



Original Article

Investigation of Drought Characteristics Across Vietnam During Period 1980-2018 using SPI and SPEI Drought Indices

Tran Quang Duc¹, Nguyen Phuong Thao¹, Trinh Tuan Long²,
Phan Van Tan^{1,*}, Chu Thi Thu Huong³, Nguyen Van Hiep⁴

¹VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

²Hanoi University of Science and Technology, A21 Building, 18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

³Hanoi University of Natural Resources and Environment, 41A Phu Dien, Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam

⁴Northern Delta Regional Hydro-Meteorological Centre, 62/2 Nguyen Chi Thanh, Dong Da, Hanoi, Vietnam

Received 13 April 2021

Revised 04 May 2021; Accepted 14 May 2021

Abstract: In this study the drought characteristics, trend of change and relationship between drought over Vietnam and large scale processes were investigated using drought indices of SPI and SPEI. The monthly mean temperature and precipitation data collected from 146 stations of Vietnam for the period 1980-2018 and datasets of monthly climate indices were used. The drought characteristics, including drought frequency, drought duration, drought severity and drought spatial extent, were investigated for three time scales of 3-month, 6-month and 12-month droughts. Trend of drought change was estimated using Mann-Kendal test and Sen's slopes. The relationship between drought and large scale processes were examined based on correlation coefficients of drought indices and climate indices as well as their empirical orthogonal functions. The obtained results showed that there is no distinction between drought characteristics calculated from SPI and SPEI but drought characteristics are significant different among drought time scales. Effects of temperature on drought are only reflected in the trend of change in drought indices. Both SPI and SPEI indices showed that drought frequency and drought duration are larger in the northern sub-regions than that in southern sub-regions. Drought in the southern sub-regions is strongly associated with the ENSO indices. In the North Central and a part of South Central drought is somewhat related to the multi-year variability of the SST over Pacific and Atlantic oceans, while in the three northern sub-regions drought is slightly correlated with climate indices.

Keyword: Drought, SPI, SPEI, ENSO, Changing Trend.

* Corresponding author.

E-mail address: phanvantan@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnu.ees.4757>

Khảo sát một số đặc trưng hạn hán ở Việt Nam giai đoạn 1980-2018 sử dụng các chỉ số SPI và SPEI

Trần Quang Đức¹, Nguyễn Phương Thảo¹, Trịnh Tuấn Long²,
Phan Văn Tân^{1,*}, Chu Thị Thu Hường³, Nguyễn Văn Hiệp⁴

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội,
Tòa A21, 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, Số 41A Phú Diễn, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

⁴Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Đồng Bằng Bắc Bộ, 62/2 Nguyễn Chí Thanh, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 13 tháng 4 năm 2021

Chỉnh sửa ngày 04 tháng 5 năm 2021; Chấp nhận đăng ngày 14 tháng 5 năm 2021

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này các đặc trưng hạn hán, xu thế biến đổi của hạn hán và mối quan hệ giữa hạn hán trên lãnh thổ Việt Nam với một số quá trình quy mô lớn đã được khảo sát khi sử dụng các chỉ số hạn SPI và SPEI. Số liệu được sử dụng là nhiệt độ trung bình tháng và tổng lượng mưa tháng từ 146 trạm khí tượng Việt Nam thời kỳ 1980-2018 và các chỉ số khí hậu. Các đặc trưng hạn, gồm tần suất, độ dài, độ khắc nghiệt và phạm vi không gian của hạn, được khảo sát cho ba quy mô thời gian hạn khác nhau là hạn 3-tháng, hạn 6-tháng và hạn 12-tháng. Xu thế biến đổi của hạn được đánh giá thông qua kiểm nghiệm Mann-Kendal và hệ số góc Sen. Quan hệ giữa hạn hán với các quá trình quy mô lớn được khảo sát dựa trên hệ số tương giữa các chỉ số hạn với các chỉ số khí hậu cũng như với các hàm trực giao thực nghiệm của chúng. Kết quả nhận được cho thấy các đặc trưng hạn hán không có sự khác biệt rõ giữa kết quả tính theo SPI và SPEI nhưng có sự khác biệt đáng kể giữa các quy mô thời gian hạn. Ảnh hưởng của nhiệt độ đối với hạn chỉ được thể hiện ở xu thế biến đổi của các chỉ số hạn. Cả hai chỉ số SPI và SPEI đều phản ánh tần suất và độ dài hạn ở các vùng khí hậu phía bắc lớn hơn các vùng phía nam. Hạn ở các vùng khí hậu phía nam có quan hệ tương quan tương đối rõ với nhóm các chỉ số ENSO. Hạn ở vùng Bắc Trung Bộ và một phần Nam Trung Bộ có quan hệ ở mức độ nào đó với dao động nhiều năm của nhiệt độ bề mặt biển trên các vùng biển Thái Bình dương và Đại Tây dương. Trong khi đó hạn ở ba vùng khí hậu phía bắc có quan hệ rất mờ nhạt với các chỉ số khí hậu.

Từ khóa: Hạn hán, SPI, SPEI, ENSO, Xu thế biến đổi.

1. Mở đầu

Hạn hán là một trong những loại hình thiên tai phổ biến trên thế giới, thường xuất hiện và tái diễn trên các vùng đất liền. Hạn hán thường gây

hậu quả nghiêm trọng cho hoạt động sản xuất, môi trường và xã hội [1, 2], và các hệ sinh thái trên cạn nói chung [3]. Không như các hiện tượng thiên tai khác, hạn hán thường xảy ra một cách chậm chạp và không quan trắc được. Một

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: phanvantan@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4757>

khi đã nhận thấy hạn xảy ra thì cũng có nghĩa nó đã và đang gây ra tác động xấu. Hạn hán được phân làm 4 loại [3, 4]: Hạn khí tượng, hạn nông nghiệp, hạn thủy văn và hạn kinh tế xã hội. Sự thiếu hụt mưa về lượng, cường độ và thời gian cộng với sự gia tăng bốc hơi, thoát hơi do nhiệt độ cao, độ ẩm thấp, gió mạnh,... dẫn đến sự xuất hiện hạn khí tượng. Hạn khí tượng kéo dài dẫn đến sự thiếu hụt nước trong đất và tình trạng căng thẳng độ ẩm đất làm giảm sinh khối và năng suất cây trồng, gây nên hạn nông nghiệp. Sự thiếu hụt nước trong khoảng thời gian nhất định làm giảm dòng chảy mặt, lượng nước ở các ao hồ và hồ chứa hình thành hạn thủy văn. Hạn khí tượng, hạn nông nghiệp và hạn thủy văn tác động lên các hoạt động kinh tế - xã hội và môi trường tạo nên hạn kinh tế - xã hội.

Một cách tương đối có thể phân chia việc nghiên cứu về hạn hán thành các hướng chính sau: i) Đặc điểm phân bố không gian, thời gian và sự biến đổi của hạn hán trong quá khứ; ii) Dự tính sự biến đổi của hạn hán trong tương lai dựa trên các kịch bản biến đổi khí hậu; và iii) Nghiên cứu dự báo hạn hán. Ngoài ra, trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện nay, một vấn đề cũng đang được nhiều nhà khoa học và các nhà quản lý quan tâm là bài toán quản lý rủi ro hạn hán.

Theo hướng thứ nhất, trên cơ sở các chuỗi số liệu quan trắc dài năm trong quá khứ (có thể là số liệu đo từ mạng lưới trạm hoặc số liệu phân tích trên lưới), sự phân bố không gian, thời gian của các đặc trưng hạn hán, tác động của hạn hán cũng như mối liên hệ giữa hạn hán với các quá trình quy mô lớn sẽ được khảo sát. Các đặc trưng thường được chỉ ra trong nghiên cứu hạn bao gồm cường độ, tần suất, độ dài các đợt hạn, khoảng thời gian giữa các lần xuất hiện các đợt hạn cũng như mức độ khắc nghiệt của hạn hán [5-7]. Mỗi một đặc trưng có ảnh hưởng khác nhau, gây nên các hậu quả không giống nhau cho hệ sinh thái và môi trường. Ví dụ, hạn hán nghiêm trọng trong thời gian ngắn có thể tác động mạnh lên cây trồng ở giai đoạn sinh trưởng [8]. Ngược lại, hạn hán ở mức độ nhẹ hoặc trung bình nhưng xảy ra trong một thời gian đủ dài có thể gây ra hậu quả nặng nề đối với hệ sinh thái cũng như nhu cầu sử dụng nước [9]. Ngoài ra,

khoảng thời gian giữa các đợt hạn cũng có thể ảnh hưởng đến khả năng phục hồi của các hệ sinh thái [10]. Mối quan hệ giữa hạn hán và các quá trình quy mô lớn như ENSO (El Niño–Southern Oscillation), cũng là những vấn đề được nhiều tác giả quan tâm [11-14].

