

# Dünyamızın Koruyucu Meleği Ozon Tabakası

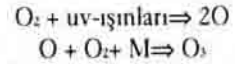
Namık K. Aras  
ODTÜ Kimya Bölümü

**O**ZON, O<sub>3</sub> formülünde, üç oksijen atomundan oluşan bir moleküldür. Dünyayı saran atmosferde çok az ozon vardır ve bu tabaka bir atmosfer basınç altında, yani normal hava basıncında sıkıştırıldığında ancak 3 mm kalınlığında bir örtü oluşturur. Ozon bu kadar az olmakla beraber, yaşam üzerinde çok önemli bir rol oynar. Bunun nedeni, ozon, oksijenle birlikte, güneşten gelen ultraviyole yani morötesi ışınların büyük bir kısmını stratosferde absorbe etmesi, böylece yakıcı ve tehlikeli morötesi ışınların yeryüzüne ulaşmasını önlemesidir. Eğer koruyucu ozon tabakası olmasaydı karadaki insan, hayvan ve bitki dünyası belki de olmayacaktı. Bu nedenle atmosferdeki ozon değişimine etki eden kimyasal olayları belirlemek ve incelemek çok önemli olmaktadır.

İşte 1995 Nobel Kimya Ödülü'nü paylaşan Profesör Paul Crutzen, Profesör Mario Molina ve Profesör Sherwood Rowland, atmosferde ozon oluşumu ve parçalanmasının kimyasal reaksiyonlarla açıklanmasında çok önemli katkıları olan üç bilim adamıdır. Çalışmanın en önemli yanı, günlük yaşamda kullandığımız bazı kimyasal maddelerin ozon değişimi reaksiyonlarında etkin rol oynadığını ve bu maddelerin çok ince "koruyucu meleğimiz" ozon tabakasının ciddi olarak azalmasına yol açtığını açıkça belirlenmesidir. Bu bilim adamları, ozon tabakasının incelmeye neden olan kimyasal reaksiyonların mekanizmalarını açıklayarak, belki de canlı hayatın yok olmasını önlemişlerdir.

## Bu Bilgi Nasıl Gelişti?

Ozon, bildiğimiz oksijen molekülünün (O<sub>2</sub>), güneşten gelen mor ötesi ışınlar tarafından atmosferde parçalanması sonucu oluşan oksijen atomlarının (O) tekrar oksijen molekülleri ile birleşmesi ile oluşur.



Burada M, N<sub>2</sub> veya O<sub>2</sub> gibi havada bulunan molekülleri göstermektedir.

İngiliz fizikçisi Sidney Chapman 1930'da, ozonun atmosferde fotokimyasal reaksiyonlar sonucu oluştuğunu ve aynı zamanda parçalandığını göstermişti. Chapman'ın teorisi en yüksek ozon konsantrasyonunun atmosferde 15-50 km arasında olması gerektiğini gösteriyordu. Fakat sonraki çalışmalar Chapman'ın buluşlarından farklı sonuçlar verdi ve deneysel olarak bulunan ozon konsantrasyonunun teorik olarak bulunan miktardan çok daha az olduğu anlaşıldı. O halde, ozon miktarını azaltan başka fotokimyasal reaksiyonların olması gerekirdi. 1935'lerde Belçikalı bilim adamı Marcel Nicolet, ozonun parçalanmasına OH ve HO<sub>2</sub> gibi hidrojen radikallerin de yardımcı olabileceğini gösterdi.

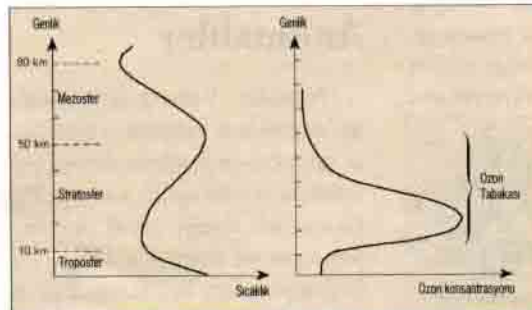
Bu alanda yapılan en önemli araştırmalardan biri de 1970'lerde Hollandalı bilim adamı Paul Crutzen'in, NO ve NO<sub>2</sub> gibi azot oksitlerin ozonun azalmasında katalitik görev yaptıklarını, yani kendileri yok olmadıkları halde ozonun parçalanmasına yardım ettiklerini göstermesidir.



