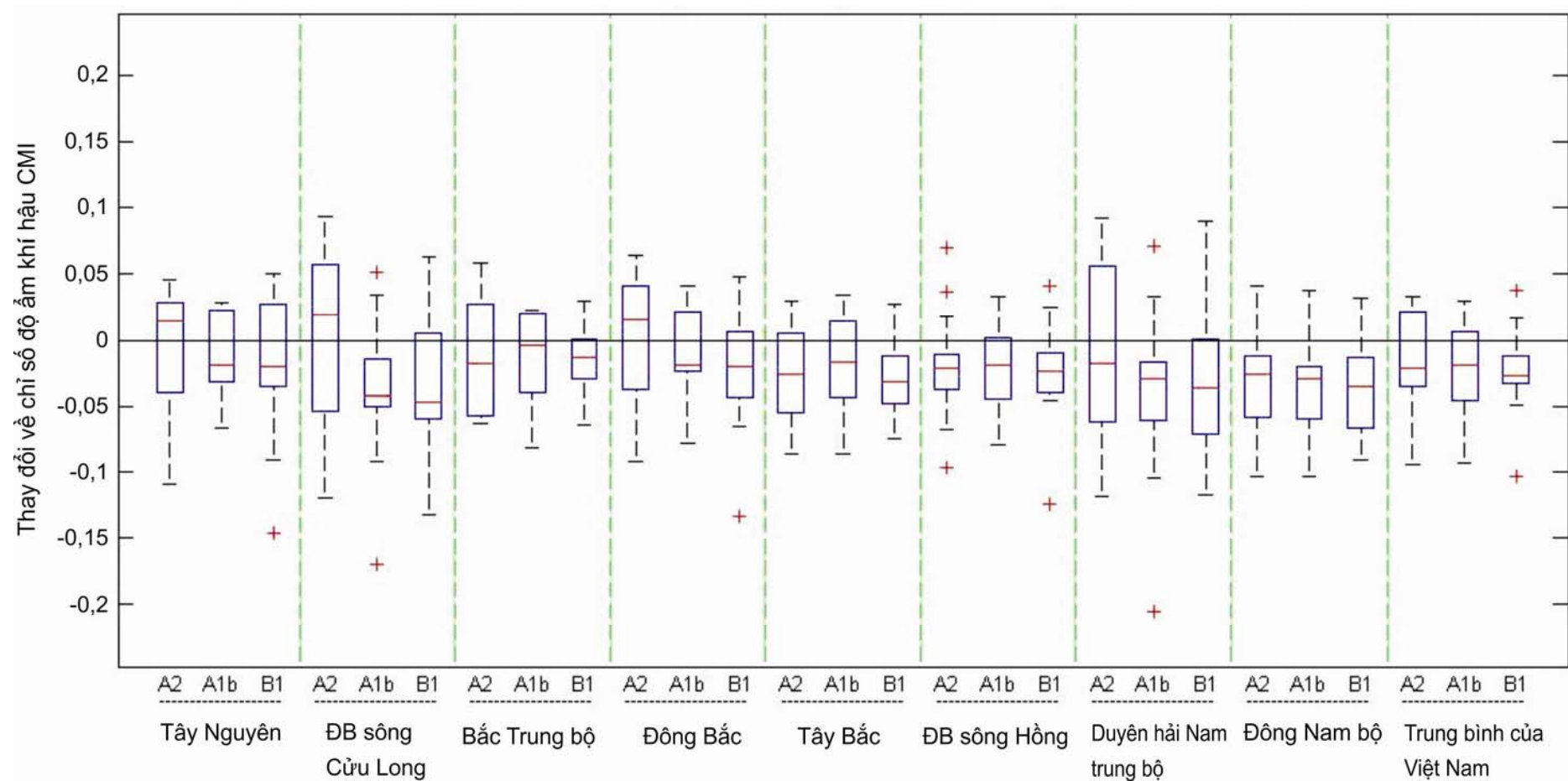
Chú thích: Đường kẻ đỏ thể hiện thay đổi lượng mưa trung vị. Hộp minh họa các kết quả trong khoảng giá trị 25-75% kết quả (khoảng tứ phân vị) và các điểm miêu tả giá trị lớn nhất và nhỏ nhất, ngoại trừ những điểm ngoại vi. Những điểm ngoại vi được thể hiện bằng dấu +.

Đồ thị 2-4: Thay đổi về lượng nước bốc hơi so với kịch bản gốc



Chú thích: Đường kẻ đỏ thể hiện thay đổi lượng nước bốc hơi trung vị. Hộp minh họa các kết quả trong khoảng giá trị 25-75% kết quả (khoảng tứ phân vị) và các điểm miêu tả giá trị lớn nhất và nhỏ nhất, ngoại trừ những điểm ngoại vi. Những điểm ngoại vi được thể hiện bằng dấu +.

Đồ thị 2-5: Thay đổi về chỉ số độ ẩm tương đối so với kịch bản gốc



Đồ thị 2-4 và Đồ thị 2-5 mô phỏng những thay đổi về lượng nước bốc hơi tiềm năng (PET) và chỉ số độ ẩm (CMI). Hai chỉ số này kết hợp với các chỉ số về nhiệt độ và độ ẩm ướt để cho ra một chỉ số tổng hợp thuần. PET miêu tả thay đổi về tỷ lệ bốc hơi nước. PET bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ và độ ẩm. Chỉ số độ ẩm (CMI) (Willmott and Feddema 1992) là chỉ số đo mức độ khô khan của khu vực. CMI phụ thuộc vào lượng mưa trung bình hàng năm (P) và lượng nước bốc hơi (PET). Khí hậu được chia thành tương đối khô (hoặc tương đối ẩm) và khô (ẩm) bởi vì PET tăng (giảm) theo lượng mưa. CMI được xác định như sau:

$$\text{CMI} = -1 + P/\text{PET} \quad \text{nếu } \text{PET} > P$$

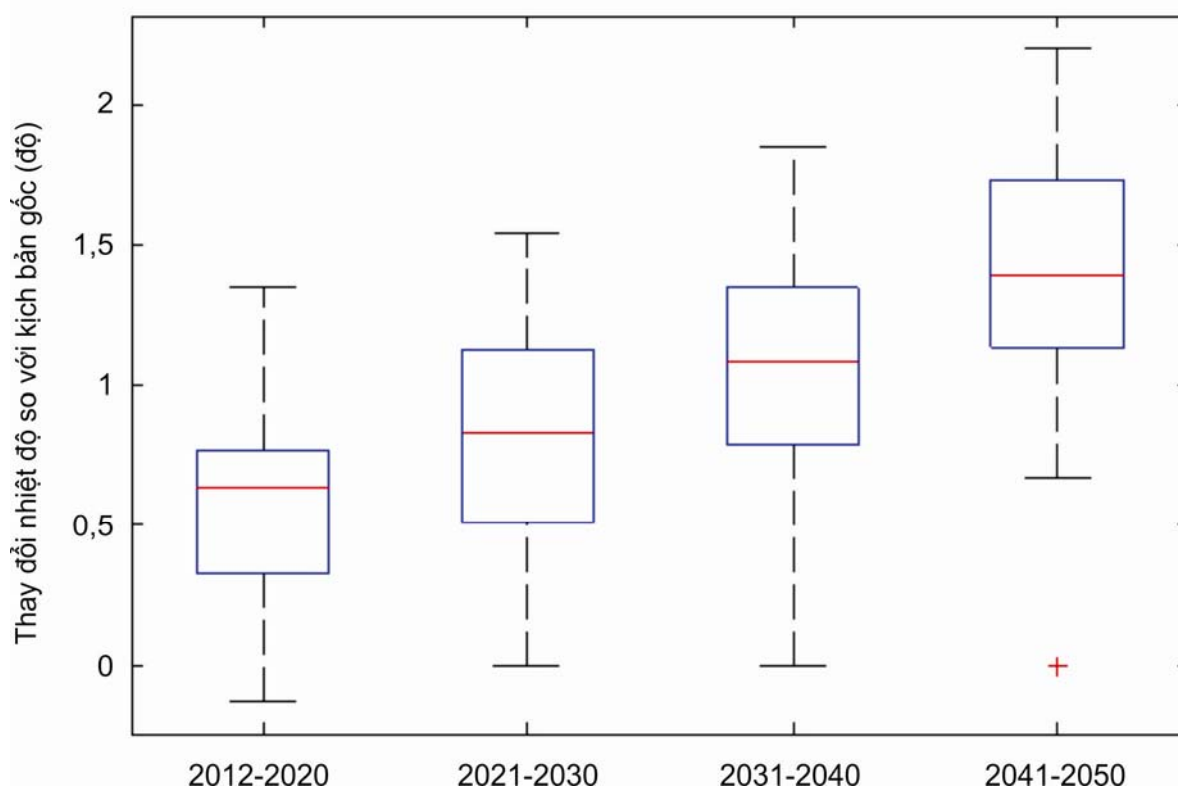
$$\text{CMI} = 0 \quad \text{nếu } \text{PET} = P$$

$$\text{CMI} = 1 - (\text{PET}/P) \quad \text{nếu } \text{PET} < P$$

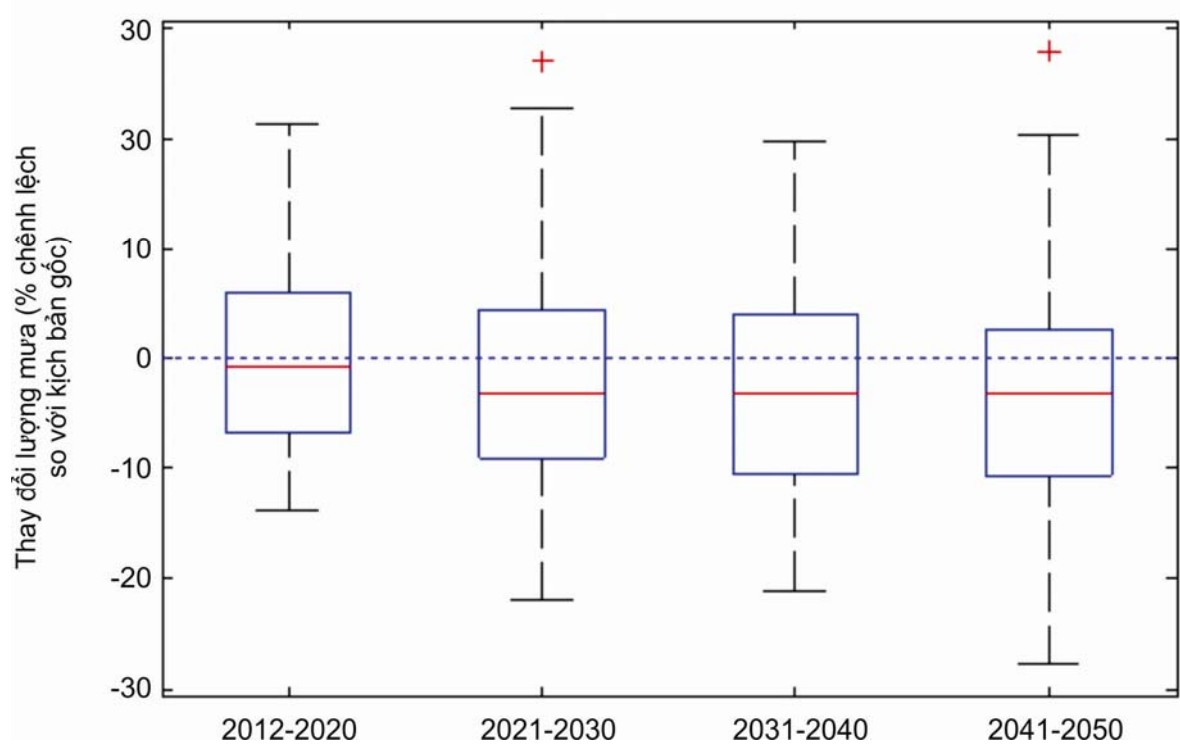
CMI có giá trị -1 là rất khô và +1 là rất ẩm ướt. Trong trường hợp Việt Nam, độ ẩm rất cao nên hạn chế sự thay đổi của PET. Tuy nhiên, PET có xu hướng tăng nhiều hơn so với lượng mưa ở hầu hết các khu vực. Kết quả là theo CMI điều kiện khí hậu ở Việt Nam có xu hướng trở nên khô hơn. Như vậy, một lần nữa, giá trị CMI của Việt Nam trong tương lai tương đối không chắc chắn, đặc biệt đối với các vùng.

Theo xu hướng qua các thập kỷ, thay đổi trung bình về nhiệt độ với so với kịch bản gốc của 56 mô hình GCM được trình bày trong đồ thị 2-6. Xu hướng thập kỷ đối với lượng mưa theo khu vực được trình bày trong Đồ thị 2-7, Đồ thị 2-8 và Đồ thị 2-9.

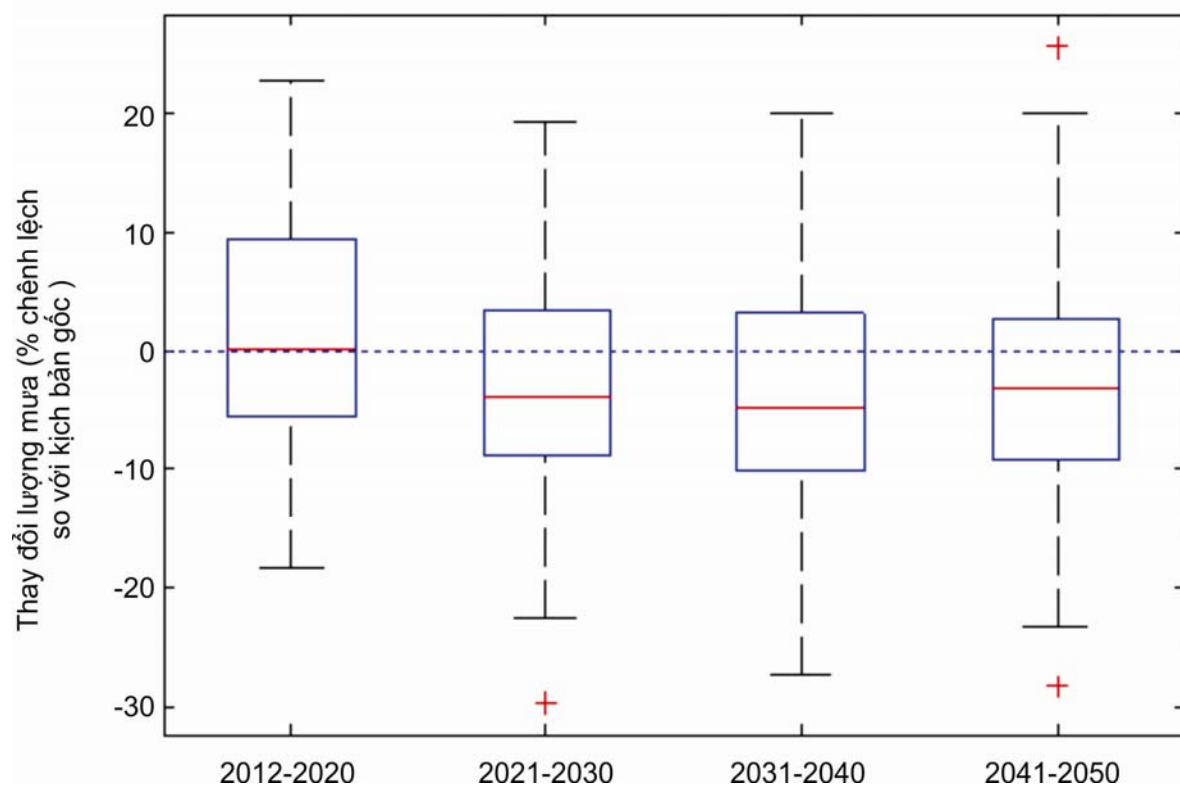
Đồ thị 2-6: Thay đổi nhiệt độ so với kịch bản gốc (2011-2050)



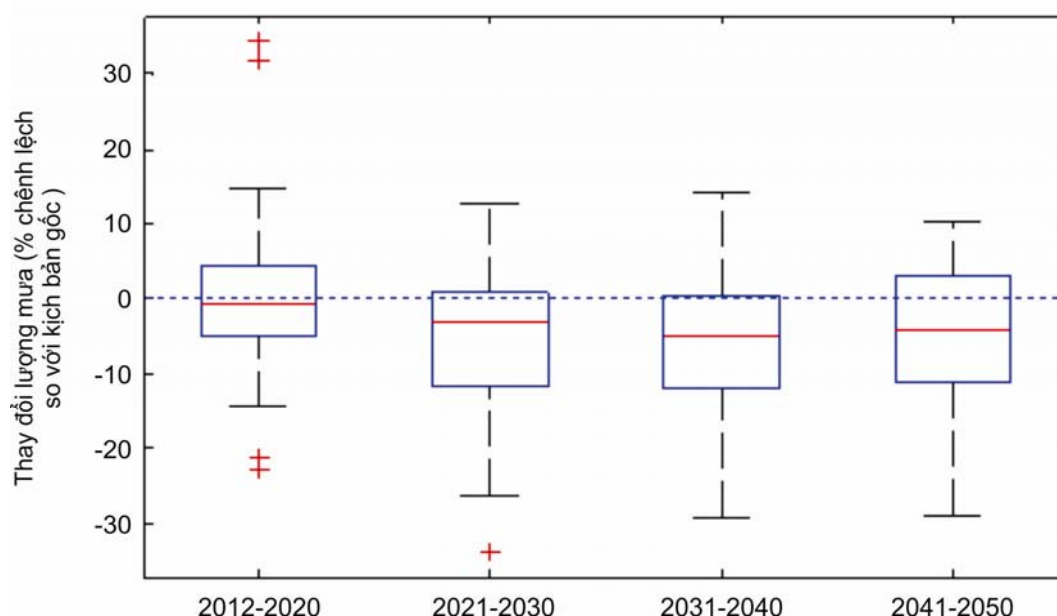
Đồ thị 2-7: Thay đổi lượng mưa trung bình cho vùng phía Bắc



Đồ thị 2-8: Thay đổi lượng mưa trung bình cho khu vực miền Trung



Đồ thị 2-9: Thay đổi lượng mưa trung bình cho phía Nam



Mô hình GCM dự báo rất tốt xu hướng khí hậu nhưng khó có thể cho biết sự thay đổi thời tiết theo từng ngày. Tương tự như các nghiên cứu của Yates và Strzepek (1998), Gleick (1991), Hulme (1989) và Arndt và cộng sự (2011), nghiên cứu này sử dụng cách tiếp cận “delta” để ước lượng lượng mưa và nhiệt độ trong tương lai. Theo cách tiếp cận này, kết quả đầu ra về các biến khí hậu trong mô hình GCM như thay đổi nhiệt độ và lượng mưa được áp vào dữ liệu khí tượng thủy văn quan sát được trong quá khứ của kịch bản cơ sở để xây dựng các kịch bản biến đổi khí hậu. Phương pháp tiếp cận “delta” này được áp dụng vào các biến thời tiết trong chuỗi các quan sát về khí hậu trong quá khứ để tạo ra điều kiện về nhiệt độ và lượng mưa trong tương lai.

Về tổng thể, các kịch bản khí hậu xem xét những biến động đáng kể theo kịch bản GCM/SRES. Điều này đặc biệt chính xác đối với lượng mưa. Tuy nhiên, xu hướng nhiệt độ cũng thay đổi theo khu vực và theo thập kỷ. Bởi vì sự không chắc chắn của 56 kịch bản là như nhau, vì vậy việc xem xét tất cả đầu ra của 56 kịch bản này sẽ mang lại tính chính xác cao hơn là chỉ xem xét một vài kịch bản. Đây là một trong những bước để tiến tới việc xác định các tác động của biến đổi khí hậu một cách chính xác hơn.

3. Nông nghiệp: Tác động của biến đổi khí hậu đến sản lượng trồng trọt và nhu cầu thủy lợi

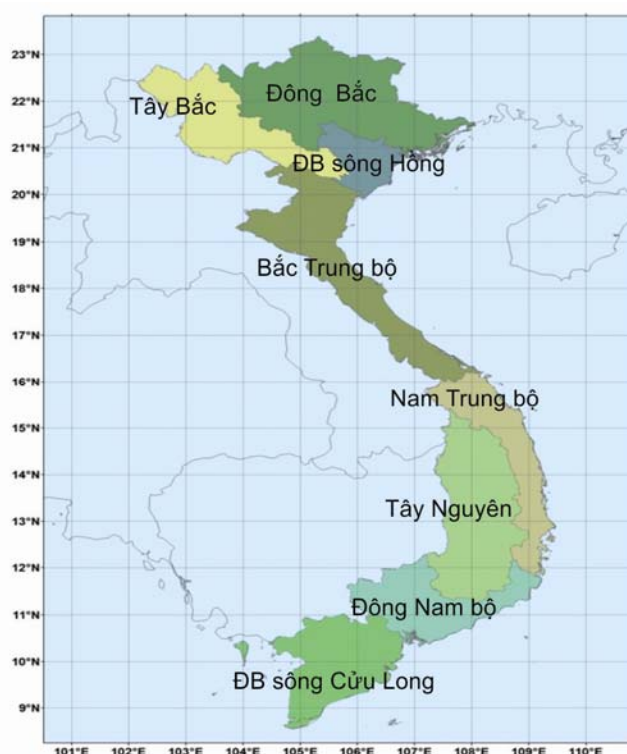
Năm 2005, nông nghiệp và lâm nghiệp chiếm khoảng 16% tổng sản phẩm quốc nội (GDP). Khoảng 60% lực lượng lao động đang tham gia hoạt động trong khu vực nông, lâm, ngư nghiệp. Thay đổi về nhiệt độ, lượng mưa, độ ẩm và độ mặn trung bình đều ảnh hưởng đến trồng trọt, do đó tác động đến kinh tế vĩ mô.

Lúa là cây trồng chính của Việt Nam. Các cây trồng khác bao gồm cà phê, bông, lạc, cao su, đường và chè. Trong nghiên cứu này, lúa, cà phê, cao su, đường, chè, ngô (đại diện cho cây trồng hàng năm) và hạt điều (đại diện cây trồng lâu năm) được mô phỏng đại diện cho nông nghiệp. Việt Nam được chia thành 8 vùng trong phân tích trồng trọt: Miền núi phía Bắc, Đồng bằng sông Cửu

Long, Duyên hải Bắc Trung bộ, Đông Bắc, Tây Bắc, Đồng bằng sông Hồng, Duyên hải Nam trung bộ và Đông Nam bộ.⁽¹⁾ Sản lượng hàng năm và nhu cầu thủy lợi được tính toán cho mỗi vùng và được trình bày trong Đồ thị 3-1 dưới đây.

Các nghiên cứu khác nhau có nhiều dự đoán khác nhau về tác động của biến đổi khí hậu đến trồng trọt nhưng tất cả đều có kết luận chung là khu vực nông nghiệp sẽ bị ảnh hưởng tiêu cực. Zhai và Zhuang (2009) cho thấy biến đổi khí hậu có thể có tác động tiêu cực không nhỏ đến tăng trưởng kinh tế Đông Nam Á. Nghiên cứu này sử dụng kết quả của nghiên cứu của Cline (2007), dự báo biến đổi khí hậu sẽ làm giảm sản lượng trồng trọt xuống khoảng từ 2 đến 15% trước năm 2080. Cline áp dụng kết hợp phương pháp tiếp cận thống kê Ricardian với mô hình trồng trọt vào 6 mô hình Tuần hoàn tổng thể khí hậu (GCM) của IPCC. Yu và cộng sự (2010) kết luận rằng sản xuất lúa sẽ bị “tổn thất nặng nề” do biến đổi khí hậu. Nghiên cứu này sử dụng mô hình trồng trọt WOFOST (Van Diepen và cộng sự, 1989; Boogaard và cộng sự, 1998) kết nối với mô hình thực nghiệm trồng trọt-nguồn nước (Thurlow và cộng sự 2009) để đánh giá tác động của mưa và nhiệt độ đến trồng trọt. Những kết quả này sau đó được nối với mô hình thủy học và mô hình lưu vực sông. Sản xuất lúa ở đồng bằng sông Cửu Long được dự báo sẽ giảm khoảng 13% đến năm 2050 chủ yếu do nước biển dâng. (Yu và cộng sự, 2010). Nghiên cứu giả định nước biển dâng 30cm đến năm 2050. Nghiên cứu sử dụng dự báo khí hậu của 3 mô hình GCM (dự báo ướt, trung bình, khô), bao gồm cả tác động của 30cm nước biển dâng trước 2050, gây ngập lụt và mặn hóa.

Đồ thị 3-1: Vùng của Việt Nam



Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

(1) Phân vùng này tương ứng với phân vùng trong nông nghiệp của mô hình cân bằng tổng thể được trình bày trong mục 7.

3.1. Phương pháp

Nghiên cứu này sử dụng mô hình CliCrop (Strzepek và Fant 2009). Mô hình này là nỗ lực cân bằng giữa tính chính xác và tính đơn giản, tập trung vào ước lượng tác động của biến đổi khí hậu đến nhu cầu thủy lợi và sản xuất trồng trọt phụ thuộc vào mưa. CliCrop là mô hình xem xét sự thiếu hụt nước cho trồng trọt, được sử dụng để tính toán tác động của thay đổi lượng mưa đối với sản lượng trồng trọt và nhu cầu tưới tiêu. Mô hình này được phát triển mở rộng của các mô hình trồng trọt hiện nay, sử dụng số liệu lượng mưa trung bình và nhiệt độ hàng tháng để xác định sản lượng cây trồng. Những mô hình này không nắm bắt được tác động của sự thay đổi chế độ mưa, biến số có tác động mạnh đến sản xuất trồng trọt. Ngược lại với các mô hình hiện nay, CliCrop có thể dự đoán thay đổi của sản lượng cây trồng theo thay đổi thời tiết đối với cả cây trồng phụ thuộc vào mưa tự nhiên, phụ thuộc vào điều kiện thủy lợi cũng như những thay đổi về nhu cầu thủy lợi.

CliCrop cũng được xây dựng để phù hợp với yêu cầu tối thiểu về số liệu bởi vì các nghiên cứu thuộc lĩnh vực này có thể bị hạn chế về số liệu. Thông tin đầu vào của CliCrop là thời tiết (nhiệt độ, lượng mưa), tham số đất (năng suất, điểm xói mòn), chất dẫn suất (saturated hydraulic conductivity), và khả năng ngấm nước (saturation capacity), và các tham số phụ thuộc vào loại cây trồng.

Tác động của khí hậu đến sản lượng cây trồng được mô hình hóa gián tiếp thông qua ảnh hưởng đến độ ẩm của đất qua sự bốc hơi, thoát hơi và sự thâm nhập của nước mưa vào các tầng đất. Mô hình sử dụng tính chất của đất và lượng mưa để tính toán độ thâm nhập qua phương pháp số đường cong USDA (Bureau of Reclamation, 1993). Mô hình sau đó tính toán độ ẩm của mỗi tầng đất, tính toán lượng ẩm cho phép thấm vào những tầng đất sâu và tính toán hệ số sản lượng của mùa vụ sau.

Tính toán sản lượng dựa vào tỷ lệ giữa lượng nước bốc hơi thực tế (ET) và lượng nước bốc hơi tiềm năng (PET). Giá trị sản lượng được tính toán cho mỗi trong 4 giai đoạn phát triển và 1 giá trị cho cả mùa vụ. Giá trị nhỏ nhất trong 5 giá trị được coi là sản lượng hạn chế và được coi là giá trị sản lượng ước tính. Mỗi giá trị sản lượng được tính toán sử dụng phương trình sau đây (Allen, và cộng sự, 1998).

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y^d \cdot \left(1 - \frac{ETC^d}{ETA^d}\right)$$

$$\%Yield^d = \frac{Y_a}{Y_m}$$

Trong đó: Y_a là sản lượng thực dự báo, Y_m là giá trị sản lượng tối đa; K_y^d là hệ số sản lượng cho giai đoạn phát triển d; ETC^d là tổng cầu ET hàng ngày cho trồng trọt trong giai đoạn phát triển d; ETA^d là tổng ET thực hàng ngày cho giai đoạn phát triển d; $\%Yield^d$ là tỷ lệ sản lượng thực trên sản lượng tối đa, Hệ số sản lượng ‘Yield Factor’ được tính toán bởi CliCrop (Allen, et al. 1998). Mỗi năm, sau khi sản lượng được tính, nếu có ngập úng xảy ra trong mùa vụ thì sản lượng sẽ giảm được tính theo phương pháp của Sieben (1974).

ET thực được tính là hàm số của lượng mưa, nhiệt độ, PET, độ ẩm của đất, độ sâu của rễ, loại cây trồng, độ hội tụ CO₂ trong khí quyển. Tính toán này được tính cho mỗi ngày, mỗi tầng đất.

CliCrop sử dụng phương trình của Hargreaves có chỉnh sửa để tính PET (Hargreaves và cộng sự, 2003). Độ ẩm của đất được tính bằng cách tương tự như phương pháp sử dụng trong mô hình SWAT (Neitsch et al, 2005), chi tiết được trình bày trong nghiên cứu của Strzepek và Fant (2009). Tham số cây trồng ở đây tương tự như những tham số sử dụng trong CROPWAT (Allen và cộng sự, 1998) được sử dụng trong tính toán này cũng như tính toán cầu về lượng nước bốc hơi (ET) hàng ngày. Độ hội tụ CO₂ tác động đến cầu ET hàng ngày cho trồng trọt theo phương pháp được giải thích trong Rosenzweig và Iglesias (1998). Tham số cây trồng được điều chỉnh theo năm sử dụng phương pháp xây dựng bởi Allen và cộng sự (1998) về điều chỉnh cầu ET cho trồng trọt và Wahaj, Maraux, và Munoz (2007) về điều chỉnh khoảng thời gian trồng trọt, ước tính phản ứng của trồng trọt dao động so với điều kiện thời tiết “trung bình”.

Để mô hình hóa sản xuất lúa ở Việt Nam cần một số thay đổi so với mô hình CliCrop gốc. Trong các giai đoạn trồng lúa, cây lúa bị chìm một phần dưới nước vì vậy cần có thủy lợi. Để mô hình hóa đặc điểm này trong CliCrop, mô hình cần được điều chỉnh để đất vẫn duy trì trạng thái ẩm ướt hoàn toàn trong khi trồng lúa cũng như độ sâu nhất định của nước trên mặt đất. Nếu lượng mưa không đủ để duy trì điều kiện này, mô hình giả định người nông dân sẽ phải làm thủy lợi. Đối với các mùa vụ cần thủy lợi, sự khác nhau giữa lượng nước cần cho trồng cây và lượng nước mưa nhận được được coi là sự thiếu hụt về nước.

Trong nghiên cứu này, mô hình CliCrop cho lúa giả định lượng nước cho tưới tiêu được cung cấp đủ qua thủy lợi. Giả định này làm cho sản lượng cao đồng thời nhu cầu về thủy lợi cao. Trong mục về nguồn nước, nhu cầu thủy lợi sẽ được so sánh với cung. Nếu cầu vượt cung, người nông dân sẽ phải bỏ hoang đất, chỉ làm thủy lợi một phần hoặc trồng lúa dựa vào mưa tự nhiên. Bất kể nông dân quyết định như thế nào trong trường hợp này, sản xuất lúa sẽ giảm. Những loại suy giảm sản xuất như vậy không thể hiện trong sản lượng kết quả của CliCrop trong phần này nhưng được trình bày trong phần 4 và phần phân tích toàn nền kinh tế trong phần 7.

Mô hình được tính với số liệu thời tiết hàng ngày, được lấy từ Nhóm nghiên cứu nước bề mặt của trường đại học Princeton (Sheffield, et al., 2006). Số liệu này có tỷ lệ 1 độ trên 1 độ. Vì vậy, CliCrop cũng được chạy cho tỷ lệ phân bố 1 độ trên 1 độ của Việt Nam (Xem Đồ thị 4-1 về kích cỡ phân bố). Tất cả tham số đất được lấy từ Cơ sở dữ liệu đất của FAO (Batjes, 2002). Tham số cây trồng được sử dụng có thể tìm thấy trong tệp thông tin đầu vào của mô hình CROPWAT và AquaCrop, có trên trang điện tử của FAO (fao.org). Thông tin đầu vào về khí hậu trong tương lai được miêu tả trong mục 2.

3.2. Kết quả

3.2.1. Kịch bản gốc

Bảng 3-1 trình bày hệ số sản lượng trung bình của kịch bản gốc theo khu vực và theo cây trồng trong nghiên cứu này. Hệ số sản lượng này được trình bày dưới dạng phân số, theo đó 1 là sản lượng hoàn hảo (cây trồng đạt sản lượng tiềm năng) và giá trị 0 là không có sản lượng. Sản lượng giảm (bất kỳ giá trị nhỏ hơn 1) bị gây ra bởi lý do căng thẳng về nước dự báo bởi mô hình CliCrop. Như đã chỉ ra, đối với lúa, dạng mô hình CliCrop-thủy lợi được sử dụng, có nghĩa là căng thẳng về nước rất ít khi xảy ra (kết quả là cho hệ số sản lượng tương đối cao). Thay đổi về thiếu hụt nước và nước biển dâng cũng sẽ ảnh hưởng đến sản xuất lúa. Mô hình trồng lúa được mô phỏng

cho 3 thời vụ: vụ chính (giữa tháng 5 và 8); vụ hè - thu (giữa tháng 4 và tháng 6); và vụ đông - xuân (giữa tháng 12 và tháng 2) (Maclean và cộng sự, 2002).

Lượng nước bị thiếu trung bình hàng năm được trình bày trong Bảng 3-2. Lượng nước thiếu được tính theo độ dài của chu kỳ mùa vụ. Ví dụ, mía được trồng cả năm do đó lượng nước thiếu hụt cho thủy lợi (mm/năm) được tính cho cả năm. Thay vào đó, hoa được trồng trong chu kỳ 95 ngày do đó giá trị lượng nước thiếu hụt được tính trong tổng thời gian là 95 ngày. Ngô (ghì là cây hàng năm) có chu kỳ là 135 ngày; cao su là 190 ngày, chè là 265 ngày, điều (là cây lâu năm) là cả năm và lúa là 165 ngày.

Bảng 3-1: Hệ số sản lượng cho kịch bản gốc của Việt Nam

Khu vực	Mía	Cây hàng năm	Cao su	Cà phê	Chè	Cây lâu năm	Lúa vụ chính	Lúa vụ hè - thu	Lúa vụ đông-xuân
Đông Bắc	0,43	0,76	0,84	0,64	0,71	0,72	0,96	0,95	0,96
Tây Bắc	0,39	0,97	0,66	0,47	0,68	0,74	0,99	0,84	0,88
Đồng bằng sông Hồng	0,41	0,79	0,68	0,52	0,68	0,63	0,98	0,85	0,95
Bắc trung bộ	0,44	0,90	0,66	0,47	0,65	0,69	0,92	0,80	0,83
Nam trung bộ	0,38	0,71	0,74	0,56	0,68	0,65	0,99	0,90	0,96
Tây Nguyên	0,40	0,88	0,80	0,57	0,72	0,71	0,98	0,92	0,93
Đông Nam bộ	0,37	0,91	0,62	0,47	0,67	0,64	0,99	0,82	0,90
Đồng bằng sông Cửu Long	0,39	0,68	0,80	0,63	0,66	0,69	0,97	0,95	0,96

Bảng 3-2: Thiếu hụt nước trung bình (mm/chu kỳ) cho kịch bản gốc của Việt Nam

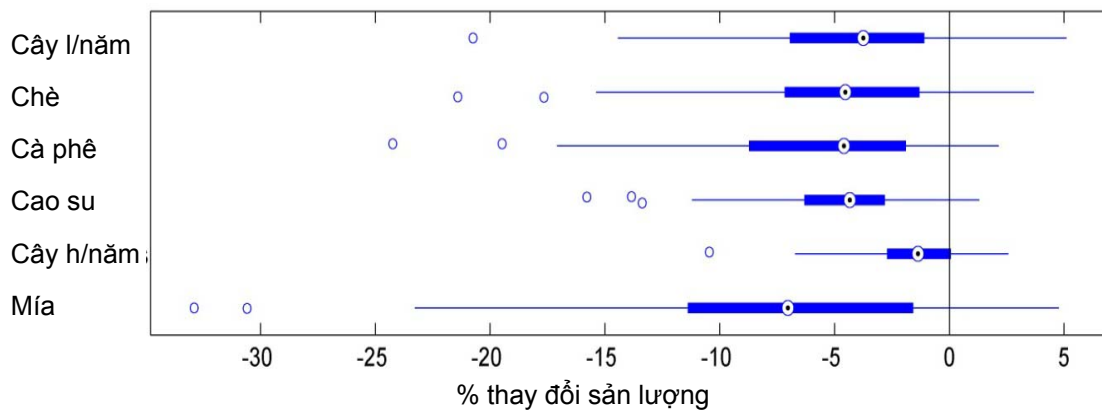
Khu vực	Mía	Cây hàng năm	Cao su	Cà phê	Chè	Cây lâu năm	Lúa vụ chính	Lúa vụ hè - thu	Lúa vụ đông-xuân
Đông Bắc	554	113	114	254	239	119	927	1016	984
Tây Bắc	567	113	126	349	198	155	918	1102	1127
Đồng bằng sông Hồng	465	84	85	217	178	99	862	950	884
Bắc trung bộ	493	44	95	313	161	119	896	1042	1092
Nam trung bộ	534	64	162	395	234	173	877	1040	1058
Tây Nguyên	568	27	139	446	203	154	746	998	1107
Đông Nam bộ	551	7	110	446	171	91	564	880	989
Đồng bằng sông Cửu Long	447	3	87	392	137	81	451	723	834

3.2.2. Các kịch bản trong tương lai

3.2.2.1. Hệ số sản lượng

Thay đổi hệ số sản lượng cho 7 cây trồng được trình bày dưới dạng đồ thị hộp và điểm tương tự như các đồ thị trong nội dung dự báo về biến đổi khí hậu ở phần 2. Mỗi hộp và điểm diễn tả kết quả dự báo của 56 cặp kịch bản GCM. Đồ thị 3-2 trình bày thay đổi hệ số sản lượng trung bình cho Việt Nam dự báo từ mô hình CliCrop.

Đồ thị 3-2: Thay đổi hệ số sản lượng trung bình 2041-2050 so với kịch bản gốc



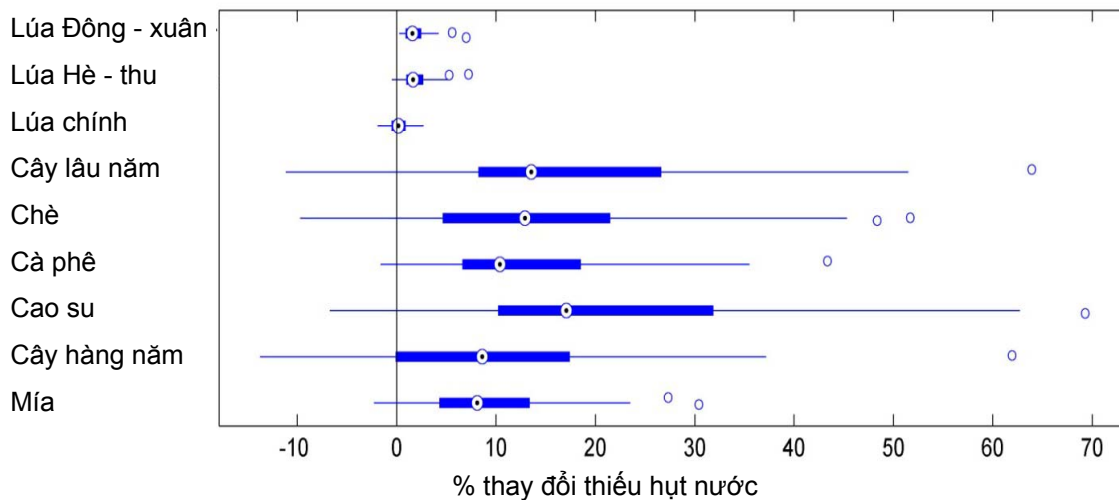
Đồ thị cho thấy kết quả sản lượng có xu hướng thay đổi khác nhau đối với từng loại cây trồng mặc dù hầu hết các kịch bản đều dự đoán suy giảm về sản lượng cho tất cả các loại cây. Kết quả khác nhau của các kịch bản phụ thuộc vào hai yếu tố đầu vào quan trọng. Thứ nhất, tác động của thời tiết đến mùa màng phụ thuộc vào độ dài của mùa vụ và thời gian trong năm của mùa vụ ấy. Dự báo về khí hậu trong tương lai sử dụng trong nghiên cứu này cho thấy khí hậu thay đổi theo mùa vụ. Ví dụ, một số kịch bản GCM dự báo rằng lượng mưa sẽ tăng trong mùa đông nhưng giảm trong những tháng mùa hè. Thứ hai, mỗi loại cây trồng sẽ có 4 mùa trong CliCrop, mà các tham số của từng loại cây trồng trong từng mùa vụ sẽ tác động đến kết quả của mô hình.

Như đã thảo luận ở trên, kết quả sản lượng cho cây lúa không phải là chỉ số chính xác của tác động của khí hậu lên sản lượng bởi vì mô hình CliCrop-Lúa là mô hình cây trồng có lòng sự thiếu hụt nhu cầu nước cho thủy lợi. Thay vào đó, thay đổi nhu cầu thủy lợi cho cây lúa (sẽ được miêu tả trong các trang sau) là chỉ số hữu ích về tác động của biến đổi khí hậu.

3.2.2.2. Thiếu nước

Đồ thị sau cho thấy sự thay đổi trong thiếu hụt nước (là chỉ số về sự thay đổi nhu cầu thủy lợi) đối với 7 loại cây trồng sử dụng đồ thị dạng hộp và điểm. Đồ thị 3-3 trình bày thay đổi về nhu cầu thủy lợi của các kịch bản so với kịch bản gốc theo giá trị trung bình giai đoạn 2041-2050 cho Việt Nam.

Đồ thị 3-3: Thay đổi về nhu cầu thủy lợi trung bình của Việt Nam giai đoạn 2041-2050 so với kịch bản gốc



Như thay đổi về sản lượng, thay đổi về nhu cầu thủy lợi phụ thuộc vào một số tham số. Nhu cầu thủy lợi có xu hướng có mối liên hệ mạnh hơn với thay đổi về khí hậu bởi vì sản lượng được tính theo phương pháp “sản lượng giới hạn”. Theo phương pháp này (được miêu tả trong mục 2.1) vụ mùa mà có hệ số sản lượng thấp nhất được coi là hệ số sản lượng thực tế. Điều này có nghĩa là hệ số sản lượng chỉ phụ thuộc trực tiếp vào mùa vụ mà cho ra kết quả sản lượng thấp nhất. Mặt khác, giá trị nước thiếu hụt là tổng nhu cầu nước của cây trồng (lượng nước cây trồng cần để cho sản lượng tối đa theo lý thuyết) trừ đi tổng lượng nước cây nhận được trên thực tế theo ngày. Vì vậy, chỉ số về nhu cầu thủy lợi nhạy cảm với khí hậu trong chu kỳ tổng thể của cây trồng, trong khi đó hệ số sản lượng có thể chỉ ra thay đổi mang tính mùa vụ.

Kết quả của nghiên cứu này gợi ý rằng nhu cầu thủy lợi sẽ hầu như tăng ở Việt Nam, với chỉ một vài trường hợp ngoại lệ. Điều này được gây ra bởi dự đoán suy giảm độ ẩm của đất (giảm CMI và tăng PET) làm gia tăng lượng nước thiếu hụt.

3.2.2.3. Nước biển dâng và các tác động khác đến mùa màng

Do CliCrop là mô hình xem xét cung nước mùa vụ một chiều nên tác động của nước biển dâng, gia tăng lũ lụt và các hiện tượng khác không liên quan đến thay đổi lượng mưa và nhiệt độ sẽ không được xem xét trong phần này. Nước biển dâng và tần suất dâng bão cao hơn do thay đổi khí hậu có thể tăng độ mặn hóa vùng đất nông nghiệp thấp ven biển. Nếu điều này xảy ra, nhiều cây trồng sẽ giảm sản lượng. Do lúa thường trồng ở loại đất này, vì vậy sản xuất lúa thường dễ tổn thương với việc mặn hóa gây ra bởi nước biển dâng và dâng bão.

3.3. Kết luận

Với kết quả các kịch bản GCM dự báo nhiệt độ tăng, lượng mưa có sự thay đổi nhỏ (cho hầu hết các kịch bản trong tương lai) và độ ẩm của đất giảm, người Việt Nam sẽ phải chuẩn bị cho một điều kiện khí hậu kém thuận lợi hơn với cây trồng. Hơn thế nữa, kết quả của nghiên cứu này dường như gợi ý rằng sản lượng nông nghiệp đến năm 2050 sẽ có thể giảm đối với tất cả các cây trồng

được xem xét. Kết quả này cũng chỉ ra rằng nhu cầu thủy lợi sẽ tăng nhiều hơn đáng kể so với sự suy giảm về sản lượng, tạo nên nhu cầu lớn hơn đối với nước cho thủy lợi. Vì nghiên cứu này là nghiên cứu sử dụng bộ số liệu toàn cầu nghiên cứu chung cho cả nước, trong khi đó sản xuất nông nghiệp là quá trình rất phức tạp, vì vậy cần có nghiên cứu chi tiết hơn về tác động đến trồng trọt trước khi đưa ra quyết định về các biện pháp thích ứng cụ thể.

Do có sự biến động lớn về khí hậu dự báo trong tương lai (gây ra những thay đổi lớn về sản lượng và nhu cầu thủy lợi), những nhà hoạch định chính sách cần chuẩn bị cho trường hợp nhiều hiện tượng thời tiết cực đoan có thể xảy ra. Những lựa chọn về sử dụng nguồn nước hiệu quả hơn, và chứa nước nhiều hơn nên được cân nhắc. Về sản xuất trồng trọt, phương pháp sản xuất truyền thống cần phải được xem xét lại. Khả năng thay đổi về lượng mưa và nhiệt độ có thể khuyến khích người nông dân thích ứng bằng cách thay đổi cách gieo trồng và vụ thu hoạch. Giống cây trồng chịu nhiệt tốt hơn, chịu thiếu hụt về nước và dư thừa nước nên được nghiên cứu.

4. Tài nguyên nước bao gồm thủy điện

Biến đổi khí hậu trong tương lai sẽ làm thay đổi nhiệt độ, chế độ mưa và băng tan, do đó làm thay đổi chu kỳ thủy văn, chế độ tuần hoàn nước toàn cầu, và các chế độ thời tiết của từng quốc gia. Do những biến đổi này làm thay đổi nguồn và chất lượng nước, dòng chảy, nên sẽ có tác động trực tiếp đến tài nguyên nước và hệ sinh thái nước ngọt. Điều này lại tiếp tục ảnh hưởng đến chức năng và vận hành của cơ sở hạ tầng ngành nước hiện nay cũng như thực tế quản lý nước.

Do sự tương tác phức tạp giữa biến đổi khí hậu với các chu kỳ thủy văn, cùng với sự không chắc chắn liên quan đến dự báo khu vực về sự thay đổi của lượng mưa, đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đối với nguồn nước và dòng chảy vẫn còn là một thách thức. Nỗ lực đánh giá những tác động của biến đổi khí hậu tiềm năng lên dòng chảy đã được thực hiện trong nhiều nghiên cứu khác nhau cho tiểu lưu vực sông quy mô toàn cầu (Yates và Strzepek năm 1998; Gleick 1991; Hulme 1989). Đối với phân tích này, mô hình CLIRUN-II được sử dụng để mô phỏng các quá trình thủy văn và dự đoán dòng chảy tương ứng từ các lưu vực cho mỗi kịch bản. Nghiên cứu cũng xem xét sự sẵn có của nguồn nước cho thủy lợi và khả năng phát điện của thủy điện. Đánh giá tài nguyên nước được thực hiện bằng cách sử dụng mô hình WEAP để phân tích tác động đến nguồn nước tưới tiêu và phát triển thủy điện cho giai đoạn 2011 đến 2050. Đánh giá bao gồm cả phát triển thủy điện hiện có ở các tiểu lưu vực và kế hoạch phát triển thủy điện trong tương lai.

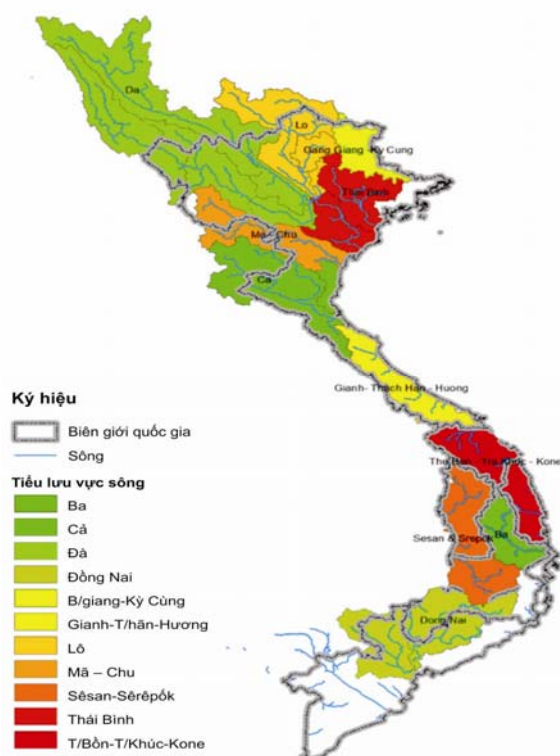
4.1. Tổng quan lưu vực sông và thủy điện

4.1.1. Phân loại tiểu lưu vực sông

Sử dụng bộ ảnh dữ liệu địa hình SRTM – DEM toàn cầu với độ phân giải 90 mét để phân định ranh giới lưu vực và hệ thống mạng lưới sông ngòi. Phiên bản phân loại 4 cấp của cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) xác định có tổng số 22 tiểu lưu vực, với diện tích từ 1.500 đến 45.000km². Đồ thị 4-1 biểu diễn phân loại các tiểu lưu vực được sử dụng trong nghiên cứu này. Một số lưu vực sông có tính chất xuyên quốc gia, ví dụ như các lưu vực sông Đà và sông Lô. Đối với các tiểu lưu vực này, phần thượng nguồn của khu vực nằm ở Trung Quốc cũng được đưa vào trong phân tích.

Miền Bắc Việt Nam thuộc lưu vực hệ thống sông Hồng bao gồm tiểu lưu vực sông Đà, sông Thái Bình, sông Lô, và tiểu lưu vực sông Chu, với tổng diện tích 210.380 km² (số liệu từ USGS). Lưu vực này hiện có một số hồ chứa lớn, cũng như những hồ đang được xây dựng, chẳng hạn như Hòa Bình và Sơn La. Lưu vực miền trung là một phần của vùng ven biển, một dải đất rất hẹp giữa núi và biển. Nó bao gồm nhiều lưu vực nhỏ, riêng biệt được tổng hợp thành các lưu vực lớn hơn để phân tích trong nghiên cứu này. Phần phía Nam bao gồm tiểu lưu vực sông Đồng Nai và Sê san, nhưng không bao gồm phần phía dưới lưu vực sông Mê Kông và tiểu lưu vực sông Cửu Long do thiếu dữ liệu. Diện tích của các tiểu lưu vực trong phân tích này được tóm tắt trong Bảng 4-1.

Đồ thị 4-1: Phân loại cấp 4 tiểu lưu vực theo bộ ảnh dữ liệu địa hình SRTM - DEM toàn cầu với độ phân giải 90 mét



Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích, vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

4.1.2. Lượng mưa

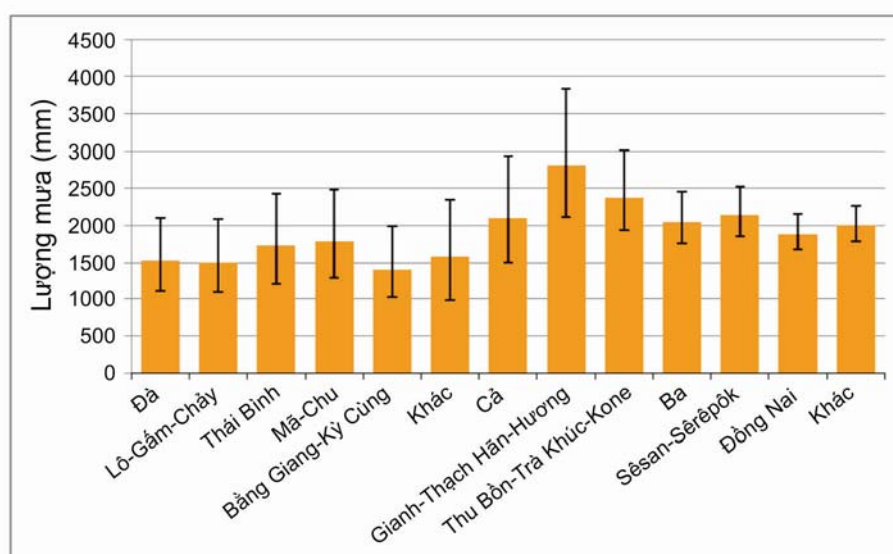
Dữ liệu nhiệt độ và lượng mưa được thu thập từ bộ dữ liệu khí hậu toàn cầu CRU của Cơ quan nghiên cứu khí hậu⁽²⁾, sẵn có tại DDC IPCC. Một bộ dữ liệu về lượng mưa hàng tháng trong quá khứ cho các khu vực trên thế giới từ năm 1901-2000, với hai độ phân giải khác nhau được xây dựng và sẵn có thể sử dụng trong nghiên cứu khoa học (2,5 độ vĩ độ, 3,75 độ kinh độ và 5 độ vĩ độ/kinh độ) (Hulme 1994, Hulme Osborn, và Johns 1998). Bộ dữ liệu 5 độ đã được tải về và tổng hợp từ 22 tiểu lưu vực để có được một chuỗi thời gian về lượng mưa cho từng tiểu lưu vực được lựa chọn trong phân tích này để xây dựng kịch bản cơ sở về lượng mưa.

(2) gu23wld0098.dat '(Phiên bản 1.0) được xây dựng và cung cấp bởi Tiến sĩ Mike Hulme tại Cơ quan nghiên cứu khí hậu, Đại học East Anglia, Norwich, Anh. Công việc này được hỗ trợ bởi Bộ Môi trường, Giao thông và vùng của Vương quốc Anh (hợp đồng EPG1/1/48)"

Bảng 4-1: Phân loại và diện tích tiểu lưu vực

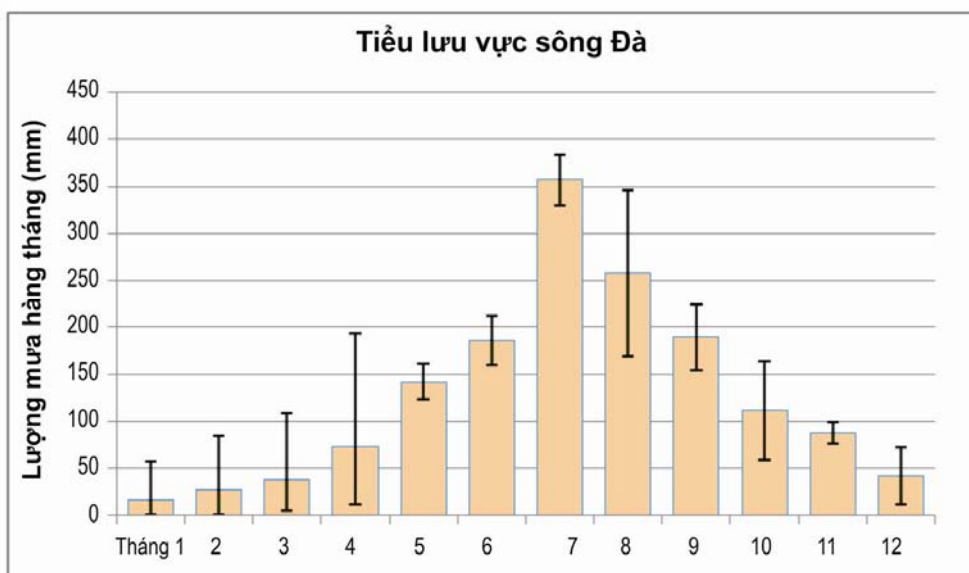
Vị trí	Tiểu lưu vực	Diện tích (Km ²)	Tổng (Km ²)
Các lưu vực miền Bắc	Sông Đà	104.568	210.380
	Sông Lô - Gầm - Chảy	34.423	
	Thái Bình	27.323	
	Mã - Chu	24.184	
	Bằng Giang - Kỳ Cùng	11.849	
	Khác	8.034	
Các lưu vực miền Trung	Sông Cả	37.718	84.053
	Sông Gianh- Thạch Hãn - Hương	20.101	
	Sông Thu Bồn - Trà Khúc - sông Kone	26.233	
Các lưu vực miền Nam	Sông Ba	13.469	105.302
	Sê san & Sê rê pòk	30.143	
	Đồng Nai	42.215	
	Khác	19.474	
Tổng			399.735

Lượng mưa trung bình hàng năm cho các tiểu lưu vực phía Bắc là khoảng 1.588mm, trong đó cao nhất là tại tiểu lưu vực sông Chu - Mã, với lượng mưa đạt 1.785mm. Các tiểu lưu vực miền Trung và miền Nam có lượng mưa tương đối cao hơn, với giá trị trung bình hàng năm tương ứng là 2.431mm và 2.019mm. Phân bố theo không gian của lượng mưa hàng năm được trình bày trong Đồ thị 4-2.

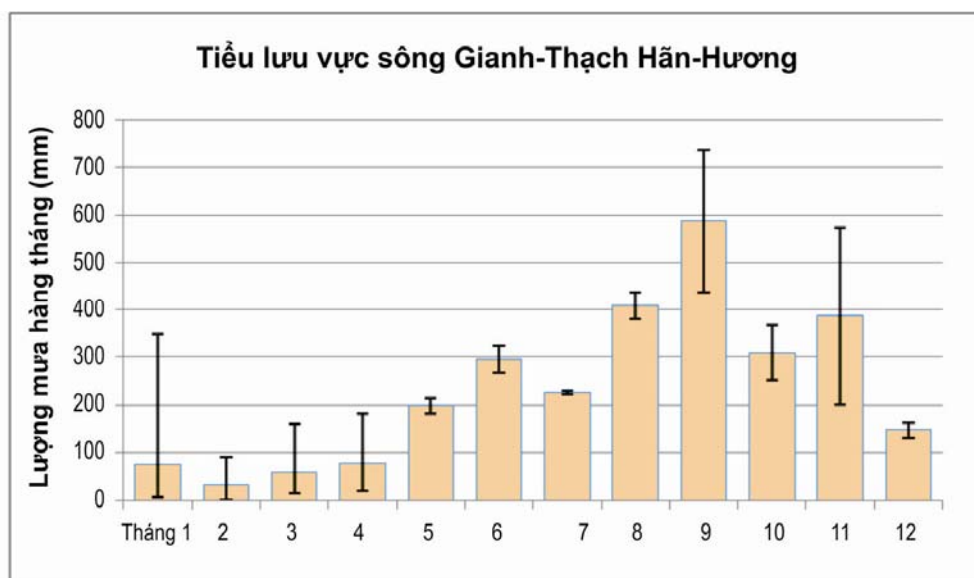
Đồ thị 4-2: Lượng mưa hàng năm của các tiểu lưu vực chính

Giá trị trung bình, tối thiểu, tối đa của lượng mưa hàng tháng trong quá khứ, từ năm 1901 đến 2000, cho các lưu vực đại diện tại miền Bắc, Trung và miền Nam Việt Nam được trình bày trong Đồ thị 4-3, Đồ thị 4-4, và Đồ thị 4-5 tương ứng.

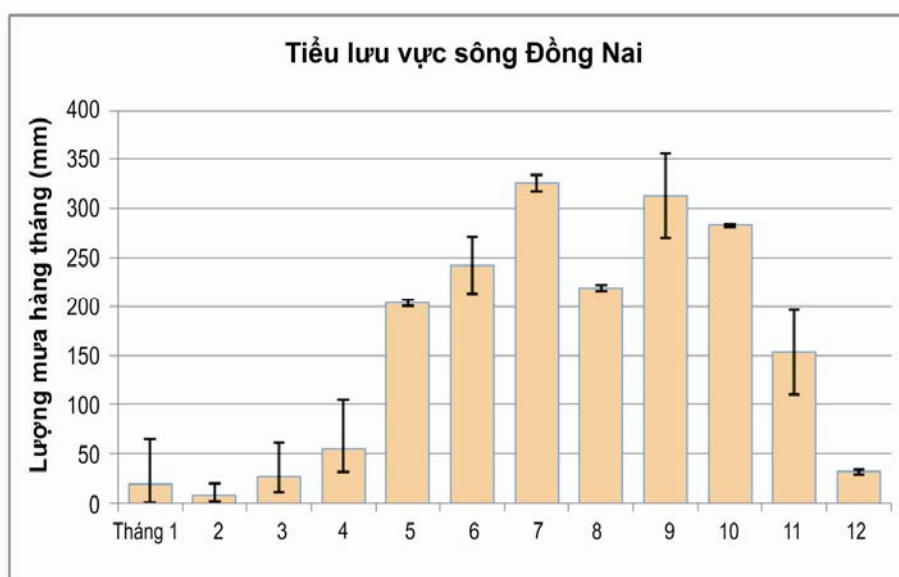
Đồ thị 4-3: Lượng mưa hàng tháng của tiểu lưu vực sông phía Bắc



Đồ thị 4-4: Lượng mưa hàng tháng của tiểu lưu vực sông miền Trung



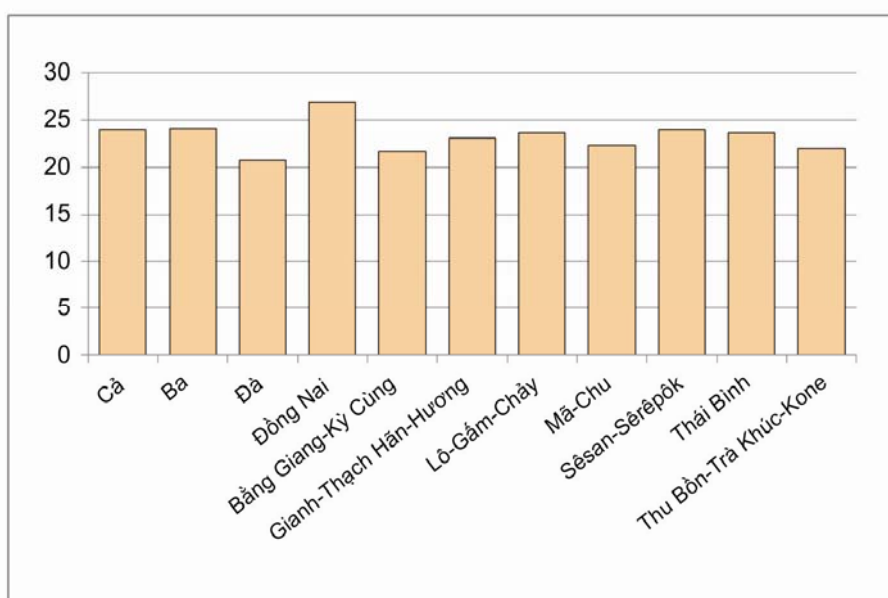
Đồ thị 4-5: Lượng mưa hàng tháng của tiểu lưu vực sông phía Nam



4.1.3. Nhiệt độ

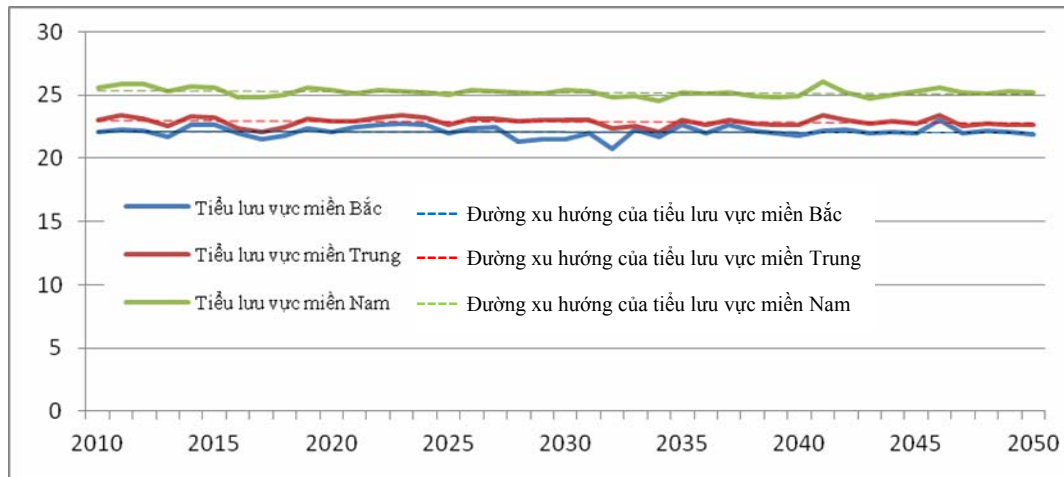
Dữ liệu nhiệt độ cũng được thu thập từ Cơ quan nghiên cứu khí hậu trong khoảng thời gian từ 1901 đến 2000. Các số liệu được tổng hợp cho các tiểu lưu vực. Phân bố nhiệt độ hàng năm khá đồng nhất trên toàn tiểu lưu vực (xem Đồ thị 4-6), với nhiệt độ trung bình là 23,3 độ C. Mặc dù, nhiệt độ có xu hướng tăng lên một chút, nhưng vẫn có thể giả định là đồng nhất. Theo các dữ liệu, nhiệt độ chỉ tăng khoảng 0,3 độ trong vòng 100 năm qua tại Việt Nam.

Đồ thị 4-6: Phân bố nhiệt độ theo không gian (độ C)



Xu hướng nhiệt độ trong quá khứ sử dụng cho kịch bản gốc - “Không có biến đổi khí hậu” cho giai đoạn 2011-2050 được trình bày trong Đồ thị 4-7.

Đồ thị 4-7: Xu hướng nhiệt độ dự báo đến 2050



4.1.4. Dòng chảy trong quá khứ

Số liệu dòng chảy được thu thập từ Viện Khí tượng, Thủy văn và Môi trường Việt Nam cho tiểu lưu vực sông Hồng, sông Thái Bình, và sông Đồng Nai. Số liệu dòng chảy hàng tháng này cho tiểu lưu vực sông phía Bắc được thu thập cho 19 địa điểm trong giai đoạn từ 1971 đến 2005. Đối với tiểu lưu vực sông Đồng Nai, số liệu được thu thập cho 23 địa điểm cũng theo thời gian trên. Thêm vào đó, số liệu dòng chảy trung bình hàng tháng theo 0,5 độ trên 0,5 độ được thu thập từ bộ dữ liệu dòng chảy toàn cầu xây dựng bởi Trung tâm Dữ liệu dòng chảy toàn cầu (GRDC). Dữ liệu (gridded dataset) này được tổng hợp lên cho 22 tiểu lưu vực sông đã được xác định.

4.2. Mô hình hóa dòng chảy bề mặt - CLIRUN

4.2.1. Phương pháp

Dòng chảy nước bề mặt được mô hình hóa với mô hình mưa-dòng chảy CLIRUN-II, mô hình cập nhật nhất trong hệ mô hình thủy văn, được xây dựng cho phân tích tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy (Strzepek và cộng sự. 2008). CLIRUN-II mô hình hóa dòng chảy với đầu vào là khí hậu và các đặc tính trung bình của vùng đất, mô phỏng dòng chảy tại khu vực cửa lưu vực. Với phân tích này, thời gian hàng tháng được sử dụng để mô phỏng dòng chảy dựa vào các biến về thời tiết.

CLIRUN-II có mô đun mô phỏng và mô đun ước tính. Quá trình ước tính được dùng để quyết định giá trị các hệ số gắn với lưu vực được xem xét. Dựa trên số liệu quan sát trong quá khứ, mô hình trước hết ước tính các hệ số cho 22 lưu vực dựa vào số liệu 100 năm từ 1900 đến 2000. Quá trình ước tính này xác định được giá trị phù hợp nhất của các hệ số của mỗi tiểu lưu vực dựa vào mục tiêu được đặt trước cho mỗi tiểu lưu vực.

Bảng 4-2: Tham số của mô hình CLIRUN-II

Tham số của mô hình
Hệ số chặn (Intercept)
Mức nhiệt độ cao
Mức nhiệt độ thấp
Giá trị bão hòa (Saturation Value)
Độ dày tầng thấp (Lower Layer Thickness)
Hệ số dòng chảy tầng cao (Upper Layer Runoff Coefficient)
Hệ số dòng chảy tầng thấp (Lower Layer Runoff Coefficient)
Hệ số lọc (Percolation Coefficient)
Hệ số dư thừa dòng chảy do mưa (Excess Precipitation Runoff Coefficient)

Trong nghiên cứu này, hai bước ước tính được sử dụng dựa vào hai nguồn số liệu dòng chảy hiện có. Đối với lưu vực sông Hồng và tiểu lưu vực sông Đồng Nai, số liệu dòng chảy được lấy từ Viện Khí tượng, Thủy văn và Môi trường. Tuy nhiên, đối với các tiểu lưu vực còn lại, số liệu dòng chảy của GRDC là nguồn số liệu duy nhất trong quá khứ. Như vậy, số liệu cho lưu vực sông Hồng và tiểu lưu vực sông Đồng Nai sử dụng cả hai bộ số liệu. Các lưu vực khác chỉ sử dụng số liệu của GRDC.

Sau khi ước tính các hệ số, dòng chảy từ kết quả của mô hình cũng được kiểm tra các giá trị không thực tế bằng cách xem xét các giá trị tối thiểu và tối đa. Những hệ số có được từ mô hình ước tính này sau đó được chuyển sang mô đun mô phỏng để tạo ra dòng chảy tương ứng với các kịch bản biến đổi khí hậu.

4.2.2. Ước tính từ số liệu dòng chảy quan sát được và dòng chảy GRDC

Trong số 22 tiểu lưu vực cấp 4, số liệu dòng chảy của 8 tiểu lưu vực có thể lấy được từ nguồn tin cậy của Viện Khí tượng, Thủy văn và Môi trường Việt Nam (IMHEN). Số liệu trong khoảng thời gian từ 1971 đến 2005 là số liệu của các lưu vực sông phía Bắc (Nậm Na, Đà, Gấm và Phó Đáy). Bên cạnh số liệu của các tiểu lưu vực sông thuộc lưu vực sông Hồng và sông Thái Bình, còn có số liệu cho 2 trạm đo dòng chảy cho tiểu lưu vực phía Nam ở Đồng Nai. Tổng thể, chúng tôi có thể lấy được số liệu dòng chảy của 10 trong 22 tiểu lưu vực. 10 tiểu lưu vực sông này được ước tính dựa vào cả hai bộ số liệu, số liệu dòng chảy quan sát được và số liệu dòng chảy toàn cầu GRDC; hệ số tốt nhất được lựa chọn dựa vào R^2 và sai số của mô hình (khác nhau giữa giá trị quan sát được và giá trị mô phỏng). Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 4-3.

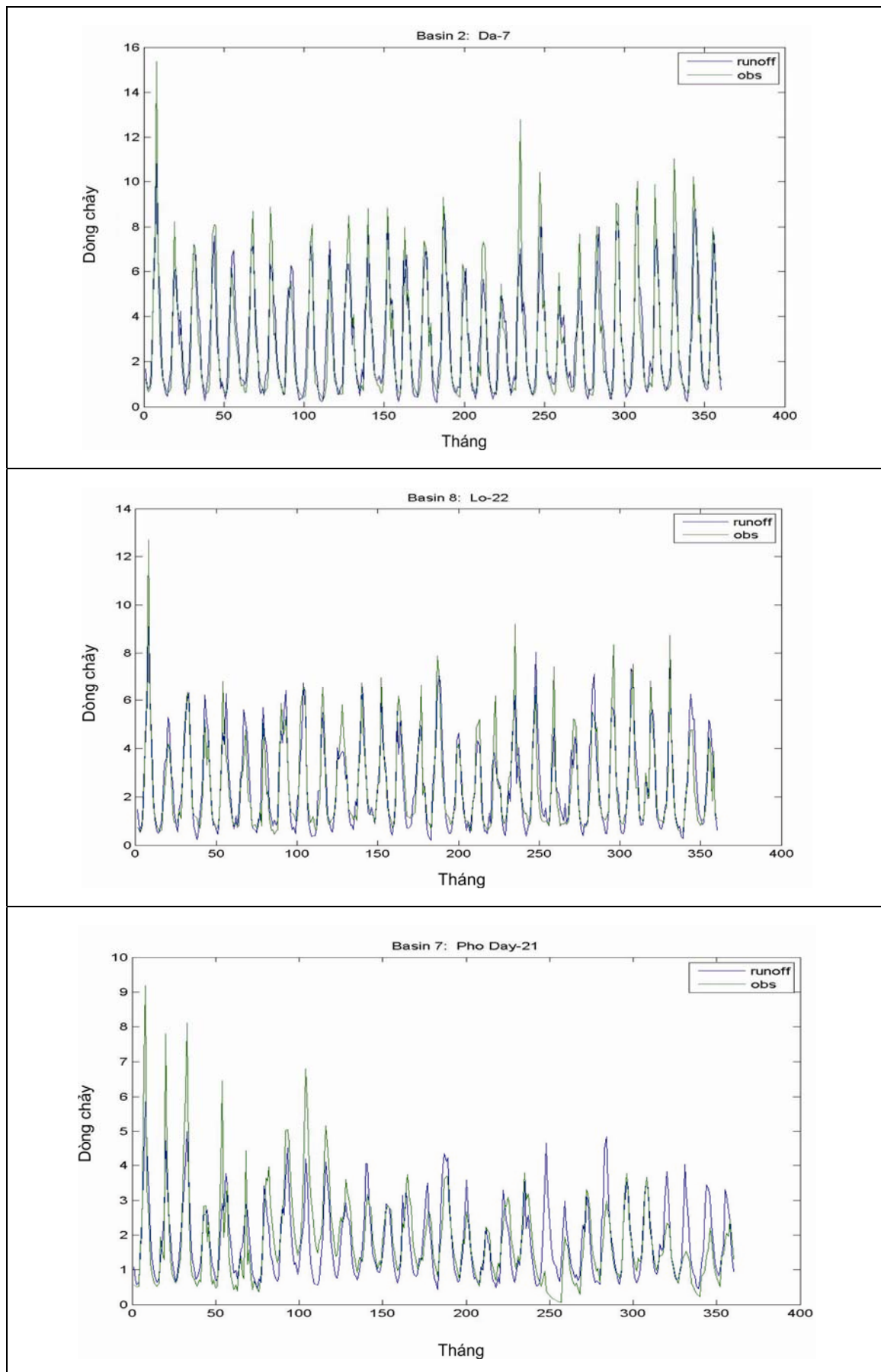
Bảng 4-3: Kết quả ước tính của lưu vực trạm dòng chảy có thể quan sát được

Lưu vực sông	Sai số mô hình	R ²
Nậm Na - 6	-0,012	65,21%
Đà - 7	-0,027	83,01%
Đà - 8	-0,027	57,01%
Thao - 9	-0,024	76,07%
Thao -10	0,001	79,55%
Gấm - 11	-0,012	80,01%
Phó Đáy - 21	-0,377	9,48%
Lô - 22	-0,034	79,36%

4.2.3. Ước tính từ bộ số liệu GRDC

Hầu hết các lưu vực sông đều có số liệu dòng chảy mô phỏng phù hợp với số quan sát được. Số liệu về dòng chảy trung bình hàng tháng mô phỏng và số quan sát được của tiểu lưu vực sông Đà, sông Lô, sông Đồng Nai được trình bày trong Đồ thị 4-8. Bảng 4-4 trình bày kết quả ước tính dựa vào bộ số liệu GRDC.

Đồ thị 4-8: Số liệu quá khứ và kết quả mô phỏng từ mô hình CliRun-II



Bảng 4-4: Ước tính số liệu dòng chảy của mô hình dựa vào bộ số liệu GRDC

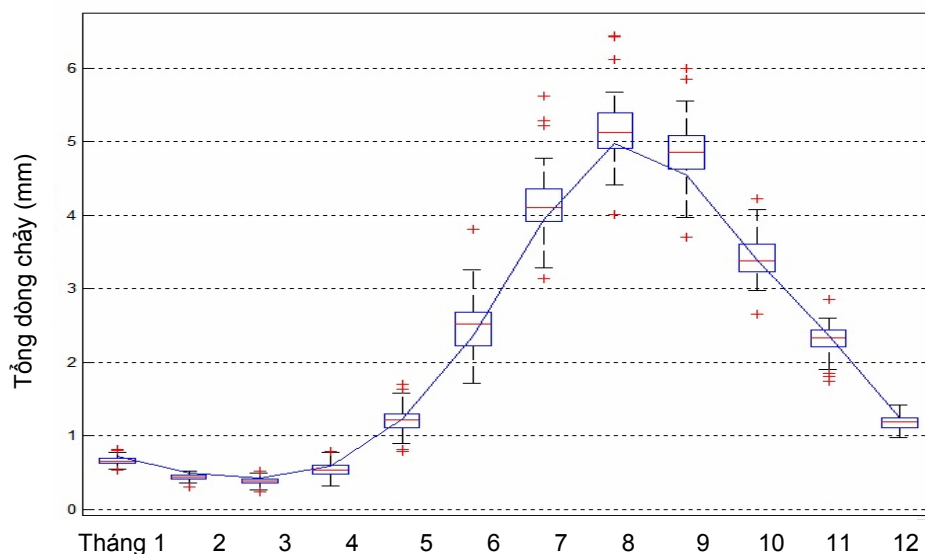
Mã lưu vực sông	Sai số mô hình	R ²	Mã lưu vực sông	Sai số mô hình	R ²
1	-0,037	94,69%	12	0,000	87,88%
Thái Bình - 2	-0,175	76,24%	Thu Bồn	0,083	66,27%
Bằng Giang	0,065	91,98%	Đồng Nai - 14	0,069	89,60%
Sêsan & Sê rêpók	0,006	75,20%	Đồng Nai - 15	-0,002	93,55%
Thái Bình - 5	-0,105	83,67%	Mã - Chu	-0,015	92,67%
Đà (Nậm Na)	-0,108	82,07%	Cả -17	-0,154	63,46%
Đà - 7	-0,009	94,79%	Cả -18	-0,093	82,81%
Đà - 8	0,094	88,36%	Gianh - Thạch Hãn - 19	-0,046	86,21%
Thao - 9	-0,047	92,94%	Ba - 20	0,022	49,64%
Thao -10	0,003	95,03%	Phó Đáy - 21	-0,103	76,43%
Gầm - 11	-0,012	94,63%	Lô - 22	-0,039	95,18%

4.2.4. Tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy

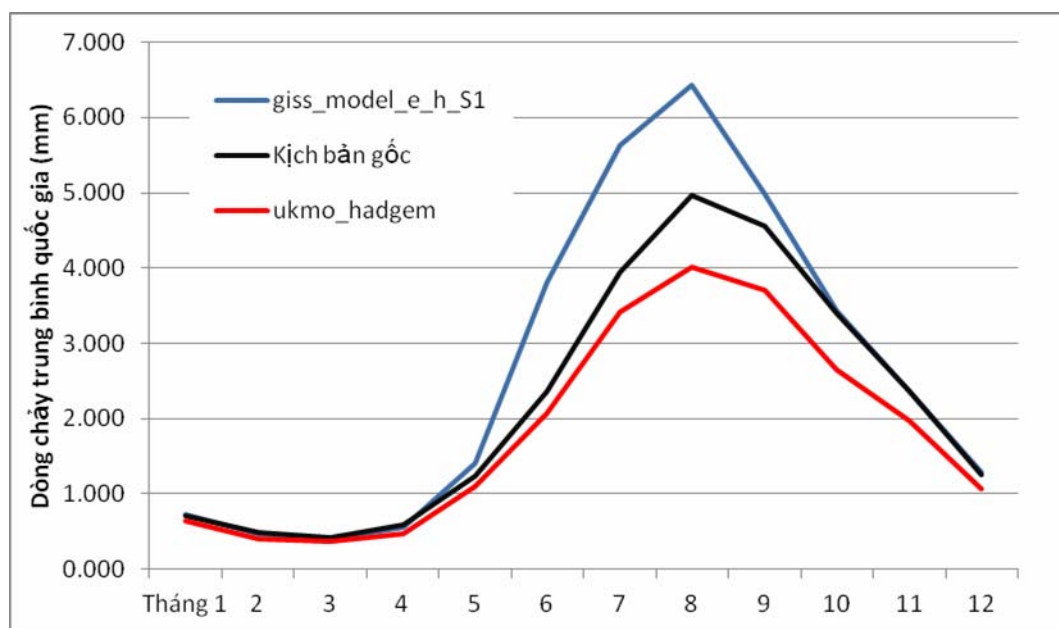
Dòng chảy trung bình quốc gia hàng tháng cho kịch bản gốc (1950-2000) được sử dụng để tính phần trăm thay đổi của dòng chảy cho mỗi lưu vực và mỗi kịch bản trong 56 kịch bản biến đổi khí hậu. Đồ thị dạng hộp về dòng chảy của tất cả các kịch bản biến đổi khí hậu được trình bày trong Đồ thị 4-9. Kết quả cho thấy rằng dòng chảy quốc gia vào mùa khô nhìn chung sẽ bị giảm và giá trị cực đại ở mùa mưa sẽ cao hơn so với kịch bản gốc.

Giá trị dòng chảy hàng năm cao nhất, cao hơn 20% so với kịch bản gốc, và giá trị thấp nhất, thấp hơn 16% so với kịch bản gốc, là của các kịch bản lần lượt là GISS GCM A1 và UKOM HADGEM B1. So sánh kết quả dòng chảy trung bình giai đoạn 2041-2050 được trình bày trong Đồ thị 4-10. Nhìn tổng thể, ở tầm quốc gia, tính mùa vụ của dòng chảy và mức độ của nó có xu hướng không thay đổi nhiều trước những năm 2040.

