

## 2008 Kurak Yılı'nın Termessos (Güllük Dağı) Milli Parkı (Antalya) Vejetasyonuna Etkisinin Çeşitli Kuraklık İndeksleriyle İncelenmesi

*Various drought indices for monitoring drought condition in Mount Güllük-  
Termessos National Park*

**Mehmet Ali Çelik<sup>1\*</sup>, Murat Karabulut<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kilis

<sup>2</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kahramanmaraş

**Öz:** Kuraklıkla ilgili yapılan çalışmalar, genelde geleneksel yöntemlere dayanmaktadır. Geleneksel yöntemler ile yapılan çalışmalar önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Fakat iklime ait verilerin, uzun zamana ait olmamaları ve dar alanları kapsamada yetersiz olmalarından dolayı kuraklık gibi kompleks bir olayın izlenmesi için tek başına yeterli değildir. Kuraklığın lokasyonu ve şiddetini belirlemek için uydu görüntüleri aracılığı ile iklim verilerinin zenginleştirilmesi ve mevcut kuraklık koşullarının tam, güncel ve ayrıntılı bir biçimde izlenmesi büyük bir gerekliliktir. Bu çalışmada MODIS uydusu TERRA platformuna ait 16 günlük ve aylık zamansal, 250 m ve 1 km mekânsal çözünürlüğe sahip uydu verileri kullanılarak kuraklık analizi yapılmıştır. MODIS verilere farklı yöntemler uygulanarak elde edilen kuraklık modelleri birbiri ile kıyaslanmıştır. Böylelikle hem kuraklık hakkında elde edilen bilgiler teyit edilmiştir hem de hangi yöntemin kurak koşulları daha iyi yansıttığı sorusuna cevap olunmuştur. Çalışmamızda cevap olunan sorular, uydu-tabanlı bitki indekslerinin, kuraklığı anlamada ve önceden tahmin etmede önemli kolaylıklar sağladığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bitki Örtüsü, Ekoloji, Güllük Dağı (Termessos) Milli Parkı, Kuraklık, Uzaktan Algılama.

**Abstract:** Studies performed with regard to drought are based on conventional methods in general. The studies which are performed with conventional methods fill a significant gap. But, data belonging to climate are not sufficient alone for following a complex phenomenon such as drought, due to the fact that they are unable to pertain to long-time and are insufficient. It is a great necessity that climate data should be enriched via satellite images in order to determine drought location and severity and that current drought conditions should be followed in a complete, update and detail way. In this study, we used satellite data with 16-days and monthly of temporal and 250-m and 1-km of spatial resolution, belonging to TERRA platform of MODIS satellite. From these data, various vegetation index models were created. We compared findings which were obtained using different methods with each other. Therefore, we not only confirmed information which were obtained about drought phenomenon, but also answered the question of which method reflected dry (arid) conditions better. Replied questions in our study also satellite-based vegetation index provided important conveniences in understanding and forecasting drought phenomenon.

**Keywords:** Vegetation, Ecology, Güllük-Termessos National Park, Drought, Remote Sensing.

---

\*İletişim yazarı: M. Ali Çelik, e-posta: mehmet.ali.celikk@gmail.com

**Makale Geliş Tarihi:** 28.04.2016

**Makale Basıma Uygun Tarihi:** 3.08.2016

## 1.Giriş

Kuraklık neredeyse tüm iklim bölgelerinde görülmesine karşın, yağış değişkenliğinin yüksek olduğu yerlerde daha sık meydana gelmektedir (Türkeş, 2007:58). Bu olay, farklı ekosistemleri farklı şekillerde etkilemektedir. Bu nedenle kuraklık birçok bilim dalı tarafından araştırılmaktadır. Çeşitli bilim dallarınca çalışılan kuraklık meselesine birçok farklı tanımlama getirilmiştir. Genel olarak bir tanım yapılacak olursa, kuraklık bir bölgede yağış eksikliğinin uzun bir süre devam etmesi olarak belirtilebilir (Du vd., 2013:245). Yüksek sıcaklık, kuvvetli rüzgâr ve düşük bağıl nem gibi iklimik faktörler sıklıkla kuraklık ile bağlantılıdır. Kuraklığın temel sebebi, ilgili bölgenin normalden daha uzun süre az yağış almasıdır (Kurnaz, 2007:1). Bir başka deyişle, kuraklık belirli bir bölgede ortalama yağış değerlerinden daha az yağışın gerçekleşmesiyle başlayan ve aylar veya yıllarca süren, suya bağımlı tüm doğal/beşeri ortam bileşenleri üzerinde bir baskı oluşturan su eksikliği olarak tanımlanabilir (Vörösmarty vd., 2010:555). Kuraklık ilk etapta kendini azalan nem ve artan sıcaklık ile gösterir bu durum meteorolojik kuraklıktır. Daha sonra, tarımda sulama suyu ve toprağın nemi yeterli olmadığı zamanlarda bu kuraklık tarımsal kuraklığa da dönüşebilir. Bununla eş zamanlı olarak akarsuların akışlarında ve yeraltı sularındaki azalma da hidrolojik kuraklığı oluşturur. Kısacası, kuraklık, tüm dünyada geniş çevreleri, habitatları, tarımı ve ülkelerin ekonomisini etkileyen temel doğal tehlikelerden birisidir (Rosegrant vd., 2003:25;Karabulut, 2015:741).

Yüksek teknolojiye sahip gelişmiş ülkeler, yüksek bütçeler ayırmasına rağmen, kuraklık sorunsalını tam olarak çözebilmiş değildir. Kuraklık, ABD’de her yıl 6-8 milyar dolarlık bir bütçe gideri oluşturmaktadır (Ganesh, 2007:1). 1999 Ağustos’unda, Birleşik Devletler Tarım Bakanlığı, Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi ve Ulusal Kuraklık Önleme Merkezi, müşterek bir kuraklık izleme projesi başlattı. Kuraklık Monitörü (DM) adındaki bu proje, şimdi, Birleşik Devletler ‘deki genel kuraklık koşullarının haftalık bir haritasını oluşturmaktadır. DM, Birleşik Devletler ‘deki mevcut kuraklık koşullarını değerlendirmek için, bir dizi iklim ürünlerinden ve su kaynaklı ürünlerden istifade eden yerli uzmanlar ağına sahiptir (<http://enso.unl.edu/monitor/monitor.html>). Kuraklık izleme ağı sayesinde ABD kuraklık şiddetinin devamlı haritalanması ve izlenmesi ile doğru kararlar vererek kuraklığın tarımsal, ekonomik, sosyal ve ekolojik zararlarını azaltmaktadır. Kısacası kuraklığın, kesin olarak tahmin edilmesi ve tam olarak izlenmesi zor olmasına karşın önceden gerekli tedbirler alınarak zararları azaltılabilen bir meseledir (Peters vd., 2002:71-73).

Kuraklık konusu tüm dünyada olduğu gibi Türkiye için de önemli bir sorundur. Bu nedenle, kurak koşullarının iyi araştırılması, doğru analiz edilmesi ve önceden tahmin edilerek tedbirler alınması çok büyük bir önem arz etmektedir. Ülkemizde kuraklığı önceden tespit etmek ve gerekli önlemleri almak için ABD’de oluşturulan Kuraklık İzleme merkezi gibi uzman akademisyenler tarafından oluşturulan bir merkez mevcut değildir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından kuraklık izleme sistemi kurulmuştur (<http://212.175.180.197/bitkidon/kuraklikizleme.aspx>). Bu sistem istasyon tabanlı kuraklık analizleri ile 3 aylık periyotlar halinde kuraklığı izlemektedir. Bu sistemin uzaktan algılama teknolojisi ile desteklenmesi kuraklığın önceden tespiti ve mekânsal etkileri bakımından önem arz etmektedir.

Türkiye’de kuraklığın tespiti ve incelenmesi konusunda MGM dışında çalışma yapan bilim çevreleri mevcuttur. Bu çalışmalar genelde meteoroloji tabanlı kuraklık indeksleri kullanılarak yapılmaktadır (Türkeş ve Tatlı, 2007; Türkeş vd., 2009; Doğan vd., 2012:255-268;Tatlı, 2015). Bu çalışmalar, Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI), Standardize Yağış İndeksi (SPI), Aridity İndeks (AI), Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI) gibi meteorolojik kuraklık modelleri kullanılarak yapılmaktadır.

Kuraklık indisleri, kuraklık şiddetini kapsamlı bir çerçevede gözlemlemek ve belirli bir sürede iklimin, tarih boyunca süregelen normal koşullardan ne kadar sapmış olduğunu ölçmek amacıyla, yağış miktarı, kar örtüsü, akarsu akışı ve diğer rezerv göstergeleri gibi büyük miktarda bilgiyi bir araya getirir (Narasimhan ve Srinivasan 2005:70). Yapılan açıklamalardan ve tanımlardan da

anlaşılacağı gibi Kuraklık indisi denilince çoğunlukla geleneksel yöntemler ile oluşturulan, yani meteorolojik veriler kullanılarak oluşturulan, kuraklık indisleri anlaşılmaktadır.

Uzaktan algılama tekniği ile kuraklık izleme meselesi nispeten yeni bir metodolojidir. Genelde kuralıkla ilgili yapılan çalışmalar, genelde istasyon tabanlı yöntemlere dayanmaktadır (Alley, 1984:1100-1109; Cook vd., 1999:1145-1162). Geleneksel yöntemler olarak adlandırılan meteoroloji tabanlı kuraklık izleme çalışmaları, önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Fakat iklime ait verilerin kimi meteoroloji istasyonlarında uzun zamana ait olmamaları, bazı yıllarda ölçüm yapılmaması ve kuraklığı mekânsal etkilerini ortaya koyma hususunda yetersiz olmalarından dolayı kuraklık gibi kompleks bir olayın detaylı bir şekilde analiz edilmesinde için tek başına yeterli değildir. Kuraklığın lokasyonu ve şiddetini belirlemek için uydu görüntüleri aracılığı ile iklim verilerinin zenginleştirilmesi ve mevcut kuraklık koşullarının tam, güncel ve ayrıntılı bir biçimde izlenmesi büyük bir gerekliliktir. Bilhassa Türkiye gibi meteoroloji istasyon ağının çok gelişmediği ülkeler için geleneksel yöntemler, geniş sahalara kapsayan ayrıntılı sonuçlar vermekten yoksundur. Uzaktan algılama ile kuraklığın izlenmesi, kuraklığın önceden tahmininde ve doğru sonuçlara ulaşmada önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Meteorolojik verilere geniş alan ve farklı ekosistemleri kapsayan detaylı ve sürekli veriler sağlayan uzaktan algılama verileri entegre edildiği takdirde kuraklık izleme daha kapsayıcı, güvenilir ve doğru sonuçlar verebilmektedir (Bhuiyan vd., 2006:289-302; Anderson vd., 2013:1035-1056). Spesifik (dar) alanlara ait yeterli miktarda iklim verilerine ulaşılamazken, uzaktan algılama bu konuda önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Meteoroloji ölçüm istasyonlarının olmadığı ya da sonradan kurulduğu alanlarda geçmişe yönelik veri temini imkânsızken, uzaktan algılama ile 25 yıl öncesine kadar günlük veri temini sağlanabilmektedir. Tüm bu avantajlar dünyada uzaktan algılamanın kuraklık çalışmalarında sıklıkla kullanımını sağlamaktadır (Tucker ve Choudhury, 1987:243-251; Kogan, 1997:621-636; Rhee vd., 2010:2875-2887; Caccamo vd., 2011:2626-2639). Bu çalışmalar genelde iklim ile uzaktan algılama verilerinin entegrasyonunu sağlayarak yapılmaktadır. Böylelikle iklim verileri kullanılarak cevabı alınamayan bazı sorulara uzaktan algılama metodolojisinin entegrasyonu sağlanarak cevaplar alınabilmektedir. Son 25 yıldır kurak koşulların mekânsal etkilerini ortaya koymak ve bitki indeks modelleri ile vejetasyon durumu inceleyerek kurak dönemlerin başlangıcını tespit etmek amacıyla uzaktan algılama tabanlı oluşturulan indisler birçok araştırmada kullanılmaktadır (Wan vd., 2004:61-72; Son vd., 2012:417-427).

