

Tatlı Su Kaynaklarındaki

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

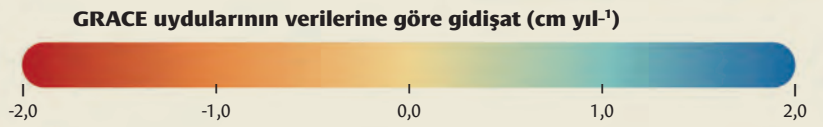
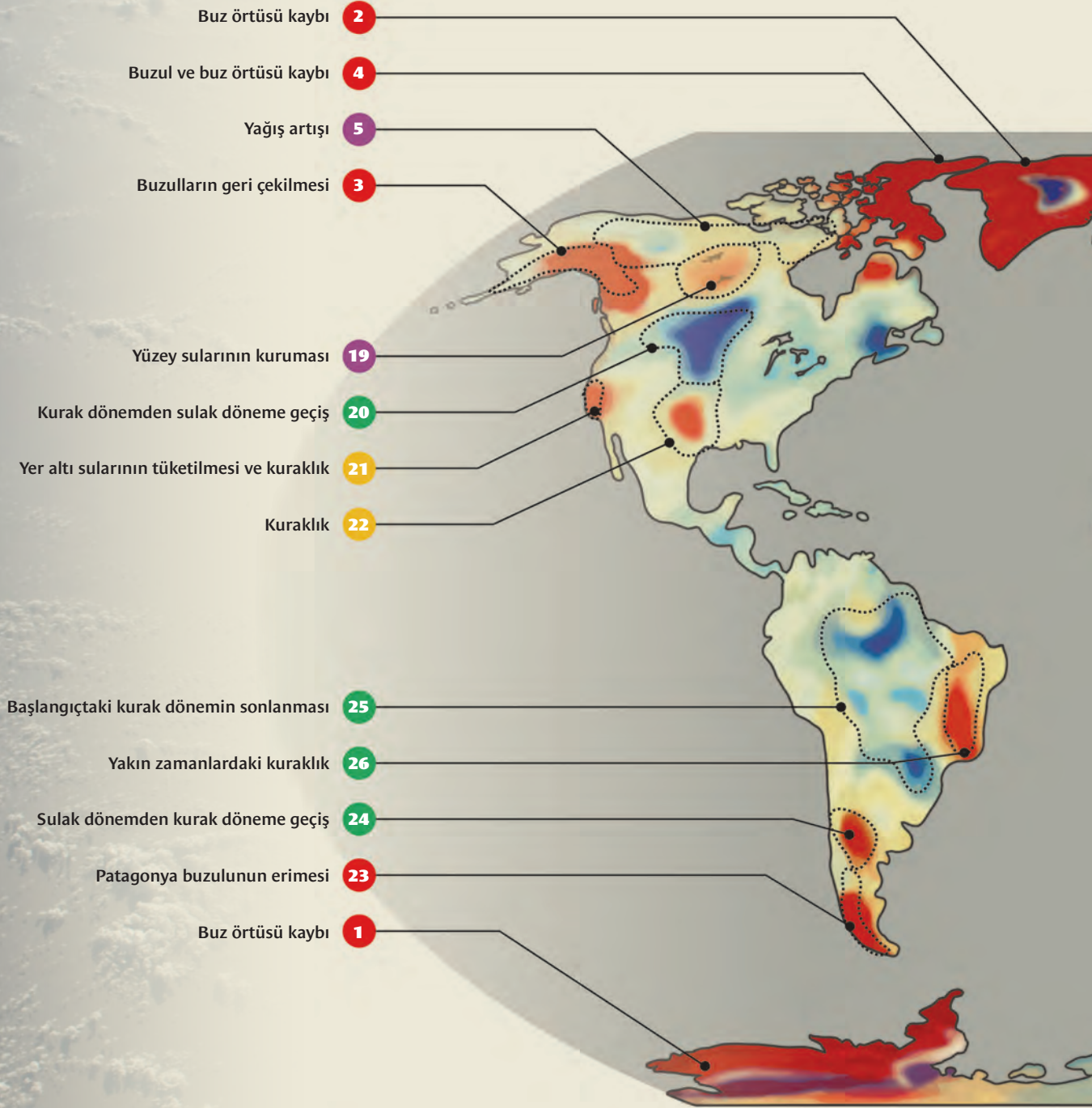
Karalardaki su döngüsünün beş bileşeni vardır: yer altı suları, topraktaki nem, yüzey suları, kar ve buz. Bu bileşenlerdeki su miktarı, yıl içinde ve yıldan yıla sabit değildir. Ancak büyük iklimsel değişiklikler ya da insan etkinliklerinin yokluğunda belirli aralıkların içinde kalır. Yapılan son

bilimsel çalışmalar, özellikle küresel iklim değişikliği sebebiyle buzulların eridiği ve yer altı sularının aşırı miktarda kullanıldığı bölgelerde, karasal su stokunun giderek azalma eğiliminde olduğunu gösteriyor.

