

# Türkiye'nin Bilinmeyen Kaynağı Çöl Tozundan Kar



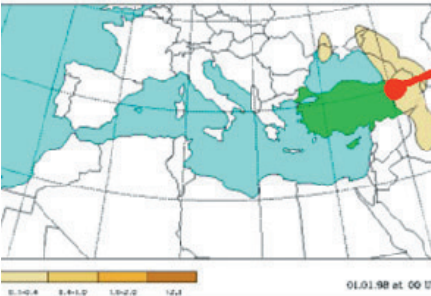
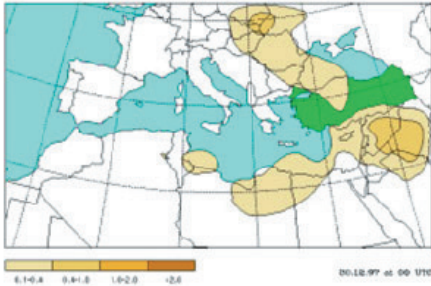
Çöl ve kar kadar zıt iki kavram düşünebiliyor musunuz? Biri kavurucu sicağı, susuzluğu, ötekiyse dondurucu soğuğu çağrıştıran, tek ortak yanları ise acımasızlık olan bu iki ortam nasıl olur da birlikte düşünülebilir? Çöl tozlarının kar yağışını arttırabildiği daha da garip bir iddia değil mi? Üstteki, resme bir bakalım. Bilgisayar teknolojisiyle bu tür fotomontaj resimleri elde etmek çok da zor olmasa gerek. Gene de bunu gözlerimize ve beynimize kabul ettirebilmek güç. Çöl ortamında karla kaplı bir dağ elbette olmaz. Çöl tozlarının etkisiyle karın erimesi olgusu insana daha doğru bir yaklaşım gibi gelmekte.

Çöllerde hep su hayal edilir ve görülür de. Ancak bu hayalciliğin adı da serap olarak adlandırılır. Karlar arasında yürüyen bir kişi çöl görmez. Ama yürüyüş çöldeyse, ve hele biraz da uzunsa, biraz ötemizde su beliriverir. Tabii, buna hemen hayalcilik, göz yanıltması denir. Peki bu olaya bir de bir başka şekilde yaklaşamaz mıyız? Çöl, suyun kaynağı olamaz mı? Çöl, bize "ben suyun kaynağım" diye haykırıyor da biz bunu algılamıyorsak? İlk ve en mantıklı cevap, "elbette hayır" olacaktır. Ancak aşağıda açıklayacağımız bir dizi doğa olayı, çöllerden kalkan tozlarla Doğu Anadolu'da su rejimini kontrol eden kar depolanması arasındaki ilginç ve o derece de önemli bağı sağlıyor.

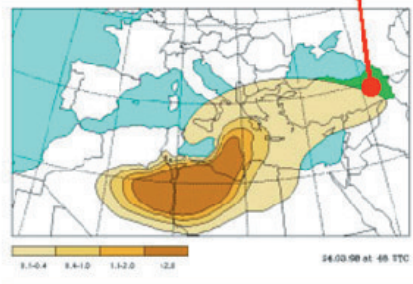
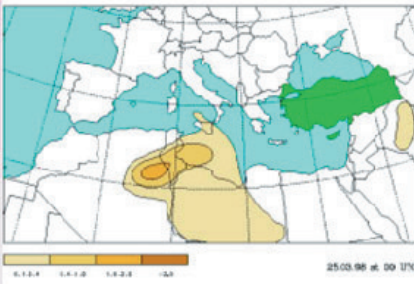
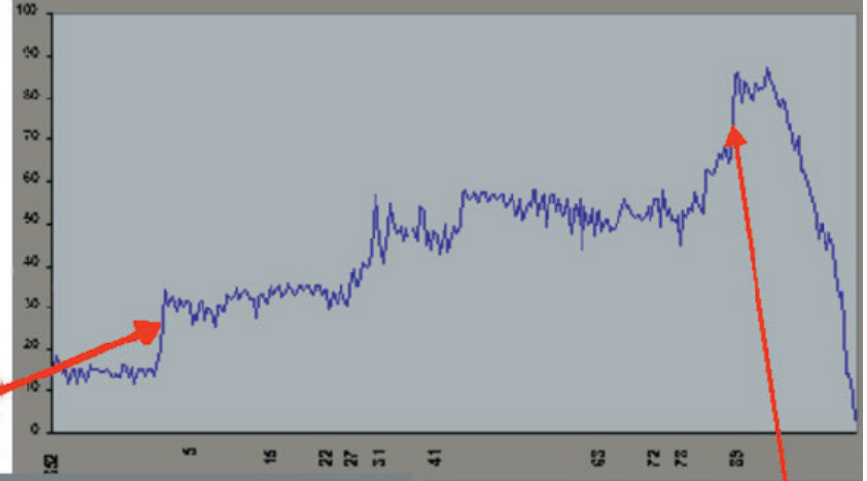
**D**OĞU ANADOLU'da 1997/98 - 98/99 ve 99/2000 kış döneminde yukarı Fırat havzasında önceden belirlenen yerlerde ve çeşitli yüksekliklerde kurulmuş olan Türkiye'nin ilk otomatik kar ölçüm istasyonlarından alınan veriler,

