

Sanayi Atıkları ve Yan Ürünleri Geri Kazanımı

Dünyada yıldan yıla artan sanayi üretimi beraberinde çok büyük boyutlu çevre kirliliği problemlerini de getirmektedir. Gelişen çevre bilinci, sıkı kurallar ve yakın kontrol her geçen gün yeni atık depolama sahalarının bulunmasını güçleştirmekte ve buna bağlı olarak da depolama maliyetleri artmaktadır. Atık depolama maliyetlerini düşürecek en etkin yöntem mümkün olduğunca az atık depolamaktır ki, bu da ancak atıkların geri kazanım yoluyla değerlendirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu yolla bir yandan atık depolama sorunu azaltılırken, bir yandan da ucuz mineral kaynakları yaratılmaktadır. Geri kazanım yoluyla atık depolama alanlarından kaynaklanan çevre kirliliği azalmakta, atık malzeme kullanımıyla doğal malzemelere olan talep düşmekte ve bu doğal malzemenin üretilmesi için çevrenin tahrip edilmesi önlenmektedir. Çimento yerine uçucu kül kullanımı gibi, atık malzemelerin uygun enerji tüketilerek üretilen bir malzeme yerine kullanılması enerji tasarrufu sağlamaktadır. Enerji tasarrufu da çevrenin daha az kirlenmesi anlamına gelmektedir. Atıklar; tarımsal atıklar, evsel atıklar, sanayi atıkları ve mineral atıklar olarak sınıflandırılırlar. Bunlardan konumuzla ilgili olan atıklar şöyledir: Sanayi atıkları; kömür curufu, uçucu kül, inşaat molozu, yüksek fırın curufu, döküm endüstrisi atıkları, silikat dumana, sülfat atıkları, kireç atıkları, cam atıkları, seramik sanayi atıkları vb atıklardan oluşmaktadır. Mineral atıklar ise; kömür atıkları, yıkama atıkları, fosfor, fosfijen ve maden cevherlerinin işlenmesi sonucunda oluşan atıklar ve benzeri malzemelerdir.

Her yıl milyonlarca ton üretilen bu atıklar depolama sahalarına gömülürken, yakılmakta veya geri kazanılmaktadır. Büyük oranda atık, depolama sahalarına gitmektedir. Eski de-

polama sahalarının çoğu kapasitelerini aşmış ve yeni depolama sahalarının açılması hem sıkı çevre koruma kriterleri nedeniyle hem de ekonomik açıdan zorlaşmaktadır. Atık depolama maliyetleri sanayi kuruluşlarının aylık giderlerinde artan oranlarda yer almaktadır. Daha önce bu konuda hiçbir önlem alınmayan işletmeler bile atık depolama maliyetlerini azaltmak için çaba göstermeye başlamışlardır. Çözüm, yüksek oranlarda geri kazanımdır. Mevcut atık miktarları ancak bu yolla azaltılabilir. Gelişmiş ülkelerde geri kazanım yolunda olumlu gelişmeler olmasına rağmen, her yıl artan atık miktarları problemin boyutlarını aynı oranda büyütmektedir. Atık depolama maliyetlerinin artması yanında, çevre koruma kanunları ve yönetmelikleri ve atıkların daha sıkı bir şekilde denetlenmesi, sanayi kuruluşları için katı atık yönetimini gün geçtikçe zorlaştırmaktadır. Atık yönetimi yönetmeliklerinde geri kazanım olanağı olan atıkların atık depolama alanlarına atılması kısıtlanmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, sanayi kuruluşlarının atıklarının belli bir yüzdesini geri kazanmak amacıyla tesis kurması kanunlarla ayarlanmaktadır. Sanayi kuruluşları atıklarını nasıl azaltacaklarını belli bir programla devlet kuruluşlarına bildirmek zorundadırlar. Yeni kurallar, atık yönetimi ve geri kazanım yollarında yeni çözümler gerektirmekte ve uzman bilgi-

lerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni yatırım için uluslararası kuruluşlara kredi amacıyla yapılan başvurularda başvuran kuruluşlara, atıkları ile ilgili stratejileri sorulmaktadır. Gelişmiş ülkeler sadece kendi ülkelerini ilgilendiren konularda değil, kendilerine ihracat yapan diğer ülkeleri de çevre kanunlarına uymaya zorlayan yeni bir yapılaşma süreci başlatmışlardır. Örneğin, çevreyi kirlüten bir kuruluş AT'ye ürün satamayacaktır. Aynı kurallar belirli oranda atığını geri kazanmayan endüstrilerin de etkileneceği şekilde düzenlenmektedir. Sanayi kuruluşları yeni kurallara adapte olabilmek için şimdiden çalışmalara başlamalı ve gerekli önlemleri almalıdır.

Yeni Teknoloji Geliştirilmesi İhtiyacı

Kanun ve yönetmeliklerle geri kazanımın teşvik edilmesi veya zorunlu hale getirilmesi, bilhassa büyük oranlarda atık değerlendirilmesi konusunda yeni teknolojilerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla kaynak ayıran sanayi kuruluşları, fayda/maliyet oranları yüksek olan uygulamalar sayesinde hem araştırma masraflarını çıkaracak hem de atıklarını değerlendirdiği için vergiden tasarruf edecek ve ürününü pazarlayarak katma değer elde edecektir. Tüm bu olumlu göstergelerin yanında, sanayi kuruluşu çevre dostu imajını da yaratacağı için ürünleri halk tarafından daha

gönül rahatlığıyla kullanılacak, satışları artacaktır. Boğaziçi Üniversitesi Sanayi Yan Ürünleri Geri Kazanımı Uygulama ve Araştırma Merkezi (SYG), sanayi kuruluşlarının atıklarını geri kazanmak amacıyla yapacakları çabaları yönlendirmek ve ürün bazında çözümler üretmek üzere kurulmuştur. Bu çözümler dünyada kullanılan teknolojilerden biri olabileceği gibi, tamamen orijinal olarak geliştirilen yeni bir teknoloji de olabilmektedir. Geri kazanım amacıyla yapılan çalışmalar, mikroyapı-mühendislik performansı ilişkisinin araştırılmasıyla başlamakta, malzemeye uygun alanlar bulunmakta veya atık malzeme belli bir işleminden geçirildikten sonra kullanılabilirliği artırılmakta ve değişik alanlarda değerlendirilebilecek duruma getirilmektedir.

İnşaat Sanayinde Yüksek Oranlı Geri Kazanım

İnşaat sanayi yüksek oranlarda malzemeye gerek duyduğu için, atıkların değerlendirilmesi açısından çok uygun bir sektördür. Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde, inşaat sanayi temel sanayilerinden biridir. İnşaat endüstrisinin diğer bir avantajı ise, mühendislik performans özellikleri açısından çok geniş bir yelpazeye yayılan malzeme gereksinimidir (dolgu malzemesi, tuğla, briket, beton, asfalt, yer karoları, yapı panelleri, yüksek dayanımlı beton, atık depo kaplaması, temel, alttemel malzemesi vs.).

Atıklar, özelliklerine göre inşaat sektöründe hiçbir işleme tabi tutulmadan kullanılabilirdiği gibi, kırma, öğütme, peletleme, katılaştırma, katkı maddeleri ile modifikasyon, sinterleme gibi özel tesis isteyen çeşitli teknolojilerle işlenerek de kullanılmaktadır. Her geçen gün yeni değerlendirme alanları bulunması zorunluluğu, yeni teknolojilerin geliştirilmesini de gerektirmektedir.



Uygun teknoloji seçilirken; atık maddelerin türü ve miktarı, elde edilmek istenen malzemenin mühendislik özellikleri, doğal malzemelerin bulunma kolaylığı ve fiyatları, enerji maliyeti, yöredeki mevcut işçilik kalitesi, ülkedeki geri kazanım ile ilgili kanun ve teşvikler göz önünde bulundurulmalıdır. Seçilen teknoloji çevreyi kirlenmemeli ve ekonomik olmalıdır. Değerlendirme konusunda dünyada birçok teknoloji mevcuttur ve ekonomik olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojiler patent ve lisans ücretleri verilecek aynen veya değiştirilerek kullanılabilir gibi, yöreye ve değerlendirilecek malzemeye uygun olarak yeni teknolojiler de geliştirilebilir. Her iki yönünde de malzemenin mikroyapısının detaylı olarak incelenmesi ve mühendislik özellikleri ile kalitatif ve yarı kantitatif olarak ilişkilendirilmesi, hem ekonomik hem de güvenli bir çözüm sağlayacaktır.