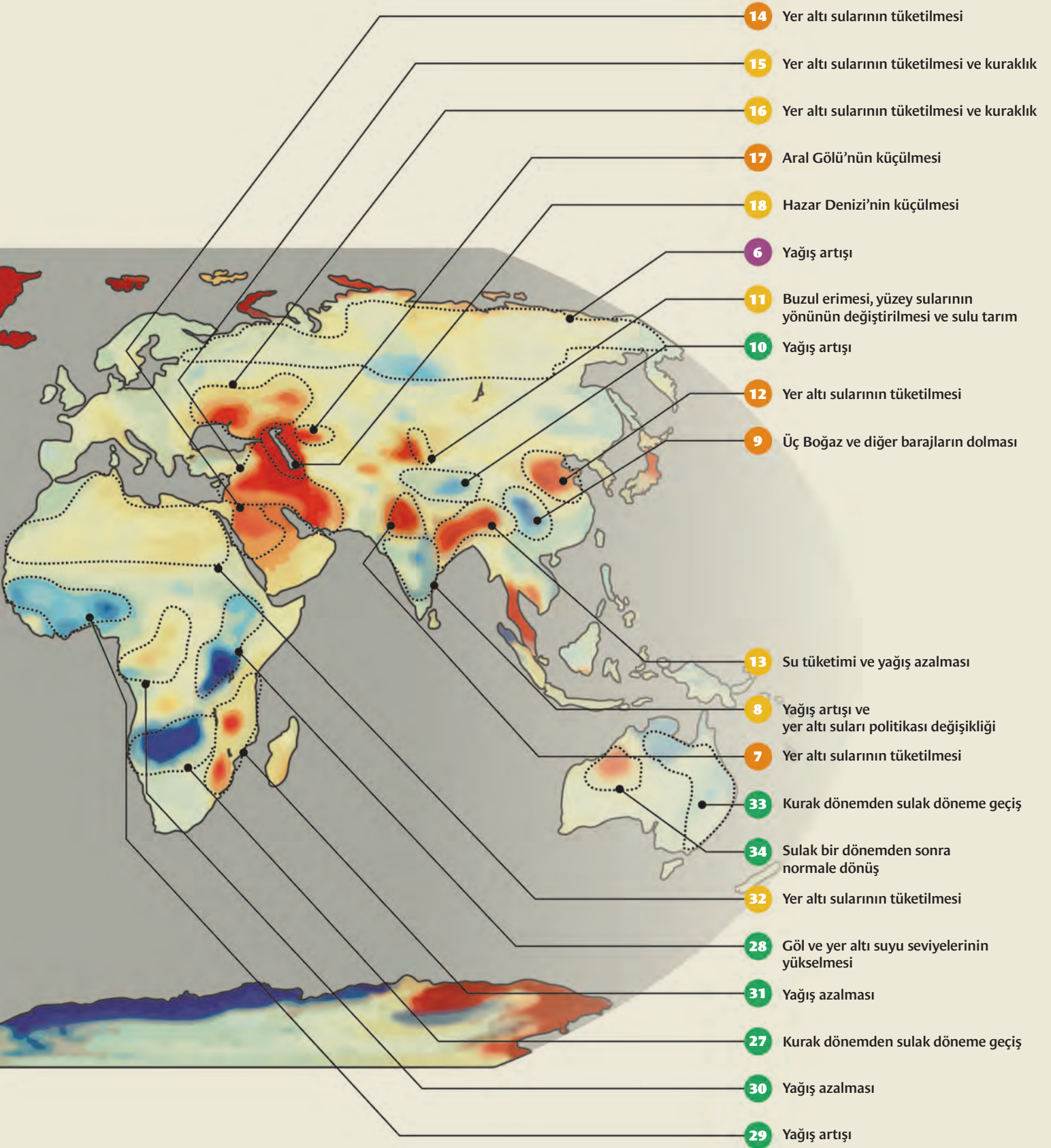
Küresel Değişimler

Tatlı su kaynaklarındaki değişimleri takip etmek pek çok bakımdan önemlidir. İnsanların sağlığı, tarımsal üretim, enerji üretimi ve daha pek çok şey yeterli miktarda tatlı suya erişimle yakından ilgilidir.

Özellikle yer altındaki tatlı su kaynaklarını takip ve idare etmek çok zordur. Çünkü doğrudan görülmezler. Ancak dünya nüfusunun yaklaşık yarısı evsel su ihtiyaçlarını yer altı sularından karşılar. Ayrıca tarımda sulama amacıyla kullanılan suların yaklaşık %38'inin kaynağı da yer altı sularındır.



- İklim değişikliği etkisi
- Yüksek olasılıkla iklim değişikliği etkisi
- İnsan etkinlikleri etkisi
- Yüksek olasılıkla ya da kısmen insan etkinlikleri etkisi
- Doğal değişiklikler



Geçmişte karalardaki tatlı su kaynaklarında yaşanan değişimleri takip etmek için yeryüzünün belirli noktalarında ölçümler yapılırdı. Küresel ölçekte su kaynaklarında meydana gelen değişimleri takip etmekse çok daha zordu.

Ancak kısaca GRACE olarak adlandırılan ikiz uyduların 2002 yılında Dünya'nın etrafında dolanmaya başlamasından sonra bu durum değişti.

Dr. M. Rodell ve arkadaşları, GRACE uydularının 2002-2016 döneminde topladığı verileri analiz ederek karasal su kaynaklarında yaşanan değişimleri tespit ettiler. Araştırmacıların *Nature* dergisinde yayımladıkları sonuçlar, sadece bu değişimleri gözler önüne sermekle kalmıyor aynı zamanda bu değişimlerin sebeplerini de ortaya koyuyor.

Makalede karasal su döngüsünde yaşanan değişimlerin nedenleri üç ana başlık altında sınıflandırılıyor: küresel iklim değişikliği, insan etkinlikleri ve doğal süreçler. Bazı bölgelerde gözlemlenen değişimler bu etkenlerin sadece biriyle açıklanabilirken bazı bölgelerdeki değişimlerdeyse birden fazla etken söz konusu.



