

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
KHOA SAU ĐẠI HỌC

HỒ XUÂN HƯƠNG

NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC ĐIỂM HẠN HÁN TRONG BỐI CẢNH
BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TẠI HUYỆN YÊN CHÂU, TỈNH SƠN LA

LUẬN VĂN THẠC SĨ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

HÀ NỘI – 2015

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
KHOA SAU ĐẠI HỌC**

HỒ XUÂN HƯƠNG

**NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC ĐIỂM HẠN HÁN TRONG BỐI CẢNH
BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TẠI HUYỆN YÊN CHÂU, TỈNH SƠN LA**

LUẬN VĂN THẠC SĨ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Chuyên ngành: BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Mã số: Chương trình đào tạo thí điểm

Người hướng dẫn khoa học: PGS. TS. Ngô Đức Thành

HÀ NỘI – 2015

LỜI CẢM ƠN

Trước hết, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc tới PGS.TS. Ngô Đức Thành - Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc Gia Hà Nội - người đã tận tình định hướng, giúp đỡ và tạo mọi điều kiện tốt nhất cho tôi trong suốt quá trình thực hiện luận văn.

Tôi cũng xin chân thành cảm ơn GS.TSKH. Nguyễn Đức Ngữ - Trung tâm Khoa học, Công nghệ Khí tượng, Thủy văn và Môi trường và GS.TS. Hy-Ryong-Byun – Khoa Khoa học Khí Quyển - Trường Đại Học Pukyong – Hàn Quốc vì những lời khuyên và chỉ dẫn vô cùng hữu ích về mặt chuyên môn và học thuật.

Bên cạnh đó, tôi cũng xin gửi lời cảm ơn tới các anh chị trong Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN vì đã nhiệt tình giúp đỡ tôi tìm kiếm các nguồn tư liệu quý giá trong suốt quá trình làm luận văn. Tôi xin chân thành cảm ơn các quý thầy cô và cán bộ thuộc Khoa Sau Đại học – Đại học Quốc Gia Hà Nội đã tạo điều kiện thuận lợi để tôi thực hiện và bảo vệ luận văn.

Cuối cùng, tôi xin được chân thành cảm ơn gia đình, các thầy cô, bạn bè và đồng nghiệp, những người luôn ở bên tôi và là nguồn động lực giúp tôi hoàn thành sớm luận văn.

Mặc dù đã cố gắng hoàn thành tốt nhất có thể, song tôi nhận thức được rằng luận văn vẫn còn những thiếu sót và hạn chế. Do đó, tôi rất mong sẽ nhận được các đóng góp ý kiến và hướng dẫn của các quý thầy cô để hoàn thiện luận văn tốt hơn.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

Hà Nội, Ngày 08 tháng 05 năm 2015

Hồ Xuân Hương

MỤC LỤC

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT.....	3
DANH MỤC BẢNG	4
DANH MỤC HÌNH VẼ.....	5
MỞ ĐẦU.....	6
CHƯƠNG I. TỔNG QUAN VỀ HẠN HÁN, MỐI LIÊN HỆ GIỮA HẠN HÁN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU, KHU VỰC NGHIÊN CỨU	9
1.1. Tổng quan về hạn hán.....	9
<i>1.1.1. Khái niệm, nguyên nhân, phân loại và các đặc trưng của hạn hán</i>	<i>9</i>
<i>1.1.2. Các nghiên cứu về hạn hán.....</i>	<i>15</i>
1.2. Mối liên hệ hạn hán – Biến đổi khí hậu.....	23
1.3. Tổng quan về chỉ số hạn hán	26
1.4. Tổng quan khu vực nghiên cứu	30
<i>1.4.1. Vị trí địa lý</i>	<i>30</i>
<i>1.4.2. Đặc điểm địa hình</i>	<i>30</i>
<i>1.4.3. Đặc điểm khí hậu</i>	<i>31</i>
<i>1.4.4. Điều kiện thủy văn</i>	<i>32</i>
<i>1.4.5. Tình hình sử dụng đất</i>	<i>32</i>
CHƯƠNG II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ SỐ LIỆU	33
2.1. Các phương pháp xác định hạn hán.....	33
2.2. Chỉ số hạn hán hữu hiệu (EDI).....	40
2.3. Số liệu	44
CHƯƠNG III. SỰ BIẾN ĐỔI HẠN HÁN VÀ MỐI LIÊN HỆ VỚI BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU Ở HUYỆN YÊN CHÂU	47
3.1. Xu thế biến đổi lượng mưa, nhiệt độ huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011.....	47

3.2 Đặc điểm và sự biến đổi hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011	48
3.2.1 Sự biến đổi xu thế hạn hán huyện Yên Châu	48
3.2.2. Tần suất hạn hán	51
3.2.3. Độ dài đợt hạn hán	52
3.2.4. Mức độ khắc nghiệt của hạn hán	53
3.2.5. Cường độ hạn hán	53
3.2.6. Lượng nước hữu hiệu AWRI	54
3.3. So sánh xu thế hạn hán qua một số chỉ số hạn hán EDI, SPI, K, Ped và J.....	55
KẾT LUẬN	58
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	60
PHỤ LỤC	68

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

WMO	Tổ chức khí tượng thế giới
IPCC	Ủy ban liên chính phủ về Biến đổi khí hậu
BĐKH	Biến đổi khí hậu
NOAA	Cơ quan Đại dương và Khí quyển Quốc gia
FAO	Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên Hiệp Quốc
AMS	Tổ chức Khí tượng Mỹ
NDMC	Trung tâm giảm thiểu hạn hán Quốc gia

DANH MỤC BẢNG

Bảng 2.1. Phân cấp hạn theo chỉ số <i>SPI</i>	38
Bảng 2.2. Phân cấp hạn theo chỉ số <i>PDSI</i>	39
Bảng 2.3. Phân cấp hạn theo chỉ số <i>EDI</i>	42
Bảng 2.4. Các chỉ số hạn hán được sử dụng và phân cấp hạn tương ứng	44
Bảng 2.5a. Các đợt El Niño theo NOAA	45
Bảng 2.5b. Các đợt La Niña	46
Bảng 3.6. Các sự kiện hạn kéo dài liên năm trong 50 năm qua ở huyện Yên Châu	50

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Định nghĩa khái niệm hạn hán theo Yevjevich (1967) [112]	14
Hình 3.2. Biến trình nhiệt độ trung bình năm huyện Yên Châu (1962-2011)	48
Hình 3.3. Sự biến đổi xu thế hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011	49
Hình 3.4. Tương quan giữa chỉ số EDI và lượng mưa năm 1987-1988	51
Hình 3.5. Sự thay đổi tần suất hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011	52
Hình 3.6. Độ dài đợt hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011	53
Hình 3.7. Mức độ khắc nghiệt của hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011	53
Hình 3.8. Sự thay đổi cường độ hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011	54
Hình 3.10. Xu thế biến đổi hạn hán ở huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011 lần lượt theo các chỉ số <i>EDI</i> , <i>SPI</i> , <i>K</i> , <i>Ped</i> và <i>J</i>	56
Hình 3.11. Tương quan giữa các chỉ số hạn hán <i>EDI</i> , <i>SPI</i> , <i>K</i> , <i>Ped</i> và <i>J</i>	57

MỞ ĐẦU

Theo báo cáo lần thứ tư của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC, 2007), “*Biến đổi khí hậu (BĐKH) là sự biến đổi trạng thái của hệ thống khí hậu, có thể được nhận biết qua sự biến đổi về trung bình và sự biến động của các thuộc tính của nó, được duy trì trong một thời gian đủ dài, điển hình là hàng thập kỷ hoặc dài hơn*” [58]. Nói cách khác, có thể hiểu BĐKH là sự biến đổi từ trạng thái cân bằng này sang trạng thái cân bằng khác của hệ thống khí hậu trong thời gian đủ dài [15]. Trong 100 năm, từ 1906 đến 2005 nhiệt độ đã tăng $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$, trong đó tốc độ tăng nhiệt độ trong 50 năm cuối là $0,13 \pm 0,03^\circ\text{C}/\text{thập kỷ}$. Sự nóng lên này làm tăng cường chu trình thủy văn toàn cầu [69], dẫn đến thay đổi về lượng mưa, lượng bốc hơi và dòng chảy, và là một trong những nguyên nhân làm cho các hiện tượng thời tiết cực đoan như hạn hán, lũ lụt gia tăng cả về tần suất, cường độ và càng trở nên khó dự đoán [8, 15, 19].

Hạn hán được đánh giá là một trong những hiện tượng thiên tai gây ra thiệt hại kinh tế lớn nhất trong số các hiện tượng thời tiết cực đoan [30, 78, 107]. Hạn hán bắt nguồn từ sự thiếu hụt lượng mưa đủ lớn trong một khoảng thời gian nhất định so với mức trung bình nhiều năm ở một khu vực [65, 113]. Một trong những đặc trưng của hạn hán đó là sự tích lũy trong một thời gian tương đối dài với biểu hiện của sự tích lũy không rõ ràng, nhưng một khi hạn hán xảy ra thì tác động của nó lại vô cùng nghiêm trọng [71]. Theo Nguyễn Đức Ngữ (2008), BĐKH toàn cầu làm tăng tính biến động của lượng mưa, và do đó ảnh hưởng của nó đến hạn hán là rất phức tạp [9]. Nghiên cứu tính toán tác động của BĐKH toàn cầu đến sự biến đổi hạn hán ở các vùng khí hậu Việt Nam của Phan Văn Tân (2009) đã kết luận rằng BĐKH có tác động đến hạn hán ở quy mô toàn cầu, nhưng tác động không giống nhau ở từng vùng khí hậu [16]. Trong bối cảnh BĐKH, để có những định hướng rõ ràng hơn trong công tác dự báo và cảnh báo hạn hán ở cấp địa phương, cần có những nghiên cứu cụ thể hơn về các đặc điểm của hạn hán ở từng địa bàn cụ thể.

Có nhiều phương pháp để đánh giá sự biến đổi hạn hán như phương pháp cổ khí hậu, sử dụng dữ liệu vệ tinh, xác định hạn theo lượng mưa và sử dụng các chỉ số hạn hán [38, 71]. Trong đó, chỉ số hạn hán được áp dụng khá phổ biến do cách tính tương đối đơn giản và tính khả thi trong thu thập các dữ liệu đầu vào. Các chỉ số hạn hán là

phép định lượng nhằm xác định các mức hạn hán bằng cách mô phỏng các dữ liệu đầu vào như lượng mưa, lượng bốc thoát hơi nước,... thành một giá trị số duy nhất [113]. Đã có hơn 150 chỉ số hạn hán được hình thành và phát triển [77]. Tùy vào mục đích nghiên cứu hạn hán, độ sẵn có của dữ liệu đầu vào và đặc điểm của khu vực nghiên cứu mà các chỉ số được lựa chọn cho đánh giá hạn hán [73]. Tuy nhiên, hầu hết các chỉ số hạn hán hiện nay có chung nhược điểm là không có khả năng xác định thời điểm bắt đầu, kết thúc, độ dài, cường độ của các sự kiện hạn một cách chính xác [31, 68, 82]. Trong khi đó, những đặc điểm trên của hạn hán lại đóng vai trò vô cùng quan trọng trong cảnh báo sớm hạn hán và phân tích rủi ro hạn hán [55], góp phần định hướng cho công tác quản lý nguồn nước và lập các kế hoạch dự phòng [113].

Nghiên cứu này sẽ sử dụng chỉ số hạn hán hữu hiệu (*Effective Drought Index - EDI*), tính toán trên bộ dữ liệu lượng mưa ngày để chỉ ra các đặc điểm của hạn hán như thời điểm bắt đầu, thời điểm kết thúc, độ dài, cường độ, mức độ khắc nghiệt và tần suất của hạn hán. Chỉ số *EDI* được tính thông qua chỉ số lượng mưa hữu hiệu (*Effective Precipitation - EP*). Trong đó, *EP* xuất phát từ quan điểm lượng nước hữu hiệu của một ngày được tích lũy từ lượng mưa của những ngày trước đó với trọng số ảnh hưởng của lượng mưa giảm dần theo thời gian [31, 61, 62, 79]. Mô tả chi tiết về chỉ số *EDI* sẽ được trình bày tại mục 2.2.

Với cách tính hạn hán nói trên, nghiên cứu này giới hạn trong khuôn khổ nghiên cứu hạn hán khí tượng, tại khu vực huyện Yên Châu, tỉnh Sơn La – một trong 9 trung tâm mưa nhỏ của cả nước [10]. Huyện Yên Châu là địa bàn cư trú của nhiều đồng bào dân tộc thiểu số như dân tộc Thái, Mông, Xinh Mun, Khơ Mú, với sinh kế chính là nông nghiệp. Hạn hán là một trong những yếu tố chủ yếu làm giảm năng suất và sản lượng cây trồng nông nghiệp ở địa phương. Gần đây, hạn hán trong 6 tháng đầu năm 2010 đã gây thiệt hại 35% diện tích gieo trồng ngô vụ Đông Xuân và làm giảm gần 30% năng suất ngô của huyện Yên Châu [1, 4].

Làm rõ được các đặc điểm của hạn hán như thời điểm bắt đầu, kết thúc, độ dài, cường độ, mức độ khắc nghiệt và tần suất của hạn hán là tiền đề của việc cảnh báo hạn hán một cách chính xác và hiệu quả hơn, giúp cho kết quả nghiên cứu hạn hán mang nhiều ứng dụng trong thực tiễn, đồng thời, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình ra quyết định và quản lý tài nguyên nước của các nhà quản lý.

Chính vì vậy, tác giả lựa chọn đề tài “*Nghiên cứu các đặc điểm hạn hán trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại huyện Yên Châu, tỉnh Sơn La*” nhằm làm rõ các đặc điểm hạn hán của huyện Yên Châu, tỉnh Sơn La, từ đó góp phần vào việc dự báo, ứng phó với hạn hán và quản lý nguồn nước của địa phương.

CHƯƠNG I. TỔNG QUAN VỀ HẠN HÁN, MỐI LIÊN HỆ GIỮA HẠN HÁN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU, KHU VỰC NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan về hạn hán

1.1.1. Khái niệm, nguyên nhân, phân loại và các đặc trưng của hạn hán

Hạn hán là một trong những thảm họa tự nhiên tốn kém nhất và ảnh hưởng tới rất nhiều người trên thế giới (Wilhite, 2000) [107]. Khác biệt trong sự biến đổi các yếu tố khí tượng thủy văn và kinh tế xã hội, cũng như sự thay đổi thất thường của tự nhiên liên quan đến nhu cầu nước ở nhiều vùng khác nhau trên thế giới là một rào cản lớn trong việc định nghĩa hạn hán một cách chính xác. Eierdanz và cs. (2008) cho rằng sự phức tạp trong định nghĩa hạn hán xuất phát từ mức độ tác động của hạn hán [45]. Hơn 90 tác động của hạn hán đã được đưa ra bởi Trung tâm giảm thiểu hạn hán quốc gia - NDMC (2006a) [74]. Yevjevich (1967) nhận định rằng các quan điểm khác nhau về định nghĩa hạn hán là một cản trở chủ yếu trong các nghiên cứu hạn hán [112]. Do đó, khi nghiên cứu hạn hán, cần phân biệt rõ ràng giữa định nghĩa về mặt lý thuyết và định nghĩa về mặt thực tiễn (Wilhite và Glantz, 1985) [105]. Định nghĩa về mặt lý thuyết được hình thành từ hiểu biết tổng thể về hạn hán và phục vụ cho việc thiết lập các chính sách hạn hán (NDMC, 2006b) [75], trong khi định nghĩa về mặt thực tiễn nhằm mục đích xác định ngày bắt đầu, mức độ khắc nghiệt, thời điểm kết thúc của giai đoạn hạn, phục vụ cho các mục đích cụ thể. Một số định nghĩa hạn hán thường dùng được mô tả dưới đây:

- Theo Wilhite (2000), mặc dù hạn hán xảy ra thường gắn liền với các nhân tố khí hậu như nhiệt độ cao, tốc độ gió mạnh hay độ ẩm tương đối thấp, lượng mưa vẫn là nhân tố chính gây ra hạn hán. Về bản chất, hạn hán là “*kết quả của sự thiếu hụt lượng mưa tự nhiên trong một thời kỳ dài, thường là một mùa hoặc lâu hơn*” [107].
- Theo Tổ chức khí tượng thế giới (WMO, 1992) hai định nghĩa về hạn hán dưới đây được coi là đáng tin cậy nhất: “*Hạn hán là sự thiếu hụt kéo dài hoặc thiếu hụt nghiêm trọng lượng mưa*” và “*Hạn hán là giai đoạn thời tiết khô dị thường đủ dài, gây ra thiếu hụt lượng mưa, từ đó gây ra mất cân bằng trong hệ thống thủy văn*” [108].

- Trong khi đó, tổ chức khí tượng Mỹ (AMS, 1997) định nghĩa hạn hán là “*sự thiếu hụt lượng mưa gây ra thiếu hụt nước trong một số hoạt động nhất định hoặc cho một số nhóm người nhất định*” [24].
- Theo Hội nghị chống hạn hán và sa mạc hóa của UN (*UN Convention to Combat Drought and Desertification – UN Secretariat General, 1994*) hạn hán là hiện tượng tự nhiên, xuất hiện khi lượng mưa thấp dưới mức bình thường một cách đáng kể, gây ra mất cân bằng thủy văn nghiêm trọng, làm ảnh hưởng xấu đến tài nguyên đất [98].
- Tổ chức Nông Lương thế giới (*The Food and Agriculture Organization – FAO, 1983*) định nghĩa hạn hán là quãng thời gian trong năm khi năng suất cây trồng bị thiệt hại do thiếu hụt độ ẩm đất [49].
- Theo bách khoa toàn thư về khí hậu và thời tiết (Schneider, 1996), hạn hán là một giai đoạn kéo dài – một mùa hay một năm hoặc vài năm mà lượng mưa thiếu hụt so với trung bình thống kê nhiều năm ở một khu vực [89].
- Một số tác giả khác định nghĩa hạn hán là: Giá trị dòng chảy ngày hàng năm nhỏ nhất (Gumbel, 1963) [54]; độ lệch đáng kể so với điều kiện thủy văn bình thường của một vùng (Palmer, 1965) [81]; sự thiếu hụt lượng mưa đáng kể và dai dẳng (González và Valdés, 2006) [53]; bên cạnh yếu tố tiêu chí tồn tại dai dẳng và thiếu hụt nước đáng kể, trong một khoảng thời gian và không gian nhất định, Tsakiris và Vangelis (2004) định nghĩa hạn hán bao gồm cả tác động của nó đến môi trường và xã hội [97].

Ở Việt Nam, một trong những định nghĩa hạn hán phổ biến được sử dụng là: “*Hạn hán là hiện tượng lượng mưa thiếu hụt nghiêm trọng, kéo dài, làm giảm hàm lượng ẩm trong không khí và hàm lượng nước trong đất, làm suy kiệt dòng chảy sông suối, hạ thấp mực nước ao hồ, mực nước trong các tầng chứa nước dưới đất gây ảnh hưởng xấu đến sự sinh trưởng và phát dục của cây trồng, làm mùa màng thất bát, môi trường suy thoái gây ra đói nghèo và dịch bệnh*” (Nguyễn Đức Ngữ, 2002) [6].

Nhìn chung, các định nghĩa về hạn hán rất đa dạng và thay đổi tùy thuộc biến đầu vào để mô tả hạn hán và mục đích nghiên cứu hạn hán.

Theo Nguyễn Đức Ngữ (2002), hạn hán bắt nguồn từ nhiều nguyên nhân, nhưng về cơ bản thì đều gắn liền với định nghĩa hạn hán. Nói cách khác, nguyên nhân sâu xa của hạn hán là từ sự thiếu hụt lượng mưa thường xuyên hoặc nhất thời. Ở các vùng khô hạn và bán khô hạn thì hạn hán là do lượng mưa ở mức rất thấp trong một thời gian dài. Hạn hán cũng có thể do sự giảm lượng mưa rõ rệt so với mức trung bình của nhiều năm. Bên cạnh đó, hiện tượng El Niño cũng có tác động đến hạn hán, thông qua sự giảm lượng mưa và tăng cường độ bốc hơi nước. Ngoài ra, những tác động của con người vào tự nhiên như chặt phá rừng hoặc cách thức quản lý và sử dụng tài nguyên nước của con người chưa hợp lý cũng là một trong những nguyên nhân gây ra hạn hán [6]. Bên cạnh đó, Xue và Shukla (1993) [111], Bruce và cs. (1994) [30] và Wilhite (2000) [107] cũng nhận định rằng mặc dù hạn hán là hệ quả của những thay đổi của hoàn lưu chung khí quyển ở quy mô lớn, những tác động riêng lẻ của con người ở từng khu vực và địa phương (như làm thay đổi lớp thảm phủ thực vật, sử dụng tài nguyên nước quá mức) có thể làm hạn hán thêm trầm trọng.

Phân loại hạn hán

Có nhiều cách phân loại hạn hán nhưng chủ yếu theo cách tiếp cận hạn hán như một hiện tượng vật lý và cách tiếp cận hạn hán tác động đến các hệ thống kinh tế xã hội. Với cách tiếp cận thứ nhất, hạn hán thường được phân thành hạn hán khí tượng, hạn hán thủy văn, hạn hán nông nghiệp và một số tài liệu đề cập đến hạn hán nước ngầm. Cách tiếp cận thứ hai chủ yếu liên quan đến tác động của hạn hán, được gọi là hạn hán kinh tế xã hội. Các loại hạn hán được Wilhite và Glantz (1985) [105] và Tổ chức khí tượng Mỹ - American Meteorological Society (2004) [25] phân chia như sau:

- (i) Hạn hán khí tượng được định nghĩa dựa trên sự thiếu hụt lượng mưa so với mức trung bình ở một vùng trong một giai đoạn nhất định. Hạn hán khí tượng là sự mất cân bằng cán cân lượng mưa – lượng bốc hơi. Lượng bốc hơi đồng biến với cường độ bức xạ, nhiệt độ, tốc độ gió và nghịch biến với độ ẩm không khí nên khi nắng nhiều, nhiệt độ cao, gió mạnh, thời tiết khô thì hạn hán tăng. Trong các đặc trưng thời tiết thì lượng mưa là biến thường được dùng cho các phân tích hạn hán khí tượng [46, 87, 88].
- (ii) Hạn hán thủy văn liên quan đến một giai đoạn mất cân bằng nước bề mặt và lớp nước dưới bề mặt đất. Dữ liệu dòng chảy được dùng trong đánh giá hạn hán

thủy văn [42, 72, 91]. Yếu tố địa lý là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến hạn hán thủy văn [99, 114]. Hạn hán thủy văn thường xuất hiện trễ hơn hạn khí tượng và hạn hán nông nghiệp do nó cần thời gian thiếu mưa dài hơn để thể hiện sự thiếu hụt nước trong các thành phần của hệ thống thủy văn như độ ẩm đất, dòng chảy. Các nhân tố khác do tác động của con người như sự thay đổi sử dụng đất, sự suy thoái đất và việc xây dựng đập đều ảnh hưởng đến các đặc trưng thủy văn của lưu vực. Do đó, hạn hán thủy văn có thể xảy ra ngay cả khi không có hạn hán khí tượng.

- (iii) Hạn hán nông nghiệp thường liên quan đến một giai đoạn giảm độ ẩm đất và thiệt hại năng suất cây trồng mà không đề cập đến nguồn nước bề mặt. Giảm độ ẩm đất phụ thuộc vào một vài nhân tố xuất phát từ hạn khí tượng và hạn thủy văn, kết hợp với sự chênh lệch giữa lượng bốc thoát hơi nước thực tế và lượng bốc thoát hơi nước tiềm năng. Thông thường, hạn nông nghiệp xuất hiện sau hạn khí tượng nhưng xuất hiện trước hạn thủy văn. Nhu cầu nước của cây trồng phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, đặc điểm sinh học của từng cây trồng, giai đoạn sinh trưởng và đặc tính vật lý, sinh lý của đất. Do vậy, một số chỉ số đánh giá hạn hán nông nghiệp hiện nay được thiết lập trên cơ sở kết hợp lượng mưa, nhiệt độ và độ ẩm đất [69].
- (iv) Hạn kinh tế xã hội liên quan đến việc hệ thống tài nguyên nước không đáp ứng được nhu cầu sử dụng nước, và do đó loại hạn này được gắn với cung và cầu nước phục vụ cho phát triển kinh tế (AMS, 2004) [25]. Hạn kinh tế xã hội xảy ra khi nhu cầu nước vượt quá khả năng cung ứng. Do đó, nghiên cứu hạn hán kinh tế xã hội không những đòi hỏi nghiên cứu mức độ sẵn có của dữ liệu lượng nước từ các biến khí tượng thủy văn, mà còn cần có những đánh giá thực tế về nhu cầu sử dụng nước.
- (v) Hạn hán nước ngầm có thể được định nghĩa bằng sự giảm mực nước ngầm (Chang và Teoh, 1995) [33], (Eltahir và Yeh, 1999) [47]. Khi hệ thống nước ngầm bị ảnh hưởng bởi hạn hán, lúc đầu nước ngầm sẽ được phục hồi, và sau đó lượng nước ngầm và lượng nước ngầm để phục hồi sẽ giảm nếu không có sự bù đắp lượng nước đã giảm. Hạn hán nước ngầm có thể xuất phát từ sự thiếu hụt lượng mưa, lan truyền qua hệ thống thủy văn và từ việc khai thác quá mức

tài nguyên nước, thường xảy ra trên quy mô thời gian hàng tháng hoặc hàng năm [84]. Các nghiên cứu về hạn hán nước ngầm chưa nhiều do hạn chế trong việc xác định tổng lượng nước ngầm sẵn có. Một số dữ liệu đầu vào cho nghiên cứu hạn hán nước ngầm hiện nay là lượng nước ngầm dự trữ hoặc lượng nước ngầm bổ sung [67]. Tác động trực tiếp của hạn hán nước ngầm là sự giảm lượng nước ngầm và giảm lưu lượng nước ngầm ở ven sông và ở các dòng chảy. Lượng nước ngầm thấp cũng có thể tác động đến năng suất cây trồng thông qua việc làm giảm mao dẫn tới thảm thực vật [82].