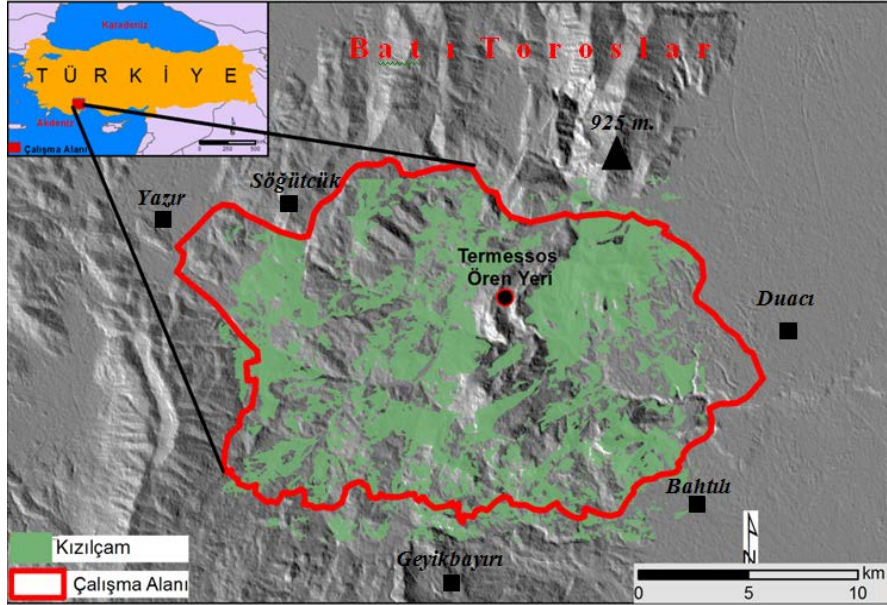
Bu çalışmada da uzaktan algılama tabanlı kuraklık analizleri kullanılmıştır. Çalışmamızın amacı, Türkiye'deki 40 nadide alandan birisi olan, Termessos (Güllük Dağı) Milli Parkı bitki örtüsünün, kurak koşullara verdiği tepkinin uzaktan algılama verileri ile desteklenerek incelenmesidir. Çünkü kuraklık meselesi, insanlara olduğu kadar vejetasyona da büyük zarar verebilmektedir. Bu bağlamda kuraklığın vejetasyon ile olan ilişkisinin incelenmesi hem kuraklığın başlangıcının tespiti hem de kuraklığın mekânsal etkilerini ortaya koymak için büyük önem teşkil etmektedir. Bilhassa Akdeniz Bölgesi, kurak koşulların sıklıkla meydana geldiği bir yerdir (Türkeş, 1996:1057). Bu açıdan, zengin biyolojik çeşitliliğe ev sahibi yapan Akdeniz'in batısında Antalya il sınırları içerisinde yer alan Termessos Milli Parkı çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Kızılçam ve maki vejetasyonunun yanı sıra birçok bitki ve hayvan habitatı Termessos Milli Parkı'nın Türkiye'nin önemli biyolojik çeşitlilik alanlarından birisi olmasına zemin hazırlayan en önemli unsurlardan birisi ise, buranın bitki örtüsüdür. Bu alandaki zengin bitki çeşitliliği barındıran orman alanı aynı zamanda birçok canlı için habitat olma özelliği taşımaktadır. Dolayısıyla buradaki bitki örtüsünün izlenmesi ve bitkinin iklime bağlı doğal koşullardan nasıl etkilendiği sorusunun cevabına ulaşılması, buradaki biyolojik çeşitliliğin korunması için büyük önem arz etmektedir.

### 1.1. Test Alanının Belirlenmesi ve Özellikleri

Termessos Milli Parkı'nın test alanı olarak seçilmesinde, buranın zengin biyoçeşitliliğe sahip olmasının yanı sıra Akdeniz Bölgesi'nin klimaks bitki türlerine ev sahipliği yapması belirleyici olmuştur. Termessos Milli Parkı Antalya ili sınırları içerisinde yer almaktadır ve burası tipik Akdeniz

iklimi özellikleri göstermektedir. Termessos Milli Parkı'nın test alanı olarak belirlenmesinin bir diğer önemli sebebi ise en geniş yayılışımı Akdeniz Bölgesi'nde yapan kızılçam ve maki vejetasyonunun test alanının neredeyse tamamını kapsamasındandır. Böylelikle Akdeniz Bölgesi koşullarında kızılçam türü ve maki vejetasyonunun kurak koşullara verdiği tepki daha net bir şekilde anlaşılabilir olacaktır.

Güllük Dağı ya da Termessos Millî Parkı olarak adlandırılan test sahası 6.700 ha alan kaplamaktadır. Batı Torosların eteklerinde yer alan bu alanın Antalya'ya uzaklığı 34 km'dir. Çalışma alanı, zengin biyoçeşitliliğe sahip olması ve arkeolojik niteliklerinden dolayı 1970 yılında milli park ilan edilmiştir (Yalım ve Çıplak, 2002:268).



Şekil 1. Çalışma Alanı Lokasyon Haritası.

Termessos Millî Parkı adını, Antalya'nın traverten düzlüklerinden yükselen Güllük Dağı'nda Anadolu'nun yerli halklarından olan Solim'lerin kurduğu Termessos şehri kalıntılarından almaktadır. Antik kent çevresinde tepeler, vadiler kanyonlar yer almakta olup, bunlardan Mecene Boğazı adıyla bilineni 600 m. derinliğe ulaşmaktadır. Milli park kızılçam ormanı ve maki vejetasyonu ile örtülü olup (Foto 1), nesli tehlikede olan alageyik milli parkta yaşamaktadır. Yaban keçisi, karakulak, kaya sansarı gibi memeli türlerin yanında, ötücü kuşlar ve şah kartal gibi nadir yırtıcılar da görülmektedir. Milli park yabancı turistlerin sıklıkla uğradıkları yerler arasındadır.



Foto 1. Termessos Milli Parkı ve Kızılçam ormanı.

## 2. Materyal Ve Metot

Bu çalışmada, MODIS uydusu TERRA platformuna ait veriler kullanılmıştır. Bu amaç USGS Earth Explorer'den (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) MOD13Q1 verileri temin edilmiştir. Bu veriler 16 günlük zamansal, 250 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir. 2000-2014 yıllarına ait toplamda 342 adet

uydu verisi hdf uzantılı olarak indirilmiştir. Daha sonra bu veriler import edilmek suretiyle yakın kızılötesi ve kırmızı bantlar olarak hdf uzantı içerisinde TIFF olarak çıkartılmıştır. Çıkartılan yakın kızılötesi ve kırmızı banda ait verilerden Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI) elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan NDVI, yakın infrared ve kırmızı dalga boyundaki ışık değerlerinin birbirinden çıkarılıp daha sonra iki bantın toplamına bölünmesi ile elde edilen normalleştirilmiş değerleri ifade eder. Kuraklık izleme çalışmalarında, yaygın olarak kullanılan bitki indekslerinden bir tanesi olan NDVI şu formül ile hesaplanmaktadır (Viovy vd.,1992:1585; Karabulut,2003:94; Kalfas vd.,2011:1517; Çelik ve Karabulut, 2013; Çelik ve Karabulut, 2014a):

$$NDVI = \frac{\text{Yakın İnfrared} - \text{Kırmızı}}{\text{Yakın İnfrared} + \text{Kırmızı}}$$

Bu formül sonucu ile -1 ila 1 arasında değişen NDVI değerleri üretilir. Buna göre, negatif değerler su, kar, bulut ve bitkiden yoksun nemli alanları ifade eder iken pozitif değerler ise bitki örtüsünün varlığını işaret eder (Karabulut, 2003:94).

Bir zaman süresinde NDVI'nın piksel olarak bir normalleştirilmesi demek olan VCI, NDVI'nın mekansal değişkenliğine yerel coğrafik kaynakların katkısını filtreleyerek NDVI işaretindeki değişikliklerin bağlı bir değerlendirmesini yapmak amacıyla Kogan (1990;1995) tarafından geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, VCI'nın kuraklığı tespit etme ve kuraklığın vejetasyon üzerindeki etkisini ortaya koyma noktasında yüksek doğruluk düzeyine sahip olduğunu göstermektedir (Ganesh, 2007;Shahabfar vd., 2012; Çelik ve Karabulut, 2014b).VCI şu şekilde hesaplanır:

$$VCI = 100 * \frac{(NDVI - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})}$$

Formüle göre, NDVI: ortalama NDVI değerini, NDVI<sub>min</sub>: yıl içinde minimum NDVI değerini, NDVI<sub>maks</sub>:yıl içindeki maksimum NDVI değerini göstermektedir. Formül sonucunda 0-100 arasında bir değer aralığı oluşmaktadır. Bu aralık yüzdeyi ifade etmektedir. Örneğin; 25 değeri % 25'i ifade etmektedir (Karabulut, 2006:39). Bir başka ifade ile 100'e yakın değerlerin olduğu dönemler bitkinin yoğun fotosentez aktivite yaptığı döneme işaret ederken, 0'a yakın değerler ise bitkinin yıl içinde en düşük fotosentez aktiviteye sahip olduğu periyotlara işaret etmektedir.

MODIS'ten elde edilen NDVI ve türevleri (örneğin, Standartlaştırılmış NDVI, NDVI anomalisi ya da VCI), bölgesel ve yerel ölçeklerde kuraklığa yatkın alanları izlemek amacıyla bir takım çalışmalarda kullanılmaktadır (Nicholson ve Farrar 1994; Bayarjargal vd.,2006). Ancak, bitki örtüsü sağlığını belirlemek için yerel ekosistemin verimliliğinden ötürü farklılıkları dikkate almaz. Örneğin, düşük NDVI değerleri kurak bölgelerde beklenirken, nispeten kuru mevsimlerde bile, tropikal yağmur ormanları yüksek NDVI değerleri göstermektedir. Bu NDVI farklılıkları, havayı değil yerel ekosistem kaynaklarındaki farkı yansıtır. Bu noksanlığa, VCI tarafından atıfta bulunulur. VCI, bitki örtüsüne dair bağlı sağlıklılığının (canlılık) ekolojik olarak tanımlanmış maksimum ve minimum sınırlara ilişkin havaya karşılık bir göstergesidir. VCI değerleri MODIS değerlerindeki paraziti azaltır ve bitki örtüsü-tepki sinyalini artırır.

Vegetation Health İndeks (VHI) modelini elde etmek için ilk girdi olarak VCI hesaplanmıştır. VHI modelinin bir diğer girdisi ise TCI'dir. TCI modelin hesaplanması ile kurak ve nemli iklim koşullarında yer yüzey sıcaklıklarında meydana gelen değişim daha net bir şekilde anlaşılmasına çalışılmıştır.

TCI hesaplaması için ilk olarak LST elde etmek gerekmektedir. LST içinMODIS termal bantlara iki yöntem uygulanmıştır. Bunlar: split-window (SW) ve sensitivity analizidir. Bunların ilki, SW'nin hesaplanmasıdır. Aşağıda LST verilerin elde edilmesin kullanılan SW algoritmasının hangi formül ile hesaplandığı verilmiştir (Sobrino vd.,1996):

$$T_s = T_i + c_1(T_i - T_j) + c_2(T_i - T_j)^2 + c_0 + (c_3 + c_4W)(1 - \epsilon) + (c_5 + c_6W)\Delta\epsilon$$

Bu formülde,  $i$  ve  $j$  kelvin cinsinden sıcaklık değerleridir.  $T_i$  ve  $T_j$  parlaklık sıcaklığı (brightness temperature),  $\Delta\varepsilon$  gelen ışınları geri salmada her bir pikselin gösterdiği farklılık durumudur (emissivity difference).  $\Delta\varepsilon = (\varepsilon_i - \varepsilon_j)$  formülasyonunda elde edilen  $W$  değeri ise atmosferdeki su durumudur ( $\text{cm}^2$ 'lik alanda gram cinsinde su miktarı).  $c_0-c_6$  formülü ise SW katsayısını verir.

