

ẢNH HƯỞNG CỦA ENSO ĐẾN HẠN HÁN TRÊN LƯU VỰC SÔNG SREPOK

Nguyễn Văn Lâm^{(1),(2)}, Lương Văn Việt⁽³⁾, Châu Nguyễn Xuân Quang⁽¹⁾, Lê Thị Thu Hà^{(1),(4)}

⁽¹⁾Viện Môi trường và Tài nguyên - Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

⁽²⁾Trường Đại học Lâm Nghiệp - Phân hiệu tại tỉnh Đồng Nai

⁽³⁾Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh

⁽⁴⁾Viện Công nghệ tiên tiến, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài: 6/7/2025; ngày chuyển phản biện: 7/7/2025; ngày chấp nhận đăng: 25/7/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định quy mô thời gian hạn và độ trễ giữa hiện tượng El Niño với hạn hán tại lưu vực Sông Srepok, từ đó hỗ trợ công tác dự báo và quản lý tài nguyên nước tại địa phương hiệu quả hơn. Dữ liệu nghiên cứu bao gồm chỉ số Niño đại dương (ONI), chỉ số lượng mưa chuẩn hóa (SPI) và chỉ số dòng chảy chuẩn hóa (SSI) trong giai đoạn 1982-2023. Phương pháp nghiên cứu được sử dụng bao gồm tính toán các chỉ số hạn SPI và SSI, phân tích ảnh hưởng của ENSO đến hạn hán. Kết quả cho thấy SPI10 và SSI8 là các quy mô thời gian chịu tác động mạnh nhất từ ENSO, với giá trị trung bình của chỉ số hạn giữa năm La Niña và El Niño lần lượt là 1,49 và 1,58. ENSO ảnh hưởng có độ trễ trung bình đến lượng mưa là 2 tháng và dòng chảy là 3 tháng. Các pha El Niño thường đi kèm với hạn nghiêm trọng, xuất hiện từ cuối mùa mưa và kéo dài đến mùa khô, với tỷ lệ hạn rất khô chiếm trên 50%. Những phát hiện này khẳng định ảnh hưởng của ENSO đến hạn hán và cơ sở để cảnh báo sớm và quản lý hạn hiệu quả trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại lưu vực Sông Srepok.

Từ khóa: El Niño, hạn hán, chỉ số lượng mưa chuẩn hóa (SPI), chỉ số dòng chảy chuẩn hóa (SSI), chỉ số Niño đại dương (ONI).

1. Mở đầu

Hạn hán là một trong những hiện tượng thời tiết cực đoan gây ra nhiều ảnh hưởng tiêu cực đến đời sống kinh tế - xã hội và môi trường, đặc biệt là tại các lưu vực sông lớn [1], [2]. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu ngày càng phức tạp, tần suất và cường độ của hạn hán tại khu vực Đông Nam Á, trong đó có Việt Nam, đang có xu hướng tăng lên [3]. Một trong những nguyên nhân chính dẫn đến tình trạng này là hiện tượng El Niño-Southern Oscillation (ENSO). ENSO là một trong những hiện tượng dao động nội mùa - nội niên có ảnh hưởng lớn đến khí hậu toàn cầu, đặc biệt trong khu vực nhiệt đới và cận nhiệt đới [4], [5]. Sự biến đổi giữa hai pha chính El Niño (pha ấm) và La Niña (pha lạnh) gây ra những thay đổi rõ rệt trong phân bố lượng mưa, nhiệt độ và chế độ dòng chảy ở nhiều khu vực

trên thế giới, trong đó có Đông Nam Á [6], [7].

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng El Niño thường gắn với tình trạng khô hạn kéo dài, trong khi La Niña có thể dẫn đến gia tăng lượng mưa bất thường và lũ lụt ở nhiều nơi [8]. Do đó, ENSO được xem là một yếu tố khí hậu ảnh hưởng đến các mô hình thời tiết và khí hậu trên toàn cầu, trong đó có hạn hán và lũ lụt [4].

Trong hai thập niên gần đây, mối liên hệ giữa ENSO và hạn hán đã thu hút sự quan tâm đặc biệt từ cộng đồng khoa học quốc tế. Các công trình điển hình đã ứng dụng các chỉ số khí hậu như Oceanic Niño Index (ONI), Southern Oscillation Index (SOI), hay Niño3.4 để phân tích ảnh hưởng của ENSO đến hạn khí tượng và hạn thủy văn thông qua các chỉ số hạn như Standardized Precipitation Index (SPI) và Standardized Streamflow Index (SSI) [9], [10]. Các chỉ số hạn này cho phép phân tách và mô tả riêng biệt các giai đoạn trong quá trình lan truyền hạn hán, từ thiếu hụt lượng mưa đến suy

Tác giả liên hệ: Nguyễn Văn Lâm

Email: nvlam2730@gmail.com

giảm dòng chảy, từ đó đánh giá mức độ và thời gian phản ứng của từng loại hạn đối với các tín hiệu khí hậu toàn cầu.

Tại lưu vực Mê Kông, đặc biệt là các vùng phụ lưu thuộc lãnh thổ Việt Nam như Sông Srepok, ảnh hưởng của ENSO ngày càng rõ rệt dưới tác động của biến đổi khí hậu và các tác động nhân sinh ở thượng nguồn lưu vực. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng lưu lượng dòng chảy sông Mê Kông giảm mạnh trong các năm có El Niño mạnh như 1997-1998 hay 2015-2016 [11-13]. Tuy nhiên, mức độ tác động này có thể khác biệt giữa các lưu vực và theo mùa, phụ thuộc vào điều kiện địa hình, lớp phủ bề mặt, và cấu trúc dòng chảy. Mô hình SWAT được sử dụng để mô phỏng dòng chảy dưới các kịch bản khí hậu khác nhau và chỉ ra rằng các sự kiện El Niño làm giảm đáng kể lưu lượng dòng chảy trong mùa khô, từ đó làm trầm trọng thêm tình trạng hạn hán tại các tiểu lưu vực Srepok và Sê San [14]. Một trong những yếu tố khí hậu chính ảnh hưởng đến thủy văn tại lưu vực Sông Srepok là ảnh hưởng từ ENSO, đồng thời kết hợp với các yếu tố như sử dụng đất và vận hành hồ chứa dẫn đến gia tăng rủi ro hạn hán [15]. Khi áp dụng các chỉ số hạn (SPI, SSWI và SRI) ở nhiều thang thời gian khác nhau, cho thấy mối liên kết rõ rệt giữa ENSO và hạn hán; trong đó, các sự kiện El Niño xảy ra vào mùa đông (tháng 12-1-2) có thể gây ra hạn khí tượng vào mùa xuân (tháng 3-4-5), sau đó dẫn đến hạn thủy văn và hạn nông nghiệp trong các tháng tiếp theo [16]. Các kết quả này tương đồng với nghiên cứu quy mô vùng của Lee và Dang [17], khi ghi nhận tần suất và mức độ nghiêm trọng của hạn hán gia tăng đáng kể trong các pha El Niño mạnh tại khu vực Nam Bộ, bao gồm cả lưu vực Sông Srepok. Tổng thể, các công trình nghiên cứu này khẳng định hiện tượng ENSO có ảnh hưởng làm gia tăng hạn hán. Lưu vực Sông Srepok, nằm ở khu vực Tây Nguyên của Việt Nam, đóng vai trò chiến lược trong nông nghiệp, thủy điện và phát triển bền vững tài nguyên rừng [18], tuy nhiên chưa có các nghiên cứu về ảnh hưởng của ENSO đến cả hạn khí tượng và hạn thủy văn trong bối cảnh

biến đổi khí hậu ngày càng phức tạp.

