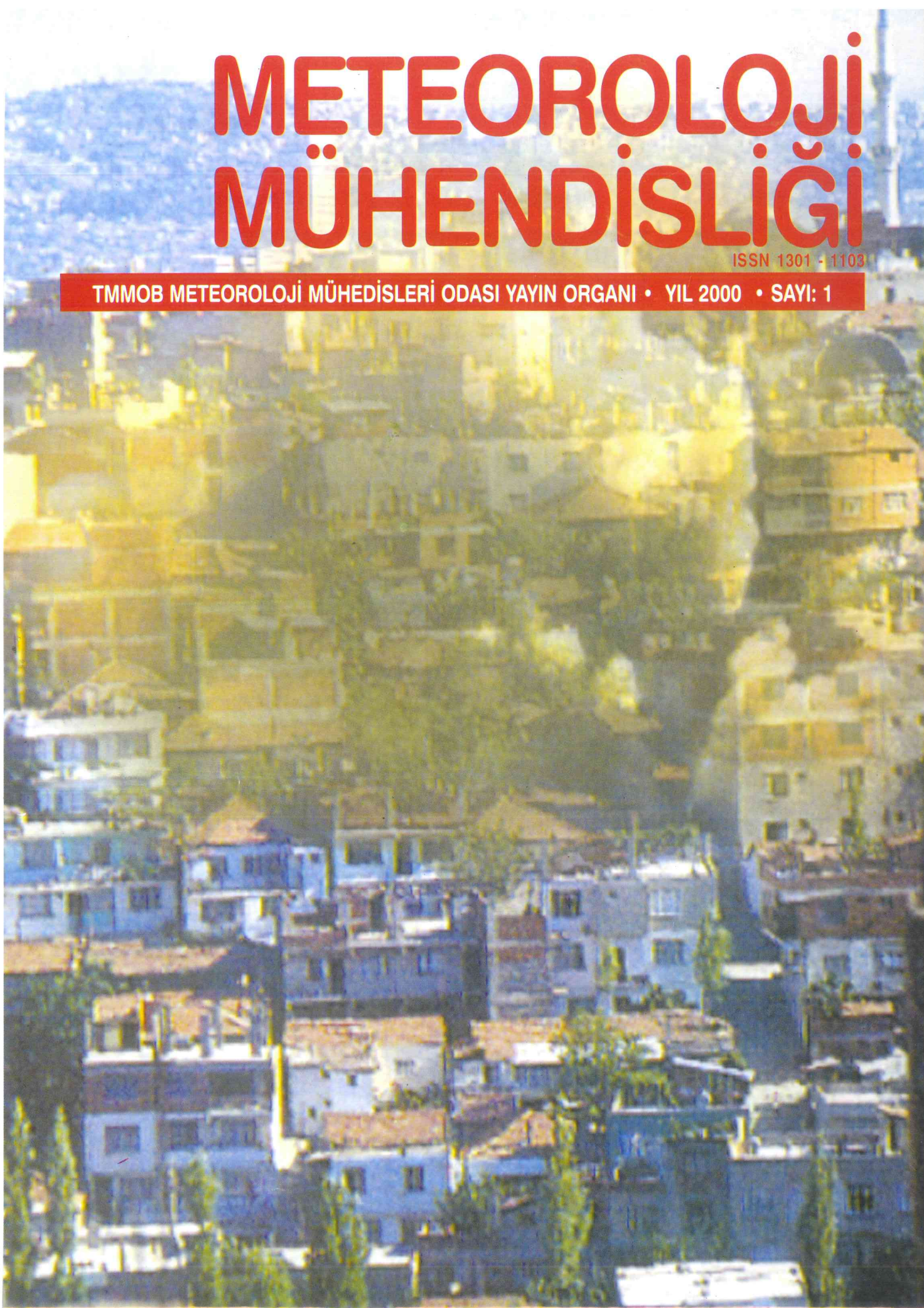


# METEOROLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ISSN 1301 - 1103

TMMOB METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYIN ORGANI • YIL 2000 • SAYI: 1





# AKIM ELEKTRONİK

Hidroloji, Hidro-Jeoloji ve Meteoroloji  
Rasat Aletleri İmalat ve Tic.



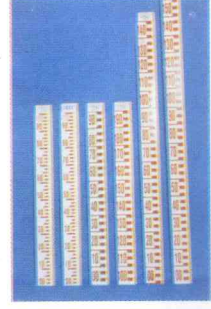
İmalatını Yaptığımız RASAT ALETLERİ



Elektronik LİMNİGRAF Seti  
(Elekt. Su Seviyesi Kayıtedici)



Elektronik PLÜVİOGRAF  
(Elektronik Yağış Ölçer)



Emaye EŞEL



Buharlaştırma Leğeni

- 3 Yıl Garanti
- İmalattan Satış
- TSEK Belgeli



PLÜVİOMETRE

T. Özal Bulvarı No: 45/1 Tlf: (322) 234 10 17 - 234 54 44 • Fax: (322) 234 54 44 ADANA

Siparişlerinizi Fax., Tlf. veya Mektupla verebilirsiniz

# TMMOB METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYIN ORGANI

YIL 2000 • SAYI: 1

ISSN 1301 - 1103

**TMMOB  
METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ  
ODASI ADINA  
SAHİBİ ve SORUMLU  
YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ**

İsmail KÜÇÜK

## YAYIN KURULU

Eşref BATUR  
Meral ŞENOCAK  
Hamza ÖZGÜLER  
Gökhan YÜCEL  
Ömer KARACA  
Faruk ŞANLI  
Mustafa ÖZKAYA

## YÖNETİM YERİ

Sümer 1. Sokak No: 12/8 Kızılay-ANKARA  
TEL: (0.312) 231 55 35

Meteoroloji Mühendisliği TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Yayınıdır. Üç ayda bir yayınlanır. Odamızın amaç ilke ve yayın koşullarına uygun bilimsel ve teknik yazılar yayınlanır. Yayınlanan yazıların sorumluluğu yazarına aittir. Dergide yayınlanan yazılar kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

## ODAMIZIN HESAP NUMARALARI

Posta Çeki No:  
TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası  
105616

## BANKA HESAP NO:

T.C. Ziraat Bankası  
**304-40 2053**  
Yapı Kredi Bankası Anafatlar Şubesi  
**1035019-9**  
Türkiye İş Bankası Yenişehir Şubesi  
**4218-3419634**

## DİZGİ ve TASARIM

P-YAYINCILIK

Tel: (0.312) 432 01 83-93 • Faks: (0.312) 432 54 22  
e-posta: plar@marketweb.net.tr

**BASKI  
ARMONİ MATBAACILIK**  
Tel: (0.312) 232 19 15

## İÇİNDEKİLER

BU SAYIDA.....	2
<b>HAVA KİRLİLİĞİNDE YÖRÜNGE ANALİZİ</b> Nihat ÇUBUKÇU .....	3
<b>HAVA KİRLİLİĞİ VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ BAŞLICA ETKİLERİ</b> Prof. Dr. Çağatay GÜLER, Dr. Faruk TEKBAŞ, Dr. Songül A. VAİZOĞLU .....	6
<b>MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİ</b> Dr. O. Akın KUTLAR, Hikmet ARSLAN, Alper T. ÇALIK .....	19
<b>YANLIŞ METEOROLOJİ (2)</b> Alistair B. FRASER (Çev: Doç. Dr. Mikdat KADIOĞLU) .....	26
<b>DİP TOPOĞRAFYANIN YÜZEY AKINTILARINA ETKİSİNİN MÖDELLENMESİ</b> Filiz ÖZER MALKOÇ, Ercan KÖSE, Yüksel MALKOÇ, H. Fehmi DURUKANOĞLU .....	29
<b>GÜNEYDOĞU KARADENİZ SAHİL VE İÇ BÖLGELERİ ARASINDAKİ İKLİM FARKLILIKLARI</b> Filiz ÖZER MALKOÇ, Ercan KÖSE, Yüksel MALKOÇ, H. Fehmi DURUKANOĞLU .....	35
<b>UZMAN SİSTEMLER</b> Mustafa OK .....	40
<b>NEHİR TİPİ SANTRALLERDE KURULU GÜÇ OPTİMİZASYONU</b> Eşref BATUR, Mikdat KADIOĞLU .....	44

## YAYIM KOŞULLARI:

Dergide aşağıdaki konularda çalışmalar ve tercüme yayınlanır. Meteoroloji Klimatoloji, Hidroloji, Çevre, Şehir Meteorolojisi, Hava Kirliliği, Enerji (Hidro-Elektrik, Güneş, Rüzgar, Nükleer) Uzaktan Algılama (Hidroloji ve Meteoroloji konularında) Meteorolojik Doğal Afetler, Oşinografi, Açık Kanal Hidroloji Tarımsal Meteoroloji, İstatistik, Genel Matematik, Genel Fizik, Bilgisayar Uygulamaları.

Dergiye gönderilecek yazılar, A4 kağıdının bir yüzüne daktilo (veya yazıcı) ile çift aralıklı olarak ve 10 sayfayı geçmeyecek, kenarlardan 2.5 cm boşluk olacak şekilde ve ayrıca 3.5'lik diskete kayıtlı olarak gönderilmelidir.

Şekiller, tablolar ve resimler net olmalı. Yapılabiliyorsa şekiller aydınlatılmış kağıdına 0.3-0.4 mm uçlu kalemle çizilmelidir.

Gönderilen eserler şu kısımlardan oluşturulmalıdır. Başlık, Yazarlar (Görevler ve yazışma adresleri), özet (150 kelimeyi geçmemelidir). Metin (Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular, Tartışma, gerekirse Sonuç ve Öneriler), Kaynaklar.

Yazıların yayınlanabilmesi için daha önce başka bir dergide yayınlanmamış olması gerekir. Yazıların her türlü sorumluluğu yazarına aittir.

Yayınlanmayan yazılar geri gönderilmez.

Lisans, Master ve Doktora tezlerinin bir sayfayı geçmeyecek olan özetleri yayınlanır.

Yayınlanan yazılarla ilgili eleştirilerinizin yayınlanmasını istiyorsanız Yayın Kurulu'na ulaştırınız.

## DERGİ REKLAM ÜCRETLERİ

Arka Kapak .....	125.000.000 - TL.
Arka Kapak İç .....	75.000.000 - TL.
Ön Kapak İç .....	100.000.000 - TL.
Ön Kapak İç Karşısı .....	70.000.000 - TL.
İç Sayfalar .....	30.000.000 - TL.

**NOT:** Bütün fiyatlar tam sayfa üzerinden verilmiştir. Yarım sayfa reklamlarda ücretin %65'i alınır. Kapak sayfaları için reklamlar renkli baskı olarak yapılır. İç sayfalar için fiyatlar siyah-beyaz olarak verilmiştir. Bu sayfalar için renkli baskı isteminde ayrıca %50 ilave ücret istenir. Sürekli ilanlarda %15 indirim yapılır. (En az üç sayfa)

Bu Sayıda,

İlk hava kirliliği kayıtları 12.yy'da başlamıştır. Ancak hava kirliliğinin sağlık üzerine etkileri ile ilgili ayrıntılı kayıtlar 20.yy'a aittir. Hava kirliliğinin sağlık üzerine etkileri ile ilgili klinik çalışmalar 1905 yılın da başlamıştır.1952 yılında Londra'da 4000 kişi hava kirliliğinden yaşamını yitirmiştir.

WHO'nin verilerine göre, dünya üzerinde yaklaşık 625 milyon kişi sülfür dioksit, ve bir milyardan fazla kişi de parçacık kirliliğinin etkisindedir.

Atmosferik koşullar hava kirliliğinin oluşmasında belirleyicidir. Atmosferik koşullar belirlenerek hava kirliliğinin ulaşabileceği sınır değerler hakkında önceden uyarılar yapılabilir ve gerekli önlemler alınabilir. Bütün şehirlerimizde hava kirliliği değişik boyutları ile etkili olmaktadır. Kirlilik gündemimize sadece kış aylarında girmektedir. Bunun nedeni, kirlilik kaynaklarına konutlarda kullanılan yakıtların eklenmesi ve sınır değerlerin kolayca aşılmasıdır. Oysa yaz aylarında da (sanayi, trafik vb. nedenlerden kaynaklanan) hava kirliliği yaşanmaktadır.

Hava kirliliğini gündemde tutmak ve kirlilik oluşmadan önlem alınması temennisiyle bu sayımızda hava kirliliği konusundaki makalelere ağırlık verilmiştir.

İlgili makalelerde motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticiler, ölçüm teknikleri ve yasal sınırlamalar üzerinde durulurken özellikle hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri tıbbi açıdan ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Hava kirliliği ile ilgili atmosferik olaylardan, hava kirliliği tiplerinden, dünyadaki hava kirliliği konusu ile ilgili gelişmelerinden ve alınacak önlemlerden, hava kirliliğinin sağlık üzerine etkilerinin izlenmesi ile ilgili sorunlar gündemde tutulmaktadır. Ayrıca atmosferik kirlilik konusunda yörünge analizi ile hava kirliliği ölçüm sonuçları arasında nasıl bir ilişki olduğunu anlatan başka bir makale bulacaksınız. Bu makalede FSUGSM modeli ile yörünge analizi kullanılarak Türkiye'yi ne tür hava akımlarının etkilediği araştırılmıştır.

Ülkemizde yaşanan şiddetli depremlerdeki can ve mal kaybının ardından kent planlaması ve yapı tasarımında meteorolojinin önemini anlatan yazıyı takiben "yanlış meteoroloji" başlığı ile başka bir konuyla karşılaşacaksınız.

Artan nüfus ve talepler karşısında mevcut su kaynaklarının yetersiz kalması hükümetleri, kıtasal sahanlık üzerindeki sirkülasyonu kontrol eden temel mekanizmayı araştırmaya yöneltmektedir. Bu nedenle kıyı ve nehirağzı bölgesi sirkülasyonlarının modellenmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Konuya yakınlığı nedeniyle benzer bir makaleye yer verilmiştir.

Deprem, Meteorolojik karakterli doğal afetler ve çevre kirliliği kadar önemli bir diğer konu ise iklim değişikliğidir. Bu konuda, Doğu karadeniz bölgesinde, sahil ve iç kısımlar arasındaki iklimsel farklılıklar ve bu bölgenin iklim tiplerini belirlenmeye çalışan bir makale bulacaksınız.

Uzman sistemler, uzmanlık bilgisi gerektiren ancak uzman gerektiğinde, konunun uzmanına ulaşmanın her zaman mümkün olmadığı durumlarda gereklidir. Uzman sistemler değişik alanlarda kullanılan gelişmiş bir yöntemdir. Uzman sistemlerin meteoroloji alanına uygulanması ile ilgili bir makaleyi de dergimizde bulacaksınız.

Nehir tipi hidroelektirik santrallerinde optimum kurulu gücün sentetik ve gözlenmiş verilerle nasıl belirlendiği ve sentetik serilerin neden gözlenmiş serilere tercih edildiği konusundaki makale ile bu sayımızı tamamlıyoruz.

Bir sonraki sayıda görüşmek üzere.

YAYIN KURULU

# Hava Kirliliğinde Yörünge Analizi

Nihat Çubukçu

Florida State University, Department of Meteorology, Tallahassee, FL, USA

## Giriş

Hava kütleleri kendilerine özgü meteorolojik özelliklere sahip olmaları yanında, taşıdıkları kimyasal maddeler bakımından da farklılık gösterirler. Örneğin, Avrupa üzerinden Türkiye'ye gelen hava kütleleri aynı zamanda Avrupa'dan kaynaklanan antropojenik gazları da beraberinde getirebilir. Bu durum iki önemli gerçeği ortaya koymaktadır.

- Antropojenik gazlar atmosferik hareketlerle dünyanın herhangi bir tarafına taşınabilir.
- Belirli bir bölgede yapılan hava kirliliği ölçümlerinden elde edilen değerler tamamiyle bu bölgeden kaynaklandığı anlamına gelmez.

Bu yüzden hava kirliliği ölçümleri yapılırken meteorolojik analizler de mutlaka gözönünde bulundurulmalıdır. Örneğin Pasifik Okyanusu üzerindeki hava kirliliği konsantrasyonlarını araştırmak üzere, NASA tarafından yapılan ölçümler (Special issue of Journal of Geophysical Research 19960) devamlı olarak meteorolojik verilerle desteklenmiştir. Bu meteorolojik veriler, günlük sinoptik haritalarını, 24 ve 48 saatlik hava tahminleini ve geçmiş 3 ile 6 günlük yörünge analizlerini içermektedir. Bu bilgiler sayesinde yapılan ölçümlerin lokal veya global özellik taşıyıp taşımadığı tespit edilmektedir.

Bu makalede, yörünge analizinin hava kirliliği ölçümleri sırasında ne tür kolaylıklar sağlayacağını gözleyeceğiz. Bu amaç için Florida State University'de üretilen Global Spectral Model (FSUGSM) ve trajectory (yörünge) rutinlerini kullanacağız.

## Hava Hareketlerinin Yörünge Analiziyle Belirlenmesi

Hava kütlelerinin kaynağını belirleme yöntemlerinden biri, bu hava kütlesi içinden birkaç hava parselinin zaman içerisinde izlediği yolu yani yörüngelerini çizmektir. Bu şekilde bir hava kütesinin belirli bir zaman aralığı içerisinde uğradığı yatay ve düşey hareketleri kolaylıkla gözleyebiliriz. Bütün bunlar için yalnızca üç boyutlu hız

verisi yeterlidir. Bu tekniğe kinematik yöntem denir. Daha detaylı yöntemler zaman içerisinde kimyasal reaksiyonları da dikkate almaktadır. Ancak kaliteli ve kısa zaman aralıkları ile verilmiş bir hız verisine sahipsek, kinematik yöntem ile çok hassas bir tahmin elde edebiliriz. Kinematik yöntem kullanılarak Pasifik Okyanusu üzerinde gözlenen antropojenik gazların, aslında Asya ve Avrupa'da üretilen sanayi ürünleri olduğu ve hava akımları ile taşındığı gösterilmiştir (Çubukçu ve Krishnamurti, 1999). Aynı sonuçlar değişik metodlar kullanılarak da gösterilmiştir (Gregory ve arkadaşları 1997, Talbot ve arkadaşları 1997).

## Türkiye Üzerinde Uygulama

Bu bölümde FSUGSM ve yörünge rutinlerini kullanarak Türkiye'yi Mart 1999 ayı içerisinde ne tür hava akımlarının etkilediğini araştıracağız. Yörüngelerin bitiş noktaları doğu batı doğrultusunda 40° enlemi üzerinde, 2° aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu noktalar aynı zamanda hava parsellerinin 6 günlük yolculuğu sonucunda nerede olduklarını göstermektedir. Herbir basınç seviyesinde 20 adet parsel olmak üzere, 850 ve 300 mb seviyelerinde toplam 40 adet parsel kullanılmıştır. Aşağıda Mart 1999 ayı içerisinde önemli gördüğümüz bazı günler gösterilmiştir. Şekil 1, 14 Mart 1999 tarihinde Türkiye üzerindeki hava kütesinin 850mb ve 300mb seviyelerindeki yörüngelerini göstermektedir. Görüldüğü gibi 14 Mart tarihinde, Türkiye her iki basınç seviyesinde de Avrupa ve Atlantik üzerinden gelen hava akımlarının etkisinde kalmaktadır. Genel meteorolojik koşullar nedeniyle kuzeyden gelen akımların alçalarak, güneyden gelen akımların ise yükselerek ilerlediği şekillerden kolayca görülmektedir. Yere yakın seviyelerde (850mb) Sibiryaya yüksek basınç merkezinin etkisiyle doğuda seçtiğimiz hava parselleri oldukça yavaş hareket etmektedir. Çünkü genel olarak batıdan gelen hava akımları bu yüksek basınç merkezinin yarattığı doğulu akımlar tarafından yavaşlatılmaktadır. Bu iki şekil de tipik orta enlem hava koşullarına iyi bir örnek oluşturur. Türkiye bulunduğu konum gereğince çoğu kez benzer hava akımlarından etkilenmektedir. Bu

akımlar aynı zamanda baroklinik kararsızlık sonucu sık sık orta enlem alçak basınç sistemlerine neden olurlar ve bu basınç sistemleri güneyli hava akımlarını doğururlar. Bu durum Şekil 2'de açıkça görülmektedir. Böylece yalnızca Avrupa ve Atlantik üzerinden değil, aynı zamanda Güney Afrika ve Akdeniz üzerinden gelen hava akımları da Türkiye'yi etkilemektedir. Bunun gibi yılın farklı zamanlarında Türkiye'yi etkileyen hava akımlarının değişik kaynaklı oldukları düşünülebilir. Yine Şekil 2'den görüldüğü gibi, yüksek seviyelerde (300mb) yörüngeler yaklaşık 3 gün Orta Akdeniz üzerinde siklonik olarak döndükten sonra bitiş noktalarına doğru hareket ederler. Dikkat edilirse bu dönüş sırasında hava parselleri

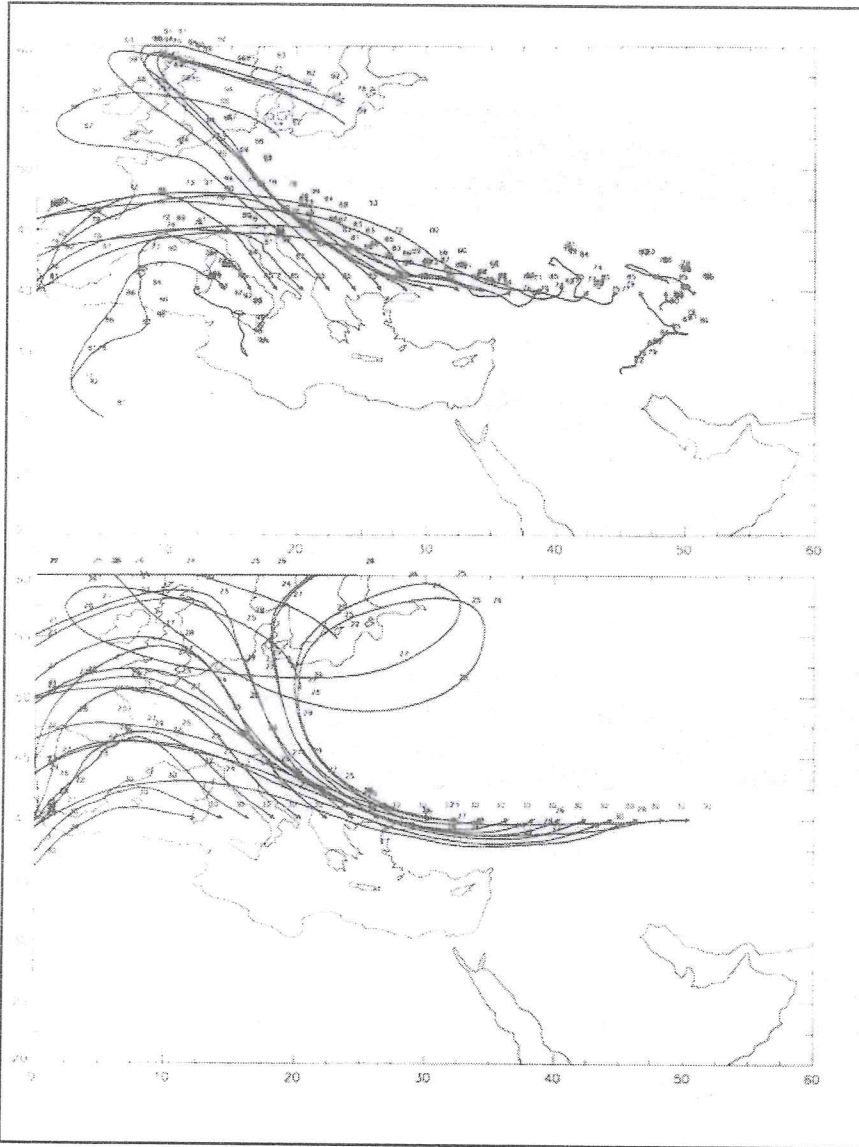
yükselme eğilimi göstermektedir. Bütün bu hareketler dinamik ve fiziksel kurallar ile bağdaşmaktadır.

Şekil 1 ve 2, Mart 1999 ayına güzel birer örnek teşkil ederler. Genel olarak bu ay içerisinde oluşan hava akımları, her iki şekilde de bahsettiğimiz nitelikte bir yapı gösterirler. Buradan çıkaracağımız önemli sonuçlardan birisi, Türkiye'nin Avrupa gibi yoğun sanayi bölgeleri üzerinden gelen hava akımlarının etkisi altında kaldığıdır. Bir diğer önemli sonuç ise, bu akımların Sibiryaya yüksek basınç tarafından frenlenip Türkiye ve çevresinde daha uzun süreli kalmalarına meydan vermesidir. Ancak Şekil 2'de görüldüğü gibi alçak basınç sistemleri geçtikleri bölgelerdeki havayı yatay ve düşey olarak karıştırarak kirlilik konsantrasyonlarının belirli bir bölgede yoğunlaşmasını önler. Buna ek olarak bu sistemlerle oluşan yağışlar, atmosferdeki bazı kirlilik konsantrasyonlarını (aerosoller gibi) yeryüzüne indirir. Bütün bu kombinasyonlar hava kirliliği ölçümlerinin değerlendirilmesinde meteorolojik analizlerin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

### Sonuç

Bu yazıda, parsel yörüngelerinin hava akımlarının kaynakları hakkında ne tür bilgiler içerdiğini ve bu bilgilerin hava kirliliği bakımından ne denli önemli olduğunu kısaca vurgulamaya çalıştık. Parsel yörüngelerini yalnızca üç boyutlu hız verilerini kullanarak kinematik yöntem dediğimiz bir yolla hesapladık. Bu hesaplama esnasında oluşabilecek kimyasal reaksiyonları ihmal ederek büyük ölçekli hava akımları ile kirlilik konsantrasyonlarının nasıl taşınabileceğini gösterdik. Meteorolojik zaman ölçeğine yakın bir ölçek kullanarak (6 gün) hava parsellerinin olası meteorolojik hareketleri içermesini sağladık.

Bu tür bir çalışmanın Türkiye üzerinde yapılabilecek hava kirliliği ölçümlerine pek çok katkıda bulunabileceğine inanıyoruz. Hatta geçmiş günlere ek olarak, gelecek günlere ait yörünge analizlerini de elde ederek hava kirliliğinin nereden geldiği yanında nereye gidebileceği hakkında da önemli bilgi sahibi olabiliriz. Bu teknikler atmosfere uygulandığı gibi denizlere de kolaylıkla uygulanabilir.



Şekil 1: 14 Mart 1999'da Türkiye üzerindeki 850mb (üst) ve 300mb (alt) parsel yörüngeleri. Çizgiler üzerinde bulunan iki haneli rakamlar basınç seviyesinin (mb) 10'a bölünmüş halini göstermektedir. Rakamla arası zaman olarak 12 saattir.

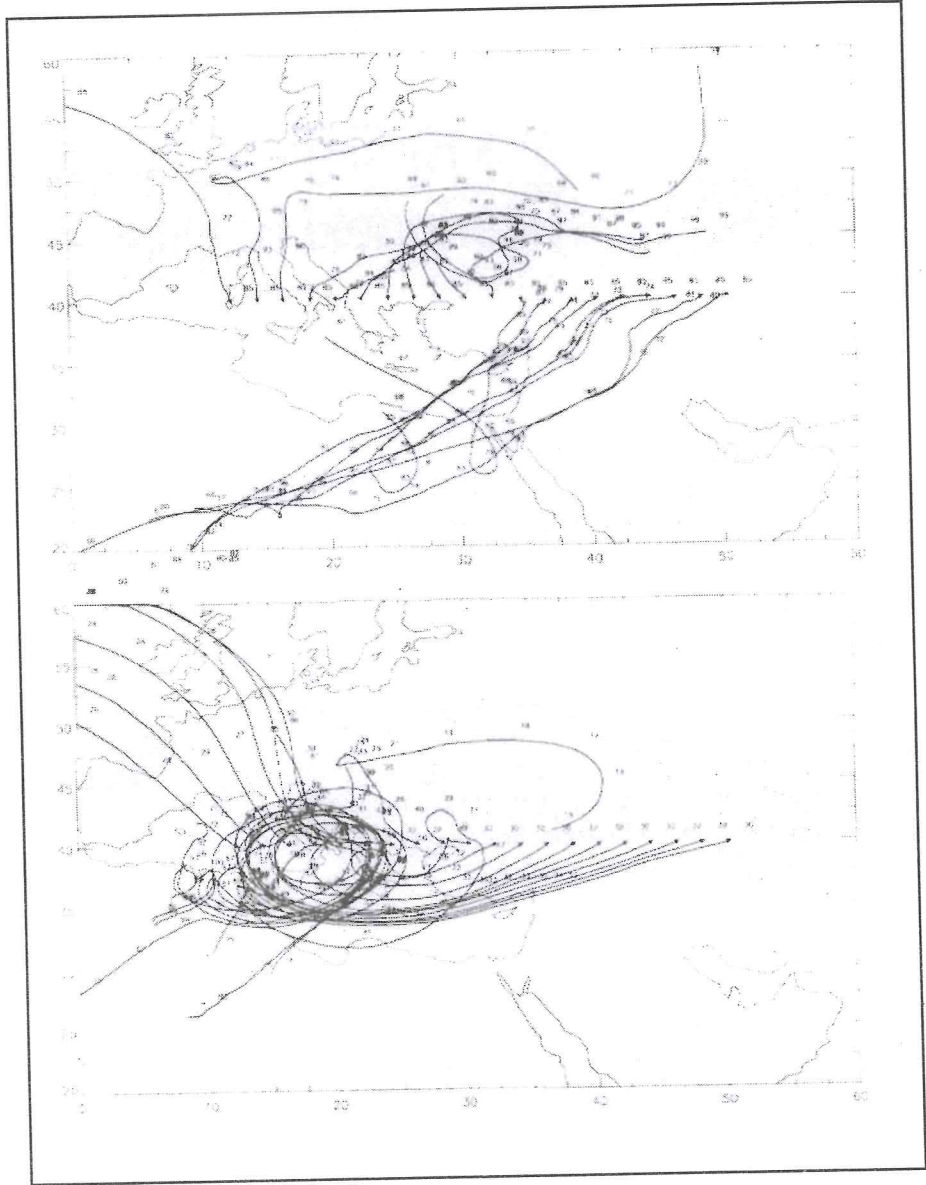
KAYNAKLAR

Çubukçu, N. and T.N. Krishnamurti, 1999: Trajectories for different episodes during PEM Tropics B Expedition. Workshop on PEM Tropics B Expedition, Virginia, October 18-21, 1999

Gregory, G.L., G.T. Merrill, M.C. Shipham, D.R. Blake, G.W. Sachse, and H.B. Singh, 1997: Chemical characteristics of tropospheric air over the Pacific Ocean as measured during PEM-WEST B: Relationship to Asian outflows and trajectory history. Journal of Geophysical Research 102, 28223-28239

Talbot, R.W., J.A. Dibb, B.L. Lefer, E.M. Scheuer, J.D. Bradshaw, S.T. Sandholm, S. Smyth, D.R. Blake, N.J. Blake, G.W. Sachse, J.E. Collins, and G.L. Gregory, 1997: Large-scale distributions of tropospheric nitric, formic and acetic acids over the western Pacific basin during wintertime. Journal of Geophysical Research 102, 28303-28313

Special issue of Journal of Geophysical Research, 1996: 101 ◀◀



Şekil 2: 21 Mart 1999'da Türkiye üzerindeki 850mb (üst) ve 300mb (alt) parsel yörüngeleri. Çizgiler üzerinde bulunan iki haneli rakamlar basınç seviyesinin (mb) 10'a bölünmüş halini göstermektedir. Rakamlar arası zaman olarak 12 saattir.

# Hava Kirliliği ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Başlıca Etkileri

**Prof. Dr. Çağatay Güler**

*H.Ü. Halk Sağlığı Anabilim Dalı*

**Dr. Ö. Faruk Tekbaş**

*H.Ü. Halk Sağlığı Anabilim Dalı*

**Dr. Songül A. Vaizoğlu**

*H.Ü. Halk Sağlığı Anabilim Dalı*

"Polisiye romanlarda sıklıkla bir ceset bulunur ama tüten bir tabanca bulunmaz. Ama ulaştırma etkinliklerinin sağlık etkisinin özgül kanıtlarını ararken bir çok tüten tabanca vardır ama görünürde hiç bir ceset yoktur" Dr Simon Wolff

Hava kirliliği, günümüzde gerek ülke gerekse dünya gündemindeki önemini korumaktadır. İnsan sağlığını veya çevresel dengeleri bozacak şekilde havanın bileşiminin değişmesine ya da havada bulunmaması gereken maddelerin havaya karışmasına hava kirliliği denir. Normal ve temiz havada %78.09 azot, %20.95 oksijen, %0.093 argon ve %0.03 karbondioksit bulunur. Duman, toz tanecikleri, kükürtlü ve azotlu gazlar ve diğer gazlar ya bulunmaz ya da eser miktardadır.

Bir diğer anlatımla; "Doğal olarak havada bulunmayan maddelerin yada normalde zararlı olmayan miktarlarda bulunan maddelerin artmasına bağlı olarak canlıların yaşamını, insanların sağlığını olumsuz etkileyen, fiziksel zararlara yol açan ve ekonomik kayıplara neden olan duruma hava kirlenmesi" denmektedir.

