

GRACE Misyonu ve GLDAS Modeli ile Su Kütlesi Değişimlerinin İzlenmesi ve İklimsel Faktörlerin Değişimlere Etkisi: Konya Havzası Örneği

Emel Zeray Öztürk^{1,*}

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

Özet

Son yıllarda gözlemlenen iklim değişimleri, su kaynaklarının etkin kullanımını gerektirmektedir. Bu bakımdan sürdürülebilir su yönetimi için izlenen politikalar, su hareketliliğinin sürekli izlenmesini zorunlu kılmaktadır. Su kaynaklarının takibini, trend kestirimlerini ve su alanlarındaki değişimin görselleştirilmesine yönelik harita üretimini, son yıllarda uzaktan algılama teknolojisi ile gerçekleştirilebilmek mümkündür. Özellikle uydu gravimetrisi ve global hidrolojik modellerin entegrasyonu ile bu çalışmalar görece hızlı ve düşük maliyetle yürütülebilmektedir. Bu çalışmada GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) uydu misyonu ve GLDAS (Global Land Data Assimilation System) kara hidroloji model verileri kullanılarak Konya havzasının bulunduğu bölgede su kütlesi değişimleri (TWSA: Total Water Storage Anomaly) irdelenmiştir. Ayrıca iklim değişimlerinin sonuçlar üzerindeki kısa ve uzun dönemdeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, 2002-2020 yılları arasında çalışma bölgesindeki yeraltı su kütlesi (YSK) ve buna bağlı olarak toplam su kütlesi değişimlerinin uzun dönemde negatif yönlü trende sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, TWSA 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

Monitoring Total Water Storage Changes with GRACE Mission and GLDAS Model and Effect of Climatic Factors on These Changes: Case Study in Konya Basin

Abstract

The climate changes observed in recent years require the efficient use of water resources. In this respect, policies followed for sustainable water management necessitate continuous monitoring of water mobility. In recent years, it is possible to produce maps for the monitoring of water resources, trend estimations and visualization of changes in water areas, with remote sensing technology. Especially with the integration of satellite gravimetry and global hydrological models, these studies can be carried out relatively quickly and at low cost. In this study, water storage changes (TWSA: Total Water Storage Anomaly) in the region of Konya basin were evaluated using the GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) satellite mission and GLDAS (Global Land Data Assimilation System) data. In addition, the short and long term effects of climate changes on the results have been investigated. The results show that between 2002 and 2020, groundwater and, accordingly, the total water storage changes have a negative trend in the long term, in the study area. Additionally, it can be deduced that TWSA and climatological variables including precipitation and temperature have a high correlation at 2- and 3-month lags.

Keywords

GRACE, GLDAS, Climate Change, Water Storage Changes

1. Giriş

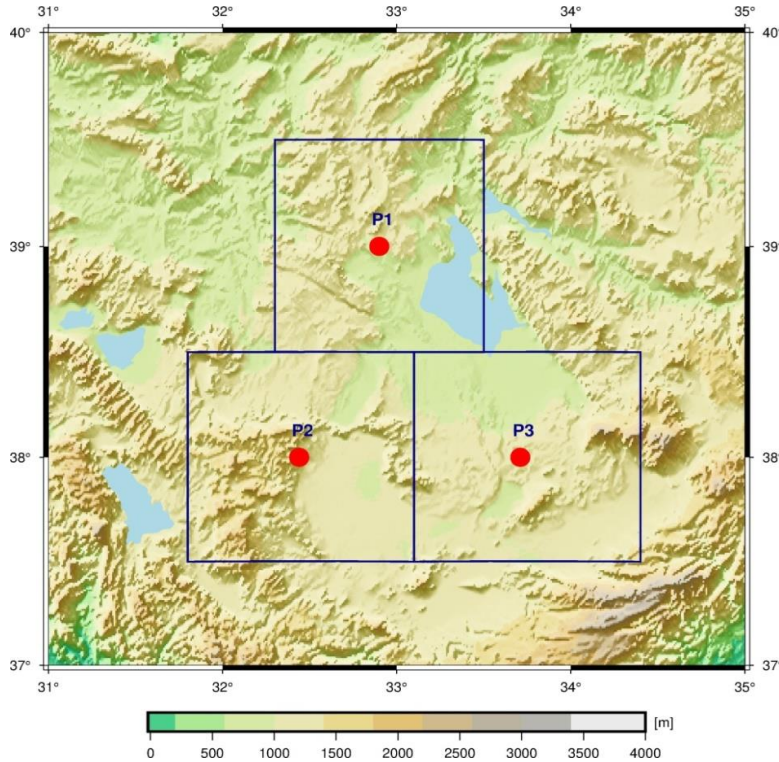
Dünyamızın yaklaşık 2/3'ü su ile çevrilidir. Yerküredeki tüm su miktarının %97.5'ini tuzlu su oluşturmaktadır. Geriye kalan %2.5'i ise her canlının yaşamını sürdürülebilmesi için gerekli olan tatlı sudan oluşmaktadır. Ulaşılabilir tatlı su miktarı bu derecede kısıtlı iken, yaşanabilecek olası bir kuraklık; enerji, çevre, ekonomi ve sağlık gibi pek çok alanda ciddi problemleri ortaya çıkaracaktır. 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; Öztürk vd. 2018).