Từ những phân tích trên, có thể thấy rằng việc đánh giá đồng thời ảnh hưởng của ENSO đến cả hạn khí tượng và hạn thủy văn là cần thiết để hiểu rõ hơn quá trình tác động đến khí tượng thủy văn ở cấp lưu vực. Trong bối cảnh đó, để thực hiện được nghiên cứu ảnh hưởng của ENSO đến hạn hán trên lưu vực Sông Srepok cần trả lời hai câu hỏi sau: i) Ở quy mô thời gian nào các chỉ số hạn phản ánh rõ nhất các ảnh hưởng của ENSO đến lượng mưa và dòng chảy? ii) ENSO ảnh hưởng rõ rệt nhất đến lượng mưa và dòng chảy vào thời điểm nào trong năm?.

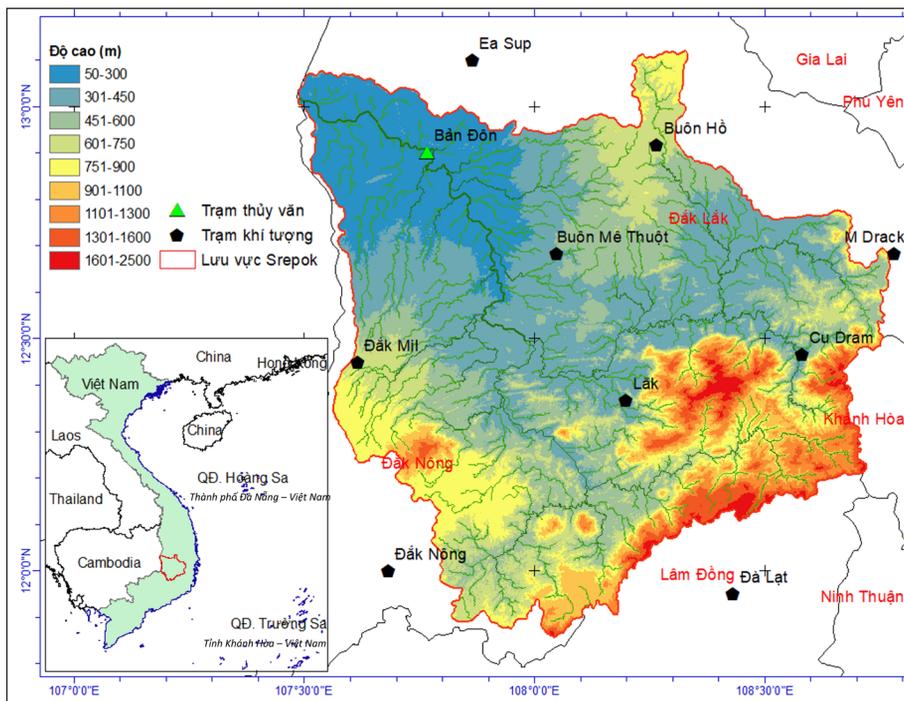
2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu

Lưu vực sông Srepok (tọa độ 11°45'-13°15'B, 107°15'-109°00'Đ) nằm ở khu vực Tây Nguyên, Việt Nam, với diện tích khoảng 12.000 km² với tổng dân số xấp xỉ 2,5 triệu người [19]. Khu vực nghiên cứu nằm ở độ cao từ 140 đến 2.400 mét, theo hướng Tây Bắc - Đông Nam. Khí hậu chủ yếu chịu ảnh hưởng của gió mùa nhiệt đới, với độ ẩm cao. Khu vực này có hai mùa rõ rệt kéo dài mỗi mùa khoảng 6 tháng: mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10 và mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ trung bình năm dao động từ 20 đến 25°C [20].

Dữ liệu trong nghiên cứu này bao gồm chỉ số Niño đại dương (Oceanic Niño Index - ONI) và lượng mưa cùng lưu lượng dòng chảy trên khu vực nghiên cứu. Nghiên cứu sử dụng dữ liệu từ 9 trạm đo mưa (Buôn Mê Thuật, Buôn Hồ, Đắk Mil, Lắk, Đắk Nông, Đà Lạt, Cu Dram, M Drack và Ea Sup) và một trạm thủy văn (Bản Đôn) (Hình 1). ONI được trích xuất từ trang <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov>. Các dữ liệu sử dụng ở dạng trung bình tháng, được lấy từ năm 1982 đến 2023.

Vì lưu vực không lớn và để đảm bảo tính ổn định, nghiên cứu không phân tích chỉ số hạn khí tượng theo từng trạm mà sử dụng lượng mưa trung bình toàn lưu vực. Tương tự, chỉ số hạn thủy văn cũng được phân tích dựa trên số liệu dòng chảy từ lưu vực Srepok, nằm ở cuối lưu vực.



Hình 1. Lưu vực Sông Sreпок và các trạm khí tượng thủy văn sử dụng trong nghiên cứu

2.2. Phương pháp thu thập và phân tích dữ liệu

2.2.1. Chỉ số hạn khí tượng - SPI

Chỉ số lượng mưa chuẩn hóa SPI (Standard Precipitation Index) được McKee [21] cùng các đồng sự đề xuất vào năm 1993, đây là một chỉ số được sử dụng rộng rãi trên thế giới. SPI là một chỉ số được xác định dựa trên hàm phân bố của lượng mưa và được tính với các bước thời gian khác nhau, từ 1 tháng đến 48 tháng hoặc dài hơn. Gọi x là lượng mưa ứng với bước thời gian chọn trước của một tháng bất kỳ trong năm, SPI sẽ được tính theo các bước sau:

Xác định các tham số hình dạng (shape parameter) (α) và tham số tỷ lệ (scale parameter) (β) theo phân phối Gamma như sau:

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + 4U/3}}{4U}, \quad (1)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha}, \quad (2)$$

Ở đây \bar{X} là giá trị trung bình của X và U là hệ số thống kê. Gọi n là số lần quan trắc lượng mưa, khi đó U được tính như sau:

$$U = \ln(\bar{X}) - \frac{\sum \ln(X)}{n} \quad (4)$$

Xác định hàm phân bố Gamma theo phương trình sau:

$$G(x) = \frac{\int_0^x t^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}} dt}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$$