SW algoritması ile elde edilen LST verisinin hata katsayısını indirmek gerekir. Aksi takdirde bilhassa yarı-kurak bölgelerde aerosol ve atmosferik etkilerden kaynaklanan hata oranları artmaktadır (<http://landval.gsfc.nasa.gov/ProductStatus.php?ProductID=MOD11>). LST verisinin güvenilirliğini arttırmak için duyarlılık (sensitivity) analizi yapılmıştır. Sensitivity analizi şu formül ile hesaplanmaktadır (Munoz ve Sobrino,2008:807):

$$e(\text{LST}) = \sqrt{\delta_{\text{alg}}^2 + \delta_{\text{NE}\Delta T}^2 + \delta_{\varepsilon}^2 + \delta_W^2}$$

Formüldeki girdilerden  $\delta_{\text{alg}}^2$  değeri hata oranını minimize etmek amacıyla kullanılmıştır. Formüldeki girdilerden bir diğeri ise,  $\delta_{\text{NE}\Delta T}^2$ 'dir. Bu girdi uydu verisinden yansıyan sıcaklık değerlerinde, gürültü(noise) kaynaklı bozulma meydana gelmemesi için kullanılmıştır.  $\delta_{\text{NE}\Delta T}^2$  girdisi şu formül ile hesaplanmaktadır (Munoz ve Sobrino,2008:807):

$$\delta_{\text{NE}\Delta T} = \sqrt{\left(\frac{\partial T_s}{\partial T_i}\right)^2 e^2(T_i) + \left(\frac{\partial T_s}{\partial T_j}\right)^2 e^2(T_j)}$$

Yüzeydeki objeden yansıyan parlaklığın hata oranını düşürmek için ise şu formül kullanılmıştır (Munoz ve Sobrino,2008:807):

$$\delta_{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{\partial T_s}{\partial \varepsilon_i}\right)^2 e^2(\varepsilon_i) + \left(\frac{\partial T_s}{\partial \varepsilon_j}\right)^2 e^2(\varepsilon_j)}$$

Son olarak sensitivity analizine atmosferdeki  $\text{cm}^2$  alanda gram cinsinden su buharı miktarındaki belirsizliği düşürmek için yani atmosferdeki su buharı miktarını daha net elde edebilmek için şu girdi eklenmiştir:

$$\delta_W = \left(\frac{\partial T_s}{\partial W}\right) e(W)$$

Hata oranı minimize edilen LST verilerinden TCI model hesaplanmıştır. Kogan tarafından (1990) geliştirilen formül şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\text{TCI} = 100 * (\text{BT}_{\text{max}} - \text{BT}) / (\text{BT}_{\text{max}} - \text{BT}_{\text{min}})$$

Formülde  $\text{BT}_{\text{maks}}$  gün içinde en yüksek yer yüzeyi sıcaklık değerine,  $\text{BT}$  ise günlük ortalama YYS değerine tekabül etmektedir.  $\text{BT}_{\text{min}}$  değeri ise yer yüzeyi sıcaklıklarının gün içindeki en düşük değeridir. Denklem sonucunda elde edilen rakamlar 0 ila 100 arasındadır. 0 yer yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu, 100 ise en düşük olduğu dönemi ifade eder. Bu formül ile yer yüzeyi sıcaklıklarının yılın hangi döneminde yükselip hangi dönemde düşüşe geçtiği konusunda önemli bilgiler elde edilmektedir.

Son olarak ise nemli ve kurak yıllarda bitki örtüsünün sağlıklı olma durumları izlenmiştir. Bunun için Kogan tarafından 2001 yılında geliştirilen bir formülasyon kullanılmıştır. Bu denklem şu şekildedir:

$$\text{VHI} = 0.5(\text{VCI}) + 0.5(\text{TCI})$$

Bu denklem sonucunda 0-100 arası değerlerden oluşan görüntü elde edilmektedir. 100 bitki örtüsünün %100 oranında sağlıklı olduğunu gösterirken, 0 ise bitki örtüsünün tamamen kurduğunu ve % 0 oranında sağlıklı olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda uzaktan algılama tabanlı kuraklık indekslerinin yanı sıra meteoroloji tabanlı kuraklık analizleri oluşturulmuştur. Böylelikle hem uydu-tabanlı hem de istasyon-tabanlı modellerle kuraklık koşulları daha detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışmamızda istasyon-tabanlı kuraklık modellerinden Erinç ve SPI kullanılmıştır. İlk olarak Erinç kuraklık indisi hesaplanmıştır. Erinç İndisi, yağış miktarlarının doğrudan ortalama sıcaklıklara oranlanması ile elde edilir. Bu indis, karasal bölgelerde gerçekte olduğundan daha nemli bir durumun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle Erinç, indisin hesaplanmasında ortalama sıcaklık yerine ortalama maksimum sıcaklığı almıştır. Ancak bu değerlendirmede ortalama maksimum sıcaklığın 0°C'nin altına düştüğü aylar, evapotranspirasyonun olmadığı varsayılarak dikkate alınmaz (MGM, 2013:8). Erinç İndisi şu formül ile hesaplanır (Erinç, 1984):

$$Im = \frac{P}{T_{om}}$$

Burada, P:toplam yağış, T<sub>om</sub> ise, yıllık ortalama maksimum sıcaklıktır. Burada elde edilen indis değerleri 6 kategoride sınıflandırılmıştır. Her indis değeri aynı zamanda vejetasyon tipi hakkında bilgi vermektedir (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Erinç İndisi sonuçlarının sınıflandırılması (Erinç, 1984).

İklim Sınıfı	İndis Değeri	Bitki Örtüsü
Tam Kurak	<8	Çöl
Kurak	8-15	Çöl-Step
Yarı Kurak	15-23	Step
Yarı Nemli	23-40	Park görünümlü kuru orman
Nemli	40-55	Nemli orman
Çok Nemli	>55	Çok nemli orman

Çalışmamızda, kuraklık derecesini ortaya koymak amacıyla sıcaklık-yağış ve evapotranspirasyon ilişkisine bağlı geliştirilmiş olan Thornthwaite metodu da kullanılmıştır. Aylık su bilançosunun, yağış-sıcaklık-*evapotranspirasyon* arasındaki ilişkiye dayanılarak ortaya konduğu Thornthwaite metodunda, yağışın *evapotranspirasyon*dan fazla olduğu zamanlarda zemin suya doymuş haldedir. Bu durum su fazlası dönem olarak değerlendirilir ve bu dönemde zeminin nemli olduğu kabul edilir. Buna karşılık yağışın *evapotranspirasyon*dan sürekli az olduğu devrede, zeminde su bir türlü birikmemekte, böylece zeminde su eksikliği ortaya çıkmaktadır. Bu devre ise kurak devre olarak nitelendirilmektedir (Thornthwaite, 1948).

Yağış-buharlaşma ve sıcaklık-buharlaşma arasındaki ilişkiye dayanan Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre; yağışın buharlaşmadan fazla olduğu yerlerde toprak doymuş haldedir ve bu yerlerde su fazlalığı vardır. O halde bu yerin iklimi nemlidir. Bunun aksine, yağışların buharlaşmadan az olduğu yerlerde toprakta su birikmemekte ve bu toprak bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyu verememektedir. Bu gibi yerlerde bir su noksanlığı vardır. O halde bu yerin iklimi kuraktır. Thornthwaite'in sınıflandırmasındaki iklim tipleri, işte bu iki uç arasında oynar. Thornthwaite iklimleri, önce yağışla buharlaşma arasındaki ilişkiye dayanarak nemli ve kurak iklimler diye 2 büyük grupta toplamıştır. Derecelerine göre nemli iklimleri 6, kurak iklimleri de 3'e ayırmıştır. Bu harfler Thornthwaite sınıflandırmasındaki iklim tiplerinin birinci harflerini temsil eder. Çalışmamızda kuraklık ile vejetasyon arasındaki ilişki incelenirken, Thornthwaite iklim sınıflandırması ile daha detaylı analiz yapma imkânı sağlanmıştır. Thornthwaite analizi sonuçları ile su fazlası ve su

noksanlığının meydana geldiği dönemler tespit edilmiştir. Daha sonra Thornthwaite sonuçları bitki indeks modelleri ile entegre edilerek vejetasyon durumu hakkında daha kapsamlı analiz yapılmıştır.

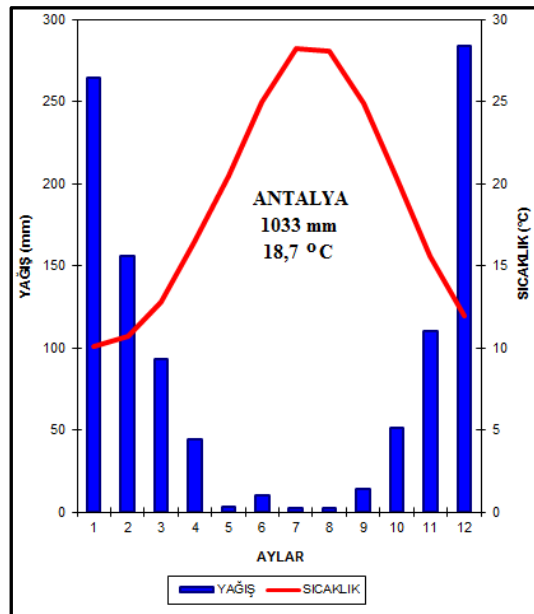
### 3. Bulgular ve Tartışma

Antalya, Akdeniz Bölgesi'nin tipik iklim özelliklerini yansıtmaktadır. Bu durum, Antalya'nın test alanı olarak seçilmesinde etkili olmuştur. Antalya'da, son yıllarda iklimin kuraklaştığı görülmektedir Zira benzer durum Akdeniz Bölgesi için de geçerlidir (Akbaş ve Tatlı, 2013; Akbaş, 2014). Bu durum Antalya'nın Akdeniz Bölgesi'nin genel iklim varyasyonlarını yansıtmaması bakımından önemlidir.

Çalışma alanına en yakın istasyonlardan olan Antalya'da sıcak ve ılıman bir iklim hâkimdir. Antalya'da yağışın aylara ve yıllara aylara göre dağılışında önemli değişimler meydana gelir. Antalya'da ve genel olarak Akdeniz Bölgesi'nde yağış bazı dönemlerde ortalamanın % 50 üzerine çıkarken bazı dönemlerde ise %40-50 arasında azalmaktadır. Antalya'nın 264 mm olan ocak ayı ortalama yağış miktarı bazı yıllar 25 mm'ye düşebilirken bazı yıllarda ise 610 mm'ye çıktığı görülmektedir (Atalay, 2002:112).

Antalya'nın hava koşullarını büyük oranda hava kütlelerine bağlı cephe sistemleri ve alçak basınç oluşumları tayin eder. Bu hava kütleleri ve cephe sistemleri ekim ayı sonundan başlayıp mayısa kadar süren dönemde, farklı bölgelerden çalışma alanına ulaşır.