Sanayi yan ürünleri ve atıklarından üretilen malzemeler, geleneksel yapı malzemelerinin yerini kolayca alabilmektedir. Gelişmekte olan ülkeler, genellikle yapı malzemesi olarak değerlendirilebilecek, çeşitli türlerde ve miktarlarda atık malzemelere sahiptirler. Konut ve altyapı yapım teknolojilerinde ve ekonomisinde yapılan disiplinlerarası araştırmalar, geliştirilecek yeni teknolojilerin yöresel pazarlarda kabul görmesini kolaylaştırmaktadır. Üniversiteler nüfusu hızla artmakta olan yörelerde devlete ve belediyelere yardım ederek konut ve altyapı probleminin çözümüne katkıda bulunabilirler. En önemli alanlardan birisi ise konut ve altyapı alanında kullanılacak düşük maliyetli alternatif yapı malzemeleri üretimidir. Boğaziçi Üniversitesi Sanayi Yan Ürünleri Geri Kazanımı Uygulama ve Araştırma Merkezi sanayi atık malzemeleri ve yan ürünlerinin, yapı malzemesi olarak değerlendirilerek ülke ekonomisine geri kazandırılması amacıyla çeşitli araştırmalar yapmaktadır. Bu araştırmalar, disiplinlerarası uzmanlar grubunca üniversite laboratuvarları ve gerektiğinde

üniversite dışındaki laboratuvarlarda gerçekleştirilmektedir. Araştırma ekibi, jeoteknik, yapı malzemesi, toz metalurjisi, endüstri, yüzey kimyası, mühendislik jeolojisi, çevre ekonomisi, tanıtım ve eğitim uzmanlarından oluşmaktadır. Bir yandan atık malzemelerin mekanik özelliklerini daha iyi anlamak için çeşitli orijinal deney aletleri geliştirilirken, bir yandan da atık malzemelerin mikroyapısı araştırılarak mühendislik performans özellikleriyle ilişkilendirilmektedir. Bu sayede deneme-yanılma yoluyla değil, tamamen malzemenin iç yapı özelliklerine göre doğru alanlarda değerlendirme sağlanmaktadır. Çalışmalar sadece mühendislik performansıyla kısıtlı olmamakta, projelerin fizibilitesi, uygulanması ve kontrolü ile de ilgili çalışmalar yapılmaktadır; pilot tesis tasarımları gerçekleştirilmektedir. Merkez'de atıkların mekanik özellikleri ve geçirimsizliklerinin saptanması için orijinal deney aletleri, ve yöntemleri geliştirilmiştir. Laboratuvarlarda bulunan klasik deney aletleri atıkların özelliklerinin saptanmasında yeterli olmamaktadır. Yeni aletler, özellikle farklı boyutlara ve özelliklere sahip atık ve yan ürünlerin mühendislik performans özelliklerinin doğru olarak saptanması veya atıkların işlenmesi amacıyla geliştirilmişlerdir. Etkin bir projelendirme için mühendislik özelliklerinin doğru saptanması çok önemlidir. Böylece atıkların uzun dönemde güvenle kullanılmaları sağlanacaktır. Uzun dönem performansı özellikle durabilite açısından önem kazanmaktadır. Bu deney aletleri şöyle sıralanabilir:



Çöp alanlarında günlük örtü uygulaması, külle örtme de benzer bir yöntemle uygulanıyor.

Büyük Boyutlu Kesme Deney Aleti (TÜBİTAK İNTAG 627) (Atıkların kayma mukavemeti parametrelerinin saptanması); Büyük Boyutlu Konsolidasyon Permeametri (BÜ ARFON) (Atık-zemin kompozitlerinin geçirimsizlik özelliklerinin saptanması); Peletleme Tamburu (TÜBİTAK İNTAG 627) (Pelet agregası üretimi); Silindirik Arayüzey Deney Aleti (BÜ ARFON) (Jeosentrik atık-kum sürtünme açısının saptanması); Tekrarlı Yük Uygulama Aleti (BÜ ARFON) (Atıkların tekrarlı yüklerle maruz kalması durumunda performanslarının saptanması); Şekli Agregası Kalıbı (TÜBİTAK İNTAG 606) (Özel amaçlı agregası üretimi).

Boğaziçi Üniversitesi Sanayi Yan Ürünleri Geri Kazanımı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilen araştırma çalışmalarından bir kısmı aşağıda özetlenmektedir:

Altyapı çalışmalarında temel ihtiyaçlardan biri kaliteli dolgu malzemesi sağlanmasıdır. Servis sırasında çeşitli zamanlarda bu dolgu malzemesi kazılarak altyapı tesislerinin onarım ve bakım yapılmaktadır. Akıcı dolgu son yıllarda dünyada büyük kabul görmüş malzemelerden birisidir. Akıcı dolgu, altyapı çalışmalarında su borusu, kanalizasyon boruları, doğalgaz boruları için açılan çukurların doldurulmasında, döşemelerde ve yollarda temel ve temelaltı tabakası olarak kullanılmaktadır. Akıcı dolgu uygulaması komplike ekipman gerektirmemekte ve düşük seviyeli iş gücü kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Akıcı dolgu kullanımı inşaat süresini de önemli ölçüde azaltarak, ayrıca ekonomi sağlamakta-

dır. En önemli avantajlarında bir tanesi de kazı içinde işçi çalışmasını gerektirmediği için yüksek iş güvenliğidir. Yüksek oranda su içeren uçucu kül, kum ve çimento karışımı pompalanarak kazı doldurulmakta ve zamanla karışımın katılaşması sonucunda dolgu elde edilmektedir. Uçucu kül, kömürle çalışan termik santrallerde kömürün yanması sonucunda baca gazı içinden toplanan mineral malzemeye denmektedir. Ülkemizde yılda 15 milyon ton uçucu kül elde edilmekte ve bu küller atık sahalarında depolanmaktadır. Uçucu külün yapı endüstrisinde değerlendirilmesi sonucunda, hem depolama maliyeti azalacak hem de yeni bir malzeme kaynağı yaratılmış olacaktır. Dünyadaki uygulamalarda kum ve çimento katkısı kullanılmaktadır. Üniversitemizde yapılan araştırmada maliyeti daha da düşürmek için kül yalnız olarak ve kireç katkılı olarak kullanılmıştır. Karışımında ağırlıkça %95 kül, %5 kireç kullanılmış ve su oranı da %50 ile %60 arasında değiştirilmiştir. Daha düşük maliyetli akıcı dolgu elde etmek için ayrıca sadece kül de kullanılmıştır. Katılaşma sonunda yeterli basınç mukavemeti elde edilmiştir. Akıcı dolgu basınç mukavemeti dolgunun elle kazılabilmesine olanak verecek şekilde değerlendirilmektedir. Akıcı dolgunun birim hacim ağırlığı sudan çok az yüksek çıkmıştır.

Altyapı tesisleri ve konut inşaatlarında en önemli malzemelerden biri agregalardır. Büyük şehirlerde kaliteli agregası temini genellikle yakın bölgelerden sağlanamamakta ve uzaktan gelen malzemede de ulaşım maliyetleri ön plana çıkmaktadır. Atık malzemelerden peletleme yöntemiyle agregası üretmek mümkündür. TÜBİTAK tarafından desteklenen bir araştırma projesi kapsamında kireç katkılı uçucu külden peletleme yöntemiyle hafif agregası elde edilmiştir. Bu pelet agregaları drenaj malzemesi olarak, yapı bloğu üretimi için, yol temel ve temelaltı malzemesi olarak ve beton içinde agregası olarak kullanılabilir. Suni malzemenin kul-



Amerika'daki bir uçucu kül barajından cam kürecik geri kazanımı

lanılması ile nehir, göl ve denizlerden agrega elde etme gereği ortadan kalkmakta ve böylece oluşabilecek ekolojik problemler önlenmektedir. Ayrıca, pelet agreganın mühendislik özellikleri üretim esnasında önceden belirlendiği için, yüksek performans elde edilebilmekte ve bu da maliyetleri düşürmektedir. Isı ve ses yalıtımı, yangına karşı dayanıklılık özellikleri pelet agregaları daha da çekici hale getirmektedir. Boğaziçi Üniversitesi Sanayi Yan Ürünleri Geri Kazanımı Merkezi'nde geliştirilen yeni teknolojiyle, pelet üretiminde sinterleme gereği ortadan kaldırılmış ve daha düşük enerji kullanımı nedeniyle maliyetler düşürülmüştür. Böylece, düşük maliyetten dolayı potansiyel kullanım alanları daha da artmıştır. Pelet agregaların hafif olması da, ayrıca yapının taşıması gereken yükleri azalttığı için, gerekli donatı miktarını azaltarak tasarruf sağlamaktadır. Peletlerin yapı bloğu, panel üretiminde kullanılması veya beton içinde doğrudan agrega olarak kullanılması yapı maliyetlerini düşürecektir.

Gelişmiş ülkelerde hane başına her yıl iki adet otomobil lastiği atılmaktadır. Sayıları yüz milyonları bulan atık lastikler büyük dağlar oluşturmakta ve yangın, sıvrisinek gibi problemlere sebep olmaktadır. Lastiklerin geri kazanımı problemin boyutlarını biraz da olsa küçültecektir. SYG Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde geliştirilen bir teknoloji hem petrol tanklarından oluşan sızıntıyı önlemekte hem de atık lastiklerin geri kazanım yoluyla değerlendirilmesi-

ni sağlamaktadır. Şehirlerde insanlar sanayi bölgelerinin hemen yanında veya riskli bölgelerin yanında tank alanları gibi, ev yapmaktadır. Ayrıca benzin istasyonları da evlerle iç içe bulunmaktadır. Tanklardan sızacak petrol ürünleri veya diğer kimyasal malzemeler yeraltı suyunu kirleterek büyük riskler oluşturmaktadır. ABD'de yapılan bir araştırmaya göre, mevcut üç milyon tanktan yüzde otuzunun sızıntı yaptığı tahmin edilmektedir. Sızan petrolün yeraltı suyunu ulaşmasını engelleyecek bir geçirimsiz tabakaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tabaka kilden inşa edilirse, petrol sızıntısı durumunda petrol ürünlerinin düşük dielektrik sabiti, kilin permeabilitesinin düşük olmasını sağlayan difüze dipol tabakayı büzerek, sızmaya sebep olmaktadır. Geliştirilen ve patent koruması altında olan yöntemde, uçucu kül veya kil, eski otomobil lastiklerinden elde edilen fiber şeklinde atık kauçukla karıştırılmakta ve sıkıştırılarak, yeraltı tankları etrafında veya yüzeydeki tankların altında, geçirimsiz bir tabaka oluşturulmaktadır. Petrol sızıntısı durumunda şişen kauçuk parçaları geçirimsiz bir perde oluşturarak sızıntıyı engellemektedir. Kendi hacminin iki misline şişebilen kauçuk parçaları aynı zamanda sızan petrolü içinde tutabildiği için yeraltı suyunun kirlenmesini de önlemektedir. Kirlenme risklerinin azaltılması sigorta maliyetlerini düşürmektedir. Geliştirilen kauçuklu sızdırmaz perdenin çalışma prensibini daha iyi anlayabilmek için özel bir deney aleti imal edilmiştir. Ayrıca, zamanda kauçuk ze-



Büyük boylu kesme deney aleti (TUBITAK INTAG 627)

min kompoziti sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek, şişme sırasında oluşan basınç dağılımları ve deformasyonlar incelenmiştir.

