

Teknolojik İlerleme, Verimlilik ve Modern Teknoloji Altyapısı

Teknoloji sistemi, zaman içinde, 19. yy.'da tek başına yenilik peşindeki mucidin yerine, kolektif-organize araştırma laboratuvarını ikame etmiş; 20. yy. ilk yarısında, araştırma laboratuvarı üretim sistemi yani firma ile organik bağı kurarak geliştirmiştir. Ancak, 20. yy.'ın son çeyreğinde, üretim sistemi genişleyerek-esneyerek global bir nitelik alırken, bu üretimi destekleyen, onun içinde (ve bir çok örneklerinde de dışındaki bağımsız) teknoloji üretim sistemi, hem üniversite hem de diğer destek sistemleriyle organik bağlar kurmuş; kendi içinde yatay ve dikey uzmanlaşma-tabakalaşmaya uğramıştır. Teknoloji üretim sisteminin, diğer ana ve destek sistem elemanlarıyla, bunların eklemleriyle ortaya koyduğu genel sisteme "teknoloji altyapısı" diyebiliriz.

Böylece, patent ofisinden İnternet'e, teknoparktan evdeki terminale değin genişleyen, niteliği değışen modern teknolojik alt-yapı, toplumsal hayatın her kesitinde yeni sorunlar, yeni kavramlar doğurmaktadır. Artık, firma bazında, tek başına 'kapalı' bir teknoloji üretiminin ekonomisi, tıpkı, herhangi bir ücra köşedeki ileri üretim yapan bir fabrika örneğinde olduğu gibi, tartışmalı, hatta olanaksızdır. Bu makalede, yeni teknolojik alt-yapı koşulları, bunların Türkiye'de ve Ege'de, ne ölçülerde gerçekleşebileceği araştırılmıştır.

Teknoloji Tarihine Kısa Bir Bakış:

Günümüzde "teknoloji", diğer mal ve hizmet kategorilerinden ayrı, kendine özgü üretim teknolojileriyle üretilen, girdileri ve çıktıları ölçülebilir, saklanabilen, arz ve talep edilen ve dolayısıyla piyasaları olan üretilmiş bir mal, bir "meta"dır. Böyle olunca, teknoloji üretimi de, sinai malların üretiminde olduğu gibi, modern za-

manlarda çeşitli evreler, nitelik değışmeleri göstermiştir. Bu üretim de, el zanaatı (craft) ve manüfaktürden kitle üretimine; mahalli üretimden küresel üretim biçimlerine doğru yol almıştır.

İcadın anonim dönemi ile mucitler dönemi yani medeniyetlerin ilk aşamasından, yaklaşık 20. yy. başlarına değin geçen t e k n i k ilerle- m e

sü- reci, el zanaatı ve manüfaktür üretimine paraleldir. Teknik ilerleme, modern çağların başına değin yani 17. ve 18. yy.'lara kadar çok ağır ve organik biçimde, her hangi bir kişiye atfedilemeyen icat ve yeniliklerle ortaya çıkmış, Kapitalist sistemin oluşmasıyla ve özellikle Sanayi Devrimiyle kişisel mucit sayılarında büyük artışlar görülmüştür.

İngiliz Sanayi Devrimi (yaklaşık 1760 - 1860), ondan önceki Merkantilist (aynı zamanda Manüfaktür) dönemi ve sonrası mucitlerin altın çağı sayılabilir. Kapitalizm üretim

ABD'de Patentlerin Şirket ve Şahıslara Dağılımı (1901 - 1957)

Yıllar	Toplam Patent Sayısı	Yüzdeler Dağılımı		
		Şirketler	Şahıslar	Hükümet
1901	25.548	18.2	81.8	0
1931	51.798	48.5	51.4	0.1
1951	44.326	55.2	42.8	2.0
1957	42.744	62.3	35.5	2.2

Kaynak: NBER, The Rate and Direction of Inventive Activity; Economic and Social Factors, Princeton, 1962, s. 63

araçlarındaki özel mülkiyet türlerini geliştirip, pekiştirirken, fikri mülkiyet hakkını (patent) da tesis etmiştir. Patent sisteminin icatları korumak ve mucit-icat sayısını arttırmadaki işlevi de açıktır. Ancak, kişisel mucitlerin çoğu toplumsal bir talebe cevap vermekten ziyade, kendi dünyalarında, kendi kapasiteleriyle bazı yenilikler y a p -

rumaktadır.

Kollektif-organize biçimde teknoloji üretiminin ilk aşamasında Schmoockler'in kiralık ya da "esir mucit" (captive inventor) tipi ortaya çıkmıştır. (Schmoockler, 29) Bu tip, icadın ekonomi bakımından içselleştirilmesi sürecinde ilk adım gibi görülebilir. Arkasından endüstriyel araştırma laboratuvarının, üretim sistemi içine (firmada) yerleşmesiyle, icat organik biçimde firmayla ilişkilendirilmiş ve teknoloji üretimi de içselleştirilmiştir. Bu aşamayı, kitlesel üretimle ilişkilendirmek, teknoloji üretiminde kitlesel üretime geçiş diye adlandırılmak da mümkündür. Bu dönemde, kişisel icatlar ortadan kalkmamakla birlikte miktar ve nitelik olarak önemleri azalmış, şirket patentleri öne geçmiştir. (Tablo 1) Bu aşamadan, teknolojiye esnek üretim ya da global üretim içindeki işbölümüne geçiş 1980'lerin sonu veya Soğuk Savaş'ın sonuna rastlar.

Soğuk Savaş'ın teknoloji üretimine etkisi de, teknolojinin Soğuk Savaş'a etkisi kadar önemlidir. Çünkü, dünyada teknoloji üretiminin hızlandırılmasında ve yönlendirilmesinde iki siyasi blok arasındaki stratejik denge hesapları büyük rol oynamıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında ortaya çıkan iki kutuplu dünyanın stratejik ve taktik silahlanmaları gereği yürütülen ileri Ar-Ge faaliyetleri, devletleri bilim politikası alanına çeken başlıca etkenlerdir. Savaş esnasında Manhattan Projesi (atom bombası), radar, ENIAC vb. projelerle başlayan kamu Ar-Ge projeciliği, gelişmiş ülkelerin bilim politikalarını da, yeni iktisat-maliye veya refah-egitim politikalarında olduğu gibi, kamu finansmanı ağırlıklı ve dolayısıyla de hükümetler tarafından yönlendirilen-güdülen bir politikalar seti haline döndürmektedir. Bu aşamada bilim politi-

Gerçekten de, 19. yy. sonunda, kitle üretiminin (Taylorist montaj bandı) artması, mucit tipolojisinin, basit, pratik insanları yerine, üniversite veya fabrika laboratuvarlarında tüm gün çalışan, yüksek tahsilli (mühendis, bilim adamı) yani profesyonel araştırmacıya doğru yönelmeye başladığı gözlenmektedir; tedricen icadın kolektif-organize aşamasına girilmektedir. Yine de 20. yy. ortalarına kadar kişisel icat genel icat stoku içinde ağırlığını ko-

kapları, pratikte, devletler tarafından yapılması kararlaştırılmış büyük stratejik projelerin, yani Ar-Ge faaliyetlerinin finansmanı ve koordinasyonundan ibaret sayılabilir (Türkcan, 1996).

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra özel sektörde, yeni ortaya atılan Bilim Politikası jargonu yani Frascati Elkitabına göre "iş alemi"nde, yenilik faaliyetleri (Ar-Ge) çok hızlı artmakla birlikte, önemli bir kısmı kamudan gelen bu Ar-Ge faaliyetleri, yeni teknolojiler üretme talebine cevap veririr. Çok gizli ve stratejik sayılan bazı konular dışında, ABD'de sanayi şirketleri, Pentagon'ca talep edilen yeni silah sistemleri, araçlar üretmek için bu alanlarda, önce Ar-Ge projelerine, sonra üretime başlarlar. Diğer sanayi ülkelerinin de (Avrupa ve Sovyetler) bilim politikaları benzer çerçeveye sokulabilir. Ancak, gelişen ülkeler için, kalkınmayı hızlandıran, sosyo-ekonomik ağırlıklı bir bilim politikası imkanı (teorisi) geliştiriliyor olsa da, bu bir türlü pratik sonuçlar veremiyordu. Bu belki de, kalkınma teorisi ve pratiğinin, yarım yüzyıl sonunda, vardığı nihai sonuçla, başka bir deyişle başarısızlıkla açıklanabilir: Savaştan önce zengin (kalkınmış) olan ülkelerin listesi, yaklaşık sayısı ve Dünya gelirindeki payları fazla değişmemiştir. Oysa, gelirdeki payları yaklaşık 1/5 oranında kalan az-gelişmiş ülkelerin hem sayısı hem de nüfusu hızla artmıştır (Türkcan, 1997). Yine de Bilim Politikaları, gelişmeye fazla yardım edemese dahi, diğer alanlarda, ve özel olarak ilk birikimini yapmış ve teknoloji üretimi aşamasına gelmiş "yeni sanayileşmiş ekonomiler"de (NICs), Pasifik

kaplanları denilen ülkelerde, işlevini görmüştü: Sanayi, dış ticaret, eğitim ve vergi politikalarının belli bir stratejik amaca yönlendirildiği genel bir politika seti içine yerleştirilen bilim politikalarının başarıya ulaştığı bilinmektedir.

