

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ VIỄN THÁM ĐÁNH GIÁ MỨC ĐỘ KHẮC NGHIỆT HẠN HÁN Ở CÁC TỈNH DUYÊN HẢI MIỀN TRUNG

PGS.TS. **Dương Văn Khảm**, ThS. **Nguyễn Hữu Quyền**, ThS. **Trần Thị Tâm**

Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường

ThS. **Lại Tiến Dũng** - Viện Bảo vệ Thực vật

**H**ạn hán là một trong những thiên tai gây trở ngại lớn đối với sự phát triển kinh tế - xã hội và đời sống ở Việt Nam, trong đó có các tỉnh ở duyên hải miền Trung. Những hậu quả do hạn hán gây ra rất trầm trọng: làm cho hàng ngàn ao hồ sông suối bị cạn kiệt, nhiều vùng dân cư thiếu nước sinh hoạt, hạn hán còn dẫn tới nguy cơ cháy rừng cao, giảm năng suất cây trồng hoặc mất khả năng canh tác của nhiều vùng đất nông nghiệp. Hạn nhẹ thường làm giảm năng suất và sản lượng cây trồng đến 20-30%, hạn nặng đến 50%, hạn rất nặng làm mùa màng bị mất trắng. Thông thường hạn hán xảy ra trên diện rộng, việc quan trắc bằng các phương pháp truyền thống rất khó khăn, nhất là đối với những nước đang phát triển với những hạn chế trong việc đầu tư cho hệ thống quan trắc bề mặt. Chính vì vậy, những số liệu vệ tinh quan trắc trái đất đang được các nước trên thế giới sử dụng rất có ích và rất đáng được quan tâm nghiên cứu trong việc giám sát hạn hán ở Việt Nam.

## 1. Viễn thám trong giám sát và dự báo hạn hán

Ở Việt Nam, hằng năm đều xảy ra hạn hán với các mức độ khác nhau làm ảnh hưởng đến đời sống, xã hội và đặc biệt là sản xuất nông nghiệp. Theo thống kê từ năm 1995 đến 1999 tổng diện tích nông nghiệp chịu ảnh hưởng của hạn hán lên đến 1.622.242 ha, trong đó có 157.485 ha bị mất trắng do hạn hán gây nên. Nếu so sánh với tổng diện tích gieo trồng khoảng 11.000.000 ha trong những năm này thì diện tích bị ảnh hưởng do hạn hán chiếm đến 16% tổng diện tích gieo trồng (Nguồn: Nguyễn Thanh Xuân, Viện Quy hoạch và Thiết kế Nông nghiệp).

Hạn hán ở Việt Nam đang có nguy cơ sa mạc hóa và hoang mạc hóa. Tại hội nghị hành động quốc gia chống sa mạc hoá ngày 28/6/2007, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn đã công bố ở Việt Nam có 4,3 triệu ha đang bị thoái hoá, sa mạc hoá nằm trong số 9 triệu ha đất hoang hoá và chiếm khoảng 28% diện tích đất đai toàn quốc, chiếm đến 90% diện tích đất đang chịu tác động sa mạc hoá là các khu vực đất trống, đồi trọc bị thoái hoá mạnh, đất bị đá ong hoá. Trong đó các tỉnh ven biển miền Trung chiếm đến 419.000ha.

Thông thường hạn hán xảy ra trên diện rộng, việc quan trắc bằng các phương pháp truyền thống rất khó khăn, nhất là ở những nước đang phát triển với những hạn chế trong việc đầu tư cho hệ thống quan trắc. Chính vì vậy, những số liệu vệ tinh quan trắc trái đất (EOS) rất có ích và rất đáng được quan tâm trong việc đánh giá và giám sát hạn hán.

Nhu cầu có số liệu chính xác để đánh giá những tác động của hạn hán và giám sát quá trình của hạn hán là then chốt. Phương pháp truyền thống trong giám sát và đánh giá hạn hán dựa vào số liệu mưa là rất hạn chế trong khu vực không có trạm quan trắc và điều quan trọng là khó thu được số liệu trong thời gian thực. Ngược lại, các số liệu từ vệ tinh được cung cấp nhanh chóng và có thể được sử dụng để nhận biết sự xuất hiện của hạn hán, thời gian tồn tại và cường độ của nó (Thiruvengadachari và Gopalkrishna, 1993).

