

ASSESSMENT OF DROUGHT DISASTER RISKS UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS IN THE MA RIVER BASIN, VIETNAM

Tran Thi Mai Anh^{1*}, Duong Anh Quan²

¹TNU - University of Agriculture and Forestry

²Ha Noi University of Mining and Geology

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	15/6/2022	Drought is a natural hazard that has a strong impact on production and human activities, especially in agriculture. The purpose of the study is to show the extent to which drought will occur in the future. The research simulates drought hazards under current and future conditions using MIKE NAM and MIKE BASIN software. The study results show that climate change will cause important changes in areas at risk of medium and long-term drought, increasing the number of areas at high risk of drought from now to 2030. Two major areas facing water shortage are Muong Lat district and the north of the Ma river basin. The reason indicated is that the amount of rain in the future has a sharp decrease in the dry season.
Revised:	20/7/2022	
Published:	20/7/2022	
KEYWORDS		
MIKE NAM		
MIKE BASIN		
River basin		
Climate change		
Drought		

ĐÁNH GIÁ HIỂM HỌA THIÊN TAI HẠN HÁN DƯỚI CÁC KỊCH BẢN BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TẠI LƯU VỰC SÔNG MÃ, VIỆT NAM

Trần Thị Mai Anh^{1*}, Dương Anh Quân²

¹Trường Đại học Nông Lâm - ĐHTH Thái Nguyên

²Trường Đại học Mỏ Địa chất Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	15/6/2022	Hạn hán là hiểm họa thiên nhiên gây ra tác động mạnh tới hoạt động sản xuất và con người, đặc biệt trong nông nghiệp. Mục đích của nghiên cứu là nhằm chỉ ra mức độ hạn xảy ra trong tương lai. Nghiên cứu mô phỏng hiểm họa hạn hán dưới điều kiện hiện tại và tương lai bằng phần mềm MIKE NAM và MIKE BASIN. Kết quả nghiên cứu cho thấy, sự thay đổi khí hậu sẽ tạo ra những thay đổi quan trọng trong các khu vực có nguy cơ hạn hán trung và dài hạn, làm tăng số lượng các khu vực hiểm họa cao từ nay tới năm 2030. Hai khu vực lớn phải đối mặt với tình trạng thiếu nước đó là huyện Mù Cang Lát và khu vực phía bắc của lưu vực sông Mã. Nguyên nhân được chỉ ra là do lượng mưa trong tương lai có sự giảm mạnh vào mùa khô.
Ngày hoàn thiện:	20/7/2022	
Ngày đăng:	20/7/2022	
TỪ KHÓA		
MIKE NAM		
MIKE BASIN		
Lưu vực sông		
Biến đổi khí hậu		
Hạn hán		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.6175>

* Corresponding author. Email: tranthimaianh@tuaf.edu.vn

1. Giới thiệu

Hạn hán là một hiện tượng thời tiết thể hiện qua sự thiếu hụt lượng nước trong một khoảng thời gian trong năm do lượng mưa ít hơn bình thường hoặc khai thác quá mức [1], [2]. Mỗi hiểm họa này có xu hướng xảy ra thường xuyên và nghiêm trọng hơn ở các kiểu vùng khí hậu khác nhau, đặc biệt là vùng cận nhiệt đới, dẫn đến sự thay đổi thảm thực vật, ảnh hưởng tới canh tác nông nghiệp và các vấn đề môi trường - xã hội khác [3]–[5]. Các đợt hạn hán thường được đặc trưng bởi nhiều đặc điểm bao gồm thời gian giữa các đợt hạn hán, cường độ cao điểm, tần suất và mức độ nghiêm trọng [6]. Mỗi đặc điểm này có thể tác động đến môi trường theo những cách rất khác nhau. Ví dụ, hạn hán nghiêm trọng, ngay cả trong thời gian ngắn, sẽ có tác động thảm khốc đến nông nghiệp trong các giai đoạn sinh trưởng của cây trồng. Ngược lại, hạn hán nhẹ và vừa với thời gian kéo dài sẽ gây ra những hậu quả tàn phá đối với hệ sinh thái và nguồn cung cấp nước [7].