Bazı özel durumlarda ise herhangi bir teknoloji kullanımına gerek kalmadan atık yönetimi ile büyük miktarlarda geri kazanım mümkün olmaktadır. Örnek olarak, Boğaziçi Üniversitesi Sanayi Yan Ürünleri Geri Kazanımı Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından İstanbul için önerilen ve atık depolama sahalarında günlük örtü olarak kullanılan kil yerine ısıtma amacıyla yakılan kömür curuflarının kullanılması gösterilebilir. Atık depolama sahalarının işletmesi açısından, hergün depolanan çöpün üzeri günlük örtü tabakası ile örtülmelidir. Genellikle bu amaçla kil kullanılmaktadır. Kilin yakın cıvardan temini büyük problem teşkil etmektedir. Yakında kil bulunmaması durumunda ulaşılabilir maliyetleri günlük örtü tabakası maliyetlerini çok artırmaktadır. Günlük örtü için kullanılacak hacim, depo servis ömrünü kısaltmaktadır. Düşük kaliteli kömür yakıldığında yüzde otuzlara varan bir kül atık olarak elde edilmektedir. Araştırma Merkezi'nde yapılan bir araştırmada, bu külün atık depolama sahalarında günlük örtü olarak kullanılabilmesi önerilmektedir. Ülkemiz dünyadaki önemli kömür üreticilerinden birisidir. İstanbul civarında da düşük kaliteli kömür üretimi yapılmaktadır. Bu kömürün İstanbul içerisinde kullanılması durumunda büyük miktarlarda kül atık ortaya çıkmaktadır. Atık küller toplanarak atık depolama sahalarına kon-

maktadırlar. Özellikle kış aylarında büyük hacimlerde oluşan kömür külü atık depolarının servis ömürlerini azaltmaktadır. Öte yandan hem sağlık hem de stabilite açısından çöp günlük örtü tabakası ile kaplanmalıdır. Kömür külünün günlük örtü malzemesi olarak kullanılabilirliği SYG Merkezi tarafından incelenmiş ve İstanbul'da toplanan kömür külünün genel özelliklerinin günlük örtü olarak kullanılmaya çok elverişli olduğu saptanmıştır. Böylece atık depolarının servis ömürleri yüzde otuz'a varan oranlarda artırılmaktadır. Normalde depo alanına atılarak büyük hacimler kaplayan bir atık malzeme, günlük örtü olarak kullanılmakta ve pahalı kil örtü ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. İstanbul civarındaki kilerin kazılarak çevrenin tahrip edilmesi ve ekolojinin bozulması da böylece önlenmiş olacaktır.

Yukarıda bahsedilen çalışmaların yanında, diğer alanlarda da araştırmalar devam etmektedir. Geri kazanım yoluyla ülke ekonomisine yeni kaynak yaratılmış olmaktadır. Araştırma ve uygulama bir arada yürütüldüğü zaman verimli projeler üretilebilmektedir.

Gökhan Baykal

Prof.Dr., Boğaziçi Üniv. İnşaat Müh. Fak.

- Kaynaklar
 Baykal G., Köprülü K., "Rubber Added Fly Ash Base and Subbase in Highway Construction", 10 th Fly Ash Utilization Symposium, Orlando, FL, ABD, 1993.
 Baykal G., Kılanç B., "Kömür Curufununun Atık Depolama Sahalarında Günlük Örtü Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi", ZM5 Zemin Mekaniği ve Tünel Mühendisliği Ulusal Kongresi, Vol 2, s.540-551, Ankara, 1994.
 Baykal G., "Permeability of Rubber Sulf Liners Under Confinement", ASCE Special Technical Publication, No.46, pp.718-731, 1995.
 Baykal, G. ve Köprülü, K. (1995). "Rubber Added Fly Ash for Underground Petroleum Tanks", Fly Ash, Silica Fume and Natural Pozzolans in Concrete, ACI Special Publication SP 1 53, s.549-560 Detroit, ABD

Türkiye'deki "El Niño Yağmurları"

Sıcaklık, yağış, toprak nemi, rüzgâr, vb. iklim değişkenlerini kontrol eden ana kuvvet, atmosfer dolaşımıdır. Bu değişkenlerin birçoğundaki değişimler, atmosfer dolaşımının geniş ölçekli özellikleri kadar, kara ve okyanus yüzeyleri arasındaki etkileşimlerle de yakından ilişkilidir. İklimsel değişebilirlik esas olarak, bir orta enlem olayıdır. Bu görüş, özellikle kuzey yarımküredeki batı rüzgârlarında ve Rossby dalgası konumlarında gözlenen değişimler ve onların iklimsel değişebilirlik üzerindeki etkisi dikkate alındığında doğrudur. Kuzey yarımkürenin orta ve yüksek enlemleri, dünyanın başlıca ana karalarını oluşturmaktadır. Bu yüzden, okyanusların iklimsel değişebilirlik üzerindeki etkisi, güney yarımküreye oranla daha zayıftır. Bu, tropikal iklimlerde değişebilirlik bulunmadığı anlamına gelmez; onlar da değişkendir. Bu bölgelerde yaşayan toplumlar, yüzyıllardan beri yetersiz yağışlar sonucunda kuraklık olayları ile ya da çok şiddetli yağış nedeniyle çok yağışlı mevsimlerle, sonraki taşkın olaylarıyla ve onların doğurduğu hasarlarla birlikte yaşamaktadır. Tropikal kuşaktaki değişebilirliğin bir bölümü, batı rüzgârları kuşağının güneye doğru genişleyerek ekvator üzerindeki yağış kuşaklarını ekvatora yaklaştırdığı dönemler ile ilişkili olabilir. Batı rüzgârlarının oluşturduğu bu dışsal değişebilirliğin yanı sıra, tropikal bölgelerde içsel bir değişebilirlik de belirgindir.

Geniş ölçekli atmosferik özelliklerin oldukça iyi bilinen iki örneği, El Niño-Güneyli Salınım (ENSO) ve Kuzey Atlantik Salınımı (NAO)'dır. Özellikle 1960'li yıllarda başlayan küresel ve bölgesel analizler, ENSO ve NAO'nun, birçok alandaki iklimsel değişimlerle yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada, esas olarak ENSO konusundaki değerlendirmelerden, yayınlardan ve kendi çalışmalarımızdan yararlanarak,

hem El Niño-Güneyli Salınım konusunda temel bilgiler verilecek hem de bu deniz-atmosfer olayının Avrupa ve Türkiye yağışları üzerindeki olası etkileri değerlendirilecektir.

El Niño-Güneyli Salınım Olayı

Normal koşullarda Walker dolaşımı, ekvatorial Büyük (Pasifik) Okyanusu üzerinde gelişen bir atmosfer dolaşım hüresidir (Şekil 1a). Rüzgâr, Güney Amerika kıyılarından okyanusa doğru eserek, dip sularının yüzeye çıkmasına ve batı Pasifik'ten yaklaşık 5 °C daha soğuk olma eğilimi göstermesine neden olur. Hava bu bölge üzerinde kararlı olduğu ve yükselmediği için, normal Hadley dolaşımına katılmaz. Bunun yerine, güney Pasifik'te güneydoğu alize rüzgârlarını oluşturarak batıya doğru eser. Güneydoğu alizeleri, ulaştıkları sıcak batı Pasifik'te nem ve ısı kazanarak tekrar yükselirler. Yükselen havanın bir bölümü doğuya yönelir ve hücre tamamlanır. Bu dolaşım modelinde, her 2-5 (eski yayınlara göre, 2-7) yılda bir atmosferik karışıklık oluşur. Peru açıklarında deniz yüzeyi sıcaklığı (SST), aniden yaklaşık 4-5 °C kadar

