



Her yaz olduğu gibi o yaz da, tatilde memleketinize, deniz kenarına gittiniz. Küçüklüğünüzden beri bir dinozora benzettiğiniz kaya sırasının en ucundaki gizli yeriniz, şansınıza bu yıl da keşfedilmemiş. Bir yandan, ıslatmamaya özen gösterdiğiniz kitabınızı okurken bir yandan da, suya soktuğunuz ayaklarınızı dansettiriyorsunuz. Aklınıza yine burada okuduğunuz ilk kitabınız geliyor, o zamanlar herşeyin ne kadar farklı olduğunu düşünürken bir şey aklınıza takılıyor. Sanki o zamanlar, bu dinozorun kuyruğunda bir kaya parçası daha yok muydu? Sonra deniz feneri, küçüklüğünüzden beri geceleri ışığını hayranlıkla seyrettiğiniz deniz feneri dalgalara daha mı yakın duruyor ne? Bir huzursuzluktur kaplıyor içinizi. Acaba buzulların erimesi, küresel ısınma ve denizlerin yükselmesiyle ilgili büyük puntolarla yazılan haberler doğru mu gerçekten? Hemen sahile dönüp bir yerden bir hesap makinesi buluyorsunuz. Her yıl deniz 1 mm yükselse neler olur acaba? Türkiye'nin kıyıları yaklaşık 8700 km ise bu 1 mm'lik yükselme sonucunda neler olabilir, bulmaya çalışıyorsunuz. 70 yılda acaba ne kadar toprak yitirdik? Son okuduğunuz haberler ve yaptığınız kaba hesaplar bir parça da olsa içinizi rahatlatıyor. Denizler yükseliyor yükselmesine, ancak düşünüldüğü ya da abartıldığı kadar hızlı değil. Rahat bir nefes alıyorsunuz ve doğru denize...



Son yıllarda en çok tartışılan konulardan biri küresel ısınma. Endüstri devriminden bu yana atmosfere hızlı bir biçimde salınan CO₂ miktarıyla ilgili gözlemler, bunun küresel ısınmaya katkısının 1860'dan bu yana 0,3-0,6°C'lik bir yükselme olduğunu gösteriyor. Peki bu yükselme beraberinde neleri getirecek? Deniz seviyelerinde hızlı bir artışın habercisi olduğu düşünülen küresel ısınmayla ilgili araştırmalar, aslında gerçek değer beklenenden daha düşük olduğunu ve deniz seviyelerindeki yükselmelere insan etkisinin düşünülenenden daha az olduğunu gösteriyor. 20. yüzyıldaki deniz seviyesi yükselmesinin küresel ölçekte yılda 0,7 mm olduğu belirlenmiş durumda. Ancak, yerel bazda hâlâ felaket senaryoları ciddiyetini koruyor. Özellikle kıyı şeritlerindeki ülkelerin ve adaların, gelecekte deniz seviyelerindeki yükselmelerden paylarını alacağı düşünülüyor. Dünya nüfusunun neredeyse %20'sinin kıyı şeritlerinde yaşıyor olması ve ülke ekonomilerinin önemli bir kısmının bu alanlarda yapılan etkinliklerden sağlanıyor olması, olayın ciddiyetini daha da artırıyor. Tehdit altındaki ülkelerden biri de Türkiye. Ancak, deniz seviyesi ölçümleri çok uzun zaman dilimlerini kapsamadığından Türkiye'nin bu süreçten nasıl etkileniyor olduğu ve gelecekte de nasıl etkileneceği hâlâ büyük bir soru işareti...

Deniz seviyeleri, temelde iklimsel değişimlerden etkileniyor. Bu değişim, saniyelerden milyonlarca yıla kadar ge-

niş aralıkta zaman dilimlerinde gerçekleşebiliyor. Bunda en büyük etken, okyanusların, sıcaklığın artmasına bağlı hacimsel genişlemeleri. Geçtiğimiz yüzyıllarda okyanus sularının hacimsel değişimine bağlı olan deniz seviyesi değişiminin, 0,1-0,2 metre olduğu düşünülüyor. Okyanusların ısı tutma kapasitelerinin çok büyük olmasından dolayı, iklimin sabitlenmesinden yüzyıllarca sonra bile termal genişlemenin devam edeceği düşünülüyor. Buzullar ve buz kütlelerinin de sıcaklık artışına bağlı olarak erimeleri ve bunun sonucunda da deniz seviyelerinin yükselmesi bekleniyor. İklim değişiminin, buzullardaki ve kutup buz başlıklarındaki donmuş suyun miktarını, erime ve buharlaşma sonucu azaltması bekleniyor. Karada tutulan suyun döngüsü de, okyanus kütesini ve deniz seviyelerini etkiliyor. Yeraltı suyunun çıkarımı ve su depolarında suyun biriktirilmesi gibi etkinlikler bile deniz seviyelerine etkili. Tüm bu faktörlerin deniz seviyeleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde birçok yöntem kullanılıyor. Mareograf istasyonları ölçümleri, uydu verileri ve modellemeler bunların belli başlıları.