Ở một số tỉnh trong cả nước, trong những năm gần đây, hạn hán, xâm nhập mặn được ghi nhận xảy ra tại vùng đồng bằng ven biển sông Mã [8], sông Cả [9], cửa Ba Lạt, Ninh Cơ và Đáy [10], hạ du sông Hồng [11]. Những hiện tượng này đã ảnh hưởng rất lớn đến đời sống sinh hoạt của người dân, đặc biệt trong những năm dưới ảnh hưởng của El Nino thì mối quan hệ giữa hạn hán và xâm nhập mặn càng thể hiện rõ tác động của nó [8]. Hiện tượng thiếu nước xảy ra do nhiều nguyên nhân khác nhau, nhưng nguyên nhân chủ yếu được chỉ ra là do biến đổi khí hậu. Cụ thể hơn, lượng mưa có thể tăng hoặc giảm và phân bố không đồng đều, làm thay đổi lượng nước ngầm trong lưu vực sông cũng như trong đất liền. Ngoài ra, tình trạng thiếu nước có thể là do mực nước sông vùng hạ du bị hạ thấp dẫn tới các công trình khó lấy nước và xâm nhập mặn sâu hơn, nhất là vào thời kỳ sử dụng nước gia tăng như trường hợp ở hạ du sông Hồng - Thái Bình [11]. Bên cạnh đó, nguồn nước ngọt được dự báo có xu hướng khan hiếm tại 120 khu thủy lợi thuộc Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) vào mùa khô từ mức khoảng 4,0 tỉ m³ hàng năm lên tới 4,8 tỉ m³ vào năm 2030 và 5,0 tỉ m³ vào năm 2050. Mặt khác, nhu cầu sử dụng nước ngọt được dự báo sẽ ngày càng lớn, như ở ĐBSCL với giá trị hiện trạng vào khoảng 22,8 tỉ m³, sẽ tăng lên 28,6 tỉ m³ vào năm 2030 và 29,2 tỉ m³ vào năm 2050.

Tại lưu vực sông Mã, mưa có biến động lớn, lượng mưa không nhiều, mùa mưa đến muộn và kết thúc sớm nên thường xảy ra khô hạn thiếu nước trong vụ Đông Xuân cũng như vụ Hè Thu. Vụ Đông Xuân hạn hán trên diện rộng xảy ra vào các năm 1993, 2003, 2004, 2005, 2007, 2008 và 2009, lượng nước thiếu hụt từ 30 – 80 %, có nơi 45 ngày liên tục không hề có mưa. Vụ Đông Xuân 2010 – 2011 xảy ra khô hạn thiếu nước trên diện rộng do mùa mưa năm 2010 kết thúc sớm, lượng mưa chỉ đạt ở mức thấp hơn đến xấp xỉ so với trung bình nhiều năm. Đặc biệt mực nước trên sông Mã trong các tháng vụ Đông Xuân năm 2013 – 2014; 2014 - 2015 luôn dao động ở mức thấp nhất so với cùng kỳ trong lịch sử, gây nhiều khó khăn cho việc lấy nước tưới phục vụ sản xuất nông nghiệp. Do đó, việc phân tích ảnh hưởng các kịch bản tương lai năm 2030 và 2050 do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu tới lưu vực sông Mã mang tính cấp thiết và có ý nghĩa lớn cho địa phương.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Sông Mã là một trong 10 con sông lớn nhất ở Việt Nam, với tổng diện tích 28.400 km², trong đó 17.600 km² trải rộng trên 5 tỉnh của Việt Nam: Điện Biên, Sơn La, Hòa Bình, Nghệ An và Thanh Hóa. Con sông chảy dài 410 km qua Việt Nam, 102 km qua Lào, rồi quay lại Việt Nam đổ ra biển ở Vịnh Bắc Bộ. Ở Việt Nam, sông Mã bắt đầu từ phía Nam tỉnh Điện Biên và kết thúc ở Cửa Hội - Thanh Hóa.

