



GRACE ve GLDAS ile Su Kütlesi Değişimlerinin Belirlenmesi ve İklimsel Faktörlerin Değişimler Üzerindeki Etkisi

Emel Zeray Öztürk^{1*}

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42250 Konya

Son yıllarda gözlemlenen iklim değişimleri, su kaynaklarının etkin kullanımını gerektirmektedir. Bu bakımdan sürdürülebilir su yönetimi için izlenen politikalar, su hareketliliğinin sürekli izlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) uydu misyonu ve GLDAS (Global Land Data Assimilation System) verileri kullanılarak Konya havzasının bulunduğu bölgede su kütlesi değişimleri (LWE: Liquid Water Equivalent) değerlendirilmiştir. Ayrıca iklim değişimlerinin sonuçları üzerindeki kısa ve uzun dönemdeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, 2003-2015 yılları arasında çalışma bölgesindeki toplam su kütlesi ve yeraltı suyu değişimlerinin çoğunlukla mevsimsel farklılıklar gösterdiği ve uzun dönemde durağan bir trende sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, LWE ile iklim değişkenlerinden sıcaklık ve yağış faktörlerinin iki ve üç aylık gecikme dönemlerinde yüksek korelasyona sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: GRACE, GLDAS, İklim değişimi, Su kütlesi değişimleri