Ở đây $\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)!$, nó được gọi là hàm Gamma. Vì hàm Gamma không được xác định cho $x = 0$ và phân phối lượng mưa có thể chứa các số không, nên xác suất tích lũy trở thành:

$$H(x) = q + (1-q)G(x), \quad (5)$$

Trong đó q là xác suất ứng với $x = 0$.
+ Tính SPI

Xác suất tích lũy $H(x)$ sau đó được chuyển thành biến ngẫu nhiên chuẩn hóa với giá trị trung bình bằng 0 và phương sai bằng một, là giá trị của SPI:

$$SPI = \frac{2,515517 + 0,802583t + 0,010328t^2}{1 + 1,432788t + 0,189269t^2 + 0,001308t^3} - t \quad 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (6)$$

$$SPI = t - \frac{2,515517 + 0,802583t + 0,010328t^2}{1 + 1,432788t + 0,189269t^2 + 0,001308t^3} \quad 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (7)$$

Ở đây

$$t = \sqrt{h \left(\frac{1}{H(x)^2} \right)} \quad 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$t = \sqrt{h \left(\frac{1}{(1-H(x))^2} \right)} \quad 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (8)$$

Ngưỡng của SPI và SSI về mức độ khô hạn được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Phân cấp hạn theo SPI và SSI

Giá trị của các chỉ số	Phân loại
2	Rất ẩm
1	Ẩm
0	Bình thường
-1	Khô
-2	Rất khô

SPI là một dạng dữ liệu chuẩn hóa, vì vậy nó mô tả tốt hơn mức độ trầm trọng của thiếu hụt lượng mưa. SPI được tính với số liệu đầu vào là lượng mưa trung bình của lưu vực mà dữ liệu này được tính bằng phương pháp Đa giác Thiessen với lượng mưa từ các trạm quan trắc.

2.2.2. Chỉ số dòng chảy chuẩn hóa - SSI

Chỉ số dòng chảy chuẩn hóa (Standardized Streamflow Index - SSI) được Modarres giới thiệu vào năm 2007 và được điều tra thêm bởi Telesca và cộng sự năm 2012 [9]. Được phát triển bằng cách sử dụng các giá trị dòng chảy hàng tháng và các phương pháp chuẩn hóa liên quan đến SPI.

SSI cũng có quy trình tính toán giống với SPI, với một điểm khác biệt là dữ liệu lượng mưa được thay thế bằng dữ liệu dòng chảy làm đầu

vào. SSI có thể được tính toán cho cả dữ liệu quan trắc và dự báo, cung cấp góc nhìn về thời kỳ dòng chảy cao và thấp liên quan đến hạn hán và lũ lụt.

2.2.3. Phân tích ảnh hưởng của ENSO đến hạn hán

Để đánh giá tác động của ENSO đến hạn hán tại lưu vực Sông Srepok, nghiên cứu sử dụng chỉ số Niño Đại dương (Oceanic Niño Index - ONI), được tính từ trung bình trượt 3 tháng của dị thường nhiệt độ bề mặt biển (SST) tại khu vực Niño 3.4 (tọa độ 5°N-5°S, 120°W-170°W), dựa trên dữ liệu của NOAA Climate Prediction Center (NOAA CPC) [22], [23]. Pha ENSO được phân loại thành ba trạng thái: El Niño (ONI ≥ +0,5°C), La Niña (ONI ≤ -0,5°C) và Trung tính (-0,5°C < ONI < +0,5°C), với điều kiện mỗi pha kéo dài ít nhất 5 giai đoạn trong 3 tháng liên tiếp.

Ảnh hưởng của ENSO đến hạn hán được đánh giá thông qua hai chỉ số: SPI (Standardized Precipitation Index) và SSI (Standardized Streamflow Index), đại diện lần lượt cho hạn khí tượng và hạn thủy văn [16]. Đầu tiên, nghiên cứu phân tích mức chênh lệch trung bình giữa các giá trị SPI và SSI trong năm La Niña và El Niño, ứng với các quy mô thời gian khác nhau và độ trễ từ 0 đến 12 tháng của ONI. Phân tích này nhằm xác định quy mô thời gian phản ánh rõ nhất tác động của ENSO cũng như thời gian trễ giữa ENSO và các chỉ số hạn.

Tiếp theo, biểu đồ hộp được sử dụng để mô tả phân bố các giá trị SPI và SSI trong từng pha ENSO [24], cho phép đánh giá sự khác biệt về cường độ hạn hán. Biểu đồ cột xếp chồng được áp dụng để thể hiện tỷ lệ xuất hiện các cấp hạn từ rất khô đến rất ẩm trong mỗi pha ENSO. Cuối cùng, nghiên cứu đánh giá tính mùa vụ của hạn hán bằng cách phân tích tỷ lệ hạn xuất hiện theo tháng, qua đó nhận diện thời điểm nhạy cảm nhất trong năm đối với ảnh hưởng của ENSO.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Chênh lệch về giá trị của SSI và SPI giữa năm La Niña - El Niño

Phân tích này nhằm bước đầu xác định thời gian trễ giữa ENSO với lượng mưa và dòng chảy trên lưu vực này cũng như xác định quy mô thời gian của SSI và SPI mà nó phản ánh tốt nhất các ảnh hưởng của ENSO.

Hiện tượng El Niño được ghi nhận trong chuỗi ít nhất 5 tháng liên tiếp có giá trị ONI $\geq +0,5^{\circ}\text{C}$ trong khi La Niña xuất hiện khi ONI $\leq -0,5^{\circ}\text{C}$. Khoảng thời gian còn lại được gọi là pha trung tính. Với các chỉ số hạn ứng với các quy mô thời gian khác nhau và ONI được lấy trước chúng từ 0 đến 12 tháng, kết quả thống kê về mức chênh lệch trung bình của SSI và SPI giữa năm La Niña - El Niño được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Chênh lệch trung bình về giá trị của SPI và SSI giữa năm La Nina - El Nino