## 2. Nghiên cứu các chỉ tiêu viễn thám để đánh giá hiện trạng hạn nông nghiệp

Theo tính chất vật lý của quá trình bốc thoát hơi và tính chất sinh học của thực vật: thông thường độ ẩm đất cao cây trồng phát triển tốt, sự bốc thoát hơi cây trồng mạnh nhiệt độ thân cây trồng và bề mặt

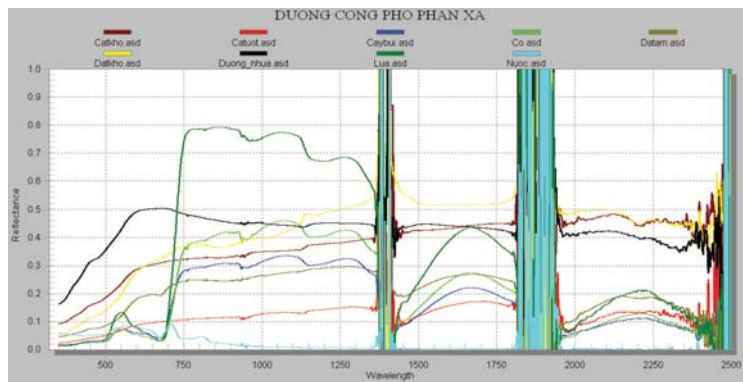
Người đọc phản biện: PGS. TS. **Nguyễn Văn Việt**

đất giảm. Như vậy, chỉ số thực vật có tương quan thuận với độ ẩm đất và tương quan nghịch với nhiệt độ bề mặt. Xuất phát từ tính chất vật lý này, nhiều nước trên thế giới đã sử dụng ảnh vệ tinh với các kênh phổ khác nhau để xây dựng một số mô hình giám sát và dự báo hạn hán. Trong các mô hình giám sát và dự báo hạn hán thường sử dụng các phương pháp và chỉ tiêu viễn thám sau:

**a. Phương pháp sử dụng mối quan hệ của các chỉ số thực vật**

Bất kỳ vật thể nào trên bề mặt đất và khí quyển đều có tác dụng điện từ, đồng thời bất kỳ vật thể nào có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ không tuyệt đối

(nhiệt độ K = -273,16°C) đều liên tục phát ra sóng điện từ (nhiệt bức xạ). Do thành phần cấu tạo của các vật thể trên bề mặt trái đất và các thành phần vật chất trong bầu khí quyển khác nhau nên sự hấp thụ hoặc phát xạ các sóng điện từ là khác nhau. Vì vậy, trên cơ sở các dữ liệu viễn thám ta có thể xác định được các đặc trưng quang phổ khác nhau bề mặt trái đất và khí quyển. Một trong những đặc trưng quang phổ quan trọng nhất của viễn thám là quang phổ phát xạ và phản xạ Albedo. Từ những đặc trưng này làm cơ sở để xây dựng các chỉ số thực vật, và các chỉ số của các thành phần vật lý của bề mặt và khí quyển (Hình 1).



**Hình 1. Đường cong phổ phản xạ của một số đối tượng bề mặt**

Có nhiều các chỉ số thực vật khác nhau, nhưng chuẩn hoá chỉ số thực vật (NDVI) được trung bình hoá trong một chuỗi số liệu theo thời gian sẽ là công cụ cơ bản để giám sát sự thay đổi trạng thái thực vật, trên cơ sở đó biết được tác động của thời tiết, khí hậu đến sinh quyển.

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)} \tag{1}$$

Trong đó là phổ phản xạ của bước sóng cận hồng ngoại và bước sóng đỏ của bề mặt.