1995  
NOBEL  
ÖDÜLLERİ

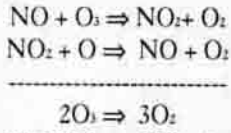


KİMYA



Atmosferin çeşitli katmanlarında sıcaklık ve ozon konsantrasyonlarının değişimi. Görüldüğü gibi "ozon tabakası" 15-40 km arasındadır.





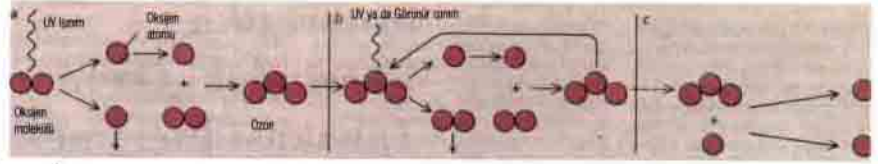
Havadaki NO ve NO<sub>2</sub>, kararlı olan N<sub>2</sub>O'dan yeryüzünde mikrobiyolojik değişimler sonucu oluşmaktadır. Havadaki ozon tabakasıyla topraktaki mikroorganizmalar arasında Crutzen tarafından bulunan bu ilişki, daha sonraki yıllarda hızla yapılan biyokimyasal çevrim çalışmalarının esasını oluşturacaktır.

## Süpersonik Uçakların Etkisi?

Azot oksitlerin ozonu parçaladığını gösteren bu sonuçlar, Amerikalı araştırmacı Harold Johnston tarafından da bulunmuştur. Johnston, 1971'de o zamanlar yapımına başlanan süpersonik uçakların yerden 20 km yükseklikte uçarken azot oksit meydana getireceklerini ve dolayısıyla ozon tabakasının azalmasına yol açacaklarını göstermiştir. Crutzen ve Johnston'nun çalışmaları, araştırmacılar arasında büyük tartışmalara, aynı zamanda atmosfer kimyası hakkında daha derin çalışmaların başlamasına neden olmuştur. Daha sonraları süpersonik uçakların yapımının durdurulmasına, bu çalışmalar ve uçakların oldukça pahalı olması sebep olmuştur.

## Buzdolapları Ozon Tabakasını İnceltebilir mi?

Ozon kimyası konusunda en önemli çalışmalardan biri de 1974 yılında Mario Molina ve Sherwood Rowland tarafından Nature dergisinde yayımlandı. Bu çalışmaya göre, buzdolapları ve spray



Ozonun gerek oluşumu ve gerekse parçalanması sırasında yüksek enerjili morötesi ışınları absorbe ederek bunların yeryüzüne ulaşmalarını önlemektedir. (a) Morötesi ışınları oksijen (O<sub>2</sub>) molekülüne çarparak Oksijen atomu (O) oluşturmaktadır. Oksijen atomunun tekrar oksijen molekülü ile birleşmesinden ozon (O<sub>3</sub>) meydana gelir. (b) Ozon, morötesi veya görünür ışınlarla tekrar parçalanarak oksijen atomları ve yine ozon molekülleri meydana gelmektedir. (c) Ozon oksijen atomu ile çarpışarak "yok olmaktadır".

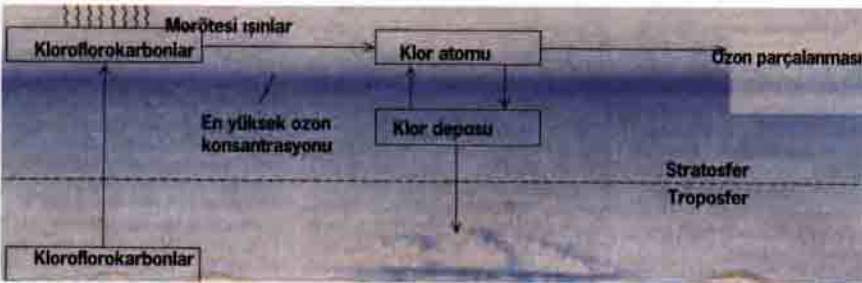
kutularda ortamı soğutmak için kullanılan kloroflorokarbon (CFC), diğer adıyla freon gazları ozon tabakasını mahvediyorlardı. Kloroflorokarbonlar, isminden de anlaşılacağı gibi klor, flor ve karbon atomlarından oluşmaktadır. Bunlar geçen 65 yıldan beri buzdolapları, klimalar, spray kutularında soğutucu ve elektronik parçaları temizleyici olarak kullanılıyordu. Molina ve Rowland bu sonuca diğer iki araştırmacının çalışmalarına dayanarak varmışlardı. Şimdi bu öykünün başına dönelim.