Hướng thứ hai gồm các công trình liên quan đến dự tính biến đổi của hạn hán trong tương lai. Dưới tác động của biến đổi khí hậu hạn hán được cho là có xu thế gia tăng ở nhiều nơi trên thế giới, cả về tần suất và mức độ nghiêm trọng [15]. Theo J. Sheffield và E. F. Wood (2008) [16], trên quy mô toàn cầu, sự gia tăng của hạn hán chủ yếu là do sự giảm lượng mưa và tăng cường bốc hơi bởi nhiệt độ tăng cao. Trên quy mô khu vực, hạn hán được dự tính tăng lên đáng kể về tần suất và cường độ ở khu vực Tây Á [17], Canada [18].

Vấn đề nghiên cứu dự báo hạn hán chủ yếu dựa trên phương pháp thống kê và mô hình động lực, thuộc lớp bài toán dự báo hạn mùa. Đối với phương pháp thống kê, các phương trình hồi quy hay tổ hợp, đều dựa trên mối quan hệ thực nghiệm giữa các bộ số liệu lịch sử mà không tính đến các cơ chế vật lý trong hệ thống khí hậu [19, 20]. Trong khi đó, phương pháp mô hình động lực chủ yếu dựa trên các quá trình vật lý của khí quyển, đại dương và bề mặt đất để dự báo các trường khí hậu qua đó tính các chỉ số hạn và dự báo hạn dựa trên các chỉ số này. Trong các mô hình động lực, ảnh hưởng của các quá trình biến đổi chậm, từ xa như tác động của đại dương hay độ ẩm đất luôn được tính đến [21-23].

Ở Việt Nam, hạn hán là một trong những vấn đề được quan tâm nghiên cứu nhiều nhất, trong đó nổi bật lên là hướng nghiên cứu dự báo hạn hán và đánh giá hạn hán phục vụ công tác phòng tránh, giảm nhẹ thiên tai. Tuy nhiên, hầu hết các công trình nghiên cứu này rất ít được công bố trên các tạp chí khoa học trong và ngoài nước. Phần lớn kết quả nghiên cứu chỉ dừng lại ở các báo cáo tổng kết đề tài các cấp. Hơn nữa, hầu như chưa có công trình nào đề cập đến các đặc trưng của hạn hán, mà chủ yếu liên quan đến đánh giá tác động của hạn hán hoặc dự báo hạn hán (chẳng hạn, [24-26]). Gần đây hơn, L. V. V. Phong và cộng sự (CS) (2019) [27] đã đánh giá

sự dao động và biến đổi của hạn hán trên toàn lãnh thổ đất liền Việt Nam bằng chỉ số hạn PDSI khi sử dụng chuỗi số liệu quan trắc nhiệt độ và lượng mưa tháng trên mạng lưới trạm khí tượng giai đoạn 1980-2014. Đường như đây là công trình đầu tiên đề cập đến việc xem xét hạn hán ở Việt Nam dưới góc độ các đặc trưng hạn hán. Nghiên cứu này sẽ giới thiệu một số đặc trưng hạn hán ở Việt Nam giai đoạn 1980-2018 dựa trên hai chỉ số hạn SPI và SPEI tính với chuỗi số liệu quan trắc từ mạng lưới trạm khí tượng.

2. Phương pháp và số liệu

2.1. Chỉ số SPI

Chỉ số SPI (Standardized Precipitation Index) được gọi là chỉ số lượng mưa chuẩn hoá, một trong những chỉ số được sử dụng rộng rãi nhất trên thế giới. Chỉ số SPI được đề xuất bởi McKee và CS (1993) [28] như là một thước đo

sự thiếu hụt lượng mưa làm công cụ để phát hiện và cảnh báo hạn hán, độ kéo dài và đánh giá mức độ khắc nghiệt của hạn hán. Tuy vậy, SPI cũng có thể được sử dụng để xác định các đợt ẩm ướt (lượng mưa vượt quá trung bình nhiều năm). Về mặt toán học, SPI được tính theo công thức:

$$SPI = \frac{R - \bar{R}}{S_R} \quad (1)$$

trong đó R và \bar{R} tương ứng là lượng mưa và lượng mưa trung bình, S_R là độ lệch chuẩn. Trong công thức (1) R được giả thiết là có phân bố chuẩn nên SPI sẽ có phân bố chuẩn chuẩn hoá với trung bình bằng 0 và phương sai bằng 1. Trên thực tế phân bố của R thường là không chuẩn mà thường xấp xỉ tốt với phân bố Gamma, do đó để tính SPI trước hết chuỗi số liệu R cần được xấp xỉ bởi hàm phân bố Gamma, sau đó biến đổi về phân bố chuẩn chuẩn hoá. Theo McKee và CS (1993) [28], sự kiện hạn hán hoặc ẩm ướt sẽ xảy ra có thể được xác định bởi giá trị của SPI như trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Phân cấp hạn hán và ẩm ướt theo chỉ số SPI

Khoảng giá trị	Ý nghĩa	Ký hiệu	Khoảng giá trị	Ý nghĩa	Ký hiệu
$SPI \geq 2.00$	Rất ẩm ướt	W3	$-1.50 < SPI \leq -1.00$	Hạn vừa phải	D1
$1.50 < SPI \leq 2.00$	Ẩm ướt	W2	$-2.00 < SPI \leq -1.50$	Hạn nặng	D2
$1.00 < SPI \leq 1.50$	Ẩm ướt vừa phải	W1	$SPI \leq -2.00$	Hạn rất nặng	D3
$-1.00 < SPI \leq 1.00$	Bình thường	N			

Ngoài ra, SPI có thể được sử dụng để xác định hạn với các quy mô thời gian khác nhau, chẳng hạn 1-tháng, 2-tháng, 3-tháng, ..., 12-tháng, 24-tháng, thậm chí 48-tháng. Ứng với các quy mô thời gian của hạn, số liệu mưa cần được lấy tổng trượt tích lũy cho cả các tháng trước đến tháng hiện tại với bước trượt bằng quy mô thời gian của hạn.

2.2. Chỉ số SPEI

Chỉ số SPEI được Vicente-Serrano và CS (2010) [29] đề xuất dựa trên SPI nhưng có ưu điểm hơn là đã tính đến lượng bốc thoát hơi do tính đến ảnh hưởng của nhiệt độ. Thủ tục tính SPEI liên quan đến việc tính cân bằng nước khí hậu, sự thiếu hụt/dư thừa nước ở các quy mô thời gian khác nhau cũng như liên quan đến sự điều

chỉnh hàm phân bố xác suất của mưa. Về mặt toán học, công thức tính SPEI tương tự như SPI (công thức (1)), nhưng nó bao gồm sự đóng góp của nhiệt độ. Tức là trong (1) thay cho lượng mưa ban đầu là hiệu giữa lượng mưa và bốc thoát hơi tiềm năng được tính thông qua nhiệt độ. Mô tả chi tiết việc tính toán SPEI có thể xem tại [29]. Tương tự như SPI, SPEI cũng có thể được dùng như là thước đo mức độ ẩm ướt và hạn hán khi so sánh với một ngưỡng cho trước nào đó. Vì SPEI cũng có phân bố chuẩn chuẩn hoá nên các ngưỡng dùng để phân cấp ẩm ướt và hạn hán đối với SPEI hoàn toàn giống với SPI (Bảng 1).