Dünya Geneli

Karasal su stokundaki (KSS) değişimlere küresel ölçekte bakıldığında en büyük değişimlerin Antarktika'da (1.bölge, $-127,6 \pm 39,9$ milyar ton/yıl), Grönland'da (2. bölge, $-279,0 \pm 23,2$ milyar ton/yıl), Alaska Körfezi sahilinde (3. bölge, $-62,6 \pm 8,2$ milyar ton/yıl), ve Kanada'ya ait takımdalarda (4. bölge, $-74,6 \pm 4,1$ milyar ton/yıl) gerçekleştiği görülüyor. Bu dört bölgenin tamamı iklim değişikliği sonucunda eriyen buzullar sebebiyle su kaybediyor.

Küresel ölçekte dikkat çeken bir başka nokta, Kuzey Amerika'nın en kuzeylerinde (5. bölge), Avrasya'da (6. bölge) ve sulak tropik bölgelerde giderek tatlı su birikirken orta enlemlerdeki donmamış tatlı su miktarının giderek azalması. Bu iki durum da iklim değişikliğinin sebep olması beklenen değişimlerden.

Avrasya'da insan etkinlikleri sebebiyle yaşanan oldukça büyük değişimler var. İncelenen dönemde, Hindistan'ın kuzeyindeki bir bölgede (7. bölge) yıllık ortalama $19,2\pm 1,1$ milyar ton KSS kaybı var. Yarı kurak bir iklime sahip bu bölgenin yaklaşık %54'ünde sulu tarım yapılıyor. Ekimi yapılan buğday, pirinç gibi bitkilerin ihtiyacı olan su ise yer altı sularından karşılanıyor.

Merkez Çin'in doğusundaki bir bölgede (9. bölge) KSS'nin arttığı görülüyor. Bu durumun bir nedeni, bölgede yapılan Üç Boğaz Barajı. 2003 yılının Haziran ayında inşası tamamlanan baraj, Ekim 2010'a kadar yavaş yavaş doldu ve $39,3$ milyar ton su tutmaya başladı. Ancak veriler yıllık olarak incelendiğinde, bölgedeki su birikiminin baraj tamamen dolduktan sonra da durmadığı görülüyor. Bu durum hem bölgede yapılan irili ufaklı başka barajlardan hem de bölgenin 2010'dan sonra normalden fazla yağış almasından kaynaklanıyor. Bölgedeki yağış miktarının yüzyılın sonuna kadar %8 oranında artacağı öngörülüyor. Bu tahmin doğru çıkarsa, daha yavaş bir şekilde bile olsa bölgede su birikmeye devam edecek.

Uydularla yapılan irtifa ölçümleri Tibet Platosu'ndaki (10. bölge) göllerdeki su seviyesinin yükseldiğini gösteriyor. Bu durum hem bölgenin son yıllarda daha fazla yağış almasına hem de eriyen buzullara bağlıyor. 1997-2001 döneminde bölgeye yıllık ortalama 160 milimetre yağış düşüyordu. 2002-2015 dönemindeki ortalama yağış miktarıysa yıllık 175 milimetre oldu. Dolayısıyla bölgede gözlemlenen yıllık ortalama $7,7\pm 1,4$ milyar tonluk KSS artışı bölgenin uzun bir geçici kuraklık döneminden çıkmasına bağlıyor.

Çin'deki Urumçi şehrinin batısındaki 215.000 kilometre karelik bölgenin (11. bölge) yıllık $5,5\pm 0,5$ milyar ton su kaybettiği görülüyor. Ancak incelenen dönemde bölgenin aldığı yağış miktarında önemli bir değişiklik göze çarpmıyor. Dolayısıyla bu durumu kuraklıkla açıklamak mümkün değil. Buzullar hızla eriyor ve yer altı suları tarımda kullanılıyor olsa da bölge kapalı bir havza olduğu için buzullardan gelen ve yer altından yüzeye çıkarılan suların bölgenin dışına çıkması çok zor. Ancak

buna rağmen havzadaki beş göldeki su seviyeleri ya azalıyor ya da değişmiyor. Tüm bu gerçeklere rağmen bölgedeki KSS'nin azalmasının sebebinin hem buzulların hem de tarımda kullanılan yer altı sularının buharlaşma yoluyla bölgeden uzaklaşması olduğu düşünülüyor.

Pekin'i çevreleyen, %52'sinde sulu tarım yapılan bölgenin (12. bölge) incelenen dönemde yıllık ortalama $11,3\pm 1,3$ milyar ton su kaybettiği görülüyor. Tüm bulgular, bu durumun sebebinin tarımda kullanılan yer altı suları olduğuna işaret ediyor. Yer altı suları tükeninceye ya da yasal düzenlemelerle yer altı sularının aşırı kullanımının önüne geçilinceye kadar bölgedeki KSS'nin azalmaya devam edeceği tahmin ediliyor.