Những biến đổi của các yếu tố khí tượng thủy văn như dòng chảy, lượng mưa, độ ẩm đất và mực nước ngầm đóng vai trò quan trọng trong xác định đặc trưng của các loại hạn hán. Tùy thuộc mục đích nghiên cứu hoặc ứng dụng mà các loại hạn hán được lựa chọn để phân tích và làm rõ.

Các đặc trưng của hạn hán

Theo Wilhite (2000), khác với các hiện tượng tự nhiên khác như xoáy thuận, lũ lụt, động đất, phun trào núi lửa, sóng thần – với sự xuất hiện đột ngột, gây ra những hậu quả tức thời, hạn hán mang những đặc trưng cơ bản sau đây: (i) Rất khó để xác định thời điểm bắt đầu và kết thúc của một sự kiện hạn hán do nó có sự khởi đầu chậm và được tích lũy dần dần theo thời gian; (ii) Quy mô thời gian của hạn hán có thể dao động từ hàng tháng đến hàng năm với vùng trung tâm hạn và vùng bị ảnh hưởng bởi hạn có thể thay đổi theo thời gian; (iii) Hạn hán có phạm vi không gian tương đối rộng và mức độ tác động của hạn hán sẽ mở rộng khi các sự kiện hạn kéo dài từ mùa này sang mùa khác hoặc từ năm này sang năm khác [107].

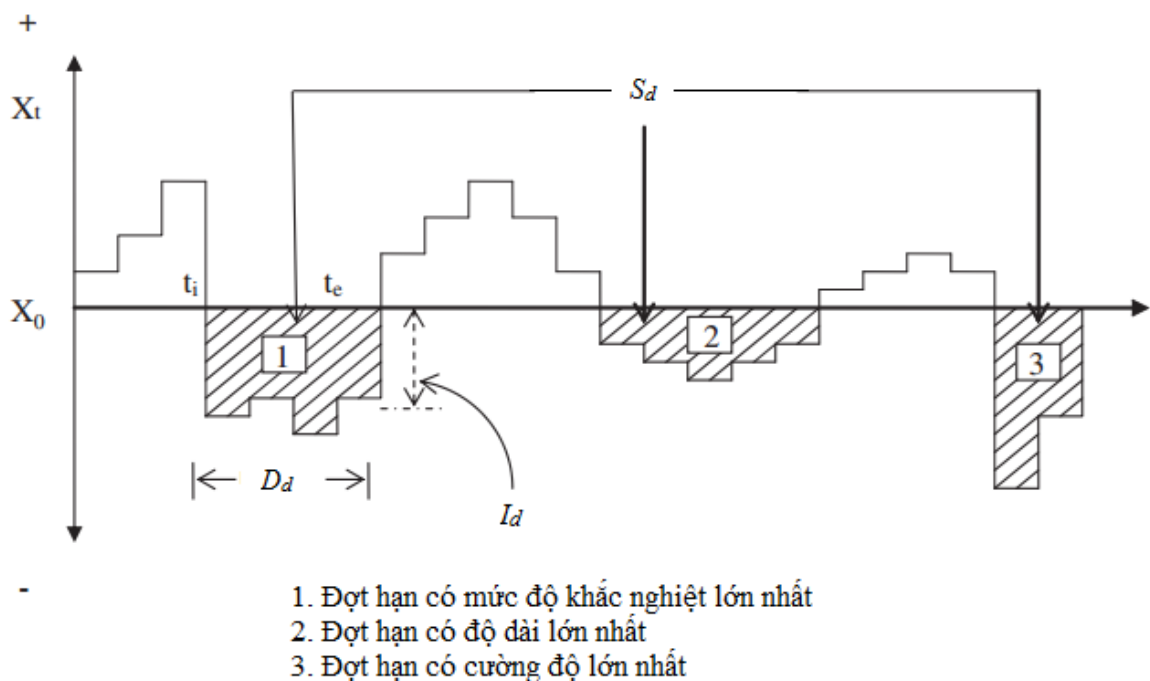
Các nghiên cứu về hạn hán thường quan tâm tới việc xác định một số đặc trưng của hạn hán như mức độ khắc nghiệt (*drought severity*), độ dài đợt hạn hán (*drought duration*) và cường độ hạn hán (*drought intensity*), phân bố không gian của hạn, tần suất hạn, mức độ lan rộng (sự tích lũy thiếu hụt) cũng như thời điểm khởi đầu và kết thúc của hạn hán. Mặc dù vậy, việc sử dụng các đặc trưng như mức độ khắc nghiệt, cường độ, mức độ lan rộng chưa thực sự phổ biến, và đôi khi các khái niệm này bị lẫn lộn với nhau. Yevjevich (1967) đã sử dụng cách phân tích khoảng hạn để định nghĩa một số đặc trưng của hạn, trong đó ngưỡng giới hạn (như trung vị, trung bình) được xác lập để phân chia giai đoạn khô (khoảng độ lệch có giá trị âm) và giai đoạn ướt (khoảng độ lệch có giá trị dương). Mức độ khắc nghiệt của hạn hán là tổng các giá trị

nằm trong khoảng âm tính từ ngưỡng giới hạn [112]. Khái niệm này cũng được sử dụng bởi Sen (1976, 1980) [90, 91]; Dracup và cs. (1980) [42]; Loaiciga và Leipnik (1996) [70]; Mishra và cs. (2007) [64].

Dựa trên định nghĩa của Yevjevich, Dracup và cs. (1980) đã làm rõ các đặc trưng chính của một sự kiện hạn như sau [43]:

- Thời điểm bắt đầu hạn hán – t_i : Thời điểm bắt đầu giai đoạn thiếu hụt nước, chỉ ra thời điểm bắt đầu hạn.
- Thời điểm kết thúc hạn hán – t_e : Thời điểm mà lượng nước thiếu hụt được bù đắp đến mức bình thường và hạn không còn kéo dài nữa.
- Độ dài hạn đợt hạn hán (D_d): Biểu thị năm/ tháng/ tuần... mà các thông số hạn liên tiếp ở dưới ngưỡng giới hạn. Nói cách khác, nó là khoảng thời gian giữa thời điểm bắt đầu và kết thúc của hạn hán.
- Mức độ khắc nghiệt của hạn (S_d): Chỉ ra mức thiếu hụt tích lũy của thông số hạn ở ngưỡng giới hạn.
- Cường độ hạn hán (I_d): Giá trị trung bình của thông số hạn ở dưới ngưỡng giới hạn. Nó được tính bằng mức độ khắc nghiệt của hạn chia cho độ dài đợt hạn.

Các đặc trưng nêu trên được minh họa trong hình 1.1:



Hình 1.1. Định nghĩa khái niệm hạn hán theo Yevjevich (1967) [112]

Trong khi đó, Salas (1993) đưa ra định nghĩa các đặc điểm hạn hán như sau [113]:

- Độ dài đợt hạn hán (*Duration*): Là thời điểm từ khi bắt đầu đến khi kết thúc một sự kiện hạn. Tùy vào từng vùng, độ dài đợt hạn hán có thể biến động từ một tuần đến vài năm.
- Mức độ lan rộng (hay độ lớn) của hạn hán (*Magnitude*): Thiếu hụt nước tích lũy (như lượng mưa, độ ẩm đất, hoặc dòng chảy) dưới ngưỡng giới hạn trong suốt giai đoạn hạn.
- Cường độ hạn hán (*Intensity*): Tỷ số giữa mức độ lan rộng hạn hán so với độ dài của đợt hạn hán
- Mức độ khắc nghiệt của hạn hán (*Severity*): Có hai cách dùng: Mức độ thiếu hụt mưa (như độ lớn của hạn) hoặc mức độ tác động tổng hợp như một hệ quả của sự thiếu hụt nước.
- Quy mô địa lý của hạn (*Geographic extent*): Vùng mà hạn hán bao phủ biến đổi trong suốt sự kiện hạn.
- Tần suất hạn (*Frequency*): Tần suất hoặc giai đoạn xuất hiện hạn hán trở lại được xác định như thời gian trung bình giữa các sự kiện hạn, khi mà mức độ khắc nghiệt lớn hơn hoặc bằng ngưỡng giới hạn.

1.1.2. Các nghiên cứu về hạn hán

1.1.2.1. Nghiên cứu hạn hán trên thế giới

Hạn hán trong thế kỷ 20 được xem là hiểm họa tự nhiên có những tác động bất lợi lớn nhất đến đời sống kinh tế và xã hội (Bruce, 1994) [30] và (Obasi, 1994) [78]. Do đó, việc xác định các đặc trưng của hạn hán như sự khởi đầu và kết thúc hạn, thời gian kéo dài đợt hạn, phạm vi mở rộng của đợt hạn, mức độ hạn, tần suất và mối liên hệ giữa những biến đổi của hạn hán với hệ thống khí hậu đóng vai trò hết sức quan trọng (Piechota và Dracup, 1996) [86]. Trong những năm gần đây, đã có nhiều nghiên cứu chỉ ra sự tăng đáng kể về cường độ, tần suất, mức độ khắc nghiệt cũng như độ dài đợt hạn ở nhiều nơi trên thế giới như nghiên cứu của Trenberth và cs (2003) [94]; Dai và cs. (2004) [37]; Nicholls (2004) [76]; Wanders và cs. (2010) [101].

Theo nghiên cứu của Wilhite và Hayes (1988) [106]; Changnon và cs. (2000) [34], số đợt hạn và mức độ hạn hán đã tăng lên đáng kể ở Mỹ trong suốt hai thập kỷ qua. Trong khi đó, ở Canada, hạn hán được ghi nhận đã xảy ra ở hầu hết các vùng

trong những năm 1890, những năm 1930 và những năm 1980 (Philips, 1990) [85]; (Wheaton, 2000) [103]. Theo báo cáo Environment Canada (2004), vùng Prairise ở phía Tây Canada chịu tổn thương nhiều nhất bởi hạn hán do sự dao động lớn về lượng mưa theo không gian và thời gian, và một vài mùa liên tiếp có lượng mưa dưới mức trung bình nhiều năm [48].

Ở Châu Âu, hạn hán được cho là đã trở nên khắc nghiệt hơn (Demuth và Stahl, 2001) [41]. Nghiên cứu của Lehner và cs. (2006) đã sử dụng mô hình tích hợp nước toàn cầu WaterGAP để đánh giá những tác động của biến đổi khí hậu và biến đổi sử dụng nước đến tần suất hạn hán và lũ lụt ở một số vùng của Châu Âu. Các tác giả đã kết luận rằng tần suất hạn hán và lũ lụt có khả năng sẽ diễn biến theo các kịch bản biến đổi khí hậu. Sự tăng lượng mưa trung bình và tăng biến động lượng mưa ở các vùng phía Bắc và khu vực Đông Bắc châu Âu khiến các vùng này có nhiều khả năng hứng chịu rủi ro do tăng tần suất lũ lụt. Trái lại, sự giảm lượng mưa, tăng cường độ bốc thoát hơi nước và các đợt hạn hán kéo dài có nhiều khả năng làm tăng tần suất hạn hán ở các vùng phía Nam và Đông Nam Châu Âu [63]. Sử dụng chỉ số hạn hán *SPI* (xem định nghĩa tại mục 2.1) hàng tháng ở độ phân giải 8 km x 8 km cho vùng Thessaly trong giai đoạn 1960-1993, mối tương quan giữa sự giảm lượng mưa đáng kể và sự tăng nhiệt độ đến mức độ nghiêm trọng của hạn hán cũng được khẳng định trong nghiên cứu của Loukas và cs. (2004) [66]. Benjamin và cs. (2002) đã sử dụng chỉ số hạn hán *SPI* hàng tháng và chỉ số *PDSI* (xem định nghĩa tại mục 2.1) để đánh giá hạn hán trên toàn Châu Âu (35°-70° Bắc và 35° Đông-10° Tây) ở độ phân giải với bước lưới 0,5° trong giai đoạn 1901-1999 và chỉ ra rằng thời gian hạn hán lớn nhất trung bình trên mỗi ô lưới ở Châu Âu là 48±17 tháng [56]. Bên cạnh đó, theo số liệu quan trắc trong 30 năm qua, Châu Âu đã chịu ảnh hưởng của nhiều đợt hạn hán lớn như ở các năm 1976, 1991, gần đây nhất là 2003 với những đợt kéo dài trên diện rộng có liên quan đến sóng nóng mùa hè (Feyen và Dankers, 2009) [51].

Dai và cs. (2004) [37], Xukai và cs. (2005) [117] đã nhận định từ cuối những năm 1970, cùng với sự nóng lên toàn cầu, sự tăng nhiệt độ và tăng khô hạn, những rủi ro từ hạn hán đã tăng lên. Trong suốt giai đoạn 1972-1997, sông Hoàng Hà ở Trung Quốc đã trải qua sự cạn kiệt về nguồn nước. Trong đó, hạn rất nặng năm 1997 đã gây ra khô kiệt dòng chảy trong suốt 226 ngày. Hạn hán ở phía bắc Trung Quốc có xu thế tăng lên kể từ sau những năm 1990 với một vài vùng hạn hán kéo dài 4-5 năm từ năm

1997 đến năm 2003. Sự gia tăng về tần suất hạn hán cũng đã được xác nhận ở Ấn Độ, đặc biệt là những đợt hạn hán kéo dài và trên diện rộng từ giữa thế kỷ 19 (FAO, 2002) [50], (World Bank, 2003) [110].

Ở Úc, hạn hán là một thiên tai xảy ra thường xuyên. Gần đây nhất, đợt hạn kéo dài gần một thập kỷ đã ảnh hưởng nghiêm trọng đến hầu hết phía Nam và phía Đông nước Úc, khiến nhiều dòng sông có lưu lượng dòng chảy giảm xuống thấp hơn bình thường, có khi xuống dưới 40% (Murray – Darling Basin Commission, 2007) [71].

Ở Châu Phi, từ cuối thế kỷ 19, tần suất và cường độ hạn hán ở vùng Sahel được cho là đã tăng với nhiều đợt hạn hán nghiêm trọng và kéo dài (Zeng, 2003) [115].

Hạn hán thường gây ảnh hưởng trên diện rộng và gây ra những thiệt hại to lớn đến đời sống kinh tế, xã hội. Theo Obasi (1994), hạn hán chiếm 7,4% trong tổng số các thảm họa tự nhiên trong giai đoạn 1967-1991, nhưng lại gây ra thiệt hại về người lớn nhất trong giai đoạn này (hơn 1,3 triệu người chết do hạn hán, chiếm 38% thiệt hại về người và hơn 1,4 tỷ người bị ảnh hưởng bởi hạn hán, chiếm hơn 50% số người bị ảnh hưởng bởi các thảm họa tự nhiên) [78].

Theo Cook và cs., (2007) xét về khía cạnh kinh tế thì hạn hán gây ra thiệt hại lớn nhất trong số các thảm họa tự nhiên ở Mỹ [36]. Dữ liệu toàn cầu từ Văn phòng hỗ trợ thiên tai của Mỹ (The U.S. Office of Disaster Assistance) trong giai đoạn 1960-1989 cho thấy hơn 90% số người bị ảnh hưởng do thiên tai là do các thảm họa thiên tai khí tượng thủy văn, trong đó có hạn hán (Bruce, 1994) [30]. Theo số liệu của Trung tâm giảm nhẹ hạn hán quốc gia Mỹ, hạn hán gây thiệt hại khoảng 6-8 tỷ USD mỗi năm cho nền kinh tế Mỹ. Đặc biệt, đợt hạn hán trên diện rộng diễn ra năm 1988 đã tác động mạnh mẽ lên kinh tế Mỹ, gây thiệt hại ước tính khoảng 40 tỷ đô la, gấp 2-3 lần thiệt hại do trận động đất xảy ra ở San Francisco năm 1989 (Riebsame và cs., 1990) [71]. Theo Ross và Lott (2003), trong năm 1980 và năm 2003, hạn hán ở Mỹ (và sóng nóng theo kèm) chiếm từ 10 đến 58% những thảm họa liên quan đến thời tiết; hạn hán chiếm 17,2% các thảm họa tự nhiên nhưng gây tổn kém 144 tỷ đô la (tương đương 41,2%) trong tổng số 349 tỷ đô la chi phí cho các thảm họa liên quan đến thời tiết [96].

Theo ước tính của Cộng đồng Châu Âu (European Communities) (2007), từ năm 1991, tác động kinh tế bình quân hàng năm do hạn hán ở Châu Âu vào khoảng

5,3 tỉ Euro, đặc biệt là mức thiệt hại kinh tế năm 2003 lên tới 8,7 tỉ Euro. Hạn nghiêm trọng nhất ở Iberian Peninsula trong 60 năm xảy ra vào năm 2005 làm giảm tổng sản lượng ngũ cốc của Châu Âu tới 10% (United Nations Environment Programme, 2006) [71].

Nghiên cứu gần đây của IPCC cho rằng gia tăng thiếu hụt nước do tăng nhiệt độ, giảm số ngày mưa và tăng tần suất El Niño đã làm giảm sản xuất gạo, ngô và lúa mì trong một vài thập kỷ trở lại đây ở nhiều khu vực của Châu Á (Bates và cs., 2008) [27]. Theo Trung tâm Nghiên cứu Khí hậu và Xã hội Quốc Tế (*International Research Institute for Climate and Society - IRI, 2001*) hạn liên tiếp từ năm 1999 đến năm 2000 đã gây ảnh hưởng tới 60 triệu người ở Trung Á và Tây Nam Châu Á, trong đó Iran, Afghanistan, Tây Pakistan, Tajikistan, Uzbekistan và Turkmenistan là những nước chịu những tác động nghiêm trọng nhất [26]. Hạn hán khắc nghiệt thường xuyên vào các năm 1997, 1999-2002 ở nhiều vùng của phía Nam Trung Quốc đã gây ra thiệt hại lớn về kinh tế và xã hội. Khoảng hơn 40 triệu héc ta diện tích canh tác nông nghiệp đã bị ảnh hưởng bởi hạn hán năm 2000 (Zhang, 2003) [116]. Hạn hán dưới tác động của El Niño vào năm 1997-1998 đã gây cháy rừng trên diện rộng ở Indonesia, gây ra thiệt hại lớn về cả kinh tế và môi trường [71].

Cục Tài nguyên kinh tế và nông nghiệp Úc ước tính rằng hạn hán năm 2006 đã làm giảm 36% sản lượng ngũ cốc vụ đông của quốc gia, gây tổn kém 3,5 tỷ đô la Úc cho vùng nông thôn, gây ra khủng hoảng kinh tế cho rất nhiều nông dân (Wong và cs., 2009) [109].

Ở Châu Phi, sự đói kém và hỗn loạn ở quy mô lớn từ 1968 đến 1974, đầu và giữa những năm 1980 được cho là do tác động của sự khắc nghiệt của hạn hán giai đoạn 1960 đến những năm 1980 (Batterbury và Warren, 2001) [28].

1.1.2.2. Nghiên cứu hạn hán ở Việt Nam

Nghiên cứu về khí hậu Việt Nam của Nguyễn Đức Ngữ và cs. (1995) [10] đã sử dụng chỉ số khô hạn K (xem định nghĩa tại mục 2.1) để nghiên cứu sự phân bố hạn hán ở các vùng khí hậu của Việt Nam. Kết quả nghiên cứu cho thấy lãnh thổ Việt Nam hình thành 8 khu vực có mùa khô hạn khác nhau: Vùng Tây Bắc hạn nặng trong mùa Đông và hạn nhẹ trong mùa xuân; Vùng Đông Bắc và Đồng bằng Bắc Bộ hạn nặng

trong mùa đông; Vùng Bắc Trung Bộ hạn nặng trong mùa hè; Vùng Nam Trung Bộ hạn nặng trong mùa xuân và mùa hè; Vùng Cực Nam Trung Bộ, Tây Nguyên và Nam Bộ hạn rất nặng vào mùa đông và mùa xuân. Các tác giả đã đưa ra kết luận hạn mùa đông xảy ra chủ yếu ở khu vực Bắc Bộ, Nam Bộ, Tây Nguyên trong khi hạn mùa hè xuất hiện chủ yếu ở khu vực Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ. Hạn trong mùa đông tần suất cao hơn hạn mùa hè và hầu như không có hạn hán xảy ra trong mùa thu.

Trần Thục (2012) [93] đã sử dụng các chỉ số *EDI* (xem định nghĩa tại mục 2.2), *CMI* và *SSWI* để lần lượt đánh giá hạn hán khí tượng, hạn hán nông nghiệp và hạn hán thủy văn cho giai đoạn 1981-2005 ở khu vực Nam Trung Bộ và Tây Nguyên. Tác giả đã nhận định các huyện phía Nam của khu vực Nam Trung Bộ trải qua hạn hán khí tượng khắc nghiệt hơn, nhưng trong thời gian ngắn hơn so với các huyện ở phía Bắc của khu vực này do mùa mưa bắt đầu vào cuối tháng 4. Trong khi ở khu vực Tây Nguyên, các huyện phía Bắc Tây Nguyên lại trải qua hạn hán khắc nghiệt hơn so với các huyện phía Nam Tây Nguyên. Đối với hạn hán thủy văn, dòng chảy thường xuyên đạt mức thấp trong mùa khô. Dòng chảy tương đối thấp từ tháng 1 đến tháng 5 và kéo dài tới tận cuối tháng 9 ở khu vực Nam Trung Bộ. Hạn thủy văn xảy ra vào tháng 1 đến tháng 4 ở phía bắc và trung tâm của khu vực Nam Trung Bộ; và vào tháng 1 đến tháng 3 ở phía nam của khu vực Nam Trung Bộ. Riêng Ninh Thuận và Bình Thuận thì trải qua hạn từ tháng 1 đến tháng 4 và tháng 12.

Vũ Thanh Hằng và cs. (2014) [100] đã sử dụng các chỉ số hạn hán khí tượng *J*, *Ped* và *SPI* (xem định nghĩa tại mục 2.1) nhằm đánh giá hạn hán cho 7 vùng khí hậu của Việt Nam trong giai đoạn 1961-2007. Các chỉ số hạn hán cho kết quả khác nhau về thời gian xuất hiện hạn hán ở các vùng khí hậu. Trong khi kết quả phân tích hạn hán theo chỉ số *J* cho thấy hạn hán chủ yếu xảy ra từ tháng 11 đến tháng 3 ở tất cả các vùng khí hậu thì chỉ số *Ped* cho thấy khả năng xuất hiện hạn hán từ tháng 4 đến tháng 8, và từ tháng 5 đến tháng 10 đối với chỉ số *SPI*. Hạn hán ở các vùng khí hậu phía Nam rõ rệt và thường xuyên hơn ở những năm El Niño trong khi ảnh hưởng của ENSO đến hạn hán ở các vùng khí hậu phía bắc chưa thực sự rõ ràng. Trong suốt giai đoạn tính, hạn hán tăng đáng kể ở phía Bắc Việt Nam. Ở các vùng phía Nam, chỉ số

Ped cho thấy xu hướng tăng của hạn hán, trong khi chỉ số *J* và *SPI* cho xu hướng giảm của hạn hán trên hầu hết các trạm khí tượng.