1972 yılında İngiliz bilim adamı James Lovelock atmosferde çok düşük konsantrasyonlarda organik gazları ölçebilen bir elektron tutucu detektörü (electron capture detector) yapmış ve bununla trikloroflorometan, Cl<sub>3</sub>FC, gibi oldukça kararlı gazların dünya atmosferine yayıldığını göstermişti. O yıllarda University of California, Irvine kampüsü Kimya bölümündeki Profesör Rowland, araştırma alanı radyokimya olmasına rağmen, CFC'lerin dünya atmosferine yayılabilmeleri dikkatini çekince bu konuda araştırma yapmak istemişti. İşte o yıl, doktorasını lazer konusunda Berkeley'de tamamlayan Molina, Rowland'ın grubuna katılmış ve radyokimya veya CFC konularından birini seçerek araştırma yapabileceğini söylemişti. Molina, ileride kendilerini Nobel ödülü almaya kadar götürecek CFC'lerin ne olduğu hakkındaki bu çalışmaya Ekim 1973'te başladı. İlk çalışmalar CFC'lerin yağmur damlaları içinde çözülmesi veya oksidasyona uğramasının mümkün olmadığını ancak stratosferde 25-30 km

yüksekliklerde ultraviyole yani morötesi ışınların etkisiyle, fotokimyasal yolla parçalanabileceğini gösteriyordu. CFC'lerin daha aşağılarda değil de 20-30 km yüksekliklerde parçalanmasının nedeni, o yüksekliklerdeki ozon tabakasının mor ötesi ışınları tutmaları ve daha aşağılara inmesini önlemiş olmaları idi. Rowland ve Molina bu sonuçları hemen yayınlamadan önce, "Acaba CFC'lerin fotokimyasal yolla parçalanması sonucu oluşan klor atomlarına ne oluyordu?" sorusuna yanıt aramak istediler. Hemen ilk günlerde klor atomunun ozonla reaksiyona girerek klor oksitleri meydana getirdiğini, klor oksitlerin ise oksijen atomu ile birleşerek tekrar klor atomları oluştuğunu gördüler. İşte bu zincirleme reaksiyon, ozon meydana gelmesi ve azalması reaksiyonlarını incelemenin başlangıcı oldu. 1973 yılbaşında bu sonuçları tartışmak için Berkeley'ye giden Rowland ve Molina, yaptıkları çalışmalarını yukarıda süpersonik uçaklarla ilgili çalışmasını aktardığımız Profesör Harold Johnston'la tartıştılar. Johnston üç ay önce aynı konuları, Michigan Üniversitesi'nden Richard Stolarski ve Ralph Cicerone ile tartıştıklarını ve onların da serbest klor atomlarının atmosferde, azot oksitleri gibi katalitik yolla ozonu parçalayabileceklerini gösterdiklerini söylüyordu. Fakat Stolarski ve Cicerone klor atomlarının kaynağının ya volkanik patlamalar sonucu açığa çıkan HCl gazı veya roket yakıtı olarak kullanılan amonyum perklorat olacağını tahmin ediyorlardı..

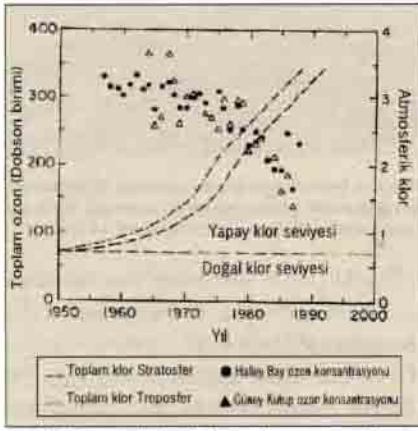
Ocak 1974'te Nature dergisine gönderilen makale ancak Haziran 1974'te basılabildi. Bu arada Molina ve Rowland çok daha ilginç sonuçlar elde ederek 35 sayfa tutan kapsamlı bir makaleyi Şubat 1975'de Reviews of Geophysics and Space Physics'te yayınladılar.

