İMO Teknik Dergi, 2016 7619-7634, Yazı 463

Türkiye'deki 2007 ve 2013 Yılı Kuraklıklarının NOAH Hidrolojik Modeli ile İncelenmesi

Burak BULUT[1]
M. Tuğrul YILMAZ[2]

ÖZ

Ülkemizde ve dünyada verdiği zararlar açısından doğal afet olarak nitelendirilen kuraklığın analizi ve sonucunda niteliklerinin (süre, şiddet, etki alanı) belirlenmesi, bu doğal afetin etkilerinin daha iyi anlaşılması ve azaltılması ve erken tahmininin yapılabilmesi açısından çok kritiktir. Bu çalışmada, Türkiye'deki kuraklık analizi için hem hidrolojik modelden elde edilen toprak nemi değeri hem de uzaktan algılama ile elde edilen bitki örtüsü indeksi kullanılmıştır. Kuraklık çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bu parametrelerin kullanımı ile 2000-2014 dönemi incelenmiş ve özellikle 2007, 2013 yıllarındaki kuraklığın detaylı analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: NOAH, hidrolojik model, uzaktan algılama, kuraklık.

ABSTRACT

Analysis of the 2007 and 2013 Droughts in Turkey by NOAH Hydrological Model

Analysis of drought, which is classified as a natural disaster, is globally considering the damage it gives. As a result detection of its characteristics is essential for understanding and reducing the effects of this natural disaster and for imminent prediction. In this study, soil moisture estimates obtained from NOAH hydrological model and normalized difference vegetation index obtained from MODIS observations are used to analysis the recent droughts in Turkey. With the utilization of these parameters that are commonly used in drought studies, years 2000-2014 have been examined and a detailed analysis of the drought particularly in the years 2007, 2013 has been carried out.

Keywords: NOAH, hydrological model, remote sensing, drought.

1. GİRİŞ

Kuraklık insan faaliyetlerinin yanı sıra doğal ve tarımsal ekosistemleri kesintiye uğratabilecek bir su kıtlığı ile sonuçlanan uzun bir süre boyunca yaşanan yağış eksikliği

---

Not: Bu yazı
- Yayın Kurulu'na 11.03.2015 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2016 gününe kadar tartışmaya açıktır.

1 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara – bulutburakk@gmail.com
2 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara – tuyilmaz@metu.edu.tr

olarak tanımlanabilir [1]. Öte yandan, kuraklıklar etki altına aldıkları alanlara verdikleri sosyo-ekonomik zararlar göz önüne alındığında doğal afet olarak nitelendirilebilirler [2]. Kuraklığın süresi, şiddeti ve etki alanı gibi niteliklerinin diğer doğal afetlere göre daha zor bir şekilde tespit ediliyor olması, onu diğer doğal afetlerden ayırmakta ve önemini arttırmaktadır [2]. Bilimsel literatürde tanımlanan birçok çeşidi olmasına rağmen kuraklık, genellikle dört ana tipe ayrılır: (1) meteorolojik kuraklık: genellikle tanımlanan ortalama yağıştan önemli bir negatif sapma, (2) hidrolojik kuraklık: yüzey ve yeraltı su miktarındaki azalma, (3) tarımsal kuraklık: bitki için gerekli olan toprak neminin yeterli değerin altında olması, (4) sosyoekonomik kuraklık: yukarıda belirtilmiş olan üç kuraklık kombinasyonun sebep olduğu istenmeyen sosyal ve ekonomik etkiler, olarak tanımlanabilir [3]. Aynı tipteki kuraklıklar etkiledikleri bölgelerin iklim şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin aşırı kurak iklim şartlarına sahip olan Kuzey Afrika gibi bölgelerde meteorolojik kuraklık tanımı yağışsız geçen yağış sezonlarıyla ifade edilirken, yıl boyunca günlük yağış alan bölgelerde ise yağışsız geçen haftalarla ifade edilmektedir [4].

Toprak nemi parametresinin atmosferik olaylar ve iklim üzerinde önemli etkisi, kendi içinde yüksek zamansal bağımlılığa ve bu sayede yüksek hafızaya sahip olmasından kaynaklanmaktadır [5]. Özellikle kara ile atmosfer arasındaki su, enerji ve karbon döngülerinin anlaşılmasında ve doğru tahmin edilmesinde kritik öneme sahiptir. Toprak sütunu gelen yağış ve hidrolojik sistemden su çıkan süreceler arasında filtre görevi görmektedir [6]. Örneğin toprağın yüzeye yakın kısmında yer alan su miktarı kısa dönem yağış ve meteoroloji ile ilişkilidir ve meteorolojik kuraklık hakkında bilgi verir.

Kök bölgesindeki toprak nemi ise bitkisel büyüme durumunu düzenleyen bir faktördür ve böylece tarımsal kuraklığın doğrudan bir göstergesidir [7]. Bitkilerin kullandığı suyun direkt olarak topraktan alındığı ve kök bölgesindeki toprak nemi değerleri ile bitki örtüsü değişimleri arasında yüksek bir korelasyon bulunduğu [8] göz önünde bulundurulduğunda tarımsal kuraklık incelemeleri toprak neminin gözlemlenmesi ile yapılabilmektedir. Öte yandan şiddetli rüzgarların da toprak nemini buharlaşma yoluyla azaltması, tarımsal kuraklığın takibinin yağmur verilerinin yanında toprak nemi gözlemleri aracılığıyla yapılmasını gerektirmektedir.

Toprak nemi ise kuraklık çalışmalarında kullanılan en önemli parametrelerden biri olmasına rağmen ülkemizde geniş ölçekli olarak en az gözlemlenen parametrelerden birisidir. Yaygınlıkla toprak nemi ölçümleri üç farklı ana metot kullanılarak yapılmaktadır: uydu gözlemleri (uzaktan algılama), hidrolojik modeller ve istasyonlardan yapılan direkt ölçümler. Uydu kaynaklı toprak nemi değerlerinin mikrodalga bandında yapılan gözlemlere dayanması ve bu platformda yapılan gözlemlerin düşük zamansal ve mekânsal çözünürlük zaaflarına da aynı zamanda sahip olmasına sebep olmaktadır. İstasyonlarda yapılan ölçümlerin zamansal çözünürlükleri iyi olmasına karşın mekânsal çözünürlükleri noktasal gözlem yapılması ve istasyonların dağılımlarının ekonomik ve fiziksel olarak karşılaşılan güçlükler sebebiyle sınırlı olmasından dolayı çok düşüktür. Öte yandan hidrolojik modeller, kuraklık gibi geniş ölçekli mekânsal ve zamansal toprak nemi değerlerinin ihtiyaç duyulduğu alanlarda girdi olarak kullanılan atmosferik verilerin bulunmasına bağlı olarak yüksek çözünürlükte tutarlı ve güvenilir toprak nemi değerlerinin elde edilebilmesini sağlayabilmektedir. Farklı toprak katmanlarına ait nem bilgilerini sürekli ve istikrarlı bir şekilde sağlaması hidrolojik modellerin kuraklık incelemelerinde yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır.

Kuraklık inceleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir başka parametre ise bitki örtüsü indeksleridir. Bitki yeşilliğine duyarlı olan bu indisler bitki yeşilliğindeki değişimi doğru bir şekilde sağlayabilmektedir. Uydu görüntülerinden elde edilen bu bilgiler sayesinde istenilen bölgedeki bitki örtüsündeki değişimler incelenebilmektedir. Bitki örtüsü indekslerinden sağlanan zamansal ve mekânsal olarak yüksek çözünürlüklü bitki örtüsü değişim bilgileri kuraklık da dâhil olmak üzere birçok alan hakkında ek bir bilgi gerektirmeden inceleme imkânı vermektedir. En büyük avantajı kolay kullanımı olan bitki örtüsü indeksleri, ölçümlerinde kendileri dışında herhangi bir varsayım ve ek bir bilgi gerektirmemektedir [9].