Do có tính chất phân hóa mùa sâu sắc nên mặc dù tiềm năng nước của Việt Nam khá phong phú nhưng hạn hán vẫn thường xuyên xảy ra. Trong những năm gần đây, các nghiên cứu về hạn hán ở Việt Nam tập trung vào hai vấn đề chủ yếu: (i) Nghiên cứu cơ bản về hạn hán và tác động của hạn hán đến đời sống kinh tế xã hội; (ii) Các giải pháp phòng, chống và giảm nhẹ hạn hán. Một số đề tài nghiên cứu và dự án về hạn hán đã được triển khai là:

- Đề tài cấp Nhà nước: “*Nghiên cứu các giải pháp giảm nhẹ thiên tai hạn hán ở các tỉnh Duyên hải Miền Trung từ Hà Tĩnh đến Bình Thuận*”, do Đào Xuân Học - Trường Đại học Thủy lợi làm chủ nhiệm thực hiện từ năm 1999-2001. Đề tài đã đánh giá tình hình hạn hán và ảnh hưởng của hạn hán tới 7 vùng kinh tế của Việt Nam, phân tích xác định nguyên nhân gây ra hạn hán, phân loại và phân cấp hạn. Dựa trên các nguyên nhân gây hạn hán, đề tài đã đưa ra các biện pháp phòng chống và giảm nhẹ hạn hán [2].
- Đề tài cấp Nhà nước: “*Nghiên cứu ứng dụng các giải pháp khoa học công nghệ phòng chống hạn hán phục vụ phát triển nông nghiệp bền vững ở các tỉnh miền Trung*”, 2007-2009 do Lê Trung Tuân - Viện Nước, Tưới tiêu và Môi trường, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam làm chủ nhiệm, với mục tiêu nghiên cứu ứng dụng các giải pháp phòng chống hạn cho các tỉnh miền Trung. Các giải pháp đề xuất ứng dụng được chia thành 3 nhóm: (i) Thu trữ nước, bảo vệ đất và giữ ẩm; (ii) Quản lý vận hành công trình thủy lợi trong điều kiện hạn hán, chế độ tưới và (iii) Kỹ thuật tưới tiết kiệm nước [3].
- Đề tài cấp Nhà nước: “*Nghiên cứu dự báo hạn hán vùng Nam Trung Bộ và Tây Nguyên và xây dựng các giải pháp phòng chống*”, mã số KC.08.22, thực hiện năm 2003-2005, do Nguyễn Quang Kim - Trường Đại học Thủy Lợi làm chủ nhiệm đã nghiên cứu hiện trạng hạn hán, thiết lập cơ sở khoa học cho quy trình dự báo hạn, cơ sở dữ liệu khu vực nghiên cứu để lập trình các phần mềm tính toán chỉ số hạn và phần mềm dự báo hạn khí tượng và thủy văn. Việc dự báo hạn được dựa trên nguyên tắc phân tích mối tương quan giữa các yếu tố khí hậu, các hoạt động ENSO và các điều kiện thực tế vùng nghiên cứu [12].

- Dự án “*Xây dựng bản đồ hạn hán và mức độ thiếu nước sinh hoạt ở Nam Trung Bộ và Tây Nguyên*” do Trần Thục - Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường làm chủ nhiệm, thực hiện từ năm 2005 đến năm 2008. Dự án đã đánh giá được mức độ hạn hán và thiếu nước sinh hoạt ở 9 tỉnh Nam Trung Bộ và Tây Nguyên. Trên cơ sở đó, tác giả đã xây dựng được bản đồ hạn hán thiếu nước sinh hoạt trong vùng nghiên cứu [17].
- Đề tài “*Nghiên cứu và xây dựng công nghệ dự báo và cảnh báo sớm hạn hán ở Việt Nam*” được Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường thực hiện từ năm 2005-2007 do Nguyễn Văn Thắng chủ nhiệm đề tài. Đề tài đã đánh giá được mức độ hạn hán ở các vùng khí hậu và chọn được các chỉ tiêu xác định hạn hán phù hợp với từng vùng khí hậu ở Việt Nam, đồng thời xây dựng được công nghệ dự báo và cảnh báo sớm hạn hán cho các vùng khí hậu ở Việt Nam bằng các số liệu khí tượng thủy văn và các tư liệu viễn thám để phục vụ phát triển kinh tế xã hội với trọng tâm là sản xuất nông nghiệp và quản lý tài nguyên nước trong cả nước [14].
- Đề tài khoa học công nghệ trọng điểm cấp Nhà nước, KC 08-23/06-10: “*Nghiên cứu cơ sở khoa học quản lý hạn hán và sa mạc hóa để xây dựng hệ thống quản lý, đề xuất các giải pháp chiến lược và tổng thể giảm thiểu tác hại: nghiên cứu điển hình cho đồng bằng sông Hồng và Nam Trung Bộ*” do Viện Địa Lý, Viện Khoa học và Công Nghệ Việt Nam thực hiện 2008 - 2010, chủ nhiệm Nguyễn Lập Dân. Đề tài đã xây dựng hệ thống quản lý hạn hán vùng đồng bằng sông Hồng và hệ thống quản lý sa mạc hoá vùng Nam Trung Bộ và đề xuất các giải pháp chiến lược và tổng thể quản lý hạn Quốc Gia, phòng ngừa, ngăn chặn và phục hồi các vùng hoang mạc hóa, sa mạc hoá, sử dụng hiệu quả tài nguyên nước góp phần ổn định sản xuất, phát triển bền vững kinh tế xã hội [11].

1.1.2.3. Tình hình hạn hán ở Việt Nam

Hạn hán là hiện tượng thiên tai phổ biến ở Việt Nam, đứng sau bão và lũ. Đã có nhiều đợt hạn nặng và nghiêm trọng được ghi nhận trong vòng 40 năm qua [6, 18], trong đó một số đợt hạn điển hình là:

Hạn hán năm 1992-1993: Hạn hán năm 1992-1993 bắt nguồn từ sự thiếu hụt lượng mưa nghiêm trọng so với trung bình nhiều năm vào cuối năm 1992 (thiếu hụt 30-70%) và đầu năm 1993 (thiếu hụt 40-60%). Đợt hạn này đã làm ảnh hưởng tới 300.000 ha lúa hè thu ở Nam Bộ, gây mất trắng 10.000 ha và là nguyên nhân gây cháy 6.000 ha rừng ở Quảng Nam – Đà Nẵng. Ở Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ, hạn đã ảnh hưởng tới 176.000 ha lúa đông xuân, làm chết 22.000 ha diện tích trồng lúa với mức thiệt hại ước tính lên tới 42 tỷ đồng. Mức nước trên các sông đều thấp hơn mức trung bình nhiều năm từ 0,1-0,5m là nguyên nhân của xâm nhập mặn từ 10-20km ở các cửa sông. Đa số các hồ chứa lớn nhỏ đều cạn kiệt hoặc ở dưới mức an toàn cho phép.

Hạn hán vụ đông xuân năm 1994-1995: Đợt hạn này xảy ra gay gắt ở một số tỉnh thuộc cao nguyên Trung Bộ, trong đó Đắc Lắc phải trải qua đợt hạn rất nặng nhất trong 50 năm, gây ra ảnh hưởng lớn đến trồng cà phê và đời sống sinh hoạt của nhân dân địa phương. Ước tính thiệt hại cho sản xuất do đợt hạn này lên đến 600 tỷ đồng.

Hạn đông xuân 1995-1996: Đợt hạn này xảy ra ở nhiều nơi trên phạm vi toàn quốc trong đó hơn 13.000 ha diện tích canh tác vùng trung du và miền núi Bắc Bộ và 100.000 ha ở đồng bằng Bắc Bộ chịu tác động bởi hạn hán.

Hạn hán năm 1997-1998: Hạn hán năm 1997-1998 là đợt hạn hán nghiêm trọng, có ảnh hưởng tới nhiều nước trên thế giới, trong đó có Việt Nam. Nguyên nhân của đợt hạn là do ảnh hưởng hoạt động mạnh của El Niño từ tháng 5/1997 đến tháng 6/1998. Cụ thể, ở vùng Tây Nguyên, Đông Nam Bộ và Đồng Bằng Sông Cửu Long đã trải qua những tháng hầu như không có mưa từ tháng 3- 6/1998. Vùng Trung Bộ hầu như không mưa từ tháng 6-9/1998. Mức nước các sông lớn đều thấp hơn mức trung bình nhiều năm cùng kỳ từ 0,5-1,5m. Các sông suối nhỏ và một số hồ vừa và nhỏ ở Trung Bộ, Tây Nguyên, Đông Nam Bộ dòng chảy rất nhỏ hoặc khô cạn. Đợt hạn 1997-1998 đã gây ra thiệt hại lớn về kinh tế và xã hội trên hầu hết các vùng trong cả nước. Đối với canh tác lúa, đã có 254.000 ha lúa bị hạn và 30.740 ha lúa bị mất trắng vụ đông xuân; 435.000 ha lúa bị hạn và 70.800 ha lúa bị mất trắng trong vụ hè thu; 153.000 ha lúa bị hạn với 22.700 ha lúa bị mất trắng trong vụ mùa. Trên 236.000 ha cây công nghiệp và cây ăn quả bị hạn và hơn 3 triệu người thiếu nước sinh hoạt. Ước tính thiệt hại kinh tế của đợt hạn này lên tới 5.000 tỷ đồng [13].

Hạn hán năm 2001: Xây ra ở các tỉnh Phú Yên, Quảng Nam, Quảng Bình, Quảng Trị với tháng 6 và tháng 7 gần như không có mưa. Ở Phú Yên, hạn hán đã gây thiệt hại cho 7200 ha mía, 500 ha sắn, 225 ha lúa nước và 300 ha lúa nương.

Hạn hán năm 2002: Hạn hán nghiêm trọng đã diễn ra ở vùng Bắc Trung Bộ, Duyên hải Nam Trung Bộ, Tây Nguyên và Đông Nam Bộ gây thiệt hại về mùa màng, gây cháy rừng trên diện rộng, trong đó có cháy rừng lớn ở các khu rừng tự nhiên U Minh thượng và U Minh hạ. Ít mưa trên các tỉnh ven biển Trung Bộ từ Quảng Bình đến Bình Thuận và ở Gia Lai và Đắk Lắk đã làm khô kiệt hầu hết các hồ chứa.

Hạn hán năm 2003: Hạn hán năm 2003 xảy ra trước mùa mưa trên cả vùng Tây Nguyên đã gây thiệt hại cho khoảng 300 ha lúa ở Kon Tum, 3000 ha lúa ở Gia Lai và 50.000 ha đất canh tác ở Đắk Lắk; thiếu nước cấp cho sinh hoạt của 100.000 hộ dân.

Hạn hán năm 2004-2005: Đợt hạn này cũng xảy ra trên diện rộng nhưng ít nghiêm trọng hơn đợt hạn năm 1997-1998. Ở Bắc Bộ, mực nước sông Hồng tại Hà Nội vào đầu tháng 3 xuống mức 1,72m thấp nhất kể từ năm 1963 đến năm 2005. Ở Miền Trung và Tây Nguyên, nắng nóng kéo dài, dòng chảy trên các sông suối ở mức thấp hơn trung bình nhiều năm, một số suối cạn kiệt hoàn toàn. Ở Ninh Thuận, hạn hán được đánh giá là khốc liệt nhất trong vòng 20 năm qua với lượng mưa từ tháng 11/2004 đến tháng 2/2005 chỉ bằng khoảng 41% mức trung bình nhiều năm; các sông suối, ao hồ đều khô cạn. Toàn tỉnh có 47.220 người thiếu nước sinh hoạt. Ước tính thiệt hại trong sản xuất nông nghiệp do đợt hạn năm 2005 ở Ninh Thuận lên đến hơn 133 tỷ đồng [5]. Tại Bình Thuận, tình trạng gần như không mưa từ tháng 11/2004 đến 2/2005 hầu đã dẫn đến mực nước trên các triền sông gần như cạn kiệt, lượng dòng chảy còn lại rất nhỏ. Mực nước các hồ trong tỉnh đều thấp hơn mực nước chết từ 1,70 đến 2,2m và không đủ để đáp ứng nhu cầu sinh hoạt và sản xuất. Đợt hạn này đã gây thiếu nước sinh hoạt cho gần 50 ngàn người, 16.790 hộ thiếu đói, và hơn 210.000 gia súc thiếu thức ăn, nước uống.

1.2. Môi liên hệ hạn hán – Biến đổi khí hậu

Biến đổi khí hậu là vấn đề mang tính toàn cầu, bắt đầu được quan tâm nghiên cứu từ đầu thế kỷ 19 [104]. Ở Việt Nam, vấn đề này được nghiên cứu vào những năm 1990, và được chú trọng nghiên cứu từ năm 2000, đặc biệt là từ năm 2008 đến nay. Các nghiên cứu trong thời gian đầu tập trung chủ yếu vào tìm hiểu bản chất, nguyên

nhân, diễn biến và đề xuất các nguyên tắc, giải pháp chung để thích ứng và giảm nhẹ BĐKH [15]. Nghiên cứu mối liên hệ giữa BĐKH với hạn hán nằm trong nhóm bài toán nghiên cứu thứ nhất về bản chất, nguyên nhân và cơ chế vật lý của BĐKH, trong số ba nhóm bài toán chính về BĐKH [15].

Cho đến nay, dường như chưa thực sự có nhiều nghiên cứu về mối liên hệ giữa BĐKH toàn cầu đến hạn hán. Đa số các nghiên cứu hiện nay lý giải mối liên hệ này thông qua sự thay đổi hoàn lưu khí quyển trong bối cảnh nóng lên toàn cầu.

Theo IPCC (2007), nền nhiệt độ cao và mưa giảm là một trong những nguyên nhân của những đợt hạn hán nặng hơn và kéo dài hơn, trên quy mô rộng lớn hơn từ những năm 1970, đặc biệt ở vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới [58].

Kim và cs. (2009) đã sử dụng chỉ số *EDI* tính toán trên bộ số liệu lượng mưa ngày mô phỏng từ 14 mô hình hoàn lưu chung khí quyển đại dương (*Atmosphere-ocean general circulation model*) theo kịch bản phát thải trung bình A1B – SRES để đánh giá tác động của BĐKH đến hạn hán ở Đông Nam Á. Nghiên cứu đã chỉ ra xu hướng tăng lượng mưa trung bình ở khu vực Đông Á, ngoại trừ sự tăng nhẹ nhưng gia tăng biến động về lượng mưa ở Nam Á. Theo đó, tần suất và độ dài hạn hán ở khu vực Đông Á có xu hướng giảm, trong khi số đợt hạn rất nặng có xu hướng tăng về tần suất, đặc biệt là ở khu vực Đông Nam Á [62].

Nghiên cứu của Dai (2011) về hạn hán trong bối cảnh nóng lên toàn cầu đã kết luận khô hạn toàn cầu đã tăng đáng kể từ những năm 1970, xảy ra ở Châu Phi, phía Nam Châu Âu, Đông Á, Nam Á và phía đông nước Úc. Bên cạnh Dao Động Nam – El Niño (ENSO) và gió mùa Châu Á, nóng lên toàn cầu làm tăng độ ẩm khí quyển, dẫn đến sự thay đổi hoàn lưu khí quyển góp phần vào sự gia tăng khô hạn này [38].

Dai (2013) đã sử dụng mô hình tái tạo ảnh hưởng của ENSO đến hạn hán trên đất liền giai đoạn 1923-2010, kết hợp song song với sử dụng bộ số liệu quan trắc trong quá khứ về lượng mưa, dòng chảy và các chỉ số hạn hán. Các kết quả đều cho thấy sự khô hạn từ các tính toán mô hình có xu hướng tăng trên nhiều vùng kể từ năm 1950, và phù hợp với tính toán từ bộ số liệu quan trắc trong quá khứ. Từ đó, tác giả nhận định rằng sự lan rộng hạn hán trong 30-90 năm tới trên nhiều khu vực xuất phát từ sự giảm lượng mưa hoặc sự tăng lượng bốc hơi nước [39].

Cai và cs. (2013) nghiên cứu tác động của BĐKH đến hạn hán khí tượng, hạn hán thủy văn và hạn hán nông nghiệp ở vùng trung tâm Illinois dựa trên kỹ thuật hạ quy mô động lực thông qua mô hình khí hậu khu vực (RCMs) đã đánh giá được tần suất, cường độ, độ dài hạn hán cũng như tác động lan truyền từ hạn hán khí tượng đến hạn hán nông nghiệp và hạn hán thủy văn theo các kịch bản BĐKH. Ở mức độ hạn nặng, hạn hán nông nghiệp nhạy cảm hơn với biến đổi khí hậu, so với hạn hán khí tượng và hạn hán thủy văn. Dưới tác động của BĐKH, cường độ, tần suất và độ dài hạn hán có mức độ giảm dần theo thứ tự ba loại hạn thủy văn, nông nghiệp và hạn khí tượng. Điều này là do khi nhiệt độ tăng và lượng mưa giảm đáng kể suốt mùa vụ cây trồng (trong nghiên cứu này là đỗ tương và ngô) thì năng suất cây trồng bị ảnh hưởng đáng kể [102].

Nghiên cứu về nóng lên toàn cầu và sự thay đổi hạn hán của Trenberth và cs. (2014) cho rằng tăng nhiệt độ do nóng lên toàn cầu có thể không gây ra hạn hán nhưng BĐKH có thể làm hạn hán thêm nghiêm trọng và nhiều khả năng lan rộng ra các vùng khô cận nhiệt đới. Tác giả cũng nhấn mạnh tầm quan trọng của việc lựa chọn giai đoạn nghiên cứu hạn hán với BĐKH, trong đó cần lưu ý giai đoạn nghiên cứu 1950-2008 bao gồm BĐKH do tác động của con người [95].

Theo Phan Văn Tân và Vũ Thanh Hằng (2009), tác động của BĐKH toàn cầu đến hạn hán ở các vùng khí hậu Việt Nam từ năm 1961-2007 là không đáng kể do hạn hán là hiện tượng mang tính địa phương. Hạn hán có mối tương quan trực tiếp rất thấp với các chỉ số khí hậu quy mô lớn. Mối liên hệ giữa BĐKH với hạn hán trong nghiên cứu này thể hiện qua sự thay đổi về nhiệt độ và lượng mưa. Tuy nhiên, sự tăng giảm về tổng lượng mưa không phản ánh chính xác mức độ hạn hán. Điều này là do lượng mưa phân bố không đồng đều theo thời gian. Đối với vùng Tây Bắc và Bắc Trung bộ, số tháng hạn trong một năm có xu thế giảm nhẹ trong giai đoạn nghiên cứu [16].

Phan Văn Tân và Ngô Đức Thành (2013) đã nghiên cứu về biến đổi một số yếu tố và hiện tượng khí hậu của Việt Nam trong những thập kỷ gần đây bằng cách tính toán hệ số góc của đường hồi quy tuyến tính và hệ số góc Sen, sử dụng bộ số liệu quan trắc giai đoạn 1961-2007 trên 7 vùng khí hậu của Việt Nam, đồng thời sử dụng sản phẩm tổ hợp 3 mô hình khí hậu khu vực RegCM, CCAM và REMO (giai đoạn 2000-2050) để dự tính khí hậu tương lai. Các tác giả đã nhận định trong 50 năm qua nhiệt độ

trung bình của Việt Nam tăng $0,5^{\circ}\text{C}$, lượng mưa có xu hướng giảm ở phía Bắc và tăng ở phía Nam. Trong kết quả dự tính tương lai, xu hướng giảm về lượng mưa nói trên không xuất hiện. Hạn hán có xu hướng tăng nhưng biến động mạnh theo không gian. Hạn hán tháng và mùa không giống nhau giữa các vùng khí hậu, và giữa các nơi trong từng vùng [15].

1.3. Tổng quan về chỉ số hạn hán

Đã có hơn 150 chỉ số hạn hán bao gồm các chỉ số hạn hán khí tượng, các chỉ số hạn hán thủy văn và các chỉ số hạn hán nông nghiệp được phát triển nhưng hầu như không có một chỉ số nào có ưu điểm vượt trội so với các chỉ số khác trong mọi điều kiện. Cũng vì vậy, rất nhiều nghiên cứu so sánh giữa các chỉ số hạn hán cho từng vùng, từng khu vực để tìm ra chỉ số phù hợp nhất đã được tiến hành.

Byun và cs. (1999) [31], Panu và Sharma (2002) [82] và Mathugama (2011) [68] đều nhận định rằng xác định thời điểm bắt đầu và thời điểm kết thúc của hạn hán là một thách thức chủ yếu của nghiên cứu hạn hán bằng chỉ số hạn hán.

Năm 1957, Friedman đã đưa ra bốn tiêu chí cơ bản cho các chỉ số hạn hán, bao gồm: (i) Thời đoạn tính cần phù hợp với vấn đề cần giải quyết; (ii) Chỉ số hạn hán có thể tính toán được trên quy mô lớn, trong điều kiện hạn kéo dài; (iii) Chỉ số có thể áp dụng để giải quyết vấn đề; (iv) Ghi chép chính xác dài hạn của bộ dữ liệu đầu vào cho chỉ số cần sẵn có hoặc có thể tính toán được [52].

Byun (2009) đã đưa ra cái nhìn tổng quan cho 50 chỉ số hạn hán phổ biến và nhận định một số yếu tố cần có của một chỉ số hạn hán tốt: (i) Chỉ số hạn hán cần được tính toán dựa trên bản chất của hiện tượng tự nhiên, mà không bao gồm các hiện tượng xảy ra do hoạt động của con người; (ii) Độ ẩm đất và bốc hơi nước có thể được loại bỏ trong tính toán chỉ số hạn hán do biến động hàng năm theo mùa của chúng nhỏ, ảnh hưởng của chúng đến chỉ số hạn hán cũng tương đối nhỏ; (iii) Tính toán chỉ số hạn hán cần xem xét đến việc lượng mưa giảm nhanh chóng theo thời gian sau khi mưa [32].

Theo Olapido (1985), yếu tố chính ảnh hưởng đến hạn hán khí tượng vẫn là lượng mưa và đây là dữ liệu là tốt nhất cho phát hiện hạn hán khí tượng [80]. Nghiên cứu về những hạn chế của chỉ số *PDSI* (xem định nghĩa tại mục 2.1) năm 1984 của Alley cũng cho rằng mặc dù sử dụng đơn thuần dữ liệu lượng mưa chưa đủ tốt để đánh

giá hạn hán nhưng dữ liệu lượng mưa thường dễ dàng thu thập trong thời gian dài nên quá trình đánh giá không quá phức tạp. Đây là biến thay đổi chính trong hạn hán, đặc biệt là khi hạn hán khí tượng xuất phát từ sự thiếu hụt lượng mưa [23].

Mirsha và Singh (2010) đã đánh giá tổng hợp về ưu nhược điểm của chỉ số *SPI*. Các tác giả nhận định rằng cách tính toán tương đối đơn giản khiến *SPI* được sử dụng khá rộng rãi trong nhiều mặt nghiên cứu hạn hán như dự đoán hạn, phân tích tần suất, phân tích không gian và thời gian và nghiên cứu tác động khí hậu. Tuy nhiên, độ chính xác của *SPI* bị giới hạn bởi hàm phân phối xác suất do mức độ chính xác của *SPI* dựa trên mức độ chuỗi lượng mưa khớp với hàm phân phối. Giá trị *SPI* không nhất quán khi hàm phân phối khác nhau. Đối với những vùng khí hậu khô nơi lượng mưa phân bố theo mùa và lượng mưa thường bằng 0, sẽ có quá nhiều giá trị lượng mưa bằng 0 trong một mùa cụ thể. Trong những vùng khí hậu đó, tính toán *SPI* trong quy mô thời gian ngắn thường tuân theo hàm phân phối lệch (*Skew distribution*) thay vì hàm phân phối chuẩn. Điều này có thể gây ra lỗi trong khi mô phỏng phân phối lượng mưa ở vùng khí hậu khô trong điều kiện bộ mẫu số liệu mưa tương đối nhỏ [71].

Nghiên cứu so sánh các chỉ số hạn hán áp dụng ở quy mô vùng và khu vực của Paulo (2006) ở Alentejo - Bồ Đào Nha [83] kết luận rằng chỉ số *PDSI* và *SPI* đều cho những thông tin nhất quán về hạn hán nhưng *PDSI* bị giới hạn hơn so với *SPI* do nó đòi hỏi dữ liệu đầu vào phức tạp hơn, bao gồm cả dữ liệu cân bằng độ ẩm đất, trong khi *SPI* chỉ cần bộ dữ liệu về lượng mưa. Trong điều kiện giới hạn về dữ liệu đầu vào, *SPI* là chỉ số tương đối tốt. Tuy nhiên, tác giả cũng khuyến cáo kết hợp nhiều chỉ số hạn hán khác nhau để xác định các đặc điểm của hạn hán.

Keyantash và Dracup (2002) đã nêu ra sáu tiêu chí cơ bản để đánh giá chỉ số hạn hán: (i) Tính thiết thực (*Robustness*) – Sự hữu dụng trong nhiều điều kiện vật lý; (ii) Tính dễ vận dụng (*Tractability*) – liên quan đến khả năng áp dụng chỉ số hạn hán; (iii) Dễ hiểu (*Transparency*) – Sự rõ ràng trong mục đích và bản chất của chỉ số hạn hán; (iv) Mức độ tinh tế (*Sophistication*) – Một phương pháp đánh giá hạn hán có thể không thực sự dễ hiểu nhưng có thể đánh giá được từ một góc nhìn hợp lý. Mức độ tinh tế của một chỉ số hạn hán cần được hỗ trợ bởi chất lượng của dữ liệu sẵn có và độ chính xác của phương pháp đánh giá; (v) Khả năng mở rộng phạm vi (*Extendability*) – khả năng đánh giá hạn hán theo thời gian trong giai đoạn tương đối dài; và (vi) Quy

mô không gian (*Dimentionality*), trong đó tính thiết thực là tiêu chí quan trọng nhất [44].