2.3. Số liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này hai nguồn số liệu được sử dụng là số liệu nhiệt độ trung bình tháng và

tổng lượng mưa tháng quan trắc và số liệu các chỉ số khí hậu.

Các chuỗi số liệu nhiệt độ trung bình và tổng lượng mưa tháng được lấy từ mạng lưới trạm khí tượng Việt Nam, bao gồm cả các trạm đảo trong giai đoạn 1980-2018. Việc chọn chuỗi số liệu giai đoạn này là để đảm bảo số lượng trạm trên các vùng khí hậu không quá chênh lệch nhau. Số liệu tháng được tính từ số liệu quan trắc hàng ngày. Do trong chuỗi số liệu có thể có những trường hợp bị khuyết thiếu nên để có được các

chuỗi số liệu liên tục, một vài thủ thuật xử lý đã được áp dụng:

- i) Chỉ tính cho những tháng mà số ngày có số liệu không dưới 25 ngày (trên 80%);
- ii) Đối với nhiệt độ: nhiệt độ trung bình tháng bằng giá trị trung bình của các ngày có số liệu;
- iii) Đối với lượng mưa: tổng lượng mưa tháng bằng trung bình các ngày có số liệu nhân với số ngày trong tháng.

Sau khi xử lý, chỉ còn lại 146 trạm đồng thời có cả số liệu nhiệt độ và lượng mưa đáp ứng tính liên tục của chuỗi.

Bảng 2. Danh mục các chỉ số khí hậu được sử dụng

TT	Ký hiệu	Mô tả
1	nino12	Dị thường SST khu vực [0-10S, 90W-80W]
2	nino3	Dị thường SST khu vực [5N-5S,150W-90W]
3	nino34	Dị thường SST khu vực [5N-5S,170-120W]
4	nino4	Dị thường SST khu vực [5N-5S, 160E-150W]
5	oni	Chỉ số nino đại dương (Oceanic Nino Index)
6	tni	Chỉ số diễn biến El Nino (Indices of El Nino evolution)
7	pna	Chỉ số Thái Bình dương Bắc Mỹ (Pacific North American Index)
8	BEST	Chỉ số ENSO hai biến (Bivariate ENSO Timeseries)
9	ammsst	Dạng kinh tuyến Đại Tây dương của SST (Atlantic Meridional Mode SST Index)
10	NTA_ersst	Chỉ số SST Bắc Đại Tây dương nhiệt đới [40°W-20°W, 5°N-20°N] (North Tropical Atlantic SST Index)
11	soi	Chỉ số dao động nam
12	whwp	Bể nóng Bán cầu tây (Western Hemisphere warm pool)
13	amonus	Dao động đa thập kỷ Đại Tây dương (Atlantic Multidecadal Oscillation)
14	np	Đặc trưng hình thế khí áp Bắc Thái Bình dương (vùng 30N-65N, 160E-140W)
15	tna	Chỉ số Bắc Đại Tây dương nhiệt đới (Tropical Northern Atlantic Index)
16	qbo	Dao động tựa hai năm (Quasi-Biennial Oscillation)
17	wp	Chỉ số Tây Thái Bình dương (Western Pacific Index)
18	ao	Dao động Bắc cực (Arctic Oscillation)
19	nao	Dao động Bắc Đại Tây dương (North Atlantic Oscillation)
20	reqsoi	Chỉ số dao động nam vùng xích đạo (Equatorial SOI)
21	repac_slpa	Dị thường chuẩn hoá khí áp mực biển đông Thái Bình dương xích đạo
22	rindo_slpa	Dị thường chuẩn hoá khí áp khu vực Indonesia
23	dmi	Chỉ số lưỡng cực (dạng lưỡng cực SST vùng Ấn Độ dương)
24	pdo	Dao động thập kỷ Thái Bình dương (Pacific Decadal Oscillation)

Số liệu các chỉ số khí hậu được khai thác miễn phí từ địa chỉ <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>. Trên thực tế có rất nhiều chỉ số được tạo ra cho nhiều mục đích nghiên cứu

khác nhau. Các chỉ số này thường được cho dưới dạng các chuỗi thời gian của các biến dị thường hoặc dị thường chuẩn hoá hoặc các hàm trực giao thực nghiệm (EOF) từ việc phân tích thành phần

chính. Tùy theo từng chỉ số mà các trường khí quyển hoặc đại dương sẽ được sử dụng. Thông thường các chỉ số được tính từ nhiệt độ mặt nước biển (SST), khí áp mực biển, độ cao các mực đẳng áp hoặc các trường khí quyển khác như gió, nhiệt độ, v.v. Trong nghiên cứu này chỉ có 24 chỉ số được chọn trên cơ sở xem xét mức độ cập nhật và tính đa dạng của các trường. Danh mục các chỉ số được sử dụng được mô tả trong Bảng 2.

2.4. Các đặc trưng hạn hán

Trong phạm vi nghiên cứu này các đặc trưng sau đây sẽ được khảo sát:

i) *Quy mô thời gian*: ba quy mô được chọn là hạn 3-tháng (SPI-03, SPEI-03) 6 tháng (SPI-06, SPEI-06) và 12 tháng (SPI-12, SPEI-12). Hạn 3-tháng thường được xem tương ứng với hạn nông nghiệp nói chung vì nó chưa gắn với một loại cây trồng cụ thể nào. Hạn 12-tháng tương ứng với hạn thủy văn vì sự tích lũy hoặc hao hụt nước trong khoảng 12 tháng có thể ảnh hưởng đến lưu lượng dòng chảy sông cũng như mực nước sông ngòi. Hạn 6-tháng được xem là “cầu nối” giữa hạn nông nghiệp và hạn thủy văn, tuy nhiên khi sự thiếu nước xảy ra trong khoảng thời gian này thì tác động của hạn đối với kinh tế xã hội cũng có thể trở nên nghiêm trọng;

ii) *Đợt hạn*: một đợt hạn được định nghĩa là số tháng liên tục mà giá trị của chỉ số hạn nhỏ hơn một ngưỡng cho trước [30]. Tùy theo cấp hạn (Bảng 1) mà đợt hạn có thể kéo dài nhiều tháng hay ít tháng. Cần lưu ý rằng, mặc dù hạn được phân theo giá trị ngưỡng thành các cấp D1, D2, D3 nhưng vì hạn hầu như không thể đột ngột xuất hiện ở cấp lớn hơn mà không trải qua cấp nhỏ hơn (ví dụ, để hạn có thể xảy ra ở cấp D2 thì nó có thể phải trải qua một thời gian ở cấp D1), do đó khi xét hạn ở cấp D1 hoặc D2 cần tính đến cả thời gian mà hạn có thể xảy ra ở cấp cao hơn (nếu có). Với định nghĩa này, đợt hạn ngắn nhất là 1 tháng;

iii) *Tần suất hạn hán (DF)*: tần suất hạn được định nghĩa như là số đợt hạn trong cả thời kỳ khảo sát. Tuy nhiên, tùy thuộc bối cảnh mà tần suất hạn cũng có thể được định nghĩa như là số đợt hạn trong một năm hoặc trong một hoặc nhiều thập kỷ liên tiếp;

iv) *Độ dài hạn hán (DD)*: đặc trưng này được định nghĩa theo nhiều cách khác nhau tùy thuộc góc độ xem xét của người nghiên cứu. Chẳng hạn Spinoni và CS (2014) [30] định nghĩa độ dài hạn hán là tổng độ dài các đợt hạn, và do đó bằng tổng số tháng hạn trong thời kỳ khảo sát. Trong khi đó Le và CS (2019) [27] lại định nghĩa độ dài hạn hán là độ dài trung bình của các đợt hạn. Trong nghiên cứu này độ dài hạn được xác định bởi tổng số tháng hạn trên một thập kỷ;

v) *Độ khắc nghiệt của hạn hán (DS)*: độ khắc nghiệt của hạn hán cũng được định nghĩa theo nhiều cách khác nhau nhưng đều có một điểm chung, đó là tổng giá trị của chỉ số hạn trong các đợt hạn. Tổng này có thể được lấy trung bình trên các đợt hạn hoặc tổng cho cả một thời kỳ. Ở đây, độ khắc nghiệt được xác định bằng tổng giá trị của chỉ số hạn của tất cả các đợt hạn trong từng thập kỷ;

vi) *Phạm vi không gian của hạn hán (GE)*: là đặc trưng phản ánh tỷ lệ diện tích bị hạn của một khu vực nào đó. Về nguyên tắc, nếu số liệu được cho trên lưới thì phạm vi không gian của hạn thường được xác định bởi phần trăm số ô lưới bị hạn trên tổng số ô lưới của khu vực. Trong trường hợp số liệu cho trên mạng lưới trạm thì phạm vi không gian của hạn được xác định một cách tương đối bởi tỷ số phần trăm số trạm bị hạn trong khu vực. Trong nghiên cứu này phạm vi không gian của hạn được tính cho từng vùng khí hậu của Việt Nam.

