



استخدام بعض الأدلة الخضرية الطيفية من منتجات صور MODIS الفضائية لدراسة الجفاف في شمال غربي سورية للفترة الزمنية 2000-2016

Using some Spectral Vegetation Indices from the MODIS Image Products to Study the Drought in Northwest Syria for the period 2000-2016

د. إياد الخالد⁽²⁾
Suzan karmoka⁽¹⁻²⁾

د. أحمد الحاج أحمد⁽¹⁾
Ahmad Al haj Ahmad⁽¹⁾

م. سوزان قرموقة⁽²⁻¹⁾
Eyad Alkhaled⁽²⁾

(1) قسم الموارد الطبيعية المتجددة والبيئة، كلية الزراعة، جامعة دمشق، سورية.

(1) Department of Renewable Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Damascus University, Syria.

(2) الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، سورية.

(2) General Organization of Remote Sensing, Syria.

hajahmad33@gmail.com

الملخص

تعرضت سورية خلال السنوات الأخيرة إلى موجات جفاف متتالية، وتعد ظاهرة الجفاف إحدى التحديات الأساسية التي تؤثر في التنمية، ويمكن ملاحظة تأثير الجفاف في كل النشاطات، ولاسيما الزراعية والاقتصادية والاجتماعية بدرجات مختلفة، تم في هذه الدراسة الاعتماد على منتجات صور MODIS الفضائية، إذ استخدم دليل القرينة النباتية EVI، ومؤشر مساحة الورقة LAI، لتحديد الجفاف الزراعي في شمال غربي سورية (اللاذقية، طرطوس، حماه، إدلب وحلب) للفترة من عام 2000 إلى 2016. أُستنبط مؤشر الجفاف LAImr الذي يحدد أربعة صفوف للتأثر بالجفاف اعتماداً على نسبة متوسط قيم LAI. وأظهرت النتائج أن عامي 2003 و 2015 كانا الأقل تعرضاً للجفاف، إذ بلغت نسبة الأراضي غير المتأثرة بالجفاف 97.51 و 97.60%، على التوالي من المساحة الكلية المدروسة، وأن عام 2008 كان الأكثر تأثراً بالجفاف، إذ كانت نسبة مساحة صف عدم التأثر بالجفاف هي الأقل بين الأعوام المدروسة (36.07% من المساحة الكلية المدروسة). وكان ارتباط مؤشر LAImr مع كمية الهطول للموسم ومؤشر الهطل المطري القياسي SPI قوياً وموجياً وحقق معنوية عند كل من مستويي الدلالة 0.05 و 0.01، ($r=0.74^{**}$ مع كمية الهطول للموسم، و $r=0.73^{**}$ مع SPI) متفوقاً على LAI و EVI. إذ كان ارتباطهما قوياً لكنه معنوي فقط عند مستوى دلالة 0.05، مما يدل على كفاءة مؤشر LAImr في دراسة الجفاف.

الكلمات المفتاحية: جفاف، الغطاء النباتي، LAImr، EVI، LAI، MODIS، سورية.

Abstract

In recent years, Syria has experienced successive drought. The drought phenomenon is one of the main challenges affecting development. The impact of drought can be seen in all activities, especially agricultural, economic and social. This study was based on MODIS images, the Enhanced Vegetation Index EVI and the Leaf area index LAI were used to determine the agriculture drought on the vegetation cover in northwest of Syria (Lattakia, Tartous, Hama, Edleb and Aleppo) for the period 2000 to 2016. The LAI_{mr} drought index was derived from the ratio of LAI for each year to the LAI average for the entire period and divided into four classes of drought impact. The results showed that 2003, 2015 were the least affected years by the drought, The percentage of unaffected lands by drought was 97.51%, 97.60% respectively of the total area studied, and 2008 was the most affected year by the drought. The percentage of unaffected class by drought was 36.07% of the total area. The correlation of the LAI_{mr} index with the precipitation quantity for the season and the SPI was strong and positive, significant at both levels of significance 0.05 and 0.01, ($r = 0.74^{**}$ with precipitation for the season and $r = 0.73^{**}$ with SPI), superior to LAI and EVI as they were strong but significant only at 0.05 level. Indicates the efficacy of the LAI_{mr} index in the drought study.

Keywords: Drought, Vegetation cover, MODIS, LAI, EVI, LAI_{mr}, Syria.

المقدمة

عرفت الإتفاقية الدولية لمكافحة التصحر (1994) الجفاف بأنه الظاهرة التي تحدث طبيعياً عندما ينخفض الهطول المطري انخفاضاً ملحوظاً فيصبح دون المستويات الطبيعية المسجلة، مما يسبب اختلالاً هيدرولوجياً خطيراً يؤثر سلباً في نظم الإنتاج لموارد الأراضي، وقُسمت أنواع الجفاف حسب Wilhite (2000) إلى الجفاف الأرصادي (Meteorological Drought)، وهو حالة مناخية طارئة في المناطق المجاورة للصحراء ودائمة فوق الصحارى الجافة تبقى فيها كميات الهطول دون المتوسط أو تنعدم تماماً، والجفاف الهيدرولوجي (Hydrological Drought)، وينتج عن الجفاف الأرصادي الذي يؤدي استمراره إلى انخفاض مستوى المياه الجوفية وتناقص المياه والجريان السطحي إلى حد خطير يسبب تناقص تدفق الأنهار والسواقي دون عتبة حدية معينة، والجفاف الزراعي (Agricultural Drought)، وهو تدني إنتاج المحاصيل نتيجة الانخفاض الحاد في رطوبة التربة وكميات الماء المتاحة للنبات، والجفاف الاقتصادي (Economical Drought)، وهو النتيجة الحتمية للأنواع السابقة التي تسبب خسائر مادية، وتؤدي إلى مشاكل اجتماعية واقتصادية تجعل الحياة صعبة وحتى مستحيلة في المناطق المعرضة، ويكون من نتائجها الهجرة.

تعد ظاهرة الجفاف إحدى التحديات الأساسية التي تؤثر في التنمية، إذ يسبب تراجع معدلات الهطول المطري وتناقص الموارد المائية السطحية والجوفية خسارة مساحات واسعة من الأراضي الزراعية، مما استدعى وجود رؤية متبصرة تقوم على الاستعداد للجفاف والتنبؤ به. وتكون البداية بمراقبة هذه الظاهرة، وتحديد أثرها في الغطاء النباتي باستخدام التقانات الحديثة، وأهمها تقانة الاستشعار عن بعد، التي تقدم رصدًا ومراقبة مستمرة للغطاء النباتي، وتعطي بيانات سريعة ودقيقة عن أي تراجع في هذا الغطاء بمختلف أشكاله نتيجة لظاهرة الجفاف (John و Jensen، 2000)، إضافةً لتحديد حالة الجفاف وتوزيعه الجغرافي في المناطق المدروسة، إذ أشار Nepstad وزملاؤه (2002) إلى انخفاض ما يقارب 20% من المساحة الورقية (Leaf area index- LAI) في الموسم الجاف مقارنةً بالموسم الرطب، وقام Chopra (2006) باستخدام دليل Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)، ودليل المطر القياسي (SPI) Standardized Precipitation Index في الهند لتحديد مستوى خطورة وثبات ظروف الجفاف، واستخدم Anderson وزملاؤه (2007) قرينة التغيرات النباتية (NDVI)، والقرينة النباتية المحسنة (Enhanced Vegetation Index (EVI) لتحديد آثار الجفاف الحاصل في كثافة الغابات في الأمازون، واستخدم AL Yagci وزملاؤه (2011) بيانات MODIS للأعوام من 2000 إلى 2011 لمراقبة تأثير الجفاف في محصول القطن في ولاية تكساس بالاعتماد على القرينة النباتية NDVI، ومؤشر الحالة الخضريّة (Vegetation Condition Index (VCI)، كما أشار Huang (2012) إلى أن توزيع LAI في ولاية تكساس مرتبط مع الهطول المطري ودرجات الحرارة، إذ تزيد قيم LAI من الغرب الجاف إلى الشرق الرطب لولاية تكساس، وقام Shofiyati وزملاؤه (2014) بتحليل مؤشر الجفاف الجوي (SPI) من البيانات اليومية والشهرية للهطول المطري للسنوات العشر الماضية. في حين تمت دراسة مؤشر الجفاف الزراعي من خلال مراقبة سلوك بعض المؤشرات؛ مثل NDVI، ودليل صحة النبات (Vegetation Health Index (VHI)، وحرارة سطح الأرض (Land Surface Temperature (LST).