Đồ thị 4-9: So sánh dòng chảy trung bình hàng tháng giữa kịch bản gốc và 56 kịch bản GCM (2041-2050)

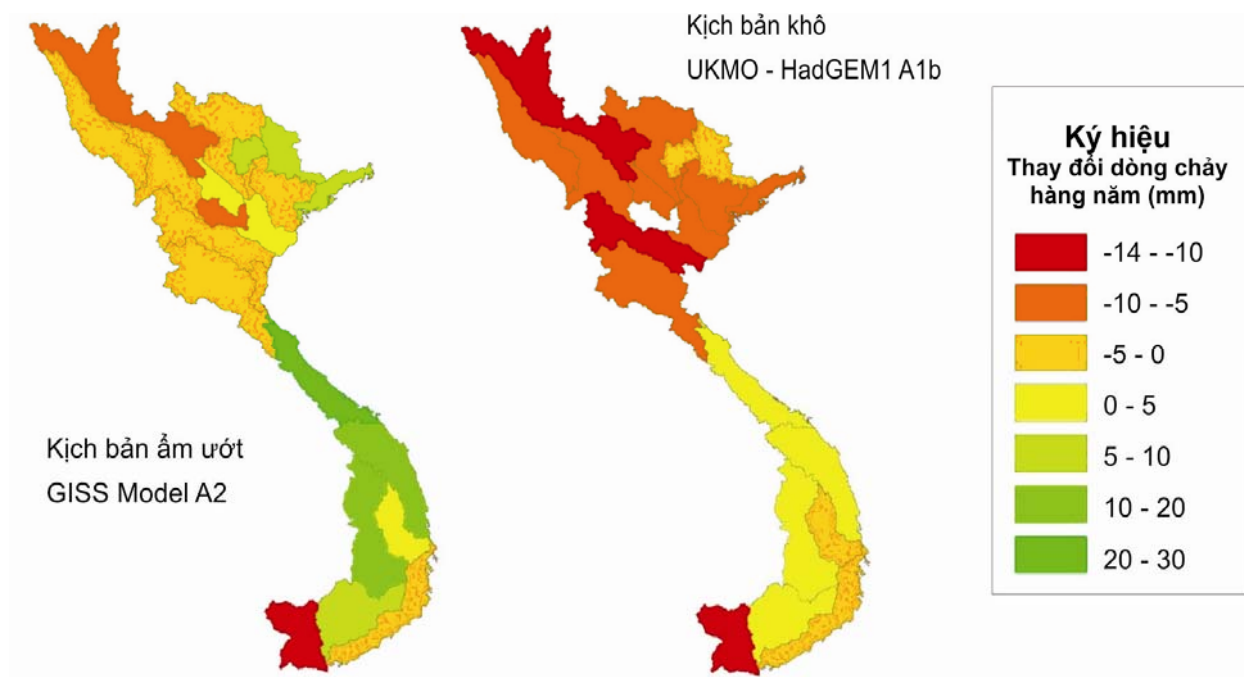


Đồ thị 4-10: So sánh dòng chảy hàng tháng của kịch bản gốc với kết quả dòng chảy cao nhất và thấp nhất từ mô hình CLIRUN



Mặc dù kết quả của một số kịch bản cho thấy dòng chảy trung bình quốc gia cao hơn so với kịch bản gốc, không phải tất cả các tiểu lưu vực đều bị ảnh hưởng như nhau. Ngược lại, dòng chảy của hầu hết các kịch bản GCM cho thấy dòng chảy bị giảm đối với các tiểu lưu vực ở phía Bắc, chủ yếu là lưu vực sông Hồng. Tuy nhiên, đối với miền Trung và một số tiểu lưu vực miền Nam, dòng chảy gia tăng ở hầu hết các trường hợp. Đồ thị 4-11 cho thấy sự thay đổi của dòng chảy theo các khu vực cho các kịch bản GCM khô và ướt. Kết quả cho thấy trong cả hai kịch bản dòng chảy cho các tiểu lưu vực phía Bắc đều có xu hướng giảm.

Đồ thị 4-11: So sánh kết quả dòng chảy theo không gian của kịch bản khô và ẩm ướt



Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích, vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

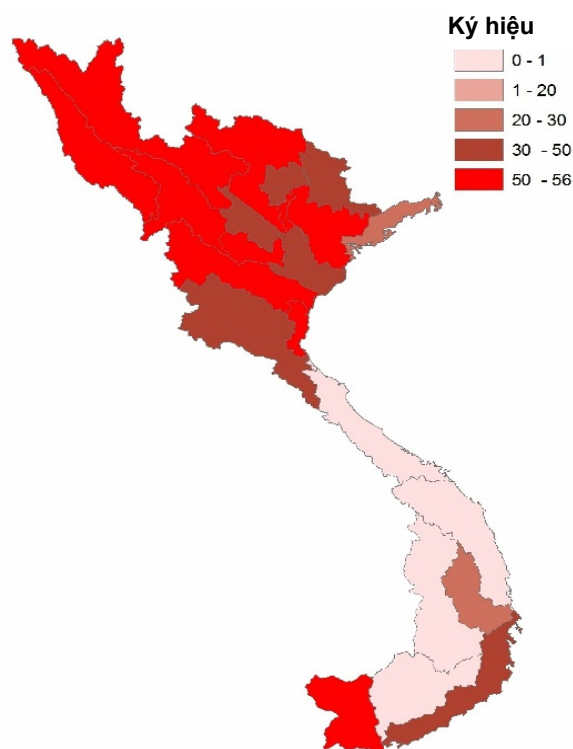
Để so sánh, Bảng 4-5 trình bày kết quả của 3 kịch bản cho kết quả dòng chảy cao nhất ở 3 dòng đầu tiên và 3 kịch bản cho kết quả dòng chảy thấp nhất ở 3 dòng cuối theo khu vực. Kịch bản Ukmo_hadgem1 A1B cho thấy sự sụt giảm của dòng chảy ở tất cả các tiểu lưu vực. Trong khi đó, kịch bản Cccma cgcm31 A1B cho kết quả gia tăng dòng chảy ở tiểu lưu vực miền Trung và miền Nam nhưng sụt giảm ở Miền Bắc.

Bảng 4-5: Kết quả dòng chảy theo khu vực của ba kịch bản cho kết quả cao nhất và thấp nhất

GCM	Tiểu lưu vực		
	Miền Bắc	Miền Trung	Miền Nam
Ukmo_hadgem1 A1B	-15%	-14%	-16%
Ipsl cm4 A1B	-10%	8%	6%
Cnrm cm3_A1B	-9%	3%	6%
Giss model er A1	-2%	5%	8%
Giss model er A1B.	-5%	16%	9%
Cccma cgcm31 A1B	-6%	21%	15%

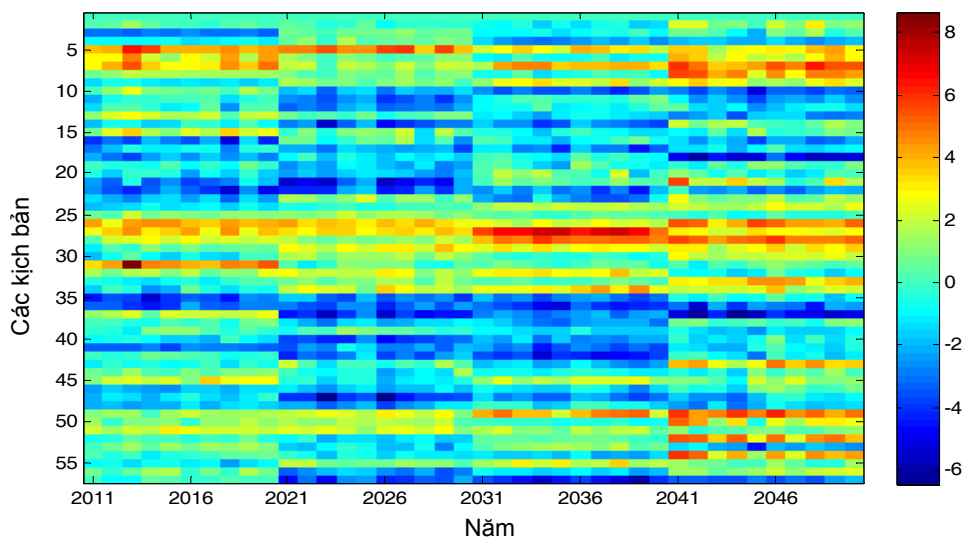
Đồ thị 4-12 trình bày số kịch bản mà có kết quả về dòng chảy nhỏ hơn so với dòng chảy ở kịch bản gốc cho những năm 2040. Đồ thị một lần nữa khẳng định nhận định về sự khô hạn ở miền Bắc. Đồ thị 4-13 khá phức tạp, cho thấy dấu hiệu thay đổi của dòng chảy tương đối so với kịch bản gốc theo năm và theo kịch bản GCM.

Đồ thị 4-12: Số lần kết quả kịch bản về dòng chảy thấp hơn kịch bản gốc



Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích, vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

Đồ thị 4-13: Sự khác biệt của dòng chảy trung bình hàng năm của các kịch bản so với kịch bản gốc (mm)



4.3. Phân tích nguồn nước: mô hình WEAP

4.3.1. Phương pháp và mô hình hóa hệ thống

Hệ thống Kế hoạch và Đánh giá nguồn Nước (WEAP) là hệ thống hỗ trợ quyết định chạy trên phần mềm window để quản lý nguồn nước tổng hợp và phân tích chính sách. WEAP là công cụ xây dựng mô hình, sử dụng để tạo ra các mô phỏng về cung, cầu nước, dòng chảy, dịch vụ sinh thái, nước ngầm và dự trữ nước, vận hành hồ chứa, ô nhiễm và xử lý ô nhiễm, bốc hơi, chất lượng nước, theo các kịch bản chính sách, thủy văn, khí hậu, sử dụng đất, công nghệ và cả yếu tố kinh tế - xã hội.

Trong phân tích này, mô hình này được sử dụng để đánh giá tác động của thay đổi dòng chảy và cầu về nước cho thủy lợi đến nhu cầu khác nhau về nguồn nước; sử dụng nước cho thủy lợi, thủy điện và công nghiệp và sinh hoạt ngày càng gia tăng. Sản lượng thủy điện và phần trăm nhu cầu không được đáp ứng là hai chỉ số chính sử dụng để đánh giá tác động đến sử dụng nguồn nước.

Bình thường, mô hình WEAP được áp dụng để phác thảo hệ thống để mô phỏng kịch bản gốc (kịch bản không có biến đổi khí hậu), ở đó cung và cầu về nước được xác định qua mô hình. Mô hình từ đó được sử dụng để mô phỏng các kịch bản phù hợp trong tương lai. Số liệu về dòng chảy trong quá khứ trong 40 năm (1951-1991) (được miêu tả ở mục 3.5) cho trường hợp không có biến đổi khí hậu cho kịch bản gốc. Các kịch bản biến đổi khí hậu dựa vào dòng chảy tạo ra từ 56 kịch bản GCM sử dụng mô hình CLIRUN-II, như được trình bày ở mục 3 và yêu cầu nước cho thủy lợi kết quả của mô hình CLICROP cho các mô hình GCM tương ứng.

Số liệu về cơ cấu nguồn nước hiện tại và kế hoạch phát triển nguồn nước trong tương lai cho các lưu vực sông phía Bắc, lưu vực sông Hồng và sông Thái Bình và tiểu lưu vực sông miền Nam, chủ yếu là Đồng Nai được cung cấp bởi Viện Khí tượng, Thủy văn và Môi trường.

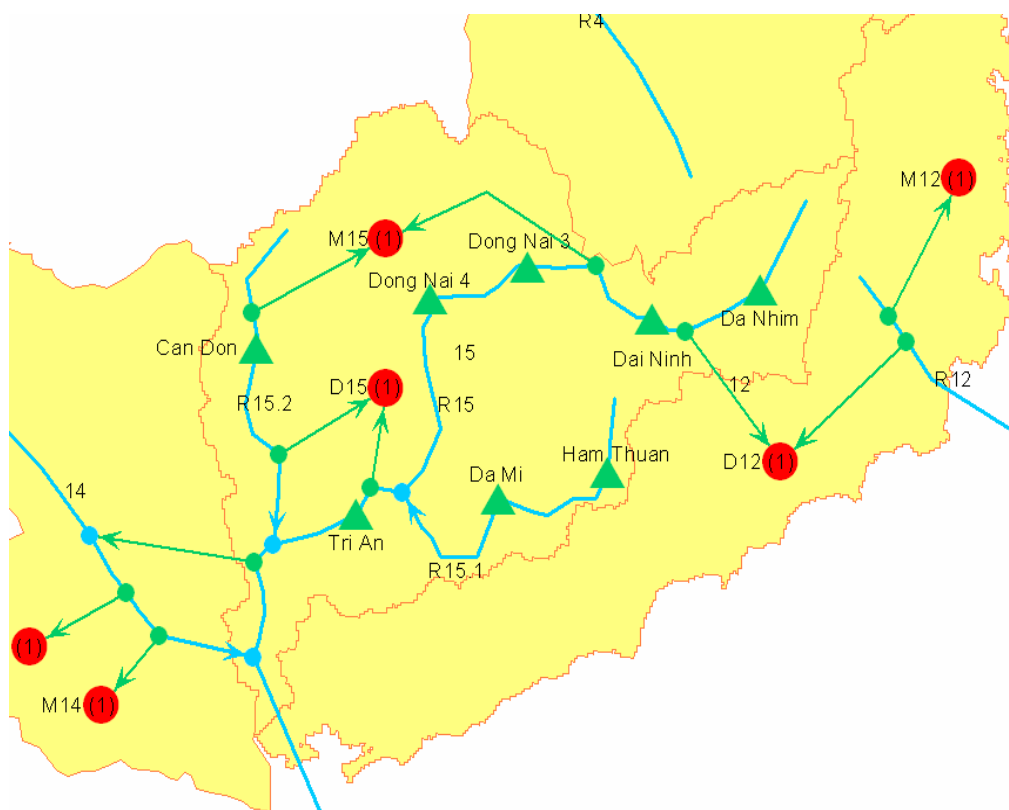
4.3.2. Giả định và đơn giản hóa mô hình

Nhu cầu thủy lợi: Đơn giản hóa liên quan đến các điểm cung về nước cho thủy lợi là giả định các kênh dẫn chuyên nước chỉ nối với các nơi có nhu cầu và các dòng sông ở cùng tiểu lưu vực. Như vậy, kết cấu mô hình theo giả định này không xem xét chu chuyển nước giữa các tiểu lưu vực và do đó đặc biệt cân nhắc các trường hợp sau:

- Kết nối giữa tiểu lưu vực sông Hồng và sông Thái Bình, lưu chuyển khoảng 1/3 lượng dòng chảy từ sông Hồng trước khi vào Hà Nội.
- Sông Dương: Lưu chuyển từ tiểu lưu vực sông Đồng Nai đến lưu vực Đồng Tháp Mười.

Do diện tích được thủy lợi hóa có thể phân bổ theo tiểu lưu vực, nhiều địa điểm cung nước cho nhu cầu thủy lợi được xem xét trong cùng một tiểu lưu vực sông. Điều này có nghĩa là sẽ mô phỏng tác động của cung nước cho thủy lợi ở các địa điểm khác nhau ở trên cùng một tiểu lưu vực sông. Kết cấu này cho phép mô hình phân bổ nguồn nước một cách tốt nhất cho thủy lợi. Đồ thị 4-14 là ví dụ minh họa nguồn nước ở tiểu lưu vực sông Đồng Nai.

Đồ thị 4-14: Phác thảo nguồn nước trong mô hình WEAP của tiểu lưu vực sông Đồng Nai



Liên quan đến nước cho thủy điện, WEAP tính toán lượng thủy điện phát ra thông qua dòng nước chảy qua tuốc bin, dựa vào lượng nước chảy từ hồ chứa và bị hạn chế bởi công suất tối đa của tuốc bin. Đối với hồ chứa, WEAP giả định nước từ cuối nguồn được chảy đến tuốc bin nhưng việc bơm xả nước từ các hồ chứa sẽ không qua tuốc bin.

$$Lượng\ nước\ chảy_H = Nước\ chảy\ cuối\ nguồn_H$$

Lượng nước chảy qua tuốc bin bị hạn chế bởi công suất tối đa của tuốc bin và nếu có quá nhiều nước thì lượng nước dư thừa được giả định sẽ chảy qua một kênh khác, không tạo ra điện.

$$Lượng\ nước\ qua\ tuốc\ bin_H = Giá\ trị\ tối\ thiểu \\ (Lượng\ nước\ chảy_H, Công\ suất\ tối\ đa\ của\ tuốc\ bin_H)$$

Ghi ga jun (GJ) điện sản xuất hàng tháng được tính là:

$$Ghi\ ga\ zun\ điện\ hàng\ tháng = Lượng\ nước\ qua\ tuốc\ bin \times Hệ\ số\ tạo\ điện$$

4.4. Nhu cầu nước

4.4.1. Nhu cầu thủy lợi

Ở Việt Nam, nhu cầu nước cho thủy lợi chiếm tỷ trọng lớn trong nhu cầu nguồn nước. Lượng nước cho thủy lợi tăng từ 47 BCM lên 74BCM trong 20 năm qua. Mặc dù phần trăm nước phân bổ cho thủy lợi giảm do nhu cầu nước cho tiêu dùng và nước công nghiệp tăng, nước cho thủy lợi vẫn chiếm khoảng hơn 82% tổng lượng nước sử dụng ở Việt Nam như được minh họa trong Bảng 4-6.

**Bảng 4-6: Xu hướng nhu cầu về nước cho nông nghiệp
và các ngành kinh tế khác (1990 - 2010)**

Nhu cầu sử dụng nước	1990		2000		2010	
	Nhu cầu về nước	%	Nhu cầu về nước	%	Nhu cầu về nước	%
Nông nghiệp	46.976	91	60.929	85	74.035	82
Công nghiệp và nước sinh hoạt	4.659	9	10.997	15	15.918	18
Tổng	51.635	100	71.926	100	89.953	100

Nguồn: Chiến lược quản lý và bảo vệ nguồn nước của Việt Nam - Ban Nguồn nước và thủy điện 6/96.

Diện tích canh tác được lấy từ bộ số liệu của mô hình phân bổ sản xuất theo không gian (SPAM) được xây dựng bởi HarvestChoice⁽³⁾. SPAM cung cấp ước tính toàn cầu về quy mô, diện tích và sản lượng trồng trọt cho 20 loại cây trồng chính với độ phân giải là 5 cung phút. Mọi người đều có thể tiếp cận và sử dụng SPAM và có thể có được thông tin về 4 chỉ số theo không gian: Diện tích thu hoạch, diện tích đất thực tế, sản xuất và sản lượng.

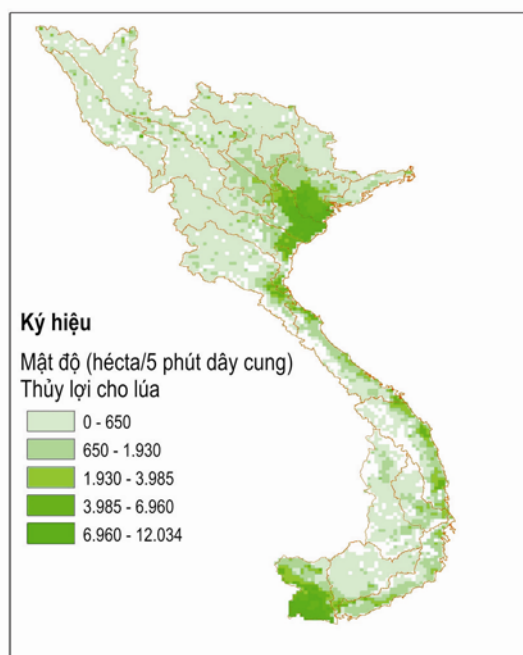
Bộ số liệu diện tích đất thực tế từ SPAM 2000 phiên bản 3.0.2⁽⁴⁾ được sử dụng trong nghiên cứu này. Số liệu này dùng để phân bổ về diện tích trồng trọt cho mỗi loại cây trồng. Diện tích đất thực tế đề cập đến loại cây trồng nào được trồng ở đâu trong năm 2000. Bộ số liệu này không tính đến tính đa mùa vụ trong 1 năm. Tuy nhiên, kết quả của CLICROP về thiếu hụt nước có xem xét đến tính đa mùa vụ.

Số liệu được tổng hợp cho tiểu lưu vực để có được diện tích được thủy lợi hóa hàng năm cho mỗi lưu vực sông. Diện tích được thủy lợi hóa hàng năm khoảng 7,94 triệu héc ta, trong đó diện tích trồng lúa chiếm khoảng 46%. Mật độ trồng lúa trong bộ số liệu SPAM được chỉ ra trong Đồ thị 4-15. Đồ thị 4-16 chỉ ra phân bổ diện tích được thủy lợi hóa theo cây trồng có được từ bộ số liệu SPAM 2000.

(3) Sáng kiến nghiên cứu chung được điều phối bởi chương trình nghiên cứu Hệ thống Thực phẩm Toàn cầu của IFPRI và chương trình Thực tiễn và Chính sách Khoa học và Công nghệ Quốc tế (InSTePP). HarvestChoice tạo ra thông tin giúp hướng dẫn những đầu tư chiến lược vào nông nghiệp nhằm mục tiêu nâng cao đời sống của người nghèo vùng Sa-ha-ra của Châu Phi thông qua sản xuất nông nghiệp hiệu quả và lợi nhuận cao hơn.

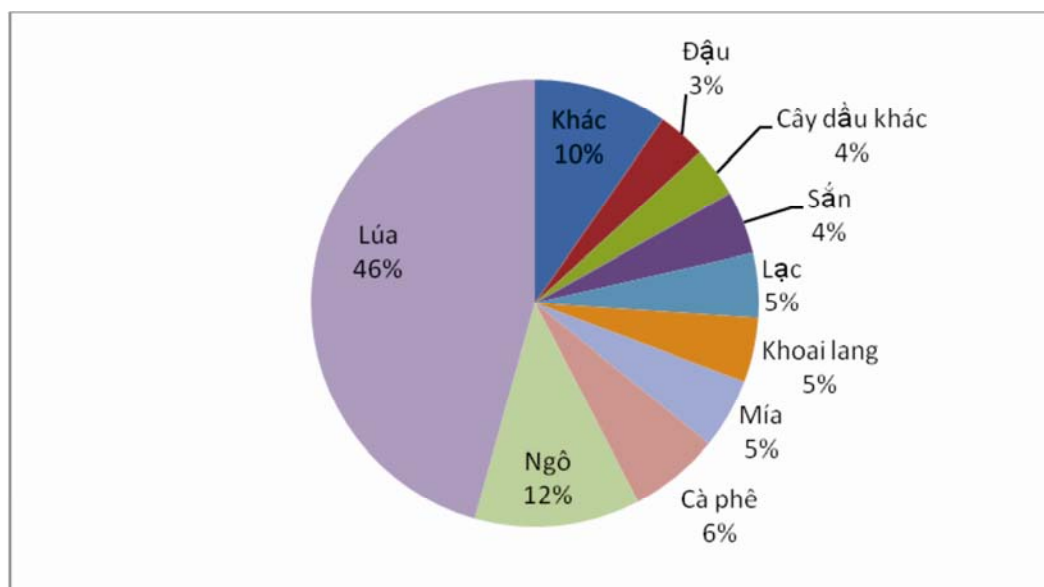
(4) Phiên bản 3.0.2 (Phiên bản 3 công bố lần 2; 5 tháng 4, 2010).

Đồ thị 4-15: Mật độ trồng lúa từ bộ số liệu SPAM



Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích, vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

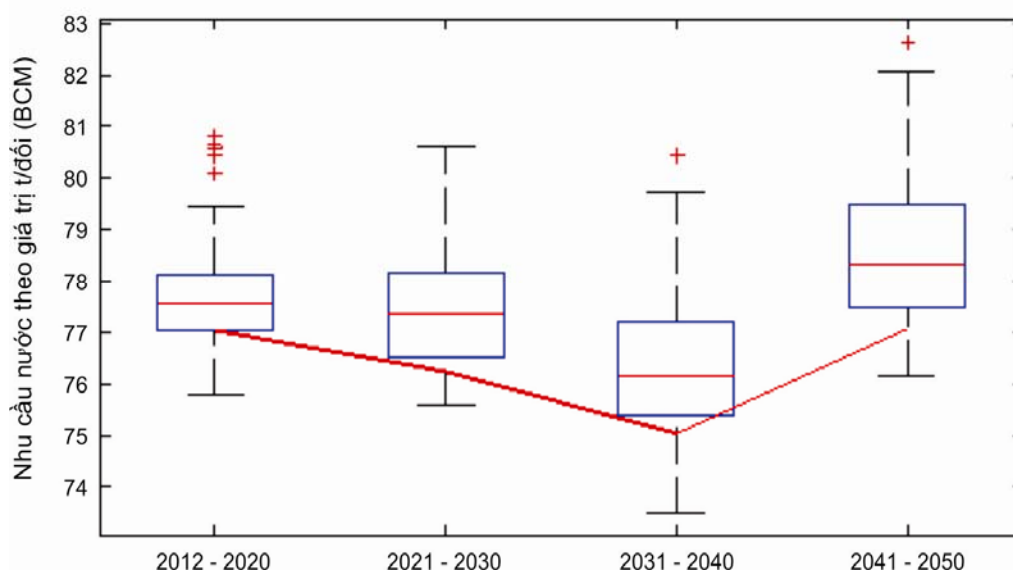
Đồ thị 4-16: Phân bổ diện tích được thủy lợi theo loại cây trồng từ số liệu SPAM



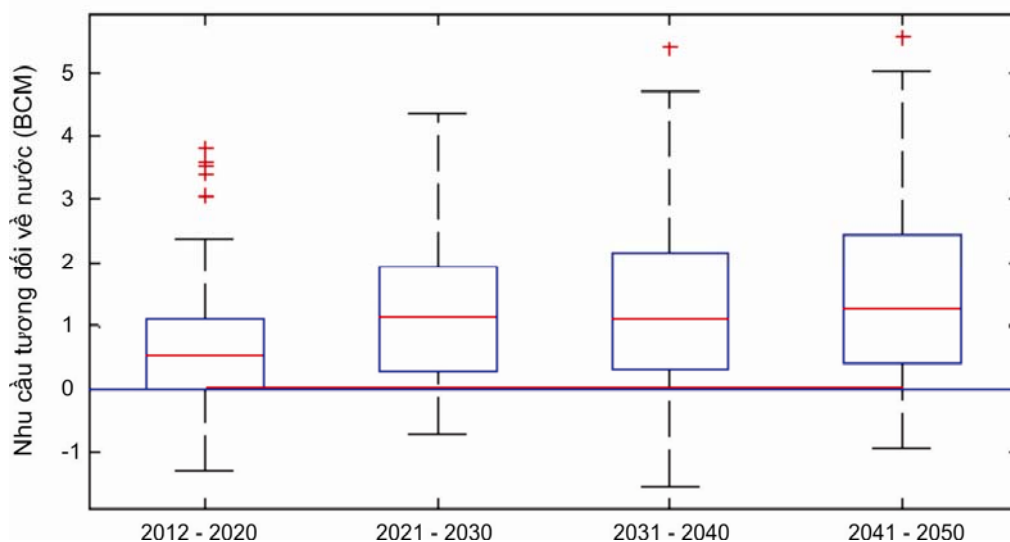
Tổng diện tích được thủy lợi hóa được mở rộng với tốc độ 2,9% hàng năm trong giai đoạn 1980-87, 4,58% giữa 1988-1994 và số liệu ở báo cáo mới nhất thì tốc độ này vào khoảng trung bình 3,4% giai đoạn 1998-2011. Tuy nhiên, không thể có được số liệu tin cậy liên quan đến kế hoạch mở rộng diện tích được thủy lợi hóa trong tương lai do đó nghiên cứu này giả định rằng tiềm năng tối đa cho thủy lợi hóa của Việt Nam là 9,4 triệu héc ta đến năm 2050 (FAO, 2000). Do đó, diện tích được thủy lợi hóa hiện nay được dự báo tuyến tính, tăng khoảng 0,6% hàng năm.

Mô hình CliCrop được sử dụng để dự báo lượng nước yêu cầu cho thủy lợi trong tương lai trong bối cảnh biến đổi khí hậu (xem mục 3). Mô hình này được chạy cho tất cả 56 kịch bản biến đổi khí hậu, cung cấp lượng nước thiếu hụt hàng tháng cho các loại cây trồng khác nhau. Lượng nước thiếu hụt được nhân với diện tích thủy lợi hóa ở mỗi tiểu lưu vực sông để có tổng lượng nước cần cho thủy lợi hóa. Lượng nước sử dụng hàng năm trên 1 héc-ta được cung cấp bởi AQUASTAT (FAO 2000), cho thấy rằng thủy lợi tiêu tốn một lượng nước 77,75 tỷ mét khối nước cho 1 năm. Tổng lượng nước thiếu hụt có được từ mô hình CliCrop cho thấy nhu cầu thủy lợi hàng năm là 54 BCM như vậy hiệu suất cung thủy lợi đạt mức 70%. Mặc dù có thể cải thiện được hiệu suất cung thủy lợi trong tương lai, trong nghiên cứu này giá trị hiệu suất cung nước thủy lợi 70% được sử dụng cho tất cả các kịch bản. Đồ thị 4-17 và 4-18 trình bày yêu cầu cung nước thủy lợi dưới dạng hộp.

Đồ thị 4-17: Nhu cầu về nước cho thủy lợi hàng năm theo giá trị tuyệt đối và kịch bản gốc (đường đỏ)



Đồ thị 4-18: Nhu cầu cung ứng thủy lợi hàng năm so với kịch bản gốc



4.4.2. Thủy điện

Thủy điện là một trong những nguồn điện chính của Việt Nam. Tổng công suất phát điện của các nhà máy thủy điện hiện nay và các nhà máy đang trong quá trình xây dựng của Việt Nam là 10.320 MW. Theo Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN), công suất này có thể tăng thêm 4.760 MW đến cuối năm 2020, nâng tổng công suất lên 14.670 MW.

Hiện có 14 nhà máy thủy điện đang hoạt động ở Việt Nam, với công suất lắp đặt là 4.577 MW, cung cấp 20.112 GWH điện trong 1 năm. Sản lượng này chiếm khoảng 30% tổng năng lượng tiềm năng của Việt Nam. Công suất thủy điện ở các tiểu lưu vực được xem xét trong nghiên cứu này được trình bày tại Bảng 4-7.

Bảng 4-7: Khả năng sản xuất thủy điện hiện nay (đến năm 2011)

Lưu vực sông	Điện (MW)	Năng lượng dài hạn (GWH)
Lô Gấm	108	430
Đà	1.920	8.160
Ba	70	360
Sê San	1.188	5.791
Đồng Nai	1.263	5.177
Sê rêpôk	28	194
Tổng	4.577	20.112

Công suất phát điện cao nhất thuộc về lưu vực sông Đà; Nhà máy thủy điện Hòa Bình chiếm khoảng 40% tổng điện sản xuất ở Việt Nam. Hai nhà máy nữa sẽ được xây ở đầu nguồn sông Đà. Hai nhà máy được dự kiến hoàn thành vào năm 2012, nâng tổng công suất điện của lưu vực sông Đà lên gần gấp đôi công suất hiện tại. Bảng 4-8 tóm tắt nhà máy điện chính được xem xét trong nghiên cứu này.

Mười bốn dự án thủy điện lớn và trung bình được đầu tư bởi EVN đã và đang được xây dựng được xem xét trong nghiên cứu này. Tổng lượng điện phát trong dài hạn của kế hoạch thủy điện này dự kiến khoảng 22.656 GWH. Nhà máy lớn nhất là nhà máy thủy điện Sơn La, dự kiến phát 2.400 MW và sẽ hoàn thành vào cuối năm 2012. Bảng 4-9 và 4-10 xác định các dự án thủy điện chính đang được xây dựng được xem xét trong nghiên cứu này theo lưu vực sông và riêng biệt. Thêm vào đó, EVN đã xác định 408 địa điểm tiềm năng cho nhà máy thủy điện tại Quy hoạch quốc gia phát triển thủy điện cỡ nhỏ. Các nhà máy này có công suất từ 1 đến 30 MW và có thể tạo ra 13.500 GWH với tổng công suất 2.887 MW (PECC1, 2004). Những con số này kết hợp với các nhà máy đã và đang xây dựng sẽ nâng tỷ trọng thủy điện của Việt Nam lên 86% tiềm năng sản xuất điện.

Bảng 4-8: Nhà máy thủy điện hiện tại: Công suất phát điện và địa điểm

Nhà máy	Địa điểm	Sản lượng điện hàng năm (GWH)
Thác Bà	Lô Gấm	430
Hòa Bình	Đà	8160
Sông Hinh	Ba	360
Yali	Sê San	3650
Sê San 3	Sê San	1224
Sê San 3a	Sê San	475
Plêikrông	Sê San	442
Thác Mơ	Đồng Nai	589
Cần Đơn	Đồng Nai	290
Hàm Thuận	Đồng Nai	957
Đa Mi	Đồng Nai	590
Đa Nhim	Đồng Nai	1025
Trị An	Đồng Nai	1726
Dray Hling	Sê rêpôk	194

Bảng 4-9: Nhà máy thủy điện đang được xây dựng theo các tiểu lưu vực sông

Lưu vực sông	Công suất (MW)	Tổng sản lượng điện (GWH)
Lô Gấm	562	2488
Đà	2920	12150
Ba	220	825
Sê San	381	1596
Đồng Nai	820	2894
Sê rêpôk	840	2703
Tổng	5.743	22.656

Bảng 4-10: Nhà máy thủy điện hiện tại đang được xây dựng

Nhà máy	Địa điểm	Sản lượng điện (GWH)
Tuyên Quang	Lô Gắm	1329,6
Bản Chát	Lô Gắm	1158,1
Sơn La	Đà	10246
Huội Quảng	Đà	1904,2
Ba Hạ	Ba	825
Sê San 4	Sê San	1401
Sê San 4a	Sê San	195
Đồng Nai 3	Đồng Nai	607,1
Đồng Nai 4	Đồng Nai	1103,8
Đại Ninh	Đồng Nai	1183
Buôn Tua Srah	Sê rêpôk	347
Buôn Kuốp	Sê rêpôk	1346
Sê rêpôk 3	Sê rêpôk	815
Sê rêpôk 4	Sê rêpôk	195

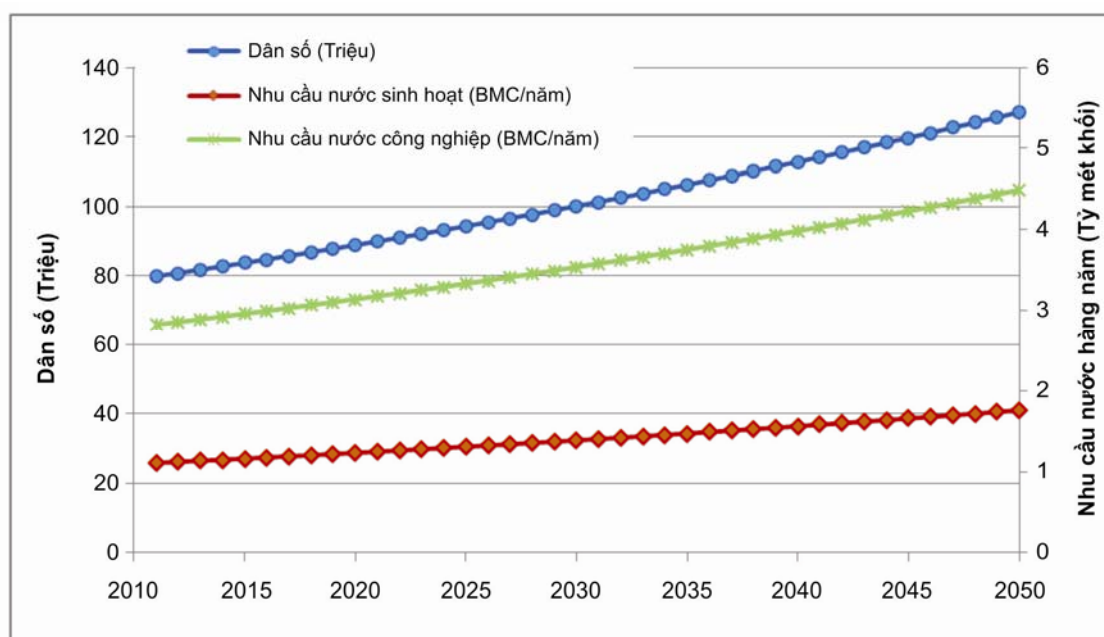
4.4.3. Nhu cầu về nước công nghiệp và nước sinh hoạt

Số liệu về nhu cầu nước công nghiệp và nước sinh hoạt được lấy từ bộ số liệu về nông nghiệp và nước toàn cầu của FAO, (AQUASTAT), [ở địa chỉ: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dbase/index.stm>, cập nhật vào năm 2011]. Nhu cầu nước đô thị là tổng lượng nước hàng năm khai thác được người dân sử dụng trực tiếp cho sinh hoạt. Nó bao gồm nước tinh khiết có thể tái chế và cả nguồn nước ngầm tiềm năng đã được khử muối hoặc nước thải đã được xử lý. Nhu cầu nước công nghiệp được tính đến những ngành tự cung về nước, không sử dụng nước phân phối công cộng, bao gồm cả nước làm nguội các nhà máy nhiệt điện.

Nhu cầu nước sinh hoạt và nước công nghiệp tương ứng là 3,074 BCM/năm và 1,206 BCM/năm, tương đương 13,84 và 35,3 mét khối trên đầu người mỗi năm. Nhu cầu về nước này được giả định tỷ lệ thuận với dân số và do đó nhu cầu nước được tính cho mỗi tiểu lưu vực sông dựa vào dân số của khu vực đó. Nhu cầu này được dự báo đến năm 2050 theo các dự báo về tăng dân số.

Dân số ước tính cho các tiểu lưu vực được dựa vào số liệu mật độ dân số 2010 của Mạng lưới thông tin khoa học trái đất (CIESIN) của trường Đại học Columbia [<http://sedac.ciesin.columbia.edu>]. Số liệu gốc là độ phân giải 2,5 độ cung-phút được điều chỉnh cho phù hợp với tổng số người trên 1 km² của Liên hợp quốc. Số liệu này được tổng hợp theo 22 tiểu lưu vực sử dụng trong mô hình WEAP.

Đồ thị 4-19: Tăng dân số và dự báo nhu cầu nước sinh hoạt và nước công nghiệp hàng năm



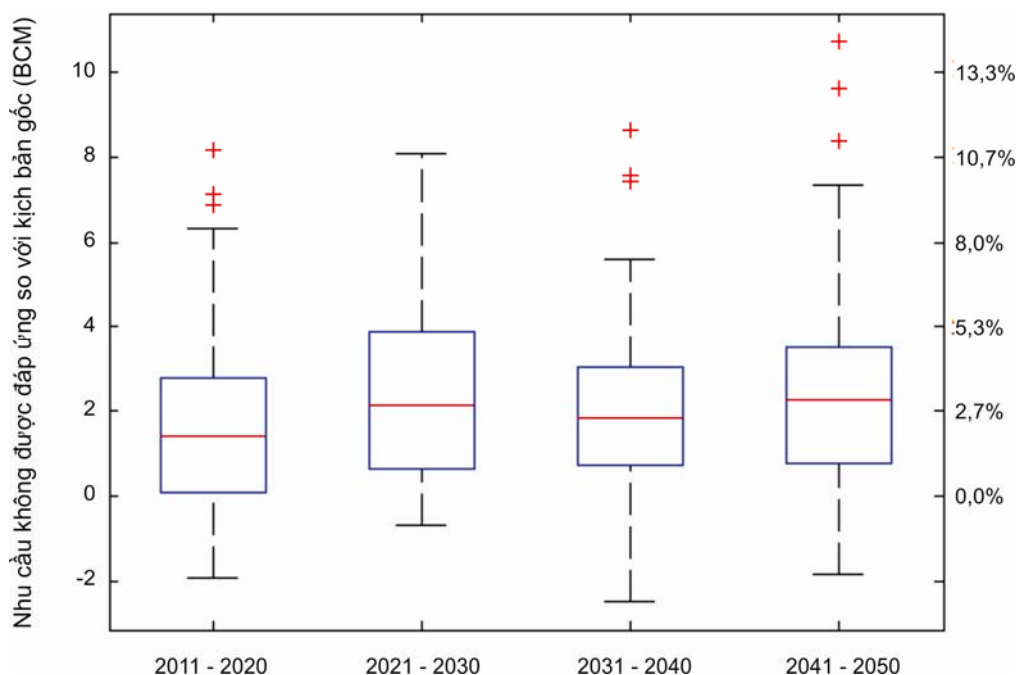
4.5. Kết quả phân tích nguồn nước

4.5.1. Tác động đến thủy lợi

Kết quả về nhu cầu không được đáp ứng tương đối của WEAP là chỉ số chính để đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến nguồn nước cung cấp cho thủy lợi. Trong kịch bản gốc, kết quả cho thấy nguồn nước đã khá căng thẳng. Trong tiểu lưu vực sông Đà và sông Phó Đáy, nhu cầu không được đáp ứng hàng năm trong dài hạn trung bình là 200 triệu mét khối nước. Đối với các kịch bản biến đổi khí hậu, nhìn chung nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng sẽ tăng trong các năm tiếp theo.

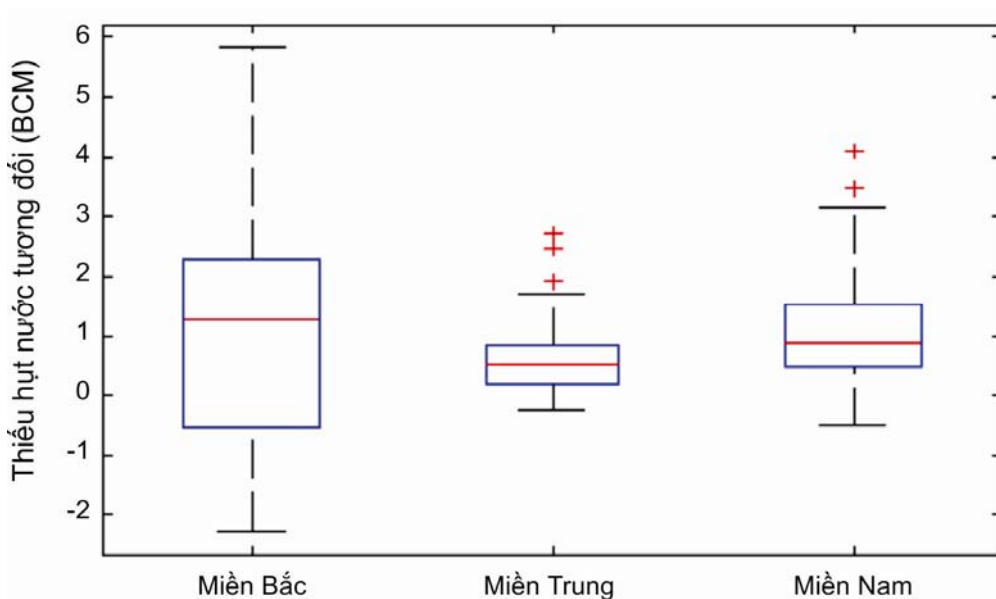
Đồ thị dạng hộp 4-20 biểu diễn thiếu cung nước cho thủy lợi của 56 kịch bản GCM so với kịch bản gốc. Giá trị trung vị đạt khoảng 2,1 BCM cho năm 2050. Trường hợp xấu nhất cho thấy lượng nước thiếu hụt tối đa là 7 BCM.

Đồ thị 4-20: Nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng so với kịch bản gốc



Như miêu tả ở các mục trên, biến đổi khí hậu sẽ tác động nhiều hơn đến các tiểu lưu vực phía Bắc, chủ yếu là lưu vực sông Hồng. Điều này cũng được phản ánh trong kết quả phân bố về nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng theo không gian, theo đó lượng nước thiếu hụt nhiều nhất chủ yếu ở lưu vực sông Hồng, chủ yếu do dòng chảy giảm như đã phân tích ở phần về dòng chảy. Hơn thế nữa, mức độ tác động cũng có khoảng dao động rộng hơn ở các tiểu lưu vực phía Bắc, trong khoảng từ 6BCM thiếu hụt đến 2BCM dư thừa so với kịch bản gốc. Đồ thị 4-21 trình bày nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng so với kịch bản gốc theo 3 vùng đến năm 2050.

Đồ thị 4-21: Nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng so với kịch bản gốc của 3 vùng đến năm 2050



Bảng 4-11 trình bày thiếu hụt nước thủy lợi tương ứng so với lượng thiếu hụt trung bình của thập kỷ của ba kịch bản GCM cho kết quả tối thiểu, trung vị và tối đa về dòng chảy. Kết quả cho thấy thậm chí trong trường hợp dòng chảy tăng (ví dụ kịch bản Cccma cgcm31 A1B) lượng nước dư thừa trong thập kỷ 2020 sẽ dần dần được sử dụng hết do nhu cầu thủy lợi ngày càng tăng.

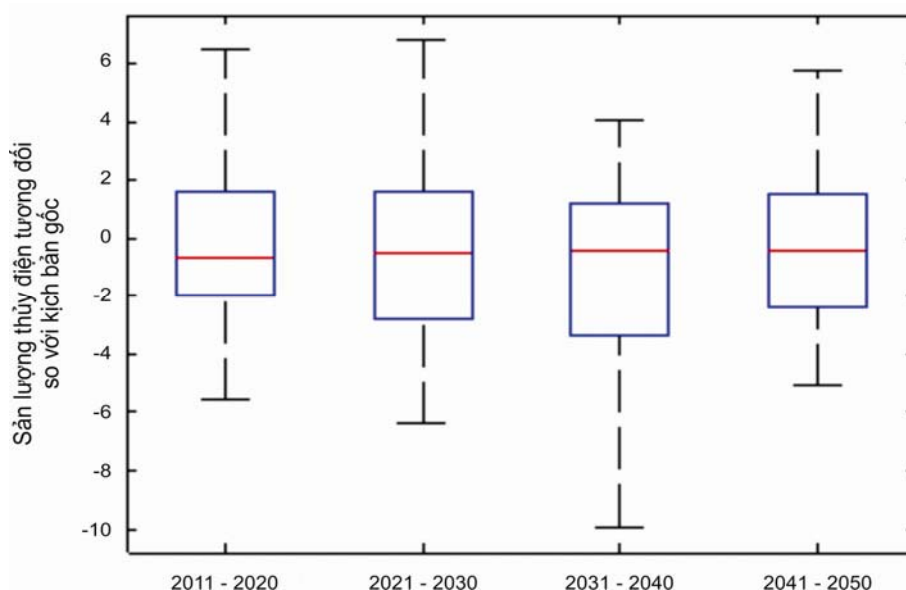
Bảng 4-11: Nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng trung bình 10 năm của một số kịch bản biến đổi khí hậu (đơn vị triệu mét khối)

Kịch bản GCM	Địa điểm	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Dòng chảy tối thiểu - Ukmo_hadgem1 A1B	Lưu vực miền Bắc	1906	3750	4461	5285
	Lưu vực miền Trung	1049	1213	1754	1903
	Lưu vực miền Nam	1242	794	1424	1516
Dòng chảy trung vị - Inmcm3_0 B1	Lưu vực miền Bắc	594	715	1498	2341
	Lưu vực miền Trung	427	397	868	932
	Lưu vực miền Nam	684	363	1400	1503
Dòng chảy tối đa - Cccma cgcm31 A1B	Lưu vực miền Bắc	-1900	-1435	-2211	-918
	Lưu vực miền Trung	-255	78	-457	223
	Lưu vực miền Nam	325	574	456	741

4.5.2. Tác động đến thủy điện

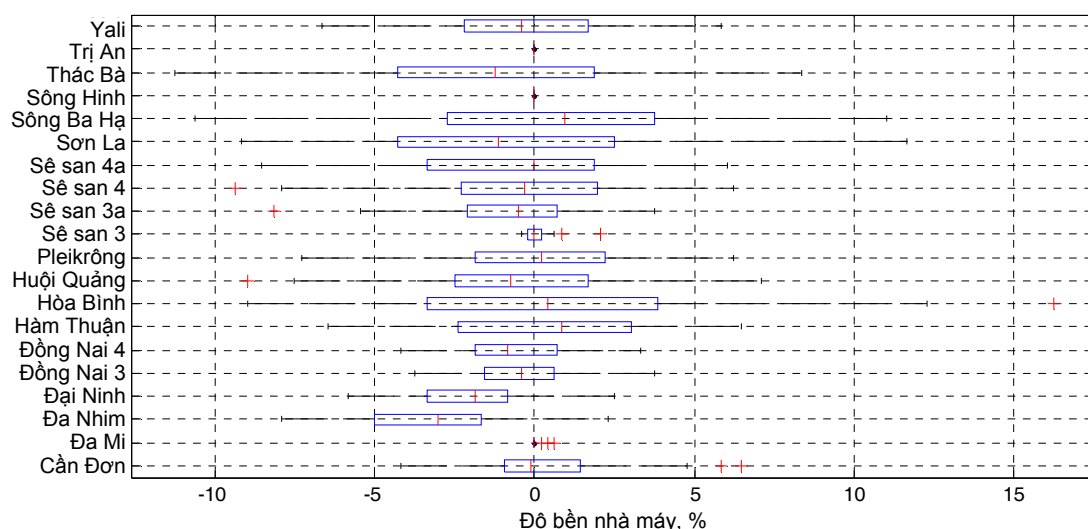
Giá trị trung vị của sản lượng điện so với kịch bản gốc có xu hướng giảm nhẹ trong các kịch bản biến đổi khí hậu. Về tổng thể, sản lượng phát điện của các nhà máy thủy điện sẽ bị giảm tối đa là 14% trong giai đoạn 2041-2050. Phần trăm giảm sản lượng trung bình 10 năm của các nhà máy được trình bày trong Đồ thị 4-22.

Đồ thị 4-22: Công suất phát thủy điện so với kịch bản gốc (%)



Tổng công suất phát điện hiện nay sau khi tất cả các nhà máy thủy điện hiện đang được xây dựng đi vào hoạt động là 42,76 TWH. Khả năng phát điện, đáp ứng nhu cầu hàng năm có sự biến động cao. Đồ thị 4-23 cho thấy độ bền của một số nhà máy thủy điện trong 56 kịch bản biến đổi khí hậu. Kết quả cho thấy có sự rủi ro tương đối lớn về độ bền của nhà máy thủy điện lớn như Sơn La, Hòa Bình, trong khoảng $\pm 5\%$ trong 40 năm.

Đồ thị 4-23: Độ bền của một số nhà máy thủy điện



4.6. Chính sách thích ứng

4.6.1. Tiểu lưu vực sông miền Bắc

Tác động chính về nguồn nước của các tiểu lưu vực sông phía Bắc là suy giảm dòng chảy và gia tăng nhu cầu nước cho thủy lợi. Hậu quả của sự kết hợp hai tác động trên sẽ là sự thiếu hụt nghiêm trọng của nguồn nước cho thủy lợi và do đó không đáp ứng được nhu cầu. Hơn thế nữa, công suất phát điện của các nhà máy trong khu vực cũng sẽ giảm nhẹ.

Nước cho thủy lợi chiếm phần lớn nhu cầu về nước đối với các tiểu lưu vực sông phía Bắc do đó sử dụng hiệu quả nguồn nước sẽ là hướng đi cơ bản để giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu tới nhu cầu nước cho thủy lợi. Tối thiểu hóa lượng nước rò thoát trong các kênh và áp dụng công nghệ tốt hơn có thể giảm đáng kể nhu cầu nước cho thủy lợi.

Tập đoàn điện lực Việt Nam (EVN) đã xác định một số hồ chứa nước đa mục tiêu trong khu vực. Việc triển khai hoạt động của các hồ chứa này có thể cung cấp nước cho mùa khô, giảm thiểu ảnh hưởng đến công suất điện và cho phép phân bổ nguồn nước tối ưu cho thủy lợi.

4.6.2. Tiểu lưu vực sông miền Trung và miền Nam

Như đã đề cập ở trên, hầu hết kết quả các kịch bản GCM đều cho kết quả gia tăng dòng nước cho các tiểu lưu vực sông miền Trung và miền Nam. Thêm vào đó, dòng nước trong mùa ướt sẽ cao và vào mùa khô sẽ bị giảm. Kết quả kết hợp các tác động của việc tăng dòng chảy, đặc biệt vào mùa mưa sẽ gia tăng cường độ của thiên tai, nâng tần suất lũ và độ phá hủy nghiêm

trọng của lũ. Hơn thế nữa, giảm dòng chảy trong mùa khô làm giảm thủy điện và tạo ra thiếu hụt nước cho thủy lợi.

Xây dựng thêm hồ chứa đa mục tiêu và tăng khả năng trữ nước sẽ giúp Việt Nam có thể đáp ứng nước cho mùa khô và giảm rủi ro lũ lụt. Mặc dù ảnh hưởng đến thủy lợi do giảm nước trong mùa khô nhỏ, sử dụng nước hiệu quả là yếu tố then chốt; tăng hiệu quả thủy lợi đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu tác động tiêu cực của biến đổi khí hậu trong tương lai.

Hiện nay, tổng nhu cầu nước cho công nghiệp và nước sinh hoạt chiếm 18% (Xem Bảng 4-6). Trong tương lai gần, nhu cầu nước này sẽ chiếm tỷ trọng đáng kể do tăng dân số và công nghiệp hóa nhanh. Tái chế và sử dụng hiệu quả hệ thống phân phối nước sẽ là hướng đi cơ bản để tối thiểu hóa tác động tiêu cực của biến đổi khí hậu.

5. Đường giao thông

5.1. Đường giao thông và tăng trưởng kinh tế

Có rất nhiều nghiên cứu khẳng định tầm quan trọng của cơ sở hạ tầng đường sá cho tăng trưởng kinh tế. Trong một tài liệu hội thảo, Fernald (1999) đã nghiên cứu số liệu của Hoa Kỳ trong thời kỳ 1953-1989 và kết luận rằng đầu tư vào đường sá đã có tác động đáng kể lên tăng trưởng năng suất trong thời kỳ 1953-1973 khi hệ thống đường cao tốc liên bang được xây dựng. Tác giả đã ước tính đầu tư công, chủ yếu trong đường sá đã đóng góp 1 điểm phần trăm trong tăng trưởng tổng năng suất lao động (trang 620). Để đạt được thành tựu này, đầu tư ròng vào đường sá đã vượt quá một phần tư giá trị đầu tư ròng của tư nhân (trang 619). Do đó, đầu tư vào hệ thống đường sá công cộng đã đóng góp tăng trưởng kinh tế của Hoa Kỳ trong suốt thập kỷ 50 và 60. Sau năm 1973, Fernald khẳng định rằng sản phẩm cận biên của đầu tư đường sá đã giảm (ví dụ hệ thống đường cao tốc liên bang thứ hai có ít lợi ích hơn hệ thống đường cao tốc thứ nhất).

Các nước đang phát triển dường như ít phải đối mặt tình trạng suy giảm sản phẩm cận biên của đầu tư cơ sở hạ tầng đường sá do sự vượt quá cung bởi vì hệ thống đường sá của các nước này thường kém phát triển. Tất nhiên, sản phẩm cận biên (và trung bình) của đầu tư cơ sở hạ tầng có thể thấp bởi nhiều lý do. Ví dụ, Chính phủ các nước có thể lãng phí các nguồn lực xây dựng các cơ sở hạ tầng kém chất lượng và không cần thiết. Tuy nhiên, bằng chứng kinh nghiệm cho thấy nhìn chung đầu tư vào hệ thống đường sá công cộng tạo ra các giá trị hợp lý. Ví dụ, Esfahani và Ramírez (2003) sử dụng số liệu thống kê hồi quy so sánh giữa các nước và phát hiện rằng đóng góp của dịch vụ cơ sở hạ tầng cho GDP là đáng kể và cao hơn chi phí đầu tư. Tương tự như vậy, Calderón và Servén (2004) phát hiện tăng trưởng kinh tế ở các nước châu Mỹ La-tinh có mối quan hệ tích cực với vốn cơ sở hạ tầng và bất bình đẳng thu nhập giảm xuống cùng với số lượng và chất lượng cơ sở hạ tầng tăng lên. Gần đây, các tác giả này đã sử dụng cùng phương pháp để tính cho các nước châu Phi và cũng cho ra một kết quả tương tự (Calderón và Servén 2008).

Các vấn đề về phương pháp luận làm hạn chế các nghiên cứu thực nghiệm hồi quy giữa các nước với nhau (ví dụ xem Roodman 2009). Tuy nhiên, các nghiên cứu ở tầm quốc gia nhìn chung cũng cho ra kết quả tích cực. Ví dụ, ở Việt Nam, Mu và van de Walle (2007) phát hiện rằng đầu tư vào đường sá ở nông thôn mang lại tác động đáng kể đối với phát triển thị trường địa phương. Hơn nữa, họ phát hiện rằng trong khi các tác động là không đồng nhất đến các mức thu nhập của dân cư,

thì chúng có tác động đến giảm nghèo. Trong một nghiên cứu ở Nepal, Jacoby (2000) phát hiện rằng “việc xây dựng, mở rộng đường sá mang lại lợi ích ổn định cho các hộ nghèo” (trang 713). Dillon, Sharma, và Zhang (2011) cũng kết luận trong nghiên cứu của họ rằng đường sá nông thôn là một khoản chi tiêu công hữu ích nhất ở Nepal. Fan và các đồng tác giả cũng ước tính giá trị thu lại được trong đầu tư công ở Trung Quốc, Ấn Độ và Uganda (Fan et al. 2004; Fan và Chan-Kang 2008; Fan và Hazell 2001; Fan và Zhang 2008). Họ đã ước tính giá trị đầu tư chắc chắn thu lại được khi đầu tư vào đường sá, đặc biệt là hệ thống đường sá ở nông thôn.

Do đó, cả lý thuyết và bằng chứng thực tiễn đều thừa nhận rằng đầu tư vào cơ sở hạ tầng là nhân tố quan trọng cho tăng trưởng kinh tế và giảm nghèo. Ở phần lớn các nước đang phát triển, các khoản đầu tư này đều chiếm tỷ lệ lớn trong ngân sách nhà nước và trong tổng đầu tư toàn xã hội. Nếu nguồn vốn đầu tư công nói chung và khoản vốn cho hạ tầng đường sá nói riêng là cần thiết cho tăng trưởng kinh tế và giảm nghèo thì sự suy giảm hệ thống đường sá này cũng có tác động quan trọng. Phần tiếp theo, chúng ta sẽ xem xét các tài liệu biến đổi khí hậu liên quan đến hệ thống đường sá.

5.2. Đường giao thông và biến đổi khí hậu

Các nghiên cứu về tác động và thích nghi của biến đổi khí hậu trong lĩnh vực cơ sở hạ tầng còn ở mức độ sơ khai, mới chỉ nhấn mạnh các đề xuất và cảnh báo chung dựa trên các nghiên cứu về thời tiết nói chung. Nghiên cứu bởi Ủy ban nghiên cứu giao thông của Hòa Kỳ, Ủy ban Scotlen, và cơ quan đường sá Úc là những nghiên cứu đáng chú ý (TRB 2008; Galbraith và các đồng sự. 2005; AUSTRROADS 2004). Các tác giả so sánh các thảm họa liên quan đến khí hậu và các quan sát của họ thu được với các tác động biến đổi khí hậu được dự báo. Một số các nghiên cứu ước lượng tác động cụ thể của nhiệt độ, mưa, tuyết, gió, sương mù và lũ lụt lên đường sá (CCSP 2006). Đi xa hơn, các nghiên cứu khác xác định các vùng nơi mà biến đổi khí hậu có thể đe dọa đến cơ sở hạ tầng. Ví dụ, đường sá ở Canada đặc biệt bị tổn thương do sự tăng nhiệt độ (Industrial Economics 2010). Tương tự, khí hậu ở phương Bắc có thể gây ra sự xuống cấp nhanh cơ sở hạ tầng do sự tan băng (Jackson và Puccinelli 2006).

Mills và Andrey (2002) xây dựng một khung khổ chung về đánh giá tác động khí hậu lên hệ thống vận tải. Họ liệt kê các điều kiện ranh giới thời tiết và phân loại các dạng thời tiết nguy hiểm ảnh hưởng đến môi trường cơ sở hạ tầng được xây dựng, duy trì và sử dụng. Các tác giả cảnh báo biến đổi khí hậu sẽ thay đổi bối cảnh thời tiết, ảnh hưởng đến tần số, khoảng thời gian, và tính khắc nghiệt thời tiết. Các mối nguy hiểm này có thể ảnh hưởng cơ sở hạ tầng đường sá, khả năng vận hành, và đường cung của các dịch vụ vận tải. Sau cùng, ảnh hưởng của thời tiết tác động lên lĩnh vực nông nghiệp ở địa phương sản xuất và do đó đến sự cần thiết và phương thức vận chuyển các sản phẩm nông nghiệp.

Một điểm hạn chế của các nghiên cứu trên là mới chỉ tập trung tác động tiềm năng của biến đổi khí hậu, và sự thiếu ước tính chi tiết của các chi phí hay mất mát xảy ra do sự biến đổi khí hậu. Để khắc phục hạn chế này, Chinowsky và các đồng sự. (2011a) chứng minh các chi phí tiềm tàng của biến đổi khí hậu lên cơ sở hạ tầng đường sá ở 10 nước có vị trí địa lý và kinh tế khác nhau. Phương pháp nghiên cứu của họ là sự mở rộng của nghiên cứu ước lượng tác động của biến đổi khí hậu lên cầu đường của Stratus Consulting (2010) và nghiên cứu tác động lên đường sá ở khí hậu phương Bắc (Industrial Economics 2010).

Các mối quan hệ được đề cập ở trên được kết hợp vào mô hình mô phỏng hệ thống đường sá tên là CliRoad. Mô hình mô phỏng này theo dõi số lượng đường sá chia theo tuổi thọ của đường kể từ khi xây dựng (hoặc 20 năm được xây/nâng cấp lại), loại đường (cấp 1, cấp 2, cấp 3), kiểu đường (nhựa, sỏi, hoặc đất) và vùng cho mỗi năm trong khoảng thời gian mô phỏng từ năm 2007-2050. Trong khi đó các yếu tố tác động khác được giữ cố định ở các khu vực, các yếu tố thời tiết (lượng mưa, nhiệt độ và các sự kiện lũ lụt) thì khác nhau giữa các vùng. Bởi vì CliRoad được tích hợp trực tiếp vào trong mô hình cân bằng tổng thể được thảo luận ở dưới nên kết quả từ CliRoad sẽ được thảo luận ở phần 7.

Việt Nam đang trong quá trình nâng cấp và mở rộng cơ sở hạ tầng. Từ các hải cảng đến đường sá và điện, Việt Nam đã nhận ra các lợi ích dài hạn và ngắn hạn là sự cần thiết phải tăng cường hệ thống cơ sở hạ tầng nói chung. Kết hợp với các nguồn đầu tư nhà nước và tư nhân, Việt Nam đang thực hiện các bước nâng cấp cơ sở hạ tầng. Tuy nhiên, ngược lại với các cách tiếp cận truyền thống để phát triển cơ sở hạ tầng, Việt Nam đang mở rộng sự quan tâm đến các chi phí xây dựng bao gồm làm nhẹ đi các ảnh hưởng tiềm tàng của biến đổi khí hậu lên cơ sở hạ tầng. Trong khi các chi phí này được quan tâm ở tất cả các nước, đặc biệt ở các nước đang phát triển nơi mà nguồn ngân sách bổ sung cần thiết để giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu còn hạn chế. Những hạn chế của ngân sách là những thách thức của các nước đang phát triển để xác định các mối đe dọa gây ra bởi biến đổi khí hậu, xây dựng các chính sách thích ứng để thay đổi các dự báo, kết hợp các thay đổi ở kế hoạch phát triển tầm trung và dài hạn, và đảm bảo kinh phí cho các đề xuất và thích ứng cần thiết tại thời điểm bắt đầu của quá trình xây dựng.

Các nghiên cứu trước của UNFCCC, IPCC, NHTG và các tổ chức khác đã cố gắng định lượng ảnh hưởng của biến đổi khí hậu lên các tài sản vật chất trong vài thập kỷ tới. Nghiên cứu này mở rộng hướng nghiên cứu bằng cách xác định ảnh hưởng của biến đổi khí hậu lên cơ sở hạ tầng đường giao thông của Việt Nam như là một phần của chương trình nghiên cứu phát triển dưới bối cảnh biến đổi khí hậu (DUCC) của WIDER (UNU). Đường lát nhựa, đường rải sỏi và đường đất được lựa chọn như là kiểu cơ sở hạ tầng riêng lẻ để đánh giá bởi vì chúng là nhân tố quan trọng phát triển kinh tế-xã hội của Việt Nam. Nghiên cứu cơ sở hạ tầng xem xét các kịch bản biến đổi khí hậu từ toàn cầu đến quốc gia cụ thể về phân bổ các nguồn lực cho phát triển cơ sở hạ tầng đến bảo dưỡng và thích ứng cho cơ sở hạ tầng sẵn có. Nghiên cứu này xem xét các tác nhân khí hậu (biến đổi lượng mưa và nhiệt độ) và dự báo tác động của mực nước biển dâng lên 1 mét. Do tầm quan trọng của các vùng duyên hải đối với Việt Nam, cả hai loại tác động trên đều được đưa vào trong phân tích ảnh hưởng của biến đổi khí hậu.

Nghiên cứu này được thiết kế để có thể nhận biết rộng hơn ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến các vấn đề phát triển bao gồm kinh tế-xã hội và giao thông qua phân tích về cơ sở hạ tầng đường giao thông. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp mở rộng của nghiên cứu về Kinh tế học của thích ứng với biến đổi khí hậu của NHTG, dùng phương pháp tác nhân-kết quả dựa vào kỹ thuật để đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến loại tài sản vật chất cụ thể (World Bank, 2010a).

Khái niệm về “Chi phí cơ hội” được sử dụng trong nghiên cứu này là để xác định các lợi ích của điều chỉnh thích ứng với các dự báo biến đổi khí hậu ở Việt Nam. Từ khái niệm này, nghiên cứu này cung cấp một toàn cảnh cho các nhà hoạch định chính sách để hiểu rộng hơn về tác động

của các biến đổi khí hậu trong tương lai ở nhiều cấp độ đến năm 2050. Tóm lại, nghiên cứu này được xây dựng để cung cấp một toàn cảnh cho các nhà hoạch định chính sách để trả lời một phần câu hỏi “thích ứng bây giờ hay muộn hơn”? Việt Nam có nên trì hoãn điều chỉnh thích ứng với các ảnh hưởng biến đổi khí hậu lên cơ sở hạ tầng hay không?

5.3. Phương pháp

Phân tích tác động của biến đổi khí hậu lên cơ sở hạ tầng đường sá Việt Nam cần kết hợp giữa các kịch bản dự báo biến đổi khí hậu tương lai từ mô hình khí hậu toàn cầu (GCM), phân tích tác nhân-phản hồi của thiệt hại về cơ sở hạ tầng, phân tích GIS, dự báo mực nước biển dâng, thông tin về chi phí, tình hình địa lý và cơ sở hạ tầng của Việt Nam. Điểm trọng tâm của phân tích là dùng phương pháp tác nhân-phản hồi. Phương pháp tác nhân-phản hồi dựa trên khái niệm các yếu tố ngoại sinh hoặc các tác nhân khí hậu có ảnh hưởng trực tiếp lên các nhân tố trọng tâm. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và cơ sở hạ tầng, các yếu tố ngoại sinh là các dự báo biến đổi khí hậu bao gồm sự thay đổi mực nước biển, lượng mưa, nhiệt độ, tần suất bão và tốc độ gió. Các nhân tố trọng tâm là các dạng cơ sở hạ tầng bao gồm đường bộ, đường tàu, phân phối điện và nước, và các tòa nhà công cộng. Do đó, giá trị của mối quan hệ tác nhân-phản hồi thể hiện lượng hóa tác động mà một tác nhân cụ thể tác động lên một nhân tố cơ sở hạ tầng cụ thể. Trong trường hợp này, tác động của cơ sở hạ tầng được phân tích bởi vì nó liên quan tới các nỗ lực phát triển tổng thể. Phân tích được tiến hành theo 2 giai đoạn, đầu tiên xác định các ảnh hưởng khí hậu lên cơ sở hạ tầng đường sá hiện có trong các vùng lựa chọn và sau đó xác định các tác động về chi phí lên cơ sở hạ tầng đó dựa trên các hàm tác nhân-phản hồi.

Phần đầu của phương pháp này nhấn mạnh sử dụng các dấu hiệu để dự đoán tác động tiềm tàng của biến đổi khí hậu lên các cấu thành cơ sở hạ tầng ở những vùng xác định. Phương pháp này được sử dụng dựa trên nhận thức rằng các chính sách chủ động phòng ngừa sẽ có lợi ích kinh tế lớn hơn so với chính sách sửa chữa những thiệt hại sau khi sự việc xảy ra. Sử dụng cách tiếp cận chủ động phòng ngừa, các tác động tiềm tàng có thể được xác định và biện pháp thích ứng có thể được triển khai tại các địa điểm và thời gian thích hợp. Thông qua việc sử dụng nhiều kịch bản khí hậu, thông qua so sánh để lựa chọn những biện pháp thích hợp dựa trên khả năng xảy ra của các hiện tượng khí hậu ở một vùng nhất định. Do tính không chắc chắn trong dự báo về khí hậu, có một nguy cơ là cách tiếp cận chủ động sẽ dẫn đến việc xây dựng quá nhiều cơ sở hạ tầng. Quyết định "hồi tiếc" này được bù đắp một phần bằng các khoản tiết kiệm duy trì và kéo dài tuổi thọ con đường thông qua cải thiện việc thiết kế chính sách. Tiết kiệm này được phản ánh bởi các tính toán tiết kiệm bảo trì trong phân tích này.

Bước 2 của phương pháp nghiên cứu nhấn mạnh sử dụng các hàm số phản hồi để xác định các tác động chi tiết và chi phí. Các hàm số phản hồi được sử dụng kết hợp với các tác nhân khí hậu để xác định các tác động. Đặc biệt, các tác nhân khí hậu được xem xét đối với các loại đường giao thông (đường lát sỏi, đường rải nhựa và đường đất) để xem xét tác động của cường độ của từng tác nhân lên từng loại đường. Các tác nhân khí hậu được lựa chọn trong nghiên cứu này là nước biển dâng, lượng mưa, nhiệt độ, và lũ lụt. Ví dụ, mức độ gia tăng của lượng mưa tác động đến tuổi thọ của đường chưa rải nhựa.

Theo cách này, nghiên cứu không tập trung vào định tính mà quan tâm đến định lượng. Lũ lụt, lượng mưa và nhiệt độ được phân tích trên cơ sở chuỗi thời gian với các điều chỉnh chi phí

hàng năm đến năm 2050. Các tác động của nước biển dâng được phân tích đồng nhất với kịch bản 1 mét nước biển dâng do các hạn chế về số liệu. Việc dự báo ngập lụt giả định rằng tất cả các hệ thống đường sá trong vùng ngập lụt sẽ bị phá hủy hoàn toàn. Do đó, chi phí cho các tác động do nước biển dâng được xác định là chi phí thay thế cho hệ thống đường sá bị ngập lụt.

5.3.1. Các tham số trong nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, một vài tham số đã được xác định để xây dựng một phương pháp nhất quán và có thể so sánh khi xem xét với các loại tài sản và trong các thời kỳ khác nhau. Thứ nhất, bộ số liệu thống nhất và đồng bộ về đường giao thông được sử dụng để phân tích trong tất cả các giai đoạn. Hệ thống đường giao thông hiện nay được phân bổ (như miêu tả ở phần dưới) và sử dụng cho các phân tích trong tương lai. Điều này giúp loại bỏ sự không chắc chắn xung quanh kế hoạch và thực tế xây dựng hệ thống đường mới. Thứ hai, tất cả số liệu trình bày ở đây dựa trên tỷ lệ chiết khấu 5%, với giá năm 2010 là năm cơ sở. Thứ ba, kịch bản “thích ứng” được trình bày song song với kịch bản “không thích ứng”. Đây là những kịch bản về sự lựa chọn chính sách quay quanh biến đổi khí hậu và đầu tư cơ sở hạ tầng. Các kịch bản thích ứng giả định rằng khí hậu trong tương lai được dự đoán và tất cả các con đường mới đang được tái tạo bề mặt và được nâng cấp đầy đủ nhằm đáp ứng những thay đổi khí hậu dự kiến trong tuổi đời của những con đường. Các con đường nâng cấp sau đó được coi như là “chống chịu với khí hậu”, chống lại sự xuống cấp do tăng lượng mưa hoặc nhiệt độ do biến đổi khí hậu. Lịch trình bảo dưỡng được giả định thực hiện bình thường và không được tính vào chi phí do các hoạt động bảo dưỡng này vẫn sẽ được thực hiện trong điều kiện không có biến đổi khí hậu.

Ngoài các tham số cơ bản này, một bộ phương án thích ứng nhất quán được sử dụng cho mỗi loại đường bộ và ở trong mỗi kịch bản. Đối với loại đường lát nhựa, nâng cấp thích ứng bao gồm phủ một chất kết dính mới, mà nó đàn hồi hơn để chống lại nhiệt độ bề mặt đường tăng. Đối với các đường sỏi, nâng cấp thích ứng được tập trung vào các tác động mưa và lũ lụt. Một con đường nâng cấp được làm lại bề mặt với hỗn hợp sỏi nghiền và mặt đường cũ nằm sâu hơn bề mặt đường mới. Kích thước và công suất cống ngầm được gia tăng và nằm trong chi phí hỗn hợp. Các đường đất cũng được phân tích báo cáo này dựa trên dự báo lũ lụt và lượng mưa tăng. Đối với đường đất, lựa chọn thích ứng là nâng cấp thành đường sỏi đã có nâng cấp thích ứng. Việc nâng cấp một con đường đất lên đường rải sỏi sẽ tạo ra một khoản tiết kiệm bảo trì bởi vì bảo trì hàng năm đối với đường đất cũ sẽ không còn cần thiết nữa. Các lợi ích khác về thời gian và chi phí giao thông không được đưa vào trong phân tích chi phí.

5.3.2. Khí hậu và yếu tố quyết định của hệ thống đường

Các phân tích cho NBD và các tác nhân khí hậu khác nhau về nguồn dữ liệu tác động biến đổi khí hậu, phương pháp xác định tác động, và chuỗi thời gian sử dụng, nhưng cùng một phương pháp phân bổ số lượng đường sá được sử dụng.

5.3.2.1. Phân bổ hệ thống đường

Việc phân chia và phân bổ hệ thống đường hiện có vào các khu vực địa lý cụ thể là quan trọng cho việc phân tích biến đổi khí hậu và tác động trên các tuyến đường trong các khu vực hành chính cụ thể. Các ước lượng ở tỉnh cho số đường hiện có được xác định dựa trên quá trình phân bổ được kết hợp với yếu tố dân số và diện tích của mỗi tỉnh theo tỷ lệ phần trăm so với cả nước. Các

tỷ lệ tương đối sau đó được sử dụng để xác định tỷ lệ đường sá được phân phối cho mỗi tỉnh. Do thiếu số liệu không gian GIS về vị trí chính xác của hệ thống đường trong tỉnh và quy mô số liệu có sẵn, hệ thống đường được phân bổ theo vùng hành chính và được giả định rằng hệ thống đường được phân bổ đồng đều trên toàn khu vực hành chính. Quá trình phân bổ này được tóm tắt theo công thức sau:

$$RA = RN * [((PopA / PopN) + (TA / TN)) / 2]$$

A = Vùng hành chính (tỉnh)

PopN = Dân số, Quốc gia

PopA = Dân số, vùng hành chính

TN = Tổng diện tích đất KM², Quốc gia

TA = Tổng diện tích đất KM², vùng hành chính

RN = Hệ thống đường giao thông, Quốc gia

RA = Hệ thống đường giao thông, vùng hành chính

Sự phân bổ được thực hiện cho mỗi loại trong 9 loại đường trong phân tích: đường nhựa, đường sỏi, đường đất, và đường cấp 1, đường cấp 2, và đường cấp 3.

5.3.2.2. Dữ liệu dự báo tác động khí hậu

Dữ liệu về sự biến đổi khí hậu trong nghiên cứu này được lấy từ 2 nguồn: lựa chọn từ dữ liệu các mô hình tuần hoàn toàn cầu (GCMs) cho phân tích các tác nhân khí hậu và từ dự báo NBD của Trung tâm cảm biến băng từ xa thuộc trường đại học Kansas cho phân tích NBD. Về số liệu GCM, các mô hình GCMs cung cấp các kịch bản biến đổi khí hậu tương lai đến năm 2100. Các số liệu được sử dụng để phân tích bao gồm các kịch bản A2, A1B và B1, miêu tả các kịch bản khác nhau về phát triển tương lai trong báo cáo đánh giá lần thứ 4 của Ủy ban liên Chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC 2007). Chi tiết về các kịch bản này được miêu tả trong phần 2.

Để đưa ra một cách phân tích tin cậy về các dự báo biến đổi khí hậu có thể xảy ra, tất cả các dữ liệu GCM được chấp thuận bởi IPCC bao gồm các dự báo hoàn chỉnh về khí hậu và lũ lụt cho Việt Nam và chúng được sử dụng trong phân tích các nhân tố khí hậu lên hệ thống đường sá Việt Nam. Tổng cộng có 25 GCMs được sử dụng cho phân tích. Mỗi một mô hình khí hậu chứa đựng các dự báo về lượng mưa hàng năm và nhiệt độ cao nhất. Để miêu tả một bức tranh rộng lớn về ảnh hưởng tiềm năng của biến đổi khí hậu, phạm vi và khả năng xảy ra của các kịch bản ảnh hưởng thấp, ảnh hưởng trung bình và ảnh hưởng lớn được xem xét trong mối liên quan đến các dự báo khác.

Để phân tích tác động của nước biển dâng, bộ số liệu được xây dựng từ Trung tâm cảm biến băng từ xa của trường đại học Kansas được sử dụng. Bộ số liệu này cung cấp thông tin về nước biển dâng 1 mét hoặc cao hơn của Việt Nam. Các số liệu này được cung cấp công khai dưới dạng Hệ thống thông tin địa lý (GIS). Thông tin về nước biển dâng được sử dụng để ước tính phần trăm mỗi ô lưới (grid cell) bị “ngập”- đất bị ngập khi nước biển dâng lên cao hơn 1 mét. Ở những nơi được dự báo bị ngập, nghiên cứu giả định rằng tất cả 9 loại đường nằm trong khu vực ngập nước sẽ bị phá hủy. Phương pháp hàm tác động được miêu tả trong phần 5.4 dưới đây.

Nhằm đảm bảo sử dụng dữ liệu hoàn toàn chính xác, dữ liệu nước biển dâng và bản đồ các tỉnh của Việt Nam được chuyển theo hệ thống tiêu chuẩn ô dựa trên vĩ độ và kinh độ. Ô đơn vị nghiên cứu khí hậu (CRU) với 0,5 độ vĩ độ và 0,5 độ kinh độ (diện tích khoảng 250 km²) được sử dụng để chuyển đổi hệ thống số liệu này (Climate Research Unit Time Series Version 2.1). Nguyên tắc của sự chuyển đổi số liệu này là quá trình chuyển toàn bộ thông tin địa lý của mỗi tỉnh vào các ô trong bản đồ theo ô đơn vị nghiên cứu khí hậu. Cụ thể, mỗi tỉnh được phân bổ vào những ô CRU nhất định tương ứng với diện tích địa lý của chúng. Ví dụ, tỉnh 1 được chuyển vào 30% ô A và 70% ô B. Trong trường hợp này, tỉnh có diện tích tương ứng trong mỗi ô A và B. Trong khu vực mà địa điểm của hệ thống đường giao thông không rõ ràng, hệ thống đường được phân bổ với tỷ lệ 30% và 70% tương ứng như trên để phân tích tác động. Kết quả của quá trình phân bổ này là ki-lô-mét đường giao thông mỗi tỉnh được phân bổ tương ứng theo ô.

5.4. Các hàm tác động

5.4.1. Phân tích ảnh hưởng khí hậu GCM: Lũ lụt, lượng mưa và nhiệt độ

Sử dụng dữ liệu khí hậu được dự báo bởi GCMs đã mô tả ở trên và kịch bản cơ sở không có sự biến đổi khí hậu, các chi phí và ảnh hưởng đến cơ sở hạ tầng có thể được xác định dựa trên phương pháp tác nhân-phản hồi. Nhóm nghiên cứu đã sử dụng phương pháp dựa trên hàm tác nhân-phản hồi đối với lượng mưa, nhiệt độ và lũ lụt được sử dụng trong nghiên cứu về tác động lên cơ sở hạ tầng ở châu Phi (Chinowsky và các cộng sự 2011b).

Các nhóm phản hồi được chia ra làm 2 loại: các ảnh hưởng lên chi phí xây dựng mới và các ảnh hưởng lên chi phí duy tu. Các chi phí xây dựng mới tập trung vào chi phí bổ sung cần thiết để điều chỉnh thiết kế và xây dựng tài sản thích ứng với dự báo về biến đổi khí hậu trong suốt vòng đời của tài sản đó. Các ảnh hưởng chi phí duy tu có thể tăng hoặc giảm đáp ứng yêu cầu thiết kế trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Trong mỗi nhóm trên, điều cơ bản là nhằm bảo tồn vòng đời của cơ sở hạ tầng theo thiết kế. Điều này xuất phát từ quan điểm thiên về nâng cấp và bảo tồn cơ sở hạ tầng hơn là thay thế cơ sở hạ tầng quá thường xuyên.

