



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Katı mad. ads. yol. hav.  
oksijen ve azot. ayrılması

Doktora Tezi

Murat Teker

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON  
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 361  
104  
Alındığı Yer : Fen Bil. Enstitüsü,  
Tarih : 25/3/1992  
Fatura :  
Fiyatı : 25.000 TL.  
Ayniyat No : 1/1  
Kayıt No : 48246  
UDC :  
Ek :

Y. T. Ü.  
KÜTÜPHANE DOK. DAİRE BAŞKANLIĞI

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Doktora çalışmalarını süresince, her türlü maddi ve manevi  
yardımını esirgeyen, bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren  
değerli hocam, Prof. Dr. Hüseyin AFŞAR'a teşekkürü  
büyük bir borç bilirim.

Çalışmaları süresince yardımlarını esirgeyen mesai  
arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Saygılarımla.

KATI MADDELERDE ADSORPSİYON YOLUYLA HAVANIN,  
OKSİJEN VE AZOTUNUN AYIRILMASI

104

DOKTORA TEZİ  
KİMYA Y. MÜH. MURAT TEKER

DOKTORA TEZİNİ YÖNETEN ÖĞRETİM ÜYESİ  
PROF. DR. HÜSEYİN AFŞAR



İSTANBUL 1991

## İÇİNDEKİLER

## TÜRKÇE ÖZET

Doktora çalışmalarım süresince, her türlü maddi ve manevi yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren değerli hocam, Prof.Dr. Hüseyin AFŞAR'a teşekkürü ... 1  
büyük bir borç bilirim.

## 2. GENEL KİŞİ

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen mesai ... 3  
arkadaşlarımda teşekkürlerimi sunarım. Saygılarımla. .... 4

2.3. ADOZON OZELLİKLERİ ..... 5

2.4. OKSİJEN YENİSİMİ ..... 6

2.4.1. KİMYASAL REAKSİYONLAR YOLUYLA ..... 7

2.4.2. FİZİKSEL OZELLİKLERE DAYANAN YÖNTEMLERİN ..... 8

2.5. ADSORPSİYONUN YENİSİM LİKLERİ ..... 10

2.6. SEORİTİM ..... 13

## 3. DENEYEL YÖNTEM

3.1. DENEYLERİN KULLANILAN ARAÇLAR VE ARAÇLAR ..... 14

3.1.1. ADSORPSİYON YÖNTEMİ ..... 15

3.1.2. HAVA KONTROLÜ ..... 16

3.1.3. ADSORPSİYON SİSTEMLERİ ..... 16

3.1.4. YAKUŞ KONTROLÜ ..... 17

3.1.5. DİJİTAL AYOZON ..... 17

3.1.6. DÜZELTME SİSTEMLERİ ..... 17

3.1.7. ORGAT ARAÇLARI ..... 18

3.2. KULLANILAN MADDELERİN ..... 19

3.2.1. FİRİNG KONTROLÜNE YATIRILAN AKTİF KİMYA ..... 19

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| İ Ç İ N D E K İ L E R .....                                      | 19 |
| 3.2.3. ALKALI PİROGALLON ÇÖZELTİSİ .....                         | 19 |
| 3.3. ANALİZ YÖNTEMİ .....                                        | 20 |
| TÜRKÇE ÖZET .....                                                | 21 |
| İNGİLİZCE ÖZET .....                                             | 21 |
| 3.4.1.1. PİRİNÇ KABUĞUNDAN AKTİF KÖMÜR ELVESİ VE GÜDÜKLEMİ ..... | 21 |
| 1. G İ R İ Ş .....                                               | 1  |
| 2. G E N E L K İ S İ M .....                                     | 22 |
| 2.1. HAVANIN ÖZELLİKLERİ .....                                   | 3  |
| 2.2. OKSİJENİN ÖZELLİKLERİ .....                                 | 4  |
| 2.3. AZOTUN ÖZELLİKLERİ .....                                    | 5  |
| 2.4. OKSİJEN ÜRETİMİ .....                                       | 31 |
| 2.4.1. KİMYASAL REAKSİYONLAR YOLUYLA .....                       | 7  |
| 2.4.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLERE DAYANAN YÖNTEMLERLE .....            | 8  |
| 2.5. ADSORPSİYONUN TEMEL İLKELERİ .....                          | 10 |
| 2.6. ZEOLİTLER .....                                             | 13 |
| 3. D E N E L K İ S İ M .....                                     | 75 |
| 3.1. DENEYLERDE KULLANILAN APARATLAR VE AYGITLAR .....           | 76 |
| 3.1.1. ADSORPSİYON KOLONU .....                                  | 15 |
| 3.1.2. HAVA KOMPRESÖRÜ .....                                     | 16 |
| 3.1.3. ABSORPSİYON ŞİŞELERİ .....                                | 16 |
| 3.1.4. VAKUM POMPASI .....                                       | 17 |
| 3.1.5. DİJİTAL AVOMETRE .....                                    | 17 |
| 3.1.6. BUBLE FLOWMETRE APARATI .....                             | 17 |
| 3.1.7. ORSAT APARATI .....                                       | 18 |
| 3.2. KULLANILAN MATERYALLER .....                                | 19 |
| 3.2.1. PİRİNÇ KABUĞUNDAN YAPILMIŞ AKTİF KÖMÜR .....              | 19 |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2. DOĞAL ZEOLİT .....                                                       | 19 |
| 3.2.3. ALKALİ PİROGALLOL ÇÖZELTİSİ .....                                        | 19 |
| 3.3. ANALİZ YÖNTEMİ .....                                                       | 20 |
| 3.4. DENEMELERİN YAPILIŞI VE BULGULAR .....                                     |    |
| 3.4.1. ÖNDENEMELER .....                                                        | 21 |
| 3.4.1.1. PİRİNÇ KABUĞUNDAN AKTİF KÖMÜR ELDESİ VE ÖNDENEME .....                 | 21 |
| 3.4.1.2. AKTİFLEŞTİRİLMİŞ DOĞAL ZEOLİT İLE YAPILAN<br>ÖNÇALIŞMA .....           | 22 |
| 3.4.2. ZEOLİTİN TERMAL AKTİVASYONU VE TANE<br>BÜYÜKLÜĞÜNE GÖRE AYIRILMASI ..... | 26 |
| 3.4.3. DENEMELER VE YÖNTEM .....                                                | 28 |
| 3.4.3.1. ADSORPSİYONUN BASINCA BAĞLILIĞI .....                                  | 28 |
| 3.4.3.2. ADSORPSİYONUN TANE BÜYÜKLÜĞÜNE BAĞIMLILIĞI .....                       | 31 |
| 3.4.3.3. KOLONA VERİLEN HAVA HIZININ ADSORPSİYONA<br>ETKİSİ .....               | 57 |
| 3.4.3.4. DOLUM SÜRESİ İLE ADSORPSİYON ARASINDAKİ İLİŞKİ ...                     | 66 |
| 4. TARTISMA VE SONUÇ .....                                                      |    |
| 4.1. TANE BÜYÜKLÜĞÜ İLE İLGİLİ SONUÇ .....                                      | 75 |
| 4.2. BASINCIN ADSORPSİYONA ETKİSİ İLE İLGİLİ SONUÇ .....                        | 76 |
| 4.3. KOLONA GÖNDERİLEN HAVA HIZI İLE İLGİLİ SONUÇ .....                         | 77 |
| 4.4. DOLUM SÜRESİ İLE İLGİLİ SONUÇ .....                                        | 78 |

#### KAYNAKLAR

#### ÖZGEÇMİŞ

## ÖZET

Havanın  $O_2$  ve  $N_2$  nun, adsorpsiyonla, katı meddelerde ayırılması incelendi. Katı madde olarak, pirinç kabuğundan yapılmış aktif kömür ve termal aktive edilmiş doğal zeolit kullanıldı. Aktif kömürde olumlu sonuç alınamadı. Doğal zeolitin çeşitli sıcaklıklarda termal aktive edilerek, en etkin aktivasyonun  $450^\circ C$  de sağlanabileceği bulundu. Aktive edilmiş zeolitin tane boyutuna, basınca, gaz hızına ve dolum süresine bağlı olarak adsorpsiyonun değişimi incelendi. Optimum koşullar olarak ; tane büyüklüğü: 8-10 mesh, gaz hızı:  $31.7 \times 10^{-3} m/dk$ , dolum süresi: 220 sn, basınç:  $3.5-5.0 Kg/cm^2$  değerleri bulundu. Kolondaki zeolite besleme kapasitesi:  $1.84 lt(hava)/dk Kg(zeolit)$  ve adsorpsiyon kapasitesi  $7.992 l(N_2)/Kg(zeolit)$ . olarak hesaplandı.

## SUMMARY

Separation of the air's  $O_2$  and  $N_2$  from the solid substances by adsorption was investigated. Thermal activated natural zeolite and activated carbon (which was made of rice hulls) were used as a solid substances. Activated carbon did not give good results. By Thermally activating natural zeolite at different temperatures, it was found that the most efficient activation's temperature was  $450^\circ C$ . Variation of the adsorption was investigated by changing size of zeolite, pressure, rate and feeding period of the gas. For optimum conditions it was found that the, size of the zeolite was 8-10 mesh, the rate, pressure and the feeding period of the gas were found as subsequently  $31.7 \times 10^{-3} m/min$ ,  $3.5-5 Kg/cm^2$  and 220 seconds. The feeding capacity of the zeolite was  $1.84 l(air)/min. Kg(zeolite)$  and the adsorption capacities were calculated as  $7.992 l(N_2)/Kg(zeolite)$ .



## 1. G İ R İ Ő

Kullanılan oksijen, genel olarak önceleri elektrolizle daha sonraları ise, havanın sıvılaştırılarak rektifikasyonu yöntemi ile üretilmesinden sağlanıyordu. Yatırım maliyetlerinin pahalılığı, oksijenin kritik sıcaklığının  $-118.6^{\circ}\text{C}$  olması nedeniyle, yüksek basınca dayanıklı kaplarda depolanması ve nakil gerektirmesi yüzünden, araştırmacıları daha kolay,ucuz ve kullanıldığı yerde oksijen üretilmesi, yöntemleri üzerinde çalışmalara yöneltti.

Üzerinde en çok çalışılan ve uygulamaya girmiş olan yöntem, havadaki azot ve oksijenin,çeşitli katı maddeler üzerinde farklı adsorpsiyon özelliğine dayanmaktadır. Çoğunlukla PSA (Pressure Swing Adsorption) yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem, yatırım maliyetlerinin ucuzluğu, kullanım kolaylığı ve istenilen her türlü kapasiteye göre kurulabilme özellikleri bakımından,diğer yöntemlere göre daha caziptir.

Adsorpsiyon yöntemi ile ülkemizde henüz üretim yapılmamaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülke kendi şartlarına uygun olarak geliştirdikleri adsorpsiyon yöntemiyle oksijen üretimini uygulamaktadır. Adsorpsiyonla oksijen üretilmesi üzerine değişik yöntemlerin uygulanması,çalışmaları devam etmektedir.

Adsorpsiyon amacıyla kullanılan doğal maddeler ülkemizde bol



miktarda mevcuttur. Bu çalışmada ülkemizde bulunan doğal materyalleri kullanarak, adsorpsiyon yöntemiyle oksijen üretme olanaklarının araştırılması amaçlandı. Çalışmalarda öncelikle pirinç kabuğundan elde edilen aktif kömür, adsorbent olarak kullanıldı. Ancak olumlu sonuç alınamadı. İkinci olarak Batı Anadolu'da Bigadiç yöresindeki, Etibank Bigadiç Madenleri İşletmeler Müdürlüğünden sağlanan, klinoptilolit türü zeolit kullanıldı. Araştırmalarda doğal zeolitin doğrudan kullanımı, çeşitli sıcaklıklarda termal olarak aktifleştirildikten sonra kullanımı ile ilgili denemeler yapıldı. Uygun koşullar saptandıktan sonra çalışmalara başlandı.

Havanın yeryüzüne yakın olan kısımlarında, aşağıdaki gazların

hacimce yüzde bileşimleri ;

Azot : % 78,084

Oksijen : % 20,946

Argon : % 0,934

Karbon dioksit : % 0,030

Su buğu :  $1,821 \times 10^{-3}$

Helium :  $5,245 \times 10^{-5}$

Kripton :  $1,180 \times 10^{-4}$

Ksenon :  $8,700 \times 10^{-6}$

Hidrojen :  $5,000 \times 10^{-5}$  (çok azdır. Bileşim değeri)

yeryüzünden 30 km yüksekliğe kadar verilmektedir. Havada az-

amiyalar olarak su buharı (% 0,1-2,5), azot, karbon monoksit,

azot dioksit, azot trioksit, azot pentoksit, radon ve

ozon bulunmaktadır. Havanın ortalama sıcaklığı 15°C'dir.

10-1'de verilmektedir.



## 2. GENEL KISIM

## 2.1. HAVANIN ÖZELLİKLERİ

Hava 15. yüzyıla kadar Yunan ve Arap filozoflar tarafından ortaya atılan dört temel maddeden biri olarak biliniyordu. Havanın, diğer bir temel madde olan ateş ile hayat arasında ilişkili bir madde olduğu düşünülüyordu. Bu yüzyıldan sonra araştırmacılar havanın birçok komponentten meydana geldiğini ortaya koydular/1,2/.

Havanın yeryüzüne yakın olan kısımlarında, içerdiği gazların hacimce yüzde bileşimleri ;

Azot : % 78.084

Oksijen : % 20.946

Argon : % 0.934

Karbon dioksit : % 0.030

Neon : %  $1.821 \times 10^{-3}$

Helyum : %  $5.239 \times 10^{-4}$

Kripton : %  $1.140 \times 10^{-4}$

Ksenon : %  $8.700 \times 10^{-6}$

Hidrojen : %  $5.0 \times 10^{-5}$  'ten azdır. Bileşim değerleri

yeryüzünden 20 km 'lik mesafe için verilmiştir. Havada sızlıklar olarak su buharı (% 0.1-2.8), metan, karbon monoksit, sülfür dioksit, azot dioksit, azot monoksit, radon ve ozon bulunmaktadır/2/. Havaya ait termodinamik değerler Tablo-1'de verildi/3,5/.



|                                                     |                       |                       |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Isı Kapasitesi ( $C_p$ )                            | : 0.24                | Kcal/Kg. $^{\circ}$ K |
| Kritik Sıcaklık ( $T_c$ )                           | : -140.7              | $^{\circ}$ C          |
| Kritik Basınç ( $P_c$ )                             | : 38.5                | atm                   |
| Kritik Hacim ( $V_c$ )                              | : $32 \times 10^{-4}$ | m <sup>3</sup> /Kg    |
| Ortalama Mol Ağırlığı                               | : 28.964              | g/mol                 |
| 0 $^{\circ}$ C'deki Yoğunluğu ( $d_o$ )             | : 1.2929              | g/l                   |
| 20 $^{\circ}$ C, 760 mmHg'de Kuru Havanın Yoğunluğu | : 1.204               | g/l                   |

TABLO-1 : Havaya Ait Termodinamik Değerler.

## 2.2. OKSİJENİN ÖZELLİKLERİ

Oksijen gramer olarak oxys-genes, asit, keskin yapılı anlamına gelen latince kelimedenden adlandırılmıştır. Oksijenin keşfi, havanın yapısını anlamak için yapılan çalışmalar ve havadaki oksijenin, yanma ve canlı hayatının işlevlerindeki rolünü anlama bakımından önemli bir bilimsel başarı olmuştur. Priestley ve Scheele (1770) ilk kez oksijeni elde etmeyi başardılar/1,2,4/.

Oksijen paramanyetik özelliğe sahiptir. Normal sıcaklıklarda pasif olup, sıcaklık arttıkça yükseltgen özelliği artar ve yüksek sıcaklıklarda, hemen hemen tüm elementlerle birleşebilir. Oksijen-Oksijen arası bağ uzunluğu 1.207 Å dir. Oksijenin bağ enerjisi 118.47 Kcal/mol olduğundan, bağın parçalanması için gerekli sıcaklık oldukça yüksektir. Bu neden-

le yüksek sıcaklıklarda yükseltgen özelliği artar. Sezyum , rubidyum ve potasyum ile reaksiyona girdiğinde süper oksitleri verir. Sodyum ile peroksit, lityum, diğer metaller ve ametaller ile oksitleri verecek şekilde reaksiyona girer /1,2,4/.

Doğada bulunan elementlerin arasında % 50`lik bir oranla en bol bulunanıdır. Oksijenin üç izotopu vardır ve doğal oksijende % 99.759  $^{16}\text{O}$ , % 0.037  $^{17}\text{O}$ , % 0.204  $^{18}\text{O}$  yüzdelğinde bulunur. Oksijenin en önemli allotropu ozondur ve atmosferin üst katmanlarında mevcuttur. Normal şartlarda bir litre suda, 31 ml oksijen gazı çözünebilir. Bu çözünürlük sudaki canlılar için önemlidir/1,2/. Oksijene ait fiziksel sabitler Tablo-2`de verildi/1,2,3,4,5/.