**Chỉ số hạn hán VCI**

Nhiều nghiên cứu cho thấy NDVI có khả năng được dùng không riêng để đánh giá sinh trưởng, phát dục, đánh giá sản phẩm ban đầu mà còn dùng cho việc giám sát hạn hán. Kogan (1995, 1997) đã tìm được mối tương quan giữa các chỉ số thực vật NDVI để tính toán chỉ số trạng thái thực vật (vegetation condition index VCI) từ đó đánh giá được mức độ hạn hán thực vật.

$$VCI = \frac{(NDVI_j - NDVI_{min}) * 100}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \tag{2}$$

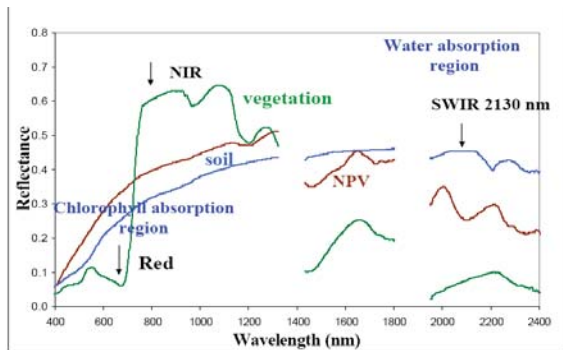
Chỉ số nước bề mặt (Land Surface Water Index - LSWI)

Chỉ số nước bề mặt biểu thị mức độ thay đổi hàm lượng nước của lớp phủ bề mặt. LSWI là một trong những chỉ số để đánh giá mức độ hạn hán của lớp phủ thực vật nói chung và cây trồng nói riêng. Chỉ số LSWI được xác định theo công thức (Hunt et al., 1987&1989):

$$LSWI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR(2130nm)}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR(2130nm)}} \tag{3}$$

Trong đó:  $\rho_{860}$  và  $\rho_{2130}$  là giá trị phản xạ của bước sóng 860nm và 2130 nm tương ứng với giá trị phản xạ kênh 2 và kênh 7 của ảnh viễn thám MODIS. Theo hình 2 tại bước sóng phổ 820 nm giá trị phản xạ của đối tượng gần như là lớn nhất, và tại bước sóng phổ 2130 nm giá trị phản xạ của đối tượng cũng gần

như là nhỏ nhất. Từ sự chênh lệch giá trị phổ phản xạ của hai bước sóng này làm cơ sở cho việc tính toán chỉ số hạn hán.



**Hình 2. Biểu diễn đường cong phổ phản xạ tại hai giá trị phổ 860 nm và 2130 nm**

**b. Phương pháp quán tính nhiệt**

Phương pháp quán tính nhiệt được sử dụng đối với những vùng đất trống và vùng có lớp phủ thực vật thấp.

Mô hình được xây dựng theo phương pháp này dựa trên quá trình vật lý về quán tính nhiệt của đất. Nó phản ánh khả năng biến đổi nhiệt trong đất. Quán tính nhiệt lớn khi mật độ đất, nhiệt dung riêng và tính truyền nhiệt của đất cao. Mật độ đất, nhiệt dung riêng và tính truyền nhiệt của đất ở một mức độ nào đó sẽ quyết định sự biến đổi hàm lượng nước trong đất, do đó quán tính nhiệt trong đất và hàm lượng nước trong đất có mối tương quan thuận mật thiết với nhau.

Mô hình nhiệt của Price:

$$\Delta T = \frac{2S\tau C_1(1-A)}{\omega P^2 + B^2 + \sqrt{\omega PB}} \tag{4}$$

Trong đó P quán tính nhiệt bề mặt, A phản xạ bề mặt, ΔT biên độ nhiệt độ ngày đêm, S hằng số mặt trời, τ C<sub>1</sub> hệ số khí quyển = 0,75, C<sub>1</sub> vĩ xích mặt trời, ω P góc quay của trái đất, B hệ số có liên quan tới phát xạ bề mặt, ẩm độ không khí và đất.

$$C_1 = \frac{1}{\pi} [\sin \delta \cos \phi (1 - \tan^2 \delta \tan^2 \phi)^{1/2} + \arccos(-\tan \delta \tan \phi) \cos \delta \cos \phi] \tag{5}$$

Từ công thức:

$$P = 2S\tau C_1(1-A) / \sqrt{\omega * \Delta T - 0.9B\sqrt{\omega}}$$

Trong trường hợp điều kiện khí hậu bình thường, bề mặt bằng phẳng, các hệ số là hằng số.

Ở một vị trí nhất định thì quán tính nhiệt chỉ còn phụ thuộc vào phản xạ bề mặt và biên độ nhiệt độ ngày đêm.

$$P = \frac{(1-A)}{\Delta T} \tag{6}$$

Trong đó:

P : là quán tính nhiệt;

A: là giá trị phản xạ bề mặt toàn sắc;

ΔT : là biên độ nhiệt độ ngày đêm.