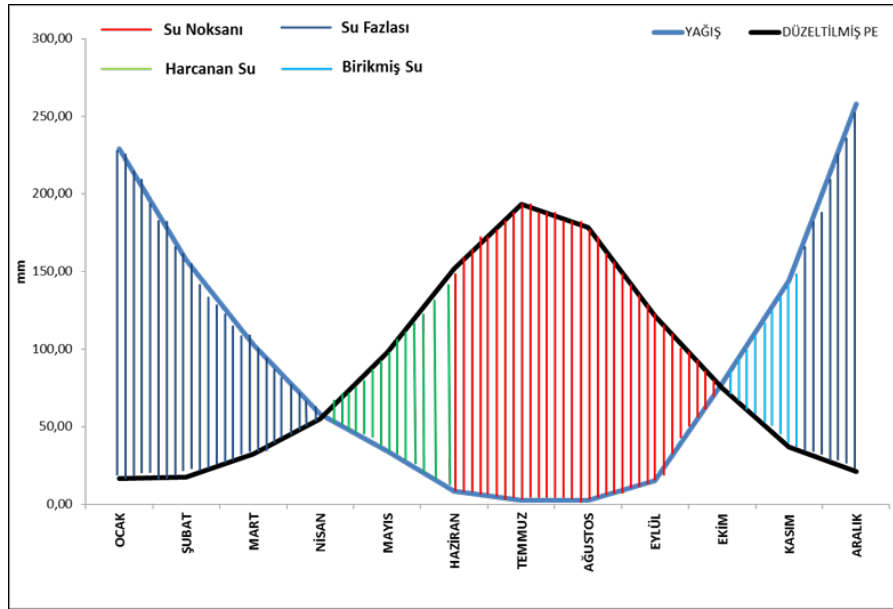
Akdeniz Bölgesi'nin karakteristik iklim özelliklerini ihtiva eden Antalya'da kış mevsiminde yaz mevsiminden çok daha fazla yağış düşmektedir. Antalya'da yıllık yağışlarının yarısından fazlası kış mevsiminde görülmektedir. Yaz mevsiminde yıllık yağışın %5'ten daha az bir kısmı düşmektedir. Yılın en kurak ayı 2 mm yağışla ağustostur. En fazla yağış aralık-ocak aylarında görülmektedir. Antalya meteoroloji istasyonunun yıllık ortalama sıcaklığı 18,2°C'dır. Ortalama 28°C sıcaklıkla temmuz-ağustos ayları yılın en sıcak dönemidir (Şekil 2). Ocak ayında ortalama sıcaklık 10,3°C olup yılın en düşük ortalamasıdır Genel olarak belirtilecek olursa; Antalya'nın ortalama maksimum sıcaklıkları, yaz mevsiminde daha yüksek; ortalama minimum sıcaklıkları da kış mevsiminde daha düşük değerdedir (Sarı ve İnan, 2010:338-345).



Şekil 2. Çalışma alanına en yakın istasyon olan Antalya MGM verilerine ait sıcaklık ve yağış diyagramı.



Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Antalya, B1,B'4,s2,b'3 ile temsil edilmektedir. Burada B1: Nemli, B'4: Mezotermal, s2: Su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan, b'3: Yaz buharlaşma oranı (yıllık potansiyel PE'ye oranı): % 53 olan iklim tipini vermektedir. Thornthwaite metoduna göre Antalya'da, 1965-2014 yılları arasındaki dönemde sonbaharda (ekim ve kasım ayları) sıcaklıklar ile evapotranspirasyonun azalması buna mukabil yağış miktarının artmasıyla birlikte zeminde su birikmeye başlamaktadır. Yağışların kış mevsiminde daha da şiddetli bir şekilde devam etmesi, sıcaklık ve buharlaşmanın iyice azalmasıyla kasım, aralık, ocak, şubat, mart ve nisan aylarında toprak suya doygundur. Bilhassa aralık, ocak ve şubat aylarında yüzeyde 200 mm civarında su akışa geçmektedir. İlkbahar aylarının sonlarından itibaren sıcaklık ve buharlaşmanın artma eğilimine girmesiyle mayıs ayında daha önceden zeminde birikmiş olan su harcanmaya başlamaktadır. Haziran ayından itibaren ise zemindeki fazla suyun hızla tüketilmesi, sıcaklık ile buharlaşmanın artması ve yağışların iyice azalmasıyla beraber zeminde su noksanı ortaya çıkmaktadır. Böylece haziran, temmuz, ağustos ve eylül ayları, kurak devre olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 3). Thornthwaite metoduna göre 1965-2014 yılları arasındaki kurak devrede maksimum su noksanlığı 190 mm olarak hesaplanmıştır.

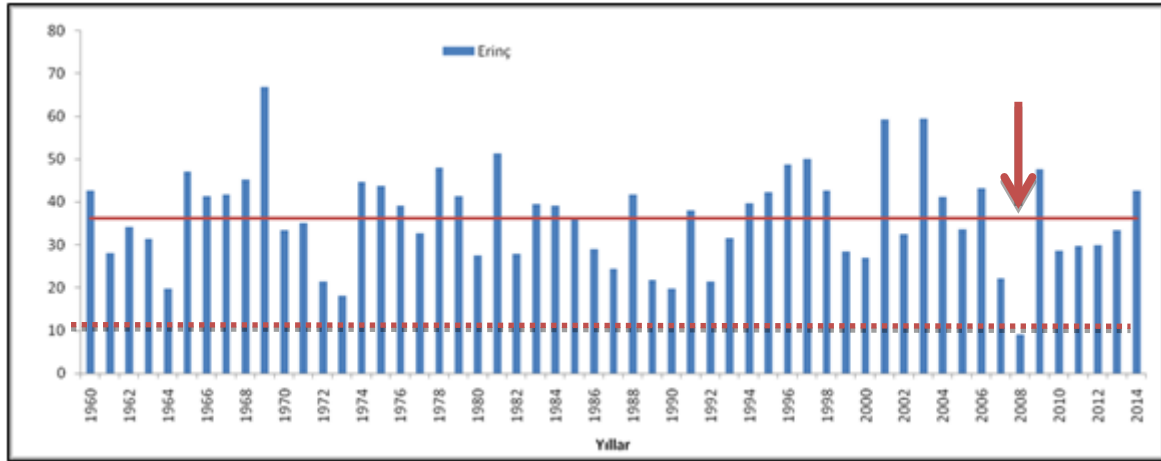


Şekil 3. Antalya'nın Thornthwaite metoduna göre su bilançosu diyagramı.

Türkiye'nin de bir kısmını teşkil eden Doğu Akdeniz Havzası için NASA yakın bir tarihte kuraklık analizi yapmıştır (<http://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/nasa-finds-drought-in-eastern-mediterranean-worst-of-past-900-years>). Bu analiz aynı zamanda bir uyarı niteliği taşımaktadır. Bu uyarıda, 1998 yılından başlayıp günümüze dek uzanan 18 yıllık sürecin, % 89 olasılıkla son 900 yılın en kurak dönemi olduğu bildirilmiştir. Aynı zamanda bu kuraklığın süreceği uyarısında bulunulmuştur. Bu açıdan bakıldığında, Akdeniz Bölgesinin kuraklığının çözümlenmesi daha önemli hale gelmektedir.

Bu doğrultuda ilk olarak kurak yılların belirlenmesi için Antalya istasyonu verilerine Erinç kuraklık indisi uygulanmıştır. Erinç İndisine göre, 1960-1980 ortalaması 37,7 olan Antalya, 1980-2000'de 35'e düşmüştür. Son 15 yılda ise 35,9 olmuştur. Genel olarak bakıldığı zaman yağışlarda bir azalma maksimum sıcaklıklarda da bir artış var denilebilir (Bacanlı ve Saf, 2005: 11; Bahadır, 2011: 370). Nitekim aynı durum daha önce yapılan çalışmalardan anlaşıldığı üzere tüm Akdeniz bölgesi için

geçerlidir. Antalya’da 2001, 2003 ve 2014 yılları son 55 yılın en yüksek nemliliğin hüküm sürdüğü dönemlerdir. 2008 yılı ise son yıllarda en şiddetli kuraklığın görüldüğü dönemdir. Tüm bunların toplamında Antalya’da son 15 yılda son 55 yılın en nemli ve en kurak yıllarının yaşandığı anlaşılmaktadır. Erinç İndisine göre, 2008 yılında Antalya’da çöl-step vejetasyonuna sahip bir bölgenin iklim koşulları hâkimdir (Şekil 4). Hâlbuki Antalya Erinç İndisine göre, 44,45 ortalama ile nemli iklim tipine sahiptir.



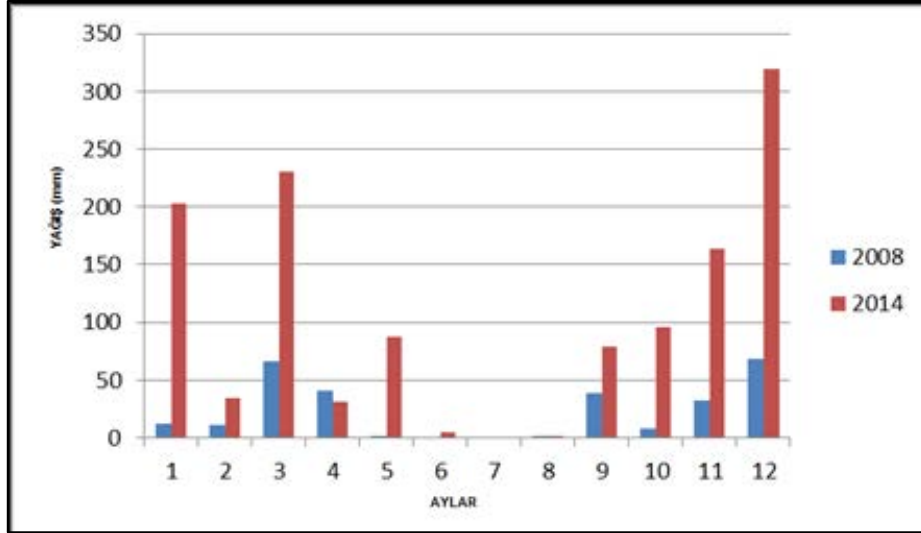
Şekil 4. Erinç Kuraklık İndisine göre, 1960-2014 yılları arasında Antalya’da kurak ve nemli koşulların durumu (Kesik kırmızı çizgi tam kurak çöl ikliminin üst sınırı, kırmızı düz çizgi ise yarı kurak step iklimi sınırını göstermektedir).

### 3.1.NDVI ve VCI Analizi ile Vejetasyon Durumunu Ortaya Konulması

Orman ekosistemlerinin yapısı ve işlevi büyük oranda iklime bağlıdır. İklim koşullarındaki değişimlere bağlı olarak, ormanın şekli ve fonksiyonu değişmeye uğrar (Atalay,2008:330). Akdeniz bölgesi, iklim koşullarında yıllara göre büyük değişkenliğin meydana geldiği yerlerdendir (Ölgen, 2010:86).