Doğu Anadolu'ya kar yağışını kontrol eden faktörün çöl tozları olduğunu ortaya koymuş bulunuyor. Aralık-Mart döneminde yağan karın birikiminde en önemli rolü çöl kökenli tozlar oluşturuyor. Bu dönemde izlenen toplam 40-50 cm birikimin, toz parçacıklarının çekirdek oluşturma özelliğine ve çöl köken-

li tozların bileşiminde bulunan sülfata dayandığı, literatür bilgilerine dayanılarak ileri sürülebilir. Mart ve Nisan aylarındaysa, bir seferde 40-50 cm kar depolanmasına yol açan kar yağışına deniz yüzeyinde daha önceden yine çöl kökenli tozların inmesiyle meydana gelen çok özel bir alg patlaması (Say-



30 Aralık 97 ve 1 Ocak 98 tarihli toz haritası ve kar depolanmasındaki artış (üstte). 25-26 Mart 98 tarihli toz taşınımı ve kar depolanmasındaki artış (sağda).



dam, 1996; Saydam ve Polat 1999) sonucu oluşan sülfat parçacıklarının yol açtığı kanıtlanmış durumda.

Doğu Anadolu'da yukarı Fırat havzasındaki kar birikimi, barajlar sistemine giren suyun ana kaynağı durumunda. Bu su depolanmasının Ortadoğu üzerindeki etkileri bilinen ve yaşanan bir gerçek. NATO tarafından yürütülmüş olan "Environment and Security" (Çevre ve Güvenlik) adlı çalışmada ana varsayımlardan birisi de, önümüzdeki yıllarda stratejik önemi daha da artacak olan Ortadoğu'da su kıtlığı nedeni ile ortaya çıkabilecek olası huzursuzluklar. NATO da yeni tehdit unsurlarını çevre ve güvenlik temellerine dayandırıyor. Dolayısıyla Doğu Anadolu'daki kar depolanmasına etki eden

nedenlerin incelenmesinde ülke çıkarları açısından büyük yarar var. İstikrar İçin Bilim (sfs) Programı TU-REMOSENS projesi çerçevesinde Doğu Anadolu'da 97/98, 98/99 ve 99/2000 döneminde 1750, 2000 ve 2200 metre yüksekliklerde üç ayrı mevkide otomatik kar ölçüm istasyonları kuruldu. Bu istasyonların asıl amaçları, eşdeğer kar su miktarını bulmak ve kar erimesiyle oluşacak su miktarlarını önceden tahmin edip barajlar sisteminin en optimum seviyede çalışmasını sağlayacak verileri elde etmektir. Bir başka deyişle barajlar sistemiyle kontrol edilebilen akarsuların en önemli kaynağı ani yağışlar değil, bu barajlar sistemini besleyen yüksek irtifadaki dağlara düşen kar. Bu amaçla uzun süreli ölçümler