Byun và Wilhite (1999) đã đánh giá hạn chế của những chỉ số hạn hán hiện tại [31], bao gồm:

- Định nghĩa giai đoạn thiếu hụt nước: Hạn hán xảy ra gắn liền với sự thiếu hụt nước liên tiếp so với trung bình của thời kỳ khí hậu nên chỉ số hạn hán cần dựa trên khái niệm thiếu hụt nước liên tiếp. Tuy nhiên, hầu hết chỉ số hạn hán hiện nay chỉ đánh giá sự thiếu hụt nước so với trung bình thời kỳ khí hậu cho một thời đoạn đã được xác định trước;
- Đơn vị thời gian của đánh giá hạn hán: Hầu hết chỉ số hạn hán hiện nay đánh giá hạn với đơn vị thời gian là tháng hoặc dài hơn. Thực tế, lượng nước thiếu hụt trong một sự kiện hạn có thể trở về mức bình thường chỉ trong một ngày mưa lớn dẫn đến đánh giá hạn hán theo tháng có thể không bắt được đầy đủ các sự kiện hạn;
- Xác định lượng nước dự trữ: Thiếu hụt nước trước hết tác động đến độ ẩm đất (trong một thời gian ngắn), sau đó tác động lan ra các hợp phần khác của hệ thống thủy văn (tích lũy trong thời gian dài hơn). Do đó, các chỉ số hạn hán nên phân biệt rõ hạn do thiếu hụt độ ẩm đất và hạn do thiếu hụt lượng nước tích trữ trong các hồ chứa. Các chỉ số hiện tại chưa làm rõ được hai loại nguyên nhân trên, ngoại trừ *PDSI* và *SWSI*;
- Tính đến sự giảm nước theo thời gian: Lượng nước sau mưa giảm dần theo đơn vị ngày trong một thời gian dài nên việc tính tổng lượng mưa thông thường có thể không phản ánh tốt về sự thiếu hụt lượng nước. Vì vậy, cần có một hàm phụ thuộc thời gian để ước tính lượng nước giảm;
- Dữ liệu đầu vào: Ngoài lượng mưa, nhiều dữ liệu đầu vào khác như độ ẩm đất, dòng chảy, bốc hơi, bốc thoát hơi nước còn nhiều hạn chế trong thu thập dữ liệu một cách chính xác.

Để khắc phục những nhược điểm trên của các chỉ số hạn hán, Byun và Wilhite (1999) đã đề xuất chỉ số hạn hán *EDI*. Đây được coi là một bước tiến trong nghiên cứu

hạn hán, đã giải quyết được một số hạn chế của các nghiên cứu hạn hán bằng chỉ số hạn hán trước đây. *EDI* tính đến lượng nước tích lũy với một hàm trọng số theo thời gian. Chỉ số này tính toán được mức độ khắc nghiệt của hạn hán hàng ngày, nên có thể dễ dàng tính được các sự kiện hạn ngắn. Việc sử dụng thuần túy bộ số liệu lượng mưa có thể đảm bảo độ chính xác khi xác định hạn hán khí tượng. Bên cạnh đó, *EDI* tính toán tổng thời gian mưa, có xét đến tính liên tục của các giai đoạn khô trong suốt quá trình tính toán nên nó có thể xác định hạn hán kéo dài liên tục nhiều năm [61].

Wanders và cs. (2010) khi nghiên cứu so sánh mức độ phù hợp của 14 chỉ số hạn hán trên quy mô toàn cầu, trong đó có chỉ số *SPI* và chỉ số *EDI* đã nhấn mạnh ưu điểm của chỉ số *EDI* trong tính toán hạn hán ở điều kiện khí hậu khô. Cụ thể, sự tính toán trên bộ số liệu dài hạn của chỉ số *EDI* giúp dễ dàng xác định được mức độ hạn hán với những tháng không mưa liên tiếp. Trong những giai đoạn khô này, *EDI* không gặp phải hạn chế về việc khớp chuỗi số liệu với hàm phân phối, do lượng mưa dùng trong tính toán *EDI* xét đến cả lượng mưa của những ngày trước đó (lên tới 365 ngày) [101].

Morid và cs. (2006) [73] đã so sánh bảy chỉ số tính hạn hán khí tượng: *DI* (Deciles Index), *PN* (Percent of Normal), *SPI* (Standard precipitation Index), *CZI* (China-Z-index), *MCZI* (modified *CZI*), *Z-score* (xem định nghĩa tại mục 2.1) và *EDI* (Effective drought index), nghiên cứu trường hợp tại Iran trong giai đoạn 1998-2001. Kết quả nghiên cứu cho thấy *SPI*, *CZI* và *Z-score* cho kết quả khá tương đồng trong việc xác định hạn hán, nhưng lại phản ứng khá chậm với thời điểm bắt đầu hạn hán. *DI* nhạy cảm với các sự kiện mưa của từng năm riêng lẻ nhưng lại không phù hợp tính toán trong thời gian và không gian dài. *SPI* và *EDI* có khả năng chỉ ra thời điểm khởi đầu hạn hán và có thể áp dụng được trong quy mô thời gian và không gian dài, đồng thời, cũng phù hợp đánh giá hạn hán ở quy mô tỉnh. Tuy nhiên, *EDI* cho thấy sự nhạy hơn và mô phỏng sự phát triển hạn hán tốt hơn cả về không gian và thời gian. Cụ thể, trong thang phân định cấp độ hạn hán, giá trị *SPI* ở mức bình thường cao hơn hẳn *EDI*, trong khi các mức hạn nặng và các mức thừa ẩm còn lại thì *EDI* có giá trị lớn hơn *SPI*. Tuy nhiên, do *EDI* cần sử dụng bộ số liệu lượng mưa ngày nên nó chỉ thích hợp với những nơi có khả năng thu thập bộ số liệu mưa ngày đầy đủ và dài hạn. Từ kết quả này, Akhtari và cs. (2009) đã sử dụng phương pháp nội suy để xác định phân bố không gian của hạn hán, sử dụng chỉ số *SPI* và *EDI* tại tỉnh Tehran, Iran [22].

Ở Việt Nam, Vũ Thanh Hằng và Trần Thị Thu Hà (2013) cũng đã tiến hành so sánh các chỉ số hạn hán *SPI*, *CZI*, *EDI*, *PN* cho bảy vùng khí hậu Việt Nam trong giai đoạn 1980-2007. Kết quả nghiên cứu cho thấy các chỉ số *SPI*, *CZI* và *EDI* cho kết quả khá tương đồng về mức độ hạn, trong đó sử dụng chỉ số *EDI* giúp phát hiện các đợt hạn vừa và hạn nặng tốt hơn [20]. Chỉ số *EDI* cũng được ứng dụng trong việc bản đồ hóa hạn hán khí tượng ở khu vực Nam Trung Bộ và Tây Nguyên trong nghiên cứu của Trần Thục (2012) [93].

Từ các nghiên cứu trên, có thể nhận thấy rằng *EDI* đảm bảo các điều kiện của một chỉ số hạn hán tốt và có khả năng lượng hóa được các đặc điểm của hạn hán.

1.4. Tổng quan khu vực nghiên cứu

1.4.1. Vị trí địa lý

Yên Châu là huyện miền núi biên giới, nằm về phía đông nam của tỉnh Sơn La; phía bắc giáp huyện Bắc Yên, phía tây giáp huyện Mai Sơn, phía đông giáp huyện Mộc Châu và phía nam giáp Cộng Hòa Dân Chủ Nhân Dân Lào. Tọa độ địa lý của huyện Yên Châu là $104^{\circ}10' - 104^{\circ}40'$ kinh độ Đông và $21^{\circ}07' - 21^{\circ}14'$ vĩ độ Bắc.

Huyện Yên Châu có diện tích đất tự nhiên là 843 km^2 , dân số 68.753 người (năm 2009). Yên Châu có 1 thị trấn và 14 xã: Chiềng Păn, Chiềng Tương, Lóng Phiêng, Tú Nang, Mường Lựm, Chiềng Hặc, Phiêng Khoài, Chiềng On, Yên Sơn, Chiềng Sàng, Chiềng Đông, Sập Vạt, Chiềng Khoi, Viêng Lán. Trung tâm huyện là thị trấn Yên Châu, nằm trên đường quốc lộ 6, cách thị xã Sơn La khoảng 64 km về hướng Đông Nam; có 47 km đường biên giới với Cộng Hòa Dân Chủ Nhân Dân Lào [21].

1.4.2. Đặc điểm địa hình

Địa hình Yên Châu đặc trưng bởi các dãy núi chạy theo hướng Tây Bắc – Đông Nam, kẹp giữa là một thung lũng thấp. Biên độ địa hình rất lớn, nơi thấp nhất chỉ khoảng 150m và nơi cao nhất lên đến trên 1500m (đỉnh núi nằm ở phía Bắc của Huyện Yên Châu).

Nhìn chung, địa hình khu vực Yên Châu có cấu trúc khá phức tạp, bị chia cắt mạnh. Có thể chia địa hình Yên Châu thành hai phần chính sau:

- Vùng lòng chảo Yên Châu có địa hình thấp, độ cao trung bình khoảng 400m so với mực nước biển, địa hình chia cắt phức tạp, phần lớn đất đai có độ dốc lớn. Mặt khác, đây là vùng trũng thấp kẹp giữa hai vùng núi cao do đó thường xuyên xảy ra các hiện tượng lũ quét, sạt lở khi có mưa lớn. Ngoài ra, vùng này còn là nơi tập trung phần lớn dân cư, là nơi diễn ra nhiều hoạt động sản xuất nông lâm nghiệp.
- Vùng núi có độ cao trung bình từ 900-1000m so với mực nước biển. Vùng này đặc trưng với các bãi khá bằng phẳng nằm xen giữa các dãy núi cao. Tuy nhiên, địa hình ở đây cũng bị chia cắt phức tạp, độ dốc lớn. Đây còn là vùng phát triển trồng các loại cây chuyên canh tập trung và chăn nuôi gia súc nên sự phụ thuộc vào nguồn nước rất cao. Hạn hán xảy ra sẽ là khó khăn chính cho canh tác nông nghiệp trên đất dốc, khi mà việc canh tác phụ thuộc nhiều vào lượng mưa.

1.4.3. Đặc điểm khí hậu

Yên Châu nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa, nóng ẩm mưa nhiều, kết hợp với các yếu tố vị trí địa lý, địa hình tạo cho Yên Châu sự phân dị về khí hậu, mặc dù diện tích của khu vực này không lớn. Yên Châu là một trong 9 trung tâm mưa nhỏ của cả nước với tổng lượng mưa hàng năm khoảng 1200-1400mm [10]. Theo thống kê của trạm khí tượng thủy văn Yên Châu thì mùa mưa bắt đầu từ tháng 5 đến tháng 10 hàng năm; mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Khí hậu khu vực Yên Châu được chia thành hai tiểu vùng khí hậu khác nhau:

- Vùng lòng chảo Yên Châu: Có khí hậu khô nóng, chịu ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam. Đặc trưng của khu vực này là chế độ nhiệt và số ngày nắng cao, lượng mưa nhỏ do bị bao bọc bởi các dãy núi cao, do đó nguy cơ hạn hán cao.
- Vùng núi cao, biên giới có khí hậu mát, độ ẩm cao, mang tính chất á nhiệt đới, có đặc trưng của khu vực Mộc Châu – Sơn La. Khu vực này thường mưa nhiều và có chế độ mưa nhiều vào các tháng giữa năm và hạn hán vào các tháng mùa khô. Mùa khô thường xảy ra rét đậm kéo dài, thường xảy ra sương muối ở vùng cao biên giới.

1.4.4. Điều kiện thủy văn

Địa hình chia cắt mạnh tạo cho Yên Châu có một hệ thống sông suối phong phú và phức tạp. Các hệ thống sông suối chính bao gồm: Hệ thống suối Sập, hệ thống suối Vạt và hệ thống suối Nậm Pàn. Tuy nhiên, hệ thống sông suối của khu vực phân bố không đều, tập trung chủ yếu ở vùng có quốc lộ 6 đi qua và một số xã vùng biên giới.

1.4.5. Tình hình sử dụng đất

Trong khu vực nghiên cứu, có ba loại hình sử dụng đất phổ biến là: (i) Nhóm đất nông nghiệp chiếm 76% diện tích đất tự nhiên; (ii) Nhóm đất phi nông nghiệp chiếm 3,62% diện tích đất tự nhiên; (iii) Đất chưa sử dụng chiếm 20,38% diện tích đất tự nhiên.

Trong nhóm đất nông nghiệp, trồng cây hàng năm chiếm 93,33% tổng diện tích, bao gồm các cây ngô, sắn xen các cây ngắn ngày. Hầu hết các cây hàng năm được canh tác trên vùng đất dốc, canh tác phụ thuộc phần lớn vào điều kiện thời tiết và phụ thuộc vào nước trời.

CHƯƠNG II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ SỐ LIỆU

Chương II cung cấp thông tin cơ bản về một số chỉ số hạn hán thường dùng và đặc biệt chú trọng vào giới thiệu chỉ số *EDI*, cũng như cách tính chỉ số *EDI*. Bên cạnh đó, thông tin về bộ số liệu đầu vào như lượng mưa, nhiệt độ, ENSO và phương pháp xử lý số liệu cũng sẽ được đề cập.

2.1. Các phương pháp xác định hạn hán

Nguyễn Đức Ngữ (2002) phân chia các phương pháp xác định hạn hán thành một số nhóm chính: Xác định hạn hán dựa trên lượng mưa; xác định hạn hán theo chỉ số hạn hoặc ẩm; xác định tần suất hạn.

Cách xác định hạn hán theo lượng mưa chỉ sử dụng giá trị lượng mưa thuần túy. Một số ngưỡng thường được sử dụng đã được tổng kết trong tài liệu của Nguyễn Đức Ngữ (2002) như sau: 10 ngày liên tiếp có lượng mưa không quá 5mm; Trên 21 ngày lượng mưa không vượt quá 30% lượng mưa trung bình của cùng thời kỳ; tối thiểu 15 ngày liên tiếp không có mưa; Năm hạn có lượng mưa không quá 75% lượng mưa trung bình các năm và tháng hạn có lượng mưa không quá 50% lượng mưa trung bình các tháng; Ít nhất 15 ngày liên tiếp có lượng mưa trung bình ngày tương đối thấp; Ít nhất 3 tháng liên tục lượng mưa dưới 50% lượng mưa trung bình nhiều năm cùng thời kỳ. Trong khi đó, ngưỡng hạn được áp dụng ở Việt Nam là ít nhất 20 ngày liên tục có tổng lượng mưa không quá 10mm, và ngày mưa nhiều nhất không quá 5mm; Tuần hạn là khi lượng mưa tuần không quá 5mm; Tháng hạn là tháng có lượng mưa tháng không quá 10mm [6]. Các ngưỡng lượng mưa dưới 2mm thường ít được sử dụng do nó liên quan đến độ chính xác của các trạm đo mưa và mục đích loại trừ những ngày mưa rất nhỏ xen giữa các đợt khô dài. Thay vào đó, ngưỡng lượng mưa ngày từ 25mm thường được sử dụng [68]. Nhìn chung, các khái niệm “những ngày liên tiếp”, “giai đoạn cụ thể”, “không mưa” và “ít mưa” như trên được đưa ra hoặc ước tính theo kinh nghiệm hơn là những giá trị được tính toán một cách khách quan. Các ngưỡng mưa tới hạn để xác định ngưỡng hạn cũng không thực sự thống nhất (2mm, 5mm, 10mm). Tương tự, giá trị số ngày liên tiếp cũng khác nhau tùy theo từng tác giả, như 15 ngày liên tiếp (Huschke, 1960) [57], 25 ngày liên tiếp (Steila, 1986) [92]. Theo Mathugama (2011), các khái niệm mà các ngưỡng giá trị và số ngày liên tiếp không nên được lựa chọn một cách chủ quan, mà phải tùy thuộc vào mục đích ứng dụng các khái niệm trên. Ví dụ như đối với canh tác lúa ở Srilanka, đợt khô được xác định khi có tối thiểu 7 ngày khô

liên tiếp, trong khi với trồng dừa, đợt khô có thể là 30 ngày. Với các nghiên cứu tác động của hạn hán thì đợt khô dài hơn 40 ngày sẽ hiệu quả hơn [68].

Tuy nhiên, theo Balayneh và Adamowski (2012), sử dụng chỉ số hạn hán trong đánh giá hạn được tin là có hiệu quả và phản ánh tốt hơn điều kiện hạn hán so với sử dụng dữ liệu khí tượng thuần túy [29].

Theo Nguyễn Đức Ngữ (2002) [6], xác định chỉ số hạn (hoặc ẩm) là phản ánh mức độ hạn qua một hàm hoặc một trị số phản ánh tương quan giữa phần thu và phần chi chủ yếu của cán cân nước trong khoảng thời gian t . Giá trị số thu được của chỉ số sẽ được so sánh với thang phân định các cấp hạn, từ đó xác định mức độ hạn. Công thức tổng quát phản ánh phương pháp xác định hạn này là:

$$H_t = \frac{C_t}{Th_t} \quad (1)$$

H_t là Chỉ số hạn trong thời gian t .

C_t là phần chi chủ yếu của cán cân nước trong thời gian t .

Th_t là phần thu chủ yếu của cán cân nước trong thời gian t .

Phép nghịch đảo của chỉ số hạn nói trên là chỉ số ẩm:

$$A_t = \frac{Th_t}{C_t} \quad (2)$$

Một số chỉ số hạn và chỉ số ẩm dựa trên cách xác định hạn nói trên cũng đã được tác giả tổng hợp. Lưu ý R_t biểu diễn lượng mưa (mm), T_t biểu diễn nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$).

- *Chỉ số ẩm theo Lang (1915)*

$$A_t = \frac{R_t}{T_t} \quad (3)$$

- *Chỉ số ẩm theo Koppen (1918)*

$$A_t = \frac{8R_t}{5T_t + 120} \quad (4)$$

- *Chỉ số ẩm theo Reidel (1928)*

$$A_t = \frac{N_t(R)}{T_t + 10} \quad (5)$$

$N_t(R)$ là số ngày mưa

- *Chỉ số ẩm theo Angstrum (1936)*

$$A_t = \frac{R_t}{(1.07)^{T_t}} \quad (6)$$

- *Chỉ số ẩm theo Selianinob (1948)*

$$A_t = \frac{R_t}{0,1 T_t} \quad (7)$$

- *Chỉ số ẩm theo Thornthwaite (1948)*

$$A_t = \left(\frac{R_t}{E_p} - 1 \right) \times 100 \quad (8)$$

E_p là lượng bốc hơi tiềm năng

- *Chỉ số ẩm theo Ivanov (1948)*

$$A_t = \frac{R_t}{0.0018(25+T_t)^2(100-r_t)} \quad (9)$$

r_t là độ ẩm (%)

- *Chỉ số khô theo Budyko (1950)*

$$H_t = \frac{P}{LR_t} \quad (10)$$

L là tiềm nhiệt hoá hơi

P là cán cân bức xạ

- *Chỉ số khô Penman*

$$H_t = \frac{PET}{R_t} \quad (11)$$

PET là khả năng bốc hơi tính theo phương pháp Penman (mm)

Cấp hạn theo chỉ số Penman được phân định theo các mức hạn là: Khô hạn (H_t từ $3,0 \leq H_t \leq 7,0$); Hạn ($H_t > 7,0$).

- *Chỉ số gió mùa tổng quát (GMI)*

Ở các nước trong khu vực nhiệt đới gió mùa, chỉ số gió mùa tổng quát GMI được sử dụng rộng rãi để tính toán chỉ số hạn:

$$GMI = W_i R_i (\%) \quad (12)$$

W_i là trọng số của lượng mưa thời đoạn nào đó so với lượng mưa cả thời kỳ

R_i là lượng mưa thời đoạn đó.

Mức độ khô hạn được xác định dựa trên giá trị của *GMI* theo các ngưỡng: Hạn vừa (*GMI* từ 2 đến 40%), hạn nặng (*GMI* từ 11 đến 20%) và hạn nghiêm trọng (*GMI* < 10%).

- *Chỉ số khô hạn*

Chỉ số khô hạn K_i dựa vào tỷ lệ giữa phần thu (lượng mưa) và phần chi (bốc hơi) của cán cân nước:

$$K_i = \frac{E_i}{R_i} \quad (13)$$

E_i là lượng bốc hơi tiềm năng

R_i là lượng mưa cùng thời kỳ

Hạn xảy ra khi lượng nước bốc hơi lớn hơn lượng mưa rơi xuống.

$K_i \geq 1$ được gọi là thời đoạn khô; $K_i < 1$ được gọi là thời đoạn ướt. Các cấp hạn phân theo giá trị của chỉ số K là: Hơi hạn (K từ 1,0 đến 2,0); Hạn (K từ 2,0 đến 4,0); Rất hạn (K lớn hơn 4,0).

Chỉ số khô hạn tích lũy K_n được tính như sau:

$$K_n = K_n + \sum_{i=1}^{n-1} (k_i - 1) \quad (14)$$

K_n là chỉ số khô hạn tích lũy ứng với thời đoạn n , tính bằng tổng của chỉ số khô hạn thời đoạn n và phần khô vượt trội của $n - 1$ thời đoạn trước đó.

n phản ánh số thời đoạn kéo dài tình trạng khô hạn (tháng, tuần).

- *Chỉ số CZI (China – Z Index):*

Được đề xuất bởi Trung tâm Khí tượng Quốc gia Trung Quốc (NMCC) vào những năm của thập niên 90 để theo dõi các điều kiện hạn hán và lũ lụt ở Trung Quốc, chỉ số *CZI* dựa trên phép lấy căn bậc ba của với giả định rằng dữ liệu lượng mưa tuân theo phân bố Pearson loại III [55]. Chỉ số *CZI* được xác định theo công thức:

$$CZlij = \frac{6}{Csi} \left(\frac{Csi}{2} \varphi_{ij} + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{Csi} + \frac{Csi}{6} \quad (15)$$

i là khoảng thời gian tính (1 tháng, 2 tháng, ..., 72 tháng);

j là tháng hiện tại.

Hệ số C_{si} được tính theo công thức:

$$Csi = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{n \times \sigma_i^3} \quad (16)$$

n là tổng số tháng trong chuỗi.

$$\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (17)$$

x_{ij} là lượng mưa của tháng j trong khoảng thời gian i .

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{n} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (18)$$

Và

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (19)$$

j là tháng hiện tại; C_s là hệ số của phân bố lệch; n là tổng số tháng được tính.

φ_j là biến tiêu chuẩn, còn gọi là *Z-Score* và x_j là lượng mưa của tháng j . Tuy nhiên, dữ liệu đầu vào cho tính toán chỉ số *Z-Score* không nhất thiết phải tuân theo phân bố Gama hay phân bố Pearson III.

Chỉ số *MCZI* được tính tương tự *CZI* nhưng giá trị trung vị của chuỗi lượng mưa được sử dụng thay vì giá trị trung bình của lượng mưa như trong *CZI*.

- *Chỉ số PN (Percent of Normal- Chỉ số phần trăm tỷ chuẩn)*

Là thước đo sự chênh lệch giữa lượng mưa thực tế R so với giá trị trung bình nhiều năm (giá trị chuẩn). Giá trị chuẩn có thể được tính cho từng tháng, từng mùa hoặc từng năm, và được xem bằng 100%. Đây là một trong những phương thức đơn giản nhất để đo lượng mưa của một vùng hay một mùa nhất định.

$$PN = \frac{R}{\bar{R}} \times 100\% \quad (20)$$

R là lượng mưa (tháng, mùa, vụ, năm,...)

\bar{R} là lượng mưa trung bình nhiều năm hoặc trung bình theo thời kỳ chuẩn 30 năm cùng thời kỳ.

Các ngưỡng của chỉ số này được phân chia như sau: Hạn rất nặng ($PN \leq 40$); Hạn nặng ($40 < PN < 55$); Hạn vừa ($55 \leq PN < 80$); Bình thường ($80 \leq PN < 110$); Âm ướt ($PN \geq 110$).

- *Chỉ số chuẩn hóa giáng thủy (SPI)*

Chỉ số chuẩn hóa giáng thủy (*SPI*) dựa trên dữ liệu lượng mưa dài hạn trong một khoảng thời gian, do do McKee và cs. (1993) đề xuất. Dữ liệu lượng mưa được đưa vào hàm phân bố xác suất, sau đó chuyển sang phân bố chuẩn, do đó, giá trị trung bình của *SPI* cho một vùng trong một giai đoạn nhất định bằng 0 (Daniel và McKee, 1997) [40]. *SPI* được tính toán bằng sự chênh lệch của lượng giáng thủy thực tế R (tổng lượng mưa tuần, tháng, mùa, vụ) so với trung bình nhiều năm và chia cho độ lệch chuẩn của cả giai đoạn tính σ :

$$SPI = \frac{R - \bar{R}}{\sigma} \quad (21)$$

Chỉ số *SPI* là một chỉ số không thứ nguyên: Khi các giá trị của *SPI* mang dấu âm thì nó chỉ ra hạn hán, còn mang giá trị dương tức là chỉ ra tình trạng thừa ẩm. Để đánh giá mức độ hạn hán ta cần so sánh các giá trị của *SPI* với các ngưỡng của bảng phân cấp hạn hán như sau:

Bảng 2.1. Phân cấp hạn theo chỉ số SPI

Cấp hạn	Các giá trị của SPI
Cực kỳ ẩm ướt	≥ 2
Rất ẩm ướt	1.5 đến 1.99
Tương đối ẩm ướt	1.0 đến 1.49
Bình thường	-0.99 đến 0.99
Hạn vừa	-1 đến -1.49
Hạn nặng	-1.5 đến -1.99
Hạn rất nặng	≤ -2

Hạn xảy ra trong thời gian *SPI* âm và cường độ đạt tới -1.0 hoặc nhỏ hơn, hạn kết thúc khi *SPI* trở lại dương.