### 2.3. AZOTUN ÖZELLİKLERİ

Latince nitrum adıyla bilinen azot, ilk kez Rutherford tarafından 1772 de keşfedildi. Scheele, Cavendish, Priestley ve diğerleri aynı zamanda incelediler ve oksijensiz hava adını verdiler. Atmosferin hacimce yaklaşık beşte dördünü oluşturan azot, endüstriyel olarak sıvı havanın destilasyonundan üretilir. Yeryüzünde diğer elementler içinde bulunma yüzdesi, % 0.046 olup, bu oranın % 90 lık kısmı atmosferde bulunmaktadır. Dünyamızda en önemli ikinci azot kaynağı Şili güherçilesidir/5,7/.



Azot renksiz ve kokusuz bir gazdır. Kritik sıcaklığı  $-147.1^{\circ}\text{C}$  olduğundan güç sıvılaşır. Azotun iki izotopu mevcut olup bunlar, % 99.635  $^{14}\text{N}$  ve % 0.365  $^{15}\text{N}$  oranında bulunurlar/7/. Azotun reaksiyon ilgisi oldukça düşüktür. İnert bir gaz gibi davranır. Bunun sebebi ise azot molekülündeki üçlü bağın kırılma enerjisinin, 225.12 Kcal/mol değerinde olup, yüksek olmasındandır. Azot, reaksiyona kızıl sıcaklıklarda girer. Lityum, magnezyum ve ağır metallerle, yüksek sıcaklıklarda nitrürleri oluşturur. Azot, gerçekte reaksiyon ilgisi fazla olan bir elementtir. Düşük sıcaklıklarda bu özelliğini, aktivasyon enerjisinin yüksekliğinden dolayı göstermez/5,7,8/. Azota ait fiziksel değerler Tablo-2'de verildi/8/.

|                                                       | OKSİJEN               | AZOT                  |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Atom Ağırlığı                                         | 15.9994               | 14.0067               |
| Atom No                                               | 8                     | 7                     |
| Erime Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )                  | -218.4                | -209.86               |
| Kaynama Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )                | -182.96               | -195.8                |
| $0^{\circ}\text{C}$ deki Yoğunluğu (g/l)              | 1.429                 | 1.251                 |
| K.N. daki Likit Spesfik Yoğ.(g/ml)                    | 1.14                  | 0.804                 |
| Kritik Sıcaklık, $T_c$ , ( $^{\circ}\text{C}$ )       | -118.57               | -147.1                |
| Kritik Basınç, $P_c$ , ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )    | 51.4                  | 34.6                  |
| Kritik Hacım, $V_c$ , ( $\text{cm}^3/\text{mol}$ )    | 73.37                 | ....                  |
| Kritik Yoğunluğu, $d_c$ , ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )  | 0.436                 | ....                  |
| K.N.daki Buharlaşma Isısı(Kcal/Kg)                    | 50.9                  | 47.6                  |
| Isı Kapasitesi, $15^{\circ}\text{C}$ , 1 atm(Kcal/Kg) | 0.22                  | 0.248                 |
| Moleküler Çap (cm)                                    | $2.92 \times 10^{-8}$ | $3.15 \times 10^{-8}$ |

TABLO-2: Oksijen ve Azotun Fiziksel Değerleri.

## 2.4. OKSİJEN ÜRETİMİ

### 2.4.1. KİMYASAL REAKSİYONLAR YOLUYLA

Oksijen ilk kez 1774 de Priestley tarafından civa - oksidin yüksek sıcaklıkta ısıtılmasıyla üretildi/1,2,5/. Bu yöntemle birçok metal ve ametal oksitlerinden yüksek sıcaklıklarda oldukça saf oksijen eldesi üzerinde çalışıldı. Örnek olarak baryum oksit havada  $500^{\circ}\text{C}$  ye ısıtıldığında baryum peroksit verir. Baryum peroksit daha yüksek sıcaklıklarda parçalanarak oksijen verir. Prosesin pahalı ve uygulamalarda zorluklar çıkarması yüzünden endüstride uygulanmamaktadır.

Kimyasal reaksiyon yoluyla, en önemli ve endüstride uygulanmakta olan yöntem, suyun elektrolizi ile oksijen üretimidir. Proses daha çok, hidrojen üretimi için uygulanır ve yan ürün olarak oksijen ele geçer. Hidrojen ve oksijenin her ikisinin birden istenildiği yerlerde, elektrolizle üretim yöntemi uygundur/4/.

Elektroliz yönteminde, elektrolit olarak %15 lik NaOH çözeltisi, anot ve katot olarak demir yada nikel çubuklar kullanılır. Elektroliz için gerekli ayrışma voltajı 1.5 V olduğu halde iç direnç, migrasyon ve banyo ısınmaları yüzünden 2.4-2.7 V luk bir gerilim gereklidir. Banyo sıcaklığı  $60^{\circ}\text{C}$ , enerji sarfiyatı  $9-12 \text{ Kwh/m}^3$  (oksijen) olup, üründe % 2 hidrojen bulunmaktadır. Elektrolizde akım verimi %99 olup, akım yoğunluğu  $0.07 \text{ Amper/cm}^2$  ve 15 amperlik akım gereklidir/10,11/.



## 2.4.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLERE DAYANAN YÖNTEMLERLE

Dünyada oksijen üretiminde birinci sırayı fiziksel bir yöntem olan, havanın destilasyonu yöntemi almaktadır. Havanın destilasyonu yönteminde, Joule-Thomson olayından faydalanaarak hava sıkıştırılır ve destillenerek oksijen, azot ve asal gazlar ayrılır. Joule-Thomson olayında, yüksek basınçta hava sıkıştırılır, ani olarak genişletilir. Genişleme işinin enerjisi, gazın iç enerjisinden alınır. Böylece gazın sıcaklığı düşer ve gaz sıvılaşır. Havanın kritik basıncı 38.5 atm olduğundan sıkıştırma basıncı bu değerin biraz üzerinde uygulanmaktadır/2,5,8,9/.

Likit havada %47-48 oranında oksijen vardır. Sıvılaştırılmış hava rektifikasyon kolonuna gönderilerek oksijen, azot ve diğer gazlar destillenerek ayrılır. 1950-1970 yılları arasında kurulan tesislerin günlük kapasiteleri 50-100 ton arasındadır. 1970 yılından sonra kurulan tesislerin kapasiteleri 1000-2000 ton/gün olarak gerçekleştirildi. Küçük hacimdeki çalışmalarda maliyet oldukça fazladır. Büyük bir tesiste minimum enerji tüketimi 224 Kwh/ton üretim olup, küçük tip tesiste 406-609 Kwh/ton üretim olarak belirtilmiştir/4,8,9/.

Adsorpsiyona dayanan yöntem son 20 yıl içinde uygulanmaya başlanmıştır. Adsorpsiyonla oksijen üretimi için değişik çalışma yöntemleri geliştirilmiş olup bazıları düşük sıcaklıkta/29/, bazıları ise atmosfer basıncının üzerinde/23,30/ çalışmaktadır. Adsorpsiyonla havanın ayrılması proseslerinden en çok uygulananı PSA prosesidir. PSA prosesinin ilk uygulan-

ması, havanın kurutulması ve hidrojenin saflaştırılması proseslerinde olup, Skarstrom tarafından geliştirilmiştir. PSA prosesleri iyi bir dizayn ve optimizasyon gerektirmektedir. Bu proseslerin ayrıntıları, matematiksel modelleme ile optimize edilebilir. Bu ayrıntılı faktörler olan besleme ve boşaltmanın akış hızı, sirkülasyon zamanı, kolon uzunluğu ve basınç oranları çok önemlidir/6/. PSA proseslerinde adsorban katı madde olarak aktif karbon kullanıldığında, oksijen adsorplanarak azot elde edilir ve oksijen desorpsiyonla alınabilir/12,13,20,24,25/. Adsorban katı madde olarak zeolit ve aktif karbonun birlikte kullanıldığı PSA proseslerinde, daha yüksek konsantrasyonlarda oksijen elde edilebilmektedir/30/.

Zeolitin kullanıldığı proseslerde, azot adsorplanarak oksijen elde edilmekte ve üretilen oksijenin konsantrasyonu, miktarı prosesin kendine ait özelliklerine göre değişmektedir/23,26,27,28,29/. Enerji gideri ve kapasite her bir prosese göre değişmektedir. Örnek olarak literatür /26/ daki verilere göre enerji gideri ve kapasite; 12,6 Kw/Ton ( $O_2$ )/gün dür. Bu proseste 4 kolon (400 Kg/kolon) kullanılıp, %93  $O_2$  elde edilmekte ve bir saatte  $123 m^3$  hava, kolonlardan geçmektedir. Bu proseslerde en az iki kolon kullanılmaktadır.



## 2.5. ADSORPSİYONUN TEMEL İLKELERİ

Sabit bir basınç altında tutulan bir gaz, öğütülmüş katı ile temas ettirildiğinde gazın basıncı düşer. Burada gaz, katının yüzeyi tarafından tutulmuş durumdadır. Bu olaya adsorpsiyon denir/31/. Adsorpsiyon, gazların katı madde yüzeyinde yoğunlaşması olarak ifade edilebilir. Absorpsiyon ise, katı maddenin içine nüfuz etme olarak tanımlanır. Mc Bain(1909) , bu iki terimi ortak olarak ve geniş anlamda kullanılmak üzere sorpsiyon (sorption) şeklinde ifade etmiştir/32/.

Adsorpsiyon seçimli bir olay olup, adsorban katı maddenin ve adsorplanan gazın özelliğine bağlıdır. Adsorbanın yüzey alanı, kimyasal yapısı ve geçirdiği bir takım işlemler, adsorpsiyonda önemli rol oynar. Adsorplanan gazın miktarı, adsorban katı madde miktarı ve gazın konsantrasyonu yada basıncı ile orantılıdır. Adsorpsiyon iki yönlü bir olaydır ve adsorplanan gaz ile adsorplanmamış gaz arasında bir denge vardır. Bu ilişkilerden beş tip adsorpsiyon izotermi gözlenmiştir. Adsorpsiyon izotermi Freundlich, Langmiur ve BET (Brunauer, Emmett, Teller) denklemleriyle açıklanmıştır/32/.

Freundlich denklemi, adsorplanan gazın miktarı basınçla orantılıdır ve ;

$$m = k P^{1/n} \quad (2-1) \quad \text{eşitliğiyle veril-}$$

miştir. Burada :

$m$  = birim adsorban katı madde başına adsorplanan gaz miktarı  
 $k$  ve  $n$  sabitlerdir.  $P$  = gazın kısmi basıncıdır.

Freundlich denklemi, adsorpsiyonun bir limite erişmesi halindeki olayı açıklayamaz/31/. Langmuir denklemi bu olayı , adsorplanmış gazın monomoleküler bir tabaka oluşturması şeklinde açıklar. Langmuir denkleminde, adsorplanan gaz ile adsorplanmamış gaz molekülleri arasında dinamik bir denge oluşur. Bu dengede birim zamanda, birim yüzeyde adsorplanan gaz için ;

$$n_1 = a_1 k P \theta_0 \quad (2-2) \text{ dir.}$$

$$k = N/(2 MRT)^{1/2}$$

$$a_1 = \text{Kondensasyon katsayısı}$$

$$R = \text{Gaz sabiti}$$

$$P = \text{Gazın basıncı}$$

$$M = \text{Gazın molekül ağırlığı}$$

$$\theta_0 = \text{Kaplanmamış yüzey kesri}$$

$$T = \text{Sıcaklık}$$

$$N = \text{Avogadro sayısı}$$

Bezer şekilde, birim yüzeyden desorbe edilen molekül sayısı için ;

$$n'_1 = z_m \theta_1 v_1 e^{-E_1/RT} \quad (2-3) \text{ dir.}$$

$z_m$  = monomoleküler tabaka oluşturmak için birim yüzeyde adsorplanmış molekül sayısı

$$\theta_1 = \text{Kaplanmış yüzey kesri, } (\theta_0 = 1 - \theta_1)$$

$$v_1 = \text{Adsorplanmış moleküllerin titreşim frekansı}$$

$$E_1 = \text{Desorpsiyon Enerjisi}$$

$$\text{Dinamik denge halinde, } n_1 = n'_1 \quad (2-4) \text{ olur.}$$

(2-2) ve (2-3) denklemleri (2-4) denkleminde yerine konulduğunda, ayrıca  $\theta_1 = X/X_m$  ,  $B = k/z_m v_1 e^{-E_1/RT}$  alındığında ve  $a_1 = 1$  kabul edildiğinde ;

$$\frac{X}{X_m} = \frac{B P}{1 + B P} \quad (2-5) \text{ denklemi bulunur.}$$

(2-5) denklemi yeniden düzenlenirse ;

$$\frac{P}{X} = \frac{1}{B X_m} + \frac{P}{X_m} \quad (2-6)$$

Langmuir eşitliği elde edilir/32,33/.



Gazların zeolitlerdeki adsorpsiyonu Langmuir izotermine uyarlılık göstermektedir/33/.

Yüksek basınçlarda monomoleküler tabaka yerine multimoleküler tabakaların oluştuğu gözlenmiş ve bu durum BET denklemi ile açıklanmıştır. Bu izotermde herbir tabakada, kondensasyon enerjileri ve buharlaşma-yoğunlaşma sabitlerinin oranları sabit olduğu kabul edilerek, matematiksel-istatistik yöntemler yardımıyla B E T denklemi elde edilmiştir(2-7).

$$\frac{P}{X (P_0 - P)} = \frac{1}{X_m C} + \frac{C - 1}{X_m C} \times \frac{P}{P_0} \quad (2-7)$$

$$C = \frac{a_1 v_2 e^{(E_1 - L)/RT}}{a_2 v_1} \quad (2-8)$$

$L = E_2 = E_3 = \dots = E_i =$  Gizli kondensasyon ısısı.

$(E_1 - L) =$  Net adsorpsiyon ısısı.

$X_m =$  Katı adsorbanın gramı başına düşen, adsorplanan gazın gram miktarındaki monomoleküler tabakanın kapasitesi/32/.

Adsorpsiyonda katının gözenekli yapısı çok önemlidir. Çoğu kez  $20 \text{ Å}^0$  den küçük olan mikro gözeneklerle ve yarıçapı  $200 \text{ Å}^0$  den büyük olan makro gözeneklerde, adsorpsiyon monomolekülerdir. Bu iki büyüklük arasındaki mezo gözenekli katılarda multimoleküler adsorpsiyonlar meydana gelir/32/.



## 2.6. ZEOLİTLER

Dünya üzerindeki yaygın ve birçok türü bulunan alümino-silikat iskeletindeki mineraller olan zeolitler;

$(M_2^+ M^{2+})O \cdot Al_2O_3 \cdot x SiO_2 \cdot n H_2O$  genel formülüyle ifade edilirler. Burada  $M^+$  katyonu, alkali iyonlar olup genellikle Na, K ve nadiren Li'dur.  $M^{2+}$  katyonu ise Ca, Mg, Fe olup nadiren Sr ve Ba olabilir. Zeolitler Si/Al oranlarına göre sınıflandırılırlar. Doğal zeolitlerin kırktan fazla türü olduğu bilinmektedir. Ençok bilinenleri, mordenit, klinoptilolit (heulandite), ferrierite, chabazite, erionite ve phillipsite-dir/34,35/.

Zeolit kristal yapısı,  $SiO_4^{4-}$  ve  $AlO_4^{5-}$  düzgündört-yüzlülerinin üç boyutta sonsuz bağlanmalarıyla oluşmuştur. Si ve Al atomları merkezde, oksijen atomları köşelerde,  $M^+$  ve  $M^{2+}$  katyonları ise su molekülleriyle birlikte boşluklarda bulunurlar. İskelete bağlı olan bütün katyonlar uzaklaştırılabilir. Zeolit özelliğinin bozulmaması için, katyonlar ve alüminyum arasındaki ekivalent oran sabit kalacak şekilde işlem görmelidir. 100-450°C de ısıtılma işlemi uygulandığında yapı bozundurulmadan su molekülleri uzaklaştırılabilir. Suyun atılması sırasında bazı metal katyonları atıldığında yapının dengesi bozulabilir. Bu durumda dengeyi korumak için bazı katyonlar uzaklaştırılan katyonların yerini alır/34,35,36/. Batı Anadolu'daki klinoptilolit türü zeolitlerin 450°C de ısıtılma işlem gördükleri halde amorfleşmadıkları ve hatta 600-700°C'ye kadar kristal yapılarını korudukları gözlenmiştir. Klinoptilolitlerin K ve Ca bakımından zengin ve Na bakımından

fakir olduğu saptanmıştır. Bu özelliğin ısı kararlılığı arttırdığı ifade edilmiştir/37/. Isıl işlem sonunda zeolitin içerdiği su atılırken, oluşan boşluklar nedeniyle geniş bir iç yüzey alan oluşur. İç yüzey alanının artması, doğal zeolitin adsorban olarak önemli bir özellik kazanmasını sağlar/18,36, 38/.