Hızlı nüfus artışı, kentleşme, endüstrileşme, nüfus hareketleri ve her türlü tüketim doğrudan ve dolaylı olarak hava kirliliği ile ilişkilidir. Hava kirliliği öldürür; kişilerin amfizem, astım ve bronşit gibi hastalıklara yakalanmasını kolaylaştırır; akciğer kanserine yol açabilir. Hava kirliliğine bağlı olarak boğaz irritasyonu, göz yaşarması ve baş ağrısı gibi belirtiler sık görülebilir. Yine hava kirliliği görme alanını kısıtlar, doğal görünümü bozar, araba kullanmayı tehlikeli hale getirir. Giyecekleri kirletir, boyaların dökülmesine, metallerin aşınmasına neden olur. Kamu binalarının, yontuların, tarihi görüntülerin zarar görmesine yol açar. Doğal yaşama zarar verir.

Hava kirliliğinin nedenleri, etkileri ve alınması gereken önlemler sadece iklim bilimcileri ve çevre mühendislerini değil, sağlık personeli de dahil olmak üzere bir çok sektörden personeli ilgilendiren ve ayrıntılı olarak bilinmesi zorunlu olan konulardır. Ancak

bu yolla toplumun korunmasına yönelik önlemlerin alınmasında etkin katılım mümkün olabilecektir. Sorunun belirlenmesi konusunda sektörler arası işbirliği yapılması, kaynak savurganlığını da önleyecektir.

Ülkemizde hava kirliliği ile ilgili en önemli sorun konunun teknik ayrıntıya boğulması nedeniyle konuyla ilgili olarak sağlık personelinin gerekli katkı ve katılımının sağlanamamasıdır. Bu eksiklik, hava kirliliğinin sağlık etkilerinin iyi tanımlanması ve gündeme getirilmesi ile giderilebilir.

## TARİHTE HAVA KİRLİLİĞİNE BAĞLI AFETLER

Tarihte hava kirliliğine ilişkin kayıtlı olaylar 12. yy' dan beri vardır. Ancak sağlık etkileri ile ilgili ayrıntılı kayıtlar daha çok 20.yy'a aittir. Hava kirliliğinin sağlık etkilerini araştırmak amacıyla 1905-1915 yıllarında yetersiz de olsa klinik çalışmalar yapılmıştır. Duman, kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) ve diğer kirlleticilerin şehir havasını bozarak insanlarda rahatsızlıklara yol açtığı gösterilmiştir.

1 Aralık 1930'da, Belçika'da önemli bir endüstri merkezi olan Meuse Vadisi'nde iki günü çok şiddetli olmak üzere 6 Aralık'a kadar süren yoğun sis, 60 kişinin ölümüne ve bir çok kişide önemli akciğer sorunlarının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bunu izleyen tartışmalarda faciaya neden olan kirleticilerin SO<sub>2</sub> ve flor içeren gazlardan kaynaklandığı iddia edilmiştir.

Bu yıllarda kirleticilerin sınır değerleri kavramı ortaya atılmış ve özellikle SO<sub>2</sub> üzerine bazı çalışmalar yapılmıştır. Havadaki zararlı maddelerin ölçümü için bir takım yöntemler geliştirilmeye başlanmış, duman ve toz ölçüm cihazları devreye sokulmuştur. 1931 Ocak ayında İngiltere'de sanayileşmiş Manchester ve Salford bölgelerinde 9 gün süren yoğun sisi takiben 592 kişi ölmüştür.

1948'de ABD'de Pennsylvania eyaletinde çelik ve kimya sanayiinin bulunduğu Donora kentinde 4 günlük sis sonucu 14.000 kişi hastalanmış bunlardan 20'si yaşamını kaybetmiştir. Eğer gelen



fırtına bu tabakayı kentin üzerinden uzaklaştırmaya iddi daha bir çok kişi hayatını kaybedebilecekti. Bu olaydan 10 yıl sonra Donora'da olaydan ağır şekilde etkilenenlerde hastalanma ve erken ölüm oranında artma gözlenmiştir.

Londra'da 1873'te gerçekleşen bir siste, bronşitten 268 beklenmedik ölüm rapor edilmiştir.

1952, 1956 ve 1962 yıllarında da Londra'da kirlilik olayları gözlemlenmiştir. 1952 yılında 4000 ölüm olmuş, 1956 da 1000 ve 1962 de 300 ölüm görülmüştür.

Ülkemizde 1955 yılından başlayarak, özellikle Ankara olmak üzere büyük kentlerimiz için hava kirliliği tehlikesi üzerinde durulmaya başlanmıştır. 1980 li yıllarda hava kirliliği sorunu Başkent Ankara'da büyük boyutlara varmış, bunun üzerine tüm büyük kentlerde hava kirliliğinin önlenmesi ve var olan kirlilik boyutlarının azaltılmasına yönelik önlemler üzerinde durulmaya başlanmıştır.

## HAVA KİRLİLİĞİ TİPLERİ

Hava kirlenmesi sağlık etkilerinin kolay tartışılabilmesi için Londra ve LosAngeles tipi olmak üzere ikiye ayrılabilir.

### Londra tipi hava kirlenmesi (Sülfüröz Kirliliği):

Londra tipi kirlilik, kömür ve petrol yanma ürünlerinin sisle karışmasıyla oluşan kirliliği tanımlamaktadır. İngilizce'de sis ve duman sözcüklerinin (smoke, fog) birer hecesi alınarak SMOG terimi türetilmiştir. SMOG sis ve duman karışımıdır ve kenti battaniye gibi örter. Bu tip kirlenmede kükürt dioksit birikimi ve sülfürik asit yoğunlaşması görülür. Bu maddeler yüksek derişimde öldürücüdür. Ancak, 1960 yılından sonra alınan önlemlerle sorun azaltılmıştır.

Sülfüröz kirliliğin tehlikeleri Aralık 1952'de Londra'yı yoğun bir sis kaplayıp 4000 kadar kişiyi öldürdüğünde en dramatik olarak görülmüştür.

Bu tip kirlilikte, pulmoner ve kardiyak hastalıklar ön plandadır.

### Los Angeles tipi hava kirlenmesi:

Bu tip kirlenmede ise dumandan çok gazlara bağlı bir kirlilik artımı görülür. Los angeles Okyanus kıyısındadır ve etrafı dağlarla çevrili olan bu kent C biçiminde bir çanakta yer almaktadır. Otomobil trafiği yoğundur. Yoğun bir trafik vardır (3,7 milyon otomobil günde 29.000 metreküp akaryakıt tüketmektedir). Okyanustan gelen sisin, otomobil egzoz gazlarıyla karışımı sonucu smog oluşmaktadır. Buna rafineri gazları da katkı yapmaktadır.

Güneş ışığının etkisiyle oluşan fotokimyasal değişiklikler, hidrokarboların ve nitrojen oksitin meydana gelmesine yol açmaktadır. Gözlerde sulanma ve yanma, iltihaplanma, akciğer zedelenmesine sebep olmakta, bitkilerin kurumasına, boyaların aşınarak dökülmesine, lastiklerin çürümesine yol açmaktadır.

Sülfür dioksit yoğunlukları yaklaşık 4000 µg/m<sup>3</sup> gibi bir doruğa ulaşmıştır. Kurbanlar -genellikle küçük çocuklar ve 65 yaş üzerindeki- kalp ve akciğer hastalığından ölmüşlerdir. Sisten sonraki hafta, kirlilikle ilgili semptomlar iki katına çıkmış ve hastane başvuruları günlük ortalama 750'den 1110'a yükselmiştir. Asidik havanın neden olduğu bronş tahrişi, bronkospazm, dispne, ve siyanozdan tek iyileşmeyi Wicks ile amonyak şişeleri sağlamıştır.

## HAVA KİRLİLİĞİ İLE İLGİLİ ATMOSFERİK OLAYLAR ve SAĞLIK ETKİLERİ

Hava kirlenmesi atmosferik olarak insan sağlığını ve ekosistemi tehdit edecek birtakım sonuçlar verir. Bunların başlıcalarını şöyle sıralayabiliriz:

### Sıcaklık İnversiyonu (Sıcaklık terslenmesi, durgun hava olayı):

Normalde yere yakın hava sıcaktır, yükseldikçe soğur. Zaman zaman atmosferin üst tabakasına rastlantısal olarak sıcak hava kitlesi gelebilir. Bu yatay rüzgar etkisine bağlı bir durum olabilir. Bu durumda üstteki hava tabakası daha sıcak olduğu için alttaki hava tabakasının yukarıya çıkması mümkün olamaz. Buna ısı terslenmesi de denmektedir. Isı terslenmesine uzun süren soğuk geceler neden olabilir. Bu durumda yere yakın olan tabakalar kolayca soğumakta, oysa üst tabakalar daha sıcak olarak kalmaktadır. Bu durumda durgun hava olayı meydana gelmekte ve aşağıdan yukarı doğru hava akımı olmamaktadır. Çünkü üstteki hava alttaki tabaka daha yoğun olduğu için aşağı doğru çökmemektedir. Hava kirleticileri de atmosferin soğuk tabakalarına doğru yükselmektedir. Sıcaklık terslenmesinin oluşmasına etki eden faktörler şunlardır:

- Çanak şeklinde topoğrafik yapı ve bu alanda yoğun konut alanı.
- Rüzgar esintisinin azalması
- Yeşil alan azlığı
- Aynı bölgede sıkışık ve sürekli trafik
- Asılı partiküllerin yoğun ve büyük oluşu nedeni ile atmosfere yükselememesi rüzgarla sürüklenememesi.

Bu durumların zamanla ağırlaşması sonucu yerleşim çanağı üzerinde bir inversiyon hattı oluşmaktadır ve yukarıdan gelen ışınların yere ulaşmasını engellemektedir. Yatay bir hava hareketi durağan hale gelmişse ve bu hava kitlesini dağıtmazsa olay devam etmekte ve gittikçe ağırlaşmaktadır.

Günümüze kadar sıcaklık terslenmesi (inversiyonu)na bağlı bazı önemli sağlık afetleri görülmüştür.

Gündüz güneş ışınları ile yeryüzüne ulaşan sıcaklık tekrar alttaki hava tabakalarını ısıtınca bu olay ortadan kalkmaktadır. Ancak kimi zaman nadiren de olsa iki üç gün sürdüğü görülmektedir. Bu durum kent içerisinde duman ve sisin karışımından ibaret kirlitici tüm

öğelerin birikmesine ve kişileri büyük oranda etkilemesine neden olmaktadır. Smog giderek yoğunlaşmaktadır. Sarıya çalan yada gri renkli smogun bütün ortamı kaplaması, çevrenin bir sis perdesi içerisine girmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda daha önceden karaciğer ve kalp sorunu olan hastalarda ani ölümler, önemli boyutta işten kalmalar ortaya çıkmaktadır.

Hava kirliliği insan sağlığını iki yolla etkilemektedir. Akciğer kanseri görülme sıklığını artırdığı ve var olan akciğer hastalıklarının da ilerlemesine yol açtığı belirlenmiştir.

### Sera Etkisi:

Yeryüzünde canlı hayatının devamı için sınırlı sıcaklık değişimi söz konusudur. Mevsimlere ve gece gündüze bağlı olarak sıcaklık yaklaşık olarak -50 ile +50 (°C arasında değişmektedir. Global ortalama sıcaklık ise 27 (°C civarındadır. Kısmen kararlı olan bu ortalama havadaki CO<sub>2</sub> ve su buharından kaynaklanmaktadır. Ozon tabakasından geçen UV ışınlarının bir kısmı, bulutlar çöller ve karla kaplı alanlarca yansıtılmaktadır. Diğer kısmı ise absorbe edilir ve kızıl ötesi ışınlar şeklinde yansıtılır. CO<sub>2</sub> 13-100 pm dalga boylarındaki ışınları absorbe eder. Eğer kızıl ötesi ışınlar CO<sub>2</sub> ve su buharı tarafından tutulmasaydı gece gündüz arasında çok büyük sıcaklık farkları olacaktı. Bu durum kirlenmeden önceki olayın olumlu yönüdür.

Eğer enerji üretimi için yakıt tüketimi böyle devam edecek olursa 50 yıl içinde dünya sıcaklığı 3-5 (°C artacaktır. Diğer taraftan 7-13 pm dalga boylarındaki kızıl ötesi ışınlar çeşitli uçucu hidrokarbonlar, CFC'lar ve N<sub>2</sub>O gibi maddelerce absorbe edilmekte ve yeryüzünün penceresi işlevini artık yapamamaktadır. Böylece şiddetli kasırgalar, kışın normalin üzerinde sıcaklık, buzulların eriyerek deniz seviyesinin yükselmesi gibi olaylar beklenmektedir.

Seralarda, sera camından giren güneş ışığı sıcak olan serada yere ve bitkilere ulaştıktan sonra yansımaktadır. Bu yansıma büyük oranda ısı enerjisi biçimindedir ve büyük bir oranı orada kalmaktadır. Bu nedenle seralarda sıcak havalardaki aşırı ısıyı önleyebilmek için sera camlarının toprakla örtüldüğü yada çamurla sıvandığı görülmektedir.

Atmosferdeki karbondioksit ve kirleticilerin de benzeri sera etkisi yapması dünya sıcaklığının artmasına neden olmaktadır.

Yoğun sis bölgelerinde bu olayların tersi söz konusudur. Bu kez ulaşan güneş ışınlarının % 25-50 oranında azalmasına yol açmakta, bu durum toprak yüzeyinin soğumasına neden olmaktadır. Bu durum zamanla yeni bir buzul çağına başlamasına yol açabilecek bir etkidir.

### HAVA KİRLETİCİLERİ

Her bir otomobil egzozundan havaya yılda bir ton kirleticiler verilmektedir. Uçağın çıkardığı buharın uzun süre havada görülmesi yükseklerde hava hareketlerinin ne kadar yavaş olduğunu gösterir.

Gazlar havada uzun süre asılı kalabilmektedir. Jetlerin önemli birer hava kirleticiler etken olmalarının nedeni budur.

Hava kirleticileri gaz ya da tanecik halinde olabilir. Partiküller aerosol halindedir. Duman, toz, sis ve is bunlar arasında sayılabilir.

Motorlu araç egzozlarından çıkan nitrojen oksitler, aldehit ve ketonlar fotokimyasal etkiye bağlı olarak ozonla peroksitleri (PAN) peroksiasetilnitratları meydana getirir. İşte güneş ışınlarının bütün bu etkileri ile meydana gelen maddelere fotokimyasal maddeler, etkiye ise fotokimyasal ya da fotoşimik etki denmektedir.

Diğer kirleticiler arasında karbondioksit, hidrokarbonlar, aldehitler, ozon ve hidrojen sülfür sayılabilir.

### Karbonmonoksit:

Başlıca kaynağı içten yanmalı motorlardır. Renksiz ve kokusuz bir gazdır. Zor sıvılaşır, çok kararlı ve güçlü indirgen bir bileşiktir. Kokusuz olması tehlikesini artırır. Öldürücü olmayan dozlarda bile ciddi kansızlık olaylarına yol açmaktadır.

Kömür, petrol ve gaz karışımlarının yetersiz yanmasına bağlı olarak meydana gelen bir diğer kirleticiler karbonmonoksittir. Bir arabada bulunan ortalama büyüklükteki bir depo yaklaşık olarak bir ton hava kullanılmaktadır. Günlük olarak otomobillerden havaya 200 000 ton, yılda ise 80-100 milyon ton karbonmonoksit verildiği tahmin edilmektedir.

Solunan karbonmonoksit, kandaki oksijenin yerini almakta ve kanla taşınan oksijen miktarının büyük oranda azalmasına, tepkilerin ağırlaşmasına, süregelen bir yorgunluk ve uyku haline neden olmaktadır.

### Parçacık halindeki maddeler:

Elektron mikroskop ile görülebilen, gözle kurum olarak görünene kadar değişik boyutta olabilirler. Başlıca kaynak, hareketsiz merkezlerde (ısı merkezleri, sanayi vb.) yakıt kullanımı, sanayi etkinlikleri, orman yangınları.

### Kükürt oksitleri:

Kükürt içeren gazların yanmasıyla oluşan zehirli gazlardır. Her yıl açığa çıkan kükürt oksitlerinin yaklaşık %60'ı kömür yakılmasıyla oluşmaktadır. Kentsel bölgelerdeki akaryakıt tüketimi ve kükürt kullanan sanayi tesisleri başlıca kaynaklardır. Özellikle şehirlerde insan sağlığı için, ayrıca bitkiler için ve aşınmaya uğrattığı binaları madeni kısımları için tehlike arz etmektedir.

Kömür ve petrolün yanma ürünleri arasında en tehlikeli gazlardan birisi SO<sub>2</sub>'dir. SO<sub>2</sub> havadaki su ile birleşerek sülfüroz asit daha sonra sülfürik asit oluşturur. Günlük olarak atmosfere 100 000 tondan fazla SO<sub>2</sub> boşalmaktadır.

Kükürt oksitleri, soluk borusunu ve akciğerleri olumsuz etkilemekte geçici ya da kalıcı zedelenmelere yol açmaktadır.

### Azot oksitleri:

Yakıtın, çok yüksek sıcaklıkta yanmasıyla oluşur. Kaynakları; motorlu taşıtlar, elektrik enerjisi santralleri, sanayide kullanılan yakma sistemleridir. Normal olarak havada kararlı olarak bulunan azot, yanma sırasında yüksek sıcaklıkta oksijen ile birleşmekte ve gaz halinde dışarı atıldığında çabuk soğursa bu halde kalmaktadır. Havadaki hidrokarbonlarla birleşerek fotokimyasal yükseltgenleri oluşturmaktadırlar. Bu yükseltgenler havadaki katı ve sıvı parçacıklarla birleşerek hava kirliliğine yol açmaktadırlar.

Nitrik oksit ve nitrojen dioksit otomobil motorlarında nitrojen ve oksijenin birleşmesiyle meydana gelir. Nitrojen dioksit zehirlidir. Nitrik oksidin atmosferle birleşmesiyle oluşur. Bunu fotokimyasal (fotoşimik) reaksiyonla güneş ışığı sağlamaktadır. Kahverengi bir gaz olan nitrojen dioksit yüksek derişimlerde öldürücü olabilir. Su ile birleşerek nitrik asit oluşturur. Bu sadece insanlar için değil bitki ve hayvanlar için de tehlikeli bir maddedir.

### Hidrokarbonlar:

Yakıtların tama yanamaması sonucu ortaya çıkarlar. Bu yönü ile karbondioksite benzemekle beraber, onun tersine atmosferde normal buldukları düzeylerde toksik etki göstermezler. Ancak fotokimyasal sise yol açtıklarında hava kirliliğini artırıcı rol oynarlar. Başlıca kaynakları: Çöp fırınları gibi büyük tesislerde atık maddelerin yakılması, sanayide kullanılan çözücülerin buharlaşması, odun ve nitelsiz kömür yakılması, benzinin buharlaşarak veya içten yanmalı motorlarda yanarak havaya karışması. Havadaki hidrokarbonların yaklaşık %60'ı kentsel bölgelerde bulunmaktadır.

### Benzen:

Petrolün özel bir bileşenidir. Benzen, sigara dumanı ve bazı ev çözücülerinde de var olan uçucu bir hidrokarbondur ve insanlarda lösemiye yol açmaktadır. Havadaki benzenin ana kaynağı petrol motorlarından olan salınım ve petrolün taşınması, dağıtımı ve depolanması sırasındaki buharlaşmadır. Havadaki benzen düzeyleri trafik yoğunluğuyla yakın olarak ilintilidir ve yoğunluk milyarda 1-50 arasında değişmektedir. Ancak benzen aynı zamanda arabaların içinde de, Amerika'daki mesleksel etkilenim sınırlarına yakın yoğunluklara ulaşacak şekilde birikebilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü kansere neden olduğu bilindiği için benzenin güvenli bir düzeyi olmadığında ısrar etmektedir.

Benzene çevresel etkilenimin risklerinin yüksek doz verilerinden ekstrapolasyonu spekülatifir ama, DSÖ kılavuzları milyarda 0.3 kısım benzen yoğunluğunda yaşam boyu lösemi riskinin, bir milyon kişide dört olgu olduğunu tahmin etmektedir.

### Kurşun:

Hava kirliliğine yol açan en önemli metaldir. Kurşunlu benzin kullanan

araç motorlarından, sanayi tesislerinden, insektisitlerden, boyalardan, kömür ve çöp yakılmasından kaynaklanır. Kurşun toksisitesinde sanıldığı aksine araba egzozlarından kaynaklanan zehirlenmenin boyalardan kaynaklanandan daha önemli olduğu ortaya konmuştur. Toprak ve havadaki kurşun miktarları ile kan kurşun düzeyleri arasında yakın ilişki gözlenmiştir. Araba egzozlarından çıkan kurşunun %95'i toprağa çöker ve birikir. Çocuklar da oyun oynarken ve toprak yiyerek bu kurşunu alırlar. Anemi yapması, zeka geriliğine ve davranış problemlerine neden olması havadaki kurşun kirliliğini önemli kılmaktadır.

Hava kaynaklı kurşuna bağlı olarak zeka geriliği olduğu belirlenmiştir. Kurşun seviyeleri ile incelenen toplumun zeka düzeyleri arasındaki ters ilişki bir çok çalışmada gösterilmiştir. Bu nedenle benzinde bulunan kurşun tetraetilin azaltılması ve kullanımının yasaklanmasına yönelik çabalar başlatılmıştır.

### OZON TABAKASI VE SAĞLIK ETKİLERİ

Ozon yüzeye yakın hava tabakasında önemli bir kirleticidir. Bu nedenle stratosferdeki ozon tabakası ile karıştırılmamalıdır. Bunun oluşumunda da araba egzozlarının rolü büyüktür. Ozon insan genetik materyalini etkileyebilir. Sinir sistemini etkileyerek davranış bozukluklarına neden olabilir.

Ozon tabakası üzerindeki olumsuz etkiler

Ozon tabakası 15 km yüksekliğe kadar devam eden ve ilk atmosferik tabakadan sonra 15-50 km arasındaki stratosferin içinde yer alan bir katmandır. 20-25 km arasında ozon daha yoğun bulunur ve buna ozon tabakası denir. Ancak burada bile yaklaşık her 100.000 molekülden birisi ozon molekülüdür. Ozon oluşumu için güneş ışığı gerektiğinden yaz-kış arasında %25'lik bir yoğunluk farkı olabilir. Ayrıca volkanik olaylar, yukarı atmosferdeki rüzgarlar ve güneşin etkisine bağlı olarak günlük değişiklikler de olmaktadır.

Güneş ışığı ile yeni ozon molekülleri oluşurken azot, hidrojen ve klor içeren doğal bileşikler tarafından ozon tabakası bozulur/ azalır. Ozon tabakası en kısa dalga boyu olan ve insanlar için öldürücü olan UV-C ışınlarının tamamını absorbe eder. Uzun dalga boyulu UV-A ışınlarını ise tamamen geçirir. İkisinin arasında dalga boyu olan, UV-C gibi öldürücü olmayan UV-B ışınlarının ise büyük çoğunluğunu soğurur, az bir kısmının geçmesine olanak tanır.

Bu ozon tabakası, yer üzerindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Oksijen molekülleri ve ozon güneşten gelen morötesi ışınlarını soğurur. Bu durumda söz konusu ışınlar atmosferin alt tabakalarına ulaşamaz. Özellikle 290 nanometreden daha kısa dalga boyulu ışınların yeryüzüne ulaşmasını engeller. Bu dalga boyundaki ışınlar (mor ötesi ışınlar) canlılar için öldürücüdür.

Mor ötesi ışınlar deri kanserlerinin artmasına da yol açar.

Günümüzde özellikle deniz kenarında güneş ışınlarının dik geldiği saatlerde güneş ışınlarının etkisi altında kalınması da deri kanser görülme sıklığını artırmaktadır.

Özellikle nitrojen oksitler ve aerosol püskürtücülerinde kullanılan halojenleşmiş hidrokarbonlar ozonun ayrışmasını hızlandırmaktadır. Ayak üstü atıştırılan tipteki yiyeceklerin konduğu köpük tabak vb imalat sürecinde de ozon tabakasını olumsuz olarak etkileyen maddeler çok fazla miktarda atmosfere verilmektedir. Bu ise ozon katmanının bozulmasına ve dünyamızın öldürücü ışınlar karşısında korunmasız kalmasına neden olur.

CFC bileşikler ilk defa 1920 yıllarında bulunmuştur. Bu bileşikler toksik olmayan, düşük sıcaklıkta buharlaşabilen, inert maddelerdir. Bu bileşikler buzdolaplarında soğutucu, mikroproseder ve bilgisayarlarda kullanılan küçük parçaların temizlenmesinde, plastik köpük yapımında ve her türlü spreyde kullanılmaktadır.

Havalandırma sistemlerinde, spreylere, otomobillerde, ve buzdolaplarında kullanılan halojenli hidrokarbonlar ya da kloroflorokarbon bileşikler çok önemlidir. Ozonu tabakasını olumsuz etkileyen bu maddeler ayaküstü yemek servislerinde kullanılan köpük imalatı sırasında da bol miktarda ortaya çıkmakta ve atmosfere katılabilmektedir.

Doğada çok uzun süre bozulmadan kalan bu maddeler UV etkisi ile serbest hale getirdikleri Klor radikalleri etkisiyle ClO ve O<sub>2</sub> oluşturarak ozon moleküllerini parçalar ve kararlı bileşik olmadığı için ClO'daki O radikali ayrılarak O<sub>2</sub> molekülünü oluşturur. Bu arada serbest kalan Cl radikali başka bir ozon molekülünü bozar.

Ozonu bozan diğer maddeler, bromlu bileşikler olan halonlar (yangın söndürücü olarak kullanılır), metil kloform, HCFC'lar, HBFC'lar ve metil bromürdür. Bir klor ve brom atomu binlerce ozon molekülünü parçalayabilir.

Atmosferdeki ozonu tahrip eden CFC'ların ve saydığımız diğer maddelerin atmosferde kalış süresi 25-400 yıl arasında değişmektedir. Dolayısıyla, şimdiye kadar atmosfere karışan tüm bu maddelerin tamamı atmosferdedir ve miktar 2000-2010 yıllarında en yüksek düzeye ulaşacaktır. Daha sonra düşüş eğilimi başlayacaktır.

Yapılan son değerlendirmelere göre;

Tropik bölgeler dışında tüm enlemlerde ozon konsantrasyonunda azalma devam edecektir.

Ozon seviyesindeki azalma her on yıl için %3'tür. Stratosferin aşağı kesimlerinde ozon kayıpları (12-23. km.ler) her on yılda için %10'dur.

Ozon azalmasına paralel olarak UV-B oranlarında artış gözlenmektedir. Her %1'lik ozon azalması %1'den daha fazla UV-B artışına neden olmaktadır.

Ozon tabakasının incilmesi sonucunda:

Ozondaki %1'lik azalma melanom olmayan deri kanserlerinde

%2'lik artış olmaktadır. Malin melanom görülme sıklığında da daha az da olsa artış görülmektedir.

UV-B artışı katarakt, göz lenslerinin deformasyonu ve yaşa bağlı körlük vakalarını arttırmaktadır. Ozondaki %1'lik azalma katarakt vakalarında %0.6-0.8 oranında artmaya neden olmaktadır.

UV-B'deki artış, insan bağışıklık sistemini baskılayabilecektir.

Deneyisel çalışmalarda 300 bitki türünden 2/3'ünün UV-B'ye hassas olduğu gösterilmiştir. Bitkilerin büyümesi yavaşlamakta ve kalitesi düşmektedir.

Deniz yaşamı da UV-B artışından etkilenmektedir. Balık larvası, karides, yengeç, fitoplankton ve deniz bitkileri zarar görmektedir. Fitoplanktonlar karbondioksitin tutulmasında rol almaktadır.

Artan UV seviyesi troposferik ozon konsantrasyonunda artışa sebep olarak hava kirliliğine katkıda bulunmaktadır.

Düşük yoğunluklarda ozon, öksürük, bulantı, gözler, burun ve boğazın tahrişi ve baş ağrısına neden olur. Daha yüksek yoğunluklarda, milyarda 150-200 kısımda akciğer işlevini etkiler. Laboratuvar çalışmaları astımlı kişilerde ve sağlıklı gönüllülerde zorlu vital kapasite, zorlu ekspiratuar hacim ve tepe ekspiratuar akım hızında geri dönüşlü azalma göstermiştir. 1 Ozonun etkileri, egzersiz ve uzamış etkilenimle daha kötüleşir. Ozon aynı zamanda astımlı kişilerin yaygın alerjenlere duyarlılığını artırabilir. Çevre ozon yoğunlukları ve bozulmuş akciğer işlevi arasındaki bağlantı ABD'nde yaz kamplarındaki çocuklar üzerine çalışmalarla gösterilmiştir. Ozon yoğunlukları puslu hava süresince yükseldiğinde, çocuklarda zorlu vital kapasitede, zorlu ekspiratuar hacimde ve tepe ekspiratuar akım hızlarında azalma belirlenmiştir. Çocuklardaki akciğer işlevi yetişkinler kadar etkilenir. Ama çocuklarda daha az semptom gelişir ve solunumsal tahrişten daha az haberdardırlar. Ozona kronik etkilenim akciğerlerde yapısal hasara neden olabilir.

Toprak düzeyinde ozon, sıcaklık inversiyonu, havayı dolaşmaktan alıkoyduğu güneşli hareketsiz günlerde görülmektedir. Öğleden sonranın başlangıcında yoğunluklar doruğa ulaşır ve kırsal alanlarda sıklıkla en yüksektir.

### ASİT YAĞMURLARININ İNSAN SAĞLIĞI VE DİĞER CANLILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Asit yağmuru konunun popüler bir ifadesidir. Atmosfer pH'ı atmosferdeki CO<sub>2</sub>'in oluşturduğu H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>'den (karbonik asit nedeniyle 7 ile 5.6 arasındadır. pH'ın 5.6'nın altına düşmesi durumuna asit yağmuru denir ve özellikle SO<sub>2</sub>'in atmosferde sülfirik aside dönüşmesi sonucu oluşmaktadır. Bu dönüşüm hızı kimyasal, biyolojik ve meteorolojik faktörlere bağlı olarak değişmektedir. NOX 'ler de asit yağmuru katkıda bulunurlar.

En önemli kaynak termik santrallerdir ve emisyonun %50-80'i bunlardan kaynaklanır. Yakıtlar %0.4-3 arasında yanabilir kökürt

içerirler. Yanma sonucu SO<sub>2</sub> gazı açığa çıkar ve atmosfere karışır. 1980 yılında yapılan incelemeye göre atmosfere atılan SO<sub>2</sub> miktarı 100.106 ton/yıldır. En fazla atan ülkeler ise termik santrallerin yoğun olduğu Rusya (24 milyon ton/yıl), ABD (24 milyon ton/yıl), Çin (12 milyon ton/yıl) ve İngiltere (5 milyon ton/yıl) dir.

Asit yağmurları insan sağlığı üzerine dolaylı etkiler gösterir. Asitleşen topraklarda suların asitlik derecesi yükselir. Bunun mide ülseri ile ilişkili olabileceği ileri sürülmektedir. Asit yağmurları topraktaki iyodu eriterek o toprakta yetişen sebze ve meyvelerin iyot yönünden fakirleşmesine neden olur. Üst solunum yolları hastalıkları, kronik bronşit, amfizem ve astım hastalıklarının artmasına neden olur.

Asit yağmurları toprağın killi ve humuslu tabakalarında en önemli bitki besin elementlerini (Ca, Mg, Na, K) çözerek yıkanmasına neden olur ve bitkilerin beslenmelerini bozar.

Tatlı su göllerinde asitlik derecesini arttırarak duyarlı balık ve yumuşakçaların tür ve sayılarını azalmasına neden olur. ABD'deki 100 bin gölden 20 bininde ya hiç balık kalmamış ya da ciddi şekilde olumsuz etkilenme olmuştur.

Asit yağmurları yapıları da tahrip edici etki göstermektedir. Özellikle kireçtaşı ve mermerden inşa edilmiş tarihi eserler üzerine ciddi etkisi vardır. Binalarda çatı örtüsü olarak kullanılan çinko levhaları aşındırmaktadır.

Bitkiler kükürt dikosit gazına diğer canlılardan daha duyarlıdır. Kükürtlü bakır ve demir cevheri işleyen fabrikaların üretim süreçleri iyi düzenlenmeyecek olursa çevredeki bitki örtüsüne büyük zararlar verebilir. Kükürtdioksit ve azotoksitler bitkilerin yapısına girerek oksijen alımını önlemekte ayrıca H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'e dönüşerek bitkileri tahrip etmektedir.

Nitritler ağaç kabukları üzerinde önemli ölçüde olumsuz etkiler yapabilmektedir.

Aerosollerin yapraklar üzerine birikmesi, ışığa bağımlı bitkisel metabolizmayı olumsuz etkileyebilmektedir. Terleme üzerinde olumsuz etki yapabilmektedir.

Tabla 1: Bazı hava kirliliği etkenleri, kaynakları ve etkileri

KİRLLETİCİ	KAYNAĞI	ETKİSİ
Kükürt ve nitrojen oksitler	Fosil yakıtlar	Ekosisteme olumsuz etki asit yağmurları, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler
Organik maddeler	Yanma, endüstriyel işlemler, rüzgar erozyonu	Ekosistemin olumsuz etkiler, göz ve üst solunum yolu sorunları
Karbon monoksit	Otomobil egzozları	Kanda karbonmonoksit artması ve oksijen azalması
İnorganik maddeler (kurşun, civa)	Madencilik, maden işleme, yanma	Ekosistem üzerinde olumsuz etkiler besinlerde ve vücutta birikmesine bağlı kanser yapıcı etki

Ormanlar üzerine direkt etki ile ve orman su ve toprağı üzerine etki ile ağaçları tahrip etmekte soğuşa, hastalığa böcek ve mantarlara dirençsiz hale getirmektedir. Bu şekilde çok sayıda etkenin birbirini tetiklemesi ile oluşan duruma "Kompleks Orman Hastalığı", bunun sonucunda ortaya çıkan ölüme de "Orman Ölümü" denilmektedir.