Okyanuslardaki Değişimler

Okyanus seviyesindeki değişimler, atmosfer basıncı ve havayla suyun etkileşimlerinden, ısı ve tatlı su döngüsünden (yağış, buharlaşma ve karalardan

nehirler yoluyla denizlere taşınan sular) kaynaklanıyor. Okyanuslar ısındıkça, yoğunlukları azalır ve bu yüzden de okyanusların hacimleri artmaya başlar. Bu, 20. ve 21. yüzyıldaki deniz seviyesi değişimlerine en önemli etken. Yüksek sıcaklıktaki ya da yüksek basınç altındaki (okyanus derinliklerindeki) sular, ısınmadan dolayı daha çok genişlediklerinden ortalama küresel genişleme, okyanusların içinde ısının dağılımından da etkileniyor. Yükselen sıcaklıkların tüm etkilerinin okyanus derinliklerine yansması uzun zaman sürüyor. Ayrıca, araştırmacılar, sıcaklık yükselmelerinden dolayı okyanusların, birer CO₂ deposu olma özelliklerini de kaybedebileceklerini öngörüyorlar. Çünkü suyun sıcaklığıyla CO₂ tutma kapasitesi ters orantılı. Yani, okyanus sularının ısınmasıyla depolanmış olan CO₂ hızlı bir biçimde atmosfere verilmeye başlanabilir; bu da büyük olasılıkla ısınma sürecini daha da hızlandıracak bir döngüye saplanılmasına neden olabilir. Okyanuslarda tuzluluk oranındaki değişimler de, yoğunluğu etkiler. Ancak, tuzluluk değişiminin etkisi yerel bazda ciddiyet kazanır; küresel ölçekte bu etki çok küçüktür.

Okyanuslarla ilgili uzun dönemli ölçümlerin olmayışı, eğilimlerin belirlenmesini güçleştiriyor. Atlas ve Pasifik okyanuslarının kuzeyinde bazı araştırmalar yürütülmüş; ancak, bunların çok azı uzun dönemli. Kuzey Atlantik üzerine 73 yıldır süregelen incelemeler, okyanusun neredeyse sabit bir hız-

la ısındığını ve buna bağlı olarak deniz seviyelerinin yükseldiğini gösteriyor. Büyük Okyanus ve Hint Okyanusu'na ait veriler de çok kısa dönemli olduğundan gözlenen değişimler kısa dönemli oynamalardan fazlasını yansıtmıyor olabilir. Isınmadan kaynaklı deniz seviyesi yükselmelerine en büyük kanıt, Atlas Okyanusu'nun kuzey sularından geliyor. 1955-95 dönemi için yapılan hesaplamalar, okyanusların su seviyelerinin, ısınmaya bağlı olarak yılda 0,55 mm'lik bir hızla yükseldiğini gösteriyor. Ancak tüm bu modellerin geliştirilebilmesi için okyanusların iç döngülerinin anlaşılması ve bununla ilgili verilerin modellemelere aktarılabilmesi gerekiyor. Bunun sonucunda, deniz seviyesindeki ve okyanus sıcaklıklarındaki eğilimlerin doğal iklim değişkenliğinden daha büyük olmadığı anlaşılabilir. 1990-2100 yılları arası deniz seviyesi yükselmesine yönelik öngörüler, sıcaklığa bağlı termal genişlemelerin 21. yüzyıl boyunca 0,11-0,43 metrelik bir yükselmeye neden olacağı şeklinde.

1990'lı yıllarda California Üniversitesi'nin Scripps Araştırma Enstitüsü denizbilimcilerince okyanuslara yerleştirilen robot donanmadan elde edilen veriler, Antarktika'yı çevreleyen okyanusun öteki okyanuslardan çok daha hızlı bir biçimde ısındığını ortaya çıkardı. Farklı yerlerden toplanan verilerle yapılan karşılaştırmalar, son 50 yıldır belirgin bir ısınma sürecinin yaşandığını gösteriyor. Bu su kütlesi, küresel iklim koşullarında kilit bir role sahip. Kıtasa bir sınırlayıcısı olmayan bu okyanus, bir taşıma kayışı görevini görüyor; iklim sinyallerini Büyük Okyanus, Atlas ve Hint Okyanusları'na taşıyor. İklimsel olarak bu okyanusun çok hassas bir bölge olduğunu açıklayan araştırmacılar, Antarktik Okyanusu'nda gerçekleşenlerin, küresel boyutta bilgi sağlayacağını da vurguluyorlar. Toplanan verilere göre, 1930- 1950 yılları arasında belirgin bir sıcaklık değişimi görülmezken, en hızlı ısınma dönemi, 1950 ve 1960 yılları arasına rastlıyor. Okyanusun 700-1100 metre derinliğinde, 1950'den bu yana 0,17°C'lik bir ısınma gözlemlendi. Bu artış, küresel eğilimin iki katından da fazla. Bunun nedeninin, Antarktika çevresinde hareket eden soğuk okyanus akıntılarının (Antarktik Dolaykutupsal Akıntısı), sıcaklıkların

yükselmesine bağlı olarak, kıtanın çevresinden güneye kaymasıyla ilişkili olduğu tahmin ediliyor.