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 (TWSA: Total Water Storage Anomaly) bölgesel ve global ölçekte gözlemleri yapılabilmektedir (Rodell vd. 2009; Tapley vd. 2004; Akyılmaz vd. 2016; Godah vd. 2018). $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ konumsal çözünürlüğüne sahip GRACE/GRACE-FO verilerinin, veri merkezlerince yayınlanan Seviye-2 çözümleri ve yine GRACE/GRACE-FO verilerinden türetilen mascon çözümleri, TWSA değişimlerini vererek toprak nemi, kar suyu eşdeğeri, bitki yüzey suyu ve yeraltı su kütlesi (YSK) bileşenlerini içeren toplam değişimi yansıtmaktadır (Frappart ve Ramillien 2018; Scanlon vd. 2016). Uydu gravimetrisi yöntemiyle elde edilen GRACE veri setleri ile bu toplam değişimler çevrimiçi aylık periyotlarla yayınlanmaktadır ve bu sayede pratik olarak takip edilebilmektedir (Öztürk vd. 2020; Öztürk 2020). GLDAS (Global Land Data Assimilation System), zamana bağlı YSK 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 zamana bağlı incelemek mümkündür. GRACE ve GLDAS gibi iki farklı veri setinin kullanılmasıyla yer altı su kütlesinin zamana bağlı değişimleri elde edilebilmektedir (Moghim 2020). 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 CSR 6. versiyon Seviye-2 çözümleri ve GSFC mascon çözümleri ile GLDAS verileri kullanılarak su kütlesi değişimlerinin konum, zaman ve iklim parametrelerine bağlı değişimini incelemektir. Toplam su değişimlerini içeren GRACE ve yüzey sularına ilişkin büyüklükler içeren GLDAS'ın çalışma bölgesinde birlikte irdelenmesi, YSK değişimleri hakkında bilgi vermektedir. Yağış ve sıcaklık gibi iklim parametrelerinin su kütlesi değişimlerini hangi zaman aralığında nasıl etkilediği çalışmanın önemli bulgularındandır. Elde edilen sonuçlar hidroklomatik süreçlerin dikkate alınarak, bölgedeki su kaynakları için risk yönetiminin dinamik yaklaşımlarla yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

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).



Şekil 1: Üç alt alandan oluşan çalışma bölgesi

Bölgede geniş bir akarsu ağı bulunmamasıyla birlikte, yağış miktarları da tarım için yetersiz kalabilmektedir. Bu durum, artan su ihtiyacının yeraltı sularından karşılanmasına yol açmaktadır (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).