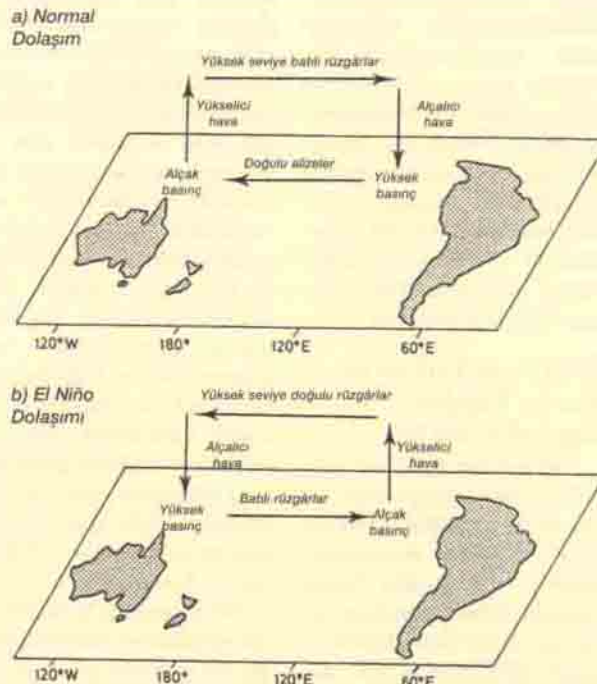
yükselir. Bu olay yaklaşık olarak Noel zamanına karşılık geldiğinden, Peru'lu balıkçılara uzun yıllardan beri, El Niño (İsa'nın çocuğu) olarak adlandırılır. Bu olağandışı ısınma, besince zengin üst sularla fakirleşmeye ve buna bağlı olarak da özellikle Peru'lu balıkçıların en önemli geçim kaynağı olan hamsi benzeri balıkların toplu ölümüne neden olmaktadır. Herhangi bir El Niño olayında, Walker dolaşımının ters ama zayıf olduğu gözlenir (Şekil 1b). Hadley dolaşımı ise kuvvetlenir. Hadley dolaşımındaki kuvvetlenme, zamanla yüzey alizelerini kuvvetlendirir. Kuvvetlenen alizeler ise, Pasifik üzerinde sürüklenen sıcak suyu tutar ve El Niño olayına son verir. Soğuk su doğu Pasifik'te tekrar ortaya çıktığında, Hadley hücresi zayıflar ve koşullar, sıcak su akıntılarının dönmüşü için tekrar uygulanır.

Önceleri El Niño, yalnızca bölgesel önemi olan bir okyanus olayı biçiminde kabul edilmişti. Ancak zamanla, Güneyli Salınım (SO) olarak bilinen bir atmosferik özelliklikle bağlantılı olduğu anlaşılan bu doğa olayı, küresel iklim sistemini kavrayabilmemizi sağlayan en önemli adımlardan biri olmuştur. SO'nun tarih-

çesi, Sir Gilbert Walker'ın Hint musonu üzerine 1920'lerde yaptığı çalışmalara uzanmaktadır. Walker, Hindistan'daki muson yağmurlarının mevsimsel değişebilirliğini açıklamak ve öngörmek istemiştir. Bu amaçla, orta-güney Pasifik ve Hint Okyanusu'ndan Doğu Afrika'ya kadar olan geniş bölgedeki basınç koşullarını incelemiştir. Bu araştırmalar sonucunda, basıncın Pasifik Okyanusu'nun doğusunda ortalamasının üzerinde olduğu zaman, kuzey Avustralya ve Hint Okyanusu boyunca ortalamasının altında olduğunu bulmuştur. Yeni çalışmalarda, Darwin (kuzey Avustralya) ve Tahiti (orta Pasifik) istasyonlarındaki basınç koşulları temel alınarak, bu basınç salınımı daha somut bir biçimde tanımlanmaktadır. Bu tanımlama, Darwin ve Tahiti'deki basınç anomalilerinin karşılaştırılması ile yapılmaktadır. Bu iki istasyondaki basınç anomalisi arasındaki fark, Güneyli Salınım İndisi (SOI) olarak adlandırılmıştır. Darwin-Tahiti anomalisi negatif olduğunda indis 'yüksek', pozitif olduğunda 'düşük'tür. Indisin herhangi bir yıl için oluşturulmasında, çoğunlukla kış ayları temel alınmaktadır.

El Niño-Güneyli Salınım'da Gözlenen Değişimler

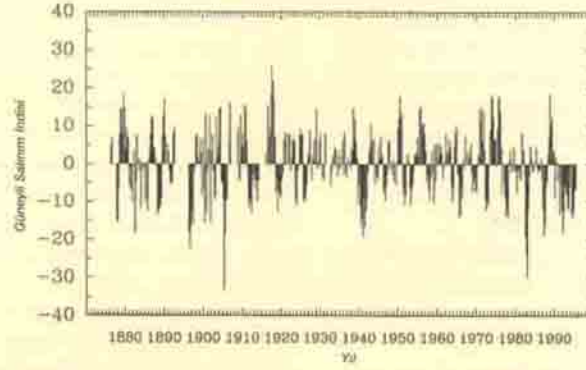
Yukarıda özetlendiği gibi, ENSO, 2-5 yılda bir oluşan önemli bir iklimsel değişebilirlik olayıdır. ENSO devresiyle bağlantılı gizli ısı salımı, küresel sıcaklığı etkilediği gibi, yükselici okyanus sularında ona bağlı olarak oluşan değişiklikler de atmosferi etkilemektedir. Bu yüzden, ENSO'nun etki süresini, uzun süreli ve anlamlı değişimler sergileyip sergilemediğini saptamak önemlidir. ENSO'ya ilişkin aletli kayıtlar, ancak 19. yüzyılın sonuna kadar uzandığından, ENSO olaylarının bir tarihçesini oluşturmak için çeşitli yardımcı/dolaylı araçlar kullanılmaktadır. ENSO değişebilirliğinin tarihlemesini yapmak için, tropikal mercanlar, ağaç halkaları, derin buz örnekleri ve buzul göl çökelleri gibi eski iklim kayıtlarından yararlanılmaktadır. ENSO'daki



Şekil 1. Güneyli Salınım'ın bir bölümünün oluşturduğu Walker dolaşımının, (a) normal ve (b) El Niño dönemlerindeki davranışları. Walker dolaşımı, El Niño döneminde normal akışının tersine çalışır. Yüzeyde, alizelerin yerine zayıf batı rüzgârları eser. Sıcak yüzey suları Güney Amerika açıklarında yığılır. Deniz ekosistemi bozulur; bazı türler yok olur.

olası değişiklikleri araştırmak amacıyla aletli kayıtlar da incelenmektedir. Bu amaçla, önceki bölümde de anlatıldığı gibi, SOI geliştirilmiştir. SOI'nin yüksek oluşu, Pasifik Okyanusu'ndaki alize rüzgârlarının kuvvetlenmesi anlamına gelmektedir. Kuvvetlenen alize rüzgârları, Güney Amerika'nın batı kıyısı açıklarındaki soğuk okyanus akıntısının yüzeyel akışına destek olmaktadır. Bu dönemde SST'lerin daha soğuk oluşu, azalan buharlaşmaya bağlı olarak, konvektif (yükselici) hareketlerin daha az oluşmasına neden olmaktadır. Bu da, Hadley hücrelerinin kuzeydeki ve güneydeki etkinliğinin sürmesi için gerekli olan, atmosfere doğru daha az gizli ısı aktarımı anlamını taşımaktadır. Tersine düşük bir SOI, alize rüzgârlarının zayıflaması ile bağlantılıdır. Bu yüzden, yükselici hareketlerdeki artış ile birlikte, yüzey sulanının batıya doğru hareketi de zayıflar ve Pasifik Okyanusu'nun doğusundaki yüzey suları ısınmaya başlar. Bunun sonucu, daha fazla buharlaşma, yağışta bir artış, gizli ısı salımı ve konveksiyon oluşumudur. Bunlar ise, Hadley hücrelerinin kuvvetlenerek belirginleşmesini ve Ekvatora yaklaşmasını sağlar.

Özetle, sıcak olaylar (ya da El Niño devreleri), SOI'deki büyük negatif anomaliler ile, ekvatorial orta ve doğu Pasifik'teki normalin çok üzerindeki SST'lerle bağlantılıdır. Ekvatorial doğu Pasifik serin olduğunda etkin olan soğuk olaylar (ya da La Niña devreleri) ise, SOI'nin pozitif anomalilerle ilişkilidir. ENSO'daki 2-5 yıllık dönemsellikler, uzun süreli SOI dizilerinde belirgin olarak görülebilmektedir (Şekil 2). ENSO'nun dönemselliğinde 1950'den sonra önemli değişiklikler oluşmuştur. 1950-1965 arasında ENSO olayı 5 yıllık bir dönem gösterirken, 1965'ten sonra dönem biraz kısalarak 4 yıla yaklaşmıştır. En belirgin ve yaygın ENSO sinyalleri, 19. yüzyılın sonunda ve 1940'dan sonraki dönemde (örneğin, 1972/73 ve 1982/83 olayları) oluşmuştur. ENSO'daki en belirgin değişiklik 1976/77 yılında



Şekil 2. Güneyl Salınım İndisi'nin mart-mayıs arası dönemdeki anomal değerlerinin değişimi. Darwin ve Tahiti'nin basınç değerlerinin bulunmadığı yıllarda, anomaliler gösterilmemiştir (Nicholls ve arkadaşları, 1996).

ortaya çıkmıştır (Şekil 2). El Niño olayları, o zamandan sonra görece olarak daha sık oluşmuştur. Başka sözlerle, SOI kalan dönemde negatif olma eğiliminde olduğu için, El Niño devreleri La Niña devrelerinden daha uzun sürmüştür. Bu dönemde, orta ve ekvatorial Pasifik'teki SST'ler, önceki on yılları göre önemli ölçüde yüksek olma eğilimindedir. Endonezya ve kuzeydoğu Avustralya gibi, kurak koşulların genellikle El Niño devreleri ile aynı zamanda oluştuğu kara alanlarındaki yağışlar, normalin altındaydı. Son yıllardaki ENSO davranışları ve özellikle 1989'den sonraki kararlı negatif SOI'ler, geçen 120 yıl ile karşılaştırıldığında olağandışı olarak değerlendirilmektedir. Özellikle Darwin verileri incelenerek, negatif SOI anomalilerinin geçen 120 yılda hiçbir zaman bu kadar uzun süreli olmadığı anlaşılmıştır. İstatistiksel analizler, ENSO'nun 1990-1995 dönemindeki davranışının doğal oluşma olasılığının 2000 yılda bir olduğunu göstermiştir.

