



# PNÖMATİK EKİPMANLARIN OZONA KARŞI DAYANIMI

**Mustafa Oguz BAYRAK**  
**Kamil Hakan HAMZAKADI**

## ÖZET

Pnömatik sistemlerde enerji kayıplarına yol açan, verimi düşüren, hatta meydana gelen arızalar sonucunda ciddi hasar ve kazalara yol açabilen hava kaçaklarının bir çok sebebi vardır. Bugüne kadar pek dikkati çekmeyen hava kaçağı sebeplerinden biri de pnömatik ekipmanlarda yaygın olarak kullanılan NBR sızdırmazlık ekipmanlarının ozona karşı düşük dayanımlarıdır.

## GİRİŞ

Bu makalede, atmosferde doğal olarak çeşitli formlardan ayrışabilen veya işletmelerdeki ozon yayıcı bazı kaynaklardan yayılabilen ozonun, pnömatik ekipmanlarda meydana getirdiği arıza tiplerine, bu arızaların hangi ekipmanlarda ve nasıl meydana geldiğine değinilecektir. Ayrıca pnömatik ekipmanlarda yaygın olarak kullanılan NBR 'nin temel yapısı ve ozonun bu yapıya nasıl etki ettiğine değinildikten sonra ozonun yıkıcı etkisinin kendini göstermesi için gereken süreden ve bu sürenin nelere bağlı olduğundan bahsedilecektir. Bu aşamadan sonra ise pnömatik basınçlı hava hatlarında ozon konsantrasyonunun dağılımı ve kompresör tipi, soğutucudan çıkan basınçlı havanın yoğunlaşma noktası sıcaklığı, hatta kullanılan filtreler gibi ozon konsantrasyonunun pnömatik hatlardaki dağılımını etkileyen faktörler incelenecek ve sonuç olarak da ozonun yıkıcı etkisinden korunmak için alınabilecek önlemlere yer verilecektir.

## 1.OZON

### Ozon Nedir ?

Ozon, hepimizin bildiği gibi oksijenin bir allotropudur ve hava içerisinde düşük miktarlarda bulunur. Gaz halindeki kuru oksijendeki ve havadaki elektriksel boşalmalar sonucunda oluşabilir. Ayrıca florin, oksijen ve su gibi maddelerin ısıtılması sonucunda açığa çıkabilir. Ozon; sterilizasyon, renk açma işlemleri ve oksidasyon uygulamaları için kullanılan açık mavi renkte acı ve zehirleyici bir gazdır.

Ozon oldukça zehirli olduğundan yüksek konsantrasyonda solunduğunda solunum sisteminde hasara yol açar. Konsantrasyonu az dahi olsa uzun süre maruz kalındığında da zehirleyici etkisi olduğu bilinmektedir.

Atmosferdeki normal ozon konsantrasyonu 0-0, 03 ppm arasındadır fakat ozon yayıcı ekipmanlar ve araçların yaydığı miktarlar da eklendiğinde hava içerisindeki konsantrasyonu 0, 1 ppm 'yi aşabilmektedir.

Aşağıda ozon konsantrasyonu ve etkilerinin yer aldığı tablodan da görülebileceği gibi solunan havadaki ozon konsantrasyonu arttıkça yol açtığı hasarlar da ciddilesmektedir.

**Tablo 1.** Maruz Kalinan Ozon Konsantrasyonu ve Fiziksel Etkileri

Ozon (ppm)	Etkiler
0,01 - 0,02	Gazın acı kokusu az miktarda alınabilir ve bir süre sonra kokuya alışılabilir.
0,10	Acı koku net bir biçimde alınır. Burun ve boğazda yanma hissi meydana gelebilir.
0,2 - 0,6	3 ila 6 saat arasında maruz kalındığında görme bozukluklarına yol açar.
0,50	Üst solunum sisteminde yanma hissi meydana gelir.
1,0 - 2,0	Bas ağrısı, ciğerlerde yanma, üst solunum sisteminde kuruluk hissi, öksürük; tekrarlanan bir şekilde maruz kalma kronik zehirlenmeye yol açabilir.

### Ozon Yayıcı Ekipmanlar Ve Araçlar

Ozon, elektriksel boşalmalar yada ısı enerjisi ile kolayca oluşabildiğinden, ozon yayıcı ekipmanlar hem işyerlerinde hem de evlerde bulunabilmektedir.

**Tablo 1.**

Araçlar	Ozon oluşumu	Ozon konsantrasyonu
Fotokopi makinesi, yazıcı	Elektriksel boşalma	10-50 ppm
Kaynak makinesi	Ark oluşumu ve ultraviyole ışınlar	1-5 ppm
Statik bakım malzemeleri	Elektriksel boşalma	10-50 ppm
Yüzey işleme makineleri	Elektriksel boşalma, ozonatör	100 ppm - 100 000 ppm
X- isini	X-isini	10-50 ppm
Yüksek voltajlı elektrik üreten santraller	Elektriksel boşalma	100 ppm - 100 000 ppm
Elektrikli toz toplayıcı	Elektriksel boşalma	1-5 ppm

## 2. PNÖMATİK EKİPMANLARDA OZONA BAĞLI HASARLAR

Ozonun ne olduğuna, insan sağlığına etkilerine ve ozon yayıcı ekipmanlara kısaca değindikten sonra asıl konumuz olan ozonun pnömatik ekipmanlardaki etkilerine geçebiliriz.

