

XÂY DỰNG HỆ THỐNG GIÁM SÁT HẠN NÔNG NGHIỆP BẰNG DỮ LIỆU VỆ TINH, THÍ ĐIỂM TẠI TỈNH NINH THUẬN, VIỆT NAM

Nguyễn Đức Minh, Hà Hải Dương, Nguyễn Minh Tiến

Viện Nước, Tưới tiêu và Môi trường

Tóm tắt: Hạn hán được dự báo sẽ sẽ nghiêm trọng hơn và thường xuyên hơn trong tương lai ở nhiều nơi trên thế giới theo các kịch bản khí hậu cũng như mô hình khí hậu toàn cầu. Các nước đang phát triển như Việt Nam cần nhiều công cụ hỗ trợ để nhanh chóng xác định điểm nóng hạn hán và giúp đưa ra quyết định tốt hơn, đặc biệt là trong điều kiện khí hậu biến đổi bất thường như hiện nay. Hệ thống Chỉ số căng thẳng nông nghiệp dựa trên ảnh vệ tinh AVHRR (ASIS) do FAO phát triển đã được hiệu chỉnh riêng cho Ninh Thuận để tính toán sự phân bố hạn hán theo không gian và thời gian trong lịch sử 30 năm liên tục từ 1985 đến 2015. Phiên bản ASIS độc lập cho Ninh Thuận được hiệu chỉnh bằng cách sử dụng (1) giới hạn vùng nông nghiệp các cây lúa, mùa và cây lâu năm để đảm bảo chỉ có các pixel cây trồng được tính toán, (2) giới hạn lịch thời vụ qua đó các tính toán chỉ được thực hiện trong thời gian mùa vụ và (3) hệ số cây trồng (Kc) được tích hợp vào chỉ số hạn VHI qua đó nhấn mạnh sự nhạy cảm của từng giai đoạn phát triển sự thiếu nước. Kết quả cho thấy những năm hạn hán khắc nghiệt nhất xảy ra ở Ninh Thuận là năm 1986, 1992, 1998, 2002, 2005 và 2015 tương quan mạnh với các sự kiện El Nino. Hệ thống ASIS phát triển độc lập cho tỉnh Ninh Thuận đã cho kết quả giám sát hạn hán có độ chính xác cao phù hợp với các sự kiện hạn đã xảy ra trong lịch sử ở Ninh Thuận. Hệ thống này có thể giúp hỗ trợ ra quyết định trong việc vận hành tối ưu hệ thống tưới tiêu ở Ninh Thuận cũng như khắc phục sự cố do hạn hán gây ra. Qua đó có thể làm tiền đề để xây dựng cho một hệ thống giám sát và cảnh báo sớm hạn hán cho toàn Việt Nam

Từ khóa: Hạn Hán, Hạn Nông Nghiệp, Viễn Thám, Ninh Thuận, ASIS, VHI, FAO

Summary: As drought is expected to be more severe and more frequent in the future in many parts of the world according to various Global Circulation Models, decision makers in developing countries need more cost-effective supporting tools to quickly identify drought hotspot and to help giving better decisions, especially under unprecedented changing climate patterns. The FAO's AVHRR based Agricultural Stress Index System (ASIS) developed by FAO to quickly identify agricultural drought hotspot in the context of monitoring global food supply and demands was calibrated specifically for Ninh Thuan province. The processing of remote sensing data was constrained by three specific agricultural conditions: (1) crop mask, to make sure only crop pixels were computed, (2) crop schedule, so the analysis is performed only during crop seasons, and (3) crop coefficient (Kc) to emphasize the sensitivity of each phenological stage to drought

Results showed that the most recorded severe drought years happened in Ninh Thuan are 1986, 1992, 1998, 2002, 2005 and 2015 which correlated strongly with El Nino events. Summer crop (from May to Aug) is the most "vulnerable to drought" season among the others, Spring crop (Jan to Apr) and Rainy crop (Sep to Nov). This system can help support to optimize the irrigation system in Ninh Thuan as well as mitigate of drought effect.