1. Giriş

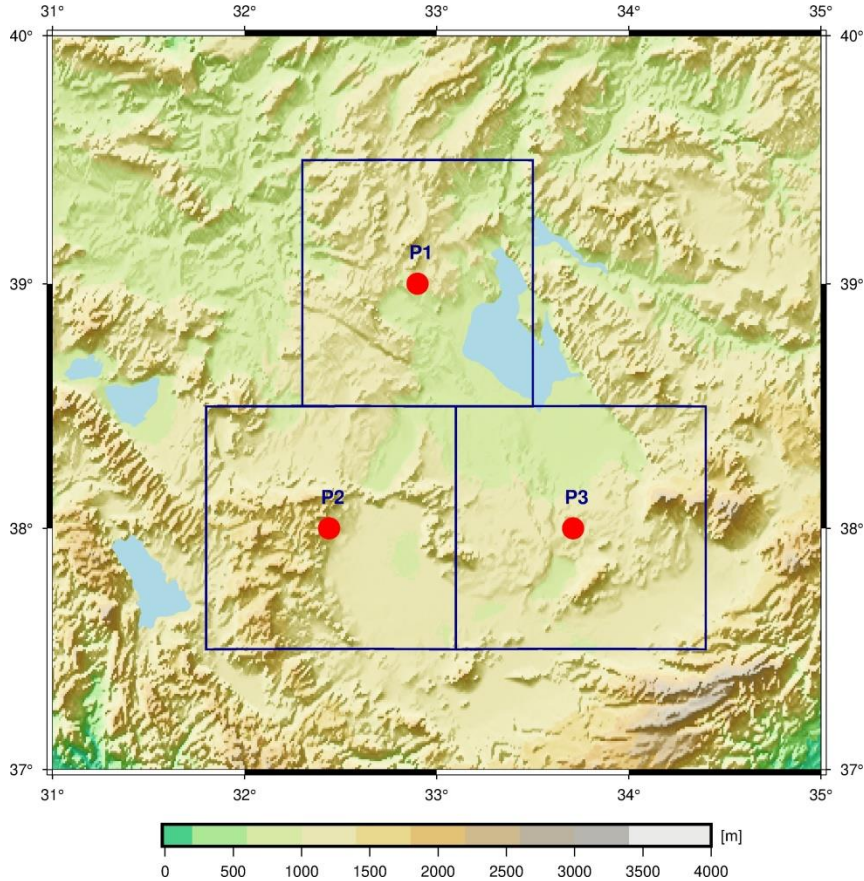
Canlılar için vazgeçilmez bir hayat kaynağı olan su, dünyadaki tüm ekosistemlerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Olası bir kuraklıkta enerji, çevre, ekonomi ve sağlık gibi pek çok sektöre sıçrayan ciddi problemler görülebilmektedir. Son yıllarda görülen ekstrem hava koşulları, artan nüfus ve bilinçsizce açılan kuyular, özellikle yeraltı sularının büyük oranda tüketilmesine ve aynı zamanda kirletilmesine neden olmuştur (Frappart ve Ramilien 2018, Wada vd. 2010). Su kaynaklarının uzun dönemde korunması için verimli, sürdürülebilir bir su yönetimi şarttır. Bunun için su kaynaklarının doğru yöntemlerle değerlendirilmesi ve analizi gerekmektedir (Famiglietti vd. 2011, Jiao vd. 2015). Özellikle yeraltı sularının izlenmesinde geleneksel yöntemlerden biri olan kuyulardan su seviyelerinin ölçülmesi ve izlenmesi yüksek doğruluklu veri sağlasa da pratikte daha yüksek maliyet ve zaman kaybına yol açmaktadır (Yin vd. 2018). Ayrıca açılan kuyular homojen dağılım göstermemekte ve pek çok noktada gözlemler yetersiz kalabilmektedir. 2002 yılında hayata geçirilen GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) uydu misyonu ile su kütlesi düşey değişimlerinin (LWE: Liquid Water Equivalent) bölgesel ve global ölçekte gözlemleri yapılabilmektedir (Rodell vd. 2009, Tapley vd. 2004). 3°×3° konumsal çözünürlüğüne sahip olan GRACE verilerinden türetilen mascon çözümleri LWE değişimlerini vererek, toprak nemi, kar suyu eşdeğeri, bitki yüzey suyu ve yeraltı su kütlesi bileşenlerini içeren entegre bir değişimi yansıtmaktadır (Frappart ve Ramillien 2018, Scanlon vd. 2016). Uydu gravimetrisi yöntemiyle elde edilen mascon veri setleri ile 1°×1° konumsal çözünürlüğündeki bu entegre değişimler çevrimiçi aylık periyotlarla yayınlanmaktadır ve bu sayede pratik olarak takip edilebilmektedir. GLDAS (Global Land Data Assimilation System), zamana bağlı yeraltı su değişimlerinin tahmininde kullanılan başka bir veri setidir (Rodell vd. 2004). 0.25° konumsal çözünürlüğe sahip olan GLDAS verileri ile aylık periyotlarla toprak nemi, bitki yüzey suyu, kar suyu eşdeğeri gibi bileşenlerdeki değişimleri ayrı ayrı incelemek mümkündür. GRACE ve GLDAS gibi iki farklı veri setinin kullanılmasıyla yer altı su kütlesinin zamana bağlı değişimleri elde edilebilmektedir. Bir çalışma bölgesinde, hidrolojik model ve uzaktan algılama ile elde edilen kestirimlerle yapılan kontroller, yeraltı su değişimi uygulamalarında daha yüksek doğruluğa ulaşmayı hedeflemenin yanında, yersel gözlemler için de yardımcı veri niteliğindedir (Yin vd. 2020).

Bu çalışmada amaç, Konya havzasını büyük oranda içeren çalışma bölgesinde GRACE mascon verileri ve GLDAS verileri kullanılarak su kütlesi değişimlerinin konum, zaman ve iklim parametrelerine bağlı değişimini incelemektir. Ayrıca her iki veri setinin çalışma bölgesinde kıyaslanması söz konusudur. Yağış ve sıcaklık gibi iklim parametrelerinin su kütlesi değişimlerini ne kadar zamanda nasıl etkilediği çalışmanın önemli bulgularındandır. Elde edilen sonuçlar hidroklomatik süreçlerin dikkate alınarak, bölgedeki su kaynakları için risk yönetiminin dinamik yaklaşımlarla yapılması gerektiğini bir kez daha vurgulamaktadır.