5.4.2. Phương pháp xem xét tác động của nước biển dâng

Trong nghiên cứu này, các đánh giá về ảnh hưởng khí hậu và nước biển dâng được phân tách riêng biệt và khác nhau về khoảng thời gian. Các ảnh hưởng thời tiết về lượng mưa và nhiệt độ được thực hiện trên cơ sở hàng ngày và các kết quả được tổng hợp theo thập kỷ nhằm đưa ra một cách nhìn toàn thể về ảnh hưởng khí hậu trong thời kỳ trung hạn. Do thiếu số liệu theo thời gian về dự báo nước biển dâng, phân tích NBD được thực hiện cho kịch bản nước biển dâng ngay 1 mét. Độ tin cậy của phương pháp này sẽ được thảo luận ở phần dưới. Tuy nhiên, việc đánh giá hai loại ảnh hưởng đưa ra dự báo và sự hiểu biết thêm về các ảnh hưởng có thể của biến đổi khí hậu, đặc biệt đối với những vùng duyên hải.

Các dự báo về nước biển dâng xuất hiện ở một vùng cụ thể là không chắc chắn và có dao động lớn. Một vài nghiên cứu gần đây đã dự báo một khả năng NBD hơn 1 mét vào năm 2100 (Nichols và Cazenave, 2010). Báo cáo đánh giá lần thứ tư (AR4) của Ủy ban liên Chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC) xuất bản năm 2007 dự báo mức tăng trung bình 60cm vào năm 2100 (IPCC 2007). Các ảnh hưởng của NBD sẽ không đồng đều trên toàn thế giới và một số vùng xác định sẽ bị ảnh hưởng nhiều hơn so với các vùng khác (Dasgupta và các cộng sự, 2008 và Neumann và các cộng sự, 2000). Như đã thảo luận, Việt Nam đặc biệt dễ bị tổn thương bởi NBD.

Phương pháp đánh giá tác động NBD trong nghiên cứu này dựa trên một vài giả thiết: (i) có sự phân bố đồng đều hệ thống đường sá theo các vùng hành chính; (ii) NBD tăng 1 mét ngập các vùng đất có độ cao dưới một mét; hệ thống đường trong các vùng đất bị ngập sẽ cần định vị lại vĩnh viễn. Chi phí tính cho đường giao thông bị ngập là chi phí xây dựng lại con đường đó. Ví dụ, nếu 50% diện tích của ô CRU bị ngập bởi nước biển dâng thì 50% hệ thống đường trong ô đó bị phá hủy. Số ki-lô-mét đường bị phá hủy sẽ tương ứng với phân bố hệ thống đường ban đầu từ quốc gia đến tỉnh và cuối cùng là đến các ô CRU.

Một khi số ki-lô-mét đường sá bị ngập được xác định cho mỗi ô (grid cell), việc xác định các chi phí thay thế đường sá mới được thực hiện. Các chi phí thay thế được dựa trên mỗi loại đường sá trong mỗi ô CRU. Trong trường hợp nước biển dâng, phân tích chi phí hiện tại được thực hiện, sử dụng chi phí xây mới các ki-lô-mét đường cho mỗi loại đường được trình bày trong Bảng 5-1. Các lựa chọn thích ứng khác không được phân tích trong nghiên cứu này. Tổng chi phí mỗi mô hình được tổng hợp theo tỉnh để cung cấp tổng chi phí tác động đến đường giao thông.

Bảng 5-1: Chi phí làm lại đường khi hệ thống đường cũ bị ngập do nước biển dâng lên 1 mét

Chi phí xây đường mới			
	Đường nhựa	Đường sỏi	Đường đất
Cấp 1	500.000 USD	226.000 USD	128.000 USD
Cấp 2	150.000 USD	135.000 USD	75.000 USD
Cấp 3	70.000 USD	75.150 USD	41.750 USD

5.5. Đơn vị đo tác động

Tác động của biến đổi khí hậu lên hạ tầng đường giao thông có thể đo bằng một số cách. Trong khi tổng chi phí là một thước đo quan trọng cho các nhà hoạch định chính sách, một mối quan tâm khác là ảnh hưởng tương đối mà các chi tiêu cho biến đổi khí hậu có thể được sử dụng cho các lĩnh vực quan trọng khác, bao gồm cả việc mở rộng hệ thống đường hiện có.

Để cung cấp một cách tổng quát về tác động của biến đổi khí hậu, chúng tôi sử dụng 3 đơn vị đo sau:

- **Tổng chi phí:** Là các chi phí ước tính của tác động biến đổi khí hậu với tỷ lệ chiết khấu 5%.
- **Chi phí cơ hội:** Là số lượng đường trải nhựa có thể được xây dựng với ngân sách tài trợ các chi phí biến đổi khí hậu. Chi phí cơ hội được tính bằng cách lấy số tiền cần thiết để ứng phó với biến đổi khí hậu chia cho chi phí của một km đường cấp 2 trải nhựa, và sau đó sử dụng số tiền đó chia cho số đường trải nhựa hiện có. Con số này là tỷ lệ phần trăm so với đường trải nhựa có thể được tăng lên nếu ngân sách không được phân bổ để ứng phó với biến đổi khí hậu.
- **Lợi ích thích ứng:** Lợi ích trên % tiết kiệm giữa trường hợp có thích ứng và không thích ứng.

Ba đơn vị đo này được tính toán cho 2 trường hợp có thích ứng và không thích ứng. Đối với có thích ứng, đơn vị đo thứ 3 được trình bày. Khái niệm tiết kiệm duy tu, bảo dưỡng có ngụ ý rằng ngân sách cho duy tu hệ thống đường được tiết kiệm nếu biện pháp thích ứng được thực hiện. Các khái niệm này được trình bày chi tiết như sau:

Thích ứng và không thích ứng: Đây là hai cách tiếp cận chính sách khác nhau được xem xét cho tất cả các loại đường và dự báo khí hậu. Trường hợp “Thích ứng” được giả định rằng các ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đã được dự báo và các chính sách thích ứng được thực hiện là nâng cấp hệ thống đường khi chúng được làm lại và duy tu. Kịch bản thích ứng gánh thêm các chi phí trả trước nhằm giảm mức thiệt hại do dự báo tăng lượng mưa và nhiệt độ trong tương lai. Đường đất được nâng cấp để thành đường lát sỏi và do đó giảm thiệt hại do ảnh hưởng lượng mưa gia tăng. Kịch bản không thích ứng giả định không có biến đổi như trên được thực hiện. Đường sá được xây dựng lại theo các tiêu chuẩn trước đó. Các chi phí sinh ra từ sự cần thiết phải tăng chi phí duy tu, bảo dưỡng các con đường bị xuống cấp dưới tác động của biến đổi khí hậu.

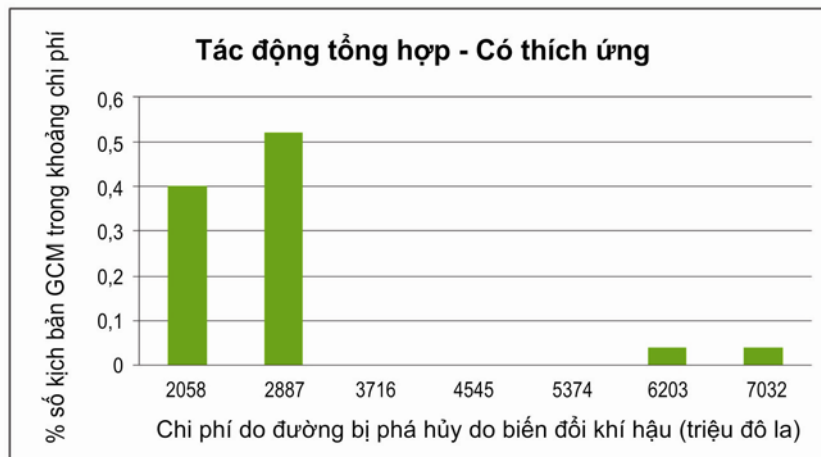
Tiết kiệm bảo dưỡng: Tiết kiệm bảo dưỡng chủ yếu áp dụng cho kịch bản thích ứng và cho loại đường đất. Một số loại chi phí liên quan đến duy tu bảo dưỡng hệ thống đường đất như hỏng hóc do lượng mưa hoặc do chuyển động các loại xe cộ. Nâng cấp các loại đường này bằng cách lát sỏi lên bề mặt có thể giảm các yêu cầu duy tu bảo dưỡng hàng năm bởi vì đường sỏi có khả năng vững chắc hơn đối với mưa và các loại xe cộ. Do đó, tiết kiệm duy tu bảo dưỡng bao gồm cả hai loại: tiết kiệm chi phí duy tu truyền thống cho đường đất và chi phí duy tu chống lại những hỏng hóc gây ra do lượng mưa tăng dưới tác động của biến đổi khí hậu.

5.6. Các kết quả nghiên cứu

Phân tích kết hợp ảnh hưởng của lũ lụt và thay đổi khí hậu (lượng mưa, nhiệt độ) lên cơ sở hạ tầng đường sá Việt Nam cung cấp một bức tranh tổng thể về ảnh hưởng khí hậu tiềm tàng đến năm 2050. Các số liệu trình bày trong phần này là tổng chi phí ảnh hưởng về xây mới, duy tu và sửa chữa cho hệ thống đường giao thông hiện nay cho giai đoạn 2010-2050. Phân tích cho 2 loại chính sách Thích ứng và Không thích ứng được thực hiện. Giá trị trung vị của kết quả các kịch bản GCM có thể đại diện cho giá trị trung bình của 25 kịch bản GCM. Tuy nhiên, như thảo luận phần dưới, các kết quả phản ánh trong đồ thị cho thấy kết quả các GCMs có sự phân bố không đồng đều trong khoảng giá trị kết quả. Do đó, phụ thuộc vào mức độ quan tâm của các nhà hoạch định chính sách, các chỉ số khác như giá trị các cực hoặc giá trị trong khoảng tứ phân vị có thể phù hợp hơn giá trị trung vị.

Hình 5-1 cho biết phần lớn các dự báo khí hậu (92%) cho thấy tác động sau khi thích ứng không lớn hơn 2,9 tỷ USD khi đã chiết khấu. Chỉ có 2 GCM có mức độ ảnh hưởng lớn nhất với tổng chi phí lớn hơn 7 tỷ USD. Thậm chí ở các dự báo thấp nhất, tác động với chi phí 1,2 tỷ USD có chi phí cơ hội bằng 32%, ngụ ý rằng hơn 24.000 km đường cấp 2, lát nhựa có thể được xây dựng với số tiền chi cho hoạt động thích ứng với biến đổi khí hậu thấp nhất. Kịch bản với chi phí thích ứng thấp nhất đó chỉ đo lường tác động thay đổi thời tiết (lượng mưa và nhiệt độ); Phân tích tác động GCM đối với lũ lụt cho thấy không có sự gia tăng ảnh hưởng lên hệ thống đường sá.

Đồ thị 5-1: Tác động tổng hợp của biến đổi khí hậu đến đường giao thông đến năm 2050



Sự phân phối không đồng đều của các tác động tổng hợp (phần lớn các dự báo chi phí GCM nằm ở 2 nhóm thấp nhất) là do sự không đồng đều về số liệu tác động của lũ lụt sẽ được trình bày ở dưới. Bởi vì tác động tổng hợp của biến đổi khí hậu được kết hợp tác động của lũ lụt với tác động do thay đổi thời tiết, do vậy phân bố không đều của tác động lũ lụt được thể hiện trong tác động tổng hợp.

Tương tự như trường hợp Thích ứng, 92% của kết quả GCM (22/25) trong kịch bản không thích ứng được phân bố ở 2 nhóm thấp trong Đồ thị 5-2. Điều đó ngụ ý rằng chỉ có một vài GCM có tác động rất lớn. Chi phí tác động thấp nhất cho kịch bản không thích ứng tăng 49 triệu USD so với chi phí của kịch bản thích ứng. Tương tự, các kết quả GCM trung vị và cao nhất phản ánh một sự gia tăng chi phí tương ứng so với các kịch bản thích ứng là 660 triệu USD và 11,6 tỷ USD. Trong trường hợp này, lợi ích thích ứng ngụ ý rằng các nhà hoạch định chính sách nên cân nhắc cách tiếp cận ủng hộ thích ứng đối với biến đổi khí hậu. Trong kịch bản cao nhất, tiếp cận thích ứng có chi phí cơ hội bằng 482%, tương ứng với việc xây dựng 367.000 km đường cấp 2 mới nếu các chi phí đó không được phân bổ cho thích ứng với biến đổi khí hậu. GCM trung vị có chi phí cơ hội 92%, tương ứng với việc xây mới 70.000 km đường cấp 2, trải nhựa.

Đồ thị 5-2: Tác động tổng hợp của biến đổi khí hậu đến đường giao thông đến năm 2050



Tiết kiệm duy tu cung cấp cho chúng ta một công cụ phân tích quan trọng nhằm hiểu sâu hơn về lợi ích của chính sách thích ứng. Đặc biệt, bởi vì có chi phí xuất hiện trong việc nâng cấp các đường đất và đường sỏi, do đó nó có thể làm tăng lợi ích kinh tế từ tiết kiệm hàng năm cần thiết cho duy tu đường sá có chất lượng thấp. Khi tiết kiệm duy tu được kết hợp với lợi ích thích ứng, tiết kiệm này gần như tăng gấp 3 lần, lên đến 2 tỷ USD. Các lợi ích kinh tế và xã hội khác từ việc nâng cấp đường sá nên được đưa vào trong phân tích ở các địa phương và trong quá trình ra quyết sách.

Trong bảng 5-2, phân tích trung vị GCM có lợi ích thích ứng bằng 4,8 tỷ USD. Tiết kiệm này là chênh lệch giữa chi phí không thích ứng và thích ứng. Khi tiết kiệm duy tu được kết hợp vào lợi ích, tiết kiệm này tăng gần gấp đôi với tổng giá trị 9,3 tỷ USD. Điều này làm nổi bật các lợi ích tiềm năng từ chính sách thích ứng. Đối với phân tích GCM thấp nhất, chi phí thích ứng thấp hơn từ 3,6 tỷ USD đến 1,9 tỷ USD bao gồm tiết kiệm duy tu. Tiết kiệm duy tu làm giảm chi phí thích ứng tương đối và tăng lợi ích thích ứng trong tất cả các kịch bản biểu thị có khác nhau về lợi ích tiết kiệm giữa hai chính sách thích ứng và không thích ứng. Có một số kịch bản GCMs không biểu thị sự khác biệt giữa các chi phí thích ứng và không thích ứng. Điều này bắt nguồn từ tác động thay đổi thời tiết trong các kịch bản này xuất phát từ các hiện tượng cá biệt mà các chi phí sửa chữa sau khi hiện tượng xảy ra nhỏ hơn các chi phí thích ứng. Ví dụ như kịch bản MIROC3_2(medres)_A2 GCM có chi phí thích ứng tương đồng với chi phí duy tu lại. Tuy nhiên, kể cả kịch bản GCM này cũng có lợi ích xuất phát từ thích ứng đối với lũ lụt (78 triệu USD). Sự đa dạng về các cấp độ lợi ích cho thấy sự cần thiết phải có một phân tích toàn diện các tác động tiềm tàng, bao gồm các tác động tiềm tàng của biến đổi khí hậu lên đường giao thông.

Bảng 5-2: Chi phí thích ứng và không thích ứng và lợi ích thích ứng của tác động tổng hợp của biến đổi khí hậu (lượng mưa, nhiệt độ, lũ lụt)

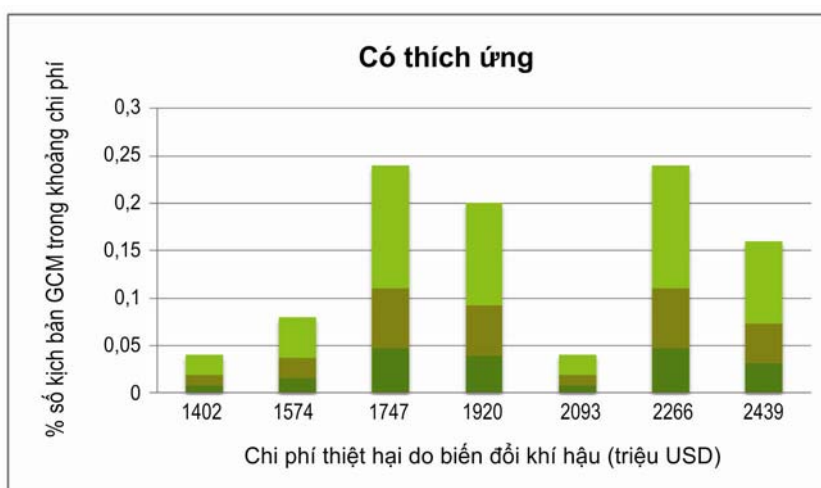
Thích ứng					Lợi ích thích ứng	
Xếp hạng	GCM	(Triệu USD\$)	Chi phí cơ hội	Tiết kiệm bảo dưỡng	(Triệu USD\$)	Chi phí cơ hội
Cực đại	a1b_ipsl_cm4	\$ 7.032	141%	\$ -	\$ 11.658	341%
Trung vị	a1b_inmcm3_0	\$ 2.225	51%	\$ 1.586	\$ 660	42%
Cực tiểu	a2_bccr_bcm2_0	\$ 1.229	32%	\$ 453	\$ 49	5%
Không thích ứng						
Xếp hạng	GCM	(Triệu USD\$)	Chi phí cơ hội			
Cực đại	a1b_ipsl_cm4	\$ 18.690	482%			
Trung vị	a2_gfdl_cm2_1	\$ 2.885	92%			
Cực tiểu	a2_bccr_bcm2_0	\$ 1.278	37%			

5.6.1. Các kết quả nhiệt độ, lượng mưa và lũ lụt

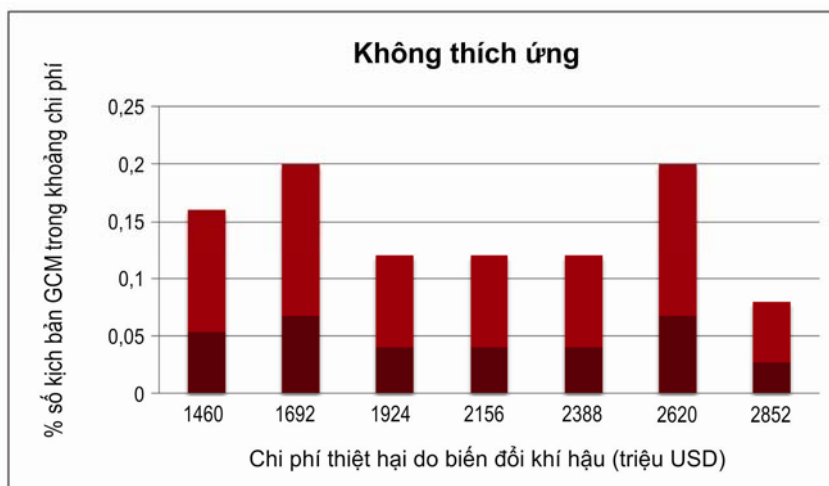
5.6.1.1. Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu lên đường giao thông: Lượng mưa và nhiệt độ

Sự phân tách tác động tổng hợp nói trên cho thấy rõ hơn tác động của thay đổi lượng mưa và nhiệt độ. Như được minh họa ở Đồ thị 5-3 và 5-4, các tác động được phân chia theo kịch bản thích ứng và không thích ứng. Cả hai kịch bản thích ứng và không thích ứng đều có chi phí tương tự, được phản ánh trong lợi ích thích ứng từ 5-10% của các kịch bản GCM thấp nhất và cao nhất (bảng 5-3). Kịch bản thích ứng hầu như phân bổ đồng đều với 12% của GCMs trong hai nhóm thấp nhất (nhỏ hơn 1,57 tỷ USD) và 16% của GCM trong nhóm cao nhất (lớn hơn 2,44 tỷ USD). Các kịch bản GCMs còn lại được phân bổ đồng đều ở các khoảng chi phí (Đồ thị 5-3). Phân tích tác động không thích ứng có sự phân bổ hơi thiên về 2 đuôi, với 36% và 28% phân bổ tương ứng trong hai nhóm đầu tiên và ở hai nhóm cuối (Đồ thị 5-4).

Đồ thị 5-3: Tác động của biến đổi khí hậu (lượng mưa và nhiệt độ) đến đường giao thông đến năm 2050 - % GCMs với các kết quả tương ứng



Đồ thị 5-4: Tác động của biến đổi khí hậu (lượng mưa và nhiệt độ) lên đường giao thông đến năm 2050 - Tỷ lệ phần trăm của GCMs với các kết quả tác động tương ứng



Bảng 5-3: Chi phí thích ứng và không thích ứng và lợi ích thích ứng của tác động biến đổi thời tiết lên đường giao thông (lượng mưa, nhiệt độ)

Thích ứng					Lợi ích thích ứng	
Xếp hạng	GCM	(Triệu USD\$)	Chi phí cơ hội	Tiết kiệm bảo dưỡng	(Triệu USD\$)	Chi phí cơ hội
Cực đại	a1b_ccma_cgcm3_1	\$ 2.439	66%	\$ 1.362	\$ 413	10%
Trung vị	b1_inmcm3_0	\$ 1.892	51%	\$ 946	\$ 61	5%
Cực tiểu	b1_miroc3_2_medres	\$ 1.549	32%	\$ 843	\$	
Không thích ứng						
Xếp hạng	GCM	(Triệu USD\$)	Chi phí cơ hội			
Cực đại	a1b_ccma_cgcm3_1	\$ 2.852	76%			
Trung vị	a2_gfdl_cm2_1	\$ 1.953	56%			
Cực tiểu	b1_miroc3_2_medres	\$ 1.228	37%			

Tác động lũ lụt lên cơ sở hạ tầng đường sá của Việt Nam chủ yếu nằm ở các dự báo tác động thấp với 88% và 92% tương ứng cho dự báo ở hai nhóm thấp nhất cho các phân tích thích ứng và không thích ứng. Trong cả hai trường hợp, mô hình IPSL_CM4_A1B GCM có chi phí lớn nhất bởi vì nó có dự báo cao hơn về mức độ lũ lụt khi so sánh với các GCM khác.

Trong phân tích hai kịch bản này, bảy trong số các GCMs dự báo không có chi phí tác động. Điều này có nghĩa là các kịch bản GCM này dự báo không có hiện tượng lũ lụt nhiều hơn mức trung bình các cơn lũ trong 15 năm thiết kế trong kịch bản cơ sở. Kịch bản tác động thích ứng cao nhất có chi phí 4,6 tỷ USD, chi phí cơ hội là 75% hoặc xây mới 57000 km đường cấp 2, lát nhựa. Kịch bản không thích ứng tác động lớn nhất được ước tính hơn 16,2 tỷ USD. Phân phối các kết quả GCM cho kịch bản không thích ứng nghiêng nặng vào nhóm thứ nhất (92%), nhưng giá trị cao nhất của hai GCM có thể làm cho các nhà hoạch định chính sách phải quan tâm khi xem xét khả năng tác động tồi tệ nhất của biến đổi khí hậu.

Khi xem xét kịch bản tác động cao nhất, lợi ích thích ứng là 341% - tương ứng gần 260.000 km đường xây mới cấp 2 và lát nhựa. Có hai GCMs được dự báo chi phí tác động lũ lụt cao cho cả hai kịch bản. Tuy nhiên, kịch bản này cần phải được xem xét trong mối liên hệ với kịch bản thấp nhất, ngụ ý rằng không có ảnh hưởng từ lũ lụt. Điều này có thể thấy trong bảng 5-4.

Bảng 5-4: Chi phí thích ứng và không thích ứng và lợi ích thích ứng đối với tác động của lũ lụt lên đường sá

Thích ứng				Lợi ích thích ứng	
Xếp hạng	GCM	(Triệu USD\$)	Chi phí cơ hội	Tiết kiệm bảo dưỡng	(Triệu USD\$)
Cực đại	a1b_ipsl_cm4	\$ 4.625	75%	\$ 11.658	341%
Trung vị	a2_ccma_cgcm3_1	\$14	10%	\$21	29%
Cực tiểu	Nhiều kịch bản	\$-	0%	\$-	0%
Không thích ứng					
Xếp hạng	GCM	(Triệu USD\$)	Chi phí cơ hội		
Cực đại	a1b_ipsl_cm4	\$ 16.283	416%		
Trung vị	a2_giss_model_e_r	\$35	38%		
Cực tiểu	Nhiều kịch bản	\$-	0%		

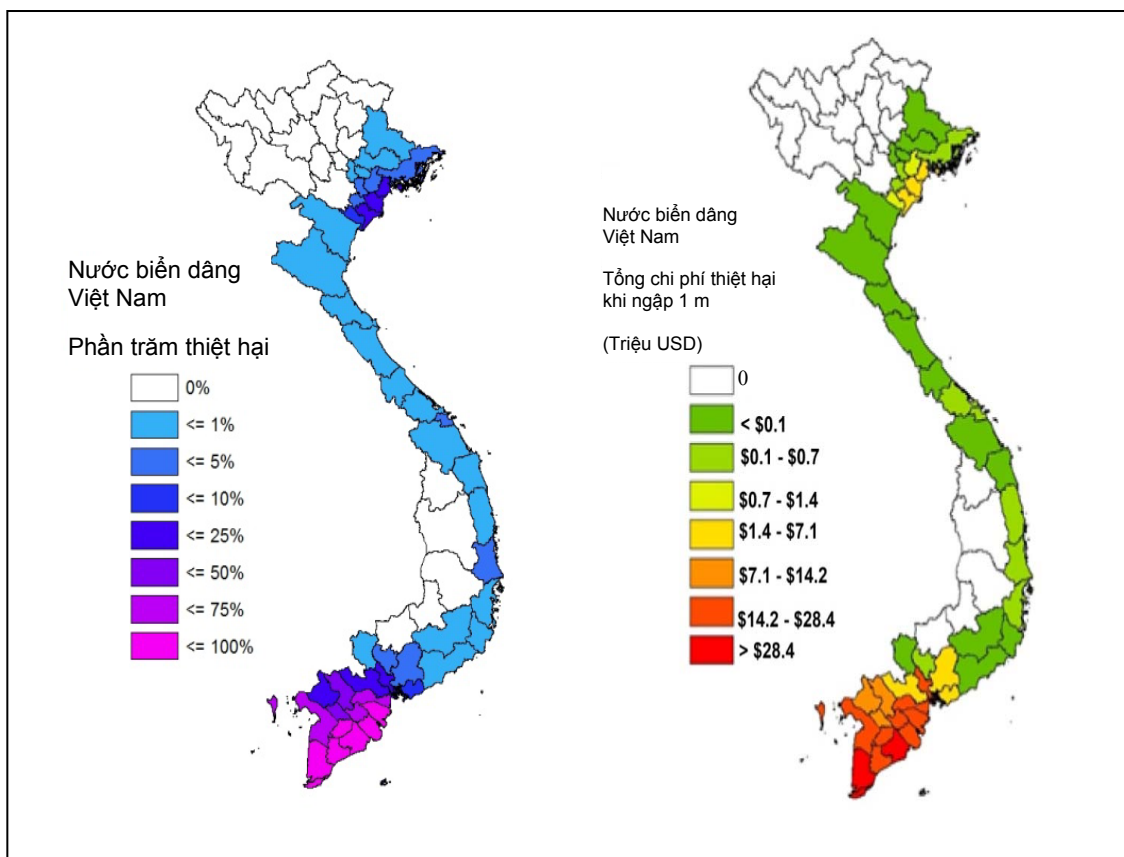
5.6.2. Kết quả nước biển dâng

Các kết quả nghiên cứu trình bày ở đây được dựa theo kịch bản nước biển dâng 1m. Khi nước biển dâng lên 1m sẽ ảnh hưởng đến cơ sở hạ tầng hiện tại của Việt Nam với ước tính 19.000 km đường sá bị ngập lụt và phá hủy; chiếm dưới 12% toàn bộ hệ thống đường sá. Chi phí khoảng 297 triệu USD (quy về giá đô la 2010) để thay thế cơ sở hạ tầng bị ngập lụt (bảng 5-5). Dự báo nước biển dâng phân bố không đồng đều, với phần lớn cơ sở hạ tầng bị phá hủy thuộc các vùng duyên hải ở phía Nam đất nước. Có một vài tỉnh nơi được dự báo bị ngập hoàn toàn, kết quả dự báo tổn thất bằng hoặc gần mức 100%. Các tỉnh đó là Bạc Liêu, Hậu Giang, Sóc Trăng, Trà Vinh và Cà Mau. Mười tỉnh bị ảnh hưởng lớn nhất nằm ở đồng bằng sông Cửu Long và có mức độ phá hủy đường sá trung bình là 77%, tương ứng 15.200 km đường bị phá hủy. Đồ thị 5-5 minh họa tỷ lệ phần trăm phá hủy và tổng chi phí ước tính theo vùng và tỉnh.

Bảng 5-5: Tổng thiệt hại do NBD dưới 1 mét. Quy về chi phí năm 2010 với tỷ lệ chiết khấu 5%

	% Tổng thiệt hại	Tổng đường sá thiệt hại	Đường lát sơ cấp	Đường lát cấp 2	Đường lát cấp 3	Đường sỏi cấp 3	Đường không lát
Tổng thiệt hại (KM)	12%	19.142	1.621	3.775	3.719	9.024	1.003
Tổng thiệt hại (Triệu \$USD)	-	\$ 297	\$ 115	\$ 80	\$ 37	\$ 54	\$ 11

Đồ thị 5-5: Tổng % và tổng chi phí thiệt hại ước tính cho một mét NBD theo tỉnh và theo vùng



Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích, vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

5.6.3. Các kết quả theo vùng

Việt Nam là một đất nước có vùng địa lý đa dạng, từ vùng duyên hải thấp đến vùng núi cao ở phía Bắc. Bởi vì ảnh hưởng của biến đổi khí hậu lên các vùng khác nhau, đặc biệt là tác động của NBD, phân tích cấp độ vùng cung cấp một bức tranh sâu rộng lên các vùng tiềm năng bị ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Trong trường hợp Việt Nam, sự khác nhau giữa chính sách thích ứng và không thích ứng đưa ra một ví dụ về kế hoạch thích ứng biến đổi khí hậu có thể giảm nhẹ các ảnh hưởng của thiên tai.

Đối với phân tích vùng, hai GCMs được lựa chọn đại diện cho ảnh hưởng cao và trung vị. Tương ứng đó là CNRM_CM3_A1B và MPI_ECHAM5_B1. Cả hai được lựa chọn bởi vì chúng đại diện cho ảnh hưởng nhiệt độ tăng cao nhất và trung vị. Các kết quả tương ứng cho cấp độ vùng được trình bày ở bảng dưới (bảng 5-6; Đồ thị 5-6; bảng 5-7; Đồ thị 5-7). Ở tất cả các vùng, phương án thích ứng có tổng chi phí và chi phí cơ hội thấp hơn cách tiếp cận không thích ứng. Trong các phần sau của báo cáo sẽ nêu bật các ảnh hưởng này lên mỗi vùng ở Việt Nam.

Bảng 5-6: Phân tích vùng (kịch bản khí hậu nóng nhất)

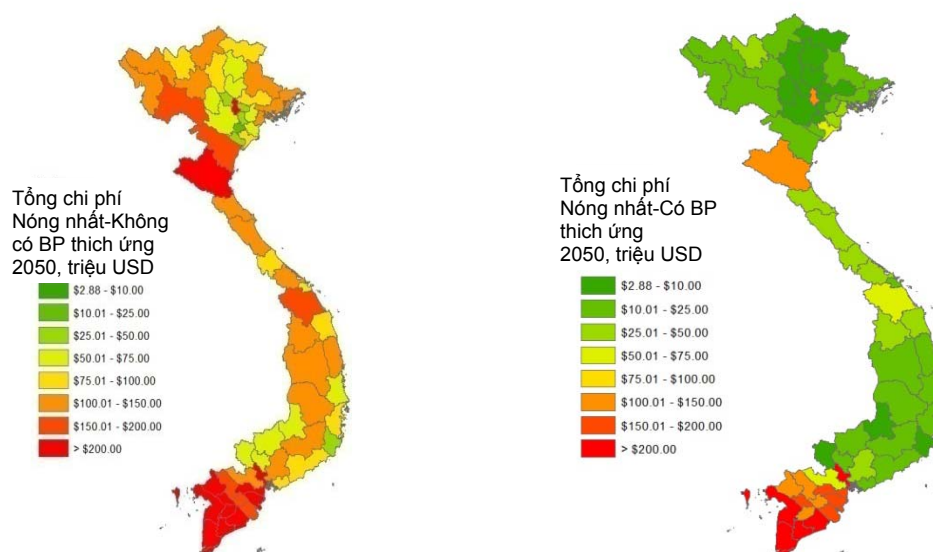
CNRM_CM3_A1B (Nóng nhất)				
Vùng	Thích ứng (Triệu USD)	Không thích ứng (Tr.USD)	Thích ứng	Không thích ứng
Tây Nguyên	3,5	16,9	10%	48%
Đồng bằng sông Cửu Long	24,2	36,9	129%	197%
Bắc Trung Bộ và Duyên hải miền trung	4,6	16,5	16%	57%
Vùng núi phía Bắc	1,7	14,2	7%	58%
Đồng bằng sông Hồng	3,9	25,2	15%	69%
Đông Nam Bộ	7,9	25,2	33%	54%

5.6.3.1. Tây Nguyên

Vùng Tây Nguyên chịu ảnh hưởng thấp nhất bởi NBD vì không có một tỉnh nào bị tàn phá. Việc không có tàn phá trong vùng là do nằm sâu trong vùng nội địa và không có một tỉnh nào trong vùng có tiếp giáp với bờ biển. Do đó, tất cả các chi phí trình bày ở dưới là do tác động các tác nhân thời tiết và lũ lụt.

Ước tính tiết kiệm cho chính sách thích ứng là gần 13,4 triệu USD trong kịch bản nóng nhất. Chi phí này là chênh lệch giữa mở rộng cơ sở hạ tầng hiện có lên gần 50%, đối nghịch với chi phí cơ hội bằng 10% với chính sách thích ứng.

Đồ thị 5-6: Tổng chi phí thiệt hại ở cấp tỉnh (triệu USD) theo kịch bản nóng nhất

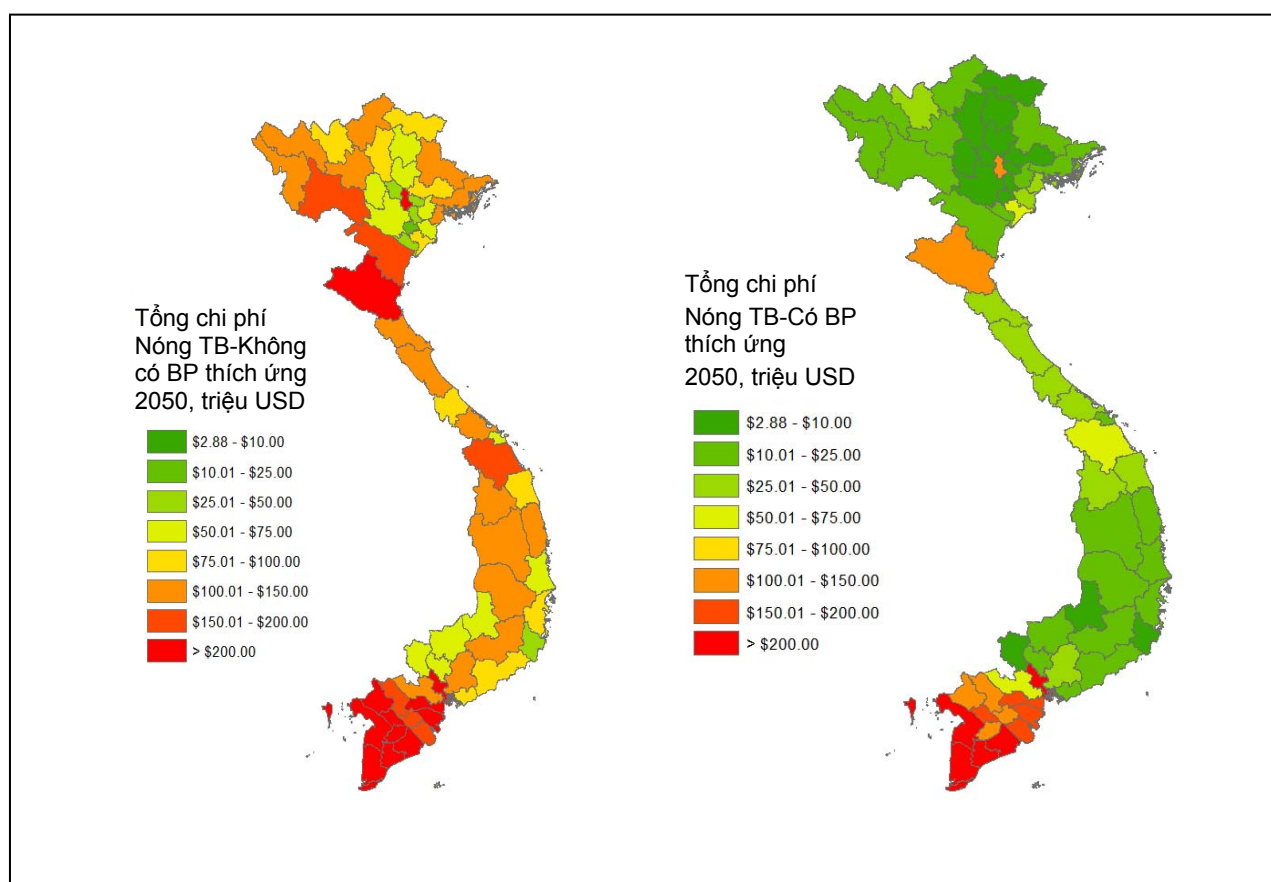


Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích, vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

Bảng 5-7: Phân tích vùng (kịch bản khí hậu nóng trung bình)

MPI_ECHAM5_B1				
(Nóng trung bình)				
Vùng	Thích ứng (Tr. USD)	Không thích ứng (Tr.USD)	Thích ứng	Không thích ứng
Tây Nguyên	7,7	12,9	22%	36%
Đồng bằng sông Cửu Long	27,4	30,3	147%	164%
Bắc Trung Bộ và duyên hải Trung Bộ	6,9	9,5	25%	34%
Vùng núi phía Bắc	2,9	7,5	12%	31%
Đồng bằng sông Hồng	5,3	13,1	18%	38%
Đông Nam Bộ	13,9	21,7	17%	63%

Đồ thị 5-7: Tổng chi phí thiệt hại ở cấp tỉnh (triệu USD) theo kịch bản nóng trung bình



Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích, vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

5.6.3.2. Đồng bằng sông Cửu Long

Từ các bảng và hình vẽ trong cả hai GCMs, vùng đồng bằng sông Cửu Long phải chịu thiệt hại lớn nhất trong cả hai loại chi phí và chi phí cơ hội từ các tác động biến đổi khí hậu tổng hợp. Tác động này phần lớn có thể từ NBD. Đây là vùng phía Nam của Việt Nam và phần lớn diện tích đất ở đây có độ cao lớn hơn 3 mét hoặc thấp hơn so với mặt nước biển. Mười ba tỉnh có ngập lụt do NBD ước tính trong phạm vi từ 14%-99,5% tổng hệ thống đường sá. Sự ngập lụt này cũng có tác động lên ngành nông nghiệp và các ngành khác trong vùng. Lũ và ngập lụt theo mùa từ các cơn bão lớn và các sự kiện thời tiết tự nhiên gây ra quan ngại rằng NBD có thể làm trầm trọng thêm ảnh hưởng và làm tăng lượng mưa và lụt dưới sự biến đổi khí hậu. Các chi phí không thích ứng trong vùng chiếm 77% (24,2 triệu USD) của tổng chi phí NBD cho toàn quốc. Các tỉnh Bạc Liêu, Hậu Giang, Sóc Trăng, Trà Vinh và Cà Mau có tỷ lệ dự báo ngập lụt từ 96-100%. Sự kết hợp giữa tàn phá do NBD với dự báo lụt và sự gia tăng lượng mưa chiếm tỷ lệ chi phí lớn hơn so với tất cả các vùng khác.

5.6.3.3. Vùng Bắc Trung Bộ và Duyên hải miền Trung

Tác động của biến đổi khí hậu lên vùng Bắc Trung Bộ và vùng Duyên hải miền Trung có khả năng đạt 16,5 triệu USD cho kịch bản không thích ứng nóng nhất. Kịch bản này có chi phí cơ hội bằng 57%, so với chi phí cơ hội chính sách thích ứng là 16%. Điều đó giúp tiết kiệm một khoản tiền là 11,9 triệu USD. Ở kịch bản nóng trung bình có tác động thấp hơn (34% và 25% cho kịch bản không thích ứng và thích ứng) nhưng vẫn có các bằng chứng lợi ích từ kịch bản thích ứng.

Trong vùng này, ước tính 1% tổng lượng đường sá bị ảnh hưởng bởi NBD. Sự ngập lụt này nằm trong phạm vi 0,03%-1,3%. Phú Yên có tỷ lệ ngập lụt ước tính bằng 44 km đường so với Đà Nẵng ước tính bằng 29 km đường bị phá hủy.

5.6.3.4. Vùng núi và trung du Bắc Bộ

Với kịch bản thích ứng, vùng núi và trung du Bắc Bộ có chi phí cơ hội và tổng chi phí thấp nhất do biến đổi khí hậu. Nguyên do một phần là ảnh hưởng của NBD nhỏ: tác động lớn nhất thấp hơn 1% ở Bắc Giang với một tác động bằng 0,06% hoặc tương đương 3km đường. Tác động biến đổi nhiệt độ, lượng mưa và lũ lụt có một chi phí tiềm tàng bằng 14,2 triệu USD, nhưng với kịch bản thích ứng nó có thể giảm xuống còn hơn 1,7 triệu USD. Trong vùng này, chính sách thích ứng có thể có lợi ích về cơ sở hạ tầng lớn hơn và tiết kiệm một khoản đáng kể.

5.6.3.5. Đồng bằng sông Hồng

Tác động của NBD lên vùng đồng bằng sông Hồng có tỷ lệ trung bình 6%, nhưng trong phạm vi các tỉnh từ 0-21%. Các tác nhân khí hậu có một ảnh hưởng lên cơ sở hạ tầng đường sá và có lợi ích từ chính sách thích ứng gần bằng 21,3 triệu USD dưới kịch bản nóng nhất. Tiết kiệm chi phí cơ hội từ chính sách thích ứng tương tự giữa các kịch bản nóng trung bình và cực đại trong vùng này. Tuy nhiên, tiết kiệm chi phí cơ hội từ các kịch bản không thích ứng có sự khác biệt đáng kể là 38% và 69% tương ứng với các kịch bản nóng trung bình và cực đại. Do mật độ dân số trong vùng đồng bằng sông Hồng và khu vực đô thị, bao gồm Hà Nội khá đông đúc, nên tác động tiềm tàng trong kịch bản tồi tệ nhất lên kinh tế trong vùng nên được cân nhắc và xem xét.

5.6.3.6. Đông Nam Bộ

Vùng Đông Nam Bộ là vùng nhỏ hơn nhưng bao gồm nhiều trung tâm đô thị quan trọng, bao gồm thành phố Hồ Chí Minh và các tỉnh. Phạm vi tác động của NBD từ 0-21%, với thành phố Hồ Chí Minh ở mức trên 20% lụt lội. Với ước tính tổng hệ thống đường sá là 6.800 km, thì ước tính sự thiệt hại khoảng 1.360 km. Dựa trên mật độ dân số và khu vực chính trị và kinh tế quan trọng trong vùng, phân tích rủi ro về lũ lụt và các tác nhân khí hậu lên hệ thống đường sá nên được xem xét. Tiết kiệm do chính sách thích ứng là 17,3 triệu USD trong vùng Đông Nam Bộ là một trường hợp điển hình cho tác động của chính sách chủ động thích ứng để đảm bảo mối liên kết trong tỉnh.

5.7. Các hạn chế

Nghiên cứu này dựa trên một vài các nhân tố chính do đó có sự không chắc chắn trong phân tích định lượng. Dữ liệu khí hậu được trình bày ở đây dựa trên pha 3 dự án (CMIP3) so sánh mô hình nhân đôi trong Chương trình nghiên cứu khí hậu thế giới (WCRP's) và hệ thống dữ liệu đa mô hình (Meehl et al 2007). Hệ thống dữ liệu trình bày theo các cách tiếp cận hiện tại trong mô hình hóa biến đổi khí hậu tiềm năng, nhưng nó được dựa trên mô hình xác suất. Do vậy có độ không chắc chắn trong nghiên cứu liên quan đến tác động khí hậu. Đây là một lý do giải thích tại sao nghiên cứu hiện tại sử dụng nhiều kịch bản khí hậu để đưa đến các kết luận. Hơn nữa, như đã trình bày ở phần trên, nghiên cứu này dựa vào kết quả các nghiên cứu hiện có để nhận biết các tác động các tác nhân khí hậu. Mặc dù các nghiên cứu đó đã được ghi nhận, ước tính chi phí định lượng trong nghiên cứu này phụ thuộc vào kết quả của các nghiên cứu đó. Các vấn đề như các loại đường, các điều kiện địa phương, các kỹ thuật xây dựng và bảo trì đường đều có thể ảnh hưởng đến ước tính chi phí. Bởi vậy, các kết quả chi phí định lượng có thể khác nhau khi dựa trên các kết quả nghiên cứu khác nhau.

Các hạn chế của phân tích NBD đã được thảo luận ở các phần trước, nhưng sẽ được đề cập lại ở đây. Nguyên do thiếu số liệu liên quan đến phân phối, thời gian và độ cao của NBD trong các dự báo tương lai, nên phân tích đồng nhất nước biển cao 1 mét đã được sử dụng trong báo cáo này. Điều này có thể được cải thiện nếu có nhiều các dữ liệu thời tiết đáng tin cậy. Tuy nhiên, nghiên cứu này cũng đã cung cấp gợi ý cho phân tích theo các vùng và miền dễ bị tổn thương nhiều do NBD bởi chúng nằm ở độ cao thấp so với mặt nước biển.

Các hạn chế này nên được cân nhắc khi phân tích các kết quả định lượng của nghiên cứu. Tuy nhiên, mối quan hệ định tính được trình bày ở đây vẫn giữ nguyên thậm chí nếu các nghiên cứu tham khảo được thay đổi. Đặc biệt, tác động tương đối đến cả nước và các phát hiện chung của nghiên cứu sẽ vẫn giữ nguyên.

5.8. Thảo luận và kết luận

Sự quan trọng của hệ thống đường sá đối với phát triển và tăng trưởng dài hạn ở Việt Nam đòi hỏi sự tham gia của các quan chức Chính phủ trong việc cân bằng giữa nhu cầu ngắn hạn với kế hoạch dài hạn. Thêm nữa, các ảnh hưởng biến đổi khí hậu tiềm tàng làm tăng sự cần thiết về cân

bằng bởi lợi ích tiềm năng từ một quyết định có khả năng không xảy ra trong một vài thập kỷ. Nghiên cứu này giới thiệu một phương pháp để xem xét định lượng các tác động. Phương pháp hàm số tác nhân-phản hồi cho thấy tiềm năng tích hợp các nhân tố ảnh hưởng như thay đổi nhiệt độ, lũ lụt, và lượng mưa với phương pháp tính chi phí truyền thống để dự báo các chi phí tác động cho các địa phương cụ thể. Ngoài ra, sử dụng các chỉ tiêu hiện tại, hệ thống đường bộ và các tác động chi phí được tính toán, nghiên cứu cung cấp một chỉ số ban đầu về các chi phí cơ hội cho mỗi địa phương.

Nghiên cứu này minh họa rằng dựa vào tác động của dự báo thay đổi nhiệt độ và lượng mưa, chi phí cơ hội cho Việt Nam cần có nghiên cứu sâu thêm bởi các quan chức Chính phủ. Đặc biệt, việc bao gồm cả tiết kiệm duy tu khi chính sách thích ứng được lựa chọn là cần thiết để thu được tác động tổng thể của biến đổi khí hậu lên cơ sở hạ tầng đường sá. Đặc biệt quan trọng, do sự khác biệt về địa lý nên Việt Nam cần phải có một bức tranh toàn diện về các tác động tiềm tàng của biến đổi khí hậu. Bằng việc kết hợp phân tích NBD, nghiên cứu này cung cấp cơ sở để chỉ ra các thách thức quan trọng của biến đổi khí hậu lên Việt Nam. Với hơn 3.400 km đường biển, phía Đông của Việt Nam dễ bị tổn thương do các tác động mực nước biển dâng. Địa hình: thấp, đồng bằng bằng phẳng ở phía Nam và phía Bắc, Tây Nguyên, đồi núi dốc, miền núi xa về phía Bắc và Tây Bắc. Như đã nêu trong báo cáo, địa hình địa lý như vậy tạo ra một kịch bản mà thiệt hại lớn lên cơ sở hạ tầng đường sá có thể xảy ra nếu nước biển dâng lên 1 mét.

Kết quả của nghiên cứu này ngụ ý rằng cần một nghiên cứu sâu hơn ở cấp độ địa phương, cấp huyện nơi mà các thiệt hại khốc liệt từ ngập lụt được dự báo. Các biện pháp thích ứng như đê biển, gia cố và định vị lại hệ thống đường nên được xem xét. Tuy nhiên, nên cân nhắc về khung khổ thời gian khi nước biển dâng xảy ra và liệu có cần xây dựng cơ sở hạ tầng nếu vùng đất bên cạnh bị ngập lụt. Mỗi vấn đề này nên được xem xét chi tiết hơn trong các nghiên cứu tiếp theo ở cấp độ vùng.

Nhìn chung, những con số này thiết lập cơ sở mà từ đó đòi hỏi Việt Nam cần có cách tiếp cận đối với những thách thức về biến đổi khí hậu. Các chi phí cơ hội kết hợp với các tác động biến đổi khí hậu tiềm tàng làm chậm trễ kế hoạch phát triển hạ tầng. Sự chậm trễ này được kết hợp với tác động tiềm năng về xã hội như tiếp cận các dịch vụ thiết yếu và việc giải tỏa các nút thắt kinh tế bị trì hoãn. Thách thức đối với các cơ quan Chính phủ là làm như thế nào để cân nhắc vô số các yêu cầu trái ngược nhau liên quan đến các tác động tiềm tàng trong chính sách để đạt được sự cân bằng giữa nhu cầu ngắn hạn và tác động dài hạn của biến đổi khí hậu lên cơ sở hạ tầng.

Tóm lại, phương pháp nghiên cứu được xây dựng trong nghiên cứu này là bước đi đầu tiên hướng tới phát triển một đánh giá kinh tế toàn diện và tổng hợp các tác động của biến đổi khí hậu lên cơ sở hạ tầng. Các kết quả từ nghiên cứu này sẽ giúp ích cho các mô hình kinh tế phân tích toàn diện các tác động của biến đổi khí hậu lên nền kinh tế. Thách thức đối với Chính phủ từ các kết quả cuối cùng của phân tích này là làm sao để kết hợp vô số các yêu cầu xung đột vào trong chính sách để đạt được sự cân bằng giữa nhu cầu ngắn hạn và các tác động dài hạn của biến đổi khí hậu lên cơ sở hạ tầng.

6. Vùng duyên hải, nước biển dâng và bão

Chương này xem xét tác động của mực nước biển dâng và dâng bão lên vùng đồng bằng sông Hồng của Việt Nam. Vùng đồng bằng sông Hồng bao gồm 9 tỉnh: Bắc Ninh, Hà Nam, Hải Dương, Hưng Yên, Nam Định, Ninh Bình, Thái Bình, Hà Tây (nay đã sáp nhập vào Hà Nội), và Vĩnh Phúc; và hai thành phố lớn là Hà Nội và Hải Phòng. Phần lớn diện tích đồng bằng nằm ở vùng đất thấp. Thành phố Hà Nội nằm ở vị trí trung bình trên mực nước biển 8 mét. Các thành phố/tỉnh lớn khác trong vùng bao gồm Hải Phòng và Nam Định đều nằm cao hơn trung bình 3 mét so với mực nước biển. Hình 6-1 miêu tả khu vực nghiên cứu cho phân tích này.

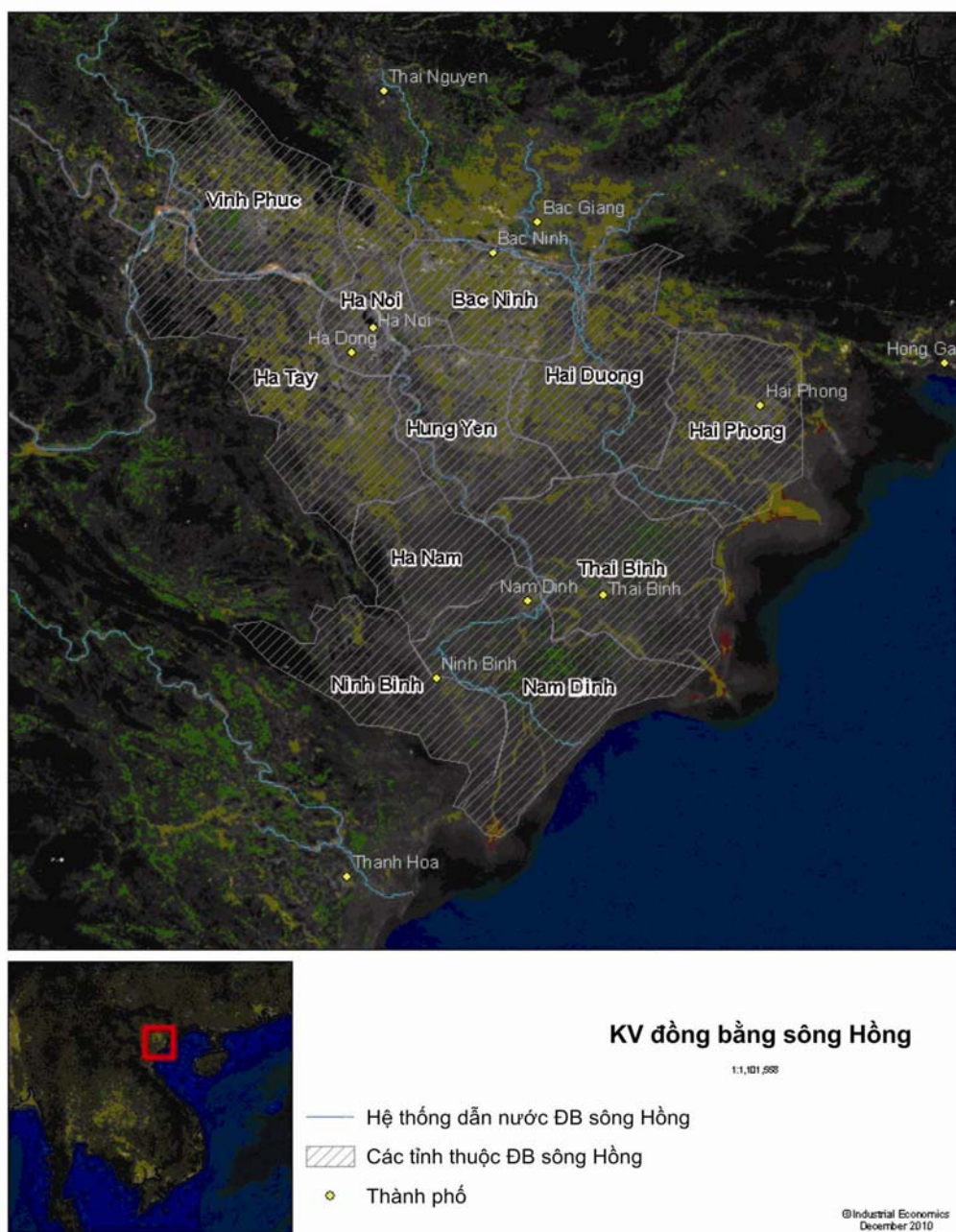
Bằng việc kết hợp các kịch bản nước biển dâng (NBD) cho năm 2050 với mức độ dâng bão cao nhất cho cơn bão tần suất xuất hiện 100 năm hiện nay, báo cáo này phân tích vùng đất bị ngập lụt vĩnh viễn và các vùng ngập lụt tạm thời. Dữ liệu độ cao so với mặt nước biển 90 mét của điều tra địa lý Hoa Kỳ được sử dụng để xác định các vùng bị ngập lụt. Ba kịch bản NBD được cân nhắc với mức dâng khác nhau: thấp (0,156 mét), trung bình (0,285 mét) và cao (0,378 mét). Sự dâng tràn nước biển từ mô hình SLOSH được sử dụng để xác định mức dâng nước biển cao nhất từ các cơn bão trong phạm vi nghiên cứu (Jelesnianski và các cộng sự., 1992).

Chương này bao gồm 3 phần. Phần thứ nhất trình bày thông tin chung về lũ lụt duyên hải ở vùng đồng bằng sông Hồng. Phần thứ hai mô tả phương pháp phân tích áp dụng. Phần thứ ba trình bày các kết quả phân tích và thảo luận. Phân tích của chúng tôi phát hiện rằng nước biển dâng đến năm 2050 có thể tăng tần suất của các cơn bão có chu kỳ 100 năm, chúng kết hợp với dâng bão khoảng xấp xỉ 5 mét với tần suất xuất hiện là 60 năm. Ước tính 10% GDP của Hà Nội bị thiệt hại do ngập lụt vĩnh viễn do nước biển dâng và 40% GDP bị tổn thương do phá hủy của dâng bão trong giai đoạn cụ thể. Chúng tôi kết luận rằng biện pháp thích ứng cho vùng duyên hải, như có kế hoạch đối phó với ảnh hưởng của biển, và xây dựng tường và đê chắn biển chắc chắn, là cần thiết để đối phó với các nguy cơ này.

6.1. Tổng quan: Bão lụt ven biển ở Việt Nam

Trong số các nước đang phát triển, các nghiên cứu gần đây cho thấy Việt Nam sẽ là một trong những nước dễ bị tổn thương nhất của nước biển dâng. Sử dụng 6 chỉ số đánh giá, Dasgupta và các cộng sự (2009) đánh giá tác động của NBD lên 84 nước đang phát triển vùng duyên hải. Sử dụng các chỉ số về sử dụng đất, dân số, GDP, quy mô đô thị, quy mô đất nông nghiệp, và diện tích đầm lầy, Dasgupta và các cộng sự (2009) chứng minh Việt Nam là một trong 5 nước chịu ảnh hưởng nhất với kịch bản 1 mét nước biển dâng. Hơn nữa, NHTG (2009) xếp hạng Việt Nam là một trong 12 nước vay vốn của NHTG chịu ảnh hưởng lớn nhất đối với nước biển dâng do biến đổi khí hậu.

Đồ thị 6-1: Vùng nghiên cứu đồng bằng sông Hồng

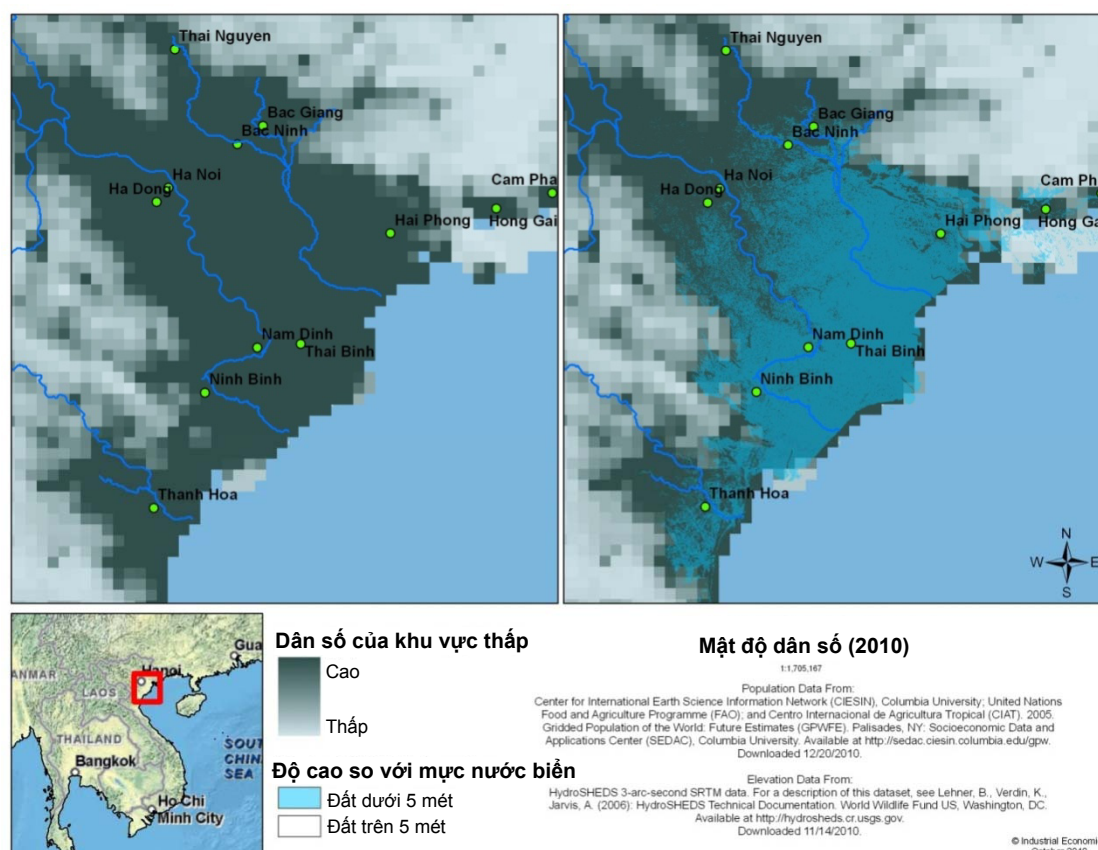


Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

Sở dĩ Việt Nam là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng nhiều nhất trên thế giới là do một phần vị trí của các trung tâm thành phố lớn và phần lớn diện tích trồng trọt nằm ở vị trí thấp. Năm 2010, vùng đồng bằng sông Hồng, bao bọc thủ đô Hà Nội có dân số chiếm 23% tổng dân số Việt Nam (GSO, 2010). Các tỉnh trong vùng có mật độ dân số đông đúc nhất ở Việt Nam, ngoại trừ Thành phố Hồ Chí Minh (GSO, 2010). Đồ thị 6-2 miêu tả mật độ dân số tập trung và đất duyên hải thấp ở vùng đồng bằng sông Hồng. Vùng đồng bằng sông Hồng cũng là một trong những vùng đất nông nghiệp chủ yếu của đất nước. Gần 60% hộ gia đình trong vùng thu nhập phụ thuộc vào hoạt động nông nghiệp (World Bank, 2010b).

Giữa năm 1954 và 2000, trung bình có 6,9 cơn bão/năm ảnh hưởng tới đất liền dọc theo bờ biển Việt Nam (MoNRE, 2003). Cấp độ gió mạnh và mực nước dâng kết hợp với các cơn bão gây ra phá hủy lớn đối với vùng duyên hải. Lượng mưa đi kèm với các cơn bão cũng gây ra lũ lụt rộng lớn trong các vùng thấp hơn một mét so với mực nước biển. Kết quả các trận lụt phá hủy đáng kể các vùng đất thấp như các tỉnh trong vùng đồng bằng sông Hồng và gây ngập lụt ruộng lúa. Bảng 6-1 miêu tả lịch sử các cơn bão đã phá hủy vùng đồng bằng sông Hồng trong thời gian 1990 và 2008.

Đồ thị 6-2: Dân số nằm ở vùng thấp ở đồng bằng sông Hồng



Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích, vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

Bảng 6-1: Lịch sử các cơn bão nhiệt đới gây thiệt hại ở đồng bằng sông Hồng trong giai đoạn 1990 - 2008.

Năm/ tháng	Tên bão	Các tỉnh bị ảnh hưởng	Số nhà mất (Nhà)		Diện tích nông nghiệp bị mất (Ha)			
			Đồ, cuốn sạch	Mất một phần	Diện tích lúa bị phá hủy	Diện tích lúa bị mất	Sản phẩm trưng trại bị phá hủy	Sản phẩm trưng trại bị mất
T9/05	Bão số 7 (Damrey)	Hải Phòng, Thái Bình, Nam Định, Ninh Bình	626	35.886	139.649	1.300	12.128	1.000
T9/05	Bão số 6	Hải Phòng, Thái Bình, Nam Định, Ninh Bình	1	138	42.129			
T7/05	Bão số 2 (Saola)	Hải Phòng, Thái Bình, Nam Định, Ninh Bình, Hà Nam	2	206	48.534		4.027	
T8/03	Bão số 3	Hòa Bình, Hà Tây, Bắc Giang, Bắc Ninh, Hải Dương, Hà Nam, Hưng Yên, Hải Phòng, Thái Bình, Ninh Bình, Nam Định		201	3.400	130		
T9/96	Bão số 4	Nam Hà, Thái Bình, Hải Phòng, Ninh Bình	3.190	74.050	21.411	2.615	8.420	3.190
1996	Bão số 2	Nam Hà, Thái Bình, Hải Phòng, Ninh Bình, Hòa Bình, Hà Nội, Hà Tây	29.842	444.017	117.002	39.504	11.773	7.645
T8/95	Bão số 5	Ninh Bình, Nam Hà, Thái Bình			1.500			
T7/91	Bão số 3	Hải Phòng	5		1.500			

Nguồn: CCFSC, 2010.

Có hai cơn bão mạnh nhất ảnh hưởng đến Việt Nam trong vòng 30 năm qua gây ra lở đất năm 2005 (Mai và các cộng sự., 2009). Cơn bão Sao La, cường độ nhỏ hơn trong 2 cơn, vào đất liền ngày 31/7, ảnh hưởng chủ yếu đến các tỉnh duyên hải là Quảng Ninh và Hải Phòng. Sức gió gần mắt bão đạt cấp độ chín theo thang điểm của Beaufort (75-88 km mỗi giờ). Sao La gây ra nhiều km đê biển bị thiệt hại, đặc biệt là trên đảo Cát Hải nơi mà đê đã phải thay thế hoàn toàn (Mai và các cộng sự, 2009).

Cơn bão Damrey vào đất liền Việt Nam vào ngày 27/9, được biết đến như là một cơn bão mạnh nhất vào Việt Nam trong vòng 50 năm qua. Damrey ảnh hưởng đến tất cả các tỉnh duyên hải ở đồng bằng sông Hồng với cấp độ 12 theo thang điểm Beaufort (118-133 km/h) ở mắt bão. Bão lớn cùng với triều cường dẫn đến hệ thống đê biển bị ngập lụt trong vùng. Dâng bão của Bão

Damrey đạt đến độ cao từ 3-4 mét và gây ra tình trạng nước biển xâm nhập vào nội địa từ 3-4 km. Lũ quét sau Damrey phá hủy ít nhất 1.194 ngôi nhà và gây ra hư hỏng 11.576 ngôi nhà khác ở vùng cao hơn. Hơn 130.000 hecta ruộng lúa bị ngập và hư hỏng, phần lớn ruộng lúa này chưa được thu hoạch trước khi bão Damrey đến (Mai và các cộng sự, 2009). Mặc dù rất khó để liên kết các sự kiện riêng lẻ như các cơn bão tàn phá năm 2005 với biến đổi khí hậu, các cơn bão lớn như thế này rõ ràng chứng minh tính dễ bị tổn thương của khu vực do khí hậu gây ra.

Các mối đe dọa từ các cơn bão ở Việt Nam được gia tăng dưới tác động tiềm tàng của biến đổi khí hậu, bao gồm nước biển dâng và lượng mưa tăng lên. Mức nước biển ở Việt Nam được ước tính là tăng từ 2,5 cm đến 3 cm trong vòng 1 thập kỷ do biến đổi khí hậu (MoNRE, 2003). Hơn nữa, diện tích các vùng đồng bằng được dự kiến sẽ giảm theo thời gian, có thể làm trầm trọng thiệt hại gây ra bởi sự dâng lên mực nước biển ở vùng đồng bằng sông Hồng. Trừ khi có một hệ thống đê biển cao được xây dựng, nếu không thì nước biển dâng sẽ dẫn đến giảm diện tích đất hơn nữa ở vùng đồng bằng sông Hồng. Biến đổi khí hậu dự kiến làm tăng tính dễ bị tổn thương do khí hậu của Việt Nam, làm giảm lượng mưa trong mùa khô và tăng lượng mưa trong mùa mưa. Nhìn chung, lượng mưa trung bình hàng năm dự đoán sẽ tăng (MoNRE, 2009). Ngập lụt, mất đất và xâm nhập mặn gây ra bởi sự gia tăng mực nước biển, lượng mưa tăng và các hoạt động cơn bão gây ra sẽ gây ra mối đe dọa nghiêm trọng cho nông dân. Giữa năm 1976 và 2005, lũ lụt và nước ngập mặn làm hỏng 40.000 hecta đất trồng trọt và phá hủy trên 100.000 tấn lương thực (Mai và các cộng sự, 2009). Tỷ lệ phá hủy có thể tăng do biến đổi khí hậu. Những tác động này có thể được cảm nhận thông qua xuất khẩu nông nghiệp và có thể ảnh hưởng đến an ninh lương thực quốc gia (Chaudhry và Ruyschaert, 2007).

Bão cũng góp phần làm xói mòn bờ biển nghiêm trọng của Việt Nam, dự kiến sẽ tồi tệ hơn do biến đổi khí hậu (Mai và các cộng sự, 2009). Việt Nam đã phải chịu cả hai xói mòn dọc bờ biển không được bảo vệ, và xói mòn đất bồi, dẫn đến đào sâu xói mòn thêm các bãi biển ở phía trước đê biển (Mai và các cộng sự, 2009). Ở Việt Nam, xói mòn dọc bờ biển ăn sâu vào đất liền từ 10-20 mét/năm, trong khi xói mòn đất bồi xuất hiện với tỷ lệ từ 0,3-0,6 mét/năm. Trong 100 năm qua, bờ biển tại Việt Nam đã ăn sâu vào bờ khoảng 3.000 mét và khoảng 18.000 ha đất đã bị mất (Mai và các cộng sự, 2009).

6.2. Các phương pháp

Các ảnh hưởng của biến đổi khí hậu lên bão bao gồm sự thay đổi cường độ, tần suất và đường đi của cơn bão riêng lẻ. Sự thay đổi nhiệt độ là một nhân tố tiềm tàng thay đổi tính chất của bão, nhưng vì bão là những sự kiện tương đối hiếm, nên sự khác biệt về hoạt động tạo bão có thể xảy ra trước năm 2050 rất khó phân biệt với phương pháp hiện hành. Bởi vì dữ liệu lịch sử về dâng bão ở Việt Nam là thưa thớt, do đó phương pháp ngoại suy từ các cơn bão trước là không hữu ích.

Ảnh hưởng của nước biển dâng là một ảnh hưởng quan trọng không kém của biến đổi khí hậu đối với những thiệt hại tiềm tàng có thể dẫn đến từ cơn bão. Mực nước biển dâng cao hơn làm cho nước dâng do bão với một "khởi điểm" cao hơn, điều này có thể làm tăng cường độ và độ sâu của nước dâng đối với khu vực vốn đã dễ bị tổn thương với các cơn bão ven biển. Hơn thế nữa, dự báo về nước biển dâng đến năm 2050, mặc dù có độ không chắc chắn nhưng vẫn đáng tin cậy hơn so

với dự báo về bão. Nhìn chung, sự gia tăng mực nước biển sẽ làm cho các cơn bão hiện có gây tổn hại nhiều hơn đáng kể, ngay cả khi có sự thay đổi nhỏ về hoạt động tạo bão. Phân tích này tập trung vào ảnh hưởng biên dự đoán đáng tin cậy hơn của NBD lên mức độ và tần suất xuất hiện của các cơn bão vốn có độ phá hủy mạnh. Sử dụng bộ dữ liệu mô phỏng cho các cơn bão và dâng bão cùng với ba dự báo cho NBD trong tương lai tại Việt Nam, chúng tôi ước tính ảnh hưởng của biến đổi khí hậu gây ra do NBD lên rủi ro do bão. Phương pháp tổng thể gồm 4 bước sau:

1. *Mô phỏng hoạt động của bão trong suốt thập kỷ 21.* Phương pháp của chúng tôi tạo ra 3.000 sự kiện thời tiết, và ước tính các sự kiện nào trở thành bão và đường đi của các cơn bão.

2. *Sử dụng các trường gió như là các đầu vào cho mô hình dâng bão.* Chúng tôi sử dụng mô hình SLOSH của Dịch vụ Thời tiết Quốc gia Hoa Kỳ để ước tính việc nước dâng do gió trong bão tạo ra dâng bão lên vùng duyên hải.

3. *Tạo ra hàm phân phối lũy kế của chiều cao dâng bão cho các vùng chính được lựa chọn trong phạm vi mô hình.* Các kết quả SLOSH tạo ra cho mỗi sự kiện mô phỏng cung cấp một kịch bản cơ sở, cho chiều cao sóng các cơn bão sau này, không có nước biển dâng.

4. *Ước tính ảnh hưởng của NBD lên thời gian quay trở lại của các cơn bão.* Sử dụng phân phối của dâng bão trong trường hợp cơ sở, sau đó chúng tôi ước tính NBD tăng tần suất dâng bão có tính phá hủy như thế nào cho ba kịch bản của NBD trong tương lai vào năm 2050.

Chúng tôi miêu tả tóm tắt từng bước trong các phần sau.

6.2.1. Tạo bão

Kỹ thuật tạo bão từ các sự kiện hiện tại bắt đầu bằng việc thu thập dữ liệu các cơn bão, đường đi và cường độ, ví dụ như cái được gọi là sưu tập "theo dõi tốt nhất" thực hiện bởi các trung tâm dự báo như Trung tâm nhiệt đới dự báo khí quyển (TPC) và Trung tâm cảnh báo bão-Hải quân Hoa Kỳ (JTWC). Cứ sáu giờ cập nhật vị trí trung tâm của cơn bão cùng với cường độ ước tính, hoặc tốc độ gió tối đa hoặc áp suất trung tâm trong khoảng thời gian nào đó. Đánh giá rủi ro ban đầu (ví dụ như Georgiou và các cộng sự, 1983; Neumann, 1987), sử dụng hàm phân phối chuẩn, chẳng hạn như phân phối lognormal hoặc phân phối Weibull đối với phân phối cường độ tối đa của tất cả các trận bão lịch sử trong vòng bán kính quy định của điểm quan tâm. Sau đó, bằng cách rút ngẫu nhiên từ phân phối đó, những đánh giá rủi ro sớm sử dụng các mô hình tiêu chuẩn của các cấu trúc xuyên tâm của các cơn bão, cùng với tốc độ dịch chuyển và thông tin đổ bộ vào đất liền, để ước lượng mức gió tối đa đạt được tại các điểm quan tâm. Một nhược điểm rõ ràng của phương pháp ngoại suy lịch sử này là dự đoán tần số cho các cơn bão có cường độ cao là khá nhạy cảm với hình dạng 2 phía đuôi của phân phối được sử dụng. Lý do chính có thể chỉ yếu là có ít dữ liệu để xác định các phần đuôi này.

Nhiều phương pháp đánh giá rủi ro gió bão trực tiếp dựa vào dữ liệu theo dõi cơn bão lịch sử để ước tính tần suất của các cơn bão đi qua điểm quan tâm, và do đó phải giả định rằng sự tiến triển về cường độ là độc lập bởi đường đi của các cơn bão. Hơn nữa, phương pháp cường độ tương đối chắc hẳn thất bại khi các cơn bão di chuyển vào khu vực có cường độ nhỏ. Đây thường là trường hợp ở vĩ độ cao hơn, nơi cơn bão huỷ diệt hàng loạt xuất hiện, mặc dù không thường xuyên. Trong khu vực như vậy, lịch sử ghi lại là cực kỳ thưa thớt nên không có khả năng áp dụng.

Là một bước tiến để vượt qua những khó khăn này, chúng tôi đã phát triển một kỹ thuật để tạo ra số lượng lớn tổng hợp các đường đi của bão, với mỗi đường đi, chúng tôi chạy mô hình số kép, đã được xác định để mô phỏng cường độ bão. Phương pháp này được dựa trên tạo giống ngẫu nhiên cho một lưu vực đại dương nhất định có nhiều đối với bão nhiệt đới yếu, và sử dụng một mô hình cường độ để xác định cái nào trong số đó phát triển thành sức mạnh của bão nhiệt đới. Một bộ lọc được sử dụng để hướng cho mô hình tạo bão lựa chọn các đường đi trong một khoảng cách nhất định với một địa điểm hoặc một khu vực quan tâm, chẳng hạn như là một thành phố hay một quận. Khi lọc các hướng đi, một bản ghi số lượng đường đi bị loại bỏ, điều này được sử dụng để tính toán tần suất tổng thể của các cơn bão qua bộ lọc. Trong công việc này, chúng tôi đã chọn trung tâm thành phố Hà Nội là điểm trọng tâm; kết quả là chúng tôi mô phỏng được các cơn bão có tác động lớn đến Hà Nội và các tỉnh trong vùng đồng bằng sông Hồng.

Một khi các đường đi của bão đã được thiết lập, mô hình cường độ bão kép được chạy theo các đường đi được chọn để đưa ra lịch sử của tốc độ gió tối đa. Mô hình này được điều khiển bởi thông tin hàng tháng về khí hậu, khí quyển và áp suất trên đại dương, nhưng cũng xem xét xung quanh môi trường gió thay đổi ngẫu nhiên theo thời gian theo các bước được mô tả trước đây. Mô hình kép được xác định này đưa ra tốc độ và bán kính gió tối đa, nhưng do số liệu độ phân giải không gian kém, các khía cạnh chi tiết của cấu trúc tâm bão không được sử dụng ở đây. Thay vào đó, chúng tôi sử dụng số liệu bán kính gió, phù hợp với kết quả đầu ra để ước tính sức gió tối đa tại các điểm cố định trong không gian đi từ trung tâm cơn bão. Phương pháp tổng thể đã được mô tả trong một số nghiên cứu được công bố (xem ví dụ, Emanuel và các cộng sự 2008).

Đối với mỗi điểm quan tâm, mô hình cường độ được chạy trong một mô phỏng Monte Carlo với hàng ngàn vòng lặp để đưa ra số liệu thống kê mong muốn, chẳng hạn như xác suất tốc độ gió. Cả hai phương pháp tạo đường đi tổng hợp và các mô hình xác định đủ hiệu quả để ước tính xác suất bão theo mức ý nghĩa thống kê phù hợp với phần mềm tính toán phù hợp.

6.2.2. Mô hình “*Biển, hồ và nước dâng vào đất liền do bão*”

Biển, hồ và nước dâng vào đất liền do bão (SLOSH) là một mô hình tính toán được phát triển bởi cơ quan quản lý trường hợp khẩn cấp liên bang (FEMA), công ty quân đội của Hoa Kỳ (USACE), và cơ quan dịch vụ thời tiết Quốc gia (NWS) để ước tính độ sâu của dâng bão do các cơn bão lịch sử, các cơn bão giả thuyết hoặc dự báo thông qua xem xét sức ép, kích thước, tốc độ chuyển tiếp, đường đi, tốc độ gió của bão và các dữ liệu địa hình (Jelesnianski và các cộng sự, 1992).

Đầu ra đồ họa từ mô hình hiển thị chiều cao dâng bão cho một khu vực cụ thể. Chiều cao được đo bằng đơn vị feet cao hơn so với mức tham chiếu của mô hình (đó là mức đo của dữ liệu quan trắc học Quốc gia (NGVD) được tham chiếu về độ cao cho hầu hết các bản đồ. Ngoài các yếu tố khác, mô hình SLOSH được quyết định bởi các trường gió bắt nguồn từ kỹ thuật tạo bão như trình bày ở trên.

Các tính toán tạo dâng bão được áp dụng cho bờ biển một địa phương cụ thể, lồng ghép các đặc điểm cụ thể của vịnh và sông, độ sâu nước, cầu, đường giao thông và các đặc điểm khác. Chúng tôi đã mã hóa các khía cạnh này của ô lưới trong SLOSH, và chúng là cấu thành theo thời gian cơ bản của phương pháp sử dụng.

Mô hình SLOSH thường chính xác trong phạm vi cộng hoặc trừ 20%. Ví dụ, nếu mô hình tính toán sự kiện có dâng bão đỉnh điểm là 10 feet, thì giá trị đỉnh có thể quan sát được nằm trong khoảng từ 8-12 feet. Các tài khoản mô hình cho thủy triều có thể tăng thêm đáng kể chiều cao nước, bằng cách xác định mức thủy triều ban đầu, nhưng không bao gồm lượng mưa, dòng sông hoặc các sóng do gió. Chỉ có độ cao của lũ do gió được xem xét trong SLOSH.

Điểm đổ bộ của bão vào đất liền là rất quan trọng để xác định các khu vực sẽ bị ngập bởi dâng bão. Thông tin này cũng có sẵn từ phương pháp tạo bão đã thảo luận ở trên, nhưng tính chất tổng hợp của những kết quả này và chỉ mang tính dự báo nên việc xác định địa điểm đổ bộ có tính chất không chắc chắn. Chúng tôi áp dụng mô hình SLOSH như các nhà xây dựng mô hình gợi ý: để xác định mức dâng bão tối đa cho một vị trí nhưng điểm đổ bộ của bão có tính chất không chắc chắn.

6.2.3. NBD và ảnh hưởng thời gian quay trở lại của bão

Các kết quả dâng bão từ kịch bản cơ sở, không có NBD, cung cấp thông tin về xác suất về chiều cao dâng bão tại một điểm cụ thể trên bờ biển trong tương lai. Chúng tôi sử dụng kết quả này để xác định xác suất của dâng bão trong thế kỷ 21. Đường cong dâng bão sau đó có thể thay đổi để phản ánh các ảnh hưởng của nước biển dâng lên chiều cao dâng bão. Ảnh hưởng của NBD lên thời gian quay trở lại của bão có thể ước lượng được. Việc sửa đổi đường cong được thực hiện cho ba kịch bản NBD đến năm 2050.