Điểm mạnh của *SPI* là nó có thể tính toán trong rất nhiều quy mô thời gian khác nhau (3, 6, 12, 24 và 48 tháng). Sự linh hoạt này của *SPI* tạo điều kiện thuận lợi cho việc quản lý cung ứng nước ngắn hạn như quản lý độ ẩm đất, cũng như quản lý nguồn nước trong dài hạn như quản lý nước ngầm, dòng chảy, hồ và các bể chứa nước.

- *Chỉ số hạn theo Palmer (PDSI)*

Chỉ số Palmer được Palmer đề xuất năm 1965, được tính dựa trên một thuật toán xác định độ ẩm đất cho các vùng tương đối đồng nhất và được sử dụng rộng rãi ở Mỹ. *PDSI* là một chỉ số hạn khí tượng, nó cho thấy trạng thái của thời tiết là dị thường khô hay dị thường ẩm. Hạn được đo bởi chỉ số *PDSI* dừng lại ở việc không tính đến dòng chảy, hồ chứa nước và các tác động thủy văn trong một thời kì dài, ví dụ như trạng thái của thời tiết thay đổi từ khô, bình thường đến ẩm [60]. Chỉ số *PDSI* được tính toán dựa trên số liệu về lượng giáng thủy và nhiệt độ, cũng như là lượng nước hữu hiệu có trong đất (Available Water Content - AWC). Từ số liệu đầu vào, các điều kiện cơ bản, có thể được xác định phương trình cân bằng nước, bao gồm sự bốc thoát hơi nước, sự phục hồi của đất, dòng chảy mặt, mất ẩm ở lớp bề mặt. Các mô tả toàn diện về phương trình cân bằng nước có thể tìm thấy trong nghiên cứu cơ bản của Palmer (1965) [81] và phân tích gần đây hơn của Alley (1984) [23].

$$Z = K_j d = K_j (P - p) = K_j [P - (\alpha_j PE + \beta_j PR + \gamma_j PRO - \delta_j PL)] \quad (22)$$

Z: Chỉ số dị thường của độ ẩm;

d: Lượng nước thiếu hụt;

P: Lượng nước thực tế;

p: Lượng nước cần được cung cấp đủ về phương diện khí hậu

K_j : Hệ số của thời đoạn thứ j;

PE, PR, PRO, PL: tương ứng là lượng bốc thoát hơi, lượng nước hút được từ đất, lượng dòng chảy và lượng tổn thất;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: tương ứng là các hệ số của các thành phần nêu trên.

Bảng 2.2. Phân cấp hạn theo chỉ số *PDSI*

Cấp hạn	Các giá trị của <i>PDSI</i>
Bình thường	0,49 đến - 0,49
Bắt đầu hạn	- 0,5 đến - 0,99
Hạn nhẹ	- 1,0 đến - 1,99
Hạn vừa	- 2,0 đến - 2,99
Hạn nặng	- 3,0 đến - 3,99
Hạn rất nặng	< - 4,0

- *Chỉ số Ped*

$$Ped = \frac{\Delta T}{\partial T} - \frac{\Delta P}{\partial P} \quad (23)$$

Trong đó, ΔT và ΔP là độ lệch của nhiệt độ không khí và giáng thủy so với trung bình một thời kỳ xác định. ∂T và ∂P lần lượt là độ lệch chuẩn của nhiệt độ không khí và giáng thủy. Hạn xảy ra khi nhiệt độ tăng nhanh và giáng thủy giảm. Hạn bắt đầu khi giá trị Ped nằm trong khoảng 1 đến 2; Hạn vừa khi giá trị Ped nằm trong khoảng 2 đến 3; Hạn rất nặng khi giá trị Ped lớn hơn 3. Ped có thể áp dụng trong tính toán hạn trên qui mô thời gian là tháng, mùa, vụ.

- *Chỉ số khô cần (de Martonne Index – J index)*

Chỉ số J được De Martonne phát triển năm 1926 theo phương trình dưới đây:

$$J = \frac{12P}{(T + 10)} \quad (24)$$

J là chỉ số khô hạn theo tháng ($\text{mm}/^{\circ}\text{C}$)

P là lượng mưa tháng (mm)

T là nhiệt độ trung bình tháng ($^{\circ}\text{C}$)

Chỉ số J hàng năm được xác định theo phương trình dưới đây:

$$J = \frac{Pa}{(Ta + 10)} \quad (25)$$

P_a là tổng lượng mưa năm (mm)

T_a là nhiệt độ trung bình cả năm ($^{\circ}\text{C}$)

Các cấp hạn dựa trên giá trị của chỉ số J được xác định là: Hạn rất nặng ($J \leq 5$);

Hạn nặng ($5 < J \leq 20$); Hạn vừa ($20 < J \leq 30$).

2.2. Chỉ số hạn hán hữu hiệu (EDI)

Chỉ số hạn hán hữu hiệu (EDI – Effective Drought Index) là chỉ số phản ánh lượng nước tiêu chuẩn, được xác định dựa trên việc tính toán lượng mưa hữu hiệu (EP - Effective precipitation). Bản chất của chỉ số EDI là xác định lượng mưa hữu hiệu dựa trên nguyên tắc lượng mưa của một ngày sẽ giảm dần theo thời gian (do bốc hơi, dòng chảy...), do đó trọng số ảnh hưởng của nó lên lượng nước hữu hiệu của những ngày khác cũng sẽ giảm dần. Bên cạnh đó, chỉ số EDI thể hiện tác động tích lũy mang

tính lũy tiến của giai đoạn khô đóng góp vào sự hình thành hạn hán. Chỉ số *EDI* được tính theo các bước sau đây:

Bước 1: Tính *EP*

EP phản ánh lượng nước tích lũy từ lượng mưa trong một thời đoạn nhất định với lượng mưa giảm theo thời gian. *EP* bắt nguồn từ quan điểm lượng mưa của *m* ngày trước đó được tính vào tổng lượng nước sẵn có dưới dạng trung bình lượng mưa của *m* ngày [31] và được tính theo công thức:

$$EP_i = \sum_{n=1}^i \left[\left(\sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right] \tag{26}$$

Trong đó, *i* là số ngày mà lượng mưa được tính tổng. *P_m* biểu thị lượng mưa ngày thứ *m* trước một thời điểm cụ thể. Do 365 ngày là chu trình mưa toàn cầu chủ đạo [31, 79], nên trong nghiên cứu này, *i* trong biểu thức (26) được gán giá trị giả định là 365. Điều này có nghĩa *EP* của một ngày được biểu thị bằng lượng mưa tích lũy trong 365 ngày trước đó, với trọng số của lượng mưa giảm dần về đến 0 sau 365 ngày.

Cách diễn giải tường minh của biểu thức (26) là:

$$EP_{365} = \frac{P_1}{1} + \frac{P_1 + P_2}{2} + \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} + \dots + \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_{365}}{365} \tag{27}$$

Ví dụ tính *EP₃₆₅* của ngày 01/01/1962 theo biểu thức (29) thì:

P₁ là lượng mưa của ngày 31/12/1961

P₂ là lượng mưa của ngày 30/12/1961

P₃ là lượng mưa của ngày 29/12/1961

...

P₃₆₅ là lượng mưa của ngày 01/01/1961.

Như vậy, để tính *EP* của một ngày bất kỳ trong năm, cần có dữ liệu lượng mưa của 365 ngày trước đó.

Bước 2: Tính *MEP*

MEP là giá trị trung bình của *EP* mỗi ngày trong cả giai đoạn khí hậu, phản ánh lượng nước theo ngày của trung bình thời kỳ khí hậu.

Ví dụ *MEP* của ngày 01/01 trong giai đoạn 30 năm từ 1961 đến 1990 là:

$$MEP_{01/01} = (EP_{01/01/1961} + EP_{01/01/1962} + \dots + EP_{01/01/1990})/30 \tag{28}$$

Bước 3: Tính *DEP*

DEP là độ lệch của *EP* so với *MEP*, phản ánh lượng nước thiếu hụt (hoặc dư thừa) so với giá trị trung bình thời kỳ khí hậu và được tính theo công thức:

$$DEP = EP - MEP \quad (29)$$

DEP có giá trị âm là dấu hiệu của sự khô hơn mức trung bình của thời kỳ khí hậu. Những ngày liên tiếp có giá trị *DEP* âm được gọi là giai đoạn khô. Một khi giai đoạn khô xuất hiện (hay *DEP* có giá trị âm), cộng thêm số ngày khô kéo dài vào giai đoạn đang tính ($i=365$), và tính lại *EP* theo thời đoạn tính mới. Với chỉ số *EP* của giai đoạn tính mới, lặp lại tính *MEP* và *DEP* lần lượt như trong bước 2 và bước 3.

Bước 4: Tính EDI

EDI là thương của *DEP* với độ lệch chuẩn của *DEP* trong cả giai đoạn tính (ký hiệu là *SD (DEP)*), theo công thức:

$$EDI = DEP/SD(DEP) \quad (30)$$

EDI thể hiện giá trị tiêu chuẩn cho nguồn nước sử dụng được hiện thời, có tính đến tác động tích lũy của giai đoạn khô. Khi *DEP* có giá trị âm nhiều hơn một ngày, thời đoạn tính (*i*) của *EDI* sẽ được tăng lên theo số các ngày khô liên tiếp. Độ lớn của biến được cộng thêm là không giới hạn. Cấp độ hạn sẽ được xác định khi so sánh trong thang phân chia dưới đây [61]:

Bảng 2.3. Phân cấp hạn theo chỉ số EDI

Cấp hạn	Các giá trị của EDI
Cực kỳ ẩm ướt	≥ 2.0
Rất ẩm ướt	1.0 đến 2.0
Tương đối ẩm ướt	0.5 đến 1.0
Bình thường	-0.5 đến 0.5
Hạn vừa	-1.0 đến -0.5
Hạn nặng	-2.0 đến -1.0
Hạn rất nặng	≤ -2.0

Theo bảng cấp loại cấp độ hạn ở trên, giai đoạn hạn là giai đoạn mà *EDI* có giá trị nhỏ hơn -0.5. Giai đoạn khô ở giữa các giai đoạn hạn được tính vào giai đoạn hạn nếu không có giá trị *EDI* dương nào xuất hiện trong giai đoạn khô. Ngày bắt đầu hạn là ngày có *EDI* nhỏ hơn hoặc bằng -0,5. Đợt hạn hán kết thúc khi giá trị *EDI* của đợt hạn lớn hơn -0,5.

EDI là có ưu điểm là nó phản ánh được lượng nước sẵn có hiện tại thông qua sự tích lũy lượng mưa theo thời gian. Chỉ số được chuẩn hóa độc lập với điều kiện của vùng khí hậu nên *EDI* có thể ứng dụng ở bất kỳ vùng khí hậu nào. Bên cạnh đó, *EDI* tính hạn hán dựa trên số liệu ngày, và các giá trị của *EDI* cũng là giá trị của mỗi ngày trong giai đoạn tính nên việc xác định ngày bắt đầu, ngày kết thúc, độ dài đợt hạn là có thể thực hiện được.

Tuy nhiên, do tính toán *EDI* trên bộ số liệu lượng mưa ngày nên bộ dữ liệu lượng mưa dùng để đánh giá hạn hán cần đầy đủ và để đảm bảo độ chính xác của kết quả. Theo Byun và Wilhite (1999), số liệu lượng mưa lỗi phải đảm bảo nhỏ hơn 1% khi tính hạn hán theo *EDI* [31].

Dựa trên cách tính toán *EP* và *EDI*, Byun và Lee (2002) đã đề xuất chỉ số lượng nước sẵn có (*AWRI* - Available Water Resource Index). *AWRI* được tính từ giá trị lượng mưa tích lũy trừ đi lượng nước thất thoát (do dòng chảy, bốc thoát hơi nước, sự thấm nước). Chỉ số *AWRI* được tính theo công thức:

$$AWRI = EPi/W \quad (31)$$

Trong đó, *EP* được tính tương tự như trong biểu thức (26). *i* biểu thị số ngày tích lũy và được gán giá trị 365. Do tính toán dựa trên *EP*, *AWRI* có tính đến sự giảm lượng nước sau mưa theo ngày. *W* được tính như sau:

$$W = \sum_{n=1}^i \left(\frac{1}{n}\right) \quad (32)$$

Công thức tính *AWRI*, với $i=365$ có thể được diễn giải tường minh như sau:

Nhóm các giá trị P_1, P_2, \dots, P_{365} từ biểu thức (27) ta được biểu thức (33) dưới đây:

$$EP_{365} = P_1 \left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{365}\right) + P_2 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{365}\right) + \dots + P_3 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{365}\right) + P_{365} \left(\frac{1}{365}\right) \quad (33)$$

và

$$W = \sum_{n=1}^i \left(\frac{1}{n}\right) = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{365} = 6,48 \quad (34)$$

Thay biểu thức (33) và (34) vào công thức (31) ta có:

$$AWRI = \frac{P_1(W)}{W} + \frac{P_2(W-1)}{W} + \frac{P_3(W-1-\frac{1}{2})}{W} + \dots + \frac{P_{365}(W-1-\frac{1}{2}-\dots-\frac{1}{364})}{W} \quad (35)$$

Hay

$$AWRI = P_1 + P_2 \left(1 - \frac{1}{W}\right) + P_3 \left(1 - \frac{1}{2W}\right) + \dots + P_{365} \left(1 - \frac{1}{W} - \dots - \frac{1}{364W}\right) \quad (36)$$

Thay giá trị $W = 6,48$ trong biểu thức (34) vào biểu thức (36) ta được:

$$AWRI = P_1 + 0.85P_2 + 0.77P_3 + \dots + 0.001P_{365} \quad (37)$$

Giá trị $AWRI$ càng lớn biểu thị lượng nước dư thừa càng nhiều, và ngược lại. Do vậy, $AWRI$ cho phép nhà quản lý nước dễ dàng nắm được lượng nước sẵn có. Kim và cs. (2009) cũng nhận định rằng việc sử dụng kết hợp EDI và $AWRI$ có thể tính toán được cả hạn hán khí tượng và hạn hán thủy văn [79].

Để làm rõ được các đặc điểm hạn hán, nghiên cứu này áp dụng cách định nghĩa các đặc điểm hạn hán của Dracup và cs. (1980) [43]. Theo đó, độ dài, mức độ khắc nghiệt, cường độ hạn hán sẽ được xác định như sau:

- Độ dài hạn hán (Drought duration): Tính bằng số ngày từ khi bắt đầu một sự kiện hạn hán ($EDI \leq -0,5$) đến ngày thúc sự kiện hạn đó ($EDI > -0,5$).
- Mức độ khắc nghiệt của hạn hán (Drought severity): Tính bằng tổng giá trị của EDI trong suốt sự kiện hạn. Do chỉ số EDI có giá trị âm khi hạn hán xảy ra nên khi vẽ biểu đồ thể hiện xu thế biến đổi mức độ khắc nghiệt của hạn hán, giá trị EDI sẽ được lấy trị tuyệt đối để đảm bảo biểu thị đúng xu hướng hạn.
- Cường độ hạn hán (Drought intensity): Tính bằng mức độ khắc nghiệt của một sự kiện hạn chia cho độ dài của sự kiện hạn đó.

Bên cạnh việc sử dụng chỉ số EDI trong đánh giá các đặc điểm hạn hán, nghiên cứu này cũng sử dụng một số chỉ số hạn hán khác như chỉ số hạn SPI , K , Ped và J nhằm đánh giá một cách tương đối mức độ hiệu quả của chỉ số EDI trong đánh giá hạn hán. Các chỉ số hạn hán được áp dụng cũng như các cấp hạn của từng chỉ số được tổng hợp ở bảng dưới đây:

Bảng 2.4. Các chỉ số hạn hán được sử dụng và phân cấp hạn tương ứng

Cấp hạn/ chỉ số	EDI	SPI	K	Ped	J
Hạn vừa	-1,0 đến -0,5	-1,5 đến -1,0	1,0 đến 2,0	1,0 đến 2,0	20 đến 30
Hạn nặng	-2,0 đến -1,0	-2,0 đến -1,5	2,0 đến 4,0	2,0 đến 3,0	5 đến 20
Hạn rất nặng	$\leq -2,0$	$\leq -2,0$	$\geq 4,0$	$\geq 3,0$	≤ 5

2.3. Số liệu

Số liệu dùng trong tính toán hạn hán theo chỉ số EDI cho giai đoạn 1962-2011 là số liệu lượng mưa ngày từ năm 1961 đến năm 2011 của trạm khí tượng Yên Châu.

Số liệu lượng mưa ngày năm 1961 được sử dụng là do chỉ số *EDI* tính lượng nước hữu hiệu dựa trên lượng mưa của 365 ngày trước đó. Các số liệu lượng mưa ngày bị lỗi được lấp đầy bằng trung bình lượng mưa của ngày đó trong cả giai đoạn tính. Do biến động của lượng mưa ngày tương đối lớn nên trung bình mưa ngày của thời kỳ khí hậu được tính theo phương pháp trung bình trượt 5 ngày. Số liệu lượng mưa của 14 ngày trong tổng số 18980 ngày đã được thay thế theo cách tính trên. Lượng mưa ngày của ngày 29/02 trong các năm nhuận được cộng vào lượng mưa của ngày 28/02.

Các số liệu khí tượng dùng trong tính toán các chỉ số khác như *Ped*, *J*, *K* là số liệu về nhiệt độ không khí theo ngày ở độ cao 2m (T2m); tốc độ bốc thoát hơi nước từ năm 1962 đến năm 2011 của trạm khí tượng Yên Châu. Các số liệu lỗi được lọc theo quy tắc 3-sigma (loại bỏ những giá trị nằm ngoài khoảng giá trị trung bình $\pm 3\sigma$). Trong nghiên cứu này, 42 trong tổng số 18263 số liệu nhiệt độ ngày và 77 số liệu tốc độ bốc thoát hơi nước theo ngày đã được loại bỏ theo quy tắc 3-sigma.

Dữ liệu về Dao động Nam – El Niño (ENSO) được lấy từ trang web của Bộ Thời tiết Quốc Gia – Trung tâm dự tính khí hậu NOAA [35]:

www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Các tháng El Niño và La Niña được xác định dựa trên chỉ số Niño đại dương (ONI – Oceanic Niño Index) (tính bằng trung bình trượt 3 tháng dị thường SST ở vùng Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W) từ bộ số liệu ERSST.v3b), dựa trên thời kỳ chuẩn 30 năm, cập nhật mỗi 5 năm. Tháng El Niño là những tháng có ngưỡng dị thường SST tối thiểu lớn hơn 0,5°C; Tháng El Niño mạnh là những tháng có ngưỡng dị thường SST $\geq 1,5^\circ\text{C}$. Tháng La Niña là những tháng có dị thường SST $< -0,5^\circ\text{C}$ và tháng La Niña mạnh là những tháng có dị thường SST $\leq -1,5^\circ\text{C}$. Giai đoạn nóng và lạnh được xác định khi dị thường SST đạt ngưỡng tối thiểu của 5 tháng liên tiếp trùng lặp.

So với dữ liệu ENSO của Nguyễn Đức Ngữ (2007) [7], bộ dữ liệu của NOAA có các sự kiện ENSO khá tương đồng (*xem phụ lục*). Tuy nhiên, để có dữ liệu ENSO cập nhật nhất trong thời kỳ tính toán (từ năm 1962 đến năm 2011), nghiên cứu này sử dụng dữ liệu từ NOAA. Dữ liệu ENSO từ NOAA được tổng hợp trong bảng dưới đây:

Bảng 2.5a. Các đợt El Niño theo NOAA

Số TT	Đợt El Niño	Tháng bắt đầu	Tháng kết thúc	Thời gian kéo dài	Cực đại SSTA (°C) và tháng xuất hiện	
1	1963/1964	6/1963	2/1964	9	1,4	11/1963
2	<u>1965/1966</u>	5/1965	4/1966	12	1,9	10, 11/1965

Số TT	Đợt El Niño	Tháng bắt đầu	Tháng kết thúc	Thời gian kéo dài	Cực đại SSTA (°C) và tháng xuất hiện	
3	1968/69/70	8/1968	1	18	1,1	1, 2/1969
4	<u>1972/1973</u>	5/1972	3/1973	11	2,1	11,12/1972
5	1976/1977	9/1976	2/1977	6	0,8	11,12/1976
6	1977/1978	9/1977	2/1978	6	0,8	11,12/1977
7	<u>1982/1983</u>	5/1982	6/1983	14	2,2	12/1982; 1/1983
8	<u>1986/87/88</u>	8/1986	2/1988	19	1,6	8, 9/1987
9	<u>1991/1992</u>	5/1991	6/1992	14	1,6	1/1992
10	1994/1995	9/1994	3/1995	7	1,2	12/1994
11	<u>1997/1998</u>	5/1997	4/1998	12	2,4	11/1997
12	2002/2003	5/2002	2/2003	10	1,3	11, 12/2002
13	2004/2005	7/2004	1/2005	7	0,8	9/2004
14	2006/2007	9/2006	1/2007	5	1,0	11, 12/2006
15	<u>2009/2010</u>	7/2009	4/2010	10	1,6	12/2009; 1/2010

Ghi chú: Các đợt có gạch dưới là đợt El Niño mạnh

Bảng 2.5b. Các đợt La Niña

Số TT	Đợt La Niña	Tháng bắt đầu	Tháng kết thúc	Thời gian kéo dài	Cực đại SSTA (°C) và tháng xuất hiện	
1	1964/1965	5/1964	1/1965	9	-0,8	9, 10, 11, 12/1964
2	1970/71/72	7/1970	1/1972	19	-1,3	2/1971
3	<u>1973/1974</u>	5/1973	7/1974	15	-2,0	12/1973
4	<u>1974/75/76</u>	10/1974	4/1976	19	-1,7	12/1975
5	1983/1984	9/1983	1/1984	5	-0,9	11/1983
6	1984/1985	10/1984	9/1985	12	-1,1	12/1984
7	<u>1988/1989</u>	5/1988	5/1989	13	-1,9	11, 12/1988
8	1995/1996	9/1995	3/1996	7	-0,9	11, 12/1995; 1/1996
9	<u>1998/99/00/01</u>	7/1998	3/2001	33	-1,7	12/1999; 1/2000
10	2005/2006	11/2005	3/2006	5	-0,9	1/2006
11	<u>2007/2008</u>	8/2007	6/2008	11	-1,5	1,2/2008
12	2008/2009	11/2008	3/2009	5	-0,8	1/2009
13	<u>2010/2011</u>	7/2010	4/2011	10	-1,5	10, 11, 12/2010
14	2011/2012	9/2011	4/2012	8	-1,0	11, 12/2011

Ghi chú: Các đợt có gạch dưới là các đợt La Niña mạnh

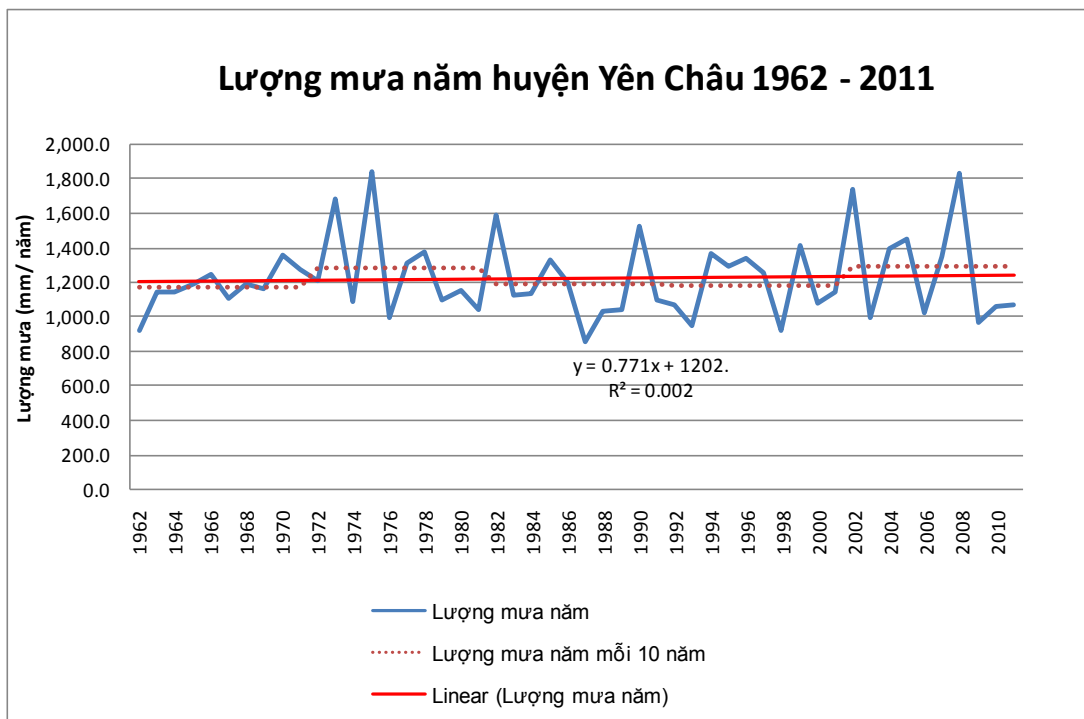
CHƯƠNG III. SỰ BIẾN ĐỔI HẠN HÁN VÀ MỐI LIÊN HỆ VỚI BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU Ở HUYỆN YÊN CHÂU

3.1. Xu thế biến đổi lượng mưa, nhiệt độ huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011

Yên Châu là huyện miền núi phía Tây Bắc Việt Nam có điều kiện khí hậu tương đối đặc biệt do lượng mưa bình quân hàng năm tương đối thấp, từ 1200-1400mm/năm [10]. Chính vì vậy khô và hạn hán là một hiện tượng khá phổ biến ở Yên Châu. BĐKH toàn cầu có ảnh hưởng không giống nhau đến hạn hán của từng khu vực. Do đó, khi đánh giá đặc điểm hạn hán ở địa phương trong điều kiện BĐKH có thể xem xét tác động của BĐKH đến hạn hán thông qua sự biến đổi về lượng mưa và nhiệt độ [16]. Biến động lượng mưa năm và nhiệt độ trong giai đoạn 1962-2011 lần lượt được biểu diễn trong hình 3.1 và hình 3.2.