Lưu vực sông Mã nằm ở sườn phía Đông của dãy Trường Sơn thuộc cực Bắc của Trung Bộ, Trung Lào và Tây Bắc Bắc Bộ, trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa (Hình 1). Nhiệt độ trung bình trong lưu vực sông Mã tương đối cao trong suốt cả năm. Nhiệt độ trung bình được ghi nhận tại 14 trạm khí tượng trong lưu vực sông Mã thay đổi theo không gian từ 20,9 - 23,0°C, phản ánh đặc

điểm địa hình và cao độ của các vị trí. Lượng mưa hàng năm là đáng kể với gió chủ yếu từ phía Nam và Đông Nam trong tháng năm đến tháng chín. Dữ liệu lịch sử được ghi lại trong lưu vực sông Mã (1961-2007) cho thấy một số biến đổi đặc biệt trong điều kiện khí hậu với lượng mưa hàng năm là 1.165 - 1.966 mm với 80% lượng mưa xảy ra trong mùa gió mùa (tháng 5 đến tháng 9).

2.2. Phương pháp đánh giá hiểm họa hạn hán

Nghiên cứu đã sử dụng các mô hình hạn hán MIKE Basin/MIKE HYDRO và mô hình MIKE NAM, hay còn là mô hình cân bằng nước dựa trên dữ liệu đầu vào là số liệu nước đến tính từ thủy văn ứng với tần suất $p = 75$ và 85% cho các tiểu lưu vực, bao gồm 31 tiểu lưu vực.

Các mô hình MIKE có một số ưu điểm nổi trội so với các mô hình khác như: (i) liên kết với GIS, (ii) kết nối với các mô hình thành phần khác của bộ MIKE như mô hình thủy động lực học 2 chiều MIKE 21, mô hình dòng chảy nước dưới đất, dòng chảy tràn bề mặt và dòng bốc thoát hơi thảm phủ. Ở nghiên cứu này, MIKE mô phỏng lại các đầu vào mới và so sánh mức độ hiểm họa thông qua việc phân tích 2 chỉ số là $F\%$ (tần suất thiếu hụt, tỷ lệ phần trăm các năm bị thiếu hụt trên tổng số năm mô phỏng); $Dm\%$, $Dy\%$ (độ thiếu hụt, giá trị thiếu hụt cao nhất hàng tháng, hàng năm quan sát trong giai đoạn mô phỏng). $F\%$ được phân cấp trên cơ sở 3 giá trị 0% , 25% và 50% trong khi $D\%$ được phân cấp với các giá trị 10% và 25% . $F\%$ và $D\%$ càng lớn thì mức hiểm họa càng cao (Bảng 1).

Bảng 1. Phân loại rủi ro hạn hán

Hiểm họa	Nhu cầu nước 75%	Nhu cầu nước 85%
Không có hiểm họa	Không thiếu nước ($F\% \approx 0$)	Không thiếu nước ($F\% \approx 0$)
H1 (hiểm họa thấp)	$D\% < 10\%$	$D\% < 10\%$
H2 (hiểm họa trung bình)	$10\% \leq D\% \leq 25\%$ và $F\% \leq 25\%$	$10\% \leq D\% \leq 25\%$ và $F\% \leq 50\%$
H3 (hiểm họa cao)	$10\% \leq D\% \leq 25\%$ và $F\% > 25\%$	$D\% > 25\%$ hoặc $10\% \leq D\% \leq 25\%$ và $F\% > 50\%$
H4 (hiểm họa rất cao)	$D\% > 25\%$	---

Mô hình đánh giá hiểm họa hạn hán MIKE NAM sẽ được sử dụng để tính toán dòng chảy từ mưa cho mỗi tiểu khu vực dựa trên nhu cầu nước của mỗi tiểu vùng. Trong đó, nhu cầu nước của mỗi tiểu vùng được xác định dựa trên tổng lượng nước của tất cả các hộ dùng nước trong tiểu vùng đó theo ước tính dựa trên các quy tắc của Việt Nam được quy định cho các ngành liên quan, xuất phát từ kế hoạch tổng thể kinh tế và xã hội cho năm 2030 của mỗi tỉnh trong lưu vực.