Sau khi đã tìm được quán tính nhiệt có thể bằng phương pháp thống kê như các mô hình hồi quy tuyến tính hoặc phi tuyến tính để tính ra độ ẩm đất.

$$S_w = a + bP$$

$$S_w = aP^b$$

Trong đó S<sub>w</sub> là độ ẩm đất, P quán tính nhiệt, a, b các hệ số thực nghiệm.

**c. Phương pháp chỉ số khô hạn nhiệt độ- thực vật (Vegetation - temperature Dryness Index VTCI)**

Phương pháp này phản ánh mức độ hạn hán của cây trồng, ý nghĩa vật lý như sau: Khi cây trồng bị hạn hán sự bốc thoát hơi nước của cây trồng sẽ giảm, nhiệt độ bề mặt thảm cây trồng (LST) sẽ tăng cao. Sau khi bị hạn hán, cây trồng không thể phát triển một cách bình thường, chỉ số diện tích lá giảm xuống, dẫn đến chỉ số thực vật NDVI giảm. Như vậy, LST và NDVI kết hợp có thể cung cấp thông tin về điều kiện sức khoẻ thực vật và độ ẩm tại bề mặt lớp phủ (Sandholt và nn.k, 2002).

Trong không gian (LST, NDVI), độ dốc của đường hồi quy liên quan đến mức độ bay hơi của bề mặt, đến kháng trở của lá cây và đến độ ẩm trung bình của đất (Hình 3). Các pixel ảnh trong không gian (LST, NDVI) bị ảnh hưởng bởi rất nhiều yếu tố như nhiệt độ, độ phủ thực vật, độ ẩm, độ bay hơi, v.v... và những đường đồng mức của các yếu tố chính (độ ẩm, độ bay hơi) có thể vẽ được trong tam giác xác định trên không gian (LST, NDVI). Với cùng điều kiện khí hậu, nhiệt độ bề mặt LST sẽ nhỏ nhất tại những bề mặt có độ bay hơi cực đại do lượng nước bão hoà- tạo nên đường đáy "ria ướt" của tam

giác không gian (LST, NDVI). Ngược lại, tại các bề mặt có độ bay hơi cực tiểu do bề mặt rất khô (dù có hay không có phủ thực vật) thì nhiệt độ bề mặt LST sẽ tăng cực đại- tạo nên đường hạn chế trên “ rìa khô” của tam giác không gian (LST, NDVI). Phương pháp này được gọi là chỉ số khô hạn nhiệt độ thực vật (VTCI). Giá trị VTCI thấp tương ứng với điều kiện khô hạn và VTCI cao ứng với điều kiện ẩm ướt.

Công thức toán học có thể viết như sau:

$$VTCI = \frac{LST_{maxNDVIi} - LST_{NDVIi}}{LST_{maxNDVIi} - LST_{minNDVIi}} \quad (7)$$

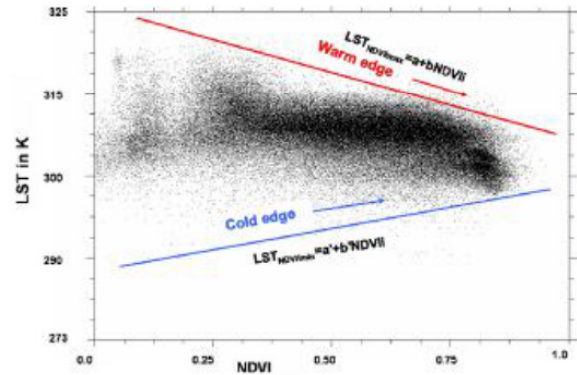
trong đó

$$LST_{maxNDVIi} = a + bNDVIi \quad (8)$$

$$LST_{minNDVIi} = a' + b'NDVIi$$

$LST_{maxNDVIi}$  và  $LST_{minNDVIi}$  là LST cực đại và cực tiểu tương ứng các pixel có cùng giá trị  $NDVIi$  trong vùng nghiên cứu, và biểu thị của một pixel có giá trị NDVI là  $NDVIi$ . Các hệ số a, b, a' và b' có thể ước lượng từ một diện tích đủ lớn trong đó độ ẩm đất tại bề mặt trải rộng ra từ điểm khô hạn tới điểm ẩm ướt trên toàn bộ cánh đồng. Hình dạng của đồ thị phân tán thường là hình tam giác tại quy mô khu vực. Trong hình 3,  $LST_{max}$  có thể được xem như “rìa khô” ở đó độ ẩm đất và thực vật hầu như trong điều kiện