Pasifik bölgesinde yeni teknoloji odakları oluşurken Soğuk Savaşın yumuşadığı ve birdenbire sona erdiği görülür. Bu olgunun, bilimin özellikle "Bilişim ve İletişim Teknolojileri" (BİT) nin getirdiği ve kapalı ekonomilerde yarattığı sismik dalgaların bir sonu -

ç u
olduğu
da, günü-
müzde tartıtı-
lan ve herhalde gele-
cekte de tarihçilerin üzerinde önemle duracağı bir varsayımdır.

Soğuk Savaş sona ererken, Batı'nın ileri sanayi ülkelerinde bazı önemli gelişmeler ya da oluşumlar ortaya çıkıyordu. BİT bazında bir "Bilişim Toplumu" ya da "Enformasyon Toplumu" (Information Society, IS) ile "Esnek Üretim Sistemleri" diğer unsurlarla birleşerek, günümüzdeki küresel-

leşme (globalleşme) denilen, Dünya'daki ekonomik-sosyal ve kültürel birliğin hızlanması na yol açıyordu. Hızla gelişen enformasyon ve iletişim teknolojileri, kimilerinin sanayi ötesi toplum diye adlandırdığı enformasyon toplumunun bel kemiğini oluştururken, imalatta esnek üretim sistemlerinin ortaya çıkıp yaygınlaşmasına da sebep oldu.

Modern üretimin, çelişkili gibi görülsede, birbirini tamamlayan iki ayrı hatta zıt yön-
de geliştiği, ancak bir yerde birbirine kavuştuğu söyle-
nebi-
dir:



Üre-

tim tüm

dünya pa-

zarına göre, çok

büyük ölçekte örgütlenir-

ken, tek bir mekan ve tek

bir tesiste yoğunlaşmıyor, dün-

yanın her yerindeki pek çok

tesiste esnek bir strateji içinde

gerçekleşiyor. Başka şekilde

ifade edilirse, ulusal olmaktan

çıkıp, uluslararası hatta ulusla-

rötesi sınırları aşarak, büyük fir-

malar çok çeşitli malları, dün-

yanın çeşitli yerlerine yayılmış

olan kendilerine veya başkalarına

ait (fason) tesislerde, maliyet

ve satış stratejilerine göre

üretmeye başladılar. Hangi tesiste hangi malın hangi parçasının üretileceğine veya bunların nerelerde monte edileceğine, şartlardaki değişimler bağlı olarak en kısa zaman da karar verilip uygulamaya geçiliyor; esnek üretim sistemleri de buna teknik olarak imkan veriyor. Örneğin, arabamızın, TV'nizin veya bilgisayarınızın parçalarının hangi montaj hatından çıktığını ve hatta nerede üretildiğini bile bilmeyebilir bununla da ilgilenemeyebilirsiniz; önemli olan marka ve kalitedir; yani sonuçta yaptığınız bir teknoloji seçimidir.

Küresel Araştırma Köyü

"Mal" üretimine paralel olarak "teknoloji üretimi" de bir taraftan globalleşirken bir taraftan da esnekleşip, kendini daha küçük parçalara ayırmaya başladı. Bilişim ve iletişim teknikleri, "İnternet" vb. bilgi ağları gerekli alt-yapıyı sağladı: Küresel Araştırma Köyü ortaya çıktı. OECD 1994 Raporu'na göre, "Elektronik iletişim ve bilişim teknolojisi bilim ve sanayi topluluklarını bir yakınlaştırmaya, kamu ve özel sektör arasında olduğu kadar ulusal sınırlar ötesinde de yeni araştırma işbirliği ve gerçek hareketlilik biçimleri oluşturmaya olanak tanımıştır. Küresel Araştırma Köyü, bilginin giderek artan biçimde küreselleşmesi, sadece bilginin ulusal sınırlar ötesinde değişimi değil daha ileri bir duruma ulaşması, bilgi üretiminin dünya ölçeğinde örgütlenmesidir. Küreselleşmenin uzman ve kaynak paylaşımından çok daha fazla olduğu bir durumdur."

Teknoloji üretiminin bu aşamasında yine yoğunlaşma ile yaygınlaşma süreçlerini bir arada görmekteyiz. Sadece ileri



teknoloji ve/veya ürünleri yaratan firmaların toplandığı, Silicon Valley, Route 128, Sophia Antipolis gibi özel coğrafi mekanlarla, daha özel amaçlarla, bilim ve teknolojiyi bir arada tutan akademi-kentler, bilim ve teknoloji parkları vb. oluşumlar teknoloji üretimindeki yoğunlaşma süreçlerine örnektir. Ancak, yoğunlaşmış bu mekanlar, kendi içlerinde kapalı, kendine yeterli (compact) birimler gibi düşünülmemelidir. Hem bu mekanlar içinde çok geniş bir iletişim ağları (elektronik veya geleneksel) hem de bu mekanlarla dünyanın geri kalan bilim-teknoloji ve üretim birimleri arasında yaygın biçimde bir iletişim bulunmaktadır. San Francisco ile San Jose arasında yer alan, 2 milyon kişinin yaşadığı Silicon Valley'de yaklaşık 6.000 ileri teknoloji firmasının 1995'deki satışları 200 milyar dolar, yarrattığı katma değer 65 milyar dolar olup Internet'ten yararlanma ABD ortalamasının iki katıdır. Burada dünyanın her tarafından gelen en seçkin ve yetişmiş insan gücü, Stanford, Berkeley, Caltech gibi en seçkin üniversiteler ortalama bir firmayı bir küçük Birleşmiş Milletlere dönüştürmekte, burası ABD toprağı olmasına rağmen bir mikrokosmos yaratmaktadır. Sadece, Hindistan, çoğu buraya olmak üzere, yılda 12 bin ila 15 bin enformasyon uzmanını ABD'ye göndermektedir. Bu ülkenin yıllık mezun sayısı 50 bin kadardır (The Economist). Malezya'nın da, Kuala Lumpur'da yeni açılan Dünya'nın en yüksek binaları olan Petronas Twin Towers'dan başlayarak yeni havaalanına uzanan 750 km²'lik bir "Multimedia Super Corridor"u (MSC), bütün mega-projelerin anası olarak, Silicon Valley'in Güney-Doğu Asya versiyonu şeklinde tasarlanmıştır. Yetkililer, bu konudaki amaçlarını şöyle açıklıyorlar: "Bilgi işçilerine, yaratıcılıklarını ortaya koyacakları ideal bir ortam geliştirip, bir multimedya ütopyasını gerçekleştirmeyi amaçlıyoruz."

Burada üzerinde durulmak istenilen globalleşme tarzı ise

firmaların teknoloji üretmek için yaptıkları anlaşmalardır. Gerçi, teknoloji işbirliği, ortak teknoloji projeleri ve bunlara firmaların katılması yeni bir yaklaşım tarzı sayılmaz; İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra (hatta savaş sırasında atom bombası imali dahil) pek çok ulusal ve uluslararası büyük proje, uzayın keşfi, süpersonik yolcu uçağı (Concorde) gibi örnekler, hem devletler arası hem de firmalarla devlet ve firmaların kendi aralarında devletten aldıkları bir proje çerçevesindeki teknoloji üretiminin ilk deneyimleridir. Özellikle, firmalara devletlerin bir büyük projenin parçası olarak verdiği, fakat kendi aralarında teknolojik işbirliği gerektiren işler, zamanla, ileri teknoloji firmalarına, teknoloji işbirliği-paylaşımı yolunu açmıştır.

"Teknolojik Ortaklık Anlaşmaları" ya da "Stratejik Anlaşmalar" neo-klasik mikro iktisat teorisindeki firma işlevleri, piyasa tanımlarına uymasa da, firmalar arası işbirliği, fiyat veya bölge kartelleri bilinmeyen uygulamalar değildir. Zaten, teknoloji üretimi, neo-klasik teoride iktisat-dışı bir süreç sayıldığından bunun ortak veya firma içinde üretilmesine ilişkin bir teori de gereksizdir.