Keywords: Drought, Agricultural, Remote Sensing, ASIS, FAO, VHI

1. MỞ ĐẦU

Theo số liệu thống kê trong vòng 56 năm trở lại đây, 1960-2016, số năm xảy ra hạn hán là 40 năm, chiếm khoảng 71,4%, với cường độ khác

nhau và vào những thời điểm khác nhau, bao gồm hạn vụ Đông Xuân 17 năm, hạn vụ Hè-Thu 12 năm và hạn vụ Thu-Đông 11 năm. Hơn nữa, tần suất xuất hiện hạn hán đã tăng lên trong

Ngày nhận bài: 28/8/2018

Ngày thông qua phản biện: 24/9/2018

Ngày duyệt đăng: 12/11/2018

15 năm trở lại đây. Những thiệt hại gây ra bởi hạn hán hiện chưa được đánh giá đầy đủ vì về cơ bản, những đánh giá mới tập trung vào thiệt hại kinh tế của các lĩnh vực bị ảnh hưởng chính, đặc biệt là lĩnh vực nông nghiệp. Ước tính thiệt hại do hạn hán những năm gần đây trong lĩnh vực sản xuất nông nghiệp ở Việt Nam đang ở mức báo động. Theo thống kê, tổng thiệt hại gây ra bởi hạn hán năm 1998 ước tính khoảng 5.000 tỷ đồng, 3,1 triệu người thiếu nước sinh hoạt và gia tang các vụ cháy rừng ở nhiều khu vực. Tương tự, thiệt hại gây ra bởi hạn hán trong các năm 1999 và 2005 lần lượt là 1.330 và 1.700 tỷ đồng.

Do ảnh hưởng của hiện tượng El Nino, từ cuối năm 2014 đến nay, một số địa phương khu vực Nam Trung Bộ, Tây nguyên và Nam Bộ đang bị hạn hán nghiêm trọng. Nguyên nhân chủ yếu là do lượng mưa thấp hơn trung bình nhiều năm cùng thời kỳ, một số khu vực không có mưa; dòng chảy sông suối thiếu hụt so với trung bình nhiều năm từ 30-70%; lượng nước trữ tại nhiều hồ chứa thủy lợi đã đến dung tích chết, các hồ có dung tích nhỏ đã cạn nước; độ mặn 4‰ đã xâm nhập trên các sông khoảng 40-90km.

Vùng Nam Trung Bộ là khu vực thường xuyên bị ảnh hưởng nặng của hạn hán (bắt đầu từ vụ Hè Thu năm 2014). Do lượng nước của các hồ chứa bị thiếu hụt, đã có tổng cộng gần 23.000ha đất lúa vụ Đông Xuân 2015-2016 phải dừng sản xuất do thiếu nước (Khánh Hòa 1.800ha, Ninh Thuận 5.770ha, Bình Thuận 15.400ha), trong thời gian tới sẽ có khoảng 3.000 ha lúa và cây lâu năm ở tỉnh Bình Thuận bị thiếu nước. Ước tính 40.000 ha đất lúa phải dừng sản xuất do hạn hán 2014-2015 ở các tỉnh Khánh Hòa, Ninh Thuận, Bình Thuận trong đó Khánh Hòa 10.000ha, Ninh Thuận 10.000ha, Bình Thuận 20.000ha.

Nhiều chính sách và biện pháp của Chính Phủ đã nâng cao khả năng ứng phó với hạn hán ở Việt Nam và góp phần đáng kể vào việc xây dựng kế hoạch ứng phó dài hạn với hạn hán.

Tuy nhiên, một số vấn đề vẫn cần được giải quyết để giảm thiểu tác động hạn hán một cách chủ động. Các vấn đề còn tồn tại như sau:

Quản lý hạn hán vẫn được quản lý theo cách tiếp cận “phản ứng”, chủ yếu tập trung vào việc “quản lý khủng hoảng hay ứng phó khẩn cấp” hơn là theo cách tiếp cận chủ động, quản lý "rủi ro".

Hệ thống dự báo cảnh báo còn ở mức vĩ mô, chưa gắn chặt với điều hành sản xuất và thực hiện triển khai các biện pháp phòng chống.

Nông nghiệp là lĩnh vực dễ bị tổn thương nhất đối với hạn hán, tuy nhiên năng lực quản lý hạn hán ở các cấp vẫn còn yếu.

Các văn bản pháp lý liên quan đến quản lý rủi ro thiên tai vẫn còn thiếu các chế tài cụ thể, thiếu các văn bản hướng dẫn để triển khai thực hiện.

Thiết lập thể chế và sự phối hợp giữa các cơ quan chính phủ liên quan tới hạn hán còn yếu và thiếu cơ chế thực thi tham gia quản lý hạn.