khô hạn,  $LST_{min}$  được xem như là “rìa ẩm” trong đó độ ẩm đất và thực vật hầu như trong điều kiện ẩm ướt.



Hình 3. Đồ thị phân tán của LST và NDVI

### 3. Một số kết quả đánh giá hạn hán bằng ảnh viễn thám

#### a. Các số liệu được sử dụng

1) Số liệu đo đạc thực địa bằng máy đo quang phổ ASD

Số liệu đo đạc thực địa bao gồm một số đối tượng bề mặt chính như lúa, cỏ, cây bụi, đất, cát, nước với các mức độ ẩm khác nhau được thể hiện tại bảng 1. Đây là các số liệu thực đo làm cơ sở cho việc đánh giá các chỉ tiêu hạn bằng ảnh vệ tinh.

Bảng 1. Số liệu đo đạc thực địa bằng máy quang phổ ASD của một số đối tượng

Loại lớp phủ	Giá trị phát xạ các kênh phổ			Chỉ số NDVI	Chỉ số LSWI
	RED	NIR	SWIR		
Lúa	0.049	0.792	0.185	0.885	0.621
Cỏ	0.040	0.413	0.110	0.823	0.576
Cây bụi	0.049	0.306	0.100	0.724	0.505
Đất khô	0.308	0.365	0.496	0.085	-0.151
Đất ẩm	0.197	0.246	0.185	0.111	0.145
Cát khô	0.302	0.328	0.483	0.041	-0.191
Cát ướt	0.095	0.114	0.132	0.091	-0.073
Nước	0.068	0.024	0.001	-0.478	0.923
Đường nhựa	0.502	0.461	0.463	-0.043	0.045



*\*) Sử dụng máy đo phổ (Analytical Field Spectroradiometer ASD)*

Từ bảng 1 ta thấy, đối với lớp phủ là thực vật như: lúa, cỏ, cây bụi chỉ số LSWI nhỏ tương ứng với lớp phủ mà lượng nước cung cấp cho cây trồng bị hạn chế hơn; đất khô, cát khô chỉ số LSWI nhỏ hơn đối với đất ướt, cát ướt; đường nhựa chỉ số LSWI rất nhỏ; ngược lại đối với bề mặt nước chỉ số LSWI gần bằng 1. Như vậy chỉ số LSWI phản ánh rất rõ ràng mức độ khô hạn của lớp phủ bề mặt. Chỉ số LSWI càng nhỏ mức độ hạn hán càng nghiêm trọng.

**2) Số liệu viễn thám**

Số liệu viễn thám bao gồm các ảnh vệ tinh MODIS ngày và các số liệu tổ hợp 8 ngày và 32 ngày từ năm 2006 đến năm 2013. Các số liệu này ở dạng mức 1B.

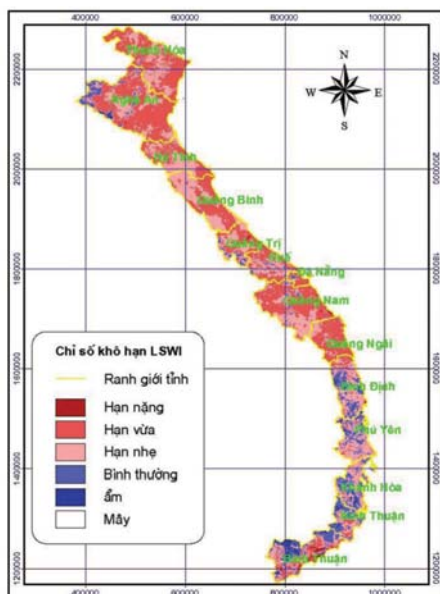
**b. Kết quả đánh giá hạn hán ở duyên hải miền Trung bằng ảnh vệ tinh**