Buzullar ve Kutup Buz Başlıkları

Grönland ve Antarktik buz kütleleri dışındaki buzullar ve kutup buz başlıklarındaki su miktarı, dünya deniz seviyelerinin 0,5 metresine eşdeğer. Buzullar ve buz tepeleri, iklim değişimine karşı çok duyarlılar; kütlelerinde ani değişimler gerçekleşebiliyor. Bu, deniz seviyelerinin yükselmesine önemli ölçüde katkıda bulunabilir. Bu katkının hesaplanabilmesi için, buzulların toplam kütlelerinin değişim oranlarının bilinmesi gerekiyor. Ancak, tüm dünyada

toplam alanları 680.000 km²'ye ulaşan 160.000'in üzerinde buzul ve 70 kadar da buz tepesi bulunuyor ve bunların yalnızca çok küçük bir kısmında bu değişim gözleniyor.

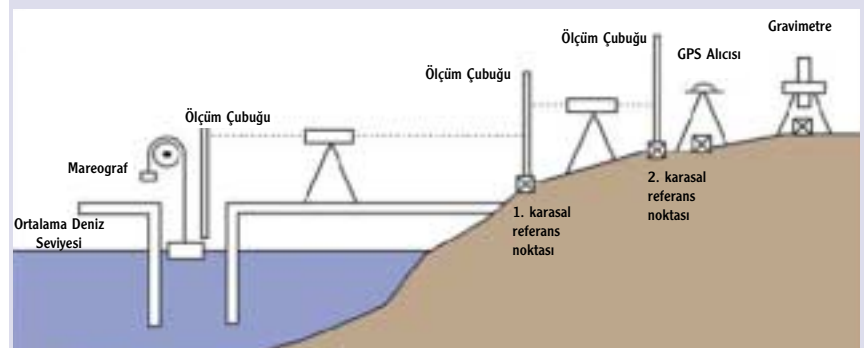
20. yüzyıldan bu yana dünyanın neredeyse bütün bölgelerindeki buzul kütlelerinde azalma eğilimi gözlenirken, Yeni Zelanda ve İskandinavya'nın güneyindeki buzullar büyüyorlar. Bu da iklimsel değişimlerin yerel etkilerinin farklı olabileceğine iyi bir örnek. 1961-1990 döneminde buzulların deniz seviyelerine etkileri, yıllık yaklaşık 0,25 mm olarak gözlemlendi. Hem kütle değişim gözlemleri, hem de sıcaklık değişimlerine dayanan tahminler, yakın geçmişte buzulların ve buz tepelerinin kütlelerinde azalma olduğunu ve bunun sonucunda da, son yüzyıllardan

Mareograf İstasyonları

Deniz seviyesi değişimlerini belirlemede bundan 10 yıl öncesine kadar yalnızca mareograf istasyonlarından elde edilen veriler kullanılıyordu. Genelde limanlara yerleştirilen bu istasyonlarda, yakınlardaki sabit bir kara noktasını referans alarak düzenli bir biçimde deniz seviyesi ölçümleri yapılıyor. Tüm dünyadaki istasyonlardan toplanan veriler İngiltere'de bir veri bankasına giriliyor. İşleyiş biçimi açısından çok tutarlı görünse de, aslında bu yöntem beraberinde birçok sorunu da getiriyor. Temel sorun, tüm dünya deniz ve okyanuslarındaki ölçümleri yapacak kadar yaygın bir istasyon ağının bulunmaması. Ayrıca, yapılan ölçümlerin yalnızca çok azı sağlam bir öngörü için gerekli en az 50 yıllık veriye sahip. Üstelik, düşünülünce, bin yıllarca sürede kendini dışarı vuran genel iklim eğilimlerinin yanında bu bile çok kısa bir zaman dilimi. Örneğin, Türkiye'de Akdeniz, Ege ve Marmara denizlerinde yalnızca 18 yıldır ölçümler yapılıyor. Her geçen gün bu istasyonlara bir yenisinin ekleniyor olması, gelecekteki çalışmalar açısından gerçekten de umut verici. Ancak, teknik açıdan da bu ölçümlerin bir takım sorunları var. Dünya milyarlarca yıldır evrimleşiyor ve bununla birlikte kıta hareketleri devam ediyor. Bu istasyonların karasal bir referans noktasını temel almaları da bu noktada sorun yaratıyor. Çünkü karalar da, yer de-

ğiştirebiliyor. Bu, tektonik hareketlerle ya da buzul kütlelerinin erimesi sonucu, üzerindeki basınç azalan yerkabuğunun yükselmesiyle gerçekleşebiliyor. Hareketsiz olarak kabul edilen referans noktaları, aslında deniz seviyeleri kadar değişkenlik gösterebildiğinden, bu hareketin düzgün bir biçimde saptanarak ölçümlerin bu veriler doğrultusunda düzeltilmesi gerekiyor. Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) de işte bu noktada devreye giriyor. Düşey yer kabuğu hareketlerini milimetrik duyarlılıkta veren bu ölçüm biçimiyle, mareograf ölçümlerindeki hatalar düzeltililebiliyor.