Molina ve Rowland CFC gazlarının yavaş yavaş atmosferin üst tabakalarına yükselebileceği ve orada morötesi ışınların etkisiyle parçalanarak serbest klor atomlarının oluşacağı sonucuna vardılar. CFC gazları, kararlı, hemen hemen hiç



Sentetik olarak yapılan ve soğutucu olarak kullanılan kloroflorokarbonlar (CFC), ozon tabakasını inceltmesinde önemli rol oynamaktadır. Troposferden atıldıktan sonra parçalanmadan kalmakta ve zamanla üst stratosfere, yani ozon tabakasını olduğu bölgeye kadar çıkmaktadır. Burada CFC ler mor ötesi ışınlarla parçalanmakta ve oluşan serbest klor atomları ozonu parçalamaktadır.





Antarktika'da Kutup ve Halley Bay'de toplam ozon konsantrasyonunun yıllara göre değişimi. Bir Dobson ünitesi, verilen atmosfer parçasındaki ozon tabakasının normal şartlar (0 C ve 1 atmosfer basınç) altında toplanmasıyla elde edilebileceği kalınlığın bir milimetrenin yüzde biri yani, 0.001 cm cinsinden ifadesidir. 1950'lerden itibaren endüstrinin gelişmesi ile CFClerin kullanımı da artmıştır. Atmosferdeki klor miktarının artması ile ozon miktarının azalması büyük bir paralellik göstermektedir.

bir kimyasal madde ile normal şartlarda reaksiyona girmemeleri nedeniyle endüstride çok geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. Ne yazık ki, bu özelliği nedeniyle stratosferin yüksekliklerine kadar çıkabilmeleri ozon tabakasının incelmesine neden oluyordu.

Bu çalışmalar çeşitli bilimsel toplantılarda tartışılmış ve hemen 1975-76 yıllarında, CFC gazlarının üretilmesinin Amerika'da durdurulması konusunda çalışmalara başlanmıştır. Başlangıçta CFC üreten DuPont gibi büyük firmalar ve otomobil klimalarında CFC kullanan endüstriler buna çok itiraz ettiler. 1990'lara kadar otomobil klimalarında CFC kullanımında ısrar eden firmalar, ozon delinmesine kendilerinin değil de spray kutularından açığa çıkan CFC'lerin neden olduğunu ispat etmeye çalıştılar. New York Times ve Los Angeles Times gibi etkili gazeteler ozon azalmasına CFC'lerin neden olduğunu ve üretimin durdurulması gerektiğini yazmalarına rağmen, The Washington Post hala buna gerek olmadığını savunuyordu. Fakat Amerikan Federal Hükümeti, 1978'den itibaren CFC üretiminin kontrol altına alınacağını açıkladı. Bu gibi önlemler hızla Kanada, İsveç ve Norveç gibi ülkelerde de alınmaya başladı.

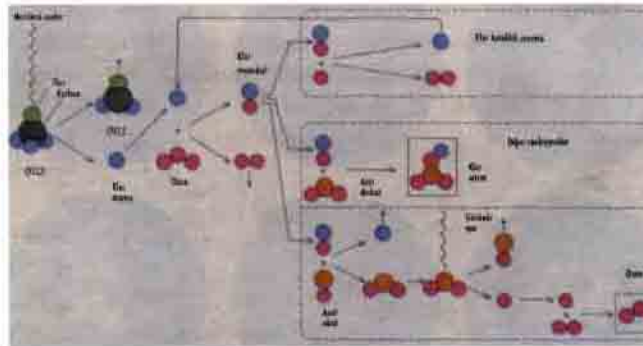
Bugün biz, bu bilim adamlarının doğru olduğunu ve belki de ozon tabakasındaki azalmanın doğuracağı riskin düşünülenden daha da fazla olacağını biliyoruz.