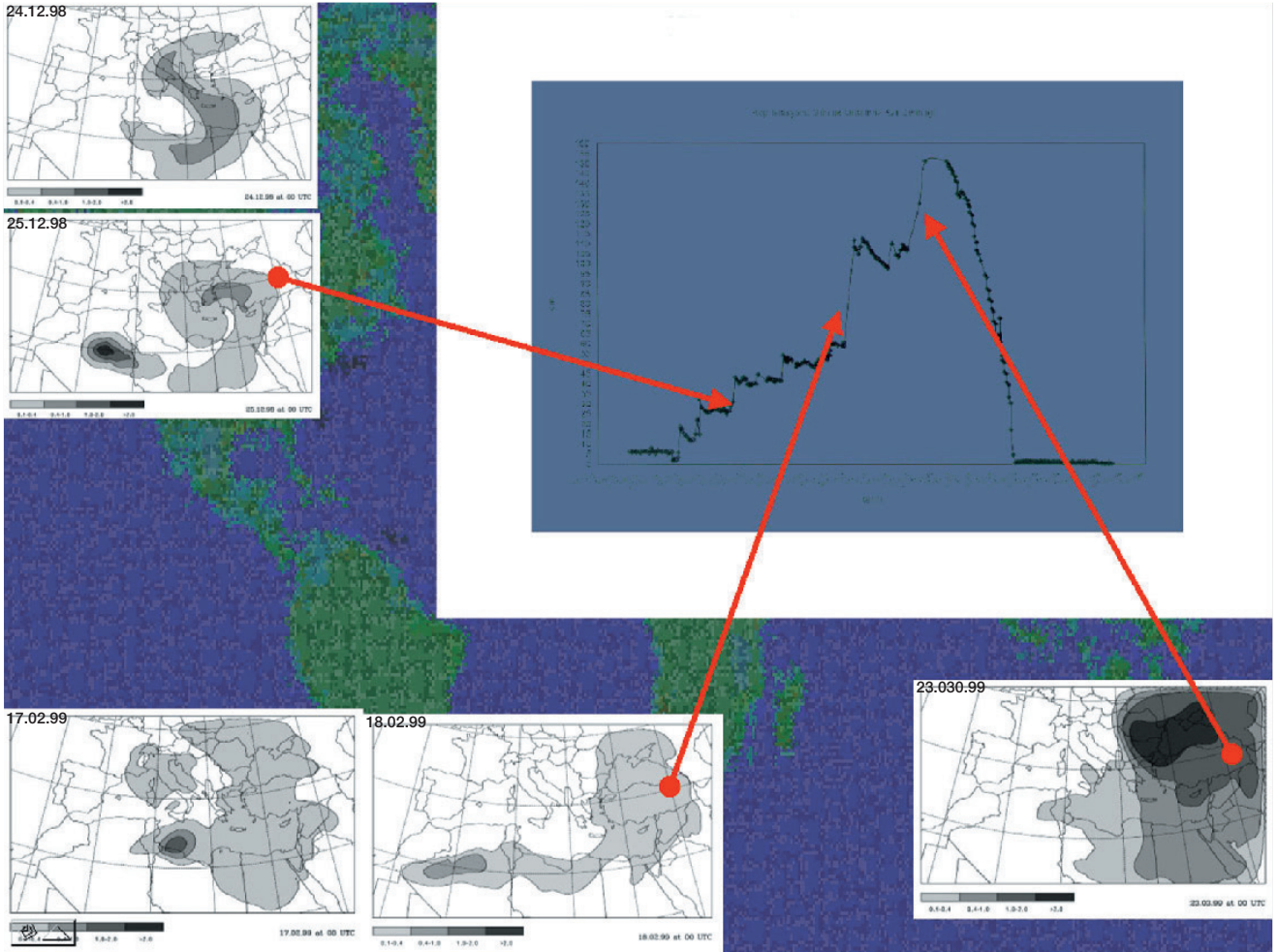
yapılıyor ve potansiyel su kapasiteleri bilimsel verilerle de kanıtlanan bölgelere barajlar kuruluyor. Ülkemizde de yukarı Fırat havzası su potansiyeli açısından en verimli bölgemiz olup, sistem boyunca kurulmuş olan barajlar aracılığıyla ülke ekonomisine hatırı sayılır katkılar yapıyor. Dolayısıyla bu sistemi besleyen havzadaki olayların zaman içerisindeki değişimlerini, teknolojinin bize verdiği olanaklar dahilinde incelemek ve anlamak büyük önem kazanıyor.