### Ozon Sebebiyle Oluşan Arıza Tipleri

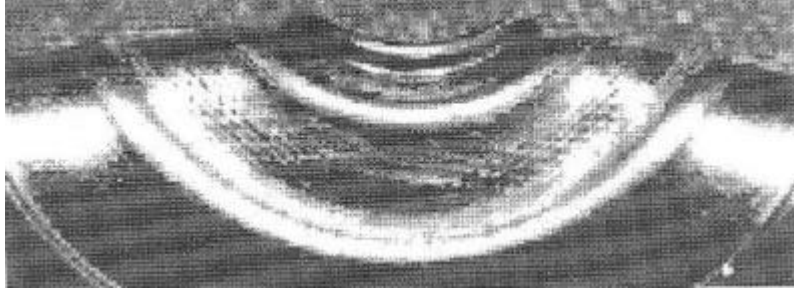
Kauçuk malzemeler, özellikle de pnömatik ekipmanlarda yaygın olarak kullanılan NBR tipi kauçuk malzemeler ozona maruz kaldıklarında üzerlerinde çatlaklar oluşur ve bunun sonucunda da hava kaçaqları ve arızalar meydana gelir.

### Hasar Tipleri ve Arızalar

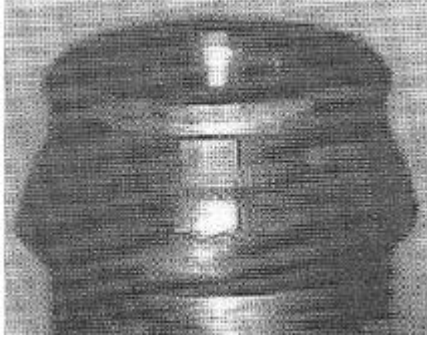
**Tablo 1.**

Ekipmanlar	Arızalanan parçalar	Sonuçlar
Regülatör	Diyafram	Sürekli hava kaçağı ve basıncın ayarlanamaması
	Ana valf yuvası	Sürekli hava kaçağı ve basıncın ayarlanamaması
Hız ayar valfi	Çek valf yuvası	Hava kaçağı ve arıza
	Çek valf sızdırmazlık elemanı	Hava kaçağı ve arıza
Solenoid valf	Ana valf sızdırmazlık elemanı	Hava kaçağı ve arıza
	Conta	Hava kaçağı ve arıza
Aktuatörler		Hasar meydana gelmez.

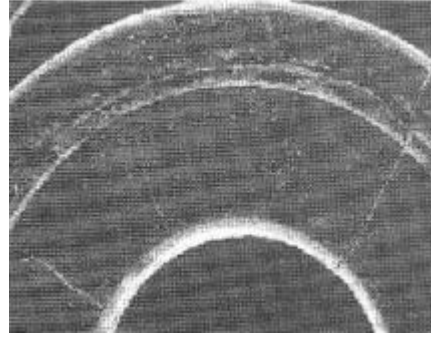
Resim 1' de diyaframda meydana gelen çatlaklar, resim 2 ' de çek valf sızdırmazlık elemanında oluşan çatlaklar, resim 3 ' de ise ana valf sızdırmazlık elemanında oluşan çatlaklar görülmektedir.



**Resim 1.** Diyaframdaki çatlaklar



**Resim 2.** Çekvalf sızdırmazlık elemanındaki çatlaklar



**Resim 3.** Valf contasındaki çatlaklar

### 3. KAÜÇUK MALZEMELER

#### 3.1. Ozona Maruz Kalan Malzemelerde Çatlak Olusma Zamani Ve Ozon Konsantrasyonu

Genelde ozon konsantrasyonu ( C ) ve ozonun çatlak olusturmasi için gereken süre (  $\tau$  ) arasında oldukça belirgin bir iliski vardır.

$$\tau \cdot C^n = \text{Sabit}$$

$\tau$ : Ozon konsantrasyonuna bagli çatlak olusma süresi ( Saat )

C: Ozon konsantrasyonu ( ppm )