Temperature، EVI، وVCI كل 16 يوماً، والمشتقة من بيانات التوايح الصناعية AMSR-E، MTSAT، MODIS في فترة 4 سنوات لغربي مقاطعة جاوا في اندونيسيا، وقد تم تطوير نظامين للمعلومات؛ الأول لمراقبة الجفاف الزراعي، والثاني لمراقبة الجفاف المناخي، إذ وضع أنموذج لرصد أثر الجفاف في إنتاج الأرز باستخدام أنموذج متكامل يستند إلى صور الأقمار الصناعية لتكون أنظمة متقدمة وفعالة في نشر معلومات الجفاف مكانياً، وبين Fisher وزملاؤه (2007)، وMeir وزملاؤه (2008)، وDu وزملاؤه (2015)، أن التأثير الشديد للجفاف يظهر بحالة انخفاض قيم مؤشر المساحة الورقية (LAI)، بينما تدل القيم المرتفعة للمؤشر على تأثير ضعيف بالجفاف. قام Yan وزملاؤه (2016) بتطوير نظام تشغيلي لمراقبة الجفاف في الصين، اعتمد على مكونات مختلفة مثل بيانات الصور الفضائية، ثم معالجة البيانات، وحساب المؤشرات الجفافية (NDVI وLST، VHI، VCI، EVI)، ثم رصد الجفاف والتحليل، إذ وُجد أن النظام قادر على رصد التباين المكاني في الغطاء النباتي نتيجة الظروف المنسوبة إلى الجفاف، واستخدم الخالد وزملاؤه (2017) القرينة النباتية NDVI من الصور الفضائية MODIS لشهر نيسان (أبريل) خلال السلسلة الزمنية من 2000 إلى 2012 بهدف تتبع التغيرات المكانية والزمنية للكتلة الحية ومساحة الأراضي المزروعة خلال هذه السلسلة للمحافظات السورية، وربطهما ببيانات الهطولات المطرية، ودور الجفاف في تغير مساحة هذه الأراضي المزروعة في سورية. إذ أشاروا إلى إمكانية استخدام القرينة NDVI من صور MODIS في مراقبة الجفاف مع بيانات للهطولات المطرية لتتبع تغيرات الكتلة الحية والغطاء النباتي.

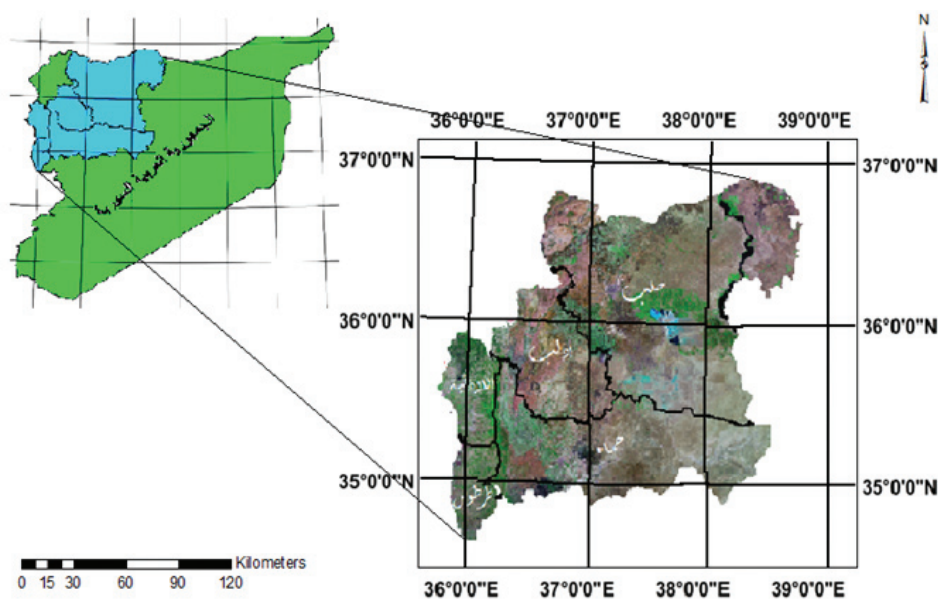
هدف البحث:

هدف البحث إلى دراسة الجفاف في شمال غربي سورية للفترة الزمنية من 2000 إلى 2016 باستخدام بعض الأدلة الخضرية الطيفية المشتقة من منتجات صور MODIS الفضائية.

مواد البحث وطرائقه

1 - منطقة الدراسة:

أجريت الدراسة على محافظات شمال غربي سورية (اللاذقية، طرطوس، حلب، حماه وإدلب)، وتبلغ مساحتها نحو 37000 كم² (الشكل 1)، وتتميز المنطقة بتنوع الغطاء النباتي الطبيعي والزراعي، إذ تشمل على المراعي، وتبلغ نسبتها نحو 21% من المساحة الكلية، والزراعات البعلية والمروية والبساتين (الزيتون، الحمضيات، التفاحيات، اللوزيات، الفستق الحلبي..إلخ)، وتشكل الأراضي المزروعة نسبة 59% تقريباً من المساحة الكلية، وكذلك الحراج والغابات في القسم الغربي لمنطقة الدراسة، وتشكل نسبة 8.4% تقريباً من المساحة الكلية، ويسود المنطقة عامة المناخ الخاص بمنطقة البحر المتوسط، وهو يتصف بشتاء ممطر وصيف جاف، يتخللها فصلان انتقاليان قصيران، يبلغ المعدل السنوي للمطر نحو 1000 ملم في المناطق الغربية، وينخفض كلما اتجهنا للشرق ليلعب نحو 150 إلى 200 ملم (تقرير الخارطة الاستثمارية الزراعية، 2012؛ المجموعة الإحصائية، 2015).



الشكل 1. منطقة الدراسة (محافظات شمال غربي سورية).

2 - بيانات الهطول المطري:

تم الحصول على كميات الهطول المطري الشهرية لـ 52 محطة تغطي منطقة الدراسة من عام 1999 إلى عام 2012 م، وحُسب تراكمي الهطول لكل محطة لموسم الهطول (8 أشهر) من بداية شهر أيلول/سبتمبر إلى نهاية نيسان/أبريل، ثم حسب متوسط موسم الهطول لمنطقة الدراسة. (وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، مديرية صندوق التخفيف من آثار الجفاف والكوارث الطبيعية).

3 - مؤشر الهطل المطري القياسي (SPI) Standard precipitation Index:

وُضع هذا الدليل من قبل Mckee وزملائه (1993) لتحديد شدة الجفاف في منطقة معينة بالاعتماد على بيانات الهطول المطري للمنطقة المدروسة، ويمكن حسابه لفترات زمنية مختلفة، تُصنف قيم SPI إلى ثمانية صفوف لتصنيف حالة الموقع من حيث الجفاف والرطوبة (الجدول 1). إذ بالإمكان أن يحدد هذا المقياس ظهور فترات الجفاف، ففترة الجفاف تحدث عندما تستمر قيم SPI سالبةً، وتصل إلى أشدها عند -2 وما دون، وتنتهي فترة الجفاف هذه عندما تصبح قيم SPI موجبةً. إن حجم تراكم القيم السالبة لـ SPI خلال فترة الجفاف يعد بمثابة مؤشر لشدة الجفاف، ويحسب باستخدام المعادلة:

$$SPI = (X_{ij} - X_{im}) / \sigma$$

حيث:

X_{ij}: الهطول المطري للموسم X_{im} ، j : متوسط الهطول المطري للمواسم المدروسة، σ: الانحراف المعياري للهطول.