Teknoloji ortaklıkları, firma-içi teknoloji üretiminin giderek daha pahalı, aşırı-ölçekli ve daha ileri uzmanlık isteyen alanlara kaymış olmasından kaynaklanmıştır. Ar-Ge yönetimi, tekniklerinin zaman içinde gelişmesi, firmaların teknoloji ortaklıkları yapmalarına imkan veren bir faktördür. Genelde, teknoloji ortaklıklarının tipleri ve aşamaları bir ürün devresi temasındaki karakteristiklere uymaktadır. Bilindiği gibi "ürün devresi" bir ürünün, zaman içinde karlılığının y-ekseni içinde belirlenmesine ilişkin bir kavramdır. "Rekabet öncesi ortaklıklarda (pre-competitive alliances) firmalar yeni ürünler yaratmaya çabalar. Böyle bir hazırlık yeni fiziki yeteneklere ulaşmak için temel araştırma biçiminde ortaya çıkar. Bu ortaklıklar, nitelikleri gereği, getirilmesi düşünülen yeni ürün

grubunun ortaya çıkmasından önce oluşturulur. Ürün geliştirme ortaklıkları (product development alliances) çok kere farklı sanayilerden firmaların yeteneklerini bir araya getirir. Araştırma genelde temel araştırma niteliği taşımaz. Daha ziyade, ürün kalitesini ve yeni ürün çeşitlerini geliştirmek için, mevcut bilgileri yeni biçimlerde birleştirmek çabasıdır. Değişik standartlar yaratma, piyasa payını artırmak ve yerleşik firmaların egemenliğini azaltmak için güçlü bir mekanizma gerektirir; buna yönelik ortaklıklar ürün ve fiyat rekabetinden önceki geçiş döneminde kurulurlar... Bundan sonraki aşama fiyat rekabeti tarafından yönlendirilir...Ortaklıklar maliyet düşürme amacıyla biçimlenir. Girdi sağlayanlarla bağlar kurulur... daha büyük ölçek ekonomilerine ulaşmak, üretim teknolojilerini iyileştirmek için çaba sarf edilir." (Mody;4-5). Konumuz stratejik ortaklıkların iç dinamiklerini incelemek olmadığı için, çizilen bu çerçeve içinde Türkiye'de ve özel olarak Ege'de ne gibi teknolojik alternatifler olduğunu araştırabiliriz.

Türkiye ve Ege İçin Yeni Bir Teknolojik Boyut Önerisi

Türkiye'ye tüm önemli modern teknolojiler, devlet eliyle 1930'larda uygulanan Birinci ve İkinci Sanayi Planları bir yana konulursa, 1950'lerden itibaren, 6224 sayılı "Yabancı Sermayeyi Teşvik Kanunu" kapsamında gelen yatırımlarla transfer edilmiştir. Yatırım mallarına içerilmiş olarak gelen teknolojiler dışında, sadece 1980-92 yılları arasında 707 lisans anlaşmasıyla gelen teknolojilerin önemli bir kısmı (% 88) imalat sektörüne aittir. Bunların da % 63'ü, 391 lisans anlaşması "genelde yatırım malları üreten sanayi kolları"na dağılmıştır (OECD, Türkiye; 59-60).

Böylece Türkiye, uçak montajından oto üretimine, kamyon ve çamaşır makinası tasarımından yeni inşaat tek-

niklerine değin pek çok teknolojik yeniliği üretim alanında gerçekleştirmiş, bir sanayi malları ihracatçısı konumuna ulaşmıştır; şimdi, daha özgün ve ileri teknolojiler üretme aşamasına gelmiş bulunmaktadır. Bu sanayileşme sürecinde, yalnız "Yabancı Sermayeyi Teşvik" değil, genelde, 1963'den beri uygulanmakta olan Kalkınma Planları çerçevesindeki diğer önlemlerin ve teşviklerin de büyük rolü olmuştur. Aynı süreç, aynı sanayileşme paradigması içinde kalınarak, yeni bilim ve teknoloji politikalarında, teknoloji üretim aşamasına geçmekte yine aynı başarıyla tekrarlanabilir mi?

Şartlar, Dünya'da ve Türkiye'de çok değişmiştir. Sadece, başlıklar olarak hatırlatmak gerekirse, Kalkınma Planı uygulamaları teorik ve pratik düzlemlerde önemini yitirmiştir; yeni Dünya Ticaret Örgütü (WTO) ile ortaya çıkan uluslararası ticaret kuralları, yatırım ve üretim teşviklerini kaldırmış, belli oranlarda Ar-Ge teşviğini kabul etmiştir; kamu maliyelerinin gücü azaldığı gibi, 1960'ların "refah devleti" anlayışı da eskimiştir; büyük teknoloji projeleri çok azalmış, belki de ortadan kalmıştır; devlet tasarımlı-güdümlü bilim politikaları, yerlerini firma stratejilerine veya stratejik ortaklıklara bırakmaktadır.

Türkiye de bu gelişimin dışında değildir: 30 yıllık arza dayalı TÜBİTAK bilim politikası, son yıllarda tedricen ortaya çıkan bir sanayi araştırma talebine cevap verecek biçimde kendini revize etmeye çalışmaktadır (Türkcan). Bu arada Türk bilim sistemini yeni bilişim olanakları ile kendi birimleri arasında ve bunları dünya sistemine bağlayacak yeni "Ulusal Araştırma Ağları -

TÜBİTAK'ın yeni mevzuat çerçevesinde 15.9.1995 ila 6.5.1997 tarihleri arasında Sanayi AR-GE Projelerine yaptığı destekle ilgili olarak, kısaca şu bilgileri verebiliriz:	
Ortalama Proje Süresi	20 Ay
Toplam Tahmini Proje Maliyeti	241 M. USD
Ortalama Destek Oranı	0.65 M. USD
Toplam Tahmini Destekleme Oranı	0.67 M. USD
Gerçekleşen Destekleme Tutarı (Proje sayı: 148)	3.06 M. USD
Ödenen Desteklenen Tutarın Projelerin Bölgesel Dağılımı: %	3.00 M. USD
İstanbul: 4% Ankara: 16% Kocaeli: 10% İzmir: 7% Diğer: 21%	

ULAK-NET Projesi- 1996'da başlatılmıştır. Sistemin kapasitesi, amacı, bağlantılı olduğu ağlar ve terminal listeleri Kurum'dan temin edilebilir.

Ancak, TÜBİTAK'ın kaynakları, mevcut talep için şimdilik yeterli görünse de, çok kısa zamanda bu talebe cevap veremeyecek hale gelecektir. Artık Türkiye'de kamu kaynaklarına (mali sübvansiyona) dayalı özel yatırım stratejileri gerçekçi olamaz. Devlet ya da devlet organları, TÜBİTAK, DPT, KOSGEB, TSE, MPM vb. belli bir güce sahiptir; en önemlisi yol gösterici ve düzenleyici işlevlere yönelmek durumundadırlar. Daha başka bir ifade ile devlet kaynaklarından veya organlarından, belli hizmetler dışında büyük şeyler beklemek gerekecektir. Yine de devletin, burada, özel olarak bir kamu kuruluşu olan TÜBİTAK ve Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) (TTGV'nin Kasım 1992'den 1996 sonuna değin desteklediği 96 projeden (267 proje teklifi yapılmıştır) 41 tanesi tamamlanmış, 55 tanesi yürümektedir. Kural olarak, proje maliyetinin en az yarısı, teklif veren firmalar tarafından karşılandıktan, TTGV'nin destek kararı alıp 14.46 M. USD da gerçekleştirdiği 45.52 M. USD lık proje destek hacmi, sanayi açısından 94.11 M. USD a teka-bül etmektedir. Desteklenen Projelerin Dağılımı (% olarak) Enformasyon teknolojileri 23; Materyal 24; Elektrik-elektromekanik 14; Makina 16; Bio ve Agroteknoloji 13; Diğerleri 10.) kanalıyla yeni WTO kuralları çerçevesinde kalarak yaptığı ve yapacağı mali ve teknik yardımları küçümsemek ve göz ardı etmek de mümkün değildir. Bu sistemden de azami şekilde yararlanmayı düşünmekle birlikte, geleceğin ileri teknoloji girişimcileri, bu faktörleri öz imkanlarına ek bir kaynak gibi değerlendirip, gelecekteki yatırım proje/programlarında gözönüne alınmalıdır. Kalkınma Planları çerçevesinde hareket etmeğe alışmış-isterse-niz klasik veya eski usul diye-lim-1970'lerin Türk yatırımcı-



ları ise, devlet yardımlarını esas alıp, kendi imkanlarını yardımcı bir faktör gibi görme eğilimindedirler.