* Emel Zeray Öztürk: Tel: (0332)205 1665 E-posta: ezozturk@ktun.edu.tr

2. Çalışma Bölgesi ve Veri

Çalışma bölgesi, Konya Kapalı havzasının büyük kısmını içermektedir. Şekil 1'de çalışma bölgesi ve sınırları görülmektedir. Çalışma alanı ile sınırlar, GSFC (Goddard Space Flight Center) tarafından üretilen mascon çözümleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki P1, P2 ve P3 ile gösterilen noktalar, mascon merkezleridir ve 3 alt bölgeyi temsil etmektedirler. Bölgede tarım faaliyetleri devam etmekte olup ekim alanları büyük önem arz etmektedir (Yılmaz 2010). Bölgede geniş bir akarsu ağı bulunmamakla birlikte, yağış miktarları da tarım için yetersiz kalabilmektedir. Bu durum, artan su ihtiyacının yeraltı sularından karşılanmasına yol açabilmektedir (Doğdu vd. 2007). Küresel iklim değişimi, su kaynaklarının bilinçsiz tüketimi vb. gibi etmenler de göz önüne alındığında bölge için su seviyelerinin sürekli izlenmesi, sürdürülebilir su yönetimi için oldukça önemlidir (Bulduk vd. 2008, Göçmez vd. 2008, Üstün vd. 2010).

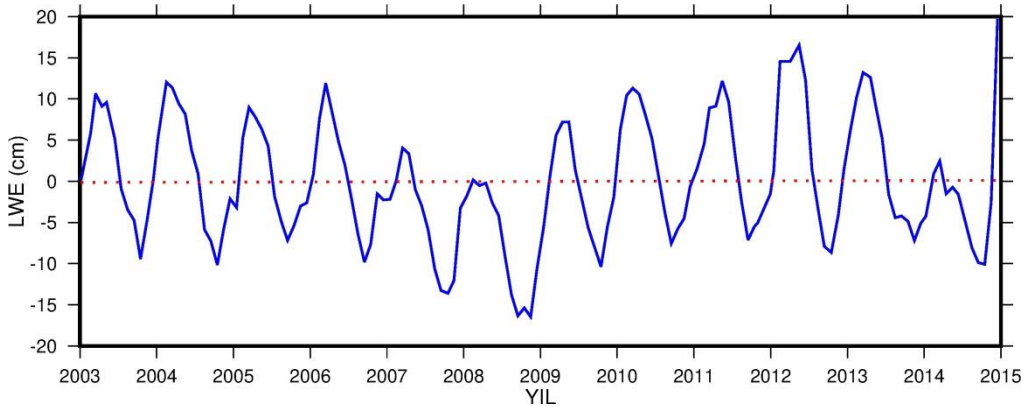


Şekil 1. 3 alt alandan oluşan çalışma bölgesi

Çalışmada GRACE ve GLDAS olmak üzere 2 farklı veri seti kullanılmıştır. 2002 yılında fırlatılan ve 15 yıl aktif olan GRACE ikiz uyduları yeryüzündeki zaman ve konuma bağlı gravite değişimi ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Yeryüzündeki kütle değişimlerinden kaynaklanan bu gravite değişimlerini büyük oranda tetikleyen su kütlelerinin hareketidir. Özellikle mevsimsel su kütle değişimlerinin yoğun hissedildiği bu verilerle, uzun dönemli su kütle trendlerini de incelemek mümkündür. Toprak nemi, bitki örtüsü yüzey suyu, biriken kar, yüzey ve yeraltı suyu değişiminden oluşan bu su kütle değişimleri çalışmada LWE (Liquid Water Equivalent) olarak ifade edilmiştir. Çalışma periyodu 2003-2015 yılları arası olup toplamda 144 aylık $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ konumsal çözünürlüğündeki GRACE GSFC mascon verisi kullanılmıştır. Veri setindeki bazı aylarda bulunan boşluklar enterpolasyon yoluyla giderilmiştir. GSFC mascon verileri (GSFC) adresinden temin edilebilmektedir. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ve NASA (National Aeronautics and Space Administration) işbirliğiyle üretilen GLDAS, 1948 yılından bu yana meteorolojik değişkenleri, hidrolojik bileşenleri ve radyasyonu içeren aylık küresel veriler sunmaktadır. Bu çalışmada GLDAS-2 ürününden elde edilen yersel su kütle değişimleri (TWS: Terrestrial Water Storage) ve aylık yağış ve sıcaklık değişimleri kullanılmıştır. TWS, bitki örtüsü yüzey suyu, kar suyu eşdeğeri ve toprak nemi değerlerinden oluşmaktadır. GLDAS veri setleri (GLDAS) adresinde mevcuttur.