Bu amaçla kurulan ve tam otomatik olarak çalışan istasyonlar, kar yüksekliğini ses dalgaları üreten bir cihazla, kar ağırlığını toprak altında gömülü ve içi antifriz dolu olan 4 adet 1 m<sup>2</sup> paslanmaz çelikten yapılmış kar yastığı ve buna bağlı hassas basınç algılayıcılarıyla ölçüyor ve bu bilgileri elektronik olarak depoluyorlar. İstasyonda bulunan ARGOS uydu vericileri aracılığıyla bu bulguları üzerlerinden belirli saatlerde geçen uydulara, günde birkaç kez olmak üzere aktarılıyor ve bulguların tarafımızca günlük olarak değerlendirilmesine olanak tanıyor. Dolayısıyla günümüze kadar sadece kış döneminde ve hava koşullarının iyi olduğu belirli günlerde yapılabilen kar rasatları artık tam otomatik ve doğru olarak ve hava koşullarına bağımlı olmadan yapılıyor. Uzak noktalarda enerji gereksinimleri de gü-

Doğu Anadolu'da (Ilıca) 2200 metre yükseklikte kurulu tam otomatik kar istasyonu. Toprak altında 4 adet 1 m<sup>2</sup>'lik çelik kar yastığı bulunmakta. Güneş enerjisi ile beslenen istasyonlardan veriler uydu aracılığıyla merkeze aktarılmakta.







24-25 Aralık 98, 17-18 Şubat 99 ve 23 Mart 99 tarihli toz taşınımı ve kar depolanması

neş panelleri tarafından devamlı şarj edilen bataryalarla sağlanıyor. İstasyonların birinde ayrıca tam otomatik meteorolojik veri toplayan cihazlar da bulunuyor.

1997/98, 98/99 ve 99/2000 döneminde yapılan izleme, kar yüksekliklerinde belirli günlerde artışı belirliyor. Bu artışlar da doğal olarak o dönemde etkili meteorolojik koşullarla açıklanabiliyor. NATO TU-REMOSENS projesi çerçevesinde kar eşdeğer su miktarı yanı sıra, çöl kökenli tozların hareketlerinin de önceden izlenmesine yönelik çalışmalar yapılıyor ve bu çerçevede modeller yardımıyla çöl kökenli tozların da izlenmesi mümkün oluyor.

İşte bu modellerin sonuçlarıyla kar rasat istasyonlarından alınan veriler birleştirildiğinde ortaya çok ilginç bir sonuç çıkmış bulunuyor. Kar rasat istasyonlarının kar yağışı belirlediği her dönemde üzerimizden bir toz bulutunun geçmekte olduğu saptandı. Bir başka deyişle, üzerimizden toz bulutu geçmiyorsa kar depolanmasında herhangi bir

artış olmuyor. Üç sene süresince izlenen bu ilginç olgu, toz kütlelerinin Doğu Anadolu'ya ulaştığı günlerde kar birikiminin en üst noktalara ulaştığını net bir şekilde ortaya koyuyor. Uzun süreli taşınım ile meteorolojik olaylar aracılığıyla Anadolu'ya ulaşan bu tozların buz çekirdeği olma özellikleri nedeni ile daha fazla bulut oluşturmaları ve daha fazla yağışa yol açabilmeleri literatürden bulunabilen bir olgudur. Ancak bu olayın paralel olarak gösterilmesi bilim dünyasında ilk kez olmaktadır.