## Antarktika Üzerindeki Ozon Tabakası İncelmesi

Molina ve Rowland'ın yaptığı çalışmaları 1970 ve 1980'lerde CFC gazlarının kullanımını sınırlayıcı bazı hükümlerin getirilmesine neden oldu. Fakat 1985'te "büyük olay" anlaşılinceye kadar uluslararası çevreler CFC gazlarının kullanımının azaltılması yönünde çok ciddi davranmadılar. 1985'te İngiliz Joseph Farman ve arkadaşları Antarktika üzerindeki ozon tabakasında büyük bir inceltme olduğunu yani bir "ozon deliği" oluştuğunu açıkladılar. Ozon azalması, mevsimsel olsa bile, CFC etkisini hesaba katarak bulunan rakamlardan çok daha fazla idi. Bu doğal bir olay mı yoksa çevreye atılan gazların etkisi miydi? Crutzen, Molina, Rowland ve Susan Salamon, James Anderson gibi Amerikalı araştırmacıların yaptığı çalışmalarla durum aydınlanmış ve ozon azalmasının, klor ve brom gibi endüstriyel atık gazların ozonla reaksiyona girmesinden olduğu anlaşılmıştır.

## Polar Stratosferik Bulutlar (PCS)

Antarktika'daki ozon tabakasının çok hızlı bir şekilde incelmelerini açıklamak o kadar kolay olmamıştır. Crutzen ve arkadaşları ozon azalmasının bulut parçacıkları üzerinde olabilecek bir kimyasal reaksiyondan kaynaklanabileceğini göstermişlerdir. Bu da sıcaklığın çok düşmesi sonucu havadaki ne-



CFC'lerin parçalanmasından oluşan klor atomları hem ozonun parçalanmasına hem de tekrar oluşmasına neden olmaktadır. Klor atomları, şeklin sol en üstünde görüldüğü gibi, ozonu parçalamakta ve oksijen molekülü ve klor monoksit (ClO) meydana gelmektedir. ClO oksijen atomları ile reaksiyona girerek tekrar klor atomları oluşur (sağ en üst) ve baştaki ozon parçalanması reaksiyonu devam eder. Fakat diğer kimyasal reaksiyonlar, klor katalitik çevrimini yavaşlatır. Örneğin ClO, azot dioksit (NO<sub>2</sub>) reaksiyona girerek klor nitrat oluşturur (sağ orta), veya azot oksit (NO) birleşerek tekrar ozon oluşumunu sağlar. Fakat, Antarktika'da ki hava koşulları nedeniyle son iki kutuda gösterilen reaksiyonlar çok az etkili olmakta ve klor atomunun katalitik etkisi altında ozon parçalanması devam etmektedir.



Antarktika'daki çok soğuk hava nedeniyle, havadaki nem ve nitrik asit gibi diğer gazlar kondanse olmakta ve "Polar Stratosferik Bulutlar" PCS meydana getirmektedir. Klor atomları ile ozonun parçalanması, bu bulutlarda daha hızlı olmaktadır. Brom atomları da aynı etkiyi yapmaktadır.

min kondanse olması ve nitrik asitle "Polar Stratosferik Bulutlar"ın oluşması ile mümkün olmaktadır. Ozonun parçalanmasına neden olan kimyasal reaksiyonlar bulut parçacıkları üzerinde daha da hızlı olmaktadır. Bu, atmosfer kimyasında yeni bir alanın, yani parçacık yüzeyleri üzerinde heterojen kimyasal reaksiyonların, doğmasına sebep olmuştur.

Filipinler'de Pinatubo dağındaki volkanın 1991'de faaliyete geçmesi, volkanların ozon azalmasına etkisi fikrini tekrar gündeme getirmiştir. Volkanik olaylarda stratosfere HCl halinde klor geçmesi önemli değildi. Çünkü yapılan araştırmalar, 1977'den beri atmosferde devamlı bir klor artımını gösteriyordu ve Filipin volkanından daha büyük olan 1982 Meksika El Chichon volkanı, atmosferdeki klor miktarının artmasına çok az etki etmişti. Fakat, volkanlardan çıkan küllükürt dioksit gazları sülfürik asite dönüşmekte, bu da stratosferde sülfat aerosolleri meydana getirmektedir. Böylece polar stratosferik bulut yüzeyleri artmakta ve dolayısıyla klorun ozonu parçalaması hızlanmaktadır. 21. yüzyıl başlarında, ki o zaman atmosferdeki klor miktarı maksimuma erişecek, olacak bir büyük volkan patlaması ozon tabakası incelmesine çok etki edecektir.