Doğal zeolitlerde adsorpsiyonla, oksijen ve azotun ayrılması çalışmaları, yeni uygulamalarla geliştirilmektedir. Bu çalışmalar içinde, doğal zeolitin bazı katyonlarla modifiye edilerek, adsorpsiyon özellikleri arttırılabilmektedir. Katyonlardan iki değerlikli olanlarda adsorplama etkinliği,  $\text{Be}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  ve  $\text{Zn}^{2+}$  sırasıyla azaldığı ve  $\text{Mg}^{2+}$  katyonunun azot-oksijen ayrılmasında etkili olduğu görüldü/39,40/. Aynı şekilde +1 değerlikli katyonlarla modifiye edilen doğal zeolitlerde  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$  ve  $\text{K}^+$  dan daha fazla etkili olduğu görüldü /40/. Kısmen  $\text{Zn}^{2+}$  ve  $\text{K}^+$  ile modifiye edilen zeolitte azot ve oksijen ayrılmıştır/41/.  $\text{K}^+$  ca zenginleştirilen klinoptilolit havanın oksijence zenginleştirilmesinde kullanılmıştır/16/. Sentetik zeolitler içinde benzer modifiye işlemler uygulanıp, oksijen ve azotun ayrılması sağlanabilir. Ca-Na-A tipi zeolitte, NaCl ilavesiyle/23/, Na-X tipi zeolitte  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ilavesiyle/42/ havanın oksijence zenginleşmesi sağlanmıştır. Na- $\text{Me}^{2+}$ -Li-A zeolitlerinde lityumun, magnezyuma eşit olacak şekilde etkinlik göstermiştir/43/.



### 3. DENEYLER KISIM

#### 3.1. DENEYLERDE KULLANILAN APARATLAR VE AYGITLAR

##### 3.1.1. ADSORPSİYON KOLONU

Paslanmaz Cr/Ni -18 çeliğinden yapılmış olan adsorpsiyon kolonunun, adsorbent ile dolu olan kısmının iç çapı, 63 mm ve uzunluğu, 470 mm dir. Adsorpsiyon kolonunun dış uzunluğu 510 mm ve et kalınlığı, 6 mm dir. Şekil-1'de A harfi ile gösterilen adsorpsiyon kolonu, 10-15 Kg/cm<sup>2</sup> basınca dayanabilecek özelliktedir. Kolonun adsorbent ile dolu olan kısmının kesit alanı, 31.7 cm<sup>2</sup> dir. Kolonun giriş ucu, 1 nolu vanayla kompresör tankına bağlıdır. Kolonun sıcaklığını için, kolonun giriş ucuna bağlı, metalik tüp bulunmaktadır. Tübün iç çapı dijital avometrenin termokupulunun girebileceği kadar dardır. Kolonun girişindeki 1 nolu vana, teflon vana olup, yanındaki 10 Kg/cm<sup>2</sup> basınca kadar ölçüm yapan manometre yardımıyla kolona giren kuru havanın giriş hızını, kontrol ederek ayarlar.

Adsorpsiyon kolonunun çıkış ucu, vakum pompasına 3 nolu vana ile, flowmetre ve orsat aparatına 2 nolu vana ile bağlanmıştır. Adsorpsiyon kolonunun çıkış ucunda, ayrıca bir manometre bulunmaktadır. 2 nolu vana yardımıyla ve flowmetreyle beraber kolondan çıkan gazın hızı kontrol edilir ve ayarlanır. Adsorpsiyon kolonunun tüm hacmi 1750 cm<sup>3</sup> olup, adsorban katı maddenin doldurulduğu kısmın hacmi, 1480 cm<sup>3</sup> dür.

### 3.1.2. HAVA KOMPRESÖRÜ

Dalgakıran ticari markalı kompresör, trifaze elektrik motorlu olup, 0.75 BG (0.55 Kwh) gücündedir. 1.5-2.5 amperde çalışan termik şalterli motorun pompası, 7 Kg/cm<sup>2</sup> basınca kadar havayı pompalamaktadır ve 4.5-7 Kg/cm<sup>2</sup> basınç sınırlarında çalışmaktadır. Hava tankı 25 litreliktir.

Kompresörün hava giriş ucu, nem ve karbondioksiti tutan absorpsiyon şişelerine bağlıdır. Şekil-1'de, 6 nolu cihaz, hava kompresörünü göstermektedir. Çalışma sırasında, kompresör tarafından emilen hava, kompresörün pompasıyla tanka basılır. Hava emiliş sırasında, absorpsiyon şişelerinden geçerek nemi ve karbondioksiti tutulur. Kompresör tankında, çalışmalarda kullanılmak üzere 7 Kg/cm<sup>2</sup> basınçta kuru hava depolanır.

### 3.1.3. ABSORPSİYON ŞİŞELERİ

Şekil-1'de 8,9,10,11 nolu aparatlar, absorpsiyon şişelerini göstermektedir. 8 nolu şişede katı NaOH, 9 nolu şişe boş, 10 nolu şişe CaCl<sub>2</sub> ve 11 nolu şişe silikajel ile doludur. 8 nolu şişenin hava giriş ucu, 12 nolu toz filtresine bağlıdır. Absorpsiyon şişeleriyle, havanın kuru ve karbondioksitten arındırılması sağlanır.



### 3.1.4. VAKUM POMPASI

M L W markalı Doğu Almanya yapımı olan pompa, trifaze elektrik motorlu olup, motoru 0.6 Kwh gücünde ve 1.1-1.9 A akımda çalışmaktadır. Motorun devir sayısı 1360 devir/dk olup, vakum pompası  $5 \times 10^{-3}$  torr'a kadar vakum sağlayabilmektedir. Vakum pompasının hava boşaltma kapasitesi,  $8 \text{ m}^3/\text{h}$  dir. Deney çalışmalarına başlamadan önce ve deney sonunda 10-15 dakika sürelerde kullanıldı. Vakum pompası Şekil-1'de 7 numaralı cihaz olarak gösterildi.

### 3.1.5. DİJİTAL AVOMETRE

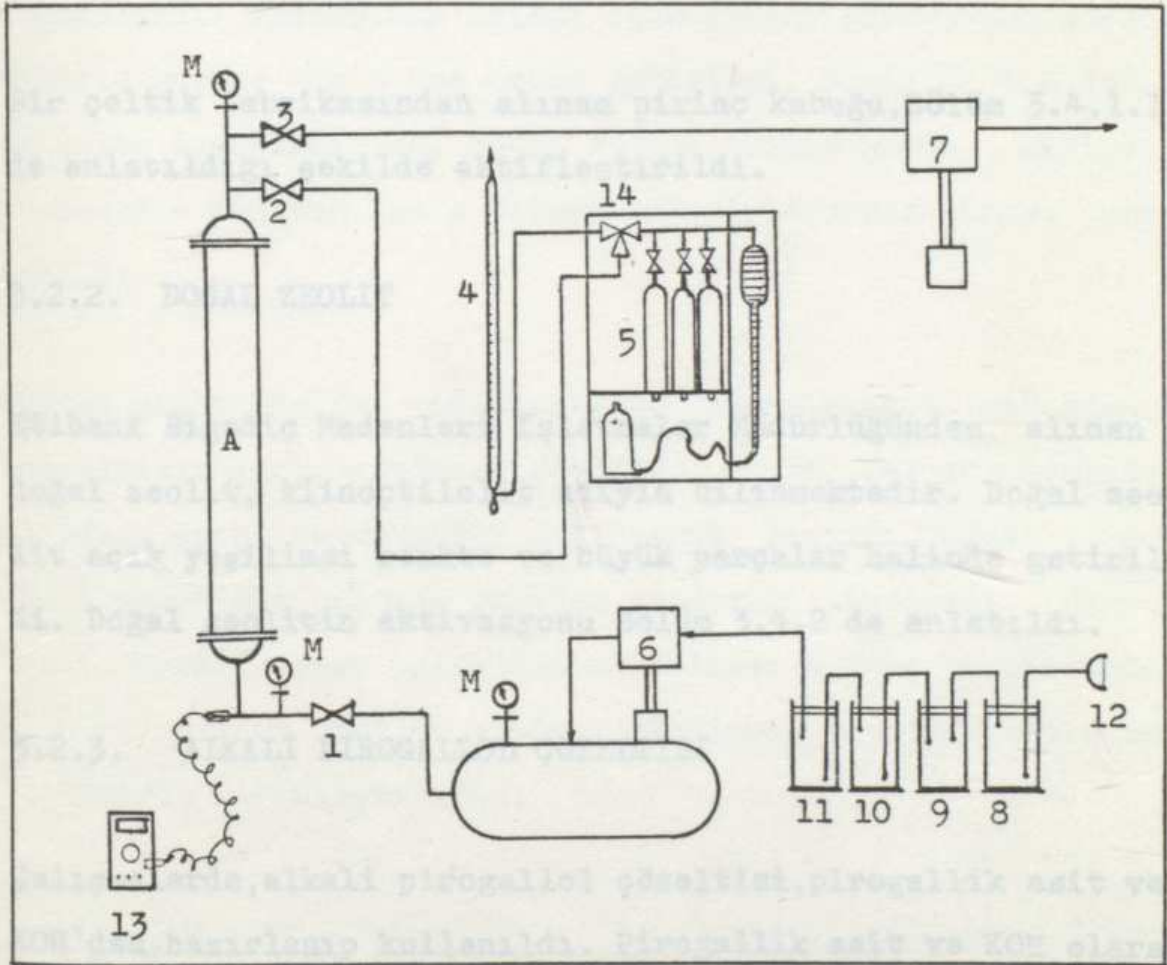
Kolon girişinde bulunan metal tüp içinden kolondaki ve çevre sıcaklığını ölçmek için kullanılan avometrenin Fe-Konstantantan yapılmış olan termokupulu, -50 ile  $-1200^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında ölçüm yapmaktadır. Doğal zeolitin termal aktivasyonunda fırının sıcaklığını daha hassas ölçmek için dijital avometreden yararlanıldı. Dijital avometrenin seri numarası , 17602106, HC 501OK dır ve Şekil-1'de 13 numarayla verildi.

### 3.1.6. BUBLE FLOWMETRE APARATI

1/5 taksimatlı 200 ml hacimli buble flowmetre, kronometre ve deterjan köpüğü yardımıyla, adsorpsiyon kolonundan çıkan gazın, çıkış debisini ölçmek için kullanıldı. Debi sürekli bir şekilde kontrol edildi. Şekil-1'de 4 numarayla gösterildi.

## 3.1.7. ORSAT APARATI

100 ml hacmindeki gazı analiz edebilecek kapasitedeki orsat aparatı, adsorpsiyon kolonundan çıkan gazın analizi için kullanıldı. Orsat aparatındaki absorpsiyon şişeleri alkali pirogallol çözeltileriyle doldurularak, gazdaki oksijenin absorbe edilmesiyle yapılan analizde kullanıldı. Orsat aparatı, Şekil-1'de 5 numara ile gösterildi.



ŞEKİL-1 : Adsorpsiyon Prosesi Akış Şeması. A, Adsorpsiyon Kolonu; 1,2,3, Vanalar ; 4, Flowmetre; 5, Orsat Aparatı ; 6, Hava Kompresörü; 7, Vakum Pompası; 8,9,10,11, Absorpsiyon Şişeleri; 12, Hava Filtresi; 13, Avometre; 14, Üç Yollu Musluk; M, Manometre



### 3.2. KULLANILAN MATERYALLER

Öndenemeler için adsorban olarak pirinç kabuğundan elde edilen aktif kömür, daha sonra doğal zeolit kullanıldı. Havanın ve üretilen gazın analizi için alkali pirogallol çözeltisi, nem ve karbondioksitin tutulması için teknik NaOH ve  $\text{CaCl}_2$  kullanıldı.

#### 3.2.1. PİRİNÇ KABUĞUNDAN YAPILMIŞ AKTİF KÖMÜR

Bir çeltik fabrikasından alınan pirinç kabuğu, Bölüm 3.4.1.1. de anlatıldığı şekilde aktifleştirildi.

#### 3.2.2. DOĞAL ZEOLİT

Etibank Bigadiç Madenleri İşletmeler Müdürlüğünden alınan doğal zeolit, klinoptilolit adıyla bilinmektedir. Doğal zeolit açık yeşilimsi renkte ve büyük parçalar halinde getirildi. Doğal zeolitinin aktivasyonu Bölüm 3.4.2'de anlatıldı.

#### 3.2.3. ALKALİ PİROGALLOL ÇÖZELTİSİ

Çalışmalarda, alkali pirogallol çözeltisi, pirogallik asit ve KOH'den hazırlanıp kullanıldı. Pirogallik asit ve KOH olarak Merck ticari markalı materyaller kullanıldı. Pirogallol çözeltisi, %30'luk pirogallik asit çözeltisiyle, %60'luk KOH çözeltisinin 2:7 oranında karıştırılmasıyla hazırlandı/21/. Pirogallol çözeltisi, her iki deney analizinden sonra tekrar yeniden, taze olarak hazırlandı ve kullanıldı.

### 3.3. ANALİZ YÖNTEMİ

Deneysel çalışmalarda, adsorpsiyon kolonundan gelen gazdan belirli sürelerde, orsat aparatının gaz numune büretine 100 ml hacminde gaz numuneleri alındı. Numuneler alındıktan sonra orsat aparatının gaz absorpsiyon şişelerinde bulunan alkali pirogallol çözeltisiyle numune gazda bulunan oksijen absorplandı. Absorplama işlemi için alkali pirogallol çözeltisiyle numune gaz 8 kez temas ettirildi. Normalde 5-6 defa işlem tamamlanırken, temas sayısı numune gazda, oksijen yüzdesinin %25 ten fazla olması nedeniyle temas süresi arttırıldı.

Numune gazda oksijen absorpsiyonu tamamlanınca, gaz numune büretindeki hacim azalması ölçüldü. Ölçüm, gaz numunesinin alındığı şartlara uygunluk sağlanarak yapıldı. Ölçüm değeri gaz numunesinde bulunan oksijen yüzdesini, hacimsel olarak verdi. Herbir deney çalışmasına başlamadan önce kompresördeki kuru havanın oksijen yüzdesi ölçülerek, deney sırasındaki ölçümlerle karşılaştırıldı.



### 3.4. DENEYLERİN YAPILIŞI VE BULGULAR

#### 3.4.1. ÖNDENEMELER

Adsorpsiyon çalışmalarında önce adsorbent olarak pirinç kabuğundan yapılmış olan aktif kömür kullanıldı. Yapılan önçalışmada aktif kömürdeki adsorpsiyonda, yeterli veri sağlanmadığından, adsorbent olarak, termal aktifleştirilmiş doğal zeolit ile çalışmalara geçildi.

#### 3.4.1.1. PİRİNÇ KABUĞUNDAN AKTİF KÖMÜR ELDESİ VE ÖNDENEME

Çeltik fabrikasından alınan pirinç kabuğu aşağıdaki şekilde aktifleştirildi.

Çinkoklörürün 1100 gramı 100 gram suda çözüldü. Bu çözeltiden 500 ml hazırlanıp, içine 50 gram pirinç kabuğu konuldu ve 24 saat bekletilip, pirinç kabuğunun ıslanması sağlandı. Çözeltinin fazlası aktarılarak, pirinç kabuğundan ayrıldı ve 24 saat 105°C de etüvde nemi giderildi. Fırın sıcaklığı 750°C ye ayarlandı. Pirinç kabuğu seramikten yapılmış kapalı bir kap içinde ve azot atmosferinde birkaç saat kavruldu. Çıkan kömürlerin üzerindeki çinko klörürü uzaklaştırmak için, hidroklorik asit ile suyun 1:3 oranındaki karışımında kaynatıldı. Süzüldükten sonra önce musluk suyu, sonra bidistile suyla bütün klörürler uzaklaşınca kadar yıkandı. Bu işlemden sonra 105°C de etüvde birkaç saat kurutuldu/22/.



Aktif kömürden 429 gram üretildi. BET yüzey alanı  $319 \text{ m}^2/\text{g}$  olarak ölçüldü. Kolona doldurulduktan sonra, 3.5, 4.0, 5.0  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  basınçlarda denemeler yapıldı ve kolondan çıkan gaz analiz edildi. Değerler Tablo-3'te verildi.

| Basınç, P<br>$\text{Kg}/\text{cm}^2$ | Çıkan gazın $\text{O}_2$ konsantrasyonu<br>% $\text{O}_2$ (hacimce) |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 3.5                                  | 20.0                                                                |
| 4.0                                  | 18.2                                                                |
| 5.0                                  | 19.0                                                                |

TABLO-3 : Aktif Kömürde Adsorpsiyonun Basınç-% $\text{O}_2$  Değerleri.

Tablo-3'teki değerlerden ve çalışma sırasında , çalışma basıncına eriştikten sonra basınç düşüşü, çok az olduğundan dolayı, çalışma şartlarına göre uygun görülmedi ve diğer katı adsorban madde olan, doğal zeolit ile çalışmaya geçildi.