Su ile yaşamsal ilişkisi olan İsrail'de yapılan çalışmalar, bu ülkeye gelen yağışların beklenenden aksine kuzeyden değil, Sahra sınırına yakın Akdeniz çukurundan geldiğini gösteriyor. Yapılan çalışmalar, ülkeye gelen hava kütlelerinin bahar mevsiminde Sahra kökenli olması halinde daha çok yağış bıraktığını gösteriyor. Yapılan kimyasal analizler sonucundaysa bahar döneminde Sahra'dan kaynaklanan hava kütlelerinin içerisinde çöl kökenli tozlar ve sülfat parçacıkları olduğu ve bu sülfat parça-

cıklarının kış dönemiyle aynı düzeyde ve hatta daha çok olduğu saptanmış bulunuyor. Sülfat, günümüz bilim dünyasında genellikle katı yakıt yanması sonucu oluşan kükürt dioksit'in oksitlenmesi sonucu oluşan bir molekül olarak kabul edildiğinden, bahar döneminde Sahra'dan kaynaklanan bu artışın nedeni, uzak bölgelerden taşınma olarak açıklanabiliyor.

Tozun bulut çekirdeği olma özelliği biliniyor. Doğu Anadolu'da yürüttüğümüz kar izleme döneminde Kasım-Mart aralığına denk gelen artışların da bu nedenle olduğunu bilmekteyiz. Ancak neden 3-4 ayda 40-50 cm birikim sağlayan çöl kökenli tozlar bir anda ve özellikle kış mevsimi sonu ve bahar ayı başlangıcında 50-70 cm artışa neden olabiliyor? Bu olayın arkasındaki mekanizma ne? İşte bunun yanıtını aramak, kar depolanmasına etki eden asıl faktörün anlaşılmasına neden olabilecektir. Konuyla ilgili olarak son aylarda yapılan araştırmalar, tozun ışınlamayla ortama daha fazla sülfat çıkardığını da orta-

ya koymuş bulunuyor. Bir başka deyişle Sahra kökenli tozlar, içerdikleri sülfat aracılığıyla tek başlarına bile yeterli güneş enerjisi olduğu sürece bulut oluşturma özelliğine sahip bulunuyorlar. Sülfatın yalnızca kirlilik kaynaklı olduğunu kabullenen ve denizlerdeki alg patlamaları sonucu oluşan sülfatı ikincil kaynak olarak tanımlayan bilim dünyasının, Sahra kökenli tozların güneş ışığı ile ortama sülfat çıkarabileceği olgusunu hiç araştırmamış olduğu anlaşılıyor.

Özellikle bahar aylarında Sahra çölünden kalkan ve Anadolu'ya gelen tozların milyonlarca ton miktarlarda olduğunu biliyoruz. Tarafımızca ortaya atılan ve Cemiliana Hipotezi olarak adlandırılan yaklaşıma göre güneş enerjisinin yeterli olduğu dönemde, gündüz vakti denizlere yağışla inen bu tozlar deniz yüzeyinde çok özel bir tür alg'in (Emiliana huxleyi) oluşmasına yol açıyor.

Bu aşamada bulut içerisinde gerçekleşen olaylara değinmekte ve Sahra çölüne özgü birtakım özellikleri vurgulamakta yarar var. Kuramın temeli, karasal kaynaklardan yeterli miktarda etkilenemeyen, örneğin Büyük Okyanus'un orta kesimlerindeki birincil üretim eksikliğinin, demir eksikliği nedeniyle bağlanmış olması ve bu bölgelerde oluşturulup denize yapay olarak ilave edilen demir sülfat'ın üretim patlamasına yol açmasına dayanıyor. Bilim dünyası, Sahra'dan devamlı toz alabilen Atlantik ve Akdeniz'de demir eksikliği olmadığından buradaki üretim eksikliğini başka nedenlerde arıyor. Bizim ortaya koyduğumuz yaklaşımsa, Sahra kökenli tozların belirli koşullarda ortama kullanılabilir demir sunabilmesi temeline dayanıyor. Sahra'da bulunan demir yüzdesinin bir başka yöredeki demir yüzdesinden hiçbir farkı bulunmuyor. Ancak az da olsa çok özel bir demir mineralini, yani hematit ve ge-

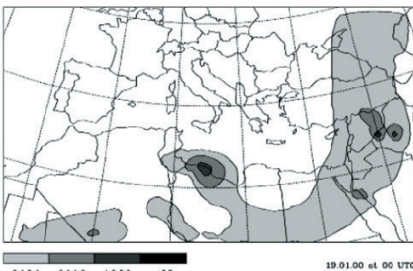


otitin yanı sıra lepidokrositi de içeriyor. Bilim dünyası, lepidokrositten kullanılabilir demir olan Fe(II) elde edilmesini ve bu amaçla endüstriyel kirlilikten kaynaklandığı varsayılan okzalatin indirgen olarak kullanılabileceğini söylüyor. Bizim gösterdiğimiz yenilikse, Sahra çölünün kendi okzalatinin içerdiği mantarlar yardımıyla üretebilmesi olgusu.