Từ hình 3.1 có thể thấy rằng trong suốt 50 năm từ 1962 đến 2011, tổng lượng mưa hàng năm ở huyện Yên Châu có xu hướng tăng nhưng mức độ tăng không đáng kể. Lượng mưa trung bình năm của 10 năm đầu tiên của giai đoạn tính (từ 1962 đến 1971) là 1127,7mm/năm trong khi lượng mưa trung bình của thập kỷ cuối giai đoạn tính (từ 2002 đến 2011) là 1287,0mm/năm.

Tổng lượng mưa hàng năm của Yên Châu dao động tương đối lớn, từ 850mm đến 1800mm. Trong đó, lượng mưa dưới mức 1100mm/năm dường như xuất hiện thường xuyên hơn trong giai đoạn 1987-2011.

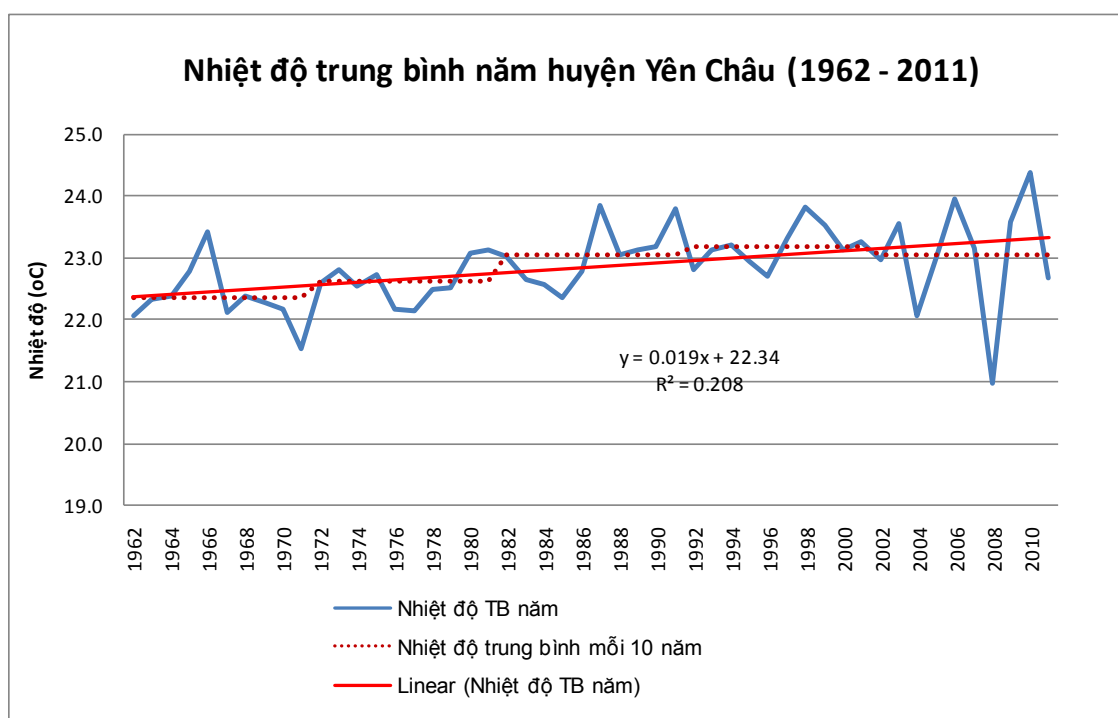


Hình 3.1. Biến trình lượng mưa hàng năm huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011

Trong khi đó, nhiệt độ trung bình năm của Yên Châu có xu hướng tăng rõ rệt trong 50 năm qua, ngoại trừ sự giảm mạnh về nhiệt độ các năm 1971 và 2008.

Trong thập kỷ đầu tiên của giai đoạn tính (từ 1962 đến 1971), nhiệt độ trung bình năm ở huyện Yên Châu là 22,4°C trong khi nhiệt độ trung bình năm của thập kỷ cuối giai đoạn tính (từ 2002 đến 2011) là 23,0°C. Như vậy, nhiệt độ bình quân hàng năm ở huyện Yên Châu đã tăng xấp xỉ 0,6°C trong 50 năm.

Nhiệt độ giảm mạnh vào các năm 1971 và 2008 (lần lượt ở mức 21,5°C và 21,0°C) trùng với các đợt La Niña mạnh và kéo dài với 18 tháng La Niña năm 1970-1971 và 8 tháng La Niña năm 2008 (xem bảng 2.5b).

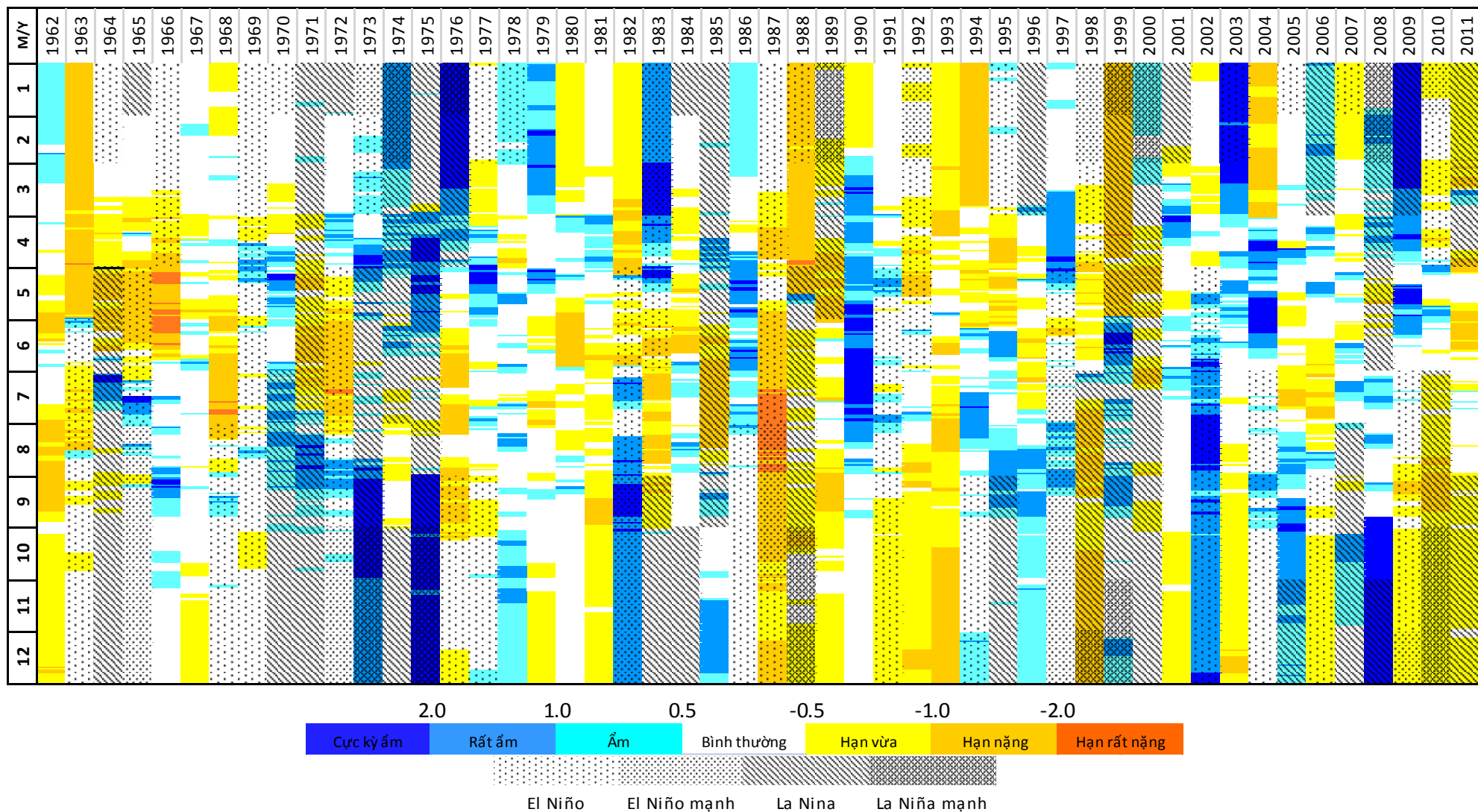


Hình 3.2. Biến trình nhiệt độ trung bình năm huyện Yên Châu (1962-2011)

3.2 Đặc điểm và sự biến đổi hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011

3.2.1 Sự biến đổi xu thế hạn hán huyện Yên Châu

Hình 3.3 đưa ra cái nhìn tổng quan về sự phân bố các đợt hạn của 365 ngày trong năm và mối tương quan của nó với các sự kiện ENSO trong giai đoạn 1962 đến 2011. Ngày bắt đầu và ngày kết thúc của các đợt hạn, mức độ hạn cũng như các sự kiện hạn kéo dài từ năm này sang năm cũng được thể hiện dựa trên thang phân loại mức độ hạn.



Hình 3.3. Sự biến đổi xu thế hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011

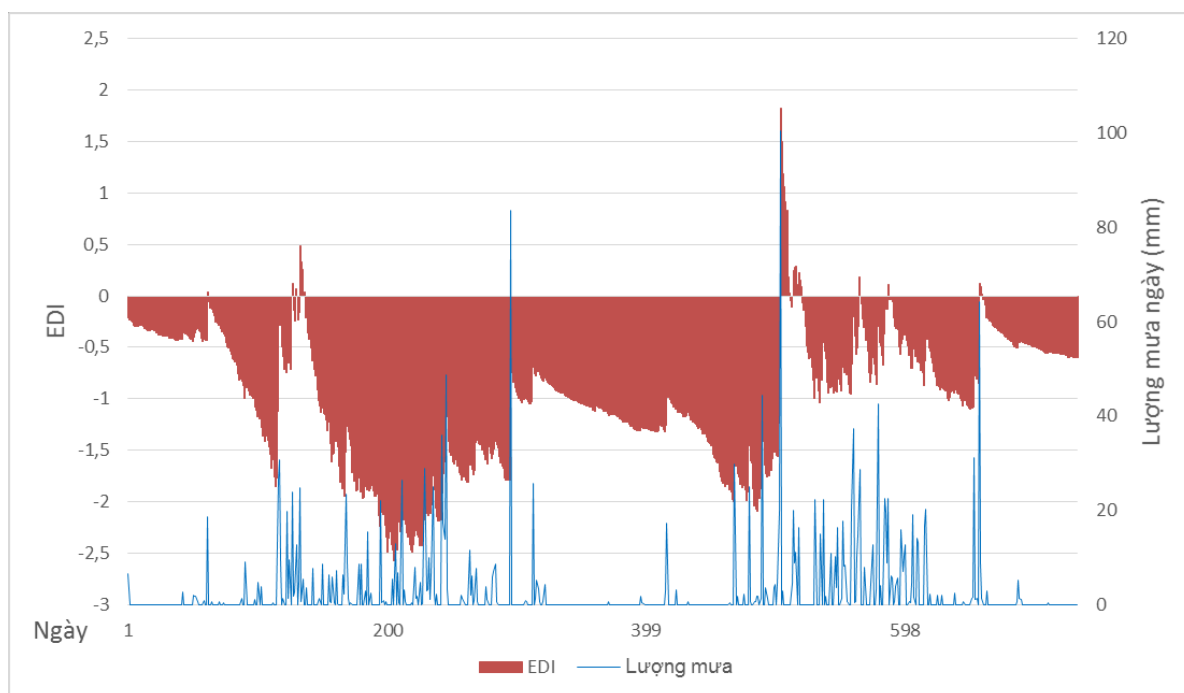
Trong các tháng mùa đông (tháng 11, 12, 1, 2) và các tháng chuyển tiếp (tháng 3, 4, 9, 10), các đợt hạn nặng và hạn vừa thường dài và bền vững, trong khi không có đợt hạn nào ở mức hạn rất nặng được ghi nhận. Điều này có thể là do lượng mưa trong mùa đông tương đối thấp và ổn định. Bên cạnh đó, El Niño cũng thể hiện rõ rệt hơn trong mùa đông. Ngược lại, các sự kiện hạn ngắn và gián đoạn được thấy rõ hơn trong mùa hè. Điều này có thể lý giải do mùa mưa ở miền bắc Việt Nam rơi vào mùa hè. Mưa là yếu tố gây nhiễu giữa các sự kiện hạn. Các sự kiện hạn hán rất nặng cũng được ghi nhận trong mùa hè, đặc biệt là ở những năm có El Niño như 1966, 1987-1988, 1998-1999. Từ năm 1987, hạn hán xuất hiện dày hơn và các đợt hạn kéo dài cũng xuất hiện thường xuyên hơn. Đồng thời, 10 sự kiện hạn kéo dài từ năm này qua năm khác trong 50 năm qua cũng được xác định. Thời điểm bắt đầu, thời điểm kết thúc và độ dài của 10 sự kiện hạn liên năm nói trên được thể hiện trong bảng 3.6.

Bảng 3.6. Các sự kiện hạn kéo dài liên năm trong 50 năm qua ở huyện Yên Châu

STT	Thời điểm bắt đầu hạn	Thời điểm kết thúc hạn	Độ dài đợt hạn (ngày)
1	04/10/1962	30/05/1963	239
2	17/10/1979	14/03/1980	149
3	18/11/1981	05/05/1982	169
4	21/05/1987	16/05/1988	361
5	10/09/1992	12/04/1993	215
6	20/09/1993	26/03/1994	188
7	16/09/1998	25/04/1999	222
8	10/09/2003	01/04/2004	204
9	04/10/2006	26/02/2007	146
10	26/07/ 2010	15/03/2011	233

Để hiểu rõ hơn về chỉ số EDI, đợt hạn ở cấp độ hạn rất nặng kéo dài nhất trong 50 năm qua ở huyện Yên Châu (đợt hạn liên năm từ 05/1987 đến 05/1988) sẽ được phân tích cụ thể thông qua hình 3.4. Hình 3.4 thể hiện mối tương quan giữa chỉ số *EDI* với lượng mưa ngày trong 730 ngày của năm 1987 và năm 1988. Từ hình vẽ có thể thấy từ ngày 1 đến ngày 61 (tháng 1 – tháng 2/1987), lượng mưa ngày dao động trong khoảng 0mm đến 6,5mm/ngày với chỉ số *EDI* dao động ở mức -0,5 đến 0, thể hiện điều kiện bình thường và không có hạn hán. Trong khi đó, lượng mưa từ ngày 193 đến ngày 234 (tháng 7 – tháng 8/1987) dao động ở mức 5mm đến 10mm/ngày, có ngày đạt

mức 28,9mm/ngày nhưng chỉ số *EDI* vẫn thể hiện mức hạn rất nặng (*EDI* có giá trị từ -2 đến -2,5). Tương tự, lượng mưa từ ngày 322 đến ngày 450 (tháng 11/1987 – 3/1988) gần như bằng 0, có giá trị *EDI* tương ứng dao động từ -1,5 đến -1. Trong khi đó, lượng mưa này 451 đến ngày 487 (tháng 3/1988 – tháng 5/1988) có lượng mưa ngày lên tới 29,8 mm/ ngày nhưng *EDI* thể hiện hạn hán ở mức hạn nặng (giá trị *EDI* từ -2 đến -1,5). Điều này có thể được lý giải thông qua bản chất của chỉ số *EDI*: Lượng mưa hữu hiệu của một ngày được xác định dựa trên lượng mưa của những ngày trước đó, với trọng số ảnh hưởng của lượng mưa giảm dần theo thời gian (Dựa trên công thức 26 - phần 2.2). Do vậy, khi lượng mưa giảm nhưng lượng nước hữu hiệu tích lũy từ những ngày mưa trước đó vẫn đủ bù đắp thì hạn hán chưa xảy ra hoặc chưa đạt đến mức hạn nặng. Và ngược lại, có giai đoạn lượng mưa tăng lên nhưng chưa đủ bù đắp lượng nước thiếu hụt do giai đoạn khô trước đó thì hạn hán vẫn xảy ra. Thêm vào đó, giai đoạn khô có tác động lũy tiến, đóng góp vào mức độ hạn của giai đoạn tiếp theo (Dựa trên bước 3 – phần 2.2).



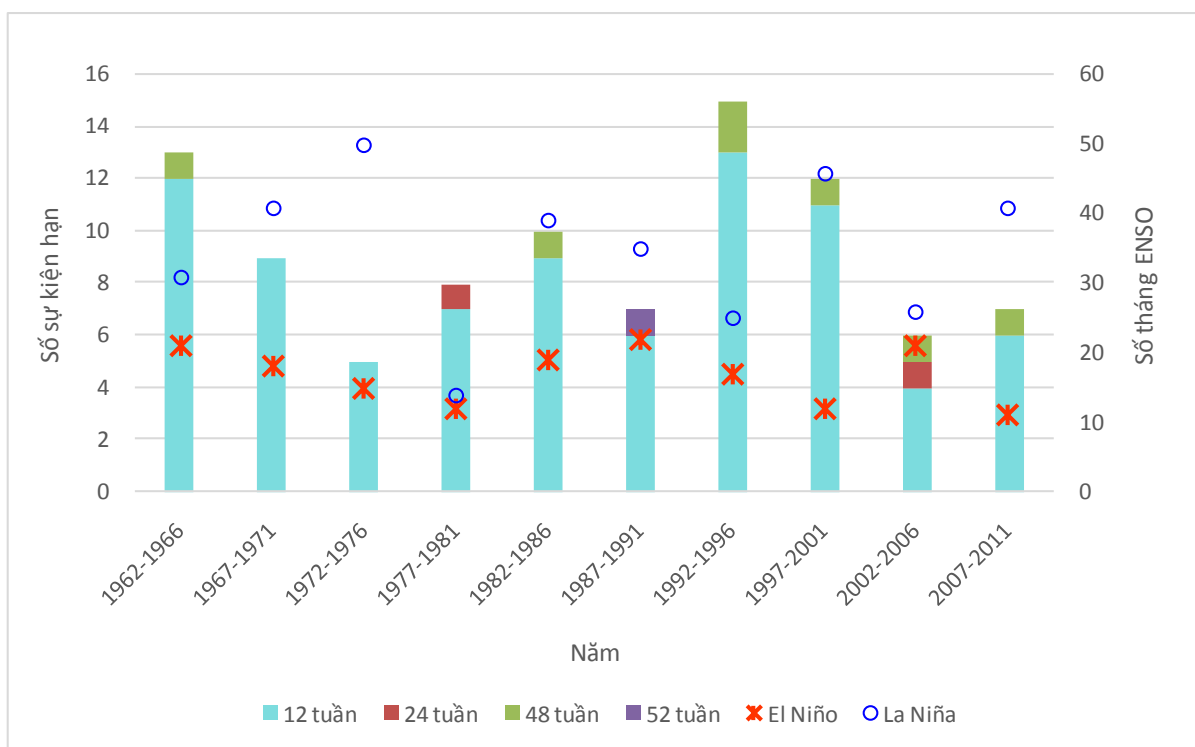
Hình 3.4. Tương quan giữa chỉ số EDI và lượng mưa năm 1987-1988

3.2.2. Tần suất hạn hán

Tần suất xuất hiện của các đợt hạn hán với các độ dài hạn khác nhau (12 tuần, 24 tuần, 48 tuần và 52 tuần) tính theo mỗi 5 năm trong giai đoạn 1962-2011 được biểu diễn trong hình 3.5. Từ hình vẽ, ta có thể dễ dàng nhận thấy các đợt hạn kéo dài dưới

12 tuần là phổ biến nhất và nó cũng chi phối xu hướng của tần suất hạn qua mỗi giai đoạn 5 năm. Số đợt hạn dài 24 tuần, 48 tuần và 52 tuần là không đáng kể.

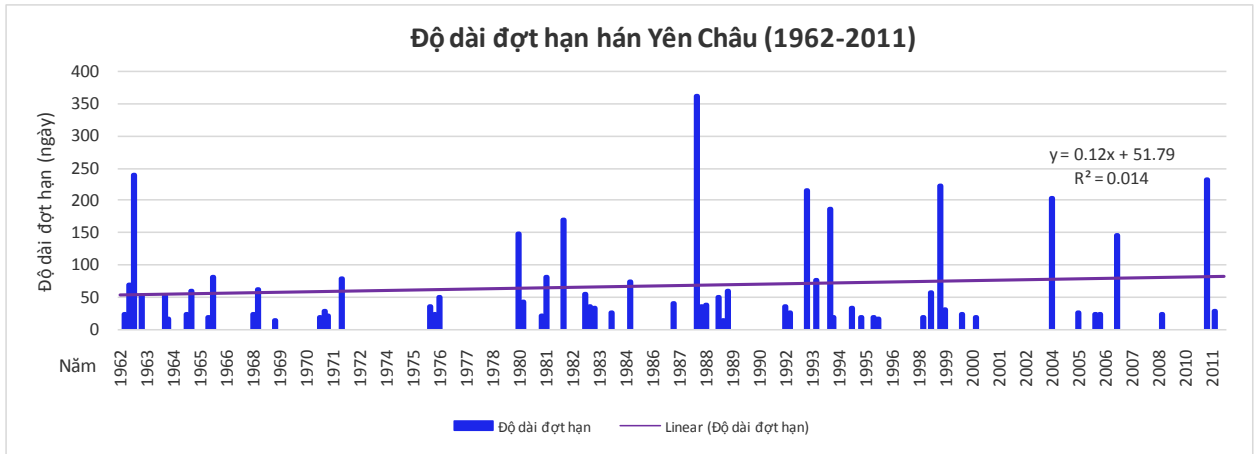
Giai đoạn 1962-1991, tần suất hạn hán đồng pha với số tháng El Niño, trong khi giai đoạn 1997-2011, tần suất hạn hán có xu hướng ngược pha với số tháng El Niño và đồng pha với La Niña. Giai đoạn 1987-1991 có số tháng El Niño tăng cao, tổng số sự kiện hạn giảm nhưng lại là giai đoạn có đợt hạn kéo dài tới 52 tuần. Riêng giai đoạn 1992-1996 có số tháng El Niño và La Niña giảm nhưng lại có tần suất xuất hiện hạn 12 tuần lại cao nhất với 13 sự kiện hạn. Như vậy, chưa có mối liên hệ rõ ràng giữa sự biến đổi tần suất hạn hán với ENSO.



Hình 3.5. Sự thay đổi tần suất hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011

3.2.3. Độ dài đợt hạn hán

Độ dài của một đợt hạn hán là thời gian từ khi đợt hạn đó bắt đầu cho đến khi đợt hạn kết thúc. Với cách tính hạn theo thang phân chia mức hạn của chỉ số *EDI*, hạn hán bắt đầu khi $EDI \leq -0,5$ và hạn kết thúc khi $EDI > -0,5$. Để hạn chế việc các đợt hạn rất ngắn làm nhiễu đường xu thế, các đợt hạn có độ dài nhỏ hơn 14 ngày được loại bỏ trong xác định xu thế biến đổi của độ dài đợt hạn cũng như mức độ khắc nghiệt và cường độ hạn hán.