Tác động của sụt lún đất cũng được sử dụng để đánh giá tác động nước biển dâng trong khu vực. Thật không may, không có dữ liệu thủy triều cho các địa điểm trong vùng đồng bằng sông Hồng. Tuy nhiên, sử dụng số liệu xu hướng của mực nước biển trung bình gần Hòn Dấu từ bộ số liệu mực nước biển trung bình (PSMSL, 2005), mức lún đồng bằng sông Hồng đạt xấp xỉ 0,03 m (30 mm) vào năm 2050. Mức thay đổi nhỏ này sẽ không có tác động đáng kể đến kết quả của chính tôi và do đó được bỏ qua.

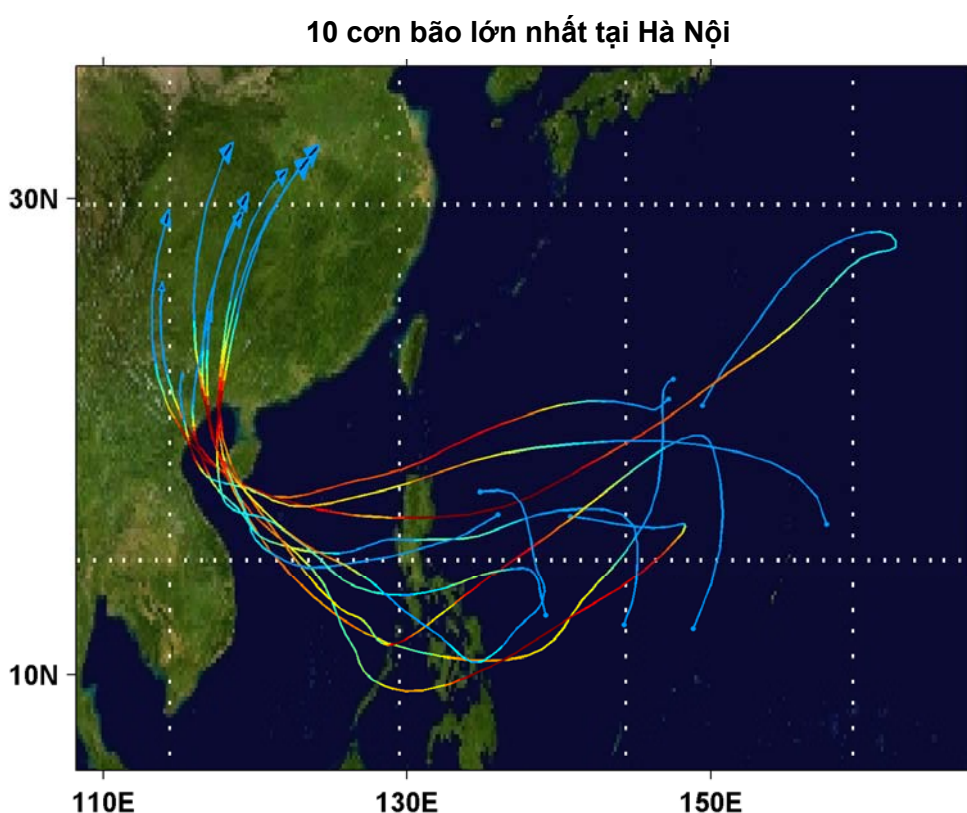
Ba kịch bản NBD được sử dụng, kịch bản thấp (0,156m), kịch bản trung bình (0,285m) và kịch bản cao (0,378m). Đây là các kịch bản được sử dụng để phân tích hỗ trợ dự án của Ngân hàng thế giới về Kinh tế học của Thích ứng với biến đổi khí hậu (World Bank, 2010a) và chúng được dựa trên nghiên cứu của Ủy ban liên Chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC) (Meehl và các cộng sự., 2007) và Rahmstorf (2007). Kịch bản thấp dựa trên trung điểm của các kết quả mô hình GCM báo cáo trong các AR4 IPCC (Meehl và các cộng sự, 2007.); Các kịch bản trung bình dựa trên mô hình hóa của Rahmstorf (2007) về tác động NBD của kịch bản nhiệt độ A2; và kịch bản cao dựa trên kịch bản tối đa của Rahmstorf (2007).

Hàm số cho ảnh hưởng của NBD lên thời gian quay trở lại của bão được tạo ra qua quy trình sau. Thứ nhất, chiều cao dâng bão cho một "con bão tham chiếu" trong cơ sở dữ liệu gốc được xác định. Trong các kết quả trình bày ở dưới, chúng tôi chọn chiều cao của các cơn bão tần suất 100 năm mà không có nước biển dâng làm tham chiếu. Sau đó, chúng tôi thay đổi các đường cong của bão cho ba kịch bản NBD để xác định thời gian quay trở lại của bão cho mỗi kịch bản. Cuối cùng, hàm hồi quy ước lượng bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất được sử dụng để xác định mối quan hệ giữa thời gian trở lại của bão và mức độ NBD. Thông thường mối quan hệ này không phải là tuyến tính.

6.3. Các kết quả

Các kết quả của quá trình 4 bước này được trình bày ở dưới. Đồ thị 6-3 trình bày đường đi của 10 cơn bão được tạo ra từ quá trình được trình bày ở trên. Những cơn bão này có tốc độ gió lớn nhất. Màu sắc của các đường đi biểu lộ cường độ của mỗi cơn bão theo mức độ Saffir-Simpson: từ cường độ thấp nhất, màu xanh biển (cấp 1), mức độ cao hơn, màu xanh lá cây (cấp 2), màu vàng (cấp 3), màu da cam (cấp 4), và màu đỏ cường độ mạnh nhất (cấp 5). Đường đi của các cơn bão biểu thị rằng các cơn bão đạt cấp độ 5 có thể ảnh hưởng đến Hà Nội, được miêu tả ở phần giữa bên tay trái của đồ thị. Các cơn bão này bắt nguồn từ phía Nam và giảm nhanh cường độ khi chúng dịch chuyển lên đất liền miền Bắc.

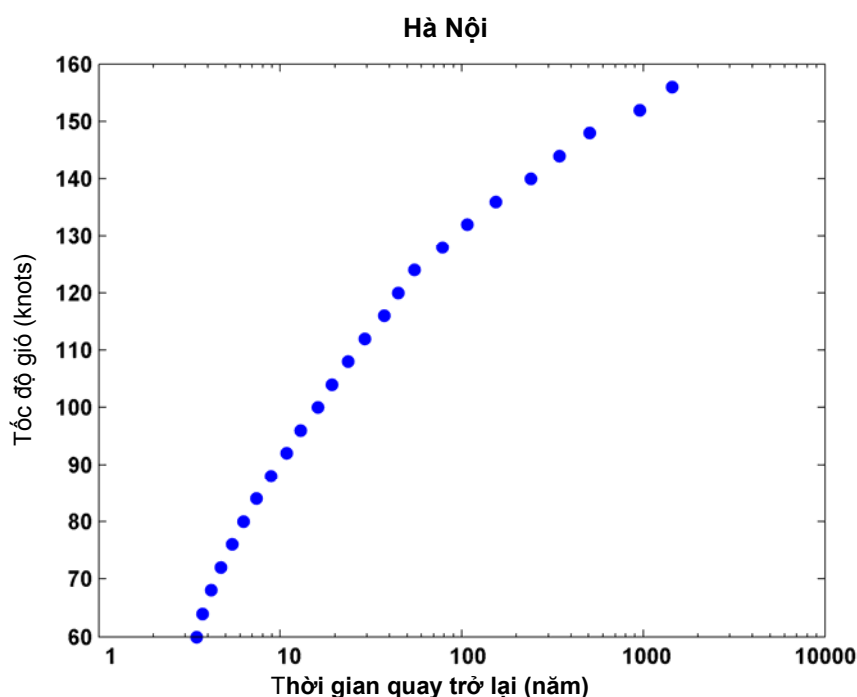
Đồ thị 6-3: Các đường đi của bão



Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích, vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

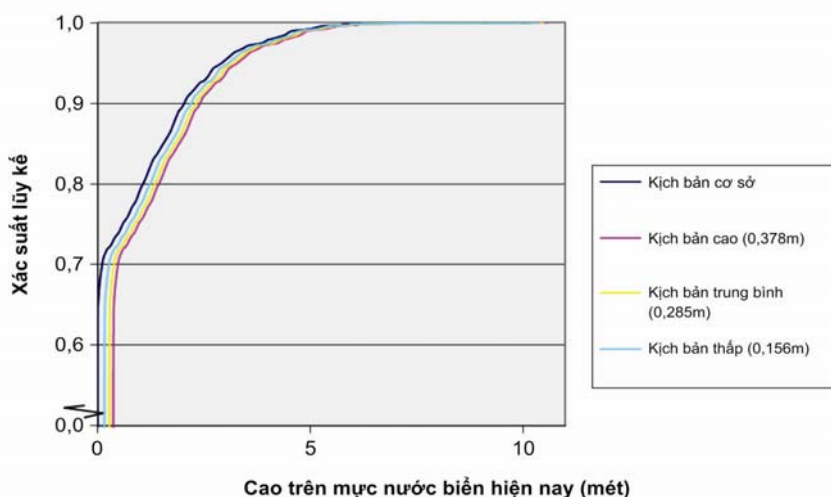
Đồ thị 6-4 minh họa đường cong cho tốc độ gió ở Hà Nội. Bão tần suất 100 năm có tốc độ gió 130 knots, được phân vào cấp độ 4 theo bảng phân chia của Saffir-Simpson. Cơn bão với tần suất xuất hiện 10 năm/lần có tốc độ gió 90 knots, thuộc loại cấp độ 2. Sự phân bố thời gian quay trở của bão có mối liên hệ chặt chẽ với rủi ro từ dâng bão theo ước tính của mô hình SLOSH. Đồ thị 6-5 mô tả các đường dịch cong của các cơn bão dưới các kịch bản khác nhau. Khi dâng bão đột biến xảy ra có khả năng dâng bão khá cao, với một số trường hợp lên đến gần 11 mét.

Đồ thị 6-4: Tốc độ gió và ước tính thời gian quay lại

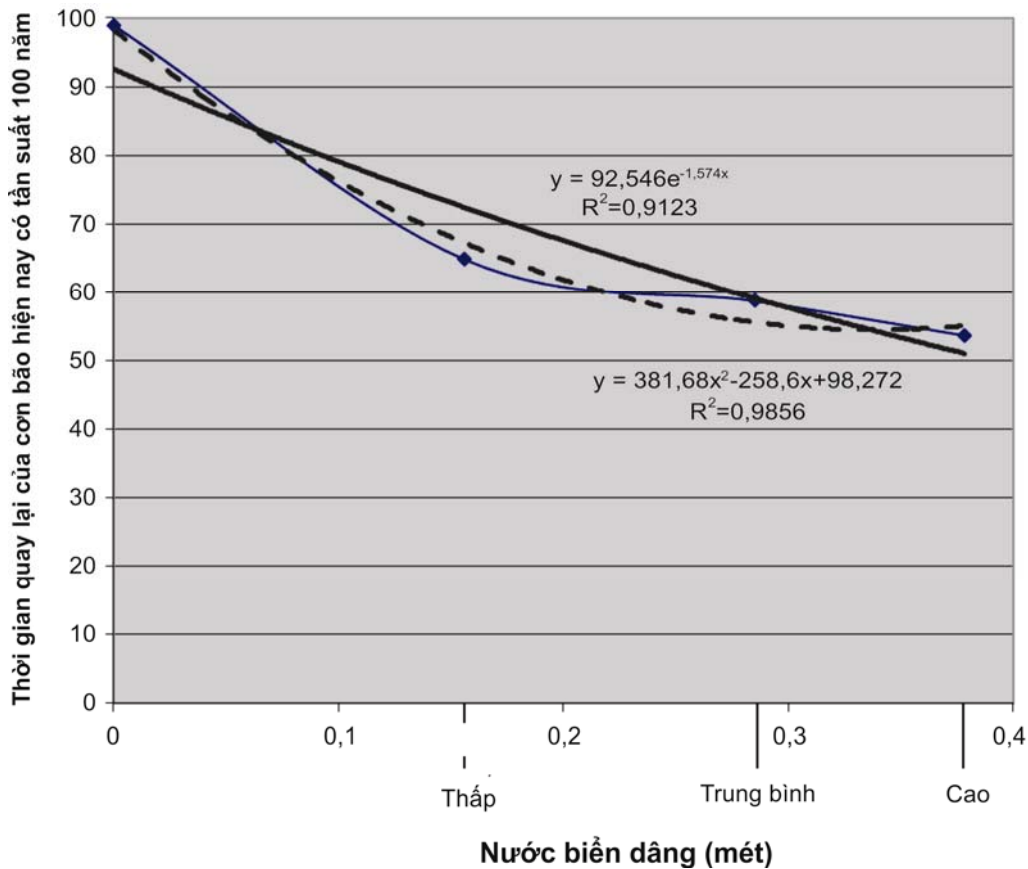


Cuối cùng, Đồ thị 6-6 cung cấp cho chúng ta các ước tính thay đổi thời gian quay lại của bão có tần suất xuất hiện 100 năm/lần theo các kịch bản NBD. Đường cong thời gian quay lại được ước tính bởi hàm mũ và đa thức. Mặc dù chỉ có một vài điểm mẫu, hàm đa thức biểu lộ hệ số giải thích lớn nhất (R^2). Như đã trình bày ở đồ thị, cơn bão tần suất 100 năm ở Hà Nội có thể xuất hiện thường xuyên hơn với NBD. Thay vì xuất hiện 100 năm/lần, đến năm 2050, chúng được ước tính xuất hiện 65 năm/lần trong kịch bản NBD thấp, 59 năm/lần trong kịch bản NBD trung bình và 54 năm/lần trong kịch bản NBD cao. Tương tự sự giảm bớt này được thấy trong các thời gian quay lại của các cơn bão khác.

Đồ thị 6-5: Đường cong dâng bão từ kết quả của mô hình SLOSH trường hợp có và không có thay đổi về mực nước biển



Đồ thị 6-6: Ước tính thời gian quay trở lại của các cơn bão xuất hiện có tần suất 100 năm với các kịch bản NBD



6.4. Các tác động kinh tế

Từ phân tích này, nước biển dâng sẽ dẫn đến ngập lụt vĩnh viễn một phần đáng kể của những vùng thấp ở đồng bằng sông Hồng. Hơn nữa, dâng bão sẽ dẫn đến gia tăng tần suất và mức độ ngập lụt. Đồ thị 6-7 mô tả các vùng chịu ảnh hưởng nặng nhất từ NBD và sau đó là dâng bão. Các vùng chịu ảnh hưởng này sẽ phải chịu các mức độ thiệt hại khác nhau do NBD và dâng bão. Các vùng đất thấp sẽ bị ngập hoàn toàn trong thời gian dài, gây thiệt hại lớn hơn trong khi các vùng đất cao hơn sẽ chịu ảnh hưởng nhỏ hơn. Nghiên cứu này bị hạn chế bởi số liệu về độ cao so với mặt nước biển. Với các số liệu tốt hơn về độ cao so với mực nước biển, nghiên cứu trong tương lai có khả năng thực hiện một phân tích không gian sâu hơn về các rủi ro ở các địa phương nhất định thuộc khu vực đồng bằng sông Hồng.

Đồ thị 6-7: Các vùng bị ảnh hưởng bởi nước biển dâng và dâng bão đến năm 2050



Chú thích: Nghiên cứu này chỉ xem xét những phần lãnh thổ của Việt Nam mà chúng tôi có thông tin để phân tích, vì vậy bản đồ trong đồ thị trên không có ý định phản ánh đầy đủ tất cả các vùng lãnh thổ của Việt Nam.

Các thông tin thêm về rủi ro tài sản do NBD và dâng bão có thể biết được thông qua số liệu về sử dụng đất ở các vùng duyên hải trong vùng đồng bằng sông Hồng, bao gồm các tỉnh Nam Định, Thái Bình, Hải Phòng và Ninh Bình. Bảng 6-2 cung cấp chi tiết thêm về số lượng đất thành thị, nông thôn hiện tại, đất thương mại, công nghiệp, cơ quan, nông nghiệp, thủy sản, ruộng lúa và đất rừng trong các tỉnh này. Điều đó cũng cho biết chi tiết số lượng đất bị ngập lụt vĩnh viễn do NBD (các vùng dưới 1 mét nước biển) và các vùng bị ngập lụt bởi dâng bão xuất hiện 100 năm/lần (các vùng nằm dưới 5 mét nước biển).

Bảng 6-2 cho thấy tỷ lệ đáng kể các tỉnh duyên hải trong vùng đồng bằng sông Hồng chịu ảnh hưởng từ mực nước biển dâng và dâng bão. Hơn 70% diện tích với giá trị sử dụng đất cao như đất đô

thị, đất sinh hoạt nông thôn, thương mại và công nghiệp chịu ảnh hưởng ngập lụt cao đến 5 mét. Hơn 90% đất sử dụng cho trồng lúa cũng bị ảnh hưởng. Điều này làm gia tăng quan ngại khi vùng đồng bằng sông Hồng sản xuất gần một nửa sản lượng lúa gạo toàn quốc. (Mai và các cộng sự, 2009).

Dữ liệu giá trị đất sẽ là công cụ lý tưởng cho việc đánh giá thiệt hại kinh tế liên quan đến dâng bão và nước biển dâng. Bởi vì dữ liệu giá trị đất chi tiết ở Hà Nội không có sẵn, trong nghiên cứu này, GDP đã được sử dụng như là một chỉ số thay thế cho giá trị đất. Sử dụng phương pháp mô hình đánh giá tính tổn thương tương tác và động (DIVA) của Vafeidis và các cộng sự., 2008, nghiên cứu này sử dụng số liệu dân số của Trung tâm hệ thống thông tin khoa học trái đất thế giới (CIESIN, FAO, and CIAT, 2005) kết hợp với số liệu GDP ước tính của Việt Nam cho năm 2010 (CIA, 2009) để tính toán chỉ số thay thế các giá trị đất.

Đối với đất bị ngập lụt, bất kỳ giá trị đất nào cũng bị mất vĩnh viễn. Dâng bão làm tổn thất GDP hàng năm của năm bão xảy ra. Giả định của phương pháp này cho rằng địa phương có dân số đông hơn thì có giá trị cao hơn. Giả định này có thể đánh giá thấp một số địa điểm có ít dân số hoặc có thể cả những nơi dân số nhiều nhưng chúng tôi tin rằng đây là một giả định hợp lý khi xem xét thiệt hại trên một khu vực tương đối lớn. Một cách tiếp cận tương tự cũng đã được sử dụng trong mô hình DIVA cho nhiều năm (Vafeidis và các cộng sự, 2008).

Bảng 6-3 trình bày GDP có nguy cơ bị thiệt hại vĩnh viễn do NBD và bị ảnh hưởng trong một thời gian nhất định khi cơn bão tần suất 100 năm xuất hiện. Ước tính 6,53 tỷ USD có nguy cơ bị thiệt hại ở vùng đồng bằng sông Hồng do NBD và một khoản thiệt hại nữa 25,4 tỷ USD do bão tần suất 100 năm gây ra. Các số liệu này chiếm 10,9% và 42,5% GDP ở vùng đồng bằng sông Hồng. Tổn thất này chiếm 2,36% và 9,18% tổng GDP toàn quốc.

Bảng 6-2: Diện tích đất sử dụng - tổng hiện tại và diện tích chịu rủi ro bởi NBD và dâng bão trước năm 2050

Vùng được tính toán	Sử dụng đất								
	Đất ở đô thị	Đất ở nông thôn	Thương mại	Công nghiệp	Cơ quan	Nông nghiệp	Thủy sản	Cánh đồng lúa	Rừng
DIỆN TÍCH HIỆN TẠI Ở CÁC TỈNH DUYÊN HẢI ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG (KM2)									
Cao hơn so với mặt nước biển	103	725	25,0	19,8	127	149	358	3.040	214
DIỆN TÍCH BỊ ẢNH HƯỞNG VĨNH VIỄN BỞI LŨ LỤT (SLR) VÀ NGẬP LỤT (DO CƠN BÃO TẦN SUẤT 100 NĂM XUẤT HIỆN, KM2)									
Dưới 1 mét	15,7	97,9	2,36	5,06	11,6	21,0	241	455	32,0
Dưới 5 mét	76,2	635	18,3	15,7	90,8	81,9	349	2.800	80,2
TỶ LỆ % CỦA DIỆN TÍCH ĐẤT BỊ NGẬP VĨNH VIỄN VÀ NGẬP LỤT									
Dưới 1 mét	0,15	0,14	0,09	0,26	0,09	0,14	0,67	0,15	0,15
Dưới 5 mét	0,74	0,88	0,73	0,79	0,72	0,55	0,97	0,92	0,38

Chú ý: Số liệu được làm tròn 3 chữ số.

Bảng 6-3: Thiệt hại GDP hàng năm do NBD và dâng bão đến năm 2050

Vùng được tính toán	Quy nạp GDP hàng năm (triệu USD 2010)	%GDP trong vùng nghiên cứu	% GDP cho Việt Nam
ĐẤT HIỆN TẠI Ở CÁC TỈNH DUYÊN HẢI ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG			
Cao hơn so với mặt nước biển	\$59.700	100%	21,6%
VÙNG CHỊU RỦI RO DO NGẬP LỤT LÂU DÀI (SLR) VÀ BỊ CHIA CẮT LŨ (SỰ KIỆN 100 NĂM/BÃO)			
Dưới 1 mét	\$6.530	10,9%	2,36%
Dưới 5 mét	\$25.400	42,5%	9,18%

Chú ý: Số liệu được làm tròn 3 chữ số.

Nguồn: Số liệu dân số từ Trung tâm hệ thống thông tin khoa học trái đất; GDP/đầu người ở Việt Nam từ cơ quan tình báo Trung ương Factbook (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>).

6.5. Thảo luận

Phân tích này đưa ra một bằng chứng trong khung khổ phân tích rủi ro do dâng bão và NBD gây ra cho một vùng của Việt Nam. Mặc dù còn một vài hạn chế số liệu đã được nêu, nghiên cứu đã xây dựng phương pháp để đánh giá thiệt hại theo không gian do NBD và dâng bão với dữ liệu hiện có trong vùng đồng bằng sông Hồng. Trong kịch bản cơ sở không có NBD, mô hình hoạt động và đường đi của cơn bão đã cho thấy các cơn bão hoạt động trong vùng đồng bằng sông Hồng xảy ra không thường xuyên nhưng nghiêm trọng. Thay đổi đường cong dâng bão của các kịch bản NBD so với kịch bản cơ sở làm tăng rủi ro. Diện tích lũy kế bị ảnh hưởng đối với một số loại đất và giá trị GDP tương ứng được sử dụng để ước tính tác động kinh tế và rủi ro từ NBD và dâng bão. Do hạn chế về dữ liệu về độ cao so với mực nước biển, các khu vực bị ảnh hưởng chỉ có thể được xác định ở mức tổng hợp. Do đó, chỉ có sự phân biệt diện tích bị ảnh hưởng do NBD so với diện tích bị ảnh hưởng bởi dâng bão.

Các hàm ý của nghiên cứu này cho các chính sách thích ứng ở vùng đồng bằng sông Hồng đối với biến đổi khí hậu tương lai đưa ra những hướng nghiên cứu thú vị cho tương lai. Các lựa chọn thích ứng cho vùng bị ảnh hưởng gồm xây dựng hoặc gia cố đê bao mới và hiện có, xây dựng hệ thống đê điều phòng chống thủy triều ảnh hưởng đến khu vực nông nghiệp, nâng cao các công trình xây dựng để bị tổn thương ở vùng thấp, vùng chịu lũ lụt và kế hoạch quản lý tái thiết từ các khu vực phải đối mặt với những rủi ro nghiêm trọng nhất. Lựa chọn khác là có thể sử dụng các chính sách tài chính, chẳng hạn như các chương trình bảo hiểm cây trồng và tài sản. Những chương trình như vậy, giống như tất cả các chương trình khác, nên được phân tích cẩn thận về khía cạnh tài chính và kinh tế. Trong biện pháp tài chính, cần quan tâm đến phí bảo hiểm để đảm bảo công bằng, hiệu quả và hợp lý.

Thông thường, các chiến lược như vậy được phân tích và được gợi ý chỉ sau khi đánh giá lợi ích-chi phí ở đó có cân nhắc với giá trị của đất đai và các công trình có nguy cơ rủi ro, các chi phí thích ứng và thời gian của những rủi ro. Cách tiếp cận được xem xét trong nghiên cứu của Neumann và các cộng sự (2010) cho các vùng của Hoa Kỳ. Thật không may, các số liệu độ cao so với mực nước biển và số liệu kinh tế hiện có cho nghiên cứu này tại Việt Nam không đầy đủ để có thể thực hiện phân tích. Với tiếp tục hợp tác và đối thoại giữa các bên liên quan địa phương và các nhà phân tích, các phương pháp tiếp cận sáng tạo mới sẽ lấp đầy những khoảng trống số liệu nhằm hỗ trợ phân tích rủi ro và thích ứng tốt hơn, và do đó có thể hỗ trợ lập kế hoạch thích ứng trong khu vực rủi ro tốt hơn.

7. Tác động đến nền kinh tế

Để xem xét tác động của biến đổi khí hậu đến tăng trưởng và phát triển kinh tế, các kênh tác động được thảo luận ở các mục trước lần lượt được xem xét. Tất cả, sáu kênh tác động hoặc kịch bản được xem xét. Các kênh được liệt kê dưới đây với phần chữ in nghiêng là tên của từng kênh tác động/kịch bản.

1. *Nông nghiệp*. Tác động của thay đổi lượng mưa và nhiệt độ tới trồng trọt theo khu vực kết hợp với việc không đáp ứng được nhu cầu thủy lợi.

2. *Đường giao thông*. Tác động của biến đổi khí hậu từ mô hình CliRoad.

3. *Thủy điện*. Thay đổi phần trăm của sản xuất thủy điện được áp đặt như mô tả trong Đồ thị 4-22.

4. *NBD thấp*. Nước biển dâng khoảng 16 cm đến năm 2050. Mực nước biển tăng dần theo giai đoạn mô phỏng.

5. *NBD cao*. Nước biển dâng khoảng 38cm đến năm 2050, được mô phỏng giống như kịch bản NBD thấp.

6. *Bão*. Xác suất bão được mô phỏng giống nhau trong 56 kịch bản, chỉ có tác động biên của bão do nước biển dâng được coi là cú sốc của mô hình trong kịch bản này.

Các kênh tác động này được mô phỏng theo trình tự tăng dần. Vì vậy, kịch bản Đường giao thông sẽ bao gồm cả cú sốc của kịch bản Nông nghiệp và cú sốc qua kênh đường giao thông. Kịch bản cuối cùng, Bão, bao gồm các cú sốc của ba kịch bản đầu kết hợp với kịch bản NBD cao. Bởi vì với nước biển dâng thấp, tác động của bão do dâng bão gây ngập lụt quá nhỏ để trình bày ở đây.

7.1. Mô hình kinh tế đa ngành

Kết quả của các mô hình của từng lĩnh vực ở trên được chuyển xuống mô hình cân bằng tổng thể động (DCGE) cho Việt Nam, ước tính tác động kinh tế của kịch bản gốc và kịch bản biến đổi khí hậu, bao gồm các tác động tràn từ bốn lĩnh vực đến tổng thể nền kinh tế (nghĩa là cả các mối liên hệ gián tiếp trong tổng thể nền kinh tế). Mô hình DCGE của chúng tôi thuộc loại mô hình CGE tân cổ điển cơ cấu (xem Dervis et al. 1982).⁽⁵⁾ Mô hình DCGE như vậy phù hợp với phân tích tác động của biến đổi khí hậu. Một là, mô hình mô phỏng vận hành của nền kinh tế thị trường, bao

(5) Về cấu hình chi tiết của mô hình DCGE chung, xem Diao và Thurlow (2012). Nghiên cứu áp dụng mô hình tương tự cho biến đổi khí hậu gần đây, xem Arndt và cộng sự (2008, 2010).

gồm các thị trường lao động, vốn và hàng hóa và do đó có thể đánh giá điều kiện kinh tế sẽ thay đổi như thế nào thông qua sự thay đổi về giá cả và thị trường. Thứ hai, mô hình DCGE đảm bảo rằng những ràng buộc của nền kinh tế được xem xét, điều này đặc biệt quan trọng trong dự báo biến đổi khí hậu trong dài hạn. Cuối cùng, mô hình CGE xem xét chi tiết các ngành và được ví như “phòng thí nghiệm” để lượng hóa các kênh tác động khác nhau của biến đổi khí hậu đến hiệu quả hoạt động cũng như cấu trúc của nền kinh tế.

Các quyết định kinh tế trong mô hình DCGE là kết quả của các quyết định tối ưu hóa của người sản xuất, người tiêu dùng trong nền kinh tế có mối quan hệ chặt chẽ. Các cơ chế thay thế được thể hiện trong mô hình khi có sự thay đổi về giá tương đối, bao gồm thay thế giữa các yếu tố sản xuất, giữa nhập khẩu và hàng sản xuất trong nước, giữa xuất khẩu và tiêu dùng nội địa.⁽⁶⁾ Mô hình của Việt Nam có 8 khu vực và 30 ngành, bao gồm điện, dịch vụ vận tải và 10 ngành nông nghiệp. Mô hình có 37 yếu tố sản xuất bao gồm: ba loại lao động (phân theo trình độ giáo dục – tiểu học, trung học cơ sở và phổ thông trung học, sau đó được chia tiếp theo nông thôn, thành thị), vốn, đất nông nghiệp, gia súc và cá. Vốn nông nghiệp, đất, gia súc và cá được chia theo 8 vùng. Những phân loại chi tiết theo vùng và ngành như vậy cho phép mô hình có thể thể hiện được cấu trúc nền kinh tế và ảnh hưởng đến kết quả mô hình.

Tác động của biến đổi khí hậu đến tăng trưởng kinh tế và phúc lợi xã hội trong mô hình DCGE thông qua 4 cơ chế chính: Thứ nhất, thay đổi năng suất của nông nghiệp theo lượng mưa được lấy từ mô hình Clicrop/WEAP và sau đó DCGE quyết định phân bổ nguồn lực cho từng loại cây trồng phụ thuộc vào khả năng sinh lời tương đối của ngành đó so với các hoạt động khác (tức là quyết định nội sinh). Thứ hai, DCGE trực tiếp lồng ghép những thay đổi trong sản xuất thủy điện từ mô hình IMPEND. Thứ ba, CliRoad được lồng ghép trực tiếp vào mô hình DCGE. Độ dài của hệ thống giao thông vùng từ CliRoad được sử dụng trong mô hình DCGE để giúp quyết định tốc độ tăng năng suất. Hệ thống giao thông ngắn hơn làm cho năng suất dịch vụ vận tải thấp hơn và tăng chi phí vận chuyển hàng hóa giữa người sản xuất và người tiêu dùng. Cuối cùng, mô hình DCGE lồng ghép tác động của NBD bằng cách giảm diện tích đất canh tác trong mỗi khu vực bằng diện tích đất ngập lụt ước tính ở trên. Các kênh tác động khác như sức khỏe và du lịch được ghi nhận nhưng không được xem xét ở nghiên cứu này.

Khung thời gian dài xem xét tác động của biến đổi khí hậu cho thấy tính động ở đây rất quan trọng. Cấu trúc động độ quy của mô hình CGE của chúng tôi cho phép nắm bắt được thay đổi hàng năm về tỷ lệ tích lũy vốn con người và vốn vật chất và thay đổi công nghệ. Ví dụ, nếu biến đổi khí hậu giảm sản lượng thủy điện và nông nghiệp trong một năm nào đó, thì thu nhập sẽ giảm, do đó giảm tiết kiệm. Giảm tiết kiệm dẫn đến giảm đầu tư và giảm sản lượng tiềm năng.⁽⁷⁾ Tương tự như vậy, chi phí bảo trì đường giao thông cao hơn dẫn đến đầu tư hạ tầng ít hơn và giảm độ dài hệ thống đường hiện tại và trong tương lai. Những hiện tượng thời tiết cực đoan như lũ lụt cũng gây ra thiệt hại về cơ sở hạ tầng có ảnh hưởng lâu dài. Nhìn chung, chỉ một sự khác biệt nhỏ cộng dồn lại có thể gây ra những khác biệt lớn về kết quả kinh tế trong thời gian dài. Mô hình DCGE của chúng tôi có thể mô phỏng được những tác động đó.

(6) Hệ số co giãn của hàm sản xuất và thương mại được lấy từ Dimaranan (2006).

(7) Do tập trung vào tác động dài hạn, đóng “vĩ mô” giả định rằng thay đổi tổng hấp thu của nền kinh tế được phân bổ cho tiêu dùng, đầu tư công và tư nhân thông qua thay đổi phân phối trung lập trong tỷ lệ tiết kiệm (xem Lofgren và cộng sự, 2002). Tiết kiệm chính phủ linh hoạt, thuế suất cố định và tỷ giá thực điều chỉnh để duy trì cân đối, cân cân vãng lai được quyết định ngoại sinh.

7.2. Kết quả: Tác động của biến đổi khí hậu

7.2.1. Kịch bản gốc

Để ước tính chi phí kinh tế của biến đổi khí hậu cho Việt Nam, trước tiên cần xác định kịch bản gốc, thể hiện xu hướng phát triển, chính sách cũng như định hướng ưu tiên trong trường hợp không có biến đổi về khí hậu. Kịch bản gốc cung cấp một khung tăng trưởng và thay đổi cơ cấu kinh tế hợp lý cho Việt Nam từ 2007 đến 2050 và được sử dụng làm cơ sở để so sánh.

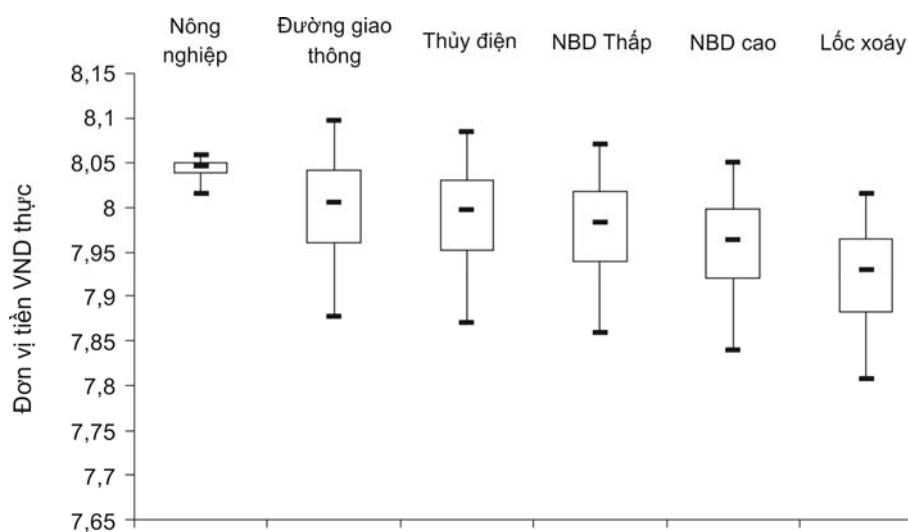
Tăng trưởng kinh tế trong mô hình DCGE được quyết định bởi tốc độ tích lũy các yếu tố sản xuất và biến đổi công nghệ. Đối với cung lao động, chúng tôi giả định lực lượng lao động sơ cấp, trung cấp và cao cấp tăng với tốc độ 2,5%; 2%; và 1,5%. Chúng tôi giả định rằng diện tích canh tác sẽ tăng 1% hàng năm làm cho sản xuất nông nghiệp tăng trưởng phụ thuộc nhiều vào cải tiến công nghệ hơn là mở rộng diện tích đất canh tác. Tiến bộ về trình độ đào tạo của lực lượng lao động được giả định tăng năng suất với giả định năng suất lao động trung cấp và cao cấp tăng (với tốc độ tăng tương ứng là 2% và 1%/năm) và không tăng với lao động sơ cấp. Tăng hàng năm về sản xuất thủy điện và hệ thống đường được quyết định trong mô hình các lĩnh vực này sử dụng số liệu quá khứ về biến đổi khí hậu. Theo giả định trên, kinh tế Việt Nam tiếp tục tăng trưởng với tốc độ 5,4%/năm với đóng góp của nông nghiệp trong tổng sản phẩm quốc nội (GDP) giảm từ 16% xuống còn 7,6% trong giai đoạn 2007-2050. Tốc độ tăng trưởng dương khá cao này dẫn đến cải thiện liên tục đáng kể phúc lợi trung bình của hộ gia đình.

7.2.2. Tác động đến nền kinh tế

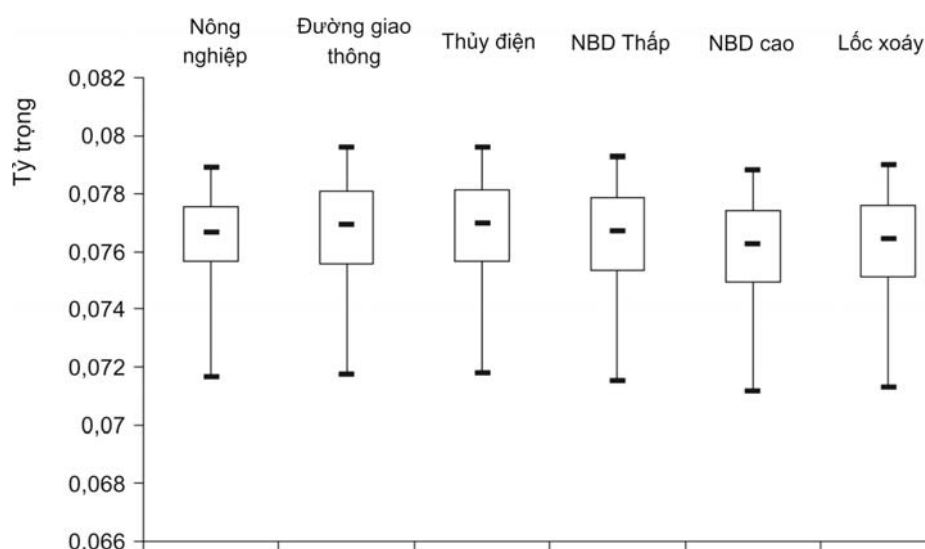
Đồ thị 7-1 trình bày GDP thực trung bình cho giai đoạn 2046-2050. Giá trị trung bình được trình bày để hạn chế tác động của sốc trong một năm nhất định nào đó. Bắt đầu với kịch bản Nông nghiệp, kết quả cho thấy tác động của biến đổi khí hậu khá là nhẹ khi thiệt hại về đất do nước biển dâng không được xem xét. Hay nói cách khác, kịch bản này chỉ xem xét tác động của các cú sốc được tóm tắt trong Đồ thị 4-8 và nhu cầu thủy lợi không được đáp ứng trong Đồ thị 4-9. Tác động của những cú sốc này đối với nền kinh tế và tăng trưởng tương đối nhỏ bởi hai lý do. Thứ nhất, bản thân các cú sốc không lớn trên mọi khía cạnh. Thứ hai, quan trọng hơn là tỷ trọng của nông nghiệp trong GDP đến giai đoạn 2046-2050 không lớn. Điều này được chỉ rõ trong Đồ thị 7-2, theo đó tỷ trọng này là 7% đến 8% đối với tất cả các kịch bản. Bởi vì tỷ trọng nông nghiệp có xu hướng giảm dần (phù hợp với xu hướng thực tế), sự thay đổi hoặc sụt giảm trong sản xuất nông nghiệp tác động đến nền kinh tế và tăng trưởng chung ngày càng nhỏ.

Đối với kịch bản Đường giao thông thể hiện trong Đồ thị 7-1, tác động của biến đổi khí hậu trở nên mạnh hơn, có thể có tác động tích cực nhưng khả năng xảy ra tác động tiêu cực nhiều hơn ở phạm vi quốc gia. Tác động này được dẫn dắt bởi mô hình CliRoad (cũng như ở trên, ở đây loại trừ những tổn thất về hạ tầng do nước biển dâng). Đồ thị 7-3 mô tả tóm tắt phân bổ độ dài hệ thống đường giao thông so với kịch bản gốc, không có biến đổi khí hậu. Như đã trình bày ở trên, CliRoad được lồng trực tiếp vào mô hình CGE. Độ dài hệ thống đường tác động đến tăng năng suất trong mô hình. Thêm vào đó, đầu tư vào đường giao thông được giả định tăng tỷ lệ thuận với chi tiêu chính phủ. Kết quả là độ dài hệ thống đường khác nhau cho các kịch bản.

Đồ thị 7-1: Mức GDP thực tế theo giá sản xuất (trung bình từ 2046 đến 2050)

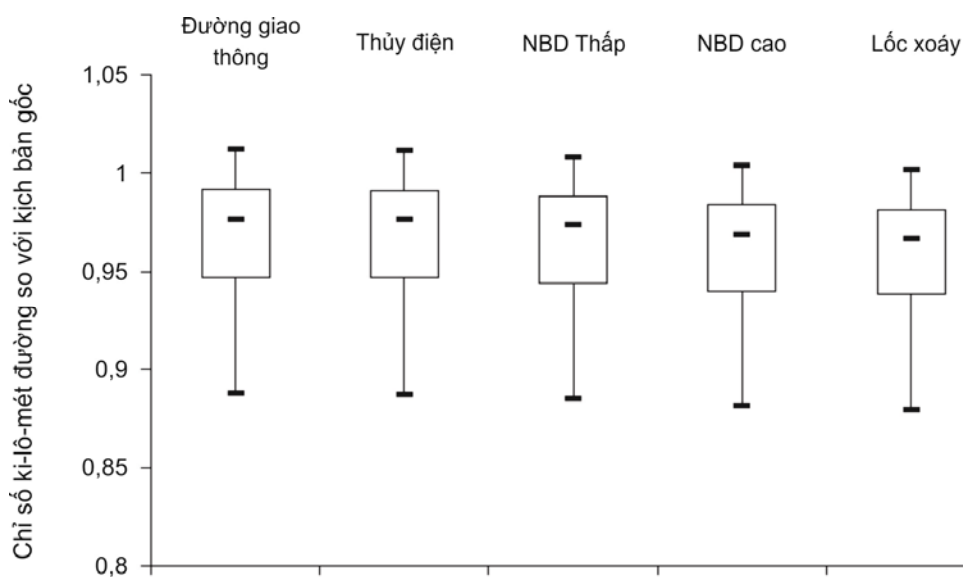


Đồ thị 7-2: Tỷ trọng nông nghiệp trong GDP (trung bình giai đoạn 2046-2050)



Trong một số kịch bản, độ dài hệ thống đường dài hơn so với kịch bản gốc. Các kịch bản không có xu hướng thuận lợi hơn với đường giao thông do giảm khả năng bị xói lở do mưa và lụt. Tuy nhiên, hầu hết các kịch bản đều cho thấy sự sụt giảm độ dài hệ thống đường. Điều này do 3 yếu tố. Thứ nhất, tất cả kịch bản GCM đều cho kết quả là nhiệt độ tăng. Nhiệt độ tối đa cao hơn làm tăng tốc độ xuống cấp của đường nhựa trừ khi hệ thống đường được cải thiện cho phù hợp với điều kiện nhiệt độ cao hơn. Mô hình không thể hiện sự điều chỉnh về thiết kế đường, do đó nhiệt độ cao dẫn đến gia tăng chi phí duy trì bảo dưỡng đường, vì vậy giảm đầu tư mới vào đường giao thông. Thứ hai, thậm chí lượng mưa trên toàn quốc giảm nhẹ nhưng cường độ mưa có xu hướng tăng dẫn đến tốc độ xói lở, đặc biệt đối với đường đất. Thứ ba, tăng cường độ mưa dẫn đến tăng nhẹ tần suất và cường độ lụt ở hầu hết các kịch bản. Vài kịch bản GCM cho kết quả lụt lội lớn có thể trở lên thường xuyên hơn, dẫn đến suy giảm đáng kể hệ thống đường.

Đồ thị 7-3: Chỉ số độ dài hệ thống đường so với kịch bản gốc (trung bình giai đoạn 2046-2050)



Sự tàn phá hoặc xuống cấp của cơ sở hạ tầng có tác động khác với tác động của sản xuất nông nghiệp do các tác động này còn kéo dài. Một khi đường bị xói lở, tác động tiêu cực sẽ còn kéo dài cho đến khi đường được làm lại. Tuy nhiên, với nguồn lực phân bổ cho làm đường là cố định, việc làm lại những đoạn đường bị xói lở mưa lớn hoặc lụt lội làm cho nguồn lực để làm đường mới hoặc duy tu đường cũ bị giảm đi. Do đó, biến đổi khí hậu tác động đến tỷ lệ tích lũy hệ thống đường giao thông, do đó ảnh hưởng đến tăng năng suất của khu vực sản xuất. Do tỷ lệ tích lũy đường bị ảnh hưởng, tác động của nó có thể cộng dồn và trở lên khá lớn theo thời gian. Ngược lại, đối với nông nghiệp, biến đổi khí hậu (như được mô hình hóa) tác động đến sản xuất nông nghiệp trong một thời gian nhất định nhưng không nhất thiết tác động đến tốc độ tăng năng lực sản xuất theo thời gian. Nếu điều kiện tăng trưởng kém đi thì sản xuất giảm, nếu tốt lên thì sản xuất tăng.

Kịch bản thứ ba thêm các cú sốc như mô tả ở Đồ thị 4-22 liên quan đến thủy điện. Như Đồ thị 4-22 cho thấy, tác động đến sản xuất thủy điện về cơ bản dao động xung quanh giá trị 0 trong những năm 2040. Tuy nhiên, trong những năm 2020 và 2030, khi thủy điện chiếm tỷ trọng lớn hơn tổng cung điện, tác động trở thành dấu âm. Tác động này làm giảm nhẹ tăng trưởng trong giai đoạn mô phỏng, làm cho GDP bình quân (của tất cả 56 kịch bản GCM) giai đoạn 2046-2050 giảm nhẹ. Một điều đáng chú ý là GDP cực đại của tất cả các kịch bản GCM ở kịch bản Thủy điện đều giảm so với kịch bản Đường giao thông. Nên lưu ý ở đây thời tiết khô thường tốt hơn cho đường giao thông nhưng không tốt cho sản xuất thủy điện.

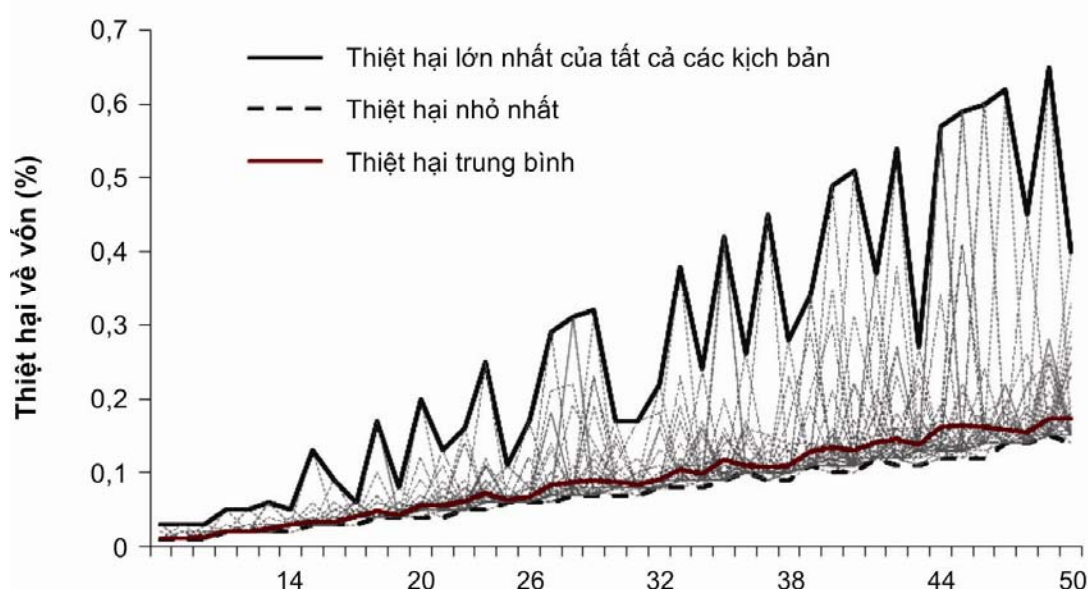
Nước biển dâng có tác động tiêu cực trong tất cả các kịch bản và về cơ bản làm giảm GDP. Như đã thảo luận, nước biển dâng không có quan hệ đối với kịch bản GCM cụ thể nào được lựa chọn. Vì vậy, áp dụng các cú sốc nước biển dâng giống nhau cho tất cả các kịch bản. Hai kênh truyền dẫn thiệt hại do nước biển dâng là thiệt hại đất nông nghiệp và thiệt hại về đường giao thông. Như đã nhấn mạnh ở trên, dữ liệu độ sâu so với mặt nước biển chỉ có ở dạng độ cao theo

từng mét trong khi biến đổi khí hậu dự báo có thể làm cho nước biển dâng 38 cm đến năm 2050 (có thể dâng cao hơn nhiều đến năm 2100). Kết quả là không thể phân tích một cách chính xác tác động của nước biển dâng đến năm 2050 nếu không có thêm giả định. Chúng tôi giả định rằng với 38 cm nước biển dâng, 38% diện tích đất có độ sâu dưới 1m nước biển sẽ bị ngập. Chúng tôi cũng giả định rằng diện tích này có phần đáng kể là đất nông nghiệp và đường giao thông. Những dạng vốn khác như máy móc, hạ tầng cơ sở khác không bị ảnh hưởng bởi vì chúng có thể được di dời hoặc được xây dựng ở những khu đất có độ cao so với mực nước biển cao hơn. Với những giả định như vậy, kịch bản NBD cao về cơ bản sẽ có tác động tiêu cực nhiều hơn so với kịch bản NBD thấp.

Kịch bản Bảo xem xét tác động của bão so với kịch bản gốc. Như đã đề cập, chúng tôi giả định rằng không có thay đổi về tần suất hoặc cường độ của bão. Những thiệt hại của bão phụ thuộc vào vận tốc gió; tuy nhiên, yếu tố này được giữ cố định ở cả kịch bản gốc và các kịch bản biến đổi khí hậu. Kết quả là tác động của biến đổi khí hậu trong kịch bản Bảo là do sự kết hợp giữa dâng bão và nước biển dâng. 38 cm nước biển dâng gây dâng bão vào sâu trong đất liền và tăng độ sâu ngập dưới nước của vùng đất bị ảnh hưởng.

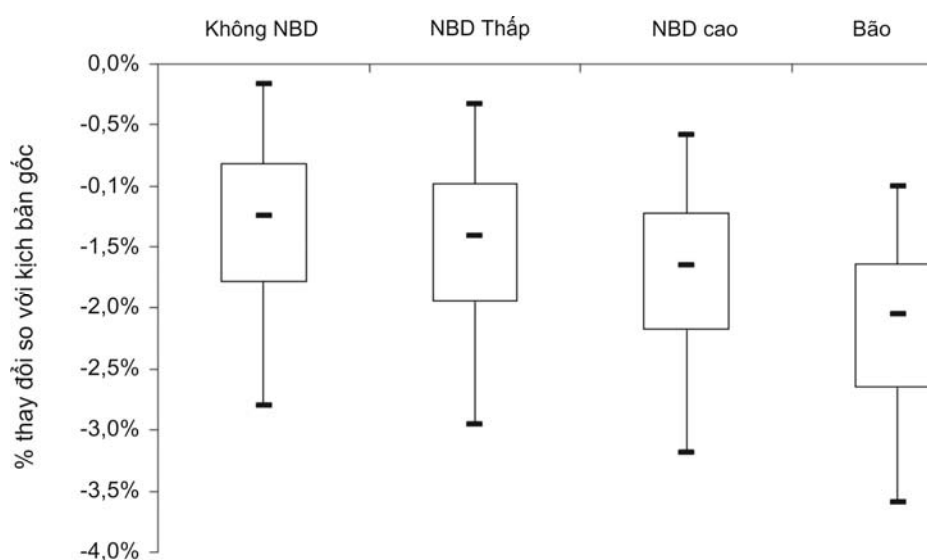
Bởi vì bão lớn hơn gây ra dâng bão mạnh hơn và đất ngập nước lớn hơn, nên chúng tôi giả định rằng thiệt hại biên tăng không tuyến tính với sức mạnh của bão. Điều này được minh họa ở Đồ thị 7-4, miêu tả thiệt hại biên tối thiểu, tối đa và trung bình gắn với lốc và 38 cm nước biển dâng. Mỗi năm trong 56 vòng chạy GCM, lốc được sức một cách ngẫu nhiên. Kết quả là dự kiến sẽ thấy một số cơn lốc mạnh trong ít nhất một kịch bản GCM mỗi năm. Trong khi tác động trung bình có thể nhỏ thậm chí đến năm 2050 (khoảng 0,1% hoặc 1/1000 của thiệt hại vật chất), thiệt hại từ bão mạnh hơn sẽ nhiều hơn rất nhiều, cao hơn khoảng 0,6% tổng vốn so với bão thường. Những thiệt hại này có xu hướng làm giảm GDP.

Đồ thị 7-4: Thiệt hại biên đối với vốn do Bão và nước biển dâng



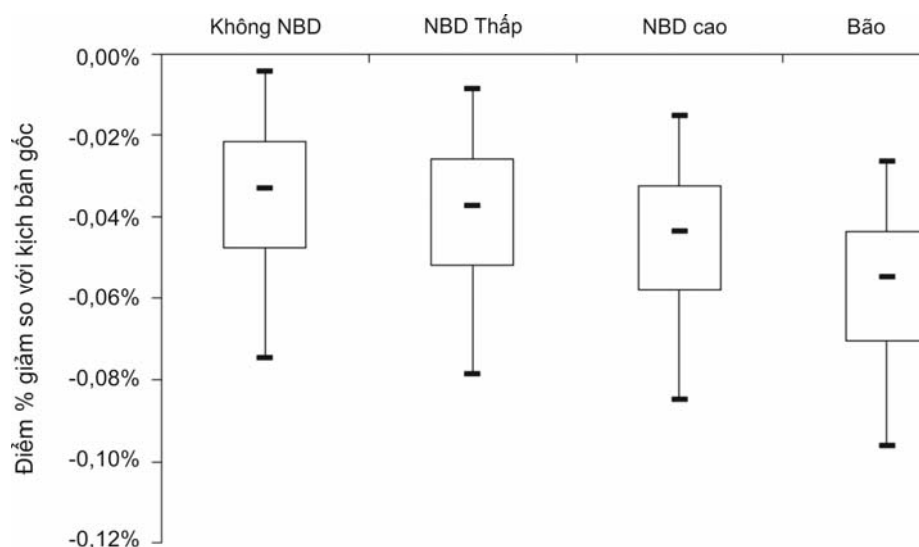
Tuy nhiên, tổng thiệt hại đối với tăng trưởng kinh tế của bão không lớn đối với GDP của Việt Nam. Đồ thị 7-5 minh họa phần trăm giảm GDP trong giai đoạn 2046-2050. Kịch bản không NBD là kịch bản Thủy điện (nghĩa là kết hợp các kênh tác động Nông nghiệp, Đường giao thông, Thủy điện). Kịch bản NBD thấp thể hiện tác động nhẹ nhất so với các kịch bản khác. GDP giai đoạn đó dao động trong khoảng 0,25% và -2,5% với hầu hết các kết quả rơi vào khoảng -0,5% đến -1,5%. Với trường hợp nước biển dâng cao và bão, GDP giai đoạn 2046-2050 giảm từ 0% đến 2,5%. Hay nói cách khác, nếu GDP ở kịch bản gốc là 100 giai đoạn 2046-2050 thì GDP ở các kịch bản biến đổi khí hậu sẽ giảm từ 100 đến 97,5. Kết quả này về cơ bản phù hợp với kết quả của Ngân hàng thế giới (2010c).

Đồ thị 7-5: Giảm GDP thực tế so với kịch bản gốc (trung bình 2046-2050)



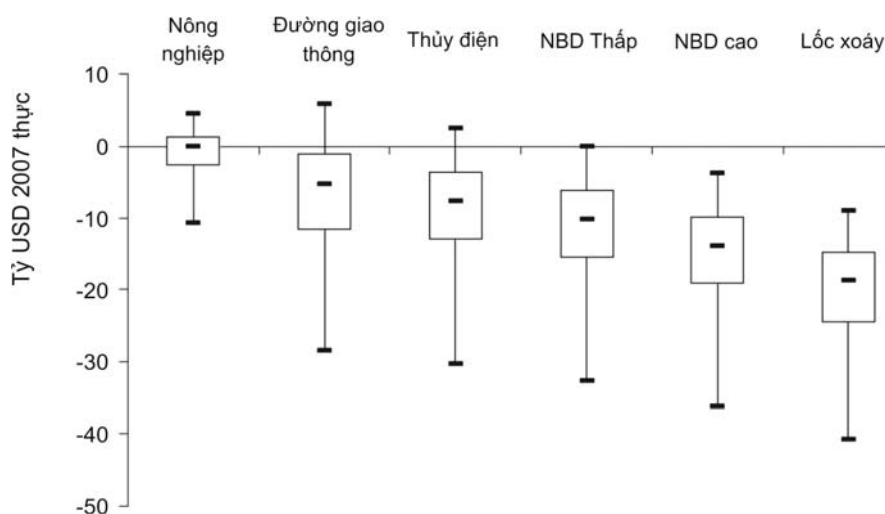
Bởi vì tăng trưởng là quá trình tích lũy, những giảm sút về GDP sẽ dẫn đến những suy giảm nhỏ đối với tốc độ tăng trưởng GDP bình quân hàng năm trong giai đoạn mô phỏng như minh họa ở Đồ thị 7-6. Trong kịch bản Bão, tốc độ tăng trưởng GDP giảm từ 0,01 đến 0,08 điểm phần trăm. Hay nói cách khác, nếu tốc độ tăng trưởng bình quân ở kịch bản gốc là 5,4% hàng năm thì tốc độ tăng trưởng ở các kịch bản biến đổi khí hậu vào khoảng 5,32% đến 5,39%. Tóm lại, các yếu tố khác ngoài biến đổi khí hậu có thể có tầm quan trọng hơn trong việc quyết định tốc độ tăng trưởng của nền kinh tế Việt Nam đến năm 2050.

Đồ thị 7-6: Tác động của biến đổi khí hậu đến tốc độ tăng trưởng GDP bình quân hàng năm



Trong khi đó, bởi vì GDP của Việt Nam dự báo khoảng lớn hơn 500 tỷ USD đến năm 2050, giá trị thiệt hại do biến đổi khí hậu trong các kịch bản dưới dạng giá trị tuyệt đối của các kịch bản là lớn. Đồ thị 7-7 minh họa giá trị hiện tại ròng của thiệt hại giai đoạn 2007-2050, đo lường bằng khác nhau về GDP giá sản xuất giữa kịch bản gốc và các kịch bản biến đổi khí hậu. Giá trị hiện tại ròng được tính toán dựa trên tỷ lệ chiết khấu 5%. Từ kịch bản tác động khả quan nhất là NBD thấp đến kịch bản tác động kém khả quan nhất là Bảo, giá trị hiện tại ròng của thiệt hại dao động từ 0 đến khoảng 40 tỷ USD (tính theo giá USD năm 2007). Đa số các kết quả nằm trong khoảng thiệt hại từ 6 tỷ đến 15 tỷ USD. Thiệt hại này tương đối lớn và có thể hạn chế được tối đa nếu có chính sách thích ứng sáng suốt.

Đồ thị 7-7: Giá trị hiện tại ròng của thiệt hại do biến đổi khí hậu



Chú thích: Tỷ lệ chiết khấu 5%.

Cuối cùng, Đồ thị 7-8 trình bày tính toán giá trị hiện tại ròng của Đồ thị 7-7 theo thập kỷ cho kịch bản Bão. Mặc dù các giá trị này đều được chiết khấu theo năm 2007 theo tỷ lệ 5%, thập kỷ sau này bị thiệt hại nhiều hơn thập kỷ trước. Đến năm 2040, giá trị thiệt hại lớn đáng kể. Nếu tác động của biến đổi khí hậu trở lên nghiêm trọng hơn sau năm 2050, đồ thị nêu bật một gợi ý là nên sáng suốt chuẩn bị cho các tác động ngày càng trầm trọng hơn của biến đổi khí hậu vào các thập kỷ sắp tới.

Đồ thị 7-8: Giá trị hiện tại thuần của thiệt hại do biến đổi khí hậu theo thập kỷ trong kịch bản Bão (tỷ USD năm 2007)



Chú thích: Tỷ lệ chiết khấu 5%.

8. Kết luận

Hướng đến năm 2050, các tác động sau đây đến khí hậu của Việt Nam được dự báo: nhiệt độ tăng khoảng một đến hai độ C; lượng mưa có sự thay đổi nhỏ với xu hướng giảm và tác động tương đối nhỏ đến lượng nước bốc hơi. Kết hợp giữa giảm nhẹ lượng mưa và tăng nhẹ lượng nước bốc hơi dẫn đến giảm nhẹ giá trị trung bình/trung vị của chỉ số độ ẩm khí hậu, nghĩa là thời tiết có vẻ khô hơn. Thay đổi dòng chảy cũng nhỏ và khả năng giảm nhẹ và tăng nhẹ như nhau (thay đổi giá trị trung vị mang giá trị âm nhỏ). Những thay đổi này không đủ lớn để tạo ra sụt giảm lớn trong sản xuất nông nghiệp hoặc không biến đổi lớn để tạo ra (trong hầu hết các trường hợp) những biến đổi lớn về các hiện tượng thời tiết tiêu cực đe dọa cơ sở hạ tầng. Thêm vào đó, sản xuất thủy điện có xu hướng bị tác động tiêu cực nhưng những tác động đó không đủ lớn để kìm hãm tăng trưởng kinh tế.

Nước biển dâng tạo ra tác động kinh tế lớn nhất, đặc biệt khi nước biển dâng cao và khi nước biển dâng kết hợp với bão. Đồng bằng sông Cửu Long đặc biệt dễ tổn thương với tỷ trọng lớn diện tích đất bị ngập đến năm 2050 trong kịch bản nước biển dâng cao. Nhìn chung, biến đổi khí hậu tác động tiêu cực đến tương lai tăng trưởng kinh tế Việt Nam đến năm 2050. Tuy nhiên, tác động đó *đến năm 2050* sẽ không quá lớn. Các yếu tố khác ngoài biến đổi khí hậu có khả năng là yếu tố quan trọng quyết định tốc độ tăng trưởng kinh tế trong vài thập kỷ tới.

Tuy nhiên, giá trị hiện tại ròng của thiệt hại chỉ ra rằng tác động kinh tế vĩ mô của biến đổi khí hậu có thể đáng phải xem xét và cần có những chính sách thích ứng kịp thời. Chính sách thích ứng bao gồm:

- Đầu tư vào hệ thống thông tin để giám sát tác động của biến đổi khí hậu, bao gồm cải tiến hệ thống thông tin địa lý, tập trung vào hệ thống dữ liệu độ cao so với mặt nước biển cho các tỉnh thấp, dòng sông và theo dõi chặt chẽ dự báo về mức nước biển dâng toàn cầu;
- Phát triển đa dạng cây trồng có khả năng chịu nhiệt cao;
- Cải thiện hiệu quả sử dụng nước;
- Thay đổi thiết kế tiêu chuẩn của hệ thống cơ sở hạ tầng như đường giao thông phù hợp với điều kiện khí hậu nóng hơn và thay đổi nhiều hơn.

Sự lựa chọn chính sách nghiêm túc xoay quanh tác động của nước biển dâng kết hợp với bão. Về cơ bản, có hai lựa chọn: Thứ nhất, chính phủ Việt Nam có thể hướng các hoạt động kinh tế tập trung vào những vùng đất cao. Thứ hai, chính phủ có thể đầu tư vào cơ sở hạ tầng. Hai lựa chọn này không loại trừ nhau và quyết định ứng phó với biến đổi khí hậu không cần phải ra ngay lập tức. Tuy nhiên, trong khi cần có thêm nhiều nghiên cứu, chứng cứ hiện nay cho thấy lựa chọn hướng các hoạt động vào vùng đất cao hơn có khả năng hiệu quả hơn và chắc chắn đỡ rủi ro hơn là không có hành động gì. Lý do quan trọng phản đối lựa chọn đầu tư cơ sở hạ tầng là nó có thể có thiệt hại rất lớn. Cả chi phí xây dựng cơ sở hạ tầng và chi phí mà vốn đầu tư bỏ ra để đầu tư trong khu vực dự báo có rủi ro rất lớn về bão trong tương lai. Như vậy, với lựa chọn này, luôn luôn có khả năng thiệt hại sẽ rất lớn, lớn hơn nhiều so với đầu tư xây dựng cơ sở hạ tầng.

Mặt khác, đối với lựa chọn hướng dần hoạt động kinh tế vào vùng đất an toàn và cao hơn thì hầu hết các đầu tư đến năm 2050 chưa được thực hiện. Như vậy, tính dễ tổn thương phụ thuộc chủ yếu vào lựa chọn địa điểm trong tương lai. Như đã thảo luận, rủi ro do nước biển dâng chủ yếu tập

trung (nhưng không hoàn toàn) vào vùng đồng bằng sông Cửu Long. Thậm chí kể cả trường hợp không tính đến biến đổi khí hậu, có nhiều lý do để phát triển các khu đô thị ngoài thành phố Hồ Chí Minh (và Hà Nội). Vì vậy, chính sách phát triển các khu đô thị khác có thể là lựa chọn “không hối tiếc” trong tương lai khi tình hình nước biển dâng được cải thiện do các nỗ lực chính sách giảm thiểu toàn cầu hoặc do những điều chỉnh trong các kết quả nghiên cứu khoa học. Tuy nhiên, để chiến lược ứng phó dần dần được thực hiện và có hiệu quả, việc hướng các hoạt động kinh tế vào các vùng đất cao hơn nên được triển khai sớm, đặc biệt nếu các dự đoán về kịch bản nước biển dâng cao có xu hướng phù hợp với diễn biến về nước biển dâng quan sát được trên thực tế.

9. Tài liệu tham khảo

- Adger, W. Neil (1999). Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. *World Development*, 27(2): 249-269.
- Allen, Richard G., Luis S. Pereira, Dirk Raes, and Martin Smith (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper 56*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Arndt, C., R. Benfica, N. Maximiano, A. Nucifora, and J. Thurlow (2008). Higher fuel and food prices: impacts and responses for Mozambique. *Agricultural Economics*, 39: 497–511.
- Arndt, C., R. Benfica, F. Tarp, J. Thurlow, and R. Uaiene (2010). Biofuels, growth and poverty: a computable general equilibrium analysis for mozambique. *Environment and Development Economics*, 15 (1): 81–105.
- Arndt, C., K. Strzepek, F. Tarp, J. Thurlow, C. Fant, L. Wright (2011). "Adapting to Climate Change: An Integrated Biophysical and Economic Assessment for Mozambique." *Sustainability Science*. 6(1): 7-20.
- Austroads (2004). *Impact of Climate Change on Road Infrastructure*. Publication No. AP–R243/04, Sydney, Australia.
- Batjes, N.H. (2002). *A Homogenized Soil Profile Data Set for Global and Regional Environmental Research*. Wageningen, the Netherlands: International Soil Reference and Information Centre.
- Block, P. and K. Strzepek (2010). Economic analysis of large-scale upstream river basin development on the blue Nile in Ethiopia considering transient conditions, climate variability, and climate change. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 136 (2): 156–66.
- Boogaard, H.L., C. A. Van Diepen, R. P. Roetter, J. M. C. A. Cabrera, and H. H. Van Laar (1998). *WOFOST 7.1: User's Guide for the WOFOST 7.1 Crop Growth Simulation Model and WOFOST Control Center 1.5*. Wageningen, the Netherlands: Alterra.
- Calderón, C. and L. Servén (2004). The effects of infrastructure development on growth and income distribution. Policy Research Working Paper 3400, Washington, D.C.: World Bank.
- Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University; United Nations Food and Agriculture Programme (FAO); and Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (2005). Gridded Population of the World: Future Estimates (GPWFE). Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. Available at <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>. Downloaded 12/20/2010.
- Chaudhry, P. and G. Ruysschaert (2007). Climate change and human development in Vietnam. *UNDP Human Development Report 2007/2008*. Human Development Report Office, United Nations Development Program.
- Chinowsky, Paul S., Carolyn Hayles, Amy Schweikert, and Niko Strzepek (2011a). Climate change as organizational challenge: comparative impact on developing and developed countries. *Engineering Project Organization Journal*, 1.

Chinowsky, Paul S., Amy Schweikert, Niko Strzepek, Kyle Manahan, Kenneth Strzepek, and C. Adam Schlosser (2011b). Adaptation advantage to climate change impacts on road infrastructure in Africa through 2100. Working Paper, No. 25. United Nations University World Institute for Development Economics Research.

Cline, W. (2007). *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*. Washington, D.C.: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics.

Dasgupta, S., B. Laplante, S. Murry, and D. Wheeler, (2009). Sea-level rise and storm surges: a comparative analysis of impacts of in developing countries. Policy Research Working Paper, No. 4901. Washington, D.C.: World Bank.

Dasgupta, S., et al. (2007). Impact of sea level rise on developing countries: a comparative analysis. World Bank Policy Research Working Paper, No. 4136 (WPS4136). Washington, D.C.: World Bank.

Dasgupta, S., et al. (2008). The impact of sea level rise on developing countries: a comparative analysis. *Climate Change*, 93(3-4): 379-388.

Dervis, K., J. de Melo, and S. Robinson (1982). *General Equilibrium Models for Developing Countries*. London: Cambridge University Press.

Diao, X. and J. Thurlow (2012) A Recursive Dynamic Computable General Equilibrium Model. In X. Diao, J. Thurlow, S. Benin, and S. Fan (eds.) *Strategies and Priorities for African Agriculture: Economywide Perspectives from Country Studies*. Washington DC, USA: International Food Policy Research Institute.

Dillon, A., M. Sharma, and X. Zhang (2011). Estimating the impact of rural investments in Nepal. *Food Policy* 36: 250-28.

Dimaranan, B. V. (ed.) (2006). *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base*. Purdue University Center for Global Trade Analysis.

Emanuel, K., R. Sundararajan, and J. Williams (2008). Hurricanes and global warming: results from downscaling IPCC AR4 simulations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 89: 347-367.

Esfahani, H.S., and M.T. Ramirez (2003). Institutions, infrastructure, and economic growth. *Journal of Development Economics* 70: 443-477.

Fan, S., and C. Chan-Kang (2008). Regional road development, rural and urban poverty: evidence from China. *Transport Policy* 15: 305-314.

Fan, S., and P. Hazell (2001). Returns to public investments in the less-favored areas of India and China. *American Journal of Agricultural Economics* 83: 1217-1722.

Fan, S., and X. Zhang (2008). Public expenditure, growth, and poverty reduction in rural Uganda. *African Development Review* 20: 466-496.

Fan, S., L. Zhang, and X. Zhang (2004). Reforms, investment, and poverty in rural China. *Economic Development and Cultural Change* 52: 395-421.

Fernald, J.G (1999). Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity. *The American Economic Review* 89: 619-638.

Food and Agriculture Organization [FAO] (2000). Aquastat, online data source: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>.

Galbraith, R.M., D.J Price, and L. Shackman (2005). *Scottish Road Network Climate Change Study*. Edinburgh: Scottish Executive.

Georgiou, P. N., A.G. Davenport, and B.J. Vickery (1983). Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones. *J. Wind Engrg. and Industrial Aerodynamics* 13 (1): 139-152. Amsterdam, the Netherlands.

Gleick, P. (1991). The vulnerability of runoff in the Nile basin to climate changes. *The Envir. Profl.*, 13(1): 66-73.

Hargreaves, G.H., and R.G. Allen (2003). History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 129 (1): 53-63.

Hulme, M. (1989). Recent and future precipitation changes over the Nile Basin. *Int. Seminar on Climatic Fluctuations and Water Mgmt.* Cairo, Egypt.

Hulme, M. (1994). Validation of large-scale precipitation fields in General Circulation Models. *Global Precipitations and Climate Change*: 387-406.

Hulme M, Osborn TJ, Johns TC. (1998). Precipitation sensitivity to global warming: comparison of observations with HadCM2 simulations. *Geophysical Research Letters* 25: 3379-3382.

Industrial Economics (2010). *Costing Climate Impacts and Adaptation: A Canadian Study on Public Infrastructure*. Report to the National Round Table on the Environment and the Economy, Canada.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. Geneva, Switzerland.

Jackson, N. and Puccinelli, J. (2006). *Long-Term Pavement Performance (LTPP) Data Analysis Support: Effects of Multiple Freeze Cycles and Deep Frost Penetration on Pavement Performance and Cost*. FHWA-HRT-06-121.

Jacoby, H.G. (2000). Access to markets and the benefits of rural roads. *The Economic Journal* 110: 713-737.

Jelesnianski, C.P., J. Chen, and W.A. Shafer (1992). *SLOSH: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes*. (United States) National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report NWS 48. National Weather Service, Office of Systems Development.

Lofgren, H., S. Robinson, and M. El-Said (2002). *A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

- Maclean, J. L., D.C. Dawe, B. Hardy, and G. P. Hettel (2002). *Rice Almanac: Source Book for the Most Important Economic Activity on Earth*. Wallingford, United Kingdom: CABI Publishing.
- Mai, C., M.J.F. Stive, and P.H.A.J.M. Van Gelder (2009). Coastal protection strategies for the Red River Delta. *Journal of Coastal Research*, 25(1), 105–116.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.C. Zhao, 2007. Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)].
- Mills, B. and J. Andrey (2002). Climate change and transportation: potential interactions and impacts. *Potential Impacts of Climate Change on Transportation: Workshop Summary*. United States Department of Transportation, Workshop, 1-2 October. Available from <http://climate.volpe.dot.gov/workshop1002/>.
- Mu, R. and D. van de Walle (2007). Rural roads and local market development in Vietnam. Policy Research Working Paper 4340. Washington, D.C.: World Bank.
- Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, and J.R. Williams (2005). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation*. Temple, Texas, United States: Texas A&M University.
- Neumann, J. (1987). The National Hurricane Risk Analysis Program (HURISK). NOAA Technical Memorandum NWS NHC 38. Coral Gables, Florida, United States: National Hurricane Center.
- Neumann, J. et al. (2010). Assessing sea-level rise impacts: a GIS-based framework and application to coastal New Jersey. *Coastal Management*, 38:4: 433-455.
- Neumann, James E., Gary Yohe, Robert Nicholls, and Michelle Manion (2000). *Sea-Level Rise and Global Climate Change: A Review of Impacts to U.S. Coasts*. Pew Center on Global Climate Change.
- Noy, I. (2009). The macroeconomic consequences of disasters. *Journal of Development Economics* 88 (2009): 221-231.
- Rahmstorf, S. (2007). A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, 315 (5810): 368-370.
- Roodman, D. (2009). A note on the theme of too many instruments. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 71: 135-158.
- Rosenzweig, C., and A. Iglesias (1998). *The Use of Crop Models for International Climate*
- Sheffield, J., G. Goteti, and E. F. Wood (2006). Development of a 50-yr high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modelling. *J. Climate*, 19 (13): 3088-3111.
- Sieben, W. H. (1974). Relation of drainage conditions and crop yields on young light clay soils in the Ysselake Polders. *Van Zee tot Land* 40.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller, (eds) (2007). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

Stratus Consulting (2010). *Climate Change Impacts on Transportation Infrastructure*, Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency.

Strzepek, K., R. Balaji, H. Rajaram, and J. Strzepek (2008). *A Water Balance Model for Climate Impact Analysis of Runoff with Emphasis on Extreme Events*. Washington, D.C.: World Bank.

Strzepek, Kenneth and Charles Fant IV (2009). *CliCrop Methods*. University of Colorado and Massachusetts Institute for Technology Joint Program on the Science and Policy of Global Change.

Thurlow, J., T. Zhu, and X. Diao (2009). The impact of climate variability and change on economic growth and poverty in Zambia. IFPRI Discussion Paper, No. 890. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI). Available from <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp00890.pdf>.

United Kingdom, Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) (2005). Table of relative mean sea level secular trends derived from PSMSL RLR data. Available from <http://www.psmsl.org/products/trends/rlr.trends>.

United States, Bureau of Reclamation (1993). *Drainage Manual: A Water Resources Technical Publication*. Denver, Colorado.

United States, Central Intelligence Agency (2011). Vietnam. World Factbook. Retrieved 23 August 2011. Available from <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/vm.html>.

United States, Climate Change Science Program (CCSP) (2006). *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States*. Washington, D.C.: Department of Energy.

United States, Transportation Research Board (2008). *Potential impacts of climate change on U.S. transportation*. TRB Special Report, No. 290. Washington, D.C..

United States, United States Geological Survey (USGS) (2006). HydroSHEDS. Available from <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/>.

Vafeidis, A. T., R. J. Nicholls, L. McFadden, R. Tol, J. Hinkel, T. Spencer, P. S. Grashoff, G. Boot, and R. J. T. Klein (2008). A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Journal of Coastal Research*, 24(4): 917-924.

Van Diepen, C. A., J. Wolf, H. Keulen, and C. Rappoldt (1989). WOFOST: A simulation model of crop production. *Soil Use and Management* 5 (1): 16–24.

Vietnam, Central Committee for Flood and Storm Control (CCFSC) (2010). Hanoi, Vietnam. Available from <http://www.ccfsc.org.vn/KW6F2B34/CatId/G87DG9YUHH/Typhoon.aspx>.

Vietnam, General Statistics Office of Vietnam (2010). *Statistical Yearbook of Vietnam 2010*. Available from http://www.gso.gov.vn/default_en.aspx?tabid=515&idmid=5&ItemID=11974 http://www.gso.gov.vn/default_en.aspx?tabid=515&idmid=5&ItemID=11974.

Vietnam, Ministry of Natural Resources and Environment (MoNRE) (2003). *Vietnam Initial National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Hanoi, Vietnam.

Vietnam, Ministry of Natural Resources and Environment (MoNRE) (2009). *Climate Change, Sea Level Rise Scenario for Vietnam*. Hanoi, Vietnam.

W.H. Sieben (1974). Effect of drainage conditions on nitrogen supply and yield of young loamy soils in the Ysselmeerpolders. *Van Zee tot Land 51: 180*. the Hague, the Netherlands.

Wahaj, Robina, Florent Maraux, and Giovanni Munoz (2007). Actual crop water use in project countries. Policy Research Working Paper. Washington, DC: The World Bank.

Willmott, C.J., and J.J. Feddema (1992). A more rational climatic moisture index, *The Professional Geographer*, 44 (1): 84–88.

World Bank (2009). *Convenient Solutions to an Inconvenient Truth: Ecosystem-based Approaches to Climate Change*. World Bank Environment Department. Washington D.C.

World Bank (2010a). The cost to developing countries of adapting to climate change: new methods and estimates. *The Global Report to the Economics of Adaptation to Climate Change Study*. Washington D.C.

World Bank (2010b). The social dimensions of adaptation to climate change in Vietnam. *The Global Report to the Economics of Adaptation to Climate Change Study*. Washington D.C.

World Bank (2010c). *Economics of Adaptation to Climate Change: Vietnam*. Washington D.C.

Yates, D., and K. Strzepek (1998). An assessment of integrated climate change impacts on the agricultural economy of Egypt. *Climate Change*, 38: 261–287.

Yates, D.N. (1996). WatBal: an integrated water balance model for climate impact assessment of river basin runoff. *International Journal of Water Resources Development*, 12 (2): 121–39.

Yu, Bingxin, Tingju Zhu, Clemens Breisinger, and Nguyen Manh Hai (2010). Impacts of climate change on agriculture and policy options for adaptation: the case of Vietnam. International Food Policy Research Institute Discussion Paper, No. 01015.

Zhai, F., and J. Zhuang (2009). Agricultural impact of climate change: a general equilibrium analysis with special reference to Southeast Asia. Asian Development Bank Institute Working Paper Series 131. Manila, the Philippines: Asian Development Bank.