#### 3.4.1.2. AKTİFLEŞTİRİLMİŞ DOĞAL ZEOLİT İLE YAPILAN ÖNÇALIŞMA

Çalışmalarda kullanılan klinoptilolit türü doğal zeolitın termal aktivasyonu için, ön çalışma  $900^\circ\text{C}$  de yapıldı. Termal aktivasyon Bölüm 3.4.2 'de anlatıldığı gibi uygulandı ve aktifleştirme  $900^\circ\text{C}$  de yapıldı. Aktifleştirilmiş zeolit kolona dolduruldu. Sırasıyla 3.0, 4.0, 4.5, 5.0  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  basınç altında, adsorpsiyon denemeleri yapıldı. Denemelerin sonuçları Tablo-4 'de verildi.

| Basınç, P<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Oksijen Kons. u<br>(% O <sub>2</sub> )(hacimce) | Tane Büyüklüğü<br>(Elek arası) |
|------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|
| 3.0                                | 18.4                                            | 8-10                           |
| 4.0                                | 19.4                                            | 8-10                           |
| 4.5                                | 19.0                                            | 8-10                           |
| 5.0                                | 20.0                                            | 8-10                           |

TABLO-4 : Aktif Zeolitte Basınç-%O<sub>2</sub> Konsantrasyonu Değerleri

Elde edilen verilerden, adsorpsiyonun oksijenin tutulması şeklinde olduğunu gösterdi. Termal aktivasyon sıcaklığı değiştirilerek, kaynaklarda (literatürlerde) belirtilen sıcaklıklarda, Bölüm 3.4.2 'de anlatılan termal aktivasyon işlemi uygulandı. Bu öndenemeler için tane büyüklüğü 0.312 - 8 ve 8 - 10 mesh'lik eleklerarası boyutunda olan doğal zeolit tanecekleri kullanıldı. Her iki tane büyüklüğündeki doğal zeolit 450°C de aktifleştirildikten sonra adsorpsiyon kolonuna dolduruldu. Kolonda kaçak testi yapıldıktan sonra, her deneme öncesinde uygulandığı gibi 3 nolu vana açılarak vakum yapıldı. Vakum süresince 1 ve 2 nolu vanalar kapalı tutuldu. Vakum işlemlerinden sonra, kolona değişik basınçlarda, değişik dolum süreleri ve değişik temas süreleri uygulayarak ön çalışmalar yapıldı. Kolona uygulanan basınçlarda, belirli bir temas süresi sonunda meydana gelen basınç düşüşleri ve kolondan çıkan gazın analizlerinin sonucunda adsorpsiyonun, azotun tutulması şeklinde olduğunu gösterdi. Ön çalışmaların değerlendirilmesiyle, adsorpsiyonla havanın bileşenlerine ayrılması çalışmalarında, ana hatlar belirlendi. Ön çalışma-

larla ilgili veriler, Tablo-5,6,7 'lerde verildi.

| $P_o$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) | $T_d$ (sn) | $T_{kk}$ (sn) | $P_s$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) | % O <sub>2</sub> kons. |
|-----------------------------|------------|---------------|-----------------------------|------------------------|
| 1.5                         | 120        | 180           | 0.4                         | 25.2                   |
| 2.5                         | 120        | 180           | 1.0                         | 23.8                   |
| 3.0                         | 120        | 180           | 1.2                         | 27.0                   |
| 3.5                         | 120        | 300           | 2.0                         | 25.2                   |
| 4.0                         | 120        | 300           | 2.5                         | 24.8                   |
| 4.5                         | 120        | 400           | 2.5                         | 26.2                   |
| 5.0                         | 120        | 420           | 2.8                         | 25.6                   |
| 5.5                         | 120        | 420           | 3.2                         | 24.6                   |
| 6.0                         | 120        | 540           | 3.2                         | 24.4                   |

TANE BÜYÜKLÜĞÜ : 0.312 - 8 mesh elekler arası

TABLO-5 : Basıncın, Temas Süresi ve % O<sub>2</sub> Konsantrasyonuna Etkisinin Verileri.

| $P_o$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) | $T_d$ (sn) | $T_{kk}$ (sn) | $P_s$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) | % O <sub>2</sub> kons. |
|-----------------------------|------------|---------------|-----------------------------|------------------------|
| 3.0                         | 60         | 120           | 2.7                         | 37.0                   |
| 3.0                         | 120        | 120           | 2.7                         | 39.0                   |
| 4.0                         | 145        | 180           | 3.6                         | 38.0                   |
| 5.0                         | 540        | 180           | 4.8                         | 44.2                   |

TANE BÜYÜKLÜĞÜ : 10 - 18 mesh elekler arası

TABLO-6 : Dolum ve Temas Sürelerinin, Basınç ve % O<sub>2</sub> Konsantrasyonuna Etkisinin Verileri.

| $P_o$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) | $T_{kk}$ (sn) | $P_s$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) | $P_o$ (Kg/cm <sup>2</sup> )                        | $T_{kk}$ (sn) | $P_s$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|---------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|---------------|-----------------------------|
| 2.0                         | 60            | 1.0                         | 4.5                                                | 60            | 3.2                         |
| 2.0                         | 120           | 0.6                         | 4.5                                                | 400           | 2.5                         |
| 2.0                         | 600           | 0.6                         | 4.5                                                | 900           | 2.4                         |
| 2.5                         | 60            | 1.2                         | 5.0                                                | 60            | 3.8                         |
| 2.5                         | 180           | 0.8                         | 5.0                                                | 500           | 2.8                         |
| 2.5                         | 600           | 0.6                         | 5.0                                                | 720           | 2.6                         |
| 3.0                         | 60            | 1.6                         | 5.5                                                | 60            | 4.0                         |
| 3.0                         | 300           | 1.2                         | 5.5                                                | 420           | 3.2                         |
| 3.0                         | 600           | 1.0                         | 5.5                                                | 720           | 3.0                         |
| 3.5                         | 60            | 2.2                         | 6.0                                                | 60            | 4.0                         |
| 3.5                         | 300           | 2.0                         | 6.0                                                | 600           | 3.5                         |
| 3.5                         | 600           | 1.8                         | 6.0                                                | 720           | 3.4                         |
| 4.0                         | 60            | 2.4                         | $T_d$ (sn) : 15<br>TANE BÜYÜKLÜĞÜ: 10-18 elekarası |               |                             |
| 4.0                         | 300           | 2.0                         |                                                    |               |                             |
| 4.0                         | 600           | 1.8                         |                                                    |               |                             |

TABLO-7 : Sabit Dolum Süresinde, Basıncın Temas Süresiyle Değişiminin Verileri.

Tablo-5, Tablo-6, Tablo-7'de verilen semboller aşağıda gösterildi. Deneyler sırasında havadaki  $O_2$  %21 olarak ölçüldü.

$P_o$  : Kolon doldurulduğundaki basınç.

$P_s$  : Kolondaki temas süresinin bitimindeki basınç.

$T_d$  : Kolonun verilen basınca kadar doldurulma süresi.

$T_{kk}$  : Kolondaki temas süresi.



### 3.4.2. ZEOLİTİN TERMAL AKTİVASYONU VE TANE BÜYÜKLÜĞÜNE GÖRE AYIRILMASI

Doğal zeolitin termal aktivasyonundan önce, zeolit parçaları çeneli kırıcıyla küçük parçacıklar haline getirildi. Parçacıklar elek numarasına göre beş sınıfa ayrıldı. Elek numaralarına göre beş sınıf sırasıyla, 0.312 inç-8 mesh, 8-10 mesh, 10-18 mesh, 18-25 mesh, 25-50 mesh olup, tane büyüklüğü, verilen elek aralıkları olarak belirlendi. Elek numarası ile tane boyutu arasındaki ilgili değerler Tablo-8 de verildi/9/.

Tane büyüklüğüne göre sınıflandırmadan sonra, herbir sınıfa, aynı şartlar altında, aynı işlemlerle termal aktivasyon uygulandı. Termal aktivasyon için, doğal zeolit önce tartıldı, etüv sıcaklığı  $105^{\circ}\text{C}$  'ye ayarlandı ve 24 saat bu sıcaklıkta nemi giderildi. Daha sonra tartıldı ve nem kaybı ölçüldü. Fırın sıcaklığı  $450^{\circ}\text{C}$  'ye ayarlandıktan sonra, zeolit fırına konuldu ve bu sıcaklıkta 4.5 saat kavruldu. Literatürlerde aktifleştirme sıcaklığı  $400-500^{\circ}\text{C}$  olarak verildi/14,15,16,17, 18/.

Aktifleştirme işleminden sonra zeolit tartıldı, önceki tartım değerleri ile birlikte doğal zeolitteki nem ve toplam su içerikleri bulundu. Tane büyüklüğüne göre sınıflandırılan zeolitin nem ve toplam su içerikleri Tablo-9 da verildi. Bu değerlerden zeolite ait toplam su içeriği ortalama olarak hesaplandı. Bulunan değer, literatürlerde verilen değerlere uygunluk gösterdi/15,16/. Bulunan toplam su miktarı ortalama

%12.52 olarak belirtildi. Aktifleştirilen zeolitler, tartım işleminden sonra çalışmalarda kullanılmak üzere vakum desikatöründe muhafaza edildi. Aktifleştirilmiş herbir tane büyüklüğüne ait zeolit numuneleri alınarak, aktif zeolitin BET yüzey alanları ölçüldü ve değerleri Tablo-10 da verildi.

| Elek No    | Elek Açıklığı | Tane Büyüklüğü | Boyut Aralığı |
|------------|---------------|----------------|---------------|
| 0.312 inch | 8.000 mm      | 0.312-8 mesh   | 8.00-2.38 mm  |
| 8 mesh     | 2.380 mm      | 8-10 mesh      | 2.38-2.00 mm  |
| 10 mesh    | 2.000 mm      | 10-18 mesh     | 2.00-1.00 mm  |
| 18 mesh    | 1.000 mm      | 18-25 mesh     | 1.00-0.707mm  |
| 25 mesh    | 0.707 mm      | 25-50 mesh     | 0.707-0.297mm |
| 50 mesh    | 0.297 mm      |                |               |

TABLO-8 : Elek Numarası ile Tane Büyüklüğünün Değerleri.

| Tane Büyüklüğü<br>(Elek No Arası) | 105°C de 24 saat<br>sonunda kalan %H <sub>2</sub> O(w/w) | Doğal Zeolitteki<br>%H <sub>2</sub> O (w/w) |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0.312-8                           | 6.21                                                     | 12.30                                       |
| 8-10                              | 6.31                                                     | 12.50                                       |
| 10-18                             | 6.40                                                     | 12.43                                       |
| 18-25                             | 6.80                                                     | 12.70                                       |
| 25-50                             | 5.84                                                     | 12.66                                       |

TABLO-9 : Doğal Zeolitteki, Tane Büyüklüğüne Göre Toplam Su Yüzdesi Değerleri.



| Tane Büyüklüğü | Kolona Doldurulan  | BET Yüzey Alanı |
|----------------|--------------------|-----------------|
| Elek No (mesh) | Zeolit Miktarı (g) | $m^2/g$         |
| 0.312-8        | 1023               | 11.0            |
| 8-10           | 1018               | 23.0            |
| 10-18          | 948                | 20.0            |
| 18-25          | 977                | 19.0            |
| 25-50          | 920                | 21.0            |

TABLO-10 : Kolondaki Zeolitin BET Yüzey Alan Değerleri.

### 3.4.3. DENEMELER VE YÖNTEM

Havanın azot ve oksijeninin, adsorpsiyon yoluyla ayrılması denemelerinde, aktifleştirilmiş doğal zeolit üzerinde azotun tutulmasının, aktifleştirilmiş zeolitin tane büyüklüğüne, basıncın adsorpsiyondaki etkisine, adsorpsiyon kolonuna gönderilen kuru havanın giriş-sürüklenme hızına ve dolun süresine bağımlılık incelendi.

Doğal zeolitin aktivasyonunun, sıcaklığa bağlı olarak değişimi, öndeneme çalışması sırasında (Bölüm 3.4.1.2.) incelendi ve ideal aktivasyon sıcaklığı Bölüm 3.4.2.'de belirtildi.

#### 3.4.3.1. ADSORPSİYONUN BASINCA BAĞLILIĞI

Denemeler öncesinde, adsorpsiyon kolonundaki hava, 3 nolu

vana açılarak vakum pompası ile boşaltıldı. Vakuma 10 dakika devam ettikten sonra, 3 nolu vana kapatıldı ve kompresörün çıkışındaki 1 nolu vana açılarak adsorpsiyon kolonu, 120 saniyede denemenin yapılacağı basınca kadar kuru ve karbondioksitsiz hava ile dolduruldu. Bu süre dolmuş süresi ( $T_d$ ), olarak adlandırıldı. İstenilen basınca kadar doldurulmuş olan kolonun basıncı, bekleme sırasında adsorpsiyonun meydana gelmesiyle basınç düştü ve belirlenen basınca gelinceye kadar yeniden hava verildi. Basınç düşmesi durduktan sonra 1 nolu vana kapatıldı. Kolonun ölçüm yapılacak olan basınçta, toplam bekleme süresi 180 saniye olarak tespit edildi. Bu süre, temas süresi ( $T_{kk}$ ) olarak adlandırıldı ve bu süre sırasında 2 nolu vana kapalı tutuldu.

Temas süresi dolduktan sonra 1 ve 2 nolu vanalar 120 ml/dk debi ile gaz verecek durumda açıldı. 14 nolu üç yollu musluk yardımıyla adsorpsiyon kolonundan çıkan gaz, debisinin ölçümü ve 2 nolu vananın ayarlanması için buble flowmetresine gönderildi. Debi ölçülüp ayarlandıktan sonra 14 nolu musluğun yardımıyla belirli zamanlarda, adsorpsiyon kolonundan çıkan gazın analizi için orsat aparatına gaz numunesi gönderildi ve tekrar 14 nolu musluk yardımıyla gaz buble flowmetresine gönderilerek, debi sürekli kontrol edildi. Adsorpsiyon kolonu 1 nolu vanadan çalışma basıncı sabit kalacak şekilde beslendi. Denemeler, adsorpsiyon kolonundan çıkan gazın oksijen konsantrasyonu, kompresörden gelen kuru havadaki %21 (v/v) 'lik yüzdeye ininceye kadar gaz analizlerine devam edildi. Temas süresi bitiminden başlayarak %21  $O_2$  konsantrasyona erişinceye kadar geçen süre, üretim süresi ( $T_{üs}$ )

olarak adlandırıldı. Denemeler 2, 3, 4, 5 ve 6 Kg/cm<sup>2</sup> ' lik basınçlarda tekrarlandı. Herbir basınca ait elde edilen oksijen yüzdeleri, zamana, basınca ve tane büyüklüğüne göre elde edilen veriler, Tablo-11'den Tablo-35'e kadar olan tablolarda verildi. Tablolardaki %O<sub>2</sub> ile zaman(dk) arasındaki verilerin,  $y = \frac{1}{A+Bx}$  (3-1) hiperbolik fonksiyonunun eğrisine uyduğu görüldü. Deneysel veriler (3-1) denklemine uygulandı. Denklem  $\frac{1}{y} = y^* = A+Bx$  (3-2) denklemine dönüştürülerek regreslon analizi yapıldı ve korelasyon katsayıları ile A, B katsayıları hesaplandı/19/.

Hiperbolik fonksiyonun A ve B katsayıları hesaplandıktan sonra, deneylerin üretim süresi sonuna kadar olan süre aralığında hiperbolik fonksiyon integre edildi.

$$\int_0^{T_{üs}} \frac{1}{A+Bx} \cdot dx = \frac{1}{B} \ln \left[ \frac{A+B(T_{üs})}{A} \right] \quad (3-3)$$

(3-3) denkleminde herbir tablodaki veriler için ayrı ayrı hesaplanarak, üretim süresi boyunca, üretilen gazdaki toplam oksijen ve buna bağlı olarak üretilen gazdaki %O<sub>2</sub> konsantrasyonu bulundu. Üretilen gazdaki oksijen konsantrasyonunun bulunmasından faydalanarak adsorplanan azot miktarı aşağıdaki denklem ile hesaplandı.

$$m_N = \frac{m_H \times C_O}{0.21} - m_H \quad (3-4)$$

$m_N$  : Adsorplanan azot (litre)

$m_H$  : Üretilen (kolondan çıkan toplam) gaz (litre)

$C_O$  : Üretilen gazın oksijen konsantrasyonu ( % v/v)

Herbir tabloya ait veriler, tablo içinde hesaplanarak verildi.

### 3.4.3.2. ADSORPSİYONUN TANE BÜYÜKLÜĞÜNE BAĞIMLILIĞI

Bölüm 3.4.2.'de zeolitin termal aktivasyonunda belirtildiği gibi zeolit, beş çeşit tane büyüklüğüne göre ayrıldı ve aktifleştirildi. Daha sonra bölüm 3.4.3.1.'de basınca bağlı olarak adsorpsiyonun değişiminin incelenmesinde,  $2 \text{ Kg/cm}^2$  den başlayarak  $6 \text{ Kg/cm}^2$  ye kadar yapılan denemeler, herbir tane-  
cik büyüklüğünde ayrı ayrı tekrarlandı. Dolayısıyla tane büyüklüğüne ve basınca bağımlılık aynı zamanda incelendi.