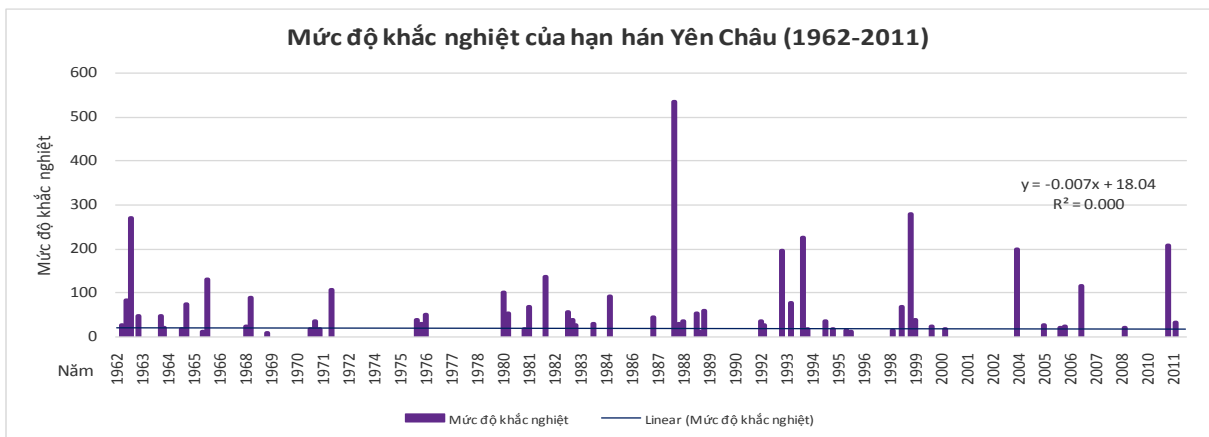


Hình 3.6. Độ dài đợt hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011

Từ hình 3.6 có thể thấy độ dài đợt hạn có xu hướng tăng trong giai đoạn 1962-2011. Những năm 1962-1987, độ dài của các đợt hạn thường dưới 6 tháng, ngoại trừ 1 đợt hạn dài liên năm từ 1962 sang 1963 trong 239 ngày. Trong khi đó, đợt hạn dài trên 6 tháng xuất hiện thường xuyên hơn ở giai đoạn 1988-2011.

3.2.4. Mức độ khắc nghiệt của hạn hán

Hình 3.7 biểu diễn sự biến đổi mức độ khắc nghiệt của hạn hán ở Yên Châu giai đoạn 1962-2011, với mức độ khắc nghiệt của mỗi đợt hạn được tính bằng tổng giá trị của EDI thỏa mãn $EDI \leq -0.5$. Xu hướng chung, mức độ khắc nghiệt của hạn hán giai đoạn 1962-2011 giảm không đáng kể. Từ năm 1987 những đợt hạn hán khắc nghiệt hơn xuất hiện nhiều hơn.

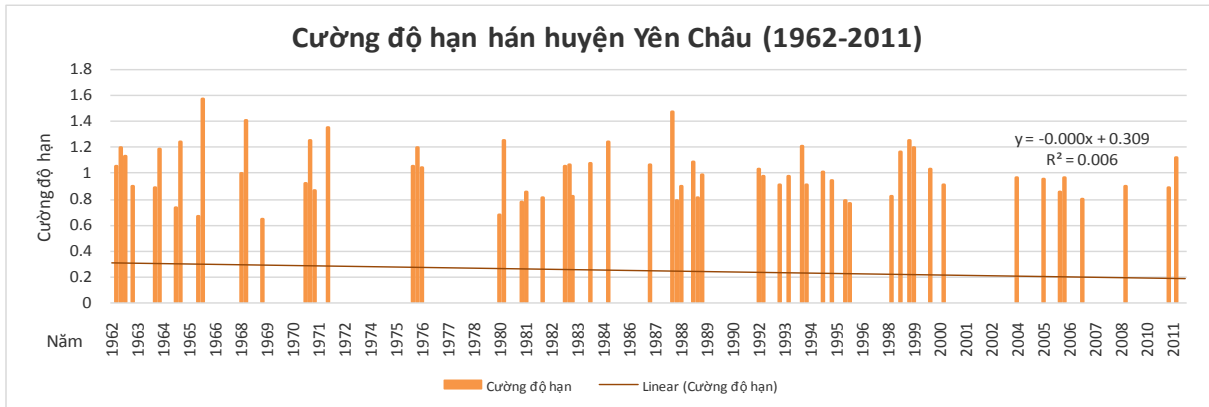


Hình 3.7. Mức độ khắc nghiệt của hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011

3.2.5. Cường độ hạn hán

Hình 3.8 biểu diễn xu thế của cường độ hạn hán trong giai đoạn 1962-2011 ở Yên Châu. Cường độ hạn hán được xác định bằng mức độ khắc nghiệt của đợt hạn chia cho độ dài của đợt hạn. Từ hình 3.8, có thể thấy rằng cường độ hạn hán có xu

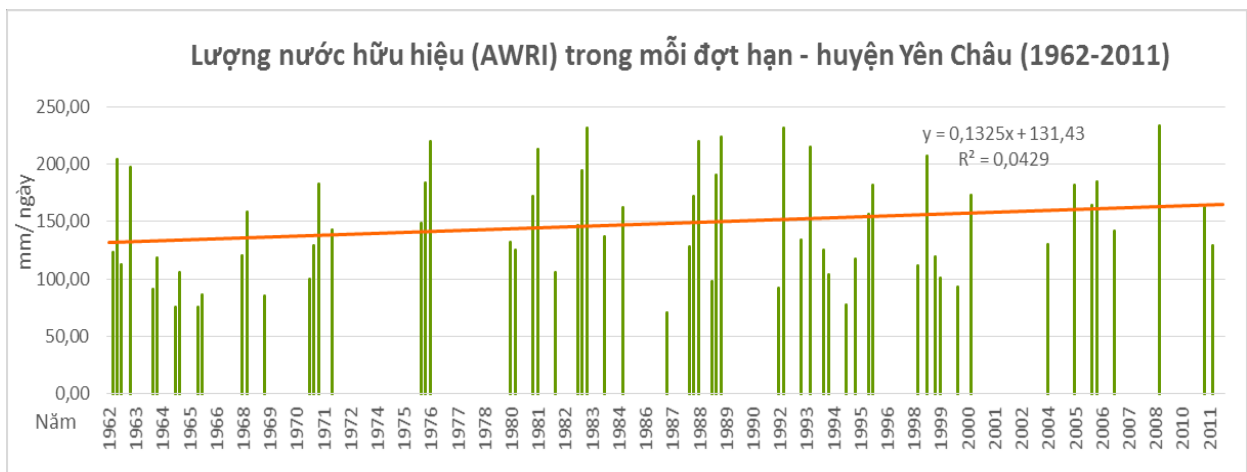
hướng giảm nhẹ. Từ cách tính cường độ hạn hán, xu thế này phù hợp với xu thế tăng mạnh của độ dài hạn hán và xu thế giảm nhẹ của mức độ khắc nghiệt trong hình 3.6 và hình 3.7.



Hình 3.8. Sự thay đổi cường độ hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011

3.2.6. Lượng nước hữu hiệu AWRI

Bên cạnh việc xác định được độ dài, mức độ khắc nghiệt, tần suất xuất hiện và cường độ của các đợt hạn hán thông qua các chỉ số hạn hán, nắm được lượng nước hữu hiệu trong mỗi giai đoạn hạn cũng đóng vai trò rất quan trọng và mang nhiều tính ứng dụng trong công tác quản lý nguồn nước. Trái ngược với cường độ hạn hán – đặc điểm dùng để đánh giá mỗi đợt hạn có độ lớn như thế nào, chỉ số AWRI cho mỗi đợt hạn giúp xác định lượng nước sẵn có trong các đợt hạn đó. Chỉ số AWRI được phát triển từ chỉ số EDI do đó lượng nước hữu hiệu cũng được xác định dựa trên nguyên tắc lượng mưa càng gần ngày đang xét thì có trọng số ảnh hưởng đến lượng nước hữu hiệu càng cao (Dựa trên công thức 37 – phần 2.2). Lượng nước hữu hiệu theo ngày trong từng đợt hạn hán trong suốt giai đoạn 1962-2011 được thể hiện trong hình 3.9.

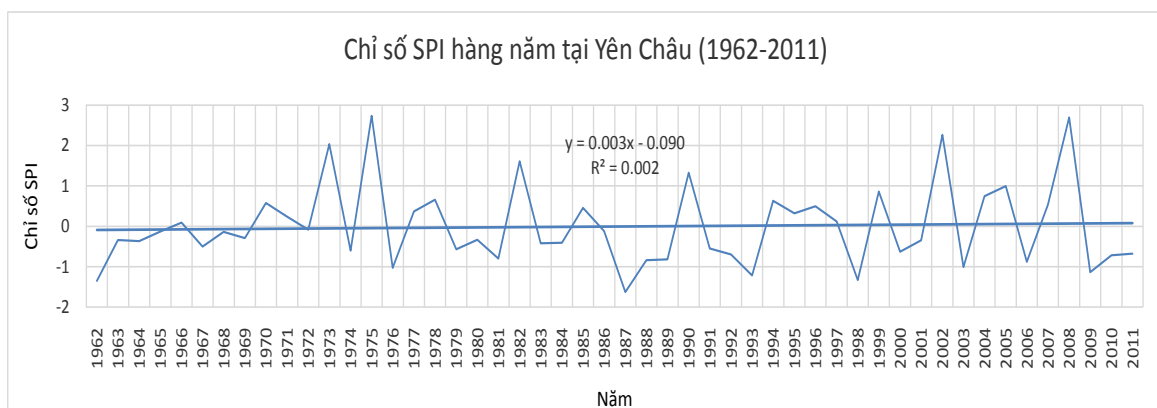
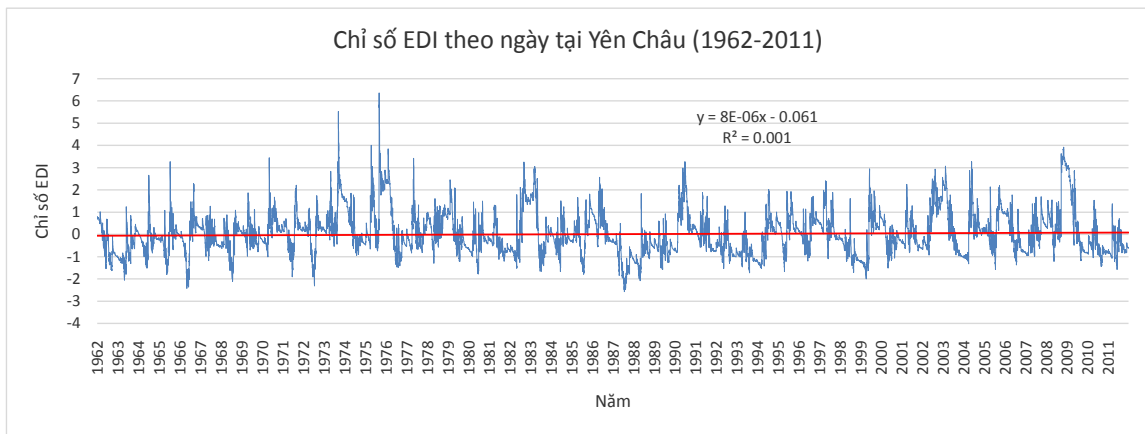


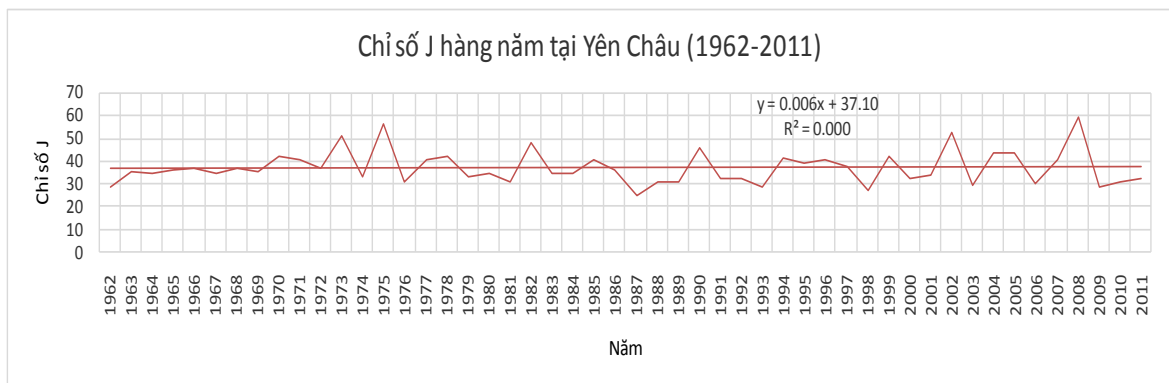
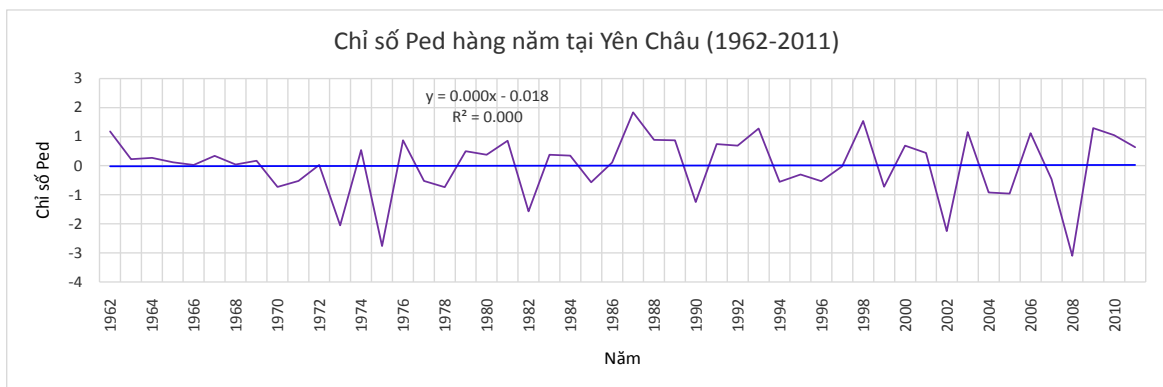
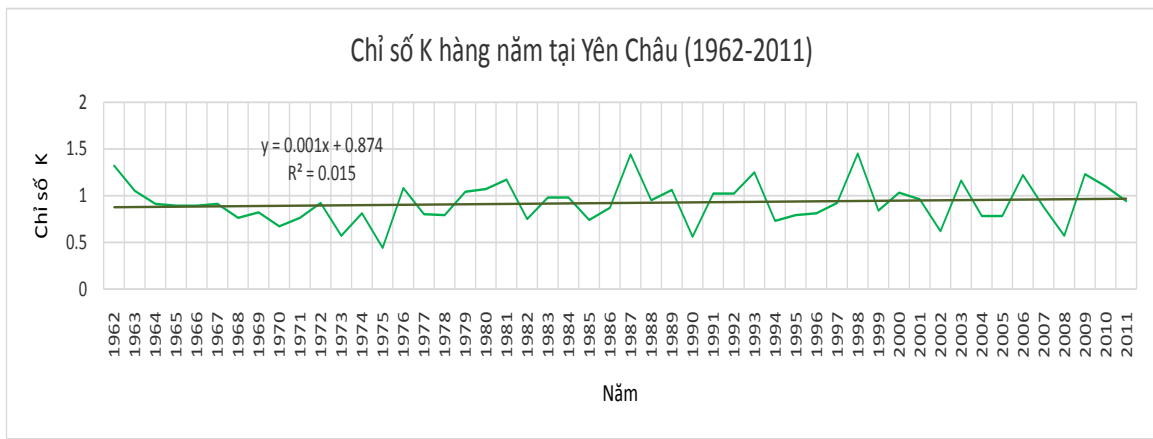
Hình 3.9. Lượng nước hữu hiệu trung bình trong mỗi đợt hạn hán huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011

Hình 3.9 cho thấy lượng nước hữu hiệu tính bình quân trên mỗi ngày hạn dao động ở mức tương đối nhỏ, từ 70mm đến 234mm. Những ngày có cường độ hạn hán cao thường có lượng nước hữu hiệu thấp. Tương ứng với xu hướng giảm nhẹ của cường độ hạn hán, lượng nước hữu hiệu trong các ngày hạn có xu hướng tăng lên rõ rệt trong suốt 50 năm qua. Như vậy, bên cạnh chỉ số *EDI* dùng để xác định các đặc điểm của hạn hán thì *AWRI* là chỉ số dùng cho xác định lượng nước hữu hiệu trong thực tế.

3.3. So sánh xu thế hạn hán qua một số chỉ số hạn hán *EDI, SPI, K, Ped* và *J*

Paulo (2006) khuyến nghị việc kết hợp sử dụng một vài hoặc nhiều chỉ số hạn hán trong đánh giá hạn hán [83]. Đặc biệt, khi áp dụng một chỉ số hạn hán mới, việc đánh giá mức độ hạn thông qua nhiều chỉ số hạn hán khác nhau là cần thiết để xác định một cách tương đối sự phù hợp của chỉ số hạn hán đối với khu vực nghiên cứu. Các chỉ số *SPI, K, Ped* và *J* là những chỉ số hạn hán được áp dụng tương đối rộng rãi ở Việt Nam trong thời gian gần đây nên chúng được sử dụng trong nghiên cứu này để so sánh với chỉ số hạn hán *EDI*. Hình 3.10 biểu diễn lần lượt xu thế của các chỉ số hạn hán *EDI, SPI, K, Ped* và *J* trong giai đoạn 1962-2011 ở huyện Yên Châu.





Hình 3.10. Xu thế biến đổi hạn hán ở huyện Yên Châu giai đoạn 1962-2011 lần lượt theo các chỉ số EDI, SPI, K, Ped và J

Hình 3.10 cho thấy xu hướng hạn hán dường như thay đổi không đáng kể trong suốt 50 năm qua ở huyện Yên Châu. Trong khi chỉ số *EDI*, *SPI* và *J* thể hiện xu hướng giảm nhẹ của hạn hán thì chỉ số *K* lại thể hiện xu hướng tăng nhẹ và chỉ số *Ped* cho thấy xu hướng hạn gần như không thay đổi.

Cấp độ hạn thông qua các chỉ số *K*, *J*, *Ped* đều tập trung ở mức hạn vừa. Trong khi đó, 13,4% và 34,4 % các đợt hạn lần lượt tính theo các chỉ số *SPI* và *EDI* nằm ở cấp độ hạn nặng. Riêng chỉ số *EDI* cho thấy 1,39% số đợt hạn rất nặng đã xảy ra trong tổng các đợt hạn ở huyện Yên Châu từ năm 1962 đến năm 2011. Nói cách khác, *EDI* có khả năng đánh giá mức độ hạn tốt hơn và rõ ràng hơn các chỉ số nêu trên. Kết quả

này cũng phù hợp với kết quả nghiên cứu về so sánh các chỉ số hạn hán của Morid (2006) [73], Trần Thị Thu Hà và Vũ Thanh Hằng (2013) [20].

Hình 3.11 đưa ra mối tương quan giữa các chỉ số hạn hán đã sử dụng trong nghiên cứu này. Mối tương quan giữa các chỉ số hạn hán thể hiện qua hệ số tương quan. Hệ số tương quan càng gần giá trị -1 thể hiện tương quan nghịch giữa hai chỉ số. Ngược lại, hệ số tương quan càng gần giá trị 1 thể hiện tương quan thuận giữa hai chỉ số. Hệ số tương quan càng gần giá trị 0 thì hai chỉ số càng thể hiện mối tương quan thấp. Giá trị *EDI* theo năm được tính bằng cách lấy trung bình các giá trị của *EDI* trong 365 ngày để có thể dễ dàng tính hệ số tương quan của *EDI* với các chỉ số hạn hán khác.

Chỉ số	EDI	SPI	K	Ped	J
EDI		0.77	-0.71	-0.77	0.771
SPI	0.77		-0.88	-0.99	0.995
K	-0.71	-0.88		0.898	-0.89
Ped	-0.77	-0.99	0.898		-1
J	0.771	0.995	-0.89	-1	

Hình 3.11. Tương quan giữa các chỉ số hạn hán *EDI*, *SPI*, *K*, *Ped* và *J*

Từ hình 3.11 ta nhận thấy chỉ số *EDI* có tương quan thuận với cặp chỉ số *SPI* và *J* trong khi tương quan nghịch lại được nhìn thấy ở cặp chỉ số *K* và *Ped*. Mức độ tương quan của các cặp chỉ số *J* và *SPI*; *K* và *Ped*; *SPI* và *EDI* khá cao, với các hệ số tương quan lần lượt là 0,99; 0,898 và 0,77. Trong khi đó, các cặp chỉ số *J* và *Ped*; *Ped* và *SPI*; *J* và *K*; *K* và *SPI*; *K* và *EDI*; *Ped* và *EDI* lại có tương quan nghịch cao, với hệ số tương quan từ -1 đến -0,71. Điều này xuất phát từ sự khác biệt trong thang phân cấp mức độ hạn của các chỉ số: Hạn hán gia tăng khi giá trị của các chỉ số *EDI*, *SPI* và *J* giảm, và giá trị của các chỉ số *K* và *Ped* tăng (xem bảng 2.4). Từ hệ số tương quan giữa các chỉ số như trên, có thể thấy rằng *EDI* và các chỉ số khác (như *SPI*, *K*, *Ped* và *J*) cho thấy sự tương đồng trong việc biểu diễn hạn hán theo năm của các chỉ số. Tuy nhiên, *EDI* có ưu điểm nổi bật là khả năng biểu diễn được các đặc điểm hạn hán theo ngày.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu này sử dụng chỉ số *EDI* trên bộ số liệu lượng mưa ngày quan trắc từ năm 1962 đến năm 2011 để đánh giá các đặc điểm của hạn hán như thời điểm bắt đầu, kết thúc, độ dài, cường độ, mức độ khắc nghiệt và tần suất hạn hán tại địa bàn huyện Yên Châu, tỉnh Sơn La. Nhìn chung, *EDI* là một chỉ số hiệu quả giúp xác định rõ ràng các đặc điểm hạn hán cũng như các sự kiện hạn từ hạn ngắn, hạn dài và hạn kéo dài nhiều năm. 10 sự kiện hạn kéo dài từ năm này sang năm khác đã được xác định thông qua chỉ số hạn hán *EDI*.

Về sự biến đổi một số đặc trưng khí hậu, có một sự tăng đáng kể về nhiệt độ trung bình hàng năm trong suốt 50 năm qua ở huyện Yên Châu (khoảng $0,6^{\circ}\text{C}$), trong khi lượng mưa hàng năm của Yên Châu chỉ có xu hướng tăng nhẹ. Mặc dù vậy, chỉ số *EDI* vẫn cho thấy xu hướng tăng đáng kể về độ dài các đợt hạn hán và xu hướng giảm nhẹ của cường độ hạn và mức độ khắc nghiệt của hạn hán. Tương ứng với xu hướng giảm của cường độ hạn hán, lượng nước hữu hiệu *AWRI* bình quân trên mỗi ngày hạn có xu hướng tăng. Tuy nhiên, lượng nước hữu hiệu trong mỗi ngày hạn duy trì ở mức tương đối thấp, từ 70mm đến 234mm/ ngày.

Phân tích tần suất hạn hán ở nhiều độ dài đợt hạn khác nhau (từ 12 tuần đến 52 tuần hạn) phân chia theo mỗi giai đoạn 5 năm, trong mối quan hệ với ENSO cho thấy các đợt hạn hán kéo dài 12 tuần chiếm xu thế chủ đạo và chi phối xu hướng của tần suất hạn hán. Mối liên hệ giữa sự biến đổi tần suất hạn hán với ENSO chưa thực sự rõ ràng. Tần suất hạn hán đồng pha với số tháng El Niño trong giai đoạn 1962-1991. Ngược lại, tần suất hạn hán có xu hướng ngược pha với số tháng El Niño và đồng pha với La Niña trong giai đoạn 1997-2011.

Các chỉ số hạn hán *EDI*, *SPI*, *K*, *Ped* và *J* đều cho thấy xu hướng thay đổi không đáng kể của hạn hán ở huyện Yên Châu trong giai đoạn 1962-2011. Trong đó, chỉ số *EDI* có khả năng phân định mức độ hạn và xác định các đợt hạn nặng, các đợt hạn rất nặng tốt hơn các chỉ số còn lại. Về khả năng biểu diễn hạn hán, *EDI* và các chỉ số khác có sự tương đồng trong kết quả đánh giá hạn hán. Tuy nhiên, chỉ số *EDI* có khả năng biểu diễn các đặc điểm hạn hán một cách chi tiết hơn ở cấp độ ngày.

Bên cạnh một số hạn chế của *EDI* như đòi hỏi bộ dữ liệu lượng mưa ngày đầy đủ và dài hạn thì chỉ số hạn hán *EDI* thể hiện tương đối cụ thể các đặc điểm hạn hán của một khu vực, đặc biệt là những nơi có khí hậu khô thường xuyên. Đây là điểm nổi trội rõ rệt của chỉ số *EDI* so với chỉ số *SPI*. Về bản chất, việc xét đến lượng nước mưa hữu hiệu giảm dần theo thời gian và việc tính toán tác động tích lũy của các giai đoạn khô lên sự hình thành hạn hán khiến cho *EDI* khắc phục được phần lớn những nhược điểm của các chỉ số hạn hán khác.

Với khả năng làm rõ các đặc điểm hạn hán một cách chi tiết hơn của *EDI* và khả năng xác định lượng nước sẵn có của *AWRI*, hai chỉ số này thể hiện tính hữu dụng trong ứng dụng các nghiên cứu hạn hán vào thực tiễn, đặc biệt là trong lĩnh vực nông nghiệp. Khi năng chi tiết hóa các đặc điểm của hạn hán cũng như lượng nước sẵn có tính đến đơn vị ngày của chỉ số *EDI* và chỉ số *AWRI* có ý nghĩa thực tiễn giúp cho nhà quyết sách trong việc cảnh báo sớm hạn hán, lập kế hoạch và ra quyết định quản lý nguồn nước.