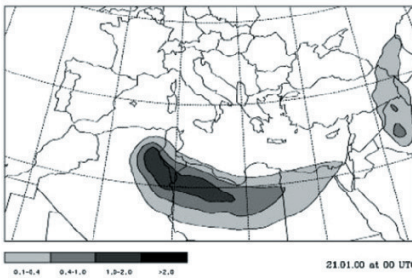
Sahra kökenli tozları kültür ortamında belirli şartlarda bekletince ortaya olağan üstü miktarda mantar kolonileri çıkıyor. Hücre faaliyetleri süresince ortama okzalat çıkaran mantarların bu özelliğiyle, insanların idrar ile üretmeleri gibi doğal kabul edilmiş ve pek sorgulanmamış. Oysa Sahra'nın acımasız ortamında varlığını uzun süreler sürdürebilen mantar sporları meteorolojik koşullar elverdiğinde boyutları nedeniyle tozlardan daha da önce atmosferik taşınımına girip, bulut içerisinde su moleküllü ile karşılaşınca yaşama geçi-

yorlar. Okzalat bu aşamada mantarın ortamdaki kil mineraline yapışmasını sağlıyor ve eğer güneş enerjisi yeterli seviyedeysse, yaşamı için gerekli olan demiri kil ve sadece lepidokrosit mineralinden Fe(II) olarak alıyor. Hematit ve geotit, daha kuvvetli kristal yapıları nedeniyle demiri açığa çıkaramıyorlar. İşte bu nedenle yerkürede hematit ve geotit bulunurken lepidokrosit bulunmuyor. Güneş enerjisiyle ortama Fe(II) çıkaran bu dekarboksilasyon tepkimesi sonucunda ortama karbon dioksit'te çıkıyor. Bu olgu yalnızca Sahra kökenli tozlara özgü bir nitelik. Riyad kökenli tozlar ve çeşitli Anadolu toprakları aynı koşullarda yürütülen deneylere çok az veya hiç cevap vermemiş bulunuyor.

Bu denli Fe(II) içeren bulutların gündüz vakti denize inmeleri, *Ehux* olarak adlandırılan algin çoğalmasına yol açıyor. Bu alginlerin varlığı uydular tarafından ancak 6-7 gün sonra ve algin uygunluk dönemi sonrasında belirgin bir şekilde saptanabiliyor. Yaptığımız çalışmalar, yaşamları süresince ortama çok özel bir kimyasal madde, metan sülfonik asit, (MSA) çıkartan bu alginlerin çöl kökenli tozlarla birlikte Doğu Anadolu'da kar birikiminin asıl nedeni olduğunu ortaya koyuyor. Ortama bırakılan bu çok özel yapıdaki kimyasal madde (MSA), atmosfere çıkıyor ve Güneş ışığının da etkisiyle kısa zamanda sülfat parçacığına dönüşebiliyor. Sülfat



19-21 Ocak 2000 tarihli toz taşınımı



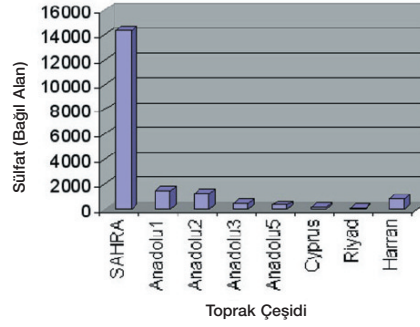


parçacığysa, asit yağmuru olma özelliği yanı sıra bilinen en iyi bulut oluşturma çekirdeği. Özellikle bahar döneminde orta Akdeniz'den ülkemize haftada bir gelen hava kütleleri deniz üzerinden geçerken, içerdikleri tozlar bu kimyasal maddeyle de kaplanıyor ve Doğu Anadolu'da bir seferde 40-50 cm kar depolanmasına neden oluyor. Yapılan kimyasal analizler, kış döneminde ve her seferinde sadece 10-15 cm kar depolanmasına neden olan olaylarda yağın karların içerisinde sadece sülfat parçacıkları olduğunu gösteriyor. Karın asil depolandığı dönem olan Şubat sonu ve Mart aylarındaysa, karın içerisinde daha yoğun sülfat parçacıklarının yanı sıra denizlerdeki alg patlamasının iz maddesi olan MSA da izlenebiliyor.