2.5. Xu thế biến đổi của hạn hán

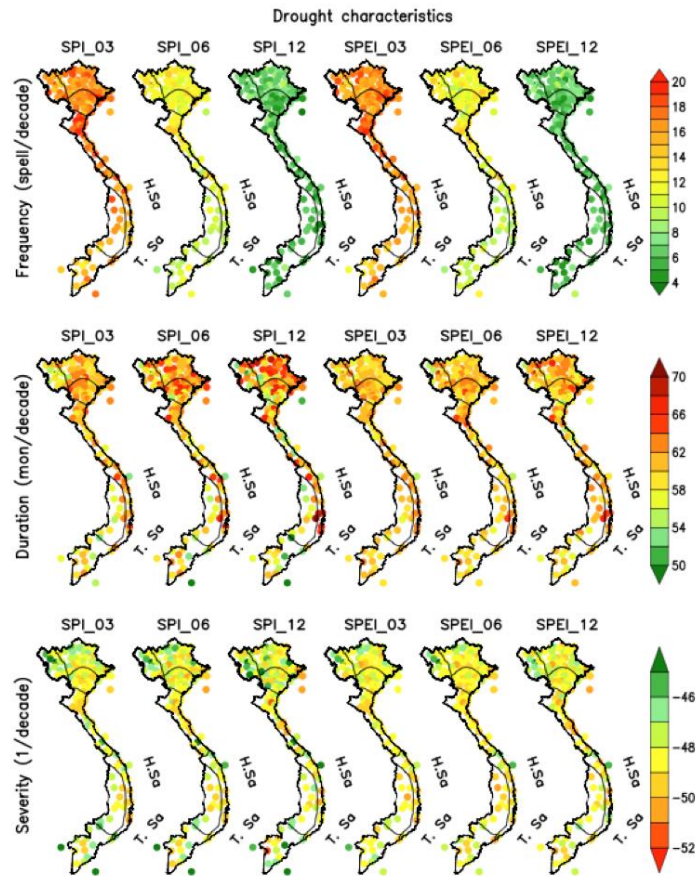
Sự biến đổi của hạn hán có thể được đánh giá thông qua việc xác định các đặc trưng hạn hán theo từng khoảng thời gian như qua từng thập kỷ hoặc dài hơn. Trong nghiên cứu này sự biến đổi của hạn được xét dựa trên xu thế biến đổi của chuỗi thời gian các chỉ số hạn. Mức độ biến đổi được đánh giá thông qua hệ số góc Sen và kiểm nghiệm Mann-Kendal [31-33]. Các hệ số góc này được tính cho từng trạm.

2.6. Quan hệ giữa hạn hán với các quá trình quy mô lớn

Quan hệ giữa hạn hán với các quá trình quy mô lớn được đánh giá thông qua hệ số tương

quan giữa các chỉ số hạn và các chỉ số khí hậu. Có nhiều cách xác định mối tương quan này, như tương quan đồng thời, tương quan trễ. Các chỉ số hạn có thể của từng trạm hoặc lấy trung bình vùng. Các chỉ số khí hậu cũng có thể được xét

riêng rẽ hoặc sử dụng các hàm trực giao thực nghiệm [27]. Trong nghiên cứu này tương quan đồng thời giữa các chỉ số hạn với từng chỉ số khí hậu cũng như với các hàm trực giao thực nghiệm của chúng sẽ được khảo sát.



Hình 1. Tần suất (đợt/thập kỷ), độ dài (tháng/thập kỷ) và độ khắc nghiệt (1/thập kỷ) của hạn hán tính theo các chỉ số SPI và SPEI cho các quy mô thời gian 3 tháng (SPI_03, SPEI_03), 6 tháng (SPI_06, SPEI_06) và 12 tháng (SPI_12, SPEI_12).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Các đặc trưng hạn hán trên lãnh thổ Việt Nam

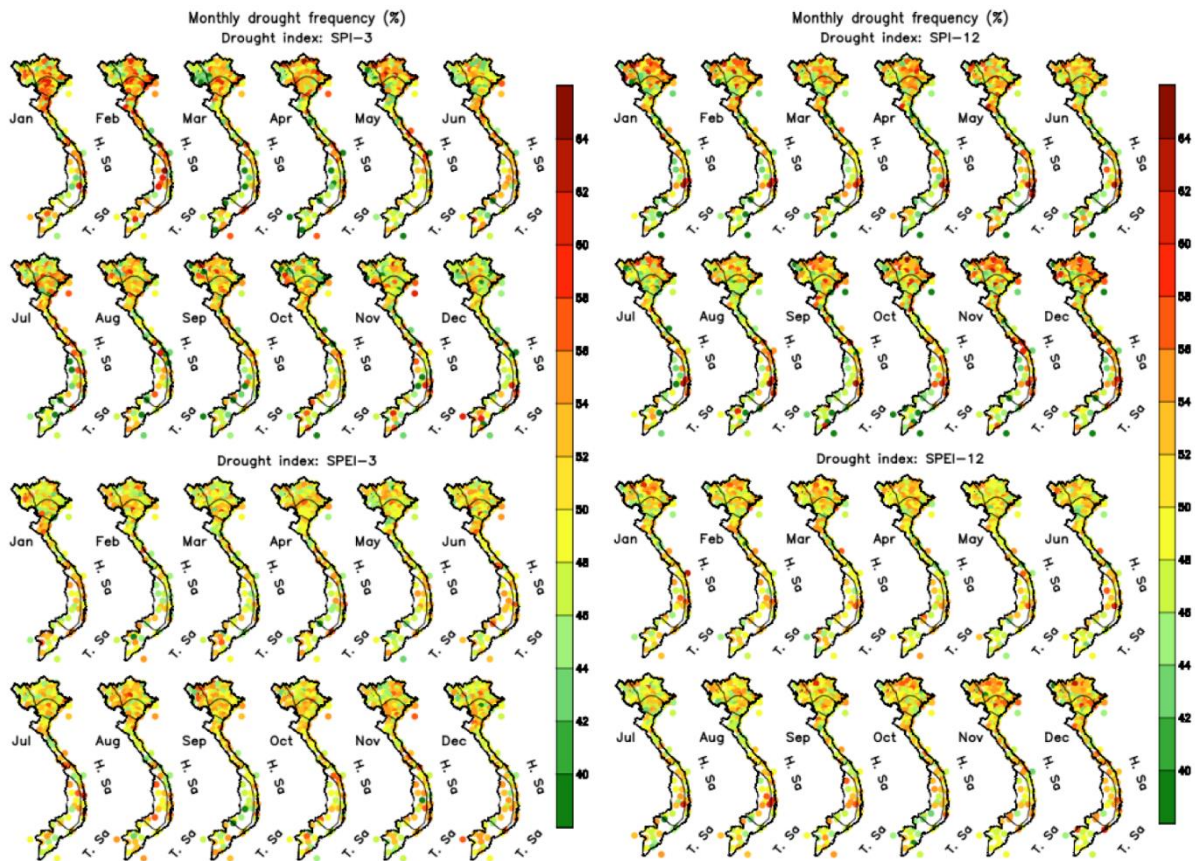
Trên Hình 1 dẫn ra kết quả tính tần suất, độ dài và độ khắc nghiệt của hạn trên mạng lưới trạm khí tượng Việt Nam. Trước hết nhận thấy rằng không có sự khác biệt đáng kể giữa hạn tính theo SPI và SPEI. Quy mô thời gian của hạn càng