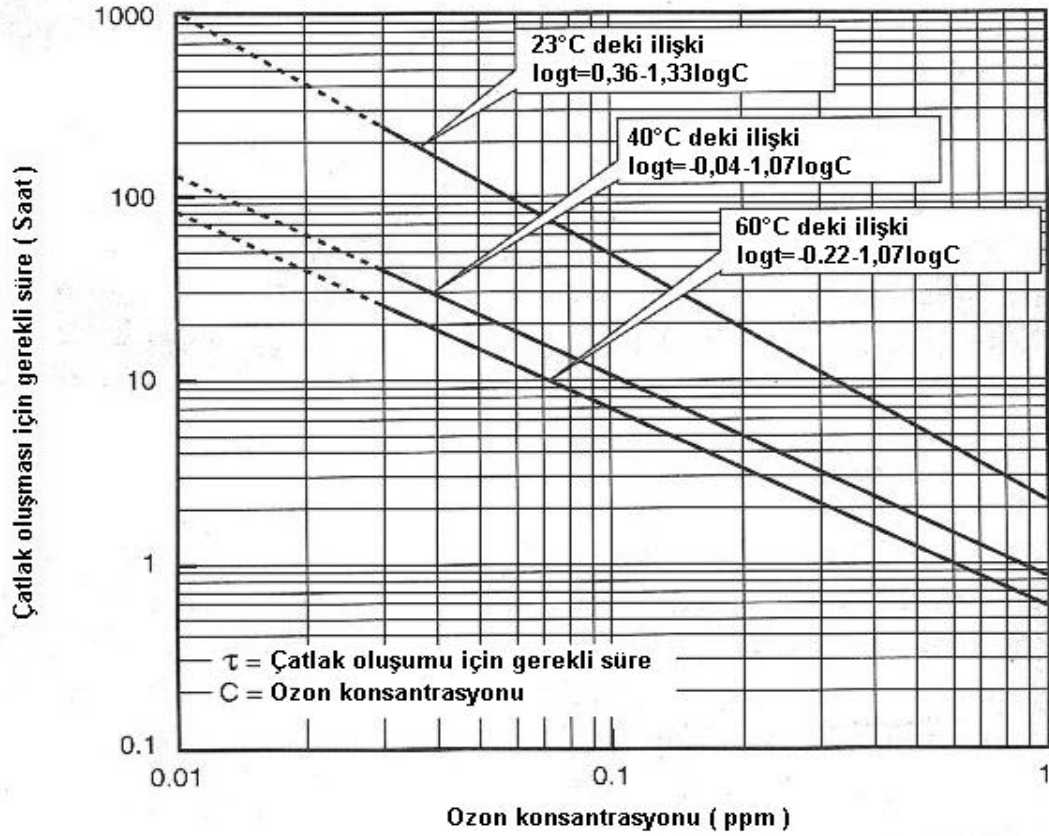
n: Kauçuk malzemenin yapısına bagli olarak degisen sabit

İki tarafında logaritmasını alırsak ;

$$\log \tau = K - \log C \quad ( K = \text{sabit} )$$

Ozon konsantrasyonu ve çatlak olusturma zamanı iliskisini incelemek amacıyla yapılan deneyler sonucunda bu iki deger arasında lineer iliskiler saptanmıştır. Ozon konsantrasyonunun artması sonucunda çatlak olusma zamanının kısıldığı ortaya çıkmıştır. Bu deneyler normal çalışma şartlarından çok daha ağır şartlarda yapılmıştır. Grafikteki sürekli çizgiler deney sırasında ölçülen gerçek degerleri, kesikli çizgiler ise yapılan hesaplamalar sonucunda tahmin edilen degerleri

göstermektedir. Sonuç olarak ozon konsantrasyonundaki değişim, çatlak oluşma sürelerini oldukça fazla etkilemektedir.



**Sekil 1.** Ozon konsantrasyonu ve çatlak oluşumuna direkt etkisi

JISK6259 standartlarına uygun test metotları ile ozon konsantrasyonu ve çatlakların ortaya çıkması arasındaki direkt ilişkiyi gösteren yukarıdaki grafikte dikeydeki değerler çatlak oluşma zamanını, yataydaki değerler ise ppm biriminde ozon konsantrasyonunu göstermektedir. Grafikteki eğriler aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla 60°C, 40°C ve 23°C 'deki ilişkiyi göstermektedir. Deneyde I profilinde bir NBR malzemedeki çatlak oluşumları, 50 kat büyüten bir mikroskop ile gözlemlenmiştir

### 3.2. Temel Yapı Ve Ozon Dayanımı

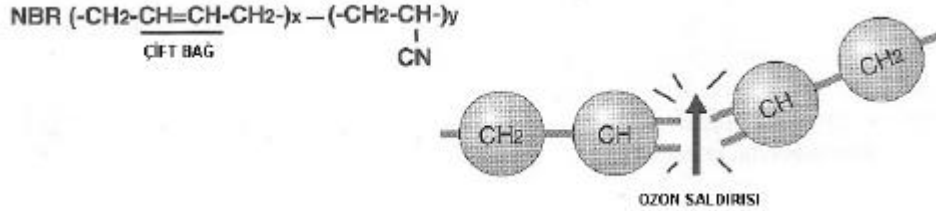
#### 3.2.1. Moleküler Yapı

NBR ve HNBR malzemelerin ozona karşı dayanımları bu malzemelerin yapılarına bağlıdır.