		SPI1	SPI2	SPI3	SPI4	SPI5	SPI6	SPI7	SPI8	SPI9	SPI10	SPI11
	Số tháng ONI được lấy trước SPI	12	0,15	0,23	0,24	0,25	0,30	0,37	0,48	0,59	0,69	0,92
11		0,22	0,27	0,31	0,34	0,42	0,52	0,63	0,72	0,84	1,08	0,95
10		0,24	0,33	0,38	0,45	0,56	0,67	0,76	0,87	0,97	1,20	1,10
9		0,30	0,39	0,50	0,61	0,73	0,82	0,92	1,01	1,13	1,32	1,24
8		0,31	0,48	0,64	0,76	0,86	0,96	1,05	1,16	1,25	1,41	1,38
7		0,43	0,64	0,79	0,90	1,01	1,10	1,20	1,28	1,36	1,47	1,45
6		0,56	0,75	0,88	1,00	1,11	1,22	1,29	1,35	1,41	1,49	1,43
5		0,61	0,79	0,94	1,05	1,19	1,26	1,32	1,36	1,40	1,44	1,41
4		0,66	0,84	0,96	1,10	1,21	1,26	1,30	1,32	1,34	1,36	1,35
3		0,69	0,90	1,02	1,12	1,20	1,24	1,25	1,25	1,25	1,26	1,26
2		0,68	0,86	1,01	1,08	1,14	1,16	1,16	1,14	1,13	1,13	1,14
1		0,75	0,82	0,97	1,03	1,06	1,07	1,04	1,02	1,01	1,01	1,00
0		0,64	0,78	0,84	0,88	0,90	0,89	0,86	0,84	0,83	0,85	0,84
		SSI1	SSI2	SSI3	SSI4	SSI5	SSI6	SSI7	SSI8	SSI9	SSI10	SSI11
Số tháng ONI được lấy trước SSI	12	0,45	0,54	0,62	0,71	0,80	0,88	0,98	1,05	1,12	1,19	1,26
	11	0,56	0,66	0,76	0,86	0,95	1,04	1,11	1,18	1,24	1,31	1,38
	10	0,68	0,81	0,91	1,01	1,10	1,18	1,24	1,30	1,36	1,42	1,47
	9	0,84	0,97	1,07	1,17	1,25	1,31	1,36	1,42	1,47	1,51	1,49
	8	0,97	1,10	1,22	1,29	1,36	1,41	1,46	1,51	1,54	1,54	1,54
	7	1,10	1,24	1,33	1,39	1,45	1,50	1,54	1,57	1,57	1,56	1,50
	6	1,22	1,33	1,40	1,46	1,52	1,55	1,57	1,58	1,56	1,51	1,47
	5	1,25	1,35	1,42	1,49	1,54	1,56	1,55	1,53	1,50	1,47	1,42
	4	1,27	1,36	1,44	1,50	1,52	1,51	1,49	1,44	1,40	1,36	1,31
	3	1,29	1,38	1,44	1,46	1,46	1,43	1,38	1,33	1,27	1,22	1,18
	2	1,28	1,35	1,38	1,38	1,35	1,29	1,23	1,18	1,12	1,07	1,02
	1	1,25	1,26	1,27	1,24	1,18	1,12	1,06	1,00	0,95	0,90	0,86
	0	1,11	1,11	1,08	1,03	0,98	0,92	0,86	0,81	0,76	0,72	0,69

Theo Bảng 2, giá trị cao nhất về mức chênh lệch trung bình về giá trị của SPI ứng với các quy mô thời gian từ 1 đến 11 tháng có giá trị từ 0,69 đến 1,49. Mức chênh lệch với SSI1 thấp là do thời gian tích lũy một tháng còn thể hiện tính ngẫu nhiên lớn của lượng mưa. So với SPI, SSI có mức chênh lệch rõ rệt hơn với các giá trị tương ứng là 1,29 và 1,58. Số liệu này cho thấy chỉ số dòng chảy chuẩn hóa thể hiện độ nhạy cao hơn so với chỉ số lượng mưa chuẩn hóa trước tác động của ENSO. Điều này tương đồng với nhận định của Telesca et al. (2012) [9] rằng các chỉ số thủy văn như SSI được đánh giá là chỉ số có hiệu quả cao trong đánh giá hạn.

Mức chênh cao của SSI và SPI trong Bảng 2 cho thấy giá trị của SPI/SSI là rất thấp vào các kỳ El Niño, hay hạn hán sẽ có thể thường xuyên xuất hiện khi hiện tượng này xuất hiện. Từ bảng này cũng cho thấy SSI8 và SPI10 phản ánh tốt nhất các ảnh hưởng của ENSO đến khu vực này qua mức chênh lệch cao nhất.

Bảng 2 cho thấy mức chênh lớn nhất ngoài sự phụ thuộc vào thang thời gian của chỉ số hạn mà còn phụ thuộc vào số tháng mà ONI được lấy trước SPI/SSI, hay phụ thuộc vào độ trễ giữa chúng. Do được tính với thời gian tích lũy 1 tháng nên SPI1 và SSI1 dễ dàng cho thấy thời gian trễ

giữa ONI với lượng mưa và dòng chảy. Theo Bảng 2 và thì mức chênh giá trị trung bình lớn nhất của cả hai chỉ số hạn này giữa kỳ La Niña - El Niño xảy ra ứng với ONI được lấy trước 3 tháng. Hay sau khi ENSO hoạt động thì sau khoảng 3 tháng nó mới ảnh hưởng đến lượng mưa và dòng chảy khu vực này. Khi thang thời gian của SSI và SPI tăng thì mức chênh trong Bảng 2 đạt giá trị cao nhất khi ONI được lấy trễ hơn. Điều này không phản ánh thời gian trễ giữa ONI và các chỉ số hạn có sự thay đổi lớn mà là do kết quả tính các chỉ số hạn được ghi vào cuối giai đoạn. Ví dụ khi tính SSI7 cho tháng 7 của một năm nào đó thì nó được tính từ lượng mưa từ tháng 1 đến tháng 7 của năm này và được ghi vào tháng 7 mà lẽ ra nó phải được ghi vào thời điểm giữa là tháng 4. Hay nó được ghi trễ hơn 3 tháng. Theo Bảng 2 thì mức chênh SSI8 lớn nhất giữa kỳ La Niña và El Niño ứng với ONI được lấy sớm hơn 6 tháng. Như vậy thời gian trễ thực tế giữa ONI và SSI8 cũng là 3 tháng như đối với SSI. Gọi t_s là quy mô thời gian của chỉ số hạn và t là thời gian mà ONI được lấy trước các chỉ số hạn để đạt mức chênh lớn nhất thì thời gian trễ giữa ONI và các chỉ số hạn sẽ là $t - (t_s - 1)/2$, với các đơn vị được lấy là tháng và được làm tròn. Bảng 3 dưới đây là kết quả tính thời gian trễ giữa chúng.

Bảng 3. Thời gian trễ giữa SPI, SSI với ONI

	SPI1	SPI2	SPI3	SPI4	SPI5	SPI6	SPI7	SPI8	SPI9	SPI10	SPI11
Số tháng ONI được lấy trước SPI	3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7
Thời gian trễ thực tế	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	SSI1	SSI2	SSI3	SSI4	SSI5	SSI6	SSI7	SSI8	SSI9	SSI10	SSI11
Số tháng ONI được lấy trước SSI	3	3	3	4	5	5	6	6	7	7	8
Thời gian trễ thực tế	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3

Theo bảng 3 thì thời gian trễ giữa ONI với lượng mưa và dòng chảy khu vực này trong khoảng từ 2 đến 3 tháng. Nếu xét riêng với lượng mưa thì thời gian trễ chủ yếu là 2 tháng, chiếm 9/11 trường hợp. Tương tự nếu xét với dòng chảy thì thời gian trễ chủ yếu là 3 tháng và cũng chiếm 10/11 trường hợp. Dòng chảy có thời gian trễ lớn hơn là do quá trình chuyển hóa lượng mưa hình thành dòng chảy mặt, dòng

chảy tập trung mà nhất là dòng đáy thì cần có thêm thời gian [25]. Như vậy với lưu vực này, tại cửa ra dòng chảy trễ hơn so với lượng mưa trung bình khoảng 1 tháng.

3.2. Tác động của ENSO đến hạn hán

Để phân tích mức độ xuất hiện của hạn hán theo các pha ENSO, phân tích này lựa chọn SSI8 và SSI10 vì chúng phản ánh rõ nhất các tác động của ENSO đến hạn hán lưu vực này như đã nêu

trên. Do có thời gian trễ nên các pha ENSO cũng được lấy trước SSI8 và SPI10 là 6 tháng như trong Bảng 3. Các pha ENSO đưa vào phân tích gồm El Niño (pha nóng), trung tính và La Niña (pha lạnh).