**DEVELOPMENT ECONOMICS RESEARCH GROUP
DEPARTMENT OF ECONOMICS UNIVERSITY OF COPENHAGEN
CENTRAL INSTITUTE FOR ECONOMIC MANAGEMENT
AND
UNITED NATIONS UNIVERSITY - WORLD INSTITUTE FOR DEVELOPMENT ECONOMICS RESEARCH**

IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE FOR ECONOMIC GROWTH AND DEVELOPMENT IN VIETNAM TO 2050

AUGUST 2012

TABLE OF CONTENTS

Acknowledgements	117
Executive Summary.....	119
1. Introduction	133
2. Climate Change Scenarios.....	135
3. Agriculture: Impacts of Climate Change on Crop Yields and Irrigation Demand.....	143
3.1. Methods	145
3.2. Results	146
3.2.1. Baseline Scenario	146
3.2.2. Future Scenarios	148
3.3. Conclusions	149
4. Water Resources Including Hydropower	150
4.1. Hydrology and Catchment Overview	150
4.1.1. Sub-Basin Classification	150
4.1.2. Precipitation.....	151
4.1.3. Temperature.....	154
4.1.4. Historical Runoff.....	155
4.2. Modelling Surface Runoff - CLIRUN.....	155
4.2.1. Methodology	155
4.2.2. Calibration from Observed Stream flow Data and GRDC Runoffs.....	156
4.2.3. Calibration from GRDC datasets	157
4.2.4. Climate change impacts on runoff.....	159
4.3. Water Resources Analysis: WEAP Model.....	163
4.3.1. Methodology and System Modelling	163
4.3.2. Assumptions and Simplifications.....	163
4.4. Water Demands.....	164
4.4.1. Irrigation Demand	164
4.4.2. Hydropower	168
4.4.3. Municipal and Industrial Water Demand	170
4.5. Results of Water Resource Analysis.....	171
4.5.1. Impact on Irrigation.....	171
4.5.2. Impact on Hydropower.....	173
4.6. Adaptation Mechanism.....	174
4.6.1. Northern Sub-basin.....	174
4.6.2. Central and Southern Sub-basins	174
5. Road Infrastructure	175
5.1. Road Infrastructure and Economic Growth.....	175
5.2. Road Infrastructure and Climate Change	176
5.3. Methodology	178
5.3.1. Parameters of Analysis for Current Study.....	179

5.3.2. Climate and Inventory Determination	179
5.4. Impact Functions.....	181
5.4.1. GCM Climate Impact Analysis: Flooding, Precipitation and Temperature.....	181
5.4.2. Sea Level Rise Impact Methodology	181
5.5. Metrics of Measuring Impacts	182
5.6. Study Results.....	183
5.6.1. Temperature, Precipitation and Flooding Results	186
5.6.2. Sea Level Rise Results	188
5.6.3. Regional Level Results.....	189
5.7. Limitations.....	193
5.8. Discussion and Conclusion	193
6. Coastal Zones, Sea Level Rise, and Cyclones.....	195
6.1. Background: Coastal Flooding in Vietnam.....	195
6.2. Methods	199
6.2.1. Storm Generation	200
6.2.2. The “Sea, Lake, and Overland Surge from Hurricanes” Model.....	201
6.2.3. SLR overlay and effect on storm return times	202
6.3. Results	203
6.4. Economic Impacts.....	205
6.5. Discussion	208
7. Economywide Impacts	209
7.1. Multisector Economic Model.....	209
7.2. Results: Climate Change Impacts	210
7.2.1. Baseline Scenario	211
7.2.2. Economy-wide Impacts.....	211
8. Conclusion	218
9. References	220

LIST OF FIGURES

Figure 1-1: Integrated modelling framework.....	134
Figure 2-1: Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations Projected by the SRES Scenarios: (IPCC, 2007).....	136
Figure 2-2: Temperature anomalies during the 2040s relative to baseline climate.....	137
Figure 2-3: Precipitation anomalies in the 2040s relative to baseline climate.....	138
Figure 2-4: Changes in potential evapotranspiration relative to baseline.....	139
Figure 2-5: Change in the climate moisture index relative to baseline.....	140
Figure 2-6: Temperature changes from the reference (2011-2050).....	141
Figure 2-7: Average precipitation change for northern catchments.....	142
Figure 2-8: Average precipitation change for central catchments.....	142
Figure 2-9: Average precipitation change for southern catchments.....	143
Figure 3-1: Regions of Vietnam.....	144
Figure 3-2: Changes in Yield Factor from Baseline to the 2041-2050 Mean for Vietnam.....	148
Figure 3-3: Changes in Irrigation Demand from Baseline to the 2041-2050 Mean for Vietnam.....	149
Figure 4-1: Level 4 sub-basin classification delineated from STRM global DEM data 90 meter resolution.....	151
Figure 4-2: Annual Rainfall for Major Sub-basin.....	152
Figure 4-3: Monthly rainfall pattern for northern sub-basins.....	153
Figure 4-4: Monthly rainfall pattern for central sub-basins.....	153
Figure 4-5: Monthly rainfall pattern for southern sub-basins.....	154
Figure 4-6: Spatial distribution of temperature in degrees Celsius.....	154
Figure 4-7: Historical temperature pattern projected forward to 2050.....	155
Figure 4-8: Historical observed and Clirun-II simulation results.....	158
Figure 4-9: Monthly average runoff comparison of base case and all the 56 GCM runoff output (2041-2050).....	160
Figure 4-10: Monthly runoff comparison of base case against highest and lowest national annual runoff results of CLIRUN.....	160
Figure 4-11: Spatial comparison of runoff result for dry and wet scenarios.....	161
Figure 4-12: Number of times less runoff than the Base case is obtained.....	162
Figure 4-13: Annual Average Runoff Difference from the base case (millimeters).....	162
Figure 4-14: Dong Nai Sub-basin WEAP schematization.....	164
Figure 4-15: Density of rice cultivation obtained from SPAM dataset.....	166
Figure 4-16: Irrigation area distribution by crop obtained from SPAM database.....	166
Figure 4-17: Absolute annual irrigation water requirement and the base case (red line).....	167

Figure 4-18: Annual irrigation supply requirement relative to the base case.	167
Figure 4-19: Population growth and annual industrial and domestic water demand forecast.	171
Figure 4-20: Unmet Irrigation demand with respect to Base case scenario	172
Figure 4-21: Relative unmet demand in the three regions for the year 2050.....	172
Figure 4-22: Hydropower generating capacity with respect to the base case scenario (%).....	173
Figure 4-23: Hydropower reliability for selected Hydropower Dams	174
Figure 5-1: Histogram of combined climate impact on road infrastructure through 2050.	184
Figure 5-2: Histogram of combined climate impact on road infrastructure through 2050.	184
Figure 5-3: Histogram of climate (precipitation and temperature) impact on road infrastructure through 2050 – Percent of GCMs with respective impact results.	186
Figure 5-4: Histogram of climate (precipitation and temperature) impact on road infrastructure through 2050 – Percent of GCMs with respective impact results.	186
Figure 5-5: Depicts the Total Percent Damage and Total Cost of Damage estimated for one meter SLR by provincial administrative region.	189
Figure 5-6: Combined Total Cost Damages by Province Level in USD Millions for the Maximum Hot scenario.	190
Figure 5-7: Combined Total Cost Damages by Province Level in USD Millions for the Maximum Hot scenario.	191
Figure 6-1: Red River delta region study area.	196
Figure 6-2: Population of low-lying areas in red river delta region.....	197
Figure 6-3: Storm tracks.....	203
Figure 6-4: Wind speeds and estimated return times.	204
Figure 6-5: SLOSH-estimated storm surge exceedance curve, with and without SLR.	204
Figure 6-6: Estimated change in effective return time for the 100-year storm as a result of SLR.	205
Figure 6-7: Areas affected in 2050 by SLR and storm surge.....	206
Figure 7-1: Level of Real GDP at Factor Cost (average from 2046-2050).....	211
Figure 7-2: Share of agriculture in GDP (average from 2046-2050).	212
Figure 7-3: Index of road network length relative to the baseline (average of 2046-2050).....	212
Figure 7-4: Marginal damages to capital stock due to cyclones and high sea level rise.....	214
Figure 7-5: Reduction in real GDP relative to the baseline (average 2046-2050).	215
Figure 7-6: Implications of climate change for average annual GDP growth rates.	216
Figure 7-7: Net present value of losses due to climate change.	216
Figure 7-8: Net present value of losses due to climate change by decade for the scenario Cyclone (billions of real 2007 USD).....	217

LIST OF TABLES

Table 3-1: Average Yield Factor for the Base Scenario for Vietnam	147
Table 3-2: Average Water Deficit (mm/cycle) for the Base Scenario for Vietnam.....	147
Table 4-1: Sub-basin classification and areas	152
Table 4-2: CLURUN-II model parameters.....	156
Table 4-3: Calibration result of catchments with observed stream flow stations.	157
Table 4-4: Runoff model calibration based on GRDC datasets.	159
Table 4-5: Top three GCM model for highest and lowest runoff by region.	161
Table 4-6: Trend in water requirement for agriculture and other economic industries (1990- 2010).	165
Table 4-7: Existing hydropower generating capacity in operation as of 2011.....	168
Table 4-8: Existing hydropower plants: location and generating capacity.	169
Table 4-9: Hydropower plants under construction by sub-basin	169
Table 4-10: Hydropower plants currently under construction	170
Table 4-11: Ten years average unmet irrigation demand in million meter cubed for selected climate change scenarios.	173
Table 5-1: Costs of rebuilding inundated roadstock from SLR of one meter.	182
Table 5-2: Adapt and No Adapt Costs and Adaptive Advantage for Combined Climate Change Impact (Precipitation, Temperature, Flooding).	185
Table 5-3: Adapt and No Adapt Costs and Adaptive Advantage for Climate Stressor Impact on Roadstock (Precipitation, Temperature).....	187
Table 5-4: Adapt and No Adapt Costs and Adaptive Advantage for Impact of Flooding on Roadstock.	188
Table 5-5: Total SLR Damages from 1 meter SLR. Discounted to 2010 costs at 5% discount rate.	188
Table 5-6: Regional analysis (maximum hot climate scenario).	190
Table 5-7: Regional analysis (median hot climate scenario).	191
Table 6-1: Historic tropical cyclone incidents which have caused damage to the red river delta region between 1990 and 2008.....	198
Table 6-2: Land use areas - current totals and areas at risk from SLR and storm surge by 2050.....	207
Table 6-3: Attributed annual GDP at risk from SLR and storm surge by 2050.....	208

Acknowledgements

This report on the “Implications of Climate Change for Economic Growth and Development in Vietnam” was prepared within the framework of phase IV of the Danida funded Poverty Reduction Grant (PRG) project entitled “Strengthening the Development Research and Policy Analysis Capacity of the Central Institute for Economic Management (CIEM)”. This project supports research collaboration and capacity building between CIEM and the Development Economics Research Group (DERG) at the University of Copenhagen (UoC). During the climate change research reported here, substantial interaction and collaboration also took place with a group of UNU-WIDER researchers, whose work is forthcoming in separate WIDER Working papers, which will be submitted for journal publication within the coming months.

The team of authors behind this climate change and development report is grateful to the President of CIEM, Assoc. Prof. Le Xuan Ba, and Ms Vu Xuan Nguyet Hong, Vice President of CIEM, for continued support and leadership throughout the research process. Thanks are due as well to the Danish Ambassador in Vietnam, H.E. John Nielsen, and his staff, who have promoted this research effort and helped it to fruition. The Danida PRG financial support is acknowledged with sincere gratitude.

Climate change is a complex and inherently interdisciplinary phenomenon. As a result, numerous professionals have contributed to producing this study. The analytical effort was led by Professors Channing Arndt, Paul Chinowsky, Kenneth Strzepek, and Dr. James Thurlow. Professor Finn Tarp, Coordinator of DERG, supervised and guided the DERG/UoC group and input through the various stages of the work, and Simon McCoy, outposted UoC Senior Economist in CIEM, provided invaluable assistance in keeping the PRG-project on track.

Major contributors to this project report also include Charles Fant, Kerry Emanuel, Yohannes Gebretsadik, Lindsay C. Ludwig, James Neumann, Sai Ravela, Amy Schweikert, Niko Strzepek, Caroleen Verly, and Len Wright as well Nguyen Manh Hai and Ho Cong Hoa.

We are grateful to participants at two seminars at CIEM for most helpful comments, including comments provided by external reviewers. Thanks are also due to Dr. Hoang Minh Tuyen of the Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology and Environment for hosting one team member at the Institute.

Finally, valuable research assistance was provided by Jean Marc Mayotte, Huong Nguyen, and Travis Hobbs.

All errors and omissions are the responsibility of the authors.

Executive Summary

Introduction

Like many countries, Vietnam is concerned about the potential implications of climate change for economic growth and development. This paper presents a highly comprehensive analysis of climate change impacts for Vietnam. The paper focuses on implications for economic growth and development out to 2050. Three elements of the analysis merit special mention. First, a bottom-up structural approach is employed. The analysis relies upon a series of structural models that link climate outcomes to biophysical and eventually economic outcomes. Second, relative to most impact analyses, the approach is highly comprehensive incorporating six important impact channels: crop yields, irrigation water availability, hydropower production, road infrastructure, sea level rise, and cyclone strikes. Finally, the analysis incorporates climate projections from 56 General Circulation Model (GCM) runs employed for the Fourth Assessment Report of the IPCC. The combination of these three elements is unique and affords a very detailed examination of the implications of climate change for Vietnam. The use of multiple climate projections is particularly important because, as will be shown, the implications of climate change for Vietnam can vary strongly across projections. Consequently, choice of one limited set of GCM runs over another limited set can strongly influence conclusions. Here, the full range of outcomes across 56 future climates is presented.

A hotter and possibly drier future climate for Vietnam

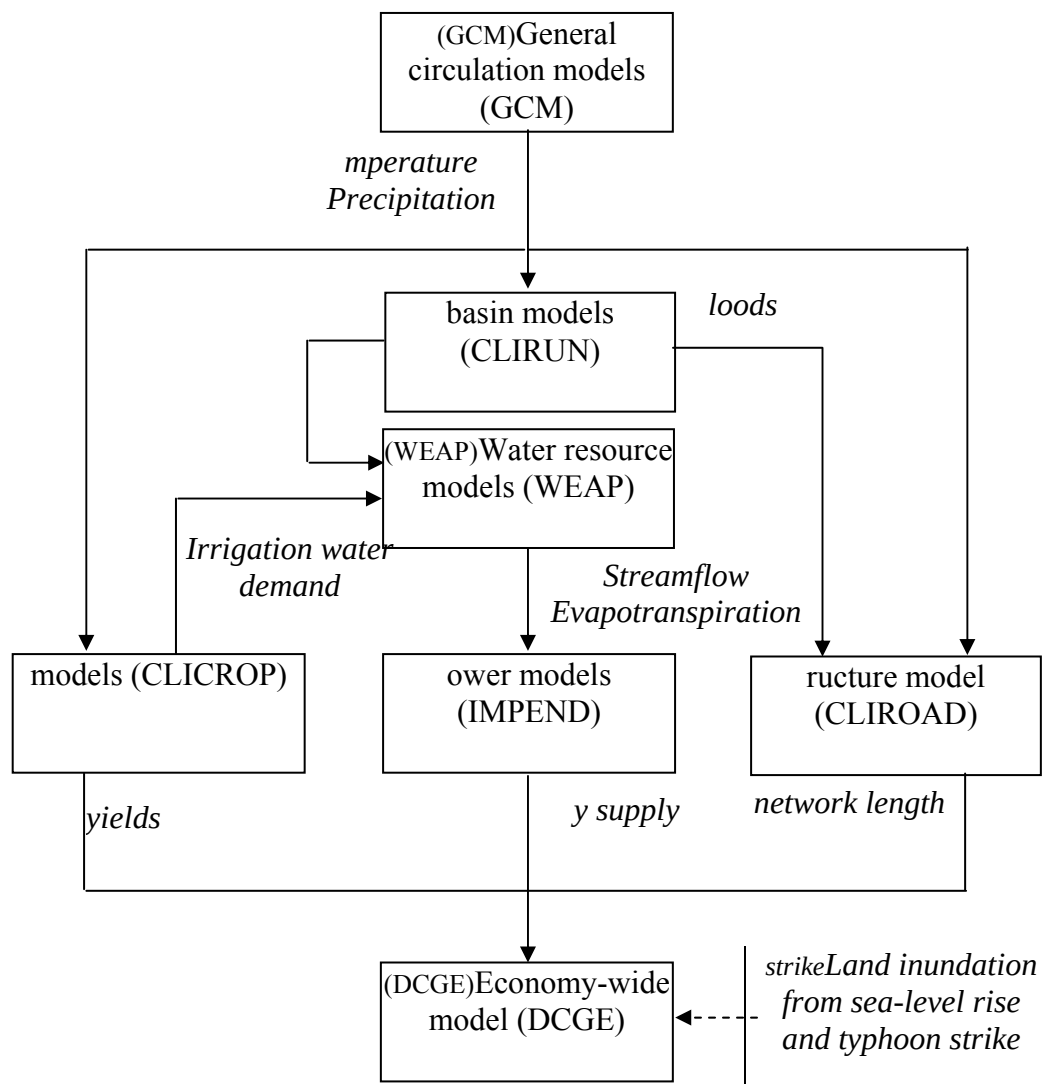
The median expected temperature increase for Vietnam is somewhat less than 1.5 degrees Celsius with most outcomes clustered near the median. For all regions of Vietnam, temperature increases range from a minimum of slightly less than one degree Celsius to a maximum slightly more than 2 degrees Celsius. Precipitation projections are considerably more uncertain than temperature projections. Vietnam is expected to experience a mild decrease in precipitation in that the median change is negative across all 56 climate futures. Nevertheless, wetter conditions are only somewhat less likely than dryer conditions at the national level. This uncertainty extends to all regions. For all provinces and climate projections, the inter-quartile range (between the 25th and 75th percentile of outcomes) includes both increases and decreases in precipitation. Maximum and minimum values are also broadly arrayed with increases in the 10-20 percent range and decreases in the 10-15 percent range. Overall, due to increased evapotranspiration and a mild decrease in median precipitation, climate conditions in Vietnam tend to become more arid, though the median change is not dramatic.

Linking climate change to biophysical and economic outcomes

The atmospheric projections for the baseline and climate change scenarios are translated into economic impacts via a series of specialized sector models. Figure 1 shows the flow of information through the integrated river basin and water resource models down to three sector models that estimate impacts on agriculture, energy and infrastructure. River basin models determine stream flows for water resource models, which then estimate water availability for hydropower models. The river basin model also predicts flood frequency and severity, which, together with precipitation and temperature, determines road damages in the infrastructure model.

Climate projections directly affect agricultural production in the crop models. Finally, biophysical results are passed down to a multi-sector economic model that estimates the economy-wide impacts of climate change. We also include a fourth sectoral impact channel that determines land losses from sea-level rise and cyclone strike.

Figure 1: Integrated modelling framework



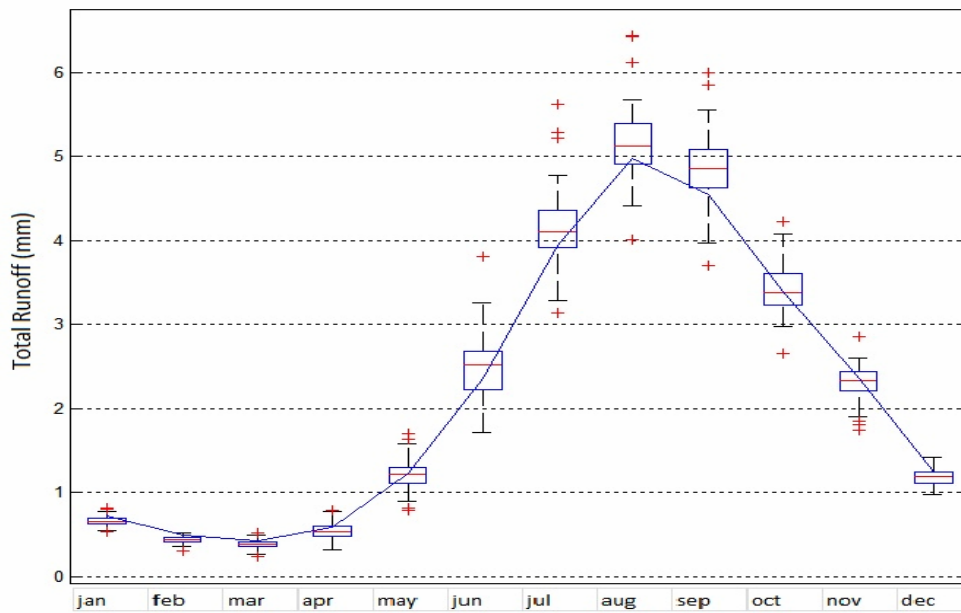
Source: Authors.

Water resources including hydropower

The ‘CLIRUN’ river basin model is an extension of a class of hydrologic models developed specifically to analyse the effects of climate change on runoff. Water enters CLIRUN via precipitation and leaves via evapotranspiration and runoff. The difference between inflow and outflow is the change in soil or groundwater storage. A total of 22 sub-basins, areas ranging from 1,500 to 45,000 km², were identified. Modelling trans-boundary river basins is crucial since all major rivers in Vietnam traverse other countries before entering Vietnam.

Figure 2 illustrates runoff by month in the 2040s for the historical baseline and for the 56 future climate projections considered. The latter are represented using a box and whisker plots. In these plots, the red line represents the median temperature change; the box illustrates the middle 25-75 percent of outcomes (the inter-quartile range); and the whiskers represent the maximum and minimum values with outliers discarded. Outliers are illustrated with a plus (+) sign. Overall, at the national level, the seasonality of runoff and the levels tend not to move dramatically by the 2040s.

Figure 2: Monthly average runoff comparison of base case and all the 56 GCM runoff output (2041-2050)



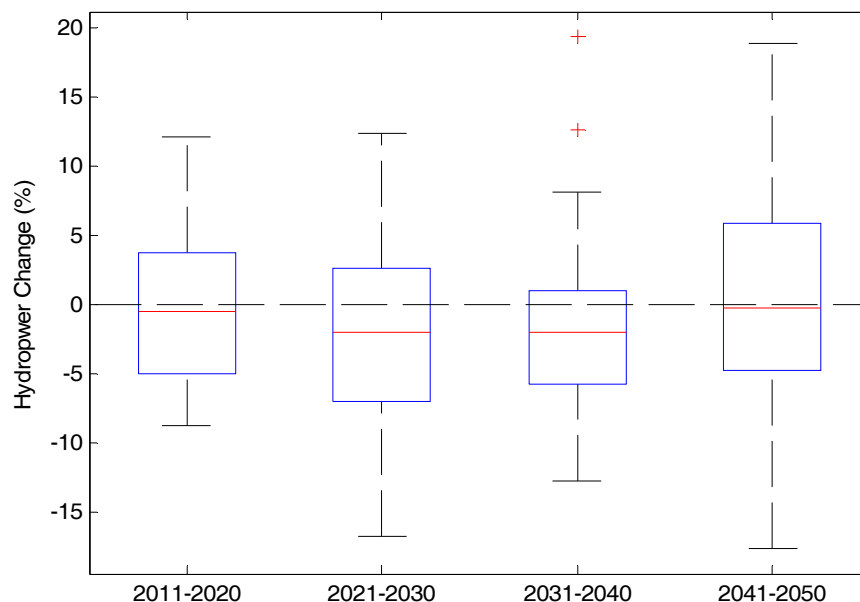
Being furthest downstream potentially makes Vietnam vulnerable changes in upstream reservoir policies. Therefore, the estimated stream flows from CLIRUN are passed down to a water resource model (WEAP) that simulates the management of all trans-boundary river basins within Vietnam and upstream. WEAP exogenously determines water allocation for industrial and domestic use, and then optimizes storage capacity and irrigation flows so as to maximize net benefits.

Hydropower generation relies on a combination of flow and elevation drop of water to generate electricity by turning turbines. There are 14 large-scale hydroelectric facilities in Vietnam. We use a hydropower planning model called ‘IMPEND’ that was originally developed for Ethiopia (Block and Strzepek 2010). IMPEND is a water accounting and optimization model that uses information on streamflow, evapo-transpiration and reservoir attributes to determine energy generation and associated project costs. In addition, 14 medium to large hydropower projects are under construction and are considered in this analysis. The total long term energy generation from these hydropower plants is estimated to be about 22,656 GWH. For the baseline scenario, IMPEND was calibrated to the existing capacity and expansion plan for 2010–2050, as well as to stream flow and evapotranspiration results from CLIRUN and WEAP. IMPEND was

then rerun for the 56 climate change scenarios, initially assuming no change in the baseline's expansion plan (i.e., deviations in hydropower generation are solely attributable to climate change and not to changes in dam construction).

Figure 3 illustrates the changes in hydropower generation relative to the baseline by decade. At the median, hydropower generation is expected to decline very slightly in all decades. However, increases in hydropower production are also possible. The range of levels of hydropower production tends to expand with time (with the exception of the 2030s). By 2050, hydropower impacts range between approximately plus or minus 18 percent. However, about half of all outcomes fit in a much tighter range of about plus or minus five percent. In addition, while hydropower represents more than 35% of total energy production in the base, this share is expected to decline through time falling to about 8% by 2050. As a consequence, the implications of variation in hydropower production are less important in a macroeconomic sense through time.

Figure 3: Climate impacts on hydropower generation in percent difference from baseline



Infrastructure

Numerous studies confirm the importance of road infrastructure for economic growth. Both theory and evidence suggest that infrastructure investments are important determinants of economic growth and poverty reduction. In most developing countries, these investments represent commensurately large shares of public budgets and total investment. If the stock of public capital in general and the road stock in particular is material to growth and poverty reduction, then the rate of depreciation of that stock is also material. The implications of climate change can affect transportation infrastructure itself; its operation; and the demand for transportation services. Chinowsky et al. (2011a) document the potential costs of climate change on road infrastructure in ten geographically and economically diverse countries. They illustrate the opportunity costs of diverting infrastructure resources to climate change adaptation.

The relationships developed by Chinowsky et al. (2011a) are incorporated into a dynamic road network simulation model labelled “CliRoad”. The simulation model tracks the road stock broken by age since construction (or 20 year rehabilitation), road class (primary, secondary, tertiary), road type (paved, gravel, or unpaved), and region for each year over a simulation period from 2007-2050. While the stressor response functions are constant across regions, the climate inputs (precipitation, temperature, and flood events) are disaggregated by region. CliRoad is incorporated directly into the dynamic computable general equilibrium model used for economic analysis. Hence, results from CliRoad are described below together with other economywide impacts.

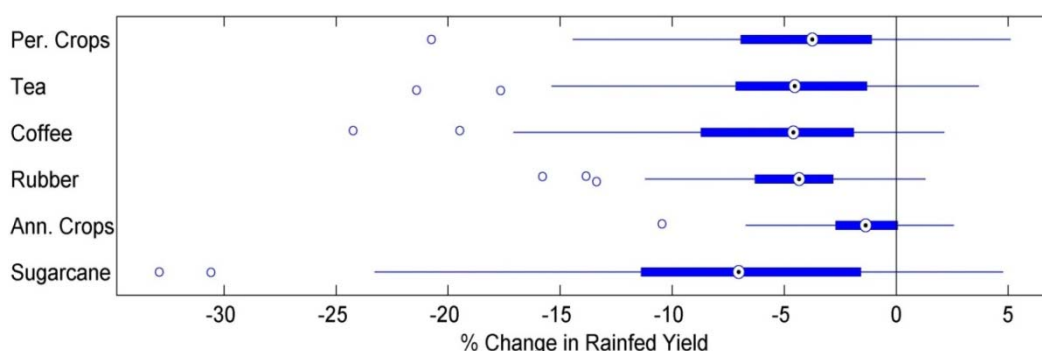
Agriculture

Agriculture is one of Vietnam’s most important sectors, accounting for about 16 percent of national income. We use a generic crop model called ‘CliCrop’ to simulate the impact of the baseline and climate change scenarios on rainfed and irrigated crop yields and on irrigation water demand. A special version of CliCrop for paddy rice is also developed. CliCrop was specifically designed to capture climate change impacts.

Figure 4 illustrates changes in yield for principal crops. These results presume that sufficient water is available to meet demand for water by irrigated crops. Under this assumption, climate change reduces yields by 2050 but not dramatically. For most crops, the median reduction in yield is less than five percent. Yield increases are possible but not likely for all crops considered. More dramatic declines of greater than ten percent are also possible for all crops considered but these outcomes tend to be confined to a relatively few GCM projections. The exception is sugarcane, which shows a median decline in yield of about seven percent with reductions greater than 20 percent possible.

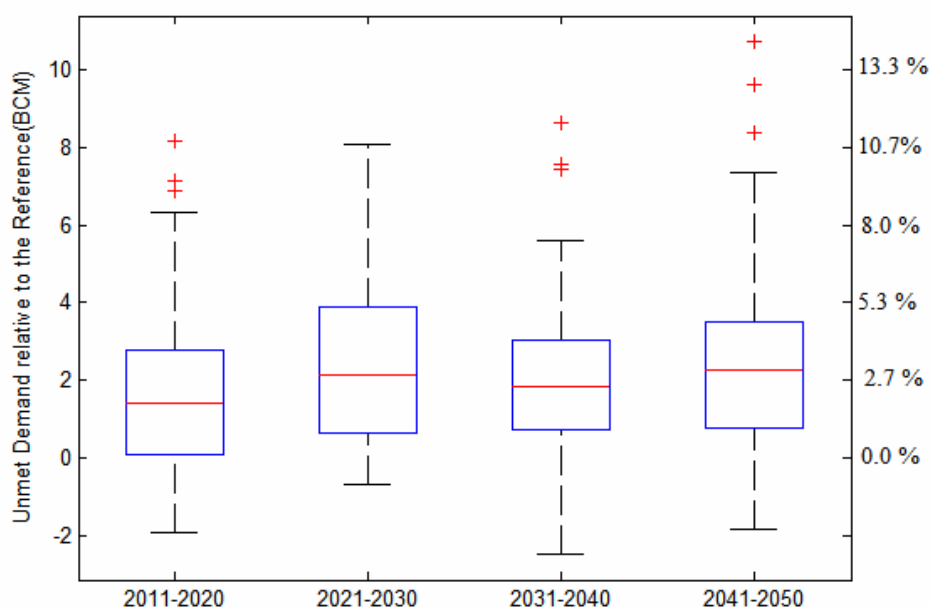
To assess the balance between irrigation water supply and demand, the water supply from the WEAP and water demand from CliCrop are compared. Under climate change, the analysis indicates that unsatisfied irrigation demand will generally increase. Box plots of unmet water supply for irrigation relative to the reference case for the 56 GCM runs are shown in Figure 5. The median value reaches about 2.1 billion cubic meters (BCM) for the year 2050. The Worst case scenario indicates a maximum deficit reaching seven BCM. In percentage terms, the median increase in unmet demand is about three percent. For paddy rice, production variation is principally determined by the variation in unmet irrigation demand.

Figure 4: Percent changes in yield from CliCrop for agriculture



Note: The abbreviations correspond to other perennial crops and other annual crops.

Figure 5: Unmet Irrigation demand with respect to Base case scenario



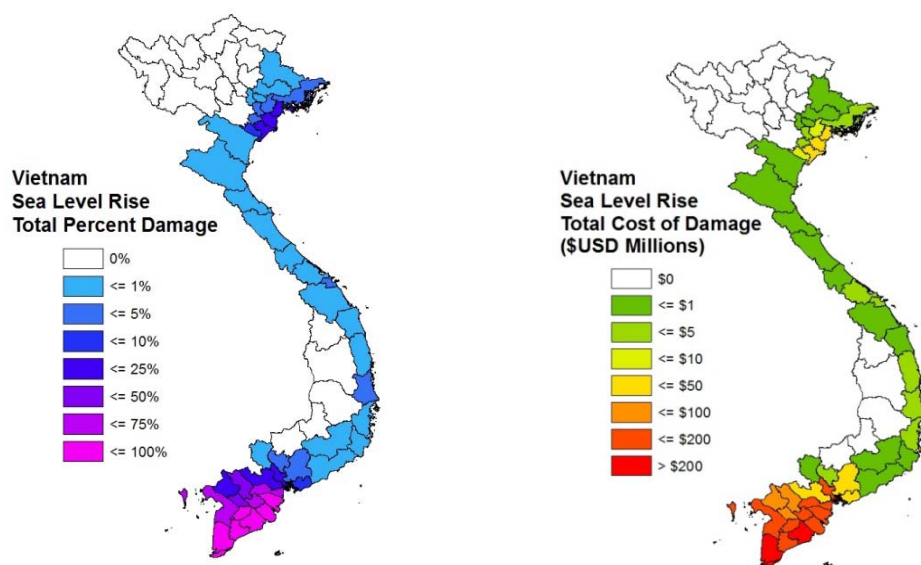
Coastal zones, sea-level rise and cyclones

Projections on the amount of sea level rise that will occur are uncertain and vary widely. Some recent studies have predicted a future sea level rise (SLR) higher than 1m by 2100 (Nichols and Cazenave, 2010). The Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) published in 2007 predicts an average of 60 cm by 2100 (IPCC 2007). By 2050, we expect 16 centimeters of SLR as a lower bound and 38 centimeters of SLR as an upper bound.

Analysis of SLR for Vietnam is constrained by the coarseness of elevation data. For low lying areas, the team was able to obtain information on elevations by one meter contour line. In order to consider the implications of these levels of SLR given the available data, additional assumptions are required. In particular, we assume a uniform distribution of farmland and road infrastructure through the administrative regions. Therefore, if half of a given area or “grid cell” is projected to be inundated by sea level rise, then half of the farmland and the road infrastructure in that area or cell is estimated to be destroyed.

Figure 6 illustrates, in the left hand panel, estimates of the share of area at less than one meter of elevation and, in the right hand panel, the value of current road infrastructure located at less than one meter of elevation. The Mekong river delta is of particular concern with very large shares of the region estimated to be at less than one meter of elevation. There are also concerns in the Red river delta though to a lesser extent.

Figure 6: Share of area inundated for one meter of sea level rise and value of road infrastructure estimated to lie at less than one meter of elevation



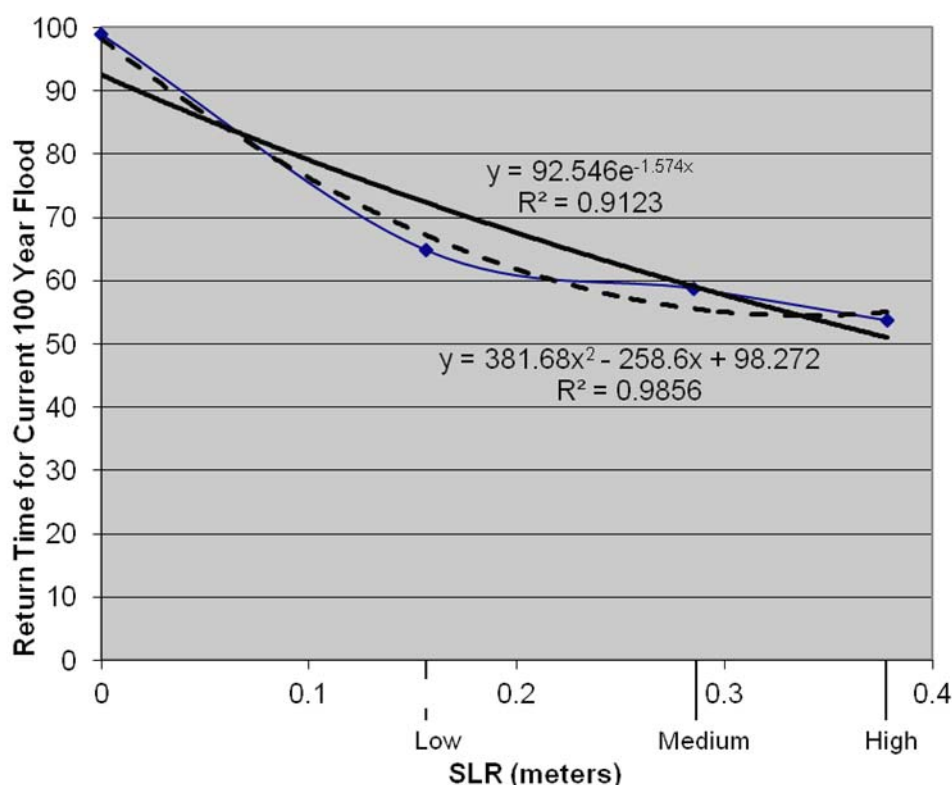
Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

Detailed analysis of the combination of SLR and storm surge due to cyclones was undertaken for the Red river delta. The effects of climate change on cyclones can include changes in the intensity, frequency, and the track of individual storms. Changes in temperature are a potentially important factor in altering storm patterns, but, because cyclones are relatively rare events, differences in storm generation activity that might be experienced by 2050 are difficult to discern with current methods. As a result, we assume that cyclone frequency and intensity remains constant.

Sea-level-rise may have an important effect by magnifying the potential damage that may result from cyclones. Higher sea level provides storm surges with a higher “launch point” for the surge, which may increase both the real extent and the depth of the surge in areas already vulnerable to coastal storms. In addition, future sea-level rise, while uncertain, is more reliably forecast to 2050 than future storm activity. In general, the increase in sea level would make existing storms significantly more damaging.

The combination of storm surge and SLR is investigated for the Red river delta. Figure 7 provides estimates of the changes in effective return time for the current 100-year storm surge event as a result of SLR. The historical 100-year event at Ha Noi can be expected to occur more frequently with SLR. Rather than occurring every 100 years, by 2050, it can be expected to occur approximately every 65 years in the Low SLR scenario and every 54 years under the High SLR scenario. Similar reductions are seen in the return periods of other design storms as well. This drop in return period can have significant implications. The 100-year event exhibits a storm surge of approximately five meters. In the Red river delta, approximately 42.5% of GDP is estimated to be produced at elevations less than five meters. This amounts to about 9% of total GDP for Vietnam. This is very relevant to our analysis as Noy (2009) shows that damages from natural disasters are strongly correlated with subsequent economic growth.

Figure 7: Estimated change in effective return time for the 100-year storm as a result of SLR



Multi-sector macroeconomic model

The sector model results discussed above are passed down to a dynamic computable general equilibrium (DCGE) model of Vietnam, which estimates the economic impact of the baseline and climate change scenarios, including spillovers from the four focal sectors to the rest of economy (i.e., indirect or economy-wide linkages). Economic decision-making in the DCGE model is the outcome of decentralized optimization by producers and consumers within a coherent economy-wide framework. To adapt to climate changes, a variety of substitution mechanisms occur in response to variations in relative prices, including substitution between factors, between imports and domestic goods, and between exports and domestic sales. The Vietnam model contains 8 regions, 30 sectors, including electricity generation, transport services and 10 agricultural subsectors. Thirty seven factors of production are identified: three types of labour (by education level- primary, secondary, and tertiary and then further divided between rural and urban zones), capital, agricultural land, agricultural capital, livestock, and fish stocks. The agricultural capital, land, livestock and fish stocks are distributed across the eight subnational regions. This sectoral and regional detail captures Vietnam's economic structure and influences model results.

Climate change affects economic growth and welfare in the DCGE model via four principal mechanisms. First, productivity changes in rainfed agriculture are taken from CliCrop/WRM and the DCGE then determines how much resources should be devoted to each crop given their profitability relative to other activities (i.e., 'endogenous adaptation'). Second, the DCGE model

directly incorporates fluctuations in hydropower production from IMPEND. Third, CliRoad is incorporated directly into the DCGE model. The length of regional road networks from CLIROAD is used in the DCGE model to help determine the rate of productivity growth. A shorter road network lowers transport productivity and increases the cost of moving goods between producers and consumers. Finally, the DCGE model incorporates the effects of SLR by reducing the total amount of cultivable land and road infrastructure in each region by the land inundation estimates presented above. In addition, the effects of cyclone strikes are magnified. Other potential impact channels are recognized but not explicitly considered, such as health and tourism.

The long timeframe over which climate change will unfold implies that dynamic processes are important. The recursive dynamic specification of our DCGE model allows it to capture annual changes in the rate of physical and human capital accumulation and technical change. So, for example, if climate change reduces agricultural or hydropower production in a given year, it also reduces income and hence savings. This reduction in savings displaces investment and lowers production potential. Similarly, higher road maintenance costs imply less infrastructure investment and shorter road networks both now and in the future. Extreme events, such as flooding due to cyclone strikes, also destroy infrastructure with lasting effects. Generally, even small differences in accumulation can cause large differences in economic outcomes over long time periods. Our DCGE model is well suited to capture these path dependent effects.

Climate change impacts on economic growth

In order to estimate the economic cost of climate change for Vietnam, it is necessary to first specify a baseline scenario that reflects development trends, policies and priorities in the absence of climate change. The baseline provides a reasonable trajectory for growth and structural change of the economy from 2007 to 2050 that can be used as a basis for comparison. Under baseline assumptions, Vietnam's economy grows at about 5.4% per annum, with agriculture's contribution to gross domestic product (GDP) falling from 16 percent to 7.6 percent during 2007–50. This strongly positive growth in per capita GDP leads to continued significant improvements in average household welfare.

In order to assess the implications of climate change for growth and economic development, the impact channels discussed in the earlier sections are introduced one by one. In all, six impact channels are considered. These are listed below with the name of the scenario at the beginning.

1. Agriculture. Impacts of temperature and precipitation changes for crop production by region combined with unmet irrigation demand.
2. Roads. Implications of climate change from CliRoad.
3. Hydropower. Percentage changes in hydropower production are imposed.
4. SLRlow. Sea level rise is assumed to reach 16 centimeters by 2050. This rise occurs linearly over the simulation period.
5. SLRhigh. Sea level rise is assumed to reach 38 centimeters by 2050 and is imposed in the same manner as SLRlow.
6. Cyclone. Probabilistic cyclone strikes across each of the 56 scenarios with only the marginal impact due to sea level rise imposed as a shock.

These scenarios are imposed in a cumulative fashion. So, the scenario Roads contains the shocks for Agriculture and for Roads. The last scenario, Cyclones, contains the shocks from the first three scenarios as well as SLRhigh. With low sea level rise, the marginal impact of cyclones due to elevated storm surge is small and is not presented.

Figure 8 shows the average level of real GDP for the period 2046-2050 across all scenarios. The average is presented in order to limit the implications of shocks in a particular year. Beginning with agriculture, we find the implication of climate change to be relatively mild *with impacts of sea level rise excluded*. In other words, only the implications of the yield shocks summarized in Figure 4 and unmet irrigation demands summarized in Figure 5 are imposed. The implications of these shocks for the national economy and for growth are relatively small for two reasons. First, the shocks themselves are not particularly large in most instances. Second and importantly, the agriculture share of GDP by 2046 to 2050 is, as indicated above, not very large. The agriculture share of GDP by 2046-50 varies strictly between seven and eight percent of GDP across all scenarios. Because the agriculture share of GDP tends to decline (a strong empirical regularity), variations or reductions in agricultural GDP have an increasingly muted effect on the national economy and overall economic growth rates.

For the roads scenario depicted in Figure 8, the implications of climate change become more pronounced and may be positive but are more likely to be negative at a national scale. These implications are driven by CliRoad (again, excluding infrastructure lost due to sea level rise). Figure 9 provides a summary of the distribution of road network length relative to the baseline no climate change scenario. As indicated earlier, CliRoad is incorporated directly into the CGE model. Road network length influences the rate of total factor productivity growth in the model. In addition, investment in roads is assumed to move proportionately with growth in government spending. As a result of these interactions, road network length differs in every scenario.

Figure 8: Level of Real GDP at Factor Cost (average from 2046-2050)

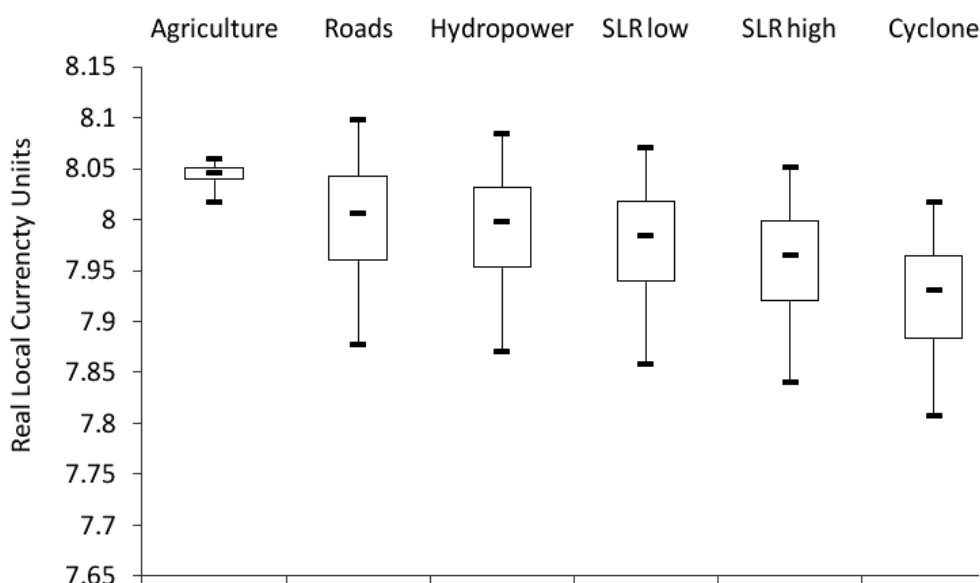
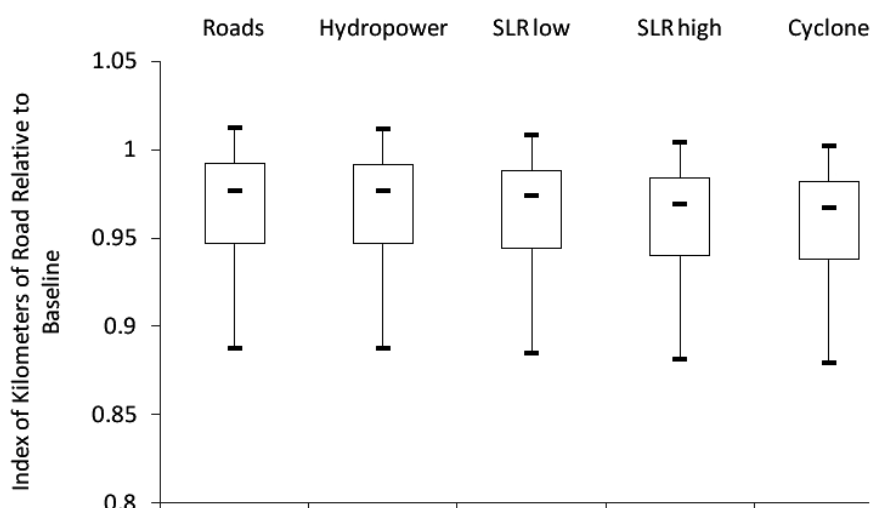


Figure 9: Index of road network length relative to the baseline (average of 2046-2050)



In some scenarios, road network length is greater under climate change than without climate change. Drier scenarios tend to be more favorable to road network length due to reduced washouts from precipitation and flooding. Nevertheless, most scenarios generate reductions in road network length. This is due to three factors. First, all GCM scenarios produce increases in temperature. Higher maximum temperatures increase the rate of degradation of paved roads unless steps are taken to make roads more robust to higher temperatures. In the model, these adjustments are not undertaken and so rising temperature leads to higher maintenance costs, which in turn displace new road investment. Second, even though nationally precipitation declines slightly, the intensity of precipitation tends to increase leading to a higher rate of washouts particularly for unpaved roads. Third, the increase in precipitation intensity leads to, in most scenarios, a small rise in the frequency and intensity of flooding events. In a few GCM runs, large scale flooding events become much more frequent leading to important declines in the total road stock.

Degradation or destruction of infrastructure is different from agricultural impacts because the effects on infrastructure endure. Once a road is washed away, its negative effect remains until the road is rebuilt. However, with constant resources allocated to roads, reconstruction of a section of road that is washed away due to heavy rainfall or flooding implies fewer resources available for construction of new roads or regular rehabilitation of existing roads. Hence, for roads, climate change influences the rate of accumulation of the road stock, which in turn influences the rate of productivity growth in productive sectors. Because rates of accumulation are influenced, the effects can accumulate and become relatively large over time. In contrast, for agriculture, climate change (as modeled) influences production in a given year but not necessarily rates of growth in productive capacity through time. If growing conditions are poor, production declines; however, if growing conditions are favorable, production levels are favorable.

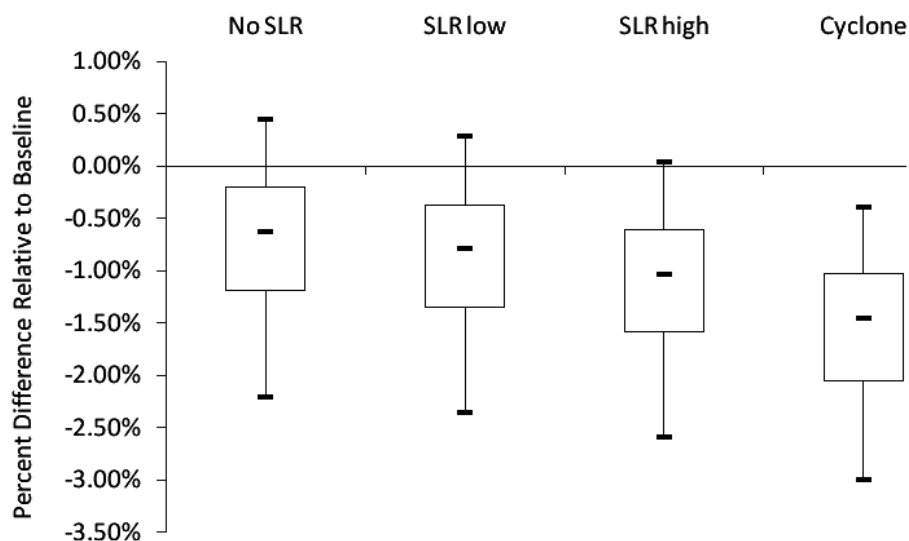
The third scenario depicted in Figure 8 adds the shocks with respect to hydropower. As shown in Figure 3, impacts on hydropower production are essentially centered about zero in the 2040s. However, in the 2020s and 2030s, when hydropower represents a larger share of total electricity supply, the impacts tend to be negative. The effect is to slightly reduce growth over the period resulting in a slight reduction in median GDP (across GCM runs) during the period 2046-2050.

The implications of sea level rise, as shown in Figure 8, are negative across all scenarios and basically shift the distribution of GDP outcomes downward. Sea level rise is uncorrelated with the particular GCM selected. Hence, the same sea level rise shocks are applied across all scenarios. The two principal drivers of losses from sea level rise are loss of agricultural land and loss of road infrastructure. As emphasized earlier, elevation data was obtained at one meter steps while climate change is expected to deliver at most 38 centimeters of sea level rise by 2050 (but potentially much more by 2100). It is, as a result, impossible to analyze the exact impacts of sea level rise to 2050 without additional assumptions. We assume that, with 38 centimeters of sea level rise, 38 percent of the area submerged by one meter of sea level would become unavailable. We also assume that this area constitutes principally agricultural land and road infrastructure. Other forms of capital, such as machines and significant permanent structures, are placed at risk in the cyclone scenario, to which we now turn.

The scenario Cyclone considers the marginal impact of the combination of cyclones and high sea level rise relative to the baseline. As discussed, we assume that there is no change in the frequency or intensity of cyclone strikes. Much of the damage from cyclone strikes is a function of wind velocity; however, this is held constant between the baselines and the climate change scenarios. As a result, the marginal impact of cyclones due to climate change is restricted to the interactions between storm surge and sea level rise. Thirty eight centimeters of sea level rise causes the storm surge to extend further inland and increases the depth of submersion in affected areas.

Nevertheless, the total effects on economic growth are not exceedingly large. Figure 10 illustrates the distribution of the percent reduction in the level of GDP during the period 2046-2050. The scenario labelled “No SLR” is the Hydropower scenario (e.g., the combination of Agriculture, Roads, and Hydropower). The SLRlow represents the least strong distribution of impacts considering all impact channels as well as low SLR. The level of GDP in that period ranges between +0.25 and -2.5 percent with the majority of outcomes between -0.5 and -1.5 percent. With high sea level rise and cyclones (scenario Cyclone), the level of GDP in the period 2046-2050 is between 0.5 and 3.0 percent lower.

Figure 10: Reduction in real GDP relative to the baseline (average 2046-2050)



Because growth is a cumulative process, these reductions in GDP levels translate into a small reduction in the average annual GDP growth rate over the simulation period (2007-2050). In the cyclone scenario, the average GDP growth rate is reduced by between 0.01 percentage points and 0.08 percentage points. In other words, if the expected average baseline growth rate without climate change is 5.4 percent per annum, then the growth rate would be expected to be between 5.32 and 5.39 percentage points.

While climate change is not expected to dramatically reduce the average economic growth rate over the next 40 years, the implications of climate change are not trivial. In addition, the analysis points to climate change as imposing an increasingly heavy drag on the economy with the implications becoming potentially large by the 2040s. The net present value of losses is illustrated by scenarios in Figure 11 and by decade for the scenario "Cyclone" in Figure 12. The net present value of losses is potentially substantial amounting to about 40 billion real 2007 USD in the worst case. The expected level of losses runs from about 8 to 21 billion USD. While positive outcomes are possible when SLR is excluded, the scenarios with all effects included (SLR low, SLR high, and Cyclone) all generate a negative net present value. Figure 12 further reveals that, despite the discount rate of five percent, the net present value of climate change impacts increases through time with the strongest impacts expected in the 2040s. This is principally due to the inexorable effects of sea level rise.

Figure 11: Net present value of losses by scenario (2008-2050)

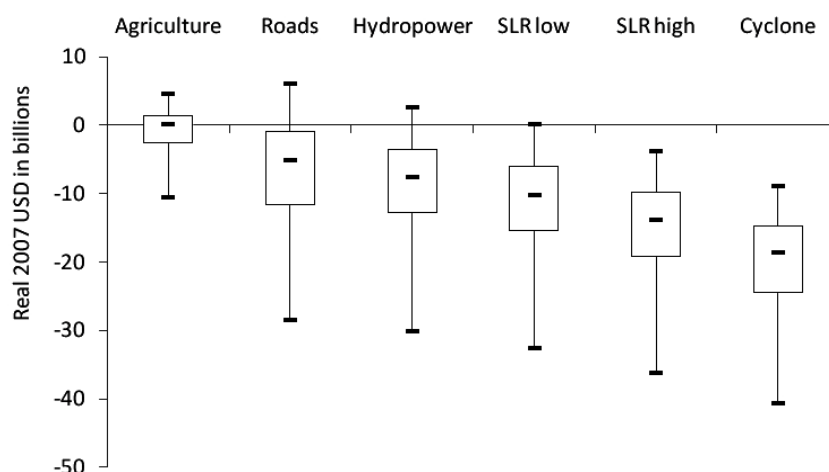
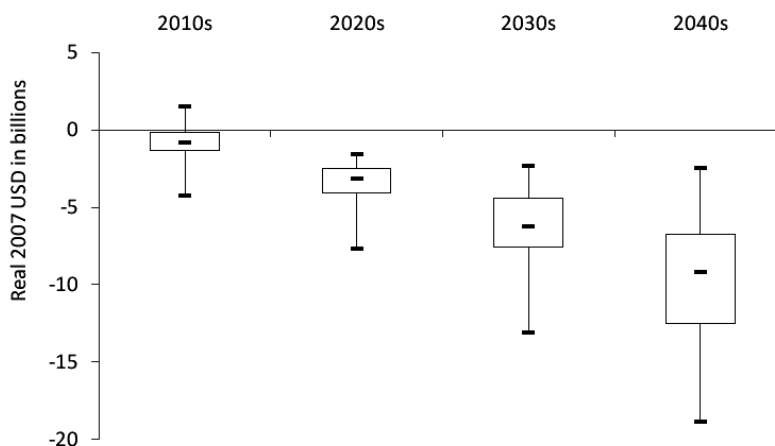


Figure 12: Net present value of losses by decade for the scenario "Cyclone"



Note: A discount rate of 5% is applied in both Figures 11 and 12.

Summary and Conclusion

Going out to 2050, the following effects on climate are observed: temperature rises by about 1-2 degrees centigrade; there are relatively mild effects on precipitation with a slight tendency towards a decrease and relatively mild effects on evapo-transpiration. The combination of a light decrease in rainfall and increase in evapo-transpiration leads to a mild "drying" of a wet climate. Changes in runoff are also mild and about as likely positive as negative (median slightly negative). These changes are typically not sufficient to generate large declines in agricultural production nor are they projected to generate (in most instances) very large increases in events, such as inland flooding, that would threaten infrastructure. In addition, hydropower production tends to be negatively affected but the effects are not so large as to serve as a major brake on economic growth.

Sea level rise delivers some of the largest effects, especially when the level is high and when sea level rise is combined with cyclone strike. The Mekong river delta is particularly vulnerable with significant shares submerged in 2050 under the high sea level rise scenario. Overall, climate change worsens the economic growth prospects of Vietnam out to 2050. Nevertheless, in a macroeconomic sense, the effects, *out to about 2040*, are not particularly large. Other factors are likely to be more important determinants of growth rates over at least the next few decades.

As the net present value numbers indicate, the effects of climate change are appreciable and adaptation policies are merited. This adaptation agenda includes:

- investment in information systems to monitor climate change impacts including improved geographic information systems with emphasis on elevation data for low lying provinces, river flow, and close following of global sea level rise projections;
- development of heat resistant crop varieties;
- improved efficiency of water use; and
- changes in design standards for infrastructure such as roads to handle a warmer and more variable climate.

The most serious policy choices concern the implications of sea level rise combined with cyclone strike. There are essentially two pro-active options. First, the government of Vietnam could channel economic activity in an evolutionary fashion towards higher ground. Second, the government could invest in protective infrastructure. These are not mutually exclusive options and decisions in response to climate change do not need to be made immediately. Nevertheless, while more study is required, the available evidence indicates that a gradual channelling of activity to higher ground is more likely to be economically efficient and is certainly less risky. A major detractor to protective infrastructure investments is that they raise the stakes. Both the costs of protective coastal infrastructure and the capital that will inevitably be placed in the shadow of that protection are vulnerable to cyclone strike of sufficient magnitude. Hence, with a protective strategy, there is always the possibility that one will lose a great deal alongside the certain costs of building the protective infrastructure. For the gradual evolution strategy to in fact be gradual and hence efficient, the channelling of economic activity to higher ground should probably begin soon, certainly within the next ten years or so, especially if the upper ends of sea level rise projections are being realized.

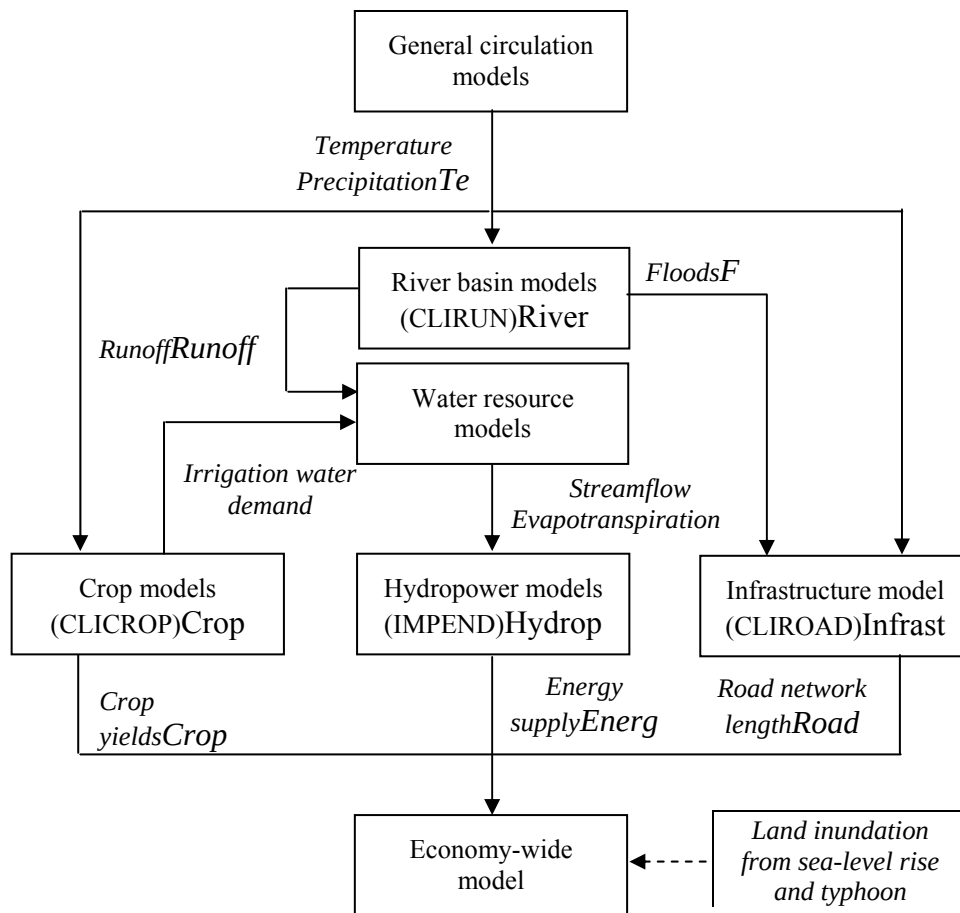
IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE FOR ECONOMIC GROWTH AND DEVELOPMENT IN VIETNAM

1. Introduction

Like many countries, Vietnam is concerned about the potential implications of climate change for economic growth and development. This report presents a highly comprehensive analysis of climate change impacts for Vietnam. The paper focuses on implications for economic growth and development out to 2050. Three elements of the analysis merit special mention. First, a bottoms-up structural approach is employed. The analysis relies upon a series of structural models that link climate outcomes to biophysical and eventually economic outcomes. Second, relative to most impact analyses, the approach is highly comprehensive incorporating six important impact channels: crop yields, irrigation water availability, hydropower production, road infrastructure, sea level rise, and cyclone strike. Finally, the analysis incorporates climate projections from 56 General Circulation Model (GCM) runs employed for the Fourth Assessment Report of the IPCC. The combination of these three elements is unique and affords a very detailed examination of the implications of climate change for Vietnam. The use of multiple climate scenarios (GCMs) is particularly important. As will be illustrated, results can vary strongly by GCM. Consequently, choice of one limited set of GCM runs over another limited set can strongly influence conclusions. Here, the full range of outcomes across 56 future climates is presented.

The approach employed is illustrated in Figure 1-1. It shows the flow of information through the analytical system. As illustrated in the figure, climate projections for the baseline and climate change scenarios are translated into economic impacts via a series of specialized sector models. These include integrated river basin and water resource models and three sector models that estimate impacts of biophysical change on agriculture, energy, and infrastructure. The river basin models determine stream flows for the water resource models, which then estimate water availability for hydropower and irrigation. The river basin model also predicts flood frequency and severity, which, together with precipitation and temperature, determines road damages in the road infrastructure model. Climate projections directly affect agricultural production in the crop models. Finally, biophysical results are passed down to a multi-sector economic model that estimates the economy-wide impacts of climate change. We also include a fourth sectoral impact channel that determines land, infrastructure, and capital losses from sea level rise as well as the combination of sea level rise and cyclone strike.

Figure 1-1: Integrated modelling framework



Source: Authors.

The in-depth analysis presented in this report is motivated by serious concerns expressed in the literature. Dasgupta et al. (2007) point to vulnerability to sea level rise. Adger (1999) considers social vulnerability with an emphasis on the coastal regions of Vietnam. More recently, Yu et al. (2010) declared that "Vietnam is likely to be among the countries hardest hit by climate change" though their study focuses exclusively on the agricultural sector. The World Bank (2010c) presents a first attempt to aggregate a series of effects into an assessment for growth prospects. They find that climate change will have significant impacts on some regions and sector; nevertheless, the macroeconomic impacts are likely to be relatively modest, at least out to 2050 (p. xviii). They employ, however, only three climate change scenarios and consider a more limited number of impact channels.

This report is structured as follows: Section 2 summarizes climate change scenarios across the 56 GCM runs. Sections 3 to 6 summarize how the climate results are converted to biophysical and economic outcomes. Section 7 presents results with a focus on economic growth to 2050. Section 8 summarizes and concludes. We find that for the period 2046-2050, GDP is likely to be approximately 0.25 percent higher to 3.0 percent lower, with most outcomes concentrated between -0.5 and -2.0 percent. Because growth is a cumulative process, these reductions in GDP levels translate into small reduction in the average annual GDP growth rate over the simulation period

(2007-2050). In the cyclone scenario, the average GDP growth rate is reduced by between 0.01 percentage points and 0.08 percentage points.

While climate change is not expected to dramatically reduce the average economic growth rate over the next 40 years, the implications of climate change are not trivial. In addition, the analysis points to climate change as imposing an increasingly heavy drag on the economy with the implications becoming potentially large by the 2040s. The net present value of losses (discounted at five percent) is potentially substantial amounting to about 40 billion real 2007 USD in the worst case. The expected level of losses runs from about 8 to 21 billion USD. In addition, despite the discount rate of five percent, the net present value of climate change impacts increases through time with the strongest impacts expected in the 2040s. Consequently, especially in the absence of global mitigation policy, much stronger impacts can be anticipated in the second half of the 21st century, with the combination of sea level rise and cyclone strike presenting a particular menace.

2. Climate Change Scenarios

Future climate change is inherently difficult to predict due to the complexity of earth atmosphere system and to the human factors that influence it. Existing general circulation models (GCMs) produce a wide range of potential climate futures, especially when examined at the country level (see Solomon et al. 2007). These are due to differences in the science of modelling global climate systems and to uncertainty over how the global economy will evolve in coming decades. The latter uncertainty implies that GCMs have to be used to project climate change outcomes for a number of possible ‘emission scenarios’ based on different assumptions about future populations, technological advancements, and global agreements to reduce carbon emissions.

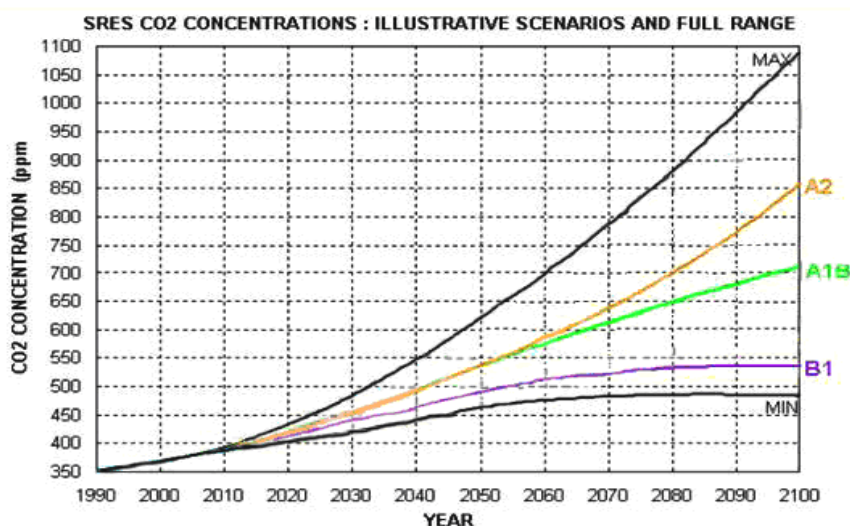
Initially presented in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) *Special Report on Emissions Scenarios* (2000), the A2, A1B, and B1 emission scenarios represent three different possible 21st centuries in terms of the human factors which influence climate change. In the A2 scenario, globalization proceeds less rapidly. economic development and integration is primarily intraregional, population grows relatively rapidly, global GDP growth occurs at a rate similar to that in the baseline scenario, global energy use is relatively high, land use varies between maintaining its current rate and more rapid change, energy resource availability is relatively low, and technological change which increases energy efficiency is slow and not particularly focused on climate change-mitigating solutions.

The A1 scenario family represents a 21st century in which globalization proceeds more rapidly, integrating regional economies into a global economy and sharply reducing regional per capita GDP disparities. The A1B scenario represents a 21st century in which the globalized economy balances its technological pursuits between increasing the energy efficiency of fossil fuel-powered processes and developing renewable energy technologies. In this scenario, as less developed regions’ GDP per capita rises to parity with those of developed economies, birth rates decline to globally converge at a relatively low rate. The rapid growth of global GDP in this scenario leads to very high amounts of energy use, while the rapid pace of technological change and its focus on energy efficient technologies mitigates the resultant emission of greenhouse gases. Land use changes very little in this scenario, and fuel resources remain as obtainable as they were at the end of the 20th century.

The B2 scenario is the baseline scenario. ‘Business as usual’ population growth, GDP growth, energy use, land use change, energy-related resource availability, and energy-related technological change all maintain their late 20th century rates through the 21st century.

In this analysis, the A2, B1, and A1B scenarios were selected to represent the pessimistic, the optimistic, and the average cases, respectively. The total global cumulative CO₂ emissions (GtC) from 1990 to 2100 for these selected cases are compared in Figure 2-1.

Figure 2-1: Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations Projected by the SRES Scenarios: (IPCC, 2007).

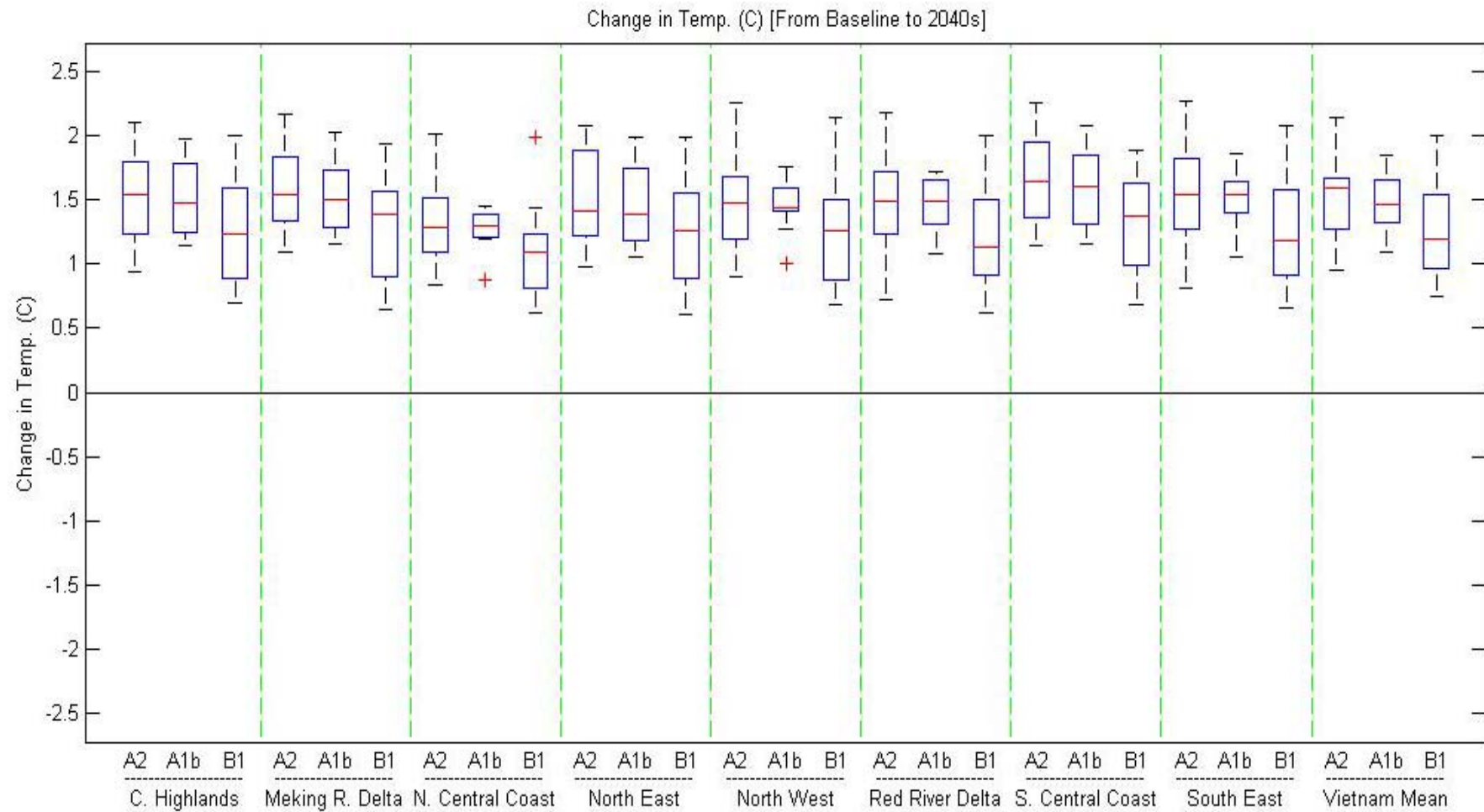


In order to capture the full range of possible climate change outcomes, this report employs results from 22 General Circulation Models (GCMs) across the three special report emissions scenarios (SRESs) in focus above. In all, the report employs 56 future climates, which represent the set of climate futures considered for the Fourth Assessment Report (AR4) of the IPCC (not all GCM-SRES combinations were included in AR4).

The outcomes of these models for Vietnam are summarized in Figure 2-2 to Figure 2-5 using box and whisker plots. Figure 2-2 illustrates temperature increase by the three SRESs considered (A2, A1B, and B1) and by region of Vietnam. Based on these models, median expected temperature increase by 2050 is somewhat less than 1.5 degrees Celsius, with most outcomes clustered near the median. For all regions of Vietnam, temperature increases range from a minimum of slightly less than one degree Celsius to a maximum of slightly more than two degrees Celsius.

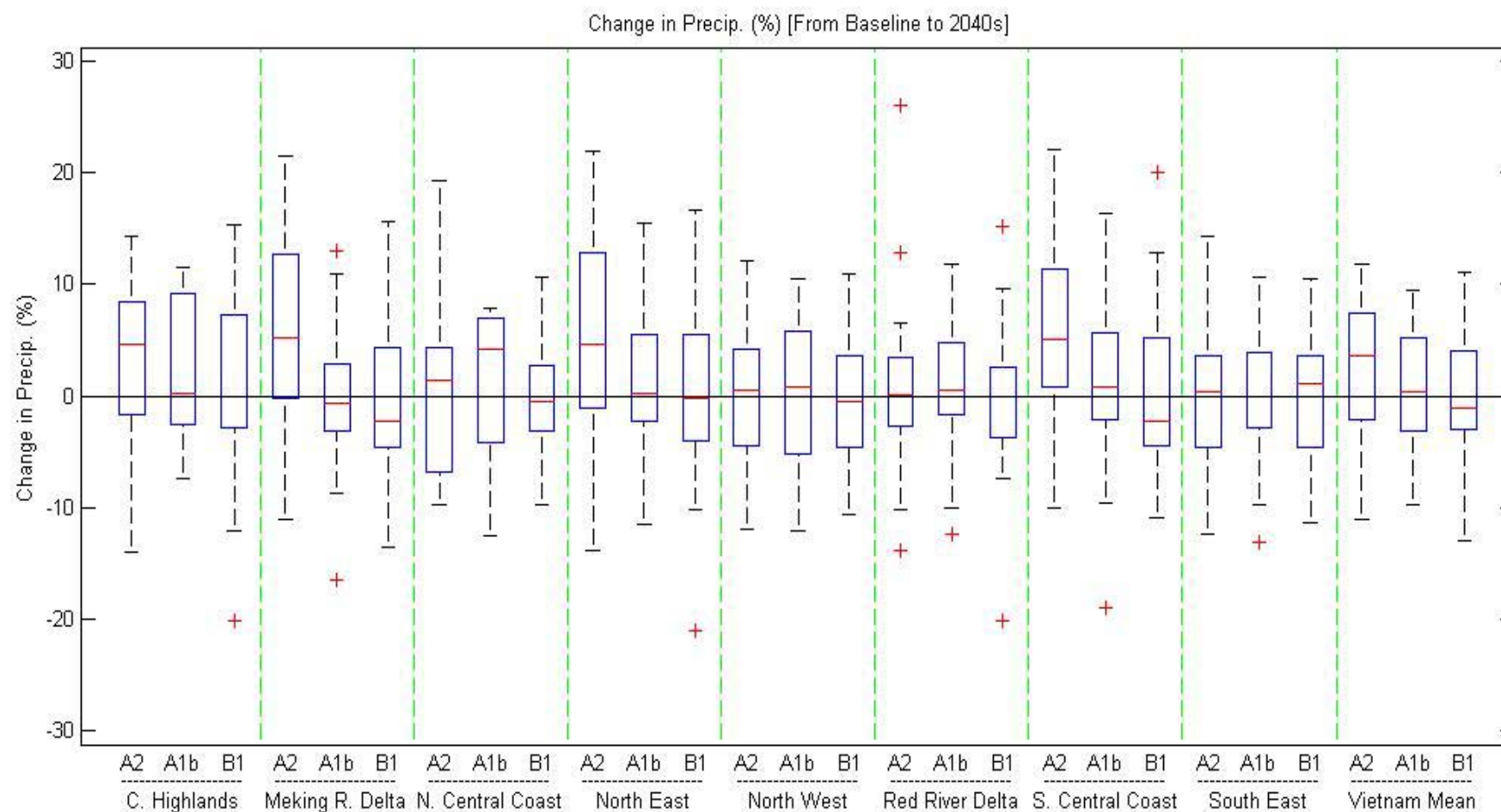
As Figure 2-3 illustrates, precipitation outcomes are considerably more uncertain than temperature outcomes. Overall, taking each GCM and SRES as equally unlikely, Vietnam is expected to receive a mild decrease in precipitation in that the median change is negative across all climate futures. Nevertheless, dryer conditions are only slightly more likely than wetter conditions at the national level. This uncertainty extends to all regions. For all provinces and SRES scenarios, the inter-quartile range (the "box" in box and whisker plots) includes both increases and decreases in precipitation. Maximum and minimum values are also broadly arrayed (even with outliers not considered), with increases in the 10-20 percent range and decreases in the 10-15 percent range. Consideration of results that are considered outliers (the + signs) extends this range even further.

Figure 2-2: Temperature anomalies during the 2040s relative to baseline climate



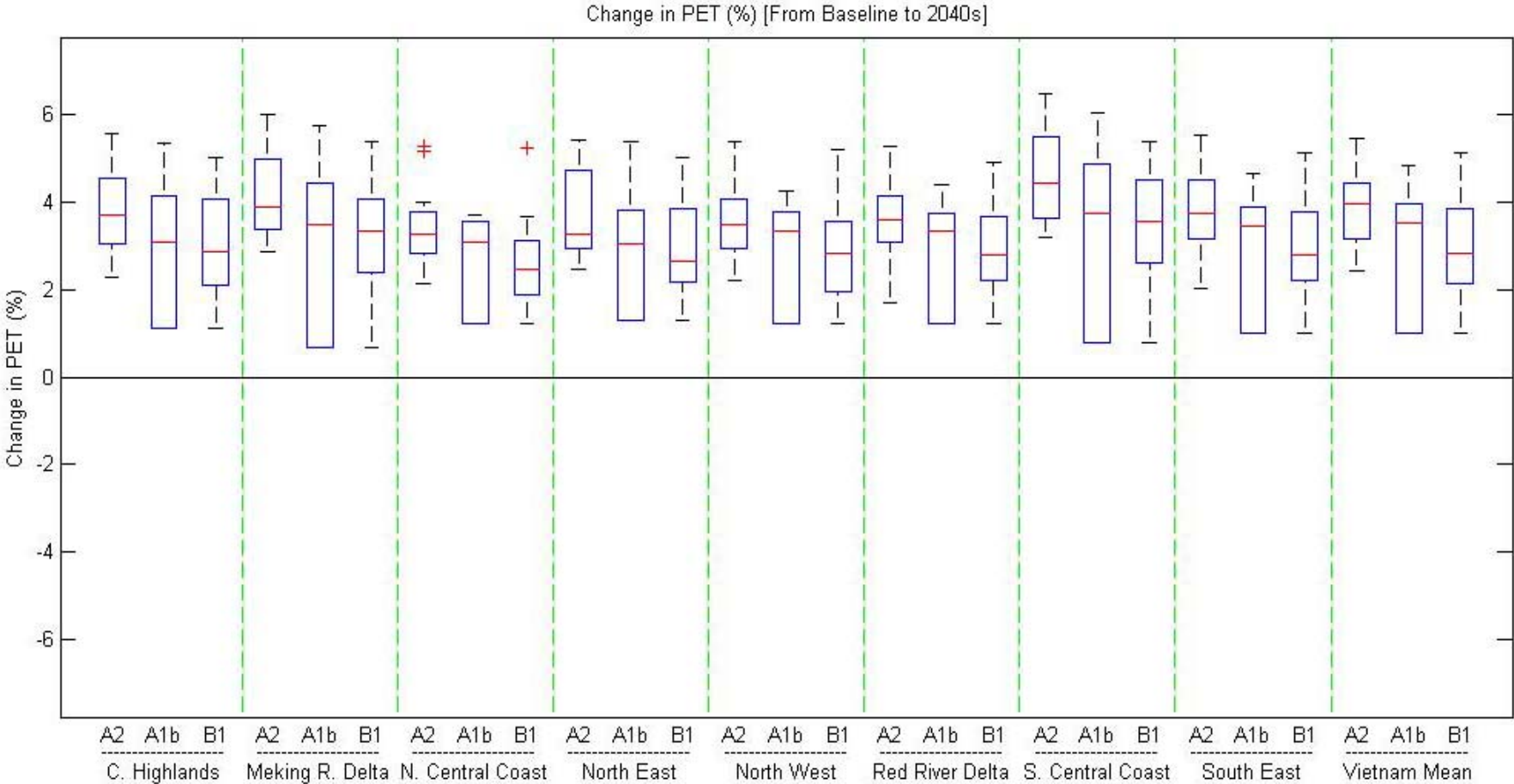
Notes: The red line represents the median temperature change. The box illustrates the middle 25-75 percent of outcomes (the inter-quartile range) and the whiskers represent the maximum and minimum values with outliers discarded. Outliers are illustrated with a plus (+) sign.

Figure 2-3: Precipitation anomalies in the 2040s relative to baseline climate



Notes: The red line represents the median precipitation change. The box illustrates the middle 25-75 percent of outcomes (the inter-quartile range) and the whiskers represent the maximum and minimum values with outliers discarded. Outliers are illustrated with a plus (+) sign.

Figure 2-4: Changes in potential evapotranspiration relative to baseline



Notes: The red line represents the median evapotranspiration change. The box illustrates the middle 25-75 percent of outcomes (the inter-quartile range) and the whiskers represent the maximum and minimum values with outliers discarded. Outliers are illustrated with a plus (+) sign.