ngắn thì tần suất càng lớn. Với hạn 3-tháng tần suất xảy ra vào khoảng 14-18 đợt/thập kỷ, tức mỗi năm trên hầu khắp lãnh thổ Việt Nam xảy ra khoảng 1,1-1,5 đợt hạn. Đối với hạn 6-tháng tần suất giảm đi chỉ còn từ 10-12 đợt/thập kỷ. Tần suất này sẽ giảm xuống chỉ còn khoảng 6-8 đợt/thập kỷ đối với hạn 12-tháng. Như vậy, tính trung bình mỗi năm chỉ xảy ra 0,9-1,0 đợt hạn 6-tháng và khoảng 2 năm một lần có thể xuất hiện một đợt hạn 12-tháng. Tần suất hạn lớn nhất ở

các vùng phía bắc, nhất là Bắc Trung Bộ. Các vùng Nam Bộ và Tây Nguyên có tần suất hạn nhỏ hơn. Khác với tần suất hạn, độ dài hạn lại tăng lên theo quy mô thời gian của hạn và chỉ số SPI cho độ dài dài hơn so với chỉ số SPEI. Độ dài hạn cũng lớn hơn ở các vùng phía bắc, nhất là các vùng Đồng bằng Bắc Bộ và Đông Bắc với giá trị của độ dài hạn có thể đạt tới 62-68 tháng/thập kỷ, tức vào khoảng trên 6 tháng/năm. So với chỉ số SPI thì SPEI cho thấy độ khắc nghiệt của hạn lớn hơn nhưng không có sự khác biệt rõ giữa các quy mô thời gian của hạn.

Tần suất hiện hạn trong các tháng của năm được xác định bởi tỷ số của số tháng có hạn trên tổng số tháng được khảo sát (38 tháng, từ 1980-2018, trừ năm 1980) và được trình bày trên Hình 2. Có thể nhận thấy rằng mặc dù tần suất

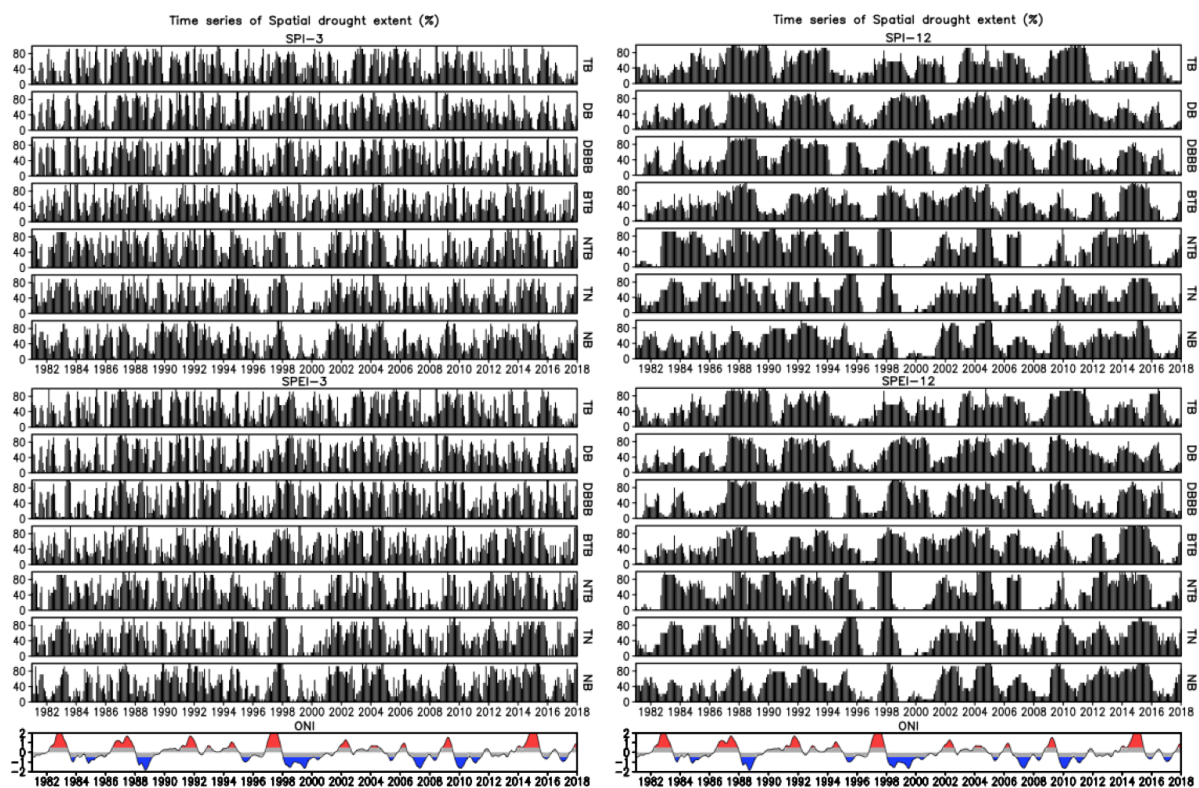
hạn trong các tháng mùa khô cao hơn các tháng mùa mưa, nhất là ở các vùng khí hậu phía bắc nhưng không có sự khác biệt đáng kể giữa các tháng, giữa hai chỉ số SPI và SPEI và giữa các quy mô thời gian hạn. Điều đó nói lên rằng hạn có thể xuất hiện ngay cả vào mùa mưa chứ không nhất thiết chỉ vào mùa khô, thể hiện bản chất của các chỉ số hạn là chỉ phản ánh tình trạng thiếu hụt nước so với trung bình khí hậu. Tuy nhiên, tác động của hạn vào những tháng mùa khô thường dễ nhận biết do tính khắc nghiệt hơn và để lại hậu quả nghiêm trọng hơn cho môi trường và hoạt động kinh tế xã hội. Hạn xảy ra trong những tháng mùa mưa có thể làm gia tăng tính khắc nghiệt của hạn vào mùa khô do thiếu hụt lượng mưa bổ sung nguồn ẩm cho đất cũng như nước bổ cập cho các bê nước ngầm.



Hình 2. Tần suất xuất hiện hạn 3-tháng (trái) và hạn 12-tháng (phải) trong các tháng của năm (% số lần xuất hiện).

Hình 3 trình bày phạm vi không gian của hạn được tính cho từng vùng khí hậu kèm theo với chuỗi thời gian của chỉ số ONI như là chỉ thị nhận biết các sự kiện ENSO giai đoạn 1981-2018. Rõ ràng với quy mô thời gian hạn càng ngắn thì sự biến động theo thời gian của phạm vi không gian hạn càng lớn và tỷ lệ số trạm có hạn càng nhiều. Giữa các quy mô thời gian hạn có sự phù hợp nhất định về thời gian xuất hiện đối với cả hai chỉ số SPI và SPEI. Phạm vi không gian của hạn trên các vùng khí hậu phía bắc dường như lớn hơn các vùng còn lại. Giai đoạn 1981-

1987 phạm vi không gian của hạn trên cả nước nói chung là nhỏ, chỉ khoảng dưới 40% diện tích, trừ vùng Nam Trung Bộ. So với hạn 3-tháng, phạm vi không gian của hạn 12-tháng được duy trì dài hơn, phản ánh ảnh hưởng của tình trạng thiếu hụt nước trên quy mô thời gian dài hơn. Đáng chú ý là vào những thời kỳ có El Nino xuất hiện phạm vi không gian của hạn có xu hướng mở rộng hơn, nhất là trên ba vùng khí hậu phía nam. Ngược lại vào những năm La Nina và năm trung tính (Neutral) hạn vẫn có thể xảy ra nhưng diện tích hạn vào những năm La Nina thường nhỏ.