Ülkemizde deniz seviyesi ölçümleri, Harita Genel Komutanlığı'nca "Türkiye Ulusal Deniz İzleme Ağı" projesi çerçevesinde, Antalya, Bodrum, Erdek, Menteş/İzmir, Erdek/Balıkesir ve Amasra/Bartın'da olmak üzere 5 ayrı mareograf istasyonundan elde ediliyor. Bu veriler düzenli bir biçimde İngiltere'deki veri bankasına gönderiliyor. 1984'ten bu yana faaliyette bulunan istasyonlarda, deniz seviyesi ölçümlerinin yanısıra atmosfer basıncı, hava sıcaklığı, rüzgar yön ve şiddeti ve bağıl nem ölçümleri de yapılıyor. İstasyonların referans aldıkları kara noktalarının hareketleri de hassas jeodezik tekniklerle izleniyor. Ayrıca, periyodik GPS ölçümleriyle de bu hareketlerin ölçümleri belirleniyor.



bu yana küresel deniz seviyesinin yıllık 0,2-0,4 mm oranında yükseldiğini gösteriyor.

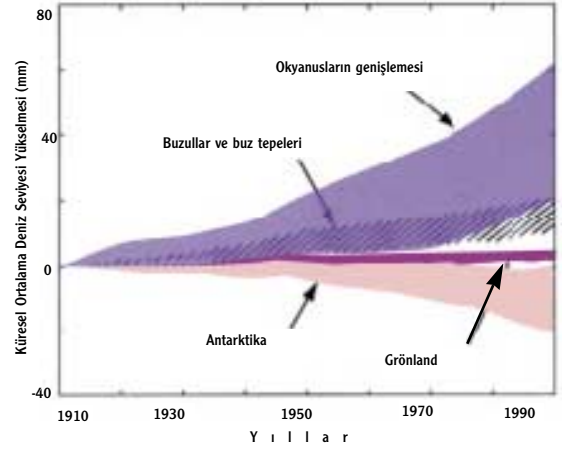
Grönland ve Antarktik Buz Kütleleri

Grönland ve Antarktika, deniz seviyelerini toplamda 70 metre yükseltebilecek su içeriyor ve alanları sırasıyla 1.710.000 km² ve 12.370.000 km². Başka bir deyişle, hacimlerindeki ufak bir değişimin bile ciddi etkileri olabilir. Buz kütlelerine düşen ortalama yıllık kar, 6,5 mm'lik deniz seviyesi yükselmesine eşdeğer su içeriyor. Ancak bu, erime ve buzulların parçalanması gibi olaylarla dengeleniyor. Bu olaylar arasındaki denge her iki buzul kütlesi için de çok farklı. Antarktik sıcaklıkları çok düşük olduğundan neredeyse hiç yüzey akışı yok ve buz kütlesinin kütle kaybı, temelde parçalanma yoluyla gerçekleşiyor. Ana kütleden ayrılan parçalar deniz üzerinde hareketlerini sürdürüyorlar. Ve süreç içindeki donma ve erimeden dolayı daha da parçalanarak buzdağlarına dönüşüyorlar. Grönland buzul kütlesinin yaz sıcaklıkları çok daha yüksek olduğundan, kütle kaybının neredeyse yarısı erimeden kaynaklanıyor.

Yapılan tahminler, Grönland'ın buz kütlesinin, toplam su girdisinin %8,5'u ölçüsünde azaldığını ve bunun da deniz seviyelerinde yıllık yaklaşık 0,12 mm'lik bir yükselmeye neden olacağını gösteriyor. Antarktika için yapılan hesaplamalarsa, buzul kütlesinin, toplam su girdisinin %10'u ölçüsünde arttığını ve bunun deniz seviyelerinde yıllık yaklaşık 0,5 mm'lik bir düşüşe neden olacağını gösteriyor. Ancak bu hesaplamalarda hata paylarının olduğunu unutmamak gerek.

Uzun dönemli modellemelerse, 1990-2100 yılları arası deniz seviyesinin Grönland'ın etkisiyle -0,02-0,09, Antarktik'in etkisiyle de -0,17-0,02 metre değişeceğini gösteriyor. Ancak, Batı Antarktika buz kütlesinin dengesiz yapısı, tüm bu kuramların çürütmesine ve deniz seviyelerinin hızlı bir biçimde yükselmeye başlamasına neden olabilir.

Batı Antarktika buz kütlesi, deniz seviyelerinin 6 metre yükseltecek kadar su içeriyor. Bu buzul kütlesinin bu kadar ilgi çekmesinin nedeni, Antarktik buzul kütlesinin en hareketli kısmı olmasından kaynaklanıyor. Batı Antarktika buzul kütlesinin büyük kısmı



nın sualtında olmasının etkilerini modellemeye çalışan araştırmacılar, bu durumun çevredeki suların akımında düzensizliklere ve kütleli çevreleyen buzulların zayıflamasıyla büyük parçaların buzuldan kopmasına yol açacağını düşünüyorlar. Bu durum da deniz seviyelerinin yükselmesine neden olacak gibi görünüyor.