0.312-8 nolu tane büyüklüğüyle olan çalışmalar, Tablo-11, 12, 13, 14, 15'de ; 8-10 nolu tane büyüklüğüyle yapılan çalışmalar, Tablo- 16, 17, 18, 19, 20'de ; 10-18 nolu tane büyüklüğüyle yapılan çalışmalar, Tablo-21, 22, 23, 24, 25'de; 18-25 tane büyüklüğüyle yapılan çalışmalar, Tablo-26, 27, 28, 29, 30'da ; 25-50 tane büyüklüğüyle yapılan çalışmalar, Tablo-31, 32, 33, 34, 35'de verildi.

0.312-8 nolu tane büyüklüğüyle yapılan çalışmalarda, oksijen ile zaman arasında elde edilen verilerden, üretim süresinin 20. dakikasına kadar olan veriler için lineer denklem modeli kullanıldı. Lineer denklem  $y' = A' + B'x$  , (3-5) olarak alındıktan sonra, 20. dakika sonrası için ise,  $y = \frac{1}{A + Bx}$  modeli alınarak, heriki denklemin regresyon analizi yapıldı ve verilen zaman sınırları içinde katsayılar ve korelasyon katsayıları hesaplandı. Bulunan değerler Tablo-11,12,13,14 , 15'de ayrı ayrı hesaplanıp verildi. İki ayrı modelin kullanılmasının nedeni Bölüm-4'de açıklandı.

TABLO-11,12,13,14,15'deki ortak parametreler :

DEBİ ( $V_d$ ) : 120 ml/dk

DOLUM SÜRESİ ( $T_d$ ) : 120 sn

TEMAS SÜRESİ ( $T_{kk}$ ) : 180 sn

TANE BÜYÜKLÜĞÜ : 0.312-8 mesh Elek No aralıkları

| Zaman(dk) | % $O_2$ | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup> |
|-----------|---------|--------------------------------------------|
| 3.        | 24.4    |                                            |
| 8.        | 27.0    | $R_1' : 0.993816586$                       |
| 15.       | 30.4    | $A_1' : 23.310059$                         |
| 20.       | 31.8    | $B_1' : 0.44260355$                        |
| 25.       | 31.6    |                                            |
| 34.       | 30.0    | $R_1 : 0.99391204$                         |
| 48.       | 28.0    | $A_1 : 2.8573377 \times 10^{-2}$           |
| 60.       | 26.2    | $B_1 : 1.51823026 \times 10^{-4}$          |
| 70.       | 25.2    |                                            |
| 77.       | 24.0    | $C_0 : \%25.76$                            |
| 95.       | 23.0    | $m_N : 3.536$ litre                        |
| 110.      | 22.2    | $m_H : 15.600$ litre                       |
| 120.      | 21.6    |                                            |
| 130.      | 21.0    |                                            |

TABLO-11 : 0.312-8 Tane Büyüklüğünde ve 2 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.



| Zaman (dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 3 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|------------|------------------|----------------------------------------------|
| 3.         | 23.2             |                                              |
| 5.         | 24.0             | R <sub>2</sub> ' : 0.9972                    |
| 15.        | 28.0             | A <sub>2</sub> ' : 21.86621622               |
| 17.        | 29.4             | B <sub>2</sub> ' : 0.42837837                |
| 23.        | 29.8             |                                              |
| 30.        | 30.2             | R <sub>2</sub> : 0.997548486                 |
| 35.        | 29.4             | A <sub>2</sub> : 3.0267338x10 <sup>-2</sup>  |
| 45.        | 28.4             | B <sub>2</sub> : 1.14654137x10 <sup>-4</sup> |
| 60.        | 26.6             |                                              |
| 80.        | 25.2             | C <sub>O</sub> : %25.40                      |
| 90.        | 24.6             | m <sub>N</sub> : 3.771 litre                 |
| 102.       | 24.0             | m <sub>H</sub> : 18.000 litre                |
| 120.       | 22.8             |                                              |
| 140.       | 21.6             |                                              |
| 150.       | 21.0             |                                              |

TABLO-12 : 0.312-8 Tane Büyüklüğünde ve 3 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.



| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 4 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|-----------|------------------|-----------------------------------------------|
| 5.        | 23.2             |                                               |
| 12.       | 26.0             | R' <sub>3</sub> : 0.9932985                   |
| 17.       | 29.0             | A' <sub>3</sub> : 20.64954129                 |
| 22.       | 30.6             | B' <sub>3</sub> : 0.47798165                  |
| 30.       | 30.0             |                                               |
| 39.       | 30.2             | R <sub>3</sub> : 0.99567368                   |
| 43.       | 29.6             | A <sub>3</sub> : 2.9501874x10 <sup>-2</sup>   |
| 48.       | 29.0             | B <sub>3</sub> : 1.073798535x10 <sup>-4</sup> |
| 63.       | 28.0             |                                               |
| 75.       | 27.0             |                                               |
| 105.      | 24.4             | C <sub>O</sub> : %25.53                       |
| 125.      | 23.0             | m <sub>N</sub> : 4.400 litre                  |
| 140.      | 22.4             | m <sub>H</sub> : 20.400 litre                 |
| 170.      | 21.0             |                                               |

TABLO-13 : 0.312-8 Tane Büyüklüğünde ve 4 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.



| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 5 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|-----------|------------------|-----------------------------------------------|
| 3.        | 21.6             |                                               |
| 9.        | 24.6             | R' <sub>4</sub> : 0.9979487                   |
| 15.       | 27.0             | A' <sub>4</sub> : 20.35                       |
| 23.       | 29.0             | B' <sub>4</sub> : 0.45                        |
| 30.       | 29.8             |                                               |
| 40.       | 29.4             | R <sub>4</sub> : 0.992972026                  |
| 50.       | 29.0             | A <sub>4</sub> : 3.10574464x10 <sup>-2</sup>  |
| 70.       | 27.2             | B <sub>4</sub> : 8.843643128x10 <sup>-5</sup> |
| 95.       | 25.2             |                                               |
| 120.      | 23.8             | C <sub>0</sub> : %25.06                       |
| 140.      | 22.8             | m <sub>N</sub> : 4.408 litre                  |
| 150.      | 22.4             | m <sub>H</sub> : 22.800 litre                 |
| 180.      | 21.4             |                                               |
| 190.      | 21.0             |                                               |

TABLO-14 : 0.312-8 Tane Büyüklüğünde ve 5 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.



| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 6 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|-----------|------------------|----------------------------------------------|
| 3.        | 22.0             |                                              |
| 10.       | 24.6             | R' <sub>5</sub> : 0.99926                    |
| 18.       | 27.2             | A' <sub>5</sub> : 21.0230769                 |
| 26.       | 28.0             | B' <sub>5</sub> : 0.346153846                |
| 32.       | 28.2             | R <sub>5</sub> : 0.99229267                  |
| 43.       | 27.8             | A <sub>5</sub> : 3.30637618x10 <sup>-2</sup> |
| 52.       | 27.6             | B <sub>5</sub> : 6.50480872x10 <sup>-5</sup> |
| 60.       | 27.2             |                                              |
| 76.       | 26.8             |                                              |
| 98.       | 25.4             |                                              |
| 120.      | 24.8             | C <sub>O</sub> : %24.74                      |
| 150.      | 23.8             | m <sub>N</sub> : 4.595 litre                 |
| 170.      | 22.6             | m <sub>H</sub> : 25.800 litre                |
| 190.      | 21.8             |                                              |
| 215.      | 21.0             |                                              |

TABLO-15 : 0.312-8 Tane Büyüklüğünde ve 6 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.

TABLO-16,17,18,19,20'DEKİ ORTAK PARAMETRELER :

DEBİ (V<sub>d</sub>) : 120 ml/dk  
DOLUM SÜRESİ (T<sub>d</sub>) : 120 sn  
TEMAS SÜRESİ (T<sub>kk</sub>) : 180 sn  
TANE BÜYÜKLÜĞÜ : 8-10 mesh Elek No Aralıkları



| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|-----------|------------------|-----------------------------------------------|
| 3.        | 57.6             |                                               |
| 10.       | 55.0             |                                               |
| 20.       | 48.0             | R <sub>6</sub> : 0.99752055                   |
| 30.       | 41.2             | A <sub>6</sub> : 1.595767947x10 <sup>-2</sup> |
| 45.       | 33.4             | B <sub>6</sub> : 2.926460879x10 <sup>-4</sup> |
| 60.       | 28.6             |                                               |
| 75.       | 26.2             | C <sub>0</sub> : %34.31                       |
| 90.       | 23.4             | m <sub>N</sub> : 8.366 litre                  |
| 105.      | 21.8             | m <sub>H</sub> : 13.200 litre                 |
| 110.      | 21.0             |                                               |

TABLO-16 : 8-10 Tane Büyüklüğünde ve 2 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 3 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|-----------|------------------|-----------------------------------------------|
| 3.        | 62.5             |                                               |
| 10.       | 53.0             | R <sub>7</sub> : 0.99453565                   |
| 20.       | 45.0             | A <sub>7</sub> : 1.709527716x10 <sup>-2</sup> |
| 30.       | 39.2             | B <sub>7</sub> : 2.5467548x10 <sup>-4</sup>   |
| 45.       | 33.2             |                                               |
| 60.       | 30.0             | C <sub>0</sub> : %33.03                       |
| 75.       | 27.0             | m <sub>N</sub> : 8.593 litre                  |
| 90.       | 24.6             | m <sub>H</sub> : 15.000 litre                 |
| 110.      | 22.6             |                                               |
| 125.      | 21.0             |                                               |

TABLO-17 : 8-10 Tane Büyüklüğünde ve 3 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 3.        | 57.0             |
| 10.       | 51.0             |
| 20.       | 44.0             |
| 30.       | 40.0             |
| 45.       | 34.0             |
| 60.       | 30.4             |
| 75.       | 28.2             |
| 90.       | 26.2             |
| 110.      | 23.6             |
| 125.      | 22.0             |
| 140.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 4 Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>8</sub> : 0.995893321  
A<sub>8</sub> : 1.83096455x10<sup>-2</sup>  
B<sub>8</sub> : 2.18721444x10<sup>-4</sup>

C<sub>O</sub> : %32.10  
m<sub>N</sub> : 8.880 litre  
m<sub>H</sub> : 16.800 litre

TABLO-18 : 8-10 Tane Büyüklüğünde ve 4 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncı-taki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 3.        | 54.0             |
| 10.       | 48.2             |
| 20.       | 42.8             |
| 30.       | 39.0             |
| 45.       | 34.8             |
| 60.       | 31.2             |
| 75.       | 29.0             |
| 90.       | 27.2             |
| 110.      | 25.0             |
| 125.      | 23.4             |
| 140.      | 22.2             |
| 155.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 5 Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>9</sub> : 0.996288293  
A<sub>9</sub> : 1.9613718x10<sup>-2</sup>  
B<sub>9</sub> : 1.857935258x10<sup>-4</sup>

C<sub>O</sub> : %31.37  
m<sub>N</sub> : 9.185 litre  
m<sub>H</sub> : 18.600 litre

TABLO-19 : 8-10 Tane Büyüklüğünde ve 5 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncı-taki Veriler.



| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 6 Kg/cm <sup>2</sup>     |
|-----------|------------------|------------------------------------------------|
| 3.        | 54.6             |                                                |
| 10.       | 47.6             | R <sub>10</sub> : 0.992338807                  |
| 20.       | 41.6             | A <sub>10</sub> : 2.0600491x10 <sup>-2</sup>   |
| 30.       | 37.4             | B <sub>10</sub> : 1.640772159x10 <sup>-4</sup> |
| 45.       | 34.0             |                                                |
| 60.       | 31.8             | C <sub>O</sub> : %30.69                        |
| 75.       | 29.6             | m <sub>N</sub> : 9.413 litre                   |
| 90.       | 27.6             | m <sub>H</sub> : 20.400 litre                  |
| 110.      | 25.6             |                                                |
| 130.      | 23.6             |                                                |
| 150.      | 22.4             |                                                |
| 165.      | 21.4             |                                                |
| 170.      | 21.0             |                                                |

TABLO-20 : 8-10 Tane Büyüklüğünde ve 6 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.

TABLO-21,22,23,24,25 ' DEKİ ORTAK PARAMETRELER :

DEBİ (V<sub>d</sub>) : 120 ml/dk  
 DOLUM SÜRESİ (T<sub>d</sub>) : 120 sn  
 TEMAS SÜRESİ (T<sub>kk</sub>) : 180 sn  
 TANE BÜYÜKLÜĞÜ : 10-18 mesh Elek No Aralıkları



| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 2.        | 43.7             |
| 3.        | 46.8             |
| 8.        | 46.4             |
| 19.       | 43.4             |
| 30.       | 37.2             |
| 45.       | 31.6             |
| 60.       | 28.7             |
| 75.       | 26.0             |
| 90.       | 23.0             |
| 110.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 2 Kg/cm<sup>2</sup>

$R_{11} : 0.993589029$

$A_{11} : 2.0181912 \times 10^{-2}$

$B_{11} : 2.487652228 \times 10^{-4}$

$C_O : \%31.32$

$m_N : 6.487 \text{ litre}$

$m_H : 13.200 \text{ litre}$

TABLO-21 : 10-18 Tane Büyük-  
lüğünde ve 2 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 2.        | 46.0             |
| 4.        | 46.6             |
| 7.        | 45.5             |
| 9.        | 45.2             |
| 15.       | 44.0             |
| 24.       | 40.4             |
| 35.       | 36.5             |
| 46.       | 33.2             |
| 55.       | 31.4             |
| 70.       | 27.4             |
| 85.       | 25.6             |
| 100.      | 24.0             |
| 135.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 3 Kg/cm<sup>2</sup>

$R_{12} : 0.996695$

$A_{12} : 2.049276 \times 10^{-2}$

$B_{12} : 2.088306 \times 10^{-4}$

$C_O : \%30.69$

$m_N : 7.475 \text{ litre}$

$m_H : 16.200 \text{ litre}$

TABLO-22 : 10-18 Tane Büyük-  
lüğünde ve 3 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 3.        | 48.0             |
| 8.        | 47.2             |
| 14.       | 44.8             |
| 21.       | 41.0             |
| 30.       | 38.4             |
| 40.       | 36.0             |
| 50.       | 33.0             |
| 60.       | 30.2             |
| 75.       | 28.2             |
| 95.       | 26.0             |
| 122.      | 24.0             |
| 140.      | 23.0             |
| 145.      | 22.4             |
| 160.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 4 Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>13</sub> : 0.9933187  
A<sub>13</sub> : 2.102236x10<sup>-2</sup>  
B<sub>13</sub> : 1.69245x10<sup>-4</sup>

C<sub>O</sub> : %30.57  
m<sub>N</sub> : 8.750 litre  
m<sub>H</sub> : 19.200 litre

TABLO-23 : 10-18 Tane Büyük-  
lüğünde ve 4 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 3.        | 43.8             |
| 8.        | 41.8             |
| 15.       | 40.3             |
| 24.       | 36.8             |
| 31.       | 34.8             |
| 41.       | 33.0             |
| 52.       | 32.0             |
| 60.       | 31.2             |
| 75.       | 30.2             |
| 90.       | 29.0             |
| 97.       | 28.4             |
| 120.      | 26.4             |
| 160.      | 22.4             |
| 190.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 5 Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>14</sub> : 0.99259374  
A<sub>14</sub> : 2.3682254x10<sup>-2</sup>  
B<sub>14</sub> : 1.2678881x10<sup>-4</sup>

C<sub>O</sub> : %29.13  
m<sub>N</sub> : 8.827 litre  
m<sub>H</sub> : 22.800 litre

TABLO-24 : 10-18 Tane Büyük-  
lüğünde ve 5 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 6 Kg/cm <sup>2</sup>     |
|-----------|------------------|------------------------------------------------|
| 2.        | 42.3             |                                                |
| 6.        | 41.0             | R <sub>15</sub> : 0.998538298                  |
| 12.       | 40.1             | A <sub>15</sub> : 2.38467x10 <sup>-2</sup>     |
| 17.       | 39.2             | B <sub>15</sub> : 1.106136145x10 <sup>-4</sup> |
| 26.       | 37.5             |                                                |
| 38.       | 35.6             | C <sub>O</sub> : %29.09                        |
| 50.       | 34.0             | m <sub>N</sub> : 9.939 litre                   |
| 60.       | 33.0             | m <sub>H</sub> : 25.800 litre                  |
| 70.       | 31.0             |                                                |
| 85.       | 29.4             |                                                |
| 100.      | 28.3             |                                                |
| 115.      | 27.2             |                                                |
| 130.      | 26.0             |                                                |
| 150.      | 24.8             |                                                |
| 170.      | 24.0             |                                                |
| 190.      | 22.3             |                                                |
| 215.      | 21.0             |                                                |

TABLO-25 : 10-18 Tane Büyüklüğünde ve 6 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.