الجدول 1. تصنيف دليل المطر القياسي (SPI).

التصنيف	قيم SPI
شديد الرطوبة جداً	≥ 2
شديد الرطوبة	1.99 إلى 1.5
متوسط الرطوبة	1 إلى 1.49
معتدل الرطوبة	0 إلى 0.99
جاف معتدل	0 إلى 0.99-
جاف متوسط	1- إلى 1.49-
شديد الجفاف	1.5- إلى 1.99-
شديد الجفاف جداً	≤ 2-

4 - مؤشر المساحة الورقية (LAI) Leaf area index:

هو مؤشر كمي يصف الظلة النباتية (Plant Canopy)، ويعرف بأنه مساحة المسطح الورقي بالنسبة إلى مساحة سطح الأرض التي يشغلها.

$$\text{مؤشر مساحة الورقة} = \text{مساحة الورقة (م}^2\text{)} / \text{مساحة الأرض (م}^2\text{)}$$

وتختلف قيمة هذا الدليل بحسب نوع الغطاء النباتي، والمراحل الفينولوجية لكل نبات، وتتراوح قيمته بالعموم من 0 إلى 12 (Watson، 1947). يشق هذا الدليل من الصور الفضائية من نوع MODIS، على شكل منتج يحمل الاسم MOD15A2، ذو قدرة تمييز مكانية قدرها 1000 متر، إذ يُعبّر كل بيكسل فيه عن قيمة دليل المساحة الورقية (LAI)، بتكرار زمني قدره 8 أيام، وبمستوى معالجة level3.

5 - الدليل النباتي المحسن: (EVI) Enhanced Vegetation Index:

هو تحسين للدليل الطيفي النباتي NDVI، وهو واسع الشهرة والاستخدام، إذ يستخدم هذا الدليل الانعكاس في المجال الطيفي المرئي الأزرق لتصحيح انعكاسات التربة والحد من تأثيرات الغلاف الجوي، إضافةً إلى المجالين الأحمر المرئي وتحت الأحمر القريب، ويكون أكثر فائدةً في بعض الأحيان من NDVI. وتتراوح قيمته بين -1 و +1، والمدى الشائع لهذا الدليل في الأغصان النباتية الخضراء هو من 0.2 إلى 0.8.

ويحسب وفق المعادلة (Huete وزملاؤه، 1997):

$$EVI = 2.5 \frac{(P_{NIR} - P_R)}{(P_{NIR} + 6P_R - 7.5P_B + 1)}$$

حيث:

PNIR : هو الانعكاس الناتج عن المجال الطيفي تحت الأحمر القريب.

PR : هو الانعكاس الناتج عن المجال الطيفي الأحمر المرئي.

PB : هو الانعكاس الناتج عن المجال الطيفي الأزرق المرئي.

يشترك هذا الدليل من الصور الفضائية من نوع MODIS. على شكل منتج يحمل الاسم MOD13Q1، ذو قدرة تمييز مكانية تبلغ 250 متر، إذ يعبر كل بيكسل عن قيمة لهذا الدليل، وبتكرار زمني قدره 15 يوماً، وبمستوى معالجة level3.

6 - دليل الجفاف Leaf area index mean ratios (LAI_{mr}):

استنبط دليل الجفاف من قبل الباحثين بتعديل لمعادلة Huang (2012) الذي استخدم النسبة بين قيم LAI للعام الجاف وقيم LAI للعام الرطب لتحديد نسبة الجفاف، في هذا البحث تم حساب النسبة بين قيم LAI لكل عام إلى قيم LAI المعبرة عن متوسط السلسلة المدروسة باستخدام برنامج ERDAS imagine 2014 وفق المعادلة التالية:

$$LAI_{mr} = LAI_x / LAI_{mean}$$

حيث: LAI_x: قيم LAI للعام المدروس، و LAI_{mean}: متوسط قيم LAI للسلسلة الزمنية المدروسة.

تشير النسبة الناتجة إلى مدى تغير مساحة الورقة بالنسبة للمتوسط العام للسلسلة المدروسة، ففي حال كانت السنة تعبر عن نسبة أقل من 0.75 من المتوسط، فيدل ذلك عن تراجع في النبات وعلى الجفاف الزراعي في المنطقة، بالتالي يحدد هذا الدليل درجة التأثير بالجفاف قياساً على المتوسط العام للسلسلة الزمنية المدروسة، أي أن منطقةً ظهر فيها جفاف في عام ما ومنطقةً أخرى لم تكن جافة في العام نفسه لا يعني ذلك أن المنطقة الجافة تراجع النبات فيها بشكل أكبر من المنطقة الرطبة، بل يدل ذلك على تراجع النبات في هذه المنطقة عن متوسطه العام، فقد تكون المنطقة الجافة عبارة عن غابة تراجع فيها النبات قليلاً، والمنطقة الرطبة كانت مراعى لم يحدث فيها تراجع عن المتوسط العام للسلسلة المدروسة، وقد قُسمت المجالات الناتجة عن هذه النسبة إلى أربعة صفوف تمثل درجة التأثير بالجفاف (الجدول 2).

الجدول 2. صفوف التأثير بالجفاف نتيجةً لتصنيف دليل الجفاف LAI_{mr}. (Huang, 2012).

LAI _{mr} (دليل الجفاف)	صفوف التأثير بالجفاف
> 0.75	لا يوجد تأثير
0.75 - 0.50	تأثير معتدل
0.50 - 0.25	تأثير كبير
0.25 - 0	تأثير شديد

7 - منهجية العمل:

- مرحلة تجميع البيانات: تم تحميل جميع الصور من نوع MODIS للمنتج MOD15A2 المُعبر عن مؤشر مساحة الورقة LAI، والمنتج MOD13Q1 المُعبر عن دليل القرينة النباتية EVI، والتي تغطي أراضي الجمهورية العربية السورية في يوم 23 أبريل من كل عام (لتعبيرها عن ذروة النمو الخضري)، ضمن سلسلة زمنية تمتد من عام 2000 إلى 2016 من الموقع www.earthexplorer.usgs.gov.
- مرحلة معالجة الصور باستخدام برنامج ERDAS imagine، وتشمل:
- إجراء عملية التجميع (الموزايك Mosaic) للمشاهدين الممثلين لأراضي الجمهورية العربية السورية h21v5 و h20v5 لجميع التواريخ المحملة من 2000 إلى 2016، ثم القيام بعملية تحديد الإسقاط (UTM Z 37N) لجميع المشاهد وفق نظام الإسقاط العالمي UTM-WGS84، بعد

ذلك تم اقتطاع المساحة الممثلة لمنطقة الدراسة وفق الحدود الإدارية المعتمدة من وزارة الإدارة المحلية في سورية.

• إزالة القيم الخاطئة من الصورة: ويتم ذلك على منتج LAI، إذ تحوي الصورة على قيم رقمية تتراوح بشكل أساس بين 1 و 60، ومع ذلك فإن بعض البكسلات تكون لها قيم قد تصل إلى 256، وهذه القيم تُعد خاطئة، وتم إزالتها باستخدام برمجية معالجة الصور الفضائية ERDAS imagine 2014.

• التصحيح باستخدام Scale factor: تحوي صورة LAI و EVI على بيانات أولية يجب تصحيحها باستخدام معامل تصحيح خاص هو 0.1 لصورة LAI (Myneni وزملاؤه، 2003) و 0.001 لصورة EVI، (Didan وزملاؤه، 2015)، ليتم تحويل بيانات كل صورة لتعبر عن قيم هذين الدليلين، من خلال أنموذج صُمم ضمن بيئة برنامج معالجة الصور الفضائية ERDAS imagine 2014.