Mô hình cân bằng nước MIKE BASIN được sử dụng để tính toán cân bằng nước giữa yêu cầu và lượng nước sẵn có trên từng tiểu khu vực. Sơ đồ tính sẽ bao gồm các công trình thủy lợi lớn như các hồ chứa, đập dâng, ... Kết quả tính theo mô hình MIKE BASIN được biểu thị bằng mức thiếu hụt nước trên mỗi tiểu lưu vực được sử dụng để ước tính và phân loại mức độ hiểm họa theo quy trình phân loại hiểm họa hạn hán (Bảng 1).

Bảng 2. Các kịch bản hạn cho lưu vực sông Mã

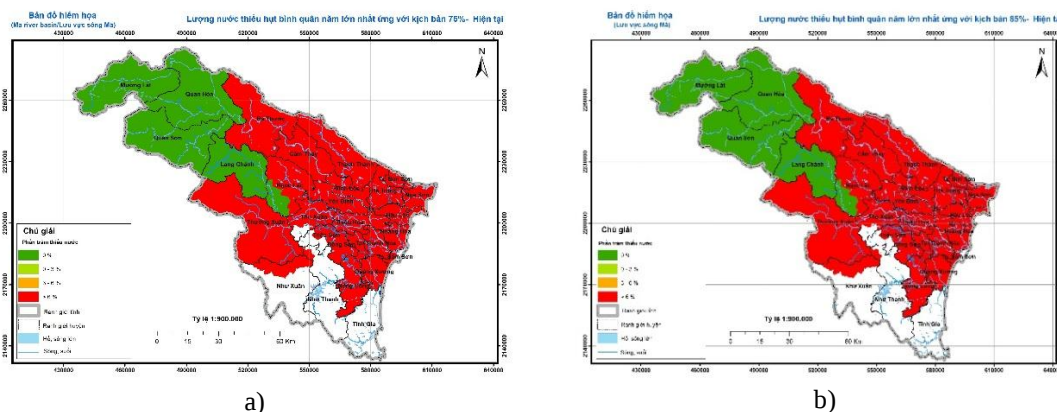
Thời đoạn tính toán	2015	2030	2050
Điều kiện khí tượng thủy văn (CC)	Mô phỏng hiện tại giai đoạn 1986 - 2016	CC1	CC2
Phát triển kinh tế - xã hội và sử dụng đất	Thời điểm hiện tại 2015	Kịch bản năm 2030	Kịch bản năm 2050
Tần suất mưa vụ	75% 85%	75% 85%	75% 85%

Nguy cơ hạn hán lưu vực sông Mã được đánh giá trong điều kiện hiện tại và biến đổi khí hậu dưới 3 kịch bản: hiện tại, 2030 và 2050 (Bảng 2). Trong đó, kịch bản hiện tại được mô phỏng dựa trên dữ liệu lịch sử từ năm 1986 tới năm 2016. Các kịch bản khí hậu tương lai được lấy theo 2 mốc dữ liệu biến đổi khí hậu năm 2030 và năm 2050. Các kịch bản sau đó được mô phỏng dưới điều kiện tần suất mưa vụ là 75% và 85% . Trong đó, lượng nước đến từng tiểu vùng được tính toán bằng mô hình MIKE NAM, được kiểm định cho 6 tiểu lưu vực có số liệu quan trắc tại Cẩm Thủy, Cửa Đạt, Lang Chánh, Xã Là, Nam Cống và Trung Hà. Nhu cầu nước từng tiểu vùng cũng được tính toán dựa vào số liệu kinh tế - xã hội và sử dụng đất ứng với từng thời đoạn tính toán tương ứng.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Mức độ hiểm họa hiện tại và nguyên nhân thiếu nước tại lưu vực sông Mã