ENSO'nun Türkiye ve Avrupa Yağışları Üzerindeki Etkileri

Tropikler dışı dolaşımın ENSO olaylarına vermiş olduğu yanıtla ilişkin çalışmalar, geniş ölçekli orta enlem dolaşımının, özellikle kışın, tropikal Pasifik Okyanusu'ndaki atmosferik değişimler ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. ENSO olayına ilişkin tropikler dışı sinyalin değişebilirliği dikkate alınarak, bir ENSO olayının olgunluk evresine karşılık gelen kış mevsim-

lerinde, Aleut alçak basıncının belirgin olarak derinleşme (şiddetlenme) eğiliminde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Emery ve Hamilton, 1985). Ropelewski ve Halpert (1987), görece olarak geniş ENSO ilişkili uyumlu yağış bölgelerinin Kuzey Afrika-Güney Avrupa ve Doğu Akdeniz-Orta Doğu üzerinde bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca bu araştırmacılar, adı geçen bölgelerdeki ENSO ilişkisini anlamının ya da bilinen herhangi bir ENSO ilişkili atmosfer dolaşımına bağlanmanın güç olduğunu belirtmişlerdir. Hamilton (1988), kuzey yarımküredeki tropikler dışı yanıtın kuvvetlenmesindeki ana etmenin, uzak batı Pasifik/Endonezya bölgesindeki SST'ler olduğunu ve ENSO olayları ile kuvvetli tropikler dışı bağlantının, uzak batı Pasifik'te SST'nin çok sıcak olduğunda daha sık olduğu sonucuna varmıştır. Ropelewski ve Halpert (1989), ayrıca, düşük SO indisi ile ilişkili yağışların gözlemlendiği çeşitli bölgeler için, SO'nun yüksek indisi devresi ve yağışlar arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Aynı araştırmacılar, bu bölgelerin çoğunun SO'nun yüksek indisi evresindeki karakteristik yağış anomalilerinin delillerini gösterdiğini ve yüksek SO indisi yağış ilişkilerinin düşük indisi evresine göre zıt sinyale sahip olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

SO ekstremeleri ile ilişkili iklim sinyallerinin belirlenmesinde, SO yıllarının yanı sıra, ondan bir önceki (yıl -1) ve onu izleyen (yıl +1) yılların iklim anomalileri de incelenmektedir. Örneğin, Kiladis ve Diaz

(1989), anlamlı sinyallere sahip geniş uyumluluk bölgelerinin SO ekstremelerinin her ikisinde de oluştuğunu, sıcak olay sinyallerinin genel olarak soğuk olaylar süresince oluşanlara göre zıt olduğunu ve yıl -1 dönemlerindeki iklim anomalilerinin yıl 0 dönemlerine göre zıt olma eğiliminde olduğunu bulmuşlardır. Onların sonuçları, kışın Türkiye'nin güneydoğu bölümünü içerecek biçimde Orta Doğu üzerinde normal sıcak olaydan daha kurak anomalilerin oldukça iyi tanımlanan bir bölge oluşturduğunu ve yıl +1 döneminde normal sıcak olaydan daha nemli koşulların Marmara Bölgesi ve Balkanlar üzerinde etkin olduğunu ortaya koymaktadır.

Fraedrich (1990), sinoptik klimatoloji koşullarının ENSO olaylarına verdiği yanıtları belirlemek amacıyla, Avrupa'nın alçak ve yüksek basınçlı hava tiplerini analiz etmiştir. Bu çalışma, sıcak dönemlerin, Avrupa üzerindeki alçak basınç koşullarının etkin olduğu günler sayısında, soğuk dönemlerin ise yüksek basınçların sayısında bir artışa karşılık geldiğini göstermiştir. Bu durum en yaygın olarak, bir sıcak ya da soğuk SO olayı yılını izleyen ocak ve şubat aylarında ortaya çıkmaktadır. Fraedrich ve Müller (1992), sıcak olay kışları boyunca Batı ve Orta Avrupa istasyonlarındaki negatif basınç anomalilerinin pozitif sıcaklık ve yağış anomalileri ile ilişkili olduğunu ve ters sinyallerin Kuzey Avrupa üzerinde gözlemlendiğini ortaya koymuşlardır. Yine bu araştırmacılar, Avrupa'nın batı ve güneybatı bölümlerinden Karadeniz'e uzanan alanın, yağış getiren cephesel alçak basınçların Avrupa üzerinde azalması nedeniyle soğuk olaylar süresince daha kurak; Türkiye'nin güneyini de içerecek biçimde Doğu Akdeniz Havzası'nın ve İskandinavya'nın, Atlantik alçak basınç yolunun Avrupa bölümünün güneye kayması ve Akdeniz alçak basınç yolunun soğuk olaylar dönemine göre kuzeye doğru kayması nedeniyle, sıcak olaylar süresince daha kurak olduğunu da göstermişlerdir.

Türkiye'nin 48 istasyonunda kış yağış dizileri için gerçekleştirilen çalışmada, SO'nun çeşitli evreleri süresince sıcak ve soğuk olaylar için elde edilen birleşik yağış anomalilerinin bazı uyumlu bölgeler gösterdiği ortaya konulmuştur (Türkes, 1996). Yıl 0 sıcak ve soğuk olaylar arasındaki zıt işaretler, birçok istasyonda belirgindir. Ancak, yıl 0 sıcak ve soğuk SO olaylarına karşılık gelen yağış anomalilerinin ortalamalarının hiçbirisi, uzun süreli ortalamadan (normal yağıştan) istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemektedir. Sıcak ve soğuk olay yağış anomalileri arasındaki işaret zıtlığı, yıl -1 süresince oldukça azdır. Bu esas olarak, istasyonların büyük bir bölümünün, yıl -1 sıcak ve soğuk olayları süresince pozitif bir anomalî göstermiş olmasıyla ilişkilidir. Başka sözlerle, Türkiye'nin kış yağışları, SO'nun sıcak (El Niño) ve soğuk (La Niña) olaylarından bir önceki yılda genel olarak bir artış eğilimi göstermektedir. Yıl -1 birleşik sıcak olay ortalamaları, istasyonların % 17'sinde uzun süreli ortalamadan istatistiksel olarak daha nemlidir. Yıl -1 pozitif sıcak olay yanıtları, kuzey ve batı bölgelerinde daha belirgindir. Normal yağıştan daha nemli koşullar, yıl -1 soğuk olaylar döneminde daha yaygındır. Bu dönemde, istasyonların yaklaşık % 25'inde normalin çok üzerinde yağış koşulları oluşmuştur (Şekil 3.a). Bu durum, özellikle karasal İç Anadolu Bölgesi'nde dikkat çekicidir. Yıl +1 soğuk olaylar süresince ise, normalden kurak koşullar, Karadeniz kıyı kuşağı dışında, istasyonların neredeyse tümünde egemen olmuştur (Şekil 3.b). Yıl +1 soğuk olaylar süresince, istasyonların yaklaşık % 15'inde normal yağışa göre önemli derecede daha kurak koşullar oluşmuştur. Başka sözlerle, kış yağışları, La Niña olaylarından bir sonraki yılda belirgin olarak azalmakta ve kış kuraklıklar yaşanmaktadır.

Sonuç

1996 ve 1997 ilkbahar ve yaz mevsimlerinde Türkiye'nin özellikle Marmara, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerini et-

kileyen kuvvetli yağışlar ve bunlara bağlı olarak oluşan sel ve taşkın olayları, bu yağışların nedenleri konusunda bazı ciddi savların ortaya atılmasına neden olmuştur. 1996 ilkbahar ve yaz aylarında oluşan kuvvetli yağışlar ısrarla iklim değişikliğinin bir sonucu olarak değerlendirilirken, 1997 ilkbahar aylarındaki kuvvetli yağışlar ve seller/taşkınlar iklim değişikliğine, ağustos ayında etkili olan serin, yağışlı ve rüzgârlı hava koşulları ise, birdenbire El Niño'ya bağlanmıştır. Şüphesiz bunda, bilimsel araştırma sonuçlarından çok, yabancı yayın kuruluşlarında ve popüler bilim ve magazin dergilerindeki, 1997 yazında kuzey yarımkürede etkili olan serin ve yağışlı hava koşullarını El Niño ile ilişkilendirme çabalarının ve Türkiye'deki bazı kuruluşların 'uzmanlarınca' yapılan açıklamaların da etkisi olmuştur. Çoğu kez bilimsellikten uzak ve yanlış olan bu bağlantılar ve açıklamalar, sansasyonel haber yapma ve bilgi verme davranışlarından kaynaklanmaktadır.