3. Araştırma ve Tartışma

Çalışma bölgesindeki üç alt bölgenin eşdeğer su kalınlığı değerleri elde edilmiş ve üçünün ortalaması Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekle göre, LWE değişimlerinde 2007 sonrasında hissedilir bir düşüş görülse de uzun dönemli trend değişiminin ~ 1 cm olduğu gözlenmiştir. LWE’deki maksimum düşüş Eylül 2008 yılında görülürken, maksimum artış ise Aralık 2014 yılında gözlenmiştir. Alt bölgeler ayrı ayrı incelendiğinde, her üç bölgenin de birbirine ve ortalamaya yakın değişimler gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuca göre, 2003–2015 yıllarını kapsayan çalışma periyodu boyunca bölgedeki eş değer su kalınlığındaki deşarj miktarlarının, bölgede oluşan birikim miktarlarına yakın olduğu söylenebilir. Tüm alt bölgeler incelendiğinde görülen minimum ve maksimum değerler genellikle sırasıyla sonbahar ve ilkbahar aylarında görülmektedir. Bu durumda, eş değer su kalınlığı değişiminin büyük oranda bölgedeki sıcaklık ve yağış modelleri ile ilişkili olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 2. Çalışma bölgesindeki ortalama LWE değişimi (mavi çizgi) ve trend (kırmızı çizgi)