Ülkemizde yapılmış olan araştırmalar 2000 yılından sonraki yaşanan en şiddetli ve geniş alanlara yayılmış olan kuraklıkların 2001, 2007-2008 ve 2013-2014 yıllarında meydana geldiğini göstermektedir [10]. Ayrıca kuraklığın ülkemizdeki sinoptik, klimatolojik ve atmosferik bağlantıları [11] tarafından ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Öte yandan ülkemizde şuana kadar yapılan çalışmalar tarımsal kuraklığın zamansal seyrinin takibinde yaygınlıkla kullanılan toprak nemi ve bitki indislerinin değişimi karşılaştırılmalı olarak geniş ölçekli bir çalışma da yapılmamıştır.

Bu çalışmada, ülkemizde 2000 – 2014 yılları arasındaki toprak nemindeki değişimler ve aynı yıllar arasındaki bitki örtüsündeki değişimler özellikle kuraklıkların gerçekleştiği yıllar odak noktası olarak seçilerek incelenmiştir. Toprak nemi ve bitki örtüsüne ait verilerin analizi ile 4 ana kuraklık tipinden biri olan tarımsal kuraklığın incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, NOAH hidrolojik modelinden elde edilen kök seviyesindeki toprak nemi değerleri ile MODIS uydusundan elde edilen Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) değerlerinin büyüme sezonundaki değişimleri incelenmiştir.

2. TOPRAK NEMİ VE NDVI VERİLERİ

National Centers for Environmental Prediction (NCEP) - Oregon State University Dept. of Atmospheric Sciences - Air Force - Hydrologic Research Lab. ortak çalışmasının ürünü olan (NOAH) hidrolojik modeli [12] diğer hidrolojik modeller gibi atmosferik verileri (hava sıcaklığı, nem, rüzgâr, yağmur ve radyasyon) kullanarak yüzeydeki su ve enerji döngüsünün tahminini yapmaktadır [13]. Bu verilerin yanı sıra NOAH modelinin tahminlerinde toprak ve bitkisel parametrelere ait girdiler de önem arz etmektedir. Her bir nokta için ayrı ayrı enerji ve su dengesi denklemlerini çözmekte olan model, toprağın değişik katmaları için toprak nemi ve sıcaklık gibi değişkenleri hesaplamaktadır. Model, Global Land Data Assimilation System (GLDAS) ile yapılmış hidrolojik simülasyonların önemli bir bileşenini de oluşturmakta ve ayrıca The Water Research and Forecasting (WRF) modelinin yeryüzü akımlarını elde etmek için operasyonel olarak kullanılmaktadır. Küresel boyutta üçer saatlik periyotlarda ve 0.25° çözünürlükte topraktaki su ve enerji döngülerinin 2000 yılından bu yana dört farklı katmana ait (0-10cm, 10-40cm, 0.4cm-1m, 1-2m) tahminleri NASA Earth Sciences Division tarafından gerçekleştirilmiş olup Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC) tarafından dağıtımı yapılmaktadır. Bitkilerde gözlemlenen kuraklığın kök bölgesinde alınan su miktarı ile direkt bağlantılı olduğundan bu çalışmada 10-40cm toprak derinliğindeki toprak nemi verileri analizlerde kullanılmıştır.

Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) elektromanyetik spektrumun kırmızı ve kızılötesi bölümlerindeki geri yansıyan radyasyonun normalleştirilmesi sonucu elde edilmektedir. NDVI verileri, elektromanyetik spektrumun kırmızı bandına karşılık gelen aralıktaki radyasyonun klorofil aracılığıyla emilmesi ve kızılötesi banttaki radyasyonun süngerimsi mezofil aracılığıyla veri yansıtılması sayesinde bitkilerdeki değişimi ölçmektedir.

$$\mathrm{NDVI} = (\mathrm{r857} - \mathrm{r645}) / (\mathrm{r857} + \mathrm{r645}) \quad (1)$$

Bu denklemde yer alan r645 ve r857 değişkenleri sırası ile kırmızı ve kızılötesi banttaki yansıyan radyasyonu temsil etmektedir. Denklem 1'den elde edilen yüksek NDVI değerleri daha yeşil ve daha fazla fotosentez yapan bitkilere, düşük değerler ise yeşil olmayan yüzey koşullarına işaret etmektedir [14]. Bu çalışmada elde edilen NDVI değerleri Terra ve Aqua uydularının üzerinde bulunan Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensörüne ait r857 ve r645 kanal verileri kullanılarak elde edilmiştir. NDVI verilerinin kuraklık çalışmalarındaki rolü daha önce yapılan birçok çalışmada ortaya konulmuştur [15-17]. Bu çalışmada iki farklı NDVI verisi kullanılmıştır: yüksek 1km mekânsal ve 16 günlük zamansal çözünürlükte olan MOD13A2 MODIS ürünü ve 5km mekânsal ve aylık zamansal çözünürlükte olan MOD13C2 MODIS ürünü. Görsel incelemelerde 1km mekânsal çözünürlüğündeki MOD13A2 ürünü kullanılırken, korelasyon analizlerinde ise 5km çözünürlüğündeki MOD13C2 ürünü kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan NDVI verileri usgs.gov adresinden temin edilmiştir. NDVI ve MODIS verileri hakkında daha fazla bilgi [18,19] çalışmalarından elde edilebilir.

3. VERİ SETLERİNİN KURAKLIK ANALİZİ İÇİN HAZIRLANMASI

3.1. Aylık ve Yıllık Toprak Nemi ve NDVI Zaman Serilerinin Elde Edilmesi

Büyüme sezonu (Mayıs – Ağustos arası) öncesinde ve sonrasında bitkilerin yapraklarının olmaması, kar örtüsü altındaki toprak nemi değerlerinin ve bitki yeşilliğinin birbirinden bağımsız olacağı düşünülerek bitkilerdeki kuraklığa bağlı olan değişimler sadece büyüme sezonu ile sınırlı tutulmuştur. Öte yandan kurak sezonların gelişiminin daha iyi anlaşılması amacıyla toprak neminin zamansal değişimine ilişkin analizler tüm aylara ait veriler kullanılarak yapılmıştır.

Kuraklık analizi için ülkemiz sınırlarındaki NOAH modelinden elde edilen üçer saatlik 2000-2014 yılları arasındaki büyüme sezonu toprak nemi verileri aylık (4ay*15 yıl, toplam 60ay) ve yıllık (her yıl için 4 ayın ortalamasından oluşan bir adet ortalama değer, toplam 15 yıl) zaman serilerine dönüştürülmüştür. Benzer şekilde 2000-2014 yılları arasındaki aylık NDVI bitki örtüsü verileri 60 ay ve 15 yıl uzunluğunda aylık ve yıllık zaman serilerine dönüştürülmüştür. Elde edilen büyüme sezonlarına ait yıllık toprak nemi ve bitki örtüsü değerlerinin (toplam 15'er adet) ortalaması alınarak 15 yılın büyüme sezonu ortalama toprak nemi ve bitki örtüsü değeri elde edilmiştir (Şekil 1). Bu 15 yıllık ortalama hesabı, NDVI verileri için yüksek mekânsal çözünürlüğü (1km) sebebiyle MOD13A2 ürünü kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmanın geriye kalan analizlerindeki NDVI verileri ise aylık MOD13C2 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