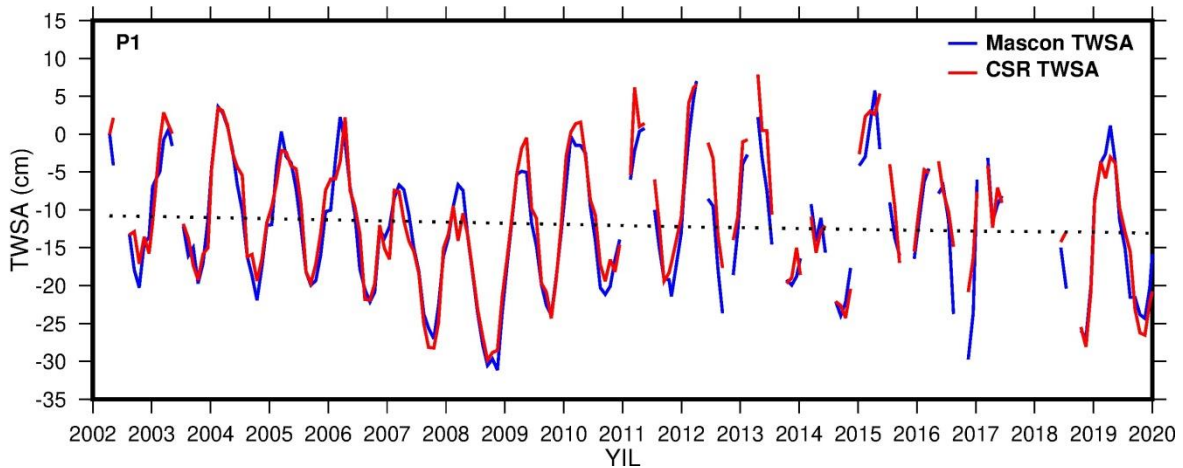
Çalışmada GRACE, GRACE-FO ve GLDAS veri setleri kullanılmıştır. 2002 yılında fırlatılan ve 15 yıl aktif olan GRACE ikiz uyduları yeryüzündeki zaman ve konuma bağlı gravite değişimlerini gözlemlemiştir. GRACE uydu çiftinin süresini tamamlamasıyla görevi GRACE-FO misyonu devralarak 2018 yılından günümüze gravite değişimlerini gözlemlemektedir. Yeryüzündeki dinamik kütle dağılımından kaynaklanan bu gravite değişimlerini büyük oranda tetikleyen su kütlesinin hareketidir. Özellikle mevsimsel su kütlesi değişimlerinin etkili olduğu bu veriler ile uzun dönemli su kütlesi değişim trendlerini de incelemek mümkündür. Toprak nemi, bitki örtüsü yüzey suyu, biriken kar, yüzey ve yeraltı suyu değişiminden oluşan bu su kütlesi değişimleri çalışmada mascon TWSA ve CSR TWSA olarak ifade edilmiştir.

Çalışma periyodu 2002-2020 yılları arası olup, aylık GRACE CSR 6. versiyon Seviye-2 çözümleri ve GSFC mascon çözümleri kullanılmıştır. Veri setindeki bazı aylarda bulunan boşluklar ekstra bir hataya sebebiyet vermemek için doldurulmamış ve mevcut veriler kullanılmıştır. GSFC mascon verileri (<https://ccar.colorado.edu/grace/gsf.html>) adresinden, CSR Seviye-2 çözümleri ise (<http://icgem.gfz-potsdam.de/series>) 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 karasal su kütlesi değişimleri (TWSA) ve aylık yağış ve sıcaklık değişimleri kullanılmıştır.

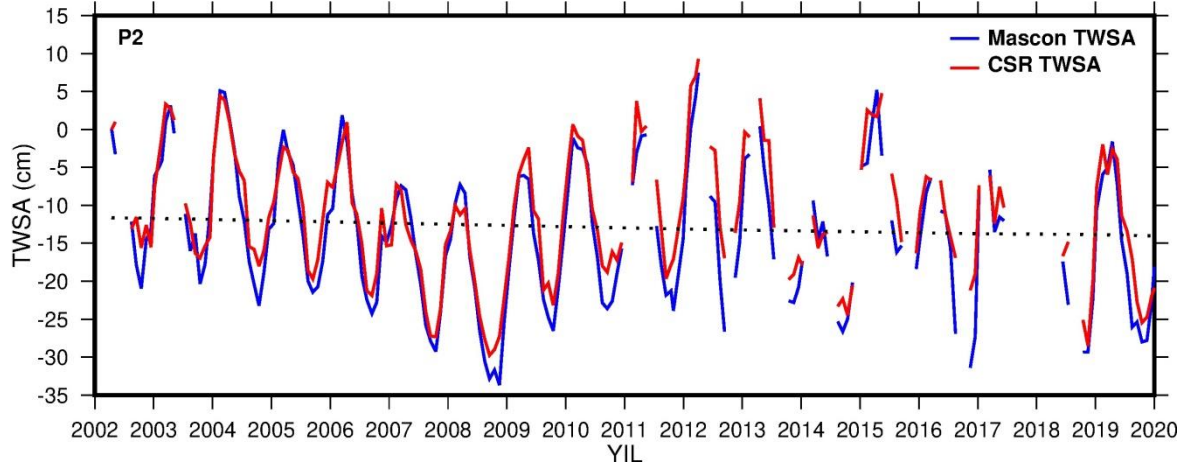
GLDAS TWSA, bitki örtüsü yüzey suyu, kar suyu eşdeğeri ve toprak nemi değerlerinden oluşmaktadır. GLDAS veri setleri (<https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GLDAS/>) adresinde mevcuttur.