Jeolojik kanıtlar, geçmiş bir milyon yıl içinde, Batı Antarktika buz kütlesinin, en az bir kez günümüzdekinden daha küçük hale gelmiş olduğunu gösteriyor. Ancak bu kütlenin gelecekteki iklim değişimleri sonucunda tümüyle denize gömülmesi olasılığı hâlâ bir tartışma konusu. Gözlemler, %98 olasılıkla buzul kütlesinin, önümüzdeki 100 yıl içinde parçalanmayacağını gösteriyor. Küresel ısınma, kütlenin parçalanmasına neden olsa da bunun sonuçları ancak yüzbınlerce yıl içinde oluşacak.

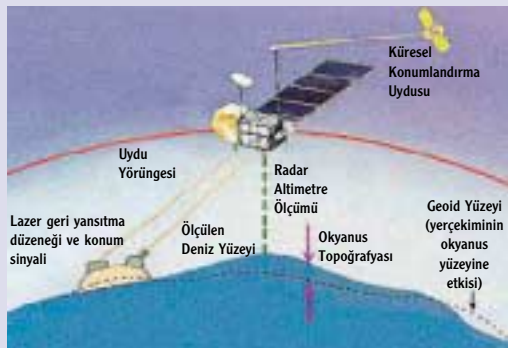
Buzul kütleleri, geçmiş buzul ve buzul sonrası dönemlerindeki iklim koşullarına uyum sağlamaya devam ettiklerinden, gelecekteki davranışlarını belirlemek için geçmiş davranışlarından yola çıkılıyor. Yükselen CO₂ miktarları gözönüne alınarak yapılan hesaplamalara göre 1990-2100 arasındaki dönemde Grönland'ın etkisiyle deniz seviyelerindeki değişim 80-100 milimetreyken, Antarktik buzul kütlesinin etkisiyle deniz seviyelerindeki değişim -80 mm. Görüldüğü gibi, bu iki dev buzul kütlesinin toplam etkileri birbirlerini dengeleyici olabiliyor. Ancak, ısınma artmaya devam ederse Antarktika ve Grönland'ın birbirlerini dengeleyici davranışlarının sürmeyeceği ve ikisinin de erimeye başlamasıyla deniz seviyelerinin yükseleceği tahmin ediliyor. Eğer dünya üzerindeki tüm buz kütleleri erirse, deniz seviyeleri tam 70 metre yükselecek, bunun sonucu da tam bir felaket olacak.

Uydular

On yıl önce, deniz seviyesi yükselmelerinin belirlenebilmesi için kullanılan tekniklere bir yenisi eklendi. Uyduları, mareograf istasyonlarının ölçümlerine hem bir alternatif, hem de bir doğrulayıcı olma özelliğini taşıyor. Örneğin, Dünya'nın kütle merkezini temel alan Topex/Poseidon uydusu tarafından yapılan ölçümler, milimetrik temelde bilgi sağlayabilir. Dünyadaki tüm deniz ve okyanuslarla ilgili 10 günlük aralıklarla veri toplayan bu uydular, hem tüm dünya denizlerini tarayabildiği, hem de düşey yer kabuğu hareketlerinden etkilenmediği için güvenilir sonuçlara ulaşmada mareograf istasyonlarına göre çok daha fazla umut vaat ediyor.

Elde edilen veriler de çeşitli modellemelerde kullanılıyor. Yakın gelecekteki olası deniz seviyesi yükselmelerini ortaya çıkarmayı hedefleyen modellemeler, gerek işleyiş prensipleri, gerekse kullandıkları verilerin farklı bölgelerden ve farklı zaman dilimlerinde olması nedeniyle birbirlerinden çok farklı senaryolar üretiyorlar. Modellemeler, günümüzde denizlerin yükselme eğilimlerinde herhangi bir hızlanma ya da yavaşlama

olup olmadığını belirlemede, geçmiş jeolojik zaman dilimlerindeki seviye değişimlerini temel alıyor. Geçmiş iklim değişimlerinin belirlenmesinde, genellikle buzullardan alınan örneklerde imza bırakmış olan atmosfer özelliklerine bakılıyor. Ayrıca, jeolojik araştırmalar da bu konuda bilgi sağlıyor. Kıta hareketlerinin belirlenmesinde o dönemlerden kalma canlı fosillerinden yararlanılıyor. Bugün deniz seviyesinden yüzlerce metre yukarıdaki tepelerde deniz canlılarına ait fosillerin bulunması, geçmiş jeolojik dönemlerde bu alanların denizel sistemlerin birer parçası olduklarını gösteriyor. Kıta hareketleri sonucunda su yüzeyine çıkan bu alanların fosiller aracılığıyla tarihlenilmesiyle de, kıta hareketlerinin zamanları saptanabiliyor.



Ancak bu bile geçmiş jeolojik dönemlerde yaşanmış olan büyük değişimlerin yanına bile yaklaşmıyor.