Việc lồng ghép quản lý rủi ro thiên tai trong công tác lập kế hoạch và đầu tư vẫn còn hạn chế và do đó làm giảm sự đóng góp của kế hoạch phát triển kinh tế xã hội đến xây dựng khả năng thích ứng dài hạn với thiên tai. Chưa có kế hoạch phòng chống hạn hán chủ động được lồng ghép các biện pháp thích ứng dài hạn, các hành động giảm thiểu trung hạn cũng như các biện pháp ứng phó và phục hồi có hệ thống, và điều này làm suy yếu khả năng ứng phó với hạn hán trong tương lai.

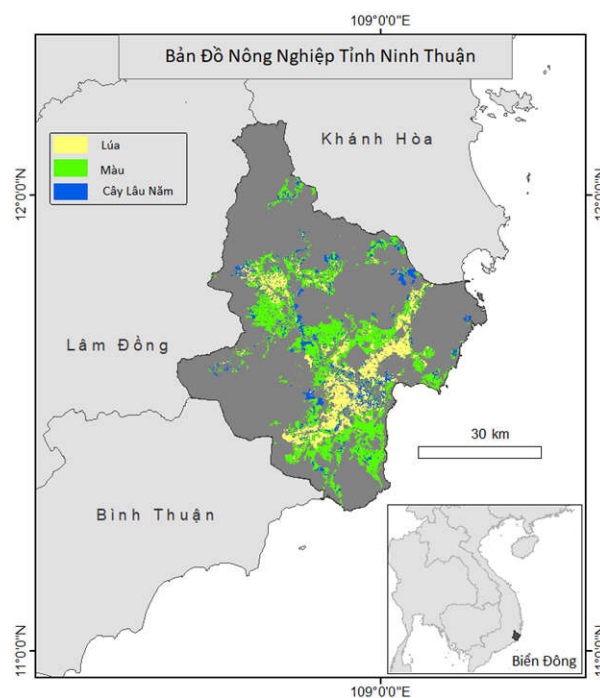
Đã có nhiều biện pháp ứng phó với hạn hán đã được thực hiện ở cấp quốc gia và các địa phương tuy nhiên việc thiếu các công cụ giám sát hạn hán thích hợp và cơ chế cảnh báo sớm cũng như hạn chế về năng lực trong dự báo hạn ngắn và hạn dài dẫn đến Chính phủ không thể phân bổ hiệu quả các nguồn lực vật chất và con người đến nơi cần thiết.

Nghiên cứu này trình bày một phần kết quả việc thực hiện dự án “Tăng cường hệ thống thông tin khí hậu nông nghiệp nhằm phát triển hệ thống cảnh báo sớm và giám sát hạn nông nghiệp tại Việt Nam (NEWS), thí điểm tại tỉnh Ninh Thuận”. Trình bày kết quả việc sử dụng hệ thống Chỉ số căng thẳng nông nghiệp (ASIS) phát triển bởi FAO trong đó sử dụng ảnh vệ tinh AVHRR độ phân giải 1km để giúp theo dõi hạn hán nông nghiệp chính xác hơn thông qua chỉ số sức khỏe cây trồng VHI. ASIS giúp hỗ trợ quá trình ra quyết định của FAO và các nước sử dụng phiên bản địa phương. Từ hệ thống toàn cầu, ASIS đã được hiệu chỉnh riêng cho tỉnh Ninh Thuận bằng cách lồng ghép các thông số đặc trưng về nông nghiệp ở Ninh Thuận như phân bố của các vùng nông nghiệp (khu vực trồng lúa, trồng màu, cây lâu năm), lịch thời vụ ở Ninh Thuận và hệ số cây trồng Kc riêng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu Vực Nghiên Cứu

Ninh Thuận là tỉnh nằm ở khu vực Nam Trung Bộ (Hình 1) thường xuyên bị ảnh hưởng bởi hạn hán. Theo thống kê từ 2009-2015, khoảng 2,000-6,000 ha đất canh tác đã bị ảnh hưởng bởi hạn hán, đặc biệt, năm 2016 là 10.000 ha. Tỉnh sở hữu các hệ thống tưới đặc trưng của khu vực Nam Trung Bộ, với 21 hồ chứa nước cung cấp tưới tiêu cho nông nghiệp, canh tác 2 hoặc 3 mùa vụ trong năm. 100% diện tích canh tác vụ xuân được đảm bảo nước tưới; vụ Hè - Thu và vụ Mùa được bổ sung từ nguồn nước mưa. Do đó, tỉnh Ninh Thuận được chọn là một khu vực thử nghiệm thí điểm để thực hiện ASIS làm cơ sở ở rộng ứng dụng ra các khu vực khác trong cả nước.