3. Araştırma ve Tartışma

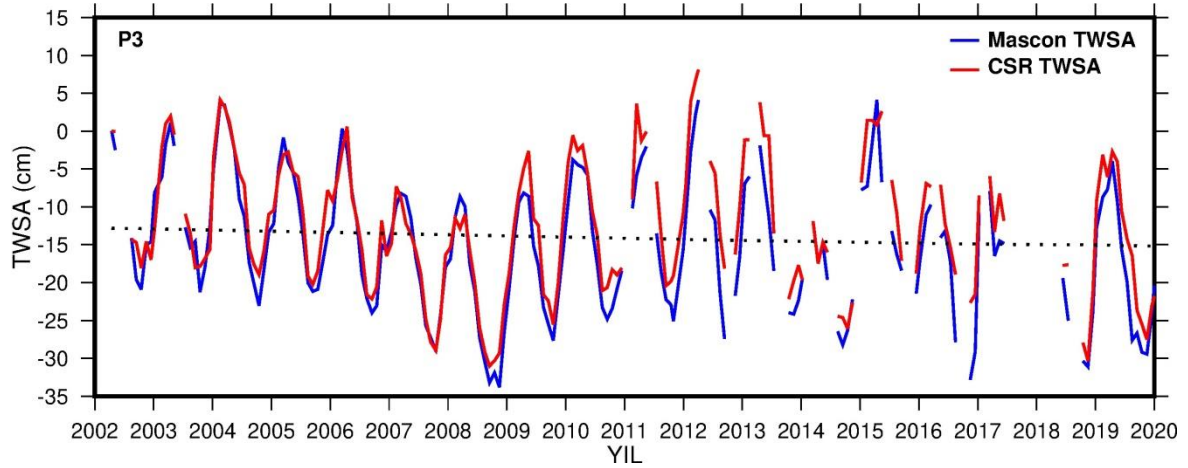
Çalışma bölgesindeki üç alt bölgenin eşdeğer su kalınlığı değerleri hesaplanarak Şekil 2, 3 ve 4'te gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, 2004 öncesi ve 2011 sonrasında bazı boşluklar görülmektedir. Bunlar, GRACE verilerindeki boşluklardır ve eşdeğer su kalınlığı değişimi sonuçlarında yapay bir etki bırakmaması için enterpolasyon uygulanmamıştır. GRACE misyonuyla elde edilen mascon ve CSR sonuçlarının birbiriyle tutarlı olduğu görülmektedir. Her üç bölge için de eşdeğer su kalınlığı değişimi sonuçları, 2006 sonrası düşüş, 2009 sonrası artış ve 2015 sonrası tekrar düşüş gösterme eğilimindedir. Uzun dönemli değişim trendinin ise P1, P2 ve P3 bölgeleri için sırasıyla ~ 2.5 cm, ~ 2.6 cm ve ~ 2.5 cm düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Trend değerleri, mascon ve CSR çözümlerinden elde edilen değerlerin ortalamasını yansıtmaktadır. TWSA'deki minimum değer her üç bölge için de Kasım 2008 ve Kasım 2020 yıllarında görülürken, maksimum değer Nisan 2012 yılında gözlenmiştir. Alt bölgeler ayrı ayrı incelendiğinde, bölgelerdeki değişimin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, 2002–2020 yıllarını kapsayan 18 yıllık çalışma periyodu boyunca bölgedeki eş değer su kalınlığındaki deşarj miktarlarının, bölgede oluşan birikim miktarlarından daha fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 2: P1 bölgesinde GRACE TWSA değişimleri (kırmızı, mavi) ve ortalama trend (siyah)