3.2. Normalleştirilmiş Anomali Zaman Serisi Analizi

2000 – 2014 yılları arasındaki 15 yıllık verilerin kullanıldığı çalışmada, toprak nemi ve bitki örtüsü değişimine ait bu verilerinin detaylı incelenmesi için elde edilen aylık zaman serileri (toplam 4ay*15yıl=60 ay uzunluğunda) standartlaştırılmış anomali değerlerine dönüştürülmüştür. Normalleştirilmiş anomali değerleri her bir hücre (piksel) için oluşturulan aylık zaman serilerinin kullanımıyla aşağıdaki formül kullanılarak elde edilmiştir:

$$TN_n = \frac{(TN - \mu_{TN})}{\sigma_{TN}} \quad (2)$$

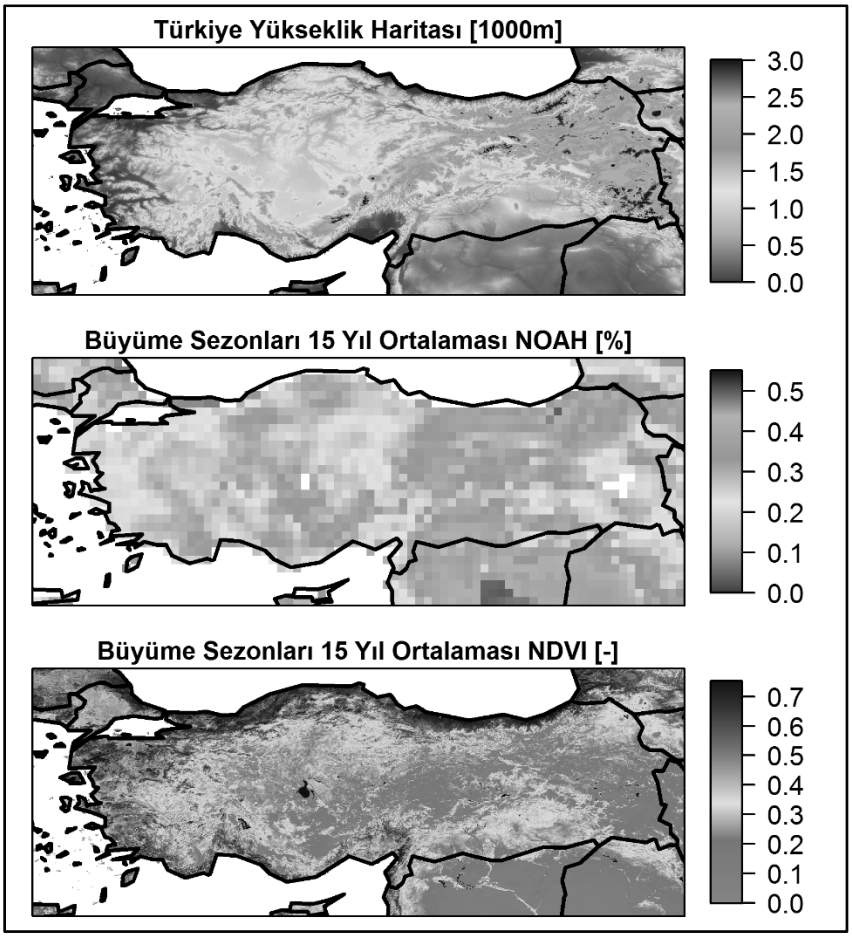
Bu formülde TN ham toprak nemi değeri, TN_n Normalleştirilmiş toprak nemi değeri, μ_{TN} ortalama toprak nemi, σ_{TN} toprak nemi standart sapmasını göstermektedir. Bu formülde μ_{TN} ve σ_{TN} değerleri her ay için farklı bir şekilde 15 yıllık zaman serileri kullanılarak hesaplanmıştır. Örneğin Ocak ayının μ_{TN} ve σ_{TN} değerleri 15 Ocak ayı verisi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu sayede toprak nemi değerleri mevsimsel ortalama değerlerinden arındırılarak yıllar arasındaki değişimi göstermektedir, yani herhangi ay için elde edilen toprak nemi değerlerinin diğer yıllara nazaran ne kadar ıslak veya kurak olduğunu göstermektedir. Bu sayede yaşanan kuraklığın veya ıslaklığın şiddeti toprak nemi değerlerindeki negatif veya pozitif sapmanın büyüklüğünden anlaşılabilmektedir. Öte yandan yapılan yıllık analizler herhangi bir yıl içinde elde edilen tüm toprak nemi değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Bu analizlerle kuraklığın aylık ve yıllık seyrinin incelenmesi amaçlanmıştır.

3.3. Kuraklığın Zaman Serisi Olarak İncelenmesi

Yukarda mekânsal kuraklık analizlerinin gerçekleştirildiği veri setlerinin hazırlanış şekilleri detaylandırılmıştır. Bu analizlere ilave olarak Konya−Sarayönü'nde (38.4919° Kuzey, 32.4563° Doğu) NOAH toprak nemi değerlerinin mevsimsellik değişiminin ve bu mevsimsel değerlerden olan sapmanın zaman serisi analizi yapılmıştır. Toprak neminin kuvvetli mevsimsel döngüsünün olduğu göz önünde bulundurulduğunda mevsimsel ortalama değerlerinin ham toprak nemi değerlerinden çıkarılması zaman içinde toprak neminin içinde bulunduğu kurak veya ıslak koşulların incelenebilmesi için gereklidir. Ham toprak nemi değerlerinden çıkarılan mevsimsellik değerleri aşağıdaki formül ile bulunmuştur:

$$X_t = \frac{\sum_1^N (TN_{N,t-14} + TN_{N,t-13} + \dots + TN_{N,t} + \dots + TN_{N,t+13} + TN_{N,t+14})}{29 \times N} \quad (3)$$

Bu formülde X_t t günündeki mevsimsellik değeri, N yıl sayısı, $TN_{N,t}$ N yılındaki t gününe ait toprak nemi değerini göstermektedir. Her bir güne ait olan o günden önceki ve sonraki 14 günü kapsayan 29 günlük serileri 15 yıl için oluşturulmuş ve ortalama toprak nemi değeri hesaplanarak yapılmıştır. Örneğin 15 Mart gününe ait verilerin mevsimsellik değerinin hesaplanması için 2000 – 2014 yıllarındaki 1 – 29 Mart arasında elde edilen 29*15=435 günün toprak nemi değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Mevsimsellik değerlerinin ham haldeki veriden çıkarılması ile de anomali değerleri elde edilmiştir.



Şekil 1. Türkiye Yükseklik Haritası, 15 Yıllık Büyüme Sezonlarının Ortalama NOAH [%] ve NDVI [-] Değerleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

2000 – 2014 yılları arasındaki 15 yıldaki Mayıs – Ağustos aylarını kapsayan büyüme sezonlarına ait olan ham verilerin ortalamasının hesaplanması ile oluşturulan Şekil 1'de toprak nemi ve bitki örtüsünün ülkemiz üzerindeki ortalama değerleri gösterilmektedir. Kök bölgesi toprak nemi değerlerinin özellikle Ege bölgesi ve Güney Marmara başta olmak üzere, İç Anadolu ve Doğu Anadolu'nun bazı kısımlarında düşük olduğu, öte yandan Doğu Karadeniz bölgesinin büyüme sezonu 15 yıl ortalaması değerlerinin (%37,8) Türkiye ortalamasının (%29,7) (Tablo 1) üzerinde olduğu gözlemlenmektedir. Aynı şekilde bitki örtüsü indeksinin yine Ege, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgesine diğer bölgelere nazaran daha düşük değerlerde olduğu gözlemlenmektedir. İç Anadolu Bölgesinin büyük bir kısmındaki değerler bitki örtüsündeki seyrekliği gösterirken, bilhassa Karadeniz olmak üzere kıyı şeridi boyunca bitki örtüsünün yüksek değerlere sahip olduğunu göstermektedir.

Kıyı şeritlerindeki göreceli olarak daha fazla olan yeşil bitki örtüsü, göreceli olarak daha yüksek olan yağış değerleri ile açıklanabilir.