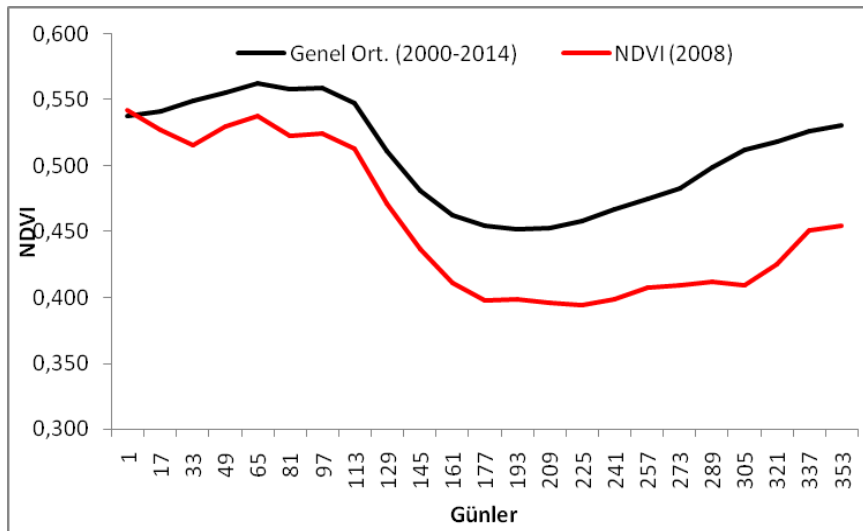
Akdeniz Bölgesinde yağış değişkenliği durumu % 25'lere ulaşmaktadır. Bu durum, Akdeniz bölgesinin yağışlarında yıllar arasında önemli sapmalar meydana geldiğini gösterir. Nitekim yağış değişkenliğinin incelenmesi kurak ve nemli dönemlerin tespiti açısından önemlidir. Çünkü yağış değişkenliği ile kuraklık arasında sıkı bir ilişki vardır (Türkeş vd.,2007:58). Sıcaklık artışı ve yağışın azalması şeklinde kendini gösteren kuraklığa bağlı olarak ağaçların boyları, sıklığı ve ürettikleri biyokütle miktarı azalır. Kurak ve nemli dönemlerde vejetasyonun durumunu analiz etmeden önce, yağışın arttığı ve azaldığı döneme dair iklim koşullarının daha detaylı analiz edilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, Antalya'nın 2008 ve 2014 yıllarındaki yağış grafikleri elde edilmiştir. Böylelikle kurak ve nemli yılda yağış miktarları daha net bir şekilde anlaşılmıştır. Akdeniz Bölgesi'nde yer alan diğer meteoroloji istasyonlarında olduğu gibi Antalya'da da yıl içinde ve yıllar arasında yağış değişkenliğinde büyük oynaklıklar meydana gelmektedir (Ölgen, 2010). Zira 2008 ve 2014 yılları örneğinde bu durum belirgin bir şekilde görülmektedir. Kurak dönem olarak tespit edilen 2008 yılında, Antalya'nın yağışlarında büyük bir azalma görülürken, 2014 yılında ise Antalya ikliminde nemli koşulların hâkim olmasına bağlı olarak yağışların arttığı dikkati çekmektedir. Her iki yılın yağışlarında meydana gelen oransal değişim 2008 yılının ocak ayında, 2014'e oranla daha fazladır. 2008'de 12,6 mm yağış alan Antalya 2014 yılında 203 mm almıştır. 2008 ile 2014 yılları arasında en fazla yağış farkının olduğu ay ise aralıktır. 2014 yılı 320 mm yağış alan Antalya 2008 yılı aralık ayında 68,7 mm yağış almıştır. 2008 yılı ile 2014 yıllarının toplam yağışında önemli farkın olduğu bir diğer ay ise marttır. 2008 yılı mart ayında Antalya 200mm'nin üzerinde yağış alırken, 2014

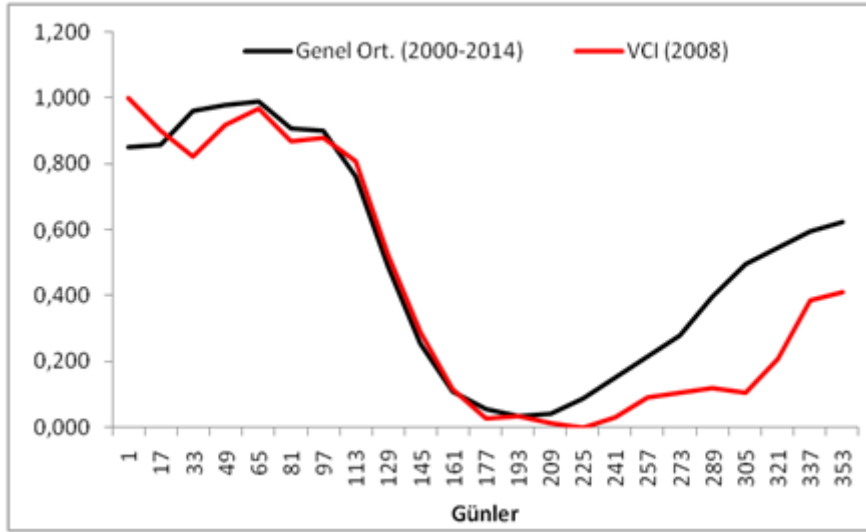
yılında 100 mm'nin altında yağış almıştır (Şekil 5). Şekil 5'te görüldüğü üzere, 2008 ve 2014 yıllarına yağış miktarlarında büyük fark bulunmaktadır. 2008 kurak yılında çok düşük yağış miktarının ölçüldüğü Antalya'da, 2014 yılında yağış miktarı yüksek seviyededir.



Şekil 5. Antalya MGM verilerine göre 2008 ve 2014 yıllarında yağışın aylara göre dağılımı.

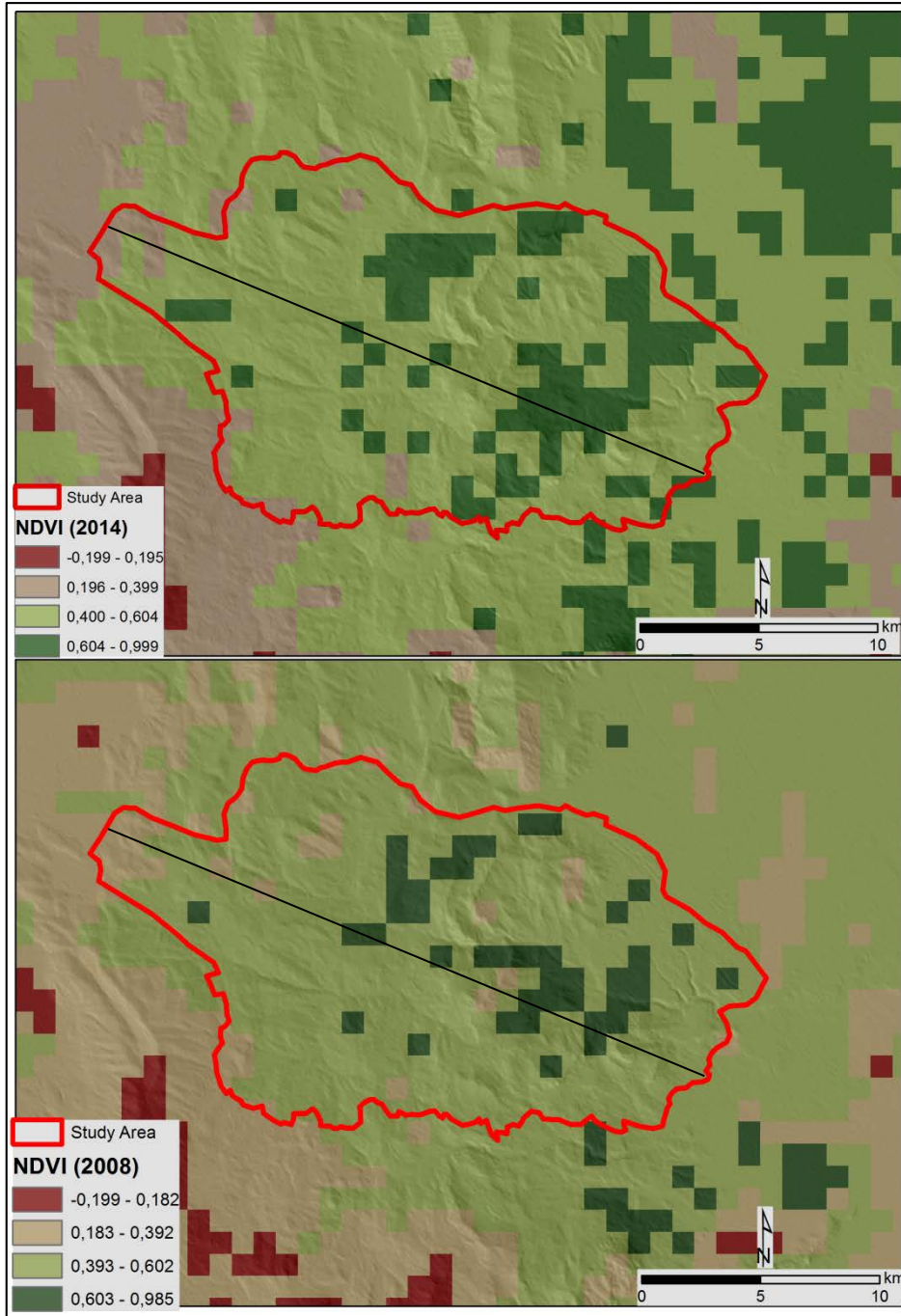
Termessos (Güllük Dağı) Milli Parkı'nın büyük bölümünde kızılçam vejetasyonu hâkimdir. Kızılçam vejetasyonuna ait test alanları belirlenerek NDVI ve VCI değerleri ortaya konulmuştur. Böylelikle zengin biyoçeşitliliğe habitat sağlayan kızılçamın kurak ve nemli iklim koşullarına verdiği tepki daha yakından incelenmiştir. 2008 yılı yağışlarındaki azalmanın kızılçam bitki örtüsü üzerinde önemli etkisi olduğu görülmektedir. Bu etkiyi, VCI analizi sonuçlarında görmek mümkündür. 2008 yılında, ortalama VCI değeri % 42'dir. Ortalama VCI değeri arttıkça bitki örtüsü daha yüksek fotosentez aktivitesi içerisindedir. 2000-2014 yıllarına ait ortalama VCI değeri, %51'dir. Bu durum, yağışın azalmasına bağlı olarak bitki örtüsünde meydana gelen değişimin nasıl olduğu sorusuna iyi bir cevaptır. Kurak dönemde, yılın 161.günü ve sonrasında bitki örtüsünün VCI değerlerinde büyük düşüşler görülmektedir. VCI değerlerindeki düşüş, yazın bitişi ve bitki örtüsünün sonbahar aylarında gelişme dönemine girdiği günlere kadar devam etmektedir (Şekil 6).





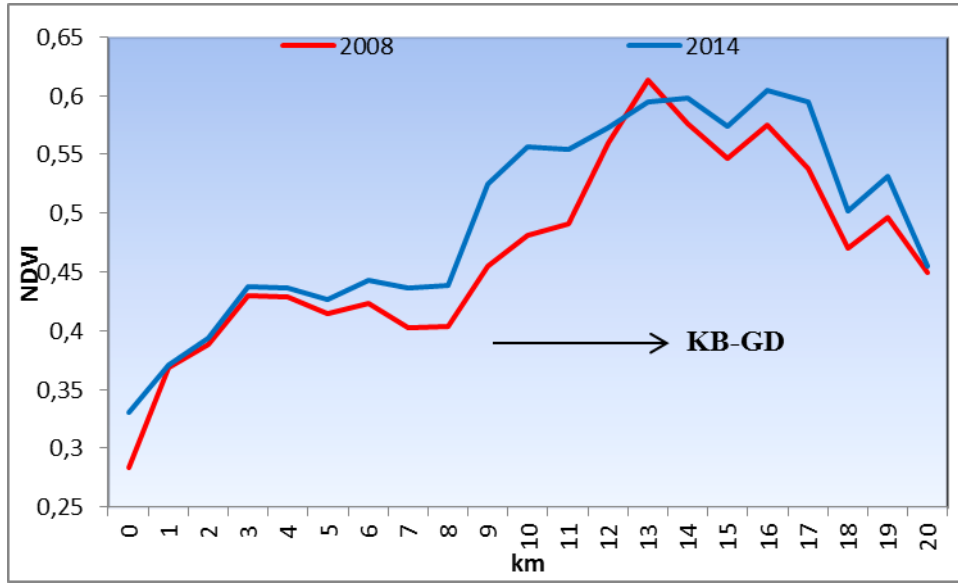
Şekil 6. 2008 ve 2000-2014 yılları arasına ait ortalama NDVI (üstte) ve VCI (altta) değerleri.