Karalar

Tüm bu etkenlerin yanı sıra, karasal sistemlerin su tutma kapasitelerindeki değişimlerin de deniz seviyelerini uzun dönemde etkileyeceği düşünülüyor. Ancak karasal su tutma kapasitesi hâlâ diğer etkenler kadar iyi anlaşılmış değil. Bu değişimin bir nedeni, yeraltı suyunun, birikmiş olduğu katmanlardan yoğun bir biçimde çıkarılması ve tüketilmesi. Göl sularının tarımsal faaliyetlerde kullanılmak üzere yoğun miktarda kullanılması da, buharlaşma sonucunda suyun okyanuslara geri dönmesiyle, yıllık 0,03-0,18 mm yükselmeye neden oluyor. Ancak bazı araştırmacılar, tarımsal faaliyetlerde kullanılan suyun okyanuslara değil, yeraltı sularına geri döndüğünü, bu yüzden de deniz seviyesine herhangi bir katkının olmadığını öne sürüyorlar. Ağaçlık alanların tahrip edilmesi yüzünden deniz seviyesinin yılda yaklaşık 0,14 mm yükseldiği tahmin edili-



yor. Permafrostun erimesinin de, deniz seviyelerine etkili olduğu sanılıyor. Tüm bu etkenlerle birlikte 1910-1990 arası karasal sistemlerin su tutma kapasitelerindeki değişimlerin, deniz seviyesi değişimine -1,1-0,4 mm/yıl'lık bir katkıda bulunduğu tahmin ediliyor. Ancak, diğer etkenlerde olduğu gibi, karasal su tutma kapasitesindeki değişimlerin yerel etkilerinin, küresel ölçekte çok farklı olabileceği kabul ediliyor.

Bizi Neler Bekliyor?

Tüm bu faktörlerin etkilerinin birleşmesiyle gerçekleşecekler konusunda aslında araştırmacılar hâlâ ortak bir noktaya varmış değil. Bu konuda en saygı duyulan bilgileri içeren IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişimi Pane-

li) üçüncü ve sonuncu raporunda, 20. yüzyıldaki deniz seviyesi yükselmelerinin küresel olarak yaklaşık 0,7 mm/yıl olduğunu açıkladı. Aslında 20. yüzyıldaki deniz seviyelerindeki genel yükseliş, mareograf istasyonlarının toplanan veriler ışığında 1-2 mm/yıl olarak açıklanmıştı. Bu büyük farkın temelinde, daha önce bahsettiğimiz ölçüm hatalarının yanı sıra, yerel farklılıklar da yatıyor.

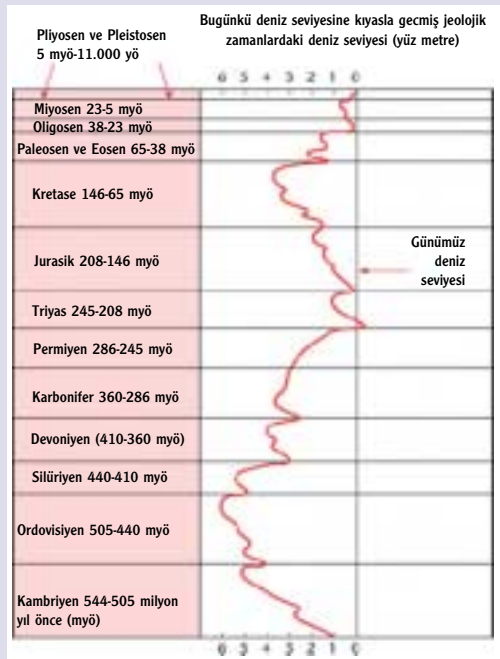
Mareograflarca toplanan veriler o bölge için sağlıklı sonuçlar verse de, yerel verilerin küresel eğilimin ortaya çıkartılması amacıyla genelleştirilmesi, neredeyse iki katlık fark doğuruyor. Ancak uydu verileri, sağlıklı sonuçların elde edilmesini sağlıyor. Çok uzun ölçüm zamanlı birkaç mareografin veri setinden yola çıkılarak, 20. yüzyıldaki deniz seviyesi yükselmesinin ortalama oranının 19. yüzyıldakinden daha yüksek olduğu belirlendi. Mareograf istasyonlarının kayıtlarından yola çıkılarak elde edilen 20. yüzyıl deniz seviyesi yükselmeleri abartılı öngörüler olabilir. Rapora göre, tüm araştırmalar gözönüne alındığında 20. yüzyılda deniz seviyesi yükselme oranında herhangi bir artışın gözlenmediği ortaya çıktı.

Geçmiş Dönemlerdeki Deniz Seviyesi Değişimleri

Evrimini hâlâ sürdürmekte olan dünyada denizler bir zamanlar yükseldikleri gibi büyük oranlarda geri de çekildiler. Araştırmalara göre, geçmiş zaman dilimlerinde deniz seviyelerinin küresel olarak büyük yükselmeler gösterdiği iki temel dönem var: Ordovisiyen döneminin (505-440 milyon yıl önce) ve Kretase döneminin (146-65 milyon yıl önce) sonu. Bu dönemlerde deniz seviyeleri bugünkü deniz seviyelerinden yaklaşık 400-600 metre daha yüksekti. Bu dönemlerin her ikisi de, küresel olarak sıcaklıkların günümüzden çok daha yüksek oldukları dönemlerdi.