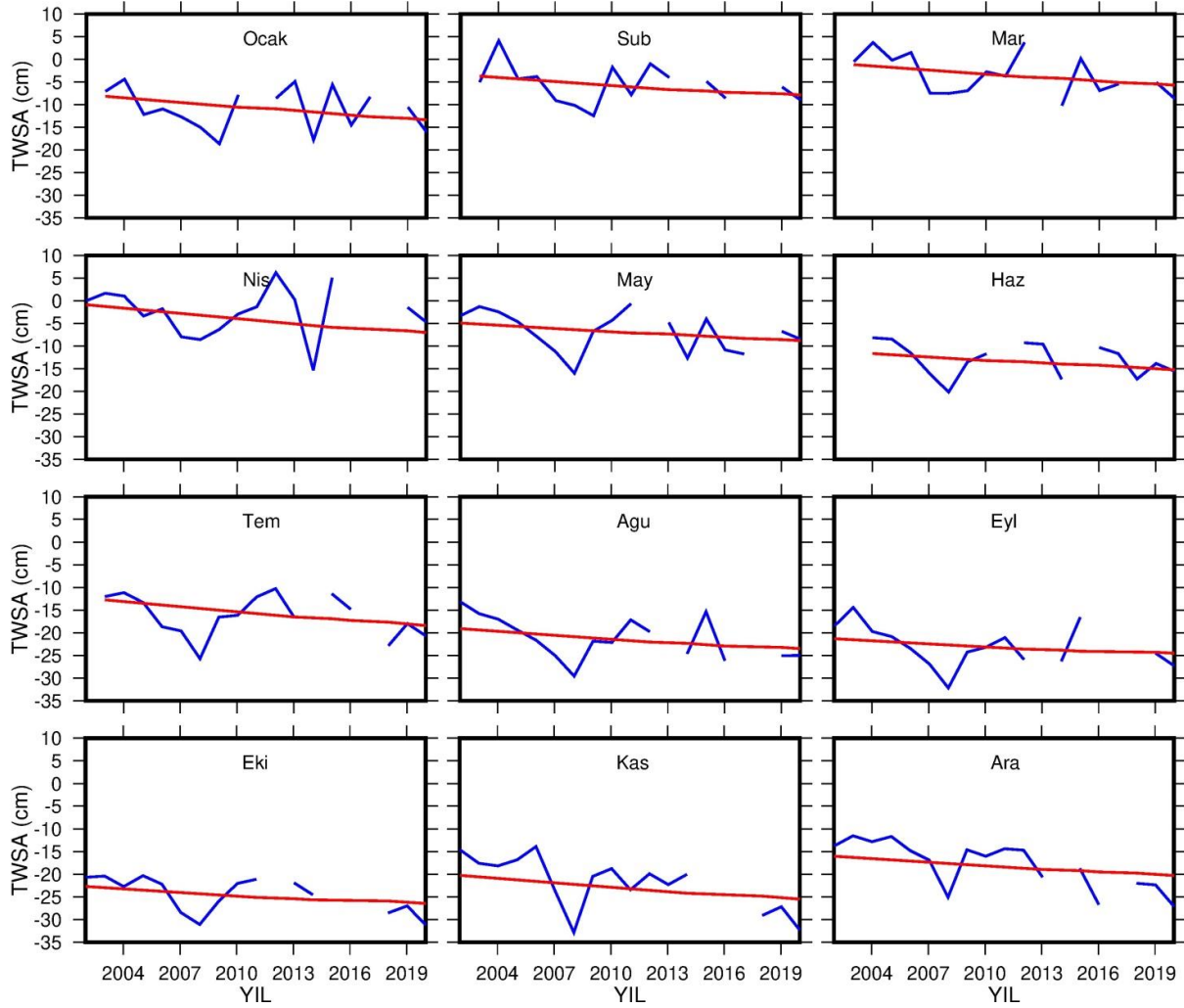


Şekil 3: P2 bölgesinde GRACE TWSA değişimleri (kırmızı, mavi) ve ortalama trend (siyah)



Şekil 4: P3 bölgesinde GRACE TWSA değişimleri (kırmızı, mavi) ve ortalama trend (siyah)

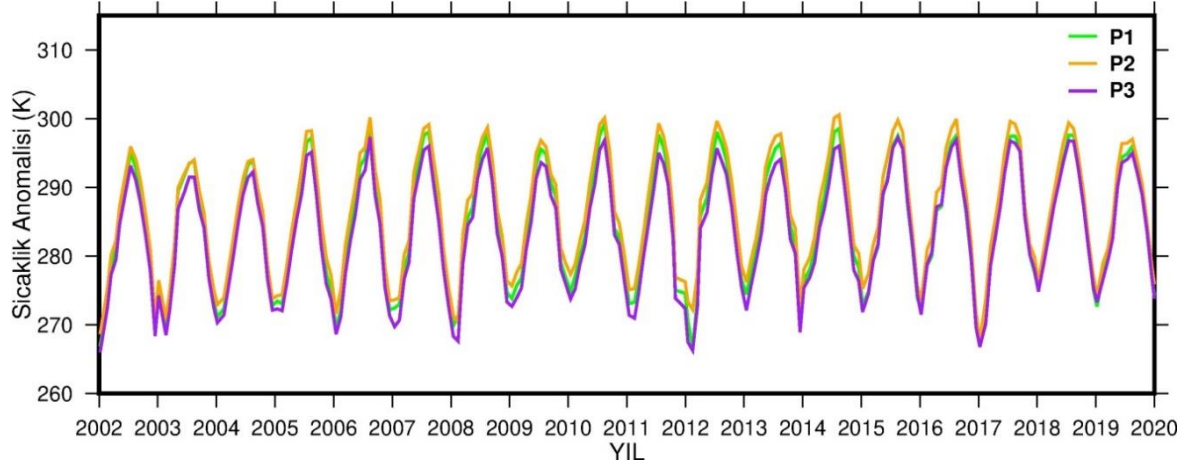
Bölgedeki eş değer su kalınlığının tüm aylara göre tahmini değişimini gösteren ortalama değerler Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 2, 3 ve 4'teki araştırma periyodu boyunca görülen değişim trendi, Şekil 5'teki grafiklere de yansımaktadır. TWSA değişimlerinin, yağış etkisiyle bazı yıllarda Şubat, Mart ve Nisan aylarında pozitif değerler gösterdiği ve diğer tüm aylarda bu değişimlerin negatif değerlerde olduğu görülmektedir. TWSA yıllık değişimlerindeki trend eğiliminde en yüksek düşüş ~ 5.8 ve ~ 5.7 cm ile sırasıyla Nisan ve Temmuz aylarında görülürken, en az düşüş ~ 3.2 cm ile Eylül ayında görülmektedir. Bu durum, 2002–2020 yılları arasındaki zaman diliminde bu ayların öncesindeki aylarda görülen yağış miktarı ve sıcaklığa dikkat çekmektedir.