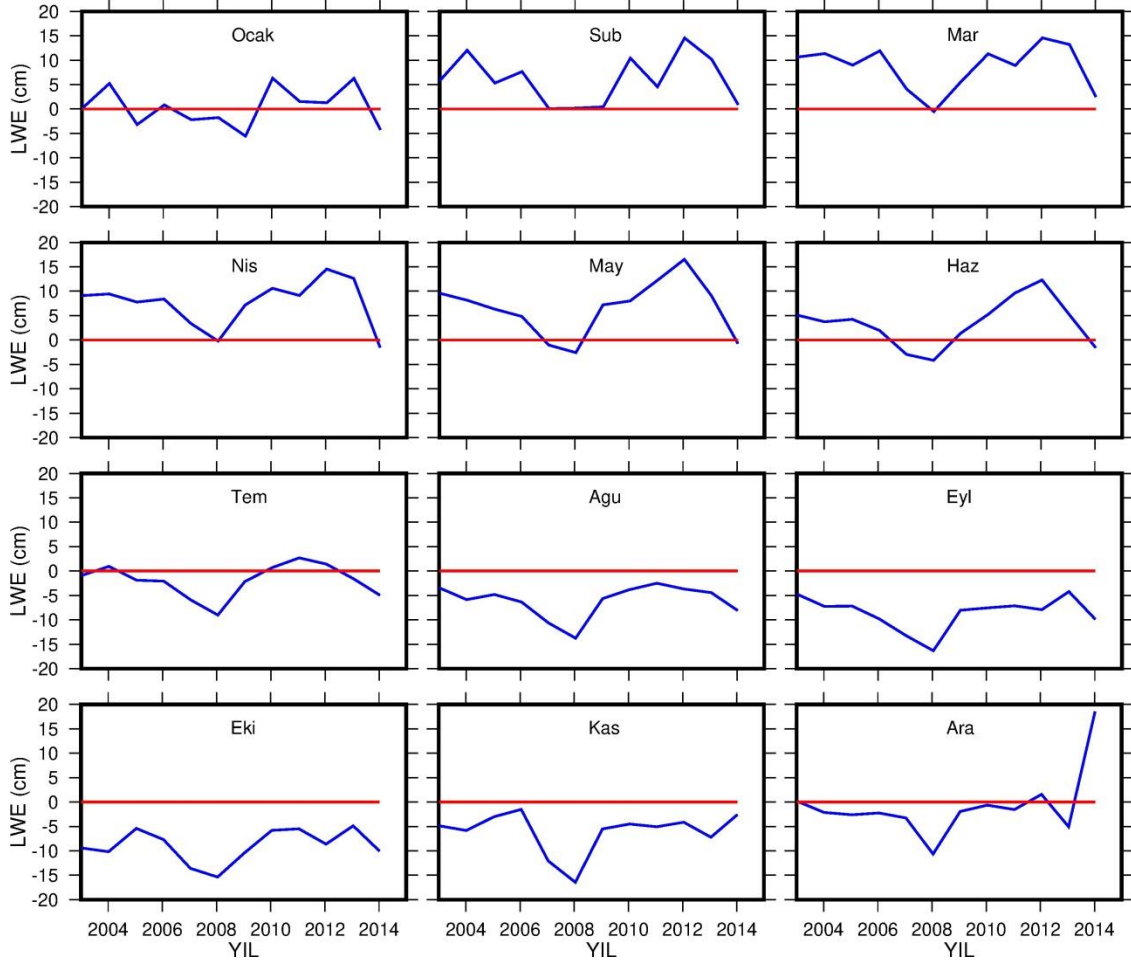
Bölgedeki eş değer su kalınlığının tüm aylara göre tahmini değişimini gösteren ortalama değerler Şekil 3’te verilmiştir. Şekil 2’deki araştırma periyodu boyunca görülen durağan trend, Şekil 3’teki grafiklerde de hakimdir. Kış ve özellikle ilkbahar aylarında, yağış etkisiyle eş değer su kalınlığı değişimleri büyük oranda pozitif taraftayken, yaz ve sonbahar aylarında ise tam tersi durum görülmektedir. LWE yıllık değişimlerindeki trend eğiliminde en yüksek düşüş ~ 1 cm ile Mart ayındadır. Bunun yanında trend eğiliminde en çok artış görülen aylar 2 cm’nin üzerindeki pozitif yönlü trend ile Haziran, Ekim ve Aralık aylarıdır. Bu sonuç, 2003 yılından 2015 yılına doğru, bu üç ay ile ilişkili yağış miktarlarında artış yaşandığını işaret etmektedir.

Bitki örtüsü yüzey suyu, kar suyu eşdeğeri ve toprak nemi değerlerinden oluşan GLDAS TWS verilerinin ortalama zaman serileri Şekil 4’te LWE zaman serileri ile birlikte verilmiştir. Her iki veri setinin de büyük oranda birlikte hareket ettiği grafikte, eğilimlerin oldukça tutarlı olduğu görülmektedir. Buna göre trendde durağanlığı koruyan LWE’ye, aynı şekilde TWS de eşlik etmektedir. 2007 yılının sonlarına doğru LWE değerlerinde TWS’ye göre bir miktar daha düşüş görülmektedir. Ancak bu düşüş 2010 yılından sonra kapanmıştır. Aradaki bu ufak fark, o yıllarda görülen yeraltı suyundaki negatif yönlü değişimi ifade eder.