Havaya doğrudan verilen bazı sanayi kaçakları, baca gazlarına karışan kimi maddeler de önemli zararlara yol açabilmektedir. Alüminyum filizi işlemekte olan fabrikalardan çevreye yayılan flüorürün hayvanların anabolizmasını ileri derecede olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Bunun sonucunda ileri derecede zayıflama görülmektedir.

### HAVA KİRLİLİĞİNİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Değişik kirlitici tipleri ve derişimleri farklı belirtilerle karşımıza gelmektedir. Bunların bazıları spesifik değildir. Bu nedenle klinik uygulama alanındaki hekimlerin ayırıcı tanıda çevresel etkilenimi göz önüne almalarını sağlayacak yaklaşımlar çok büyük önem taşımaktadır. Sözelimi Los Angeles tipi hava kirlenmelerinde genellikle göz yaşarması, üst solunum yollarında zedelenme gibi geçici etkiler olabilmektedir.

Durgun hava olaylarında ise kirlitici etkenlere daha uzun süreli maruz kalma da söz konusu olabilmektedir. Bazı hava kirliliği etkenleri, kaynakları ve etkileri tablo 1'de gösterilmiştir.

Hava kirlenmesinin yarattığı stres önemli bir faktördür.

Genellikle yaşlı, ve kronik akciğer ve kalp hastalığı olan hastalar hava kirliliğinden olumsuz etkilenmektedir.

Bu etkilenme akciğerlerde zedelenme sonucu ortaya çıkan hafif belirtilerden, söz konusu kişilerde ölüm oranının artımına kadar değişen etkiler yapabilmektedir.

Geçici zedelenmelerden var olan kronik sorunların ağırlığının artmasına kadar değişen bu etkilerin tek bir madde yada kirlitici öge ile açıklanabilmesi mümkün olamamaktadır. Bütün kirlitici faktörlerin bir arada birbirine eklenen etkilerine bağlanmaktadır.

Hava kirliliği felaketlerinde ölüm genellikle bebeklerde zatürree (pnömoni) ölümleri biçiminde, kronik akciğer ve anfizemi olan yaşlılarda ise kardiyopulmoner sorunlardan olmaktadır.

### Astım, Alerji ve Hava Kirliliği:

1971 ve 1981 arasında pratisyenlerin muayenehanelerine astım ve saman nezlesiyle başvuran kişilerin sayısı havadaki yeşil bitki polen yoğunluklarında bir düşüşe karşın iki katına çıkmıştır. Read, astım ve alerjik hastalıkları hava kirliliğine bağlayan kanıtları özetlerken "her iki hastalığı trafik egzozundan olan kirlleticiler alevlendirebilir ve hatta bazı durumlarda başlatabilir" sonucuna ulaşmıştır. Ancak hava kirliliği astım artışı için tek olası açıklama değildir; daha kapsamlı tanı ölçütleri; yetersiz yönetim ve ilaç tedavisinin yan etkileri diğer seçeneklerdir.

Hava kirliliğine neden olan çeşitli gaz ve partiküller orta derecede astımlı kişilerde ve daha yüksek dozlarda aynı zamanda astımlı olmayan kişilerde bronkospazma neden olur. Kükürt dioksit, örneğin, DSÖ kılavuzlarında önerilen bir saatlik ortalama yoğunluğu geçen ve milyarda 200 kısım duyarlı kişilerde astımı ortaya çıkarır. Astımlı kişiler aynı zamanda nitrojen oksitleri ve asit aerosollere özellikle duyarlı görünmektedir. Karşıt olarak, ozon her ne kadar yaygın alerjenlere olduğu kadar sülfür gibi diğer kirleticilere astımlı kişileri duyarlılaştırır da astımlı ve astımsız kişilerde akciğer işlevini eşit olarak bozar.

Hava kirliliği nedeniyle astımlı hastaların hastane başvuruları ve ölümler son 40 yıl içinde artmıştır. Birinci Dünya Savaşı sonrasında kadar astım İngiltere'de nadir görülüyordu. İkinci Dünya Savaşı sonrası prevalans dramatik olarak yükseldi. 1959 ve 1973 arasında astımlı çocukların hastane başvuruları üç katına çıktı ve geçen 10 yıl içinde Avustralya, Fransa, İngiltere ve Galler, Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri 5-34 yaş grubunda astımdan ölümlerde % 30-60'a kadar varan bir artma kaydettiler (M Sears, World Conference of Lung Health, Boston, Massachusetts, 1990). Bunun astımın şiddetindeki mi yoksa prevalansındaki bir artıştan dolayı mı olduğu tartışma konusudur.

Astımla ilgilenen epidemiyologlar çeşitli güçlüklerle karşılaşmaktadırlar. Potansiyel karıştırıcı faktörler, alerjenlere idiyosenkrazik cevapları, sigara içilmesini ve enfeksiyon ajanlarını ve havanın hem hastalık ve hem de kirlilik düzeyleri üzerine etkisini içerir. Bunlara ek olarak, gözlem istasyonlarında kaydedilen kirlitici düzeylerinin bireyler tarafından alınan gerçek düzeylerle bağlantılandırılmasının güçlüğü ve astım tanısının konması için evrensel ölçülerin yokluğu söz konusudur.

Hava kirliliğinin etkilerine yönelik çalışmalar yeni astım olgularında ve astımlı olduğu bilinen hastalar arasında atak hızlarında bir artış olduğunu göstermiştir. Örnekler, 1940'lardaki Tokyo'daki Amerikan ordu personelinin ve bu yüzyılın ortasında Belçika, Meuse Vadisi;

Pennsylvania, Donora ve Londra'daki dönemlerin çalışmasıdır. O zamandan beri bir kaç çalışma esas olarak kükürt dioksit ve fotokimyasal smog olmak üzere yerel kirlitici düzeyleriyle, astım atak hızları ve hastane başvuru hızları arasında ilişkiler bulmuştur.

Çevredeki kirliticilerin yoğunlukları ender olarak laboratuvar çalışmalarında astımı ortaya çıkarmak için gerekli olan düzeylere ulaşır ama bir İspanyol çalışması kirliticilerin alerjenlerle sinerjistik olarak işlev gördüğünü böylelikle düşük düzeylerin bile bronkospazma yol açabildiğini ortaya koymaktadır. Japon çalışmaları alerjik rinit prevalansını dizel motorlarından olan parçacık kirliliğine bağlamıştır ve İngiltere'de hava kirliliğinin, polen etkisini, saman nezlesi semptomlarını arttırdığı gösterilmiştir.

### Kanser ve hava kirliliği:

Şehir hava kirliliğinin ne dereceye kadar kansere neden olduğu üzerine süregelen bir tartışma vardır. Pasif içicilik ve evdeki radondan ötürü akciğer kanserinin riskleri üzerine çok araştırma yapılmıştır, ama trafik kirliliği ve kanser arasındaki ilişki üzerine çok az çalışma vardır. Bu çalışmalar göstermektedir ki; egzoz dumanları pasif sigara içimi, radon veya diyetle bağlantılı etkileri bir çok farklı kanserler için bir risk oluşturmaktadır. "1948'de artmış kanser insidansının açıklamaya çalışmaya başladığımızda, hava kirliliği en yeğlenen açıklamaydı... Bizlerin çoğu kanserdeki artışın motor trafiğine bağlı olduğunu düşünürdük. Ama ne kadar çok çalışılırsa, o kadar az bağlantı bulunmaktadır... Lokomotif ve kamyon sürücüleri gibi bazı meslek gruplarında kanser riskindeki küçük artışı kabul eder ama bunu nüfus tabanlı verilerde yansıtmamıştır. Hava kirliliği ve kanser arasında gösterilebilir hiç bir ilişki yoktur." Diyen Sir Richard Doll, saptanamayacak kadar küçük bir çevresel risk olasılığı olduğuna inanmaktadır.

1988'de Uluslararası Kanser Araştırma Kurumunda bir çalışma grubu dizel motor egzozunun "belki" ve petrol motor egzozunun "muhtemelen" insanlar için kanser nedeni olabileceği sonucuna varmıştır. Bu karar, mesleki risk çalışmalarında kullanılmaktadır. Tren yolunda ve otobüs garajlarında çalışanlar ve kamyon sürücüleri dizel egzozuna, trafik kontrol çalışanları ve profesyonel sürücüler petrol egzozuna maruz kalmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu mesleki gruplarda kanser riski artımı gösterilememiştir.

Garshick ve ark. Orta yaş grubundaki demiryolu çalışanlarından oluşan bir kohortta 19 396 ölümü incelemişlerdir. Düzenli olarak dizel egzozuna maruz kalanlar arasında hiç bir etkilenimi olmayanlar arasındakinden daha fazla akciğer kanserinden ölüm bulmuşlardır. Risk artımı istatistiksel olarak önemli olduğu ve etkilenimin süresiyle arttığı belirlenmiştir. ABD de yapılan bir diğer çalışmada primer akciğer kanserinden ölen 1256 demiryolu çalışanı yaş ve ölüm tarihlerine göre iki kontrolle eşleştirilmişlerdir. Çalışma dizel egzozuna 20 yıldır maruz kalmış olan 64 veya daha düşük

yaştakilerde akciğer kanserinde anlamlı olarak artmış bir risk bulunmuştur (tahmini rölatif risk 1.4; %95 güven aralığı 1.1- 1.9). Daha ileri yaş grubunda böyle bir etki bulunmamıştır ama bunların çoğu dizel motorların demiryollarına büyük ölçekte girişinden önce emekli olmuştur.

Danimarka'da yapılan bir çalışmada Jensen ve arkadaşları karayolu çalışanları ve otobüs, taksi ve kamyon sürücüleri arasında mesane kanseri için istatistiksel olarak anlamlı bir risk artışı bulunmuştur. Kara ulaşım çalışanları dışında, tümü için fazladan risk etkilenimle birlikte artım göstermiştir. Steenland ve ark. Ohio'lu erkeklerde mesane kanseri insidansında anlamlı bir artış olduğu sonucuna varmışlardır, 20 yıldan fazla kamyon şoförü olarak çalışanlarda (tahmini rölatif risk 12.0; % 95 güven aralığı 2.3 - 62.9) ve demiryolu çalışanlarında ise (2.2; 1.2 - 4.0) olarak bulunmuştur.

Motor egzozuna maruz kalan yetişkinlerin çocuklarında kanser riski artabilir. Buna eşey hücrelerinin mutasyonu, uterus içi etkilenim veya erken postnatal etkilenim neden olabilir. Bir çalışma, araba tamircileri ve servis istasyonu çalışanlarının çocuklarında lösemi, lenfoma ve nörolojik kanserde anlamlı olmayan bir artışın ve idrar yolu kanserinde küçük ama anlamlı bir artışın olduğunu (tahmini rölatif risk 2.9 ; 1.0 -8.1) bulmuşlardır. Motorlu araç sürücülerinin çocuklarında herhangi bir kanser tipinde artış bulunmamıştır. Ancak Finlandiya'da yapılan bir çalışmada profesyonel sürücülerin çocukları arasında kanserde anlamlı bir artış bulunmuştur. (tahmini rölatif risk 1.9; 1.1 - 3.7).

## DÜNYADAKİ DURUM

Hava kirliliği 4000 Londralıyı öldüren 1952'nin kışındaki sisten beri değişmiştir. Maden kömürünün büyük miktarlarda kullanımı kış antisiklonlarına rast geldiğinde, oluşan sülfüröz dumanların yerel ancak ölümcül birikimi yerine, artık endüstrileşmiş dünya yazın araç egzozlarının oluşturduğu fotokimyasal sis görülmektedir.

Fotokimyasal smog, sağlık üzerinde kış sisleri kadar etkilidir. Akut ve kronik kardiyorespiratuar hastalıkta, smogun etkisine yönelik bir çok çalışma yayınlanmıştır. Kış sislerinin etkisi de sürmektedir. Batı'da temiz hava yasaları sonucu kış kirliliği geçmişte kalmıştır. Ancak Doğu Avrupa ve Üçüncü Dünyada kükürt kaynaklı kirlilik sağlığı ciddi şekilde tehdit etmektedir.

WHO dünya üzerinde yaklaşık 625 milyon kişinin sülfür dioksitini sağlıksız düzeylerine ve bir milyardan fazla kişinin parçacık kirliliğinin aşırı düzeylerine maruz kaldığını tahmin etmektedir. Sülfürdioksit ve kurum gibi parçacıklar yüksek sülfürlü yakıtların yakılmasına bağlı olarak havada oluşan ana ürünlerdir. Soğuk ve nemli hava, belirli metal katalizörlerin bulunması halinde sülfirik asit aerosolleri oluşturmak üzere birleşirler. Solunumla akciğerlere ulaşan bu tanecikler, kış aylarında görülen solunum yolu sorunlarının en önemli nedenlerinden birini oluşturur.

Doğu Avrupa ülkeleri önemli sağlık sorunlarıyla karşılaşmaktadır. 1989 ve 1990'daki değişim temposu, Berlin duvarının yıkılması ve Doğu-Batı ilişkilerindeki hızlı ilerlemeye rağmen maliyet ve diğer ekonomik koşullar hava kirliliği sorunlarının çözümünü güçleştirmektedir. Bu çevreye yönelik önlemlerin ikinci plana itilmesine yol açmaktadır. Ülkemiz için de benzeri sorunlar söz konusudur. Doğu Avrupa ve Avrupa Çevre Bakanlarının Dublin'de 1990'daki bir toplantısında yaşanan nükleer santrallerin ve nükleer atıkların zararsız hale getirilmesiyle ilgili yetersizliklerin bu bölgede en önemli sağlık tehditlerinden birisini oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

## İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, HAVA KİRLİLİĞİ VE SAĞLIK ETKİLERİ

Tüm dünya'da kentsel hava kirliliği, en büyük çevre sorunlarından birisi olmaya devam edecektir. Özellikle partikül ve gaz şeklindeki kirleticiler, hava akımları, sıcaklık değişimleri, atmosferik su buharı, nem ve yağmur gibi hava olayları ile ilişkilidir. Örneğin yavaş hareket eden anti siklonlar, tüm alanı bir kaç gün, hafta ya da daha uzun süre kaplayabilirler ve kirleticilerin birikmesine neden olurlar.

Ozon gibi kirleticiler, genellikle fotokimyasal reaksiyonlar ile ortaya çıkmaktadır. Bu reaksiyonlar yüksek sıcaklık ve güneş ışığı etkisi ile artmaktadır. Ozonun küresel ısınma ile beraber artacağı beklenmektedir. ABD'de yapılan bir çalışmada 4(C'lik bir artışın ozon konsantrasyonunu %10 artıracığı belirlenmiştir. Stratosferik ozonun azalması da ozon konsantrasyonunu artıran bir diğer nedendir.

Hava kirleticilerinin akut etkileri temel olarak, partikül, asit aerosoller ve ozona bağlıdır. Çocukların akciğer gelişimi tamamlanmamıştır ve özellikle ozonun yüksek olduğu yaz aylarında ev dışında daha uzun zaman geçirmektedirler. Bu nedenle çocuklar yetişkinlere oranla daha büyük risk altındadır.

## KİRLETİCİLERİN ZARARLILIK EŞİĞİ

Kirleticilerin zararlılık eşiği ile ilgili standartlar genellikle ülkeler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Daha öncede belirttiğimiz gibi zararlılık göstergelerin en önemli toplam asılı parçacık (TAP) ve SO<sub>2</sub> miktarıdır. Ancak akademik değerlendirmelerde daha ayrıntılı ölçümler gerekebilmektedir. PAH ölçümleri, fotokimyasal tepkime ürünleri, nitrojen oksitler örnek verilebilir. Kapalı atmosfer koşullarında bu maddelerle ilgili standartlar vardır. Ancak hava kirliliği ile ilgili olarak son değerleri standart olarak veren ülkeler azdır.

SO<sub>2</sub> ve toplam asılı parçacık miktarı genellikle kaba bir gösterge olarak kullanılmaktadır.

İnsan sağlığının korunması, çevrede kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için atmosferdeki hava kirleticilerin, bir arada bulduklarında, değişen zararlı etkileri de göz önüne alarak belirlenmiş konsantrasyon birimleriyle tanımlanan seviyelere hava

kalitesi sınır değerleri denmektedir. Bunlar uzun vadeli ve kısa vadeli sınır değerleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır:

1. Uzun vadeli sınır değerleri:

Aşılmaması gereken, bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalamalarıdır..

2. Kısa vadeli sınır değerleri

Maksimum günlük ortalama değerler veya istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının %95'ini aşmaması gereken değerlere kısa vadeli sınır değerleri denmektedir. Çöken tozlar için değişik olarak aşılmaması gereken maksimum aylık ortalama değeri tanımlamaktadır.

Uzun vadeli ve kısa vadeli sınır değerler için öngörülen süreler genellikle birer yıllık dönemleri kapsamaktadır.

**HAVA KİRLENMELERİNDE ALINACAK ÖNLEMLER**

Alınacak önlemleri incelemeden önce kirlenmesi muhtemel bir ortam havasının kirlenmesinde rol oynayan etmenlerin bilinmesi yol gösterici olacaktır.

Bu etmenler arasında; meteorolojik değişimler, durgun hava olayının ortaya çıkması, ısının beklenenin çok altına düşmesine bağlı olarak birden yakılan kalorifer kazan sayısının ve kullanılan yakıt miktarının artması, yakıt azlığı, dağıtım aksaklıkları ve ekonomik nedenlerle niteliği düşük yakıt yakılması önemli etkenler arasındadır.

Hava kirliliğine karşı kısa vadede alınacak önlemler

Hava kirliliğine karşı kısa vadede alınacak önlemler etkisini kısa sürede gösterecek önlemlerdir. Evlerde ısının belirli bir sınırdaki tutulmasının istenmesi, belli saatlerde kaloriferlerin yakılmasının engellenmesi, araç trafiğinin kısıtlanması, denetimlerin sıklaştırılması örnek verilebilir.

Kirli havaya karşı uzun vadede alınacak önlemler

Uzun vadeli önlemler; altyapı, teknoloji değişikliği ile eğitim uygulamalarını kapsayan önlemlerdir. Kaloriferlerin eğitimden geçirilmesi, duman ve kirlilik nedeni olmayan yakıt alternatifi oluşturulması, bunun kullanımını sağlayacak altyapı düzenlemeler (doğal gazda olduğu gibi) bunlar arasında sayılabilir. Gerekli yasal düzenlemeler de uzun vadeli önlemler arasındadır. Bu önlemleri aşağıdaki gibi sınıflayabiliriz:

**A. Yakıt ve Yakma Sistemi ile ilgili Önlemler: (Kaynağa Yönelik)**

Kalorifer kazanlarının yakılmasından sorumlu kişilerin eğitimi, yakma mevsiminde hatalı yakmayı önleyecek denetimlere ağırlık verilmesi.

Doğal gaz, yüksek verimli kömür ve kok kömürü kullanılması,

Merkezi ısıtma sistemlerinin kurulması,

Apartmanlara baca filtrelerinin takılması,

Kükürt miktarı az yakıt kullanılması

Bacaların düzenli olarak temizlenmesi, yasal olarak bu uygulamadan sorumlu kuruluşların belirlenmesi.

Egzoz gazlarıyla kurşun yayılımını önleyecek önlemlerin alınması (kurşunsuz benzin vb)

**B. Isı savurganlığını önlemeye yönelik uygulamalar ve etkili yalıtım**

Yerleşim yerlerinin ve yapılaşmanın hava akımlarını önlemeyecek şekilde düzenlenmesi, hava koridorlarının oluşturulması.

Sanayi kuruluşlarının havayı kirlletmesini önleyecek önlemlerin alınması

Yeni fabrikaların yerleşim yeri dışında kurulması, bacaların

Tablo NAAQS Standartlarına Göre Primer olarak Sağlığı Etkileyen Kirletici Düzeyleri	
<b>Kirletici Madde Sağlığı Etkileyen Doz Ortalama Zaman Konsantrasyon</b>	
Ozon (O <sub>3</sub> )	
1 saat	
0,12 ppm	(235 (g/m <sup>3</sup> ))
Karbonmonoksit (CO)	
8 saat	
1 saat	
9 ppm	(10 mg/m <sup>3</sup> )
35 ppm	(40 mg/m <sup>3</sup> )
Azot dioksit (NO <sub>2</sub> )	
<b>Yıllık Aritmetik Ortalama</b>	
0,05 ppm	(100 (g/m <sup>3</sup> ))
Sülfür dioksit (SO <sub>2</sub> )	
<b>Yıllık Aritmetik Ortalama</b>	
24 saat	
0,03 ppm	(80 (g/m <sup>3</sup> ))
0,14 ppm	(365 (g/m <sup>3</sup> ))
Kurşun (Pb)	
3 aylık	
1,5 (g/m <sup>3</sup> )	
Asılı Partikül Miktarı (PM10)	
<b>Yıllık Geometrik Ortalama</b>	
24 saat	
50 (g/m <sup>3</sup> )	
150 (g/m <sup>3</sup> )	
<b>Kış sezonu ortalaması sınır değerleri:</b>	
Kış aylarında binaların ısıtılmasıyla ortaya çıkabilen hava kirlenmelerine yol açan kirleticiler için Ekim- Mart ayları arasında yerleşim bölgelerinde yapılan ölçümlerin ortalamaları, aşılmaması gereken kış sezonu ortalaması uzun vadeli sınır değerleri ile karşılaştırılırlar	
	Kış sezonu ortalama sınır değerleri
SO <sub>2</sub>	250 mikrogram/ metreküp
Havada asılı partikül madde	200 mikrogram/metreküp



yükseltilmesi, bacalara duman süzgeci ve çöktürme araçlarının takılması

Isı tasarrufu ve yalıtım sağlamak üzere getirilen ilkeler,

Yeni yapılara inşaat ruhsatı ve iskan ruhsat verme aşamalarında gerekli önlemlere uygunluk açısından denetleme.

**C. Isınma dışı nedenlerden kaynaklanan hava kirliliği ile ilgili önlemler:**

Motorlu araçların egzoz gazlarının kirlenmesini azaltacak önlemlerin alınması; Toplu taşımacılığa ağırlık verilmesi, motor yanma etkinliğinin kontrol edilmesi, daha az kirlenilen araç yakıtlarının kullanımının desteklenmesi ve özendirilmesi.

Aerosol püskürtücülerinde ve köpük imalatında kullanılan halojenli hidrokarbonların kullanımının engellenmesi.

Otomobil emisyon standartlarının belirlenmesi; belli bir süre tanınarak trafiğine yeni kaydedilecek araçlarla kayıtlı araçlar için emisyonu zararsız düzeye indirecek donatım mecburiyetinin konulması.

Havanın tozdan kurtarılması için gerekli önlemlerin saptanması, bu arada, inşaat yapılan arsaların tahta perdeyle çevrilmesini, sokağa çamur ve inşaat malzemelerinin atılmasının kontrol altına alınması. İnşaat araçlarının çıkışlarında tekerleklerinin yıkanmasını sağlayan düzeneklerin kurulması.

Çöp saklama ve toplama konusunda başlatılan çalışmaların geliştirilmesi; çöplerin plastik torbalarda ve ev içinde saklayarak çöp toplama günlerinde belirlenen saatlerde kamyonlara teslim edilmesi.

**D. Yeşil alanlar**

Yeşil kuşak kurulmasıyla ilgili etkin düzenlemeler: ilgili kuruluşların tümü aktif olarak katılmalı, sivil toplum kuruluşlarının bu yöndeki çabaları desteklenmeli, uygun ağaç türleri seçilmeli, kent planlamasında yeterli yeşil alan ayrılması ve kısa sürede yeşillendirilmesi; sorumlu birimlerin fidan dikim ve bakım kapasitesinin artırılması.

**E. Denetim ve Ölçme**

Ölçüm cihazlarının hava kirliliğini en doğru temsil edecek şekilde yerleştirilmesi, uygun teknoloji, bilimsel çevrelerin ölçüm sonuçlarına kolayca ulaşabilmesinin sağlanması, ölçüm sonuçlarının diğer meteorolojik sonuçlarla birlikte yayınlanması, erken uyarı sisteminin kurulması, uluslar arası kirlilik parametrelerinin izlenmesi.

**F. Kamuoyu oluşturulması**

Uygulanacak önlemleri halka tanıtmak, benimsetmek, yararlarına inandırmak için, yazılı, sesli ve görüntülü yayın araçlarından yararlanılarak yoğun bir kampanya programlanmalıdır.

Uygulama sürecine göre hava kirliliği önlemleri:

Uygulama sürecine göre hava kirliliği önlemleri üç gruba ayrılarak incelenebilir:

**1.Kısa Vadede Alınacak Önlemler:**

- Belediyelerin denetimlerinin sıklaştırılması ve cezaların daha etkili hale getirilmesi, denetim sonucu yapılan önerilere uymayanların etkili biçimde cezalandırılması.
- Kalorifer yakıcılarının eğitilmesi, alev borularının her hafta temizlenmesi,

Yakma tekniğine göre yakılması ve tam yanma olayının sağlanması, Acil durumlarda sağlık sonuçlarının önlenmesi açısından alınacak önlemlerle ilgili mevzuat yetersizliği söz konusu ise İl Hıfzısıhha kurulu kararlarından yararlanılması.

**2.Orta Vadede Alınacak Önlemler:**

- Yüksek kalorili ,yıkılmış, elenmiş kükürt oranı % 1 den az linyit; ya da kükürt oranı azaltılmış fuel oil, dumansız biriket vb gibi yakıt türlerinin kullanımı sağlanmalı
- Apartmanlarda sıcaklık terslenmesi dönemlerinde kullanılmak üzere iyi kaliteli yakıtın hazır bulundurulması.

**3.Uzun Vadede Alınacak Önlemler:**

- Büyük şehirlerde nüfus yoğunluğunun önlenmesine yönelik önlemler:Kentlerin dikey büyümesine engel olunması ve imar planına uygun olmayan yapılaşmaya son verilmesi,
- Yeşil alanların genişletilmesine yönelik çalışmalar.
- Kentte toplu taşımacılığa ağırlık verilmesi
- Yapıların aşırı ısı kaybını engelleyecek şekilde yapılmasını zorunlu kılan mevzuat düzenlemeleri

Hava kirliliği yoğun olan şehirlerde merkezi ısıtma sistemi, doğal gaz, havagazı veya elektrikle ısıtmanın vb uygulamaların özendirilmesi,gerekli planlama ve alt yapı çalışmalarının uygulamaya sokulması.

## **HAVA KİRLİLİĞİNİN SAĞLIKLA İLGİLİ ETKİLERİNİN İZLENMESİYLE İLGİLİ SORUNLAR**

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini tam olarak belirleyebilmek için gerekli veriler tam olarak sağlanamamaktadır. Bu nedenle değerlendirmeler çoğu kez yabancı kaynakların varlığı sonuçlar esas alınarak yapılmaktadır.

Hava kirliliğinin insanlar üzerindeki etkilerinin tam olarak belirlenebilmesi için gerekli bazı uygulamalar şunlardır:

- 1.Hava kirliliği karşılaştırılabilir yöntemlerle düzenli olarak ölçülmelidir. Hava kirliliği değişimleri araştırmacılara zamanında iletilebilmelidir. Sonuçları değerlendirmek isteyenler kolayca ölçüm sonuçlarına ulaşabilmelidir. Sözgelimi bir araştırmacının; hava kirliliğine bağlı olarak acil

servis, poliklinik başvuruları; astım nedeniyle hastaneye yatış hızı, hava kirliliğinin kabul edilebilir seviyeleri aştığı gün ve yıllar, hava kalitesi standardını aşan bölgelerde yaşayan nüfus yüzdesi, izin verilen miktarın üzerinde ortalama parçacık konsantrasyonunun saat-yıl değerleri, izin verilebilir miktarın üzerinde ortalama kükürt dioksit konsantrasyonu gibi değerlere kolayca ulaşılabilir.

2.Düzenli ölçümlerin yöntem ve tekniği ile ilgili standartlar belirlenmelidir. Araç gereç ve teknoloji değişimlerine yada yöntem değişikliğine gidildiğinde bu belirlenmelidir.

3.Hava kirliliği ile ilgili standartlara uyulup uyulmadığını belirlemeye yönelik denetimlerin etki gücü belirlenmelidir. Denetim elemanlarının sahip oldukları bilgi ve teknoloji ile ne oranda etkin denetim yapabildikleri özellikle önem taşır.

4.Hava kirliliğinin yol açtığı sorunlarla ilgili kayıtlar düzenli olarak tutulmalıdır. Bunlarla ilgili kayıtlarda subjektif değerlendirmeleri ve bilgi ve yöntem farklılıklarına bağlı farklılıkları ortadan kaldıracak önlemlerin alınması gerekir.

5.Değişik sağlık birimlerinde yapılan saptamaların toplu olarak değerlendirilmesini sağlayacak sistem kurulmalıdır. Hava kirliliği bölgelerinde hava kirliliğine yol açan kirlleticilerle kardiyopulmoner ve immünolojik hastalıklar arasında bağ kurulmasını sağlayacak araştırmalar yapılmalıdır. Bunun yapılabilmesi açısından ölçüm merkezleri ile üniversite halk sağlığı, kardiyoloji, akciğer hastalıkları ve immünoloji bölümlerinin işbirliği zorunludur. Hava kirliliğinin insanlar üzerindeki kısa ve uzun süreli etkilerinin belirlenmesine yönelik izleme çalışmaları başlatılmalıdır. Değişik insan aktiviteleri ve organizmaya giren kirleticilerin oranı arasında bağlantı kurulmasını sağlayacak çalışmalara gereksinim bulunmaktadır. Temel kirleticiler için özel çalışmalara gereksinim vardır. Kükürt oksitler bu açıdan önemli bir örnektir. Gerek endüstriyel kuruluşlarda gerekse toplumda gerçek etkilenimi belirlemeye yönelik hayvan deneyleri çok önemlidir.

6.Hava kirlenmesi olan ve olmayan bölgelerde karşılaştırma olanağı verecek yöntemler gerekir.

7.Hava kirliliğinin yüksek olduğu bölgelerde ve endüstriyel kuruluşlarda kişisel izleme araçları ile etkilenim izlenmelidir.

8.Hava kirliliğinin söz konusu olduğu bölgeler, yaz ve kış smog olayının görüldüğü bölgeler belirlenmeli, iklimsel ve mevsimsel projeksiyolar yapılmalı, bu yerel denetim otoritelerine ulaştırılmalıdır.

9.Değişik kimyasal ve fiziksel süreçlerin sonucu atmosferde oluşan küçük partiküllerle ilgili kalite verileri gerekmektedir.

Aerosollerin fiziksel ve kimyasal özellikleri söz gelimi aerosolün pH değeri, büyüklüğü, bunların kükürt dioksitle etkileşimi ile biyolojik toksisitesi arasında ki bağlantılar araştırılmalıdır. Asit yağmurları, asitleşme, toprakta ve atmosferdeki oranını azaltmaya yönelik etkili yöntemler gerekmektedir.

10.Değişik kirleticilerin etkisi altında kalan bireylerin izlenmesini sağlayacak uzun süreli çalışmalara gereksinim bulunmaktadır. Ülkemizde hava kalitesi sorununun çözümü için hava kirliliğinin akut ve kronik etkilerini belirlemeye yönelik epidemiyolojik çalışmalara ağırlık verilmelidir. Akut hava kirliliği artma dönemlerinde sağlık etkilenimini belirleme olanağı verecek kayıt sistemi geliştirilmelidir.

11.Yüksek seviyelerin izlenmesi yeterli değildir. Gerçek toplumsal etkilenim için izin verilebilen seviyelerin altındaki etkilenimlerin sonuçlarına yönelik çalışmalar da yapılmalıdır. Özellikle havada bulunan karbonmonoksitin neden olabileceği düşük karboksihemoglobin seviyesinin etkileri ile ilgili çalışmalara gereksinim vardır. Sözgelimi düşük karboksihemoglobinin çocuklar üzerindeki; yaşlıların psikomotor performansı; hamileler üzerindeki etkisi araştırılmalıdır.

12.Ozon başta olmak üzere fotokimyasal oksidanların bireyler üzerindeki etkilerin neler olduğu, bu etkilerin yaşa, fiziksel duruma ve beslenme düzenine bağlantılı olarak araştırılmalıdır.

13.Nitrojen oksit düzeyinin olduğu noktadan bireye kadar seviyesinde ne gibi değişiklikler olduğu, bu değişikliklere neden olan etkileşimleri, bireyde ne gibi etkiler meydana getirdiği belirlenmelidir.

14.Taşıma emisyonlarının kontrol ve emisyonlarının azaltılması çok önem taşımaktadır. Bu emisyonlardan etkilenen meslek mensuplarının trafik polisi, şoför ve uzun süre trafikte kalma durumunda olan okul öğrencilerinde toksik etkilenimi gösteren her türlü biyolojik belirteç (biyomarker) sistemli olarak araştırılmalıdır.

15.Hava kirliliği ölçüm ve denetiminde görev alması gereken personel, beklenen etkinlikler, müfredat programlarının karşılaştırılması; varsa bilgi açıklarının belirlenmesine yönelik araştırmalara gereksinim vardır. Sağlık personeline eğitimleri sırasında hava kirliliği ve diğer kirlenmelerde etkilerin belirlenmesine yönelik epidemiyoloji ilkeleri öğretilmelidir.