Figure 2-5: Change in the climate moisture index relative to baseline

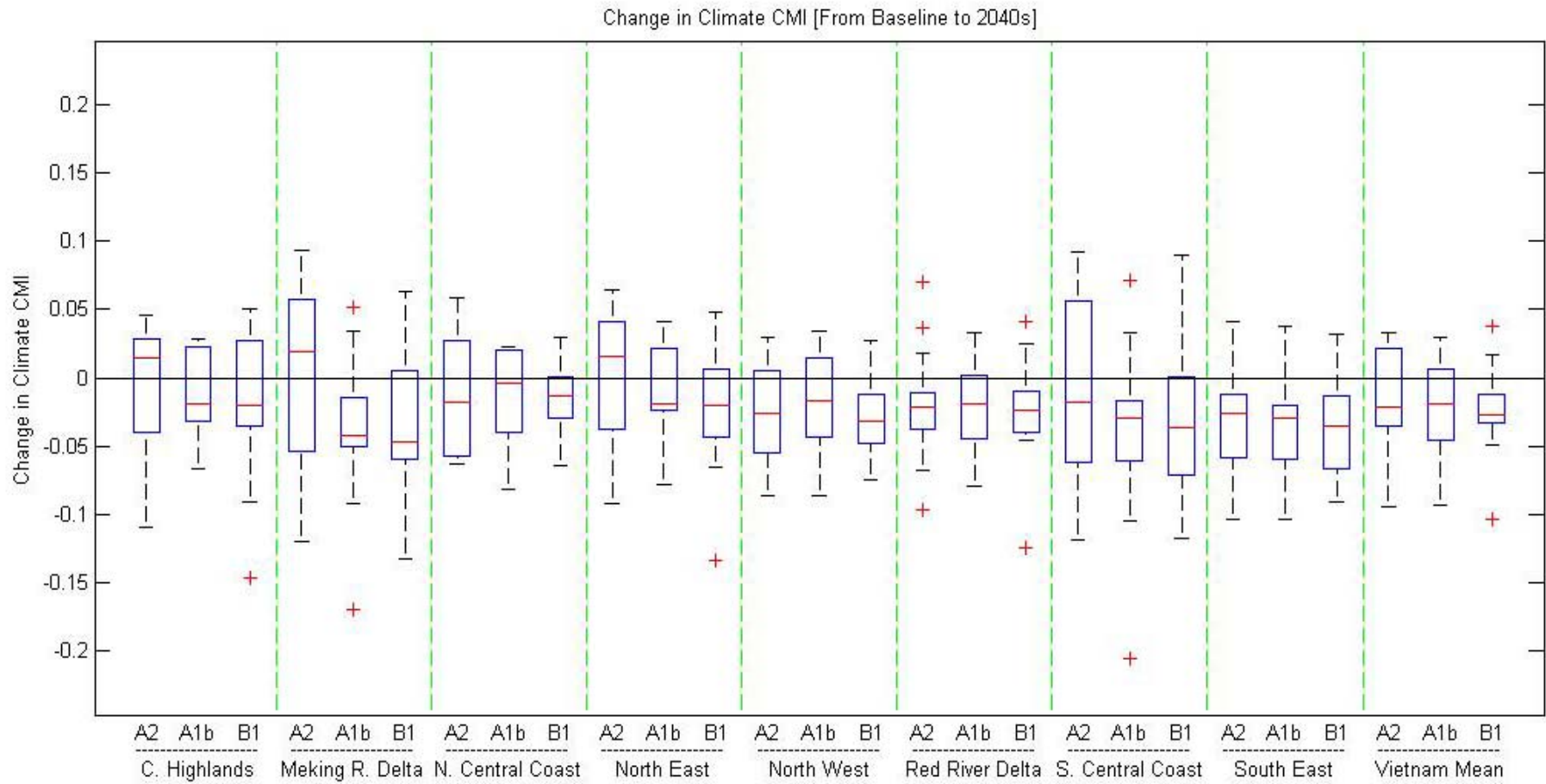


Figure 2-4 and Figure 2-5 illustrate changes in potential evapotranspiration (PET) and the climate moisture index (CMI). These two indicators combine measures of temperature and wetness to produce an indicator of net outcomes. PET illustrates changes in the rate of evaporation. PET is influenced by temperature and humidity. The climate moisture index (CMI) (Willmott and Feddema 1992) is an indicator of a region's aridity. The CMI depends on average annual precipitation (P) and potential evapotranspiration (PET). A climate is classified as semi-arid (semi-humid) and then arid (humid) as PET increases (decreases) relative to precipitation. The CMI is defined as:

$$\text{CMI} = -1 + P/\text{PET} \quad \text{when } \text{PET} > P$$

$$\text{CMI} = 0 \quad \text{when } \text{PET} = P$$

$$\text{CMI} = 1 - (\text{PET}/P) \quad \text{when } \text{PET} < P$$

A CMI of -1 is very arid and a CMI of +1 is very humid. In the case of Vietnam, the already high levels of humidity limit the change in PET. Nevertheless, PET tends to rise by more than precipitation in most regions. As a result, according to the CMI, climate conditions in Vietnam tend to become more arid. There is, again, considerable uncertainty about Vietnam's future CMI value, especially at the sub-national level.

In terms of decadal trends, the average change in temperature, with respect to the base-case for all 56 GCMs, is illustrated in Figure 2-6. Decadal trends for precipitation by region are shown in Figure 2-7, Figure 2-8, and Figure 2-9.

Figure 2-6: Temperature changes from the reference (2011-2050)

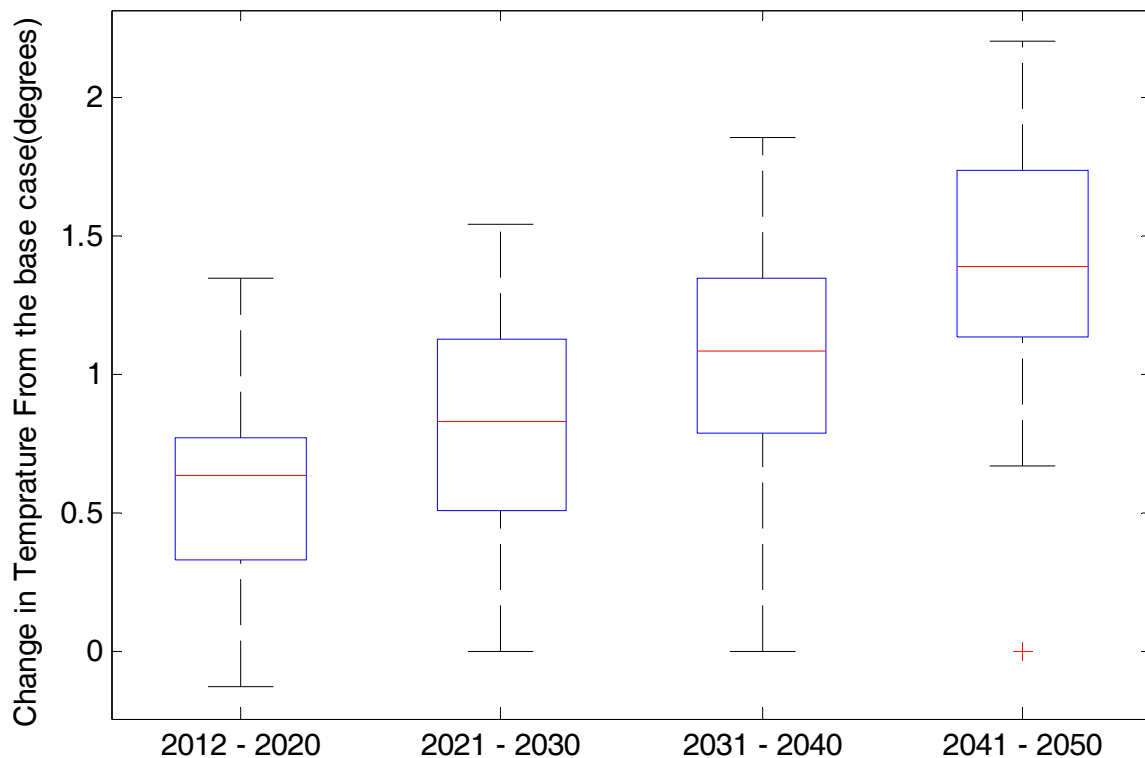


Figure 2-7: Average precipitation change for northern catchments

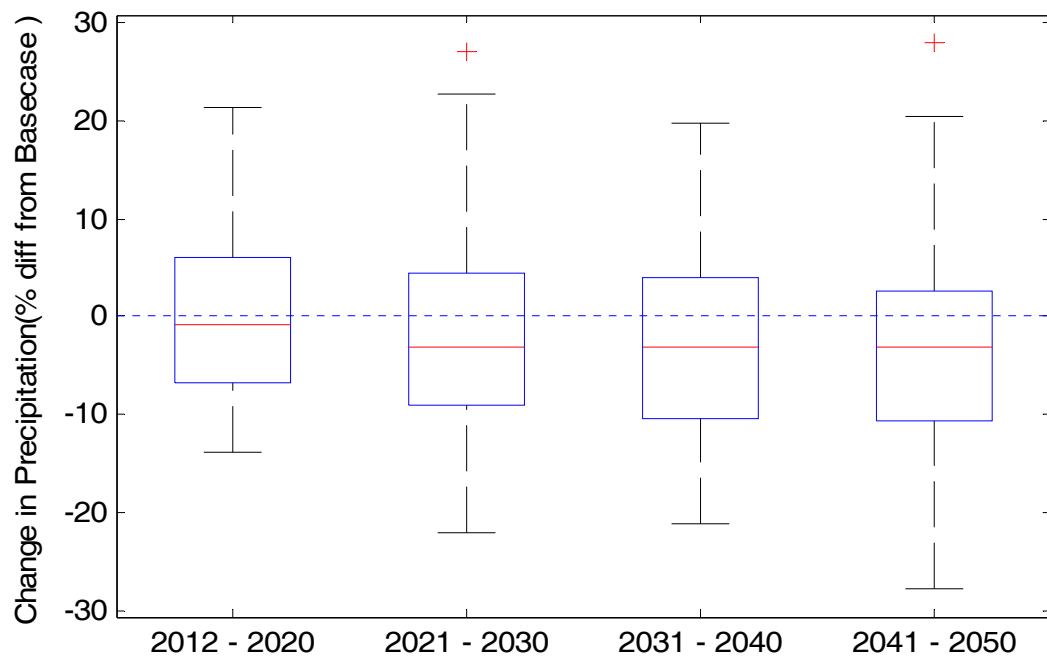


Figure 2-8: Average precipitation change for central catchments

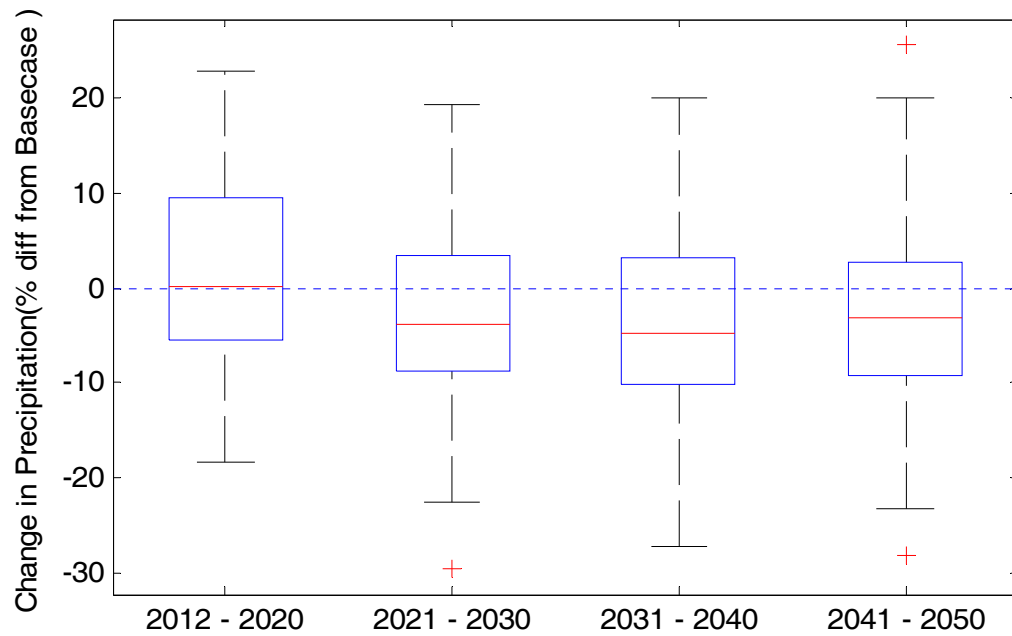
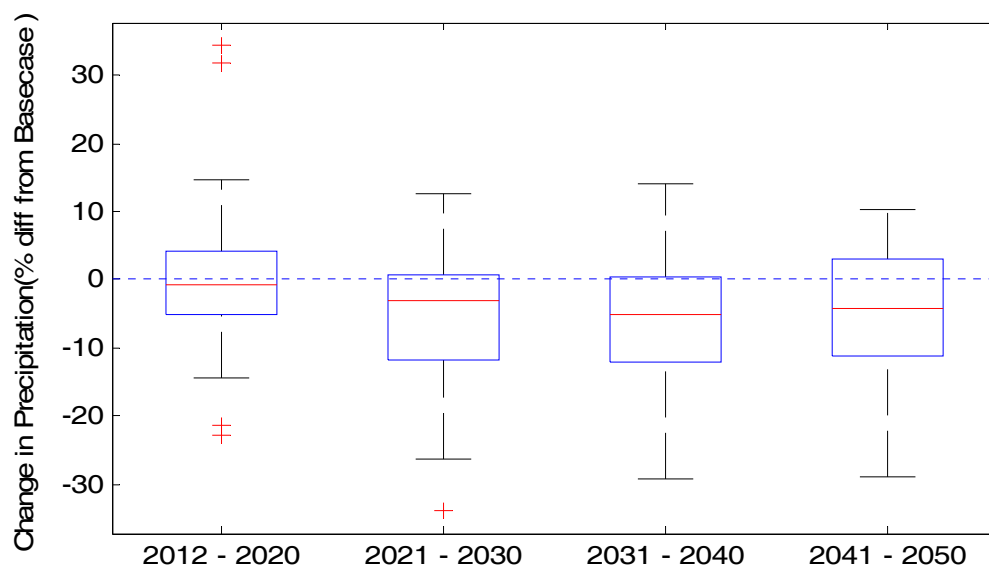


Figure 2-9: Average precipitation change for southern catchments



While GCMs are useful for forecasting trends in climate, they are less useful for predicting day to day weather variability. Following Yates and Strzepek (1998), Gleick (1991), Hulme (1989), and Arndt et al. (2011), this study make use of the ‘delta’ approach to derive future levels of precipitation and temperature. In this approach, GCM output of climatic variables, such as decadal anomalies for temperature and precipitation changes are imposed over historical observed meteorological data of the baseline period to construct climate change scenarios. This ‘delta’ approach is applied over the base case historical weather variables to generate future temperature and precipitation conditions.

Overall, the climate scenarios considered exhibit considerable variations across GCC/SRES scenario. This is particularly true for precipitation. Nevertheless, trends in temperature also vary by region and by decade. As the 56 future climates in focus here are all regarded as equally unlikely, the diversity in climate outcomes points to the desirability of considering all 56 possible climates rather than selecting only a few. This represents a step towards considering the more robust implications of climate change.

3. Agriculture: Impacts of Climate Change on Crop Yields and Irrigation Demand

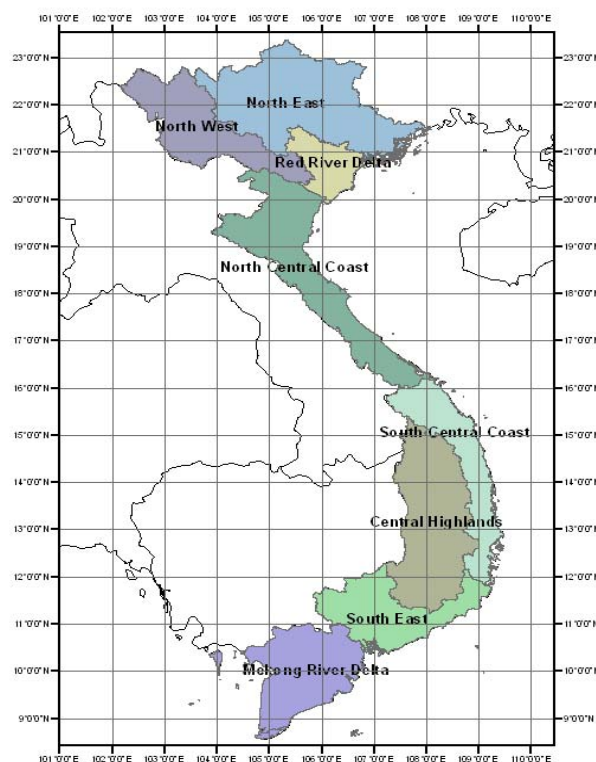
In 2005, agriculture and forestry accounted for about 16% of gross domestic product (GDP). About 60% of the workforce was engaged in agriculture, forestry, and fishing related activities. Changes in mean temperature, precipitation, soil moisture, and salinity all impact crop production, which can in turn impact Vietnam's macroeconomy.

Vietnam’s major cash crop is rice. Others include coffee, cotton, peanuts, rubber, sugarcane, and tea. For this study, paddy rice, coffee, rubber, sugarcane, tea, maize (to represent other annual crops), and cashews (to represent other perennial crops) were modelled to represent the agriculture sector. Vietnam was split into eight regions for the crop analysis: Central Highlands,

Mekong River Delta, North Central Coast, North East, North West, Red River Delta, South Central Coast, and South East.¹ Annual yield and irrigation demand was calculated for each of these regions. These regions are shown in Figure 3-1 below.

Other studies have predicted a range of possible impacts to crops in Vietnam, although all have concluded that the impact will be harmful. Zhai and Zhuang (2009) found that climate change is likely to have non-negligible negative effects on Southeast Asia's economic output. This study used results from Cline (2007), who predicted that the effects of climate change would decrease crop production by two to 15 percent by the 2080s. Cline applied a combination of a Ricardian-statistical approach with crop models to the mean of 6 IPCC climate General Circulation Models (GCMs). Yu et al. (2010) comes to the conclusion that rice production will be "severely compromised" by the effects of climate change. This study uses the WOFOST crop model (Van Diepen et al. 1989; Boogaard et al. 1998) linked with an empirical hydro-crop model (Thurlow et al. 2009) to assess the effects of precipitation and temperature on crops. These results are then linked to a hydrological model and a river basin model. Paddy rice production in the Mekong Delta is predicted to decrease 13% by 2050 due principally to sea level rise (Yu, et al. 2010). The study assumes a 30 cm rise by 2050. The study used the climate predictions of 3 GCMs (a wet, medium, and dry projection), including the effects of a 30 cm sea level rise by 2050, causing inundation and salt water intrusion.

Figure 3-1: Regions of Vietnam



Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

¹ This corresponds to the regional disaggregation of agriculture in the dynamic computable general equilibrium model described in section 7.

3.1. Methods

For this study, the CliCrop model (Strzepek and Fant 2009) was used. This model is an attempt to balance accuracy and simplicity with an emphasis on estimating the effects of the changing climate on irrigation demand and rain-fed crop production. CliCrop is a generic crop water deficit model used to calculate the effect of changing daily precipitation patterns on crop yields and irrigation water demand. The model was developed in response to the available crop models, which use monthly average rainfall and temperature to produce crop outputs. These monthly models do not capture the effects of changes in precipitation patterns, which greatly impact crop production. In contrast to the existing models, CliCrop is able to produce predicted changes in crop yields due to climate change for both rain-fed and irrigated agriculture, as well as changes in irrigation demand.

CliCrop was also developed to require a minimal input set, since most of the studies suitable for the CliCrop model have limited data available. The inputs into CliCrop are weather (temperature and precipitation), soil parameters (field capacity, wilting point, saturated hydraulic conductivity, and saturation capacity), and crop-specific parameters that describe crop behaviour.

The effects of climate on the crop yield are modelled indirectly in the soil layers through the extraction of soil moisture caused by evaporation and transpiration and the infiltration from precipitation into the soil layers. The model uses the soil properties and precipitation amount to calculate the infiltration using a version of the USDA Curve Number method (Bureau of Reclamation, 1993). The model then calculates the soil moisture in each soil layer, calculates the amount of moisture allowed to percolate into the deep soil layers, and calculates a yield coefficient at the end of the growing season.

Yield calculations are based on the ratio of actual evapotranspiration (ET) and PET. Five yield values are calculated; one for each of the four development stages, and one for the whole season. The least of the five, considered the limiting yield, is reported as the estimated yield value. Each Yield value is calculated using the equation below (Allen, et al. 1998).

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y^d \cdot \left(1 - \frac{ETC^d}{ETA^d}\right)$$
$$\%Yield^d = \frac{Y_a}{Y_m}$$

Where Y_a is the predicted actual yield, Y_m is the maximum yield; K_y^d is the yield coefficient for development stage d ; ETC^d is the sum of daily ET crop demand for development stage d ; ETA^d is the sum of daily actual ET for development stage d ; $\%Yield^d$ is the ratio of actual yield over maximum yield, the ‘Yield Factor’ reported by CliCrop (Allen, et al. 1998). Each year, once the yield is calculated, the yield is reduced if any waterlogging occurred during the growing season based on a method developed by Sieben (1974).

Actual ET is calculated as a function of precipitation, temperature, PET, soil moisture, root depth, crop type, and atmospheric CO_2 concentration. This calculation is done each day, for each soil layer. CliCrop uses the Modified Hargreaves equation to calculate PET (Hargreaves et al,

2003). Soil moisture is calculated using a bucket-type scheme similar to the method used in the SWAT model (Neitsch et al, 2005), details are given in Strzepek and Fant (2009). Crop specific parameters similar to the ones used in CROPWAT (Allen, et al. 1998) are used in this calculation, as well as in the calculation of the daily ET crop demand. The atmospheric CO₂ concentration affects the daily ET crop demand, which follows the methods explained in Rosenzweig and Iglesias (1998). The crop parameters are adjusted from year to year using methods developed by Allen, et al (1998) – adjusting crop ET demand - and Wahaj, Maraun, and Munoz (2007) - adjusting crop stage durations, which estimate the local crop's reaction to deviations from 'average' climate conditions.

In order to model the rice paddies, which are significant for Vietnam, some modifications had to be made to the original CliCrop model. During the paddy crop stages, rice paddies are completely submerged in water (which typically requires irrigation). In order to model this using CliCrop, the code was adjusted so that the soil remains at complete saturation during these paddy stages, as well as a certain depth of ponding on top of the soil. If precipitation is not enough to satisfy this condition, the model assumes the farmer will irrigate. For all irrigated crops, the difference between the amount of water required by the plant and the amount received due to precipitation is termed the water deficit.

For the purposes of this section, CliCrop-PaddyRice assumes there is sufficient water available via irrigation. This assumption results in high yields and high levels of irrigation demand. In the water resources section, irrigation demand will be compared to irrigation supply. If demand exceeds supply, the farmer will need to leave some of the field fallow, partially irrigate, or leave some of the rice paddies rain-fed. Whatever the farmer decides in this case, paddy rice production will decrease. This type of production decrease is not shown in the Yield Factor produced by CliCrop shown in this section but is presented in section 4 captured in the economywide analysis presented in section 7.

The model was calibrated with daily weather data originally sourced from the Land Surface Hydrology Research Group at Princeton University (Sheffield, et al., 2006). This data is at a scale of 1-degree by 1-degree. For this reason, CliCrop was run for each 1-degree by 1-degree grid in Vietnam (See Figure 4-1 for grid size). All required soil parameters were derived from the FAO Soils Database (Batjes, 2002). Generic crop-specific parameters were used, which can be found in the CROPWAT and AquaCrop model input files, publicly available on the FAO website (fao.org). Future climate inputs are as described in section 2.

3.2. Results

3.2.1. Baseline Scenario

Table 3-1 shows the average yield factor for the baseline scenario for the regions and crops used in this study. These yield factors represent a fraction, where 1 is perfect yield (the plant reaches its full yield potential) and 0 is no yield. The reductions in yield (any value less than 1) are caused by water stresses predicted by the CliCrop model. As indicated, for paddy rice (PR), an irrigated version of the CliCrop model was used, meaning that water stresses on the crop are minimal (resulting in relatively high yield factors). Changes in water deficit and sea level rise will also affect rice production. Paddy rice was run for three growing seasons: main season, planting

between May and August; summer-autumn, planting between April and June; and Winter-spring, planting between December and February (Maclean, et al., 2002).

The annual average water deficit is shown in Table 3-2. Each of the water deficit values is dependent on the length of the growing season cycle. For example, sugarcane is grown all year, so the total irrigation demand (in mm/year) represents the sum of the water deficit for the whole year. Alternatively, horticulture has an average growing cycle of 95 days, so these values for horticulture represent the sum over about 95 days. For maize (used as a proxy for Annual Crops), the length of the crop cycle is 135 days; for rubber, 190 days; for coffee, 190 days; for tea, 265 days; for pistachios (used for Perennial Crops), full year; and for paddy rice (PR), 165 days.

Table 3-1: Average Yield Factor for the Base Scenario for Vietnam

Region	Sugarcane	Ann. Crops	Rubber	Coffee	Tea	Per. Crops	PR Main	PR Sum-Aut	PR Win-Spr
North East	0.43	0.76	0.84	0.64	0.71	0.72	0.96	0.95	0.96
North West	0.39	0.97	0.66	0.47	0.68	0.74	0.99	0.84	0.88
Red River Delta	0.41	0.79	0.68	0.52	0.68	0.63	0.98	0.85	0.95
North Central Coast	0.44	0.90	0.66	0.47	0.65	0.69	0.92	0.80	0.83
South Central Coast	0.38	0.71	0.74	0.56	0.68	0.65	0.99	0.90	0.96
Central Highlands	0.40	0.88	0.80	0.57	0.72	0.71	0.98	0.92	0.93
South East	0.37	0.91	0.62	0.47	0.67	0.64	0.99	0.82	0.90
Mekong River Delta	0.39	0.68	0.80	0.63	0.66	0.69	0.97	0.95	0.96

Table 3-2: Average Water Deficit (mm/cycle) for the Base Scenario for Vietnam

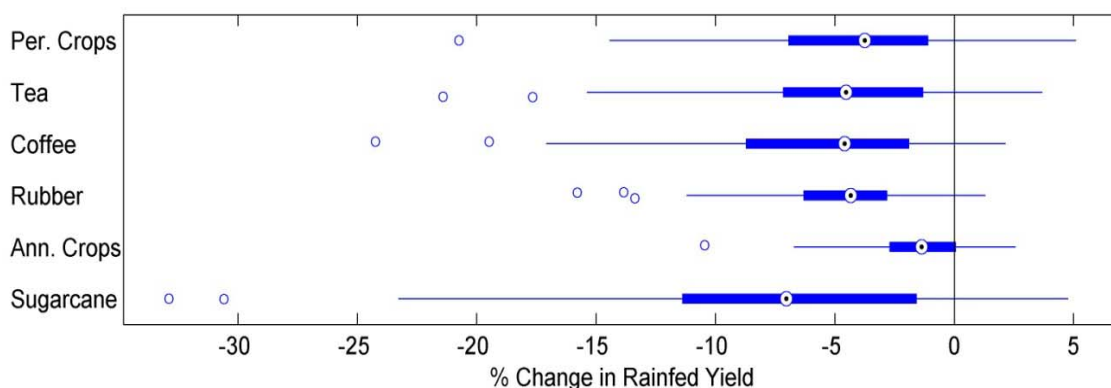
Region	Sugarcane	Ann. Crops	Rubber	Coffee	Tea	Per. Crops	PR Main	PR Sum-Aut	PR Win-Spr
North East	554	113	114	254	239	119	927	1016	984
North West	567	113	126	349	198	155	918	1102	1127
Red River Delta	465	84	85	217	178	99	862	950	884
North Central Coast	493	44	95	313	161	119	896	1042	1092
South Central Coast	534	64	162	395	234	173	877	1040	1058
Central Highlands	568	27	139	446	203	154	746	998	1107
South East	551	7	110	446	171	91	564	880	989
Mekong River Delta	447	3	87	392	137	81	451	723	834

3.2.2. Future Scenarios

3.2.2.1. Yield Factors

The changes in the yield factors for the 7 crops are illustrated using the box and whisker plot technique in a manner similar to the figures showing the predicted climate changes in section 2. Each box and whisker plot represents the PDF of the projections of the 56 GCM-scenario pairs. Figure 3-2 shows the changes in yield factor predicted by CliCrop averaged over Vietnam.

Figure 3-2: Changes in Yield Factor from Baseline to the 2041-2050 Mean for Vietnam



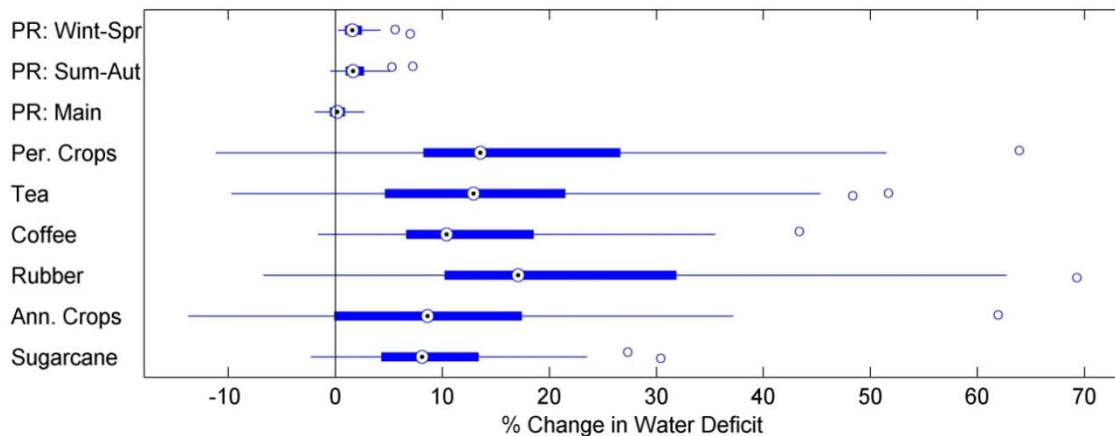
As this plot shows, the yield results tend to vary for the different crops, although most of the GCM-SRES climate projections predict a yield decrease for all crops. The variations shown across the different crops are likely based on two primary input categories. First, the weather affecting the crop is dependent on the length of the growing season and the months on which the growing season falls. The future climate projections used in this study predict climate changes that are seasonal. For example, some of the GCMs might predict that precipitation will increase in the winter months but decrease in the summer months. Second, each crop undergoes four growing seasons in CliCrop, which could be more or less important for the resulting yield, depending on the crop-specific parameters.

As discussed previously, the yield results for paddy rice are not an accurate indicator of the climate effects on yield, since CliCrop-PaddyRice is an 'irrigated' water deficit crop model. Alternatively, the changes in irrigation demand for paddy rice (described on the following pages) is a useful indicator of the effects of a changing climate.

3.2.2.2. Water Deficit

The following figure shows the changes in water deficit (an indicator for changes in irrigation demand) for the 7 crops using the box and whisker plot technique. Again, the box and whisker plot represents the PDF of the projections of the 56 GCM-scenario pairs. Figure 3-3 shows the predicted changes in irrigation demand from the baseline scenario to the 2041-2050 mean from the CliCrop results averaged over Vietnam.

**Figure 3-3: Changes in Irrigation Demand from Baseline to the 2041-2050
Mean for Vietnam**



Like the changes in yield, the irrigation demand changes are dependent on a number of parameters. As an indicator, irrigation demand tends to have a stronger correlation to changes in climate because the yields are calculated using the ‘limiting yield’ approach. In the limiting yield approach (described briefly in Section 2.1) the stage with the least yield factor is output as the actual yield factor. This means that the yield factor is only directly dependent on the crop stage that results in the least yield. On the other hand, the water deficit values are the sum of crop water demand (the amount of water the crop needs to yield the theoretical maximum) subtracted by the actual ET (the amount of water the crop received) on a daily basis. So the irrigation demand indicator is sensitive to the climate during the entire crop cycle, while the yield factor could be showing a seasonal change in climate.

As shown, the results from this study suggest that irrigation demand will mostly increase over Vietnam, with only a few exceptions. This is caused by the predicted decrease in soil moisture (decrease in CMI and increase in PET), which causes an increase in water deficit.

3.2.2.3. Sea Level Rise and Other Impacts on Crop Production

Since CliCrop is a 1-dimensional crop water stress model, the impacts of sea level rise, increased floods, and other phenomena that are not related to changes in on-site precipitation and temperature are not taken into account in this section. Sea level rise and more frequent storm surge caused by climate change would significantly increase salinization in low lying farms along the coast. If this occurs, many crops will experience reduced yields. Since paddy rice is typically grown in these areas, rice production is particularly vulnerable to salinization caused by sea level rise and storm surge.

3.3. Conclusions

With the GCMs predicting temperatures rising, small changes in precipitation (for most future climates), and decreases in soil moisture, the people of Vietnam should be prepared for more unfavourable climate conditions for crop production. Furthermore, the results of this study seem to suggest that agricultural yields will likely decrease by 2050 for all of the crops considered. These results also indicate that irrigation demand will increase more dramatically than

the predicted yield decrease, causing a greater need for readily available irrigation water. As this study is a general study for the country using global datasets, and agricultural production is a highly complex process, a more detailed crop impact study is suggested before specific adaptation decisions are made.

Considering the fairly large variation in predicted future climates for Vietnam (causing the large variation in the yield and irrigation demand results), planners should be prepared for more severe extremes. Options for developing more water efficiency and storage capacity should be considered. Also, in terms of crop production, traditional agricultural methods should be reconsidered. The possibility of a shift in seasonal precipitation and temperature might be cause for encouraging farmers to adapt by changing the planting and harvest seasons accordingly. Crop genotypes more resistant to higher temperatures, water deficit stresses, and excess water stresses should also be considered.

4. Water Resources Including Hydropower

Future climate change and variability will cause changes in temperature, precipitation patterns, and snowmelt thus altering the hydrologic cycle, global circulation patterns, and local weather patterns. As these alterations change water availability, quality, and stream flow, it will have a direct impact on water resources and freshwater ecosystems. This, in turn, will affect the function and operation of existing water infrastructure as well as water management practices.

Due to the complex interactions of climatic variables with the hydrologic cycle, together with the uncertainty involved in regional projections of how precipitation may change, assessment of the impact of climate change on water availability and stream flow remains a challenging issue. Assessing potential climatic change impacts on stream flow has been attempted in different studies applied to global sub-basins (Yates and Strzepek, 1998; Gleick 1991; Hulme 1989). For this analysis, the CLIRUN-II model is used to simulate the hydrologic process and predict corresponding runoff from the catchments for each scenario generated. The analysis also considers irrigation water availability and hydropower generating capacity. Water resource assessment is conducted using the WEAP model to analyze impacts on irrigation water availability and hydropower energy generation for the time span of 2011 to 2050. The assessment includes current hydropower in the sub-basins and future planned hydropower development.

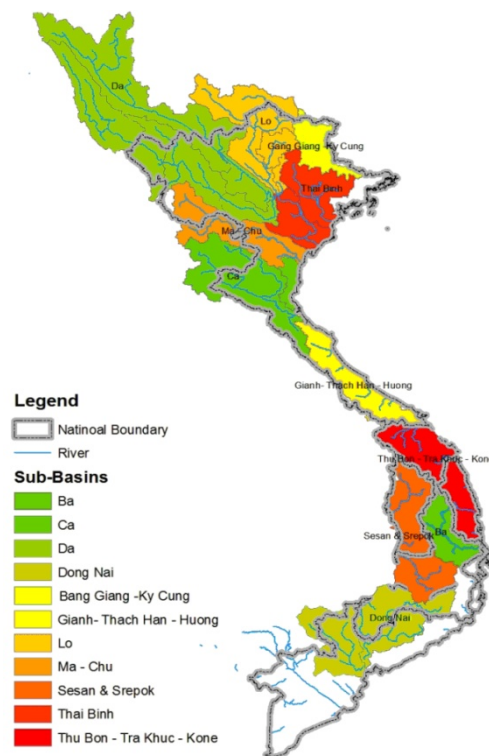
4.1. Hydrology and Catchment Overview

4.1.1. Sub-Basin Classification

A Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) global Digital Elevation Model (DEM) of 90 meters resolution was used to delineate the catchment boundaries and derive drainage networks. A total of 22 sub-basins, areas ranging from 1,500 to 45,000 km², were identified based on United States Geologic Survey (USGS) Level 4 classification. Figure 4-1 shows the sub-basin classification used in this analysis. Some of the catchments are trans-boundary, for example the Da and Low river basins. For these sub-basins, the upstream portion of area that extends into China is also included in the analysis.

Northern Vietnam belongs to the Red River System Basin containing the Da, Thai Binh, Lo, and Cu sub-basins, with a total area of 210,380 square km. This basin contains some of the existing large reservoirs, as well as those under construction, such as Hoa Binh and Son La. The central catchment is the coastal sub region, a very narrow land strip between mountains and sea. It is composed of many small, separate basins which are aggregated into larger catchments for this analysis. The lower part includes the Dong Nai and Sesan sub-basins, but excludes the lower part of the Mekong's river basin and the Cuu Long sub-basin due to Lack of data. The areas of sub-basins included in this analysis are summarized in Table 4-1.

Figure 4-1: Level 4 sub-basin classification delineated from STRM global DEM data 90 meter resolution



Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

4.1.2. Precipitation

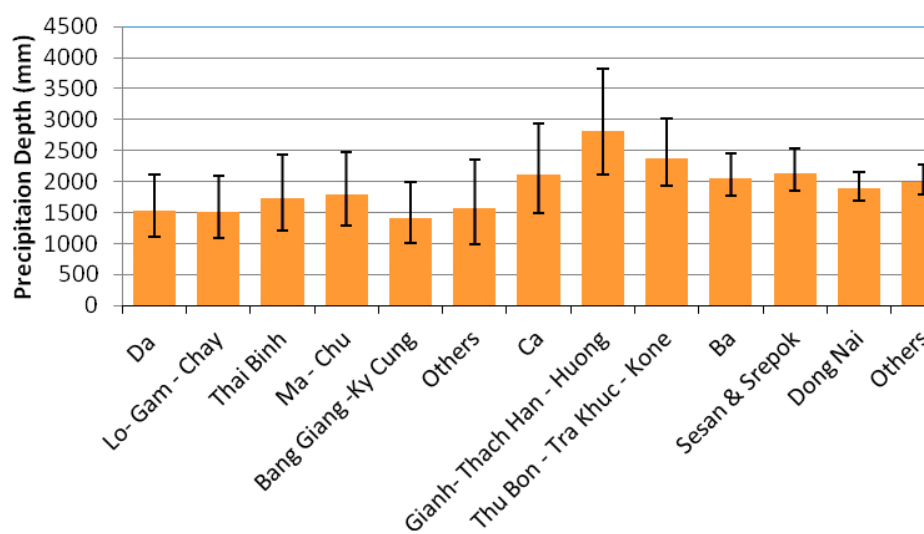
Temperature and precipitation data are obtained from the Climatic Research Unit's² CRU Global Climate Dataset, available through the IPCC DDC. A historical monthly precipitation data set for global land areas from 1901 to 2000 gridded at two different resolutions (2.5 degrees latitude by 3.75 degrees longitude and 5 degrees latitude/longitude) has been constructed and is available for use in scientific research (Hulme 1994, Hulme, Osborn, and Johns 1998). The 5 degree dataset was downloaded and aggregated over the 22 sub-basins to derive a precipitation time series for each sub-basin selected for this analysis for the base case historical precipitation scenario.

² gu23wld0098.dat' (Version 1.0) constructed and supplied by Dr Mike Hulme at the Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich, UK. This work has been supported by the UK Department of the Environment, Transport and the Regions (Contract EPG 1/1/48)."

Table 4-1: Sub-basin classification and areas

Location	Sub-basin	Area (Square Km)	Total (Square Km)
Northern Catchments	Da	104,568	210,380
	Lo - Gam - Chay	34,423	
	Thai Binh	27,323	
	Ma - Chu	24,184	
	Bang Giang -Ky Cung	11,849	
	Others	8,034	
Central Catchments	Ca	37,718	84,053
	Gianh - Thach Han - Huong	20,101	
	Thu Bon - Tra Khuc - Kone	26,233	
Southern Catchments	Ba	13,469	105,302
	Sesan & Serepok	30,143	
	Dong Nai	42,215	
	Others	19,474	
Total			399,735

The average annual precipitation for the northern sub-basins is about 1588 mm, where the highest is in the Ma Chu sub-basin, with a value of 1785 mm. The Central and the southern sub-basins have relatively higher rainfall, with average annual values of 2431 mm and 2019 mm, respectively. The spatial distribution of annual rainfall is shown in Figure 4-2.

Figure 4-2: Annual Rainfall for Major Sub-basin

The average, minimum, and maximum monthly rainfall patterns over the historical years 1901 to 2000 for representative catchments in the north, central, and southern Vietnam are provided in Figure 4-3, Figure 4-4, and Figure 4-5 respectively.

Figure 4-3: Monthly rainfall pattern for northern sub-basins

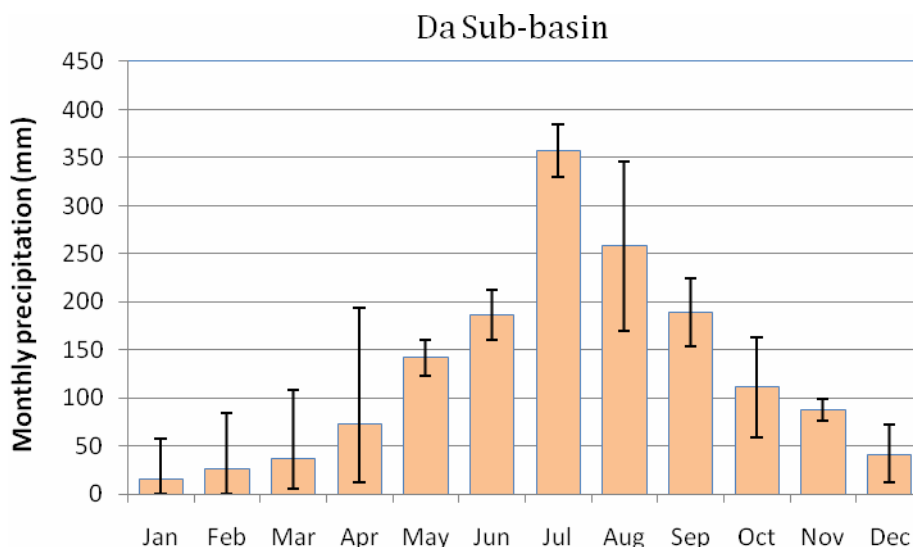


Figure 4-4: Monthly rainfall pattern for central sub-basins

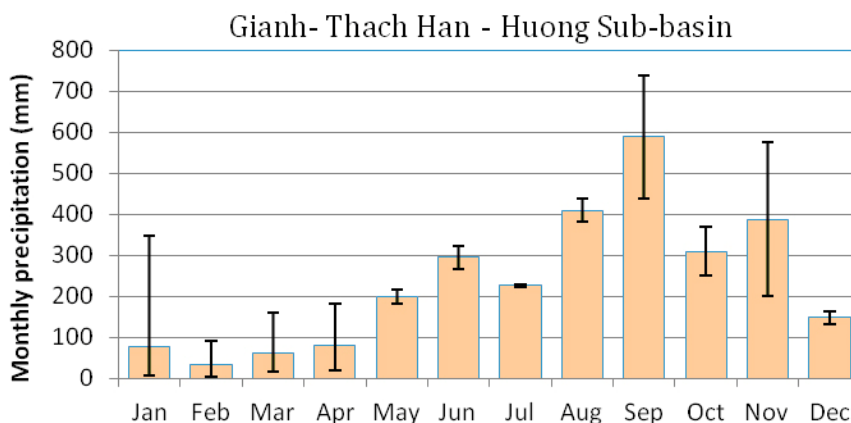
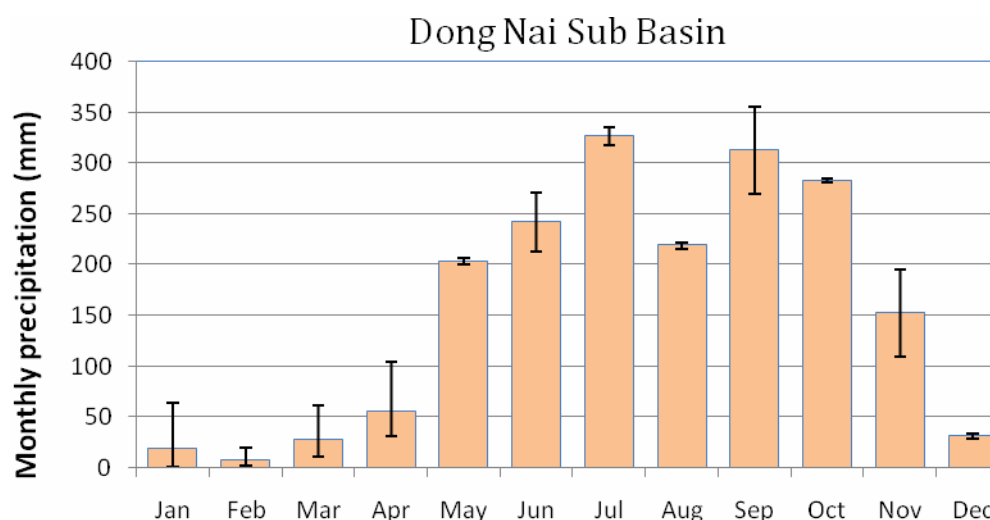


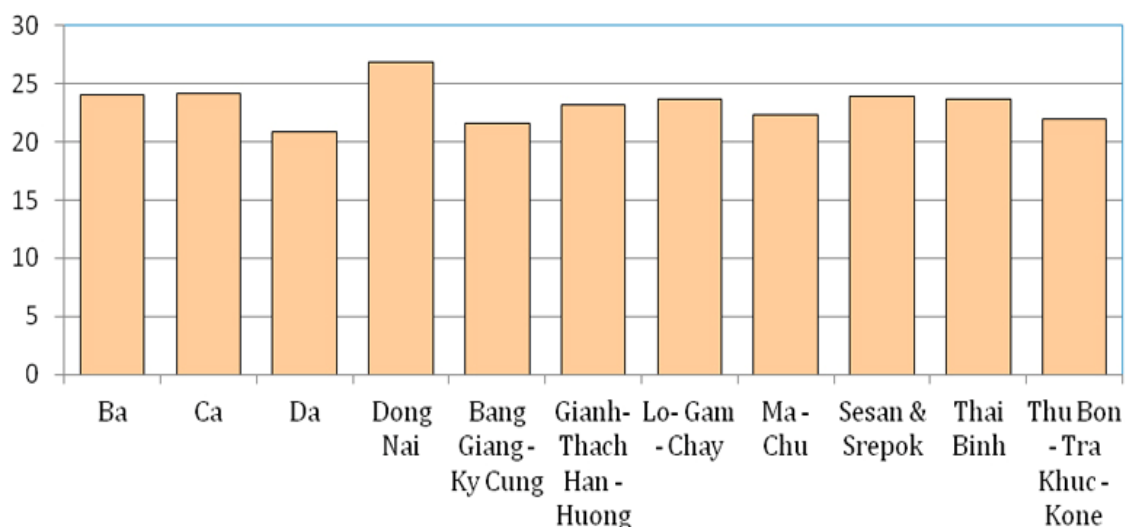
Figure 4-5: Monthly rainfall pattern for southern sub-basins



4.1.3. Temperature

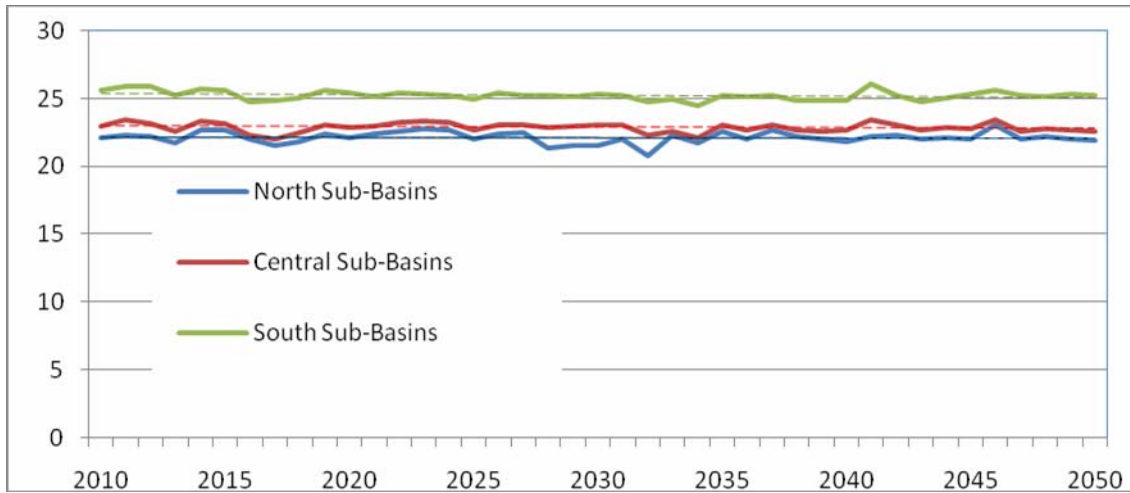
Temperature data is also obtained from the Climatic Research Unit for the historical time period of 1901 to 2000. The gridded dataset is aggregated for the sub-basins. The annual temperature distribution is fairly uniform across the sub-basins (see Figure 4-6), with an average temperature value of 23.3 degrees Celsius. Although there is a slight trend in the rise of temperature, it can be assumed to have stayed uniform. According to the data, temperature has only risen about 0.3 degrees in the past 100 years in Vietnam.

Figure 4-6: Spatial distribution of temperature in degrees Celsius



The historical temperature pattern used for the base case scenario - “No climate change”, for the years 2011 - 2050 is shown in Figure 4-7.

Figure 4-7: Historical temperature pattern projected forward to 2050



4.1.4. Historical Runoff

Runoff data was obtained from the Vietnam Institute of Hydrology, Meteorology, and Environment for the Red River, Thai Binh, and Dong Nai sub-basins. This monthly runoff dataset for the northern sub-basins was obtained for 19 locations covering the time from 1971 to 2005. For the Dong Nai sub-basin, data was obtained for 23 small catchments covering the same time span. In addition to that, gridded monthly average runoff data of 0.5 degrees by 0.5 degrees was obtained from a global runoff database generated by the Global Runoff Data Centre (GRDC). This gridded dataset was aggregated to the 22 sub-basins identified.

4.2. Modelling Surface Runoff - CLIRUN

4.2.1. Methodology

Surface water runoff was modelled with the rainfall-runoff model CLIRUN-II, the latest model in a family of hydrologic models developed specifically for the analysis of the impact of climate change on runoff (Strzepek et al. 2008). CLIRUN-II models runoff as a lumped watershed with climate inputs and soil characteristics averaged over the watershed, simulating runoff at a gauged location at the mouth of the catchment. For this analysis, monthly time step is used to simulate the runoff from weather variables.

CLIRUN-II has simulation and calibration modules. A calibration procedure is used to determine the coefficient values that are specific to the catchment under consideration. Table 4-2 illustrates these calibrated coefficients. Based on observed historical data, the model was first calibrated using 100 years of data covering 1900 to 2000 for each of the selected 22 basins. The calibration procedure gave rise to best estimated values of coefficients for each sub-basin under the preset calibration goal.

Table 4-2: CLIRUN-II model parameters

Model Parameters
Intercept Coefficient
High Temperature Threshold
Low Temperature Threshold
Saturation Value
Lower Layer Thickness
Upper Layer Runoff Coefficient
Lower Layer Runoff Coefficient
Percolation Coefficient
Excess Precipitation Runoff Coefficient

In this analysis, two calibration steps were used based on the two sources of stream flow data available. For the Red River basin and Dong Nai sub-basin, observed stream flow data was available from the Vietnam Institute of Hydrology, Meteorology, and Environment. For the remaining sub-basins, however, GRDC runoff data was the only available source of historical runoff data. Consequently, the Red River basin and Dong Nai sub-basin were calibrated using both datasets. However, the remaining catchments were only calibrated using the monthly average runoff data from GRDC.

After the calibration procedure was finished, the resulting modelled runoff was also checked for any unrealistic runoff by looking at minimum and maximum values. The coefficients obtained as a result of this calibration procedure are then fed to the simulation module to generate runoff corresponding to the climate change scenarios.

4.2.2. Calibration from Observed Stream flow Data and GRDC Runoffs

Out of the 22 level-4 sub-basins, it was possible to obtain reliable runoff data from The Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology, and Environment (IMHEN) for eight of these sub-basins. The data spans the years 1971 through 2005 for the northern Vietnamese basins Nam Na, Da, Thaom, Gam, and Pho Day. Within the Red River and Thai Binh River basins at sub-basin outlets, data for two more runoff stations were available in the southern sub-basins in the Dang Nai catchment. In total, we were able to obtain observed runoff data for 10 out of the 22 sub-basins. These 10 sub-basins were calibrated both on observed stream flow data and GRDC global runoff data; the best parameters were selected based on R^2 and model error (the difference between observed and simulated outcomes). Results of the calibration are indicated in Table 4-3.

Table 4-3: Calibration result of catchments with observed stream flow stations

Catchment	Model Error	R-squared
NamNa - 6	-0.012	65.21%
Da- 7	-0.027	83.01%
Da- 8	-0.027	57.01%
Thao - 9	-0.024	76.07%
Thao -10	0.001	79.55%
Gam- 11	-0.012	80.01%
Pho Day - 21	-0.377	9.48%
Lo- 22	-0.034	79.36%

4.2.3. Calibration from GRDC datasets

The majority of the catchments exhibited a good fit between the observed and simulated runoffs. The observed and simulated monthly average runoffs are shown for the Da, Lo, and Dong Nai Sub-basin catchments shown in Figure 4-8. Table 4-4 presents the outputs obtained from calibration based on the GRDC datasets.

Figure 4-8: Historical observed and Clirun-II simulation results

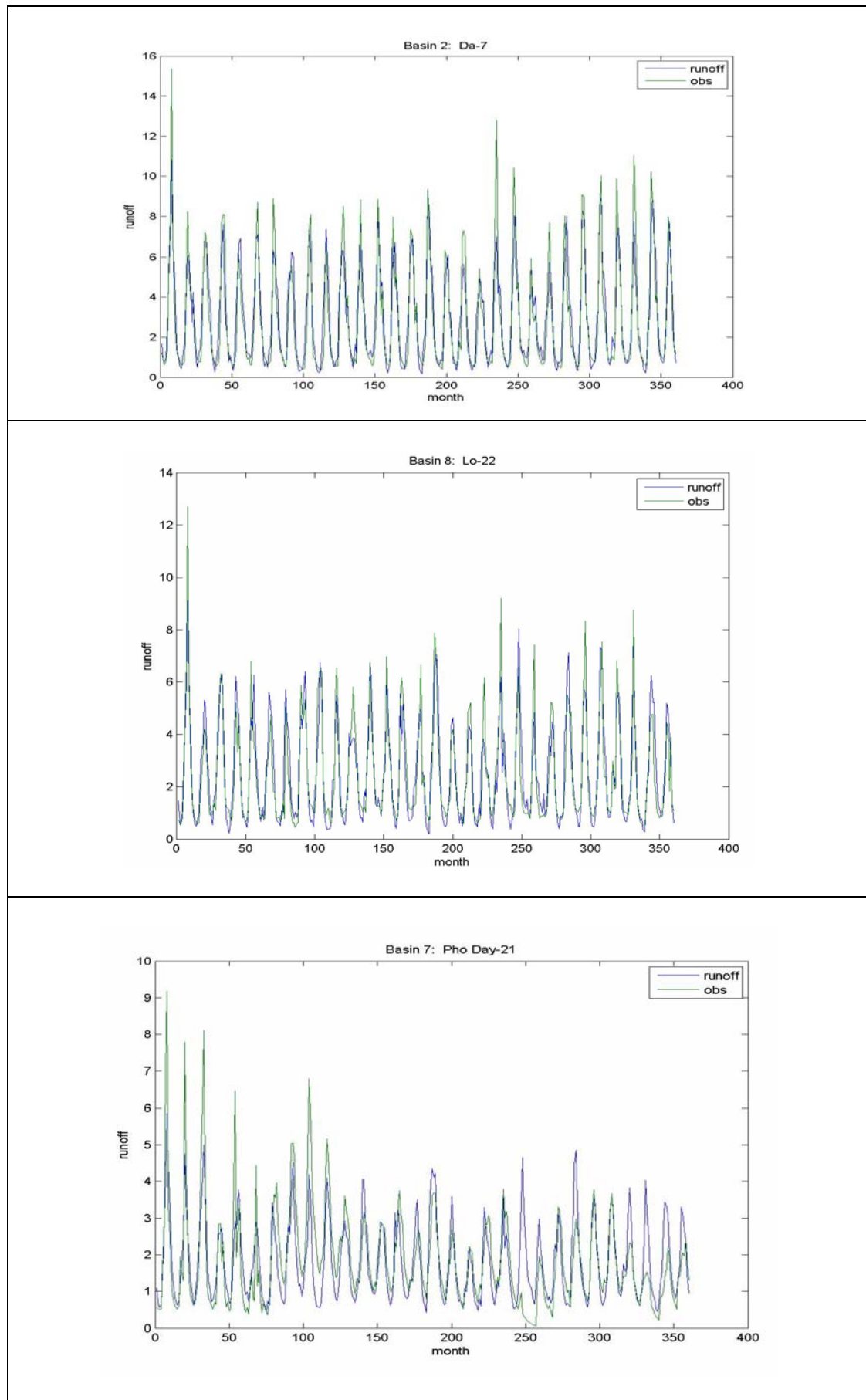


Table 4-4: Runoff model calibration based on GRDC datasets

Catchment Id	Model Error	R2	Catchment Id	Model Error	R2
1	-0.037	94.69%	12	0.000	87.88%
Thai Binh- 2	-0.175	76.24%	Thu Bon	0.083	66.27%
Bang Giang	0.065	91.98%	Dong Nai-14	0.069	89.60%
Sesan & Serepok	0.006	75.20%	Dong Nai- 15	-0.002	93.55%
Thai Binh- 5	-0.105	83.67%	Ma -Chu	-0.015	92.67%
Da (NamNa)	-0.108	82.07%	Ca-17	-0.154	63.46%
Da- 7	-0.009	94.79%	Ca-18	-0.093	82.81%
Da- 8	0.094	88.36%	Gianh- Thach Han - 19	-0.046	86.21%
Thao - 9	-0.047	92.94%	Ba-20	0.022	49.64%
Thao -10	0.003	95.03%	Pho Day - 21	-0.103	76.43%
Gam- 11	-0.012	94.63%	Lo- 22	-0.039	95.18%

4.2.4. Climate change impacts on runoff

Monthly national average runoff for the baseline (1950 - 2000) was used to calculate a percent change in runoff for each basin and each of the 56 climate projections. Box plots of the runoff from all the climate change scenarios are shown in Figure 4-9. Results indicated that the dry season national runoff will generally be reduced, and the wet season peak will be higher than in the base case scenario.

The highest annual runoff, with 20% higher than the base case, and the lowest national annual runoff, 16% lower than the base case, are obtained for GISS GCM eh A1 and UKOM HADGEM B1 scenarios, respectively. Comparison of the results, averaged over 2041 through 2050, is provided in Figure 4-10. Overall, at the national level, the seasonality of runoff and the levels tend not to move dramatically by the 2040s.

Figure 4-9: Monthly average runoff comparison of base case and all the 56 GCM runoff output (2041-2050)

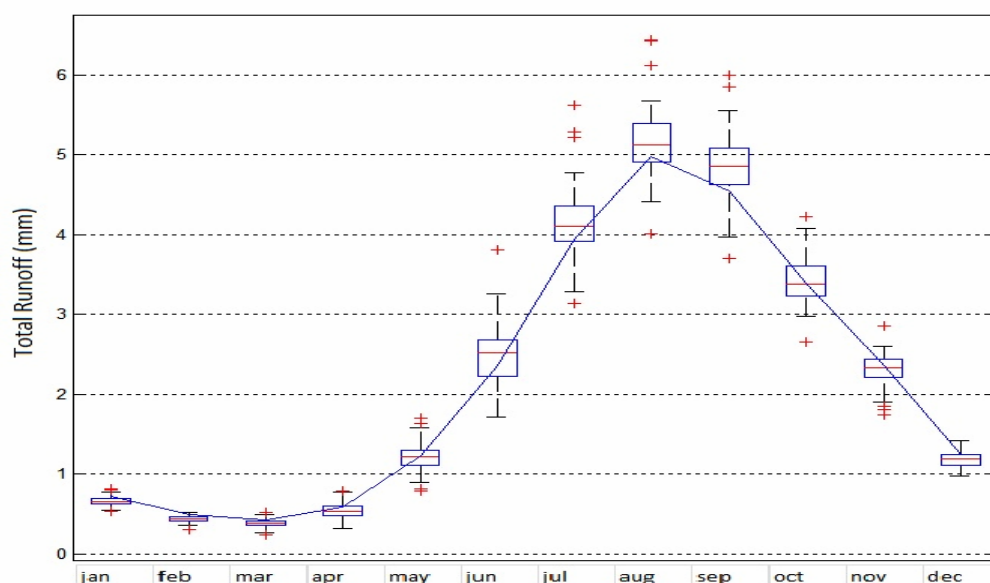
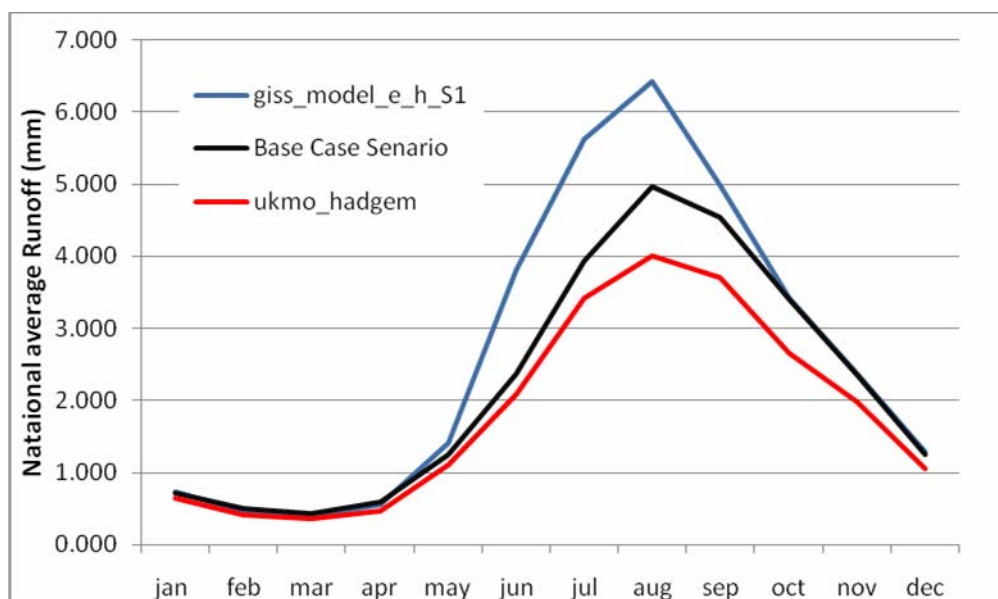
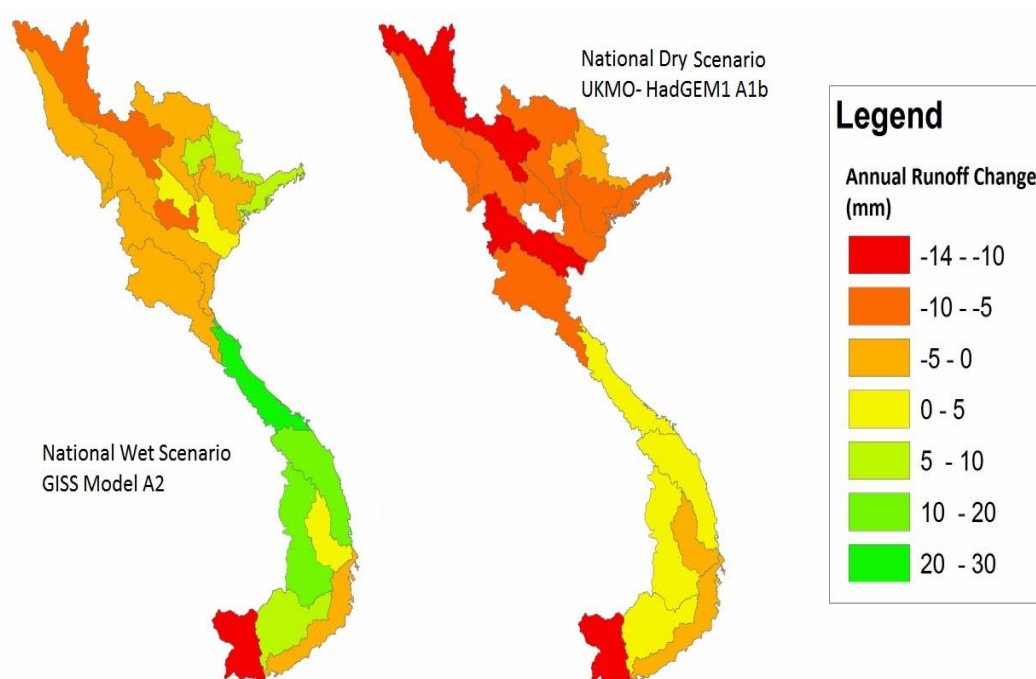


Figure 4-10: Monthly runoff comparison of base case against highest and lowest national annual runoff results of CLIRUN



Even though some of the models have shown higher national average runoff than in the baseline scenario, not all sub-basins are affected equally. On the contrary, the runoff from most of the GCMs shows a decrease in runoff for the sub-basins in the northern part of Vietnam, mainly the Red River basin. For the central and some of the southern sub-basins, however, the runoff has shown to increase in most of the cases. Figure 4-11 shows the spatial distribution of change of runoff for GCMs resulting in national highest and lowest runoffs, and in both cases it shows a pattern of decreasing runoff in the northern sub-basins.

Figure 4-11: Spatial comparison of runoff result for dry and wet scenarios



Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

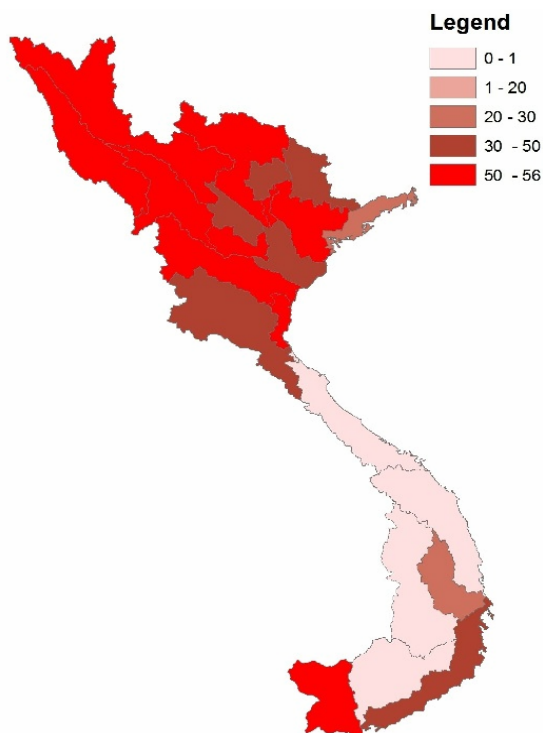
For comparison purpose, the top three CGM models resulting in the highest runoff and the bottom three GCMs giving the lowest runoff by region are shown in Table 4-5. Ukmo_hadgem1 A1B shows a decrease in runoff in all the sub-basins. On the other hand, Cccma cgcm31 A1B shows increases in central and southern sub-basins, but a decrease in the Red River sub-basin.

Table 4-5: Top three GCM model for highest and lowest runoff by region

GCM	Sub-Basins		
	Northern	Central	Southern
Ukmo_hadgem1 A1B	-15%	-14%	-16%
Ipsl cm4 A1B	-10%	8%	6%
Cnrm cm3_A1B	-9%	3%	6%
Giss model er A1	-2%	5%	8%
Giss model er A1B.	-5%	16%	9%
Cccma cgcm31 A1B	-6%	21%	15%

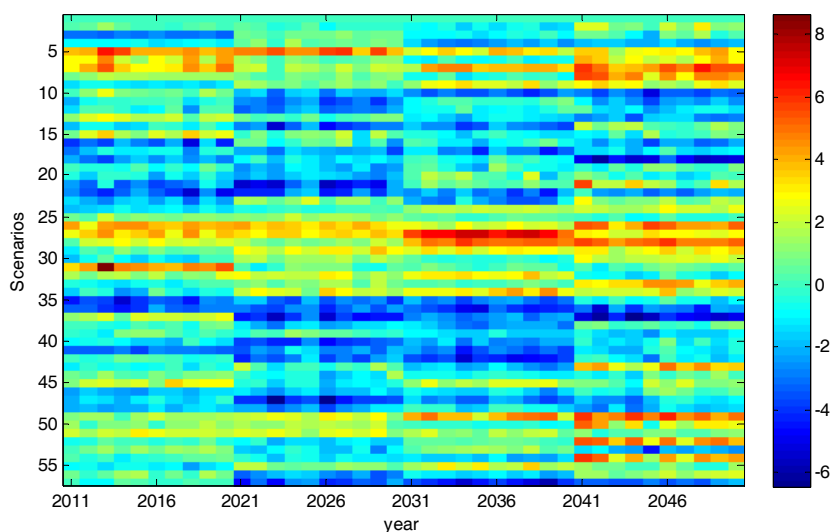
Figure 4-12 reports the number of times less runoff than the Base case is obtained during the 2040s. This figure strongly reinforces the picture of drying in the north. Figure 4-13 is a complicated figure that provides an indication of the change in runoff relative to the base case by year and by GCM.

Figure 4-12: Number of times less runoff than the Base case is obtained



Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

Figure 4-13: Annual Average Runoff Difference from the base case (millimeters)



4.3. Water Resources Analysis: WEAP Model

4.3.1. Methodology and System Modelling

The Water Evaluation And Planning (WEAP) system is a Windows-based decision support system for integrated water resources management and policy analysis. WEAP is a model-building tool, used to create simulations of water demand, supply, runoff, evapotranspiration, infiltration, crop irrigation requirements, instream flow requirements, ecosystem services, groundwater and surface storage, reservoir operations, and pollution generation, treatment, discharge, and in-stream water quality, all under scenarios of varying policy, hydrology, climate, land use, technology, and socio-economic factors.

In this analysis, this model is employed to evaluate the impact of changing runoff and irrigation water demand on the competing demands of water management; growing municipal and industrial (M&I), hydropower, and irrigation water use. Hydropower energy generation and the percentage of unmet consumptive demand are two of the main indicators used for impact assessment on resource utilization.

Normally, the WEAP model is applied by configuring the system to simulate a base-case scenario (i.e., no climate change) for which the resource availability and demands are already determined. The model is then used to simulate plausible futures scenarios. Historical monthly runoff data spanning 40 years (1951 -1991) (described in section 3.5) with no climate change is used for the base case scenario. The alternative scenarios are based on the runoff generated corresponding to the 56 GCMs modelled using CLIRUN-II, as described in section 3, and irrigation water requirement outputs computed using CLICROP for the corresponding GCM models.

Schematics of existing and planned water resource development options for the northern catchments, the Red and Thai Binh River basins, and the southern sub-basin, mainly Dong Nai, are provided by the Vietnam Institute of Hydrology, Meteorology, and Environment.

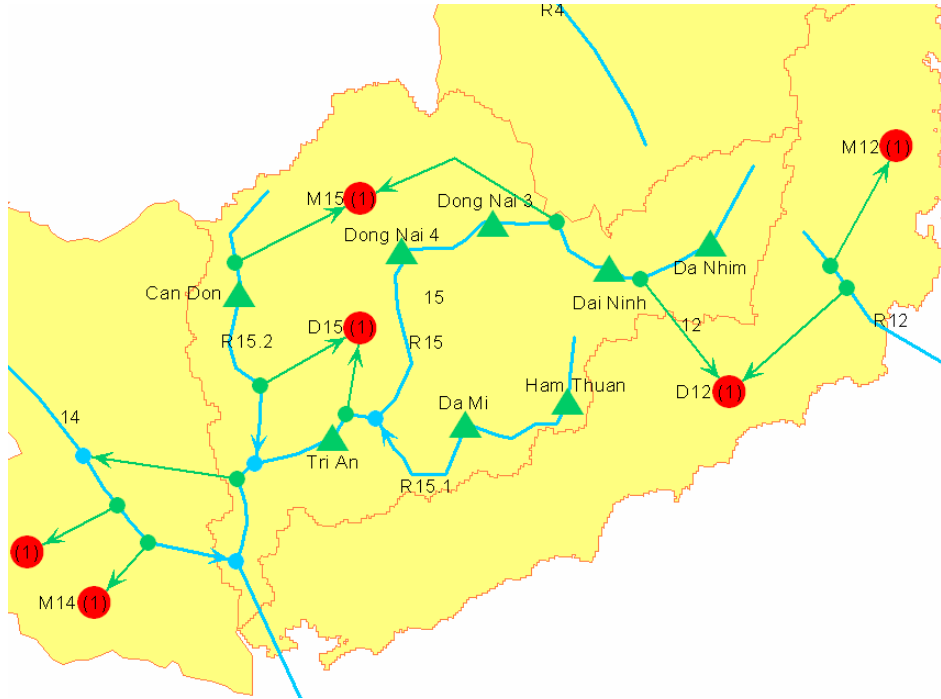
4.3.2. Assumptions and Simplifications

Irrigation Demand: The simplification involved in representing water supply points for irrigation demand is that water transmission links only connect demand sites and rivers within the same sub-basin. This configuration doesn't consider transfers between sub-basins, and thus special consideration is made for the following cases:

- The link between the Hong and Thai Binh sub-basins, transferring approximately 1/3 of the flow from the Red River before Hanoi.
- Duong River: Transfer from Dong Nai sub-basin to the Dong Thap Muoi catchment.

Since irrigated area could to be distributed over the sub-basin, multiple locations of demand nodes of water extraction for irrigation demand are considered within the same sub-basin. This would simulate the effect of water extraction at different locations in a single sub-basin. This allows the model to allocate the available water in the best possible combination of water extraction. For, illustration schematization of the Dong Nai sub-basin is shown in Figure 4-14.

Figure 4-14: Dong Nai Sub-basin WEAP schematization



With respect to hydropower calculations, WEAP computes hydropower generation from the flow passing through the turbine, based on the reservoir release constrained by the turbine's maximum flow capacity. For river reservoirs, WEAP assumes all water released downstream is sent through the turbines, but water pumped from the reservoir to satisfy direct reservoir withdrawals is not sent through the turbines.

$$Release_H = DownstreamOutflow_H$$

The volume of water that passes through the turbines is bounded by the maximum turbine flow, and if there is too much water, extra water is assumed to be released through spillways that do not generate electricity.

$$VolumeThroughTurbine_H = \text{Min}(Release_H, MaxTurbineFlow_H)$$

The gigajoules (GJ) of energy produced in a month,

$$EnergyFullMonthGJ_H = VolumeThroughTurbine_H \times HydroGenerationFactor$$

4.4. Water Demands

4.4.1. Irrigation Demand

In Vietnam, irrigation places the largest burden on water resources. The amount of water allocated for irrigation development has risen from 47 BCM to 74 BCM in the last 20 years. Although the percentage of water allocated for irrigation has decreased due to the increased water demand as a result of industrial development and domestic consumption, irrigation is still estimated to account for over 82% of Vietnam's total water utilization, as illustrated in Table 4-6.

Table 4-6: Trend in water requirement for agriculture and other economic industries (1990- 2010)

Sectors using water	1990		2000		2010	
	Water requirement	%	Water requirement	%	Water requirement	%
Agriculture	46,976	91	60,929	85	74,035	82
Industry and domestic use	4,659	9	10,997	15	15,918	18
Total	51,635	100	71,926	100	89,953	100

Source: The strategy of management and protection of water resource in Vietnam - The Water Resource and Hydraulic Works Department 6/96.

The extent of the area under cultivation was obtained from the Spatial Production Allocation Model (SPAM) dataset developed by HarvestChoice³. SPAM provides global estimates of spatial data for crop production, area, and yield for 20 major crops at 5 arc-minute resolutions. SPAM made four spatial products available for public use: harvested area, physical area, production, and yield.

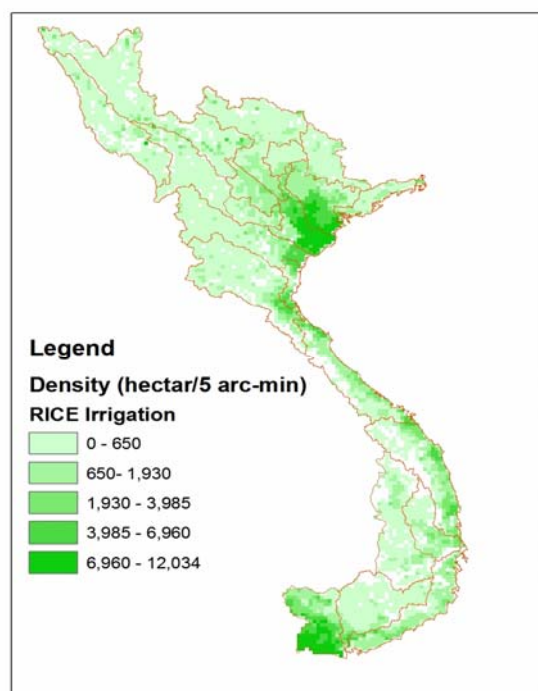
The physical area dataset from SPAM 2000 version 3.0.2⁴ was used in this analysis. It was used to obtain distribution of area for each crop. Physical area refers to where a specific crop in a given input system is being cultivated in the year 2000. In this dataset, multiple harvesting seasons in one year are not taken into account. However, the CLICROP output of water deficit accounts for multiple growing seasons.

Data was aggregated by sub-basin to produce annual irrigated area by crop for each sub-basin. Annual irrigated area is about around 7.94 million hectares, in which rice crop accounts for about 46 percent of the total area. The density of paddy rice cultivation obtained from SPAM dataset is shown in Figure 4-15. Figure 4-16 shows the distribution of irrigated area by crop as obtained from the SPAM 2000 dataset.

³ A joint research initiative managed by IFPRI's Global Food Systems research program and the International Science and Technology Practice and Policy (InSTePP). HarvestChoice generates information to help guide strategic investments in agriculture aimed at improving the well-being of poor people in Sub-Saharan Africa through more productive and profitable farming.

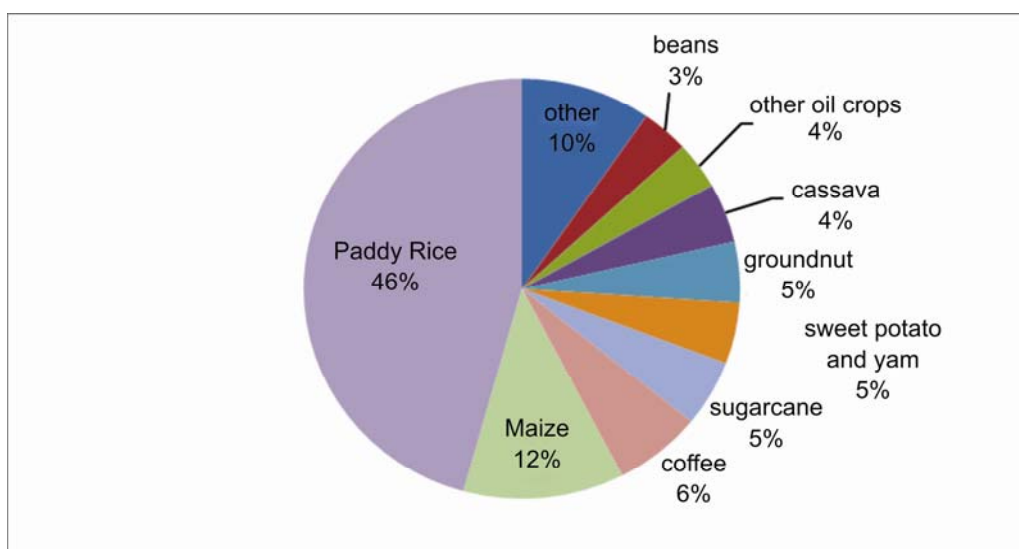
⁴ Version 3.0.2 (Version 3 Release 2; April 5, 2010)

Figure 4-15: Density of rice cultivation obtained from SPAM dataset



Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

Figure 4-16: Irrigation area distribution by crop obtained from SPAM database



The total irrigated area expanded at a rate of 2.9% annually in the period 1980-87, 4.58% between 1988 and 1994, and the latest reports indicate that it has increased by roughly 3.4% on average since 1998 - 2011. However, it was not possible to obtain reliable data regarding future plans for expansion of irrigated area, so this analysis assumed that the maximum irrigation potential of Vietnam, 9.4 Million hectares (FAO 2000), will be achieved by the year 2050. Therefore, the current irrigation area is projected linearly. This gave rise to 0.6% expansion of irrigated area per year.

The CliCrop model was used to predict future irrigation crop water requirements under climate change (see section 3). This model was run for all the 56 climate change scenarios, providing the monthly water deficit for the different kind of crops. This water deficit was multiplied by the irrigation area in each sub-basin to get the total volume of water required for irrigation. Annual water use per hectare was provided by AQUASTAT (FAO 2000), which indicated that irrigation withdraws 77.75 billion cubic meters of water per year. Total water deficit values obtained from CliCrop model indicated an annual irrigation demand of 54 BCM, indicating an irrigation supply efficiency of 70%. Although there is a possibility of enhancing efficiency of irrigation systems in the future, in this analysis, a value of 70% efficiency was adopted uniformly across all scenarios. Box plots for supply requirements are indicated in Figure 4-17 and Figure 4-18.