Yukarıda belirttiğimiz yabancı sermaye ve sanayileşme ilişkisinden hareket ederek, yeni teknolojiler transferinin ve daha önemlisi, teknoloji üretiminin yine yabancı ileri teknoloji firmalarının, Türkiye'de kuracakları teknoloji ortaklığı ilişkileri içinden çıkabilecekleri ileri sürebiliriz. Önerdiğimiz basit politika modelinin ana çizgileri: Devletten, mevzuat dahil, hiç bir şey beklemeden; belli avantaj bölgelerinin, kendi imkanları içinde birer "Silicon Valley" yaratma girişiminde bulunmalarıdır. Çok iddialı görünebilecek bu öneriyi bir miktar kalifiye edersek, öyle imkansız bir haval peşinde olmadığımızı da anlayabiliriz.

Kuşkusuz, Silicon Valley çok özel şartların ürünüdür. Ancak, orası da yaşanmakta, fiyatlar, ücretler ve rantlar hızla artmakta, trafik sıkışıklığı ve çevre kirlenmesi nedeniyle Vadi'de, beklenen "diseconomies" kendini, bölgeden kaçış şeklinde belli etmektedir (The Economist). Uluslararası mal ve teknoloji üretiminin esnek tekniklerle dünyanın her tarafına hızla yayılma eğilimleri gösterdiği günümüzde, Thales'in doğduğu yerlerde yeni bir bilgi üretim merkezini canlandırmak, Ege'li işadamlarıyla üniversite içindeki ve dışında-

ki aydınlara düşmektedir.

Ege'de milyonlarca hatta milyarlarca dolarlık sanayi ve turizm yatırımlarını gerçekleştirmiş Bölge girişimcilerinin ila devletten yardım almayı beklemeleleri, çok değerli bir vaktin kaybına yol açar. Sorun sadece, bir güzel mekan ve altyapı hazırlayıp beklemek de değildir; her türlü girişimcinin ve araştırmacının buraya gelmesi için aktif bir propaganda çabası gösterilmelidir. Eğer devletten bir şey istenecekse bu, burada çalışmaya gelecek kimselerin çalışma müsaadeleri ve vergi sorunlarına ilişkin mevzuatın kolaylaştırılması olmalıdır. Hatta, modelin önemli bir unsuru olan yüksek öğretim altyapısı için bile...

Bu bölgede Ege ve Dokuz Eylül Üniversiteleri yanısıra, kuruluş halinde İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü mevcuttur. Ege ve Dokuz Eylül, Türk Üniversite sistemi içinde seçkin bir konuma sahip olsalar bile, devlet üniversiteleri olarak, harcamalarında, personel taksislerinde kamu kaynaklarına ve usullerine tabidirler. Oysa, yabancı dilde öğretim ve araştırma yapan özel bir İzmir 'Teknik Üniversitesi' (IZTÜ) nin temeli, yeni kurulmakta olan İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü olabilir. Örneğin, bölgedeki girişimcilerin kuracağı bir Eğitim Vakfı aracılığıyla, bu enstitünün Vakfa devriyle ilgili girişimler başlatılabilir. İstanbul ve Ankara'da bir çok vakıf üniversitesi varken İzmir'in bu konuda geç kalmayacağı tahmin edilir. Bölge par-

menterlerinin bu kanun tasarısını izleyip kanunlaştırmaları, seçim bölgelerine yapacakları en önemli hizmetlerden biri olacaktır ve bu girişim şimdiden başlatılmaldır. Çünkü aktif propagandanın en büyük dayanaklarından birisi, yurtdışı araştırma merkezleriyle yakın ilişkiler kurmuş dinamik bir üniversitedir. Bu üniversitenin kurulması için, TÜBİTAK'ın yürüttüğü DOP-ROG Araştırma Destek Programından yararlanılarak, Doğu ülkelerinden ve Türkül Cumhuriyetlerden yabancı araştırmacı ve öğretim üyeleri de sağlanabilir.

Aktif propagandadan kasıt, Ege'li girişimcilerin, Bölge'de çalışacak aday firmalara, yeni tasarımları, ayaklarına giderek anlatmalarıdır. Tahmin edilir ki, Silicon Valley'deki 6 bin ve diğer yerlerdeki binlerce firma ile Dünyada "venture capital" ile uğraşan kuruluşlara başvuranlar arasında, bu bölgeye gelmeye, en azından bu alternatifini ciddi biçimde düşünmeye hazır bir çok aday çıkar. Unutulmamalıdır ki, kaliteli araştırmacılar, hem iyi şartlarda çalışmak hem de iyi yaşamak istiyor. Bilgi toplumuna erişim, iletişim sorunları, hemen her yerde, sadece belli bir para ile çözülebilecek bir teknik düzeye indirgenmiştir. Güzel bir iklimde, rahat ve kolay bir çalışma ortamının diğer teknik yapıdan daha önemli, ikame edilemez bir faktör haline geldiği unutulmamalı; bu EGE faktörü öne çıkarılmalıdır.

Ergun Türkcan
Prof. Dr. Gazi Ü. İktisat Bölümü
TUBITAK Başbağ Danışmanı

İzmir Ticaret Odası, 13-14 Haziran 1997,
İzmir Teknolojik Eğitim ve Bölge Ekonomileri
Sempozyumu'nda sunulmuştur.

Kaynaklar
The Economist, Survey Silicon Valley, March 29th 1997,
Financial Times, May 19 1997, Malasia Survey,
Ashoka Mody, "Changing Firm Boundaries: Analysis of
Technology-Sharing Alliances", The World Bank Industry
and Energy Department Working Paper No. 3,
Feb. 1989.
OECD, Conference on the Global Research Village,
DSTI/STP/96/5, Paris.
J. Schmoedler, Invention and Economic Growth, Harvard
University Press, 1966.
E. Türkcan, "Dünya'da ve Türkiye'de Bilim ve Teknoloji
Politikalarının Evrimi", Friedrich-Ebert Vakfı'nın 30
Mart 1996, Ankara'da düzenlediği Bilim Politikası
Çalışma Günleri sunulan tartışma dokümanı
E. Türkcan, "Kalkınmanın Geçmiş ve Geleceği", Milli-
yetler Birliği Dergisi, Cilt. cxi, sayı 196, Şubat 1997.

Atıksulardaki Ağır Metal İyonlarının Giderimi ve Geri Kazanımı

Çağımızda endüstriyel atıklar, kentsel atıkların ve kanalizasyon sularının yanında, yüzey sularını kirleten önemli kaynaklar haline gelmiştir. Kentlerde ve endüstride kullanıldıktan sonra atılan suların tümü için "Atıksu" deyimini kullanılmaktadır. Atıksular fiziksel, kimyasal ve/veya biyolojik kirlilik gösterebilir. Fiziksel kirlilik, renk, koku, sıcak atıkların etkisi ile su kaynağının sıcaklığında yükselme, asıltı maddeler ve köpüklenme ile kendini gösterir. Atıksuların kimyasal kirliliği ise içerdiği çözünmüş organik maddeler, toksik maddeler ve fosforlu maddelerden ileri gelir. Ağır metaller atıksulardaki başlıca kimyasal kirleticilerden sayılmaktadır. Hayvansal, bitkisel ve organik atıkların etkisi ile aşırı üreyen bakteriler, yosunlar, funguslar ve virüsler ise biyolojik kirliliğe neden olur.

Kimyasal Kirleticiler

Atıksulardaki kimyasal kirleticiler, bozunabilirliklerine göre üç grupta toplanabilir.

Bozunmayan kimyasal kirleticiler: Zamanla kimyasal ve biyolojik parçalanmaya uğramayan klorür ve benzeri inorganik bileşiklerdir. Derişimleri alıcı suda birikimden ötürü zamanla artar, yağmur suları ile azalır.

Bozunan kimyasal kirleticiler: Biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerdir. Mikroorganizmalar tarafından bozularak inorganik kararlı bileşiklere dönüşürler.

Kaheclar: Zamanla biyolojik birikime yol açan Hg, As, Cd, Cr, Pb gibi metaller ve tarım ilaçları gibi organik maddelerdir. Uzun yarı ömürlü birçok

radioaktif maddede nispeten kalıcıdır.