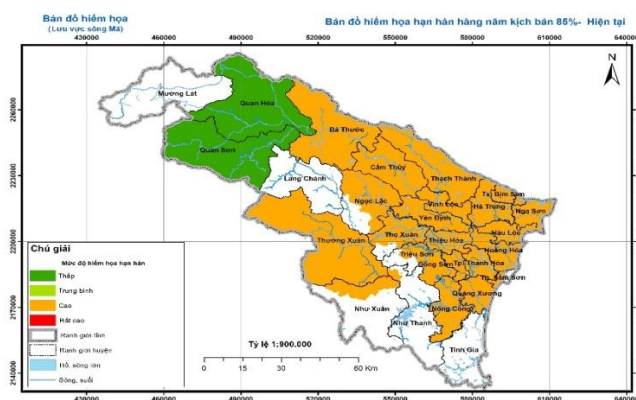
Mức độ và tần suất thiếu hụt nước của từng lưu vực được đánh giá bằng cách sử dụng hai tiêu chí là tần suất thiếu hụt $F\%$ và cường độ thâm hụt hàng tháng và hàng năm $Dm\%$ và $Dy\%$. Có thể thấy, bốn lưu vực phụ ở khu vực Bắc Sông Mã và vùng Nam Mã - Bắc Chu bị thiếu nước với tần suất rất cao (giá trị $F\%$ của chúng trong tất cả các kịch bản đều rất cao, từ 30% đến 100%, trong khi mức độ thiếu hụt nước tương đối cao, dao động từ 38% đến 63% (Hình 1a và 1b cho lần lượt 75% và 85% nhu cầu nước). Do đó, hạn hán thủy văn trong lưu vực này có thể được coi là đáng kể và một số giải pháp công trình có thể được áp dụng cho các lưu vực thiếu nước sau giai đoạn đánh giá rủi ro.



Hình 1. Tỷ lệ thiếu hụt nước cấp hàng năm ứng với nhu cầu nước 75% và 85%

Tuy nhiên, so sánh kết quả lượng nước thiếu hụt giữa 2 tần suất 75% và 85% là không đáng kể. Sự khác biệt của tổng lượng nước thiếu hụt trong toàn lưu vực, mức độ thiếu nước D tính theo tháng và năm và tần suất thiếu hụt $F\%$ giữa 2 trường hợp tính toán tần suất 75% và 85% là không lớn.

Kết quả cân bằng nước cho các khu vực được đánh giá độ lớn và tần suất thiếu nước của mỗi lưu vực tại giai đoạn hiện tại cho thấy: 6 tiểu lưu vực bị thiếu nước với tần suất rất cao, giá trị $F\%$ dao động từ 80-100%, độ thiếu hụt $Dm\%$ từ 57 – 90%, $Dy\%$ từ 20-60%; 3 tiểu lưu vực bị thiếu nước với F từ 50-70%, $Dm\%$ khoảng 34-45%, $Dy\%$ khoảng 11-17%; còn lại hầu hết các tiểu lưu vực còn lại có tần suất F nhỏ $<10\%$. Do đó có thể kết luận rằng, hạn hán ở trong khu vực xảy ra rất nghiêm trọng, đặc biệt tại các vùng tưới thiếu công trình thủy lợi, tần suất thiếu hụt tới 100%. Kết quả phân tích GIS có phân bố không gian mức độ hiểm họa hạn hán như trình bày trong hình 2.