• مرحلة تصنيف الصور الفضائية لمنطقة الدراسة المعبرة عن أدلة LAI و EVI، والمؤشر LAImr باستخدام برمجية ERDAS imagine 2014 و ArcGIS.

- حساب مؤشر الجفاف SPI لمنطقة الدراسة والمعبر عن موسم مطري لمدة 8 أشهر من بداية سبتمبر حتى نهاية أبريل.

- إنتاج الخرائط المعبرة عن حالة الجفاف والتأثر به في منطقة الدراسة نتيجة لعملية التصنيف.

- تحليل البيانات ودراسة الارتباط بين قيم الهطول المطري و SPI مع LAI و EVI و LAImr باستخدام معامل ارتباط العزوم (بيرسون) وفق المعادلة:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

حيث :

\bar{x} : المتوسط الحسابي لقيم العامل المستقل X.

\bar{y} : المتوسط الحسابي لقيم العامل المستقل Y.

$(x - \bar{x})$: انحراف قيم العامل (x) عن متوسطها الحسابي.

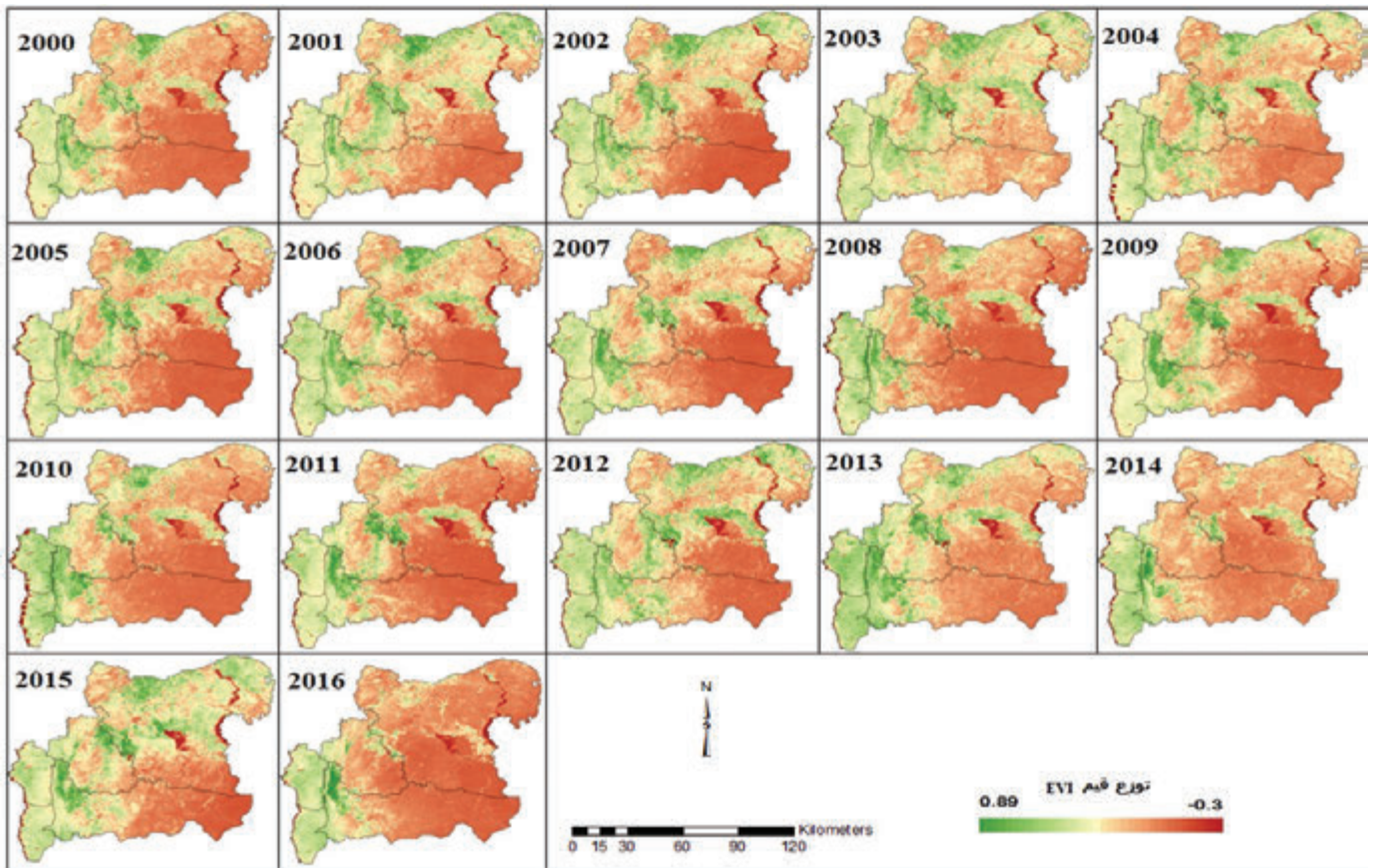
$(y - \bar{y})$: انحراف قيم العامل (y) عن متوسطها الحسابي.

النتائج والمناقشة

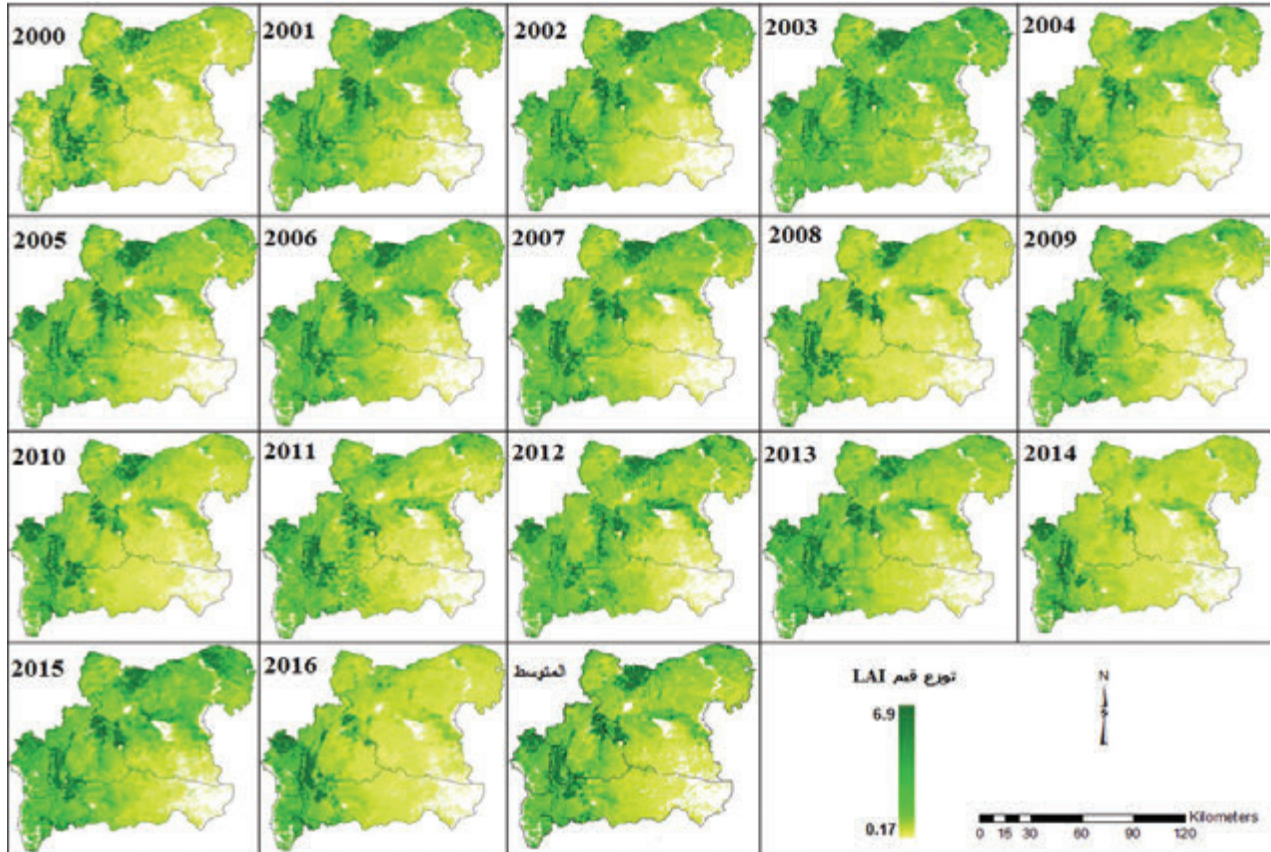
1 - دليل EVI و LAI للسلسلة الزمنية من 2000 إلى 2016:

يمثل الشكلان 2 و 3 خرائط السلسلة الزمنية لقيم الـ EVI و LAI لمنطقة الدراسة من عام 2000 حتى عام 2016 بتاريخ 23 أبريل، والتي تم تصنيفها ضمن برمجية ArcGIS لإظهار توزيع القيم لكل دليل، إذ تراوحت قيم دليل EVI بين 0.3 - 0.89 الشكل 2، و أشارت قيمة 0.3 - إلى المياه، ويلاحظ بالنظر إلى الشكل 2 أن انتشار القيم المرتفعة لهذا الدليل قد تحققت بشكل واضح في سنوات 2003 و 2015، وسجل أدناها في أعوام 2008 و 2014 و 2016، كما يلاحظ من الشكل 3 أن قيم دليل LAI تراوحت بين 0.17 و 6.9، وأن توزيع وانتشار القيم المرتفعة لوحظت بشكل جيد في عام 2003، وسجلت القيم المنخفضة لهذا الدليل في أعوام 2008 و 2014 و 2016، إذ كانت متوافقة مع ما جاء في دليل EVI، وبما أن EVI و LAI أدلة نباتية، ترتبط بالكم الخضري للنباتات فهذا يعني أنه كلما ازدادت قيمة هذه الأدلة أشارت إلى كم خضري وكتلة حية خضراء أعلى، ومنه يُستنتج أن أكثر السنوات تسجيلاً للكتلة الحية الخضراء في غرب سورية في هذه الفترة كانت في الأعوام 2003 و 2015، في حين سجل أقلها في أعوام 2008 و 2014 و 2016.

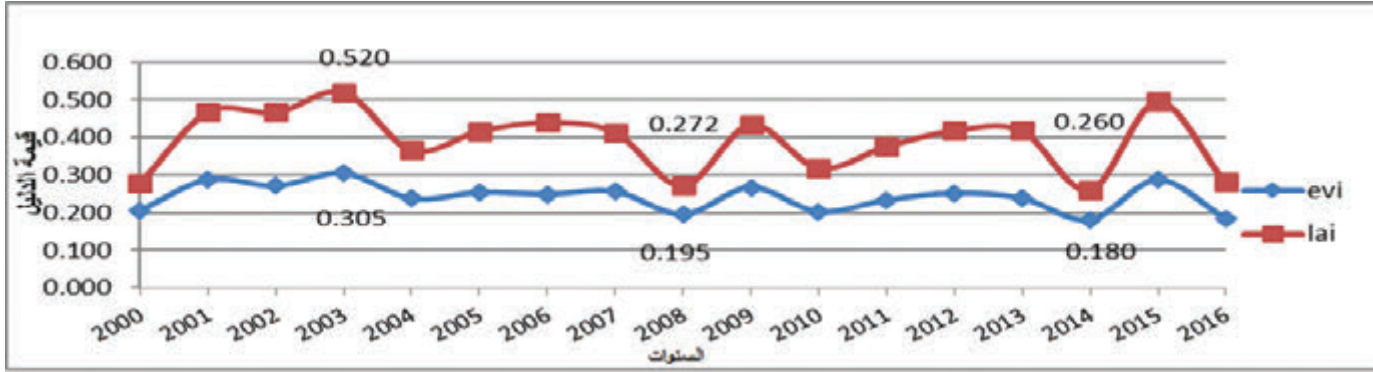
يظهر من الشكل 4 المعبر عن متوسط قيم LAI و EVI للسنوات المدروسة أن أعلى قيمة لمتوسط EVI كانت عام 2003 (0.305)، وأخفضها عامي 2014 و 2008 بقيمة بلغت 0.180 و 0.195 على التوالي، وأن أعلى قيمة لمتوسط LAI كانت عام 2003 (0.52)، وأخفضها عامي 2014 و 2008 بقيمة بلغت 0.260 و 0.272 على التوالي، مما يشير إلى نتائج مشابهة لما ورد في دليل EVI من حيث أكثر وأقل السنوات جفافاً، ويعود السبب بشكل أساس إلى علاقة هذه الأدلة بالتغيرات البيئية التي تؤثر في تكوين الكتلة الحية للنباتات، ولاسيما الهطول المطري ودرجات الحرارة، وهذا يتوافق مع ما توصل إليه Huang (2012) عند دراسة الجفاف في ولاية تكساس باستخدام دليل LAI، إذ ارتفعت قيم LAI مع زيادة الأمطار.



الشكل 2. خرائط توزيع قيم EVI لمنطقة الدراسة بتاريخ 23 أبريل للسلسلة الزمنية 2000 - 2016 .

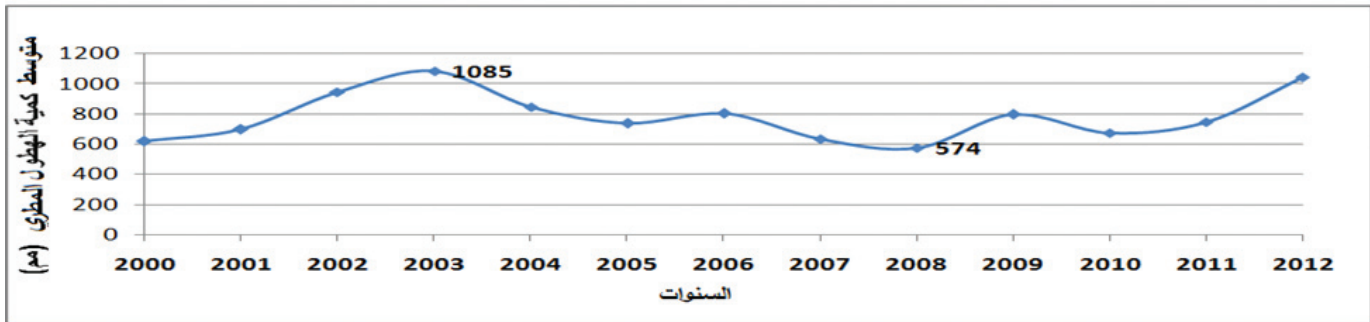


الشكل 3. خرائط توزيع قيم LAI لمنطقة الدراسة بتاريخ 23 أبريل ومتوسط هذه القيم للسلسلة الزمنية 2000 - 2016.