16.Toplum bireylerinde hava kirliliği risk algılaması ve risk değerlendirmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Air Monitoring Programme design for urban and industrial areas, WHO offset publication No. 33, p 46, WHO, Geneva, 1977.
- Akçalı R. Hava kirliliğinde yetki valilerde. Çevre ve İnsan. Şubat 1995, Yıl: 6 Sayı: 19, 7-9.
- Aylesworth, Thomas G. , This Vital Air, This Vital Water, . Mans Environmental Crisis, RandMacNaly, chicago, 1973.
- Baykut F., Aydın A.: Baykut S. Çevre Sorunları ve Korunma. İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 3449 İstanbul 1987.
- Begon, M. Harper, j. L. Towsend, Colin , R. Ecology, Blackwell Scientific Publication, Oxford, 1987.
- Campbell, N. A. Biology, The Benjamin Cummings, Publishing Co. Inc. clifornia, 1990.
- Can F. Görünmeyen Tehlike, Ozon Deyip Geçmeyin. Çevre ve İnsan. Şubat 1995 Yıl: 6 Sayı: 19, 12-16.
- Control Techniques for harciculture air pollutants, Department of health, Education and Welfare, Public Health Service, Washington, D. C., 1969.
- Curtis, H. Barnes, N. S. Invitation to Biology, IV ed. Worth, Publishers Inc. New York, 1990.
- Dehri, İ., Erbil, Çevre 89, şehir ve Endüstri Atmosferinde Bulunan Bazı Kirleticilerin Demirli Malzemelerin Korozyonu Üzerine Etkileri, Çevre 89, Beşinci Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, Adana, 1989.
- Dündar Y. Bazı illerin çevre öncelikleri. Çevre ve İnsan Ağustos 1995, Yıl: 6 Sayı: 22, 15-18.
- Dündar Y. Ülkemizde hava kirliliğinin son beş yılı. Çevre ve İnsan. Şubat 1995, Yıl: 6 Sayı: 19, 16-20.
- Ertürk F., Öztürk M. 20. Yüzyılda Atmosferik Kirlenme Ve Etkileri. Çevre ve İnsan Mayıs 1991 Yıl: 5 Sayı: 14, 61-66.
- Felice, J. P. , Carolan, P. J. Star, W. Tune İnto Health, Starley, Allyn, Bacon Inc. , 1987.
- Ferrari, B. I. Aiir Pollution Control, İn Encyclopedia of Occupational Health and Safety, (98 - 102), ILO, Geneva, 1989.
- Fişek, N. H. Halk Sağlığına Giriş, H. Ü. - DSÖ Hizmet Araştırma ve Araştırmacı Yetiştirme Merkezi Yayını, No. 2, Ankara, 1983.
- Otto, J. H., Julian, C. J. Tether, J. E. Modern Health, Rinehart and Winston, Inc. New York, 1971.
- Fodor et al, A Healthier You, Laidlaw Brothers, illinois, 1980.
- Fodor et al, Your Health and Your Future, Laidlaw Brothers, Rivers Forest, illinois, 1980.
- Fodor et al. Your Health, Laidlaw Brothers Publisher, River Forest Illionis, 1960.
- Glossary on air pollution, WHO Regional Publication, European series, No. 9, WHO, Copenhagen, 1980.
- Gottfried, S. et al. Biology, Prentice Hall, Englewood Clifts, New Jersey, 4. ed. 1987.
- Grove, N. Air- an atmosphere of uncertainty, National Geographic, 171, 502-537, 1987.
- Güler, Ç. Çevre ve Sağlık, Tıbbi Dokümentasyon Merkezi Yayınları, ISBN- 975-7431-01-X Ankara, 1992.
- Güler Ç. Hava Kirlenmesi, Sağlık Toplum ve Çevre Bülteni, 3, 27, Mart 1993.
- Güler Ç., Benli D. Çevre Sağlığı. Halk Sağlığı Temel Bilgiler (Ed) Bertan M. Güler Ç. Ankara 1995.
- Güler, Ç. , Coşkun, Y. Su Bilgisi, Hatiboğlu Yayınevi, Ankara, 1988.
- Güler, Ç. , Öcalan, A. , Köksal F. Çevre ve İnsan, Açık Öğretim Lisesi Yayınları, MEB, İkinci Baskı, Ankara, 1993.
- Güler, Ç. Atmosferin yapısı ve kirleticiler, Sağlık, Toplum ve Çevre Bülteni, 1, 7, Temmuz 1991.
- Güler, Ç. Çevre ve Sağlık Üzerine Etkileri, Sağlık, Toplum ve Çevre Bülteni, 1, 3, 3 - 8, Mart 1991.
- Güler, Ç. Çevre ve Sağlık, Tıbbi Dokümentasyon Merkezi Yayınları, ISBN - 975 - 7431 - 01 - X Ankara, 1992.
- Güler, Ç. Ekoloji, Sağlık ve Sosyal Yardım Vakfı, Dergisi, 1, 3, (2 - 6), Temmuz 1991.
- Güler, Ç. Hava kirlenmesinde alınacak önlemler, Sağlık, Toplum ve Çevre Bülteni 1, 11, Kasım 1993.
- Güler, Ç. Hava kirlenmesinin ölçülmesi, Sağlık, Toplum ve Çevre Bülteni, 1, 10, Ekim, 1991.
- Güler, Ç. Hava Kirliliği, Hatiboğlu Yayınevi, Ankara, 1993.
- Güler, Ç. Hava Kirliliğini yaratan etmenler, Sağlık Toplum ve Çevre Bülteni, 1, 8, Ağustos 1991.
- Güler, Ç. Öcalan A. Orta Öğretimde Çevre ve insan Bilgisi, Tıbbi Dokümentasyon Merkezi Yayını, Ankara, 1979.
- Güler, Ç. Sağlık Eğitimi, Hatiboğlu Yayınevi, 3. Baskı, Ankara, 1988.
- Güler, Ç. Yakutlar, Yakma Teknikleri ve Önemi, Sağlık Toplum ve Çevre Bülteni, 1, 9, Eylül 1991.
- Güler, YÇ. Turist Sağlığı ve Hekimliği, Hacettepe Üniversitesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Yayın No. 90/52, Kısa Dizi, No. 10, Ankara, 1990.

Güney E. Çevre Sorunları-Ortam Kirlenmesi. Bizim Çevre Yayınları No 17. Kayseri 1992.

Gürpınar E. Çevre Sorunları. Der Yayınları. İstanbul 1990.

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, 2. 11.1968 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazete.

Hava kirliliğinin Ankara örneği. Çevre ve İnsan Eylül 1995, Yıl: 6 Sayı: 23, 27-29.

Hobson, J. L. , Wessels , N. K. Essentilas of Biology, McGraw Hill Publishing Co. , New York, 1985.

Howe, M. G. , Laroine, J. A. environmental Medicine, Wiliam Hainemann Medical Books Ltd. London, 1973.

Jennings, G. Fary, The Shrinking Outdoors, J. B. Lippincott Co. chicago, 1972.

Last, J. M. Public Helath and Human Ecology, Appleton - Lange, East Norwalk, Conneticut, 1987.

McFarland, Kay Marlyn, Ramstetter, V. Exploring Living environment, McKnight Publishing Co. , Bloomington, Illinois, 1977.

Natusch, F. S., Wallace, JR. Urban Aerosol Toxicity, : The influence of particle size, Science, 186, 695 - 699, 1974.

Nebel, B. J. Environmental Science, Third ed. , Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990.

Needleman et al, Deficits in psychologıc and classroom performance of children with elevated dentine lead levels, N. engl. J. Med. 300:689-695, 1979.

Otto, J. H. , Towel, A. , Bradley, J. V. Modern Biology, Holt Rinehart and Winston Publishers, Newyork, 1981.

Öztañ Y.: Çevre Kirlenmesi. Karadeniz Ü. Orman Fakültesi. Trabzon 1985.

Packer, K. L. , Bowen, J. Lets Talt About Health, Cebco, A. A division of Allyn and Bacon, Newton, Massachussets, 1980.

Raven, P. H., Johnsonn, G. B. Times Mirrors, Mosby College Publishing Co. Nex York, 1990.

Richmond, J. B. , Pounds e. T. You and Your Health, Scott Foresmann and Co. illinois, 1977.

Schraer, W. D., Statize, P. J. Biology The Study of Life, Second ed. Cebco Allyn and Bacon Inc. Newton, Massachussets, 1987.

Selected methods of measuring air pollutants, WHO Offset publication, No. 24, Geneva, WHO, 1976.

Topuzođlu, İ. Çevre Sağlığı ve İş Sağlığı, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 1979.

Türkeş, M., ve diğerleri. Atmosferin Korunması ve İklim Değişikliği (Rapor), Devlet Meteorooji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1992.

Uslu Orhan., Çevresel Etki Deđerlendirmesi, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayınları, 1986.

Villie, C. A. et al. Biology, Holt Saunders Int. ed. Philadelphia, 1985.

WHO, Joint FAO/WHO expert Committee on food additives, Evaluation of Certain Veterinary Drug Residues in Food, WHO, Geneva, 1991. ◀◀

# Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliği

Dr. O. Akın Kutlar

İTÜ Mak. Fak. Araştırma Görevlisi

Yük. Müh. Hikmet Arslan

İTÜ Mak. Fak. Araştırma Görevlisi

Yük. Müh. Alper T. Çalık

İTÜ Mak. Fak. Araştırma Görevlisi

## ÖZET

Dünya nüfusundaki artışın yanında, kişi başına enerji tüketimindeki hızlı artış, son yıllarda çevre kirliliği açısından önemli sorunlar yaratmaya başlamıştır. Hava kirliliği, çevre kirliliği içerisindeki bir kaç ana unsurdan bir tanesi üstelik de en önemlisidir. Bu yüzyılın ilk yarısında sanayileşmiş ülkelerde tehlikeli etkileri görüldüğü halde, bu deneyimden ileriye dönük olarak yararlanılamamış veya bir takım ekonomik nedenler öne sürülerek sorun gözardı edilmiştir. Bu makalede motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirlenmeler, ölçüm yöntemleri ve yasal sınırlamalar anlatılmıştır. Ayrıca İ.T.Ü. Makina Fakültesi Motorlar ve Taşıtlar Laboratuvarında yapılan ölçümlere ait örnekler verilmiştir.

## ABSTRACT

Beside the increasing population of the world, increase in the persona pollution energy consuming has begun to threat the environmental pollution especially in the last decades. Air pollution is one of the most important elements of the environmental pollution. Beginning with this century, although hazardous effects of air pollution was recognized in developed countries, it had not been possible to benefit from this experience and use it for the future. And also economic reasons were accepted for the reason of this unconcern. In this paper, pollutants sourced from motor vehicles, measurement methods of this pollution and legal legislation are written. And also some measurements which, is taken in Automotive Department of Mechanical Engineering Faculty of Istanbul Technical University are given.

## HAVA KİRLİLİĞİ VE MOTORLU TAŞITLARIN PAYI

Hava kirliliğinin oluşmasında, rüzgar, sıcaklık, nem, basınç, enversiyon gibi meteorolojik değişkenler ve olaylar, topoğrafik-jeo morfolojik özellikler gibi doğal etkenler rol alsada ana kaynak yanma olaylarıdır (elektrik üretiminde, sanayi üretiminde, ısınmada, motorlu taşıtlarda). Dünyadaki enerjinin ancak %30 kadarı yanmasız bir şekilde hidrolik ve nükleer santrallerde üretilmektedir. Geriye kalan %70 enerji fosil yakıt adı verilen kömür, petrol, gaz veya bunların sentetik türevlerinin yakılması ile elde edilmektedir [1].

Avrupa ülkelerinde yapılan bir araştırmaya göre karayolu taşımacılığının toplam insan kaynaklı kirlenmeler içinde payı karbonmonoksit (CO) için %66.3, azotoksitler (NO<sub>x</sub>) için %51.3, metan içermeyen hidrokarbonlar (NMHC) için %34, partikül emisyonu için %41 ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) için % 19.1 (%12' si binek taşıtlardan) olarak hesaplanmıştır [2].

## Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Kirlenmeler

İçten yanmalı motorlarda ideal yanma (tam yanma) durumunda

yanma ürünleri zehirli etkileri olmayan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve su buharı (H<sub>2</sub>O) bileşenleri ile havadaki azottan (N<sub>2</sub>) oluşmaktadır.

Ancak uygulamada yanmanın tam olmaması ve yanma odası koşullarına bağlı olarak bazı kimyasal parçalanma olayları nedeniyle oluşan ara ürünler egzoz gazları içerisinde yer almaktadır.

Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yanmamış hidrokarbonlar (HC),
- Azot oksitler (NO<sub>x</sub>),
- Karbonmonoksit (CO),
- Ağırlıklı yanmamış karbon taneciklerinin oluşturduğu partiküller (PM),
- Yakıtın içinde bulunan kükürt ve katkı maddeleri nedeniyle kükürtoksit (SO<sub>2</sub>),
- Kurşun bileşikleri (Pb)

Böylece yanma denklemi aşağıdaki gibi olur.



YAKIT ve KATKI MADDELERİ + HAVA → TAM YANMA ÜRÜNLERİ + KİRLİTİCİ MADDELER  
Taşıtlardaki kirlenici emisyonunun en büyük kaynağı motor içinde, yanma sonucu oluşan egzoz gazlarıdır. Hidrokarbon (HC) emisyonunun büyük kısmı ve karbonmonoksit (CO), azot oksitler ( $NO_x$ ), kükürtdioksit ( $SO_2$ ), partiküller (is) ve kurşun bileşiklerinin tümü yanma sonucu oluşmakta, egzoz gazları ile atmosfere atılmaktadır.

Motor cinsine bağlı olarak, dizel motorlarında CO ve HC üretiminin benzin motorlarına göre daha düşük düzeyde olduğu, buna karşı dizel motorları tarafından üretilen kirlenici bileşenlerin esas kaynağını partiküllerin (is ve sıvı yakıt ile yağ tanecikleri) ve  $NO_x$ 'lerin oluşturduğu söylenebilir. Tablo 1'de, tipik bir örnek olarak, Euro 93 test çevrimine (Şekil 2) göre 15 000 km yol almış biri benzinli diğeri dizel Opel marka iki taşıtın egzozundan çıkan kirlenici maddelerin kg cinsinden toplam miktarı verilmiştir [3].

### MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN KİRLİTİCİ EMİSYONU İLE İLGİLİ İLK ARAŞTIRMALAR VE GETİRİLEN SINIRLAMALAR

Hava kirliliğinin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri 20. yüzyılın başında incelenmeye başlamasına rağmen bu konu ile ilgili geniş kapsamlı bilimsel araştırmalar enerji tüketim yoğunluğu ve coğrafi konumu dolayısıyla ABD'nin Los Angeles şehrinde İkinci Dünya savaşı sonlarında başlamıştır. 1943 senesinde Los Angeles şehrinde bitki yapraklarında kuruma ve yanık lekeleri, göz ve boğazda yanma hisleri, görüş mesafesinin azalması ve gerilme uygulanan lastik malzemelerde yırtılmalar gözlemlenmiştir. Benzer olumsuzluklar 1947'de de görülünce kirlenmeye karşı ilk önlem olarak çelik endüstrisi ve rafineri gibi kaynakların partikül emisyonlarının kontrolüne yönelinmiştir. 1952 yılında ise kirlenici kaynaklar tarafından atmosfere atılmamasına rağmen şehir atmosferinde ozon ( $O_3$ ) konsantrasyonunun normalin üzerinde olduğu ve bununda HC ve  $NO_x$  lerin güneş ışığı etkisiyle oluşturduğu belirlenmiştir.

Taşıt egzoz emisyonlarının azaltılmasına yönelik ilk çalışma 1960 senesinde Los Angeles şehrinin de bulunduğu Kaliforniya eyaletinde başlamıştır.

Tablo 1 - Euro 93 test çevrimine göre 15 000 km yol alan biri benzinli diğeri dizel Opel marka iki taşıtın egzozundan çıkan kirlenici maddelerin kg cinsinden toplam miktarı [3]

	Vectra 1.6 I (Benzinli)	Vectra 1.7 TD (Turbo Dizel)
Güç KW/BG	55/75	60/82
Karbonmonoksit CO	21	7.5
Hidrokarbon HC	3.6	1.5
Azot oksit $NO_x$	5.4	8.1
Karbondioksit $CO_2$	2580	2400
Partikül	--	0.9

1961 yılında taşıt motorlarında, yağın bulunduğu karter ile silindir altında bulunan hacimde biriken yakıt ve yağ buharının atmosfere atılmayıp (karter havalandırması) tekrar emme kanalına gönderilmesiyle ilgili çalışmalar başlamış (pozitif karter havalandırması) ve 1963 yılında Kaliforniya eyaletinde trafiğe yeni çıkacak bütün taşıtlara uygulanması zorunlu hale getirilmiştir.

1966 yılında ikinci basamak önlem olarak motorlu taşıtların egzozlarından çıkan CO ve HC emisyonlarına sınır değerler belirlenmiş ve trafiğe yeni çıkacak taşıtlarda bu sınır değerlerin altında olmaları zorunlu tutulmuştur. Bu uygulama 1968 yılına kadar sürdürülmüştür.

Taşıt üreticileri bu sınır değerleri sağlamak amacıyla hava fazlalık katsayısını 1-1.05 değerleri arasında ayarlayarak CO ve HC emisyonlarını düşürmüşlerdir.

Ancak daha sonraları şehir atmosferinde yapılan ölçümler  $NO_x$  ve  $O_3$  emisyonlarında anormal artış olduğunu göstermiştir. Daha önceki bölümde de açıklandığı gibi HFK'nın 1-1.05 arasında olması motor içi sıcaklıkları yükseltmiş ve  $NO_x$  emisyonu artmıştır. Ayrıca  $NO_x$  ve HC'nun güneş ışığı etkisiyle (fotokimyasal)  $O_3$  oluşturması da artış göstermiştir.

Bu nedenle ABD'de 1970 ve 71 senelerinde çıkarılan kanunla taşıt emisyonunda HC, CO ve  $NO_x$  üçlüsünün bir arada kontrolü öngörülmüştür [1, 4, 5].

### MOTORLU TAŞITLARIN EGZoz EMİSYONU KONTROLUNDA TEMEL HEDEFLER, TEST VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Taşıtların motor, motor yönetimi ve egzoz gazı donanımında yapısal olarak (konstrüksiyonunda) alınabilecek önlemler, zararlı atıkları azaltmada etkili bir seçenektir.

Bunun yanında bu yolla ulaşılan düşük emisyon düzeyinin aracın bütün kullanım süresi boyunca korunması da gereklidir.

Bu nedenle motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirlenici emisyonuna getirilen sınırlamaların sağlanıp sağlanmadığını anlamak için gereken egzoz gazı ölçümleri, yukarıda belirtilen iki farklı amaca göre belirlenmiştir. Bu amaçlar için kullanılan test yöntemleri ve kullanılan aletler birbirinden farklıdır [6].

Sözü geçen test ve ölçüm yöntemleri iki ana başlık altında incelenebilir.

- Yeni taşıtların tip testi
- Trafikteki taşıtların egzoz gazı emisyonlarının periyodik kontrolü

#### Yeni Taşıtların Tip Testi

Piyasaya yeni çıkacak taşıtlara uygulanır.

Test edilecek taşıttan bir örnek seçilerek bu taşıtın trafikte

uştıracağı egzoz emisyonları ölçülür. Bu amaçla özel deney düzenekleri ve standartlar ile belirlenmiş hassas emisyon ölçüm aletleri kullanılır (bakım servislerindeki birden çok gaz emisyonunu ölçen aletler bu tip deneyler için yetersizdir).

Boş ağırlığı 3500 kg'ın altında olan taşıtlarda genellikle taşıtın hızı endisi bir deney düzeneğine bağlanarak trafik koşullarını modelleyen bir seyir çevrimi boyunca açığa çıkan toplam egzoz emisyonu ölçülür.

Boş ağırlığı 3500 kg'ın üzerinde olan taşıtlarda ise, taşıt üzerindeki motor bir deney düzeneğine (motor freni) bağlanarak çeşitli yük (gaz kolu konumu) ve devir sayılarında egzoz emisyonları ölçülmektedir.

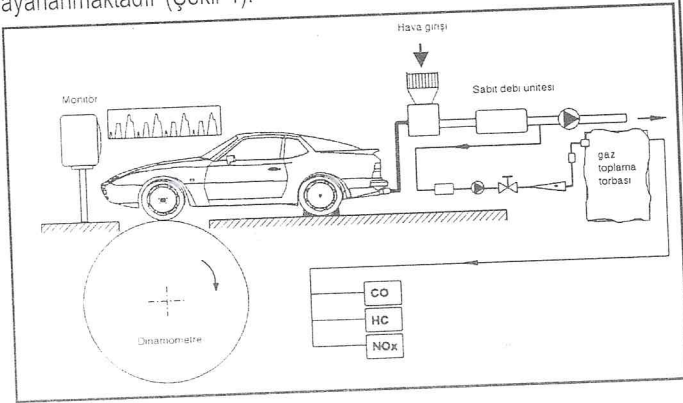
Bu deneyler sonucunda taşıtın egzoz emisyon miktarının önceden belirlenmiş sınır değerleri aşıp aşmadığı kontrol edilerek, üretimine veya ithal edilmesine izin verilir.

### Motorlu Taşıt Egzoz Emisyonunun Bir Seyir Çevrimi Boyunca Ölçülmesi ve Getirilen Sınırlamalar

Taşıt motorundan, cadde seyir şartlarında çıkan kirleticilerin miktarlarını ölçmek için (1966 yılından bu yana ABD'de başlayarak) laboratuvar koşullarında bir şasi dinamometresi veya tambur olarak da adlandırılan ve taşıtın yol şartlarında hareketini modelleyen deney düzeneklerinde önceden belirlenmiş bir çevrim uygulanmaktadır.

Burada çevrim sözünden anlaşılması gereken taşıtın belli bir mesafeyi belli hız ve viteslerde katetmesidir.

Bu amaçla, egzoz emisyonu ölçülecek olan taşıtın motordan hareket alan tekerlekleri tambur üzerine gelecek şekilde bağlanır. Sözü geçen tambur sistemi, taşıtın ağırlığına göre, hızlanma direncine ek olarak yol sürtünmesini ve rüzgar dirençlerini gerçek yoldaki koşullara uygun olacak şekilde hesaplayarak taşıta uygular. Bu dirençlerin ayarlanabilmesi için tambur üzerindeki elektrikli motor-jeneratör sisteminin çekeceği veya vereceği güç, elektronik olarak ayarlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1 - Taşıtın yol şartlarındaki hareketini modelleyen tambur ve egzoz emisyonu ölçüm düzeneği [4].

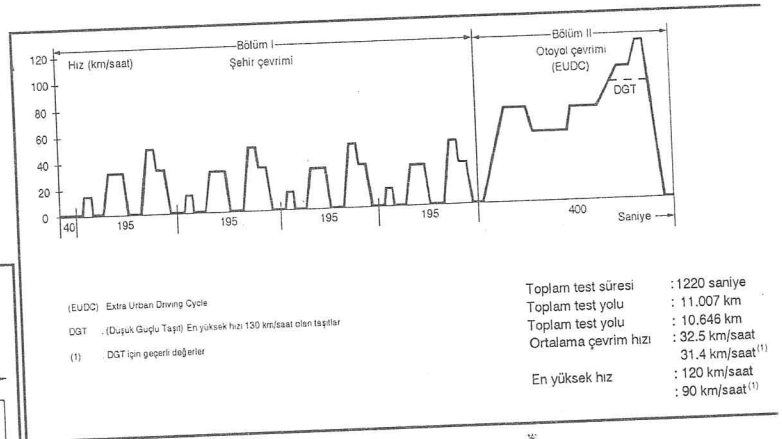
Deney için taşıt çalıştırılır ve daha önceden belirlenmiş seyir çevrimine uygun olarak kullanılır. Taşıtın egzoz borusu ise egzoz gazı örnek alma sistemine sızdırmaz bir şekilde bağlanır. Egzozdan çıkan bütün gazları toplamak çok büyük hacim gerektirdiğinden bunun yerine egzoz gazları sabit debili bir pompa ile emilen hava ile seyreltilir ve seyreltilen egzoz gazının bir kısmı deney boyunca bir torbada toplanır (Şekil 1).

Deney sonunda torbada toplanan seyreltilmiş egzoz gazının içindeki kirletici maddelerin hacimsel oranları ölçülür. Bu hacimsel orandan, çevrim boyunca egzozdan atılan kirletici maddelerin ağırlıkları hesaplanır. Uygulanan test çevriminin uzunluğu (km) bilindiğine göre taşıtın yol şartlarında egzozdan alınan birim yol başına (g/km) ne kadar kirletici yaydığı belirlenmiş olur.

### Avrupa Topluluğundaki Uygulama (Taşıt Boş Ağırlığı 35000 kg'ın Altında Olan Taşıtlar İçin)

Avrupa ülkelerinde (o zamanki adıyla Avrupa Ekonomik Topluluğu AET bugünkü adıyla Avrupa Topluluğu AT ülkeleri) taşıt egzozlarından çıkan kirleticilere karşı ilk sınırlamalar 1972 yılında başlamıştır. Bu konuda ilk uygulama ECE-R.15.00 (EEC 70/220) yönetmelikleri ile başlamıştır.

Uygulanan ölçüm yöntemi prensip olarak ABD'de uygulanan ile aynıdır. Ancak taşıtın yoldaki hareketini modelleyen çevrim, yani hızlar, ivmeler ve alınan yol tamamen farklı olup şehir içindeki bir trafik akışı modellenmeye çalışılmıştır (şekil 2 deki çevrimin I. bölümü). Burada sözü geçen ölçüm yönteminin boş ağırlığı 3500 kg dan daha az olan taşıtlara uygulandığını tekrar belirtelim.



Şekil 2 - 1993 Yılından sonra uygulanmaya başlanan EURO 93 test çevrimi (şehir içi çevrimi X+ otoyol çevrimi) [4, 7, 8, 9].

Tablo 2'de Avrupa Topluluğu yönetmeliklerinin tarihsel gelişimi verilmiştir. İlerleyen yıllar ile sadece sınır değerler değil aynı zamanda ölçüm için kullanılan çevrimde ve taşıtların sınıflandırılmasında da değişiklikler olmuştur.

Tablo 2 - Avrupa Topluluğu ülkelerinde binek taşıtlar için uygulanan egzoz emisyonu sınır değerleri gelişimi [10].

Uygulama başlangıç yılı	uygulanan yönetmelik	CO	HC	NO <sub>x</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	Partikül	Yakıt Buharı <sup>(6)</sup>
1972 <sup>(1),(4)</sup>	ECE-R.15.00 (EEC 70/220)	100-220	8.0-12.8				
1975 <sup>(1),(4)</sup>	ECE-R.15.01 (EEC 74/290)	80-176	6.8-10.9				
1977 <sup>(1),(4)</sup>	ECE-R.15.02 (EEC 77/102)	80-176	6.8-10.9	10.0-16			
1979 <sup>(1),(4)</sup>	ECE-R.15.03 (EEC 78/665)	65-143	6.0-9.6	8.5-13.6			
1984 <sup>(1),(4)</sup>	ECE-R.15.04 (EEC 83/351)	58-110			19-28		
1989 <sup>(2),(4)</sup>	ECE-R.15.05 (EEC 88/76) Benzinli Ön yanma odalı dizel Direkt püskürtmeli dizel	25-45 30 58-110			6.5-15 8	1.1	
1993 <sup>(3),(5)</sup>	EURO 93 (EEC 91/441) Benzinli Ön yanma odalı dizel (93) Direkt püskürtmeli dizel (95)	2.72 2.72 2.72			0.97 1.36 1.36	0.14 0.14	2
1996 <sup>(3),(5)</sup>	EURO 96	1.00			0.7-0.9	0.08-0.1	-

(1) : Sınır değerler taşıtın ağırlığına göre değişmektedir.  
 (2) : Sınır değerler taşıt motor hacmine göre değişmektedir.  
 (3) : 3.5 ton ağırlığa kadar bütün tip taşıtlar için aynı sınır değerler geçerlidir.  
 (4) : Ölçüm için Avrupa şehir içi çevrim kullanılıp emisyon sınır değerleri test boyunca toplam miktar olarak verilmiştir (g/test).  
 (5) : Avrupa tehir içi çevrimine bir otomobil çevrimi eklenmiş olup, emisyon sınır değerleri gr/km cinsinden verilmiştir.  
 (6) : 1993 yılından başlayarak sıcak motorlu benzinli bir taşıtın yakıt deposundan buharlaşan benzin miktarı da sınırlandırılmıştır. Sınır değeri belli bir süre içinde buharlaşan miktar olarak gr/test cinsinden verilmiştir.

#### Ağır Taşıtlarda Egzoz Kirleticilerine Getirilen Sınırlamalar

3500 kg Boş ağırlığın üzerinde olan dizel motorlu taşıtlar için egzoz gazı emisyonlarını sınırlamak için kullanılan ölçüm yöntemleri ve sınır değerleri ise hem ABD'de hem de Avrupa ülkelerinde yukarıda sözü geçen yöntemlerden farklıdır.

Avrupa Topluluğu tarafından boş ağırlığı 3500 kg'ın üstünde olan dizel taşıtların egzoz emisyonlarına sınır getiren iki yönetmelik bulunmaktadır.

#### • ECE-R.24

ECE-R.24 yönetmeliği ile 1972 yılından sonra ağır dizel taşıtların egzoz gazlarından çıkan is emisyonu sınırlandırılmıştır.

Bu deney yönteminde motor bir frene bağlanarak tam yükte (gaz kolu tam açık konumda), rölantri devir sayısı ile maksimum devir sayısı arasındaki 6 farklı devir sayısında yüklenmekte ve egzozdaki is miktarı ölçülmektedir. Kullanılan is ölçme yöntemi ışık geçirgenliği (veya is koyuluğu) yöntemidir.

Ölçülen is miktarlarının sınır değerleri egzoz debisine göre değişmektedir (motor büyüklüğü ve devir sayısı). Egzoz debisi

Tablo 3- ECE-R.24 ün 1984 yılından itibaren yürürlükte olan, partikül emisyonu sınırının çeşitli birimlerdeki değerleri.

Egzoz debisi (litre/saniye)	Bosch ölçeği	(%) cinsinden koyuluk	Ağırlıksal konsantrasyon (mg/m <sup>3</sup> )	Absorbsiyon katsayısı k (m <sup>-1</sup> )
42 (l/s) ve daha düşük	4.53	62	375	2.26
200 (l/s) ve daha yüksek	3.20	37	174	1.065

artıkça izin verilen partikül emisyon miktarı düşmektedir. Böylece egzozdan çıkan partikül emisyonunun sadece konsantrasyonu değil aynı zamanda toplam miktarı da gözönüne alınmış olur (Tablo 3) [11].

#### • ECE-R.49

ECE-R.49 yönetmeliği ile ağır taşıt dizel motorlarının egzoz gazlarında bulunan is (partikül) emisyonunun yanısıra CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonları da sınırlandırılmıştır. Bu standart 13 nokta testi olarak da bilinen bir deney yöntemini de içerir.

Bu test metodunda motor bir frene bağlanarak ve sabit yük ve dönme sayılarında yüklenerek egzoz emisyonları ölçülmektedir. Motorun hangi yük ve devir sayılarında deneneceği ve deney noktalarındaki emisyon miktarlarının hangi ağırlıkla gözönüne alınacağı Şekil 3'de gösterilmiştir.

Deney noktaları ve hangi ağırlıkla ele alınacakları bu tip taşıtların karayolundaki seyir şartları gözönüne alınarak belirlenmiştir.

Bu ölçüm yöntemi 70'li yılların başında ABD'de uygulanmaya başlanmış ve Avrupa Ekonomi Komisyonu tarafından 1982 yılında Avrupa ülkelerinde uygulanmasına dair tavsiye kararı alınmıştır.

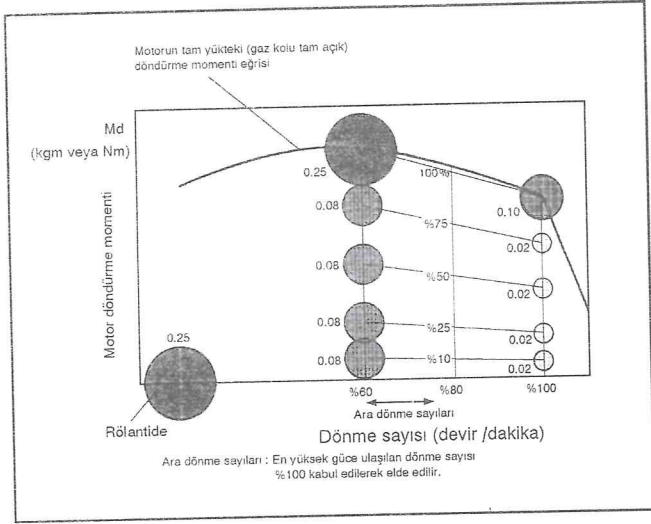
Avrupa Topluluğu üyesi ülkelerinde bağlayıcı uygulama ise ECE-R.49.01 sınır değerleri ile 1988 yılında başlamıştır.

Sözü geçen sınır değerler ve yıllara göre değişimi Tablo 4'de verilmiştir.

1985 yılından bu yana ABD'de ağır taşıtlar için 13 nokta testi terk edilerek Transient-Test olarak adlandırılan ve 3500 kg dan küçük taşıtlara uygulanan deney yöntemini andıran bir ölçüm tekniği uygulanmaya başlanmıştır. Ancak bu



deney metodu, sonuçlarının 13 nokta testine benzemesi, buna karşın daha karmaşık olması dolayısıyla Avrupa Topluluğu ülkeleri tarafından benimsenmemiştir.