TABLO-26,27,28,29,30 'DAKI ORTAK PARAMETRELER :

DEBİ ( $V_d$ ) : 120 ml/dk

DOLUM SÜRESİ ( $T_d$ ) : 120 sn

TEMAS SÜRESİ ( $T_{kk}$ ) : 180 sn

TANE BÜYÜKLÜĞÜ : 18-25 mesh Elek No Aralıkları

| Zaman(dk) | % $O_2$ | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup> |
|-----------|---------|--------------------------------------------|
| 3.        | 46.0    |                                            |
| 8.        | 43.6    | $R_{16} : 0.998100864$                     |
| 17.       | 39.8    | $A_{16} : 2.1762627 \times 10^{-2}$        |
| 23.       | 36.2    | $B_{16} : 2.21565238 \times 10^{-4}$       |
| 30.       | 34.0    |                                            |
| 45.       | 31.4    | $C_O : \%30.42$                            |
| 60.       | 28.2    | $m_N : 6.190 \text{ litre}$                |
| 75.       | 26.0    | $m_H : 13.800 \text{ litre}$               |
| 90.       | 24.0    |                                            |
| 103.      | 22.6    |                                            |
| 110.      | 22.0    |                                            |
| 115.      | 21.0    |                                            |

TABLO-26 : 18-25 Tane Büyüklüğünde ve 2 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.



| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
|-----------|------------------|

|      |      |
|------|------|
| 2.   | 43.0 |
| 10.  | 42.0 |
| 20.  | 38.4 |
| 30.  | 34.8 |
| 48.  | 31.4 |
| 60.  | 29.0 |
| 75.  | 27.0 |
| 90.  | 25.0 |
| 110. | 23.2 |
| 120. | 21.8 |
| 125. | 21.0 |

P (Çalışma Basıncı): 3 Kg/cm<sup>2</sup>

$$R_{17} : 0.998582876$$

$$A_{17} : 2.24274012 \times 10^{-2}$$

$$B_{17} : 1.95800302 \times 10^{-4}$$

$$C_O : \%30.14$$

$$m_N : 6.529 \text{ litre}$$

$$m_H : 15.000 \text{ litre}$$

TABLO-27 : 18-25 Tane Büyük-  
lüğünde ve 3 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
|-----------|------------------|

|      |      |
|------|------|
| 3.   | 42.8 |
| 11.  | 41.2 |
| 20.  | 38.0 |
| 30.  | 35.4 |
| 45.  | 31.8 |
| 60.  | 29.4 |
| 75.  | 27.4 |
| 90.  | 25.8 |
| 110. | 24.0 |
| 125. | 22.0 |
| 140. | 21.0 |

P (Çalışma Basıncı): 4 Kg/cm<sup>2</sup>

$$R_{18} : 0.998796622$$

$$A_{18} : 2.287662693 \times 10^{-2}$$

$$B_{18} : 1.777352014 \times 10^{-4}$$

$$C_O : \%29.58$$

$$m_N : 6.864 \text{ litre}$$

$$m_H : 16.800 \text{ litre}$$

TABLO-28 : 18-25 Tane Büyük-  
lüğünde ve 4 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.



| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 3.        | 40.0             |
| 10.       | 39.0             |
| 20.       | 36.8             |
| 30.       | 34.2             |
| 45.       | 31.6             |
| 60.       | 29.2             |
| 75.       | 27.8             |
| 93.       | 26.6             |
| 110.      | 25.0             |
| 130.      | 23.2             |
| 145.      | 22.0             |
| 155.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 5 Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>19</sub> : 0.99792323  
A<sub>19</sub> : 2.466334474x10<sup>-2</sup>  
B<sub>19</sub> : 1.44667765x10<sup>-4</sup>

C<sub>O</sub> : %28.84  
m<sub>N</sub> : 6.944 litre  
m<sub>H</sub> : 18.600 litre

TABLO-29 : 18-25 Tane Büyük-  
lüğünde ve 5 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 3.        | 39.2             |
| 13.       | 38.2             |
| 20.       | 36.8             |
| 30.       | 34.0             |
| 45.       | 31.8             |
| 60.       | 29.6             |
| 77.       | 28.4             |
| 90.       | 27.2             |
| 110.      | 25.8             |
| 130.      | 24.2             |
| 150.      | 23.0             |
| 170.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 6 Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>20</sub> : 0.996601897  
A<sub>20</sub> : 2.51803198x10<sup>-2</sup>  
B<sub>20</sub> : 1.27500741x10<sup>-4</sup>

C<sub>O</sub> : %28.65  
m<sub>N</sub> : 7.431 litre  
m<sub>H</sub> : 20.400 litre

TABLO-30 : 18-25 Tane Büyük-  
lüğünde ve 6 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.

TABLO-31,32,33,34,35`DEKİ ORTAK PARAMETRELER :

|                           |   |                               |
|---------------------------|---|-------------------------------|
| DEBİ ( $V_d$ ) (dk)       | : | 120 ml/dk                     |
| DOLUM SÜRESİ ( $T_d$ )    | : | 120 sn                        |
| TEMAS SÜRESİ ( $T_{kk}$ ) | : | 180 sn                        |
| TANE BÜYÜKLÜĞÜ            | : | 25-50 mesh Elek No Aralıkları |

| Zaman(dk) | % $O_2$ | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup> |
|-----------|---------|--------------------------------------------|
| 3.        | 50.6    |                                            |
| 8.        | 46.4    | $R_{21} : 0.999040877$                     |
| 15.       | 43.6    | $A_{21} : 1.9193103 \times 10^{-2}$        |
| 30.       | 36.0    | $B_{21} : 2.834676746 \times 10^{-4}$      |
| 45.       | 30.8    |                                            |
| 60.       | 27.2    | $C_0 : \%32.00$                            |
| 75.       | 24.6    | $m_N : 6.286 \text{ litre}$                |
| 90.       | 22.8    | $m_H : 12.000 \text{ litre}$               |
| 100.      | 21.0    |                                            |

TABLO-31 : 25-50 Tane Büyüklüğünde ve 2 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 3.        | 49.8             |
| 8.        | 46.0             |
| 18.       | 43.6             |
| 30.       | 38.0             |
| 45.       | 32.0             |
| 60.       | 29.6             |
| 75.       | 26.8             |
| 90.       | 24.8             |
| 105.      | 23.4             |
| 125.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 3 Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>22</sub> : 0.997503705

A<sub>22</sub> : 1.9800848x10<sup>-2</sup>

B<sub>22</sub> : 2.2555711x10<sup>-4</sup>

C<sub>O</sub> : %31.40

m<sub>N</sub> : 7.429 litre

m<sub>H</sub> : 15.000 litre

TABLO-32 : 25-50 Tane Büyük-  
lüğünde ve 3 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 3.        | 47.0             |
| 9.        | 44.0             |
| 20.       | 39.8             |
| 30.       | 36.8             |
| 45.       | 32.2             |
| 60.       | 29.8             |
| 75.       | 27.4             |
| 90.       | 25.8             |
| 110.      | 24.0             |
| 125.      | 22.6             |
| 140.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 4 Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>23</sub> : 0.99722302

A<sub>23</sub> : 2.1559698x10<sup>-2</sup>

B<sub>23</sub> : 1.8748121x10<sup>-4</sup>

C<sub>O</sub> : %30.34

m<sub>N</sub> : 7.472 litre

m<sub>H</sub> : 16.800 litre

TABLO-33 : 25-50 Tane Büyük-  
lüğünde ve 4 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.



| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 3.        | 43.6             |
| 5.        | 45.6             |
| 9.        | 42.0             |
| 20.       | 39.2             |
| 30.       | 36.4             |
| 45.       | 33.0             |
| 60.       | 29.8             |
| 75.       | 27.4             |
| 90.       | 26.0             |
| 120.      | 23.4             |
| 135.      | 22.6             |
| 150.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 5 Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>24</sub> : 0.99629661

A<sub>24</sub> : 2.2376767x10<sup>-2</sup>

B<sub>24</sub> : 1.70561316x10<sup>-4</sup>

C<sub>O</sub> : %29.80

m<sub>N</sub> : 7.543 litre

m<sub>H</sub> : 18.000 litre

TABLO-34 : 25-50 Tane Büyük-  
lüğünde ve 5 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|
| 2.        | 44.6             |
| 4.        | 45.6             |
| 10.       | 43.6             |
| 20.       | 40.0             |
| 30.       | 37.4             |
| 45.       | 33.8             |
| 60.       | 31.0             |
| 75.       | 28.0             |
| 90.       | 26.4             |
| 110.      | 24.8             |
| 120.      | 24.2             |
| 140.      | 22.4             |
| 165.      | 21.0             |

P (Çalışma Basıncı): 6 Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>25</sub> : 0.996362595

A<sub>25</sub> : 2.204195x10<sup>-2</sup>

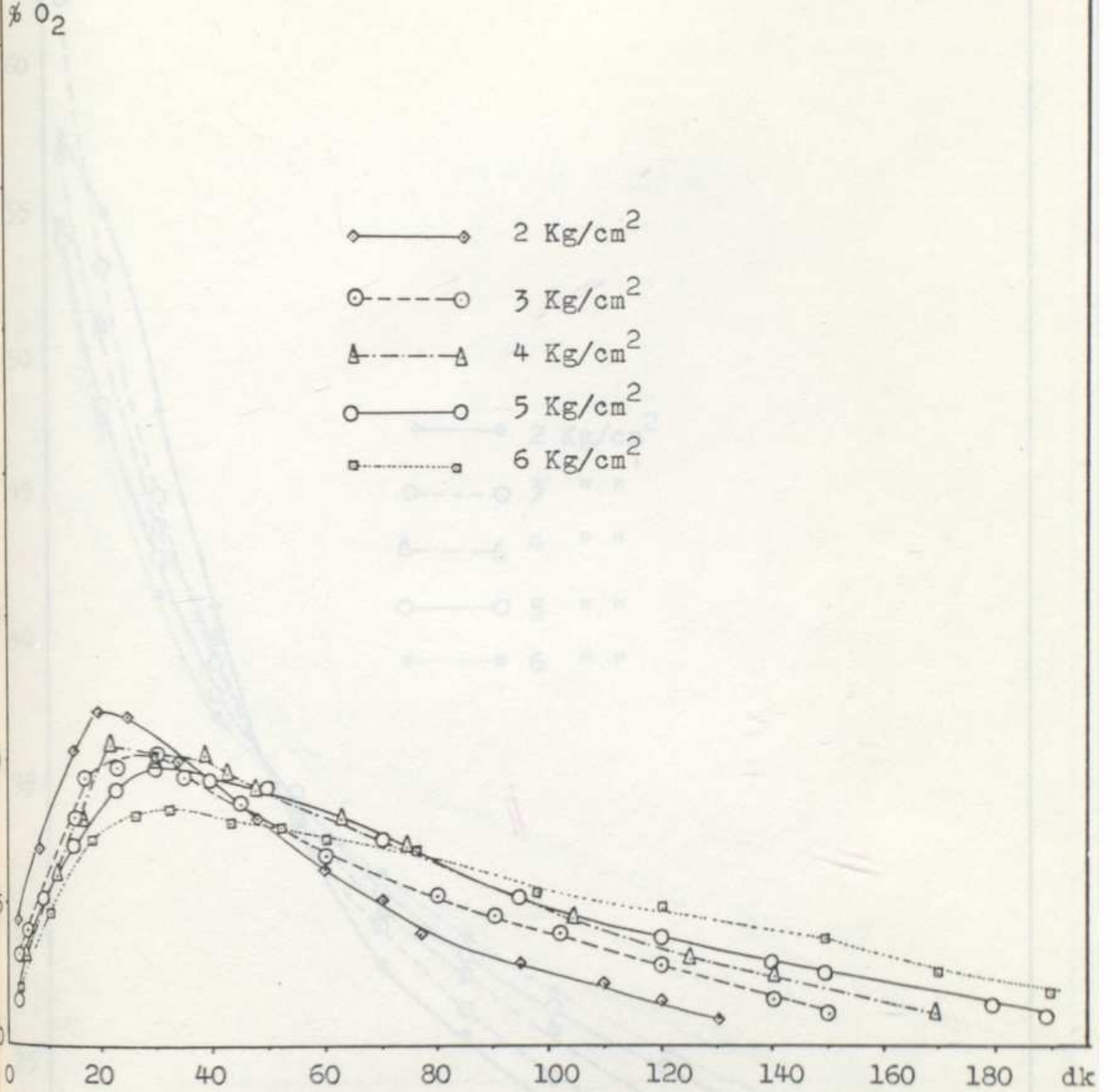
B<sub>25</sub> : 1.6282833x10<sup>-4</sup>