NDVI değerlerine bakılacak olursa, NDVI değerlerinde 2014 mart ayında bir artış söz konusudur. 2014 yılında Termessos Milli Parkı'nda, LST değerlerinin düştüğü buna mukabil NDVI değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Grafikler incelendiğinde, yalnızca mart ayında değil, 2014'ün tüm aylarında bir artışın söz konusu olduğu görülmektedir. Çalışma alanında 2008 yılı Mart ayında, ortalama NDVI değeri 0,29'dur. 2014 yılında ise ortalama NDVI değerlerinin artarak 0,32'ye ulaşmıştır. Maksimum NDVI değerleri incelendiğinde 2000-2014 yıllarının genel ortalaması ile 2008 kurak yılı koşullarından kaynaklanan fark açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. 2008 (kurak) ve 2014 (nemli) yılları Mart ayında NDVI görüntüleri.

Çalışma alanının güney doğu tarafı NDVI değerlerinin maksimum seviyelere ulaştığı kesimdir. Termessos Milli Parkının kuzeybatısı ise NDVI değerlerinin en düşük seviyelerde olduğu yerdir. Çalışma alanında, 2008 ile 2014 yılları arasında, NDVI trendinde meydana gelen değişim dikkat çekicidir. Kurak iklim koşullarının hakim olduğu 2008 yılında NDVI değerleri düşerken, nispeten nemli bir dönem olan 2014'te ise çalışma alanına ait KB-GD yönlü profil değerleri genel olarak yüksek bir trend içerisindedir (Şekil 8).

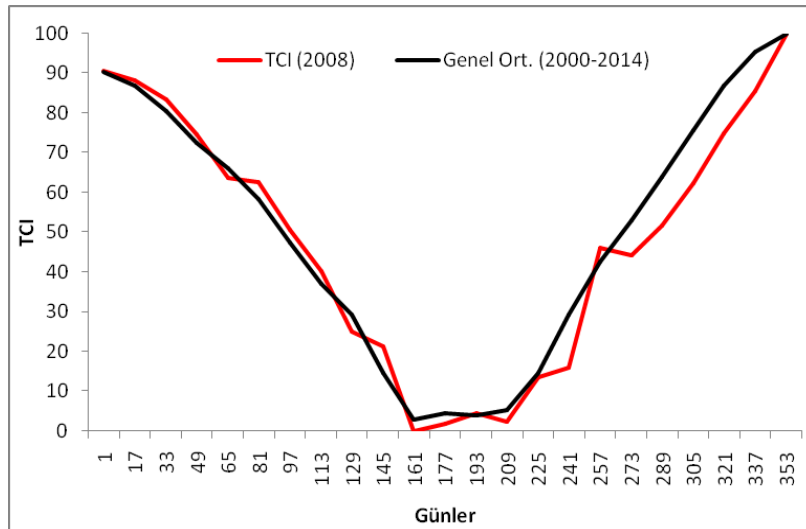


Şekil 8. Çalışma alanının 2008 ve 2014 yıllarının Mart ayına ait KB-GD yönlü NDVI profili.

### 3.2.LST ve TCI Durumu

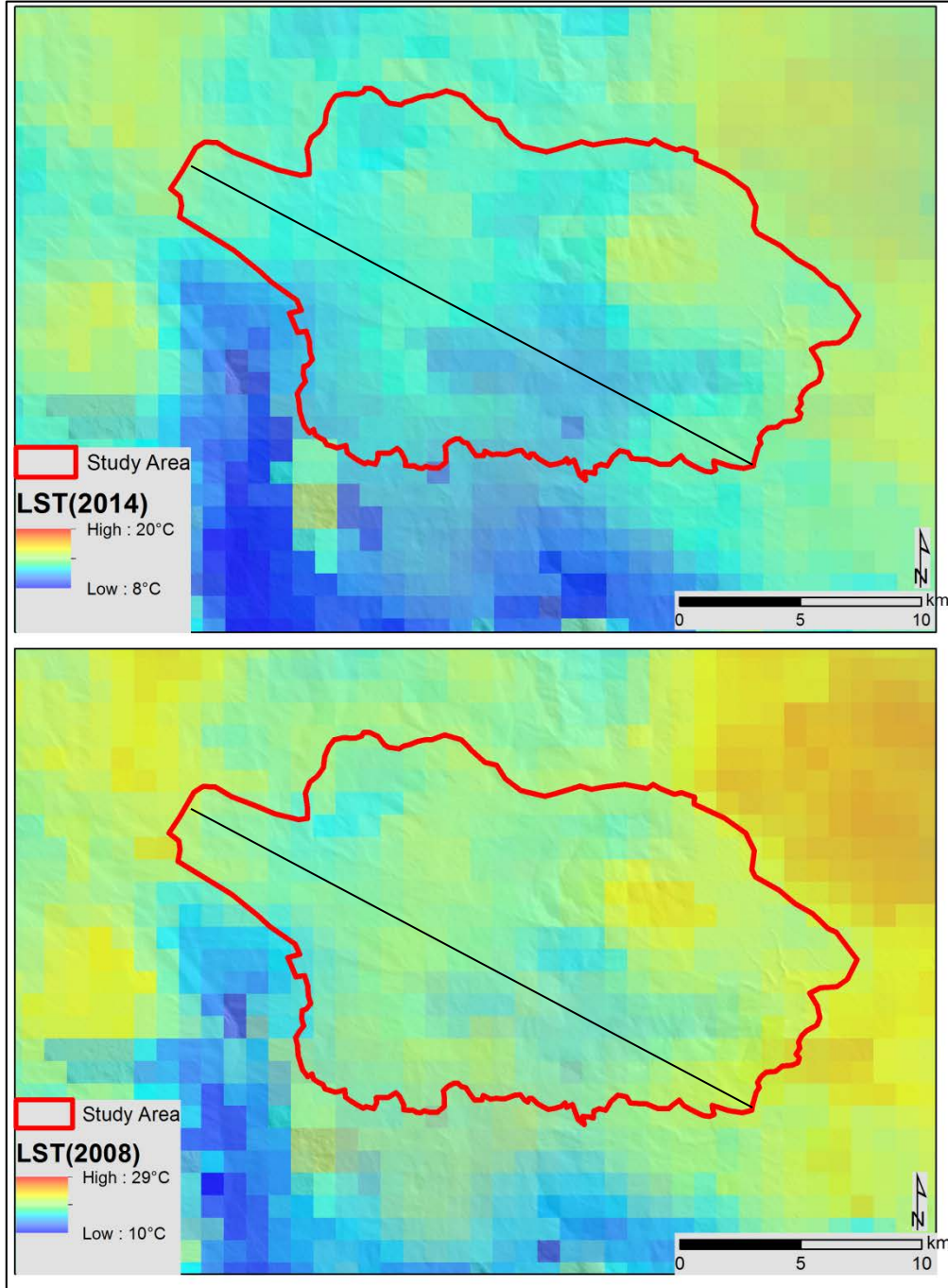
Serbest atmosferde meydana gelen sıcaklık koşulları yer yüzey sıcaklıklarına aynı dönemde ve aynı şekilde yansımamaktadır. İklimde kurak ve nemli koşulların yere yansımalarını anlamak için uydu verilerine ait termal bantlar kullanılarak YYS elde edilmiştir. YYS verileri 2008 ve 2014 yıllarında 16 günlük periyotlar halinde incelenmiştir. Böylelikle Güllük Dağı Milli Parkının kurak ve nemli yıllardaki yer yüzey sıcaklıkları daha net bir şekilde anlaşılmıştır.

Ortalama TCI değeri ne kadar artarsa yer yüzeyi sıcaklıkları o kadar düşmüş demektir. Termessos Milli Parkında, 2000-2014 yılında ortalama TCI değeri %50,42'dir. Bu değer 2008'de, %48'dir. Bu fark, 2008 yılındaki YYS değerlerinin, genel ortalamadan daha yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 9).

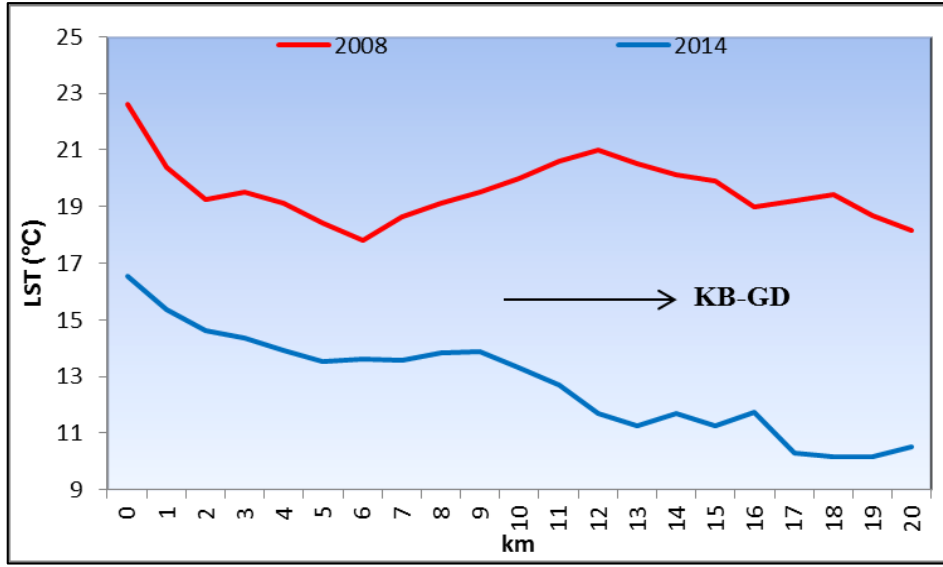


Şekil 9. 2008 ve 2000-2014 yılları arasında ait ortalama TCI değerleri.

2008 ve 2000-2014 yıllarına ait genel ortalama YYS değerleri incelendiğinde kurak dönemde yüzey sıcaklıklarının daha fazla ısındığı açık bir şekilde görülmektedir. 2008 yer yüzey sıcaklıkları, 2000-2014 ortalamasına oranla, daha yüksektir. 2008 yılında Termessos Milli Parkı'nın ortalama sıcaklığı 20,3°C olurken, 2000-2014 yılında ortalama sıcaklıklar 13,5°C'dir. 2000-2014 yılları arasında ölçülmüş en düşük LST değeri 7°C olurken, 2008 kurak yılında minimum sıcaklıklar yükselerek 15°C'ye ulaşmıştır (Şekil 10 ve 11).



Şekil 10. 2008 (kurak) ve 2014 (nemli) yılları Mart ayında LST görüntüleri.

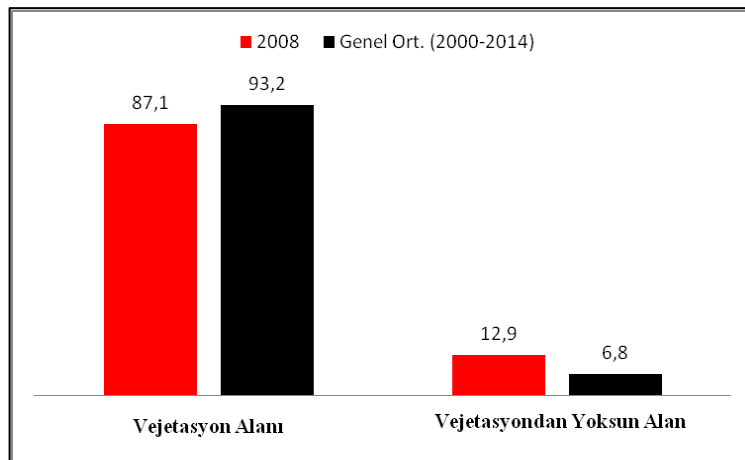


Şekil 11. Çalışma alanının 2008 ve 2014 yıllarının Mart ayına ait KB-GD yönlü LST profili.