Figure 4-17: Absolute annual irrigation water requirement and the base case (red line)

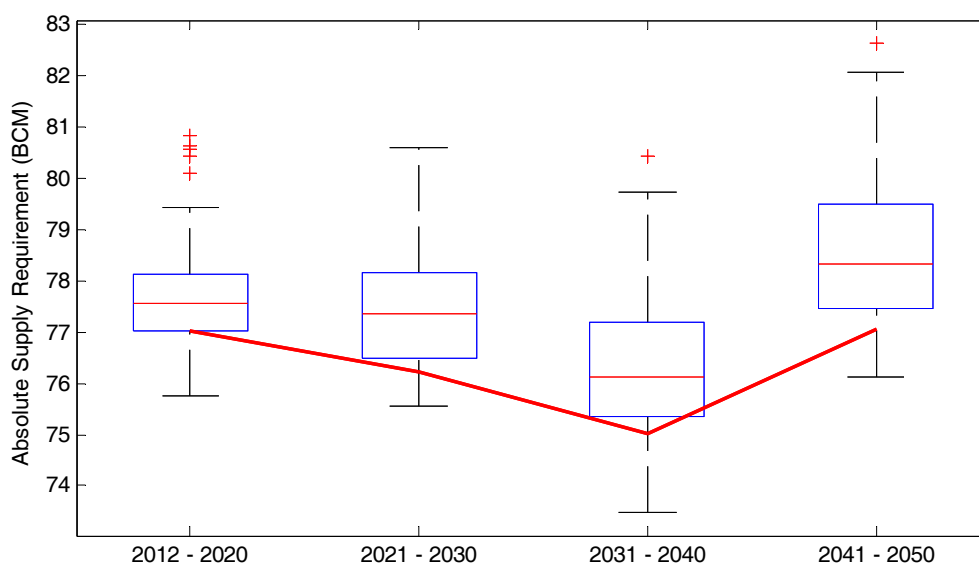
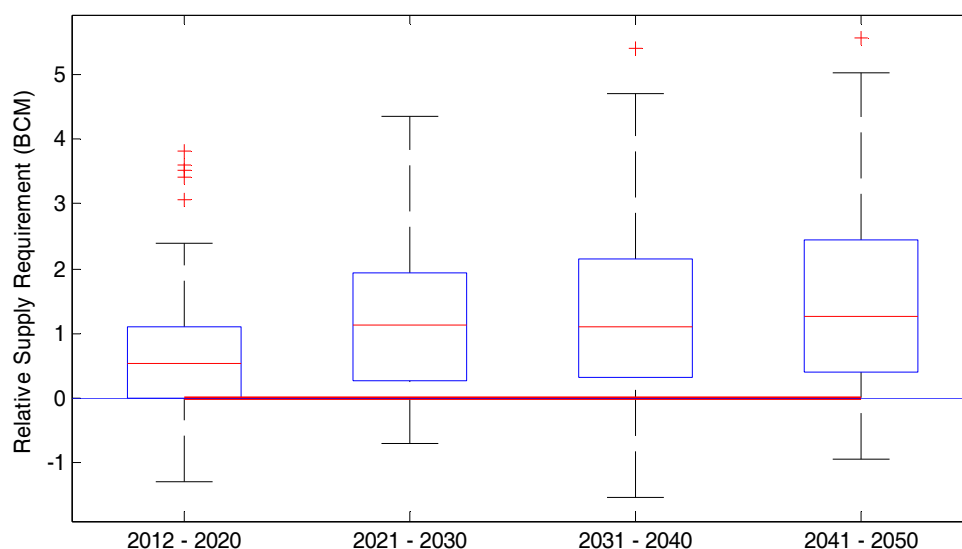


Figure 4-18: Annual irrigation supply requirement relative to the base case



4.4.2. Hydropower

Hydropower is one of the major sources of electricity in Vietnam. The total hydropower generating capacity of existing and under-construction hydropower plants in Vietnam is 10,320 MW. According to Electricity of Vietnam (EVN), this number is expected to grow by 4,760 MW by the end of 2020, increasing the total installed capacity to 14,670 MW.

There are over 14 hydropower power plants operating in Vietnam currently, with 4,577 MW of installed capacity providing, long term, 20,112 GWH of energy per year. This number is about 30% of the total energy potential of Vietnam. The hydropower generating capacity in the sub-basins considered in this analysis is shown in Table 4-7.

Table 4-7: Existing hydropower generating capacity in operation as of 2011

River Basin	Power (MW)	Long term Energy (GWH)
Lo Gam	108	430
Da	1,920	8,160
Ba	70	360
Se San	1,188	5,791
Dong Nai	1,263	5,177
Serepok	28	194
Total	4,577	20,112

The highest generating capacity is in the Da River basin; Hoa Binh Dam accounts for 40% of the total electricity generated in Vietnam. Two more plants are being constructed upstream in the Da River. These are expected to be completed by 2012, increasing the total generation capacity in the Da River basin to nearly double the existing capacity. Table 4-8 summarizes the major hydropower reservoirs considered in the analysis.

Fourteen medium to large hydropower projects invested by EVN and under construction are considered in this analysis. The total long-term energy generation from this hydropower plan is estimated to be about 22,656 GWH. The biggest plant is Son La Hydropower Plant, projected to generate 2400 MW and be completed by late 2012. Table 4-9 and Table 4-10 identify major hydropower projects under construction considered in this analysis by river basin and individually. In addition, EVN has identified 408 potential sites for hydropower plants in the National Master Plan for Small Hydropower Development. These sites range from one to 30 MW of generating capacity, and are capable of generating 13500 GWH for a total capacity of 2,887 MW (PECC1, 2004). This, combined with the existing hydropower and that under construction, will bring Vietnam to 86% of its generating potential.

Table 4-8: Existing hydropower plants: location and generating capacity

Dam	Location	Annual Energy (GWH)
Thac Ba	Lo-Gam	430
Hoa Binh	Da	8160
Song Hinh	Ba	360
Yali	Se San	3650
Se San 3	Se San	1224
Se San 3a	Se San	475
Pleikrong	Se San	442
Thac Mo	Dong Nai	589
Can Do	Dong Nai	290
Hàm Thuận	Dong Nai	957
Đa Mi	Dong Nai	590
Da Nhim	Dong Nai	1025
Tri An	Dong Nai	1726
Dray Hling	Serepok	194

Table 4-9: Hydropower plants under construction by sub-basin

River Basin	Power (MW)	Total Energy (GWH)
Lo-Gam	562	2488
Da	2920	12150
Ba	220	825
Se San	381	1596
Dong Nai	820	2894
Serepok	840	2703
Total	5,743	22,656

Table 4-10: Hydropower plants currently under construction

Dam	Location	ENERGY (GWH)
Tuyen Quang	Lo-Gam	1329.6
Ban Chat	Lo-Gam	1158.1
Son La	Da	10246
Huoi Quang	Da	1904.2
Song Ba Ha	Ba	825
Se San 4	Se San	1401
Se San 4a	Se San	195
Dong Nai 3	Dong Nai	607.1
Dong Nai 4	Dong Nai	1103.8
Dai Ninh	Dong Nai	1,183
Tou Srach	Serepok	347
Buon Kuop	Serepok	1346
Serepok 3	Serepok	815
Serepok 4	Serepok	195

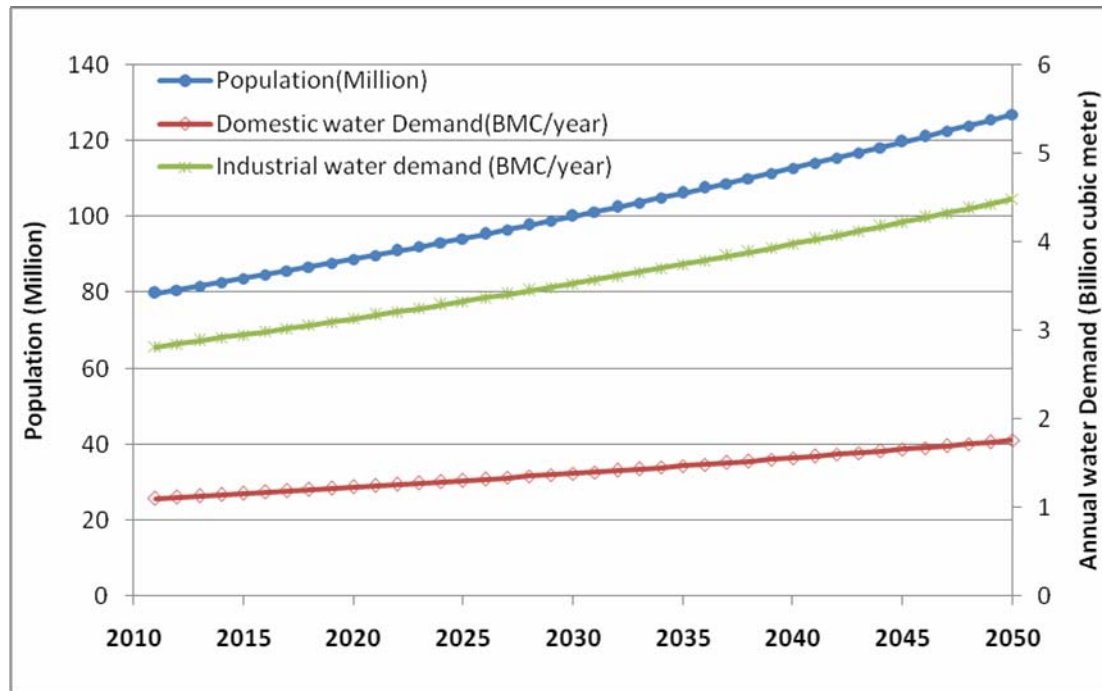
4.4.3. Municipal and Industrial Water Demand

Domestic and industrial water demand data is obtained from AQUASTAT, FAO's global water and agriculture database [<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dbase/index.stm>, updated in 2011]. Municipal water demand is the annual quantity of water withdrawn primarily for the direct use by the population. It includes renewable freshwater resources as well as potential over-abstraction of renewable groundwater or withdrawal of fossil groundwater and the potential use of desalinated water or treated wastewater. The industrial demand refers to self-supplied industries not connected to the public distribution network, including water for the cooling of thermoelectric plants.

Values of 3.074 BCM/year and 1.206 BCM/year are converted to per capita per year 13.84 and 35.3 cubic meters for domestic and industrial water demand, respectively. These water demands are assumed to be directly proportional to population, and therefore water demand calculation was carried out for each sub-basin according to its total population. These demands are also projected to 2050 following the population growth rate estimate.

Population estimates for each sub-basin are extracted from the 2010 gridded population densities data distributed by the Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University [<http://sedac.ciesin.columbia.edu>]. Original raster data is at 2.5 arc-minutes resolution adjusted to match UN totals in persons per square km. This data is aggregated by the 22 sub-basins used in the WEAP model.

Figure 4-19: Population growth and annual industrial and domestic water demand forecast



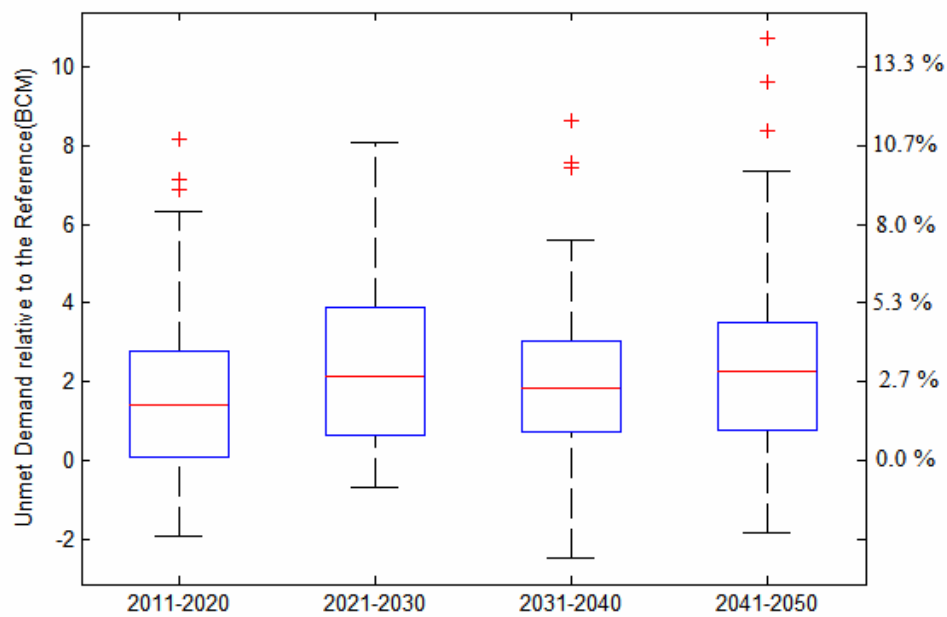
4.5. Results of Water Resource Analysis

4.5.1. Impact on Irrigation

The relative unmet demand result from WEAP analysis was the main indicator used to assess the impact of climate change on irrigation water supply. Under the base case scenario, results indicated that there is already a stress in the system. In the Da and Pho Day sub-basins, a long-term average of 200 million cubic meters annual unmet demand is observed. For the remaining scenarios with climate change, the analysis indicates that the unsatisfied irrigation demand will generally increase in the coming years.

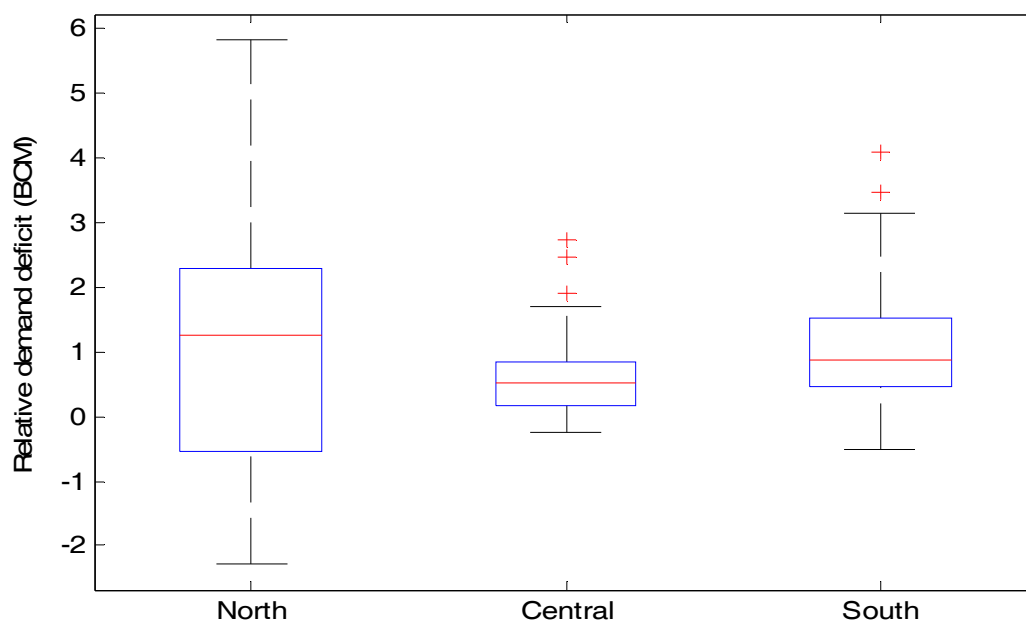
Box plots of unmet water supply for irrigation relative to the reference case for the 56 GCMs is shown in Figure 4-20. The median value reaches about 2.1 BCM for the year 2050. The Worst case scenario indicates a maximum deficit reaching 7 BCM.

Figure 4-20: Unmet Irrigation demand with respect to Base case scenario



As described in the previous sections, climate change will affect the runoff more in the northern sub-basins, mainly in the Red River basin. This is also reflected in the spatial distribution of unmet demand, in which the majority of the deficit is occurring in the Red River basin, mainly as a result of lower runoff in this region, as indicated in the runoff analysis. Furthermore, the range of results is also wider for northern sub-basins, ranging from 6 BCM deficits to 2 BCM excesses with respect to the base case scenario. Figure 4-21 shows relative unmet demand in the three regions for the year 2050.

Figure 4-21: Relative unmet demand in the three regions for the year 2050



Three scenarios corresponding to GCMs that gave rise to maximum, median, and minimum runoffs are compared for relative unmet demand on decadal average in Table 4-11. It can be inferred that even in the case of increased runoff (e.g., the Cccma cgcm31 A1B model) the extra amount of water available during the 2020s will be depleted by the year 2050 due to the gradual increase of irrigation water demand.

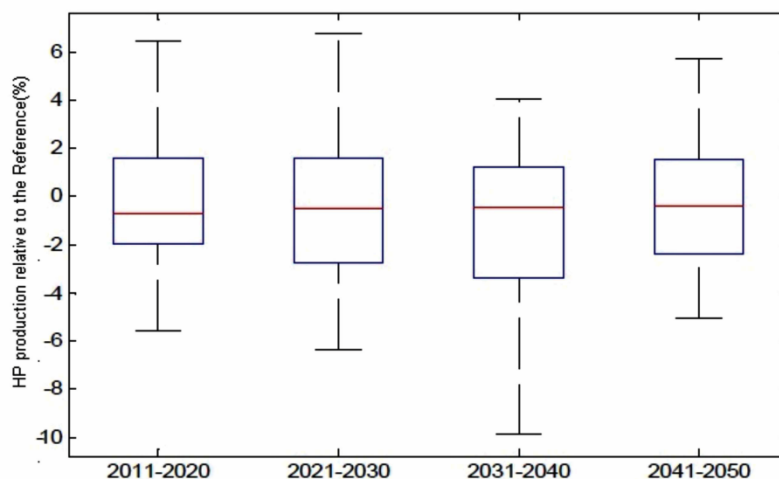
Table 4-11: Ten years average unmet irrigation demand in million meter cubed for selected climate change scenarios

GCM scenario	Location	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Minimum runoff - Ukmo_hadgem1 A1B	Northern Catchments	1906	3750	4461	5285
	Central Catchments	1049	1213	1754	1903
	Southern Catchments	1242	794	1424	1516
Median runoff - Inmcm3_0 B1	Northern Catchments	594	715	1498	2341
	Central Catchments	427	397	868	932
	Southern Catchments	684	363	1400	1503
Maximum runoff - Cccma cgcm31 A1B	Northern Catchments	-1900	-1435	-2211	-918
	Central Catchments	-255	78	-457	223
	Southern Catchments	325	574	456	741

4.5.2. Impact on Hydropower

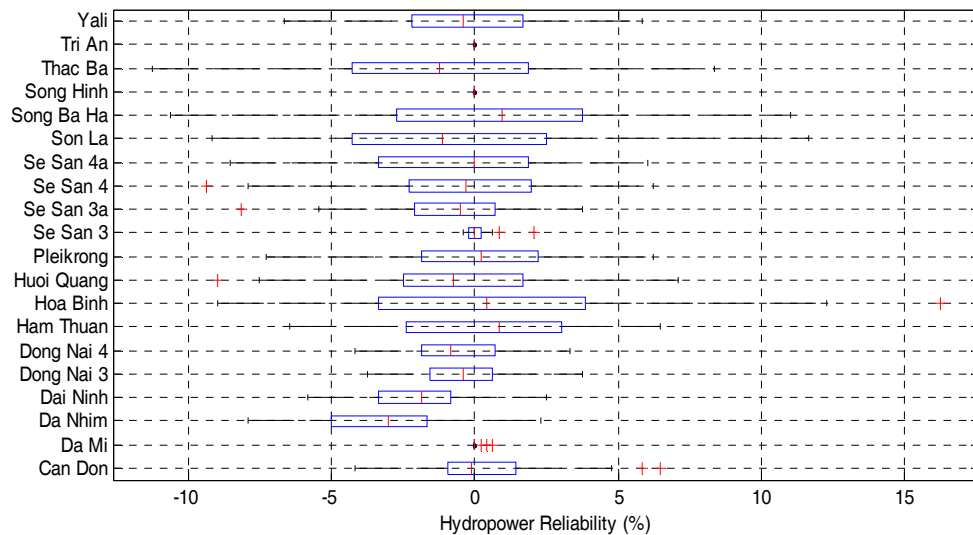
Median hydropower generation shows a slight overall decrease over the climate change scenarios. Overall, hydropower plants' generating capacities will be affected by a maximum of a 14% reduction by the years 2041 to 2050. Percentage of reduction for the 10 year average generating capacity of reservoirs is shown in Figure 4-22.

Figure 4-22: Hydropower generating capacity with respect to the base case scenario (%)



The current existing energy generating capacity after the implementation of all hydropower plants which are currently under construction is about 42.76 TWH. The reliability of hydropower generation to meet this annual demand will also shows high range of variability. Figure 4-23 shows reliability of hydropower for selected Hydropower plants under the 56 climate change scenarios used in this analysis. There is a high uncertainty in the reliability of the big HP plants such as Son La and Hoa Bini ranging within +/- 5 % over the 40 years.

Figure 4-23: Hydropower reliability for selected Hydropower Dams



4.6. Adaptation Mechanism

4.6.1. Northern Sub-basin

The main impacts on water resource in the northern sub-basins are reduced runoff and increased irrigation water requirements. Consequently, the combined effect of reduced runoff and increased irrigation water requirements will results in severe water shortage for irrigation development and failure to meet irrigation demand. Furthermore, hydropower generating capacity in the region will also significantly be reduced.

Agricultural water accounts for a huge share of the water utilization in northern sub-basins, thus implementing efficient utilization of water is essential to reduce future impact of climate change on irrigation demand. Minimization of water loss in the canals and implementation of better water application techniques could significantly reduce the irrigation supply requirement.

EVN has identified several multipurpose reservoirs within this region. The implementation of these reservoirs may serve as storage for the dry season, catering to the reduced hydropower generating capacity and enabling optimized allocation of resources for irrigation demand.

4.6.2. Central and Southern Sub-basins

As mentioned above, most of the GCM runoff results indicated increased runoff for the central and southern sub-basins. In addition, the wet season runoff will be higher, but the dry season flow will be reduced. The combined effect of increased peak flow and higher runoff will intensify natural disasters, creating more frequent floods and more severe flood damage.

Furthermore, reduced dry season flow will also decrease hydropower generation and cause water shortage for irrigation.

Construction of additional multipurpose reservoirs and increasing the system's storage capacity will enable Vietnam's water infrastructure to provide for dry season flow and significantly reduce the risk of flooding. Although impact on irrigation as a result of reduced dry season flow is minimal, efficient utilization of water is essential; increasing irrigation efficiency plays a major role in reducing the future impact of climate change.

Currently, the total water demand for industry and domestic use is 18% (See Table 4-6). In the near future, this water demand will account for a significant portion of resource allocation due to population growth and rapid industrialization. Recycling and usage of an efficient water distribution system will be essential in minimizing the impact of climate change.

5. Road Infrastructure

5.1. Road Infrastructure and Economic Growth

Numerous studies confirm the importance of road infrastructure for economic growth. In a seminal paper, Fernald (1999) examined data for the United States for the period 1953-1989 and concluded that road investments had a significant causal impact on productivity growth during 1953-1973 - the period when the interstate highway system was constructed. The author estimated that public investment, principally in roads, "contributed about one percentage point to total factor productivity growth" (p. 620). To achieve this gain, net road investment exceeded "a quarter of the value of net non-residential private investment" (p. 619). Public road investments therefore contributed to the United States' strong economic performance during the 1950s and 1960s. After 1973, Fernald asserts that the marginal product of road investments declined (i.e., a second interstate highway system is less beneficial than the first).

Developing countries are less likely to face a declining marginal product of road infrastructure investment due to excess supply since road stocks in these countries are often low. Of course, the marginal (and average) product of infrastructure investment can be low for other reasons. Governments can, for example, waste resources constructing poor quality or unnecessary infrastructure. Nevertheless, the empirical evidence is generally favourable to the proposition that public road investments generate reasonable returns. For example, Esfahani and Ramírez (2003) use cross-country panel regressions and find that infrastructure services' contribution to gross domestic product (GDP) is substantial and exceeds the cost of their provision (p. 443). Similarly, Calderón and Servén (2004) find that growth in Latin America is positively related to infrastructure stocks and that income inequality declines with higher infrastructure quantity and quality. More recently, these authors applied the same techniques to Africa (Calderón and Servén 2008) and reached similar conclusions.

A litany of methodological problems haunts the cross-country regression literature (see, for example, Roodman 2009). However, country-level studies are also generally positive. For Vietnam, Mu and van de Walle (2007) find that investment in rural roads has significant average impacts on the development of local markets. Furthermore, they find that, while impacts are heterogeneous across income levels, they tend to be pro-poor. In a study of Nepal, Jacoby (2000)

finds that “providing extensive road access to markets would confer substantial benefits on average, much of these going to poor households” (p. 713). Dillon, Sharma, and Zhang (2011) also conclude in their study of Nepal that rural roads are one of the most productive public expenditures. Fan and his co-authors conduct detailed studies to estimate the returns to public investment in China, India, and Uganda (Fan et al. 2004; Fan and Chan-Kang 2008; Fan and Hazell 2001; Fan and Zhang 2008). They consistently find positive returns to road investments, particularly rural roads.

Both theory and evidence therefore suggests that infrastructure investments are important determinants of economic growth and poverty reduction. In most developing countries, these investments represent commensurately large shares of public budgets and total investment. If the stock of public capital in general and the road stock in particular is material to growth and poverty reduction, then the rate of depreciation of that stock is also material. We next review the literature on the implications of climate change for the stock of roads.

5.2. Road Infrastructure and Climate Change

The literature on climate change impacts and adaptation in the infrastructure sector is primarily qualitative, emphasizing broad recommendations and warnings based on general weather studies. Research by the Transportation Research Board in the United States, the Scottish Executives, and Austroads in Australia are notable examples (TRB 2008; Galbraith et al. 2005; AUSTROADS 2004). The authors compare weather-related disasters and their perceived severity with predicted climate change impacts. More focused studies estimate specific impacts of temperature, rain, snow, ice, wind, fog, and coastal flooding on roads (CCSP 2006). Further studies address areas where climate change may threaten infrastructure unique to that locale. For example, Canadian roads are particularly vulnerable to rising temperatures (Industrial Economics 2010). Similarly, northern climates may face greater infrastructure degradation due to increased freeze-thaw cycles (Jackson and Puccinelli 2006).

Mills and Andrey (2002) provide a general framework for considering climate impacts on transportation. They enumerate baseline weather conditions and episodic weather-influenced hazards that determine the environment in which infrastructure is built, maintained and used. The authors note that climate change will alter the weather-related context, affecting the frequency, duration, and severity of hazards. These hazards can affect transportation infrastructure itself, its operation, and the demand for transportation services. The latter might include climate effects on agriculture that alter the location of production and, thus, the need and mode for shipping agricultural products.

A limitation of the above studies is their focus on a narrow potential impact of climate change, and their lack of specific estimates of costs or damages that may result from climate change. In response to this limitation, Chinowsky et al. (2011a) document the potential costs of climate change on road infrastructure in ten geographically and economically diverse countries. They illustrate the opportunity costs of diverting infrastructure resources to climate change adaptation. This response methodology has been extended to estimate climate change impacts on bridges (Stratus Consulting 2010) and roads in northern climates (Industrial Economics 2010).

The relationships mentioned above are incorporated into a dynamic road network simulation model labelled CliRoad. This simulation model tracks the road stock broken by age since construction (or 20 year rehabilitation), road class (primary, secondary, tertiary), road type (paved, gravel, or unpaved), and region for each year over a simulation period from 2007-2050. While the stressor response functions are constant across regions, the climate inputs (precipitation, temperature, and flood events) are disaggregated by region. Because CliRoad is incorporated directly into the dynamic computable general equilibrium model discussed below, some results from CliRoad are left for discussion in section 7.

Vietnam is in the process of improving and expanding all facets of the country's infrastructure. From ports to roads and power, Vietnam recognizes the long-term benefits and the short-term need to enhance the overall infrastructure within the country. Combinations of public and private funds are being pursued to implement these improvements. However, in contrast to traditional approaches to infrastructure development, Vietnam is expanding its concern for construction costs to include mitigating the potential effects of climate change on infrastructure. While these costs are a concern for all countries, these costs are of particular concern in developing countries, where the additional funds needed to address climate change concerns are limited. The limitations on these available funds are challenging developing countries to identify the threats that are posed by climate change, develop adaptation approaches to the predicted changes, incorporate changes into mid-range and long-term development plans, and secure funding for the proposed and necessary adaptations at the commencement of the construction process.

Earlier work by the UNFCCC, IPCC, World Bank and others, have attempted to quantify the impact of climate change on physical assets that will be affected in the coming decades. The current study extends these efforts by addressing the effect of climate change on the road infrastructure within Vietnam as part of the UNU-WIDER Development Under Climate Change (DUCC) research effort. Paved, gravel and unpaved road inventories were selected as the single infrastructure type to evaluate because of their economic, social, and development importance to Vietnam. The infrastructure study examines the extent to which climate change from global and country-specific climate scenarios will divert resources from the further development of road infrastructure to the maintenance and adaptation of the existing infrastructure. The analysis incorporates impacts from climate stressors (precipitation and temperature changes) and projected sea level rise impact of one meter. Because of its significant coastal zones, both types of analyses are important when considering climate change impacts.

The study is designed to create a broader understanding of the effect that climate change may have on facets of development including social, economic, and transport issues by analyzing the road infrastructure. This study expands upon the methodology established in the Economics of Adaptation to Climate Change study conducted by the World Bank that introduced an engineering-based, stressor-response methodology to quantify the impact of climate change on specific physical assets (World Bank 2010a).

The concept of 'Opportunity Cost' is utilized in the study to identify the benefits of adaptation for the country for the projected climatic changes. From this concept, the study provides a context for policy and decision makers to further understand the impacts of future

climate change on Vietnam at multiple scales through 2050. In summary, the study is designed to provide a larger context for policy makers to address, in part, the question of “adapt now or later?” Should Vietnam postpone adaptation to potential climate change effects on critical infrastructure?

5.3. Methodology

The analysis of the impacts of climate change on Vietnam road infrastructure requires a combination of Global Climate Model (GCM) future climate projection scenarios, stressor-response degradation analysis, GIS analysis, sea level rise predictions, and cost information within the context of Vietnam and its geography and infrastructure. At the core of this analysis is the use of a stressor-response methodology. The stressor-response methodology is based on the concept that exogenous factors, or stressors, have a direct affect on and subsequent response by, focal elements. In the context of climate change and infrastructure, the exogenous factors are the individual results of climate change including changes to sea level, precipitation levels, temperatures, storm frequency, and wind speeds. The focal elements are the individual infrastructure types including roads, railroads, water and power distribution, and public buildings among others. Therefore, a stressor-response value is the quantitative impact that a specific stressor has on a specific infrastructure element. In this case, the impact on road infrastructure is analyzed as it relates to the overall development effort. The analysis takes a two-phase approach that first determines the appropriate climate effects on the given infrastructure inventory in the selected locations and then determines the cost impacts on this infrastructure based on a set of stressor-response functions.

The first phase of this methodology emphasizes the use of foresight to anticipate potential climate effects that may impact specific infrastructure components in specific regions. The use of this approach is adopted based on the concept that proactive design policies will have greater economic benefit than a reactive approach emphasizing the repair of damages after an event. Using a proactive approach, potential impacts can be identified and adaptations can be put in place at appropriate times and locations. Through the use of multiple climate scenarios, comparisons can be made as to what may be the appropriate level of proactive action based on likelihood of climate events occurring in a given location. Given the uncertainty associated with climate, there is the potential that a proactive approach will result in an overbuilding of infrastructure elements. This “regret” potential is partially offset by the maintenance savings and expanded lifespan that is obtained by enhancing the design policy. This savings is reflected by the Maintenance Savings calculations provided in the current analysis.

The second phase of the methodology emphasizes the use of response functions to determine specific impacts and costs. The response functions are utilized in conjunction with climate stressors to examine response requirements. Specifically, stressors are examined in the context of paved, gravel, and dirt road infrastructure components to illustrate the impact of each stressor on the road infrastructure component based on the intensity of the stressor. The stressors of interest in the study are sea level rise, precipitation, temperature, and flooding. For example, the potential increase in precipitation levels is examined as a specific quantitative impact on unpaved roads in terms of the impact of lifespan based on the degree of increase in the precipitation.

In this manner, the research diverges from a focus on qualitative summaries to an emphasis on quantitative estimates. Flooding, precipitation, and temperature are analyzed on a time-series basis with cost adjustments calculated on a yearly basis through 2050. Sea level rise impacts are analyzed in a uniform one-meter sea level rise due to data limitations. The inundation projection assumes that all roadstock in the area will be completely destroyed. Therefore, costing for sea level rise impacts are determined as the replacement cost for the inundated roadstock.

5.3.1. Parameters of Analysis for Current Study

Within this overall methodology, several parameters have been set in the current study to create an approach that is consistent and comparable when looking at different assets and time periods. First, a consistent and uniform roadstock inventory is used for analysis in all time periods. The existing roadstock is allocated (described below) and utilized for all future analysis. This eliminates uncertainty surrounding planned and actual future construction of new inventory. Second, all figures are shown based on a discount factor of 5% relative to a base of 2010. Third, “Adaptation” options are presented in tandem with “No Adapt” options. These refer to policy choices surrounding climate change and infrastructure investments. The Adaptation option assumes that the future climate is predicted and all new roads being re-surfaced are adequately upgraded to the changes in climate projected during their lifespan. The upgraded roads are then considered ‘climate proof’ against the new impacts of degradation due to increases in precipitation or temperature due to climate change. Normal maintenance schedules are assumed and not counted in the costing, as they would have been performed under non-climate change conditions.

In addition to these base parameters, a consistent set of adaptations are used for each road type and in each scenario. For paved road inventory, the ‘adaptation’ upgrades include a new binder, which is more resilient to increased pavement temperatures. For gravel roads, adaptation upgrades are focused on precipitation and flooding impacts. An upgraded road is resurfaced with crushed gravel mix and a deeper road base is laid. Increased culvert size and capacity is included in the costing mix. Unpaved roads are also analyzed based on the projected flooding and precipitation increases. For unpaved roads, the adaptation option is to upgrade the unpaved (dirt) road to an ‘adapted’ gravel road. The upgrading of an unpaved road to a gravel road provides a maintenance savings, since annual maintenance assumed on the unpaved road is no longer needed. Additional benefits to transport time and cost are not included in the costing analysis.

5.3.2. Climate and Inventory Determination

The analysis for SLR and other climate stressors differ in their climate change impact data source, method of impact determination, and time series application, but the same roadstock allocation methods are used.

5.3.2.1. Division of Road Inventory

The division and allocation of existing road inventory into specific geographical areas is important for analyzing climate variations and impacts on roads in specific administrative areas. Provincial estimates of road inventory were determined based on an allocation process that combined the relative population and area of each province as a percentage of the national total. These relative ratios were then used to determine proportional amounts of road inventory that should be allocated for each province. Due to the lack of GIS spatial data on exact location of

roads within provinces and the scale of climate data available, once roadstock is allocated to provincial administrative regions, it is assumed that the roadstock is uniformly distributed throughout the administrative region. This process is summarized in the following equation, where:

$$RA = RN * [((PopA / PopN) + (TA / TN)) / 2]$$

A = Administrative Region (Province)

PopN = Population, National

PopA = Population, Administrative Region

TN = Total KM2 Land Area, National

TA = Total KM2 Land Area, Administrative Region

RN = Roadstock, National

RA = Roadstock, Administrative Region

The allocation is done for each type of the nine types of road analyzed: Paved, Gravel, Unpaved and Primary, Secondary, Tertiary.

5.3.2.2. Climate Impact Projection Data

Climate change data for the current study was performed with data from two sources: a selection of the IPCC-approved Global Circulation Models (GCMs) for the Climate Stressor analysis, and the *Center for Remote Sensing of Ice Sheets* from the University of Kansas SLR Projections for the SLR analysis. In terms of the GCM data, the GCMs provide climatological data for future climate change scenarios through 2100. The data used in this analysis include the available A2, A1B and B1 scenarios, which represent different scenarios of future development based on the accepted definitions of the Intergovernmental Panels Fourth Assessment Report (IPCC 2007). Further details are provided in section 2.

To provide a robust analysis of possible climate change projections, all GCM data sets approved by the IPCC containing complete data projections for climate and flood data for Vietnam were used in the Climate Stressor analysis on the Vietnam roadstock. In total, 25 GCMs were used for analysis. Each of these climate models contains annual predicted precipitation and maximum temperatures. In an effort to get a broad picture of the potential effects of climate change, the range and likelihood of the low-impact, medium-impact, and higher-impact scenarios were developed in relation to other projections.

To analyze the impact of sea level rise, a data set is used from the *Center for Remote Sensing of Ice Sheets* from the University of Kansas. This data set provides information for a 1 meter or greater projected sea level rise throughout the context of the Vietnam study. The data is provided in a publicly available Geographic Information System (GIS) format. The sea level rise information was used to estimate the percent of each grid cell that would be ‘inundated’ – land completely covered by more than 1 meter of sea level rise. Where inundation was projected, it was assumed that all nine types of roadstock located in an inundated area would be destroyed. The impact function methodology is described in Section 5-4 below.

To ensure that the application of the data was completed accurately, both the sea level rise and provincial mapping of Vietnam were translated into a standard grid system based on latitude and longitude. Climate Research Unit (CRU) grid cells of .5 degree latitude by .5 degree longitudinal (approximately 250km square area) were the basis of this data translation (Climate Research Unit Time Series Version 2.1). The basis of this translation is through an overlay process that translates the geographic information for each province into grid cells. Specifically, the provinces are allocated to grid cells by percentage of geographic area that corresponds to specific CRU grid cells. For example, Administrative Area 1 may be allocated geographically between grid cells A and B at 30% and 70%, respectively. In this case, the province is recorded as having proportional area allocations in each grid location. In a region where detailed road location is not available, the roadstock is then uniformly distributed at the same ratio of 30% and 70%, respectively as the basis for the impact analysis. The result of this allocation process is that the kilometres of road in each province are allocated proportionally on a grid cell level.

5.4. Impact Functions

5.4.1. GCM Climate Impact Analysis: Flooding, Precipitation and Temperature

Utilizing the climate data projected by the GCMs described above and a baseline no-climate change scenario, it is possible to determine the costs and impacts on the individual infrastructure elements based on the stress-response methodology. The authors used an established methodology based on stressor-response functions for precipitation, temperature and flooding in the context of road infrastructure in Africa (Chinowsky et al 2011b).

The stressor-response factors are divided into two general categories; impacts on new construction costs and impacts on maintenance costs. New construction cost factors focus on the additional cost required to adapt the design and construction when rehabilitating an asset to changes in climate expected to occur over the asset's lifespan. Maintenance cost effects are those maintenance costs, either increases or decreases that are anticipated to be incurred due to climate change to achieve the design lifespan. In each of these categories, the underlying concept is to retain the design life span for the structure. This premise was established due to the preference for retaining infrastructure rather than replacing the infrastructure on a frequent basis.

5.4.2. Sea Level Rise Impact Methodology

For this study, the analyses for climate impacts and sea level rise are analyzed separately and on different time scales. The climate stressor impacts of precipitation and temperature is done on a daily basis and results are aggregated to provide decadal numbers to give an overall look at climate impact over the medium-term. Because of lack of available time-scaled data on sea level rise projections, the SLR analysis is done at an instant in time utilizing one impact scenario: a uniform SLR of 1 meter. There are limitations to the robustness of this approach as discussed below. However, utilizing both impacts of climate give a projection and understanding of the potentially diverse impacts of climate change, particularly in coastal areas.

Projections on the amount of sea level rise that will occur in a specific region are uncertain and vary widely. Some recent studies have predicted a future SLR higher than one meter by 2100 (Nichols and Cazenave, 2010). The Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) published in 2007 predicts an average of 60 cm by 2100 (IPCC 2007). The effects of SLR will not be uniform throughout the world and certain areas will be

affected at much greater levels than others (Dasgupta et al, 2008 and Neumann et al, 2000). As has been discussed, Vietnam is particularly vulnerable to SLR.

The SLR impact methodology in this study is based on several assumptions: a uniform distribution of roadstock through the administrative regions; a uniform one meter SLR estimate applied to land at or below one meter elevation; and that all inundated land will require permanent relocation of the roadstock in the area. Costing is applied to the inundated roadstock at the amount required to rebuild the existing roadstock. For example, if 50 percent of a CRU grid cell is projected to be inundated by sea level rise, 50 percent of the roadstock in the cell is estimated to be destroyed. The specific kilometres of road affected will correspond to the initial roadstock allocation from the national -> provincial -> CRU grid cell levels.

Once the kilometres of roads inundated are determined for each grid cell, the determination of costs for replacing these roads is performed. The costs for replacement are based on individual determinations in each grid cell for each road type. In the case of sea level rise, current costing analysis is done using the cost to build a new kilometer of road of each type as shown in Table 5-1. Other adaptation options are not explored with this analysis. The totals for each cell are then combined at a provincial level to provide a total road impact cost.

Table 5-1: Costs of rebuilding inundated roadstock from SLR of one meter

Costs of New Road			
	Paved	Gravel	Unpaved
Primary	\$ 500,000	\$ 226,000	\$ 128,000
Secondary	\$ 150,000	\$ 135,000	\$ 75,000
Tertiary	\$ 70,000	\$ 75,150	\$ 41,750

5.5. Metrics of Measuring Impacts

The impact of climate change on road infrastructure can be measured in several ways. While total cost is an important metric for policy makers, an additional concern is the relative effect that expenditures being reallocated towards climate change might have on development funding in other critical areas, including road inventory expansion. To provide a set of metrics for understanding the broader impact of climate change, we use three metrics as follows:

- **Total Cost:** The estimated costs of climate change impacts with a 5 percent discount rate applied.
- **Opportunity Cost:** The amount of paved road inventory that could have been built with the funding that is diverted to climate change costs. The opportunity cost is calculated by first taking the amount of money required for climate change response divided by the cost of a kilometre of paved secondary road, and then using that amount divided by the existing paved road inventory. This gives a percentage of paved road inventory that could have been increased if funds were not allocated to climate change response.
- **Adaptive Advantage:** The benefit in percentage savings between the Adapt and No Adapt policies.

Using these three metrics, the study results are presented for both a proactive Adapt approach and a reactive No Adapt approach. For the adaptation approach, a third consideration is presented, the concept of maintenance savings which indicates the amount of standard maintenance that will be saved if an adaptation approach is adopted. These categories are detailed as follows:

Adapt and No Adapt: Two different policy approaches are examined for all road types and climate projections. The “Adapt” analysis assumes perfect foresight with respect to climate change impacts and a policy that applies these forward-looking climate projections to upgrade new roads as they are re-built and maintained. The Adapt Policy scenario incurs up-front costs to adapt a road to mitigate future damages that are projected from increases in precipitation or temperature. For unpaved road infrastructure, roads are upgraded to an adapted gravel road and therefore are less susceptible to increased precipitation impacts. The “No Adapt” analysis assumes no adaptation changes are put in place. Roads are rebuilt according to previous baseline standards. The costs incurred are from increased maintenance necessary to retain the design life of the original road as degradation of the road infrastructure occurs from climate change stressors.

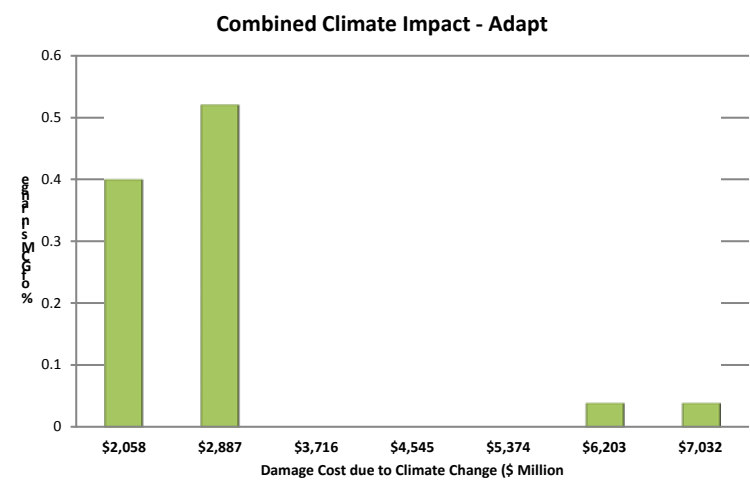
Maintenance Savings: The Maintenance Savings category is included to emphasize the costs and benefits associated with adaptation in Vietnam. This metric is applied to unpaved (dirt) roads. Many of the costs related to an unpaved road network are related to precipitation damage or traffic levels. Upgrading these roads to gravel surfaces can reduce the annual maintenance requirements since gravel has greater resistant to both precipitation and traffic. Therefore, the Maintenance Savings category represents both the savings in traditional maintenance that would have been required for the dirt surfaces, together with the additional maintenance that would be required due to increased precipitation from climate change

5.6. Study Results

A combined analysis of the flooding and climate (precipitation, temperature) impact on the road infrastructure of Vietnam provides a picture of potential climate impact through 2050. The numbers presented in this section are for total cost of impact on new construction, maintenance and repairs, for the existing road inventory from 2010-2050. An analysis of the Adapt and No Adapt policy are provided. The median GCM is a reflection of the GCM that is an ‘average’ of the 25 GCMs run. However, as discussed below, the results displayed in the histogram indicate that the GCMs are not evenly distributed throughout the range. Therefore, depending on the concern of policy maker, the extremes or quartile numbers may be more appropriate than the median.

As Figure 5-1 indicates, the majority of climate projections (92%) project an impact after adaptation of no more than USD\$2.9 billion dollars when discounted. Only two GCMs project extreme climate impacts with a total cost greater than USD\$7 billion. Even at the lowest projections, the USD\$1.2 billion cost impact has an opportunity cost of 32%, indicating that more than 24,000 KM of secondary, paved road could be built with the money diverted to climate change under the lowest, adaptation scenario. The minimum combined Adapt projection is an impact limited to climate stressors (precipitation and temperature); the minimum flooding-specific GCM analysis has no increased impact on the roadstock.

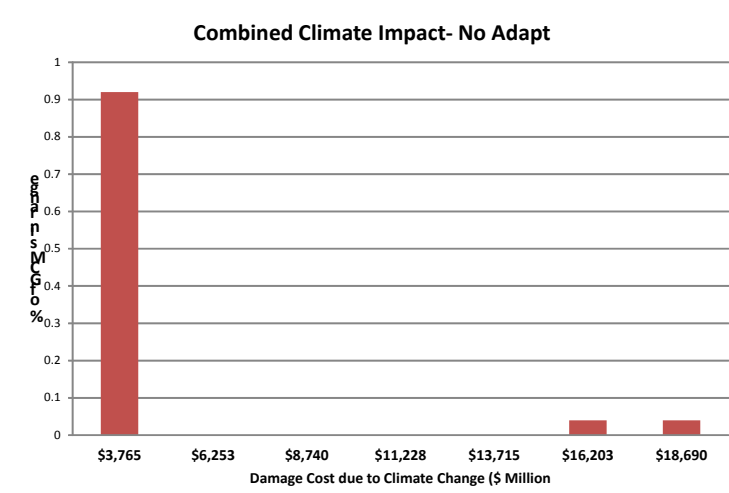
Figure 5-1: Histogram of combined climate impact on road infrastructure through 2050



The uneven distribution of the combined costs (majority of the GCM cost predictions lie in the lowest two categories) is due to the uneven distribution of Flooding Impact data as discussed below. Because the combined climate change impact numbers are the combined flooding and climate stressor costs, this uneven distribution is carried through to the combined analysis.

Similar to the Adapt analysis, 92% of the GCMs (22 out of 25) in the No Adapt scenario are in the lower two distributions of the histogram (Figure 5-2). This indicates that only a few of the GCMs project more extreme climate impacts. The minimum cost impact for the No Adapt scenario is a USD\$49 million increase in cost over the Adapt scenario. Similarly, the median and maximum GCM results reflect an increase over the adapt scenarios of USD\$660 million and USD\$11.6 billion, respectively. In this case, the adaptive advantage indicates that policymakers should consider a proactive approach to adapting to climate change. In the maximum scenario, the No Adapt approach has an opportunity cost of 482%, the equivalent of 367,000 KM of new, secondary paved road that could be built if costs were not diverted to climate change. The median GCM has an opportunity cost of 92%, the equivalent of over 70,000 kilometers of new, secondary, paved roadstock.

Figure 5-2: Histogram of combined climate impact on road infrastructure through 2050



Maintenance savings provides an important analysis tool for further understanding the benefits of the adaptation policy approach. Particularly, because there is a cost incurred in the upgrading of dirt and gravel roads, it can be largely offset economically by the savings from yearly maintenance required on lower-quality road infrastructure. When Maintenance Savings is incorporated into the Adaptive Advantage, the savings is nearly tripled, to a total of USD\$2.0 billion. The social and economic benefits derived from an upgraded road infrastructure should also be accounted for in a local analysis and decision-making process.

In Table 5-2, the 'Median' GCM analysis has an Adaptive Advantage of USD\$4.8 billion. This savings is the difference between the No Adapt and Adapt policy costs. When maintenance savings are incorporated into this advantage, the savings are nearly doubled to a total of USD\$9.3 billion. This highlights the potential benefits derived from a proactive adaptive policy approach. For the 'Minimum' GCM analysis, the relative Adapt cost is lowered from USD\$3.6 billion to USD\$1.9 billion including maintenance savings. Maintenance savings lower the relative Adapt cost and raise the Adaptive Advantage in all scenarios that present a savings incurred between the Adapt and No Adapt policies. Certain GCMs (not shown) do not present a difference in Adapt and No Adapt costs. This result is primarily based on climate stressor impacts in these scenarios being derived from single events where post-event repair costs are equal to or less than the costs of proactive adaptation. An example is the MIROC3_2(medres)_A2 GCM where the cost of adaptation equals the cost of reactive maintenance. However, even with this GCM a benefit is derived from Adapting to the Flooding projections (USD\$78 million). These varying levels of benefit display the need for a comprehensive analysis of potential impacts that include the potential multiple impacts of climate change on the road infrastructure.

Table 5-2: Adapt and No Adapt Costs and Adaptive Advantage for Combined Climate Change Impact (Precipitation, Temperature, Flooding)

ADAPT					Adaptive Advantage	
Rank	GCM	Cost (USD\$ Million)	Opportunity Cost	Maintenance Savings	(USD\$ Million)	Opp. Cost
Maximum	a1b_ipsl_cm4	\$ 7,032	141%	\$ -	\$ 11,658	341%
Median	a1b_inmcm3_0	\$ 2,225	51%	\$ 1,586	\$ 660	42%
Minimum	a2_bccr_bcm2_0	\$ 1,229	32%	\$ 453	\$ 49	5%
NO-ADAPT						
Rank	GCM	Cost (USD\$Million)	Opportunity Cost			
Maximum	a1b_ipsl_cm4	\$ 18,690	482%			
Median	a2_gfdl_cm2_1	\$ 2,885	92%			
Minimum	a2_bccr_bcm2_0	\$ 1,278	37%			

5.6.1. Temperature, Precipitation and Flooding Results

5.6.1.1. Climate Impact on Road Infrastructure: Precipitation and Temperature

The disaggregation of the overall climate impact numbers highlights the potential effect of precipitation and temperature on the climate costs. As illustrated in Figure 5-3 and Figure 5-4, the impacts are distributed throughout the Adapt and No Adapt scenarios. Both Adapt and No Adapt have similar costing impacts, which are reflected in the Adaptive Advantage of 5-10% from the minimum and maximum GCM impact scenarios (Table 5-3). The Adapt scenario has an almost even distribution, with 12% of the GCMs in the lowest two categories (less than USD\$1.57 billion) and 16% of the GCMs in the highest category (greater than USD\$2.44 billion). The remaining GCMs are fairly evenly distributed throughout the total cost (Figure 5-3). The No Adapt impact analysis has a slightly more end-weighted distribution, with 36% and 28% distributed in the first two and last two categories, respectively (Figure 5-4).

Figure 5-3: Histogram of climate (precipitation and temperature) impact on road infrastructure through 2050 - Percent of GCMs with respective impact results

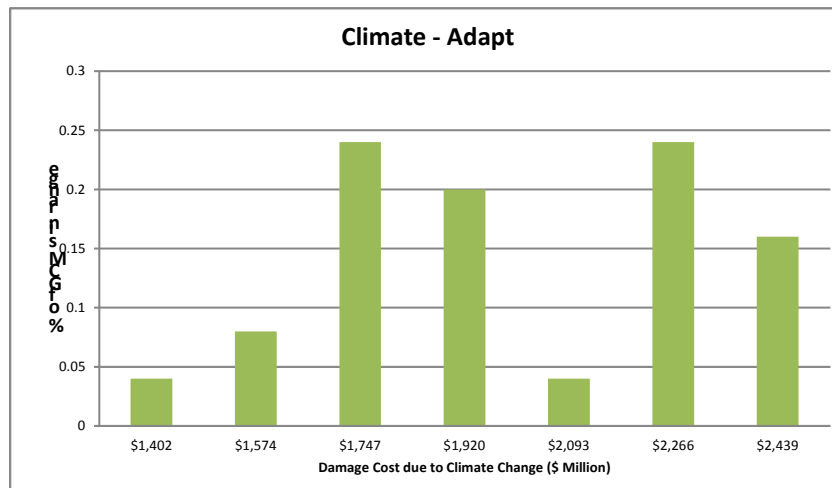


Figure 5-4: Histogram of climate (precipitation and temperature) impact on road infrastructure through 2050 - Percent of GCMs with respective impact results

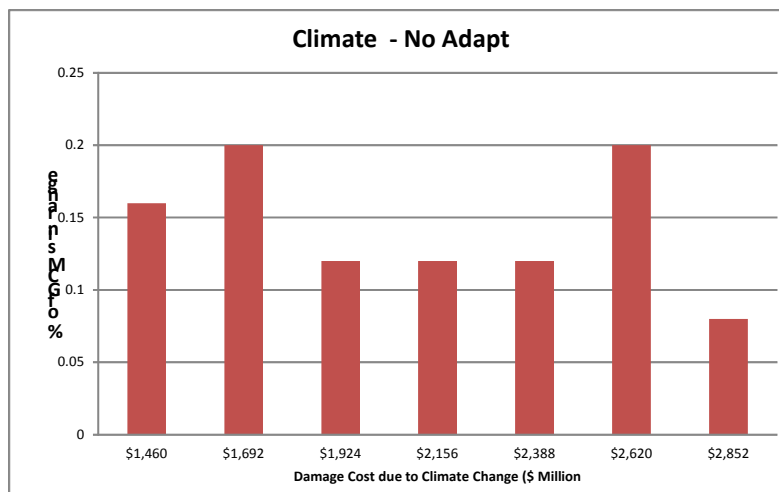


Table 5-3: Adapt and No Adapt Costs and Adaptive Advantage for Climate Stressor Impact on Roadstock (Precipitation, Temperature)

ADAPT					Adaptive Advantage	
Rank	GCM	Cost (USD Million)	Opportunity Cost	Maintenance Savings	(USD Million)	Opp. Cost
Maximum	a1b_ccma_cgcm3_1	\$ 2,439	66%	\$ 1,362	\$ 413	10%
Median	b1_inmcm3_0	\$ 1,892	51%	\$ 946	\$ 61	5%
Minimum	b1_miroc3_2_medres	\$ 1,549	32%	\$ 843	\$	
NO-ADAPT						
Rank	GCM	Cost (USD\$ Million)	Opportunity Cost			
Maximum	a1b_ccma_cgcm3_1	\$ 2,852	76%			
Median	a2_gfdl_cm2_1	\$ 1,953	56%			
Minimum	b1_miroc3_2_medres	\$ 1,228	37%			

The flooding impact on the road infrastructure of Vietnam is weighted towards the lower predictions, with 88% and 92% of the predictions in the lowest two categories for the Adapt and No Adapt analyses, respectively. In both analyses, the IPSL_CM4_A1B GCM is the maximum cost impact because of its higher projections of flooding increases relative to the other GCM comparisons.

Under both analyses, seven of the GCMs predict no flooding cost impacts. This indicates that these GCMs predict no flood events larger than the equivalent of a 15-year flood which is considered the design baseline for the road infrastructure. The Adapt maximum impact scenario has a cost of USD\$4.6 billion, an opportunity cost of 75% or 57,000 KM of new, secondary, paved roads. The No Adapt maximum impact scenario is considerably higher at USD\$16.2 billion. The distribution of the GCM results for the No Adapt scenario is heavily weighted into the first category (92%), but the range of the highest two GCMs may raise a concern for policymakers looking at the potential worst-case climate change impact scenario.

When looking at the maximum impact scenario, there is an adaptive advantage of 341% - the equivalent of nearly 260,000 KM of new, secondary, paved road network. There are 2 GCMs that predict high impact costs for flooding in both scenarios. However, this scenario must be considered in relation to the minimum scenarios which indicate no impact from flooding. This can be seen in Table 5-4.

Table 5-4: Adapt and No Adapt Costs and Adaptive Advantage for Impact of Flooding on Roadstock

ADAPT				Adaptive Advantage	
Rank	GCM	Cost (USD Million)	Opportunity Cost	(USD Million)	Opp. Cost
Maximum	a1b_ipsl_cm4	\$4,625	75%	\$11,658	341%
Median	a2_ccma_cgcm3_1	\$14	10%	\$21	29%
Minimum	Multiple	\$-	0%	\$-	0%
NO-ADAPT					
Rank	GCM	Cost (USD Million)	Opportunity Cost		
Maximum	a1b_ipsl_cm4	\$16,283	416%		
Median	a2_giss_model_e_r	\$35	38%		
Minimum	Multiple	\$-	0%		

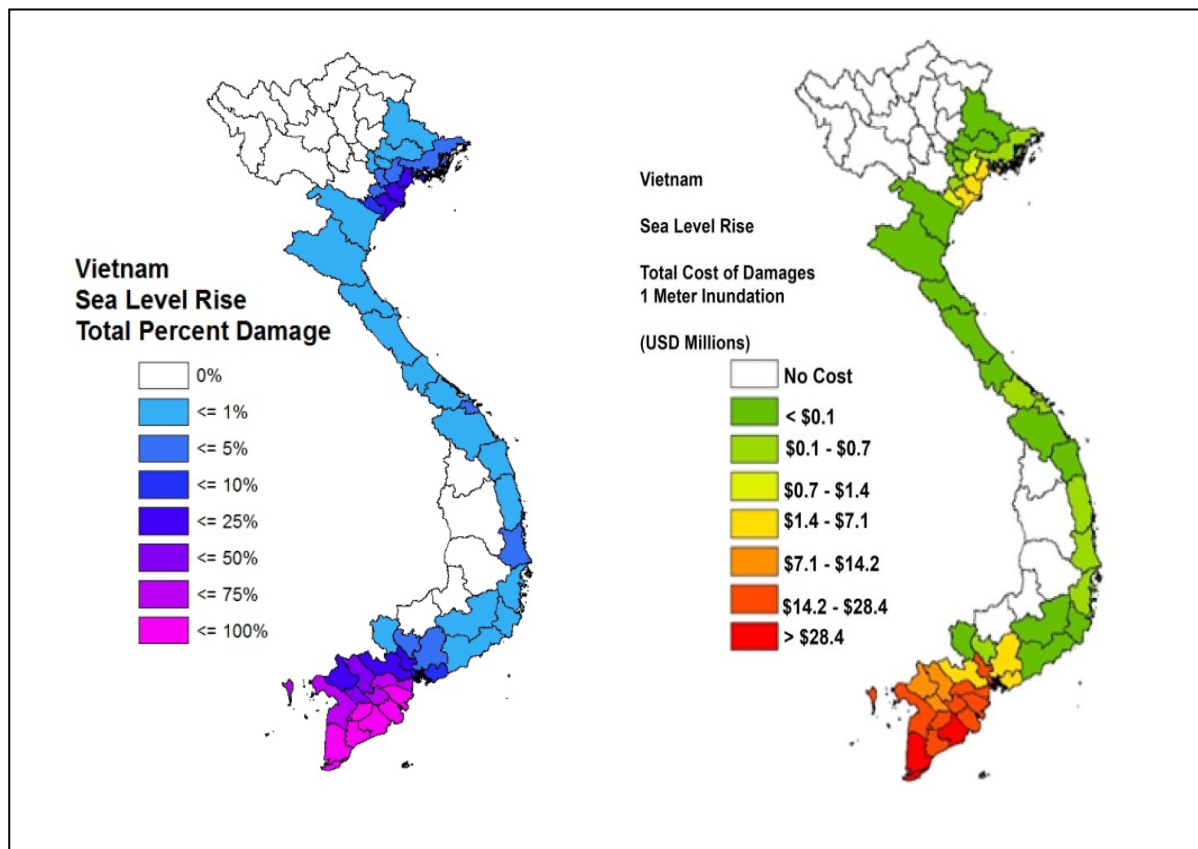
5.6.2. Sea Level Rise Results

The study results presented here are based on a one meter sea level rise which is the basis of the inundation data adopted for the study. A sea level rise of one meter will affect the existing estimated road infrastructure in Vietnam at an extent of 19,000 KM of road infrastructure inundated and destroyed; just under 12% of existing road infrastructure. This is a cost of approximately USD\$297 million in discounted 2010 dollars to replace the inundated infrastructure (Table 5-5). The projected sea level rise is distributed unevenly, with the majority of damages affecting coastal regions in the Southern part of the country. There are several provinces where a complete inundation is projected, resulting in a loss of at or near 100%. These include Bac Lieu, Hau Giang, Soc Trang, Tra Vinh and Ca Mau. The ten most affected provinces are located in the Mekong River Delta region and have an average of 77% of road infrastructure destroyed, a total of nearly 15,200 KM. Figure 5-5 illustrates the percentage damage and total cost estimates at both regional and provincial levels.

Table 5-5: Total SLR Damages from 1 meter SLR. Discounted to 2010 costs at 5% discount rate

	Total % Damage	Total Road Damage	Paved Primary	Paved Secondary	Paved Tertiary	Gravel Tertiary	Unpaved Tertiary
Total Damage (KM)	12%	19,142	1,621	3,775	3,719	9,024	1,003
Total Damage (\$USD Million)	-	\$ 297	\$ 115	\$ 80	\$ 37	\$ 54	\$ 11

Figure 5-5: Depicts the Total Percent Damage and Total Cost of Damage estimated for one meter SLR by provincial administrative region



Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

5.6.3. Regional Level Results

Vietnam is a diverse country with geography ranging from coastal lowlands to higher plains and mountainous terrain in the North. Because climate change affects these areas differently, especially SLR impact, a regional level analysis provides a greater understanding of the areas potentially affected by climate change. In the case of Vietnam, the difference between Adapt and No Adapt policies provides an example of the effect planning and forward preparation to climate change can have on mitigating the impacts.

For regional analysis, two GCMs were selected to represent the higher and median impact. Respectively, these are CNRM_CM3_A1B and MPI_ECHAM5_B1. These were selected because they represent the maximum and median temperature impact increases. Their respective results are displayed at the Regional level below (Table 5-6; Figure 5-6; Table 5-7; Figure 5-7). In all regions, the Adapt policy approach has a lower total and opportunity cost than the No Adapt approach. The following sections highlight these effects in each of the geographic regions within Vietnam.

Table 5-6: Regional analysis (maximum hot climate scenario)

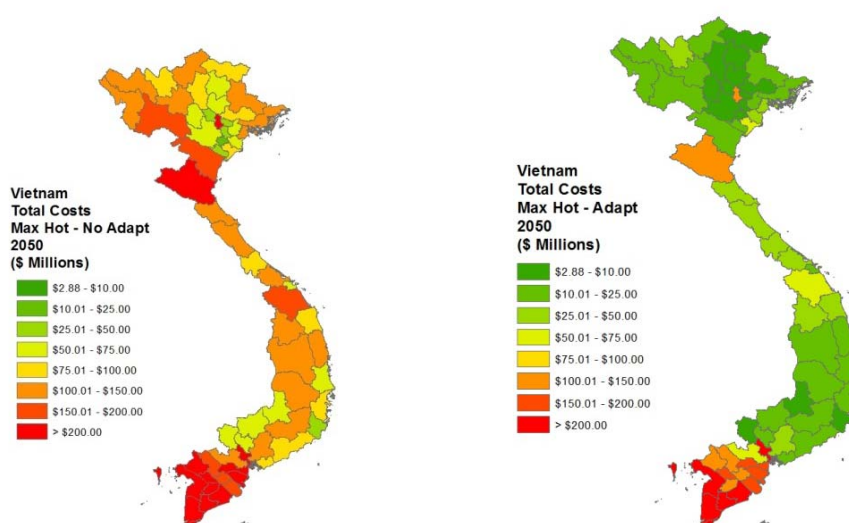
CNRM_CM3_A1B (Maximum Hot)				
Region	Adapt (USDMil)	No Adapt (USDMil)	OC Adapt	OC No Adapt
Central Highlands	3.5	16.9	10%	48%
Mekong River Delta	24.2	36.9	129%	197%
Northern Central Area and Central Coastal Area	4.6	16.5	16%	57%
Northern Midlands and Mountain Areas	1.7	14.2	7%	58%
Red River Delta	3.9	25.2	15%	69%
Southeast	7.9	25.2	33%	54%

5.6.3.1. Central Highlands

The Central Highlands region is least affected by SLR with no provincial damages being reported. The lack of damages in this region is because there is inland protection and none of the provinces in the region have coastal boundaries. Therefore, all the costs below are from climate and flooding impact stressors.

The Adapt policy approximates a savings of nearly USD\$13.4 million in the Maximum Hot Scenario. This cost is the difference between expanding the existing infrastructure by nearly 50% as opposed to an incurred cost of 10% opportunity cost with the Adapt Policy.

Figure 5-6: Combined Total Cost Damages by Province Level in USD Millions for the Maximum Hot scenario

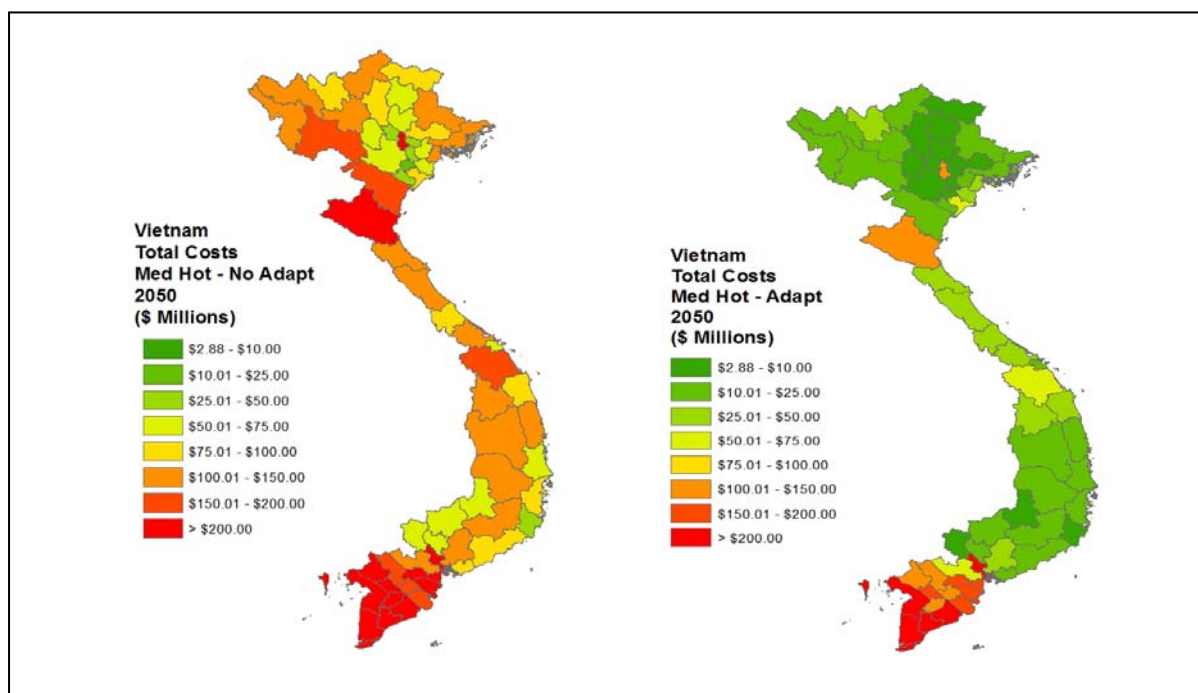


Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

Table 5-7: Regional analysis (median hot climate scenario)

MPI_ECHAM5_B1 (Median Hot)				
Region	Adapt (USDMil)	No Adapt (USDMil)	OC Adapt	OC No Adapt
Central Highlands	7.7	12.9	22%	36%
Mekong River Delta	27.4	30.3	147%	164%
Northern Central Area and Central Coastal Area	6.9	9.5	25%	34%
Northern Midlands and Mountain Areas	2.9	7.5	12%	31%
Red River Delta	5.3	13.1	18%	38%
Southeast	13.9	21.7	17%	63%

Figure 5-7: Combined Total Cost Damages by Province Level in USD Millions for the Maximum Hot scenario



Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese

state.

5.6.3.2. Mekong River Delta

As seen in the tables and figures, in both GCMs, the Mekong River Delta region incurs the greatest damages in both cost and opportunity cost from combined climate change impacts. This impact can be largely attributed to the SLR analysis. This is the southernmost region in Vietnam and the majority of the land area is at an elevation of three meters or lower. The thirteen provinces have SLR inundation estimates ranging from 14%-99.5% of all road infrastructure. This inundation also has an impact on agriculture and other existing industries in these areas. Seasonal flooding and inundation from typhoons and natural weather events are an existing concern that may be exacerbated by SLR and increased precipitation and flooding under climate change. The No Adapt costs in this region account for 77% (USD\$24.2 million) of the total SLR costs for the country. The provinces of Bac Lieu, Hau Giang, Soc Trang, Tra Vinh, and Ca Mau have SLR inundation projections of 96-100%. The combination of the SLR damages with the flooding projections and increased precipitation accounts for the proportionally higher costs relative to all the other regions.

5.6.3.3. Northern Central Area and Central Coast Area

The climate change impact on the Northern Central Area and Central Coast Area is potentially as high as USD\$16.5 million using the No Adapt Maximum Hot scenario. This is an opportunity cost of 57%, compared to an Adapt policy opportunity cost of 16%. This is a savings of USD\$11.9 million. The Median Hot scenario has a lower projected impact (34% and 25%, No Adapt and Adapt, respectively) but still evidences a benefit from an Adapt policy.

In this region, approximately 1% of the roadstock is affected by SLR. The provincial inundation ranges from .03% -1.3%. Phu Yen has an estimated inundation of 44 KM of road, compared to Da Nang's estimate of 29 KM damaged.

5.6.3.4. Northern Midlands and Mountain Areas

With Adaptation, the Northern Midlands and Mountain Area region has the lowest opportunity cost and total cost from climate change. This is partially due to the lack of SLR impact: the greatest impact is less than 1% in Bac Giang, with an impact of 0.06% or 3 KM of road. The climate impacts from temperature, precipitation and flooding have a cost potential of USD\$14.2 million, but with Adaptation that can be reduced to just over USD\$1.7 million. In this region, an Adapt policy would greatly benefit the existing road infrastructure and save a significant amount of money.

5.6.3.5. Red River Delta

The impact of SLR on the Red River Delta area has an average of 6%, but ranges within provinces from 0-21%. The climate impact stressors have an impact on road infrastructure and a resulting benefit from an Adaptation policy of nearly USD\$21.3 million under the Maximum Hot scenario. The Opportunity Cost savings from an Adapt policy are similar between the median and maximum scenarios in this region. However, the Opportunity Cost savings from the No Adapt scenarios have a significant difference with 38% and 69% between the median and maximum scenarios respectively. Because of the densely populated areas in the Red River Delta and urban

areas including Hanoi, the potential impact of the worst case scenario on the economy of the region should be considered.

5.6.3.6. Southeast

The Southeast Region is a smaller region but contains important urban centres including Ho Chi Minh City and Province. The SLR impact ranges from 0-21%, with Ho Chi Minh at the upper end of 20% inundation. With a roadstock of approximately 6800 KM, this represents a potential loss of 1360 KM. Given the population density and important political and economic sectors in this area, a policy analyzing risk for inundation and climatic stressors on the roadstock should be accounted for. The Adapt policy savings of USD\$17.3 million in the Southeast Region makes a case for a proactive adaptation policy to ensure connectivity in the province.

5.7. Limitations

The current study is based on several key components which introduce uncertainty into the quantitative analysis within the study. The climate data presented here is based on the World Climate Research Programme's (WCRP's) Coupled Model Intercomparison Project phase 3 (CMIP3) multi-model dataset (Meehl et al 2007). The dataset represents current approaches to modelling potential climate change, but is based on probabilistic modelling. Thus, a degree of uncertainty is introduced in terms of climate impacts. This is one reason why the current study utilizes multiple climate models to arrive at conclusions. Additionally, as stated previously, the study relies on existing material studies to derive the impact stressors. Although the study bases its findings on recognized authorities and studies, the quantitative cost estimates are dependent on the findings from these and similar studies. Issues such as specific pavement types, local conditions, construction and maintenance techniques can all combine to impact specific cost impacts. Therefore, the quantitative cost results may differ based on alternative studies.

The limitations of the SLR analysis have been discussed in the above sections, but are restated here. Because of lack of data regarding the distribution, timing, and height of SLR in future projections, a uniform, one meter analysis was completed for this study. This may be improved upon if more robust climatic data becomes available. However, this does provide a guideline for analysis by highlighting regions and areas that are highly susceptible to changes in SLR due to low-lying coastal elevations.

These limitations should be considered when analyzing the quantitative results of this study. However, the qualitative relationships presented here will remain consistent even if the referenced studies are altered. Specifically, the relative impact on the country will remain consistent and the overall findings remain as stated.

5.8. Discussion and Conclusion

The importance of roads to development and long-term growth in Vietnam requires public officials to balance short-term needs versus long-term planning. The addition of potential climate change effects increases the requirement for balance as the potential benefit from a decision may not appear for several decades. The current study introduces one method for examining these

effects from a quantitative perspective. The developed stressor-response functions illustrate the potential to integrate the predicted temperature, flooding, and precipitation changes resulting from climate change with traditional costing methods to anticipate cost impacts in specific locations. Additionally, using existing expenditures, road inventories, and the calculated cost impacts, the study provides an initial indication of the opportunity costs for each country.

The study illustrates that based on the impact of predicted temperature and precipitation changes; the opportunity cost to Vietnam requires further study by public officials. Specifically, the inclusion of maintenance savings when adaptation occurs is essential to gain a comprehensive perspective on the effects of climate change on the road infrastructure. Of particular importance to Vietnam due to the variance in geography is the need for a holistic picture of the potential impacts of climate change. By incorporating a SLR analysis, this paper provides a baseline analysis emphasizing the important challenge that climate change presents to Vietnam. With over 3,400 KM of coastline, Vietnam is susceptible to impacts along the entire Eastern side of the nation from sea level rise. The Terrain is: low, flat delta in south and north; central highlands; hilly, mountainous in far north and northwest. As documented in the study, this geography creates a scenario where extensive damage to road infrastructure may occur if a one meter sea level rise is realized.

The result of this study indicates that further study should be considered at a local level in districts where severe damage from inundation is predicted. Adaptation options such as coastal defences, road hardening, and road relocation should be examined. However, consideration should be given to the projected time frame when sea level rise may occur and whether some infrastructure may be needed if neighbouring land area is inundated. Each of these issues may be considered at a more detailed level in subsequent studies undertaken at regional levels

Overall, these numbers establish a basis from which Vietnam needs to approach the climate change challenge. The opportunity costs associated with potential climate change impacts have the potential to further delay infrastructure development plans. These delays are associated with the potential for social development to be impaired as access to critical services and expansion of economic ties is delayed. The challenge to governmental organizations is how to incorporate the multitude of conflicting requirements associated with the potential impacts into a cohesive policy that achieves balance between short-term needs and the potential long-term effects of climate change on infrastructure.

In conclusion, the developed methodology represents a first step toward developing an integrated and comprehensive economic evaluation of the effects of climate change on road infrastructure. The results from the analysis will inform the economic models that comprehensively analyze the effects of climate change on the economy of a country. The resulting challenge to governments from the final results of this analysis will be how to incorporate a multitude of conflicting requirements into a cohesive policy that achieves balance between short-term needs and the potential long-term effects of climate change on infrastructure.

6. Coastal Zones, Sea Level Rise, and Cyclones

This chapter considers the impact of sea level rise and storm surge on the Red River Delta region of Vietnam. The Red River Delta region consists of nine provinces: Bac Ninh, Ha Namh, Hai Duong, Hung Yen, Nam Dinh, Ninh Binh, Thai Binh, Ha Tay, and Vinh Phuc; and two municipalities: Hanoi and Hai Phong. Much of the delta area is characterized by low elevations. The capital city of Ha Noi is located eight meters above sea level, on average. Other major cities in the region include Hai Phong and Nam Dinh, which are both located three meters above sea level, on average. Figure 6-1 depicts the study area for this analysis.

By combining a range of sea-level-rise (SLR) scenarios for 2050 with the potential maximum storm surge level for the current 100-year storm, this report analyzes permanently inundated lands and temporary flood zones. U.S. Geological Survey's HydroSHEDS 90-meter elevation data is used to identify the inundated and flooded areas. Three SLR scenarios are considered, each with a different level of rise: low (0.156 meters), medium (0.285 meters), and high (0.378 meter). The Sea, Lake, and Overland Surge from Hurricanes (SLOSH) model is used to define the potential maximum surge for simulated storm activity in the study area (Jelesnianski et al., 1992).

This chapter includes three sections. First, background information on coastal flooding in the Red River Delta is presented. Second, a thorough description of the applied methodology is provided. Third, the results of the analysis are presented and discussed. Our analysis finds that sea-level rise through 2050 could increase the frequency of the current 100-year storm, which is associated with a storm surge of roughly 5 meters, to once every 60 years. Approximately 10 percent of the Hanoi region's GDP is vulnerable to permanent inundation due to sea-level rise, and more than 40 percent is vulnerable to period storm surge damage. We conclude that coastal adaptation measures, such as a planned retreat from the sea, and construction of a more substantial seawall and dike system, are needed to respond to these threats.

6.1. Background: Coastal Flooding in Vietnam

Of all developing countries, recent studies have shown Vietnam to be one of the most vulnerable to sea level rise. Using six indicators, Dasgupta *et al.* (2009) assess the impact of SLR on 84 coastal developing countries. Considering the use of land, population, gross domestic product, urban extent, agricultural extent, and impacted wetlands, Dasgupta *et al.* (2009) demonstrate that Vietnam, with one meter of SLR, ranks among the top five most-impacted countries. Additionally, the World Bank (2009) ranks Vietnam among the twelve Bank client countries most at risk from sea level rise due to climate change.

Figure 6-1: Red River delta region study area



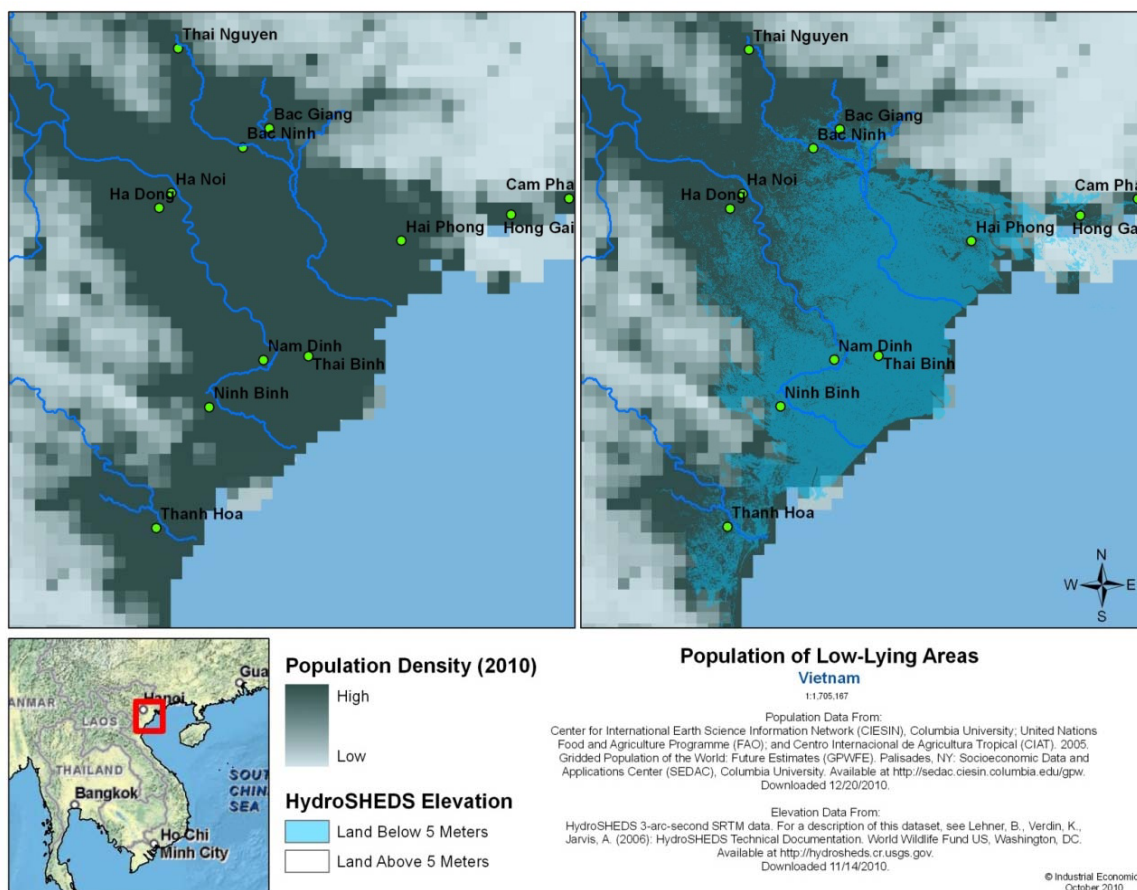
Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

Vietnam is likely to be one of the most vulnerable nations in the world due in part to the location of major urban centres and intensely cultivated lands in low-lying areas. In 2010, the Red River Delta region, which surrounds Vietnam's capital city of Ha Noi, was home to approximately 23 percent of Vietnam's total population (General Statistics Office of Vietnam, 2010). The provinces in this region represent the most densely populated in Vietnam outside of Ho Chi Minh City (General Statistics Office of Vietnam, 2010). Figure 6-2 illustrates the

confluence of population density and low-coastal land in the Red River Delta region. The Red River Delta region is also one of the country's major agricultural regions. Nearly 60 percent of households in the region depend on income provided by agriculture (World Bank, 2010b).