Suyun Kalite Kriterleri, Atıksu Standartları ve Arıtılması

Suyun kullanılacağı yere ve amaca göre değişen kalite kriterleri vardır. Bu kriterler herhangi bir amaçla kullanılacak suyun, o amaca uygun ve yeterli özelliklerinin ayrıntılı tarifidir. Kalite kriterlerini saptamak için gerekli olan parametre ve bu parametrelerin alt ve üst limitleri suyun kullanılacağı amaca göre belirlenir. Çizelge 1'de şehir suyu olarak kullanılacak suyun kalite kriterleri ve üst limitleri verilmektedir. Atıksu standartları ise, kullanıldıktan sonra çevreye bırakılacak atık suyun özelliklerinin tanımlanmasıdır. Atıksu arıtımında temel amaç, kent ve endüstride atılan suların kirlilik derecelerinin, kullanım yerlerine göre istenilen düzeye indirilmesidir. Çizelge 2'de altyapı tesislerine bırakılacak atıksu standartları verilmektedir.

İstenilen düzeyde bir arıtım elde edebilmek için kullanıldığı bilinen yöntemler başlıca 3 grupta toplanır.

Birincil işlemler: Bu yöntemler, yumaklaştırma (flokulasyon), pıhtılaştırma (koagülasyon), durultma (sedimentasyon), yüzdürme (flotasyon) gibi mekanik işlemler içerir.

İkincil işlemler: Doğal ve yapay biyolojik tesislerde, kendi ağırlığıyla çökemeyen, asılı ya da koloidal taneciklerle, çözünmüş organik maddelerin atıksulardan uzaklaştırılması mikroorganizmalarla sağlanır. Mikroorganizmalar genellikle aerobik koşullarda, organik maddelerin

Çizelge 1. Şehir suyu olarak kullanılacak suyun kalite kriterleri

Kalite Kriteri	Üst Limit
Fiziksel	
Renk (Pt-Co standardı)	75
Koku	değişebilir
Sıcaklık	< 30 °C
Türbiditye	değişebilir
Mikrobiyolojik	
Topl. koflam	<10000/100 ml
Fekal koflam	<2000/100 ml
Inorganik	
pH	6,0-8,5
Çözünmüş oksijen	> 4 ppm
Top. çözünmüş katılar	500 ppm
Top. NO ₂ ve NO ₃	10 ppm (azot dışı)
Kadmiyum	0,01 ppm
Krom (VI)	0,05 ppm
Bakır	1,0 ppm
Demir	0,3 ppm
Kurşun	0,05 ppm
Çinko	5 ppm
Klor	250 ppm
Fosfor	değişebilir
Sülfat	250 ppm
Organik	
Syanür	0,20 ppm
Yağlar	0
Fenol	0,001 ppm
Pestisit	< 0,05 ppm

bir kısmını enerjiye dönüştürürken, diğer kısmını hücre için gerekli yeni maddelerin biosentesinde kullanır.

Üçüncül işlemler: Kendi kendine çökemeyen asılı taneciklerle, kolloidlerin ve inorganik iyonların topraklaşarak, yumaklar halinde çökelmeleri ve koagüle olmaları için uygulanan yöntemlerdir.

Suların daha ileri düzeyde arıtılmasını amacıyla kullanılan fizikokimyasal yöntemler ise aktif karbon adsorpsiyonu, iyon değişimi, çözücü ekstraksiyonu, ters osmoz, elektrodializ ve kimyasal yükseltgemedir.

Ağır Metal Kirliliği İçeren Atıksular

Atıksuların kimyasal yönden kirliliği organik veya inorganik olabilir. İnorganik kirlilik, organik kirliliğe kıyasla daha sürekli olup, organik kirlilik gibi kendini temizleme olanağı yoktur. Seyrelme ve çökme olmadığı sürece çok zehirli boyutlara ulaşabilir. Atıksular ağır metal kirliliği yönünden BOD'leri düşük genellikle asidik, suda yaşayan

ve bu suyu kullanan canlılar için oldukça zehirli, kendi kendine temizlenme veya arıtımda etken mikroorganizmaları bile öldürebilen, inorganik karakterli sulardır. Sularda kirliliği yapan arsenik, cıva, kurşun, krom, kadmiyum, nikel, demir, çinko ağır metal iyonlarıdır. Bazı ağır metal iyonlarının insan sağlığına etkileri Çizelge 3'de özetlenmektedir (Kuleli ve Gürel, 1991). Metal kirliliğinin başka bir boyutu ise radyoaktif buluşmadır. Nükleer silahların denenmesi, nükleer endüstri atıkları ve atmosferde oluşan radyoizotoplar bu tür kirliliğin kaynaklarıdır. Zehirleyici özelliklerine rağmen ağır metal iyonları taşıdıkları teknolojik önem nedeniyle endüstride geniş ölçüde kullanılmakta ve endüstriyel atıklardan belli miktarlar besin zincirine girmektedir.

Ağır Metal Kirliliği İçeren Atıksu Kaynakları

Ağır metal kirliliği içeren atıksular özellikle aşağıda belirtilen endüstrilerde gelmektedir.

Maden Endüstrisi: Kömür ve diğer maden ocaklarının çalıştırılabilmesi için madenden çıkarılarak atılması gereken asidik maden drenajları yüksek derişimlerde kalsiyum, magnezyum ve demir; düşük derişimlerde alüminyum, mangan ve diğer ağır metal iyonlarını içerir.

Metal Endüstrileri: Başta demir-çelik endüstrisi olmak üzere, bakır, krom, çinko endüstrileri, çeşitli fiziksel ve kimyasal proseslerinde oldukça fazla su kullanır ve atıksularını da bu metal iyonlarını içerir.

Sanayi Kuruluşları: En çok kirlilik ve zehirlilik potansiyeline sahip olan bu grupta başta metal kaplama sanayi olmak üzere, otomotiv, elektrik ve elektronik malzemeler, mutfak ve ev eşyaları, boru, kapsül, tüfek, makine ve boya endüstrileri atıksularını yer alır.

Bu endüstrilerden gelen ve ham yüzey sularına karışan atıksular içerdikleri yüksek derişimlerde ağır metallerin yanı sıra, organizma besleyici fosfatlar, BOD (biyokimyasal oksijen ihtiyacı) yükseltici keton, hid-



Şekil 1. *Rhizopus arrhizus* (küp mantarı)



Şekil 2. *Saccharomyces cerevisiae* (maya)

rokarbon, yüzey aktif maddeler, süspansiyon maddeleri ve yağlar da içerebilirler.

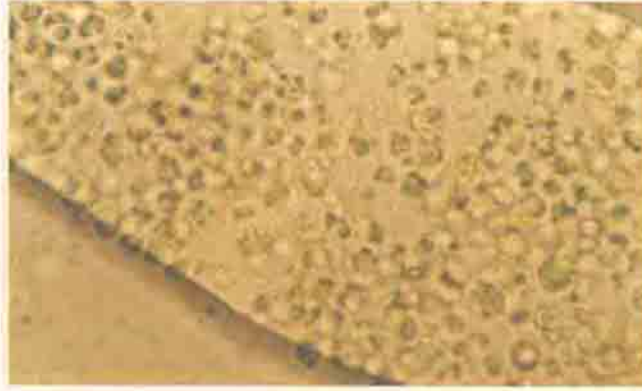
Ağır Metal İçeren Atıksuların Arıtım Yöntemleri

Ağır metal içeren atıksuların arıtımı genelde işletmenin kapasitesine, atıksu debisi ve karakteristiklerine, prosese, arıtma tesisine, kullanılan kimyasallara bağlı olmakla birlikte, temel kimyasal olarak metal iyonunun çökebilir bir bileşiği şekline dönüştürülmesi ilkesine dayanır ve başlıca dört kısımda incelenebilir.

Arıtım yöntemlerinden halen kullanımı devam eden yöntemler ise şu başlıklar altında toplanır:

İndirgeme-çökeltme yöntemi: Bu yöntemle yüksek değerli metal, çökebilir bir şekline indirgendikten sonra, nötralle edilir, reaktifin aşırısı metali çökeltilir. Çöktürmede karıştırma, flokülasyon, koyulaştırma ve süzme işlemleri yapılır. Bu yöntem özellikle kromlu atıkların arıtımında kullanılır.

Yükseltgeme-çökeltme yöntemi: Bu yöntemde indirgenmiş metal, kararlı, yükseltgenmiş ve çözünmeyen şekillerine dönüştürülür. Bu tür bir atık



Şekil 3. *Chlorella vulgaris* (yeşil alg)

arıtma prosesinde, havalandırma-sedimentasyon-filtrasyon olmak üzere ardışık üç basamak vardır. Bu yöntem özellikle demir ve mangan içeren atıkların arıtımında kullanılır.