Şekil 3 - 13 nokta testi. Şekilde bir motorun döndürme momenti karakteristiğine göre, hangi dönme sayılarında ve yüklerde deneyin yapılacağı ve bu ölçüm noktalarının hangi ağırlıklarla hesaba katılacağı verilmiştir [12].

### TÜRKİYEDE TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLERE GETİRİLEN SINIRLAMALAR

Avrupa topluluğu ülkelerinde 1984 ten başlayarak boş ağırlığı 3500 kg dan az olan benzin ve dizel motorlu taşıtlara uygulanan ECE-R.15.04 standardı ve sınır değerleri TSE tarafından uyarlanarak TS 4236 ve TS 5648 standartları olarak yayınlanmıştır. Fakat ölçüm için gerekli laboratuvarlar bulunmadığından uygulamaya hemen geçilememiştir [13, 14].

Sanayi ve Ticaret bakanlığının isteği üzerine İ.T.Ü. Makina Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalındaki olanaklar değerlendirilerek 1993 yılının yaz aylarından itibaren ilk ölçümler başlamıştır [4, 15]. Tarafsız laboratuvarlarca onaylanmış bu tip bir rapora sahip olmayan araçlara

Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından imalat ve ithalat izni verilmemektedir.

Çevre Bakanlığı ile Otomotiv Sanayicileri Derneğinin ortaklaşa yayınladıkları bir deklarasyon ile 1995 yılından başlayarak ve 2000 yılı ortasına kadar boş ağırlığı 3500 kg'ın altında olan taşıtların motor silindir hacimlerinin büyüklüğüne bağlı olarak kademe kademe EURO 93 normlarına uygunluk sağlanması kararlaştırılmıştır.

İ.T.Ü. Makina Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalı Laboratuvarında EURO 93 normlarına uygun tip testleri yapılmaktadır [4].

Boş ağırlığı 3500 kg'ı geçen dizel motorlu taşıtlar için Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından 1993 yılından başlayarak Türkiye'de üretilen ve ithal edilen ağır taşıtların ECE-R.24 ile tanımlanan ölçüm yöntemi ile belirlenen is emisyonu sınır değerleri sağlanması istenmektedir.

Bu tür ölçümler de İ.T.Ü. ve O.D.T.Ü. laboratuvarlarında veya üretici firmaların deney düzenekleri kullanılarak, üniversitelerden katılan konu ile ilgili uzmanların gözetiminde gerçekleştirilebilmektedir [4].

Valilikler ve TSE tarafından 1995 yılından itibaren trafikte bulunan taşıtlara uygulanan egzoz emisyonu ölçümleri ve yeşil pul uygulaması ise yukarıdaki tip testi ölçümlerden tamamen farklı olup taşıtların egzoz emisyonunun periyodik kontrolünü içeren yöntemlere dayanmaktadır.

Bu ölçümler, TSE tarafından karayolları araç muayene istasyonları içerisinde kurulan, egzoz emisyonu muayene istasyon gerçekleştirilmektedir. Ölçümler, taşıt motor cinsine göre, benzin motorlu taşıtlarda rölanti emisyonlarının, dizel motorlu taşıtlarda serbest ivmelendirme deneyi ile egzozdan çıkan is yoğunluğunun ölçülmesi şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Sınır değerler ise taşıtın yaşına ve dizel motorlarında aşırı doldurma sistemi bulunup bulunmamasına göre belirlenmiştir (Tablo 5).

Bu şekilde egzoz emisyonlarının etkin olarak denetlenebilmesi için, taşıtların bu muayene sonrası belirlenen egzoz emisyonu değerlerinin, daha sonra da herhangi bir bozukluk veya kasıtlı ayar değişiklikleri sonucu kötüleşip kötüleşmediğinin belirlenmesi amacıyla, gezici trafik polisi ekiplerine verilecek emisyon aletleri ile kontrolü de çok faydalı olacaktır.

Tablo 4 - ECE-R.49 serisi yönetmelikler [10] .

Uygulama başlangıç yılı	Uygulanan yönetmelik	CO <sup>(1)</sup> (g/kWh)	HC <sup>(1)</sup> (g/kWh)	NO <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (g/kWh)	Partikül <sup>(1)</sup> (g/kWh)
1989	ECE-R.49.01 (EEC 88/77)	11.2	2.4	14.4	ECE-R.24'e Göre
1993	ECE-R.49.02 (EEC 88/77) EURO 1	4.5	1.1	8.0	0.61-0.36 <sup>(2)</sup>
1996	EURO 2	4.0	1.1	7.0	0.15
1999	EURO 3	2.0	1.1	6.0	0.1

(1) : Bu tabloda verilen sınır değerler motorun gücü ile orantılıdır. Motorun ürettiği her bir kilowatt güç için bir saate egzozdan çıkmasına müsaade edilen gram cinsinden kirlenici miktar verilmiştir.  
(2) : Partikül sınır değerleri motor maksimum gücüne göre değişmektedir. Büyük sınır değer maksimum gücü 85 kW'tan küçük olan motorlu taşıtlar için geçerlidir.

Tablo 5 - Türkiye'deki motorlu taşıtların egzoz emisyonları için 1995 yılından başlayarak getirilen sınır değerler. Benzin motorlu taşıtlarda rölantide, dizel motorlu taşıtlarda ise ivmelendirme testi ile ölçüm yapılmaktadır.

Egzoz gazı kirletici cinsi	0-10 yaş arası benzin motorlu taşıtlar	10-20 yaş arası benzin motorlu taşıtlar	20 yaşından yukarı benzin motorlu taşıtlar	Katalizatörlü benzin motorlu taşıtlar	Doğal emişli dizel motorlu taşıtlar	Aşırı doldurmalı (turboşarj) dizel motorlu taşıtlar
CO (%) hacimsel oran	3.5	4.5	6.0	0.5	-	-
İs (k) absorpsiyon katsayısı (m <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	2.5	3.0

Tablo 6 - Yerli imalat benzinli (karbüratörlü-püskürtmeli) ve dizel (direkt püskürtme-ön yanma odalı) motorlu taşıtların Avrupa şehir içi çevrimi boyunca yaydıkları egzoz emisyonu miktarları. Parantez içindeki değerler ECE 15.04' e göre sınır değerlerdir.

Taşıtların ağırlığı (kg)	Motor hacmi (cm <sup>3</sup> )	Yakıt cinsi	Yakıt sistemi	HC (g/test)	NO <sub>x</sub> (g/test)	HC + NO <sub>x</sub> (g/test)	CO (g/test)
850	1400	Benzin	Karbüratör	6.66	4.13	10.79 (19)	66.34 (58)
950	1600	Benzin	Karbüratör	6.90	4.46	11.36 (20.5)	57.64 (67)
1000	1600	Benzin	Püskürtme	4.77	4.71	9.48 (20.5)	26.41 (67)
2300	3900	Dizel	Direkt püskürtme	2.28	18.92	21.2 (28)	15.70 (110)
2200	2500	Dizel	Ön yanma odalı	0.87	11.8	12.67 (28)	11.78 (110)

Tablo 7 - Püskürtme sistemli benzin motoruna sahip ithal iki taşıtların katalizatörlü ve katalizatörlü modeline ait egzoz ölçüm değerleri. Parantez içindeki değerler ECE 15.04' e göre sınır değerlerdir.

Katalizatör	HC (g/test)	NO <sub>x</sub> (g/test)	HC + NO <sub>x</sub> (g/test)	CO (g/test)
Yok	7.35	12.65	20.0 (22)	73.38 (76)
Var	3.44	1.32	4.76 (22)	9.1 (76)

Tablo 8 - Karbüratörlü benzin motoruna sahip bir taşıtların karbüratör ayarının egzoz emisyonuna etkisi. Parantez içindeki değerler ECE 15.04' e göre sınır değerlerdir.

Rölantideki CO (%) emisyonu	HC (g/test)	NO <sub>x</sub> (g/test)	NO <sub>x</sub> +HC (g/test)	CO (g/test)
7.9	9.53	6.88	16.41 (19)	220.4 (58)
1.5	7.08	11.28	18.36 (19)	86.51 (58)

Tablo 9 - Biri benzin püskürtmeli, katalizatörlü diğeri dizel motorlu iki taşıtların EURO 93 standartlarına göre egzoz emisyonu ölçüm sonuçları. Parantez içinde EURO 93 standartlarındaki sınır değerler verilmittir.

Taşıtların ağırlığı (kg)	Motor hacmi (cm <sup>3</sup> )	Yakıt cinsi	Yakıt sistemi	Katalizatör	HC (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	HC+NO <sub>x</sub> (g/km)	CO (g/km)
1650	2500	Benzin	Püskürtme	Var	0.18	0.13	0.31 (0.91)	1.5 (2.72)
2200	2500	Dizel	Ön yanma odalı	Yok	0.08	1.11	1.19 (0.91)	1.07 (2.72)

### 1993 YILINDAN BAŞLAYARAK İ.T.Ü. MAKİNA FAKÜLTESİ OTOMOTİV ANA BİLİM DALI LABORATUARINDA YAPILAN EGZOS EMİSYONU ÖLÇÜMLERİNE AİT ÖRNEKLER

Bu bölümde egzoz emisyonu ölçümlerine örnek olarak verilen taşıtlar ve motorlar ile ilgili belirtilen taşıtların ağırlıkları ve motor hacimleri yaklaşık değerlerdir.

• ECE 15.04 veya eşdeğeri TS 4236 ve TS 5648 standartlarına göre yerli taşıtlara ait bazı örnekler (Tablo 6) [4, 15].

Deneyler Avrupa şehir içi çevrimi kullanılarak yapılmaktadır. Ölçüm soğuk motorun çalıştırılmasından 40 saniye sonra başlatılmaktadır. Sözü geçen çevrimde en yüksek hız 50 km/saat, ortalama hız 18 km/saat, alınan toplam yol 4.07 km ve süre 13 dakikadır. Tablo 2'de ECE 15.04 için verilen sınır değerlere göre taşıtların tip onayı verilmektedir.

• Benzin motorlu taşıtlarda katalizatörün etkisini gösteren örnek deney sonuçları (Tablo 7) [4, 15].

Deney için birbirinin ayrı iki ithal taşıtlar kullanılmıştır. Taşıtlardan birinde katalizatör bulunup diğeri yoktur. Taşıtların motor hacmi 2000 cm<sup>3</sup>, boş ağırlığı ise 1250 kg olup, deney koşulları bir önceki bölüm ile aynıdır.

• Benzin motorlu taşıtlarda karbüratör ayarının egzoz emisyonlarına etkisini gösteren örnek ölçümler (Tablo 8) [4, 15].

Deneyde kullanılan taşıtların boş ağırlığı 650

kg, motor hacmi 1000 cm<sup>3</sup> olup önceki deney koşullarından farklı olarak sıcak motor ile, Avrupa seyir çevrimi kullanılarak yapılmıştır.

Deneye başlamadan önce yapılan karbüratör ayar sonuçları (CO emisyonu) tablo 8'de ilk sütunda verilmiştir.

• **EURO 93 standartlarına göre şehir içi + otoyol çevrimi uygulanarak egzoz emisyonu ölçümü yapılan biri benzin diğeri dizel motorlu taşıta ait örnek sonuçlar (Tablo 9) [4].**

Burada biri benzin püskürtmeli ve katalizatörlü diğeri dizel motorlu iki taşıtın EURO 93 standartlarına göre egzoz emisyonu ölçüm sonuçları verilmiştir. Standart gereği sonuçlar g/km cinsindedir. Ölçüm için kullanılan çevrim şekil 4'de gösterilmiştir. Motor soğuk iken çalıştırıldıktan 40 saniye sonra ölçüm başlatılmaktadır. EURO 93 standardı için sınır değerler Tablo 2'de verilmiştir.

• **Büyük hacimli bir ağır hizmet taşıtı motorunun egzoz is emisyonunun ECE-R.24 standartına göre örnek ölçüm sonuçları (Tablo 10) [4].**

Strok hacmi 16 lt olan bir ağır hizmet taşıtı motorunun İ.T.Ü. Otomotiv Laboratuvarında bir güç frenine bağlanarak tam yükte (gaz kolu tam açık) ECE-R.24 standartına göre yapılan is (patikül) emisyonu ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 10 ile egzoz ölçüm değerleri verilen motorun serbest ivmelendirme ölçümlerinde yani motor boşta çalışırken gaza sonuna kadar basılıp çekilerek yapılan ölçümlerde absorpsiyon katsayısı  $k = 0.69 \text{ m}^{-1}$

olarak bulunmuştur.

## SONUÇ

Hava kirliliğine yol açan etmenler arasında motorlu taşıtlar önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle taşıt sayılarının yüksek olduğu gelişmiş ülkelerde 1960 lı yıllardan sonra motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonları sınırlamak için yasal yaptırımlar uygulanmaya başlanmıştır. Ülkemizde benzer yasalar 90 lı yılların başında itibaren geçerlilik kazanmıştır. Bu sayede son otuz yıl içinde motorlu taşıtların yarattığı hava kirliliği önemli ölçüde azaltılmıştır. Dünya üzerindeki motorlu taşıt sayısının artışına bağlı olarak bu uygulamaların önemi

artmaktadır. Özellikle şehirçinde yoğunlaşan motorlu taşıt trafiğinin yarattığı kirliliği azaltmak için önümüzdeki senelerde yasal sınır değerlerin adım adım daraltılması beklenmektedir. Şu an için sahip olunan teknoloji ile (katalizatör ve diğeri içten yanmalı motor alanındaki gelişmelere bağlı olarak) gelecek sınır değerlere ulaşmak mümkün olabilecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] Oğuz BOR, Mustafa BALCI, Ali SÜRME, 1992. Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği, Teknik eğitim vakfı yayınları-3.
- [2] Philippe Ventre, 1996. The Automotive Industry And The Environment - Acting Now To Protect The Future, XXVI'th Congress FISITA Prague.
- [3] Adam Opel AG, 1993. Initiativen für die Umwelt, Adam Opel AG.
- [4] O. Akın KUTLAR, Metin ERGENEMAN, Mehmet MUTLU, Hikmet ARSLAN, 1998. TAŞIT EGZOZUNDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLER, Birsan Yayınevi.
- [5] D.J. Patterson, N.A. Henein, 1972. Emissions from combustion engines and their control, Ann Arbor science publishers.
- [6] John H. Weaving, 1990. Internal combustion engineering : Science & Tecnology, Elsevier science publishers LTD.
- [7] Dennis J. Simanaitis, 1977. Emission test cycles around the world, Automotive Engineering, Volume 85, Number 8.
- [8] ECE 15.04, ((EEC 83/351)
- [9] EURO 93, (EEC 91/441)
- [10] OSD, 1993. Egzoz gazları emisyon sınır değerleri AET standartları, Otomotiv Sanayii Derneği raporu.
- [11] ECE-R.24,
- [12] ECE-R.49, (EEC 88/77)
- [13] TS 4236, Motorlu Karayolu Taşıtlarının Gaz Kirleticileri için Emisyon Sınır Değerleri
- [14] TS 5648, Benzin veya Dizel Motorlarından Çıkan Kirletici Gazların Emisyonuna Göre Taşıtların Tip ve Kabul Deneyleri
- [15] Hikmet ARSLAN, 1996. TAŞIT EGZOZ EMİSYONLARI ve İ.T.Ü. MOTORLAR ve TAŞITLAR LABORATUARINDA 1993-1995 YILLARI ARASINDA YAPILAN ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ, İ.T.Ü. Fen. Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. ◀◀

Tablo 10 - Strok hacmi 16 lt olan bir ağır hizmet taşıtı motorunun, tam yükte (gaz kolu tam açık) ECE-R.24 yönetmeliğine göre yapılan is (patikül) emisyonu ölçüm sonuçları.

Devir sayısı (devir/dak)	Güç (Kw)	Teorik egzoz debisi (lt/saniye)	Absorpsiyon katsayısı $k \text{ (m}^{-1}\text{)}$	Kararma (%)	Konsantrasyon ( $\text{mg/m}^3$ )
1000	102	133	0.21	8.8	28
1240	129	165	0.25	10.4	34
1480	153	197	0.41	16.2	61
1720	175	229	0.53	20.4	82
1960	197	261	0.56	21.5	87
2200	212	293	0.48	18.8	73

## Yanlış Meteoroloji (2)

Alistair B. Fraser<sup>\*,\*\*</sup>

\*Bu yazı, Alistair B. Fraser'in <http://www.ems.psu.edu/~fraser/Bad/BadClouds.html> web adresindeki "Bad Meteorology: The reason clouds form when air cools is because cold air cannot hold as much water vapor as warm air" başlıklı yazısından ve

\*\*Alistair B. Fraser'in <http://www.ems.psu.edu/~fraser/Bad/BadRain.html> web adresindeki "Bad Meteorology: Raindrops are shaped like teardrops" başlıklı yazısından bazı değişiklikler yapılarak Doç. Dr. Mikdat Kadioğlu tarafından Türkçeye çevrilmiştir.

### Bulutların Oluşum Nedeni: "Soğuk havanın sıcak hava kadar su buharı tutamaması" değildir\*

Nemli hava soğuyunca bulut oluşabilir. Evet, bu doğru. Değişik soğuma işlemleri, aşağıda fotoğrafları gösterilen, Vancouver üzerindeki cumulus bulutu ve Rainier üzerindeki kep bulutunun oluşumuna neden olmuştur.

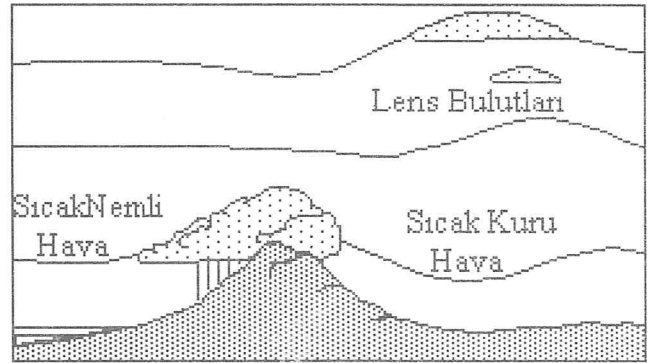


Vancouver, Kanada üzerinde cumulus



ABD, Rainer dağı üzerinde kep bulutu

Yükselen hava her zaman soğur. Yukarıda fotoğrafı verilen cumulus bulutu güneşin ısıttığı yer yüzeyi, üzerindeki havayı da ısıtarak, havanın hafifleyip yükselmesine neden olmuştur. Kep bulutu ise, rüzgar (sağ taraftan) dağın eteklerine doğru estiğinde hava yukarıya dağın tepesine yükselmek zorunda kaldığı için oluşmuştur.



Lens, kep ve orografik bulutların oluşumu

Fakat bulutlar, soğuk hava sıcak havadan daha düşük su buharı kapasitesine sahip olduğu için mi oluştu? Eğer bazı kitaplara ve meteorolojistlere inanırsanız, gerçek neden budur. Bunlara göre sıcaklık düştüğü için hava doymuş ve bulut oluşmuştur. Maalesef, bu doğru değildir. Evet, bulut hava sıcaklığı düştüğünde oluşabilir, fakat bu havanın su buharı tutma kapasitesinden kaynaklanmamaktadır.

Büyük ölçüde azot ve oksijenden oluşmuş olan hava, su buharının azot tutma kapasitesinden daha fazla su buharı tutma kapasitesine sahip değildir. Atmosfer, bir gazlar karışımıdır. Her ne kadar doyma farklı su moleküller arasındaki bağlantıları da içerirse de, sıvılar içinde gerçekleşen ve önemli olan bu olay atmosferin gaz içeriği için geçerli değildir.

## Hava Süngere Benzer mi?

Bazıları havayı bir sünger gibi düşünmekte ve bulut oluşumunu sünger örneği ile açıklamaya çalışmaktadır. Nasıl ki "sünger suya doyduğunda, daha fazla su tutamazsa hava da soğuyunca yoğunluğu artar ve daha fazla su buharı tutamaz" denmektedir. Eğer "hava fazla soğutulursa, sünger sıkılıyormuş gibi, su buharı havada damlacıklar şeklinde ortaya çıkar" şeklinde sünger benzetmesi ile bulut oluşumu açıklanmaya çalışılmaktadır.

Buradaki sünger benzetmesi havada hiç bir zaman oluşmaz. Hava molekülleri arasındaki mesafeler gerçekten çok büyüktür. Su buharı için havada çok büyük yer vardır. Dalton 18. yüzyılda açıkladığı gibi herhangi bir ortamda gazlar birbirlerinden bağımsız bir şekilde bulunur ve davranırlar: Bir gaz, diğerini engellemez, bir diğerini sıkımsız ve sıkımsızmaz.

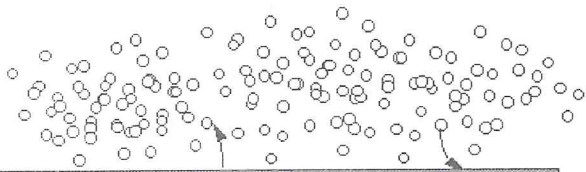
Sünger benzetmesinin yanlışlığını cumulus bulutlarının oluşumunu seyrederek de anlamak mümkündür. Bir yaz günü güneşin ısıttığı yer yüzeyinin üzerinde kabarık beyaz bulutlar vardır. Bu bulutlar konvektif olarak yükselen hava kolonunun tepesinde oluşur. Hava, basıncının daha düşük olduğu yüksek seviyelere, yükseldikçe yoğunluğu azalır (hava molekülleri birbirlerinden uzaklaşır) ve bulut oluşur. Eğer sünger benzetmesinde ima edilen hava molekülleri birbirlerine yaklaştığı için aralarında tutulan suyun sıkıştırılarak dışarı atıldığı gibi açıklamalar doğru olsaydı, bulutların yükselen hava içinde değil, yoğunluğun arttığı çöken hava içinde oluşması gerekirdi.

Rutin olarak yapılan meteorolojik gözlemler, bulut oluşumunda hava yoğunluğunun (hava moleküllerinin bir birlerine olan yakınlığının) değil, aşağıda madde madde açıklanan faktörler rol oynar.

## Neler Unutuluyor?

Su molekülleri sürekli olarak sıvı, gaz ve buz olmak üzere değişik fazlar arasında gider gelir.

Sıvı su yüzeyinden, sıvı su yüzeyine dönen daha fazla su molekülünü ayrılıyorsa net bir su molekülünü kaybı, diğer bir deyişle, buharlaşma vardır. Eğer sıvı su yüzeyinden ayrıldandan daha fazla su molekülünü geri gelip yüzeyde birikiyorsa net bir yoğunlaşma vardır. Su moleküllerinin bu bağıl akışı bulutun oluşup oluşmayacağını belirler. Yoksa havanın hayali su buharı tutma kapasitesi, yani azot



Sıvı su yüzeyinde, su moleküllerinin denge halindeki durumu

veya oksijenin su buharına sahip olması ile bir ilişkisi yoktur.

Sıvı su (bulut damlacığı) veya katı (buz kristali) yüzeylerinin üzerine dönen (yoğunlaşan) su buharı moleküllü miktarı, sadece ve sadece yüzeylerin su buharı basıncına bağlıdır. Su yüzeylerinden olan buharlaşmanın miktarı ise yüzeyin aşağıda belirtilen özelliklerine bağlıdır. Diğer bir deyişle, buharlaşmada sıvı su yüzeyinden kaçan su moleküllerinin sayısı aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

1. Bulunulan su fazına- su molekülleri sıvı su (damla) yüzeylerinden katı (buz kristalleri) yüzeylerine göre daha kolay kaçabilir ve dolayısı ile buhar basıncı sıvı su (damla) yüzeylerinde daha azdır.
2. Su yüzeyinin şekline- su molekülleri eğri yüzeylerden (küçük) damlacıklardan veya (dış bükey) buz kristallerinden daha kolay kaçabilir.
3. Suyun eriyik (yapancı madde) içeriğine- damla veya buz kristali içinde yapancı maddeler eridiğinde, su yüzeyinden buharlaşma ile kaçabilecek olan su moleküllerinin sayısı, buharlaşma ve dolayısı ile buhar basıncı azalır.
4. Su yüzeyin sıcaklığına- Sıcaklık ne kadar yüksek ise, su molekülleri o kadar çok enerjiye sahip olur, o kadar kolay su yüzeyinden kaçabilir ve dolayısı ile buhar basıncı o kadar artar.

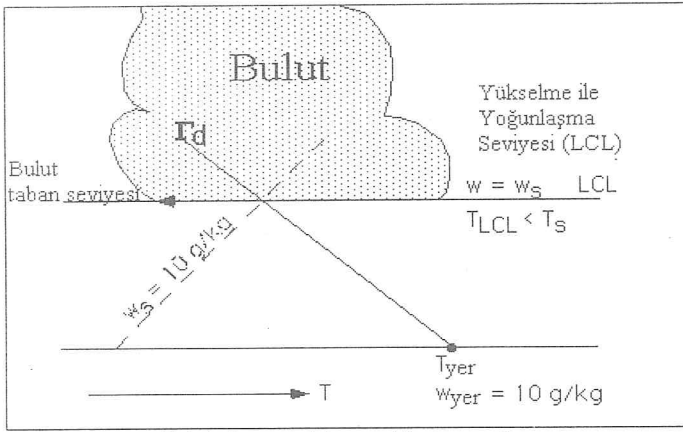
## Peki, Bulutlar Nasıl Oluşur?

Bulutsuz havalar bile her zaman mikroskobik (sıvı) su damlacıkları içermektedir. Fakat, bu damlacıklardan olan buharlaşma, bu damlacıklar üzerinde olan yoğunlaşmadan daha büyüktür. Böylece, çok küçük olan damlacıklar bir araya gelip bulut damlacıkları oluşturma şansına sahip olacak kadar uzun yaşayamamaktadır. Hava soğudukça, buharlaşma miktarı yoğunlaşma miktarından daha fazla azalır. Sonuçta hava çiy noktası sıcaklığına kadar soğuduğunda buharlaşma yoğunlaşmadan daha azdır ve artık bir damlacık büyüyerek bir bulut damlasına dönüşebilir.

Buharlaşma, sıcaklık arttıkça artar. Fakat bu, havanın su buharı taşıma kapasitesinin değiştiğinden dolayı olmaz. Yukarıda bahsedildiği gibi, örneğin, sıcaklık arttıkça su molekülleri daha fazla enerjetik olur ve daha kolay bir şekilde buharlaşabilirler. Böylece, buharlaşma artar. Bunun tersi olarak damlanın sıcaklığı, çiy noktası sıcaklığının altına düşerse damla üzerinde net yoğunlaşma olur ve bulut oluşur.

## Bir Tarihi Hatırlatma

Havanın su buharı miktarı üzerinde rol oynadığı ve havanın bir su tutma kapasitesi olduğu gibi yanlış fikirler, iki yüz yıl önce ampirik ve teorik çalışmalar ile çürütülmüştü. Bu konuda daha fazla bilgi için "YANLIŞ METEOROLOJİ (1): Bağıl Nem & Doymuş Buhar Basıncı" yazısını okuyunuz.



Bulut oluşumu için gerekli olan şartlar

İki yüzyıl önce yanlış oldukları gösterilmesine rağmen, bu yanlış bilgiler hala genç beyinlere sokulmaya devam ediliyor. Halbuki hiç bir şey yalan ve yanlış örnekler ile öğretilmemeli.

### Gözyaşı Damlası Şeklindeki Yağmur Damlası\*



Yağmur damlası karikatüristler tarafından genellikle göz yaşı damlası şeklinde çizilir.

Halk arasında da bu şekilde bir imaj iyice yerleşmiştir. Halbuki gerçekte yağmur damlalarının çok azı bu popüler şekildedir. Göz yaşı damlası şeklindeki yağmur damlası çizimleri bir çok kitap, reklam, çizgi film ile birlikte çocuklara yönelik yayınlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kaynaklar, yağmur damlasının şekli hakkındaki yanlış bilginin çok geniş ve etkili bir şekilde yayılmasına neden olmuştur.

Bilimsel bir şeyin tanıtımı ve öğretilmesinde yanlış örnekler, çizimler ve benzeri araçların kullanılması artık günümüzde üzerinde durulması gereken önemli eğitim ve öğretim konularından biridir. Bu nedenle, bu yazıda bu konu üzerinde durulacaktır.

Küçük yağmur damlaları (yarıçapı < 1 mm) küresel bir şekile sahiptir. Büyük damlalar ise daha çok hamburgerin üst ekmeğine benzer. Damlaların yarıçapı 4.5 mm civarında olunca küresel şekilleri bozulmaya başlar ve yan yana duran birleşik iki küçük damla ortası incelmış ve bombeli bir şekil alırlar. Bu damlacıklar daha sonra küçük damlacıklar şeklinde parçalara ayrılırlar.

Damlanın şeklindeki değişim, iki kuvvetin rekabeti sonucu ortaya çıkar. Bu kuvvetler: suyun yüzey gerilmesi ve havada aşağıya doğru düşerken damlayı yukarıya doğru iten havanın basıncıdır. Damla küçükken yüzey gerilmesi bu kuvvetler savaşını kazanır ve damlayı küresel şeklinde bozulmadan tutar. Damla büyüyünce, damlanın düşüş hızı ile birlikte damlanın altındaki basınç artar ve damlanın alt kısmının küresel şekli bozularak düzleşmesine neden olurlar. Sonuçta, damlanın yarıçapı 4 mm'yi geçince şeklindeki bozulma artarak damlanın parçalanıp küçük damlacıklara ayrılmasına neden olur.

Yağmur damlalarının büyürken uğradıkları şekil değişiklikleri aşağıda damla düşey kesitleri ile değişik yarıçaplar için ayrı ayrı gösterilmektedir. Damlanın şekli bozuldukça, yarıçap ile damlanın büyüklüğünü ifade etmek mümkün olmaz. Bunun için yarıçap ile birlikte kütle bir birlerine benzer olduğu kabul edilerek aşağıdaki şekilde beraber gösterilmişlerdir:

Bazen Newton Fizikine, bazen de Galileo'ya atıf yapılarak büyüklük ve kütle her hangi bir cismin düşüş hızını etkilemeyeceği de ifade edilir. Fakat gözlemlere göre büyük damlalar, küçük damlalardan daha hızlı bir şekilde düşerler. Bu, yağmur damlaları üzerine yapılan binlerce gözlem tarafından açık bir şekilde de ortaya konmuştur. Bu durumu çisentili ve yağmurlu havalarda siz de kolayca tespit edebilirsiniz.

Peki, gözlemler ile fiziksel teori nasıl birbirine uyum sağlayacak? Bu oldukça kolay. Damlanın davranışlarını etkileyen en azından (bir tane değil!) iki tane kuvvet vardır. Bununla birlikte Newton kanunu, momentin net bir kuvvet tarafından değiştirilebileceğini söyler. (F=ma, sadece özel bir durumu ifade etmektedir.)

Yerçekimi kuvveti damlanın kütlesi ile ve dolayısı ile damlanın yarıçapının küpü ile doğru orantılıdır. Hava içinde düşmekte olan damlanın üzerindeki sürtünme kuvveti yaklaşık olarak damla yüzeyi ile ve dolayısı ile damla yarıçapının karesi ile doğru orantılıdır. Böylece, yarıçap arttıkça yerçekimi kuvvetinin sürtünme kuvvetine göre daha fazla önem kazandığı görülür. Bunu sonucu olarak da, damlanın sınır (terminal) hızı damlanın büyüklüğü ile doğru orantılı bir şekilde artar. (Dikkat! Damla büyüdükçe damlanın düşmesi esnasında ortaya çıkan sürtünme kuvveti, yarıçapın karesi kadar artmaya devam etmez.)

Sonuç olarak Newtonian Fizik'in düşen cisimlerin hızı üzerinde büyüklük ve kütle etkili olmadığı şeklinde bir iddiası yoktur. Böyle bir şey sadece boşlukta (vakumda) mümkündür. Çünkü böyle bir ortamda düşen cisimleri sadece yerçekimi kuvveti etkiler.

Yağmur damlaları boşlukta düşüyor! Basın ve halk arasında yaygın bir şekilde kullanılan "hava boşluğu" terimi de YANLIŞ METEOROLOJİ'dir. «



# Dip Topoğrafyanın Yüzey Akıntılarına Etkisinin Modellenmesi

**Filiz Özer Malkoç**

*Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara*

**Ercan Köse**

*KTÜ, Deniz Bilimleri Fakültesi, Trabzon*

**Yüksel Malkoç**

*Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara*

**H. Fehmi Durukanoğlu**

*Beykent Üniversitesi, İstanbul*

## ÖZET

Kıyusal okyanus, kaynaklarının kullanımının artmasından dolayı çok dikkat çeken bir bölgedir. Artan gelişme için talepler, hem hükümetleri hemde bireyleri kıtasal sahanlık üzerindeki sirkülasyonu kontrol altına alan temel mekanizmayı araştırmak için yönlendirmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmalardan birisi, kıyı ve nehirağzı bölgesi sirkülasyonlarının modellenmesidir. Bu modellerden biriside 1970'li yıllarda oluşturulan ve o günden günümüze kadar geliştirilen Princeton Ocean Model (POM) dir. Bu model; 3 boyutlu, temel eşitlikli, zamana bağımlı, s (sigma) koordinatlı, serbest yüzeyli bir modeldir. Bu çalışmada amaç farklı yapılarla dip topoğrafyaya sahip kutu modellerinde oluşacak yüzey akıntılarının POM yardımı ile modellenmesidir. Sonuçlar metin içerisinde ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

## GİRİŞ

Çevre sorunları denince çok karmaşık, birbirinden tümü ile ayrı gibi gözükken, ancak derinlere inildikçe birbirine sıkı sıkıya bağlı sorunlar yumağı ortaya çıkmaktadır. Bu yumağın bileşeklerini pratik açıdan kolaylık sağlamak ve genel anlamda tanımlamak gerekirse, dünyamızı oluşturan hava (atmosfer), kara (litosfer) ve su (hidrosfer) katmanlarındaki sorunlar olarak sınıflandırabiliriz. Sorunların temelinde ise kirlenme olarak nitelediğimiz bir olgu yatmaktadır.