Hình 3. Phạm vi không gian (%) của hạn 3-tháng (trái) và hạn 12-tháng (phải) trên các vùng khí hậu Việt Nam, và chuỗi thời gian của chỉ số ONI.

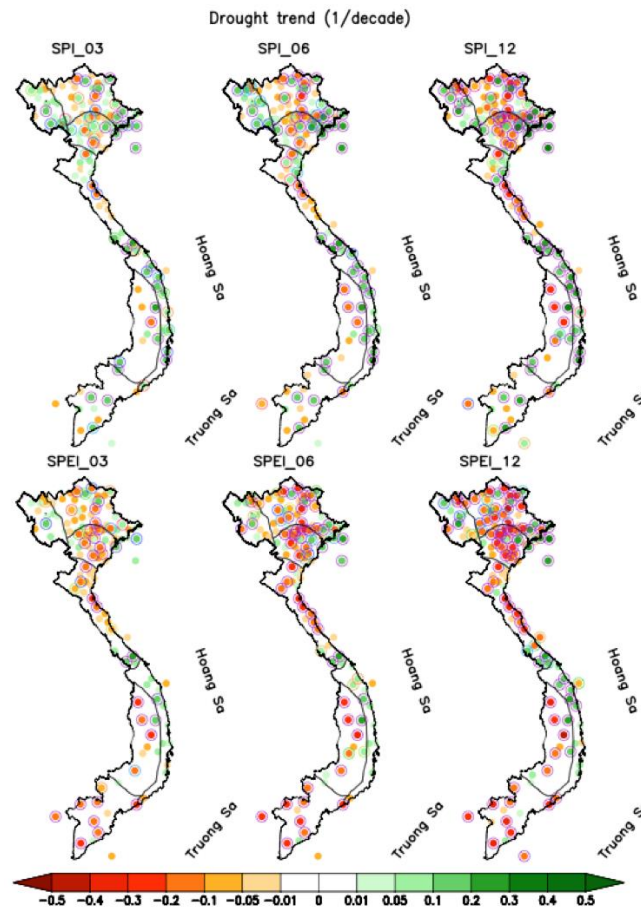
3.2. Xu thế biến đổi của hạn hán

Xu thế biến đổi của hạn hán được đánh giá thông qua hệ số góc Sen của các chỉ số hạn và được dẫn ra trên Hình 4. Giá trị âm của hệ số góc Sen phản ánh sự giảm của chỉ số hạn tức hạn có xu hướng gia tăng. Có một sự phân hoá khá rõ

của xu thế hạn giữa các chỉ số, các quy mô thời gian hạn và các vùng khí hậu. Quy mô thời gian hạn càng dài thì mức độ biến đổi càng lớn và hạn càng có xu thế gia tăng. Mặc dù vậy khá nhiều trạm trên cả nước có hệ số góc dương, tức hạn có biểu hiện giảm, tuy nhiên các giá trị này nói chung nhỏ và nhiều trường hợp không thoả mãn

mức ý nghĩa 5%. Đối với chỉ số SPI hạn có biểu hiện tăng lên ở các vùng khí hậu phía bắc, nhất là hạn 12-tháng, và giảm hoặc không biến đổi ở những vùng còn lại. Nhưng với chỉ số SPEI, trừ vùng Trung Trung Bộ, các vùng khác đều thể

hiện sự gia tăng của hạn ở cả ba quy mô thời gian. Điều đó có thể do SPEI có tính đến vai trò của nhiệt độ. Sự khác biệt giữa SPI và SPEI về xu thế biến đổi của hạn chủ yếu ở hai vùng Tây Nguyên và Nam Bộ.



Hình 4. Hệ số góc Sen của các chỉ số hạn theo các quy mô thời gian. Các điểm có vòng tròn bao quanh ứng với trường hợp thỏa mãn mức ý nghĩa 5%.

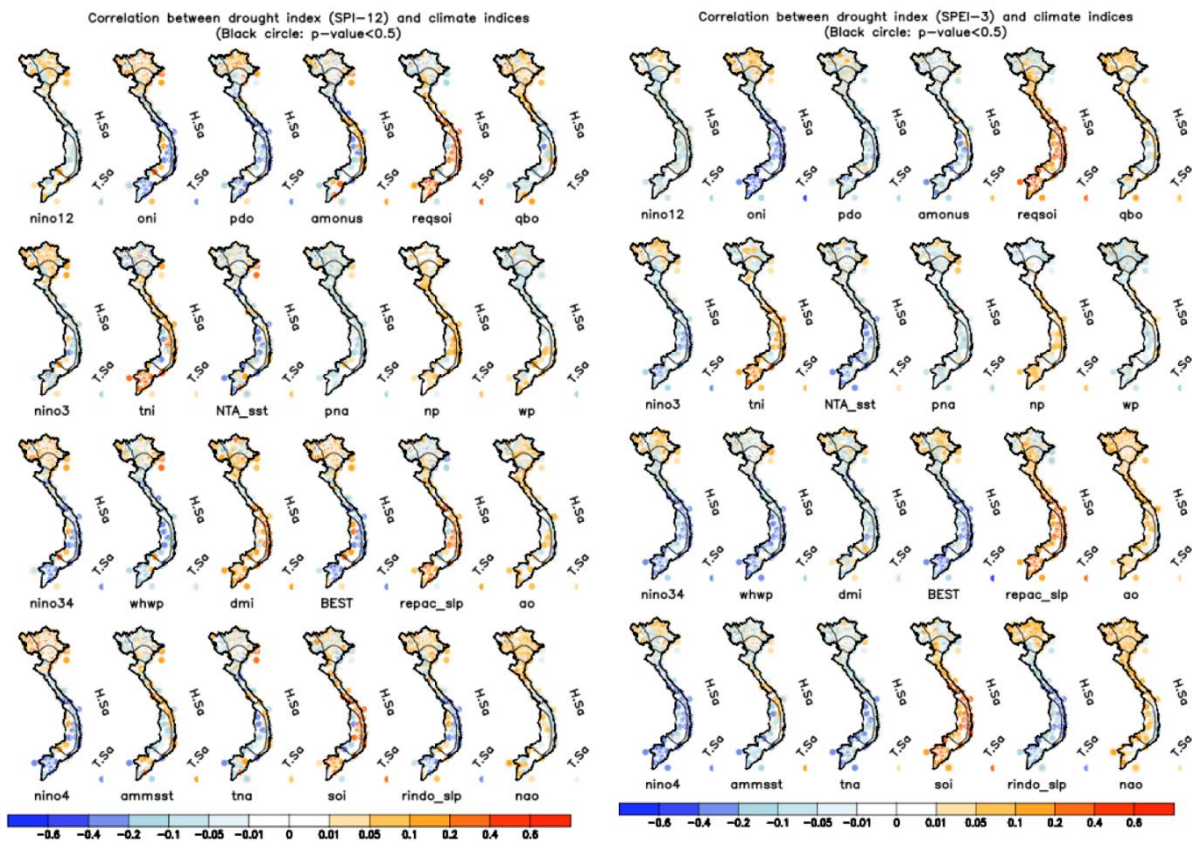
3.3. Quan hệ giữa hạn hán ở Việt Nam với các chỉ số khí hậu

Như đã thấy, giữa hạn hán ở Việt Nam với ENSO dường như có mối quan hệ nhất định nào đó. Để khảo sát đầy đủ hơn, 24 chỉ số khí hậu bao gồm các chỉ số phản ánh hiện tượng ENSO và những quá trình dao động khí hậu khác đã được lựa chọn. Hệ số tương quan giữa các chỉ số hạn theo các quy mô thời gian và các chỉ số khí

hậu được tính. Kết quả phân tích cho thấy quan hệ giữa hạn hán trên các vùng khí hậu Việt Nam với các chỉ số khí hậu khá khác biệt nhau; quan hệ đó cũng có sự khác nhau giữa các quy mô hạn cũng như các chỉ số hạn. Trên Hình 5 là các bản đồ hệ số tương quan giữa hạn 12-tháng với các chỉ số khí hậu tính theo SPI và SPEI làm ví dụ minh họa. Có thể thấy các chỉ số đặc trưng cho hiện tượng ENSO có tương quan khá tốt với hạn trên các vùng Nam Bộ, Tây Nguyên và Nam

Trung Bộ. Trong khi đó hạn ở các vùng khí hậu phía bắc có tương quan rất thấp với hầu hết các chỉ số khí hậu. Hệ số tương quan giữa các chỉ số khí hậu với các chỉ số hạn ở các vùng phía bắc và phía nam phần lớn ngược dấu nhau. Điều đó

có thể dẫn đến suy diễn là cơ chế hạn ở các vùng khí hậu phía bắc và phía nam có sự khác biệt đáng kể mà có lẽ nó liên quan đến sự khác biệt về cơ chế gây mưa giữa các vùng.