3.2.1. Giá trị của SPI và SSI theo các pha ENSO

Các tác động của ENSO đến hạn hán được phân tích dựa trên việc thống kê các chỉ số hạn ứng với các ngưỡng cao nhất, 25%, 50%, 75% và 100% và theo các ENSO. Có 5 cấp ẩm được đưa vào phân tích là từ rất khô đến rất ẩm như nêu trong Bảng 1.

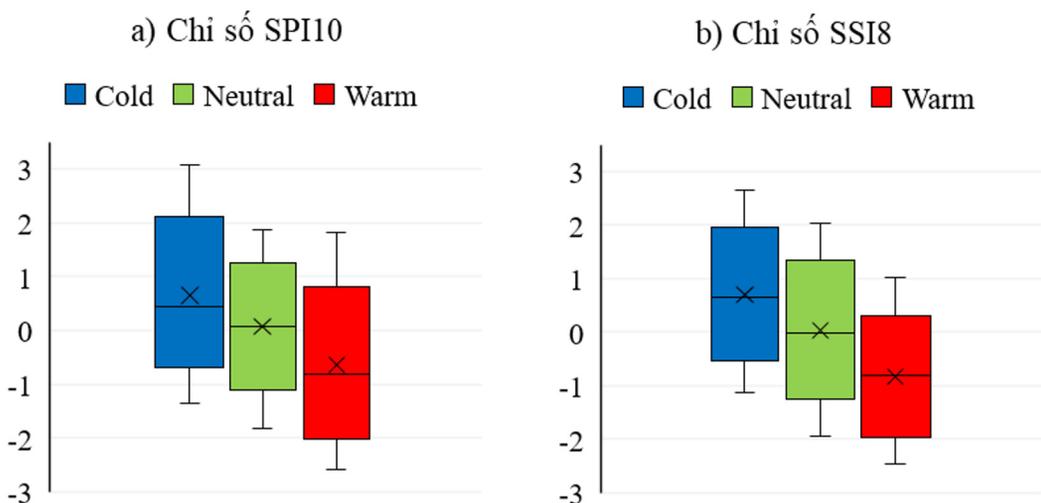
Hình 2 trình bày phân bố thống kê của chỉ số lượng mưa chuẩn hóa SPI10 (Hình 2a) và chỉ số dòng chảy chuẩn hóa SSI8 (Hình 2b) theo ba trạng thái của chu trình ENSO, bao gồm pha lạnh (Cold - La Niña), trung tính (Neutral), và pha ấm (Warm - El Niño). Dữ liệu cho thấy sự khác biệt có hệ thống giữa các pha ENSO đối với cả hai biến khí tượng thủy văn, cho phép nhận định rõ ràng về vai trò chi phối của ENSO đến điều kiện ẩm và hạn trong khu vực nghiên cứu.

Cụ thể, trong pha La Niña, cả SPI10 và SSI8 đều có giá trị trung bình và trung vị dương, phản ánh điều kiện ẩm ướt và dòng chảy tích lũy theo thời gian. Ngược lại, pha El Niño cho thấy sự suy giảm rõ rệt, với giá trị trung tâm âm ở cả hai chỉ số, đồng thời xuất hiện các giá trị cực đoan thấp dưới -2, đặc trưng cho hạn khí tượng và hạn thủy văn nghiêm trọng. Pha Neutral có đặc điểm ổn định nhất, với phân bố gần quanh 0 và

biên độ dao động nhỏ hơn, thể hiện trạng thái trung tính không gây ra biến động cực đoan.

Trung vị chỉ số SPI10 trong pha El Niño đạt khoảng -0,8, thấp hơn đáng kể so với pha trung tính là 0,1 và La Niña là 0,3, tương ứng chênh lệch khoảng 0,9 và 1,1 đơn vị. Điều này cho thấy pha El Niño có xu hướng làm gia tăng mức độ khô hạn so với các pha còn lại. Xét theo ngưỡng hạn khí tượng với SPI10 < -1, có đến khoảng 50% giá trị trong pha El Niño rơi vào vùng hạn, trong khi tỷ lệ này ở pha trung tính và La Niña lần lượt chỉ khoảng 15-20%. Xu hướng tương tự cũng được quan sát ở chỉ số SSI8, mặc dù mức chênh lệch giữa các pha ENSO có phần thấp hơn. Những kết quả này khẳng định ảnh hưởng giữa pha ENSO và mức độ hạn, đặc biệt là trong các năm El Niño.

Xu hướng giảm dần của cả SPI10 và SSI8 từ pha La Niña → Neutral → El Niño phản ánh tác động của ENSO đến các yếu tố ẩm - hạn. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước [5], [6] khẳng định El Niño làm giảm mưa và dòng chảy, trong khi La Niña có xu hướng tăng cường độ ẩm và lưu lượng. Những quan sát này nhấn mạnh vai trò chi phối của ENSO trong việc hình thành và gia tăng rủi ro hạn hán khí tượng - thủy văn, đồng thời đánh giá các hiện tượng của pha ENSO như một công cụ dự báo sớm trong quản lý tài nguyên nước và thích ứng khí hậu tại lưu vực Sông Srepok.



Hình 2. Giá trị các chỉ số hạn theo pha ENSO

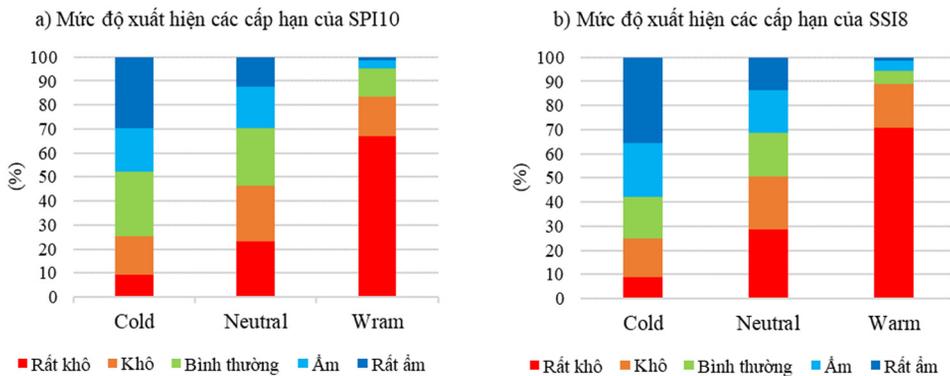
3.2.2. Tỷ lệ xuất hiện các cấp hạn trong các pha ENSO

Kết quả xác định mức độ xuất hiện các cấp hạn từ rất khô đến rất ẩm theo các pha ENSO dựa trên số liệu tất cả các tháng từ năm 1982 đến 2023 được thể hiện trên Hình 3. Trong phân tích này cũng có 5 cấp ẩm được sử dụng là từ rất khô đến rất ẩm như nêu trong Bảng 1. Tổng số quan sát tương ứng với từng pha ENSO cụ thể gồm: 149 giá trị trong pha La Niña (Cold), 216 giá trị trong pha trung tính (Neutral) và 127 giá trị trong pha El Niño (Warm).