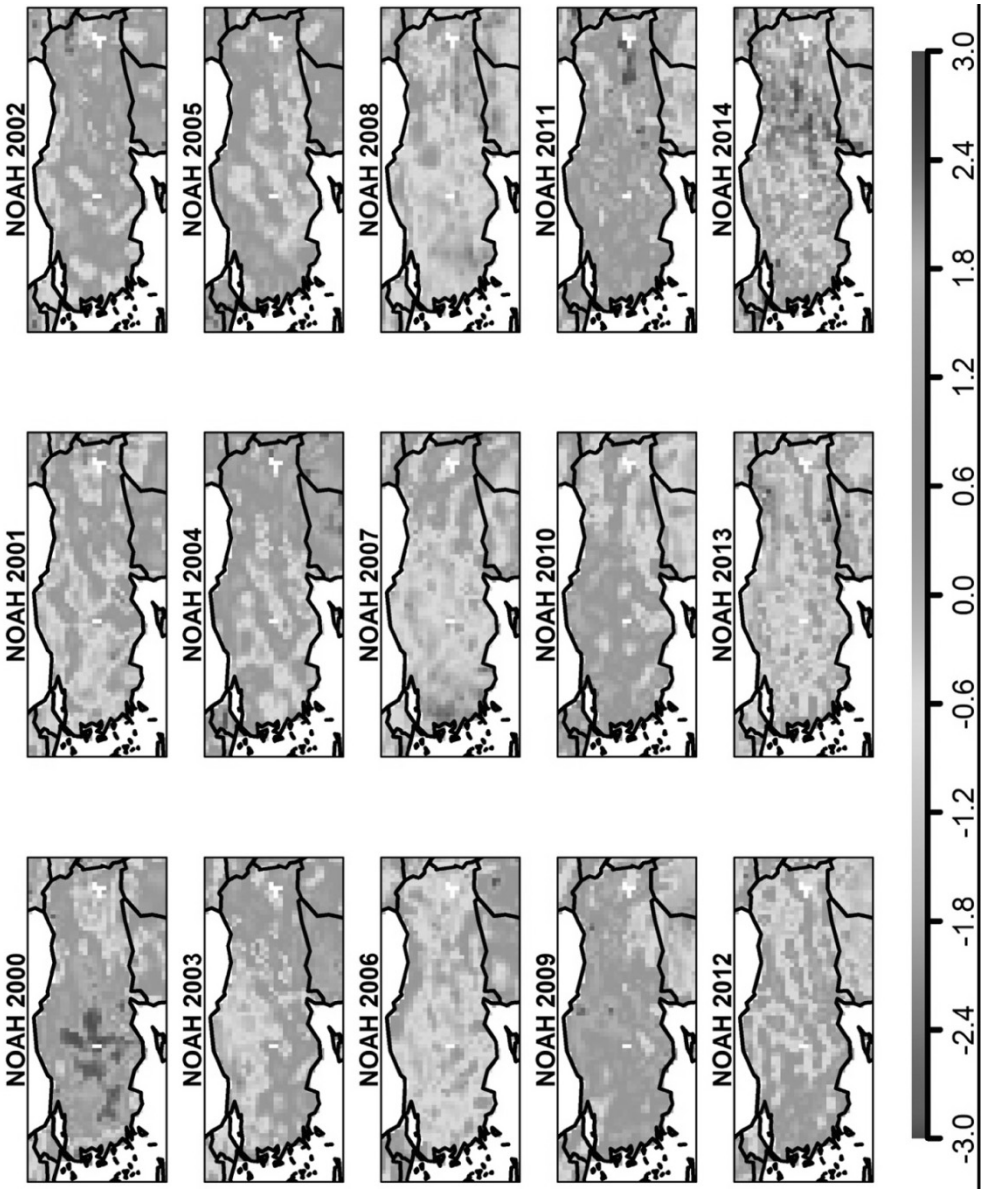
Tablo 1. Türkiye Geneli 2000-2014 Yılları Arası NOAH Toprak Nemi (%) ve NDVI Bitki Örtüsü [-] Yıllık ve Büyüme Sezonu Verilerine ait Ortalama ve Anomali Değerleri

Yıllar	***NOAH Toprak Nemi Değerleri (%)***				***NDVI Bitki Örtüsü Değerleri [-]***			
	Yıllık (12ay)		**Büyüme Sezonu (4ay)**		**Yıllık (12ay)**		**Büyüme Sezonu (4ay)**	
	Ort.	**Anom.**	**Ort.**	**Anom.**	**Ort.**	**Anom.**	**Ort.**	**Anom.**
2000	34.44	0.158	31.65	1.077	0.319	-1.989	0.374	-1.817
2001	32.78	-0.994	28.85	-0.488	0.342	-0.380	0.389	-0.652
2002	36.22	1.390	31.56	1.027	0.343	-0.282	0.400	0.179
2003	35.63	0.981	30.15	0.235	0.346	-0.081	0.401	0.247
2004	35.43	0.844	31.34	0.902	0.345	-0.147	0.406	0.700
2005	34.82	0.417	30.75	0.572	0.340	-0.517	0.398	0.010
2006	34.23	0.010	28.47	-0.703	0.346	-0.084	0.393	-0.307
2007	33.17	-0.722	27.95	-0.995	0.338	-0.665	0.389	-0.677
2008	32.94	-0.883	26.73	-1.675	0.331	-1.131	0.374	-1.829
2009	36.02	1.250	31.43	0.953	0.353	0.400	0.399	0.130
2010	34.89	0.465	30.51	0.439	0.372	1.767	0.403	0.475
2011	34.65	0.302	32.08	1.314	0.363	1.116	0.426	2.203
2012	34.53	0.217	29.48	-0.140	0.340	-0.474	0.403	0.454
2013	32.04	-1.506	27.72	-1.124	0.364	1.209	0.406	0.667
2014	31.43	-1.929	27.23	-1.396	0.365	1.258	0.400	0.216
Ort.	34.216		29.727		0.347		0.397	
St. S.	1.445		1.789		0.014		0.013	

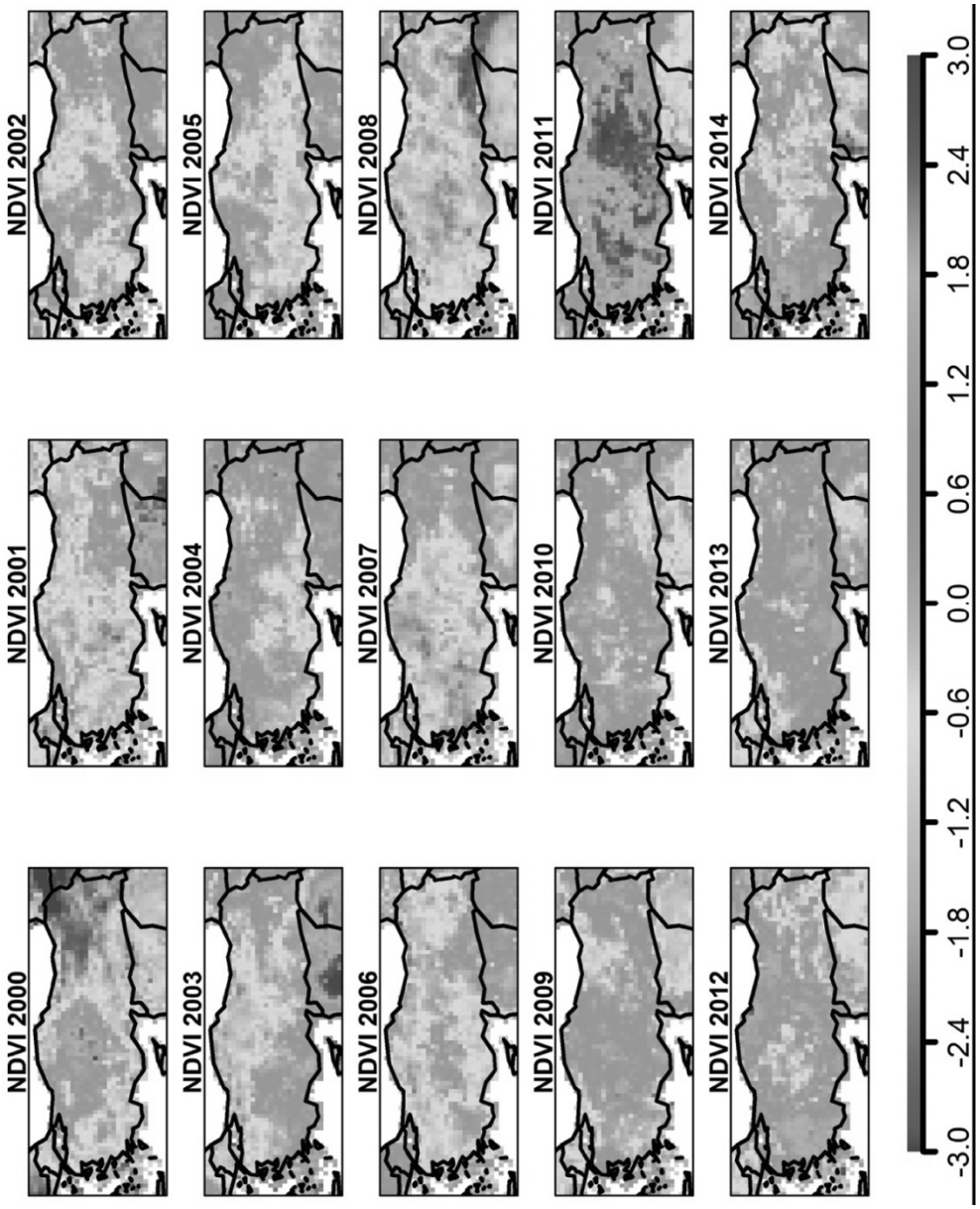
*Anomali (Anom.), Ortalama (Ort.), Standart Sapma (St. S.)