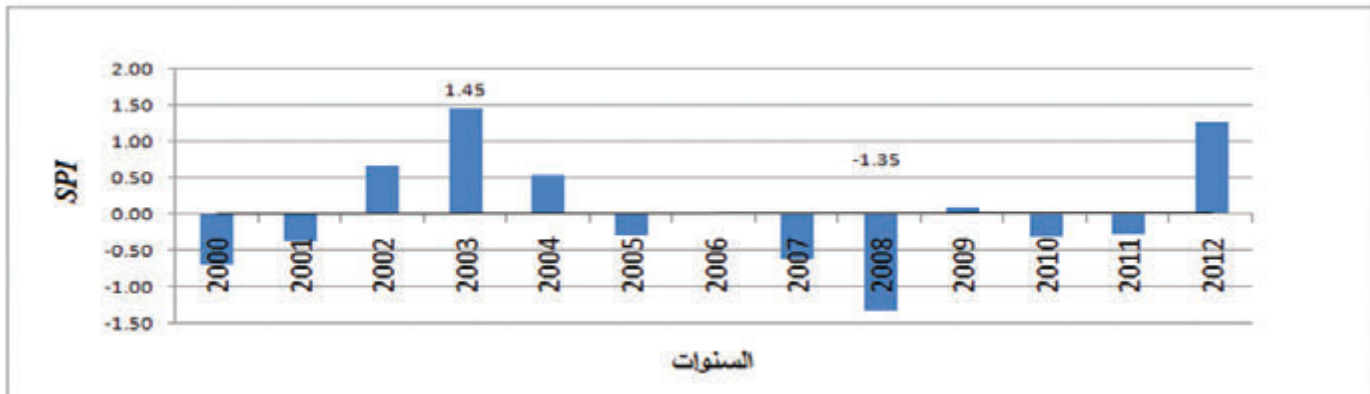
الشكل 4. متوسط قيم دليل مساحة الورقة (LAI)، والدليل النباتي المحسن (EVI) لمنطقة الدراسة من عام 2000 إلى 2016.

وعند ملاحظة بيانات متوسط الهطول المطري لمنطقة الدراسة الموضحة في الشكل 5، وُجد أن أعلى قيمة له سُجلت في عام 2003 (1085 ملم)، وأدنى قيمة سُجلت عام 2008 بمعدل قدره 574 ملم، وبشكل توافق مع تسجيل أعلى القيم وأقلها لعامي 2003 و2008 على التوالي بالنسبة لدليلي EVI وLAI، مع الإشارة لعدم توفر بيانات الهطول المطري لمعظم مساحة منطقة الدراسة من عام 2013 إلى 2016.



الشكل 5. متوسط الهطول المطري (ملم) السنوي لمنطقة الدراسة من عام 2000 إلى 2012.

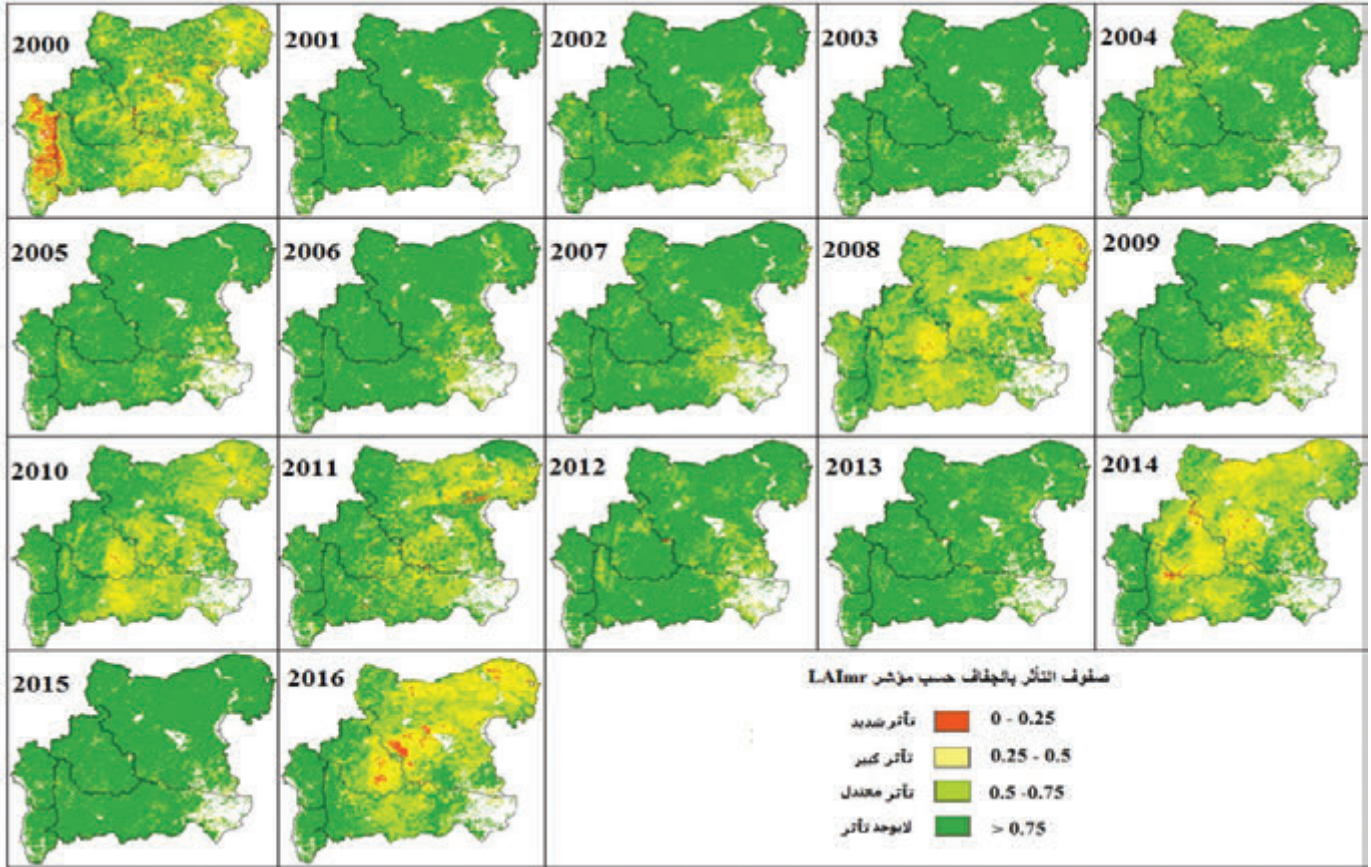
كما أن مؤشر SPI المحسوب لموسم مطري مدته 8 أشهر من سبتمبر حتى أيلول، والذي يشكل التراكمي اللازم من الهطول لموسم النمو النباتي يُعد مؤشراً جيداً على أن للجفاف تأثيراً كبيراً في الزراعة (Svoboda وزملاؤه، 2012)، إذ يبين التوزيع الزمني للأعوام الجافة والرطبة خلال الفترة المدروسة، ويشير الشكل 6 إلى أن عام 2008 كان الأكثر جفافاً وصنف على أنه جاف متوسط، وكانت قيمة SPI تساوي -1.35، وصنف العام 2003 عاماً متوسط الرطوبة بقيمة SPI تساوي 1.45، كما أن معظم الأعوام كانت قيمها بين -0.5 و 1 وهي قيم معتدلة الجفاف، مما يدل على أن الجفاف كان خفيفاً خلال هذه السلسلة الزمنية، باستثناء عامي 2003 و2012، أما الأعوام 2000 و 2007 و 2008 فكانت الأشد جفافاً.



الشكل 6. قيم دليل المطر القياسي (SPI) لمنطقة الدراسة للسلسلة الزمنية من 2000 إلى 2012.