Hình 2. Bản đồ hiểm họa hạn hán hàng năm ứng với nhu cầu nước 85%

Bản đồ hiểm họa hạn hán cho thấy mức độ hiểm họa của các lưu vực phụ được chỉ định là năm cấp H (H0, H1, H2, H3 và H4 lần lượt là không có hiểm họa, hiểm họa thấp, trung bình, cao và rất cao). Kết quả cho thấy, có hai lưu vực không có nguy hiểm (H0) nằm trong khu vực phía Nam của lưu vực Vĩnh Sơn, nơi nhu cầu nước thấp hơn các khu vực khác. Các lưu vực còn lại có rủi ro thấp (H1), rủi ro trung bình (H2), rủi ro cao (H3) và rủi ro rất cao (H4) với thiếu hụt nước tương đối cao do sự mất cân bằng giữa nhu cầu nước và nguồn cung cấp nước.

Đồng thời, các kết quả cho thấy, ở giai đoạn hiện tại có 17 tiểu lưu vực không có nguy cơ (H0) do nằm ở vùng núi phía Bắc của lưu vực sông Mã, nơi nhu cầu nước thấp hơn so với các khu vực khác và do lấy nước trực tiếp từ dòng chính của sông Mã nên lượng nước dồi dào, đảm bảo đủ cho yêu cầu cấp nước. Những nơi còn lại hầu hết có nguy cơ vừa phải (H3) đối với mức hiểm họa năm do sự thiếu cân bằng giữa nguồn nước đến và nhu cầu nước, do thiếu hụt nước mưa và thiếu công trình khai thác giúp lấy nước cấp từ mạng lưới sông. Cụ thể, mức độ hiểm họa cho từng lưu vực được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Mức độ hiểm họa tần suất 85%, kịch bản hiện tại

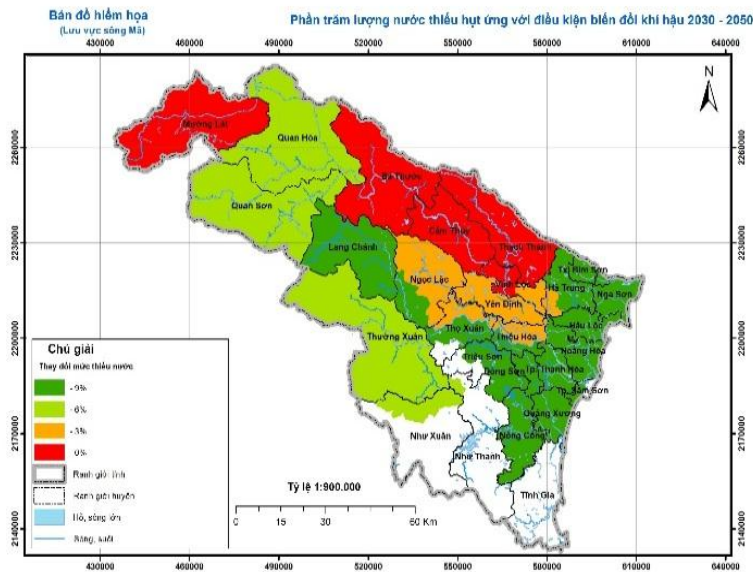
Tiểu lưu vực	Hiện trạng		Tiểu lưu vực	Hiện trạng	
	Mức độ hiểm họa (tháng)	Mức độ hiểm họa (năm)		Mức độ hiểm họa (tháng)	Mức độ hiểm họa (năm)
IRR 1	H0	H0	IRR17	H3	H2
IRR 2	H0	H0	IRR 18	H0	H0
IRR 3	H1	H1	IRR 19	H0	H0
IRR 4	H0	H0	IRR 20	H3	H3
IRR 5	H0	H0	IRR 21	H3	H3
IRR 6	H0	H0	IRR 22	H3	H3
IRR 7	H0	H0	IRR 23	H3	H3
IRR 8	H3	H3	IRR 24	H3	H3
IRR 9	H0	H0	IRR 25	H0	H0
IRR 10	H0	H0	IRR 26	H0	H0
IRR 11	H3	H1	IRR 27	H0	H0
IRR 12	H0	H0	IRR 28	H3	H3
IRR 13	H3	H1	IRR 29	H0	H0
IRR 14	H3	H3	IRR 30	H1	H0
IRR 15	H3	H3	IRR 31	H3	H2
IRR 16	H0	H0			

Đối chiếu với thực trạng hệ thống công trình khai thác thủy lợi nghiên cứu xác định có nhiều tiểu vùng bị hạn ở tình hình hiện tại được xác định không phải chỉ do thiếu nước mà do thiếu cả hệ thống công trình khai thác giúp lấy nước từ mạng lưới sông ở một số tiểu lưu vực.