Doğu Hindistan, Bangladeş, Burma ve Güney Çin'i içine alan bölgede (13. bölge) incelenen dönemde yıllık ortalama $23,3\pm 1,9$ milyar ton su kaybı olduğu görülüyor. Bu durumun bir nedeni bölgenin yaklaşık %25'inde sulu tarım yapılması, bir diğer nedeni de bölgeye düşen muson yağmurlarında görülen azalma. GRACE uydularının gözlem yaptığı dönemde bölgeye düşen yağış miktarında yıllık ortalama 10 milimetre azalma var. Gelecekte bölgeye düşen yağmur miktarının normale dönmesi, hatta yüzyılın sonuna kadar %15 oranında artması bekleniyor. Ancak yine de sulu tarımda yoğun bir biçimde yer altı suları kullanılmaya devam ettiği sürece, daha yavaş bir hızla da olsa, bölgedeki KSS'nin azalmaya devam edeceği tahmin ediliyor.

Makalede Orta Doğu'daki iki bölgede önemli değişiklikler olduğu belirtiliyor. Suudi Arabistan'ın kuzey batısındaki bölgede (14. bölge) yıllık ortalama $10,5\pm 1,5$ milyar ton su kaybı olduğu görülüyor. Bu bölgenin sadece %1'den daha az bir kısmında sulu tarım yapılıyor. Ancak son otuz yıllık dönemde ekili arazilerin giderek büyüdüğü ve tarımda kullanılan suyun yenilenemeyen yer altı sularından karşılandığı biliniyor. Ayrıca bölgenin kurak bir dönemden geçtiği ve bu yüzden yer altı sularına olan talebin arttığı da bir gerçek. Suudi Arabistan hükümeti yerel buğday üretimi programını 2014-2015 döneminde sonlandırdığı için bölgedeki su kaybının yavaşla- yacağı tahmin ediliyor.

Türkiye'nin doğusu, Suriye, Irak ve İran'ı içine alan bölgede de (15. bölge) önemli miktarda su kaybı var. İncelenen dönemde KSS'nin yıllık ortalama 32,1±1,5 milyar ton azaldığı görülüyor. Bu durumun nedenlerinden biri Türkiye'de son otuz yılda Fırat ve Dicle nehirlerinin yukarı kısımlarında yirminin üzerinde irili ufaklı baraj yapılması. Barajlarda tutulan sular sebebiyle nehirlerin Irak'a ve Suriye'ye taşıdığı su miktarı önemli ölçüde azalmış durumda. Bir diğer neden de bölgedeki uzun süreli kuraklık. Bölgede gözlemlenen aşırı su kaybı, bu nedenler dolayısıyla, hem evsel ihtiyaçlar için hem de tarımda yer altı sularına olan talebin artmasına bağlıyor. Gelecekte bölgedeki KSS'nin sulak dönemlerde fazla değişmeyeceği kurak dönemlerdeyse hızla azalacağı öngörülüyor.

Avrasya'da dikkat çeken diğer iki bölge Aral Gölü'nün (17. bölge) ve Hazar Denizi'nin (18. bölge) yer aldığı kırsal alanlar. Kazakistan ve Özbekistan arasında yer alan Aral Gölü, bir zamanlar Dünya'nın en büyük dördüncü gölüydü. Ancak 1960'larda SSCB döneminde uygulanmaya başlanan sulu tarım projeleri nedeniyle gölü besleyen ır-

makların yönünün değiştirilmesinden sonra giderek küçülmeye başlamıştı. Günümüzde Aral Gölü'nün neredeyse tamamen yok olduğu söylenebilir. Araştırmacıların yaptığı analizlere göre gölün kalıntıları yılda 2,2±0,1 milyar ton su kaybetmeye devam ediyor.

Hazar Denizi için de Aral Gölü'nünkine benzer bir durum söz konusu. Bulgular, günümüzde Hazar denizinin giderek küçülmesinin sebebinin denizi besleyen nehirlerdeki suların yönünün değiştirilmesi ve bu nehirlerden sulu tarım için yüksek miktarda su alınması olduğunu gösteriyor. İncelenen dönemde Hazar Denizi'nin yıllık ortalama 23,7±4,2 milyar ton su kaybettiği görülüyor. Şu an Hazar Denizi'ndeki toplam su miktarıysa yaklaşık 78.000 milyar ton. Hazar Denizi bu hızla su kaybetmeye devam etse bile üç bin yıl daha varlığını devam ettirebilir. Ancak denizin kapladığı alan giderek küçülecektir.

Avrasya'daki üç bölgede gözlemlenen kütle kayıplarıysa KSS ile ilgili değil. Sumatra ve Malezya yarımadalarındaki kütle kayıpları 2004 yılındaki 9,1 büyüklüğündeki depremde, Japonya'daki kütle kaybı da 2011 yılındaki 9,0 büyüklüğündeki depremde kaynaklanıyor.



Kuzey Amerika



Kuzey Amerika'nın çeşitli bölgelerindeki karasal su miktarında önemli değişiklikler var. Kuzeydeki Büyük Düzlükler bölgesindeki (20. bölge) KSS'nin önemli miktarda arttığı görülüyor. İncelenen dönemde bölge yıllık ortalama $20,2\pm 4,8$ milyar ton su kütlesi kazanmış. Bu durumun nedeni 2001-2003 yılları arasında yaşanan büyük kuraklıktan sonraki dokuz yıl boyunca bölgenin normalden daha fazla yağış alması. Her ne kadar yüzyılın sonuna kadar bölgenin aldığı yağış miktarında %7'lik bir artış olacağı öngörülse de kütle artışının yavaşlayacağı tahmin ediliyor.