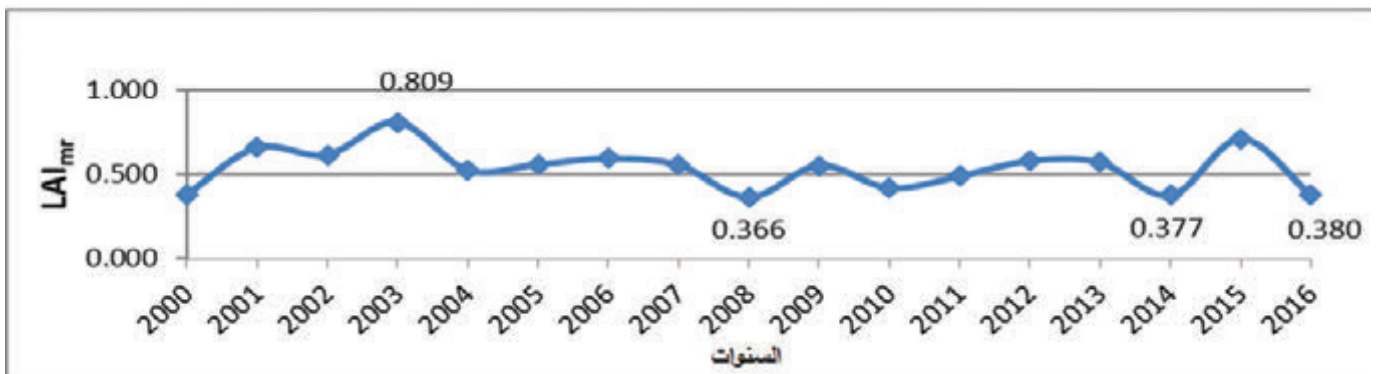
2 - دليل الجفاف LAImr للسلسلة الزمنية من 2000 إلى 2016:

يحدد دليل الجفاف LAImr التوزيع الزمني والمكاني للجفاف في غربي سورية، إذ يبين الشكل 7 الخرائط المعبرة عن صفوف الجفاف الزراعي للأعوام من 2000 إلى 2016 وفق مؤشر دليل الجفاف LAImr، إذ يُلاحظ اختلاف مساحات هذه الصفوف واختلاف شدتها من عام لآخر.



الشكل 7. الخرائط المعبرة عن صفوف الجفاف حسب المؤشر LAImr لمنطقة الدراسة بتاريخ 23 أبريل من عام 2000 إلى 2016.

وعند حساب متوسطات قيم دليل الجفاف لكل عام، سُجلت أعلى قيمة لهذا الدليل في عام 2003، إذ بلغت 0.809، وأدناها في أعوام 2008 و2014 و2016، بقيم بلغت 0.366 و0.377 و0.380 على التوالي (الشكل 8).



الشكل 8. متوسط قيم مؤشر الجفاف (LAImr) لمنطقة الدراسة للسلسلة الزمنية من 2000 إلى 2016.

توافقت هذه النتائج مع ما أشار إليه ضعون (2017)، إذ استخدم دليل VCI من صور MODIS لتتبع حالة الجفاف في سورية للأعوام من 2000 إلى 2014، كما كانت موافقة لما توصل إليه الخالد وزملاؤه (2017) عند استخدام القرينة النباتية NDVI لتتبع التغيرات المكانية والزمانية للكتلة الحية في سورية خلال الأعوام من 2000 إلى 2012 باستخدام صور MODIS الفضائية، كما أن التوزيع الزمني للجفاف وفق هذا الدليل توافقت مع التوزيع الزمني للجفاف وفق SPI من حيث تحديد العام الأكثر رطوبةً وجفافاً في السلسلة، وبالنسبة للتوزيع المكاني للجفاف فقد تم حساب مساحة الصفوف الأربعة لمؤشر الجفاف باستخدام برمجية ArcGIS، وأظهرت النتائج أن أكبر مساحة سُجلت للصف المعبر عن عدم التأثر بالجفاف كانت في أعوام 2001 و2003 و2005 و2015 بمساحة قُدرت بـ 34963 و36367 و34387 و36400 كم²، وبنسبة مئوية بلغت 93.7 و92.2 و97.6% على التوالي من مساحة منطقة الدراسة، وشملت مساحة هذا الصف أغلب المنطقة المدروسة باستثناء بعض المناطق الجنوبية الشرقية التي ظهر فيها الجفاف بنسب صغيرة، إذ تتميز بقرتها من البادية وتلقيها كميات هطول منخفضة وغير منتظمة بشكل عام. أما بالنسبة لمساحة الصفوف ذات التأثير الشديد والكبير والمعتدل بالجفاف فقد سجلت أعوام 2000 و2008 و2014 و2016 المساحة الأكبر ضمن هذه الصفوف بمساحة قدرت بـ 20991 و23841 و23101 و21763 كم²، وبنسب قدرها 56.29 و63.93 و61.94 و58.36% من المساحة الكلية المدروسة على التوالي، لكن التوزيع المكاني لصفوف التأثير بالجفاف اختلفت من عام لآخر، ففي عام 2000 انتشر الجفاف بشكل شديد في غرب منطقة الدراسة، ومن الممكن أن يكون السبب هو الانخفاض الكبير في كميات الهطول في هذه المنطقة قياساً على معدلها السنوي، أما الأجزاء الأخرى فانخفض فيها الهطول عن المعدل السنوي لكن بنسب أقل، بينما تميز عام 2008 بتوزيع مكاني متجانس تقريباً من حيث الشدة والانتشار، ويعود ذلك لانخفاض كميات الهطول بشكل كبير على كامل المنطقة المدروسة، ويلاحظ أن بقية الأعوام كانت معتدلة التأثير بالجفاف. (الجدول 3).

الجدول 3. النسبة المئوية (%) للمساحة المعبرة عن صفوف دليل الجفاف من منطقة الدراسة للسلسلة الزمنية من 2000 إلى 2016.

السنة / الصف	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
تأثير شديد	2.50	0.01	1.08	0.04	0.06	1.82	0.21	0.33	1.14	0.01	0.06	0.01	0.03	0.03	0.09	0.05	6.39
تأثير كبير	25.23	0.39	22.33	0.49	1.50	12.53	12.91	6.21	21.07	2.44	1.73	1.19	0.90	0.37	2.08	0.94	22.03
تأثير معتدل	30.62	2.00	38.53	7.02	8.96	20.00	33.04	13.67	41.72	10.59	6.22	6.59	14.45	2.09	8.65	5.26	27.87
لا يوجد تأثير	41.64	97.60	38.06	92.45	89.47	65.65	53.83	79.79	36.07	86.96	91.99	92.21	84.61	97.51	89.18	93.75	43.71

3 - دراسة العلاقة بين أدلة EVI وLAI وLAI_{mr}، وكمية الهطول المطري، ودليل المطر القياسي SPI:

عند دراسة الارتباط بين متوسط القيم للأدلة EVI وLAI وLAI_{mr} لكل عام من جهة، ومتوسط الهطول السنوي وSPI لمنطقة الدراسة من جهة أخرى (الجدول 4)، وُجد أن مؤشر الجفاف LAI_{mr} ارتبط مع الهطول المطري وSPI بعلاقة ارتباط قوية موجبة، وتُفوق على الأدلة النباتية الأخرى، ونظراً للارتباط القوي لهذه الأدلة النباتية مع الهطول المطري وSPI فإنه يمكن استخدامها لدراسة الجفاف كما أشار Huang (2012) وBajgiran وزملاؤه (2009)، إذ حقق LAI_{mr} معنويةً عند كلا مستويي الدلالة 0.05 و0.01 ($r = 0.74$) مع الهطول المطري و ($r = 0.73$ مع SPI)، بينما كان ارتباط EVI وLAI قوياً وموجباً أيضاً، لكن حقق معنويةً عند مستوى دلالة 0.05 فقط مع الهطول المطري وSPI، إذ كانت قيم الارتباط بالنسبة لـ EVI ($r = 0.64$) مع الهطول المطري و($r = 0.63$) مع SPI، أما LAI فكانت قيمته ($r = 0.69$) مع الهطول المطري و($r = 0.67$) مع SPI (الجدول 5).

الجدول 4. متوسط المؤشرات المدروسة.

السنة	متوسط EVI	متوسط LAI	متوسط LAI _{mr}	الهطول المطري	SPI
2012	0.252	0.418	0.58	1043	1.27
2011	0.233	0.376	0.49	746	-0.28
2010	0.202	0.319	0.421	673	-0.32
2009	0.267	0.434	0.553	795	0.10
2008	0.195	0.272	0.336	574	-1.35
2007	0.256	0.414	0.556	632	-0.63
2006	0.249	0.44	0.594	802	-0.01
2005	0.254	0.417	0.559	737	-0.31
2004	0.237	0.366	0.526	844	0.52
2003	0.305	0.52	0.809	1085	1.45
2002	0.271	0.466	0.616	942	0.66
2001	0.288	0.468	0.658	697	-0.37
2000	0.206	0.279	0.382	618	-0.71

الجدول 5. قيم الارتباط بين المؤشرات.