Bilindiği gibi, denizler dünya yüzeyinin %70 lik bölümünü kaplamakta ve besin sağlamak açısından insanlık için büyük bir potansiyel, ilerisi içinde ümit kaynağı oluşturmaktadır. Deniz kirliliği, insanın denizin kendilerine sağladığı çok çeşitli olanaklardan yararlanmaları oranında artış göstermektedir. Toplumların dinlenme amacı ile belirli mevsimlerde kıyılarda yoğunlaşmaları, endüstrinin soğutma suyu sağlayabilmek, hammadde ve ürünlerini uzak mesafelere yollamak, proses sürecinde ortaya çıkan zararlı atıklarını en kolay şekilde bırakmak gibi kolaylıklar sağlayan deniz kıyılarını, kendileri için en

uygun yer olarak özellikle de her mevsim ve her koşulda yükleme ve boşaltmanın yapılabileceği yarı kapalı koy ve körfezleri seçmektedirler (Kocataş, 1986).

Kıyusal okyanus, kaynakların kullanımının artmasından dolayı çok dikkat çeken bir bölgedir. Artan gelişme için talepler, hem hükümetleri hemde bireyleri kıtasal sahanlık üzerindeki sirkülasyonu kontrol altına alan temel mekanizmaları araştırmak için yönlendirmektedir (Özer, 1998). Sirkülasyon bilgisi; gaz, petrol ve balıkçılık kaynaklarının gelişmesinin yönetimi için yararlı olmaktadır. Kıyıda uzakta sondajlamanın, petrolün ve diğer maddelerin denize dökülmeleri ve petrol taşınım aktiviteleri meydana gelebilir ve çevreyi anlamlı bir şekilde etkileyebilir. Bu nedenle bu kirleticilerin hareketi önceden tahmin yapılmak için önemli bir unsura dönüşür (Blumberg ve Mellor, 1987).

Alan Blumberg ve George Mellor tarafından 1977 yıllarında bir nümerik okyanus model oluşturuldu. Sonraki katkılar Leo Oey, Jim Herring, Lakshmi Kantha ve Boris Galperin ve diğerleri tarafından

yapılmıştır. Son yıllarda Tal Ezer modelin kullanımının araştırılmasında önemli bir etki olmuştur. Blumberg ve Mellor tarafından geliştirilen ve Princeton Ocean Model (POM) olarak adlandırılan bu model, model gerçekçiliğinin önemli bir hedefi olan ve orta ölçekli özelliği alan model sınıfına aittir. Bu tip modeller, yaygın olarak nehir ağzlarında ve kıyasal okyanusta gözlenen gelgite bağlı 30 gün zaman ve 1-100 km uzunluk ölçeği ile karakterize edilen faaliyetlerdir. Planlanan şudur ki; model eninde sonunda tahmin edici kıyasal okyanus programı parçası olarak kullanılacaktır. Model ayrıca düşey karışım işlemlerinin gerçekçi olarak parametreleştirilmesini sağlamak için bir türbülans yaklaşım modeli ile birleşik olan 3 boyutlu kıyasal okyanus modelidir. Ayrıca model gerçekçi kıyı çizgisi geometresi ile tan topoğrafyasını birleştirir (Blumberg and Mellor, 1983; Mellor, 1996).

## YÖNTEM

Akışkanlar dinamiği bilimi; hareket halinde bulunan akışkanın, davranışını ve çevresi ile olan etkileşimini incelemek. Bu inceleme; teorik, deneysel ve sayısal çalışmalar ile yapılmaktadır. Akışkanlar dinamiğinin temel denklemleri, çok iyi bilinen Navier - Stokes denklemleridir. Teorik çalışmalarda bu denklemlerin basitleştirilmiş şekillerinin analitik çözümleri yapılmakta ve sonuç elde edilmektedir. Teorik çalışmalar çok kısıtlı durumlar için yapılabildiğinden günümüzde büyük ölçüde terk edilmiş ve sayısal çalışmalara ağırlık verilmiştir. Deneysel akışkanlar dinamiği hesap sonuçlarının geçerliliğinin test edilmesinde çok önemli rol oynamaktadır.

1950'li yıllardan beri büyük bir hızla gelişen bilgisayarların, hız ve bellek kapasitelerindeki artışla birlikte sayısal yöntemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Akışkanlar dinamiği problemlerinin sayısal yöntemlerle çözülmesi konusu "Sayısal Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics - CFD)" olarak adlandırılmaktadır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmenin yanı sıra, türbülanslı akışkanların hesaplanması konusunda üzerine yapılan çalışmalarda CFD ile yakından ilgilidir. Türbülans konusunda geliştirilen yeni bir düşünce; CFD yardımıyla test edilmekte ve uygulama olanakları araştırılmaktadır. Günümüzde akışkanlar dinamiği araştırmalarında CFD kullanımı oldukça yaygınlaşmış, deneysel ve teorik çalışmaların önüne geçmiştir .

Pratikte, akışkan hareketi ile ilgili olarak karşılaşılan durum genellikle türbülanslıdır. Türbülanslı akışkan hareketinde; akışı oluşturan büyüklüklerin zaman ve konuma göre düzensiz değişimler göstermesi nedeniyle, türbülanslı akışkanların çözümlenmesinde istatistiksel ortalamalı büyüklükler gözönünde bulundurulur. Günümüzde yapılan CFD çalışmalarında; türbülanslı akışı karakterize eden zaman ortalamalı Navier - Stokes denklemleri kullanılmaktadır. Aynı zamanda "Reynolds Denklemleri" olarak da

adlandırılan bu denklemler içerisinde, türbülansın dolaylı ortaya çıkan yeni ek gerilme terimleri yer almaktadır. Türbülanslı çalkantı büyüklükleri cinsinden olan bu ek gerilme terimleri, hız ve basınç gibi ortalama akış büyüklüklerine bağlı olarak tanımlama işlemi "türbülans modelleme" olarak adlandırılmaktadır. Bu işlem kendine özgü bazı varsayımlar ve yaklaşımlarla yapılır (Hoffmann, 1989).

Türbülans modellemede, ek gerilme terimlerinin yeni bağıntılar ile tanımlanması sonucunda, türbülans kinetik enerjisi, bu enerjinin yutulma miktarı gibi bazı yeni büyüklükler ortaya çıkar. Bu büyüklüklerin ortaya çıkması yeni denklemlerin oluşturulmasını gerekli kılar. Bu şekilde üretilen yeni değişkenler ve denklem sayısının eşitlenmesi işlemi "kapatma" olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde bilinen bütün türbülans modellerinin geçerli olduğu akış koşulları ve türleri birbirinden farklıdır. Bütün koşullar için geçerli olan bir türbülans modeli henüz geliştirilememiştir. Bir türbülans modelinin geçerliliği; belirli bir problem için yapılan sayısal hesaplama sonuçları ile deneysel ölçümler mutlaka test edilmelidir.

Yüzyıldan fazla bir süre önce Boussinesq tarafından yapılan bir öneriye göre, türbülanslı kayma gerilmeleri ile ortalama hız gradyanları arasındaki ilişki, bir türbülans (girdap) viskozitesi tanımı ile kurulmaktadır.

Reynolds denklemlerinin kapatılmasını temel alan türbülans modelleri iki kategoriye ayrılır. Birinci kategoride Boussinesq yaklaşımı veya türbülanslı viskozite yaklaşımının kullanıldığı türbülans modelleri, ikinci kategoride gerilme denklemi modelleri yer almaktadır. Bu iki kategori içerisinde yer alan türbülans modelleri için yapılan bir diğer sınıflandırmada ise; türbülans modelleri, üretilen ek diferansiyel denklemlerin sayısına göre düzenlenir. Bu durumda, sıfır denklemlilerden, en karmaşık gerilme denklemi modellerini de içeren on iki denklemliler kadar bir sınıflandırma söz konusudur .

Türbülans modelleri ile ilgili bir üçüncü kategoride ise, Reynolds denklemlerine kısmen dayalı modeller yer almaktadır. Büyük girdap benzeşimi (Large Eddy Simulation-LES) olarak bilinen model bu kategoriye girer. Bu yaklaşımda; akış içerisinde ortaya çıkan büyük ölçekli girdaplar için Navier - Stokes denklemleri ve küçük ölçekli girdaplar için de uygun bir türbülans modeli kullanılır. Bu modelin mühendislik amaçlı kullanımı bugün için pahalıya mal olmaktadır (Çuhadaroğlu, 1996).

Sayısal bir yaklaşım, matematiksel bir modelden başlayan ve sayısal bir çözümleme ile son bulan birkaç adımdan oluşmaktadır. Bu adımların birincisi bir "yaklaşım düzeyi"nin seçilmesidir. Yaklaşım düzeyi; sistemi tanımlayan temel değişkenler ve sistemin davranışını etkileyen diğer bütün değişkenleri içermektedir. Örneğin; akışkan hareketinin mekansal boyutuna ilişkin koordinat sistemi değişkenleri



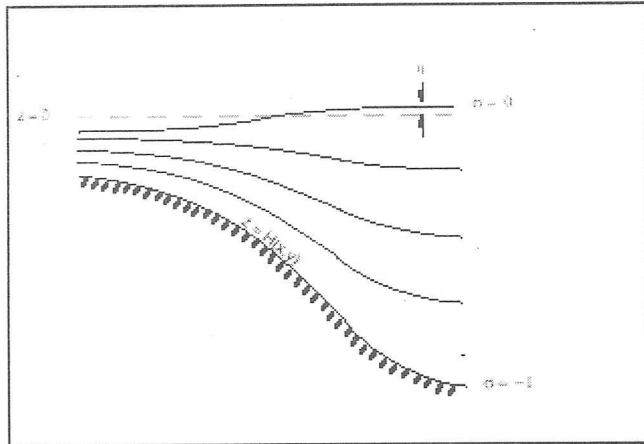
ve problemin dinamiksel ve kararlılık durumu ile ilgili zaman değişkeni vb. İkinci adım "ayrıklaştırma yöntemi"nin seçilmesidir. Ayrıklaştırma işlemi; "bölge ayrıklaştırması" ve "denklemler ayrıklaştırması" olarak ikiye ayrılır. Bölge ayrıklaştırması ile sürekli bir ortam, sonlu sayıda düğüm noktalarından oluşmuş bir "ağ" şeklinde düşünülür ve düğüm değişkenlerinin sayısal değerleri hesaplanır. Hesap bölgelerinde ağ oluşturulduktan sonra denklemler ayrıklaştırılır. Denklem ayrıklaştırılmasında diferansiyel veya integral yapıda olan denklemler düğüm noktalarındaki bilinmeyenleri içeren basit cebirsel denklemlere dönüştürülür. Bütün sayısal yöntemlerin temelinde; diferansiyel denklemlerin cebirsel denklemlere olan bu dönüşümü yatmaktadır.

Bu çalışmada düşey koordinatta taban topografyasını izleyen, zaman bağımlı, serbest yüzeyli, 3 boyutlu nümerik nehir ağı ve okyanus modeli olan Princeton Okyanus Modeli (POM) kullanılacaktır (Mellor, 1996).

Modelin temel özellikleri aşağıdaki gibidir:

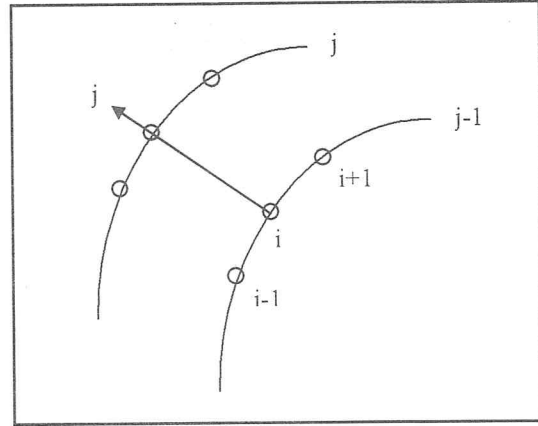
- Düşey karışım katsayılarını elde etmek için 2. moment türbülans yaklaşım alt modelini bulundurmaktadır.
- Su kolonu derinliğinde düşey koordinatının ölçeklendirilmesi sigma koordinat modeline göre yapılmaktadır. Tabanı izleyen sigma fonksiyonu şu şekildedir:

$s = (z - h) / (H + h)$ , Burada  $H(x,y)$ , dip topoğrafyasıdır ve  $h(x,y,t)$  serbest yüzeyden olan yüksekliktir. Bu nedenle,  $s$ 'nin maksimum değerleri;  $z = h$  da  $s = 0$  ve  $z = -H$  da  $s = -1$  olmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Sigma koordinat sistemi

- Yatay grid eğrilerinden oluşan ortogonal koordinat sistemini ve bir "Arakawa C" fark yöntemini kullanır.



Şekil 2. Ortogonal eğrisel koordinat sistemi

- Yatay olarak zaman farkı explicittir, düşey zaman farkı ise implicittir. Düşey koordinat için zaman sınırlamalarını hariç tutar ve yüzey ve taban sınır tabakalarında iyi bir düşey rezolasyonunun kullanımını mümkün kılar.
- Model bir serbest yüzeye ve ayrı zaman adımına sahiptir. Modelin dışsal bölümü iki boyutludur ve dışsal dalga hızı ve CFL koşuluna bağlı olarak kısa zaman adımı kullanır. Modelin içsel kısmı 3 boyutludur ve CFL koşulu ve içsel dalga hızına bağlı olarak uzun zaman adımı kullanır.
- Model tüm termodinamik süreçlerini yerine getirmektedir.

POM detaylı olarak Blumberg ve Mellor (1987) tarafından ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu model kıyıl ve nehir ağı su kütlelerinde ve pek çok okyanus bölgesinde kullanılmaktadır. Bu model aşağıdaki izleyen eşitlikleri ( $U_x, V_y, W_z$ ) okyanus hızı, potansiyel sıcaklık ( $\theta$ ) ve tuzluluk ( $S$ ) için çözmektedir:

$$U_x + V_y + W_z = 0 \quad (1)$$

$$U_t + (U^2)_x + (UV)_y + (UW)_z - fV = -P_x / \rho_o - (\overline{uw})_z \quad (2)$$

$$V_t + (UV)_x + (V^2)_y + (VW)_z + fU = -P_y / \rho_o - (\overline{vw})_z \quad (3)$$

$$\rho g = -P_z \quad (4)$$

Burada  $x$  doğuya,  $y$  kuzeye,  $z$  ise yukarı doğru pozitiftir;  $t$  zamandır;  $U + u, V + v, W + w$  ise sırasıyla  $x, y, z$  yönlerindeki anlık hızlardır.  $U, V, W$  ortalama hızları gösterir.  $u, v, w$  ise çalkantılı hızları temsil eder.  $\overline{uw}$  ve  $\overline{vw}$  ise aşağıdaki eşitlikle tanımlanan türbülanslı Reynolds gerilmeleridir:

$$(-\overline{uv}, -\overline{vw}) = K_M (U_z, V_z), \quad (5)$$

Burada KM türbülanslı karışım katsayısı, f koriolis parametresi ve  $9.49 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 'e eşittir.  $\rho$  ortalama yoğunluktur ve  $\rho_0$  standart yoğunluktur, g yerçekimi ivmesidir ve P ise basınçtır.

Ortalama tuzluluk, S, için denklem şöyledir:

$$S_t + (US)_x + (VS)_y + (WS)_z = -(\overline{ws})_z \quad (6)$$

Burada türbülans tuzluluk akısı ( $\overline{ws}$ ) şu şekilde tanımlanmıştır:

$$-\overline{ws} = K_H S_z \quad (7)$$

ve  $K_H$  tuzluluk için türbülanslı karışım katsayısıdır. Sıcaklık için eşitlikler 6 ve 7 eşitliğine göre benzer şekilde yazılabilir ve model tarafından çözülebilir. Yoğunluk tuzluluk ve sıcaklık ile ilişkilidir; hal denkleminde,

$$\rho = \rho(T, S) \quad (8)$$

$K_M$  ve  $K_H$  katsayıları Mellor ve Yamada'nın 2.5 seviye türbülans modeline göre hesaplanmaktadır.

$$K_M = S_M l q, \quad K_H = S_H l q \quad (9)$$

Burada l türbülans uzunluk ölçeğidir ve  $q^2/2$  ise türbülans kinetik enerjisidir. Bunlar aşağıdaki şekilde türbülans taşınım eşitliklerinden hesaplanmaktadır:

$$DF/Dt = (F'in difüzyonu) + (F'in üretimi) + (F'in yutulması) \quad (10)$$

Burada F ya  $q^2/2$  yi yada  $q^2/l$  yi niteler.  $S_M$  ve  $S_H$   $q, l, U_z^2 + V_z^2$  ve  $g\rho_0/\rho_0$  bağlı olan kararlılık faktörleridir.

1'den 10'a kadar olan eşitlikler sonlu fark biçimleri ile düşünüldü ve zamanda ileri fark alındı. Advectif taşınım terimlerinde yöntem explicittir, düşey yayılıcı akı terimlerinde ise implicittir. Zamana göre hata büyük olamaz. Çünkü Dt kısa zaman adımı, kararlılık için Courant şartı tarafından kısıtlanmıştır:

$$\Delta t < \frac{1}{2} [c^2(1/\Delta x^2 + 1/\Delta y^2)]^{-1/2} \quad (11)$$

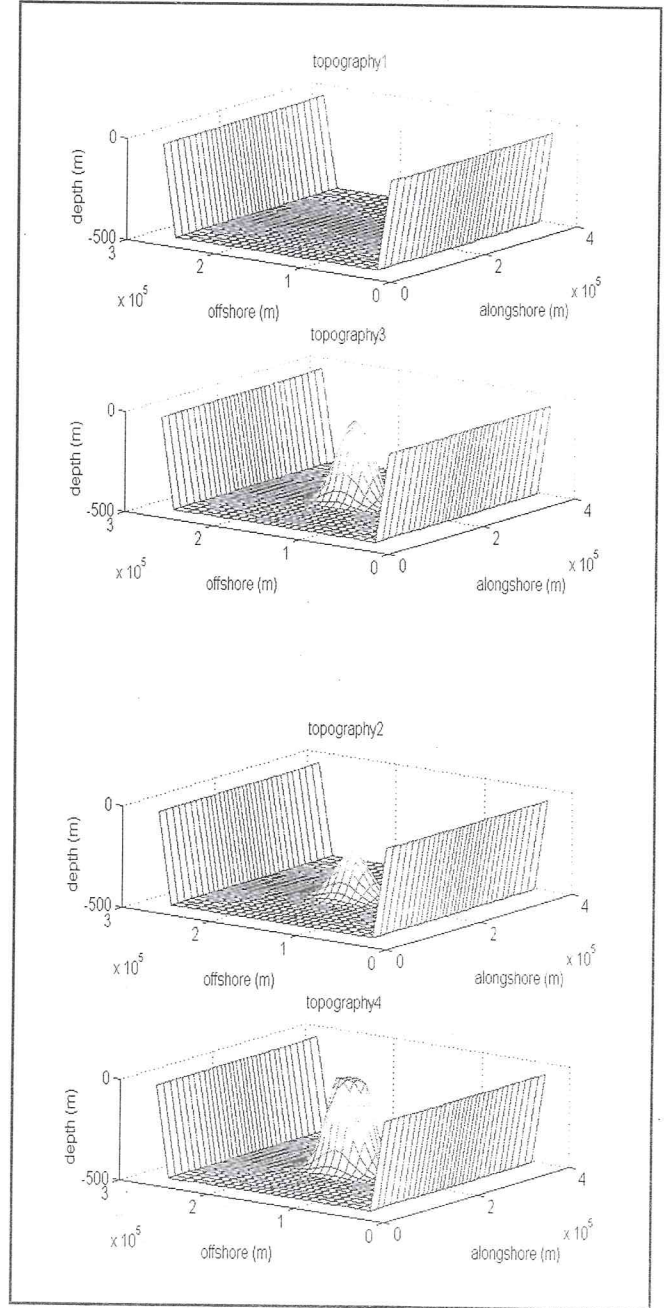
Burada  $\Delta x$  ve  $\Delta y$  x ve y yönlerindeki grid ölçüleridir. C ya serbest yüzey gravite dalgasının yada iç gravite dalgasının faz hızıdır. 11 nolu eşitlikte;  $c = (g.H_{max})^{1/2}$  şeklinde tanımlanmaktadır.  $H_{max}$  ortalama gelgit seviyesi aşağısındaki maksimum su derinliğidir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, modele sadece dışsal olarak akıntının başlangıç hızı etkimektedir. Rüzgar gerilmesi ve gelgit etkisi hariç tutulmuştur. Böylece sadece başlangıçta sabit akıntı hızı ile çeşitli topoğrafik koşullardaki hız değişimi incelenebilmiştir. Zaten bu çalışmanın

amacıda sabit tuzluluk, sıfır yüzey ısı ve tuzluluk akısı ve sıfır rüzgar gerilmesi ile değişik deniz taban topoğrafyası üzerinde akışların benzeşimini yapmaktır.

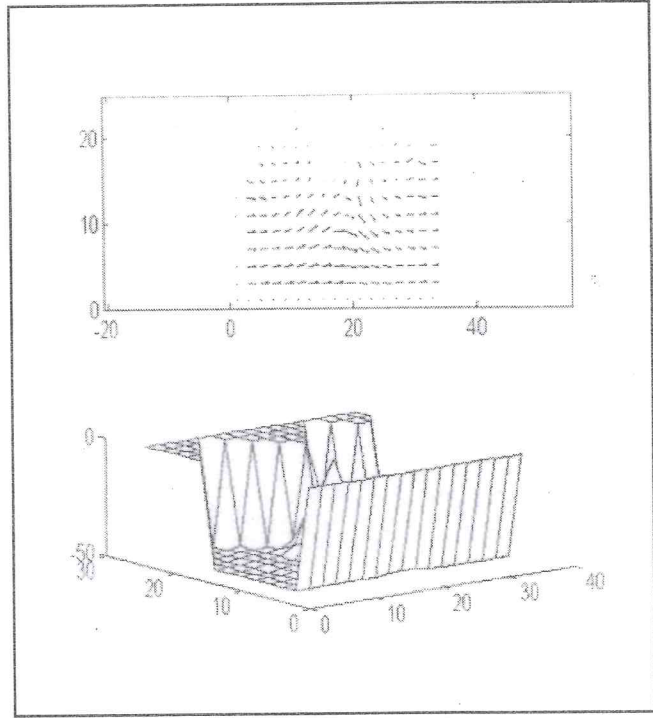
Birinci şekilde incelenen model ile oluşturulan 4 değişik topoğrafik koşul verilmiştir (Şekil 3). Hemen alt şekilde bu dört farklı topoğrafik koşulun oluşturduğu 4 farklı akış şekli yer almaktadır (Şekil 4). Dört farklı durumda da akıntı başlangıç hızı aynı olup  $0.5 \text{ m/sn}$  olarak alınmıştır.



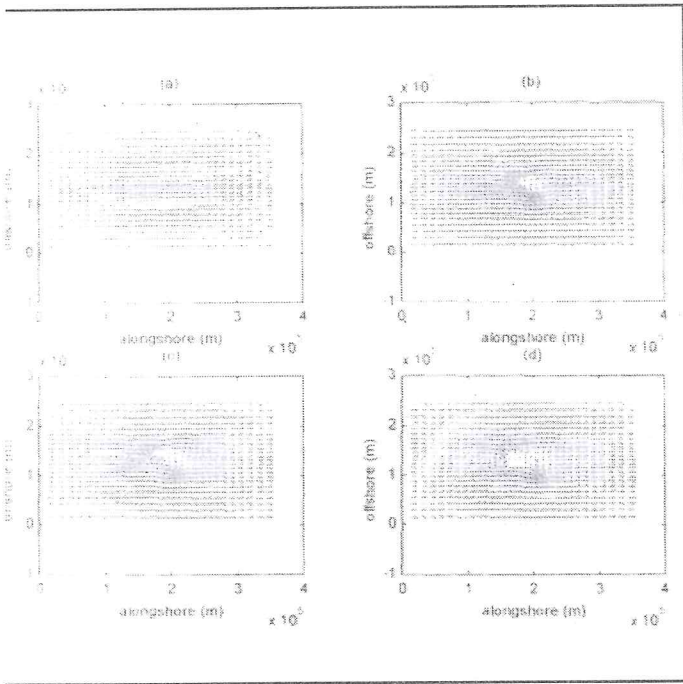
Şekil 3. POM ile oluşturulan 4 farklı deniz topoğrafyası

Şekil 4a'da görüldüğü gibi hiçbir engebenin olmadığı durumda, akıntı hızında kutu modeli içinde hiçbir değişiklik olmamıştır. Şekil 4b'de küçük bir deniz adasının etkisi incelenmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi akış yönünde bir değişiklik gözlenmektedir. Akış yönündeki bu sapma deniz tepesinin olduğu yerde ve sahile doğru olmaktadır. Başka bir deyişle sapma hareket yönünün sağına doğru olmaktadır. Bu da Coriolis etkisinden dolayı olmaktadır. 3. Şekilde ise deniz tepesinin yüksekliği artırılmış ve sapmanın daha belirgin olduğu görülmüştür. Son durumda ise bir ada için durum incelenmiştir. Akış yönünde bu durumda adanın etrafında ve sahile doğru bir sapma meydana gelmektedir. Adanın etkisi kaybolduktan sonra akış akım çizgileri tekrar birbirine paralel olmaktadır.

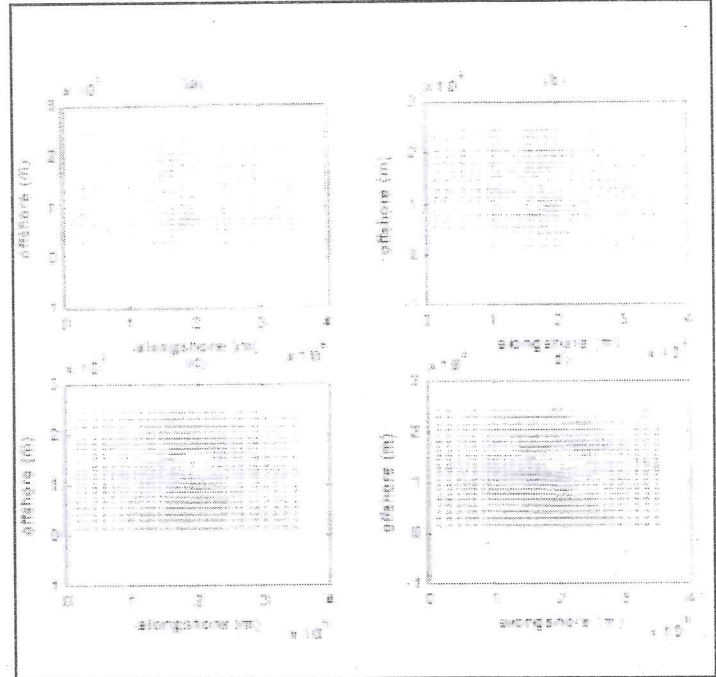
Şekil 3'teki POM ile oluşturulan topoğrafya tiplerinden (c) şeklindeki topoğrafyada bir kıyı şeridi oluşturuldu. Yani programda düz kıyı şeridi girintili çıkıntılı bir kıyıya dönüştürüldü (Şekil 5). Bu tip bir topoğrafya özelliğinde yüzey akıntıları Şekil 5'deki gibi olmaktadır. Şekildende görüldüğü gibi kıyıya yakın bölgelerde yüzey akıntıları tamamen kıyı şeklinin etkisindedir. Oluşan yüzey akıntıları doğru doğru olan ana akıntı yönünün sağına doğru bir sapma göstermektedir. Bu topoğrafyanın etkisinin olduğu yerlerde daha açık olarak görülmektedir.



Şekil 5. Kıyı şeridi girintili ve çıkıntılı olarak girilen topoğrafyada oluşacak yüzey akıntıları



Şekil 4. Farklı deniz topoğrafyaları üzerinde oluşan yüzey akıntıları



Şekil 6. Aynı topoğrafya üzerinde farklı başlangıç hızlarının (0.2, 0.4, 0.5, 0.6) oluşturduğu yüzey akıntıları

**KAYNAKLAR**

Blumberg, A.F., and G.L. Mellor, Diagnostic and prognostic numerical circulation studied of the South Atlantic Bight, J.Geophys. Res., 88, 4579-4592, 1983.

Blumberg, A.F., and G.L. Mellor, A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in Three-Dimensional Coastal Ocean Models, Vol. 4, edited by N.Heaps, pp. 208, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1987.

Çuhadaroglu, B., Teknoloji üretiminde sayısal akiskanlar dinamiği (CFD) kullanımı, Mühendis ve Makine, Cilt 35, Sayı 426,25-28 pp., 1996.

Hoffmann, K.A., Computational Fluid Dynamics For Engineers, Engineering Education SystemTM , Texas, USA, 1989.

Kocataş, A., Oseanoloji, Ege Üniversitesi Basımevi, Kitap Serisi No.114, İzmir, 1986.

Mellor, G.L., Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton, 1996.

Özer, F., Köse, E., Malkoç, Y., Çuhadaroglu, B., Erüz, C., Box Model to investigate effects of bottom topography on coastal currents, First international symposium on Fisheries & Ecology, September 2 - 4, 1998, Trabzon. ◀◀

# Güneydoğu Karadeniz Sahil ve İç Bölgeleri Arasındaki İklim Farklılıkları

**Yüksel Malkoç**

*Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara*

**H. Fehmi Durukanoğlu**

*Beykent Üniversitesi, İstanbul*

**Filiz Özer Malkoç**

*Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara*

**Ercan Köse**

*KTÜ, Deniz Bilimleri Fakültesi, Trabzon*

## ÖZET

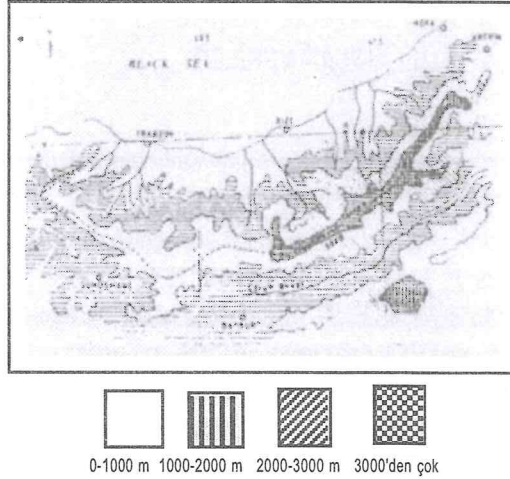
Bu çalışmada Güneydoğu Karadeniz Bölgesi sahil kesiminde yer alan Trabzon, Rize, Hopa ve bölgenin iç bölümünde bulunan Artvin, Bayburt, Gümüşhane meteoroloji istasyonlarının 1960 - 1990 periyoduna ait klimatolojik veriler kullanılarak sahil ve iç kesimler arasındaki iklimsel farklılıklar ve bu bölgelerin iklim tipleri belirlenmeye çalışıldı. Böylece denizin ve topoğrafyanın iklim oluşumundaki önemi vurgulandı. Çalışma sonucunda sahilde bulunan Trabzon ile sahil ardı bölgede bulunan Artvin' in aynı iklimsel özellikleri gösterdiği tespit edildi.

## THE CLIMATIC DIFFERENCES BETWEEN THE SOUTHEASTERN BLACK SEA COAST AND INNER REGION

The climatic differences have been observed between the East Black Sea coast and inner region. And the climate types of both region have been determined with climate period of 1960 to 1990. Trabzon, Rize, Hopa were considered as the East Black Sea coasts and Artvin, Bayburt, Gümüşhane were considered as inner region. As a result of this study, It is found that climate of Trabzon and Artvin are the same.

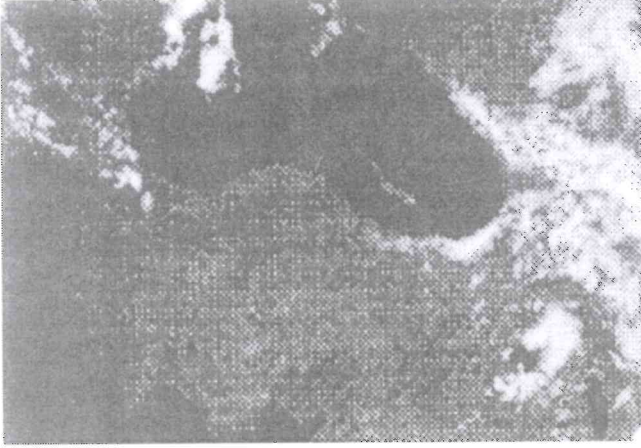
## GİRİŞ

Çalışma sahası olarak 39° - 42° E boylamları ile 40° - 41.5° N enlemleri arasında kalan ve Güneydoğu Karadeniz Bölgesi diye adlandırılan alan seçilmiştir. Burada hemen Karadeniz sahil şeridinden itibaren yükselmeye başlayan engebeli arazide denize yakın vadiler vardır. Dağların tepeleri kıyıya paralel bir görünüm arzeder ve yer yer 4000 m' ye varan yüksekliklere sahiptirler. Tepelerin arkasında yükselti biraz azalır, dağlar ön yüzden daha az eğimli engebeye sahiptir. Dağların tepelerine hemen hemen paralel Çoruh Nehri Havzası çalışma alanının güneyini oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma sahasına ait topoğrafik harita [Durukanoğlu, 1980].