3.2. Đánh giá hiểm họa hạn hán dưới kịch bản biến đổi khí hậu

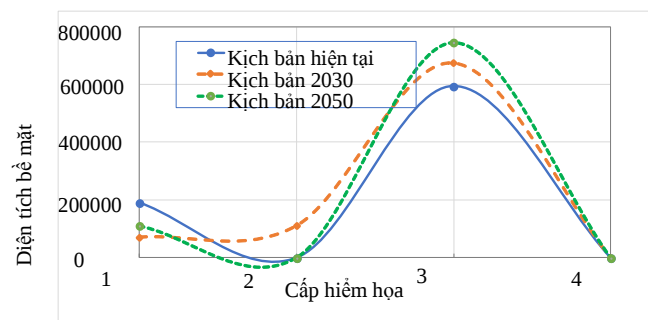
Tổng lượng nước thừa hiện nay không đáng kể và ứng với tần suất 85% hầu như không có tháng nào đủ nước. Trong khi đó, các hồ chứa trên lưu vực sông Bạng hiện nay chỉ trữ được 26.106 m³, chủ yếu là các hồ nhỏ, điều tiết năm. Vì vậy, cần bổ sung nguồn cấp cho khu vực này.

Đối với điều kiện trong tương lai, năm 2030 đến 2050 do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố [12], nhiệt độ tại Thanh Hóa sẽ tăng nhẹ 0,6 - 0,7°C vào năm 2030 và 1,5 - 1,8°C vào năm 2050. Theo đó, lượng mưa trong mùa mưa sẽ tăng từ 15 - 25% trong giai đoạn lũ chính (từ tháng 9 đến tháng 11), nhưng sẽ có sự gia tăng nhẹ hơn trong giai đoạn lũ muộn và lũ sớm, và sẽ giảm khá nhiều trong mùa khô. Điều này dẫn đến việc trong tương lai sẽ xảy ra hiện tượng lũ lớn hơn trong mùa mưa và hiện tượng thiếu hụt nước vào mùa khô do nhu cầu sử dụng nước trong mùa khô không ít hơn trong mùa mưa mà thậm chí tăng cao hơn trong mùa khô ở một số tiểu lưu vực. Kết quả cho thấy, có hai khu vực rộng lớn phải đối mặt với tình trạng thiếu nước, như ở huyện Mường Lát và phía Bắc của lưu vực sông, nhưng sự thiếu hụt là không đáng kể; các khu vực còn lại đủ cân bằng để đáp ứng nhu cầu của các ngành. Các kết quả được minh họa trong Hình 3.



Hình 3. Tỷ lệ thiếu hụt theo điều kiện biến đổi khí hậu 2030 – 2050

So sánh giữa các điều kiện hiện tại và tương lai cho thấy, diện tích bề mặt chịu tác động hiểm họa hạn hán ở điều kiện hiện tại thấp hơn trong tương lai và sự gia tăng mức độ hiểm họa hạn hán cao trong cả hai điều kiện 2030, 2050 và đạt mức cao nhất ở năm 2050 (Hình 4). Kết quả này dẫn đến kết luận rằng, trước mắt (2030), sự thay đổi khí hậu sẽ tạo ra những thay đổi quan trọng trong các khu vực có nguy cơ hạn hán trong trung và dài hạn làm tăng số lượng các khu vực hiểm họa cao.