Từ các phương pháp đã nêu ở trên bài viết lựa chọn hai phương pháp chủ yếu sau đây để đánh giá hạn hán:

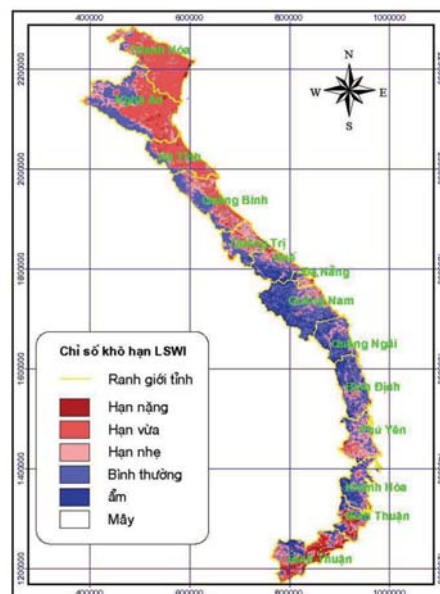
**1) Kết quả tính từ chỉ số hạn LWSI**

Chỉ số nước bề mặt (LSWI) được tính trong phần mềm ENVI (theo công thức 3), kết quả tính cho giai đoạn từ tháng 10/2006 đến tháng 4/2013. Các chỉ số LSWI được tính từ ảnh viễn thám sẽ được đối chiếu với số liệu đo đạc thực địa tại bảng 2 để phân ngưỡng theo các mức sau: hạn nặng, hạn vừa, hạn nhẹ, bình thường, ẩm.

Hình 4 là chỉ số LSWI đại diện cho hai tuần mùa khô của năm 2012 và 2013 của các tỉnh duyên hải miền Trung, nhận thấy: sự phân bố của giá trị LSWI tương đối phù hợp với sự phân bố của khu vực khô hạn. Vùng duyên hải miền Trung luôn là khu vực căng thẳng về hạn hán. Các tháng cuối năm 2012 và đầu năm 2013 giá trị LSWI thấp chiếm ưu thế, thể hiện hạn hán xuất hiện trên diện rộng.



**Hình 4a. Chỉ số hạn LSWI tuần 4 tháng 12 năm 2012**

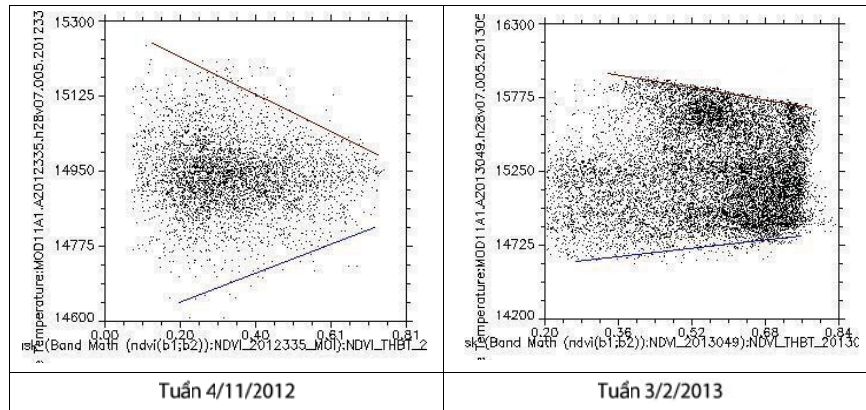


**Hình 4b. Chỉ số hạn LSWI tuần 3 tháng 2 năm 2013**

**2) Kết quả tính toán từ chỉ số VTCI**

Từ phân tích ở mục 2b, trên cơ sở dữ liệu LST và NDVI chúng tôi đã tính toán và đưa ra kết quả đồ thị phân tán của LST và NDVI cho từng tuần ở vùng

duyên hải miền Trung, hình 5. Đồ thị phân tán (scatterplots) của LST như là một hàm số của chỉ số thực vật chuẩn hóa NDVI được xây dựng cho từng ảnh MODIS đã được chọn trong mùa khô.