Nötralizasyon-çökeltme yöntemi: Krom (VI), bakır (II), çinko (II), nikel (II), demir (II), kadmiyum (II) gibi ağır metal iyonları ortama kireç, soda ve/veya sodyum hidroksit katılarak nötralle edilir, hidroksitleri şeklinde çöktürülerek atıksudan uzaklaştırılır.

İyon değişimi: Bu yöntem ağır metal iyonlarının, elektrostatik kuvvet ile fonksiyonel grup halinde katı yüzeyinde tutularak, ortamdaki farklı türdeki iyonlarla değiştirilmesi ilkesine dayanır.

Ağır metal iyonlarının gideriminde kullanılan klasik arıtım teknikleri, yüksek kimyasal, donanım giderleri ve arıtma veriminin düşük olması nedeniyle pratik ve ekonomik olmaktan uzaktır. Öte yandan kimyasal yöntemlerle çöktürülen ağır metal iyonlarının geri kazanımı mümkün olmayıp, oluşan çamur başlı başına bir kirlilik unsurudur. Bu yazıda ise, endüstriyel atıksulardaki ağır metal iyonlarının biyolojik yöntemlerle giderimi ve geri kazanımını amaçlayan- pratik ve ekonomik olması öngörülen alternatif bir teknik sunulmaktadır.

Adsorpsiyon

Adsorpsiyon prosesi, genelde çözeltide çözülmüş halde bulunan maddelerin uygun bir katı yüzey üzerinde tutulması olarak tanımlanmaktadır. Çözülmüş parçacıklar ile adsorplanan yüzey arasındaki çekim

kuvvetlerinin türüne bağlı olarak üç değişik adsorpsiyon tipi tanımlanmaktadır.

Fiziksel adsorpsiyon: Fiziksel adsorpsiyonda, Van der Waals kuvvetleri olarak bilinen ikincil kuvvetler yüzeyde tutunmayı sağlar. Adsorpsiyonun çok yaygın olan bu türünde hemen tüm katılar adsorplanabilirler gibi, hemen tüm sıvı ve gazlar da adsorplanabilirler.

Kimyasal adsorpsiyon: Yüze-ye tutunan parçacıklar, adsorplanan yüzeydeki fonksiyonel gruplar ile kimyasal etkileşime girer. Kimyasal adsorpsiyon, fiziksel adsorpsiyonla karşılaştırıldığında daha spesifik, ancak bazı katılar adsorplanmaz, bazı gaz veya sıvılarda adsorplanabilirler.

İyonik adsorpsiyon: Yüzeydeki yüklü bölgelere elektrostatik kuvvetler ile çözeltideki iyonik karakterde adsorplananların çekilmesi sonucu oluşur. Yüze tutunan iyonlara eş yüklü başka iyonların aynı anda yüzeyi terk etmesi halinde ise sürece iyon değişimi adı verilir. Pek çok farklı özelliklerine rağmen, çoğu durumunda fiziksel, kimyasal ve iyonik adsorpsiyon arasında kesin bir ayrım yapılamaz, kimi kez birlikte veya art arda oluşurlar.

Adsorpsiyon Dengesi ve Adsorpsiyon İzotermleri

Adsorpsiyon bir denge reaksiyonuna benzer. Çözelti belirli miktardaki adsorplanıcı ile temas ettirildiğinde, çözeltide adsorplanan maddenin derişimi, adsorplanıcı yüzeyindekilerle dengeye gelene kadar azalır. Adsorpsiyon dengesi kurulduktan sonra, adsorplanan maddenin çözelti fazındaki derişimi sabit kalır.

Bir adsorplanıcı ile tutulabilen, adsorplanan miktarı, adsorplananın derişiminin ve sıcaklığının fonksiyonudur. Genellikle, adsorplanan madde miktarı, sabit sıcaklıkta derişimin fonksiyonu olarak saptanır. Sabit sıcaklıkta dengede çözeltide kalan çözünen derişimine karşı, birim adsorplanıcı ağırlığında, adsorplanan çözünen miktarı grafiğe geçirilerek, adsorpsiyon izotermleri elde edilir.

Mikroorganizmalar

Genel olarak canlılar alemi dört grupta incelenir.

Prokaryotlar ve virüsler: En ilkel tek hücreli canlılardır. Başlıcaları virüsler, bakteriler ve mavi, yeşil alglerdir.

Ökaryotlar: Prokaryotlara göre daha değişken canlılar grubudur. Hücre yapılarında bazı farklılıklar oluşmuştur. Örneğin çekirdek zarları vardır. Algler, mantarlar, küfler ve tek hücreli hayvanlar (protozoalar) bu gruba girer.

Bitkiler Hayvanlar : Üçüncü ve dördüncü gruptakiler gelişmiş canlılardır. Ancak mikroskop altında görülebilen ve genellikle tek hücreli olan, birinci ve ikinci gruptaki canlılara "mikroorganizma" denir ve biyokimya mühendisliğinde oldukça önem taşırlar. Doğada geniş ölçüde yayılmış olup, toprakta, suda, havada, çeşitli gıda maddelerinde, insan ve hayvanların cilt, deri ve bağırsaklarında, çürüten organik maddelerde ve hemen her yerde bulunurlar.

Mikroorganizmalar büyüme ve üreme için karbon, azot, kükürt ve fosfor ihtiyaçlarını farklı yollarla karşılarlar. Karbon ihtiyacını CO₂'den sağlayan mikro-

Çizelge 2. Atıksuların, atıksu altı yapı tesislerine bırakılmasında öngörülen standartlar

Parametre	altı arıtma	derişim oranı
Sıcaklık (°C)	40	40
pH	6,5-10,0	6,0-10,0
Aşırı katı madde (mg/l)	500	350
Yağ ve gres (mg/l)	250	50
Katı ve peroksi kökenli yağlar (mg/l)	50	10
Kimyasal oksijen		
İhtiyaç (mg/l)	4000	500
So ⁴ (mg/l)	1000	1000
Toplam asitlik (g) (mg/l)	2	2
Fenol (mg/l)	20	10
Serbest klor (mg/l)	5	5
Toplam azot (g) (mg/l)	-il	40
Toplam flor (g) (mg/l)	-il	10
As (mg/l)	5	10
Toplam CN (mg/l)	10	10
Ağır Metaller		
Toplam Pb (mg/l)	3	3
Toplam Cd (mg/l)	2	2
Toplam Cr (mg/l)	5	5
Toplam Hg (mg/l)	0,2	0,2
Toplam Cu (mg/l)	2	2
Toplam Ni (mg/l)	5	5
Toplam Zn (mg/l)	10	10
Toplam Sn (mg/l)	5	5
Toplam Ag (mg/l)	5	5
Cl ⁻ (mg/l)	10000	-

Yüzey aktif maddeler Biyolojik olarak parçalanması TSE standartlarına uygun olmayan maddelerin biyolojik prosesi olarak yazılabilir.
(a) Bu parametrelere atıksu değerlendirilmesinde bakılmamaktadır.

Çizelge 3. Bazı ağır metal iyonlarının insan sağlığına etkileri

Metal	Sağlığa Etkileri
Kurşun	Değ. et. maddesi, karaciğer, akciğer, kan kirlenmesi, inme, akciğer bozukluğu, beyin kanaması, sinir sistemi hastalıkları
Bakır	Karaciğer, kuşama, kanama, biterlik, karaciğer, sindirim bozukluğu, sarılık, solunum zorluğu, akyuvar çoğalması
Krom	Deri yangını, ülser, kanser, sindirim yolları, solunum yolları zedelenmesi
Çinko	Deri ve iç dâhinde yaralar, depresyon, bellek yitimi gibi zihinsel bozukluklar.

organazmalara "ototrof"; organik bileşiklerden sağlayanlara "heterotrof" denir. Faaliyetlerini havalı ortamda sürdüren mikroorganizmalara "aerobik", havasız ortamda sürdürenlere "anaerobik" mikroorganizma denir.

Ağır Metal Adsorpsiyonunda Kullanılan Mikroorganizmalar

Ağır metal adsorpsiyonunda kullanılan başlıca mikroorganizma türleri aşağıda özetlenmektedir.

Bakteriler: Bakteriler, prokaryotlar sınıfından tek hücreli ve bölünerek çoğalan canlılardır. Boyutları genel olarak 0,5-2,0 µm uzunluk ve 0,2-4 µm çapındadır. Ökaryotik hücrelerden farklı olarak çekirdek zarları yoktur. Çekirdekleri ipliksi bir ağ görünümünde olup, stoplazma ile sınırlanır. Bakteriler ölü organizmalarda üreyerek bunların organik maddelerini ayrıştırırlar ve karbon-azot çevrimini sağlarlar. Bünyelerinde bazı özel enzimler bulunan bakteriler, insanlar, hayvanlar ve bitkiler için yararlıdır ve bu tür bakteriler besin ve fermentasyon endüstrisinde katı atıkların ve atıksuların arıtılmasında önemli rol oynarlar.