Kết quả cho thấy ảnh hưởng rõ rệt và khác biệt giữa các pha ENSO đến cường độ hạn. Trong pha Warm, tỷ lệ các cấp hạn nghiêm trọng ở mức rất khô và khô là chiếm ưu thế, đặc biệt vượt 50% tổng số quan sát ở cả hai chỉ số, trong khi các mức ẩm và rất ẩm có tỷ lệ khá thấp. Điều này phản ánh tác động có hệ thống của El Niño đến lượng mưa và dòng

chảy, phù hợp với nghiên cứu trước đó như Liu et al. (2020) [26], cho thấy El Niño làm suy giảm lưu lượng dòng chảy ở khu vực Đông Nam Á do sự suy yếu đối lưu và dải hội tụ nhiệt đới. Trái lại, trong pha Cold, các mức ẩm ướt chiếm tỷ lệ cao hơn, đặc biệt ở SSI8, cho thấy tác động mạnh hơn đến hệ thống thủy văn.

So với pha nóng thì trong pha lạnh mức chênh lệch về tần suất xuất hiện giữa các cấp hạn là nhỏ hơn. Ngược lại với pha lạnh và pha nóng, trong pha trung tính không có sự khác biệt đáng kể về tần suất hiện của các cấp hạn. Kết quả này phản ánh những khác biệt về lượng mưa giữa các pha ENSO mà nhất là trên vùng nhiệt đới [27], và cho thấy nguy cơ hạn nghiêm trọng hơn dưới ảnh hưởng các sự kiện El Niño cường độ mạnh và kéo dài [28]. Phân tích này cung cấp cơ sở khoa học cho dự báo và quản lý rủi ro khí hậu tại lưu vực Sông Srepok.



Hình 3. Mức độ xuất hiện các cấp hạn theo pha ENSO

3.2.3. Tỷ lệ về thời gian hạn theo các pha ENSO

Phân tích theo từng tháng nhằm xác định khoảng thời gian trong năm mà hạn thường xuất hiện khi ENSO hoạt động. Do xét theo từng tháng nên phân tích này không thực hiện chi tiết theo 5 cấp hạn vì làm số liệu sẽ bị chia quá nhỏ, thay vào đó chỉ xét tỷ lệ về thời gian mà hạn hán xuất hiện. Tỷ lệ hạn được xác định bằng cách lấy số lần xảy ra hạn ($SPI < -1$) trong từng tháng ứng với mỗi pha ENSO, chia cho tổng số quan sát của tháng đó trong cùng pha ENSO.

Kết quả từ Hình 4 chỉ ra rằng các sự kiện El Niño (pha Warm) có ảnh hưởng rõ rệt trong việc

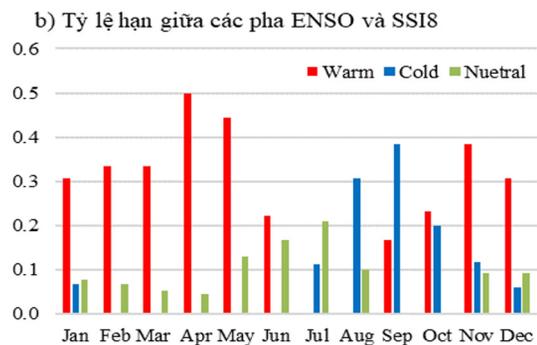
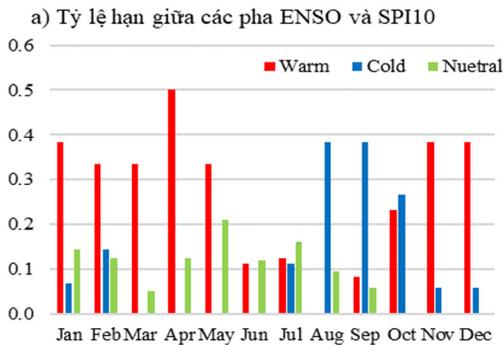
gia tăng nguy cơ hạn hán, với tỷ lệ xuất hiện hạn vượt ngưỡng -1 tăng mạnh và duy trì kéo dài từ cuối mùa mưa năm trước tháng 11 đến hết mùa khô tháng 4-5 của năm sau. Đặc biệt, các tháng 3 đến 5, thời kỳ được xem là đỉnh điểm của điều kiện khô hạn trong khu vực, ghi nhận tỷ lệ hạn cao nhất, vượt ngưỡng 50% ở cả hai chỉ số, phản ánh mức độ khốc liệt của khô hạn dưới tác động của El Niño.

Kết quả này cho thấy khi El Niño hoạt động đã làm suy giảm lượng mưa và dẫn đến làm suy giảm dòng chảy từ tháng 11 đến tháng 5 là các tháng mùa khô và đầu mùa mưa. Lượng mưa

mùa khô khu vực này chỉ chiếm khoảng 22% lượng mưa năm. Lượng mưa của tháng 5 là chưa đáng kể, đây cũng tháng có nhiệt độ bề mặt cao, độ ẩm đất rất thấp nên lượng mưa có ý nghĩa với cây trồng còn ở mức thấp. Sự suy giảm lượng mưa trong các tháng này sẽ làm cho tình trạng hạn hán thêm trầm trọng, mà nhất là vào

cuối mùa khô đầu mùa mưa.

Mức độ hạn tăng vào các tháng cuối mùa mưa khi La Niña ít ảnh hưởng vì lượng mưa của 3 tháng cuối mùa mưa trên khu vực này là cao nhất, chiếm 78% lượng mưa năm. Nó chỉ ảnh hưởng khi tiếp theo kỳ La Niña là một kỳ El Niño mà nó hoạt động sớm.



Hình 4. Tỷ lệ xuất hiện của hạn hán theo các tháng giữa pha ENSO và các chỉ số hạn

3.3. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu xác định SPI10 và SSI8 là các quy mô thời gian phản ánh tốt nhất ảnh hưởng của ENSO đến tình trạng hạn hán tại lưu vực Sông Srepok. Điều này phản ánh rõ cơ chế lan truyền từ hạn khí tượng sang hạn thủy văn do tác động của hiện tượng ENSO, đặc biệt vào mùa khô kết hợp với hiện tượng El Niño làm cho hạn trầm trọng hơn. Cụ thể, hạn khí tượng (SPI10) thể hiện thiếu hụt mưa kéo dài trong chu kỳ trung hạn, đây là quá trình gián tiếp tác động đến hạn thủy văn (SSI8). Tác động của ENSO đến hạn hán có độ trễ 2-3 tháng, đây là cơ sở để xây dựng các mô hình dự báo sớm hạn khí tượng và hạn thủy văn. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu của McKee et al. (1993) [21] và Telesca et al. (2012) [9], khi các chỉ số hạn ở quy mô ≥ 9 tháng được cho là tối ưu để mô tả ảnh hưởng của các dao động khí hậu ở các lưu vực sông. So với nghiên cứu của Tran et al. (2020) [3] tại lưu vực Mê Kông nơi mà ENSO tác động mạnh nhất đến quy mô thời gian hạn SPI6, trong nghiên cứu này, việc đánh giá tác động của ENSO đến các chỉ số hạn SPI10 và SSI8 tại lưu vực Sông Srepok cho thấy ảnh hưởng rõ rệt trong phân tích hạn từ tác động của ENSO.