C<sub>O</sub> : %29.67

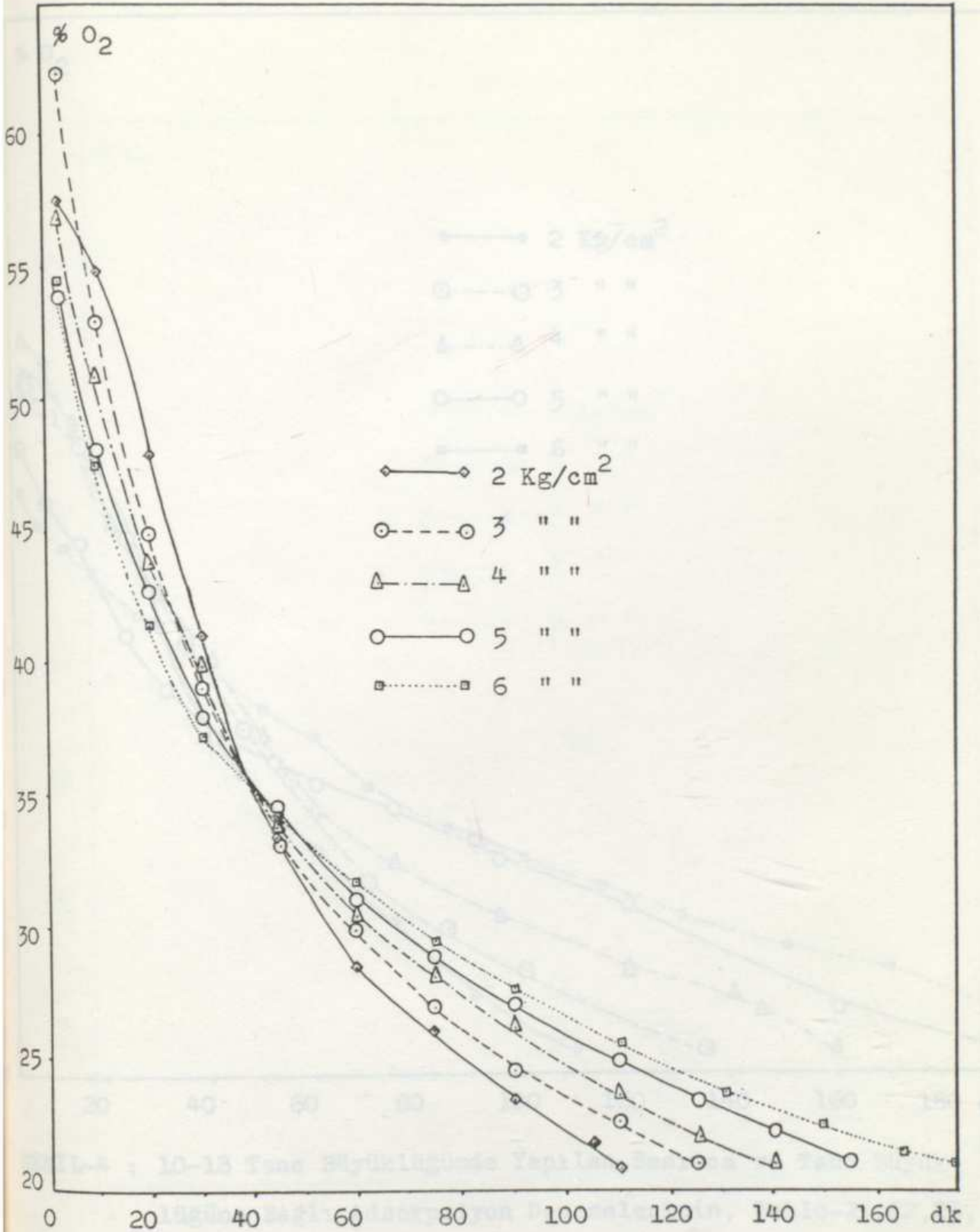
m<sub>N</sub> : 8.175 litre

m<sub>H</sub> : 19.800 litre

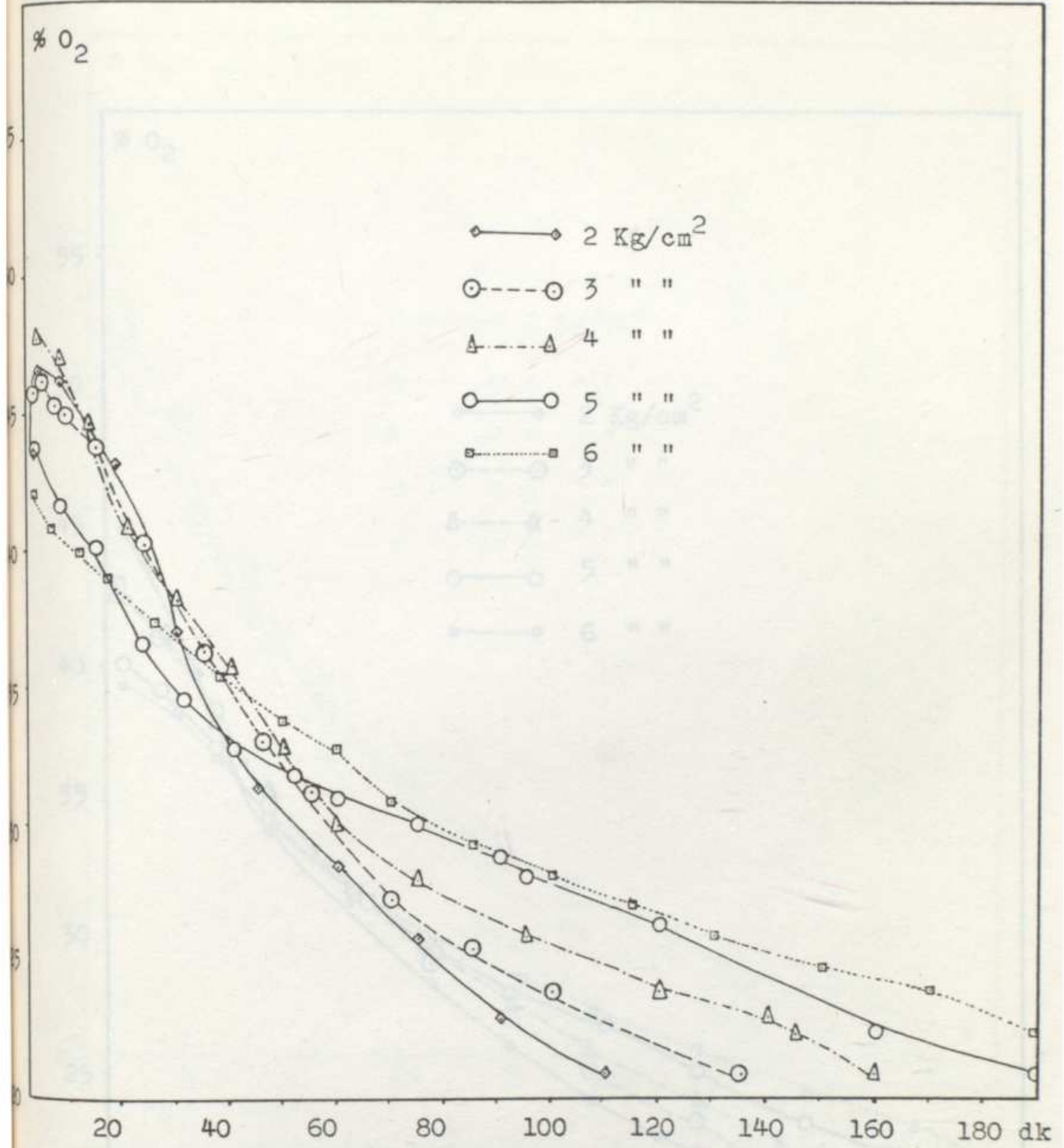
TABLO-35 : 25-50 Tane Büyük-  
lüğünde ve 6 Kg/cm<sup>2</sup> Basınç-  
taki Veriler.



ŞEKİL-2 : 0.312-8 Tane Büyüklüğünde-Yapılan, Basınca ve Tane Büyüklüğüne Bağlı Adsorpsiyon Denemelerinin Grafikleri. Tablo-11,12,13,14,15'deki Verilerden Elde Edilen Egriler.



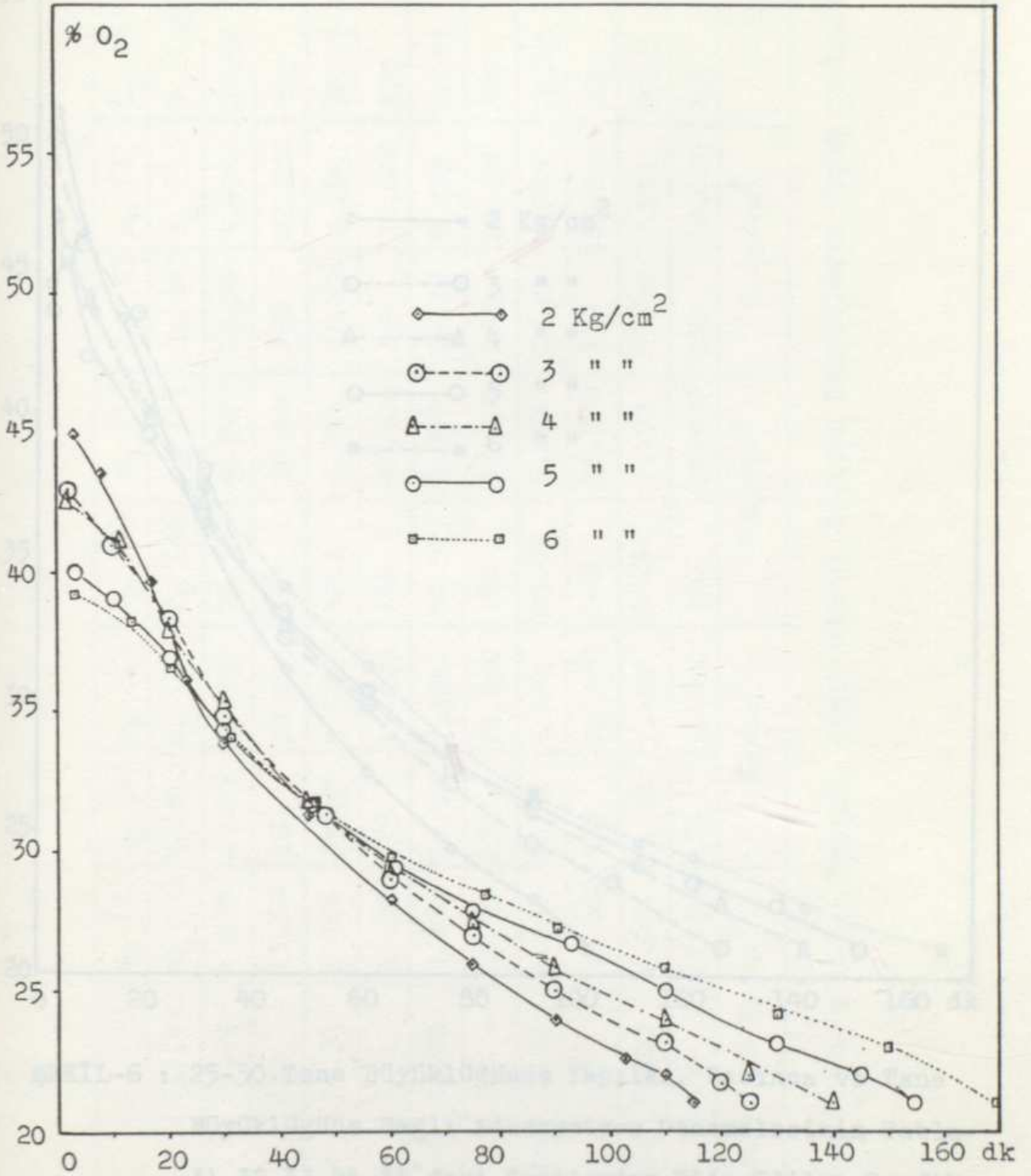
ŞEKİL-3 : 8-10 Tane Büyüklüğünde Yapılan, Basınca ve Tane Büyüklüğüne Bağlı Adsorpsiyon Denemelerinin, Tablo-16, 17,18,19,20'daki Verilerden Elde Edilen Grafikler.



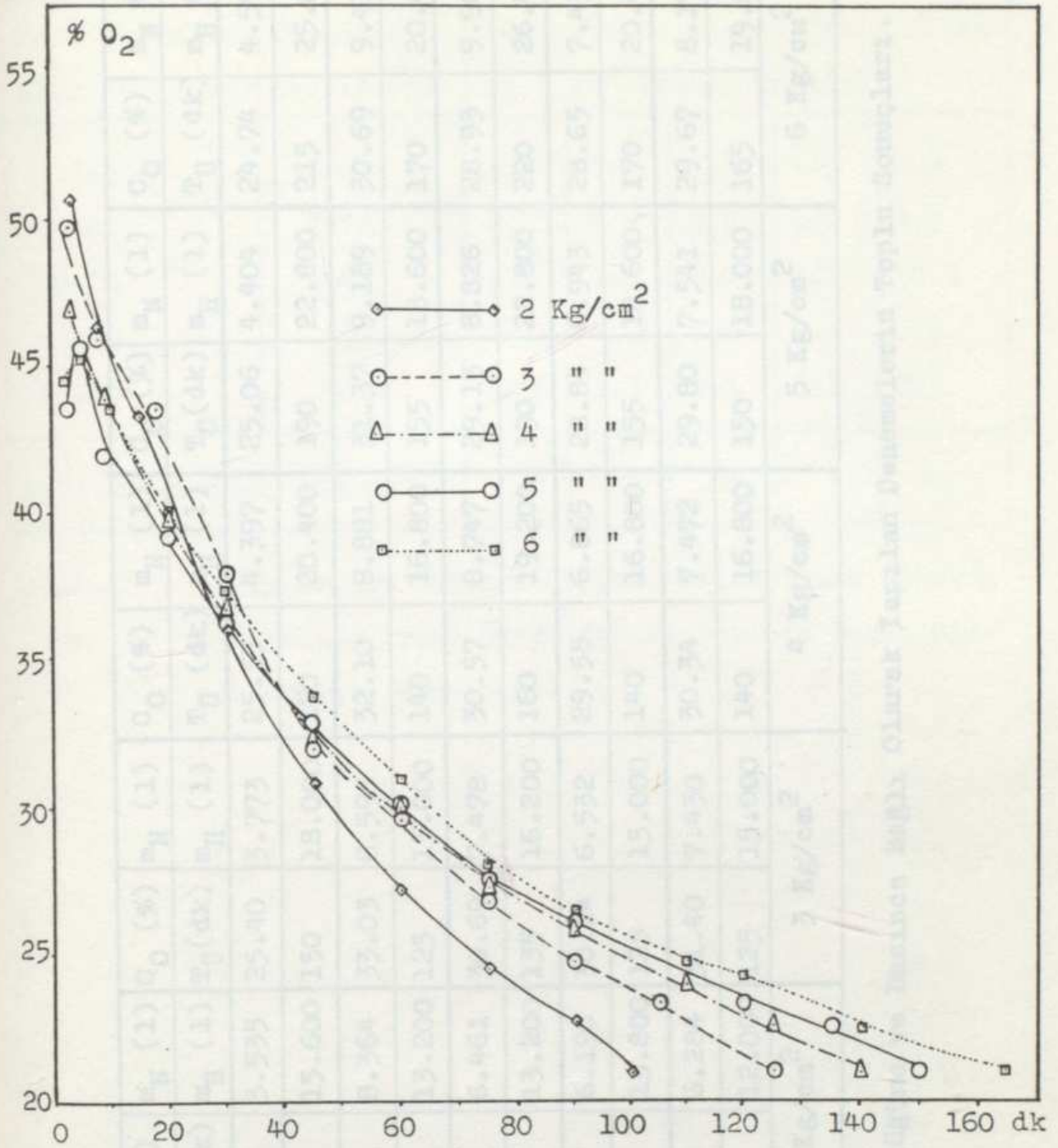
ŞEKİL-4 : 10-18 Tane Büyüklüğünde Yapılan, Basınca ve Tane Büyüklüğüne Bağlı Adsorpsiyon Denemelerinin, Tablo-21,22,23, 24,25'deki Verilerden Elde Edilen Grafikler.

ŞEKİL-5 : 18-25 Tane Büyüklüğünde Yapılan, Basınca ve Tane Büyüklüğüne Bağlı Adsorpsiyon Denemelerinin, Tablo-26,27,28,29,30'deki Verilerden Elde Edilen Grafikler.





ŞEKİL-5 : 18-25 Tane Büyüklüğünde Yapılan, Basınca ve Tane Büyüklüğüne Bağlı Adsorpsiyon Denemelerinin Tablo-26,27,28,29,30'daki Verilerden Elde Edilen Grafikler.



ŞEKİL-6 : 25-50 Tane Büyüklüğünde Yapılan, Basınca ve Tane Büyüklüğüne Bağlı Adsorpsiyon Denemelerinin Tablo-31,32,33,34,35'deki Verilerden Elde Edilen Grafikler.



|                 | C <sub>O</sub> (%)   | m <sub>N</sub> (l) | C <sub>O</sub> (%)   | m <sub>N</sub> (l) | C <sub>O</sub> (%)   | m <sub>N</sub> (l) | C <sub>O</sub> (%)   | m <sub>N</sub> (l) | C <sub>O</sub> (%)   | m <sub>N</sub> (l) | C <sub>O</sub> (%)  | m <sub>N</sub> (l) |
|-----------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|                 | T <sub>U</sub> (dk)  | m <sub>H</sub> (l) | T <sub>U</sub> (dk)  | m <sub>H</sub> (l) | T <sub>U</sub> (dk)  | m <sub>H</sub> (l) | T <sub>U</sub> (dk)  | m <sub>H</sub> (l) | T <sub>U</sub> (dk)  | m <sub>H</sub> (l) | T <sub>U</sub> (dk) | m <sub>H</sub> (l) |
| 0.312-8 Tane    | 25.76                | 3.535              | 25.40                | 3.773              | 25.53                | 4.397              | 25.06                | 4.404              | 24.74                | 4.595              |                     |                    |
| Büyüklüğü       | 130                  | 15.600             | 150                  | 18.000             | 170                  | 20.400             | 190                  | 22.800             | 215                  | 25.800             |                     |                    |
| 8-10 mesh Tane  | 34.31                | 8.364              | 33.03                | 8.595              | 32.10                | 8.881              | 31.37                | 9.189              | 30.69                | 9.415              |                     |                    |
| Büyüklüğü       | 110                  | 13.200             | 125                  | 15.000             | 140                  | 16.800             | 155                  | 18.600             | 170                  | 20.400             |                     |                    |
| 10-18 mesh Tane | 31.28                | 6.461              | 30.69                | 7.478              | 30.57                | 8.747              | 29.13                | 8.826              | 28.93                | 9.965              |                     |                    |
| Büyüklüğü       | 110                  | 13.200             | 135                  | 16.200             | 160                  | 19.200             | 190                  | 22.800             | 220                  | 26.400             |                     |                    |
| 18-25 mesh Tane | 30.42                | 6.190              | 30.14                | 6.532              | 29.58                | 6.865              | 28.84                | 6.943              | 28.65                | 7.432              |                     |                    |
| Büyüklüğü       | 115                  | 13.800             | 125                  | 15.000             | 140                  | 16.800             | 155                  | 18.600             | 170                  | 20.400             |                     |                    |
| 25-50 mesh Tane | 32.00                | 6.284              | 31.40                | 7.430              | 30.34                | 7.472              | 29.80                | 7.541              | 29.67                | 8.170              |                     |                    |
| Büyüklüğü       | 100                  | 12.000             | 125                  | 15.000             | 140                  | 16.800             | 150                  | 18.000             | 165                  | 19.800             |                     |                    |
| Çalışma Basıncı | 2 Kg/cm <sup>2</sup> |                    | 3 Kg/cm <sup>2</sup> |                    | 4 Kg/cm <sup>2</sup> |                    | 5 Kg/cm <sup>2</sup> |                    | 6 Kg/cm <sup>2</sup> |                    |                     |                    |

TABLO-36 : Tane Büyüklüğüne ve Basınca Bağlı Olarak Yapılan Denemelerin Toplu Sonuçları.

| Tane Büyüklüğü<br>Elek No (mesh)     | Kolondaki<br>Zeolit (g) | Adsorplanan Azotun Birim Mikta-<br>rı ( $\text{cm}^3$ Azot/g Zeolit). |     |     |     |      |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|
| 0.312-8                              | 1023                    | 3.5                                                                   | 3.7 | 4.3 | 4.3 | 4.5  |
| 8-10                                 | 1018                    | 8.2                                                                   | 8.4 | 8.7 | 9.0 | 9.3  |
| 10-18                                | 948                     | 6.8                                                                   | 7.9 | 9.2 | 9.3 | 10.5 |
| 18-25                                | 977                     | 6.3                                                                   | 6.7 | 7.0 | 7.1 | 7.6  |
| 25-50                                | 920                     | 6.8                                                                   | 8.1 | 8.1 | 8.2 | 8.9  |
| Çalışma Basıncı ( $\text{Kg/cm}^2$ ) |                         | 2                                                                     | 3   | 4   | 5   | 6    |

TABLO-37 : Birim Zeolit Miktarı Başına, Adsorplanan Azotun Miktarının, Tane Büyüklüğü ve Basınca Bağlı Olarak Değişim Değerleri.