Hình 1: Phân bố khu vực nông nghiệp ở Ninh Thuận (Sở NN & PT NT Ninh Thuận 2015)

2.2. Các chỉ số hạn hán thực vật VCI, TCI và VHI

Chỉ số điều kiện thực vật (VCI) có nguồn gốc từ Chỉ số thực vật (NDVI), là một thước đo gián tiếp về sức khỏe thực vật trong mối liên quan với hoạt động quang hợp. VCI được tính từ NDVI theo công thức sau:

$$VCI = \frac{(NDVI_i - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})} \times 100$$

Trong đó

NDVI_i: Giá trị NDVI trung bình tại thời điểm (i)

NDVI_{min}: Giá trị NDVI nhỏ nhất trong toàn chuỗi số liệu

NDVI_{max}: Giá trị NDVI lớn nhất trong toàn chuỗi số liệu

Thuật toán tính Chỉ số điều kiện nhiệt độ (TCI) tương tự như VCI, nhưng liên quan đến nhiệt độ LST được ước tính bởi dải hồng ngoại của cảm biến AVHRR (kênh 4). Kogan (1995) đề xuất kết hợp chỉ số nhiệt độ này để loại bỏ hiệu ứng méo mó của mây trên đánh giá vệ tinh của thảm thực vật, vì kênh hồng ngoại ít nhạy với

hàm lượng hơi nước trong khí quyển hơn so với các kênh ánh sáng khả kiến. Nhiệt độ cao ở giữa chu kỳ cây trồng cho thấy điều kiện hạn hán, trong khi nhiệt độ thấp cho thấy điều kiện thuận lợi. Công thức toán học của TCI là:

$$TCI = \frac{(LST_{\max} - LST_i)}{(LST_{\max} + LST_{\min})} \times 100$$

Trong đó

LST_i : Giá trị LST trung bình tại thời điểm (i)

TCI_{\min} : Giá trị LST nhỏ nhất trong toàn chuỗi số liệu

TCI_{\max} : Giá trị LST lớn nhất trong toàn chuỗi số liệu

Cuối cùng chỉ số Sức khỏe cây trồng VHI được tính theo công thức sau:

$$VHI = a * VCI + b * TCI$$

Trong đó VHI sự kết hợp của VCI và TCI cho mỗi giai đoạn 10 ngày. Các tham số “a” và “b” có các trọng số khác nhau tùy thuộc vào vụ mùa được phân tích. Trong điều kiện gần như bình thường, thảm thực vật nhạy cảm hơn với độ ẩm trong quá trình hình thành tán, trong khi nhạy cảm hơn với nhiệt độ trong quá trình ra hoa.

2.3. Hệ thống ASIS toàn cầu

ASIS (Agricultural Stress Index System) sử dụng Chỉ số sức khỏe thực vật (VHI) có nguồn gốc từ Chỉ số thực vật khác biệt bình thường hóa (NDVI), trong đó gián tiếp đo lường sức khỏe của thực vật thông qua mối quan hệ của nó với quá trình quang hợp. VHI được phát triển tại Dịch vụ thông tin và dữ liệu vệ tinh môi trường quốc gia Hoa Kỳ (NESDIS) và đã được áp dụng thành công trong nhiều điều kiện môi trường khác nhau trên toàn cầu, bao gồm châu Á, châu Phi, châu Âu và châu Mỹ. Bước đầu tiên trong ASIS là tính toán VHI trung bình trong quá trình cây trồng phát triển, VHI cho phép đánh giá cường độ và thời gian khô hạn trong chu kỳ cây trồng ở mức điểm ảnh pixel. ASIS dựa trên dữ liệu về điều kiện khí hậu cần thiết cho phát triển cây trồng (nhiệt độ của độ

che phủ thực vật và sinh khối) từ cảm biến trên vệ tinh METOP-AVHRR ở độ phân giải 1 km.