Büyüme sezonlarındaki toprak nemi değerlerinin standartlaştırılmış anomali değerleri kullanılarak oluşturulmuş olan Şekil 2'de, yıllara bağlı büyüme sezonlarındaki değişim gösterilmiştir. Bu şekil yardımıyla her yıla ait büyüme sezonlarının 15 yıl ortalaması olan büyüme sezonundan kaç standart sapma uzakta olduğu gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Örneğin herhangi bir hücredeki -2.00 değeri o hücredeki büyüme sezonu toprak nemi değerlerinin 15 yıllık ortalamasından 2 standart sapma (yine hücreye ait standart sapma hesabı yapılarak) daha düşük olduğunu, yani çok kurak bir dönemden geçildiğini göstermektedir. 2007 yılındaki kuraklığın özellikle Ege Bölgesi'nde etkisini daha şiddetli olarak gösterdiği, bunun yanı sıra ülkenin büyük bir kısmını da etkisi altına aldığı gözlemlenmektedir. Bu sonuç Meteoroloji Genel Müdürlüğünün 2011-2012 yılları için

geçmiş 51 yılın (su/tarım yılı) yağmur verilerini SPI indeksi hesaplamasında kullanarak yapmış olduğu meteorolojik kuraklık çalışmasındaki Ege Bölgesi 2007 yılı değerleri ile örtüşmektedir [20]. Su/Tarım yılı (1 Ekim-30 Eylül) yağmur verileri ile büyüme sezonu (Mayıs – Ağustos) toprak nemi verileri farklı zaman aralıklarında elde edilmiş olmalarına



Şekil 2. 2000-2014 Yılları Büyüme Sezonundaki NOAH Toprak Nemi Standartlaştırılmış Anomalilerinin Mekânsal ve Zamansal Değişimi



Şekil 3. 2000-2014 Yılları Büyüme Sezonundaki NDVI Bitki Örtüsü Standartlaştırılmış Anomalilerinin Mekânsal ve Zamansal Değişimi

rağmen, özellikle uzun zaman dilimlerini etkileyen kuraklıkların etkileri hem su/tarım yılına hem de büyüme sezonuna ait kuraklık olaylarında gözlemlenebilmektedir. MGM yapmış olduğu çalışmada, Türkiye'nin genel olarak 2007 yılında ortalamanın altında yağış

aldığı (Şekil.2, [20]) ve özellikle Marmara, İç Anadolu ve Ege Bölgeleri (Şekil.6, 12, 15, [20]) diğer bölgelere (Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu) göre çok daha şiddetli bir kuraklık yaşadığı gözlemlenmektedir (Şekil.9, 21, [20]). Yine 2008 yılına gelindiğinde ise toprak nemi değerlerinin büyüme sezonunda ülkenin büyük bir kısmında düşük olduğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde ise diğer yıllara göre çok daha düşük olduğunu gözlemlenmektedir.

Özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesinde 2007 yılına göre kıyaslandığında 2008 yılında şartlar çok şiddetli kuraklık yönünde değişmiştir (Şekil 2). Benzer bir şekilde 2007 ve 2008 yılları arasındaki bu değişim de Meteoroloji Genel Müdürlüğünün yapmış olduğu çalışma sonuçları ile örtüşmektedir (Şekil.21, [20]). Ülkenin büyük bir kısmının kuraklığın etkisi altında olduğu 2013 yılında toprak nemi değerleri ortalama değerin altında kalmıştır. 2014 yılına gelindiğinde ise Ege ve Marmara civarında yükselen toprak nemi değerlerine rağmen diğer kesimlerde kuraklığın şiddetini arttırdığını söyleyebiliriz. Kurak geçen yılların aksine 2009, 2010 ve 2011 yıllarının sahip olduğu toprak nemi değerlerine bakıldığında ülkenin büyük bir kesimi için ıslak yıllar olduğu sonucuna ulaşabiliriz.

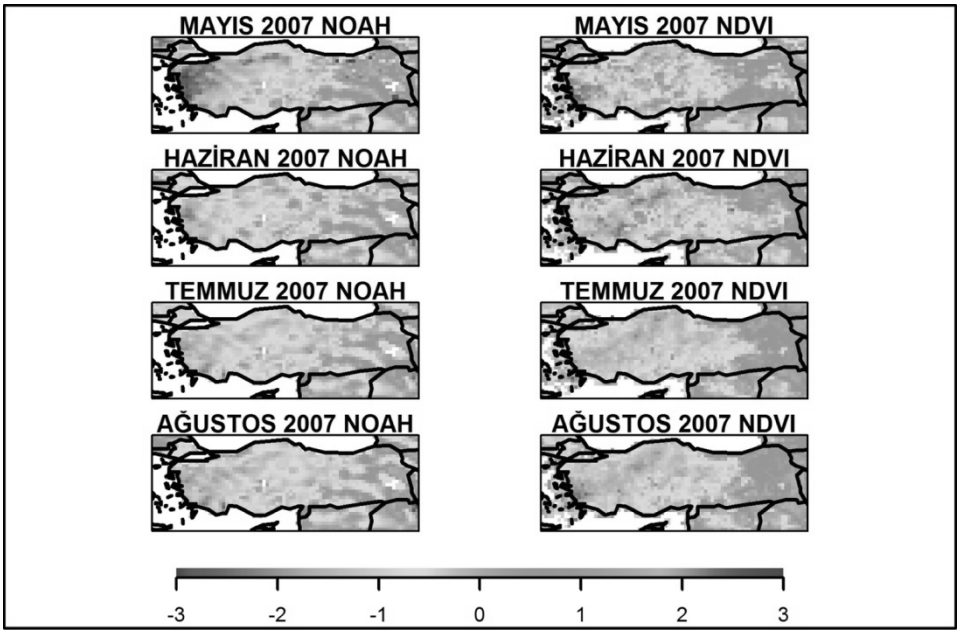
NDVI değerlerinin büyüme sezonundaki standartlaştırılmış anomalilerinin kullanılarak oluşturulan Şekil 3'de 15 yıl içindeki bitki örtüsüne ait olan değişimlerin araştırılması amaçlanmıştır. 2000 – 2014 yılları arasındaki 15 yıl içindeki ortalama değerlerden sapmaların gösterildiği bu şekilde Ege, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgesi'nin batısında 2007 yılında oldukça etkili bir düşüş gözlemlenmektedir. Bu durum 2007 toprak nemi değerlerinin ortalama değerlerden yapmış olduğu sapma ile tutarlıdır ve her iki veri de bu bölgelerde yaşanan kuraklığı göstermektedir. Aynı şekilde devam eden 2008 yılında bitki örtüsündeki negatif değişim İç Anadolu ve Güneydoğu'nun tamamında, Doğu Anadolu'nun ise büyük kısmında gözlemlenmektedir. 2009 yılından başlayarak bitki örtüsündeki pozitif değişim 2011 yılına gelindiğinde ülkemizde incelenen 15 yıl içinde en yeşil yıl olduğunu göstermektedir. 2011 yılını takip eden yıllarda bitki örtüsündeki değişim 2012 yılında normal değerlerdeyken 2013 yılına gelindiğinde kısmen ortalama değerin altına geçmeye başlamış ve 2014 yılına gelindiğinde ülkenin Ege kısmı hariç büyük bölgesinde ortalama değerin altına inmiş hatta bazı bölgelerde bu negatif değişim 15 yıl genelindeki maksimum seviyeye ulaşmıştır.