Güney Kaliforniya bölgesinde (21. bölge) 2007 yılından beri (2010 yılı hariç) yaşanan kuraklık sebebiyle yer altı sularına olan talep aşırı artmış durumda. İncelenen dönemde bölgedeki KSS'nin yıllık ortalama $4,2\pm 0,4$ milyar ton azaldığı görülüyor. Bölgedeki yüzey sularının 2016-2017 döneminde atmosferik nehirlerden (atmosferde yoğun su buharı içeren dar koridorlar) beslenmesine ve yasal düzenlemelere rağmen, kullanım büyük oranda azalmadığı sürece yer altı sularının eski seviyesine ulaşması beklenmiyor. ABD'de yetiştirilen sebzelerin

üçte birini, meyvelerin de üçte ikisini bu bölgedeki Merkezi Vadi karşılıyor. Vadideki tarımsal su talebi 1900'lerin başlarından beri yenilenebilir su kaynaklarının kapasitesini aşıyor. Bu yüzden, bölgede yaşanan her kuraklık, yer altı su seviyelerinin geri dönülemez bir biçimde azalmasıyla sonuçlanıyor.

Kuzey Amerika'nın güneyindeki Yüksek Düzlükler'i ve Teksas'ı içine alan bölgede (22. bölge) yıllık ortalama $12,2\pm 3,6$ milyar ton KSS kaybı olduğu görülüyor. Bu bölgede gelecekte kısmen bir iyileşme olacağı düşünülüyor. Mayıs ve Ekim 2015 döneminde Teksas ve Oklahoma bölgesinde meydana gelen sellere sebep olan aşırı yağışlar bölgedeki su kütlesi kaybının yavaşlamasına neden oldu. Ancak Yüksek Düzlükler'in merkez ve güney kısımlarında tarım arazilerini sulamak için kullanılan yer altı suları sebebiyle bölgedeki karasal su miktarı azalıyor. Bu bölgedeki yer altı su katmanının bazı kısımları tamamen kurumuş durumda. Gelecekte de yüksek miktarda yer altı suyu tarımda kullanılmaya devam ederse yer altındaki su katmanının 30 yıl sonra tamamen kuruyacağı öngörülüyor.

Uzaydan Yeryüzündeki Suları Tartmak

Eğer Dünya mükemmel bir küre biçiminde olsaydı ve yerküredeki kütle dağılımı homojen olsaydı, Dünya'nın etrafında dolanan bir uyduya etki eden kütleçekim kuvveti, sadece Dünya'nın toplam kütesine ve uydunun Dünya'nın merkezine uzaklığına bağlı olurdu. Ancak hem Dünya mükemmel bir küre biçiminde değil hem de yerküredeki kütle dağılımı homojen değildir.

2002 yılında Dünya'nın etrafında dolanmaya başlayan GRACE uydularının ana görevi, hissettikleri yerçekim alanı ve dolayısıyla yerküredeki kütle dağılımı hakkında veri toplamaktı.

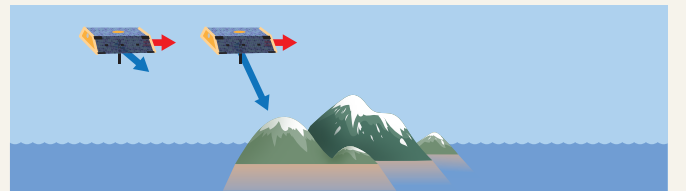
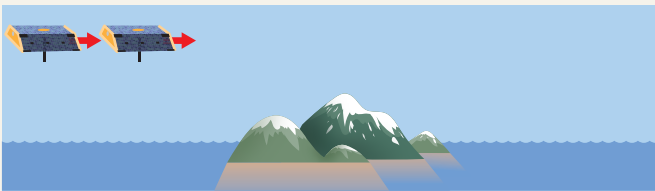
Yaklaşık 15 yıl süren görevleri sırasında ikiz uydulardan biri 180-220 kilometre mesafeden diğerini takip ediyordu. Uyduların yeryüzündeki kütle dağılımı hakkında veri toplamak için kullandığı yöntemse özetle şöyleydi. İki uydunun devasa bir dağa yaklaştıklarını düşünelim (*bkz.* aşağıdaki şekil), dağa daha yakın olan uyduda daha büyük, uzak olan uyduda daha küçük bir kütleçekim kuvveti hisseder. Dolayısıyla uyduların arasındaki mesafe az da olsa artar. Uydulardan biri dağın öte tarafına geçtikten sonra iki uydunun arasındaki mesafe azalmaya başlar. Bu durum iki uydunun arasındaki mesafeyi ölçerek uyduların yakınındaki kütle dağılımı hakkında fikir sahibi olmaya imkân verir.

Görevleri sırasında her gün Dünya'nın etrafında 16 tur atan uydular, her 30 günde bir yeryüzünün tamamını dolaşıyorlardı. Aynı bölgenin üzerinden farklı zamanlarda geçerken topladıkları veriler, bu bölgelerde zamanla meydana gelen kütle değişimleriyle ilgili bilgiler içeriyordu.

Örneğin, aşırı yağışlar sebebiyle bir kara parçasının kütesinde meydana gelen artış ya da buzulların erimesi sebebiyle kutuplardaki kütle kaybı gibi...