Bước thứ hai là tính toán tỷ lệ diện tích nông nghiệp bị ảnh hưởng bởi hạn hán. Theo các nghiên cứu trước đó, các điểm ảnh với VHI <35 được nhận dạng là hạn hán. Đây là yếu tố quan trọng để đánh giá sự phân bố không gian của hạn hán. Cuối cùng, hạn hán được phân cấp theo tỷ lệ diện tích bị ảnh hưởng trên một đơn vị hành chính (cấp xã, huyện hoặc tỉnh). Trong đánh giá hạn nông nghiệp, một điều quan trọng là tập trung vào các giai đoạn nhạy cảm nhất với sự thiếu nước của cây trồng, chẳng hạn như các giai đoạn ra hoa và hình thành hạt.

Cơ sở dữ liệu ASIS FAO chứa 30 điểm nóng về hạn hán, bắt đầu từ năm 1984 khi khu vực Sahel bị ảnh hưởng nặng nề do hạn hán. Vì hình ảnh METOP chỉ có từ năm 2007 trở đi, Viện nghiên cứu công nghệ Flemish Hà Lan hay VITO - một đối tác của FAO - đã mô phỏng dữ liệu METOP nhằm kết hợp với ảnh vệ tinh NOAA-AVHRR để có được chuỗi thời gian liên tục từ 1984 đến 2015. Mô phỏng này giữa hai vệ tinh làm cho nó có thể phục hồi bộ nhớ pixel dài hạn, do đó đảm bảo rằng các điểm ảnh đã phải chịu ít nhất một sự kiện cực đoan trong 30 năm lịch sử.

2.4. Hệ thống ASIS hiệu chỉnh cho Ninh Thuận

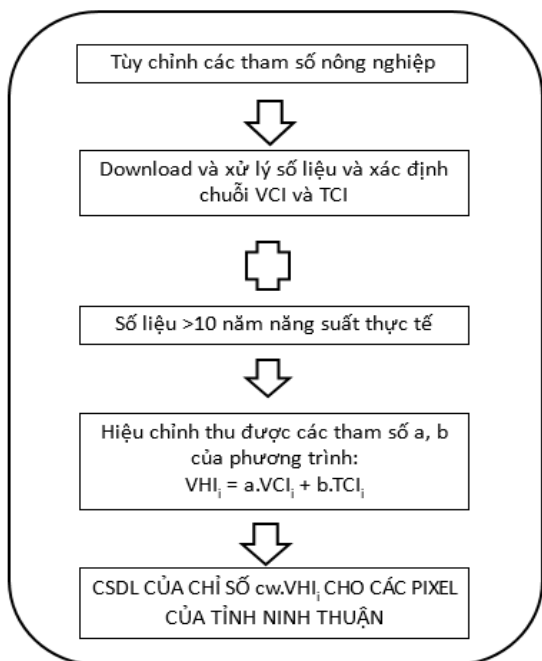
Dựa trên cơ sở của ASIS ở cấp độ toàn cầu, ASIS đã được hiệu chỉnh riêng cho tỉnh Ninh Thuận dựa trên các điều kiện sau:

ASIS cấp địa phương sử dụng hệ số cây trồng (kc) để mô hình hóa độ nhạy với sự thiếu nước tốt hơn cho từng giai đoạn hình thái của canh tác; nói cách khác, nó nhận ra sự nhạy cảm khác nhau của các giai đoạn hình thái khác nhau, và chú trọng hơn đến giai đoạn ra hoa và làm hạt

Lịch thời vụ chính xác ở Ninh Thuận đã được thay thế bằng lịch thời vụ toàn cầu trong ASIS.

Khu vực trồng nông nghiệp, mà trong phiên bản toàn cầu bao gồm mười loại ngũ cốc, đã được

thay thế bằng ranh giới đất nông nghiệp và các vùng trồng khác nhau ở Ninh Thuận bao gồm vùng trồng lúa, vùng trồng màu và vùng trồng cây lâu năm (Hình 1). Bản đồ nông nghiệp này giúp tang mối tương quan giữa các chỉ số thực vật và năng suất cây trồng.



Hình 2: Quy trình hiệu chỉnh ASIS, thí điểm cho khu vực Ninh Thuận

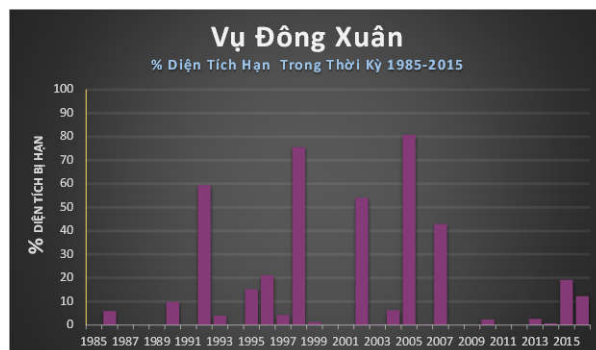
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Lịch sử hạn nông nghiệp ở Ninh Thuận giai đoạn 1985-2015