hạn mà còn gia tăng cường độ của các đợt hạn nghiêm trọng. Tỷ lệ xuất hiện hạn cực đoan trong các năm El Niño vượt ngưỡng 50%, đồng thời thời điểm xuất hiện hạn thường rơi vào cuối mùa mưa và kéo dài đến cuối mùa khô. Khi pha Warm trùng với mùa khô, hiện tượng thiếu hụt lượng mưa và dòng chảy trở nên nghiêm trọng hơn - phù hợp với các nghiên cứu của Trenberth et al. (1998) [5] và Zhang et al. (2014) [29]. Ngược lại, La Niña có xu hướng giảm thiểu rủi ro hạn, đặc biệt trong cao điểm mùa mưa (tháng 7-9), do ảnh hưởng từ các quá trình đối lưu và gia tăng ẩm khu vực [6]. Điều này gây hậu quả nặng nề hơn so với hạn khí tượng đơn thuần xuất hiện trong mùa mưa, bởi hạn kéo dài xuyên suốt mùa khô làm cạn kiệt trữ lượng nước bề mặt và ngầm yếu tố sống còn đối với sản xuất và sinh kế khu vực.

Đáng chú ý, ảnh hưởng của ENSO đặc biệt là pha El Niño - không chỉ làm gia tăng tần suất

Khác với các lưu vực lớn như sông Mekong, nơi có sự điều tiết nội sinh (dung tích hồ chứa tự nhiên, dòng chảy cơ sở) làm suy giảm ảnh hưởng của ENSO đối với dòng chảy [30], [31], lưu vực Sông Srepok với đặc trưng địa hình cao nguyên, khả năng tích trữ nước thấp và mức độ phụ thuộc cao vào lượng mưa, cho thấy phản ứng rõ ràng và nhanh chóng hơn với các hiện tượng ENSO. Cấu trúc này khiến dòng chảy mùa khô trở nên khô hạn hơn với cuối mùa mưa,

một hiện tượng phổ biến trong các năm El Niño trung bình đến mạnh. Trong nghiên cứu của [16] đánh giá ảnh hưởng của ENSO đến hạn hán tại lưu vực sông Mekong (MRB) bằng ba chỉ số: SPI (hạn khí tượng), SSWI (hạn nông nghiệp) và SRI (hạn thủy văn). Kết quả cho thấy hạn khí tượng xảy ra phổ biến và có cường độ cao hơn, trong khi hạn thủy văn có tần suất lớn hơn. ENSO tác động mạnh đến hạn tại khu vực nam MRB, với El Niño đỉnh điểm vào mùa mưa có thể dẫn đến hạn vào mùa khô, nghiên cứu này chỉ ra rằng ảnh hưởng kéo dài của ENSO đến cả hạn khí tượng và sau đó là hạn thủy văn. Kết quả này cũng cố quan điểm rằng trong điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa mà đặc biệt trong mùa khô, dòng chảy không chỉ bị ảnh hưởng tức thời bởi lượng mưa, mà còn chịu tác động tích lũy của chuỗi khô hạn trước đó, đặc biệt khi độ ẩm, độ trữ và dòng chảy cơ sở thấp. Từ đó, nghiên cứu đề xuất việc tích hợp chỉ số ONI đại diện cho hiện tượng ENSO với các chỉ số hạn như SPI và SSI vào hệ thống giám sát hạn, nhằm nâng cao hiệu quả dự báo và hỗ trợ công tác quản lý tài nguyên nước cũng như xây dựng kế hoạch ứng phó sớm tại các khu vực dễ bị tổn thương như lưu vực Sông Srepok.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã làm rõ ảnh hưởng của ENSO đến hạn hán trên lưu vực Sông Srepok thông

qua việc phân tích ba chỉ số ONI, SPI và SSI từ năm 1982 đến năm 2023 với các quy mô thời gian từ 1 đến 11 tháng. Kết quả cho thấy SPI ở quy mô 10 tháng (SPI10) và SSI ở quy mô 8 tháng (SSI8) là hai chỉ số phản ảnh tốt nhất với ENSO. Điều này cho thấy đặc điểm tích lũy và độ trễ của hệ thống khí tượng - thủy văn tại khu vực cao nguyên. Cụ thể, hạn khí tượng có độ trễ khoảng 2 tháng, trong khi hạn thủy văn có độ trễ khoảng 3 tháng so với pha ENSO. Việc xác định sự phân bố theo pha ENSO, đặc biệt là pha El Niño, cho thấy mức độ ảnh hưởng nghiêm trọng của hiện tượng này đến tình trạng hạn hán trong khu vực. Tỷ lệ xuất hiện của các cấp hạn theo pha ENSO cũng được làm rõ, trong đó hạn ở cấp rất hạn chiếm hơn 50% trong các giai đoạn El Niño, một minh chứng rõ ràng cho mức độ tác động mạnh của ENSO. Ngoài ra, nghiên cứu cũng làm sáng tỏ sự khác biệt trong tác động của ENSO theo mùa. Trong đó, mùa khô chịu ảnh hưởng kép: vừa từ đặc điểm khí hậu nhiệt đới gió mùa, vừa từ tác động tăng cường của El Niño, khiến mức độ hạn hán trong mùa khô trở nên nghiêm trọng hơn. Mặc dù nghiên cứu đã phân tích rõ ảnh hưởng của ENSO đến hạn hán, song chưa phân tích chuyên sâu về mối quan hệ của ENSO và hạn hán, nhóm tác giả kiến nghị các đề tài tiếp theo cần làm rõ vấn đề này.

Đóng góp của từng tác giả trong bài báo: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Nguyễn Văn Lâm, Lương Văn Việt, Châu Nguyễn Xuân Quang. Tổng hợp và xử lý số liệu: Nguyễn Văn Lâm, Lương Văn Việt, Lê Thị Thu Hà. Viết bản thảo: Nguyễn Văn Lâm, Lương Văn Việt, Châu Nguyễn Xuân Quang.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số A2024-24-01.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của mình, chưa từng công bố trước đó, không sao chép, đạo văn; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

- [1] E. Patrick, *Sequía: Vulnerabilidad y crisis en tierras áridas*. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2003.
- [2] M. Ionita, P. Scholz and S. Chelcea, "Assessment of droughts in Romania using the Standardized Precipitation Index," *Natural Hazards*, vol. 81, no. 3, pp. 1483–1498, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2141-8>.
- [3] T. N. Binh, "Assessments of CMIP3 Climate Models and Projected Climate Changes of Precipitation and Temperature for Vietnam and the Southeast Asia," *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, vol. 36, no. 3, pp. 37-45, 2020.