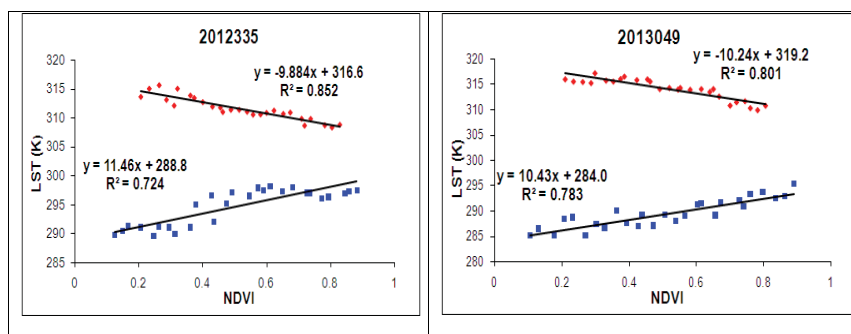


Hình 5. Đồ thị phân tán của LST theo NDVI ở vùng Duyên hải miền Trung

Giá trị  $LST_{maxNDVI}$  và  $LST_{minNDVI}$  được xác định như giá trị nhiệt độ trung bình của bề mặt trong điều kiện nước được cung cấp có giới hạn và không có giới hạn. Đường rìa khô (đường màu đỏ) và đường rìa ướt (đường màu xanh) được xác định theo phương pháp hồi quy tuyến tính cho kết quả tại các phương trình ở hình 6. Sau đó áp dụng công thức 7 để tính giá trị VTCI cho từng tuần.

Từ các phương trình hồi quy nhận thấy: hệ số

tương quan của các phương trình “rìa khô” “rìa ướt” rất cao ( $R > 0,8$ ) điều đó chứng tỏ xu thế hạn hán phù hợp với quá trình bốc thoát hơi. Độ dốc của các đường rìa khô thường lớn hơn các đường rìa ướt, chứng tỏ sự ảnh hưởng của không gian LST-NDVI đối với quá trình hạn hán lớn hơn đối với quá trình ẩm ướt, phù hợp với thực tế của quá trình khô hạn. Từ những phân tích trên ta có thể tin tưởng khi sử dụng phương trình trong hình 6 để tính chỉ tiêu hạn hán bằng các dữ liệu viễn thám.



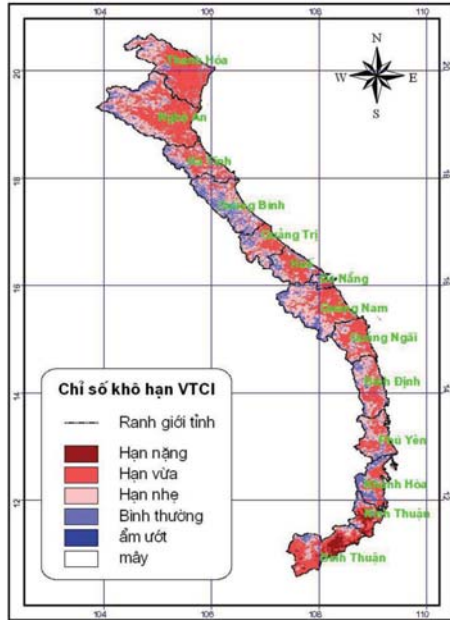
Hình 6. Đồ thị đường rìa khô và rìa ướt ngày 30/11/2012 và ngày 18/02/2013 vùng duyên hải miền Trung

Các kết quả tính toán cho các rìa khô, rìa ướt với hệ số tương quan tương đối cao phù hợp với quy luật của quá trình bốc thoát hơi nước của lớp phủ.

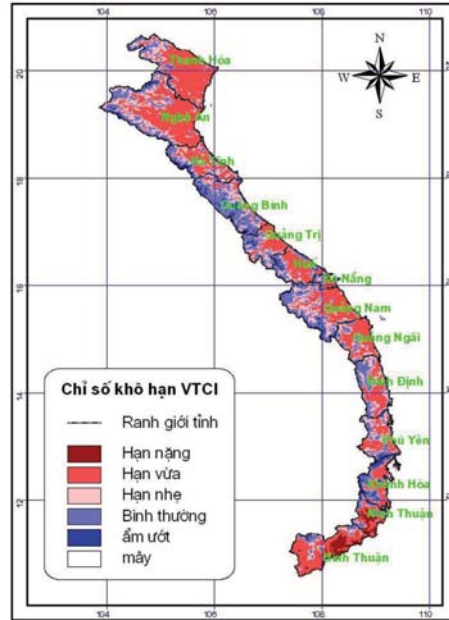
Chỉ số VTCI đã được tính toán cho từng cảnh ảnh theo công thức 7 cho giai đoạn xuất hiện khô hạn và nắng nóng cho phạm vi duyên hải miền Trung từ tháng 5/2006 đến tháng 4/2013. Hình 6 cho thấy sự phân bố không gian của chỉ số VTCI, giá trị VTCI biến động từ 0 đến 1. Giá trị VTCI càng nhỏ (vùng màu đỏ vàng) thể hiện khu vực khô hạn và VTCI