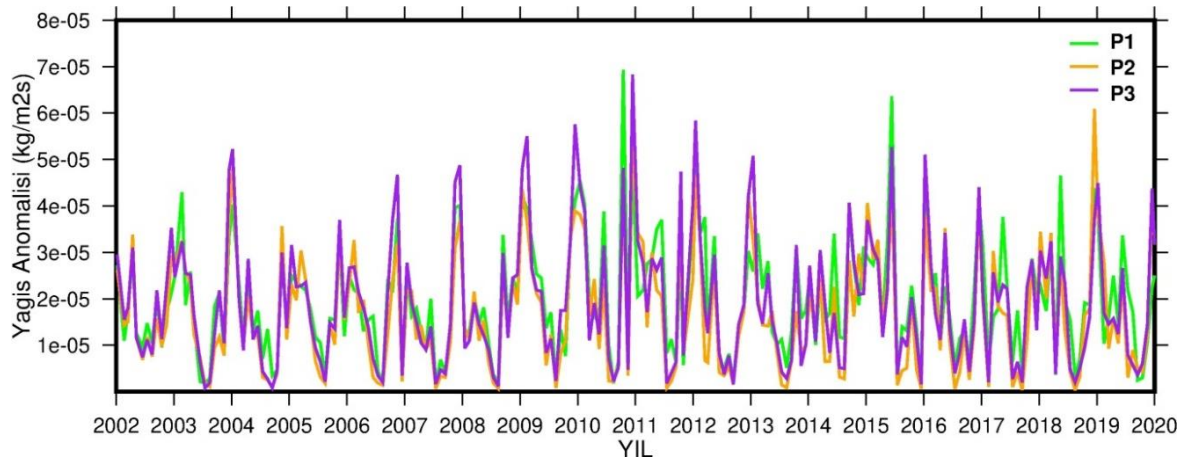
Şekil 5: Mascon verisi ile elde edilen P1, P2 ve P3 için 12 aylık ortalama TWSA değişimi (mavi) ve trend değerleri (kırmızı)

Çalışmada sıcaklık ve yağış anomalisi değerleri GLDAS NOAH M.2.1 modelinden elde edilmiştir (https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GLDAS/GLDAS_NOAH025_M.2.1/). Belirlenen çalışma periyodu için sıcaklık ve yağış anomalileri zaman serileri Şekil 6 ve 7’de verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, sıcaklık anomalisi değişimlerinde mevsimsel etki yoğun olarak görülmektedir. 2012 ve 2017 yıllarında sıcaklık değerlerinde düşüş görülse de, uzun dönemli bileşen, çalışma periyodu boyunca sıcaklıklardaki artışa işaret etmektedir. Şekil 7’de görülen yağış anomalisi değerleri, genel olarak yağışların her yıl, yıl sonunda artış gösterdiğini ve bir sonraki yıl sonuna kadar azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, Şekil 5’te yansıtılan Kasım ayındaki TWSA değerlerinde görülen maksimum düşüşü kanıtlar niteliktedir.