Mantarlar: Mantarlar şapkalı mantarlar, küf mantarları ve mayalar olmak üzere üçe ayrılır. Bunlardan küf mantarları tek ya da çok hücreli sporlar aracılığı ile çoğalırlar. Heterotrofturlar. Küf mantarları aerob olduklarından yüzeylerde gelişirler. Bunlardan ağır metal adsorpsiyonunda kullanılan küf mantarı *Rhizopus arrhizus* Şekil 1'de gösterilmektedir. *R. arrhizus*'un hücre duvarındaki kitin, ortamdaki metal iyonları ile kompleks oluşturmaktadır.

Mayalar: Mayalar, mantarların önemli bir alt grubudur, tek hücreli, misel yapabilen, genellikle 5-30 µm uzunluğunda, 1-5 µm genişliğinde mikroorganizmalardır. Maya hücresi, bitki hücresi gibi hücre duvarına, stoplazmaya ve çekirdeğe sahiptir. Hücre duvarının yapısını protein, yağ ve fosfat oluşturur. Şekil 2'de fermentasyon ve gıda endüstrilerinde sıklıkla kul-

Şekil 4. Ca-alijimatta tutulmuş *Zoogloea ramigera* partikülleri



lanılan ve ağır metal adsorpsiyonu prosesi için atık biyokütle halinde çok miktarlarda eldesi mümkün olan *Saccharomyces cerevisiae* hücreleri görülmektedir. *S. cerevisiae*'nin hücre duvarındaki glükan, mannoptein ve kitinin ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunda etkin gruplar olduğu bilinmektedir. **Algler:** Prokaryotlar sınıfına dahil olan, mavi yeşil algler, tek hücreli, çok basit yapıya sahip klorofil içeren bitkilerdendir. Ökaryotlar içinde yer alan algler ise büyüklük ve şekil olarak birbirinden oldukça farklı, birçok türü tek hücreli bazı türleri ise çok hücreli koloniler şeklindedir. Bazı türleri ototrof, bazı türleri ise heterotroftur. Algler, ağır metal iyonlarına karşı yüksek ilgiye sahip proteinleri yüksek oranlarda içermektedir. Şekil 3'de yüksek ağır metal adsorplama kapasitesine sahip olduğu kanıtlanmış yeşil alglerden *Chlorella vulgaris* görülmektedir.

Mikroorganizmalarla Ağır Metal Adsorpsiyonu

Canlı hücrelerin, sulu çevrelerinde metal kationlarını toplayarak, hücre içinde biriktirmeleri bilinen bir özellik olmasına rağmen, mikroorganizmaların ağır metal iyonlarını seçici olarak alıkoyma özelliği üzerindeki çalışmalar yenidir. Ağır metaller bitkilerin hücre duvarlarından veya hayvanların hücre zarlarından biyolojik sistemlere girmekte, bitki hücrelerinde vakuollerde depolanmakta ve enzimlerle birlikte pek çok yaşamsal faaliyeti düzenlemektedirler. Öte yandan krom, kurşun, cıva, bakır, çinko gibi ağır metallerin aşırısının yaşayan hücreler üzerinde toksik bir et-

kiye sahip oldukları da bilinmektedir. Nitekim sınır değerlerin üzerindeki ağır metal derişimleri aktif çamur proseslerini deaktive etmektedir. Gerek ağır metallerin toksik etkisi ve gerekse mikroorganizmalarla ağır metal adsorpsiyonunun mekanizmasının tam olarak açıklanamaması, konunun günümüze değin bir fenomen olarak anılmasına yol açmıştır. Gerçekten de mikroorganizmalarla ağır metal adsorpsiyonunun mekanizması incelendiğinde, kullanılan mikroorganizmanın hücre yapısına bağlı olarak değişik mekanizmaların etkili olduğu sonucu elde edilmiştir.

Mikroorganizmalarla Ağır Metal Adsorpsiyonu Üzerine Yapılan Çalışmalar

İlk olarak Polikarpov (1966), radyoaktif elementlerin sulu ortamda, mikroorganizmalar tarafından doğrudan adsorblanabildiğine dikkat çekerek, bu özelliğin mikroorganizmaların yaşam fonksiyonlarından bağımsız olduğunu iddia etmiştir.

Tezuka (1968), aktif çamur bakterisinin tersinir flokulasyonunun, negatif yüklü hücre yüzeyleri ile çözeltideki Cu (II), Mg (II) gibi iki değerlikli kationlar arasında kurulan iyonik bağ köprülerinin bir sonucu olduğunu ileri sürmüştür (Tsezos and Volesky, 1981).

Chiu (1972), uranyum giderilebilen bir fungal kültürü, atıktan izole etmeyi başarmıştır (Tsezos and Volesky, 1981).

Beveridge (1977), *Bacillus subtilis*'in saf hücre duvarının yüksek atom numaralı elementleri adsorpladığını ve daha sonra bu elementlerin geri kazanılabileceğini göstermiştir (Tsezos and Volesky, 1981).

Shumate ve arkadaşları (1978), *Saccharomyces cerevisiae*'nin uranyum adsorpsiyonu üzerine pH, sıcaklık ve ortamda bulunan diğer anyon ve kationların derişimlerinin etkisini incelemişlerdir (Tsezos and Volesky, 1981).

Prokaryotlar ve ökaryotların hücre duvarları, temel yapı taşları olarak polisakkarit içerir. Crist ve arkadaşları (1981), doğal polisakkaritlerin iyon değiştirici özellikleri üzerinde çalışmışlardır (Tsezos and Volesky, 1981).

Tsezos ve Volesky (1981), uranyum ve toryum adsorpsiyonunda değişik türde mikroorganizmaları kullanarak, farklı sıcaklık ve pH değerlerinde adsorpsiyon izotermelerini çıkarmış, sonuçları aktif karbon ve iyon değiştirici reçinelerle adsorpsiyonla karşılaştırmış ve mikroorganizmaların daha etkin adsorptif özelliklere sahip olduklarını kanıtlamışlardır.

Görüldüğü üzere 80'li yıllara kadar yapılan çalışmalar, daha çok radyoaktif kirlenmelerin giderimi üzerinedir. Ağır metal kationları ise daha çok uranyum veya toryum adsorpsiyonunu inhibe edici özellikleri ile değerlendirilmiş, ortamdaki ağır metal kationlarının varlığının, mikroorganizmalar üzerinde metal bağlanmaya elverişli yerler üzerinde uranyum veya toryumla kuvvetli bir yarışmaya girdiklerinden söz edilmiştir.

Ortam pH'ı, sıcaklık, başlangıç metal derişimi, ortamda bulunan diğer anyon ve kationlar, adsorpsiyon hızı ve kapasitesini etkileyen parametrelerdir. Adsorpsiyon tersinir bir olaydır, dolayısıyla değişen asitlikle adsorblanan metal iyonu ortama geri verilir (desorpsiyon). Bu özellikten yararlanarak metal iyonları atıksu sistemlerinden adsorblandıktan sonra tekrar geri kazanılabilir.

Bu konuda ülkemizde ilk defa Aksu, Sağ ve Kutsal (1988) tarafından yapılan çalışmalarda, yeşil alglerden *Chlorella vulgaris*, küf mantarı *Rhizopus arrhizus*, aktif çamur bakterisi *Zoogloea ramigera*, maya *Saccharomyces cerevisiae* ile Cu (II), Pb (II), Zn (II), Cr (VI) ve Fe

(III) adsorpsiyonu incelenmiş sonuçların adsorpsiyon izotermelerine uygunluğu gösterilerek, mikroorganizmaların yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip biyosorbentler olduğu kanıtlanmıştır (Aksu, 1988; Sağ and Kutsal, 1989; Aksu and Kutsal, 1990; Sağ, 1993).