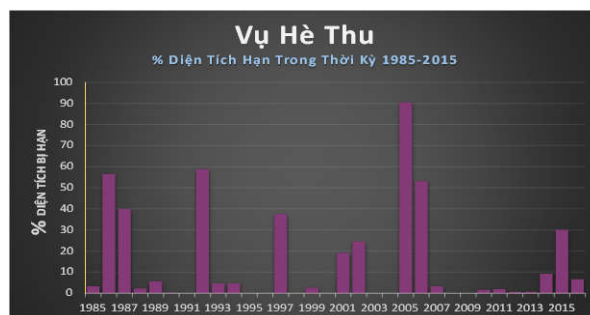
Hệ thống ASIS hiệu chỉnh riêng cho Ninh Thuận đã được sử dụng để tính toán % diện tích vùng nông nghiệp bị ảnh hưởng bởi hạn hán ($VHI < 35$) trong lịch sử 30 năm liên tục từ 1985 đến 2015. Cụ thể hình 3,4,5 mô tả kết quả diện tích vùng trồng lúa bị hạn trong các vụ khác nhau bao gồm vụ Đông Xuân, vụ Hè Thu và Vụ Mùa.

Kết quả cho thấy những năm hạn hán khắc nghiệt nhất xảy ra ở Ninh Thuận là năm 1986, 1992, 1998, 2002, 2005 và 2015. Các năm này có mối tương quan mạnh với các năm xảy ra El Nino. Ngoài ra Vụ Hè Thu (từ tháng 5 đến tháng 8) là mùa “dễ bị hạn hán” nhất trong số các vụ

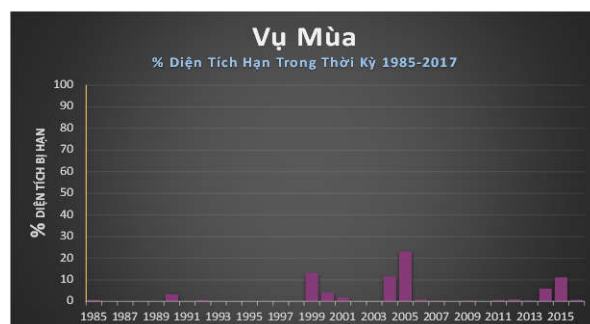
khác so với vụ Đông Xuân (tháng 1 đến tháng 4) và vụ Mùa (tháng 9 đến tháng 11).



Hình 3: % diện tích lúa vụ Đông Xuân bị hạn ở Ninh Thuận qua các năm trong thời kỳ từ 1985-2015



Hình 4: % diện tích lúa vụ Hè Thu bị hạn ở Ninh Thuận qua các năm trong thời kỳ từ 1985-2015