KAUÇUK TIPI	TEMEL MOLEKÜLER YAPI
NBR ( NITRİL KAUÇUK )	$(-CH_2 - CH = CH - CH_2)_x - (CH_2 - CH - )_y$ $ $ $CH$
HNBR ( HIDROJENE NITRİL KAUÇUK )	$(-CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2)_x - (CH_2 - CH - )_y$ $ $ $CH$

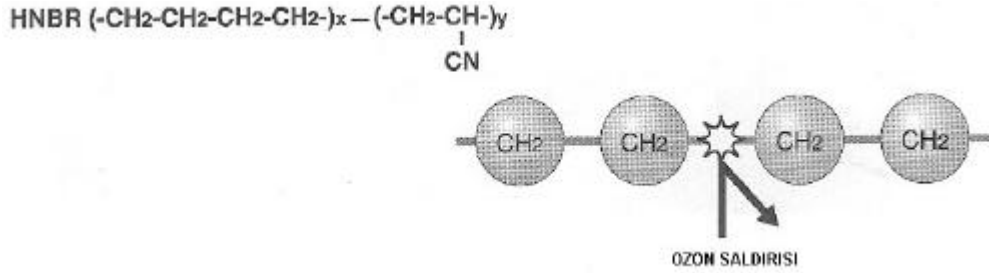
### 3.2.2. Çift Bağlı Yapı

Ozon sebebiyle meydana gelen hasar, NBR ' nin yapısındaki çift bağın ozon tarafından parçalanmaya çalışılmasıyla ortaya çıkmaktadır. Şekilde ozonun çift bağlı yapıya etkisi görülmektedir.



Sekil 2.

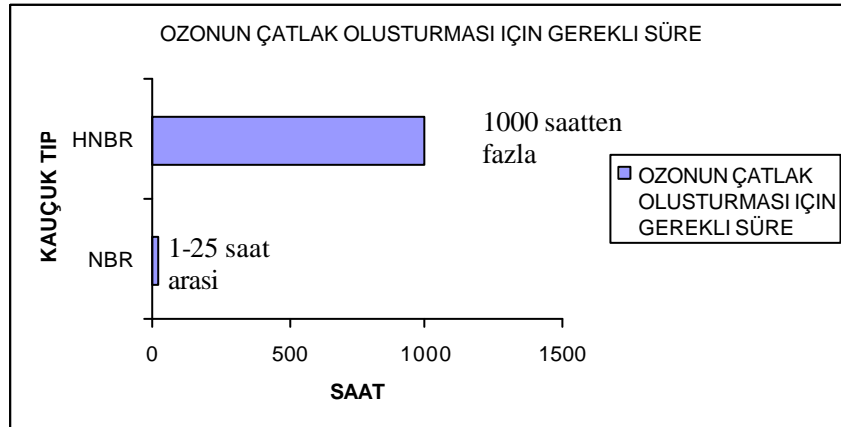
Öte yandan gün geçtikçe kullanımı daha da yaygınlaşan HNBR, NBR ' nin yapısındaki çift bağa bir hidrojen atomu daha eklenerek buradaki bağı tekli bağa indirgenir ve bunun sonucunda ozona karşı dayanım çok yüksek miktarlarda artırılmış olur. Çok küçük miktarda da olsa çift bağın bir kısmı yapıda kalır ve HNBR 'nin fiziksel olarak bir kauçuk gibi davranmasına imkan sağlar.



Sekil 3.

### 3.2.3. Ozon Dayanımı

JIS K6259 standartlarına uygun şartlarda I profil tipinde NBR ve HNBR malzemeye 40°C ortam sıcaklığında yapılan testte 1 ppm ozon konsantrasyonuna sahip hava kullanılmıştır. Test ortamının şartları normal şartlardan çok daha ağır şartlar olduğundan NBR malzemede çatlaklar 1- 25 saat arasında kendini göstermeye başlamıştır. Öte yandan aynı ağır şartlar HNBR ' ye uygulandığında 1000 saati geçmesine rağmen çatlak oluşumuna rastlanılmamıştır.

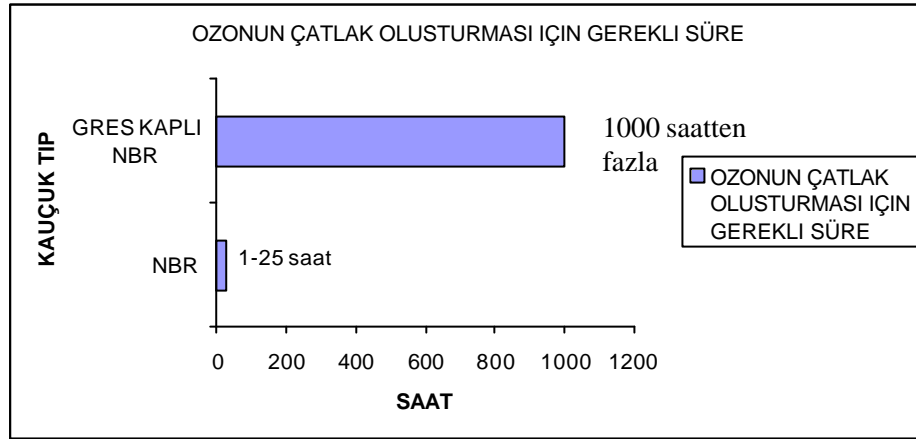


Sekil 4.