Yukarıdaki bölümlerde, El Niño-Güneyli Salınım olaylarının, çok belirgin sinyaller taşımamakla birlikte, Avrupa ve

Türkiye'deki iklim anomalileri üzerinde de etkili olduğu açıklanmıştır. Basında çıkan, 'El Niño geliyor', 'El Niño tokadı vurdu', 'El Niño yağmuru', vb. başlıklı haberlerin ve yazıların ana kaynağı ise, ENSO olaylarında 1980'li yılların sonlarından beri gözlenen düzensizlikler ve geçtiğimiz yıldan beri Güney Amerika açıklarında deniz suyu sıcaklıklarındaki El Niño ısınmasının fazla oluşuna ilişkin genellikle yurtdışında yapılan çeşitli öngörüler ve açıklamalardır. Bugünkü bilgilerimizle, SST anomalisi oluşumlarının, atmosfer dolaşımı tiplerinin kesintiye uğraması ile uyumlu olduğunu ve Rossby dalgası konularının bu anomalilere karşı çok duyarlı olduğu söylenebilir. Ancak, burada önemli olan, ekvatorial Büyük Okyanus'un doğusunda Güney Amerika açıklarındaki bu ısınmanın, kuzey yarımküredeki iklimsel değişebilirlik üzerinde nasıl bir etki yapacağını (ya da yapmadığını) belirlenmesidir. Bu tür bağlantıların kurulabilmesi, gerçekte çok emek ve bilimsel bir yaklaşım isteyen ayrıntılı çalışmalar ile mümkün olabilmektedir.

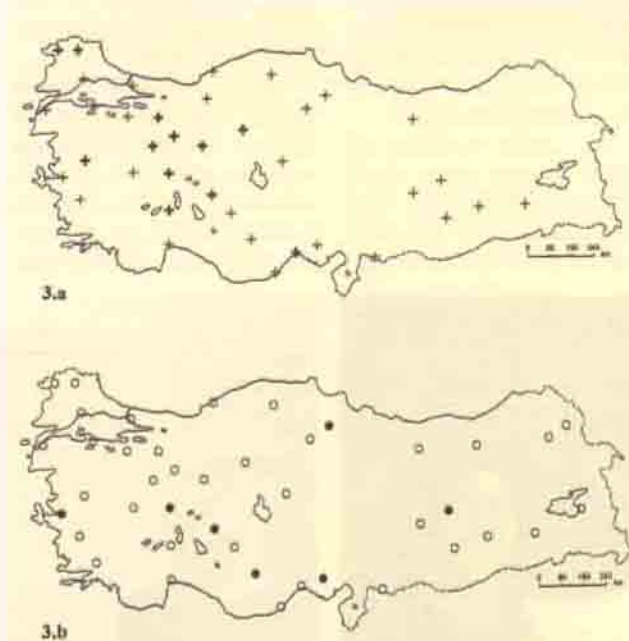
ENSO ve NAO'daki ya da genel olarak atmosfer dolaşımındaki değişimlerin ve de-

ğişikliklerin uzun süreli ve kapsamlı olarak izlenmesi, çok geniş kara ve okyanus alanları üzerinde gözlenen çeşitli iklim değişkenlerinin bilimsel yöntemler ile analizini gerektirir. Atmosfer dolaşımındaki değişimlerin doğasını ve büyüklüğünü ortaya çıkarmak için yapılmış gereken bu tip analizler ise, yüksek kaliteli (uzun süreli, eksiksiz, doğru ve homojen) istasyon verilerine dayanan analizlerle doğrulanma gereksinimi göstermektedir. Öte yandan, bu alanlara ilişkin analizler, ulusal meteoroloji kuruluşlarınca hava tahmini amacıyla hergün yapılmaktadır. Ancak, analiz programları, analizlere temel oluşturulan gözlem ağırları ve hatta teorik meteoroloji bilgi düzeyi, son 20-30 yılda ciddi bir biçimde değişmiştir. Bu yüzden, sözlü edilen bu günlük analizler, uzun zamandan beri atmosfer dolaşımındaki değişimlerin ve değişikliklerin incelenmesi açısından yalnızca sınırlı bir kullanım olanağı sunmaktadır.

Murat Türkes
Dr., Devlet Meteoroloji İşleri
Genel Müdürlüğü

Kaynaklar

- Emery, W. J. and Hamilton, K. "Atmospheric forcing of interannual variability in the northeast Pacific Ocean: Connections with El Niño", *J. Geophys. Res.*, 90, 857-868, 1985.
- Friedrich, K. "European crosswinter during the warm and cold extremes of the El Niño-Southern Oscillation", *Int. J. Climatol.*, 10, 21-31, 1990.
- Friedrich, K. and Müller, K. "Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes", *Int. J. Climatol.*, 12, 25-31, 1992.
- Hamilton, K. "A detailed examination of the extratropical response to tropical El Niño/Southern Oscillation events", *J. Climatol.*, 8, 67-86, 1988.
- Kiladis, G. N. and van Loon, H. "The Southern Oscillation. Part VII: Meteorological anomalies over the Indian and Pacific sectors associated with the extremes of the Oscillation", *Mon. Wea. Rev.*, 116, 120-136, 1988.
- Kiladis, G. N. and Diaz, H. P. "Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation", *J. Climate*, 2, 1069-1090, 1989.
- Nicholls, N., Griggs, G.V., Jouzel, J., Karl, T.R., Ogilvie, I.A. and Parker, D.E. "Observed Climate Variability and Change" in *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. IPCC, WMO/UNEP Cambridge University Press, 1996.
- Ropelewski, C. F. and Halpert, M. S. "Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation", *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1606-1626, 1987.
- Ropelewski, C. F. and Halpert, M. S. "Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation", *J. Climate*, 2, 268-284, 1989.
- Türkes, M. "Influence of geopotential height, cyclone frequency and Southern Oscillation on rainfall variations in Turkey", submitted to *Int. J. Climatol.*, 1996.



Şekil3.a) Güneyli Salınım'ın yıl -1 soğuk olaylar döneminde, kış yağışlarında artış gözlenen istasyonların coğrafi dağılışı. Önemli pozitif sinyaller kalın artı işareti ile gösterilmiştir.

Şekil3.b) Güneyli Salınım'ın yıl +1 soğuk olaylar döneminde, kış yağışlarında azalma gözlenen istasyonların dağılışı. Önemli negatif sinyaller içi dolu daireler ile gösterilmiştir.

Avrupa Birinciliğinin Ardından

Geçtiğimiz birkaç yılda o kadar çok şey oldu ki... Yaşadıklarımız hayatımızın en güzel deneyimleriydi. Aslında bilimsel serüvenimizin ilk günlerinde nasıl bir yolun başında olduğumuzdan habersizdik. Ve biz biyoloji öğretmenimizin teşviki ile biraz bilinçli biraz da bilinçsiz atmıştık ilk adımımızı.

Kuruluş amacı bilim adamı yetiştirmek olan bir okula, Ankara Fen Lisesi'ne başlamıştık. Fakat öğrendiklerimiz bir yığın teorik bilgiden ibaretti. Ne yazık ki, eğitim sistemimizdeki çarpıklıklar fen liselilere bile bilimin deneyimsel bir süreç olduğunu unutturmuştu. Bu döngünün bir parçası olmak yerine, yönlenden sapan hedeflerimizi yeniden bulmamız gerekiyordu. Bu nedenle bizim ilk amacımız, falanca üniversitenin filanca fakültesine girmek değil, gerçekten fen liseli olduğumuzu hissettirecek bir şeyler yapmaktır. Böylece düşüncelerimizi çeşitli üniversitelerdeki uzmanlarla tartışıp, bize yol göstermelerini sağladık. Ve ilgi alanımızı belirledik.

Gelişen dünyanın en büyük sorunu olan çevre kirliliğinin son yıllarda insan sağlığını da ciddi boyutlarda tehdit eder hale gelmesi bizi bu konuda çalışmaya yöneltti. Öte yandan projemiz gerek teorik bilgilerin edinilmesi, gerekse laboratuvar çalışmalarının tamamlanmasın-

da Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nin destekleriyle şekillendi.

Projemiz

Çevre kirliliğine neden olan sentetik kimyasal atıklardan endüstriyel ve tarımsal ilaçların, doğadan yok edilmesinde biyolojik parçalanma etkin bir mekanizma olarak bilinmektedir. Doğal çevrenin korunmasında bu mekanizmadan yararlanılması, çalışmamızın temelini oluşturdu. Yapısında bulunan plazmidler sayesinde *Pseudomonas putida*'nın klorlu hidrokarbonları parçalayabildiği saptanmıştır. Projemizde, *P. putida*'dan izole edilen degradatif plazmidlerin *Escherichia coli*'ye transformasyonu, *E. coli*'ye toksik hidrokarbonları parçalayabilme yeteneğinin kazandırılmasını amaçladık.

İki senelik özverili bir çalışma döneminin ardından olumlu sonuç veren deneylerimiz, doğal bakteri popülasyonlarından halojenli hidrokarbon yıkım kapasitesine sahip olanların izole edilerek çoğaltılmalarından sonra, kirlenmiş bölgelere uygun yöntem ve şartlarda verilmesi, ya da yıkım özelliğine sahip genlerin klonlanarak bu kapasitelerinin geliştirilmesi sayesinde çevre kirliliğinin önlenmesinin ya da mevcut kirlenmelerin giderilmesinin mümkün olabileceğini gösterdik.

Öte yandan topraktan tek karbon kaynağı olarak toksik hidrokarbonlardan MCA (Monokloroasetikasit) kullanılarak izole ettiğimiz 11 *Pseudomonas*



Almanya, Kasım 1996, YEER Ödül Töreni

putida suşunun 3 tanesinin moleküler ağırlığı yüksek plazmidler içerdiklerini bulduk. Genellikle *P. putida* suşlarında hidrokarbonları parçalama özelliklerinin plazmidlerce taşınan genler tarafından belirlendiği rapor edilmektedir. Biz de çalışmamız da bu bulguları doğruladık.