## Ozon Tabakası ve İklim Değişimi

Ozon tabakasındaki bu inceltme, iklimi de etkilemektedir. Ozon, karbon dioksit ve metan gibi sera etkisi olan gazlardan olup, yeryüzünde sıcaklığın artmasına yol açmaktadır. Model çalışmaları göstermiştir ki, iklim değişimi troposferdeki ozon deği-



şimine çok bağlıdır. Geçen yüzyıl içinde taşıt araçlarının sayıca çok artması, endüstrinin gelişmesi ve tropik bölgelerdeki biyomasın yakılması sonucu hidrokarbonların kimyasal reaksiyonları sonucu ozon konsantrasyonunda bir artma gözlenmiştir. Troposferdeki bu ozon artışı başlıbaşına bir çevre problemi olmakta, bitki ve insana zarar vermektedir. Paul Crutzen bu kimyasal reaksiyonların mekanizmalarının açıklanmasında son derece önemli araştırmalar yapmıştır.

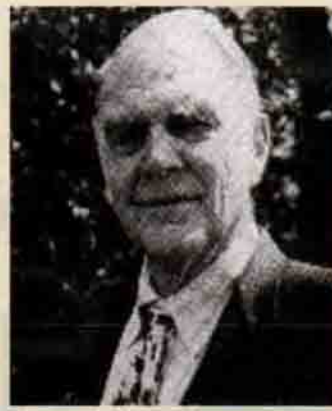
## Gelecekte Ne Olabilir?

Özellikle Crutzen, Molina, Rowland ve diğer araştırmacıların yaptıkları çalışmalar sonucunda gerek stratosferdeki ozon tabakası incelmeleri ve gerekse troposferdeki ozon miktarı artması daha iyi anlaşılabilir ve CFC gibi stratosferdeki ozonu parçalayan gazların kullanımının azaltılması yönünde kararlar alınmaya başlanmıştır. Birleşmiş Milletler'ce ozon tabakasını koruma protokolu hazırlanmış ve 1987'de Kanada'nın Montreal şehrinde imzalanmıştır. Montreal Protokolü adıyla anılan bu belge Türkiye tarafından da imzalanmıştır. Bu Protokole göre ozon tabakasının incelmeye neden olan CFC gazlarının kullanımı bu yüzyılın sonuna kadar % 50 azaltılmalıdır. Fakat Montreal Protokolü tartışmaları sırasında ortaya çıkan Antarktika'daki ozon tabakasının süratle incelmeye girmesi, konunun tekrar ele alınmasını gerektirmiştir. Protokol 1990 Londra toplantısında kuvvetlendirilerek, CFC gaz-

larının 1990'lar sonunda kullanımının tümüyle yasaklanmasına; 1992 Kopenhag'da yapılan toplantıda da, CFC üretiminin 1996 dan itibaren tümüyle durdurulmasına karar verilmiştir.

Daha 1988'de CFC gazlarının ozon tabakasının incelmeye başlıca nedenlerinden biri, belki de en önemlisi olduğu keşilmiştir. Daha önceleri CFC'lerin ozon tabakasının incelmeye etki etmeyeceğini savunan dünyanın en çok CFC üreticisi DuPont bilimsel gerçekler karşısında hemen harekete geçmiş ve o sene üretimi durdurmuş, bunu diğer belli başlı Amerikan firmaları da takip etmiştir. CFC üreten firmalar, 1970'den beri CFC'lerin yerini alabilecek yeni bileşikler bulmak için uzun araştırmalar yapmışlar ve yeni bileşikler de bulmuşlardır. Bunlar arasında Hidrokloroflorokarbonlar (HCF) ve hidrofolorokarbonlar (HFC) vardır.  $CH_2FCF_2$  bunlardan biridir. Bu ve daha yeni maddeler üzerinde toksikolojik ve diğer araştırmalar hızla devam etmektedir.

CFC gazlarının stratosfere ulaşmaları uzun zaman aldığına göre, şimdiye kadar kullanılan CFC'ler nedeniyle ozon tabakası incelmeye başlama hızının hemen durmayacağı ve hatta Antarktikada olduğu gibi Kuzey Küre'de de başlayacağı anlaşılmaktadır. Montreal Protokolüne tam olarak uyulması halinde bile, atmosferdeki klor seviyesi önümüzdeki 20-30 yıl içinde de artmaya devam edecektir. Kullanılmakta olan buzdolaplarında, klimalarda ve köpüklerde hala çok miktarda CFC vardır ve bunların sonunda atmosfere atılacağı bilinmektedir. Bu nedenle araştırmacılar atmosferdeki klor miktarının 21.yüzyıl başlarında en yüksek seviyeye ulaşacağını tahmin etmektedirler. CFC'lerin uzun ömürlü olmaları nedeniyle klorun ozon tabakası incelmeye başlamadan önceki seviyesine inmesi belkide 21. yüzyıl ortalarına kadar devam edecektir. Bunun sonucu olarak