Ortaya koyduğumuz modele göre Orta Akdeniz'deki alg patlamalarının kontrol edilmesi, Doğu Anadolu'da kar depolanmasının istenilen şekilde kontrol edilmesi olgusunu ortaya koyacaktır. Bu durumda akla gelen soru şu: Denizlerdeki alg patlaması nasıl kontrol edilir; daha doğrusu edilebilir mi? Tarafımızca 1994'ten bu yana yapılan çalışmalar, alg patlamalarının çöl kökenli tozların gündüz vakti yağın yağmurla deniz ortamına inmesiyle tetiklendiğini ortaya koyuyor. Bu olgu Avrupa Birliği Komisyonu'nun 5. Çerçeve Programı'nca 2.4 milyon EURO ile desteklenen IRONAGES adlı bir projenin de ana temasını oluşturmuş bulunuyor ve Atlantik Okyanusu'nda 2003 döneminde denenecek.

Doğanın ortama meteorolojik olaylar aracılığıyla daha fazla toz atıp, toz, bulut ve güneş enerjisini buluşturup, özel bir mineralojik yapısı olan çöl kökenli tozlardan doğanın kullanabileceği haldeki demiri (+2 haldeki demir) yağmurla deniz yüzeyine indirmesi, tezimizin ana temeli. Doğanın bu üç öğeyi bir araya getirmesiyle ortaya çıkan bu olguyu, günümüz teknolojisini kullanarak istediğimiz yerde ve zamanda amaçlara uygun olarak gerçekleştirmek mümkündür.

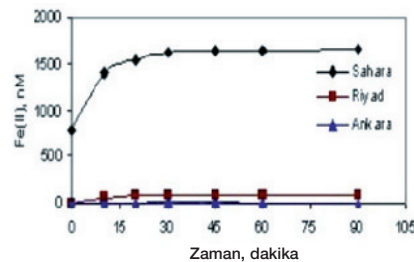
Özetlemek gerekirse Doğu Anadolu'da kar depolanmasının kontrol edilebilmesi, Kıbrıs, Girit, Libya ve Mısır arasında kalan açık Akdeniz'de alg (birincil üretim) patlamasının kontrol edilmesiyle olabilecektir. Bu olgunun gerçekleştirilmesi doğa tarafından her yıl deniyor ve eğer toz, bulut, güneş



#### Değişik topraklarda ışınlama sonucu ortaya çıkan sülfat

enerjisi ve dolaylı alg patlaması oluşursa Doğu Anadolu'da yeterli miktarlarda kar depolanıyor. Bu denklemi sağlayan öğelerden her hangi birinin oluşmaması ya da gece vakti olması halindeyse alg patlaması gerçekleşmiyor ve ortama MSA çıkmıyor. İşte teknoloji kullanarak yapabileceğimiz şey de burada: İstenilen yerde ve zamanda bulut içerisine tozu serpip tohumlamak işlemini örneğin uçaklarla gerçekleştirebiliriz. Tozun kendi başına yağmur çekirdeği oluşturduğunu biliyoruz. Eğer yağmur oluşmazsa, yağmur oluşturma teknolojisini de biliyoruz.

Peki bu olanaklardan yalnızca bilimsel kuşkuculuğumuzun tatmin edilmesinde mi yararlanacağız? Hayır; kar yağışına yol açan olayların nedenini öğrenmek, gerektiğinde kar depolanmasını sağlayabilecek olaylara bundan sonra hükmetmemize olanak tanıyacak. Yani bundan böyle Doğu Anadolu'da kar birikimini isteklerimiz doğrultusunda arttırmak mümkün olacak. Bunun ilerisi için ne derece önemli olduğu açık. Bu olgu, bize istenilen her bölgede istenilen şekilde yağışlara hükmetme olanağı tanıyor. Hammadde olarak, şu ana kadar "çöl tozu" diye algılanıp hiçbir değeri olmadığı varsayılan bir kaynağın harekete geçirilmesi de, zaten kendi başına yeni bir politikanın yaratılmasına neden olacak kadar önemli.