Söz konusu plazmidlerin hidrokarbonları parçalama özelliğine sahip oldukları gen transferi yoluyla ispatlanmıştır. Bu çalışmada da, *P. putida* suşlarından izole ettiğimiz plazmid DNA'ları hidrokarbon yıkım özelliği olmayan bir *E. coli* suşuna aktardığımızda, *E. coli* MCA'yı tek karbon kaynağı olarak kullanabildi.

Hentüz okulun ilk haftasındayken, tüm fen liseliler gibi bilimsel çalışma yönteminin her basamağını sular seller gibi ezberlemiştik. Ama uygulama beklediğimizden çok daha zordu. Tecrübesizliğimizden dola-

yı üzerinde çalıştığımız her deneyi defalarca tekrarlamak zorunda kalıyorduk. Fakat kurulan her deney tüpü yarattığı hayal kırıklığına rağmen bizdeki başarıya ulaşma arzusunu biraz daha kamçılıyordu.

TÜBİTAK Proje Yarışması

TÜBİTAK, yetenekli ve istekli, lise ve dengi okul öğrencilerini temel ve uygulamalı bilim dallarında çalışmaya özendirme için her yıl proje yarışması düzenler. Doğrusu bizi proje yapmaya iten nedenlerden biri de TÜBİTAK ortamına girebilmek ve Türkiye'de bilimi, bilim adamını destekleyen, ilgiyle okuduğumuz Bilim ve Teknik dergisinin yayınlanmasını sağlayan bu kurumu daha yakından tanıyabilmektir.

Proje raporları, TÜBİTAK'ın oluşturduğu bilimsel kurul tarafından incelendiğinde çalışmamız sergiye değer



Solda, Almanya, Kasım 1996, YEER, Bremen, Sağda, Young Europeans Environmental Research Sergi Salonu





Almanya Dönüşü, Ocak 1997, Cumhurbaşkanlığı Köşkünde Ödül Töreni

bulundu. Yaklaşık bir hafta süren sergi boyunca Türkiye'nin dört bir yanından yapılan birbirinden ilginç çalışmaları inceleyebilmiş ve bilimin sıcak ortamında kurduğumuz güzel arkadaşlıklar sayesinde tüm yorgunluklarımızı unutmuştuk. 1996 yılının Mayıs ayında yapılan bu sergi sonunda projemiz ikincilik ödülü ile beraber Çevre Özel Ödülü'ne değer görüldü. Böylece her yıl Almanya'da düzenlenen Genç Avrupalılar Çevre Araştırmaları Proje Yarışması (YEER)'na katılma hakkını kazandık. Ağustos ayında da Gebze'de düzenlenen TÜBİTAK Ulusal Bilim Olimpiyatları Yaz Kampına, ülkemizi en iyi şekilde temsil edebilmek için çağırılmıştık. İki hafta boyunca, olimpiyatçı arkadaşlarımızla bilgi alış-verişi yapabilmiş ve Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Bölümü'nün değerli öğretim üyeleri sayesinde bilgi dağarcığımızı genişletmiştik.

Kasım ayında, Almanya'nın Bremen kenti, 35 ülkeden toplam 60 projeye katılan 92 öğrenciyi misafir ediyordu. TÜBİTAK ile başlayan bilimsel yolculuğumuz YEER (7. Young European Environmental Research) ile hız kazanmıştı. Bu yarışmada, ülkemizi temsil etmenin mutluluğunu tadabilmenin yanı sıra farklı kültürlerden birçok insanla tanışıp, değişik yerleri gezebilmenin heyecanını da yaşadık.

12 profesörden oluşan uluslararası jüri heyetinin değerlendirmeleri sonucunda birincilik bize verilmişti. Avrupa Birinciliği... Bu bir rüya olmalıydı! Geleceğin Avrupa'sına model oluşturmak amacıyla kurulmuş bir organizasyonda Türkiye adını tüm dünyaya duyurmuştuk. Ülkemiz adına yaşadıklarımız sözcüklerle anlatılamayacak kadar güzel ve gurur vericiydi. Öte yandan birincilik ödülü olan 7000 DM, geleceği-



İngiltere, Temmuz 97, Stonehenge (dünyanın ilk bilgisayarı)

mizin karanlık olmadığını bir göstergesiydi.

Serüvenimiz henüz bitmemişti. Çünkü hayatımızın en güzel 15 günü, 1997 yılının Temmuz ayında, Londra'da bizi bekliyordu.

TÜBİTAK'ın bize verdiği en büyük ödül LIYSF (London International Youth Science Forum) için yapılacak elemelere bizi de aday göstermesiydi.

ÖSS'yi henüz atlatmışken elemeleri geçmemiz bize moral kaynağı oldu. ÖYS sonrası ise Londra Uluslararası Gençlik Bilim Forumu-97 bizim için hem muhteşem bir tatildi hem de bilim serüvenimizin bir sonraki basamağı idi.

15 gün boyunca dünyanın 70 ülkesinden genç bilim öğrencileri ile her konuda bilgi alışverişi yapabildik. Onları sadece bilimsel yönleriyle değil, ait oldukları farklı kültürleriyle de tanıdık.

Birbirinden ilginç konularıyla dünyaya bakış açımızı genişleten, deneysel gözleme dayalı çeşitli gösterilerle süslenmiş konferanslara, seminerlere katılmanın yanı sıra mükemmel bir organizasyonun parçası olarak sosyal etkinliklerden yararlanma ve pek çok güzel yer görme olanağımız oldu. Pek çoğumuz başlangıç meridyenin Greenwich'ten geçtiğini bilir, fakat pek azımız aynı anda dünyanın hem doğu hem de batı yarımküresinde olduğunu hissetme şansına sahip olmuştuk. Biz de çok şanslıyız...

Geriyeye dönüp baktığımızda tüm yaşananların ardında kazanılan ödüllerden çok daha değerli, değişen bir şeyler olduğunu görüyoruz: Çok az insanın sahip olduğu, tarafsız gözlem ve bilimsel düşünceleri kıyaslayabilme yeteneğini kazanmak.

Gelişen dünyaya ayak uydurmak bilimsel çalışmaları desteklemekle mümkündür. Çalışmalarımız süresince bizlere yön gösteren ve destek olan herkese sonsuz teşekkürler.

Bize gelince; serüven bitmedi... Unutmayalım ki yaşayabileceğimiz en güzel deneyimi henüz bilmiyoruz.

*Funda Pepelil - **V. Oran Kotan
*HU Top Fak. (Uyg. Hızır) Sınıf Öğrencisi
**HU Top Fak. (Uyg) Birinci Sınıf Öğrencisi

Nano-Faz Malzemeler

Nano-faz malzemeler son yıllarda akademik alanda ve endüstri alanında gittikçe artan bir öneme sahiptir. Nano-faz metaller, seramikler, kompozitler, yarı iletkenler ve diğer katı malzemeler, bu malzemelerin yaygın formlarında olduğu gibi aynı atom veya moleküller tarafından oluşturulurlar. Bu atomlar nano-faz malzemeler içinde nano-metre (10⁻⁹metre) boyutunda taneçikler meydana getirirler. Malzeme bu taneçiklerin bir araya geçmesiyle oluşur. Oysa sıradan malzemelerde taneçikler mikron ile milimetre arasında bir boyuta sahiptirler ve her bir taneçik yaklaşık milyar mertebesinde atom içerir. Fakat nano-faz malzemelerde tane büyüklüğü 100 nanometreden küçüktür; örneğin, 30 nanometre çapında bir tane yaklaşık 900 atom içerir ve bir nokta işaretinin milyonda birinden daha küçük bir boyuta sahiptir. Diğer bir deyişle, yaklaşık 5 metrelik bir teknenin dünya ile karşılaştırılması gibidir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, bu malzemelerin dayanım, elastik, optik ve elektrik özellikleri, mikron veya milimetre boyutunda taneli malzemelere göre oldukça farklıdır; örneğin, nano-faz bakır sıradan bakıra göre 5 kat daha dayanımlıdır. Nano-faz seramik malzemeler büyük taneli malzemelere göre daha fazla kırılma direncine sahiptirler; böylece ticari önemi büyük olan bu malzemelerin dayanımları, renkleri veya plastik özellikleri tane boyutlarının kontrolü ile düzenlenebilir.