F. Sherwood Rowland



Paul Crutzen

### 1995 Nobel Kimya Ödülü Alan Bilim Adamları:

**Profesör F. Sherwood Rowland** 1927'de Delaware, Ohio'da doğmuş ve doktora derecesini 1952 yılında kimya alanında Şikago Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Halen kendisi University of California, Irvine, Kimya bölümünde öğretim üyesidir. **Profesör Paul Crutzen** 1933 yılında Amsterdam'da doğmuş ve Doktora derecesini 1973 yılında Stokholm Üniversitesi'nden meteoroloji sahasında almıştır. Kendisi halen Almanya Mainz şehrindeki Max-Planck Kimya Enstitüsü'nde çalışmaktadır. **Profesör Mario Molina** 1943 yılında Meksika şehrinde doğmuş, doktoraasını fizikokimya alanında Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley'de tamamlamıştır. Kendisi halen Massachusetts Institute of Technology'de yer ve atmosferik bilimleri bölümünde öğretim üyesidir.



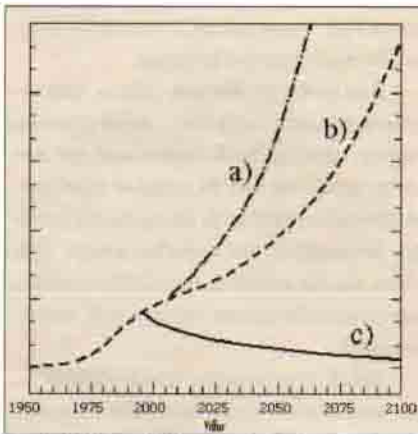
Mario Molina

stratosferdeki ozon tabakasının incelmeye her sene daha da artarak 20-30 yıl daha sürecek ancak 21. yüzyıl ortalarında eski haline gelmesi mümkün olacaktır.

Gelecekte ozon azalması tahminlerindeki en büyük belirsizliklerden biri de atmosferde olan değişikliklerdir. Örneğin, atmosferde karbondioksit miktarının artması, alt stratosferin soğumasına yol açacak, bu da polar stratosferik bulutların (PSC) oluşumunu artıracaktır. Dolayısıyla klorun ozonu parçalama hızı da artacaktır.

Türkiye'de ozon ölçümleri 1991'den beri yapılmaktadır. EUROTRAC Sekreteryası altında, TÜBİTAK'ın desteklediği bu proje, Bursa Uludağ'daki istasyonda ODTÜ ve Uludağ Üniversiteleri, Kimya Bölümlerinin işbirliği ile devam etmektedir. Projenin 1996'da başlayacak olan ikinci fazında, troposferdeki ozon konsantrasyonu balonlar gönderilerek değişik yüksekliklerde ölçülecektir. Bunlar Türkiye'de ozon üzerine yapılan ilk ve yegane çalışmalardır.

**Kaynaklar**  
<http://www.nobel.se/>  
 Dotto, L., Schiff, H. L., The ozone war, Doubleday, Garden City, New York, 1978.  
 Graedel, T. E., Crutzen, P. J., Atmosphere, climate and change. Scientific American Library, 1995.  
 Rowland, F. S. and Molina, M. J., Ozone depletion: 20 years after the alarm, Chemical and Engineering News, 1994.  
 Stolarski, S. R., The Antarctic Ozone Hole, Scientific American, Ocak 1988.  
 Toon, O. B. and Turco, R. P., Polar stratospheric clouds and ozone depletion, Scientific American, Haziran 1991.



Stratosferdeki klorun şimdiki durumu ve gelecekteki değişimi. a) Normal CFC üretiminde hiçbir değişikliğin olmaması b) 1987 Montreal Protokolüne uyulması c) Şimdiki uluslararası uygulama Stratosferdeki klor, ozon parçalanmasına neden olduğu için, yukarıdaki 3 eğri ters orantılı olarak ozon için de geçerli olacaktır.