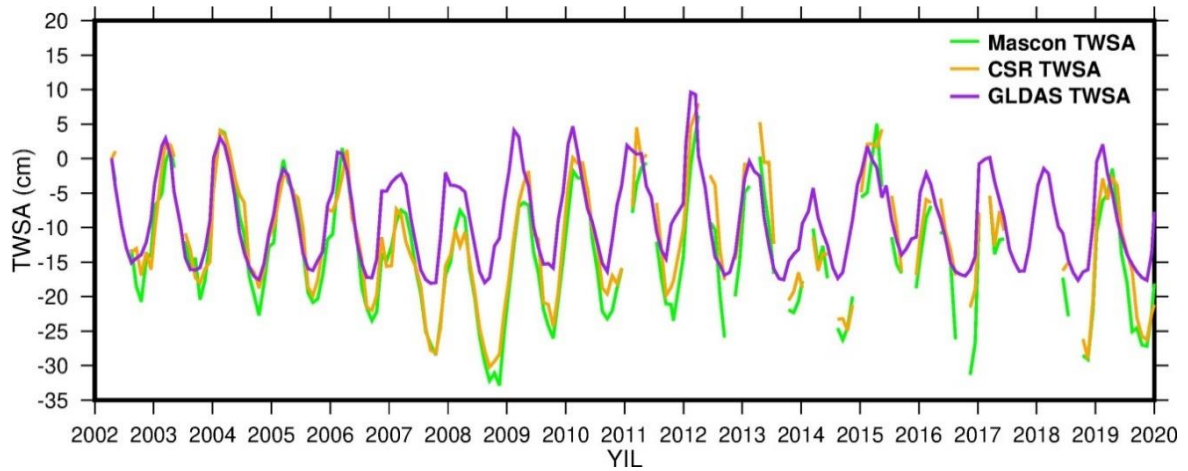
Bitki örtüsü yüzey suyu, kar suyu eşdeğeri ve toprak nemi değerlerinden oluşan GLDAS TWSA verilerinin ortalama zaman serileri Şekil 8’de mascon ve CSR TWSA zaman serileri ile birlikte verilmiştir. Şekilden anlaşıldığı üzere, mascon ve CSR TWSA değerleri birbiriyle oldukça yakın ve tutarlı bir davranış sergilemektedir. Öte yandan, GLDAS TWSA çalışma periyodu boyunca daha durağan bir trende sahipken, mascon ve CSR TWSA değerleri 2007–2011 ve 2013–2020 arası aşağı yönlü bir hareket göstermektedir. YSK’nın dikkate alındığı GRACE TWSA (mascon ve CSR) değerlerinin, YSK’nın dikkate alınmadığı GLDAS TWSA değişimlerinden farklı olarak negatif yönlü bir davranış sergiliyor oluşu, YSK değişimlerinin de azalan bir trende sahip olduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla, 2002–2020 yılları arasında çalışma bölgesinde YSK’da kayda değer bir azalma olduğu rahatlıkla ifade edilebilir.



Şekil 6: P1, P2 ve P3 bölgelerindeki sıcaklık anomalileri



Şekil 7: P1, P2 ve P3 bölgelerindeki yağış anomalileri



Şekil 8: GRACE (yeşil, turuncu) ve GLDAS (mor) ile elde edilen ortalama su kütlesi değişimleri

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 mascon TWSA değişimi arasındaki korelasyon değerleri Tablo 1’de, yağış anomalileri ile mascon TWSA değişimi arasındaki korelasyon değerleri ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1: Tüm bölgeler için 0 gecikme, 1 ay, 2 ay ve 3 aylık gecikmelerde mascon TWSA ile sıcaklık anomalileri arasındaki ilişki

Bölge	Korelasyon			
	0 gecikme	1 aylık gecikme	2 aylık gecikme	3 aylık gecikme
P1	-0.31	-0.66	-0.82	-0.76
P2	-0.34	-0.68	-0.84	-0.76
P3	-0.34	-0.68	-0.84	-0.77

Tablo 2: Tüm bölgeler için 0 gecikme, 1 ay, 2 ay ve 3 aylık gecikmelerde mascon TWSA ile yağış anomalileri arasındaki ilişki

Bölge	Korelasyon			
	0 gecikme	1 aylık gecikme	2 aylık gecikme	3 aylık gecikme
P1	0.23	0.43	0.48	0.40
P2	0.25	0.50	0.60	0.53
P3	0.18	0.43	0.55	0.51

Tablo 1’de görüldüğü üzere, tüm alt bölgelerde yükselen sıcaklık ile mascon TWSA anomalileri arasında ters korelasyon söz konusudur. Diğer bir deyişle, sıcaklık artış gösterirken TWSA 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 2’deki yağış sonuçlarına ilişkin en yüksek korelasyon yine tüm alt alanlarda 2 aylık gecikme dönemlerinde görülmektedir. Bu durumda her iki parametrenin de TWSA anomalileri üzerindeki maksimum etkisi yaklaşık 2 aylık gecikme ile ortaya çıkmaktadır. Tablo 1 ve 2’deki değerlere göre, yağış ve sıcaklık anomalileri 2 aylık gecikme döneminden sonra en fazla 3 aylık gecikme döneminde etkili olmuştur.