Hareketleri sırasında uyduların konumunu tespit etmek için GPS kullanılıyordu. Ancak GPS'nin sağladığı duyarlılık iki uydunun arasındaki mesafeyi arzu edilen hassasiyetle ölçmek için yeterli değildi. Bu yüzden uydular arasındaki mesafeyi tespit etmek için mikrodalgalar kullanılıyordu. Bir uydudan diğerine gönderilen ışın o uydudaki referans ışınıyla girişim yapıyor, dalgaların oluşturduğu girişim deseni, iki dalga arasındaki faz farkı ve dolayısıyla iki uydunun arasındaki mesafe değişimleri hakkında bilgi veriyordu. Böylece uydular arasındaki mesafeyi metrenin milyonda biri hassasiyetle ölçmek mümkün oluyordu.

İki uydunun arasındaki mesafe sadece kütleçekimi etkisiyle değişmiyordu. Dolayısıyla sadece kütleçekimi etkisiyle meydana gelen değişimleri tespit edebilmek için atmosfer sürtünmesinin, Güneş'ten gelen radyasyonun ve diğer etkenlerin sebep olduğu gürültünün filtrelenmesi gerekiyordu. Uyduların üzerinde bu amaç için tasarlanmış özel bir cihaz vardı. Elli gramlık bir kütle elektriksel kuvvetlerle bir haznenin içinde askıda tutuluyordu. Cihaz kütle haznenin merkezine 30 mikrometreden fazla uzaklaşmasına izin vermiyor ve aynı zamanda kütle hareketlerini ölçüyordu. Kütleçekimi uydunun ana yapısını ve askıdaki kütle aynı biçimde etkiler. Dolayısıyla kütleçekimindeki değişiklikler hazne içindeki kütle uydunun ana yapısına göre yer değiştirmesine sebep olmaz. Uydunun gövdesine etki eden hava sürtünmesi ve diğer etkenlerse uydunun ana



yapısı ile hazne içindeki kütlelerin birbirlerine göre hareket etmesine sebep olur. Askıdaki kütlelerin hareketlerini tespit eden donanımda bu sayede kütleçekimi dışındaki etkenler filtreleniyordu. Ayrıca uydularda sıcaklık değişimleri sebebiyle meydana gelen genleşmeleri ve büzüşmeleri ölçen sensörler de vardı.

GRACE uyduları göreve ilk başladıklarında 490 kilometre irtifada dolanıyorlardı. Görevleri sonlandırılırken ise hava sürtünmesi ve diğer etkenler sebebiyle 300 kilometre irtifaya kadar düşmüşlerdi.

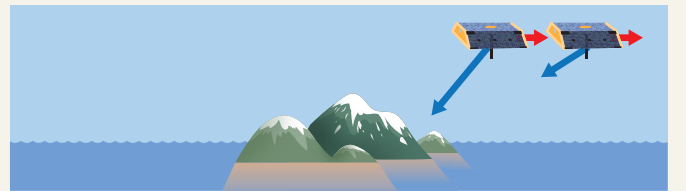
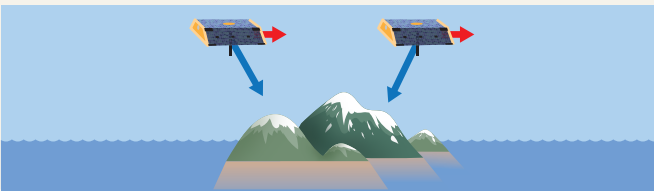
Yeryüzünde deniz seviyesindeki kütleçekim ivmesi yaklaşık $9,81 \text{ metre/s}^2$ 'dir. GRACE uydularının duyarlılığı ise bu değer yaklaşık milyonda biri kadardı. Yeryüzündeki büyük bir göldeki ya da yer altındaki büyük bir su katmanındaki su seviyesinin bir santimetre değişmesinden kaynaklanan kütleçekim kuvveti farklarını bile tespit edilebiliyorlardı. GRACE uyduları, görevleri sırasında Orta Doğu'daki, Hindistan'ın kuzeyindeki ve dünyanın başka bölgelerindeki yer altı sularında meydana gelen kütle kayıplarını ölçtü. Küresel iklim değişikliği sebebiyle tatlı su kaynaklarında yaşanan değişimleri tespit etti.

GRACE uydularının yaptığı tespitlerden biri de 2010-2011 döneminde küresel deniz seviyelerinde yaşanan sıra dışı değişimle ilgiliydi. 2010'dan önce dünya genelindeki deniz seviyeleri her yıl, küresel iklim değişikliği sebebiyle, 3 milimetre kadar yükseliyordu. Ancak 2010-2011 döneminde 5 milimetre alçaldı. Bu durumun iki açıklaması olabilirdi: okyanusların soğuyarak büzüşmesi ya da okyanusların kütle

kaybetmesi. GRACE uydularının topladığı veriler La Niña sebebiyle Avustralya'nın, Güneydoğu Asya'nın ve Güney Amerika'nın kuzey kısımlarının aşırı miktarda yağış aldığı ve böylece okyanuslardaki su miktarı azalırken karaların kütle kazandığını gösterdi. Değişim okyanusların soğumasından değil kütle kaybetmesinden kaynaklanmıştı. 2012 yılında La Niña etkisi sona erdi ve deniz seviyeleri önceki dönemde olduğu gibi tekrar yükselmeye başladı.

GRACE uydularının görevi 2017 yılında sonlandı. Ancak uyduların üstlendiği görev çok önemli olduğu için NASA 2011 yılında GRACE'in devamı niteliğinde yeni bir projeye başlamıştı. Bu proje kapsamında üretilen ve GRACE Follow-On (GRACE-FO) olarak adlandırılan uydular, Mayıs 2018'de uzaya gönderildi ve günümüzde veri toplamaya devam ediyorlar. GRACE-FO uydularının en azından 5 yıl boyunca görev yapması planlandı. Uyduların selefleri kadar uzun süre görev yapmasının mümkün olup olmayacağıysa 2019 yılında başlayacağı tahmin edilen bir sonraki Güneş döngüsünün ne kadar güçlü olacağına bağlı.