Bölge Türkiye' nin diğer bölgelerine göre farklı bir iklim karakterine sahiptir ve Türkiye' de en çok yıllık ortalama yağışın ve bulutluluğun görüldüğü istasyonlar buradadır. Türkiye geneli uydu fotoğrafindan da görüldüğü gibi aynı sinoptik hava sistemi etkisinde olmasına rağmen topoğrafik yapıdan dolayı çalışma sahasının sahil bölümü tamamen bulutlarla kaplıdır (Şekil 2).



Şekil 2. NOAA 14' den 14.07.1995 08.00 GMT' de alınan görüntü.

Bölge iklimi; kışları İzlanda alçak basınç merkezi ve Sibiryaya yüksek basınç merkezi, yazları ise Basra alçak basınç merkezi ile Azor yüksek basınç merkezi etkisinde oluşmaktadır [Durukanoğlu ve Ark., 1995]

Bu çalışmada bölgenin Karadeniz kıyısındaki üç meteoroloji istasyonu ile dağ sırasının arkasında bulunan üç meteoroloji istasyonunun klimatolojik verileri kullanılarak iklimsel özellikler ortaya konup farklılıklar ve benzerlikler vurgulanacaktır. Böylece bir bölgede iklim oluşumu üzerine sinoptik koşullar yanında yerel özelliklerin de önemli olduğu belirtilecektir.

## YÖNTEM VE KULLANILAN VERİLER

### Veriler

Çalışma bölgesi alanı içerisinde bulunan Trabzon (41°00'N, 39°43'E, 30m), Rize (41°02'N, 40°30'E, 4m), Hopa (41°25'N, 41°25'E, 33m) sahil kesimi meteoroloji istasyonları ve Gümüşhane (40°27'N, 39°27'E, 1219m), Bayburt (40°16'N, 40°15'E, 1550m), Artvin (41°10'N, 41°49'E, 597m) sahil ardı bölümü enlem, boylam ve yüksekliklerinde bulunan meteoroloji istasyonlarından elde edilen klimatolojik veriler kullanılmıştır. Kullanılan klimatolojik değerler 1961 - 1990 arasındaki 30 yıllık döneme aittir ve aylık ortalama klimatolojik değerlerdir. Bunlar Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ölçümlerinden sağlanmıştır.

## 2.2 Yöntem

Doğu Karadeniz sahil ile ardı bölümü arasındaki iklimsel farklılıkları belirlemek için önce iki bölge arasındaki karasallık dereceleri Countagne ve Conrad formüllerine göre hesaplanmıştır. İklim tipleri, iklimsel özellikler ve su bilançosu grafiklerinin elde edilmesi için Thornthwaite ve Demortonne - Gottman metodları kullanılmıştır. İklim geçiş zonlarının belirlenmesi, deniz ve topoğrafyanın bazı iklim parametreleri üzerine tesirini belirlemek için trigonometrik bir fonksiyonun genlik ve faz açılarını belirleme esasına dayanan [Kristina and Sultan, 1989] ve [Durukanoğlu and Aslan, 1995]'in kullandığı Harmonik Analiz yöntemi kullanılmıştır. Burada kullanacağımız yöntemler;

### Karasallık Derecesi

Karasallık özelliği yağışlara, özellikle yağış rejimine ve sıcaklığa bağlı olayların bir sonucudur; dolayısıyla bir iklimin özelliklerini belirler. Yeryüzünde görülen iklim tiplerinin başlıca özellikleri üzerinde kara ve denizlerin önemli etkileri vardır. Bu etkiler bulutluluk, yağış, radyasyon, sıcaklık, nem üzerinde meydana gelebilirler. Yağış ve sıcaklık karasallığını aşağıda sırayla belirtilen Countagne ve Conrad eşitlikleri ile hesaplanabilir [Akman, 1990].

Yağış Karasallığı = En sıcak 6 ayın yağış toplamı / En soğuk 6 ayın yağış toplamı

$$K' = 1.7 * A / \sin(\varphi + 10 + 9h) - 14$$

Burada ilgili istasyonun;

A : Yıllık ortalama sıcaklık farkı (°C),

$\varphi$  : Enlemi (derece olarak),

h : Yüksekliği (km),

K' : Sıcaklık karasallığı

### Thornthwaite Metodu

Bu metoda göre aylık ortalama sıcaklık ve yağış kullanılarak yıllık potansiyel evapotranspirasyon (E<sub>tp</sub>) aşağıdaki formüllere göre hesaplanır. Elde edilen bu verilerle su bilançosu hazırlanarak iklim tipi belirlenebilir [Gray, 1970].

$$E_{tp} = 1.6 * \{10 * T_m / I\}^a$$

Burada;

I: Yıllık sıcaklık indisidir;

$$I = \sum_{n=1}^{12} (T_m / 5)^{1.514}$$

E<sub>tp</sub> : Yıllık potansiyel evapotranspirasyon (mm)

T<sub>m</sub> : Aylık ortalama sıcaklık (°C),

a: Bir sabittir ve yıllık sıcaklık indisine göre;

$a = 67.5 \cdot 10^{-8} \cdot I^3 - 77.1 \cdot 10^{-6} \cdot I^2 + 0.0179 \cdot I + 0.492$  şeklinde hesaplanır.

#### Thornthwaite - Gottman Yöntemi

Bu yöntem kurak iklimlerle yağışlı iklimler arasındaki sınırı tayin etmek için kullanılır. Bu sınırı tayin için şu formülden yararlanılır [Akman, 1990].

$$I = \left[ \frac{P}{(T + 10)} + \left( 12 \frac{p}{(t + 10)} \right) \right] / 2$$

Burada;

$P$  : Yıllık yağış miktarı (mm),

$T$  : Yıllık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$t$  : En kurak ayın ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$p$  : En kurak ayın yağışı (mm),

$I$  : Kuraklık ve nemlilik derecesini tanımlayan bir indis,

#### Harmonik Analiz Yöntemi

$$X = X_0 + \sum_{i=1}^{N/2} A_i \cos(360 it/p + \phi_i)$$

Burada;

$X_0$  : İncelenilen klimatolojik elemanın aritmetik ortalaması

$A_i$  : Genlik,

$N$  : Gözlem sayısı,

$p$  : Gözlem periyodu,

$X$  :  $t$  - anındaki gözlenen değer,

$\phi_i$  : Faz açısı

Bu çalışmada  $p=12$  ay alınmıştır. Birinci harmoniğin büyük genlik değerleri, yıl boyunca o parametre üzerinde oluşan önemli bir değişimin göstergesidir ve sinoptik ölçekteki olayların etkinliğini açıklar. İleri dereceden harmonikler yerel etkilerin etkisini açıklar [Okçu ve Ark., 1995].

## BULGULAR

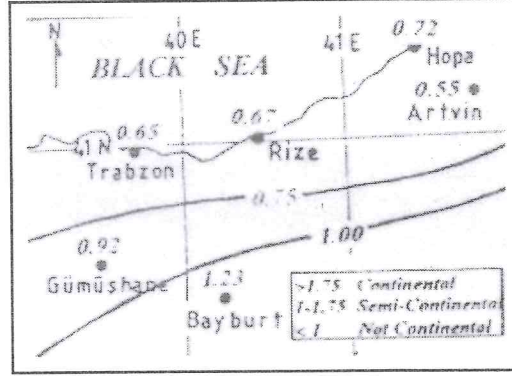
### Bölgedeki İstasyonların Karasalılık Derecesi

Bölgenin yağış karasalılığı dereceleri Şekil.3.a.'da gösterilmektedir.

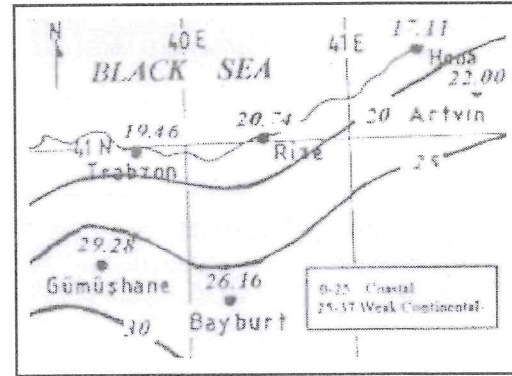
Araştırma sahası içerisinde yer alan meteoroloji istasyonlarının yağış karasalılığı hesaplandığında yalnızca Bayburt'un yarı karasal bir iklime sahip olduğu belirlendi. Diğer istasyonlar karasal olmayan özellik gösterir. Gümüşhane yarı karasal iklim özelliğine yakın olmakla beraber karasal değildir. Yarı karasal iklime geçiş bölgesine yakın bir özelliği vardır.

Sıcaklık karasalılıkları Şekil.3.b.'de görülmektedir. Bölgenin sıcaklık yönünden karasalılığı incelendiğinde Trabzon, Rize, Hopa ve Artvin istasyonlarının kıyasal özellik, Gümüşhane ve Bayburt

istasyonlarının zayıf karasalılık gösterdiği bulundu. Sıcaklık karasalılığı bakımından Artvin kıyasal özellik göstermekle beraber; yarı karasal özelliğe yakın bir değerde olduğu görülür.



(a)



(b)

Şekil 3. Bölgenin yağış ve sıcaklık karasalılığı

### Thornthwaite Metoduna Göre İstasyonların İklim Tipi ve Su Bilançosu Grafiğinin Belirlenmesi

Su dengesi bir yerin iklimini belirlemede ve bölgeler arasındaki iklimsel farklılıkları belirlemek için uygun bir methodur. Su dengesi, yağış miktarı ile gerçek evapotranspirasyon ve potansiyel evapotranspirasyonun karşılaştırılması ile elde edilir. Su fazlası, yağış miktarının potansiyel evapotranspirasyon miktarından fazla olduğu aylarda meydana gelir. Aktüel ve potansiyel evapotranspirasyon arasındaki alan ise nem eksikliğini verir. Yağış miktarı ve aktüel evapotranspirasyon arasındaki alan daha yüksek olduğu zaman toprak nemi kullanımını (yararlanılan toprak nemini) gösterir. Yağış miktarı potansiyel evapotranspirasyon miktarından büyük olduğu aylarda toprak tekrar nem kazanır ve doyarsa, su fazlası meydana gelir [Eagleman,1985].

Sahilde bulunan Trabzon, Rize, Hopa ve sahil ardı bölgesindeki Artvin, Gümüşhane, Bayburt'a ait su bilançosu grafikleri Şekil.4.'de görülmektedir. Bu bilançodan çıkarılan Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Trabzon' un iklimi; yarı nemli, mezotermal, yazın orta derecede su açığı olan, okyanus iklim tesirine yakın yerler özelliği gösterir. Simgesi C2B'2Sb'4 dür (Şekil.4.a).

Sahil ardı bölgesindeki Gümüşhane istasyonunun su dengesi grafiği Şekil.4.b'de görülmüyor. İklimi; kurak, az nemli, orta sıcaklıkta, kışın çok az su fazlası olan okyanus iklim tipine yakın yer özelliği gösterir. Simgesi C1B'1sb'3 dür.

Sahildeki ikinci istasyon olan Rize'ye ait su bilançosu grafiği Şekil.4.c'de görülmektedir. İklimsel özelliği; çok nemli, orta sıcaklıkta, su eksiği olmayan, tam okyanus iklim şartları gösterir. Simgesi AB'2ra' dür.

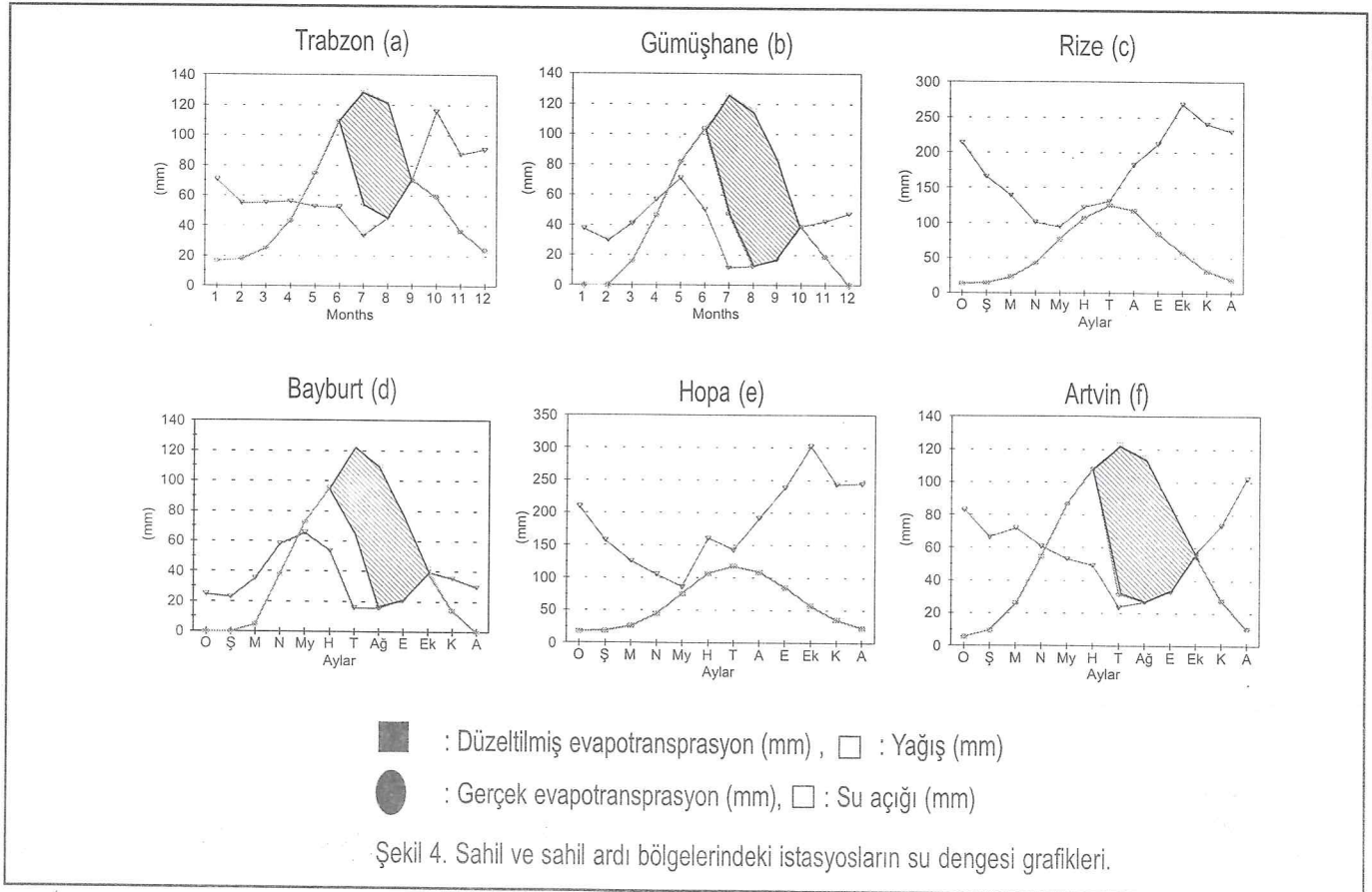
Sahil ardı bölgesindeki diğer bir istasyon olan Bayburt'un su dengesi grafiği Şekil.4.d.'dedir. İklimi; kurak, az nemli, mezotermal, su fazlası yok veya çok az, okyanus iklim tesirine yakın yerler iklim özelliğini gösterir. Simgesi C1B'1d b'2 dür.

Sahilde bulunan üçüncü istasyon olan Hopa'ya ait su bilançosu grafiği Şekil.4.e.'de görülmektedir. İklimsel özelliği; çok nemli, orta sıcaklıkta, su eksiği olmayan, tam okyanus iklim şartları gösterir. Simgesi AB'2ra' dür.

Sahil ardı bölgesinde bulunan Artvin'e ait su dengesi grafiği Şekil.4.f.'dedir. İklimi; yarı nemli, orta sıcaklıkta, yazın orta derecede su eksiği olan okyanus iklim tesirine yakın yerler özelliği gösterir. Simgesi C2B'1sb'4 'dür.

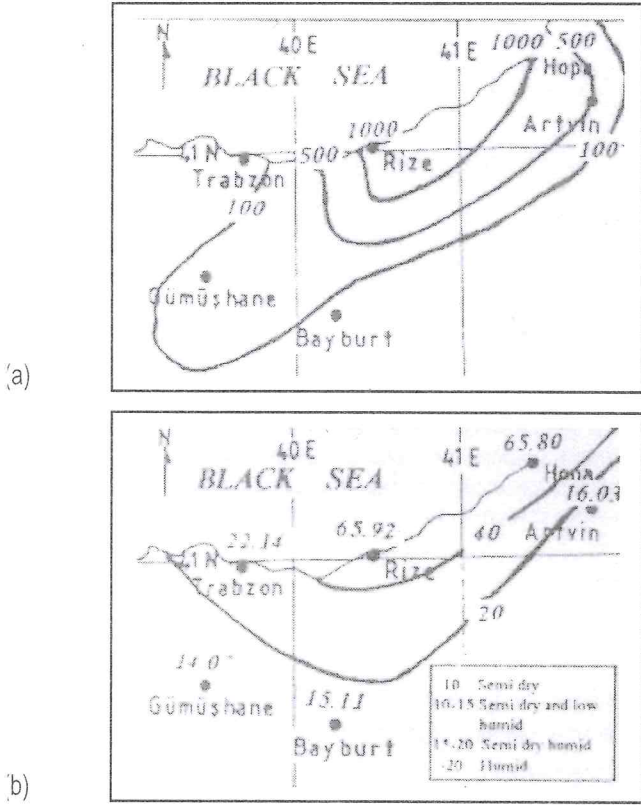
#### De Mortonne - Gottman Yöntemlerine Göre İklim Geçiş Bölgesinin Tayini

De Mortonne - Gottman yöntemi kurak ve nemli iklimleri belirlemek için kullanılır [Akman, 1990]. Bu metoda göre yapılan hesaplamalar sonucu Trabzon, Rize ve Hopa'nın nemli iklim tipinde olduğu, Artvin ve Bayburt' un yarı kurak-nemli, Gümüşhane' nin yarı kurak-az nemli özellik gösterdiği hesaplandı. De Mortonne - Gottman prensipine göre iklim geçiş sınırları Şekil.5.a.'da görülmektedir. Nemli iklim özelliğinden denize bakan dağlarının yukarı kesimlerinden başlayıp, güneye doğru azalarak yarı kurak-az nemli özelliğe geçiş olmaktadır.





Harmonik Analiz Yöntemine Göre Yağış Geçiş Zonunun Belirlenmesi



Şekil 5. De Mortonne - Gottman'a göre iklim geçiş sınırlarının ve yağış verilerinin yüksek dereceden harmoniklerinin bölge stasyonlarındaki değişimi.

Harmonik analiz yönteminin, bölgedeki istasyonların yağış verilerine uygulanması sonucu; Doğu Karadeniz Bölgesinin denize bakan kesimleri üzerinde küçük ölçekli olayların yağış miktarının değişimi üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Harmonik analizle elde edilen değerlerin eş genlik haritası Şekil.5.b.'dedir. Bu haritaya göre bölgedeki lokal topoğrafik yapı yağış rejimini etkilemektedir. Sahil kesiminde Sürmene - Hopa arasında farklı bir yağış rejimi ve dolayısıyla farklı iklimsel özelliklerin olduğunu göstermektedir.

**SONUÇLAR**

- Bölgede yer alan meteoroloji istasyonlarının yağış ve sıcaklık bakımından karasallığı incelendiği zaman, karasallığın denizden uzaklaştıkça arttığı bulundu.
- Sahil ardı bölgedeki istasyonlardan Artvin, Trabzon ile hemen hemen aynı iklimatik özelliklere sahiptir. Bu durum Trabzon'un batı tarafından başlayan Doğu Karadeniz Dağları ve Artvin'e kadar nemli havanın ulaşmasını sağlayan vadilerin mevcudiyeti ile açıklanabilir.

• De Mortonne-Gottman yöntemine göre elde edilen sonuçlar Thornthwaite yöntemiyle elde edilen sonuçlarla hemen hemen aynıdır. Trabzon ve Artvin' in aynı iklimsel özellikleri taşıdığı bu metotta da görülmektedir.

• Yapılan Harmonik Analiz sonucu bölgede denize bakan yamaçlarda değişik bir yağış düzeninin olduğu görüldü. Farklı yağış rejimi etkin bir şekilde Trabzon'un doğusundan Hopa'ya kadar denize bakan alanda oluşmaktadır. De Mortonne-Gottman metoduyla bulunan iklim sınırlarıyla aynı alanı göstermektedir.

• Elde edilen bu sonuçların ışığı altında sahil bölgesinde yer alan Trabzon'un yine sahilde bulunan Rize ve Hopa' dan farklı bir iklimsel karakter gösterdiği, sahil ardı bölgede bulunan Artvin ile hemen hemen aynı iklimsel özellikleri taşıdığı, yine sahil ardı bölgede bulunan Gümüşhane ve Bayburt' un iklimsel özelliklerinin denize yakın olmasına rağmen topoğrafya tarafından büyük ölçüde etkilendiğini söyleyebiliriz.

**TEŞEKKÜR**

Çalışmada kullanılan verilerin eldesinde gösterdikleri kolaylık nedeniyle DMİ Genel Müdürlüğüne ve yakın desteğini gördüğümüz Prof. Dr. Zafer ASLAN' a teşekkür ederiz.

**KAYNAKLAR**

- [1] AKMAN, Y., 1990, İklim ve Biyoiklim, Palme Yayın Dağıtım, Ankara, 34-236pp.
- [2] EAGLEMAN, J.R., 1985, Meteorology, Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA, 334-358pp.
- [3] DURUKANOĞLU, H. F., MALKOÇ, Y., ÖZER, F., 1995, Trabzon'da İklim Değişimleri, HGK Kongresi, Ankara.
- [4] DURUKANOĞLU, H. F., 1980, Doğu Karadeniz Dağları Üzerinde Engebe Pertürbasyonlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- [5] DURUKANOĞLU, H. F., and ASLAN, Z., 1995, Study of Large and Small Scale Effects on Meteorological Parameters Observed In Northern Black Sea Region, Medcoast-95, Tarragona, Spain (In press).
- [6] GRAY, M. D., 1970, Handbook on the Principles of Hydrology, Water Information Center Pulpication, N. Y., 40-65pp.
- [7] KRISTINA, I. K., and HAMEED, S., 1989, Harmonic Analysis of the Seasonal Cycle in Precipitation over the United States: A Comparison between Observations and a General Circulation Model, Journal of Climate, 1463-1475pp.
- [8] OKÇU, D., KARTAL, S., ve ASLAN, Z., 1995, Türkiye' de Yağış, Basınç ve Sıcaklık Verilerinin Değişiminde Büyük ve Küçük Ölçekli Olayların Rolü, HGK Kongresi, Ankara. ◀

# Uzman Sistemler

Mustafa Of

Tatvan Meslek Yüksekokulu 13200-Tatvan

## ÖZET

Uzman sistemler, uzmanlık bilgisi gerektiren ancak uzman gerektiğinde konuyu uzmanına ulaşmanın her zaman mümkün olamayacağı durumlarda gereklidirler. Uzmanların yıllar boyu süren eğitim ve deneyimlerle elde ettikleri bilginin ve sorun çözme yeteneğinin derlenmesi, bu bilginin konunun uzmanları olmayan kişilerin hizmetine sunulması, uzman sistemlerin geliştirilmesinin arkasında yatan nedenlerdir. Bu makalede uzman sistemler ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve örnek bir uygulama olarak meteorolojik verilerden elde edilmiş olan "Anlık hava tahmin tablosu" adı verilen tablo uzman sistem haline getirilmiştir.

## GİRİŞ

17.yy.' da mekanik ve termodinamik alanındaki gelişmeler buhar makinesi ve benzinli motorlar gibi yeni enerji kaynaklarının icat edilmesine, bu yeni kaynaklarda 20. yy.' da endüstride bir devrim yaşanmasına imkan sağlamıştır. 20. yy.'a kadar insanoğlu gün geçtikçe daha karmaşık, daha üstün makineler üretmeyi, üretimde insanın işlevini kısmen de olsa yüklenen mikrofon, kamera, bir fiziksel değişkenin (basınç, hız, sıcaklık v.b. ) değerindeki değişimleri elektrik sinyallerine çeviren dönüştürücü gibi cihazlar icat etmeyi başarmışsada bu süreçte en önemli faktör olarak kendisi yer almıştır.

Ancak insanın bilim tarihine bir göz attığımızda en büyük bilimsel amaçlarından birinin kendisi gibi düşünebilen, fikir yürütebilen, karar verebilen cihazlar icat etmek olduğunu görmekteyiz.

## Yapay Zeka ve Tarihçesi

YZ (Yapay zeka), insan gibi düşünebilen, karar verebilen, sonuç üretebilen, çevresindeki değişimleri algılayabilen, ses ve görüntü işleyebilen kısacası yüksek seviyede zeka gerektiren fonksiyonları yerine getirebilen bilgisayar sistemleri oluşturma bilimidir.

YZ ile ilgili ilk ciddi çalışmalar ikinci Dünya savaşı sonrasında Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde özellikle "İnsan davranışı" ve "Sibernetik" (Terleme gibi insan davranışlarının makineye uyarlanması) alanlarında gösterilen gelişmeler yapay zeka fikrinin canlanmasına yol açtı. Ancak yapay

zekayı hayata geçirecek düzeyde güçlü bilgisayarların henüz icat edilmemiş olması nedeniyle bu çalışmalar sağlıklı sonuçlara götürülemedi.

Bilgisayarın YZ çalışmaları için ne kadar geniş ufuklar açtığı gözlemlenince o döneme kadar John Mc. Carthy başkanlığında Dartmouth College (ABD) 'de Summer Research Project adlı bir toplantı düzenlendi. YZ çalışmalarının ateşleyicisi olan bu toplantı daha sonraki yirmi yılda yapılan çalışmalara yön vermiş ve bu alandaki ilk ürün 1963 yılında alınmıştır. İlk YZ yazılımı LOGIC THEORIST adlı bir programdı ve matematik mantık teoremlerinin ispatını yapmak üzere tasarlanmıştı.

60'lı yıllar YZ çalışmalarının hareketlilik gösterdiği, GPS (General Problem Solver) ve MACSYMA gib yazılımlarının üretildiği dönem, 70'li yıllar uzman sistem ve robot fikirlerinin ortaya atıldığı dönem, 80,90'lı yıllar YZ'nin ekonomi ve endüstride etkin olarak kullanılmaya başlandığı ve kullanıldığı dönem olmuştur.

Yapay zekanın alt araştırma alanlarından biri olan uzman sistemler bilgi tabanlı sistemlerin en çarpıcı örneklerinden birini oluştururlar. Göreceli olarak son zamanlarda (70'li yılların başı) ortaya çıkmış olan bu sistemler kısıtlı alanlarda farklı iş türlerindeki (teşhis, tavsiye, planlama, anlama vs.) uzman kişilerin performanslarına ulaşma yeteneğine sahiptirler. Akla vurma (Usavurma) sırasında uzman bir sistem tarafından kullanılan bilgiler önce uzmanların yanında elde edilip şekillendirilirler ve bir bilgi tabanına geçirilirler. (Haton, 1991)

### Uzman sistem nedir?

Genel problem çözme amaçlı ilk yapay zeka programları ile yapılan uygulamalar, bu yazılımların çok basit problemleri çözebildiklerini göstermiştir. Bu yazılımlara verilen karmaşık problemler çok fazla onanım ve çözüm için çok fazla zaman gerektiriyordu. Bunun onucunda 1970'li yıllarda uzman sistem fikri ortaya çıktı.

Uzman sistemler, belli bir konuda uzmanlaşmış kişiler tarafından üretilen işlemleri, bünyelerinde barındırdıkları bilgiyi kullanarak gerçekleştiren bilgisayar programlarına denir. Uzman sistemlerin işlem yapma gücü, problemin çözümü sırasında kullanılan algoritmaların etkinliğinden çok, kullanıldığı konu üzerinde sahip olduğu bilginin derinliğine bağlıdır. Uzman sistemler, çözümü için esin algoritmalar verilemeyen problemlerin çözümünü başarıyla gerçekleştirir.

Belli bir konuda uzmanlaşmış kişiler, o konu ile ilgili bilgilerini kullanarak problem çözerlerse, uzman sistemler de işlem sırasında bir uzmandan alınan, bilgisayar tarafından kullanılmaya uygun hale getirilmiş bilgi ile işlem yaparlar. Yapılan uygulamalar, bir konuda erilen detaylı bilginin, çok etkin algoritmalar ile işlenememesi halinde bile karşılaşılan bir problemin çözümü için yeterli olduğunu göstermiştir.

Uzman sistemlerin kullanımı, bir uzmanın bulunmasının veya etştirilmesinin uzun zaman alabileceği, fiziksel ve zihinsel olarak orulması, çözüm için çok gerekli bilgiyi yanlış hatırlaması veya nutması, gündün güne verdiği kararlarda tutarsızlıkların olabilmesi, büyük bilgi yığınlarını çabuk anlayabilme kabiliyetine sahip olmaması, hastalanması ve ölmesi gibi durumlarda büyük avantajlar sağlar. (Noyes, 1988)

Uzman sistemler, insan uzmanlardan çok daha tutarlı kararlar verir. Uzman sistemler insanlardan daha güvenlidirler. Uzman sistemler, personel sayısını daha aza indirebilirler. Uzman sistemler, eğitim için gerekli olan zaman azaldığında verimliliği arttırabilirler. Uzman sistemler, nadir bulunması zor bilgiyi iyi muhafaza edebilirler. (Foltin, 1994) En önemli yararlarından biri, sorunların çözümünde sağladığı üstün uzmanlık düzeyidir. Sistemin sağladığı destek, uzmanlık alanında en üstün bilgi ve yeteneğe sahip olan uzmanın uzmanlık düzeyindedir. Sistem bir sorun çözücü bilgi işleme modeli olarak alışan aynı zamanda ortam ve durumlardaki değişimler karşısında orun alanında ortaya çıkabilecek değişimleri öngörebilir. Uzman istem bir kurum içinde bu kuruma ait elemanlar tarafından geliştirildiğinde, kurumda o anda bulunan bilgi ve deneyim düzeyine erişebilir. Elemanlar bir süre sonra kurumdan ayrılırsalar bile bilgi kurumda kalır.

### Uzman sistemlerin uygulama alanları

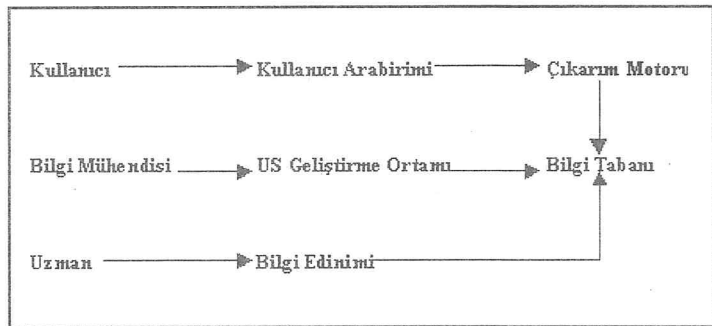
Uzman sistemler bir çok sahada değişik türleri ile uygulanabilirler.

Uygulama alanlarından bazıları şunlardır : havacılık ve uzay, tarım, banka, maliye, sigorta, biyoteknolojiler, kimya, hukuk, mevzuat, elektronik, jeoloji, enformatik, endüstri, matematik, tıp, askerlikle ilgili teknolojiler, öğretim ve enformasyon, meteoroloji vb. bilim dalları.

### Uzman sistemlerin öğeleri

Uzman sistemlerin çalışması, kendi alanlarında uzmanlaşmış kişilerden oluşan bir grubun yürüttüğü takım çalışmasına benzetilebilir. Bu takımın elemanları:

- **Uzman (Expert):** Uzman sistemlerin problem çözümü yaptığı alanlardaki bilgileri sağlayan kişilerdir. (Matematikçi, doktor, mühendis vb.)
- **Bilgi (Knowledge):** Uzman sistemin kullandığı, gücünü belirleyen unsur olan bilgidir.
- **Bilgi Tabanı (Knowledge Base):** Gerçeklere başvurmak için kurallar ve özel bir görev hakkında gerçekler içerir.
- **Çıkarım Motoru (Inference Engine):** Uzman sistemin, hafızaya depolanmış bilgi tabanı kurallarından istenilen bilgiye ulaşılmasını mümkün kılar.
- **Kullanıcı Arabirimi (User Interface):** Çıkarım motoru ve sistem kullanıcısı arasında bir iletişim kurur.
- **Bilgi Mühendisi (Knowledge Engineer):** Uzman kişi ile etkileşime geçerek derlediği bilgiyi, bilgisayarların işleyebileceği şekilde düzenleyen kişidir.
- **Kullanıcı (User):** Kendi ihtiyacına göre uzman sistemi kullanacak kişilerdir.



Şekil 1: Uzman sistemin ana parçaları.