- [4] M. J. McPhaden et al., "Large-scale dynamics and MJO forcing of ENSO variability," *Geophysical Research Letters*, vol. 33, no. 16, 2006..
- [5] K. E. Trenberth and T. J. Hoar, "El Niño and climate change," *Geophysical Research Letters*, vol. 24, no. 23, pp. 3057-3060, 1997.
- [6] C. F. Ropelewski và M. S. Halpert, "Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation," *Journal of Climate*, vol. 2, no. 3, pp. 268–284, 1989.
- [7] C. Wang, C. Deser, J.-Y. Yu, P. DiNezio và A. Clement, "El Niño and Southern Oscillation (ENSO): A review," in *Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific: Persistence and Loss in a Dynamic Environment*. Dordrecht: Springer, pp. 85–106, 2017. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4_4.
- [8] S. E. Nicholson, "The predictability of rainfall over the Greater Horn of Africa. Part I: Prediction of seasonal rainfall," *Journal of Hydrometeorology*, vol. 15, no. 3, pp. 1011-1027, 2014.
- [9] L. Telesca et al., "Investigation of scaling properties in monthly streamflow and Standardized Streamflow Index (SSI) time series in the Ebro basin (Spain)," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 391, no. 4, pp. 1662-1678, 2012.
- [10] M. P. King et al., "Impact of strong and extreme El Niños on European hydroclimate," *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, vol. 72, no. 1, pp. 1-10, 2020.
- [11] J. Delgado et al., "A climate-flood link for the lower Mekong River," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 16, no. 5, pp. 1533–1541, 2012.
- [12] T. A. Räsänen and M. Kummu, "Spatiotemporal influences of ENSO on precipitation and flood pulse in the Mekong River Basin," *Journal of Hydrology*, vol. 476, pp. 154-168, 2013.
- [13] N. Đ. Ngữ và V. V. Thăng, "Tác động của El Niño đến hạn hán đồng bằng sông Cửu Long trong bối cảnh nóng lên toàn cầu," *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu*, số 29, trang 1-8, 2024. <https://doi.org/10.55659/2525-2496/29.94650>.
- [14] L. A. Ngo et al., "Impact of reservoir operation and climate change on the hydrological regime of the Sesan and Srepok Rivers in the Lower Mekong Basin," *Climatic Change*, vol. 149, pp. 107-119, 2018.
- [15] S. K. Gunawardana et al., "Multiple drivers of hydrological alteration in the transboundary Srepok River Basin of the Lower Mekong Region," *Journal of Environmental Management*, vol. 278, p. 111524, 2021.
- [16] M.-H. Li et al., "Multiple drought indices and their teleconnections with ENSO in various spatiotemporal scales over the Mekong River Basin," *Science of the Total Environment*, vol. 854, p. 158589, 2023..
- [17] S. K. Lee and T. A. Truong, "Evaluating drought events under influence of El-Nino phenomenon: A case study of Mekong delta area, Vietnam," *Journal of Agrometeorology*, vol. 20, no. 4, pp. 275-279, 2018..
- [18] N. T. Tho, *Solutions to Increase Effective Use and Sustainable Development of Water Resources*. Hanoi: Vietnam Water Partnership và General Directorate of Water Resources, 2019..
- [19] General Statistics Office, *Statistical Yearbook of Vietnam 2019*. Hanoi: Statistical Publishing House, 2019.
- [20] Mekong River Commission, *Transboundary Water Resources Management Issues in the Sesan and Srepok River Basins*. Vientiane, Lao PDR, 2017, 44 p.
- [21] T. B. McKee, N. J. Doesken và J. Kleist, "The relationship of drought frequency and duration to time scales," in *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Boston, USA, pp. 179-186, 1993.
- [22] C. Ihara et al., "Indian summer monsoon rainfall and its link with ENSO and Indian Ocean climate indices," *International Journal of Climatology*, vol. 27, no. 2, pp. 179-187, 2007..
- [23] G. Sripathi et al., "Dynamic relationship between Indian summer monsoon rainfall and South Asian high in seasonal coupled models," *Climate Dynamics*, vol. 62, no. 3, pp. 1925-1944, 2024.

- [24] M. Henchiri et al., "Meteorological drought analysis and return periods over North and West Africa and linkage with El Niño-Southern Oscillation," *Remote Sensing*, vol. 13, no. 23, p. 4730, 2021.
- [25] L. Gaál et al., "Flood timescales: Understanding the interplay of climate and catchment processes through comparative hydrology," *Water Resources Research*, vol. 48, no. 4, 2012.
- [26] J. Liu et al., "Contrasting carbon cycle responses of the tropical continents to the 2015-2016 El Niño," *Science*, vol. 358, no. 6360, p. eaam5690, 2017.
- [27] K. Ashok et al., "The Indian summer monsoon rainfall and ENSO," *Mausam*, vol. 70, no. 3, pp. 443-452, 2019.
- [28] W. Cai et al., "Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming," *Nature Climate Change*, vol. 4, no. 2, pp. 111-116, 2014.
- [29] T. Zhang et al., "What is responsible for the strong observed asymmetry in teleconnections between El Niño and La Niña?" *Geophysical Research Letters*, vol. 41, no. 3, pp. 1019-1025, 2014. <https://doi.org/10.1002/2013GL058964>
- [30] A. S. Kiem et al., "Relationship between ENSO and snow covered area in the Mekong and Yellow River basins," *IAHS Publication*, vol. 296, pp. 255-264, 2005.
- [31] L. V. Viet, "Effects of ENSO and climate change on reference evapotranspiration in Southern Vietnam," *Journal of Meteorological Research*, vol. 35, no. 5, pp. 868-881, 2021.

THE IMPACT OF ENSO ON DROUGHT IN THE SREPOK RIVER BASIN

Nguyen Van Lam^{(1),(2)}, Luong Van Viet⁽³⁾, Chau Nguyen Xuan Quang⁽¹⁾, Le Thi Thu Ha^{(1),(4)}

⁽¹⁾Institute of Environment and Resources - Vietnam National University Ho Chi Minh City

⁽²⁾Vietnam National University of Forestry - Dong Nai Campus

⁽³⁾Industrial University of Ho Chi Minh City

⁽⁴⁾Institute of Advanced Technology (Vietnam Academy of Science and Technology)

Received: 6/7/2025; Accepted: 25/7/2025

Abstract: This study aims to evaluate drought temporalities and the lag effects between the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and drought occurrence in the Srepok River Basin, thereby supporting more effective local water resource forecasting and management. The dataset comprises the Oceanic Niño index (ONI), the Standardized Precipitation Index (SPI), and the Standardized Streamflow Index (SSI) for the period 1982-2023. The methodological framework encompasses calculating SPI and SSI drought indices and analyzing the influence of ENSO on drought. Results indicate that the 10-month SPI (SPI-10) and the 8-month SSI (SSI-8) are the timescales most sensitive to ENSO forcing, with mean index discrepancies of 1.49 and 1.58 between La Niña and El Niño years, respectively. ENSO impacts exhibit an average lag of two months for precipitation and three months for streamflow. El Niño phases are often associated with severe droughts that begin at the end of the rainy season and extend into the dry season, with the proportion of extremely dry conditions exceeding 50%. These findings underscore the ENSO-drought teleconnection and provide a basis for early warning and effective drought management in the context of climate change in the Srepok River Basin.

Keywords: El Niño, drought, Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Streamflow Index (SSI), Oceanic Niño index (ONI).