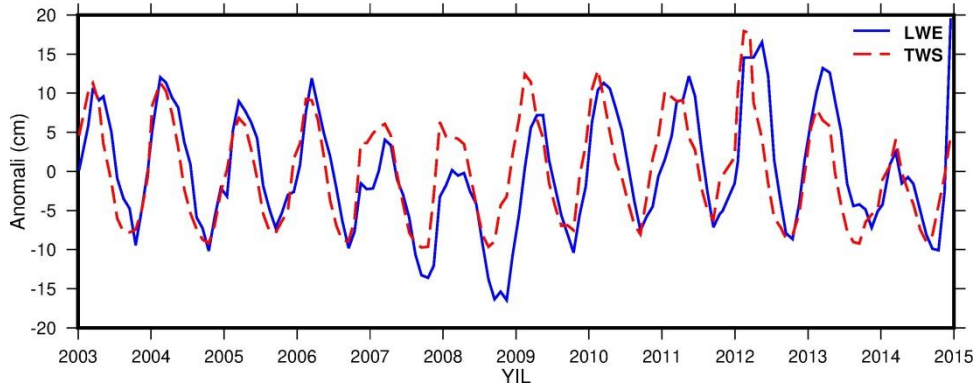
LWE ve TWS verileri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek üzere kestirilen aylık anomaliler aşağıdaki formül yoluyla elde edilmiştir:

$$\Delta_{anom} = S_{aylık} - S_{ort} \quad (1)$$

Formülde $S_{aylık}$ aylık GLDAS değişkenlerini ifade etmektedir. S_{ort} ise, GLDAS verilerindeki tüm çalışma periyodunu içeren ayların ortalama değeridir. Aynı işlem GRACE verileri için de tekrarlanmıştır. Yapılan araştırma her iki veri setinin birbiriyle yüksek korelasyonlu olduğunu ($\rho = 0.76$) göstermektedir. TWS ile LWE anomalileri arasındaki ilişki konumsal olarak değerlendirilmiş ve korelasyon değerleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 3. 12 aylık ortalama LWE değişimi (mavi çizgi)



Şekil 4. GRACE (mavi) ve GLDAS (kırmızı) yoluyla elde edilen ortalama su kütlesi değişimleri

Tablo 1. P1, P2, P3 bölgelerindeki TWS ve LWE anomalileri arasındaki korelasyon

Bölge	Korelasyon
P1	0.74
P2	0.78
P3	0.74

Tablo 1'e göre, tüm bölgelerde LWE ve TWS anomalileri yüksek ve pozitif korelasyonludur. Bu tablo ile TWS'nin bileşenleri olan bitki örtüsü yüzey suyu, kar suyu eşdeğeri ve toprak neminin LWE eğilimi ile benzer olduğu ve ayrıca LWE'nin bileşenlerinden yeraltı suyunun çalışma süresi boyunca belirgin bir eğilim göstermediği sonucu çıkarılabilir.

Artan hava sıcaklığı ve buharlaşma, iklim değişikliğinin bir sonucudur ve bu parametreler su kütlesi değişimleri üzerinde doğrudan etkilidir. Yapılan çalışmada, araştırma bölgesindeki su kütlesi değişimleri üzerindeki bu iklim parametrelerinin etkisi araştırılmış, kısa ve uzun vadeli etkileri değerlendirilmiştir. Sıcaklık anomalileri ile LWE değişimi arasındaki korelasyon değerleri Tablo 2'de, yağış anomalileri ile LWE değişimi arasındaki korelasyon değerleri ise Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Tüm bölgeler için 0 gecikme, 1 ay, 2 ay ve 3 aylık gecikmelerde LWE ile sıcaklık anomalileri arasındaki ilişki

Bölge	Korelasyon			
	0 gecikme	1 aylık gecikme	2 aylık gecikme	3 aylık gecikme
P1	-0.25	-0.60	-0.80	-0.79
P2	-0.35	-0.67	-0.82	-0.76
P3	-0.25	-0.59	-0.78	-0.77

Tablo 3. Tüm bölgeler için 0 gecikme, 1 ay, 2 ay ve 3 aylık gecikmelerde LWE ile yağış anomalileri arasındaki ilişki

Bölge	Korelasyon			
	0 gecikme	1 aylık gecikme	2 aylık gecikme	3 aylık gecikme
P1	0.21	0.46	0.55	0.49
P2	0.17	0.45	0.59	0.55
P3	0.19	0.49	0.60	0.58