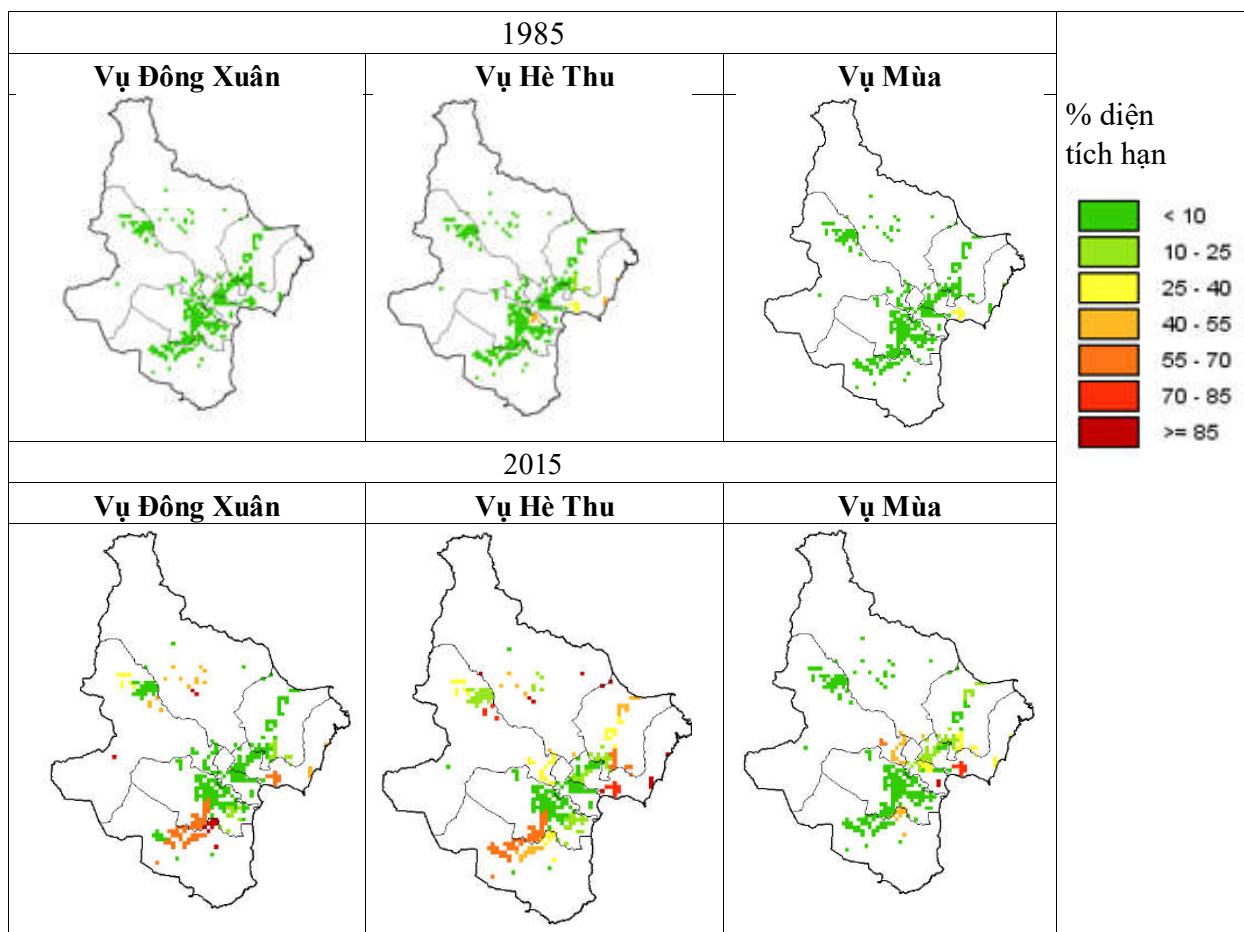


Hình 5: % diện tích lúa vụ Mùa bị hạn ở Ninh Thuận qua các năm trong thời kỳ từ 1985-2015

3.2. Giám sát sự phân bố hạn nông nghiệp ở Ninh Thuận các năm 1985 và 2015

Hình 6 mô tả phân bố không gian các khu vực bị hạn theo pixel ở Ninh Thuận cho năm 1985 và năm 2015. Dải màu từ xanh đến đỏ thể hiện

% diện tích bị hạn tăng dần.



Hình 6: Phân bố không gian khu vực bị hạn nông nghiệp ở Ninh Thuận trong năm 2015

4. KẾT LUẬN

Dựa trên cơ sở của hệ thống ASIS toàn cầu, hệ thống ASIS phát triển độc lập cho tỉnh Ninh Thuận đã cho kết quả giám sát hạn hán có độ chính xác cao phù hợp với các sự kiện hạn đã xảy ra trong lịch sử ở Ninh Thuận. Hệ thống này có thể giúp hỗ trợ ra quyết định trong việc vận hành tối ưu hệ thống tưới tiêu ở Ninh Thuận cũng như khắc phục sự cố do hạn hán gây ra. Qua đó có thể làm tiền đề để xây dựng cho một hệ thống ASIS hiệu chỉnh cho toàn Việt Nam.

Kết quả từ ASIS cho thấy lịch sử hạn hán từ 1985 đến 2015 có mối liên hệ cao với hiện tượng ENSO. Do đó chỉ số ENSO có thể làm

TÀI LIỆU THAM KHẢO

căn cứ cho một chỉ số kích hoạt trong một hệ thống cảnh báo sớm hạn hán.

Tuy nhiên, có một số hạn chế của việc sử dụng ảnh METOP/AVHRR trong hệ thống ASIS, như:

- Độ phân giải 1km chưa thỏa mãn yêu cầu tính toán diện tích hạn hán cũng như sự phân bố của hạn hán ở cấp độ chi tiết hơn như cấp xã.