Güneş'in daha etkin olduğu dönemlerde Dünya'ya ulaşan morötesi radyasyon artıyor ve bu durum atmosferin şişmesiyle sonuçlanıyor. Böylece uydulara daha fazla hava sürtünmesi etki ediyor ve daha hızlı bir biçimde irtifa kaybediyorlar. Üstelik uydular irtifa kaybettikçe uydulara etki eden sürtünme kuvveti de giderek artıyor. Bu süreç, uydular hava sürtünmesi sebebiyle aşırı derecede ısınıp yanarak yok oluncaya kadar devam ediyor. GRACE-FO uydularının yanarak yok olmadan önce ne kadar görev yapabileceği de büyük oranda Güneş etkinlikleri tarafından belirlenecek.



Güney Amerika

Bu kıtada önemli miktarda KSS değişikliği olduğu tespit edilen dört bölge var.

Patagonya'daki (23. bölge) buzullar yıllık ortalama $25,7 \pm 5,1$ milyar ton kütle kaybediyor. Küresel iklim değişikliği sebebiyle Dünya ısınmaya devam ettikçe bu buzullar yavaş yavaş yok olacak.

Arjantin'in orta bölgesindeki (24. bölge) kütle kaybı, kısmen Şubat 2010'da Şili'de meydana gelen 8,8 büyüklüğündeki depremde kaynaklanıyor. Bu bölge 1999-2004 döneminde yüksek miktarda yağış aldığı için GRACE gözlemlerinin başladığı dönemde KSS fazlası vardı. 2009'dan sonraysa birkaç yıllık kuraklık başladı. Her ne kadar incelenen dönemde ortalama olarak kütle kaybı yaşanmış olsa da 2014-2015 dönemindeki yüksek ya-

ğışlardan sonra bölgedeki KSS artmaya başladı. Bölgenin zamanla normal koşullara döneceği tahmin ediliyor.

Brezilya'nın ortasını ve batısını içine alan bölge (25. bölge) ile doğusunu içinde alan bölgedeki (26. bölge) KSS değişimleri de Arjantin'in orta bölgesinde gözlemlenen değişimler gibi büyük oranda doğal sebeplerden kaynaklanıyor. GRACE uydularının veri topladığı dönemde Brezilya'nın orta ve batı bölgelerinde, önce normalden az, daha sonra normalden fazla yağış görüldü. Brezilya'nın doğusunda 2012, 2014 ve 2015 yıllarında kuraklık vardı. Bölgedeki yağışlar normale döndükçe KSS'de gözlemlenen değişimlerin ortadan kalkacağı tahmin ediliyor.





Afrika

Afrika kıtasının altı ayrı bölgesinde KSS'nin önemli oranda değiştiği görülüyor. Bu değişimlerin beşinde doğal süreçlerin, birindeyse insan etkinliklerinin önemli oranda etkili olduğu anlaşılıyor.

Güney Afrika'daki Zambezi Havzası'ndaki (27. bölge) KSS'de önemli artış görülüyor. İncelenen dönemde bu bölgedeki KSS her yıl ortalama 29,5±3,5 milyar ton artmış. 1979-2005 döneminde bu bölgenin aldığı yıllık yağış miktarı 970 milimetrenin altındaydı. Ancak 2006-2011 döneminde bu eşik beş kez aşıldı. Eldeki veriler, bölgenin 1970-2000 arasında uzun bir kuraklık döneminden geçtiğini gösteriyor.

GRACE verileri, Tanganyika ve Viktorya göllerini de içine alan Beyaz Nil ve Mavi Nil nehirleri bölgesinde de (28. bölge) KSS'nin arttığını gösteriyor. İncelenen dönemde bu bölgedeki yıllık ortalama artış 21,9±3,9 milyar ton. Tanganyika ve Viktorya göllerindeki su seviyesi 2006 yılında incelenen dönemdeki en düşük seviyeye inmiş. Ancak daha sonra her iki göldeki su seviyesi de her yıl ortalama olarak, sırasıyla 62 milimetre ve 40 milimetre artmış. Gözlemlenen değişimler büyük oranda bölgenin aldığı yağıştan kaynaklanıyor. Ancak bölgenin kuzey kısmında kurulan barajın da önemli katkısı var. Ayrıca bölgede yapımı devam eden büyük bir baraj var. Baraj inşaatı tamamlandıktan sonra 74 km³'lük rezervuarında su tutmaya başladığında bölgedeki KSS'nin artması bekleniyor.

İncelenen dönemde tropik Afrika'nın batısında (29. bölge) KSS'nin yılda ortalama 24,1±2,1 milyar ton arttığı görülüyor. Bölgenin aldığı yağış miktarı 2000-2002 döneminde normalin %3 altında, 2002-2016 dönemindeyse normalin %3 üzerindeydi. KSS'de gözlemlenen değişim de bölgeye düşen yağış miktarındaki bu salınımlardan kaynaklanıyor.