Between 1954 and 2000, an average of 6.9 typhoons per annum made landfall along Vietnam's coast (MoNRE, 2003). The high winds and storm surges associated with these typhoons inflict a vast amount of damage on the coastal region. Precipitation that accompanies these typhoons also induces widespread flooding in regions at an elevation of less than one meter above sea level. These floods result in significant damage to those low-lying regions, like those within the Red River Delta and floodplain. Table 6-1 outlines the historic cyclone events that have caused damage to the Red River Delta region between 1990 and 2008.

Figure 6-2: Population of low-lying areas in red river delta region



Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

Table 6-1: Historic tropical cyclone incidents which have caused damage to the red river delta region between 1990 and 2008

Date	Storm Name	Provinces Impacted	Housing Lost (# houses)		Agriculture Lost (Ha)			
			Collapsed, Washed- Away	Sub- merged	Rice Fields, Damaged	Rice Fields, Lost	Farm Produce, Damaged	Farm Produce, Lost
Sep-05	Storm no. 7 (Damrey)	Hai Phong, Thai Binh, Nam Dinh, Ninh Binh	626	35,886	139,649	1,300	12,128	1,000
Sep-05	Storm no. 6	Hai Phong, Thai Binh, Nam Dinh, Ninh Binh	1	138	42,129			
Jul-05	Storm no.2 (Saola)	Hai Phong, Thai Binh, Nam Dinh, Ninh Binh, Ha Nam	2	206	48,534		4,027	
Aug-03	Storm no. 3	Hoa Binh, Ha Tay, Bac Giang, Bac Ninh, Hai Duong, Ha Nam, Hung Yen, Hai Phong, Thai Binh, Ninh Binh, Nam Dinh		201	3,400	130		
Sep-96	Storm no.4	Nam Ha, Thai Binh, Hai Phong, Ninh Binh	3,190	74,050	21,411	2,615	8,420	3,190
1996	Storm no.2	Nam Ha, Thai Binh, Hai Phong, Ninh Binh, Hoa Binh, Ha Noi, Ha Tay	29,842	444,017	117,002	39,504	11,773	7,645
Aug-95	Storm no.5	Ninh Binh, Nam Ha, Thai Binh			1,500			
Jul-91	Storm no.3	Hai Phong	5		1,500			

Source: CCFSC, 2010.

Two of the strongest typhoons to hit Vietnam in the last 30 years made landfall in 2005 (Mai *et al.*, 2009). Typhoon Saola, the smaller of the two, made landfall on July 31, predominantly affecting the coastal areas of Quang Ninh and Hai Phong provinces. Wind force near the eye of the storm reached nine on the Beaufort scale (75-88 kilometres per hour). Saola caused several kilometres of sea dike damage, especially on the island of Cat Hai where dikes needed to be completely replaced (Mai *et al.*, 2009).

Typhoon Damrey, which made landfall in Vietnam on September 27, is considered the most severe storm to hit Vietnam in the last 50 years. Damrey affected all coastal provinces of the Red River Delta region with Beaufort scale 12 (118-133 kilometres per hour) wind forces in the eye of the storm. High storm surges coincident with high tides led to extensive overtopping of sea dikes

in the area. Storm surges from Damrey reached a height of three to four meters and the seawater penetrated inland three to four kilometres. Flash floods following Damrey destroyed at least 1,194 houses and damaged another 11,576 in upland areas. More than 130,000 hectares of rice fields were submerged and damaged, most of which had not been harvested prior to Damrey (Mai *et al.*, 2009). Although it is difficult to associate singular events like the damaging typhoons of 2005 with climate change, deadly events like these clearly demonstrate the extreme vulnerability of the region to exaggerated climate variability.

The threat from cyclones in Vietnam is compounded by the potential impacts of climate change, including sea level rise and increased rainfall. Sea levels in Vietnam are estimated to increase two and a half to three centimetres per decade due to climate change (MoNRE, 2003). In addition, delta areas are expected to subside over time, which may exacerbate damage caused by sea level rise in the Red River Delta. Unless a sufficiently high and strong dike system is built, sea level rise will further decrease land area in the Red River Delta. Climate change is expected to increase climate variability in Vietnam, decreasing rainfall during the dry season and increasing rainfall in the wet season. Overall, annual rainfall is expected to increase (MoNRE, 2009). Inundation, the loss of land, and saltwater intrusion caused by sea level rise, increased rainfall and cyclone events will pose serious threats to farmers. Between 1976 and 2005, flooding and saltwater intrusion contaminated 40,000 hectares of cultivated land and destroyed over 100,000 tons of food (Mai *et al.*, 2009). The rate of destruction may increase due to climate change. These impacts may be felt through agricultural exports and could possibly affect national food security (Chaudhry and Ruyschaert, 2007).

Cyclones also contribute to serious coastal erosion in Vietnam, which is expected to worsen due to climate change (Mai *et al.*, 2009). Vietnam has experienced both structural longshore erosion, which takes place along unprotected coastlines, and foreshore erosion, which leads to a deepening of the foreshore in front of sea dikes (Mai *et al.*, 2009). In Vietnam, structural erosion occurs at about 10 to 20 meters per year, while foreshore erosion occurs at a rate of 0.3 to 0.6 meters per year. Over the past 100 years the shoreline in Vietnam has retreated some 3,000 meters and approximately 18,000 hectares of land have been lost (Mai *et al.*, 2009).

6.2. Methods

The effects of climate change on cyclones can include changes in the intensity, frequency, and the track of individual storms. Changes in temperature are a potentially important factor in altering storm patterns, but, because cyclones are relatively rare events, differences in storm generation activity that might be experienced by 2050 are difficult to discern with current methods. Because historical data on storm surges in Vietnam is sparse, extrapolating trends of past storm activity is generally not useful.

The effect of sea-level-rise is an equally important effect of climate change on the potential damage that may result from cyclones. Higher sea level provides storm surges with a higher “launch point” for the surge, which may increase both the real extent and the depth of the surge in areas already vulnerable to coastal storms. In addition, future sea-level rise, while uncertain, is more reliably forecast to 2050 than future storm activity. In general, the increase in sea level would make existing storms significantly more damaging, even for minimal changes in storm activity. This

analysis focuses on the more reliably forecast marginal effect of SLR on the extent and effective return period of these already damaging storms. Using a simulated dataset for storms and surges along with three alternative forecasts for future SLR in Vietnam, we estimate the effect of climate change induced SLR on surge risk due to cyclones. The overall method involves four steps:

1. *Simulate storm generation activity over the 21st century.* Our method generates 3000 seeded events, and estimates which of these events become cyclones and where they might track.
2. *Use wind fields as inputs to a storm surge model.* We use the U.S. National Weather Service's SLOSH model to estimate how wind-driven water during a cyclone event generates a storm surge over coastal land.
3. *Generate a cumulative distribution function of storm surge height for selected key locations in the SLOSH domain.* SLOSH results generated for each of the simulate events provide a base case of surge heights for future storms, absent sea-level rise
4. *Estimate effect of SLR on return time of storms.* Using the distribution of storm surge in the base case, we then estimate how SLR effectively increases the frequency of damaging storm surges, for three scenarios of future SLR in 2050.

We describe each of these steps briefly in the remainder of this section.

6.2.1. Storm Generation

Existing event set generation techniques begin with historical compilations of hurricane tracks and intensities, such as the so-called "best track" data compilations maintained by forecasting operations such as the National Oceanic and Atmospheric Administration's Tropical Prediction Center (TPC) and the U.S. Navy's Joint Typhoon Warning Center (JTWC). These records typically contain the storm's centre-position every six hours together with an estimated intensity, either maximum wind speed or central pressure, every time period. Early risk assessments (e.g. Georgiou et al., 1983; Neumann, 1987) fit standard distribution functions, such as lognormal or Weibull distributions, to the distribution of maximum intensities of all historical storms coming within a specified radius of the point of interest. Then, by drawing randomly from such distributions, these early risk assessments used standard models of the radial structure of storms, together with translation speeds and landfall information, to estimate the maximum wind achieved at the point of interest. A clear drawback of this historical extrapolation approach is that frequency estimates for high-intensity events are quite sensitive to the shape of the tail of the assumed distribution. Mainly because there is little supporting data, these tails are, by nature, notoriously difficult to quantify.

Many wind risk assessment methods rely directly on historical hurricane tracking data to estimate the frequency of storms passing close to points of interest, and must therefore assume that the intensity evolution is independent of the particular track taken by the storm. Moreover, the relative intensity method must fail when storms move into regions of small or vanishing potential intensity. This is often the case in higher latitudes, where enormously destructive storms have occurred, though infrequently. In such regions the historical record is extremely sparse, resulting in vanishing potentials.

As a step toward circumventing some of these difficulties, we have developed a technique for generating large numbers of synthetic hurricane tracks, along each of which we run a deterministic, coupled numerical model to simulate storm intensity. The method is based on randomly seeding a given ocean basin with weak tropical cyclone-like disturbances, and using an intensity model to determine which of these develop to tropical storm strengths. A filter is applied to the track generator to select tracks coming within a specified distance of a point or region of interest, such as a city or county. In filtering the tracks, a record is kept of the number of discarded tracks; this is used to calculate the overall frequency of storms that pass the filter. In this work, we selected the city centre of Ha Noi, Vietnam as the focal point; as a result, we also capture storms that have major impacts seaward of Ha Noi, in the Red River Delta.

Once the tracks have been generated, a coupled hurricane intensity model is then run along each of the selected tracks to produce a history of maximum wind speeds. This model is driven by monthly climatological, atmospheric and upper ocean thermodynamic information, but also considers ambient environmental wind shear that varies randomly in time according to the procedure described previously. This coupled deterministic model produces a maximum wind speed and a radius of maximum winds, but, owing to the coarse spatial resolution of the model, the detailed aspects of the radial storm structure are not used here. Instead, we use an idealized radial wind profile, fitted to the numerical output, to estimate maximum winds at fixed points in space away from the storm centre. The overall method has been described in several published sources (see, for example, Emanuel *et al.* 2008).

For each point of interest, the intensity model is run in a Monte Carlo simulation with several thousand iterations to produce desired statistics, such as wind speed exceedance probabilities. Both the synthetic track generation methods and the deterministic models are efficient enough to estimate exceedance probabilities to a comfortable level of statistical significance with appropriate computational software.

6.2.2. The “Sea, Lake, and Overland Surge from Hurricanes” Model

Sea, Lake, and Overland Surge from Hurricanes (SLOSH) is a computerized model developed by the Federal Emergency Management Agency (FEMA), United States Army Corps of Engineers (USACE), and the National Weather Service (NWS) to estimate storm surge depths resulting from historical, hypothetical or predicted hurricanes by taking into account a storm's pressure, size, forward speed, forecast track, wind speeds and topographical data (Jelesnianski *et al.*, 1992).

Graphical output from the model displays colour-coded storm surge heights for a particular area. Heights are presented as feet above the model's reference level, the National Geodetic Vertical Datum (NGVD), which is the elevation reference for most maps. Among other things, the SLOSH model is driven by wind fields derived from the storm generation techniques presented above.

Storm surge generation calculations are applied to a specific locale's shoreline, incorporating the unique bay and river configurations, water depths, bridges, roads and other physical features. We coded these aspects of the SLOSH grid, and they are among the most time-intensive components of the overall method.

The SLOSH model is generally accurate within plus or minus 20 percent. For example, if the model calculates a peak 10-foot storm surge for the event, users can expect the observed peak to range from 8 to 12 feet. The model accounts for astronomical tides, which can add significantly to the water height, by specifying an initial tide level, but does not include rainfall amounts, riverflow or wind-driven waves. Only wind-driven “stillwater” flood heights are accounted for in SLOSH.

The point of a hurricane's landfall is crucial to determining which areas will be inundated by the storm surge. This information is also available from the storm generation methods discussed above, but the synthetic nature of those results and the fact that it represents a forecast, adds uncertainty to the landfall location. We apply the SLOSH model as its developers suggest: to define the potential maximum surge for a location when the precise landfall location is uncertain.

6.2.3. SLR overlay and effect on storm return times

Storm surge results from the base case, which has no SLR, provide a probabilistic representation of the likelihood of storm surge heights at a particular point on the coast over a future period. We use this to define the probabilistic behaviour of storm surges in the 21st century. This storm surge exceedance curve can then be modified to reflect the effects of sea-level rise on surge height. The effect of SLR on the effective return time can then be quantified. The modification of the exceedance curve is done for three future SLR scenarios through 2050.

The impact of land subsidence was also used to assess impact sea levels in the region. Unfortunately, no tide gauge data were available for locations within the Red River Delta. However, using mean sea level trend data for nearby Hon Dau from the Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL, 2005), subsidence in the Red River Delta was approximated at 0.03 meters (30 millimetres) by 2050. A change this small will not have a measurable impact on our results and was thus ignored.

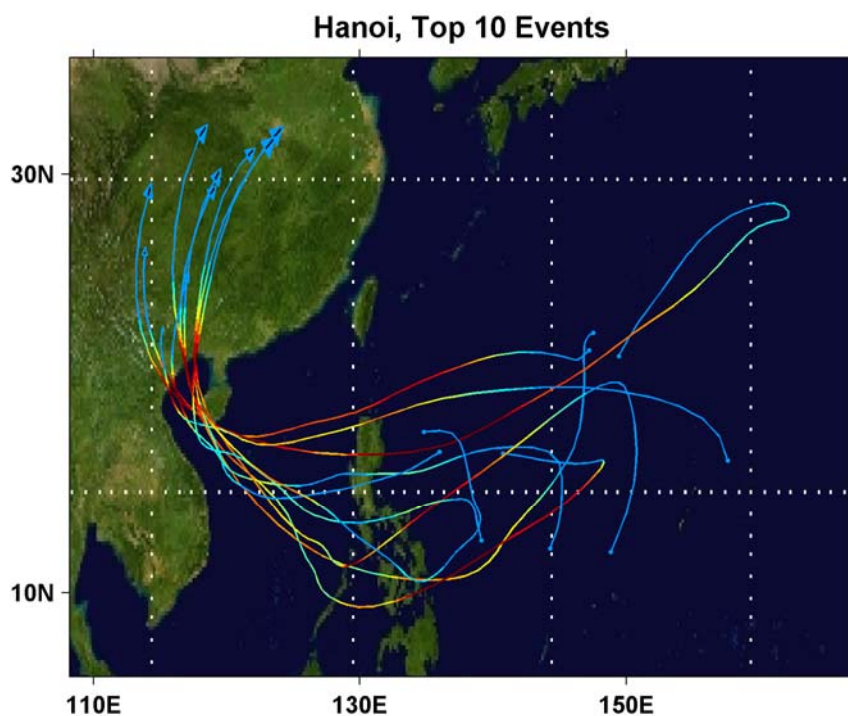
The three SLR scenarios used are low (0.156 meters), medium (0.285 meters) and high (0.378 meter). These same scenarios were used in analyses supporting the World Bank's Economics of Adaptation of Climate Change (EACC) (World Bank, 2010a) project and are based on the work of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Meehl *et al.*, 2007) and Rahmstorf (2007). The low scenario is based on the midpoint of the range of GCM model results reported in the IPCC AR4 (Meehl *et al.*, 2007); the medium scenario is based on Rahmstorf's (2007) modelling of the SLR implications of the A2 temperature trajectory; and the high scenario is based on Rahmstorf's “maximum” scenario (2007).

A function for the effect of SLR on effective return time is generated through the following procedure. First, the storm surge height for a particular “reference storm” in the base case data is identified. In the results presented below, we chose the 100-year storm surge height without any sea-level rise as our reference. We then examine the modified exceedance curves for the three SLR scenarios to determine the modified return period for that storm surge height under each of three scenarios. Finally, least-squares regression techniques are used to define the relationship between return period and SLR magnitude. Typically this relationship is not linear.

6.3. Results

The results of this four-step process are presented below. Figure 6-3 presents the tracking of ten storms generated from the process outlined above. These represent storms with the greatest wind speeds. The colours of the tracks indicate the intensity of each storm, according to the Saffir-Simpson scale: from the least intense, blue (Category 1), up through green (Category 2), yellow (Category 3), orange (Category 4), and red (Category 5), the most intense. The tracks indicate that storms that reach Category 5 level can reach the Hanoi area, which is shown in the central left of the map. These storms typically arise from the south and diminish rapidly in intensity as they move north over land.

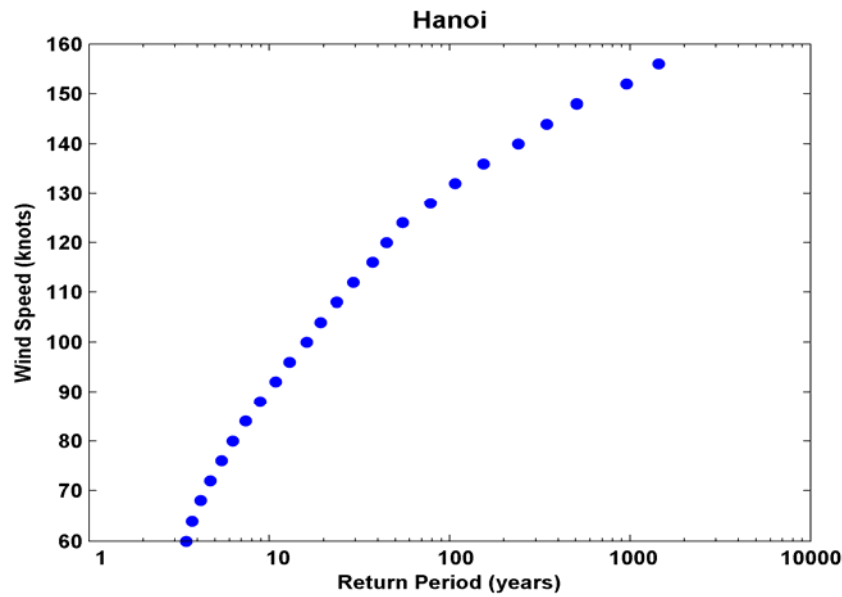
Figure 6-3: Storm tracks



Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

Figure 6-4 shows the exceedance curve for wind-speeds in Hanoi. The 100-year windstorm is associated with wind speeds of approximately 130 knots, which represents a Category 4 storm on the Saffir-Simpson scale. A storm with a 10 year return period is associated with wind speeds of approximately 90 knots, which represents a strong Category 2 storm. The distribution of wind speed return times correlates well with the risks from storm surges, as estimated by the SLOSH model. Figure 6-5 shows the exceedance curves for storm surges under a number of different scenarios. Although sea-level-rise continues unabated, storm surges are insignificant approximately 65 percent of the time. When storm surge events do occur there is potential for the surge level to be quite high, with some cases approaching 11 meters.

Figure 6-4: Wind speeds and estimated return times



Finally, Figure 6-6 provides our estimates of the changes in effective return time for the current 100-year storm surge event as a result of SLR. The return-time curve is estimated with an exponential and a polynomial function. Though there were only a few sampling points, the polynomial exhibited the greatest coefficient of determination (R^2). As shown in Exhibit 7, the historical 100-year event at Ha Noi can be expected to occur more frequently with SLR. Rather than occurring every 100 years, by 2050, it can be expected to occur approximately every 65 years in the Low SLR scenario, every 59 years in the Medium SLR scenario and every 54 years in the High SLR scenario. Similar reductions are seen in the return periods of other storms as well.

Figure 6-5: SLOSH-estimated storm surge exceedance curve, with and without SLR

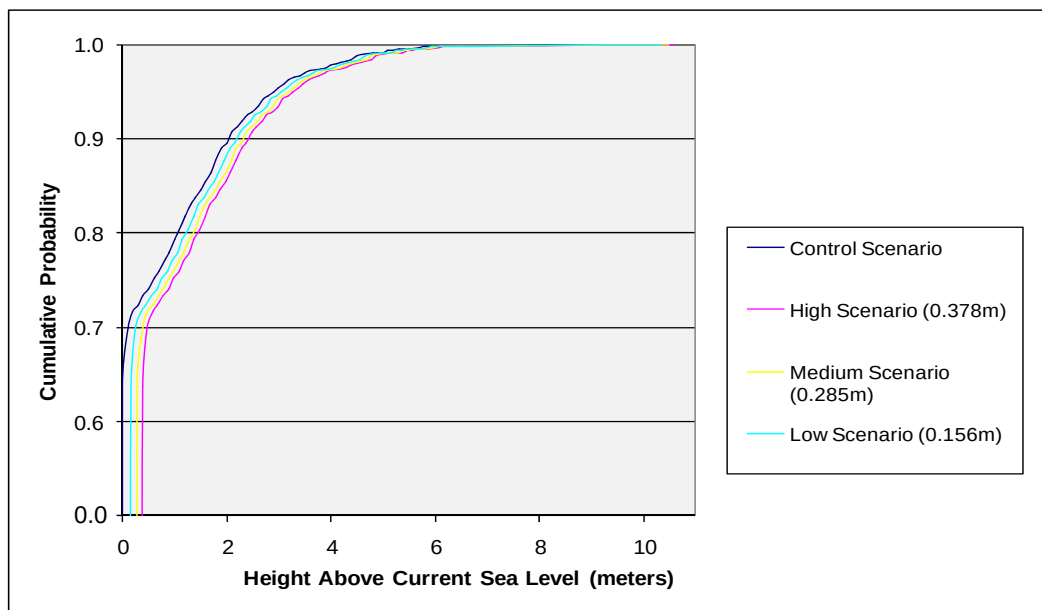
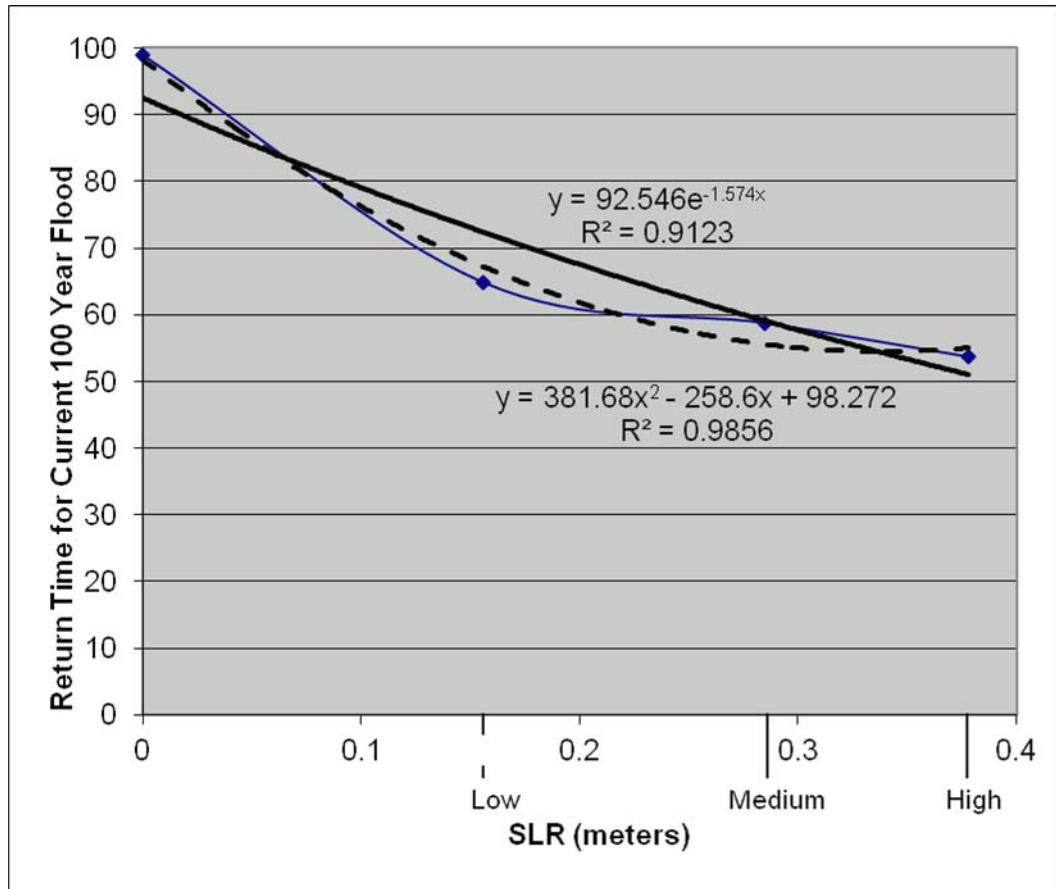


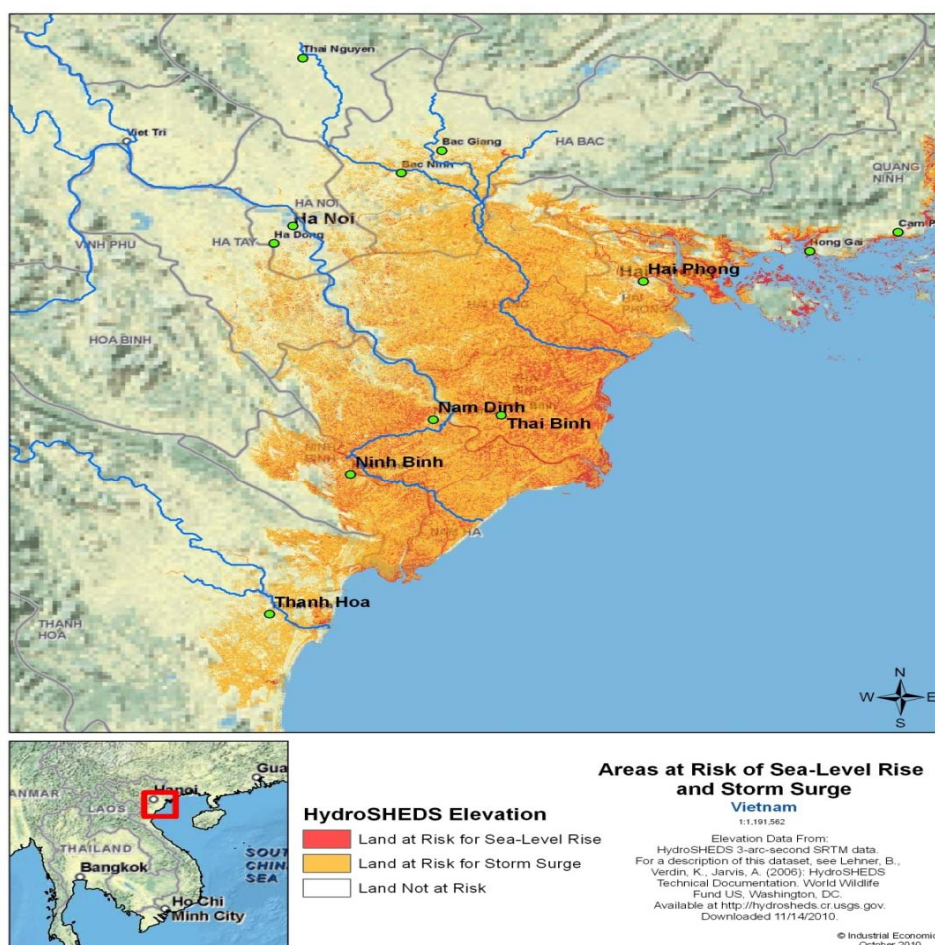
Figure 6-6: Estimated change in effective return time for the 100-year storm as a result of SLR



6.4. Economic Impacts

From this analysis, sea-level-rise will lead to permanent inundation of a significant portion of the low-lying Red River Delta area. In addition, storm surge will lead to increasingly severe and frequent episodic flooding. Figure 6-7 depicts areas that are at greatest risk from SLR and subsequent storm surge. The areas at risk will experience varying levels of damage due to SLR and storm surge. Areas at lower elevations will be flooded more completely and for longer periods, causing greater damage, while areas at higher elevations will experience less severe impacts. This research is constricted by the limited availability of high-resolution elevation data. With higher-resolution elevation data, future work will be able to conduct a more thorough spatial analysis of the relative risks faced by specific areas of the Delta.

Figure 6-7: Areas affected in 2050 by SLR and storm surge



Note: This study covers those parts of Vietnam that could be analyzed with available information therefore the map in the figure in no way intends to reflect the full territorial integrity of the Vietnamese state.

More information about the properties at risk from SLR and storm surge can be garnered from land-use data for the coastal counties in the Red River Delta region, including the counties of Nam Dinh, Thai Binh, Hai Phong, and Ninh Binh. Table 6-2 provides additional detail on the current levels of urban residential, rural residential, commercial, industrial, institutional, agricultural, aquacultural, rice paddies and forest within these provinces.⁵ This exhibit also details the amount of land at risk of permanent inundation by SLR (areas below a one meter elevation) and episodic flooding by the current 100-year storm surge event (areas below a five meters elevation).

Table 6-2 shows that significant portions of the coastal provinces within the Red River Delta are at risk from sea level rise and storm surge. Over 70 percent of areas with high-valued land uses such as urban residential, rural residential, commercial and industrial uses are at risk from flooding up to five meters. Over 90 percent of land used for rice paddies is at risk. This is particularly troubling as the Red River Delta supports nearly half of the country's rice production (Mai *et al.*, 2009).

⁵ This land-use data included areas that were not given a specific designation. In these areas the land-use category is unknown and thus these areas are not included in these calculations.

Land value data would be the ideal tool for assessing the economic damages associated with storm surges and sea level rise. Because detailed land value data in Hanoi was not available for this study, gross domestic product (GDP) was used as a proxy for land values. Following the methodology employed in the Dynamic and Interactive Vulnerability Assessment (DIVA) model (Vafeidis *et al.*, 2008), this study used gridded population data at 2.5-minute resolution from the Centre for International Earth Science Information Network (CIESIN, FAO, and CIAT, 2005) combined with estimated 2010 country-level GDP data for Vietnam (CIA, 2009) to calculate a proxy for site-specific economic values.

For inundated lands, any land value would be permanently lost. Storm surge would result in a loss of the annual GDP value for the year in which the storm occurs. The implicit assumption of this methodology is that land with a greater population is of higher value. While there are good reasons to suggest this may understate values for some less-populous lands (e.g., agricultural lands) and perhaps for some more-populous regions as well, we believe that this is a reasonable assumption when considering damages over a relatively large area. A similar approach has been used in the DIVA model for many years (Vafeidis *et al.*, 2008).

Table 6-3 presents the GDP at risk of being permanently lost due to SLR inundation and the GDP at risk of being lost in a given year due to episodic flooding by the current 100-year storm event. Approximately \$6.53 billion is at risk in the Red River Delta study area due to SLR and an additional \$25.4 billion is at risk due to storm surge caused by a 100-year storm. These figures represent 10.9 and 42.5 percent of the total GDP within the Red River Delta study area, respectively. Considering Vietnam as a whole, GDP at risk within the Red River Delta study area due to SLR represents 2.36 percent of the total GDP for the country; GDP at risk due to storm surge represents 9.18 percent of total GDP.

Table 6-2: Land use areas - current totals and areas at risk from SLR and storm surge by 2050

Area considered	Land use								
	Urban Residential	Rural Residential	Commercial	Industrial	Institutional	Agricultural	Aquacultural	Rice Paddies	Forest
CURRENT AREA IN COASTAL RED RIVER DELTA PROVINCES (SQUARE KM)									
All Elevations	103	725	25.0	19.8	127	149	358	3,040	214
AREA AT RISK OF PERMANENT INUNDATION (SLR) AND EPISODIC FLOODING (CURRENT 100-YEAR STORM SURGE EVENT) (SQUARE KM)									
Below 1 meter	15.7	97.9	2.36	5.06	11.6	21.0	241	455	32.0
Below 5 meters	76.2	635	18.3	15.7	90.8	81.9	349	2,800	80.2
PERCENT OF LAND AREA AT RISK OF PERMANENT INUNDATION AND EPISODIC FLOODING									
Below 1 meter	0.15	0.14	0.09	0.26	0.09	0.14	0.67	0.15	0.15
Below 5 meters	0.74	0.88	0.73	0.79	0.72	0.55	0.97	0.92	0.38

Note: Data rounded to three significant figures.

Table 6-3: Attributed annual GDP at risk from SLR and storm surge by 2050

Area considered	Attributed Annual GDP (million 2010 Dollars)	Percent of total GDP within study area	Percent of total GDP For Vietnam
CURRENT AREA IN COASTAL RED RIVER DELTA PROVINCES			
All Elevations	\$59,700	100%	21.6%
AREA AT RISK OF PERMANENT INUNDATION (SLR) AND EPISODIC FLOODING (CURRENT 100-YEAR STORM SURGE EVENT)			
Below 1 meter	\$6,530	10.9%	2.36%
Below 5 meters	\$25,400	42.5%	9.18%

Note: Data rounded to three significant figures.

Source: Gridded population data from the Center for International Earth Science Information Network (<http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/>); GDP per capita and GDP for Vietnam from the Central Intelligence Agency World Factbook (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>).

6.5. Discussion

This analysis demonstrates a proof of concept for storm surge and SLR risk analysis for a region of Vietnam. Although several data limitations were identified, a method was developed for assessing spatial damages from SLR and storm surges with existing data in the Red River Delta region of Vietnam. In the current baseline scenario without SLR, our simulated storm generation activity and storm surge modelling showed that cyclones in the Red River Delta region are infrequent but severe. Modifying the storm surge exceedance curve from the current baseline scenario to account for SLR modestly increases risk. Cumulative areas affected across several land-uses and relative GDP values were used to estimate the economic impact and increased risk from sea-level rise and storm surges. Due to limitations of the elevation data used, affected areas could only be defined at the integer level. Therefore, only minimal distinction can be made between areas impacted by SLR versus those impacted by storm surge.

The implications of this analysis for adapting the Red River Delta to future climate change present an interesting direction for future research. Options for adapting the area to address these potentially severe risks of inundation and episodic flooding include constructing or reinforcing new and existing levees, constructing tidal dike systems to address episodic flooding of agricultural areas, elevating vulnerable structures in low-lying areas subject to episodic flooding and planning a managed retreat from the areas which face the most severe risks. Alternative adaptation approaches could utilize financial mechanisms, such as crop and property insurance programs. Such programs, like all others, should be carefully analyzed for their financial and economic implications. In the case of financial mechanisms, care should be taken to ensure that insurance premiums are both actuarially fair and, if they are to be effective, reasonably affordable.

Typically, such strategies would be analyzed and recommended only after a benefit-cost assessment that considered the value of the lands and structures at risk, the costs of adaptation and the timing of the risks. Such an approach is demonstrated in Neumann et al. (2010) for areas of the United States, for example. Unfortunately, elevation and economic data currently available for this study in Vietnam was not sufficiently well resolved to support such an analysis. With continued cooperation and dialogue among local stakeholders and analysts, creative approaches to filling these data gaps could be designed that would support better risk and adaptation analyses, which may, in turn, support more refined adaptation planning in this region.

7. Economywide Impacts

In order to assess the implications of climate change for growth and economic development, the impact channels discussed in the earlier sections are introduced one by one. In all, six impact channels or scenarios are considered. These are listed below with the name of the impact channel/scenario at the beginning.

1. *Agriculture*. Impacts of temperature and precipitation changes for crop production by region combined with unmet irrigation demand.
2. *Roads*. Implications of climate change from CliRoad.
3. *Hydropower*. Percentage changes in hydropower production are imposed in accordance with Figure 4-22.
4. *SLRlow*. Sea level rise is assumed to reach 16 centimetres by 2050. This rise occurs linearly over the simulation period.
5. *SLRhigh*. Sea level rise is assumed to reach 38 centimetres by 2050 and is imposed in the same manner as SLRlow.
6. *Cyclone*. Probabilistic cyclone strikes across each of the 56 scenarios with only the marginal impact due to sea level rise imposed as a shock.

These impact channels are imposed in a cumulative fashion. So, the scenario Roads contains the shocks for the Agriculture and Roads impact channels. The last scenario, Cyclones, contains the shocks from the first three scenarios as well as SLRhigh. With low sea level rise, the marginal impact of cyclones due to elevated storm surge is too small to merit presentation.

7.1. Multisector Economic Model

Sector model results are passed down to a dynamic computable general equilibrium (DCGE) model of Vietnam, which estimates the economic impact of the baseline and climate change scenarios, including spillovers from the four focal sectors to the rest of economy (i.e., indirect or economy-wide linkages). Our DCGE model belongs to the structural neoclassical class of CGE models (see Dervis et al. 1982).⁶ Such DCGE models are well-suited to analysing climate change. First, they simulate the functioning of a market economy, including markets for labour, capital and commodities, and therefore can evaluate how changing economic conditions are mediated via

⁶ For a detailed specification of the generic DCGE model, see Diao and Thurlow (2012). For recent applications of a similar model to climate change, see Arndt et al. (2008, 2010).

prices and markets. Second, DCGE models ensure that all economy-wide constraints are respected, which is crucial for long run climate change projections. Finally, CGE models contain detailed sector breakdowns and provide a ‘simulation laboratory’ for quantitatively examining how the individual impact channels of climate change influence the performance and structure of the whole economy.

Economic decision-making in the DCGE model is the outcome of decentralized optimization by producers and consumers within a coherent economy-wide framework. A variety of substitution mechanisms occur in response to variations in relative prices, including substitution between factors, between imports and domestic goods, and between exports and domestic sales.⁷ The Vietnam model contains eight regions and 30 sectors, including electricity generation, transport services, and ten agricultural subsectors. Thirty seven factors of production are identified: three types of labour (by education level- primary, secondary, and tertiary and then further divided between rural and urban zones), capital, agricultural land, agricultural capital, livestock, and fish stocks. The agricultural capital, land, livestock and fish stocks are distributed across the eight sub-national regions. This sectoral and regional detail captures Vietnam’s economic structure and influences model results.

Climate change affects economic growth and welfare in the DCGE model via four principal mechanisms. First, productivity changes in rain-fed agriculture are taken from CliCrop/WEAP and the DCGE then determines the amount of resources that should be devoted to each crop given their profitability relative to other activities (i.e., ‘endogenous adaptation’). Second, the DCGE model directly incorporates fluctuations in hydropower production from IMPEND. Third, CliRoad is incorporated directly into the DCGE model. The length of regional road networks from CliRoad is used in the DCGE model to help determine the rate of productivity growth. A shorter road network lowers transport productivity and increases the cost of moving goods between producers and consumers. Finally, the DCGE model incorporates the effects of SLR by reducing the total amount of cultivable land in each region by the land inundation estimates presented above. Other potential impact channels, such as health and tourism, are recognized but not explicitly considered.

The long timeframe over which climate change will unfold implies that dynamic processes are important. The recursive dynamic specification of our CGE model allows it to capture annual changes in the rate of physical and human capital accumulation and technical change. For example, if climate change reduces agricultural or hydropower production in a given year, it also reduces income, which in turn reduces savings. This reduction in savings displaces investment and lowers production potential.⁸ Similarly, higher road maintenance costs imply less infrastructure investment and shorter road networks both now and in the future. Extreme events, such as flooding, also cause infrastructure destruction with lasting effects. Generally, even small differences in accumulation can cause large differences in economic outcomes over long time periods. Our DCGE model is well-suited to capture these path dependent effects.

7.2. Results: Climate Change Impacts

⁷ Production and trade function elasticities were drawn from Dimaranan (2006).

⁸ Given our long run focus, our macroeconomic ‘closure’ assumes that changes in aggregate absorption are proportionally distributed across nominal private and public consumption and investment via distribution neutral changes in savings rates (see Lofgren et al. 2002). Government savings are flexible, tax rates are fixed and the real exchange rate adjusts to maintain an exogenously determined current account balance.

7.2.1. Baseline Scenario

In order to estimate the economic cost of climate change for Vietnam, it is necessary to first specify a baseline scenario that reflects development trends, policies and priorities in the absence of climate change. The baseline provides a reasonable trajectory for growth and structural change of the economy from 2007 to 2050 that can be used as a basis for comparison.

Economic growth in the DCGE model is determined by rates of factor accumulation and technical change. For labour supply, we assume that the stock of labour will grow at 2.5, 2.0 and 1.5 percent for tertiary, secondary, and primary labour categories respectively. We assume that the expansion of cultivated crop land will grow at one percent per year making growth in agricultural production increasingly dependent on the adoption of improved technologies rather than land expansion. Improvements in the education levels of the workforce are assumed to enhance productivity growth, with productivity rising for tertiary and secondary workers (i.e., at 2.0 and 1.0 per cent per year, respectively) compared to no factor specific technical advance for primary educated workers. Baseline annual growth in hydropower generation and regional road networks are determined by the sector models using historical climate data. Under the above assumptions, Vietnam's economy continues to grow at about 5.4 percent per annum, with agriculture's contribution to gross domestic product (GDP) falling from 16 percent to 7.6 percent during 2007–50. This strongly positive growth in per capita GDP leads to continued significant improvements in average household welfare.

7.2.2. Economy-wide Impacts

Figure 7-1 shows the average level of real GDP for the period 2046-2050. The average is presented in order to limit the implications of shocks in a particular year. Beginning with Agriculture, we find the implication of climate change to be relatively mild *when the land losses caused by sea level rise are excluded*. In other words, only the implications of the yield shocks summarized in Figure 4-8 and unmet irrigation demands summarized in Figure 4-9 are imposed. The implications of these shocks for the national economy and for growth are relatively small for two reasons. First, the shocks themselves are not particularly large in most instances. Second and importantly, the agriculture share of GDP by 2046 to 2050 is not very large. This is illustrated in

Figure 7-2, which shows that the agriculture share of GDP by 2046-50 varies strictly between seven and eight percent of GDP across all scenarios. Because the agriculture share of GDP tends to decline (a strong empirical regularity), variations or reductions in agricultural GDP have an increasingly muted effect on the national economy and overall economic growth rates.

Moving on to the Roads scenario depicted in Figure 7-1, the implications of climate change become more pronounced, and may be positive, but are more likely to be negative at a national scale. These implications are driven by CliRoad (again, excluding infrastructure lost due to sea level rise). Figure 7-3 provides a summary of the distribution of road network length relative to the baseline no climate change scenario. As indicated earlier, CliRoad is incorporated directly into the CGE model. Road network length influences the rate of total factor productivity growth in the model. In addition, investment in roads is assumed to move proportionately with growth in government spending. As a result of these interactions, road network length differs in every scenario.

Figure 7-1: Level of Real GDP at Factor Cost (average from 2046-2050)

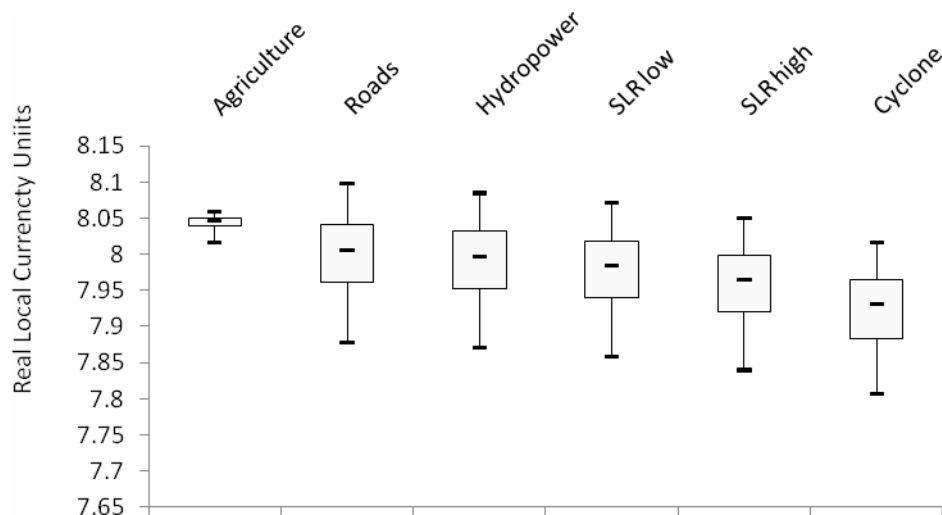
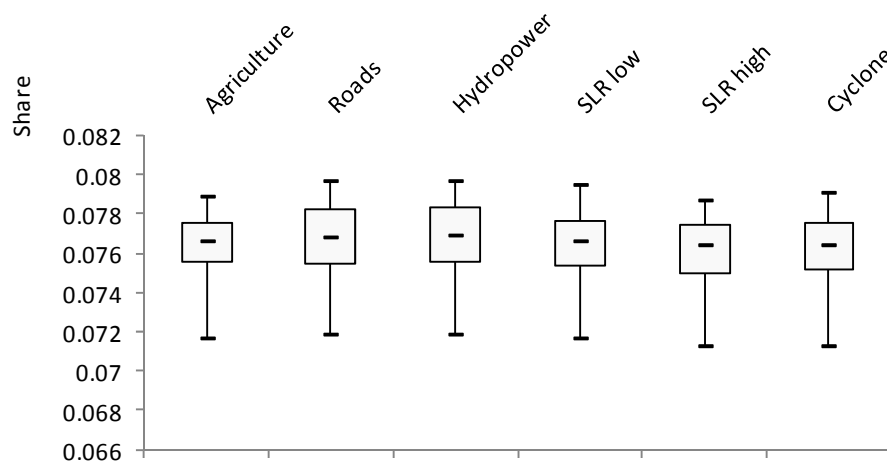
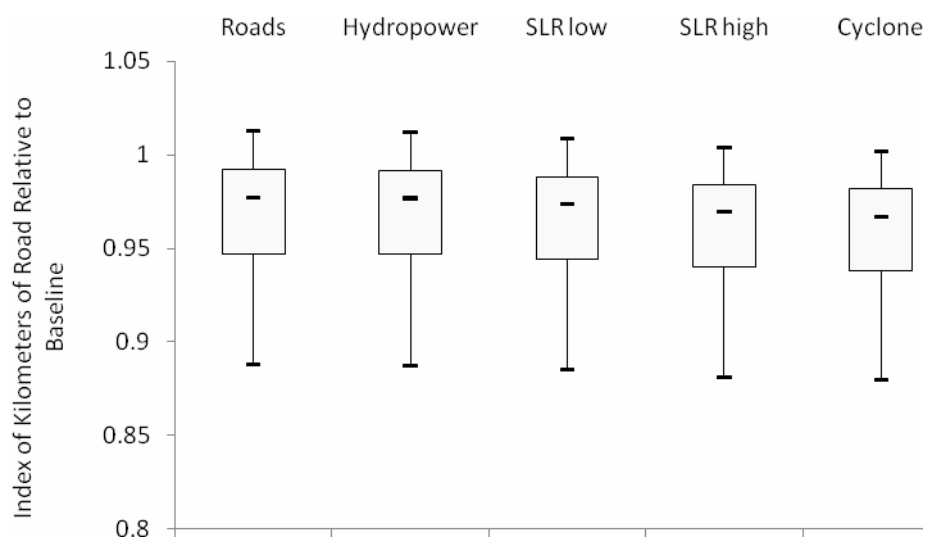


Figure 7-2: Share of agriculture in GDP (average from 2046-2050)



In some scenarios, road network length is greater under climate change than without climate change. Drier scenarios tend to be more favourable to road network length due to reduced washouts from precipitation and flooding. Nevertheless, most scenarios generate reductions in road network length. This is due to three factors. First, all GCM scenarios produce increases in temperature. Higher maximum temperatures increase the rate of degradation of paved roads unless steps are taken to render roads robust to higher temperatures. In the model, these adjustments are not undertaken, hence temperature rises lead to increases in maintenance costs, which in turn displaces new road investment. Second, even though nationally precipitation declines slightly, the intensity of precipitation tends to increase, leading to a higher rate of washouts, particularly for unpaved roads. Third, the increase in precipitation intensity leads to, in most scenarios, a small rise in the frequency and intensity of flooding events. In a few GCM runs, large scale flooding events become much more frequent, leading to important declines in the total road stock.

Figure 7-3: Index of road network length relative to the baseline (average of 2046-2050)



Degradation or destruction of infrastructure is different from agricultural impacts because the effects on infrastructure endure. Once a road is washed away, the negative effect remains until the road is rebuilt. However, with constant resources allocated to roads, reconstruction of a section of road that is washed away due to heavy rainfall or flooding implies fewer resources available for construction of new roads or regular rehabilitation of existing roads. Hence, climate change influences the rate of accumulation of the road stock, which in turn influences the rate of productivity growth in productive sectors. Because rates of accumulation are influenced, the effects can accumulate and become relatively large over time. In contrast, for agriculture, climate change (as modelled) influences production in a given year, but not necessarily rates of growth in productive capacity through time. If growing conditions are poor, production declines; however, if growing conditions are favourable, production increases.

The third scenario adds the shocks listed in Figure 4-22 with respect to hydropower. As shown in Figure 4-22, impacts on hydropower production are essentially centred about zero in the 2040s. However, in the 2020s and 2030s, when hydropower represents a larger share of total electricity supply, the impacts tend to be negative. The effect is to slightly reduce growth over the period, resulting in a slight reduction in median GDP (across GCM runs) during the period 2046-2050. It is interesting to note that maximum GDP across all climate scenarios is reduced in hydropower relative to roads. Recall that dry scenarios are typically favourable to roads, but would not be favourable to hydropower production.

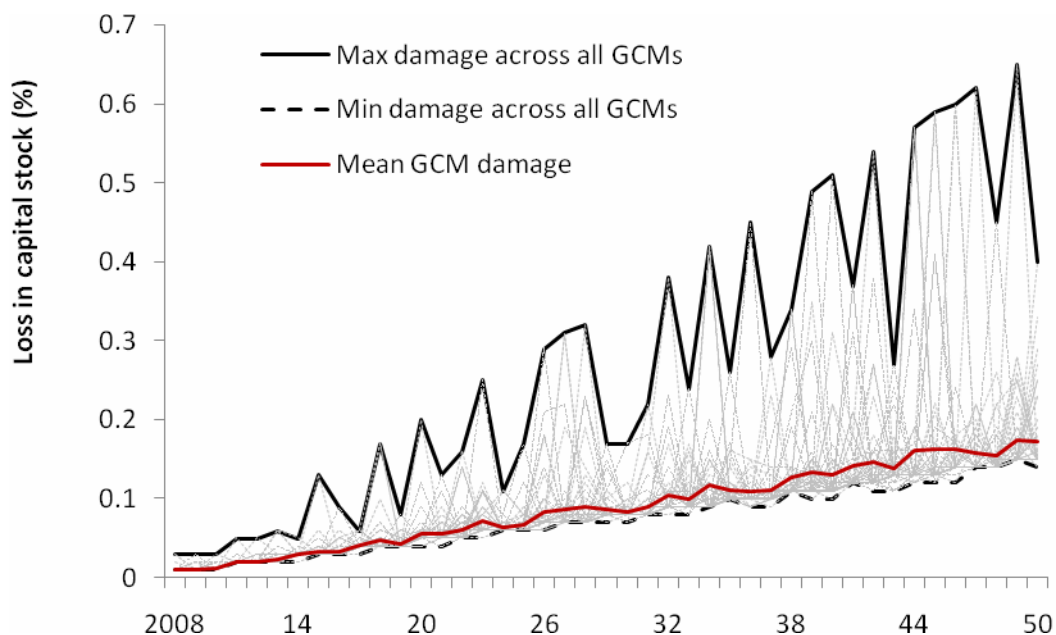
The implications of sea level rise are negative across all scenarios and basically shift the distribution of GDP outcomes downward. As discussed, sea level rise is uncorrelated with the particular GCM selected. Hence, the same sea level rise shocks are applied across all scenarios. The two principal drivers of losses from sea level rise are loss of agricultural land and loss of road infrastructure. As emphasized earlier, elevation data was obtained at one meter steps while climate change is expected to deliver at most 38 centimetres of sea level rise by 2050 (but potentially much more by 2100). It is, as a result, impossible to analyze the exact impacts of sea level rise to 2050 without additional assumptions. We assume that, with 38 centimetres of sea level rise, 38

percent of the area that would be submerged by one meter of sea level is assumed to be submerged. We also assume that this area constitutes principally agricultural land and road infrastructure. Other forms of capital, such as machines and significant permanent structures, are unaffected because they can either be moved or will tend to be placed on higher ground. Based on these assumptions, the scenario SLRhigh is essentially proportionally worse than SLRlow.

The scenario Cyclone considers the marginal impact of cyclones relative to the baseline. As discussed, we assume that there is no change in the frequency or intensity of cyclone strikes. Much of the damage from cyclone strikes is a function of wind velocity; however, this is held constant between the baseline and the climate change scenarios. As a result, the marginal impact of cyclones due to climate change is restricted to the interactions between storm surge and sea level rise. Thirty eight centimetres of sea level rise causes the storm surge to extend further inland and increases the depth of submersion in affected areas.

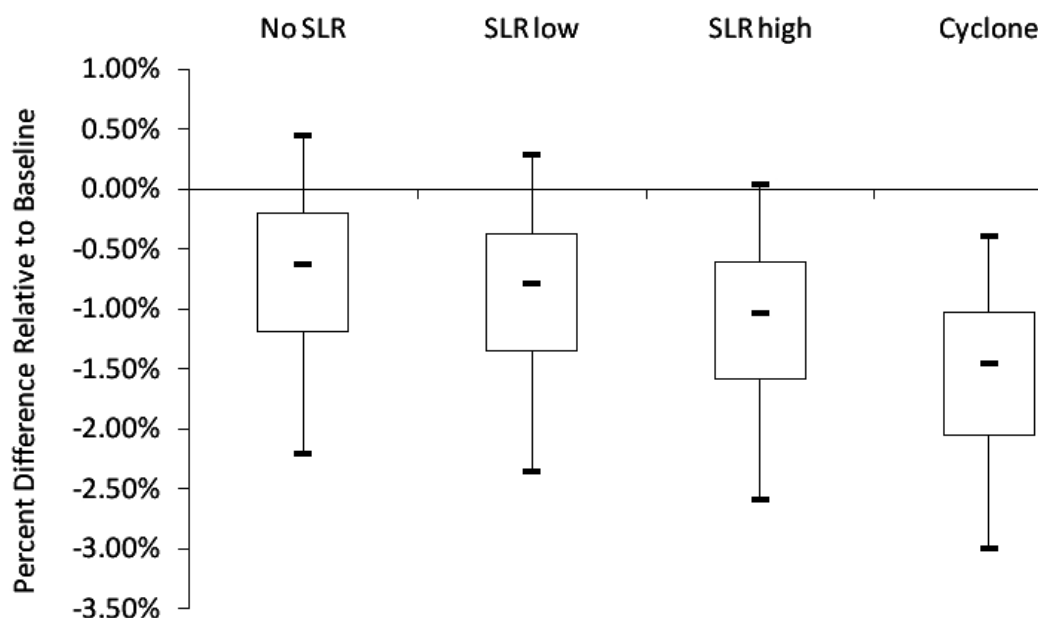
Because larger storms result in more powerful surges and a greater area inundated, we assume that marginal damages increase non-linearly with the power of the storm. This is illustrated in Figure 7-4, which shows the minimum, maximum, and mean marginal loss of capital stock associated with cyclone strike and 38 centimetres of sea level rise. Each year across the 56 GCM runs, cyclones are drawn randomly. As a result, we strongly expect to see some strong cyclone activity in at least one GCM in each year. While mean effects are small even out to 2050 (about 0.1 percent or 1/1000 of the stock of capital lost), losses from relatively larger cyclone events are much more significant, topping out at 0.6 percent of the capital stock for a single event. These damages shift downward the distribution of GDP outcomes.

Figure 7-4: Marginal damages to capital stock due to cyclones and high sea level rise



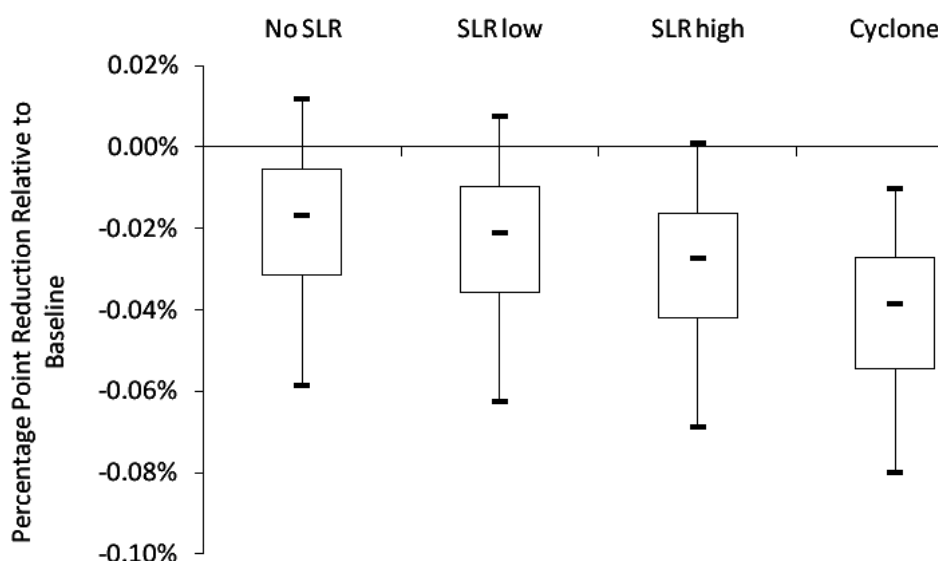
Nevertheless, cyclones' total effects on economic growth are not large relative to the full projected GDP of Vietnam. Figure 7-5 illustrates the distribution of the percent reduction in the level of GDP during the period 2046-2050. The scenario labelled "No SLR" is the Hydropower scenario (e.g., the combination of the Agriculture, Roads, and Hydropower impact channels). The SLRlow scenario represents the least strong distribution of impacts, considering all impact channels as well as low SLR. The level of GDP in that period ranges between a positive 0.25 and -2.5 percent, with the majority of outcomes between -0.5 and -1.5 percent. With high sea level rise and cyclones (scenario Cyclone), the level of GDP in the period 2046-2050 is between 0 and 2.5 percent lower. In other words, if baseline GDP were indexed at 100 in the period 2046-2050, GDP levels would be reduced to between 100 and 97.5. These results are broadly consistent with World Bank (2010c).

Figure 7-5: Reduction in real GDP relative to the baseline (average 2046-2050)



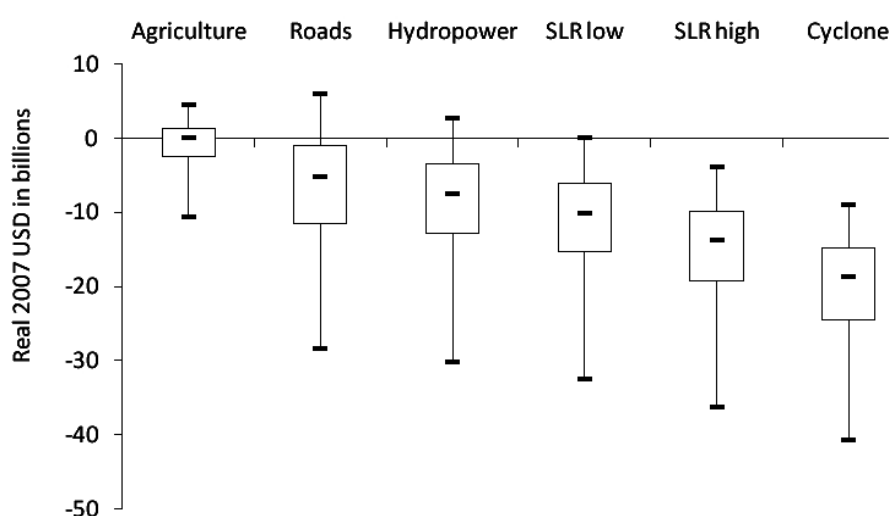
Because growth is a cumulative process, these reductions in GDP levels translate into a small reduction in average annual GDP growth over the simulation period as illustrated in Figure 7-6. In the Cyclone scenario, the GDP growth rate is reduced by between 0.01 percentage points and 0.08 percentage points. In other words, if the expected average baseline growth rate without climate change is 5.4 percent per annum, then the growth rate would be expected to be between 5.32 and 5.39 percentage points. In sum, other factors beyond climate change are likely to be more important in determining overall economic growth rates in Vietnam out to about 2050.

Figure 7-6: Implications of climate change for average annual GDP growth rates



At the same time, because Vietnam's GDP is expected to exceed USD500 billion by 2050, the losses caused by climate change in these scenarios are large in absolute terms. Figure 7-7 illustrates the net present value of losses over the period 2007-2050, measured in terms of the difference in GDP at factor cost between the climate change scenarios and the no climate change baseline scenario. The net present value is obtained using a discount rate of five percent. Taking the range between the most favourable outcome of scenario SLR low and the least favourable outcome of the scenario Cyclone, the net present value of losses ranges from about zero to about USD40 billion (measured in real 2007 USD). The majority of outcomes group in the range between losses of USD6-15 billion. These are substantial losses that intelligent adaptation policy could reduce considerably.

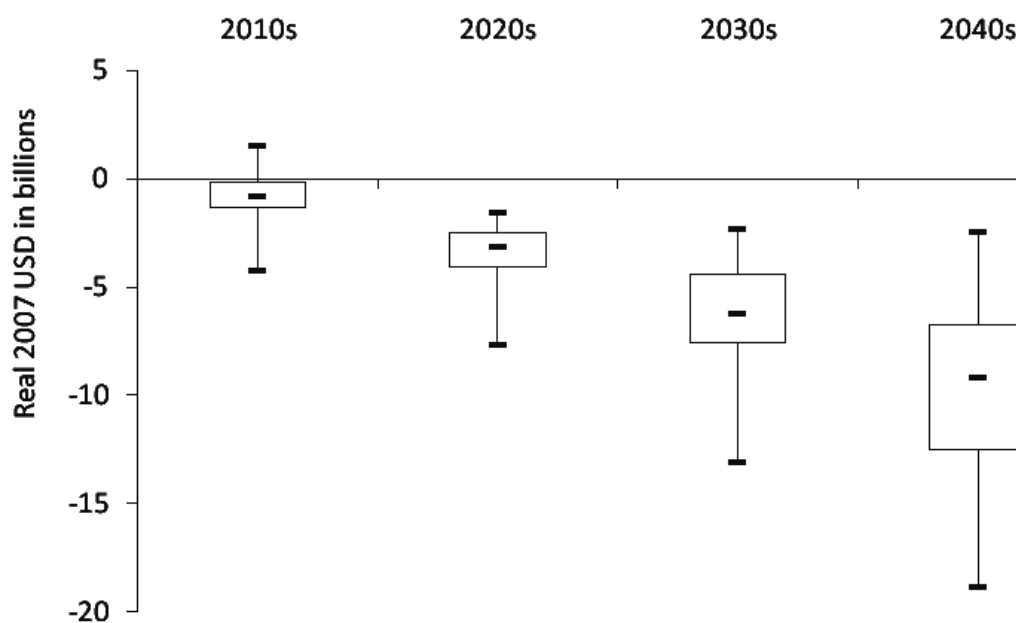
Figure 7-7: Net present value of losses due to climate change



Note: A discount rate of 5% is applied.

Finally, Figure 7-8 presents the net present value calculation of Figure 7-7 by decade for the Cyclone scenario only. Even though these values are all discounted back to 2007 (the base year for the analysis) at a five percent rate, later decades contribute much more strongly to the net present value of total losses than earlier decades. By the 2040s, losses are substantial. As climate change impacts are expected to be much more severe after 2050, the figure powerfully highlights the wisdom of using the next few decades to prepare for gradually more severe climate impacts.

Figure 7-8: Net present value of losses due to climate change by decade for the scenario Cyclone (billions of real 2007 USD)



Note: A discount rate of 5% is applied.

8. Conclusion

Going out to 2050, the following effects on Vietnam's climate are observed: temperature rises by about one to two degrees centigrade; there are relatively mild effects on precipitation, with a slight tendency towards a decrease and relatively mild effects on evapotranspiration. The combination of a light decrease in rainfall and increase in evapotranspiration leads to a small decline in the median of the climate moisture index, meaning a mild 'drying out' of a wet climate. Changes in runoff are also mild, and about as likely positive as negative (median slightly negative). These changes are typically not sufficient to generate large declines in agricultural production, nor are they projected to generate (in most instances) very large increases in events, such as flooding, that would threaten infrastructure. In addition, hydropower production tends to be negatively affected, but the effects are not large enough to serve as a major brake on economic growth.

Sea level rise delivers some of the largest economic effects, especially when the level's rise is high and when sea level rise is combined with cyclone strike. The Mekong River Delta is particularly vulnerable, with significant shares submerged in 2050 under the high sea level rise scenario. Overall, climate change worsens the economic growth prospects of Vietnam out to 2050. Despite this, climate changes macroeconomic impact, *out to about 2050*, is not particularly large. Non-climate factors are likely to be more important determinants of growth rates over at least the next few decades.

Nevertheless, as the net present value of losses indicates, climate change's macroeconomic effects are appreciable and adaptation policies are merited. The adaptation agenda includes:

- investment in information systems to monitor climate change impacts, including improved geographic information systems with emphasis on elevation data for low lying provinces, river flow, and close following of global sea level rise projections;
- development of heat resistant crop varieties;
- improved efficiency of use of water; and
- changes in design standards for infrastructure, such as roads, to endure a warmer and more variable climate.

Serious choices revolve around the implications of sea level rise combined with cyclone strike. There are essentially two proactive options: First, the government of Vietnam could channel economic activity towards higher ground in an evolutionary fashion. Second, the government could invest in protective infrastructure. These are not mutually exclusive options, and decisions in response to climate change do not need to be made immediately. Nevertheless, while more study is required, the available evidence indicates that a gradual channelling of activity to higher ground is more likely to be economically efficient and is certainly less risky than inaction. A major detractor to protective infrastructure investments is that they raise the stakes. Both the costs of protective coastal infrastructure and the capital that will inevitably be placed in the shadow of that protection are vulnerable to cyclone strike of sufficient magnitude. Hence, with a protective strategy, there is always the possibility that one will lose a great deal more than just the certain costs of building the protective infrastructure.

The gradual channelling of economic activity to safer, higher elevation zones, on the other hand, recognizes that the vast majority of the capital stock of 2050 has not yet been built. The location and vulnerability of that stock is, as a consequence, essentially a matter of choice. As discussed, sea level rise risks are largely (but certainly not exclusively) concentrated in the Mekong River Delta. Usefully, even ignoring climate change, there is considerable logic to fomenting urban development poles outside of Ho Chi Minh City (and Hanoi). Hence, policies to foment other urban development poles are likely to be "no regret" options in the event that sea level rise concerns are reduced through global mitigation policies or revised scientific findings. Nevertheless, for the gradual evolution strategy to in fact be gradual and hence efficient, the channelling of economic activity to higher ground should begin reasonably soon, especially if the upper ends of sea level rise projections appear to coincide with observed sea level rise.

9. References

- Adger, W. Neil (1999). Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. *World Development*, 27(2): 249-269.
- Allen, Richard G., Luis S. Pereira, Dirk Raes, and Martin Smith (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper* 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Arndt, C., R. Benfica, N. Maximiano, A. Nucifora, and J. Thurlow (2008). Higher fuel and food prices: impacts and responses for Mozambique. *Agricultural Economics*, 39: 497–511.
- Arndt, C., R. Benfica, F. Tarp, J. Thurlow, and R. Uaiene (2010). Biofuels, growth and poverty: a computable general equilibrium analysis for mozambique. *Environment and Development Economics*, 15 (1): 81–105.
- Arndt, C., K. Strzepek, F. Tarp, J. Thurlow, C. Fant, L. Wright (2011). "Adapting to Climate Change: An Integrated Biophysical and Economic Assessment for Mozambique." *Sustainability Science*. 6(1): 7-20.
- Austroroads (2004). *Impact of Climate Change on Road Infrastructure*. Publication No. AP–R243/04, Sydney, Australia.
- Batjes, N.H. (2002). *A Homogenized Soil Profile Data Set for Global and Regional Environmental Research*. Wageningen, the Netherlands: International Soil Reference and Information Centre.
- Block, P. and K. Strzepek (2010). Economic analysis of large-scale upstream river basin development on the blue Nile in Ethiopia considering transient conditions, climate variability, and climate change. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 136 (2): 156–66.
- Boogaard, H.L., C. A. Van Diepen, R. P. Roetter, J. M. C. A. Cabrera, and H. H. Van Laar (1998). *WOFOST 7.1: User's Guide for the WOFOST 7.1 Crop Growth Simulation Model and WOFOST Control Center 1.5*. Wageningen, the Netherlands: Alterra.
- Calderón, C. and L. Servén (2004). The effects of infrastructure development on growth and income distribution. Policy Research Working Paper 3400, Washington, D.C.: World Bank.
- Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University; United Nations Food and Agriculture Programme (FAO); and Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (2005). Gridded Population of the World: Future Estimates (GPWFE). Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. Available at <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>. Downloaded 12/20/2010.
- Chaudhry, P. and G. Ruysschaert (2007). Climate change and human development in Vietnam. *UNDP Human Development Report 2007/2008*. Human Development Report Office, United Nations Development Program.

Chinowsky, Paul S., Carolyn Hayles, Amy Schweikert, and Niko Strzepek (2011a). Climate change as organizational challenge: comparative impact on developing and developed countries. *Engineering Project Organization Journal*, 1.

Chinowsky, Paul S., Amy Schweikert, Niko Strzepek, Kyle Manahan, Kenneth Strzepek, and C. Adam Schlosser (2011b). Adaptation advantage to climate change impacts on road infra-structure in Africa through 2100. Working Paper, No. 25. United Nations University World Institute for Development Economics Research.

Cline, W. (2007). *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*. Washington, D.C.: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics.

Dasgupta, S., B. Laplante, S. Murry, and D. Wheeler, (2009). Sea-level rise and storm surges: a comparative analysis of impacts of in developing countries. Policy Research Working Paper, No. 4901. Washington, D.C.: World Bank.

Dasgupta, S., et al. (2007). Impact of sea level rise on developing countries: a comparative analysis. World Bank Policy Research Working Paper, No. 4136 (WPS4136). Washington, D.C.: World Bank.

Dasgupta, S., et al. (2008). The impact of sea level rise on developing countries: a comparative analysis. *Climate Change*, 93(3-4): 379-388.

Dervis, K., J. de Melo, and S. Robinson (1982). *General Equilibrium Models for Developing Countries*. London: Cambridge University Press.

Diao, X. and J. Thurlow (2012) A Recursive Dynamic Computable General Equilibrium Model. In X. Diao, J. Thurlow, S. Benin, and S. Fan (eds.) *Strategies and Priorities for African Agriculture: Economywide Perspectives from Country Studies*. Washington DC, USA: International Food Policy Research Institute.

Dillon, A., M. Sharma, and X. Zhang (2011). Estimating the impact of rural investments in Nepal. *Food Policy* 36: 250-28.

Dimaranan, B. V. (ed.) (2006). *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base*. Purdue University Center for Global Trade Analysis.

Emanuel, K., R. Sundararajan, and J. Williams (2008). Hurricanes and global warming: results from downscaling IPCC AR4 simulations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 89: 347-367.

Esfahani, H.S., and M.T. Ramirez (2003). Institutions, infrastructure, and economic growth. *Journal of Development Economics* 70: 443-477.

Fan, S., and C. Chan-Kang (2008). Regional road development, rural and urban poverty: evidence from China. *Transport Policy* 15: 305-314.

Fan, S., and P. Hazell (2001). Returns to public investments in the less-favored areas of India and China. *American Journal of Agricultural Economics* 83: 1217-1722.

Fan, S., and X. Zhang (2008). Public expenditure, growth, and poverty reduction in rural Uganda. *African Development Review* 20: 466-496.

- Fan, S., L. Zhang, and X. Zhang (2004). Reforms, investment, and poverty in rural China. *Economic Development and Cultural Change* 52: 395-421.
- Fernald, J.G (1999). Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity. *The American Economic Review* 89: 619–638.
- Food and Agriculture Organization [FAO] (2000). Aquastat, online data source: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>.
- Galbraith, R.M., D.J Price, and L. Shackman (2005). *Scottish Road Network Climate Change Study*. Edinburgh: Scottish Executive.
- Georgiou, P. N., A.G. Davenport, and B.J. Vickery (1983). Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones. *J. Wind Engrg. and Industrial Aerodynamics* 13 (1): 139-152. Amsterdam, the Netherlands.
- Gleick, P. (1991). The vulnerability of runoff in the Nile basin to climate changes. *The Envir. Profl.*, 13(1): 66-73.
- Hargreaves, G.H., and R.G. Allen (2003). History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 129 (1): 53–63.
- Hulme, M. (1989). Recent and future precipitation changes over the Nile Basin. *Int. Seminar on Climatic Fluctuations and Water Mgmt.* Cairo, Egypt.
- Hulme, M. (1994). Validation of large-scale precipitation fields in General Circulation Models. *Global Precipitations and Climate Change*: 387-406.
- Hulme M, Osborn TJ, Johns TC. (1998). Precipitation sensitivity to global warming: comparison of observations with HadCM2 simulations. *Geophysical Research Letters* 25: 3379 - 3382.
- Industrial Economics (2010). *Costing Climate Impacts and Adaptation: A Canadian Study on Public Infrastructure*. Report to the National Round Table on the Environment and the Economy, Canada.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. Geneva, Switzerland.
- Jackson, N. and Puccinelli, J. (2006). *Long-Term Pavement Performance (LTPP) Data Analysis Support: Effects of Multiple Freeze Cycles and Deep Frost Penetration on Pavement Performance and Cost*. FHWA-HRT-06-121.
- Jacoby, H.G. (2000). Access to markets and the benefits of rural roads. *The Economic Journal* 110: 713 - 737.

- Jelesnianski, C.P., J. Chen, and W.A. Shafer (1992). *SLOSH: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes*. (United States) National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report NWS 48. National Weather Service, Office of Systems Development.
- Lofgren, H., S. Robinson, and M. El-Said (2002). *A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Maclean, J. L., D.C. Dawe, B. Hardy, and G. P. Hettel (2002). *Rice Almanac: Source Book for the Most Important Economic Activity on Earth*. Wallingford, United Kingdom: CABI Publishing.
- Mai, C., M.J.F. Stive, and P.H.A.J.M. Van Gelder (2009). Coastal protection strategies for the Red River Delta. *Journal of Coastal Research*, 25(1), 105–116.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.C. Zhao, 2007. Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)].
- Mills, B. and J. Andrey (2002). Climate change and transportation: potential interactions and impacts. *Potential Impacts of Climate Change on Transportation: Workshop Summary*. United States Department of Transportation, Workshop, 1-2 October. Available from <http://climate.volpe.dot.gov/workshop1002/>.
- Mu, R. and D. van de Walle (2007). Rural roads and local market development in Vietnam. Policy Research Working Paper 4340. Washington, D.C.: World Bank.
- Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, and J.R. Williams (2005). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation*. Temple, Texas, United States: Texas A&M University.
- Neumann, J. (1987). The National Hurricane Risk Analysis Program (HURISK). NOAA Technical Memorandum NWS NHC 38. Coral Gables, Florida, United States: National Hurricane Center.
- Neumann, J. et al. (2010). Assessing sea-level rise impacts: a GIS-based framework and application to coastal New Jersey. *Coastal Management*, 38:4: 433-455.
- Neumann, James E., Gary Yohe, Robert Nicholls, and Michelle Manion (2000). *Sea-Level Rise and Global Climate Change: A Review of Impacts to U.S. Coasts*. Pew Center on Global Climate Change.
- Noy, I. (2009). The macroeconomic consequences of disasters. *Journal of Development Economics* 88 (2009): 221-231.
- Rahmstorf, S. (2007). A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, 315 (5810): 368-370.
- Roodman, D. (2009). A note on the theme of too many instruments. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 71: 135-158.

- Rosenzweig, C., and A. Iglesias (1998). *The Use of Crop Models for International Climate*
- Sheffield, J., G. Goteti, and E. F. Wood (2006). Development of a 50-yr high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modelling. *J. Climate*, 19 (13): 3088-3111.
- Sieben, W. H. (1974). Relation of drainage conditions and crop yields on young light clay soils in the Yssellake Polders. *Van Zee tot Land* 40.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller, (eds) (2007). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Stratus Consulting (2010). *Climate Change Impacts on Transportation Infrastructure*, Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency.
- Strzepek, K., R. Balaji, H. Rajaram, and J. Strzepek (2008). *A Water Balance Model for Climate Impact Analysis of Runoff with Emphasis on Extreme Events*. Washington, D.C.: World Bank.
- Strzepek, Kenneth and Charles Fant IV (2009). *CliCrop Methods*. University of Colorado and Massachusetts Institute for Technology Joint Program on the Science and Policy of Global Change.
- Thurlow, J., T. Zhu, and X. Diao (2009). The impact of climate variability and change on economic growth and poverty in Zambia. IFPRI Discussion Paper, No. 890. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI). Available from <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp00890.pdf>.
- United Kingdom, Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) (2005). Table of relative mean sea level secular trends derived from PSMSL RLR data. Available from <http://www.psmsl.org/products/trends/rlr.trends>.
- United States, Bureau of Reclamation (1993). *Drainage Manual: A Water Resources Technical Publication*. Denver, Colorado.
- United States, Central Intelligence Agency (2011). Vietnam. World Factbook. Retrieved 23 August 2011. Available from <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/vm.html>.
- United States, Climate Change Science Program (CCSP) (2006). *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States*. Washington, D.C.: Department of Energy.
- United States, Transportation Research Board (2008). *Potential impacts of climate change on U.S. transportation*. TRB Special Report, No. 290. Washington, D.C..
- United States, United States Geological Survey (USGS) (2006). HydroSHEDS. Available from <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/>.
- Vafeidis, A. T., R. J. Nicholls, L. McFadden, R. Tol, J. Hinkel, T. Spencer, P. S. Grashoff, G. Boot, and R. J. T. Klein (2008). A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Journal of Coastal Research*, 24(4): 917-924.

- Van Diepen, C. A., J. Wolf, H. Keulen, and C. Rappoldt (1989). WOFOST: A simulation model of crop production. *Soil Use and Management* 5 (1): 16–24.
- Vietnam, Central Committee for Flood and Storm Control (CCFSC) (2010). Hanoi, Vietnam. Available from <http://www.ccfsc.org.vn/KW6F2B34/CatId/G87DG9YUHH/Typhoon.aspx>.
- Vietnam, General Statistics Office of Vietnam (2010). *Statistical Yearbook of Vietnam 2010*. Available from http://www.gso.gov.vn/default_en.aspx?tabid=515&idmid=5&ItemID=11974 http://www.gso.gov.vn/default_en.aspx?tabid=515&idmid=5&ItemID=11974.
- Vietnam, Ministry of Natural Resources and Environment (MoNRE) (2003). *Vietnam Initial National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Hanoi, Vietnam.
- Vietnam, Ministry of Natural Resources and Environment (MoNRE) (2009). *Climate Change, Sea Level Rise Scenario for Vietnam*. Hanoi, Vietnam.
- W.H. Sieben (1974). Effect of drainage conditions on nitrogen supply and yield of young loamy soils in the Ysselmeerpolders. *Van Zee tot Land* 51: 180. the Hague, the Netherlands.
- Wahaj, Robina, Florent Maraux, and Giovanni Munoz (2007). Actual crop water use in project countries. Policy Research Working Paper. Washington, DC: The World Bank.
- Willmott, C.J., and J.J. Feddema (1992). A more rational climatic moisture index, *The Professional Geographer*, 44 (1): 84–88.
- World Bank (2009). *Convenient Solutions to an Inconvenient Truth: Ecosystem-based Approaches to Climate Change*. World Bank Environment Department. Washington D.C.
- World Bank (2010a). The cost to developing countries of adapting to climate change: new methods and estimates. *The Global Report to the Economics of Adaptation to Climate Change Study*. Washington D.C.
- World Bank (2010b). The social dimensions of adaptation to climate change in Vietnam. *The Global Report to the Economics of Adaptation to Climate Change Study*. Washington D.C.
- World Bank (2010c). *Economics of Adaptation to Climate Change: Vietnam*. Washington D.C.
- Yates, D., and K. Strzepek (1998). An assessment of integrated climate change impacts on the agricultural economy of Egypt. *Climate Change*, 38: 261–287.
- Yates, D.N. (1996). WatBal: an integrated water balance model for climate impact assessment of river basin runoff. *International Journal of Water Resources Development*, 12 (2): 121–39.
- Yu, Bingxin, Tingju Zhu, Clemens Breisinger, and Nguyen Manh Hai (2010). Impacts of climate change on agriculture and policy options for adaptation: the case of Vietnam. International Food Policy Research Institute Discussion Paper, No. 01015.
- Zhai, F., and J. Zhuang (2009). Agricultural impact of climate change: a general equilibrium analysis with special reference to Southeast Asia. Asian Development Bank Institute Working Paper Series 131. Manila, the Philippines: Asian Development Bank.

**TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU
TỚI TĂNG TRƯỞNG VÀ PHÁT TRIỂN KINH TẾ
Ở VIỆT NAM**

Chịu trách nhiệm xuất bản

TS. TRẦN HỮU THỰC

Biên tập:

NGUYỄN VĂN ANH

Trình bày:

TRẦN MẠNH HÀ

Sách được xuất bản tại:

NHÀ XUẤT BẢN THỐNG KÊ

Địa chỉ: 86 Thụy Khuê, Tây Hồ, Hà Nội
Tel: (04) 38 471 48; Fax: (04) 38 473 714

Website: nxbthongke.com.vn

Email: nxbtk@gso.gov.vn

In 300 cuốn, khổ 20,5 x 29 cm, tại Nhà xuất bản Thống kê.

Giấy phép xuất bản số: 688-2012/CXB/01-51/TK.

In xong và nộp lưu chiểu: tháng 06 năm 2012.

TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TỚI TĂNG TRƯỞNG VÀ PHÁT TRIỂN KINH TẾ Ở VIỆT NAM

IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE FOR
ECONOMIC GROWTH AND DEVELOPMENT IN VIETNAM



CIEM



DOE



UNITED NATIONS
UNIVERSITY

UNU-WIDER

World Institute for Development
Economics Research

CIEM - DANIDA PROJECT
CENTRAL INSTITUTE FOR ECONOMIC
MANAGEMENT
2nd FLOOR, BLOCK C,
68 PHANDINH PHUNG STREET
HANOI, VIETNAM
TEL: (84 - 4) 37339130/37347961
FAX: (84 - 4) 37347962
WEBSITE: WWW.CIEM.ORG.VN