Hình 4. So sánh mức độ hiểm họa hạn hán giữa các kịch bản hiện tại và tương lai

4. Kết luận

Lưu vực sông Mã nằm ở tỉnh Thanh Hóa, nơi hạn hán dường như là hiện tượng chiếm ưu thế. Hạn hán xảy ra không phải (chỉ) do nguồn nước khan hiếm (do mưa), mà còn thiếu các công trình thủy lợi có thể giúp khai thác nước từ mạng lưới sông. Kết quả của nghiên cứu có thể được sử dụng làm cơ sở xây dựng các công trình thủy lợi, khai thác nước một cách hiệu quả, hợp lý, nhằm cung cấp đủ nước sinh hoạt, nước sản xuất trong mùa khô tại lưu vực sông Mã. Đối với việc phòng chống hạn hán, xâm nhập mặn, công cụ GIS và các mô hình thủy văn thủy lực sẽ giúp các nhà quản lý có những lựa chọn phương án phân bổ nguồn nước đảm bảo đời sống cho cư dân cũng như lựa chọn thời vụ và cơ cấu cây trồng hợp lý nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] D. Wilhite, *Preparing for Drought: A guidebook for developing countries*, UNEP, 1992.
- [2] A. K. Mishra and V. P. Singh, "A review of drought concepts," *Journal of Hydrology*, vol. 391, no. 1–2, pp. 202–216, Sep. 2010, doi: 10.1016/J.JHYDROL.2010.07.012.
- [3] M. Kendon, T. Marsh, and S. Parry, "The 2010-2012 drought in England and Wales," *Weather*, vol. 68, no. 4, 2013, doi: 10.1002/wea.2101.
- [4] E. J. Quiñones, S. Liebenehm, and R. Sharma, "Left home high and dry-reduced migration in response to repeated droughts in Thailand and Vietnam," *Population and Environment*, vol. 42, no. 4, 2021, doi: 10.1007/s11111-021-00374-w.
- [5] P. H. Cirino, J. G. Féres, M. J. Braga, and E. Reis, "Assessing the Impacts of ENSO-related Weather Effects on the Brazilian Agriculture," *Procedia Economics and Finance*, vol. 24, pp. 146–155, 2015, doi: 10.1016/s2212-5671(15)00635-8.
- [6] J. A. Dracup, K. \$ Eong, and E. G. Paulson, "On the definition of droughts," *Water Resour. Res.*, vol. 16, no. 2, pp. 297-302, 1980, doi:10.1029/WR016i002p00297.
- [7] T. Parker, A. Gallant, M. Hobbins, and D. Hoffmann, "Flash drought in Australia and its relationship to evaporative demand," *Environmental Research Letters*, vol. 16, no. 6, 2021, doi: 10.1088/1748-9326/abfe2c.
- [8] T. Le, "Research on classification of drought salt intrusion in the MA river delta under climate change condition," *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, vol. 2019, pp. 59-67, Mar. 2019, doi: 10.36335/VNJHM.2019(699).
- [9] T. H. Nguyen, "Assessment of salinity intrusion effects on the downstream river in the context of climate change: case study at Ca river," *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, vol. 709, no. 1, pp. 13-24, Jan. 2020, doi: 10.36335/vnjhm.2020(709).
- [10] C. V. Nguyen, L. T. Nguyen, T. A. Nguyen, and V. H. Pham, "Assessing the vulnerability and adaptability of saline intrusion to agricultural production in coastal estuaries of Nam Dinh province in the context of climate change," *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, vol. 716, no. 8, pp. 63-78, Aug. 2020, doi: 10.36335/vnjhm.2020(716).
- [11] V. T. To, N. S. Bui, V. T. Nguyen, and V. S. Le, "Assessment of saline water intrusion in the northern coastal area corresponding to water supply scenarios in the winter-spring season on the Red river system and proposing solution for saving water source released from reservoirs," *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, vol. 8, pp. 33-48, 2019.
- [12] T. Tran, V. T. Nguyen, T. L. H Huynh, V. K. Mai, X. H. Nguyen, and H. P. Nguyen, *Scenario of climate change and sea level rise for Vietnam*. Vietnam Map and Resource Environment Publishing House, 2016.