Orta Afrika kıyılarıyla Kongo Nehri havzasını içine alan bölgede (30. bölge) KSS'nin yıllık ortalama 7,2±1,0 milyar ton azaldığı görülüyor. Bu durumun büyük ölçüde doğal değişimlerden kaynaklandığı tahmin ediliyor. Ancak bölgedeki orman tahribatının da yüzey sularının kaybını hızlandırdığı düşünülüyor.

Doğal sebeplerden dolayı KSS'nin azaldığı bir başka bölge Afrika'nın güneydoğu kıyıları (31. bölge). İncelenen dönemde yıllık ortalama 12,9±2,3 milyar ton kütle kaybı var. GRACE uydularının veri topladığı dönemde bölgedeki yağış miktarı normalin %4 altındaydı. Bölgenin merkezinde yer alan Malawi Gölü'ndeki su seviyesi de bu dönemde yıllık ortalama 78 milimetre azaldı.

Afrika'da insan etkinlikleri sonucunda KSS'de önemli değişimlerin gözlemlendiği tek bölge 19. enlemin kuzeyi (32. bölge). İncelenen dönemde bölgeye düşen yağış miktarı normalin %7 üzerindeydi. Buna rağmen bölgedeki KSS yıllık ortalama 11,9±2,9 milyar ton azaldı. Bu durum sulu tarımda kullanılan yer altı sularına bağlı olarak.



Avustralya

Ne insan etkinlikleri ne de küresel iklim değişikliği sebebiyle KSS'de önemli değişimlerin gözlemlenmediği tek kıta Avusturalya. Elde edilen veriler kıtanın bir bölgesindeki (33. Bölge) su kütlesinin giderek arttığını, bir başka bölgesindeki (34. bölge) su kütlesininse giderek azaldığını gösteriyor.

Kıtanın doğusunda 2001-2009 arasında son yüzyılın en kurak dönemi yaşandı. Bu dönemde yüzey sularının azalması, yer altı sularının daha fazla tüketilmesine yol açtı. Kuraklık 2010'dan sonra sonlandı. Hatta 2011 yılındaki aşırı yağışlar sellere sebep oldu. Kıtadaki karasal su miktarının artması 2012 yılında deniz seviyelerinin geçici olarak alçalmasına sebep oldu.



Avusturalya'nın kuzey batısı, 1997-2001 döneminde normalin üstünde yağış almıştı. Bu yüzden GRACE gözlemlerinin başladığı 2002 yılında bölgedeki KSS normalin üzerindeydi. Gözlem yapılan dönem sırasında bu bölge yılda ortalama $8,9 \pm 1,2$ milyar ton su kütlesi kaybetti ve KSS ortalama seviyeye geri döndü.

Sonuç

GRACE uydularının topladığı verilerin analiz edilmesiyle elde edilen sonuçlar dünya genelinde tatlı sularda meydana gelen değişimleri açıkça ortaya koyuyor.

Bu değişimlerin bazıları -örneğin Orta Doğu'dakiler, Kuzey Hindistan'dakiler ve Kuzey Çin Düzlükleri'ndekiler- insan etkinliklerinden kaynaklanıyor ve bugün zaten kıymetli olan kısıtlı su kaynaklarının gelecekte daha da kıymetli hâle geleceğini gösteriyor. Değişimlerin bazıları -örneğin kutuplardaki ve Patagonya'daki buzul kayıpları ve kuzey enlemlerdeki su artışı- küresel iklim değişikliği sebebiyle giderek ısınan bir dünyada olması beklenen değişimlerden. Bazı değişikliklerse doğal süreçlerden kaynaklanıyor ve zamanla tersine dönmesi bekleniyor.

Su, insanların en temel ihtiyaçlarından biri ve o kadar kıymetli ki gelecekte devletler arasında sorunlara bile sebep olabilir. Özellikle Kuzey Çin Düzlükleri, Kuzey Hindistan ve Orta Doğu'daki durum çok ürkütücü. Gelecekte suyun sebep olabileceği sorunların önüne geçmenin yolu mevcut su kaynaklarını iyi idare etmekten ve belki de uluslararası su paylaşım anlaşmaları yapmaktan geçiyor.

Yeryüzünün pek çok bölgesinde yer altı suları sürdürülemez bir hızla tüketiliyor. Nüfusun arttığı ve iklimin değiştiği bir dünyada su tasarrufu sağlayan teknolojilere de ihtiyaç var. Örneğin İsrail kurak bir iklimde bulunmasına rağmen hem teknolojik önlemlerle hem de iyi yönetimle su kaynaklarını idare etmeyi başarıyor. Benzer biçimde Suudi Arabistan ve Hindistan'ın bazı bölgelerinde de su tasarrufu yöntemlerinin başarılı olduğunu gösteren işaretler var.

Günümüzde beş milyar civarında insan su kıtlığı yaşanması muhtemel bölgelerde yaşıyor. Üstelik nüfus artışı ve küresel iklim değişikliği sebebiyle durumun giderek daha da kötüleşeceği aşikâr. Yirmi birinci yüzyılın en önemli çevre sorunlarından biri, su kaynaklarının sürdürülebilir biçimde idare edilmesi olabilir. ■

Kaynaklar

Rodell, M. ve ark., "Emerging trends in global fresh water availability", *Nature*, Cilt 557, s. 651-659, 2018.

Boening, C. ve ark., "The 2011 La Nina: So strong, the oceans fell", *Geophysical Research Letters*, Cilt 39, Makale No: L19602, 2012.

Stephens, Marris, "Weighing water from space", *Physics World*, <https://physicsworld.com/a/weighing-water-from-space/>, 7 Mayıs 2019.