#### Değişik topraklarda ışınlama sonucu ortaya çıkan demir miktarı

Büyük bir ülkenin bilim adamlarına, artık global fikirlerle ortaya çıkıp geniş coğrafi bölgelerde de araştırma yapmamız gerekliliğini anlatabilmeli ve bir an önce Sahra'nın hangi bölgesinin bizim için ekonomik değere sahip olduğunu bulmalıyız. Modeller, kaynağın özellikle Cezayir'in güneydoğusu, Tunus'un güneyi ve Libya'nın güneybatısı olduğunu gösteriyor. Doğu Anadolu'da kar biriktirmek amacıyla, uygulama alanı olan Akdeniz'in Girit, Kıbrıs, Mısır ve Libya arasında kalan bölgesi, bizim için son derece stratejik bir bölgedir. Bu bölgeyi denetlemek, elbette orada yapılacak bilimsel çalışmalarla gerçekleştirilebilir; denetimin askeri bir anlam taşıması kuşkusuz söz konusu olamaz.

Sanki bu gelişmeleri önceden tahmin etmişçesine ODTÜ Erdemli Deniz Bilimleri Enstitüsü ve İsrail Hayfa Deniz Bilimleri Enstitüsü bu bölgede uzun seneler ortak araştırmalar yürütmüş bulunuyorlar. Tüm bunların arkasında yatan bilimsel gerçek, Sahra tozlarının içerisinde bulunan mantarlar ve özel demir mineralojisi olmakta. Hammadde ayaklarımızın altında fabrika da başımızın üzerinde. Kullanıp kullanmamak bize ait...

Bu güne kadar bizlere sadece yağış getirip Güneş'ten koruduğunu sandığımız bulutların aslında birer fabrika olabileceğini hiç düşündünüz mü? Hem de optik derinliği 5 hatta 10 km varan fabrikalar...Tek beklediği hammadde çöl kökenli toz ve güneş enerjisi. İnanması zor; ancak bu açıdan dahi Anadolu kadar stratejik öneme sahip bir yer gösterebilmek oldukça zor. Kaynağa yakın, güneş enerji seviyesi Mart- Kasım arası yeterli, hatta bulut tohumlama için yeterli yüksekliğe sahip dağlar, yeter ki kendimize inanalım...

A.Cemal Saydam, Hamide Z. Şenyuva  
TÜBİTAK

- Kaynaklar  
Saydam, A. C. Polat, I. *The impact of Saharan dust on the occurrence of algae bloom.*, Proceeding of EUROTRAC Symposium98. pp 656-663 Eds: Borrell, P. M. and Borrell, P. WITpress, Southampton. (1999)  
Guerzoni, S., Chester, R., Dulac, F., Herut, B., Loye-Pilot, M. D., Meassures, C., Migon, C., Molinaroli, E., Moulin, C., Rossini, P., Saydam, C., Soudine, A., Ziveri, P. *The role of atmospheric deposition in the biogeochemistry of the Mediterranean Sea*, Progress in Oceanography, 44, 147-190 (1999)  
Saydam, A.C., Polat, I. Ozsoy, T. Şenyuva, H., *Iron comes from above* Biochemistry of iron in seawater. Working Group 109/SCOR 1-5 Nov. 98, Amsterdam, pp:32-33 (1998)  
Saydam, A.C., Polat, I. *Dust induced algae blooms*, Ocean Optics XIV, Kailua-Kona, Hawaii, 10-13 Nov, pp:75, (1998).  
Saydam, A.C., Şenyuva, H., Polat, I., *Desert dust as a potential source of Fe(II)*, Surface Ocean Lower Atmosphere Study, SOLAS Open Science Conference, Damp Germany, pp. 91, 20-24 Feb, (2000 )