- Khu vực cây trồng sử dụng trong ASIS là cố định trong khi diện tích này có thay đổi qua hàng năm. Để khắc phục nhược điểm này, trong tương lai cần có thuật toán linh hoạt khu vực nông nghiệp để cải thiện chất lượng các kết quả đầu ra của ASIS

- [1] Cục Thống kê tỉnh Ninh Thuận, “*Niên giám thống kê 2017*”;
- [2] Ủy ban nhân dân tỉnh Ninh Thuận, Báo cáo Dự án “*Rà soát, điều chỉnh quy hoạch thủy lợi Ninh Thuận đến 2020, tầm nhìn 2030 thích ứng với Biến đổi khí hậu*”.
- [3] Sở KH&CN tỉnh Ninh Thuận, Báo cáo “*Nghiên cứu đánh giá tài nguyên nước lưu vực sông Cái và khả năng đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế xã hội tỉnh Ninh Thuận đến năm 2020 và tầm nhìn 2030*”.
- [4] Ủy ban nhân dân tỉnh Ninh Thuận, Báo cáo tổng hợp “*Quy hoạch tổng thể phát triển Kinh tế xã hội tỉnh Ninh Thuận đến năm 2020, tầm nhìn đến năm 2030*”.
- [5] Sở NN & PTNT tỉnh Ninh Thuận, “*Báo cáo thực hiện các giải pháp chống hạn năm 2015*”.
- [6] Ủy ban nhân dân tỉnh Ninh Thuận, Báo cáo tình hình thực hiện nhiệm vụ kinh tế - xã hội của tỉnh từ năm 2012 đến năm 2016.
- [7] Sở NN&PTNN tỉnh Ninh Thuận, Báo cáo tổng hợp Quy hoạch tổng thể phát triển ngành Nông-Lâm-Thủy sản tỉnh Ninh Thuận đến năm 2020.
- [8] Ủy ban Phòng chống lụt bão tỉnh Ninh Thuận, Báo cáo tổng kết công tác phòng chống lụt bão, tìm kiếm cứu nạn và giảm nhẹ thiên tai từ năm 2011 đến năm 2014.
- [9] Sở TN&MT tỉnh Ninh Thuận, Báo cáo dự án xây dựng Kế hoạch hành động ứng phó với biến đổi khí hậu tỉnh Ninh Thuận trong khuôn khổ chương trình mục tiêu Quốc gia.
- [10] Sở TN&MT tỉnh Ninh Thuận, Báo cáo hiện trạng môi trường tỉnh Ninh Thuận giai đoạn 2011-2015.
- [11] Quyết định số 1222/QĐ-TTg ngày 22/7/2011 của Thủ tướng Chính phủ về phê duyệt Quy hoạch phát triển kinh tế-xã hội của tỉnh Ninh Thuận.
- [12] Eerens, H., B. Baruth, L. Bydekerke, B. Deronde, J. Dries, E. Goor, and W. Heyns, et al. 2009. Ten-Daily Global Composites of METOP-AVHRR. In: Proceedings of the 6th International Symposium on Digital Earth, 8–13. Beijing, China: International Society for Digital Earth (ISDE), Sep 9–12 2009
- [13] Roel Van Hoolst, Herman Eerens, Dominique Haesen, Antoine Royer, Lieven Bydekerke, Oscar Rojas, Yanyun Li & Paul Racionzer (2016) FAO’s AVHRR-based Agricultural Stress Index System (ASIS) for global drought monitoring, International Journal of Remote Sensing, 37:2, 418-439, DOI: 10.1080/01431161.2015.1126378
- [14] Rojas, O., A. Vrieling, and F. Rembold. 2011. “Assessing Drought Probability for Agricultural Areas in Africa with Coarse Resolution Remote Sensing Imagery.” Remote Sensing of Environment 115 (2): 343–352. doi:10.1016/j.rse.2010.09.006.
- [15] Sannier, C. A. D., J. C. Taylor, W. Du Plessis, and K. Campbell. 1998. “Real-Time Vegetation Monitoring with NOAA-AVHRR in Southern Africa for Wildlife Management and Food Security Assessment.” International Journal of Remote Sensing 19 (4): 621–639. doi:10.1080/014311698215892
- [16] Swets, D. L., B. C. Reed, J. D. Rowland, and S. E. Marko. 1999. “A Weighted Least-Squares Approach to Temporal NDVI Smoothing.” In: Proceedings of the 1999 ASPRS Annual Conference, 526–536. Portland, OR.