### 3.3.VHI Analizi

Kızılçam ormanları ve maki toplulukları Akdeniz Bölgesi'nin klimaks türleridir. Kızılçamlar Toros Dağları'nın ortalama 1000 m yüksekliğe kadar olan etek bölümüne kadar yayılış gösterir. Çalışma alanımız olan Termessos Milli Parkı Batı Torosların etek kısmında yer almaktadır. Termessos Milli Parkında hâkim bitki örtüsü türü kızılçamdır. Çalışma alanında vejetasyon süresi 260 günün üzerindedir (Atalay, 2008:652).Vejetasyon süresi bazı yıllar kısalmışken bazı yıllar da yılın tüm günlerine yayılmaktadır. Vejetasyon süresini belirleyen temel faktörlerden birisi de kuraklıktır.

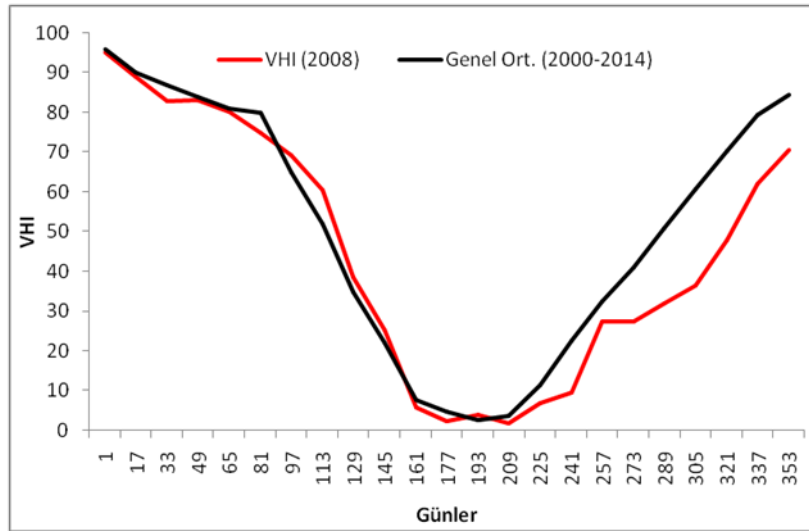
Nemli ve kurak yıllarda Termessos Milli Parkı vejetasyonunda önemli değişimler meydana gelmektedir. 2008 yılında yüksek fotosentez aktivite yapan vejetasyon alanı daralırken, 2014 yılında yüksek fotosentez aktivite yapan vejetasyon alanlarında genişleme söz konusudur. 2008 yılında fotosentez aktivite yapan vejetasyon alanının oranı %87,1 iken, 2000-2014 yılları ortalamasına göre bu oran %93,2'dir. 2008 kurak yılında vejetasyondan yoksun alanların oranı artarken, 2000-2014 yıllarına kapsayan 15 yıllık ortalama ise vejetasyondan yoksun alanlar daha dardır. Vejetasyondan yoksun alanlar, 2008 yılında çalışma alanının %12,9'luk bir oran kaplarken, 2000-2014 ortalamasına göre ise bu oran %6,8'dir. (Şekil 12).



Şekil 12. 2008 (kurak) ve 2014 (nemli) yılları Mart ayında vejetasyon oranları (%).



Bitki örtüsünün sağlıklı olma durumunu bir başka ifadeyle bitkinin yüksek ya da düşük fotosentez aktivite içerisinde olma durumunu yansıtan indeks olan VHI'nin ortalaması 2008 yılında % 45'tir. VHI değeri, yıl içindeki maksimum dönemde, %95'tir. 2008 yılında yaşanan kuraklığın bitki örtüsü üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için 2000-2014 yıllarına ait çeşitli indeks değerleri de incelenmiştir. VHI değerinde meydana gelen artış bitki örtüsünün o yıl sağlıklı olduğu anlamına gelmektedir. 2000-2014 yıllarına ait 15 yıllık ortalama ile kurak döneme ait 16 günlük VHI değerlerinin ortalaması alınmıştır. Bu ortalamalar, 2008 yılında %45 2000-2014 ortalamasında ise, %50,6 oranındadır. 2000-2014 genel ortalamasında, vejetasyonun daha yüksek VHI değeri gösterdiğini işaret etmektedir. Bu durum kurak dönemde vejetasyonun düşük fotosentez aktivite yaptığını göstermektedir. VHI analizi sonuçlarına göre, 2000-2014 yılları ortalamasında bitki örtüsünün en sağlıklı olduğu dönem aralık ayı sonu ile ocak ayı başıdır. Bu dönemde VHI analizi sonuçlarına göre bitki örtüsü %98 oranında sağlıklıdır. Yani bu dönem, bitki örtüsünün en fazla fotosentez aktivitesi içerisinde olduğu zamandır. Çünkü bu dönemde zeminde su fazlası en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Toprakta su eksikliğinin en fazla olduğu yaz aylarında ise vejetasyon en düşük fotosentez aktivitesini yapmaktadır. Bu durum, Thornthwaite iklim sınıflandırması sonuçları ile vejetasyon arasındaki ilişkiyi göstermesi bakımından önemlidir. Nitekim literatürde Thornthwaite iklim sınıflandırması ile bitki indeks değerleri arasında ilişkiyi tespit eden bir çok çalışma mevcuttur (Vicento vd, 2006; Mayla vd., 2012). 2008 yılında bitki örtüsünün en sağlıklı olduğu periyot ocak ayının başlarıdır. Hem 2008'de hem de 2000-2014 yılları ortalamasında, bitki örtüsünün en sağlıklı olduğu (düşük fotosentez aktivite yaptığı) dönem yani bitkinin yüksek strese maruz kaldığı günler temmuz ayıdır. Bu dönem çalışma alanında sıcaklığın ve buharlaşmanın en yüksek olduğu ve yağışın en düşük miktarda olduğu dönemdir. 16 günlük periyot şeklinde değerlendirme yapılacak olursa; 193.ve 209.günler VHI değerlerinin en düşük olduğu dönemdir. VHI ile bitkinin stresli dönemleri tespit edilebilmektedir. Bitkinin yüksek stres altında olduğu dönemler, sıcaklığın yüksek, yağışın ve nemin eksik olduğu günlerdir. Nitekim 2008 yılında Termessos Milli Parkı bitki örtüsünün hangi dönemde stres altında olduğu tespit edilmiştir. 2008 yılında yaşanan kuraklık, en fazla yılın 273 ila 353.günlerinde etkili olmuştur. 2008 yılında vejetasyon bilhassa eylül ayı sonunda aralık ayının sonuna kadar normalin çok altında kalmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. 2008 kurak yılında ve 2000-2014 yıllarına ait ortalama göre VHI değerleri.

#### 4.Sonuç

Bu çalışmada, Antalya il sınırları içerisinde yer alan ve zengin biyolojik çeşitlilik barındıran Termessos Milli Parkı vejetasyonunun kurak koşullar ile ilişkisi incelenmiştir. Bu bağlamda istasyon tabanlı kuraklık analizi sonucunda, 2008 yılı kurak dönem olarak tespit edilmiştir. 2008 yılı yalnızca Antalya’da değil Akdeniz Bölgesinin tamamında kurak bir yıl olarak geçmiştir. Bu kurak yılda, bitki örtüsünün fotosentez aktivitesinde önemli düşüşler yaşandığı tespit edilmiştir. Bu durum, hem NDVI hem VCI hem de VHI indekslerine yansımıştır. Bu çalışmada birden fazla uydu tabanlı kuraklık indeksi kullanılmıştır. Böylelikle sonuçlar teyit edilmiştir.

Çalışmanın önemli sonuçları şunlardır:

- Kurak dönemde vejetasyonda meydana gelen stres koşullarını daha iyi anlayabilmek için VHI analizi yapılmıştır. Bir başka deyişle, kurak dönemde Antalya’da vejetasyon durumunu daha detaylı incelemek için uydu-tabanlı kuraklık modeli olan VHI analizi yapılmıştır. Böylelikle VHI ile vejetasyonun sağlıklı ve kuru olduğu dönemler tespit edilmiştir. Buna göre, 2008 kurak yılında Termessos Milli Parkı vejetasyonunun, ortalama %45’lik bir kısmı yüksek fotosentez aktivite içerisindedir yani sağlıklıdır. 2000-2014 yılları ortalamasına göre ise, VHI modelinin 15 yıllık ortalaması %50’lerdedir.
- 2000-2014 yılları ortalamasında bitki örtüsünün en düşük fotosentez aktivitesi içerisinde olduğu dönem temmuz ayının sonudur. Kurak yılda ise, çalışma alanı bitki örtüsü en kuru dönemine ağustos ayının başlarında girmektedir.
- 2000-2014 yılları arasını kapsayan 15 yıllık dönemde VHI analizi sonuçlarına göre, bitki örtüsünün en sağlıklı olduğu dönem yılın ilk ve son günleridir. Bu dönemde VHI analizi sonuçlarına göre bitki örtüsü en yeşil dönemindedir. Çünkü bu dönemde artan yağışlara bağlı olarak toprakta su yeterli miktardadır. Toprakta su eksikliğinin en fazla olduğu yaz aylarında ise vejetasyon en düşük fotosentez aktivitesini yapmaktadır. Bu durum, Thornthwaite iklim sınıflandırması sonuçları ile vejetasyon koşulları arasındaki ilişkiselliği göstermesi bakımından anlamlıdır.
- Kurak ve nemli iklim koşullarının bitki örtüsü üzerindeki etkisinin bilhassa eylül ayı ve sonrasında yani bitkinin gelişme dönemine girdiği aylarda etkili olduğu görülmüştür. Bir başka deyişle, bitki örtüsü nemli ve kurak koşullara en kuvvetli tepkiyi eylül-aralık ayları arasındaki süreçte vermektedir.
- Nemli ve kurak iklim koşullarında yer yüzey sıcaklıklarında önemli değişimler meydana geldiği görülmektedir. Güllük Dağı Milli Parkına ait YYS ve TCI analizlerinde, kurak yılda maksimum ve ortalama sıcaklıkların arttığı görülürken, nemli yılda ortalama ve maksimum yer yüzeyi sıcaklıkları düşmektedir. Çalışmamızda elde edilen bu sonuç, daha önce yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir (Zhan vd., 2005; Karnieli vd., 2006).

Sonuç olarak, kuraklık fenomeninin vejetasyon üzerinde yarattığı etkinin anlaşılması çok önemli bir konudur. Bunun anlaşılması için istasyon-tabanlı meteorolojik kuraklık analizleri yapmak yetmez. Bitki örtüsünün kurak koşullara verdiği tepkinin zamanı ve şiddetini anlamak için uydu-tabanlı kuraklık indekslerinin de kullanılması gerekmektedir. Nitekim bu çalışmada, uydu-tabanlı kuraklık analizi ile zengin biyolojik çeşitlilik barındıran ve öncelikli koruma alanları içerisinde yer alan Güllük Dağı Milli Parkı’nın vejetatif kuraklık durumu incelenmiştir.

#### 5. Öneriler

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, uydu-tabanlı kuraklık modelleri ile istasyon-tabanlı kuraklık indekslerinin entegre edilmesi önemlidir. Çünkü bu çalışmada görülmüştür ki, bu iki metodolojinin entegrasyonunu sağlamak, kuraklık gibi ciddi ve kompleks bir fenomene daha bütüncül

bakmayı sağlamaktadır. Gerek uydu-tabanlı gerekse de istasyon tabanlı kuraklık modellerinin avantajları ve limitasyonları vardır. Bu çalışmada her iki metodoloji entegre edilerek limitasyonlar ortadan kaldırılmıştır. Böylelikle daha güvenilir, doğru ve detaylı sonuçlar elde edilmiştir.