Đối với những địa bàn có hệ thống nông nghiệp chủ yếu phụ thuộc chủ yếu vào nước mưa như ở miền núi với hệ thống canh tác trên đất dốc thì những thông tin cảnh báo sớm về tình hình hạn hán được tính toán thông qua chỉ số *EDI* và *AWRI* giúp cho các nhà quản lý nông nghiệp và nông dân có kế hoạch tốt hơn trong việc xác định lịch mùa vụ và chuyển đổi cơ cấu cây trồng một cách hợp lý.

Nghiên cứu này mới chỉ mang tính thử nghiệm chỉ số *EDI* trong việc phân tích các đặc điểm hạn hán trên một địa bàn cụ thể ở Việt Nam. Để có thể tận dụng được những ưu điểm của các chỉ số cũng như cải thiện được hệ thống cảnh báo sớm hạn hán, cần có những nghiên cứu sâu hơn về chỉ số *EDI* trong tương lai. Một số hướng nghiên cứu có thể triển khai là sử dụng bộ số liệu khí tượng ứng với các kịch bản phát thải khí nhà kính trong tương lai để dự tính xu hướng biến đổi hạn hán; sử dụng chỉ số *EDI* cho những vùng có khí hậu khô hạn và thường xuyên chịu ảnh hưởng của hạn hán để có được hiểu biết tốt hơn, cũng như những định hướng rõ ràng trong cảnh báo sớm hạn hán và quản lý tài nguyên nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

TÀI LIỆU TIẾNG VIỆT

1. Bùi Hiếu, 2010, Sơn La: Dân điêu đứng vì mất mùa ngô, 29/09/2010, <http://web.cema.gov.vn/modules.php?name=Content&op=details&mid=117453080>.
2. Đào Xuân Học, 2001, "Nghiên cứu các giải pháp giảm nhẹ thiên tai hạn hán ở các tỉnh Duyên hải Miền trung từ Hà Tĩnh đến Bình Thuận", Đề tài Nghiên cứu Khoa học cấp Nhà nước.
3. Lê Trung Tuấn, 2008, "Nghiên cứu ứng dụng các giải pháp Khoa học Công nghệ phòng chống hạn hán phục vụ phát triển nông nghiệp bền vững ở các tỉnh miền Trung", Đề tài Nghiên cứu Khoa học cấp Nhà nước.
4. Mè Đình Trung, 2011, "Báo cáo tình hình bị hại vụ Đông Xuân 2010-2011 và kinh phí khắc phục thiệt hại do nắng hạn gây ra cuối tháng 6, đầu tháng 7 năm 2010 trên địa bàn huyện Yên Châu".
5. Nguyễn Đình Vượng Lê Sâm, 2008, "Thực trạng hạn hán, hoang mạc hóa ở Ninh Thuận, Nguyên nhân và giải pháp khắc phục, Viện Khoa Học Thủy Lợi Miền Nam".
6. Nguyễn Đức Ngữ, Nguyễn Trọng Hiệu, 2002, *Tìm hiểu về hạn hán và hoang mạc hóa*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
7. Nguyễn Đức Ngữ, 2007, "Tác động của ENSO đến thời tiết, khí hậu, môi trường và kinh tế xã hội ở Việt Nam", Hội thảo chuyên đề về đa dạng sinh học và biến đổi khí hậu: Mối liên quan tới đói nghèo và phát triển bền vững, Hà Nội.
8. Nguyễn Đức Ngữ, 2008, *Biến đổi khí hậu*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
9. Nguyễn Đức Ngữ, 2008, "Biến đổi khí hậu với hạn hán và hoang mạc hóa ở Việt Nam", Hội thảo biến đổi khí hậu toàn cầu và giải pháp ứng phó của Việt Nam, Hà Nội.
10. Nguyễn Đức Ngữ, Nguyễn Trọng Hiệu, 2013, *Khí hậu và tài nguyên khí hậu Việt Nam*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
11. Nguyễn Lập Dân, 2010, "Nghiên cứu cơ sở khoa học quản lý hạn hán và sa mạc hóa để xây dựng hệ thống quản lý, đề xuất các giải pháp chiến lược và tổng thể giảm thiểu tác hại: nghiên cứu điển hình cho đồng bằng sông Hồng và Nam Trung Bộ", Đề tài Khoa học Công nghệ trọng điểm cấp Nhà nước, KC 08-23/06- 10.
12. Nguyễn Quang Kim, 2005, "Nghiên cứu dự báo hạn hán vùng Nam Trung Bộ và Tây Nguyên và xây dựng các giải pháp phòng chống", Đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước KC.08.

13. Nguyễn Quán, Nguyễn Văn Phẩm, Nguyễn Văn Bảo, Nguyễn Thị Hồng Hải, 2000, *Trung tâm tư liệu thống kê đánh giá thiệt hại do thiên tai gây ra trong các năm 1997 – 1999*, Tổng cục thống kê, Hà Nội.
14. Nguyễn Văn Thắng, 2007, "Nghiên cứu và xây dựng công nghệ dự báo và cảnh báo sớm hạn hán ở Việt Nam, Đề tài Nghiên cứu khoa học ", Viện Khí tượng Thủy Văn, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
15. Phan Văn Tân, Ngô Đức Thành, 2013, "Biến đổi khí hậu ở Việt Nam: Một số kết quả nghiên cứu, thách thức và cơ hội trong hội nhập quốc tế", Tạp chí khoa học ĐHQGHN - Các khoa học trái đất và môi trường, 29(2), 14.
16. Phan Văn Tân, Vũ Thanh Hằng, 2009, "Tính toán đánh giá tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến sự biến đổi của hạn hán".
17. Trần Thục, 2008, "Xây dựng bản đồ hạn hán và mức độ thiếu nước sinh hoạt ở Nam Trung bộ và Tây Nguyên", Đề tài Nghiên cứu khoa học, Viện Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
18. Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương, 2008, Một số kiến thức về hạn hán, 12/11/2008, <http://phongchonglutbaotphcm.gov.vn/?id=46&cid=1323>.
19. Văn phòng Chương trình mục tiêu Quốc gia ứng phó với Biến đổi khí hậu, 2011, *Sổ tay những điều cần biết về Biến đổi khí hậu, tác động của BĐKH và các giải pháp ứng phó*, Văn phòng Chương trình mục tiêu Quốc gia ứng phó với Biến đổi khí hậu.
20. Vũ Thanh Hằng, Trần Thị Thu Hà, 2013, "So sánh một vài chỉ số hạn hán ở các vùng khí hậu Việt Nam", Tạp chí khoa học ĐHQGHN, 29(2S), 51-57.
21. Wikipedia, 2014, Yên Châu, http://vi.wikipedia.org/wiki/Y%C3%AAn_Ch%C3%A2u.

TÀI LIỆU TIẾNG ANH

22. Akhtari R., Morid S., Mahdian M.H. and Smakhtin V., 2009, "Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices", *International Journal of Climatology*, 29(1), 135-145.
23. Alley W.M., 1984, "The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(7), 1100-1109.
24. AMS (American Meteorological Society), 1997, "Meteorological drought—Policy statement", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 847–849.
25. AMS (American Meteorological Society), 2004, "Statement on meteorological drought", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85, 771-773.
26. Barnston Shardul Agrawala A. G., 2001, "The Drought and Humanitarian Crisis in Central and Southwest Asia: A Climate Perspective", 20.

27. Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S. and Palutikof J.P., 2008, *Climate Change and Water - Technical Paper*, International Panel on Climate Change (IPCC) Secretariat, Geneva.
28. Batterbury S., Warren A., 2001, "The African Sahel 25 years after the great drought: assessing progress and moving towards new agendas and approaches", *Global Environmental Change*, 11(1), 1-8.
29. Belayneh A., Adamowski J., 2012, "Standard Precipitation Index Drought Forecasting Using Neural Networks, Wavelet Neural Networks, and Support Vector Regression", *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*.
30. Bruce J.P., 1994, "Natural Disaster Reduction and Global Change", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75(10), 1831-1835.
31. Byun H.R., Wilhite D.A., 1999, "Objective Quantification of Drought Severity and Duration", *Journal of Climate*, 12(9), 2747-2756.
32. Byun H.R., 2009, "Comparative analysis of the drought diagnosis and related systems", *Korean Society of Hazard Mitigation*, 9.
33. Chang T.J., Teoh C.B., 1995, "Use of the Kriging method for studying characteristics of ground water droughts", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 31(6), 1001-1007.
34. Changnon S.A., Pielke R.A., Changnon D., Sylves R.T., Pulwarty R., 2000, "Human Factors Explain the Increased Losses from Weather and Climate Extremes", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 437-442.
35. Climate Prediction Center Internet Team, 2015, Historical El Niño/ La Niña episodes (1950-present), 05/01/2015, www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.
36. Cook E.R., Seager R., Cane M.A. and Stahle D.W., 2007, "North American drought: Reconstructions, causes, and consequences", *Earth-Science Reviews*, 81(1-2), 93-134.
37. Dai A., Trenberth K.E. and Qian T., 2004, "A Global Dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with Soil Moisture and Effects of Surface Warming", *Journal of Hydrometeorology*, 5(6), 1117-1130.
38. Dai A., 2011, "Drought under global warming: a review", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45-65.
39. Dai A., 2013, "Increasing drought under global warming in observations and models", *Nature Clim. Change*, 3(1), 52-58.
40. Daniel C., Edwards, Thomas B., McKee, 1997, *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*, Colorado State University, Fort Collins.

41. Demuth S., Stahl, K., (Eds.), 2001, "Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe - Final Report to the European Union", Institute of Hydrology, University of Freiburg, Germany.
42. Dracup J.A., Lee K.S. and Paulson E.G., 1980, "On the statistical characteristics of drought events", *Water Resources Research*, 16(2), 289-296.
43. Dracup J.A., Lee K.S. and Paulson E.G., 1980, "On the definition of droughts", *Water Resources Research*, 16(2), 297-302.
44. Dracup J.A., J. Keyantash, 2002, "The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167-1180.
45. Eierdanz F., Alcamo J., Acosta-Michlik L., Krömker D. and Tänzler D., 2008, "Using fuzzy set theory to address the uncertainty of susceptibility to drought", *Regional Environmental Change*, 8(4), 197-205.
46. Eltahir E.A.B., 1992, "Drought frequency analysis of annual rainfall series in central and western Sudan", *Hydrological Sciences Journal*, 37(3), 185-199.
47. Eltahir E.A.B., Yeh P.J.F., 1999, "On the asymmetric response of aquifer water level to floods and droughts in Illinois", *Water Resource Research*, 35(4), 1199–1217.
48. Environment Canada - NWRI Scientific Assessment Report, 2004, "Threats to Water Availability in Canada", National Water Research Institute, Burlington, 128.
49. FAO (Food and Agriculture Organization), 1983, *Guidelines: Land evaluation for Rainfed Agriculture*, Rome.
50. FAO, 2002, Report of FAO-CRIDA Expert Group Consultation on Farming System and Best Practices for Drought-prone Areas of Asia and the Pacific Region, Food and Agricultural Organisation of United Nations, Hyderabad, India.
51. Feyen L., Dankers R., 2009, "Impact of global warming on streamflow drought in Europe", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D17).
52. Friedman D.G., 1957, "The prediction of long-continuing drought in south and southwest Texas", *Occasional Papers in Meteorology*, Vol. No.1. Hartford, Travelers Insurance Company, 182.
53. González J., Valdés J.B., 2006, "New drought frequency index: Definition and comparative performance analysis", *Water Resources Research*, 42(11), n/a-n/a.
54. Gumbel E. J., 1963, "Statistical Forecast of Droughts", *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 8(1), 5-23.
55. Hayes M., Wilhelmi O. and Knutson C., 2004, "Reducing Drought Risk: Bridging Theory and Practice", *Natural Hazards Review*, 5(2), 106-113.

56. Hughes B.L., Saunders M.A., 2002, "A drought climatology for Europe", *International Journal of Climatology*, 22(13), 1571-1592.
57. Huschke R.E., 1960, "Glossary of meteorology (American Meteorological Society)", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 86(369), 638.
58. IPCC, 2007, *The Physical Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
59. Ju X.S., Yan X.W., Chen L.J. and Wang Y.M., 1997, "Research on determination of indices and division of regional flood/ drought grades in China", *Quarterly Journal Applied Meteorology*, 8(1), 26.
60. Karl T., Knight R.W., 1985, *Atlas of monthly Palmer hydrological drought indices (1931-1983) for the contiguous United States*, Historical climatology series. 3-7, Asheville, N.C., National Climatic Data Center, xii, 319 pp.
61. Kim D. W., Byun H.R, Choi K.S., 2009, "Evaluation, modification, and application of the Effective Drought Index to 200-Year drought climatology of Seoul, Korea", *Journal of Hydrology*, 378(1–2), 1-12.
62. Kim D.W., Byun H.R., 2009, "Future pattern of Asian drought under global warming scenario", *Theoretical and Applied Climatology*, 98(1-2), 137-150.
63. Lehner B., Döll P., Alcamo J., Henrichs T. and Kaspar F., 2006, "Estimating the Impact of Global Change on Flood and Drought Risks in Europe: A Continental, Integrated Analysis", *Climatic Change*, 75(3), 273-299.
64. Loaiciga H. A., Leipnik R. B., 1996, "Stochastic renewal model of low-flow streamflow sequences", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 10(1), 65-85.
65. Lockwood J. L., 1999, "Encyclopedia of climate and weather", *International Journal of Climatology*, 19(4), 458-458.
66. Loukas A., Vasiliades L., 2004, "Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics inThessaly region, Greece", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 4(5/6), 719-731.
67. Marsh T. J., Monkhouse R. A., 1993, "Drought in the United Kingdom, 1988–92", *Weather*, 48(1), 15-22.
68. Mathugama S.C., Peiris T.S.C., 2011, "Critical evaluation of dry spell research", *International Journal of Basic and Applied Sciences* 11(6).
69. Milly P.C.D., Wetherald R.T., Dunne K.A. and Delworth T.L., 2002, "Increasing risk of great floods in a changing climate", *Nature*, 415(6871), 514-517.
70. Mishra A.K., Desai V.R., Singh V.P., 2007, "Drought Forecasting Using a Hybrid Stochastic and Neural Network Model", *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(6).

71. Mishra A.K., Singh V.P., 2010, "A review of drought concepts", *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202-216.
72. Mohan S., Rangacharya N.C.V., 1991, "A modified method for drought identification", *Hydrological Sciences Journal*, 36(1), 11-21.
73. Morid S., Smakhtin V. and Moghaddasi M., 2006, "Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran", *International Journal of Climatology*, 26(7), 971-985.
74. NDMC, 2006a, NDMC, Impact of drought - The National Drought Mitigation Center <http://drought.unl.edu/Planning/Impacts.aspx>.
75. NDMC, 2006b, What is Drought, <http://drought.unl.edu/DroughtBasics/WhatisDrought.aspx>.
76. Nicholls N., 2004, "The Changing Nature of Australian Droughts", *Climatic Change*, 63(3), 323-336.
77. Niemeier S., 2008, "New drought indices", CIHEAM-IAMZ.
78. Obasi G.O.P., 1994, "WMO's Role in the International Decade for Natural Disaster Reduction", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75(9), 1655-1661.
79. Oh S.B, Kim D.W., Choi K.S and Byun H.R, 2010, "Introduction of East Asian Drought Monitoring System", *SOLA*, 6A (SpecialEdition), 9-12.
80. Oladipo E.O., 1985, "A comparative performance analysis of three meteorological drought indices", *Journal of Climatology*, 5(6), 655-664.
81. Palmer W.C., 1965, "Meteorological drought", U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D. C., 45.
82. Panu U.S., Sharma T.C., 2002, "Challenges in drought research: some perspectives and future directions", *Hydrological Sciences Journal*, 47(1), 19-30.
83. Paulo A.A., Pereira L.S., 2006, "Drought Concepts and Characterization", *Water International*, 31(1), 37-49.
84. Peters E., van Lanen, H.A.J., Bradford, R.B., Cruces de Abia, J., Martinez Cortina, L., 2001, "Droughts derived from groundwater heads and groundwater discharge. In: Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe. Final Report to the European Union", Institute of Hydrology, University of Freiburg,
85. Phillips D., 1990, *The Climates of Canada*, Ottawa, Environment Canada.
86. Piechota T.C., Dracup J.A., 1996, "Drought and Regional Hydrologic Variation in the United States: Associations with the El Niño-Southern Oscillation", *Water Resources Research*, 32(5), 1359-1373.
87. Pinkayan S., 1966, *Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area*, Fort Collins, Colorado State University,

88. Santos M.A., 1983, "Regional droughts: A stochastic characterization", *Journal of Hydrology*, 66(1–4), 183-211.
89. Schneider S.H., 1996, *Encyclopaedia of Climate and Weather*, New York, Oxford University Press.
90. Sen Z., 1976, "Wet and dry periods for annual flow series", *Journal of the Hydraulics Division*, 102, 1503-1514.
91. Sen Z., 1980, "Statistical analysis of hydrologic critical droughts", *Journal of the Hydraulics Division*, 16(1), 99-115.
92. Steila D., 1986, Drought, van Nostrand Reinhold, *The Encyclopaedia of Climatology*, 386–395.
93. Tran Thuc, 2012, "Study on Droughts in the South Central and the Central Highlands", *VNU Journal of Science, Earth Sciences*, 28.
94. Trenberth K.E., Dai A., Rasmussen R.M. and Parsons D.B., 2003, "The Changing Character of Precipitation", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84(9), 1205-1217.
95. Trenberth K.E., Dai A., Van der Schrier G., Jones P.D., Barichivich J., Briffa K.R. and Sheffield J., 2014, "Global warming and changes in drought", *Nature Clim. Change*, 4(1), 17-22.
96. Tom Ross N.L., 2003, *A Climatology of 1980–2003 Extreme Weather and Climate Events*, NOAA/ NESDIS, National Climatic Data Center, Asheville,
97. Tsakiris G., Vangelis H., 2004, "Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI", *Water Resources Management*, 18(1), 1-12.
98. UN Secretariat General, 1994, "United Nations Convention to Combat Drought and Desertification in Countries Experiencing Serious Droughts and/or Desertification, Particularly in Africa", Paris.
99. Vogel R.M., Kroll C.N., 1992, "Regional geohydrologic-geomorphic relationships for the estimation of low-flow statistics", *Water Resources Research*, 28(9), 2451-2458.
100. Vu Thanh Hang, Ngo Duc Thanh, Phan Van Tan, 2014, "Evolution of meteorological drought characteristics in Vietnam during the 1961–2007 period", *Theoretical and Applied Climatology*, 118(3), 367-375.
101. Wanders N., Van Lanen H.A.J. and Van Loon A.F., 2010, "Indicators for drought characterization on a global scale".
102. Wang D., Hejazi M., Cai X. and Valocchi A.J., 2011, "Climate change impact on meteorological, agricultural, and hydrological drought in central Illinois", *Water Resources Research*, 47(9), W09527.

103. Wheaton E.E., 2000, *Canadian prairie drought impacts and experiences*. In: Wilhite, D. (Ed.), *Drought: A Global Assessment*, Vol. 1. London, UK., Routledge Press,
104. Wikipedia, 2014, History of Climate Change Science, 24/12/2014, http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_climate_change_science.
105. Wilhite D.A., Glantz M.H., 1985, "Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions", *Water International*, 10(3), 111-120.
106. Wilhite D.A., Hayes M.J., 1998, "Drought Planning in the United States: Status and Future Directions, in the Arid Frontier", Springer Netherlands, 33-54.
107. Wilhite D.A., 2000, *Drought as natural hazard: concepts and definitions*, London, Routledge, 3-18.
108. WMO, 1992, *International Meteorological Vocabulary*, Vol. 182. Geneva.
109. Wong G., Lambert M., Leonard M., and Metcalfe, 2010, "Drought Analysis Using Trivariate Copulas Conditional on Climatic States", *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(2), 129-141.
110. World Bank, 2003, "Report on Financing Rapid Onset Natural Disaster Losses in India: A Risk Management Approach", Washington DC.
111. Xue Y., Shukla J., 1993, "The Influence of Land Surface Properties on Sahel Climate. Part 1: Desertification", *Journal of Climate*, 6(12), 2232-2245.
112. Yevjevich, Vujica M., University Colorado State, Hydrology and Program Water Resources, 1967, *An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts*, Fort Collins, Colorado State University,
113. Zargar A., Sadiq R., Naser B. and Khan F.I., 2011, "A review of drought indices", *Environmental Reviews*, 19(NA), 333-349.
114. Zecharias Y.B., Brutsaert W., 1988, "The influence of basin morphology on groundwater outflow", *Water Resources Research*, 24(10), 1645-1650.
115. Zeng N., 2003, "Drought in the Sahel", *Science*, 302(5647), 999-1000.
116. Zhang Q., 2003, *Drought and its impacts*. In: Chen, H. (Ed.), *China Climate Impact Assessment*, China Meteorol Press, Beijing.
117. Zou X., Zhai P. and Zhang Q., 2005, "Variations in droughts over China: 1951–2003", *Geophysical Research Letters*, 32(4), L04707.

PHỤ LỤC

Thông tin chi tiết về giá trị dị thường SST của NOAA phục vụ việc tính toán
(www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.)

Năm	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1962	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5
1963	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.5	0.8	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1964	1.1	0.6	0.1	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.6	-0.3	0.0	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.7	1.9	1.9	1.7
1966	1.4	1.1	0.9	0.6	0.4	0.3	0.3	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2
1967	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4
1968	-0.6	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.6	0.8	1.0
1969	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.6	0.5	0.5	0.8	0.9	0.9	0.8
1970	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2	-0.5	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-1.0
1971	-1.2	-1.3	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.9	-0.8
1972	-0.6	-0.3	0.1	0.4	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.6	-0.1	-0.5	-0.8	-1.0	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-2.0
1974	-1.9	-1.6	-1.2	-1.0	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.7
1975	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.5	-1.6	-1.7
1976	-1.5	-1.1	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1977	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.5	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	-0.1
1979	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1
1981	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1
1982	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	1.0	1.5	1.9	2.1	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.2	0.9	0.6	0.2	-0.2	-0.5	-0.8	-0.9	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1

1985	-1.0	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4
1986	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.2	-0.8	-1.2	-1.3	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-1.9
1989	-1.7	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.2	0.0
1993	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	1.0	1.2
1995	1.0	0.8	0.6	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.7	-0.8	-0.9	-0.9
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.2	0.7	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.4	2.3
1998	2.2	1.8	1.4	0.9	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.2	-1.3	-1.4	-1.5
1999	-1.5	-1.3	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.5	-1.2	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8	0.9	1.2	1.3	1.3
2003	1.1	0.8	0.4	0.0	-0.2	-0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8
2006	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.0
2007	0.7	0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.4
2008	-1.5	-1.5	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6
2010	1.6	1.3	1.0	0.6	0.1	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0

Thông tin ENSO của Nguyễn Đức Ngữ (2007) [7]

Các đợt El Niño

Số TT	Đợt El Niño	Tháng bắt đầu	Tháng kết thúc	Thời gian kéo dài	Cực đại SSTA (°C) và tháng xuất hiện	
1	1963/1964	6/1963	2/1964	9	1.2	12/1963
2	<u>1965/1966</u>	5/1965	2/1966	10	1.8	12/1965
3	1968/69/70	9/1968	2/1970	18	1.4	12/1969
4	<u>1972/1973</u>	4/1972	3/1973	12	2.6	12/1972
5	1976/1977	6/1976	2/1977	9	1.2	9,10/1976
6	1979	7/1979	12/1979	6	1.2	9/1979
7	<u>1982/1983</u>	4/1982	9/1983	18	3.6	1/1983
8	<u>1986/87/88</u>	9/1986	1/1988	17	2.0	9/1987
9	<u>1991/1992</u>	4/1991	6/1992	15	1.7	1/1992
10	<u>1993</u>	2/1993	8/1993	7	1.5	5/1993
11	<u>1997/1998</u>	4/1997	6/1998	15	3.9	12/1997
12	2002/2003	7/2002	1/2003	7	1.4	11,12/2002

Ghi chú: Các đợt có gạch dưới là đợt El Niño mạnh

Các đợt La Niña

Số TT	Đợt La Niña	Tháng bắt đầu	Tháng kết thúc	Thời gian kéo dài	Cực đại SSTA (°C) và tháng xuất hiện	
1	1964/1965	4/1964	1/1965	10	-1.2	12/1964
2	1967/1968	9/1967	4/1968	8	-1.3	2/1968
3	<u>1970/1971</u>	6/1970	12/1971	19	-1.5	12/1970
4	1973/1974	6/1973	3/1974	10	-1.4	1/1974
5	<u>1975/1976</u>	4/1975	3/1976	12	-1.5	12/1975, 1/1976
6	1984/1985	10/1984	12/1985	15	-1.2	12/1984
7	<u>1988/1989</u>	4/1988	3/1989	12	-1.7	11, 12/1988
8	<u>1998/99/00</u>	10/1998	3/2000	18	-1.6	1/2000

Ghi chú: Các đợt có gạch dưới là các đợt La Niña mạnh