2007 yılı büyüme sezonundaki kuraklığın detaylı incelenmesi için büyüme sezonundaki aylara ait olan toprak nemi ve bitki örtüsü değerleri Şekil 4'de analiz edilmiştir. Aylık olarak yapılan çalışmada oluşturulan zaman serilerinde gösterilen değerler o aya ait 15 yıllık ortalamadan kaç standart sapma uzaklaşıldığını göstermektedir. Örneğin Mayıs ayı için gösterilen şekilde herhangi bir hücredeki -2.00 değeri tüm Mayıs ayları ortalamaları alındığında 2007 yılında gözlemlenen değerlerin bu ortalamadan 2 standart sapma daha düşük olduğunu göstermektedir. 2007 yılında büyüme sezonunun özellikle Mayıs ayında ülkemizin batı kesimini etkisi altına alan şiddetli kuraklık, hem toprak nemi hem de NDVI değerlerinde açıkça görülmektedir (Şekil 4). Genel itibariyle -1.0 ila -2.5 standart sapma değerlerinde olan toprak nemi verileri -1.0 ila -2.0 arasında değişen NDVI verileri ile hem mekânsal hem de zamansal olarak örtüşmektedir.

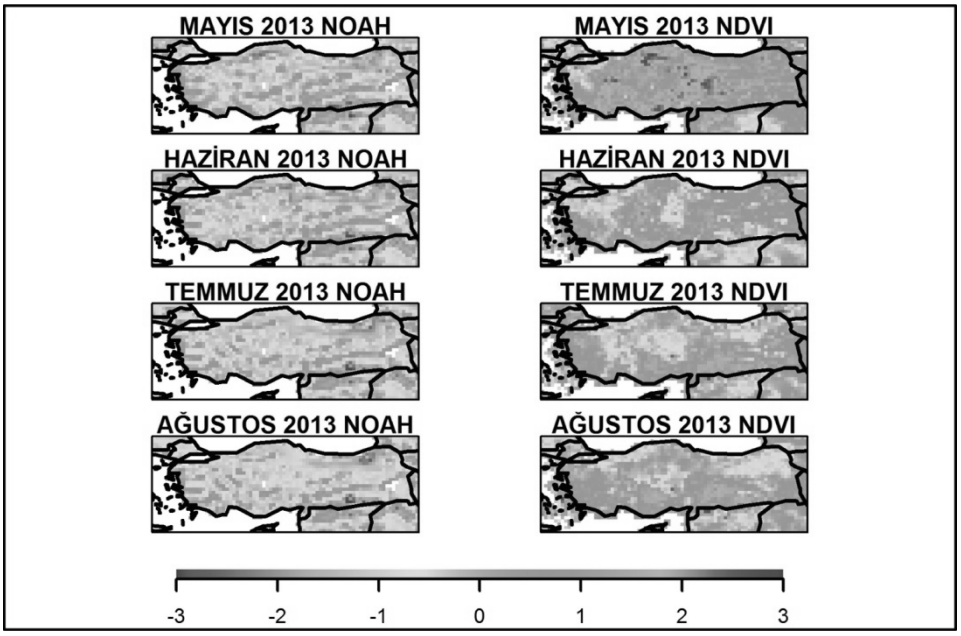
2013 yılına ait değişimin detaylı incelenmesi amacıyla büyüme sezonuna ait aylık değişimler Şekil 5'de gösterilmiştir. 2007 kuraklığındaki incelemede toprak nemindeki ortalamadan sapma değerleri NDVI değerlerinden fazla olduğu, fakat iki parametre ait sapma değerleri arasındaki farkın fazla olmadığı gözlemlenmektedir. 2013 yılı kuraklık

incelemesinde ise toprak nemi ve NDVI değerlerinin sapmalarının arasındaki farkın açıldığı gözlemlenmektedir. Örneğin Temmuz ve Ağustos aylarındaki Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerindeki negatif yöndeki sapmalar toprak nemi için -2.0 değerlerine ulaşırken NDVI için bu sapmalar -1.0 civarındadır. Toprak nemi ve NDVI sapmaları arasındaki güçlü ilişki bu yılda gözlenmemektedir. Örneğin Mayıs ayına bakıldığında ülkenin özellikle kuzey kesimlerinde toprak neminde düşük değerler gözlemlenirken, bitki örtüsü değerlerinde iç Anadolu kısmında pozitif değerler gözlemlenmektedir. Haziran ayına gelindiğinde toprak nemindeki 15 yılın ortalamasının altında olması durumu ülke genelinde devam etmektedir. Aynı şekilde bitki örtüsündeki Mayıs ayındaki pozitif değişimler yerini ortalama veya ortalamanın altında değerlere bırakmaktadır. Temmuz ve Ağustos aylarında toprak nemi değerlerinde ortalamanın altındaki seyir gözlemlenmeye devam etmekte, bitki örtüsündeki değişim ise özellikle İç Anadolu bölgesinde negatif değerlerde kendini göstermektedir.