المؤشرات	EVI	LAI	LAI _{mr}	الهطول المطري	SPI
الهطول المطري	0.64*	0.69*	0.74**	1	0.98**
SPI	0.63*	0.67*	0.73**	0.98**	1

*. الارتباط معنوي عند مستوى دلالة 0.05، **. الارتباط معنوي عند مستوى دلالة 0.01.

الاستنتاجات:

- 1 - أظهرت النتائج كفاءة القرائن النباتية LAI و EVI في مراقبة الجفاف وتحديد شدته، وهذا يؤكد أهمية استخدام التقانات الحديثة كالاستشعار عن بعد في دراسة المشكلات البيئية، وتحديد شدتها.
- 2 - بينت خرائط مؤشر الجفاف LAI_{mr}، وبيانات الهطول المطري أن عام 2003 كان الأقل تأثراً بالجفاف، إذ بلغت نسبة الأراضي غير المتأثرة بالجفاف 97.51 %، وكان عام 2008 الأشد تأثراً بالجفاف، إذ كانت نسبة صف عدم التأثر بالجفاف هي الأقل بين الأعوام المدروسة (36.07 %). واعتماداً على مؤشر LAI_{mr} فقط فإن عامي 2014 و 2016 كانا شديداً الجفاف أيضاً رغم عدم توفر البيانات المطرية، لكن الارتباط العالي مع الهطول خلال الأعوام السابقة يعطي دليلاً على دقة مؤشر LAI_{mr} في تحديد الأعوام الجافة.
- 3 - وجد أن مؤشر الجفاف LAI_{mr} المعتمد على متوسط LAI كان أكثر دقة من LAI و EVI، إذ كان ارتباط مؤشر LAI_{mr} مع كمية الهطول للموسم و SPI قوياً وموجباً، وحقق معنوية عند كلا مستويي الدلالة 0.05 و 0.01 (r = 0.074 مع كمية الهطول للموسم و r = 0.73 مع SPI).

المقترحات:

- التوسع في دراسة الأدلة LAI و EVI و LAI_{mr} بالتضافر مع أدلة أخرى للوصول إلى نتائج أكثر تفصيلاً.
- مقارنة الدليل المستنبط LAI_{mr} مع أدلة جفافية أخرى، مثل مؤشر الحالة الخضرية (Vegetation Condition Index (VCI)، ودليل صحة النبات (Vegetation Health Index (VHI)، وتحديد درجة فاعليتها.

المراجع

- الاتفاقية الدولية لمكافحة التصحر في البلدان التي تعاني من الجفاف الشديد و/أو من التصحر، وبخاصة في أفريقيا. المعتمدة في 17 يونيو 1994 في باريس.
- الخالد، إياد أحمد، ويونس إدريس، ووزان الأحمد، وأروى رسوق. 2017. استخدام القرينة النباتية NDVI من الصور الفضائية MODIS لتتبع التغيرات الزمانية والمكانية للكتلة الحية في المحافظات السورية خلال السلسلة الزمنية 2000-2012. مجلة الاستشعار عن بعد. العدد (28): 42 - 63.
- المجموعة الاحصائية. 2015. وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي.
- تقرير الخارطة الاستثمارية الزراعية. 2012. وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي.
- ضعون، غياث. 2017. استخدام القرينة النباتية MODIS13A3_NDVI في حساب المؤشر VCI بهدف تتبع الجفاف في سورية خلال الفترة من عام 2000 إلى 2014. مجلة الاستشعار عن بعد. العدد (28): 22 - 41.
- AL Yagci, L Di., M. Deng, W. Han and C. Peng. 2011. Agricultural Drought Monitoring From Space Using Freely Available MODIS Data and Impacts on Cotton Commodity. Pecora 18 – Forty Years of Earth Observation... Understanding a Changing World. November 14 – 17, 2011 Herndon, Virginia
- Anderson, L., Y. Malhi, Y. Shimabukuro and L. Aragao. 2007. Evaluating MODIS vegetation and water indices for detecting canopy stress during the 2005 drought in Amazonia. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE: 6593-6595.
- Bajgiran, P. R., Y. Shimizu, F. Hosoi, and K. OMASA. 2009. MODIS vegetation and water indices for drought assessment in semi-arid ecosystems of Iran. Journal of Agricultural Meteorology, 65(4): 349-355
- John, Ch., and R. Jensen. 2000. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. Prentice Hall series in Geographic Information science. Keith C. Clarke, Series Editor Printed in the United States of America. P. 365.
- Chopra, P. 2006. Drought risk assessment using remote sensing and GIS, A case study in Gujarat, M. Sc. Thesis, Dept. of Geo-information Science and Earth Observation, ITC, Netherlands.
- Didan, K., A. B. Munoz, R. Solano, and A. Huete. 2015. MODIS vegetation index user's guide (MOD13 Series). Vegetation Index and Phenology Lab, The University of Arizona:1-38.
- Du, L. T., Q. J. Tian, and L. Wang. 2015. Impact of Vegetation Structure on Drought Indices Based on MODIS Spectrum. Guang pu xue yu guang pu fen xi Guang pu, 35(4): 982-986.
- Fisher, R. A., M. Williams, AL, Da Costa, Y, Malhi, RF, Da Costa, S, Almeida and P. Meir. 2007. The response of an Eastern Amazonian rain forest to drought stress: results and modelling analyses from a throughfall exclusion experiment. Global Change Biology 13: 2361–2378
- Huang, Ling. 2012. The impact of Drought on Leaf Area Index (LAI) over Texas. GISWR Fall Term Project
- Huete, A. R., H. Liu, K. Batchily, and W. van Leeuwen .1997. A Comparison of Vegetation Indices Over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment 59(3):440-451.
- McKee, T. B., N. J. Doesken and J, Kleist .1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints". Eight Conf. on Applied Climatology (Anaheim, California, USA):179-184.
- Meir, P., D.B. Metcalfe, A.C.L. Costa and R.A. Fisher. 2008. The fate of assimilated carbon during drought: impacts on respiration in Amazon rainforests. Philosophical Transactions of the Royal Society B—Biological Sciences 363: 1849–1855.

- Myneni, R., Y. Knyazikhin, J. Glassy, P. Votava and N. Shabanov. 2003. User's guide: FPAR, LAI (ESDT: MOD15A2) 8-day composite NASA MODIS land algorithm. Terra:1-17.
- Nepstad, D.C., P. Moutinho, MB. Dias, E. Davidson, G. Cardinot, D. Markewitz, R. Figueiredo, N. Vianna, J. Chambers and D. Ray. 2002. The effects of partial throughfall exclusion on canopy processes, aboveground production, and biogeochemistry of an Amazon forest. Journal of Geophysical Research 107: 1–18.
- Shofiyati, R., W. Takeuchi, S. Darmawan and P. Sofan. 2014. An Effective Information System of Drought Impact On Rice Production Based On Remote Sensing. International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences. Vol. 11 No. 2 December :153 - 162.
- Svoboda, M., M. Hayes and D. Wood. 2012. Standardized precipitation index user guide. World Meteorological Organization Geneva, Switzerland.
- Watson, D.J.1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. Annals of Botany, 11: 41-76.
- Wilhite, D. A. 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions: A Global Assessment. New York: Routledge.
- Yan, N., B. Wu, V. K. Boken, S. Chang and L. Yang. 2016. A drought monitoring operational system for China using satellite data: design and evaluation Geomatics, Natural Hazards and Risk, Vol.7(1):264-277.

N° Ref: 806