### 3.2.4. Gres Tabakasının Koruma Etkisi

NBR parçaların gres ile yada diğer yağlayıcılar ile yağlanması, ozonun hasar verici etkisine karşı korunmada etkili bir yoldur. Gresin koruyucu etkisi test edildiğinde gres ile kaplanmamış NBR parçalarda 1 ila 25 saat arasında çatlakların gözlemlendiği görülmüştür. Diğer taraftan gres ile kaplanan NBR malzemelerde 1000 saatin üzerinde ozona maruz kalmalarına rağmen çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.

Bu sonuçların elde edilmesinin temel sebebi, gres veya diğer yağlayıcıların malzemeleri fiziksel olarak korumasının yanında kimyasal olarak da ozonu ayırtmasıdır. Bu sebeple silindir, döner iş elemanları, otomatik rakorlar gibi sızdırmazlık elemanları fabrika çıkışında yağlanan pnömatik ekipmanlarda ozona bağlı çatlak oluşumu ve buna bağlı arıza oluşumları görülmez.



Sekil 5.

JIS K6259 standartlarına uygun şartlarda I profil şeklinde NBR malzemeye 40°C ortam sıcaklığında yapılan testte 1 ppm ozon konsantrasyonuna sahip hava kullanılmıştır. Test ortamının şartları normal şartlardan çok daha ağır şartlar olduğundan NBR malzemede çatlaklar 1-25 saat arasında kendini göstermeye başlamıştır. Öte yandan aynı ağır şartlar gres kaplı NBR 'ye uygulandığında 1000 saati geçmesine rağmen çatlaklar gözlemlenmemiştir.

## 4. OZONUN HASAR ETKİSİ

### 4.1. Ozona Bağlı Hasarın İlerlemesi Ve Sonuçları

#### Pnömatik Sistemlere Ozon Nasıl Girer ?

Bugüne kadar yapılan ölçümler sonucunda kesin olarak biliyoruz ki bir pnömatik sisteme hava besleyen bir kompresörün atmosferden emdiği hava 0, 1 ppm ozon konsantrasyonuna sahiptir. Ozonun birincil kaynakları, fabrikalardaki makineler ve ekipmanlardır. Bununla birlikte fotokimyasal oksidantlar ile birlikte de doğada ozon bulunur.

Ozon içeren basınçlı hava, bir pnömatik sisteme girdiğinde kauçuk malzemelerde negatif bir etki meydana getirir. Daha önce bahsetmiş olduğumuz ozon yayıcı ekipmanların yani sıra düzenli bakımları yapılmayan bir kompresörün motoru da ozon yayıcı bir ekipman olarak davranabilir.

Geleneksel olarak yağlı tip pistonlu kompresörler pnömatik sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ozon verimi yüksek kompresörlerin kullanımı sonucunda sistemdeki ozon konsantrasyonu

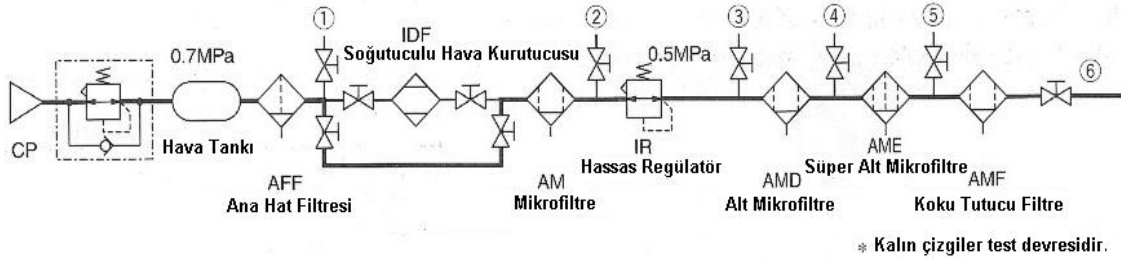
düşürülebilir ve hat boyunca ozonun bozucu etkisi sikistirma esnasındaki isi üretimi ve yogusan suyun sistem disina tahliyesi ile sifira indirgenebilir. Son yillarda yagsiz tip turbo kompresörlerin ve kuru tip vidali kompresörlerin yaygin biçimde kullanilanimi ozon konsantrasyonunun hatlarda düşük tutulmasi sansini azaltmistir.

#### 4.2. Pnömatik devrelerde ozon konsantrasyonunun degisimi

1, 1 ppm ve 0, 1 ppm ozon konsantrasyonu içeren hava hazirlandiktan sonra kompresörün emis kismina verilerek ozonun pnömatik hatta girisi saglanmistir. Hattaki çesitli filtreler, kurutucular ve regülatörlerden geçen havanın ozon konsantrasyonlari ölçülmüştür. Basınçli hava içerisindeki ozon konsantrasyonunun ölçümü oldukça zor oldugundan belirli noktalardan alinan örneklerin zaman kaybedilmeden konsantrasyonlari ölçülmüştür.