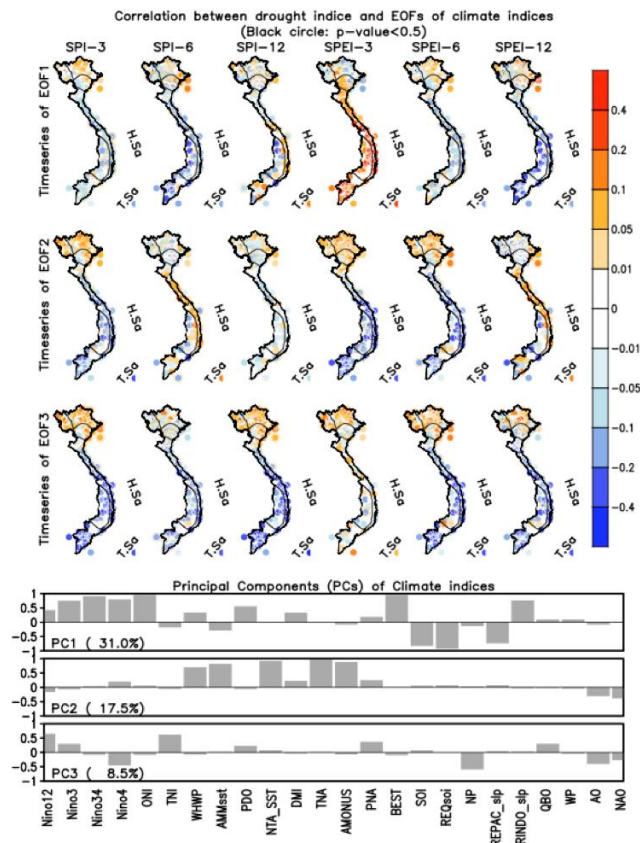
Hình 5. Hệ số tương quan giữa các chỉ số khí hậu với hạn 12-tháng tính theo SPI (trái) và SPEI (phải).

Hình 6 trình bày hệ số tương quan giữa các chỉ số khí hậu SPI và SPEI theo các quy mô thời gian hạn với ba thành phần chính đầu tiên của các chỉ số khí hậu. Trước hết nhận thấy hai thành phần chính đầu tiên đã chiếm trên 50% tổng phương sai của các chỉ số khí hậu, thành phần thứ ba khá nhỏ, chưa bằng một nửa thành phần thứ hai. Thành phần thứ nhất chiếm 30% tổng phương sai, bị chi phối bởi các chỉ số đặc trưng cho hiện tượng ENSO, gồm nino3, nino34, nino4, oni, BEST, soi, reqsoi, repac_slpa, rindo_slpa. Thành phần thứ hai chiếm 17,5% tổng phương sai, chủ yếu liên quan với sự dao

động nhiều năm của nhiệt độ bề mặt biển trên các vùng biển Thái Bình dương và Đại Tây dương, gồm các chỉ số whwp, ammsst, NTA_ersst, tna, amonus. Thành phần thứ ba dường như phản ánh vai trò của các chỉ số tni, np qbo và ao, tuy nhiên những mối liên hệ không rõ rệt. Việc khảo sát hệ số tương quan giữa các chuỗi thời gian của các thành phần này (các EOF) với các chỉ số khí hậu (Hình 6) cho thấy tính chất phức tạp của mối quan hệ giữa hạn trên các vùng khí hậu Việt Nam với các quá trình quy mô lớn. Nói chung các vùng khí hậu phía nam và trong một số trường hợp có bao gồm cả vùng Bắc Trung Bộ, tương

quan giữa các chỉ số hạn với các quá trình này tương đối rõ ràng, Tuy vậy độ lớn cũng như dấu của các hệ số tương quan có thể khác nhau giữa hạn ở các quy mô thời gian khác nhau tính bởi các chỉ số khác nhau. Chẳng hạn, tương quan cao với EOF1 của chỉ số hạn tính theo SPI là hạn 6-tháng và 12-tháng, nhưng theo SPEI là hạn 3-tháng và 12-tháng; dấu của hệ số tương quan

giữa EOF1 với SPI-3 là âm trên hầu hết các trạm trong khi với SPEI-3 lại dương. Mặc dù không thực sự rõ ràng nhưng có thể thấy EOF1 chi phối hạn ở các vùng phía nam, EOF2 chi phối hạn ở khu vực miền Trung mà chủ yếu là Bắc Trung Bộ, còn EOF3 chủ yếu liên quan đến hạn ở các vùng phía bắc.



Hình 6. Hệ số tương quan giữa các chỉ số khí hậu và ba thành phần chính đầu tiên của các chỉ số khí hậu (trên) và giá trị của các thành phần chính của các chỉ số khí hậu (dưới).

4. Kết luận

Việc khảo sát các đặc trưng hạn hán trên lãnh thổ Việt Nam từ chuỗi số liệu quan trắc trên mạng lưới trạm khí tượng bằng hai chỉ số hạn SPI và SPEI đối với các ba quy mô thời gian hạn 3-tháng, 6-tháng và 12-tháng cho thấy không có sự khác biệt rõ giữa kết quả tính theo hai chỉ số này nhưng có sự khác biệt đáng kể giữa các quy

mô thời gian hạn. Điều đó cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ đến hạn hán hầu như không đáng kể so với ảnh hưởng của lượng mưa. Chỉ số SPI cho thấy hạn có xu thế gia tăng trên các vùng khí hậu phía bắc và giảm nhẹ hoặc không biến đổi trên các vùng phía nam. Tuy nhiên, khi tính với SPEI kết quả nhận được là hạn có xu thế tăng trên hầu khắp cả nước, trừ vùng Nam Trung Bộ. Đây là điểm khác biệt giữa chỉ số SPI và SPEI trong đó

vai trò của nhiệt độ được thể hiện ở sự khác nhau về xu thế biến đổi của hai chỉ số này đối với các vùng Nam Bộ và Tây Nguyên. Cả hai chỉ số SPI và SPEI đều cho thấy tần suất và độ dài hạn ở các vùng khí hậu phía bắc lớn hơn các vùng phía nam. Hạn trên lãnh thổ Việt Nam ít nhiều chịu sự chi phối của các quá trình quy mô lớn được phản ánh qua các chỉ số khí hậu. Về cơ bản hạn ở các vùng khí hậu phía nam có quan hệ tương quan tương đối rõ với nhóm các chỉ số ENSO trong khi hạn ở ba vùng khí hậu phía bắc liên hệ một cách mờ nhạt với các chỉ số tni, pan, np qbo và ao. Còn hạn ở khu vực Bắc Trung Bộ và một phần Nam Trung Bộ dường như có quan hệ ở mức độ nào đó với dao động nhiều năm của nhiệt độ bề mặt biển trên các vùng biển Thái Bình dương và Đại Tây dương.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài “Đánh giá sự biến đổi của các đặc trưng hạn hán trên khu vực Việt Nam và Đông Nam Á”, mã số 105.06-2019.306, do NAFOSTED tài trợ.