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 yeterince vurgulanmadığı ve sınırlı gözlemlerin olduğu bölgelerde bu araçların kullanımı oldukça önemlidir.

Çalışmada, Konya kapalı havzasındaki iklim değişikliğinin etkileri ile birlikte su kütlesi değişimlerinin zamansal ve konumsal özellikleri incelenmiştir. Ek olarak, GLDAS’tan hesaplanan TWSA ile GRACE’den hesaplanan mascon ve CSR TWSA verileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, GRACE’den elde edilen mascon ve CSR TWSA verilerinin tüm alt alanlar içinde uyumlu ve tutarlı davranış sergilediğini göstermektedir. Eşdeğer su kalınlığı değişimindeki uzun dönemli bileşenin P1, P2 ve P3 bölgeleri için sırasıyla ~ 2.5 cm, ~ 2.6 cm ve ~ 2.5 cm düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Biriken kar, toprak nemi ve bitki yüzey suyu modellerindeki değişimi kapsayan GLDAS TWSA ile biriken kar, toprak nemi ve bitki yüzey suyu modellerindeki değişime ek olarak YSK değişimini de kapsayan GRACE TWSA verilerinin birlikte değerlendirilmesiyle, 2002–2020 yılları arasında çalışma bölgesindeki YSK değişiminin negatif yönde olduğu tespit edilmiştir. Mascon TWSA verileri ay bazında incelendiğinde, en yüksek düşüşün Kasım ve Aralık aylarında gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle yağış grafikleri de bu sonucu destekler niteliktedir.

Araştırma bölgesinde, sıcaklık ve yağış iklim parametrelerinin su kütlesi değişimlerine kısa ve uzun vadeli etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 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, makalenin değerlendirme sürecine zaman ayırarak katkı sunan hakemlere teşekkür eder.

Kaynaklar

- Akyılmaz, O., Üstün A., Aydın C., Arslan N., Yağcı O., Doğanalp S., Güney C., (2016), *Yakın Yer Uyduları Yardımıyla Yüksek Çözünürlüklü Gravite Alanı Belirleme ve Bölgesel Kütle Değişimlerinin İzlenmesi*, TÜBİTAK ARDEB 1001 Araştırma Projeleri, Proje No: 113Y155, Proje Sonuç Raporu.
- 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, 11-12 Eylül, Konya, ss.125-134.
- 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, 11-12 Nisan, İstanbul, ss. 394-402.
- 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(3), L03403, doi: 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, doi: 10.3390/rs10060829.
- Godah W., Szlachowska M., Öztürk E.Z., Krynski J., (2018), *On the contribution of physical height changes estimated with the use of GRACE satellite mission data to the modernization of a national vertical system*, In AGU Fall meeting abstracts (Vol. 2018, pp. G13B-0525).
- Göçmez G., Genç A., Karakoca A., (2008), *Konya Kapalı Havzası Yeraltısu Seviye Değişiminin İstatistiksel Değerlendirilmesi*, Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu ve Kuraklık Konferansı, Bildiri Kitabı, 11-12 Eylül, Konya, ss. 98-107.
- 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): e0141442, doi: 10.1371/journal.pone.0141442.
- Moghim S., (2020), *Assessment of water storage changes using GRACE and GLDAS*, Water Resources Management, 34(2), 685-697.
- Öztürk E.Z., Godah W., Abbak R.A., (2018), *Analysis of De-correlation filters performance for estimating temporal mass variations determined from GRACE-based GGMs over Konya basin*, FIG Congress 2018, Embracing our smart world where the continents connect: enhancing the geospatial maturity of societies, May 6-11, İstanbul, Turkey.
- Öztürk E.Z., Godah W., Abbak R.A., (2020), *Estimation of physical height changes from GRACE satellite mission data and WGHM over Turkey*, Acta Geodaetica et Geophysica, 55(2), 301-317.
- Öztürk E.Z., (2020), *Uydu Gravimetrisi İle Fiziksel Yükseklik Değişimlerinin Belirlenmesi ve Analizi: Türkiye ve Grönland Örneği*, Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- 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.
- Rodell M., Velicogna I., Famiglietti J.S., (2009), *Satellite-based estimates of groundwater depletion in India*, Nature, 460(7258), 999-1002.
- 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.
- 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.
- 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, 10(6), 1151-1157.
- 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.
- 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.
- Yin W., Li T., Zheng W., Hu L., Han S.C., Tangdamrongsub N., Sprlak M., Huang Z., (2020), *Improving regional groundwater storage estimates from GRACE and global hydrological models over Tasmania, Australia*, Hydrogeology Journal, 28(5), 1809-1825.