Asagidaki sekilde sogutuculu kurutucu kullanilmamis ve atmosferik yogusma noktasi 10 °C olan bir pnömatik devre görülmektedir.

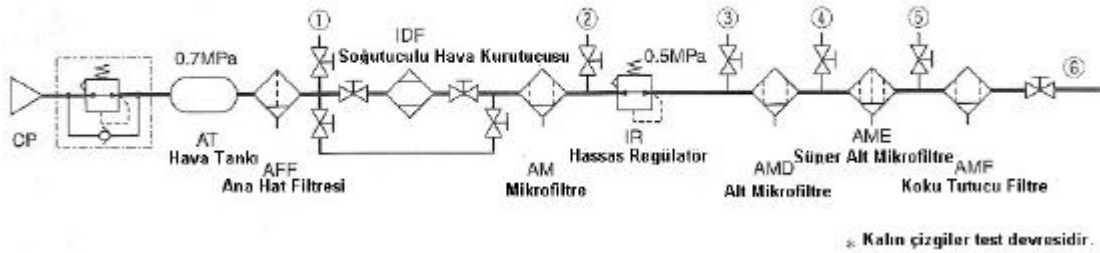
#### 10°C YOĞUŞMA NOKTASINA SAHİP HAVAYA AİT DEVRE ( HAVA, SOĞUTUCULU KURUTUCUDAN GEÇİRİLEREK )



Sekil 6.

Sekilde sogutuculu kurutucu kullanilmis ve atmosferik yogusma noktasi degeri -17°C ye düşürülmüş bir pnömatik devre görülmektedir.

#### -17°C YOĞUŞMA NOKTASINA SAHİP HAVAYA AİT DEVRE ( HAVA, SOĞUTUCULU KURUTUCUDAN GEÇİRİLEREK )



Sekil 7.

Sekillerde kullanılan kısaltmalar:

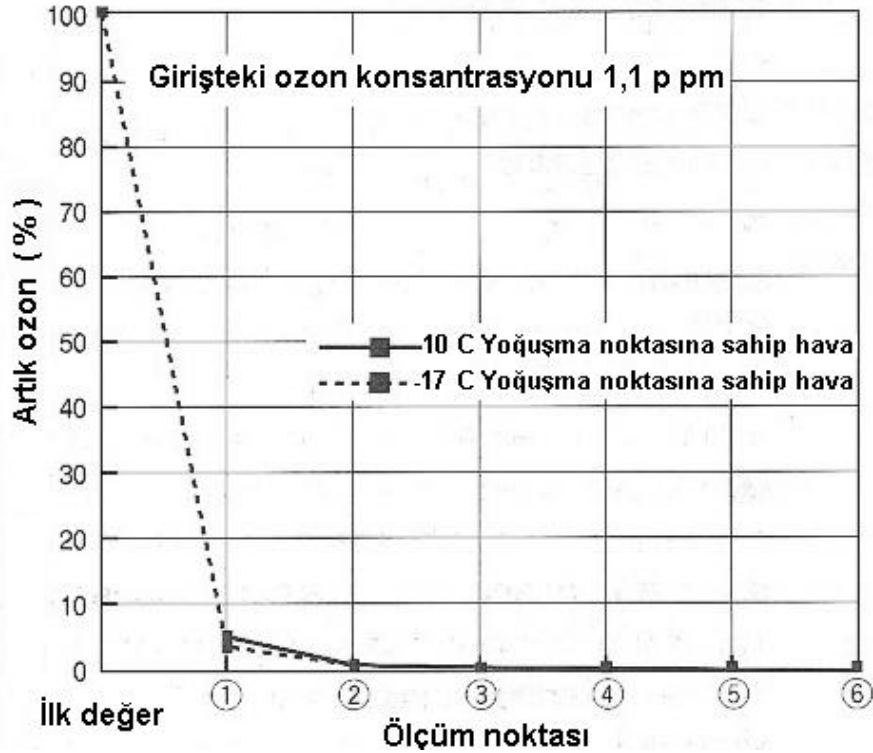
- CP : Kompresör
- AT : Hava tankı
- AFF : Ana hat filtresi
- IDF : Soğutuculu hava kurutucusu
- AM : Mikrofiltre
- IR : Hassas regülatör
- AMD : Alt mikrofiltre
- AME : Super alt mikrofiltre
- AMF : Koku tutucu filtre

### Pnömatik Hatlarda Artık Ozon Miktarı

1, 1 ppm ozon konsantrasyonuna sahip hava emen yağlı tip bir kompresör ile beslenen bir hatta, ozon konsantrasyonu dağılımı aşağıdaki gibidir.

- Ana hat filtresinin ( AFF ) hemen çıkışında yer alan 1 noktasında yapılan ölçümden de görebileceğimiz gibi ana hat filtresinden geçen ozonun % 95 ' i burada elenir.
- Soğutucu kurutucu ( IDF ) ve yağ tutucu filtrenin ( AM ) çıkışında bulunan 2 noktasında yapılan ölçümlerden de görebileceğimiz gibi kalan ozon miktarının çoğu IDF ve AM ' den geçtikten sonra elemine edilmiş olur.