Tài liệu tham khảo

- [1] WMO, Drought Monitoring and Early Warning: Concepts, Progress and Future Challenges, WMO-No. 1006, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2006.
- [2] D. A. Wilhite, Drought as A Natural Hazard: Concepts and Definitions. In Drought: A Global Assessment, Edited by Donald A. Wilhite, chap. 1, London: Routledge, Vol. 1, 2000, pp. 3-18.
- [3] A. F. Van Loon, Hydrological Drought Explained. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, Vol. 2, No. 4, 2015, pp. 359-392, <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>.
- [4] A. K. Mishra, V. P. Singh, A Review of Drought Concepts, Journal of Hydrology, Vol. 391, No. 1-2, 2010, pp. 202-216, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>.
- [5] J. A. Dracup, K. S. Lee, E. G. Paulson Jr, On the Definition of Droughts, Water Resources Research, Vol. 16, No. 2, 1980, pp. 297-302, <https://doi.org/10.1029/WR016i002p00297>.
- [6] Y. Ge, T. Apurv, X. Cai, Spatial and Temporal Patterns of Drought in The Continental US During the Past Century, Geophysical Research Letters, Vol. 43, No. 12, 2016, pp. 6294-6303, <https://doi.org/10.1002/2016GL069660>.
- [7] B. Saghafian, H. Mehdikhani, Drought Characterization Using a New Copula-Based Trivariate Approach, Natural hazards, Vol. 72, No. 3, 2014, pp. 1391-1407, <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0921-6>.
- [8] B. R. Rippey, The US Drought of 2012, Weather and Climate Extremes, Vol. 10, 2015, pp. 57-64, <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.004>.
- [9] A. AghaKouchak, D. Feldman, M. Hoerling, T. Huxman, J. Lund, Water and Climate: Recognize Anthropogenic Drought. Nature News, Vol. 524, No. 7566, 2015, pp. 409-411, <https://doi.org/10.1038/524409a>.
- [10] C. R. Schwalm, W. R. L. Anderegg, A. M. Michalak, J. B. Fisher, F. Biondi, G. Koch, M. Litvak, K. Ogle, J. D. Shaw, A. Wolf, and others, Global Patterns of Drought Recovery, Nature, Vol. 548, Vol. 7666, 2017, pp. 202-205, <https://doi.org/10.1038/nature23021>.
- [11] J. K. Roundy, X. Yuan, J. Schaake, E. F. Wood, A Framework for Diagnosing Seasonal Prediction Through Canonical Event Analysis, Monthly Weather Review, Vol. 143, No. 6, 2015, pp. 2404-2418, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00190.1>.
- [12] S. Schubert, D. Gutzler, H. Wang, A. Dai, T. Delworth, C. Deser, K. Findell, R. Fu, W. Higgins, M. Hoerling, and others, A US CLIVAR Project to Assess and Compare the Responses of Global Climate Models to Drought-Related SST Forcing Patterns: Overview and Results. Journal of Climate, Vol. 22, No. 19, 2009, pp. 5251-5272, <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3060.1>.
- [13] X. Yuan, F. Ma, L. Wang, Z. Zheng, Z. Ma, A. Ye, S. Peng, An Experimental Seasonal Hydrological Forecasting System Over the Yellow River Basin—Part 1: Understanding the Role of Initial Hydrological Conditions, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 20, No. 6, 2016, pp. 2437-2451, <https://doi.org/10.5194/hess-20-2437-2016>.
- [14] A. I. J. M. V. Dijk, H. E. Beck, R. S. Crosbie, R. A. M. D. Jeu, Y. Y. Liu, G. M. Podger, B. Timbal, N. R. Viney, The Millennium Drought in Southeast Australia (2001–2009): Natural and Human Causes and Implications for Water Resources, Ecosystems, Economy, and Society.

- Water Resources Research, Vol. 49, No. 2, 2013, pp. 1040-1057, <https://doi.org/10.1002/wrcr.20123>.
- [15] IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- [16] J. Sheffield, E. F. Wood, Projected Changes in Drought Occurrence Under Future Global Warming from Multi-Model, Multi-Scenario, IPCC AR4 Simulations. *Climate Dynamics*, Vol. 31, No. 1, 2008, pp. 79-105, <https://doi.org/10.1007/s00382-007-0340-z>.
- [17] D. W. Kim, H. R. Byun, Future Pattern of Asian Drought Under Global Warming Scenario, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 98, No. 1-2, 2009, pp. 137-150, <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0100-y>.
- [18] L. Sushama, N. Khaliq, R. Laprise, Dry Spell Characteristics Over Canada in a Changing Climate as Simulated by The Canadian RCM. *Global and Planetary Change*, Vol. 74, No. 1, 2010, pp. 1-14, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.07.004>.
- [19] Z. Hao, A. AghaKouchak, N. Nakhjiri, A. Farahmand, Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System. *Scientific data* 1, Vol. 140001, 2014, <https://doi.org/10.1038/sdata.2014.1>.
- [20] B. Lyon, M. A. Bell, M. K. Tippett, A. Kumar, M. P. Hoerling, X. M. Quan, H. Wang, Baseline Probabilities for The Seasonal Prediction of Meteorological Drought, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 51, No. 7, 2012, pp. 1222-1237, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0132.1>.
- [21] B. Kirtman, A. Pirani, The State of The Art of Seasonal Prediction: Outcomes and Recommendations from the First World Climate Research Program Workshop on Seasonal Prediction, *Bulletin of The American Meteorological Society*, Vol. 90, No. 4, 2009, pp. 455-458, <https://www.jstor.org/stable/26220969>.
- [22] X. Yuan, J. K. Roundy, E. F. Wood, J. Sheffield, Seasonal Forecasting of Global Hydrologic Extremes: System Development and Evaluation Over GEWEX Basins. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 96, No. 11, 2015, pp. 1895-1912, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00003.1>.
- [23] X. Yuan, E. F. Wood, Z. Ma, A Review on Climate-Model-Based Seasonal Hydrologic Forecasting: Physical Understanding and System Development, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, Vol. 2, No. 5, 2015, pp. 523-536, <https://doi.org/10.1002/wat2.1088>.
- [24] N. L. Bang, Effects of ENSO on Drought in Cai-River Basin. *Journal of Water Resources & Environmental Engineering*, Vol. 2014, No. 46, 2014, pp. 71-78 (in Vietnamese).
- [25] V. H. Nguyen, Q. F. Li, L. B. Nguyen, Drought Forecasting Using ANFIS- a Case Study in Drought Prone Area of Vietnam, *Paddy and Water Environment*, Vol. 15, No. 3, 2017, pp. 605-616, <https://doi.org/10.1007/s10333-017-0579-x>.
- [26] L. H. N. Thanh, N. H. Ngu, N. T. N. Linh, D. Q. Non, Research on the Effect of Drought for Rice Land in Que Son District, Quang Nam Province, *Huaf Journal of Agricultural Science & Technology*, Vol. 2, No 1, 2018, pp. 547-558 (in Vietnamese).
- [27] L. V. V. Phong, P. V. Tan, M. V. Khiem, T. Q. Duc, Space-Time Variability of Drought Over Vietnam. *Int. J. Climatol*, Vol. 39, No. 14, 2019, pp. 1-15, <https://doi.org/10.1002/joc.6164>.
- [28] T. B. McKee, N. J. Doesken, J. Kleist, The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, January 17-22, Anaheim, California 1993, pp. 179-184, <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/wat2.1088>.
- [29] S. M. V. Serrano, S. Beguería, J. I. L. Moreno, A Multi-Scalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI, *Journal of Climate*, Vol. 23, No. 7, 2010, pp. 1696-1718, <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
- [30] S. Jonathan, N. Gustavo, C. Hugo, B. Paulo, V. Juergen, World Drought Frequency, Duration, and Severity for 1951–2010. *Int. J. Climatol*, Vol. 34, No. 8, 2014, pp. 2792-2804, <https://doi.org/10.1002/joc.3875>.
- [31] P. K. Sen, Estimates the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau, *J. of the American Statistical Association*, Vol. 63, No. 324, 1968, pp. 1379-1389.
- [32] M. G. Kendall, *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London, 1975.
- [33] N. D. Thanh, P. V. Tan, Non-Parametric Test for Trend Detection of Some Meteorological Elements for The Period 1961-2007, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Science*, Vol. 28, No. 3S, 2012, pp. 129-135 (in Vietnamese).