Aynı zamanda bu çalışmada, Akdeniz Bölgesinde yer alan bir saha üzerinde çalışılmıştır. Akdeniz Bölgesinin çalışılması önemlidir. Çünkü son dönemde yapılan uyarılar, Akdeniz Bölgesinin son 900 yılın en kurak dönemlerinden geçtiğini göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında, Akdeniz Bölgesi için kuraklık fenomeni daha ciddi bir mesele haline gelecektir ve bu yönde çalışmaların daha sıklıkla yapılması gerekir.

Bu çalışmada kullanılan yöntemler ve elde edilen bulgular, devlet kurumlarına altlık ve kaynak teşkil edecek cinstendir. Dolayısıyla, devlet kurumları bu çalışmada kullanılan yöntemleri kullanarak kuraklığı anlamadaki bilgi ve becerilerini daha fazla arttırabilir. Böylelikle kuraklığın yaratacağı hasar daha aza indirgenebilir.

#### Referanslar

- Akbaş, A. (2014). "Türkiye Üzerindeki Önemli Kurak Yıllar" *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12 (2), 101-118.
- Akbaş A., Tatlı H. (2013) , "Analysis Specific Drought Years on Turkey via Palmer Drought Severity Index", *6th Atmospheric Science Symposium*, 312-321.
- Alley, W.M., (1984) "The Palmer drought severity index: limitations and assumptions" *Journal of Application Meteorology* 23 (7), 1100-1109.
- Anderson, M.C., Hain, C., Otkin, J., Zhan, X., Mo, K., Svoboda, M., Wardlow, B., Pimstein, A., (2013) "An intercomparison of drought indicators based on thermal remote sensing and NLDAS-2 simulations with US Drought Monitor classifications" *Journal of Hydrometeorology* 14 (4), 1035-1056.
- Atalay, İ. (2008) *Ekosistem Ekolojisi ve Coğrafyası Cilt II* , Meta Basımevi, İzmir
- Bacanlı, Ü. G. ve Saf, B. (2005). "Kuraklık Belirleme Yöntemlerinin Antalya İli Örneğinde İncelenmesi", *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Sempozyumu*, <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/11138.pdf>, (Erişim Tarihi:07.06.2016).
- Bahadır, M. (2011) "Akdeniz Bölgesi'nde Sıcaklık ve Yağışın Gelecekteki Eğilimleri ve Olası Sonuçları", *The Journal Of International Social Research*, 4, (19), 364-378
- Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C., Tucker, C. J. (2006) "A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis" *Remote Sensing of Environment*, 105, 9-22.
- Bhuiyan, C., Singh, R.P., Kogan, F.N., (2006) "Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data" *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8, 289-302.
- Caccamo, G., L.A. Chisholm, R.A. Bradstock, M.L. Puotinen (2011) "Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems" *Remote Sensing of Environment* 115, 2626-2639.
- Cook, E.R., Meko, D.M., Stahle, D.W., Cleaveland, M.K., (1999) "Drought reconstructions for the continental United States" *Journal of Climate* 12 (4), 1145-1162.
- Çelik M.A., Karabulut M. (2013). "Yağış Koşullarının Antep Fıstığı (*Pistacia vera* L.) Biomas Aktivitesi ve Fenolojik Özelliklerine Etkisinin Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak İncelenmesi", *Türk Coğrafya Dergisi*, 60, 37-48.
- Çelik M.A., Karabulut M. (2014a). "Antakya-Kahramanmaraş Grabeninde Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) orman alanları ile yağış arasındaki ilişkilerin MODIS verileri (2000-2010) kullanılarak incelenmesi" *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12(1), 49-68.
- Çelik M.A., Karabulut M. (2014b), "Farklı Bitki İndeks Modelleri (EVI, NDVI, VCI) Kullanılarak Resulosman Dağı (Kilis) Bitki Örtüsünün İncelenmesi", *Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi Bildiriler Kitabı*, 372-379, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, MUĞLA
- Doğan, S., Bertay, A., Singh, V.P., (2012) "Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin", Turkey. *Journal of Hydrology*. 470-471, 255-268.
- Du, L., Qingjiu, T., Tao, Y., Qingyan, M., Tamas, J., Peter, U., Yan, H., (2013) "A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data" *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 23, 245-253.
- Ganesh, S. (2007) "Investigation of The Utility of The Vegetation Condition Index (VCI) As An Indicator of Drought" *Texas A&M University Master Of Science*, 1-60.
- Hayes, M.J., and W.L. Decker, (1998) "Using satellite and real-time weather data to predict maize production", *International Journal of Biometeorology*, 42(1):10-15.

- Kalfas, J., Xiao, X., Vanegas, D., Verma, S., Suyker, A.E., (2011) "Modeling gross primary production of irrigated and rain-fed maize using MODIS imagery and CO<sub>2</sub> flux tower data" *Agricultural Forest Meteorology* 151, 1514–1528.
- Karabulut, M., (2003) "An examination of relationships between vegetation and rainfall using maximum value composite AVHRR-NDVI data", *TÜBİTAK Turkish Journal of Botany*, 27, 93-101.
- Karabulut, M. (2006). "NOAA AVHRR Verilerini Kullanarak Türkiye'de Bitki Örtüsünün İzlenmesi ve İncelenmesi" *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 4 (1), 29-42.
- Karabulut, M., (2015) "Drought analysis in Antakya-Kahramanmaraş Graben, Turkey, *Journal of Arid Land*, Volume 7, Issue 6, pp 741-754. doi: 10.1007/s40333-015-0011-6.
- Karnieli, A., M. Bayasgalan, Y. Bayasgalan, N. Agam, S. Khudulmur, and C. J. Tucker (2006) "Comments on the use of the vegetation health index over Mongolia", *Int. J. Remote Sens.*, 27, 2017– 2024.
- Kogan, F.N. (1990) "Remote Sensing of weather impacts on vegetation in nonhomogeneous areas" *International Journal of Remote Sensing*, 11, 1405-1419.
- Kogan, F.N. (1995). "Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection". *Advances in Space Research*, 11, 91-100.
- Kogan, F.N., (1997) "Global drought watch from space" *Bulletin of American Meteorology. Society* 78 (4), 621–636.
- Kogan, F. N., (2001) "Operational Space Technology for Global Vegetation Assessment". *Bulletin of American Meteorology Society*, 82(9), 1949-1964.
- Kurnaz, L. (2014) *Kuraklık ve Türkiye*, İstanbul Politikalar Merkezi-Mercator Politika Notu, 1-18.
- Mayla, L., França, D.A., Antonio, J., Domiciano, J., (2012) "Climate Characterization Using Water Balance And NDVI For City Of Paulista-PE" *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 02, 25–36.
- Munoz, J.C., J.A. Sobrino (2008) "Split-Window Coefficients for Land Surface Temperature Retrieval From Low-Resolution Thermal Infrared Sensors", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5, (4), 806-809.
- Narasimhan, B., ve R. Srinivasan, (2005). "Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring" *Agricultural Forest Meteorology*, 133, 69–88.
- Nicholson, S.E., ve Farrar, T. J. (1994). "The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana: I. NDVI response to rainfall" *Remote Sensing of Environment*, 50, 107-120.
- Peters, A.J., Walter-Shea, E.A., Ji, L., Vliia, A., Hayes, M. Svoboda M. (2002) "Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index" *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68 (1), 71-75.
- Rhee, J., Jungho, J., G. J. Carbone (2010) "Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data" *Remote Sensing of Environment* 114, 2875–2887.
- Rosegrant, M. W., X. Cai, ve S. A. Cline, (2003) "Will the world run dry? Global water and food security" *Environment*, 45, 24–36.
- Shahabfara, A., Ghulamb, A., Eitzinger, J. (2012) "Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices" *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18, 119–127.
- Sobrino J. A., Z.-L. Li, M. P. Stoll, and F. Becker, (1996) "Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data", *International Journal of Remote Sensing*, 17, (11), 2089–2114.
- Son, N.T., Chen, C.F., Chen, C.R., Chang, L.Y., Minh, V.Q., (2012) "Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18, 417–427.
- Tatlı H., (2015) "Detecting Persistence Of Meteorological Drought Via Hurst Exponent", *Meteorological Applications*, 22, 763-769.
- Thornthwaite, C. W. (1948). "An approach toward a rational classification of climate" *Geography Review* 38, 55-94.
- Tucker, C.J., ve B.J. Choudhury, (1987) "Satellite remote sensing of drought conditions", *Remote Sensing of Environment*, 23, 243-251.
- Türkeş, M. (1996). "Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey", *International Journal of Climatology*, 16, 1057-1076.
- Türkeş, M., Koç, T., Sarış F. (2007) "Türkiye'nin Yağış Toplamı Ve Yoğunluğu Dizilerindeki Değişikliklerin ve Eğilimlerin Zamansal Ve Alansal Çözümlemesi". *Coğrafi Bilimler Dergisi* 7 (2), 129-144.
- Türkeş, M. (2009). "Palmer Kuraklık İndisi'ne Göre İç Anadolu Bölgesi'nin Konya Bölümü'ndeki Kurak Dönemler ve Kuraklık Şiddeti". *Coğrafi Bilimler Dergisi* 7 (2), 79-99.
- Türkeş M., Tatlı H., (2009) "Use of the standardized precipitation index (SPI) and a modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey", *International Journal Of Climatology*, 29, 2270-2282.
- Ölgen, K. (2010). "Türkiye'de Yıllık Ve Mevsimsel Yağış Değişkenliğinin Alansal Dağılımı." *Ege Coğrafya Dergisi*, 19/1, 85-95.
- Unganai, L.S., and F.N. Kogan, (1998). "Drought monitoring and corn yield estimation in southern Africa from AVHRR data", *Remote Sensing of Environment*, 63, 319-232.

- Vicente-Serrano, S. M., J. M. Cuadrat-Prats, and A. Romo. (2006). "Aridity influence on vegetation patterns in the middle Ebro Valley (Spain): Evaluation by means of AVHRR images and climate interpolation techniques". *Journal of Arid Environments* 66, 353–375.
- Viovy, N., Arino, O., Belward, A.S. (1992). "The best index slope extraction (BISE): A method for reducing noise in NDVI time series". *International Journal of Remote Sensing* 13(8), 1585–1590.
- Vörösmarty, C. J., ve Coauthors, (2010). "Global threats to human water security and river biodiversity" *Nature*, 467, 555–561.
- Yalım, B. ve Çıplak, B. (2002) "Termessos Milli Parkı (Antalya) Orthoptera (Insecta) faunası: Fauna elemanlarının zoocoğrafyaları ve vejetasyona göre dağılışları" *Türk. Entomoloji Dergisi*, 26 (4), 267-276.
- Quiring, S.M., ve Ganesh, S., (2010). "Evaluating the utility of the, Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas". *Agricultural and Forest Meteorology* 150, 330–339.
- Wan, Z., Wang, P., Li, X., (2004) "Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plain", USA. *International Journal of Remote Sensing* 25 (1), 61–72.
- Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahlar, A. H., and Liu, Z., (2005). Monitoring the response of vegetation phenology to precipitation in Africa by coupling MODIS and TRMM instruments. *J. Geophys. Res.* 110, D12103, doi: 10.1029/2004JD005263.

#### İnternet Referansları

- MGM, (2013), İklim sınıflandırmaları, Klimatoloji Şube Müdürlüğü Çalışanları, url: [http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim\\_siniflandirmalari.pdf](http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari.pdf)
- <http://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/nasa-finds-drought-in-eastern-mediterranean-worst-of-past-900-years>.
- <http://landval.gsfc.nasa.gov/ProductStatus.php?ProductID=MOD11> (Son erişim tarihi: 29.03.2016)
- <http://enso.unl.edu/monitor/monitor.html> (Son erişim tarihi: 05.04.2016)
- <http://212.175.180.197/bitkidon/kuraklikizleme.aspx> (Son erişim tarihi: 26.04.2016)