càng lớn (vùng màu xanh) thể hiện khu vực được cấp nước đầy đủ.

So sánh các chỉ số LSWI và VTCI trong cùng một tuần (Hình 4b và 7b) nhận thấy: sự phân bố của cả hai chỉ số hạn là khá phù hợp, các tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận đều có nhiều diện tích bị hạn nặng; đại bộ phận diện tích các tỉnh còn lại ở duyên hải miền Trung đều nằm trong phạm vi hạn vừa; các vùng phía tây của các tỉnh mức độ hạn nhẹ hơn.



**Hình 7a. Chỉ số hạn VTCl tuần 4 tháng 11 năm 2012 vùng duyên hải miền Trung**



**Hình 7b. Chỉ số hạn VTCl tuần 3 tháng 2 năm 2013 vùng duyên hải miền Trung**

#### 4. Kết luận

Việc sử dụng chỉ số khô hạn LSWI và VTCI để đánh giá và theo dõi hạn hán là phù hợp vì vừa đảm bảo tính sinh- vật lý của quá trình hạn hán vừa đảm bảo tính thực tiễn hạn hán ở Việt Nam.

Hạn hán đã trở thành một thách thức nghiêm trọng ở trên thế giới nói chung và ở Việt Nam nói riêng. Theo dõi, giám sát và dự báo hạn hán là vấn đề cấp thiết.

Cùng với các số liệu quan trắc bề mặt, việc tích hợp các thông tin viễn thám với các vệ tinh khác nhau với nhiều độ phân giải không gian và thời

gian khác nhau, sử dụng các chỉ tiêu hạn hán phù hợp cho mỗi vùng, mỗi mùa là hoàn toàn có khả năng phục vụ công tác giám sát và theo dõi hạn hán ở các tỉnh Duyên hải miền Trung nói riêng và Việt nam nói chung.

Chỉ số hạn LSWI và VTCI dựa trên tương quan NDVI-LST và các kênh phổ của ảnh vệ tinh MODIS được phân ngưỡng hạn theo các số liệu đo đạc khảo sát thực tế là phù hợp với quy luật diễn biến hạn hán ở Việt Nam. Do vậy các chỉ số hạn này có thể được sử dụng làm một trong các chỉ tiêu đánh giá và theo dõi hạn hán ở Việt Nam.

### Tài liệu tham khảo

1. Trần Hùng, Sử dụng tư liệu MODIS theo dõi độ ẩm đất/thực vật bề mặt: thử nghiệm với chỉ số mức khô hạn nhiệt độ – thực vật (TVDI), Tạp chí Viễn thám và Địa tin học, số 2 tháng 4, 2007.
2. Trần Thục, Dương Văn Khảm, Công nghệ viễn thám (RS) và hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong khí tượng thủy văn, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2012.
3. S. Thiruvengadachari e H.R. Gopalkrishna, An integrated pc environment for assessment of drought, International journal of remote sensing, 14(17), 1993, pp. 3201-3208
4. Zhengming Wan, MODIS Land-Surface Temperature algorithm theoretical basis document, Institute for computational Earth system Science university of California, Santa Barbara, April 1999.
5. F. D. van der Meer, Analysing the effect of severity and duration of Agricultural drought on crop performance using Terra/MODIS Satellite data and Meteorological data, Bikash Ranjan Parida, 2006.
6. Vương Vũ Minh, Kỹ thuật viễn thám và ứng dụng, Nhà xuất bản giao thông nhân dân, Bắc Kinh 1990 (nguyên bản tiếng Trung Quốc)