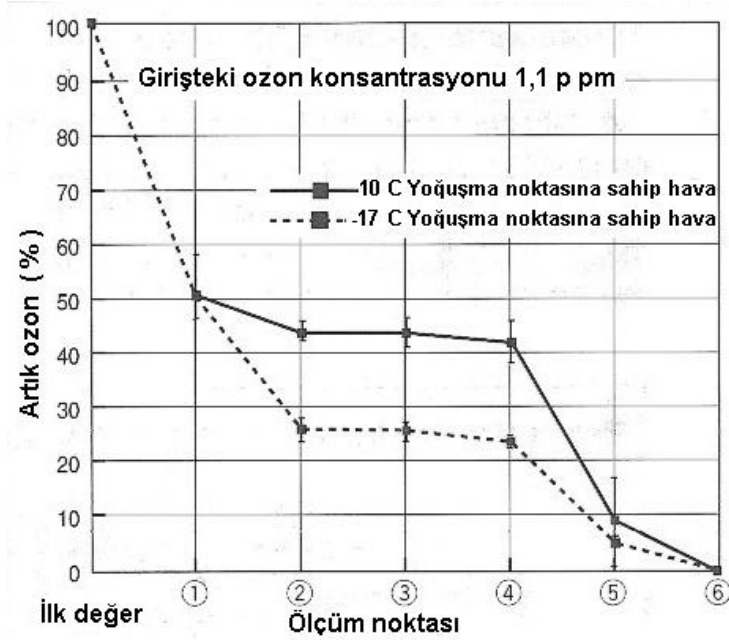
Aşağıda yağlı tip pistonlu kompresörlerin kullanıldığı hatlardaki artık ozon miktarı ile ilgili bir grafik görülmektedir. Dikeyde hatta kalan ozon yüzdesi, yatayda ise ölçüm noktaları verilmiştir. Kesikli çizgiler ile 10°C yoğunlaşma noktasına sahip havanın kullanılması durumundaki değerler, düz çizgilerle ise - 17°C yoğunlaşma noktasına sahip hava için ölçülen değerler yer almaktadır.



Sekil 8. Yağlı tip pistonlu kompresör hattında artık ozon oranı

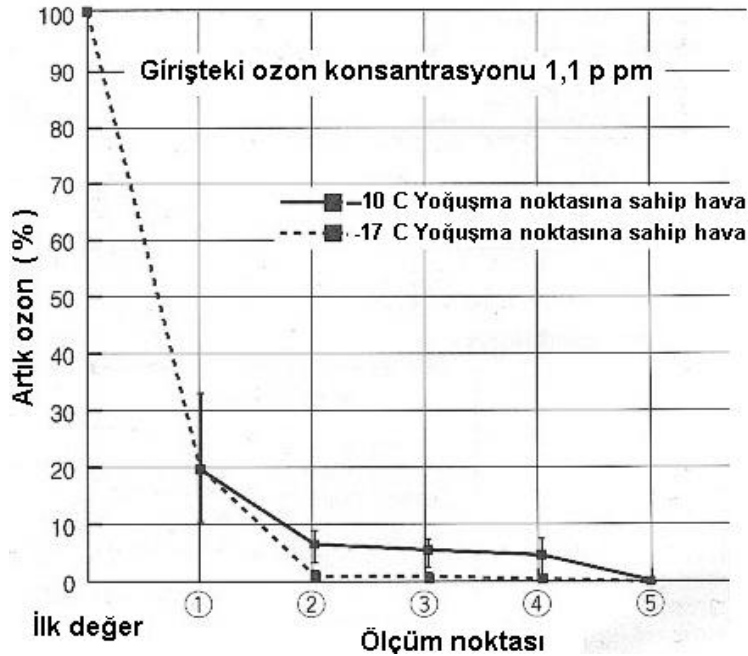
Aynı 1, 1 ppm ozon konsantrasyonuna sahip hava kullanılarak yapılan testlerde yağsız tip vidalı kompresör hattında ozon konsantrasyonunun düşmesi, yağlı tip pistonlu kompresör hattına göre daha yavaştır. 10°C yoğunlaşma noktasına sahip hava kullanılan sistemde mikrofiltreden (AM) sonraki 2 nolu ölçüm noktasında ozonun % 25 'i hala sistemde kalmaktadır. -17°C yoğunlaşma noktasına sahip hava için bu oran % 45 'tir.





Sekil 9. Yagsiz tip vidali kompresör hattındaki ozon oranı değişimi

0,1 ppm ozon konsantrasyonuna sahip hava kullanılan sistem için de ana hat filtresinin (AF) çıkışındaki 1 noktasına kadar hızlı bir düşüş görülmektedir. Bu noktadan sonra yüksek ozon konsantrasyonlu havada olduğu gibi düşük ozon konsantrasyonlu havada da ozon konsantrasyonu düşüşü azalmaktadır. Hatta, alt mikrofiltreden (AMD) sonraki ölçüm noktasında bile hala bir miktar ozon bulunmaktadır.