Birkaç yıl öncesine kadar ancak miligram mertebesinde ve laboratuvar koşullarında üretilebilen bu malzemeler, şu an ticari olarak tonlarca üretilmektedir. Nano-faz malzemelerin tarihi Büyük Patlama ile birlikte başlamıştır, ilk meteorlar nano-faz yapıya sahip, yoğun maddeler tarafından oluşturulmuşlardır. Aynı zamanda deniz kabukları, iskeletler ve dumanı oluşturan parçacıklar da nano yapıya sahiptirler. Ancak nano-faz malzemeler ilk defa akademik olarak 1959'daki American Physical Society'nin

yıllık toplantısında tartışılır. Nobel Ödüllü fizikçi Richard Feynman malzemenin çok geniş bir spektrumunda değişiklik gösterebileceğini iddia etmiştir. 60'lı yılların başlarında Ryogo Kubo, Tokyo Üniversitesi'nde çok küçük atom kümelerinden (cluster) oluşan malzemelerin kuantum mekanikğine göre davranışlarını hesaplamaya yarayan bir model çalışması yapmıştır. Sonraki 20 sene içerisinde çalışmalar devam etmiştir. Benzer araştırmalar Sovyetler Birliği'nde askeri alanda sürdürülüyordu. Riso National Laboratuvarları'nda, Alman Herbert Gleiter nano-kristal malzemeler hakkında birçok yayın yaptı. Daha sonra Prof. Gleiter'in doktora öğrencisi Horst Hahn ve şu an Rensselaer Polytechnic Institute'de malzeme mühendisliği bölüm başkanı olan Prof. Richard Siegel nano-faz malzemelerin yaygın bir şekilde üretimiyle ilgili çalışmalarına başladılar. İlk olarak nano-faz titania (TiO_2) seramiğini 10 nanometre boyutunda üretmeyi başardılar. Kurdukları Nano-Phase Technology adındaki şirket ile de akademik alandaki başarılarını ticari alana taşımayı başardılar. Titania boyu üretiminden kağıt üretimine kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

Nano-faz malzemelerin üretim metodu şu şekilde basitçe anlatılabilir. Soğuk bir kış günü bir pencerenin yanında sobanın üzerinde kaynayan bir miktar su düşünelim. Buharlaşan su molekülleri hava molekülleri ile çarpıştığında yoğunlaşarak küçük atom kümeleri şeklinde havada asılı kalırlar. Bu hava daha sonra doğal konveksiyonla soğuk pencere camı üzerine doğru taşınır ve burada buz kristalleri şeklinde birikir. Bu kristaller camdan kazındığında kartopu şeklinde nano-faz yapıya sahip malzeme elde edilebilir. Aynı şekilde, metal erime sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda iken yüzeyinden atomlar buharlaşır. Nano-faz malzeme üretmek için daha sonra bu buharlaşan atomlar soğutulmak amacıyla helyum gibi asal gazlara maruz bırakılırlar. Gazla herhangi bir kimyasal reaksiyona girmeden soğuyan atomlar çok küçük boyutlarda (yaklaşık 1-100 nanometre) he-

men hemen küresel kümecikler şeklinde yoğunlaşırlar. Atomların buharlaşma hızı, ana malzeme tipi, soğutma gazının basıncı bu atom kümeciklerinin veya tane-ciklerinin boyutlarını etkileyen faktörlerdir. Eğer, amaç nano-metal üretmekse, gaz olarak asal gaz kullanılır ve üretim hücrelerinde herhangi bir kimyasal reaksiyonu engellemek gerekir. Ancak, amaç nano-faz seramik malzeme üretmekse, metal atom kümecikleri ile reaksiyona girecek uygun bir gaz soğutucu, gaz olarak kullanılmalıdır. Örneğin, titania üretimi için, oksijen gibi. Şu an metaller, seramikler, yarı-iletkenler, polimerler, kompozitler gibi birçok malzemelerin nano-faz formu üretilmektedir.

Nano-faz yapıya sahip malzemeler daha düşük sıcaklıklarda, daha kısa zamanlarda daha yoğun bir şekilde sinterlenebilmektedir. Nano-faz titania oldukça sünek ve oda sıcaklığında presleme yoluyla ince disk formlarına şekillendirilebilmektedir. Özellikle, malzeme esas boyutunda kısa zamanda ve kolaylıkla şekil verilebilmekte (net shape forming) ve bu yüksek süneklik önemli bir ticari avantaj sağlamaktadır. Yüksek sıcaklığa ve korozif atmosferlere karşı dayanımı (otomobil motoru gibi) özellikle bu metalleri oldukça çekici hale getirmektedir.

Hahn tarafından yapılan araştırmalara göre, 800 °C bir sıcaklıkta titania seramik malzemesine kırılmadan % 60 oranında şekil verilebilmektedir. Bu işlem sıradan seramik malzemelerde gevrek kırılmaya sebep olmaktadır. Böylesine kırılğan malzemeler nasıl bu kadar büyük oranlarda, herhangi bir hasar meydana gelmeden şekil değiştirebilmektedir. Bunun sebebi, yük altında nanometre boyutundaki tanelerin çok rahat bir şekilde birbirinin üzerinde kayabilmesidir. Bu işlem, tanelerarası kayma (grain boundary sliding) olarak da bilinir ve nano-faz seramik malzemelerin esas şekil değiştirme mekanizmasını meydana getirir. Nanometre boyutundaki tane ne kadar küçükse, şekil değiştirme esnasında oluşan kırıkların ve çatlakların tamiri için atomların hareket etmesi gereken mesafe o kadar küçüktür ve bu nedenle kırılma-

dan şekil değiştirebilme kabiliyeti de o kadar artar. Bu avantaj ticari üretim esnasında son boyuta şekil verme zamanının çok kısa sürelere indirilebilmesinin esas sebebinin teşkil etmektedir.

Prof. Weertman'ın, özellikle bakır ve palladium üzerinde yaptığı çalışmalar gösterdi ki, eğer tane boyutu 50 nanometre civarında olursa, malzemenin dayanımı sıradan malzemeye göre iki kat artırılabilmektedir. Bu şekilde sadece tane boyutunun kontrolü ile 5 kat daha dayanımlı malzemeler üretmek mümkün olabilmektedir. Bunun sebebi olarak, ilk önce artan toplam tane sınırları miktarının dislokasyonların hareketini daha etkin bir şekilde engellemesi akla gelse de, bu mekanizmanın sebebinin nano-faz malzemelerde oldukça farklı olduğu görüldü. Özellikle transimiyon elektron mikroskop incelemeleri, tane-ciklerin dislokasyonların oluşturduğu gerilmeleri destekleyemeyecek kadar küçük olmasından dolayı yapıda dislokasyon yoğunluğunun çok düşük olmasına bunun da yüksek dayanıma neden olduğunu ortaya koydu.

Nano-faz malzemelerin optik özellikleri de oldukça farklı olabilmektedir. Görülebilir ışığın dalga boyu 380 - 765 nanometre civarındadır ve hareketi 50 nanometre tane boyutuna sahip bir malzemenin iç yapısından önemli oranda etkilenmemektedir. Rutgers Üniversitesi'nde yapılan bir araştırmada, yttria'nın (Y_2O_3) nano-faz formdayken şeffaf bir görünüme sahip olduğu görüldü. Oysa sıradan yttria mat bir görünüme sahiptir. Buna karşın, küçük dalga boyulu morötesi ışığı nano-faz formdaki titania, çinkooksit ve demiroksit gibi malzemeler iç yapılarındaki tane sınırları boyunca yansımalar sebebiyle emebildikleri için güneş filtreleri gibi uygulamalarda bu ışınların sözlmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Bilindiği üzere malzemelerin rengi tane boyutuna da bağlıdır (Quantum Confinement etkisi) ve özellikle AT&T laboratuvarlarında ve Columbia Üniversitesi'nde yapılan çalışmalarda kadmiyum selenit, tane boyutuna bağlı olarak hemen hemen her renkte üretilebilmiştir.

Nano-faz malzemelerin kimyasal özellikleri de oldukça umut vericidir. General Motor Laboratuvarları'nda yapılan araştırmalarda, nano-faz formdaki platin ve rodyumun çok etkili bir katalitik potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, otomobillerin ekzos sistemlerinde kullanılan katalitik konverterlerde titania'nın hidrojen sülfür tutma kapasitesi 5 kat daha artırılabilir. İlk bakışta, bunun asıl sebebinin toz metalojisiyle üretilmiş, fazla kompakt olmayan bir yapıya sahip malzemelerde, taneler milimetre veya mikron mertebesi yerine nanometre boyutundayken toplam yüzey alanı/toplam hacim oranının oldukça büyük olması düşünüldüğünde, gerçek sebebinin farklı olduğu görülmüştür. Titania tanelerinde eksik olan oksijen iyonlarının yerleri küçük atomları tarafından oldukça kolay bir şekilde doldurulabilmektedir. Daha sonra bu atomlar tane içlerine doğru difüze olarak tekrar boşluk bırakırlar. Bu işlem katalitik konverterde toplam hacmin tamamen kökürde doymasına dek sürer. Toplam doyma zamanı konverterin ömrünü belirler.

Nano-faz malzemelerin elektrik ve manyetik özellikleri de etkileyicidir. Özellikle çinkooksit yarıiletken uygulamalarında çok farklı katkılarla doping yapılabilmektedir. Bu imkân, bu malzemelerle voltaj bağımlı direnç ve varistor üretimini mümkün kılmaktadır. Bu ürünlerde lineer olmayan davranış tane sınırlarının elektrik özelliklerinden ileri gelmektedir. Tane boyutu ve buna bağlı olarak da tane sınırı bu ürünlerde eşik (threshold) voltaj değerini etkilemektedir.

Şu an nano-faz malzemelerin karakterize edilmesi ve farklı özelliklerinin keşfi konusunda birçok araştırma yapılmaktadır. Gittikçe artan bir öneme sahip bu malzemeler geleceğin malzemeleri olarak görülmektedir. Malzeme alanında çalışmalar malzemelerin, atomlarının tek tek kontrolü ve bunların akıllıca ve verimli bir şekilde dizilmesiyle elde edilmesine doğru yönelmektedir.

Celalattin Ergun

Rensselaer Polytechnic Institute, ABD

Kaynaklar:
Richard W. Siegel, *Avrupa*, Temmuz 1996
M.N. Burhan and T. Altshuler, *The American Ceramic Society Bulletin*, Volume 76, No. 6, June 1997