Mikroorganizmalarla Ağır Metal Adsorplama Mekanizması

Mikroorganizmalarla metal adsorpsiyon kinetiği iki basamaktan oluşur. Birinci basamak organizma yüzeyinde fiziksel adsorpsiyon veya iyon değişimidir. Bu basamak çok hızlıdır ve mikroorganizma metal ile etkileştikten kısa bir süre sonra denge oluşur. Hızlı giderme genellikle yüzey adsorpsiyonu sonucudur. Mikroorganizmanın, sulu ortamdan hücre yüzeyine metal adsorplamasını açıklamaya çalışan çeşitli hipotezler ileri sürülmüştür. Bunlardan ilki;

i-) Metal iyonları hücre yüzeyinde negatif yüklü reaksiyon alanları ile kompleks oluşturarak ve/veya pozitif yüklü reaksiyon alanları ile yer değiştirerek adsorplanabilir. Bu olaya iyonik adsorpsiyon adı da verilir. Hücre duvarındaki polisakkaritler, sülfat, amino ve karboksil gruplarını içerir. Algal polisakkaritlerin çoğu, örneğin kahverengi ve kırmızı deniz alglerinin yapısal bileşeni, Na⁺, K⁺, Ca²⁺ ve Mg²⁺ gibi metal kationlarının tuzlarından oluşmaktadır. Çift değerlikli metal iyonları, polisakkaritlerin aynı yüklü iyonlarıyla yer değiştirir. Kendisi iyi bir adsorbent olan alg yapısındaki, sodyum aljinatın metal iyonu ile yer değiştirmesi aşağıdaki mekanizmayla oluşur. $2NaAlg + Me^{2+} \rightarrow Me(Alg)_2 + 2Na^+$

ii-) Önerilen ikinci hipotez ise, bazı mikroorganizmaların hücrelerinin dış zarlarından uzanan polimerler sentezleyebildikleri, bu polimerlerin çözeltiden metal iyonlarını bağlayabilme yeteneğine sahip olduklarıdır.

iii-) Hücre duvarındaki proteinler metali bağlamak üzere aktif bölgeler oluştururlar. Ağır metallerin proteinlere karşı kuvvetli ilgisi vardır. Proteinle-

Şekil 5. Bakır (II) iyonları ile doygun hale gelmiş Ca-aljinatta tutuklanmış *Zoogloea ramigera* partikülleri



rin peptid bağlarının azot ve oksijeni, hidroksil, amino, fosfat gibi grupları, iyonların metal iyonları ile yer değiştirmesi için uygundur.

iv-) Bazı mikroorganizmaların yüzeylerinde yüksek molekül ağırlıklı polifosfatlar veya kimyasal olarak bunlara benzeyen gruplar, metali kompleksleri şeklinde kendilerine bağlarlar. Örneğin *Citrobacter cp* hücrelerinde bulunan organik fosfattan, inorganik fosfatı serbest bırakan fosfataz enzimi ağır metali hücreye bağlı metal fosfatı olarak çökmesini sağlar.

Metal alımında ikinci basamak metabolik aktiviteye bağlıdır ve daha yavaştır. Bu basamağa kimyasal adsorpsiyon da denir. Günümüze değin yapılan çalışmalar göstermektedir ki, kullanılan mikroorganizmanın hücre tipi ve içerdiği temel bileşenler metal adsorpsiyon mekanizmasını belirlemektedir.

Ölü organizmalarla yapılan adsorpsiyon işlemi "biyosorpsiyon" olarak tanımlanmaktadır. Ölü ve yaşayan hücrelerin metal alabilme kapasitesi karşılaştırılmış, çoğu durumda organizmanın iyon adsorplama yeteneğinin, ölü durumda daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ölü hücrelerde karşılaşılan yüksek metal birikimlerine neden olarak hücre yüzeyinin yapısında meydana gelen değişimler gösterilmiştir.

Ağır Metal Adsorpsiyonunda Tutuklanmış Mikroorganizmaların Kullanımı

Mikroorganizmalarla ağır metal adsorpsiyonu prosesi, büyük ölçekli endüstriyel atık arıtım sistemlerine uyarlandığında karşılaşılabilecek temel problemler, adsorplanan meta-

lin geri kazanımı ve biyosorbentin akım çıkışından ayrılarak tekrar tekrar kullanımudur. Adsorpsiyon tersinir bir olay olduğundan, biyosorbent desorbe edilerek, metal düşük hacimli rejenerasyon ortamlarında yüksek derişimlerde geri kazanılabilir. Tutuklanmış mikroorganizmalar adsorbent olarak kullanıldıklarında arıtmadan geçmiş atıktan, çöktürme gereksizdir bir basamakta ayrılabilirler. Topaklaşma ve/veya çökeltme düşük hacimsel akış hızlarında çalışılan kesikli prosesler için daha uygundur. Tutuklanmış mikroorganizma sistemlerinde, bir filtre ile adsorbent arıtılmış atıktan kolayca ayrılabilir, ya da dolgu kolon veya akışkan yatak reaktörlerde sürekli adsorpsiyon-desorpsiyon çevrimleriyle büyük ölçekli sürekli atık arıtımı gerçekleştirilebilir. Bu şekilde biyosorbent rejeneri edilebilir defalarca kullanılabilir. Bu yöntemle sürekli olarak, geniş hacimli atıklar (10⁶-10⁷ l/gün) minimum reaktör hacminde arıtılabilir.

Ayrıca kolon tipi reaktörler, endüstriyel ölçekte arıtım için daha yüksek adsorpsiyon verimliliği ve hayuz tipi arıtım sistemlerine göre daha aseptik (istenen mikroorganizma türünün üretimi ve korunması) koşullar sağlar. Macaskie ve grubu tarafından, bakteriyel hücre *Citrobacter cp* poliakrilamid jelde tutuklanarak kolon tipi reaktörlerde kullanılmış ve mikroorganizmanın katı desteklere tutunma özelliğinden yararlanılarak biyofilm reaktörlerde kadmiyum (II), biyosorbisyonu incelenmiştir. Bu paralelde, aktif olmayan *R. arrhizus* hücreleri, kütle transfer

direncilerinin göreceli olarak daha kolay yenilebildiği ağısı poliüretan köpükte tutuklanarak dolgu kolon reaktörde bakır (II) adsorpsiyonu incelenmiştir. Daha sonra Ca-aljinat, K-karajenan, agaroz gibi biyopolimer tutuklama ajanları ile mikroorganizmalar tutuklanarak kolon tipi reaktörlerde ağır metal adsorpsiyonu incelenmiştir. Söz konusu biyopolimerlerin kendileri de ağır metal iyonlarını bağlama özelliğine sahip olduklarından, kolon tipi reaktörlerde kullanılmaları adsorpsiyon verimliliğini artırmakla beraber, mekanik dayanımlarının az olması endüstriyel uygulamalar için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Şekil 4 ve 5'te bir aktif çamur bakterisi olan *Zoogloea ramigera*'nın Ca-aljinat jelde tutuklanması ile elde edilen partiküllerin sırası ile bakır (II) iyonlarını adsorplamadan önceki ve sonraki durumları görülmektedir. *R. arrhizus* gibi biyosorpsiyon ortamındaki tanecek çapı alg ve bakteriyel mikroorganizmalara göre daha büyük olan mantar tipi hücreler dolgu kolon reaktörlerde tutuklanmaksızın kullanılabilir. Böylelikle biyopolimer türü ajanlarda tutuklamanın kolon tipi reaktörde yarattığı difüzyon kısıtlaması probleminin üstesinden gelinmiş olur ve metal adsorpsiyon verimliliği de artar.

Funda Şimşekcan- Yeşim Sağ¹
Zümrüye Aksu¹- Tülin Kutsal¹
Doç.Dr.1, Prof. Dr.2, HÜ, Kimya Mük. Böl.

Kaynaklar

- Aksu, Z. Atıklarındaki ağır metal iyonlarının yeşil alglerden *Chlorella vulgaris*'e biyosorpsiyonunun kesikli düzende karıştırma ve akışkan yatak tepkine kaplarında incelenmesi; Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri, Ens., Ankara, 1988.
- Aksu, Z. and Kutsal, T. "A comparative study for bioadsorption characteristics of heavy metal ions with *Chlorella vulgaris*", Environmental Technology, 11, 979-987, 1990.
- Kuleli, Ö. ve Gürel, Ö. Kırsu Güzelidi, Ana Fizik ve Biyoloji ile, İleriğin Yayınları, İstanbul, 1991.
- Sağ, Y., "Atıklarındaki ağır metal iyonlarının giderilmesi ve geri kazanılması için en uygun biyosorbent türünün seçilmesi ve değişik reaktif sistemlerinin metaforiksel incelenmesi", Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri, Ens., Ankara, 1993.
- Sağ, Y. and Kutsal, T. "Application of adsorption isotherms to chromium adsorption on *Z. ramigera*", Biotechnology Letters, 11, 141-144, 1989.
- Sağ, Y., Nourbakhsh, M., Aksu, Z. and Kutsal, T. "Comparison of Ca-alginate and immobilized *Z. ramigera* as sorbents for copper (II) removal", Process Biochemistry, 30, 175-181, 1995.