Sekil 10.

Yapılan testler gösteriyor ki yagsiz hava kaynaklarının ve düşük yoğuşma noktasına sahip havanın kullanımı ozon konsantrasyonunun düşürülmesini zorlastırmaktadır.

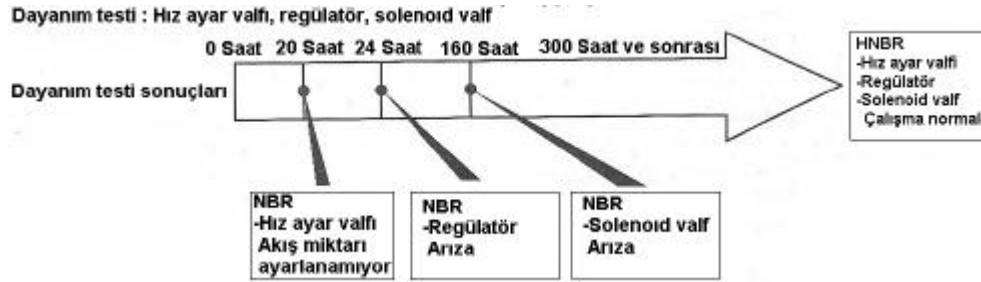
## 5. STANDART HNBR ÜRÜNLERİN OZON DAYANIMI

Ozon, basınçlı hava içerisinde bulunsun bile hava hat boyunca ilerlerken konsantrasyonunda bir düşme gözlenir. Buna rağmen pnömatik devrelerde belirli bölgelerde bulunan NBR parçalar içeren pnömatik ekipmanlara kalan ozon miktarının zarar vermesi, ekipmanların ve bileşenlerinin cinsine bağlıdır.

### Dayanım Testi

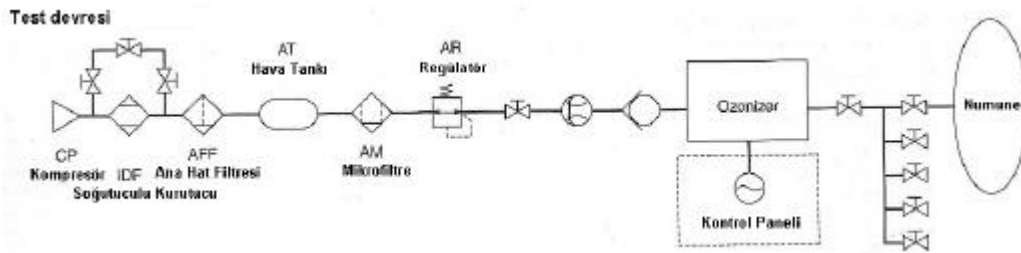
1, 0 ppm ozon konsantrasyonu sağlayabilen bir ozon jeneratörü ile beslenen bir kompresör ile pnömatik devre beslenir. Testte, yapısında HNBR ve NBR içeren ekipmanlar ayrı ayrı test edilir ve her tip için ölçümler alınarak bu ölçümler karşılaştırılır.

Yukarıdaki şekilde NBR ve HNBR malzemeler içeren hız ayar valfi, regülatör ve solenoid valflere ait dayanım testi sonuçları görülmektedir. Şekilden de görebileceğimiz gibi NBR malzeme içeren hız ayar valfi 20. saatte hız ayarı yapılamayacak duruma gelmiş, regülatör 24. saatte ve solenoid valf 160. saatte arızalanmıştır. Diğer taraftan HNBR malzeme içeren hız ayar valfi, regülatör ve solenoid valfte ise 300 saat sonrasında bile herhangi bir arıza ya da fonksiyon bozukluğuna rastlanmamıştır. Aşağıda dayanım testi için kullanılan pnömatik devre görülmektedir.



Sekil 11.

### Dayanım Testi Pnömatik Devresi



Sekil 12.

### Test Şartları

Aşağıda test şartlarını veren bir tablo yer almaktadır.

Tablo 4.

Ozon dayanım değeri

Test edilen ekipman	Kullanılan malzeme	Sartlar	Çalışma frekansı
Hız ayar valfi	NBR	Ozon konsantrasyonu: 1 ppm Besleme basıncı: 0,7 MPA	0,5 saniye açık 0,5 saniye kapalı
	HNBR		
Regülatör	NBR	Set basıncı: 0,5 MPA Ortam sıcaklığı: 23 C	1 Hz
	HNBR		
Solenoid valf	NBR		
	HNBR		



## KAYNAKLAR

[1] SMC ; International Pneumatic News of SMC

## ÖZGEÇMİSLER

### **Mustafa Oguz BAYRAK**

1978 yılında İstanbul 'da doğdu.Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden 2003 yılında mezun oldu. 2001 yılından bu yana Entek Pnömatik San ve Tic. Ltd. Sti. 'nde (SMC) çalışmaktadır.

### **Kamil Hakan HAMZAKADI**

1978 yılında Aksaray' da doğdu.2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Halen Entek Pnömatik San. ve Tic. Ltd. Sti. 'nde (SMC) çalışmaktadır.