Kıtalar, bugünkü konumlarına gelmeden önce, tek bir parça halinde süperkıtaları oluşturuyorlardı. Kıtaların birbirlerinden ayrılmasıyla, deniz seviyelerinde yükselmeler gerçekleşti. Jeolojik zamanın belirli dönemlerindeyse, deniz seviyesinde büyük düşüşler yaşandı. Ancak, bu dönemlerin çoğunda deniz seviyeleri bugünkünden daha yüksekti. Kıtaların birleşme dönemlerinde de deniz seviyelerinde düşüşler gerçekleşiyordu. Süperkıta Pangea'nın olduğu geç Paleozoik'te kıtaların birleşmesi ve kıtasal levhanın yükselmesi sonucunda deniz seviyesi düşmüştü. Bir başka zaman diliminde de, örneğin Himalayaların oluşma sürecinde

Hint yarımadasının Asya'yı sıkıştırması sonucunda yükselen kıtasal levha, deniz seviyesinin düşmesine neden olmuştu.



Buzul dönemlerinde de deniz seviyelerinde büyük düşüşler yaşanmıştı. Buzullar, dünyanın dönme ekseninin, yörünge düzlemine olan eğimindeki değişimine bağlı olarak büyür ya da küçülürlerdi. Buna bağlı olarak, deniz seviyeleri de değişim gösterirdi. Son buzul döneminden bu yana yaklaşık 20.000 yıldır deniz seviyeleri yükselmeye devam ediyor. 15.000-6.000 yıl öncesinde deniz seviyesi yükselme oranı yılda 10 mm'ye çıktı. Son 6.000 yılda bu oran 0,5 mm/yıl, son 3.000 yılda 0,1-0,2 mm/yıldı. Eğer beklendiği gibi birkaç bin yıl sonra bu ısınma dönemi bitip tekrar bir buzul dönemine girilirse, deniz seviyeleri yeniden düşmeye başlayacak. Ancak bazı araştırmacılar küresel ısınmanın, buzulların normalden daha hızlı bir biçimde erimesine neden olduğunu öne sürüyorlar. Bazı tahminler, deniz seviyelerinin önümüzdeki birkaç on yılda 2-3 metre yükseleceğini öngörüyor. Bunun sonucunda da birçok kıyı şehrinin sular altında kalması bekleniyor. Deniz seviyesindeki 1 metrelik yükselmenin Uruguay'ın topraklarının %0,05'inin, Mısır'ın %1'inin, Hollanda'nın %6'sının, Bangladeş'in %17,5'inin kaybına neden olacağı düşünülünce, konunun ciddiyeti açıklık kazanıyor.

yor. Tüm bu gerçekler gözönüne alındığında, aslında 20 yüzyıldaki deniz seviyeleri yükselmelerinde genel eğilimin üzerinde, yani insan etkisi kaynaklı bir artış çıkmıyor. Ancak bunu kesin olarak bu şekilde ortaya koymanın da sakıncaları var. Gözönüne alınan tüm etkenler, küresel ölçekte birbirlerinin etkilerini dengelese de yerel bazda ele alındıklarında tüm tehditler varlıklarını koruyorlar. Başka bir deyişle küresel olarak normalin dışında bir değişim gözlenmese de, bu, yerel bazda farklılaşmaların olmadığı anlamına gelmiyor.

Peki ya Türkiye?

Türkiye'deki ölçümlerse küresel eğilimden oldukça farklı verileri içeriyor. Mareograflarca Antalya'da toplanan ölçümler, iki farklı karasal noktaya göre yıllık yaklaşık 8 mm'lik bir yükselme gösteriyor. Bu da, küresel eğilimin çok üstünde bir değer. Ancak burada yapılan GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) ölçümleri, karanın iki noktada farklı oranlarda çöktüğünü ve sonuçta da her iki noktaya göre Akdeniz'de deniz seviyelerinin yaklaşık 2,5 mm/yıl ile 4 mm/yıl oranında yükseldiğini gösteriyor. Erdek'te yapılan ölçümlerse, yaklaşık 9 mm/yıllık bir yükselme gösteriyor. Ancak kıtasal levhanın çökme hızı gözönüne alındığında bunun tam tersi bir eğilim ortaya çıkıyor; Marmara yılda yaklaşık 7 mm'lik bir hızla düşüyor. Menteş'teki ölçümlerse Ege'deki deniz seviyesinin yılda yaklaşık 2 mm'lik bir hızla yükseldiğini gösteriyor. Tüm bu veriler küresel eğilimle kıyaslandığında, yerel farklılıkların gerçekten de ne kadar etkili olduğunu gösteriyor. Karadeniz'deki farklı ülkeler tarafından yapılan araştırmalara daha da ilginç sonuçlar veriyor; Karadeniz genelinde deniz seviyesi yükselme eğiliminde. Ancak, doğu Karadeniz kıtasal levhasının çökmesinden dolayı bu bölgedeki deniz seviyesi yükselme eğilimi batı Karadeniz'e oranla daha fazla. Ancak unutmamak gerek ki, istasyonlardan alınan ölçümlerin zaman aralığı çok kısa olduğundan, bu oynamalar yalnızca kısa dönemli sapmalar olabilir ve gerçek eğilimi yansıtmayabilirler. Ayrıca, istasyon verileri uydu verileriyle karşılaştırılmadığından hâlâ bir yanılgı payı olabilir. Ayrıca, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de ve-