Tablo 2'de görüldüğü üzere, tüm alt bölgelerde yükselen sıcaklık ile LWE anomalileri arasında ters korelasyon söz konusudur. Diğer bir deyişle, sıcaklık artış gösterirken LWE değerlerinde düşüş gözlenmektedir. Her üç bölge için de, artan sıcaklık değerlerinin en büyük etkisi 2 aylık gecikmede görülmektedir. 2 aylık gecikmelerdeki korelasyon değerlerinin 0 aylık gecikmenin (gecikmesiz) neredeyse üç katı olduğu söylenebilir. Tablo 3'teki yağış sonuçlarına ilişkin olarak en yüksek korelasyon yine tüm alt alanlarda 2 aylık gecikme dönemlerinde görülmektedir. Bu durumda her iki parametrenin de LWE anomalileri üzerindeki maksimum etkisi yaklaşık 2 aylık gecikme ile ortaya çıkmaktadır. Tablo 2 ve 3'teki değerlere göre, yağış ve sıcaklık anomalileri 2 aylık gecikme döneminden sonra en fazla 3 aylık gecikme döneminde etkili olmuştur.

2003-2015 zaman aralığı için gerçekleştirilen bu çalışmada, P1, P2 ve P3 alt bölgelerindeki LWE trendleri sırasıyla 1.5 cm, -1.4 cm ve 0.7 cm dolaylarında değişmektedir. Sonuçlardan da anlaşıldığı üzere, araştırma süresi boyunca LWE değeri düşüş gösteren yalnızca P2 bölgesi olup diğer bölgelerde LWE değeri zamanla artış göstermiştir.

4. Sonuç

Her coğrafya için şiddet seviyesi farklılık gösterse de, su kaynaklarındaki tükenme ve çevresel bozulmanın sonuçları tüm dünya için ortak bir endişedir. Su riskine karşı savunmasızlık; gerekli tedbirlerin alınmaması, nüfus artışı, doğal ya da insan eliyle yapılan müdahaleler ve yanlış yönetim ile artmaktadır. Doğru ve sürdürülebilir bir su yönetimi için, başta gelişmekte olan ülkeler olmak üzere, birçok ülkede yeterli ve geçerli gözlem ve araştırmaların yapılması gerekmektedir. Bu çalışma, uydu misyonu ve uzun dönemli su analizi modellerinin su kütlesi değişimlerini izlemedeki rolünü göstermektedir. Özellikle kuraklıkla ilişkili risklerin hafife alındığı ve sınırlı gözlemlerin olduğu bölgelerde bu araçların kullanımı oldukça önemlidir.

Çalışmada, Konya havzası bölgesindeki iklim değişikliğinin etkileri ile birlikte su kütlesi değişimlerinin zamansal ve konumsal özellikleri incelenmiştir. Ek olarak, GLDAS'tan tahmin edilen TWS ile GRACE'den tahmin edilen LWE verileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar her iki verinin de birbiriyle yüksek korelasyon gösterdiğini ve eşdeğer su kalınlığı değişimlerinin birikmiş kar ve toprak nemi ile bitki yüzey suyu modellerindeki değişimi izlediği söylenebilir. İki veri setinin birbiriyle tutarlı davranışları, bölgedeki yeraltı sularının mevsimsel hareketler dışında farklı bir eğilim göstermediği şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, su kütlesi değişimlerinin iklim

değişkenlerinden (yağış ve sıcaklık) doğrudan ve dolaylı olarak etkilendiğini göstermektedir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere sıcaklık ve yağışlar, 2 aylık gecikme döneminden sonra su kütlesi değişimleri ile en yüksek korelasyonu göstermektedir. Bu sonuç, iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerinin iyi tanımlanması, buna göre gözlemlerin sürdürülmesi ve tedbirlerin hayata geçirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır.

Teşekkür

Yazar, yayınlanan GRACE ve GLDAS aylık veri setleri için NASA ve GSFC'ye teşekkür eder.

Kaynaklar

Bulduk A., Horasan Ö.R., Tekdere M., Solak N. (2008) Konya Kapalı Havzasının 16/2-a Alt Havzasında Yeraltı Suyu ve Seviye Değişimleri. *Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu ve Kuraklık Konferansı*, Bildiri Kitabı:125-134,11-12 Eylül 2008, Konya.