### Uzman sistem geliştirme araçları

Uzman sistem geliştirme araçları uzman sistem hazırlama işini kolaylaştıran programlama ortamlarıdır. Bu araçlar dört sınıfa ayrılabilir. (Waterman, 1986)

- Programlama Dilleri
- Bilgi Mühendisliği Dilleri
- Sistem Geliştirme Yardımcıları
- Destek Araçları
- Uzman Sistem Kabukları

**Programlama Dilleri:** Uzman sistem geliştirilmesinde kullanılan programlama dilleri ya Pascal, C gibi sorun tabanlı diller veya Lisp, Prolog, Clips gibi simgesel işlem dilleri yapay zeka uygulamalarında çok kullanılır.

**Bilgi Mühendisliği Dilleri:** Bir bilgi mühendisliği dili, geniş bir destek ortamı ile tümleştirilmiş bir uzman sistem geliştirilmesinde kullanılan çok gelişmiş bir araçtır.

**Sistem Geliştirme Yardımcıları:** Tasarım yardımcıları, bilgi toplama yardımcıları vs.

**Destek Araçları:** Destek araçları, programlamayı kolaylaştıran araçlardan oluşur. Bu destek ortamları diğer araçlarla birlikte gelen ve onların kullanışlı, daha verimli olmasını sağlayan yazılım paketleridir.

**Uzman Sistem Kabukları:** Uzman sistem kabukları, bir uzman sistemden bilgilerin çıkarılmasıyla geriye kalan denetim ve çıkarım öğelerinden oluşur. Uzman sistem teknolojisindeki gelişmeler pek çok farklı alanda kullanılabilir, uzman sistem geliştirme araçlarından hemen hepsini birleştiren, içleri bilgi mühendislerince doldurulmaya hazır kabukların ortaya çıkmasını sağladı. Her donanım ortamına taşınabilecek geleneksel dillerle hazırlanan bu kabuklar uzman sistem geliştirmede programlama ve bilgi mühendisliği dillerinin tek başlarına kullanımını azalttı. (Parsaye, 1988)

Çizelge-1: Anlık hava tahmin tablosu

BASINÇ (Mb)	BASINÇ TANDANSI	RÜZGAR YÖNÜ	GÖKYÜZÜ	24 SAATLİK HAVA TAHMİNİ
1023 veya >	Yükselme,sabit veya alçalma	Herhangi bir yön	açık, yüksek bulutlar, cu	1, 18, 19
1022-1016	Yükselme veya sabit	SW, W, NW, N	açık, yüksek bulutlar veya cu	1, 18
1022-1016	Alçalma	SW, S, SE	açık, yüksek bulutlar	1, 3, 17, 5
1022-1016	Alçalma	SW, S, SE	orta bulutlar veya alçak bulutlar	6, 17
1022-1016	Alçalma	E, NE	orta bulutlar veya alçak bulutlar	6, 14
1022-1016	Alçalma	E, NE	açık veya yüksek bulutlar	3, 5, 14
1015-1009	Yükselme	SW, W, NW, N	Açık	1, 14
1015- 1009	Yükselme	SW, W, NW, N	Kapalı	2, 16
1015- 1009	Yükselme	SW, W, NW, N	Yağışlı	11, 2, 16
1015- 1009	Alçalma	herhangi bir yön	Açık	3, 17, 20, 21
1015- 1009	Alçalma	SW, S, SE	yüksek bulutlar	3, 17, 5
1015- 1009	Alçalma	SW, S, SE	orta bulutlar veya alçak bulutlar	7
1015- 1009	Alçalma	E, NE	orta bulutlar veya alçak bulutlar	7, 12, 14
1015- 1009	Alçalma	SE, E, NE	kapalı, yağışlı	9
1015- 1009	Alçalma	S, SW	kapalı, yağışlı	10, 13
1008 veya <	Yükselme	SW, W, NW, N	Açık	1, 12
1008 veya <	Yükselme	SW, W, NW, N	Kapalı	2, 12, 16
1008 veya <	Yükselme	SW, W, NW, N	yağışla kapalı	11, 12, 16
1008 veya <	Yükselme	NE	Kapalı	4, 12, 13, 14
1008 veya <	Yükselme	NE	yağışla kapalı	11, 12, 13, 14
1008 veya <	Yükselme	SW, S, SE	Açık	3, 6, 8, 12, 15
1008 veya <	Yükselme	SW, S, SE	Kapalı	7, 8, 12, 13
1008 veya <	Alçalma	SW, S, SE	yağışla kapalı	8, 10, 12, 13, 16
1008 veya <	Alçalma	N	Kapalı	4, 14
1008 veya <	Alçalma	E, NE	Kapalı	7, 12, 14
1008 veya <	Alçalma	E, NE	yağışla kapalı	8, 9, 12, 13

Çizelge-1'in devamı : Hava tahmini kodları

1- Açık veya parçalı bulutlu	8- Kuvvetli yağış ihtimali	15- Ilık veya sıcak hava devam edecek
2- Hava açılıyor	9- Yağış sürecek	16- Daha soğuğa dönüşecek
3- Bulutluluk artıyor	10- 12 saat içinde yağış duracak	17- Yavaşça sıcaklık yükselecek
4- Kapalılık devam edecek	11- 6 saat içinde yağış duracak	18- Sıcaklıkta çok az değişim
5- 4 saat içinde yağış ihtimali	12- Rüzgarlı	19- (Kışın) Serin veya soğuk hava devam
6- 12 saat içinde yağış ihtimali	13- W, NW veya N'a yön değişimi	20- (Kuru iklimde yazın) Açık veya parçalı bulutlu
7- 8 saat içinde yağış ihtimali	14- Serin veya soğuk hava devam	21- (Kuru iklimde yazın) Ilık veya sıcak hava devam edecek

**uygulama**

lık hava tahmin tablosu olarak geliştirilen tablo (Çizelge-1) 24 saatlik bir hava tahmini için kullanılabilen bir tablodur. Tablo değerleri, idealize edilmiş meteorolojik bilgilerden oluşmuştur. erilen bilgiler ve elde edilen sonuçların çoğu geçerli bir tahmindir. zellikle ilkbahar, sonbahar ve kış aylarında gelişmiş hava stemlerinin etkin olmadığı durumlarda iyi sonuçlar vermiştir. Yaz ylarında çok fazla ısınma nedeniyle oluşacak hava sistemlerinden olayı iyi sonuçlar vermeyebilir.

eliştirilen uzman sistem bu tablodaki bilgilerin bir uzmandan lmiş gibi yorumlanmış halidir. Söz konusu uzman sisteme gerekli ilgileri verdikten sonra, uzman sistem bu bilgiler ışığında uygun onuçları vermiştir. Bu sistem PROLOG yapay zeka dilinde eliştirilmiştir.

**KAYNAKLAR**

1. FOLTIN, J. C. 1994. The Future Expert Systems, National Public Accountant, 28, USA.
2. HATON, J. P., HATON M. C. 1991. Yapay Zeka, İletişim Yayınları, 70, İSTANBUL
3. KADIOĞLU, M. 1998. Günlük Hava Tahmini, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Maslak.
4. NOYES, L. J. 1988. Artificial Intelligence With Common Lisp, Fundamentals Of Symbolic And Numeric Processing, USA.
5. PARSAYE, K., CHIGNEL, M. 1988. Expert Systems For Experts, Willey, USA.
6. WATERMAN, D. A. 1986. A Guide To Expert Systems, Addison Westley, USA. ◀

# Nehir Tipi Santrallerde Kurulu Güç Optimizasyonu

Eşref Batur

Temelsu Uluslararası Mühendislik Hizmetleri A.Ş.

Mikdat Kadioğlu

İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

## ÖZET

Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde Isparta ve Antalya il sınırları içerisinde bulunan yukarı Köprüçay havzasının enerji potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla EİEİ Genel Müdürlüğü tarafından istikşaf aşamasında yapılan çalışmalar sonucunda önerilen tesislerden biri de Bolasan regülatörü ve hidroelektrik santralidir. Kasımlar barajı varsayılarak yapılan işletme çalışmaları sonucunda elde edilen Bolasan regülatörü giriş akımları kullanılarak hem Thomas-Fiering modeli ile türetilen sentetik serilerle hem de gözlenmiş akım serileri ile kurulu güç-enerji optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda optimum kurulu gücün 82 MW ve bu kurulu güçteki optimum ortalama yıllık toplam enerjinin ise sentetik serilerle 329 GWh, gözlenmiş serilerle 318 GWh olduğu belirlenmiştir.

## ABSTRACT

Because assessment of hydroelectric potential energy for Köprüçay catchment, which is located at Mediterranean region of Turkey and is surrounded Antalya and Isparta Cities, the one of foundations purposed at the results of studies made by EİEİ, is also Bolasan Weir and Bolasan HEP. Using input flows which are obtained from reservoir operation studies taking into Kasımlar HEP account, both synthetic series generated by Thomas-Fiering model and observed series are carried out install capacity-energy optimization. As a result of this optimization, install capacity are determined as 82 MW. Annual total energy for the install capacity are calculated 329 GWh by synthetic series, and 318 GWh by observed series.

## GİRİŞ

Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde Isparta ve Antalya il sınırları içerisinde bulunan yukarı Köprüçay havzasının enerji potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla EİEİ Genel Müdürlüğü tarafından istikşaf aşamasında yapılan çalışmalar sonucunda önerilen tesislerden biri de Bolasan regülatörü ve hidroelektrik santralidir (HES)'dir. Nehir tipi bir santral olan Bolasan hidroelektrik santraline su, depolamasız bir regülatör, iletim kanalı ve uzun bir basınçsız kanal vasıtasıyla aktarılacak ve 230 m'lik bir düşü ile enerji üretilecektir. Kasımlar barajı varsayılarak yapılan işletme çalışmaları sonucunda elde edilen 1948-96 periyotlu Bolasan regülatörü giriş akımları kullanılarak kurulu güç optimizasyonu yapılacaktır. Santralın kurulu gücü, akımların stokastik özelliklerinden dolayı gözlenmiş akım serileri yerine sentetik akım serilerinden yararlanarak belirlenmelidir.

Biriktirmenin mümkün olmadığı veya isalelerle inşasının daha ekonomik olduğu durumlarda isalelerin sonunda santraller inşa edilir. Bu santrallere nehir santralleri adı verilir. Bir nehir santralının kurulu gücü nehirde kanal veya kanalet ile taşınacak optimum debiye bağlıdır. Su kaynağı, ihtiyacımız kadar veya daha fazla ise ihtiyaçtan az bir su isale edip güç talebimizin az olduğu zamanlarda santral civarında ve isale kotunda yapılacak biriktirme tesisinde fazla suyu depo edip ihtiyacımızın fazla olduğu zamanlarda isale kanalının getirdiği debiye ihtiyaç kadar ilave yapmak veya santralın kapasitesini pik ihtiyacı karşılayacak şekilde düşünmek gerekir. Biriktirmenin mümkün olmadığı durumlarda ve planlama çalışmalarında türbin karakteristikleri belli olmadığı için santralın kurulu gücü (N:kw) hesaplanırken debi (Q:m<sup>3</sup>/s) ve düşü (H:m) parametrelerini içeren,

$$N = 8xQxH \quad (1)$$

ortalama formülü kullanılır (Adak ve Öztekin, 1977). Denk. 1'den örüldüğü gibi santralin kurulu gücünü etkileyen ana parametrelerdeki mevcut akım serisidir. Gözlenmiş akım serisi yeterli uzunlukta olmayabilir. Hatta yeterli uzunlukta kurak ve sulak periyotları da çermeyebilir. Bu yüzden bir nehir santralının optimum kurulu gücü belirleme çalışmalarında sadece gözlenmiş akım serilerinin kullanılması yerine sentetik akım serilerinin kullanılması daha hassas sonuçlara götürür.

Şünümüzde Türkiye'deki mevcut akım kayıtlarına bakılacak olursa en uzun akım gözlemlerinin 40-50 yıllık olduğu görülür. Bu da ancak bir kaç akarsu için geçerli bir durum olup diğer akarsulardaki kayıtlar çok daha kısa ve yer yer boşluktur. Bu da gerek planlama gerekse stikşaf aşamalarında hidrolojik çalışmaları güçleştirmektedir. Eksik akım verilerinin tamamlanması veya regresyon ile yeterli uzunluğa getirilmesi her zaman mümkün olmayabilir. Bu da akım modellerinin kullanımını zorunlu kılar. Akım modelleri arasında parametre sayısının az olması nedeniyle en popüler olanlar Markov modelleri olmuştur. Özellikle 1. ve 2. mertebe Markov modelleri ve bunların parametrelerinin yıl boyunca periyodik olarak değişen tipi olan Thomas-Fiering tipi modeller oldukça geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Bayazit, 1979).

Bu çalışmada, Thomas-Fiering modeli ile Bolasan regülatörü giriş akımları kullanılarak sentetik seriler türetilecek ve bu sentetik serilerle kurulu güç-enerji optimizasyonu yapılacaktır. Gözlenmiş akımlar ile yapılan optimizasyon sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

## ÇALIŞMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ

Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde Isparta ve Antalya il sınırları içerisinde bulunan proje alanı 37°17' - 37°50' enlemleri ile 31°00' - 31°25' boylamları arasında bulunan Yukarı Köprüçay havzasıdır. Dağlık ve engebeli bir yapısı olan proje alanının kuzey-batısında Eğridir gölü, kuzey-doğusunda Beyşehir gölleri yer almaktadır. Akış yukarısında Yılanlı ovası ve Değirmenözü düzlükleri, akış aşağısında ise Serik ile Bucak-Akbaşı ovaları bulunan proje alanı, Köprüçay vadisi ile güneyden Akdeniz'e açılmaktadır ve Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Sahil kısımları orografik, iç kısımlar ise konvektif yağışların etkisi altındadır. Bolasan regülatörü ve HES yağış alanının yıllık ortalama yağışı 1035 mm ve yıllık ortalama sıcaklığı ise 15°C'dir. Proje alanına en düşük yağış Temmuz ve Ağustos aylarında, en çok yağış ise Aralık ve Ocak aylarında düşmektedir (Temelsu, 1998).

## OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Bolasan hidroelektrik santralına (HES) su, depolamasız bir regülatör, iletim kanalı ve uzun bir basınçsız kanal vasıtasıyla aktarılacak ve

230 m'lik bir düşü ile enerji üretilecektir. Bu nedenle farklı kanal kapasiteleri ve bu kapasitelere karşılık gelen kurulu güç - enerji optimizasyonu yapılacaktır. Bunun için ilk olarak, Thomas-Fiering modeli ile gözlem serisine eşit uzunlukta çok sayıda sentetik seriler türetilcek ve bu serilerle optimizasyon yapılacaktır.

### Thomas-Fiering Modeli ile Sentetik Seri Türetilmesi

Thomas-Fiering modeli, aylık akımların yapısındaki periyodikliği harmonik analiz yapmadan dikkate alır. En basit hali ile model, 12 adet lineer regresyon denkleminin oluşur. N yıllık gözlem mevcut ise N adet Ocak ve N adet Aralık akımları göz önünde tutularak Ocak ayının akışlarının Aralık ayı akışları üzerine regresyonu yapılır. Thomas-Fiering modelinin genel ifadesi (Starosolszky, 1987; Fiering and Jackson, 1971),

$$Q_{j+1} = \bar{Q}_{j+1} + b_j(Q_j - \bar{Q}_j) + Z_j S_{j+1} \sqrt{1 - r_j^2} \quad (2)$$

$Q_j$  = j. aydaki toplam akım (hm<sup>3</sup>),

$Q_{j+1}$  = (j+1). aydaki toplam akım (hm<sup>3</sup>),

$\bar{Q}_j$  = (j). aydaki toplam akım (hm<sup>3</sup>),

$\bar{Q}_{j+1}$  = (j+1). aydaki toplam akım (hm<sup>3</sup>),

$$b_j = r_j \frac{S_{j+1}}{S_j},$$

$b_j$  = j. ve (j+1). aylar arasındaki regresyon katsayısı,

$S_j$  = j. ayın standart sapması,

$S_{j+1}$  = (j+1). ayın standart sapması,

$r_j$  = j. ve (j+1). aylar arasındaki korelasyon katsayısı,

$Z_j$  = Ortalaması sıfır ve varyansı 1 olan normal dağılmış rasgele değişken.

Denk.(1)'den görüleceği üzere aylık akımların normal dağılıma uyması gerekir. Aylık akımlar normal dağılıma uymuyorsa iki alternatif söz konusudur:

i) akımlar  $Q = Q_i^0$  şeklinde bir dönüşümle normal dağılmış akım verilerine dönüştürülebilir (Bayazit ve ark., 1997).

ii)  $Z_j$ 'ye uygun bir dönüşüm uygulayarak akım verileri normal dağılıma uygun hale getirilir. Aylık akımlar Gamma dağılımına uyuyorsa, Wilson ve Hilferty dönüşüm yöntemi, Log-normal dağılıma uyuyorsa moment transformasyon yöntemi kullanılabilir (McMahon ve Mein, 1978).

Bu modelin uygulanması için 1948-97 periyotlu Bolasan regülatörü işletme giriş akımlarının istatistiklerinden aritmetik ortalama, standart sapma, değişim ve çarpıklık katsayıları sırası ile aşağıda verilmiştir:

$$\bar{Q} = 22.9 \text{ m}^3/\text{s} \quad S = 13.6 \text{ m}^3/\text{s} \quad C_v = 0.59 \quad C_s = 2.40$$

Aylık akımların çarpıklık katsayısı çok yüksek olduğundan normal dağıldıkları kabul edilemez. Akımları normal hale dönüştürmek için Bayazit ve ark. (1997) tarafından belirtilen  $Q = Q_i^\theta$  dönüşüm uygulanmıştır. Deneme yoluyla  $\theta = -1.31$  için bu dönüşümün ( $Q = Q^{-1.31}$ ) gözlenmiş akımların çarpıklık katsayısını sıfıra çok yaklaştırdığı görülmüştür. Dönüşüm uygulandıktan sonra yeni istatistikler ise

$$\bar{Q} = 0.0332 \text{ m}^3/\text{s} \quad S = 0.0113 \text{ m}^3/\text{s} \quad CV = 0.34 \quad CS = -0.0023$$

olarak bulunmuştur.

Thomas-Fiering modeli dönüştürülmüş aylık işletme giriş akımlarına uygulanırken her bir ay için ( $j = 1, 2, \dots, 12$ ) aşağıdaki parametreler hesaplanmıştır:

Ortalama:

$$\bar{Q}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_{j,i} \quad (3)$$

Standart sapma:

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{j,i} - \bar{Q}_j)^2}{N}} \quad (4)$$

Önceki ay ile olan korelasyon katsayıları (Bayazit ve ark., 1997):

$$r_j = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{j,i} - \bar{Q}_j)(Q_{j+1,i} - \bar{Q}_{j+1})}{\left\{ \left[ \sum_{i=1}^N (Q_{j,i} - \bar{Q}_j)^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^N (Q_{j+1,i} - \bar{Q}_{j+1})^2 \right] \right\}^{1/2}} \quad (5)$$

Regresyon doğrularının eğimi:

$$b_j = r_j \frac{S_{j+1}}{S_j} \quad (6)$$

Her bir ay için hesaplanan ortalama, standart sapma, çarpıklık katsayısı, değişim katsayısı ve ardışık aylar arasındaki korelasyon katsayıları Tablo 1'de verilmiştir. İstatistiklerin aydan aya değişmesi aylık akımlar arasında periyodik bir bileşenin olduğunu göstermektedir. Ortalama ( $\bar{Q}_j$ ), diğer aylara nazaran kış ve ilkbahar aylarında oldukça büyük değerler almaktadır. Değişim katsayısı ( $C_v$ ) ise kış aylarında yüksek değerler alırken yaz aylarında düşük değerler almaktadır. İlkbahar ve Yaz aylarında 0.55-0.93 arasında yüksek korelasyon değerleri gözlenirken Sonbahar ve Kış aylarında daha düşük değerler gözlenmektedir. Yıl içinde en büyük korelasyon, Temmuz-Ağustos ( $r_{AT} = 0.93$ ) ayları arasında ve en düşük korelasyon ise Eylül-Ekim ( $r_{EE} = -0.07$ ) ayları arasındadır.

Tablo 1. Aylık istatistik büyüklükler

Ay	Ortalama ( $\bar{Q}_j$ ) (m <sup>3</sup> /s)	Standart Sapma ( $S_j$ ) (m <sup>3</sup> /s)	Çarpıklık Katsayısı ( $C_s$ ) (m <sup>3</sup> /s)	Değişim Katsayısı ( $C_v$ )	Korelasyon Katsayısı ( $r_j$ )
OCAK	44.28	39.12	1.43	0.88	$r_{OA} = 0.50$
ŞUBAT	39.97	26.34	1.10	0.66	$r_{ŞO} = 0.54$
MART	36.73	17.90	0.97	0.49	$r_{MŞ} = 0.43$
NİSAN	34.95	15.79	0.92	0.45	$r_{NM} = 0.55$
MAYIS	26.53	11.13	0.56	0.42	$r_{MN} = 0.60$
HAZİRAN	15.09	5.58	1.37	0.37	$r_{HM} = 0.71$
TEMMUZ	9.78	2.29	3.49	0.23	$r_{TH} = 0.80$
AĞUSTOS	8.15	1.34	4.05	0.16	$r_{AT} = 0.93$
EYLÜL	7.74	1.00	4.50	0.13	$r_{EA} = 0.92$
EKİM	8.33	1.88	4.07	0.23	$r_{EE} = -0.07$
KASIM	12.01	7.16	3.03	0.60	$r_{KE} = 0.10$
ARALIK	30.87	33.90	3.35	1.10	$r_{AK} = 0.32$



talaması sıfır ve varyansı 1 olan normal dağılım rasgele değişken ) değerleri üretilerek Denk. (2) ile dönüşüm uygulanmış işletme iş akımları kullanılarak 50 yıllık 1000 adet sentetik aylık akım risi üretilmiştir. Sentetik akım serileri üretilirken Bayazit ve ark, 1997) tarafından belirtildiği gibi üretilen akım değerleri bazen negatif olabilir. Böyle bir durumda o ay için pozitif bir değer elde ilinceye kadar negatif değeri kullanarak üretmeye devam edilmeli ya o ayın akışı sıfır alınmalıdır. Akımların logaritmik değerleri ile işılması halinde ise böyle bir durumdan kaçınılmış olur.

### Nehir Güç - Enerji Optimizasyonu

Nehir tipi santrallerin kurulu gücünün belirlenmesi çalışmalarında enerji için uygun bir düşü belirlendikten sonra akla gelen ikinci soru santralin kurulu gücünün kaç MW olacaktır. Bu da nehirden kanal alınacak debiye bağlıdır. O halde bir nehir santralının kurulu gücünün belirlenmesi, nehirden alınabilecek optimum debinin belirlenmesi demektir. Amaç, enerji üretilmesi olduğuna göre iradaki problem kurulu güç yani debi-enerji optimizasyon problemi. Optimizasyon çalışması iki türlü yapılabilir:

- gözlenmiş akım serisi ile
- sentetik akım serileri ile

Gözlenmiş akım serisi, yeterli uzunlukta olmayabilir. Hatta yeterli uzunlukta kurak veya sulak periyotları içermeyebilir. Eğer proje Yap-İlet-Devret (YAP) modeli ile yapılıyorsa yatırımcı gelecekte karşılaşabileceği en kritik periyotlarda üretebileceği minimum veya maksimum tersi seçilen kurulu güçte maksimum enerjiyi bilmek ister. Böyle bir soruya gözlenmiş akımlar ile cevap vermek oldukça zordur. Bu yüzden santralin kurulu gücünü belirlerken, ardışık en uzun sulak ve kurak periyotları içeren serilerle de çalışmak gerekir. Üretilen maksimum enerji buna bağlıdır. Ayrıca, sentetik serilerle çalışmanın bir

başka üstünlüğü ise seçilen bir risk seviyesinde optimum kararın verilmesine olanak sağlamasıdır. Bu düşüncelerden hareketle detayları yukarıda anlatılan Thomas-Fiering modeli ile Bolasan regülatörü giriş akımlarından faydalanarak 1000 adet gözlem serisine eşit uzunlukta sentetik seri üretilmiştir. Üretilen bu sentetik seriler, ilgili kanal kapasitesine göre süzülüp

$$E = 8.34 \times Q \times H \times T \times 10^{-6} \quad (7)$$

Q : Debi (m<sup>3</sup>/s),

H : Düşü (m),

T : Ay içindeki toplam saat (30x24, 31x24 ve 28x24),

E : Enerji (GWh).

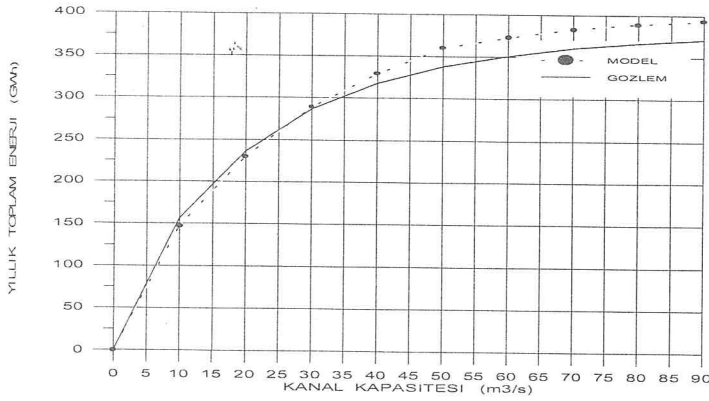
denk.(7) ile enerji serilerine dönüştürülmüştür. Her serinin yıllık ortalama toplam enerjisi hesaplanarak 1000 elemanlı yeni bir enerji serisi elde edilmiş ve bu serinin aritmetik ortalaması alınarak ilgili kanal kapasitesi için sentetik yıllık toplam enerji hesaplanmıştır. Benzer işlemler tüm kanal kapasiteleri için tekrarlanarak sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Örneğin, kanal kapasitesi 40 m<sup>3</sup>/s seçilerek regülatör giriş akımlarından faydalanarak 1000 adet gözlenmiş seriye eşit uzunlukta sentetik seri üretilmiştir. Daha sonra 40 m<sup>3</sup>/s'den daha büyük debiler 40 m<sup>3</sup>/s alınarak 40 m<sup>3</sup>/s'ye göre süzülmüş serilerin yıllık toplam enerjisi hesaplanarak 1000 elemanlı yeni bir yıllık toplam enerji serisi elde edilmiştir. Son olarak bu serinin aritmetik ortalaması alınarak Tablo 2'deki 329 GWh enerji hesaplanmıştır. Benzer işlemler diğer kanal kapasiteleri için tekrarlanmıştır. Gözlenmiş regülatör giriş akımlarından elde edilen sonuçlar da aynı tabloda verilmiştir. Tablo 2'de verilen bilgilerden Şekil 1 elde edilmiştir.

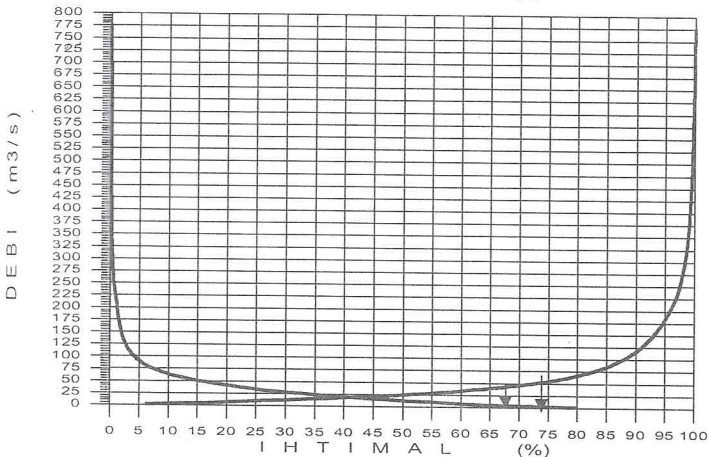
Tablo 2. Sentetik ve gözlenmiş akım serileri ile çeşitli kanal kapasiteleri için hesaplanan yıllık toplam enerjiler

Kanal Kapasitesi (m <sup>3</sup> /s)	Kurulu Güç (MW)	Yıllık Toplam Enerji (GWh)	
		Sentetik Seri	Gözlenmiş Seri
0	0	0	0
10	19	147	156
20	38	230	236
30	58	289	287
40	82*	329	318
50	96	360	338
60	115	373	351
70	134	383	361
80	153	389	367
90	173	393	371

\* 2x35 MW + 2x6 MW



Şekil 1. Kanal kapasitesi ile yıllık toplam enerjinin değişimi



Şekil 2. 1919 nolu hidrometri istasyonunun debi süreklilik - kapasite verim eğrisi, (Temelsu, 1998)

Şekil 1'den görüldüğü gibi kanal kapasitesi 50 m³/s'nin üzerinde seçildiği takdirde fazla enerji üretilememektedir. Yani optimum kanal kapasitesinin 40 m³/s veya 50 m³/s seçilmesi gerektiği görülmektedir. Hangi debinin optimum olduğuna karar verebilmek için Şekil 2'deki gözlenmiş akımların debi süreklilik ve kapasite verim eğrisine bakmak gerekir. Şekil 2'ye göre kanal kapasitesi 50 m³/s seçilirse yıllık toplam suyun %73'ü, 40 m³/s seçilirse yıllık toplam suyun %68'i kullanılabilir. Yani kanal kapasitesinde 10 m³/s'lik bir farka rağmen kullanılabilir su miktarında %7 gibi küçük bir fark olmaktadır.

Kanal ile çekilebilecek yıllık toplam su miktarında fazla bir fark olmadığına göre maliyeti gereksiz yere arttırmamak için optimum kanal kapasitesi 40 m³/s ve buna karşılık gelen 82 MW kurulu güç seçilmelidir. Bu kurulu güçteki optimum yıllık toplam enerji ise sentetik serilerle 329 GWh ve gözlenmiş serilerle 318 GWh olarak hesaplanmıştır.

Bazı durumlarda yatırımcı seçilen bu kurulu güçte %90 güvenilirlik ile üretebileceği maksimum enerjiyi bilmek ister. Bu soruya, sentetik serilerden en son elde edilen yıllık toplam enerji serisinin dağılım

fonksiyonu çizilerek cevap verilebilir. Bazı durumlarda da akımların en az geldiği kurak periyotlarda maksimum enerjiyi bilmek ister. Hatta en uzun kritik kurak periyodu ve bunun tekrarlanma frekansını bilmek ister. Yap-İşlet-Devret modeli ile yapılan bir projede yatırımcı, bu ve buna benzer bir çok kritik sorunun cevabını bilerek işe başlamak ister. Çünkü 50 yıllık ömrü olan bir barajın ilk 25 yılında kara geçmek zorundadır. Tüm bu sorulara gözlenmiş akımlarla cevap vermek oldukça zordur. Bu yüzden gelecekteki senaryoları da dikkate alan sentetik serilerle çalışmak her zaman faydalıdır.

## SONUÇ

Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde Isparta ve Antalya il sınırları içerisinde bulunan yukarı Köprüçay havzasının enerji potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla EİEİ Genel Müdürlüğü tarafından istikşaf aşamasında yapılan çalışmalar sonucunda önerilen tesislerden biri de Bolasan regülatörü ve hidroelektrik santralidir. Nehir tipi bir santral olan Bolasan hidroelektrik santraline su, depolamasız bir regülatör, iletim kanalı ve uzun bir basınçsız kanal vasıtasıyla aktarılacak ve 230 m'lik bir düşü ile enerji üretilecektir. Kasımlar barajı varsayılarak yapılan işletme çalışmaları sonucunda elde edilen 1948-97 periyotlu Bolasan regülatörü giriş akımları kullanılarak Thomas-Fiering modeli ile 1000 adet sentetik seri türetilmiş ve her bir seri değişik kanal kapasitelerine göre süzülüp enerji serilerine dönüştürülmüş ve yıllık toplam enerjilerinin aritmetik ortalaması alınarak her bir kanal kapasitesi için yıllık ortalama toplam enerji hesaplanarak kurulu güç-enerji optimizasyonu tamamlanmıştır. Optimizasyon sonucunda optimum kurulu gücün 82 MW ve bu kurulu güçteki optimum ortalama yıllık toplam enerjinin ise 329 GWh olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Adak, F. ve Öztekin, S., 1977: Depolama Tesislerinde Kapasite Tayini ve İşletme Çalışmaları. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 108 s.
- Bayazıt, M., 1979: Sentetik Hidrolojiye Eleştirel Bir Bakış. Birinci Ulusal Hidroloji Kongresi, 12-24 Kasım 1979, İstanbul, 1-17.
- Bayazıt, M., Avcı, İ., Şen, Z., 1997: Hidroloji Uygulamaları, İstanbul Teknik Üniversitesi, 286 s.
- Fiering, B.M. and Jackson, B.B. 1971: Synthetic Streamflows, Water Resources Monograph Series, U.S.A., 95 p.
- McMahon, T.A. and Mein, R.G., 1978: Reservoir Capacity and Yield. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, U.S.A., 207 p.
- Starosolszky, Ö., 1987: Applied Surface Hydrology. Water Resources Publications, Colorado, U.S.A., 815 p.
- Temelsu, 1998: Bolasan regülatörü ve HES fizibilite raporu, Temelsu A.Ş., Ankara. ◀◀



İYİ  
bir  
internet  
servis sağlayıcı  
değiliz!

EN  
İYİSİYİZ

Tecrübe  
Güven ve  
Hızla  
tanışmak için  
bizi  
ARAYINIZ !



ODTÜ Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı 06531 ANKARA

Tel: 0 312 2101048 Fax: 0 312 2101049

<http://www.tr-net.net.tr>

e-mail : [sales@tr-net.net.tr](mailto:sales@tr-net.net.tr)

TR-net, ODTÜ Geliştirme Vakfı kuruluşu olan "Orta Doğu Yazılım Hizmetleri A.Ş." nin Internet servisedir.