rilerin düzgün bir biçimde yorumlanabilmesi ve deniz seviyesi yükselmelerinin anlamlandırılabilmesi için, hem daha uzun dönemli verilere, hem de farklı uzmanlıklardan bilim adamlarının birarada çalışmalarına ihtiyaç var. Oşinograflar, jeofizikçiler, meteorologlar, jeodezi uzmanları, kıyı jeomorfologları ve diğer alanlardan uzmanlar, bu konudaki resmin bütünü oluşturulmasında farklı parçaları temsil ediyorlar.

Deniz seviyesi yükselmelerinin etkileri beşe ayrılıyor: Deniz seviyesinden düşük alanlara sel baskınları; kumsalların ve yamaçların erozyonu; tatlısu sistemlerine ve yüzey sularına tuzlusu karışması; su tablosunun yükselmesi; sellerin ve fırtınaların şiddetlerinin ve sıklıklarının artması. Deniz seviyesi yükselmelerinin yıkıcı örneklerinden biri Amerika'da Chesapeake körfezinde yaşanıyor. Bu alanda deniz seviyeleri, küresel eğilimin neredeyse beş katı oranında artıyor: 3,5 mm/yıl. Bu yükselmede kıtasal levhanın çöküyor olmasının da etkisi var. Bunun sonucunda da bölgedeki sulakalanların neredeyse tamamı yok olmuş durumda. Mississippi deltası da benzer nedenlerden ötürü her yıl 100 km²'lik sulakalan kaybına uğruyor. Buna zıt bir durumsa Stockholm'de yaşanıyor. Buzul dönemleri sonrasında azalan basınçla birlikte karaların yükselmesi sonucunda deniz seviyeleri her yıl 4 mm düşüyor. Türkiye'de bu kayıpların ortaya çıkartılabilmesi için ayrıntılı araştırmaların yapılması gerekiyor. Gelişen teknolojilerle, deniz seviyelerinin Türkiye'yi çevreleyen denizlerdeki seviye değişimleri ortaya çıkarılabilir. Her ne kadar kıyı şeritleri ülke yüzölçümünün %5'ini oluşturuyorsa da, yaklaşık 30 milyon kişi bu alanlarda yaşıyor. Özellikle Mar-

mara bölgesi nüfusun en yoğun olduğu alanlardan biri. Yine de kıyı şeritlerindeki üretimin Türk ekonomisine katkısının %60'ı oluşturduğu gözönüne alınırsa bu bölgelerde gerçekleştirileceklerin ekonomiyi ne kadar zarara uğratabileceği açıklık kazanır. İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nden Prof. Dr. Mehmet Karaca'nın analizleri, 1 metrelik bir yükselmenin bugünkü üretimin %6'sının kaybına neden olabileceğini gösteriyor. Ayrıca kıyıların erozyonuna bağlı toprak kaybı, deltalara tuzlu suyun karışması, sellerin sıklığının ve şiddetinin artması, tarımsal faaliyetlerin, balıkçılık ve turizm sektörlerinin de zarara girmesi bekleniyor. Ancak, tüm bu olasılıklar, ne yazık ki hâlâ kıyı yönetimi planlamaları yapılırken gözardı ediliyor. Sonuçta, kaç km² kaldığımız, deniz kıyısında küçük bir hesap makinesiyle iki dakikada çözülebilecek bir bilmece değil. Ancak şurası kesin ki, eğer tüm olumsuz senaryolar gerçekleşirse ve deniz seviyelerindeki yükselmeler hızlanırsa, tüm dünya gibi Türkiye'yi de büyük felaketler bekliyor.

Katkılarından dolayı Harita Genel Komutanlığı'na teşekkür ederiz.

Özge Balkız

Kaynaklar:

- Cabanes, C., Cazenave, A., Provost, C., "Sea Level Rise During Past 40 Years Determined from Satellite and In Situ Observations", Science, 26 Eylül 2001
Church, J., "How Fast Are Sea Levels Rising", Science, 26 Eylül 2001
Gille, S., "Warming of the Southern Ocean Since the 1950s", Science, 15 Şubat 2002-02-17
IPCC 3. İklim Değişimi Raporu "Deniz Seviyesindeki Değişimler" (kontrol et)
Karaca, M., Nicholls, R., Unal, Y., "Potential Impacts Of Accelerated Sea-Level Rise For Turkey", Journal of Coastal Research, 31 Kasım 2001
Prothero, D., "Sea Level Change", Encyclopedia of Life Sciences, 2001
<http://www.pol.ac.uk/psmsl/whatispsmsl.html>
<http://www.csr.utexas.edu/gmsl/main.html>
<http://igloo.gsfc.nasa.gov/science/perspective.html>
<http://igloo.gsfc.nasa.gov/wais/eos.html>
<http://whyfiles.org/091beach/1.html>
<http://earth.agu.org/revgeophys/douglao1/node1.html>