Doğdu M.S., Toklu M.M., Sağnak. C. (2007) Konya Kapalı Havzası'nda Yağış ve Yeraltı Suyu Değerlerinin İrdelenmesi, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*, Bildiri Kitabı:394-402, 11-12 Nisan 2007, İstanbul.

Famiglietti J.S., Lo M., Ho S.L., Bethune J., Anderson K.J., Syed T.H., Swenson S.C., de Linage C.R., Rodell M. (2011) Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley. *Geophys Res Lett* 38:L03403. <https://doi.org/10.1029/2010gl046442>

Frappart F., Ramillien G. (2018) Monitoring groundwater storage changes using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Satellite Mission: a review. *Remote Sensing* 10(6), 829. <https://doi.org/10.3390/rs10060829>

GLDAS (2021) Global LDAS, <https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GLDAS>, erişim tarihi: Mart, 2021

Göçmez G., Genç A., Karakoca A. (2008) Konya Kapalı Havzası Yeraltısuyu Seviye Değişiminin İstatistiksel Değerlendirilmesi. *Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu ve Kuraklık Konferansı*, Bidiri Kitabı:98-107, 11-12 Eylül 2008, Konya.

GSFC (2021) Mascon Solutions, <https://ccar.colorado.edu/grace/gsf.html>, erişim tarihi: Mart, 2021

Jiao J.J., Zhang X., Liu Y., Kuang X. (2015) Increased water storage in the Qaidam Basin, the North Tibet plateau from GRACE gravity data. *Plos one* 10(10). <https://doi.org/10.1371/journal.Pone.0141442>

Rodell M., Houser P.R., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J.K., Walker J.P., Lohmann D., Toll D. (2004) The global land data assimilation system. *Bull Am Meteorol Soc* 85(3), 381–394. <https://doi.org/10.1175/bams-85-3-381>

Rodell M., Velicogna I., Famiglietti J.S. (2009) Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. *Nature* 460(7258), 999–1002. <https://doi.org/10.1038/nature08238>

Scanlon B.R., Zhang Z., Save H., Wiese D.N., Landerer F.W., Long D., Longuevergne L., Chen J. (2016) Global evaluation of new GRACE mascon products for hydrologic applications. *Water Resour Res* 52(12), 9412–9429. <https://doi.org/10.1002/2016wr019494>

Tapley B.D., Bettadpur S., Ries J.C., Thompson P.F., Watkins M.M. (2004) GRACE measurements of mass variability in the earth system. *Science* 305(5683), 503–505. <https://doi.org/10.1126/science.1099192>

Üstün A., Tusat E. Yalvaç S. (2010) Preliminary Results of Land Subsidence Monitoring Project in Konya Closed Basin Between 2006-2009 by Means of GNSS Observations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, doi:10.5194/nhess-10-1151-2010.

Wada Y., Beek L.P.H.V., Kempen C.M.V., Reckman J.W.T.M., Vasak S., Bierkens M.F.P. (2010) Global depletion of groundwater resources. *Geophys Res Lett* 37(20), 114–122. <https://doi.org/10.1029/2010GL044571>

Yılmaz M. (2010) Karapınar Çevresinde Yeraltı Suyu Seviye Değişimlerinin Yaratmış Olduğu Çevre Sorunları. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(2), 145-163.

Yin W., Hu L., Zhang M., Wang J., Han S.C. (2018) Statistical downscaling of GRACE-derived groundwater storage using ET data in the North China plain. *J Geophys Res-Atmos* 123(11), 5973–5987. <https://doi.org/10.1029/2017jd027468>

Yin, W., Li, T., Zheng, W., Hu, L., Han, S. C., Tangdamrongsub, N., Splrak M., Huang, Z. (2020) Improving regional groundwater storage estimates from GRACE and global hydrological models over Tasmania, Australia. *Hydrogeol. J*, 28, 1809-1825.