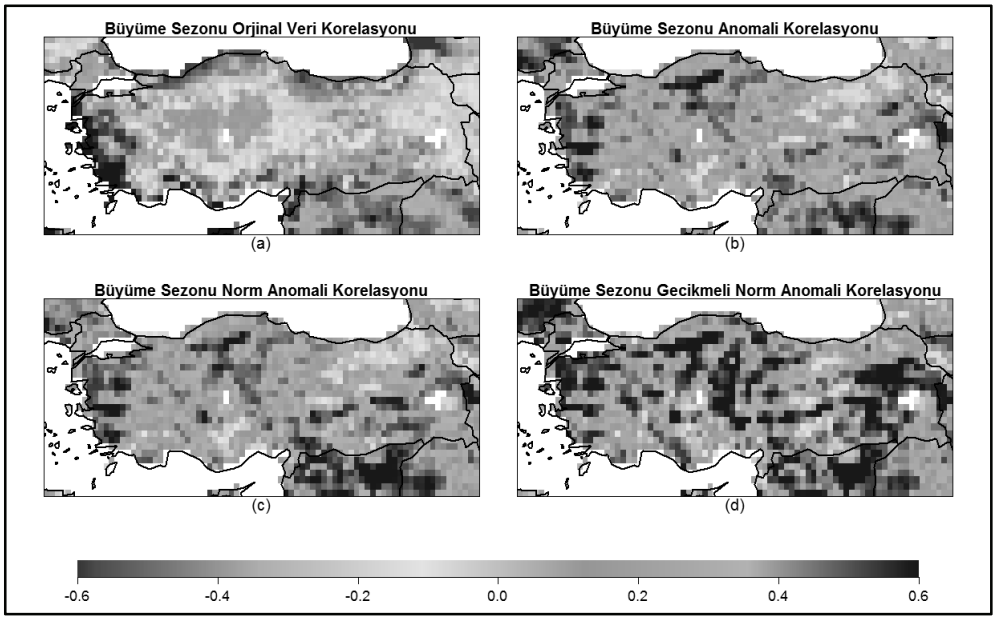
NOAH hidrolojik modelinden elde edilen toprak nemi değerleri ile NDVI değerlerinin ülkemiz üzerindeki korelasyonlarının incelenmesi amacıyla Şekil 6'daki dört farklı korelasyon haritası oluşturulmuştur. Kış aylarında kar altında kalan toprak nemi değerleri ile aynı dönemde yeşil örtüsü olmayan bitki örtüsü değerlerinin arasında kuvvetli korelasyon değerleri beklenmemesi sebebiyle bu korelasyonlar sadece büyüme sezonundaki 15 yıllık veri kullanılarak (4ay*15yıl = toplam 60 ay) gerçekleştirilmiştir. Fisher'ın Z dönüşümü formülündeki standart sapma değeri $1/\sqrt{(N-3)}$ formülü kullanılarak $1/\sqrt{(60-3)}$ = 0.132 olarak hesaplanmış, %95'lik güven seviyesi için $\alpha/2$ alınarak -0.25 ve 0.25 değerleri bulunmuştur. Gösterilen korelasyon değerlerinin -0.25 - 0.25 aralığı dışında kalan değerlerin istatistiksel olarak anlamlı ifade ettiği Şekil 6a'da, ham haldeki veriler kuvvetli bir şekilde ters korelasyon göstermektedir. Bunun sebebi şüphesiz toprak nemi ve NDVI verilerindeki mevsimsel değişimlerdir: toprak nemi mayıs ayından ağustos ayına doğru sürekli bir şekilde azalırken yeşeren bitkilerin üzerinde mayıs ayından ağustos ayına doğru sürekli olarak bir artış gözlemlenmektedir. Bu kuvvetli mevsimsel etki de istatistiksel olarak anlamlı fakat negatif korelasyon değerlerine yol açmaktadır. Bitkinin aynı döneme kıyasla gelişiminin incelenmesi amacıyla toprak nemi ve NDVI değerlerinden 15 yıllık ortalamalar çıkarıldığında korelasyonların hepsinin pozitif olduğu gözlenmektedir (Şekil 6b). Öte yandan düşük değerli ayların sapma değerlerinin yüksek değerli aylara göre daha az olması beklendiğinden verilerin normalleştirilmesi bu etkiyi ortadan kaldıracaktır. Ortalama değerler çıkarılan veriler standart sapma değerlerine bölünerek normalleştirildiğinde elde edilen korelasyon değerlerinde bu etkinin çok az olduğunu göstermektedir (Şekil 6c). Öte yandan toprak nemindeki değişimlerin bitki gelişimini ve bu sebeple NDVI verilerini etkilemesinin zaman alacağı düşünülürse toprak nemi değerlerinin 1 ay gecikmeli değerleri ile NDVI değerlerinin korelasyonları aynı aylar için gerçekleştirilen korelasyonlardan beklenildiği üzere daha fazla gerçekleşmiştir (Şekil 6d, toprak nemi verileri için Nisan – Temmuz ayları arası, NDVI içinse Mayıs – Ağustos ayları arası normalleştirilmiş anomali değerleri kullanılarak korelasyonlar hesaplanmıştır). Korelasyon haritalarından görüldüğü üzere ülkemiz üzerinde toprak nemi ve NDVI verileri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir lineer ilişki vardır (çalışma alanı üzerinde istatistiksel olarak anlamsız alanlar göz önünde bulundurmadan ortalama 0.52 olarak hesaplanmıştır).



Şekil 4. 2007 Yılı Büyüme Sezonuna ait NOAH Toprak Nemi ve NDVI Bitki Örtüsü Standartlaştırılmış Anomalilerinin Zamansal ve Mekânsal Değişimleri

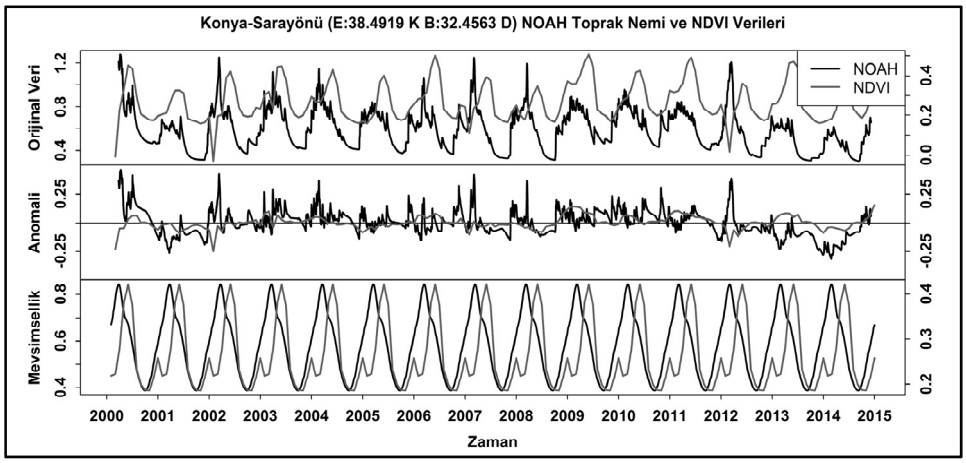


Şekil 5. 2013 Yılı Büyüme Sezonuna ait NOAH Toprak Nemi ve NDVI Bitki Örtüsü Standartlaştırılmış Anomalilerinin Zamansal ve Mekânsal Değişimleri



Şekil 6. Büyüme Sezonundaki NOAH Toprak Nemi ve NDVI Bitki Örtüsü Değerleri Korelasyon Haritaları

Kurak dönemlerin başlangıç ve bitişinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla ülkemizde meydana gelmiş kuraklıkların en çok etkili olduğu bölge olan İç Anadolu bölgesinden seçilmiş olan Konya-Sarayönü (38.4919°Kuzey, 32.4563°Doğu) üzerinde 25km mekânsal çözünürlüğe sahip NOAH toprak neminin zamansal değişimi incelenmiştir (Şekil 7). Yine Şekil 7'de 25km mekânsal çözünürlükteki NDVI bitki örtüsü değişimleri gösterilmiştir. Toprak neminin kuvvetli mevsimsel değişim göstermesi sebebiyle mevsim normallerinden daha ıslak veya kurak olan sapmalar mevsimsel değerlerin çıkarılmasıyla elde edilen anomali değerleri daha net olarak anlaşılabilmektedir. Bu sebeple, Formül 3 kullanılarak hesaplanan mevsimsellik değeri ve orijinal veriden mevsimsellik değerinin çıkarılması ile hesaplanan anomali değerlerinin ayrı ayrı gösterilmesi ile incelenmiştir. Şekil 7'de anomali değerlerinin salınım yaptığı aralığın mevsimsellik aralığından geniş olması (anomali değerleri 0.3 ile -0.3 değerleri arasında mevsimsellik ise 0.4 ile 0.8 arasında değişmekte) toprak neminin zamanla değişen anomali parçasının mevsimselliğe nazaran elde edilen ham toprak nemi değerlerinin değişimini daha fazla etkilediği görünmektedir. 2000 – 2014 yılları arasında anomali zaman serisindeki değerlerinin 0'ın altında uzun süre boyunca seyrediyor olması bu dönemlerde yaşanmış olan kuraklıklara, 0'ın üzerinde uzun süre seyretmesi ise ıslak dönemlere işaret etmektedir. Örneğin 2007 yılındaki anomali değerleri tüm yıl boyunca düşük değerlerde kaldığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde 2012 yılının sonlarında doğru düşüşe geçen toprak nemi anomali değerleri 2014 yılı ortalarına kadar pozitif değerlere ulaşamamıştır. Bu bilgi 2013 yılında yaşanan kuraklığın 2012 yılının son aylarından başladığına ve 2014 yılının ortalarına kadar sürdüğüne dair bilgi vermektedir.



Şekil 7. Konya−Sarayönü (E: 38.4919 K B: 32.4563 D) NOAH Toprak Nemi ve NDVI Değerlerinin Çeşitli Gösterim Biçimlerine (orijinal, anomali ve mevsimsellik) Göre Zamansal Değişimleri.

5. SONUÇ

Kuraklığın izlenmesinde yağış verilerine bağlı indeksler sıkça kullanılmaktadır. Fakat bu indeksler bitkilerin durumları hakkında doğrudan bir bilgi vermemekte sadece dolaylı bir bilgi sağlamaktadır. Öte yandan NDVI bitkilerin yeşilliği hakkında doğrudan bilgi sağlamakta ve toprak nemi ise bitkilerin gelişimi için çok kritik olan topraktaki suyun miktarının değişimini göstererek bitkilerin yeşilliğindeki değişimleri bir ay öncesinden tahmin edebilmektedir. Bu sebeple bu çalışmada toprak nemi ve NDVI değerleri 2000-2014 yılları arasında incelenmiştir. 2000-2014 yıllarını kapsayan bu çalışmadaki asıl amaç ülkemizi de etkisi altına alan 2007 ve 2013 yıllarındaki tarımsal kuraklıkların bu iki veri seti aracılığıyla incelenmesidir.

NOAH hidrolojik modelinden elde edilen toprak nemi değerlerinin ve NDVI normalleştirilmiş fark bitki indeksinin verileri, ülkemizde kuraklık analizi gibi zamansal ve mekânsal olarak geniş ölçekli çalışmalarda kullanılabilirliğini göstermiştir. Çalışmada kullanılan toprak nem değerleri kök bölgesine ve büyüme sezonuna ait olması sebebiyle daha yüksek çözünürlükte elde edilmesi durumunda rekolte tahmini açısından çok daha bilgilendirici olabilecektir. Aynı şekilde kaynaklardan elde edilebilen yüksek çözünürlüklü veriler kullanılarak istenilen bölge üzerinde çok daha detaylı bir biçimde kuraklığın tahmini ve etkisinin azaltılması çalışmaları yapılabilecektir.

Ham ve normalleştirilmiş veriler kullanılarak büyüme sezonunda yapılan analizlerde özellikle bir ay aralıklı incelenen toprak nemi ve NDVI değerleri arasında yüksek lineer ilişki bulunmuştur. Kurak koşulların etkilerini gerek bitki örtüsünde gerekse toprak neminde ısrarlı bir şekilde uzun dönemlerde göstermesi sebebiyle bu bir aylık süre farkı, bitki örtüsündeki değişimlerin bir ay öncesinden toprak nemindeki değişimler aracılığıyla elde edilebilmesi sonucunu doğurabilmektedir. Bu sayede olabilecek muhtemel kuraklığın başlangıç/bitiş zamanlarının, etkisinin ve şiddetinin önceden tahmini mümkün olabilmektedir.

Semboller

$r857$: 857 nm (kızılötesi) bandındaki yansıyan radyasyon değeri

$r645$: 645 nm (kızılötesi) bandındaki yansıyan radyasyon değeri

TN : ham toprak nemi değeri

TN_n : normalleştirilmiş toprak nemi değeri

μ_{TN} : ortalama toprak nemi değeri

σ_{TN} : toprak nemi standart sapma değeri

X_t : t günündeki mevsimsellik değeri

N : yıl sayısı

$TN_{N,t}$: N yılındaki t gününe ait toprak nemi değeri

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK ÇAYDAG 114Y676 nolu proje ve Avrupa Araştırma Konseyi Marie Curie SOILMOISTURE adlı 630110 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK ve Avrupa Araştırma Konseyi'ne desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

This work has been supported by TURKISH RESEACH COUNCIL (project no 114Y676) and European Research Council Marie Curie SOILMOISTURE (project no 630110). Authors thank TÜBİTAK and EU ERC for their support.

Kaynaklar

[1] Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I., Coping with water scarcity: addressing the challenges. Springer Science & Business Media, 2009.

[2] Maybank, J., Bonsai, B., Jones, K., Lawford, R., O'brien, E. G., Ripley, E. A., Wheaton, E., Drought as a Natural Disaster. Atmosphere-Ocean, 33(2), 195-222, 1995.

[3] Sheffield, J., Goteti, G., Wen, F.,Wood, E. F., A Simulated Soil Moisture Based Drought Analysis for the United States. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 109(D24), 1984–2012.

[4] Olukayode Oladipo, E., A Comparative Performance Analysis of Three Meteorological Drought Indices. Journal of Climatology, 5(6), 655-664, 1995.

[5] Parinussa, R. M., Yilmaz M. T., Anderson M.C., Hain, C.R., de Jeu R.A.M., An Intercomparison of Remotely Sensed Soil Moisture Products at Various Spatial Scales Over the Iberian Peninsula. Hydrol. Processes, 28(18), 4865-4876, 2013.

[6] Entekhabi, D., Rodriguez-Iturbe, I., Castelli, F., Mutual Interaction of Soil Moisture State and Atmospheric Processes. Journal of Hydrology, 184(1), 3-17, 1996.

[7] Keyantash, J., Dracup, J. A., The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8), 1167-1180, 2002.

[8] Wang, X., Xie, H., Guan, H., Zhou, X., Different Responses of MODIS-derived NDVI to Root-zone Soil Moisture in Semi-arid and Humid Regions. Journal of Hydrology, 340(1), 12-24, 2007.

[9] Huete, A., Justice, C., Van Leeuwen, W., MODIS Vegetation Index (MOD13). Algorithm Theoretical Basis Document, 3, 213, 1999.

[10] Türkeş, M., Türkiye'de Gözlenen ve Öngörülen Iklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4 (2), 1-32, 2013.

[11] Türkeş, M., Türkiye'deki 2013-2014 Kuraklığının ve Klimatolojik/Meteorolojik Nedenlerinin Çözümlenmesi, Konya Toprak Su Dergisi, 2, 20-34, 2014.

[12] Ek, M.B., Mitchell, K.E., Lin, Y., Rogers, E., Grunmann, P., Koren, V., ..., Tarpley, J. D., Implementation of Noah Land Surface Model Advances in the National Centers for Environmental Prediction Operational Mesoscale Eta Model. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), 108(D22), 2003.

[13] Rodell, M., Houser, P.R., Jambor, U.E.A., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C.J., ... ,Toll, D. The Global Land Data Assimilation System. Bulletin of the American Meteorological Society, 85(3), 381-394, 2004.

[14] Tucker, C.J., Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2), 127-150, 1979.

[15] Kogan, F. N., Observations of the 1990 U.S. drought from the NOAA-11 polar-orbiting satellite, Drought Network News, 3(2), 7-11, 1991.

[16] Wan, Z., Wang, P., Li, X., Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index Products for Monitoring Drought in the Southern Great Plains, USA. International Journal of Remote Sensing, 25(1), 61-72, 2004.

[17] Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P., Wardlow, B., A Five-year Analysis of MODIS NDVI and NDWI for Grassland Drought Assessment Over the Central Great Plains of the United States. Geophysical Research Letters, 34(6), 2007.

[18] Mu, Q., Heinsch, F.A., Zhao, M., Running, S.W., Development of a Global Evapotranspiration Algorithm Based on MODIS and Global Meteorology Data. Remote Sensing of Environment, 111(4), 519-536, 2007.

[19] Mu, Q., Zhao, M., Running, S.W., Improvements to a MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration Algorithm. Remote Sensing of Environment, 115(8), 1781-1800, 2011.

[20] OSİBMGM, Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Türkiye'nin 2011–2012 Tarım Yılı Kuraklık Analizi, 2012. (http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/2011-2012-kuraklik.pdf), en son erişim tarihi 26 Şubat 2015.