ŞEKİL-7: Basınca Azot Adsorpsiyonu Değişiminin Grafikleri.

(1) — 0.312-8 mesh Tane Büyüklüğü

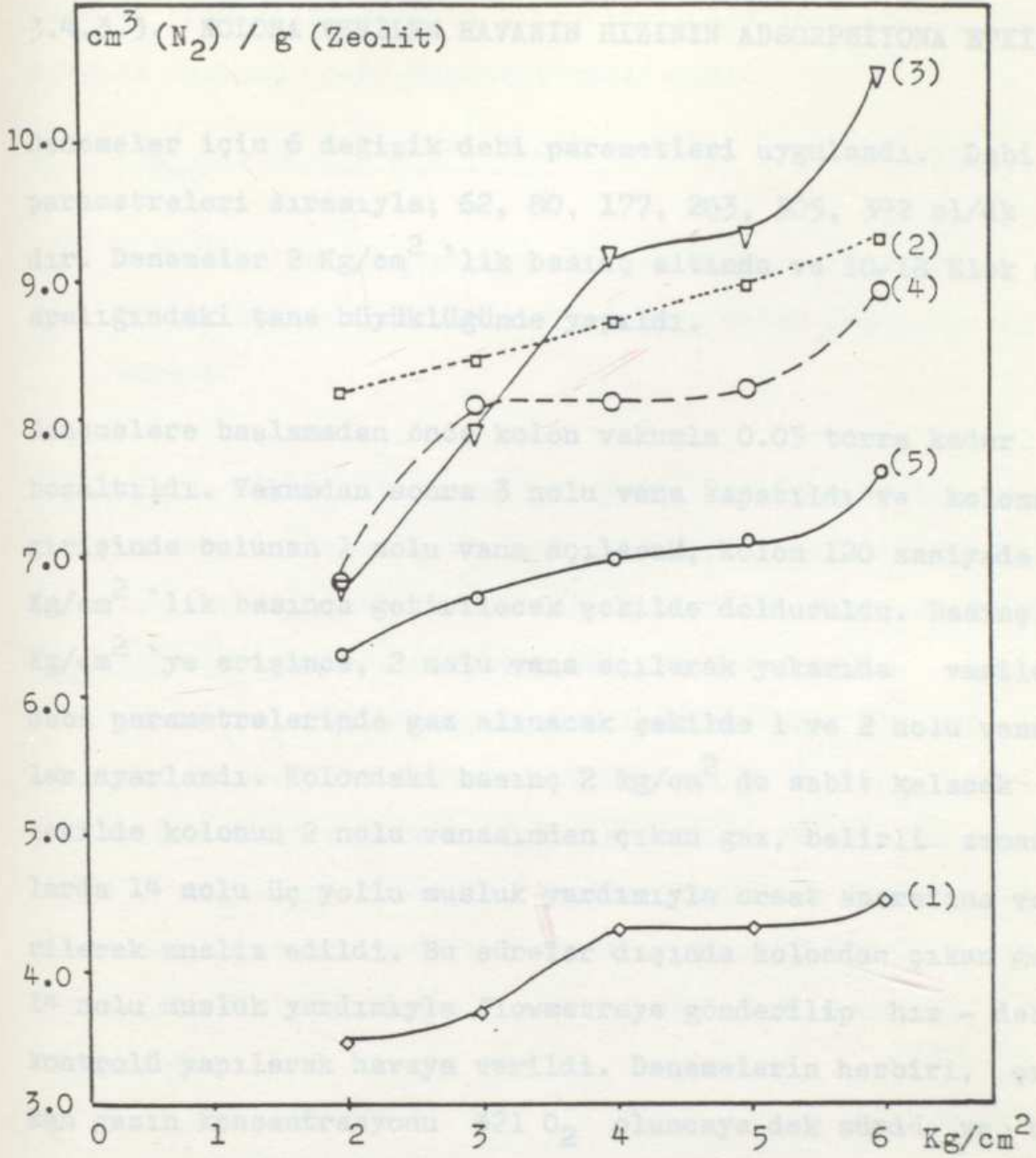
(2) — 8-10 mesh Tane Büyüklüğü

(3) — 10-18 mesh Tane Büyüklüğü

(4) — 18-25 mesh Tane Büyüklüğü

(5) — 25-50 mesh Tane Büyüklüğü





ŞEKİL-7: Basınçla Azot Adsorpsiyonu Değişiminin Grafikleri.

(1)  $\diamond-\diamond$  0.312-8 mesh Tane Büyüklüğü

(2)  $\square-\cdots-\square$  8-10 mesh Tane Büyüklüğü

(3)  $\nabla-\nabla$  10-18 mesh Tane Büyüklüğü

(4)  $\circ-\circ$  18-25 mesh Tane Büyüklüğü

(5)  $\circ--\circ$  25-50 mesh Tane Büyüklüğü

### 3.4.3.3. KOLONA VERİLEN HAVANIN HIZININ ADSORPSİYONA ETKİSİ

Denemeler için 6 değişik debi parametreleri uygulandı. Debi parametreleri sırasıyla; 62, 80, 177, 203, 305, 392 ml/dk dır. Denemeler  $2 \text{ Kg/cm}^2$  'lik basınç altında ve 10-18 Elek no aralığındaki tane büyüklüğünde yapıldı.

Denemelere başlamadan önce kolon vakumla 0.05 torra kadar boşaltıldı. Vakumdan sonra 3 nolu vana kapatıldı ve kolonun girişinde bulunan 1 nolu vana açılarak, kolon 120 saniyede  $2 \text{ Kg/cm}^2$  'lik basınca getirilecek şekilde dolduruldu. Basınç  $2 \text{ Kg/cm}^2$  'ye erişince, 2 nolu vana açılarak yukarıda verilen debi parametrelerinde gaz alınacak şekilde 1 ve 2 nolu vanalar ayarlandı. Kolondaki basınç  $2 \text{ kg/cm}^2$  de sabit kalacak şekilde kolonun 2 nolu vanasından çıkan gaz, belirli zamanlarda 14 nolu üç yollu musluk yardımıyla orsat aparatına verilerek analiz edildi. Bu süreler dışında kolondan çıkan gaz 14 nolu musluk yardımıyla flowmetreye gönderilip hız - debi kontrolü yapılarak havaya verildi. Denemelerin herbiri, çıkan gazın konsantrasyonu  $\%21 \text{ O}_2$  oluncaya dek sürdü ve bu süre deney süresi ( $T_U$ ) olarak adlandırıldı.

Denemelerden elde edilen veriler Tablo-38,39,40,41,42,43 'te verildi. Denemelerdeki verilere Bölüm-3.4.3.1.'de anlatıldığı gibi matematiksel işlemler uygulanarak,denemelerde üretilen gazda  $\% \text{ O}_2$  miktarı ( $C_0$ ) , adsorplanan azot miktarı ( $m_N$ ) ve üretilen gaz miktarı ( $m_H$ ) herbir deneme için ayrı ayrı hesaplandı. Ayrıca ilave olarak üretilen gazda, bir dakikada

fazlaca arttırılan oksijen miktarları ( $V_0$ ) hesaplandı. Bunun aşağıda verilen (3-6) denklemi kullanıldı.

$$V_0 = \frac{(m_H) \times (C_0) - (m_H) \times (0.21)}{T_U} \quad (3-6)$$

$V_0$  : 1 dk 'da fazlalaştırılan oksijen miktarı (ml/dk).

$T_U$  : %21  $O_2$  konsantrasyonuna erişinceye kadar geçen üretim süresi.

Denemelerde %21  $O_2$  lik konsantrasyonun üzerinde üretilen gazın, bu değerin üzerindeki fark değerleri yani 1 dk'da fazlalaştırılan oksijen miktarı ile arttırılan oksijen yüzdesi ( $C_a$ ) değerleri herbir denemeye ait tabloda verildi. Ayrıca debi parametreleri, adsorpsiyon kolonunun kesit alanına bölünerek hız parametrelerine dönüştürüldü ve 1 dk'da fazlalaştırılan oksijen miktarı ( $V_0$ ) ile arttırılan oksijen yüzdesi ( $C_a$ ) değerleri Tablo-44 'te düzenlendi. Bu tablodaki değerlerden ortak bir grafik çizildi ve Şekil-9 'de gösterildi. Arttırılan oksijen yüzdesi basit olarak (3-7) denklemi ile hesaplandı.

$$C_a = (C_0 - 0.21) \times 100 \quad (3-7)$$

$C_0$  : Üretilen gazda bulunan oksijen yüzdesi (v/v)

Şekil-9'da gösterilen hız-1 dk'da fazlalaştırılan oksijen miktarı ve hız-arttırılan oksijen yüzdesine ait eğrilerin, teorik olarak kesişme noktalarını bulmak için, ikinci dereceden bir bilinmeyenli (3-8), (3-9) denklemleri, bu eğrilere uygulandı. Heriki denklemde bağımlı değişken olarak, hıza ait

veriler kullanıldı. Hız-1 dk'da fazlalaştırılan oksijen miktarına ait denklem , hız-arttırılan oksijen yüzdesine ait denklem sırasıyla (3-8) ve (3-9) olarak verildi.

$$y_1 = a_1 + b_1x + c_1x^2 \quad (3-8)$$

$$y_2 = a_2 + b_2x + c_2x^2 \quad (3-9)$$

(3-8) ve (3-9) denklemlerindeki  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$  katsayıları Tablo-44'deki veriler kullanılarak hesaplandı ve bu değerlere göre denklemlerin katsayılarıda bulundu.

$$\begin{array}{ll} a_1 : 0.0609 & a_2 : 11.45076 \\ b_1 : 0.35508 & b_2 : -2.874 \times 10^{-2} \\ c_1 : -7.69 \times 10^{-4} & c_2 : 1.643 \times 10^{-5} \end{array}$$

Bulunan değerler (3-8) ve (3-9) denklemlerinde yerine konularak eğrilere ait denklemler elde edildi.

$$y_1 = 0.0609 + 0.35508(x) - 7.69 \times 10^{-4}(x)^2 \quad (3-10)$$

$$y_2 = 11.45076 - 0.02874(x) + 1.643 \times 10^{-5}(x)^2 \quad (3-11)$$

(3-10) ve (3-11) denklemlerinde, (x) yerine hız değerleri kullanılarak tahmini  $y_1'$  ve  $y_2'$  değerleri hesaplandı. Tahmini değerler yardımıyla her iki denklemin korelasyon katsayıları  $r_1 = 0.9953$  ,  $r_2 = 0.9973$  olarak bulundu. (3-10) ve (3-11) denklemlerinin ortak çözümünden bulunan (x) değerleri, bu iki eğrinin kesişme noktalarını verdi.

$x = 31.7$  için,  $y_1 = y_2 = 10.56$  bulundu.

$x = 456.94$  için,  $y_1 = y_2 = 1.75$  değerleri bulundu.

(3-10) denkleminin türevi alınarak eğrinin maksimum noktasına ait değerler elde edildi.

$$\frac{dy_1}{dx} = 0 \quad (3-12), \quad x = 231 \quad \Rightarrow \quad y_1 = 41.05$$

$$y_2 = 5.69$$

Bulunan maksimum nokta değerleri, deneysel verilerdeki değerlerin sınırları dışında olduğu görüldü ve sadece teorik bir değer olarak kabul edildi.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|-----------|------------------|-----------------------------------------------|
| 3.        | 56.0             | v (Kolondaki Hız): $19.8 \times 10^{-3}$ m/dk |
| 10.       | 51.4             |                                               |
| 20.       | 45.6             | R <sub>26</sub> : 0.996292                    |
| 30.       | 42.2             | A <sub>26</sub> : $1.9864756 \times 10^{-2}$  |
| 45.       | 38.2             | B <sub>26</sub> : $1.4657284 \times 10^{-4}$  |
| 60.       | 34.8             |                                               |
| 75.       | 32.8             | C <sub>O</sub> : % 31.88                      |
| 90.       | 30.2             | m <sub>N</sub> : 6.424 litre                  |
| 120.      | 26.8             | m <sub>H</sub> : 12.400 litre                 |
| 165.      | 23.8             | V <sub>O</sub> : 6.7 ml/dk                    |
| 180.      | 22.0             | C <sub>a</sub> : 31.88-21.00 :: 10.88         |
| 200.      | 21.0             | V <sub>D</sub> : 62 ml/dk (Debi)              |

TABLO-38 : 10-18 Tane Büyüklüğünde ve 62 ml/dk Debi'lik Hıza Ait Değerler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|-----------|------------------|-----------------------------------------------|
| 3.        | 52.0             | v (Kolondaki Hız): 25.2x10 <sup>-3</sup> m/dk |
| 12.       | 50.6             | V <sub>D</sub> (Debi) : 80 ml/dk              |
| 20.       | 45.4             |                                               |
| 30.       | 41.4             | R <sub>27</sub> : 0.99702767                  |
| 45.       | 37.6             | A <sub>27</sub> : 1.94056963x10 <sup>-2</sup> |
| 60.       | 34.2             | B <sub>27</sub> : 1.48971266x10 <sup>-4</sup> |
| 75.       | 32.0             |                                               |
| 90.       | 29.4             | C <sub>O</sub> : % 31.78                      |
| 120.      | 26.4             | m <sub>N</sub> : 7.803 litre                  |
| 145.      | 24.6             | m <sub>H</sub> : 15.200 litre                 |
| 160.      | 23.4             | V <sub>O</sub> : 8.7 ml/dk                    |
| 180.      | 22.0             | C <sub>a</sub> : 31.78 - 21.00 :: 10.78       |
| 190.      | 21.0             |                                               |

TABLO-39 : 10-18 Tane Büyüklüğünde ve 80 ml/dk Debi'lik Hıza Ait Değerler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup>     |
|-----------|------------------|------------------------------------------------|
| 3.        | 49.4             | v (Kolondaki Hız): 55.8x10 <sup>-3</sup> m/dk  |
| 13.       | 42.4             | V <sub>D</sub> (Debi) : 177 ml/dk              |
| 20.       | 38.6             | R <sub>28</sub> : 0.99571578                   |
| 30.       | 33.4             | A <sub>28</sub> : 2.01886134x10 <sup>-2</sup>  |
| 50.       | 27.6             | B <sub>28</sub> : 3.00649225x10 <sup>-4</sup>  |
| 65.       | 24.2             | C <sub>O</sub> : % 30.87 C <sub>a</sub> : 9.87 |
| 80.       | 22.2             | m <sub>N</sub> : 7.903 litre                   |
| 90.       | 21.6             | m <sub>H</sub> : 16.815 litre                  |
| 95.       | 21.0             | V <sub>O</sub> : 17.5 ml/dk                    |

TABLO-40 : 10-18 Tane Büyüklüğünde ve 177ml/dk Debi'lik Hıza Ait Değerler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|-----------|------------------|-----------------------------------------------|
| 3.        | 49.0             | v (Kolondaki Hız): 64.2x10 <sup>-3</sup> m/dk |
| 9.        | 42.6             | V <sub>D</sub> (Debi) : 203 ml/dk             |
| 15.       | 38.6             | R <sub>29</sub> : 0.99586136                  |
| 30.       | 30.6             | A <sub>29</sub> : 2.0603843x10 <sup>-2</sup>  |
| 45.       | 26.8             | B <sub>29</sub> : 3.5227888x10 <sup>-4</sup>  |
| 60.       | 23.6             | C <sub>O</sub> : % 30.59                      |
| 75.       | 21.4             | m <sub>N</sub> : 7.416 litre                  |
| 80.       | 21.0             | m <sub>H</sub> : 16.240 litre                 |
|           |                  | V <sub>O</sub> : 19.4 ml/dk                   |
|           |                  | C <sub>a</sub> : 9.59                         |

TABLO-41 : 10-18 Tane Büyüklüğünde ve 203 ml/dk Debi'lik Hıza  
Ait Değerler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|-----------|------------------|----------------------------------------------|
| 3.        | 45.2             | v (Kolondaki Hız): 96x10 <sup>-3</sup> m/dk  |
| 13.       | 36.5             | V <sub>D</sub> (Debi) : 305 ml/dk            |
| 25.       | 29.6             | R <sub>30</sub> : 0.99588216                 |
| 40.       | 24.4             | A <sub>30</sub> : 2.1660339x10 <sup>-2</sup> |
| 55.       | 21.6             | B <sub>30</sub> : 4.501982x10 <sup>-4</sup>  |
| 60.       | 21.0             | C <sub>O</sub> : % 29.97                     |
|           |                  | m <sub>N</sub> : 7.817 litre                 |
|           |                  | m <sub>H</sub> : 18.300 litre                |
|           |                  | V <sub>O</sub> : 27.3 ml/dk                  |
|           |                  | C <sub>a</sub> : 8.97                        |

TABLO-42 : 10-18 Tane Büyüklüğünde ve 305 ml/dk Debi'lik Hıza  
Ait Değerler.

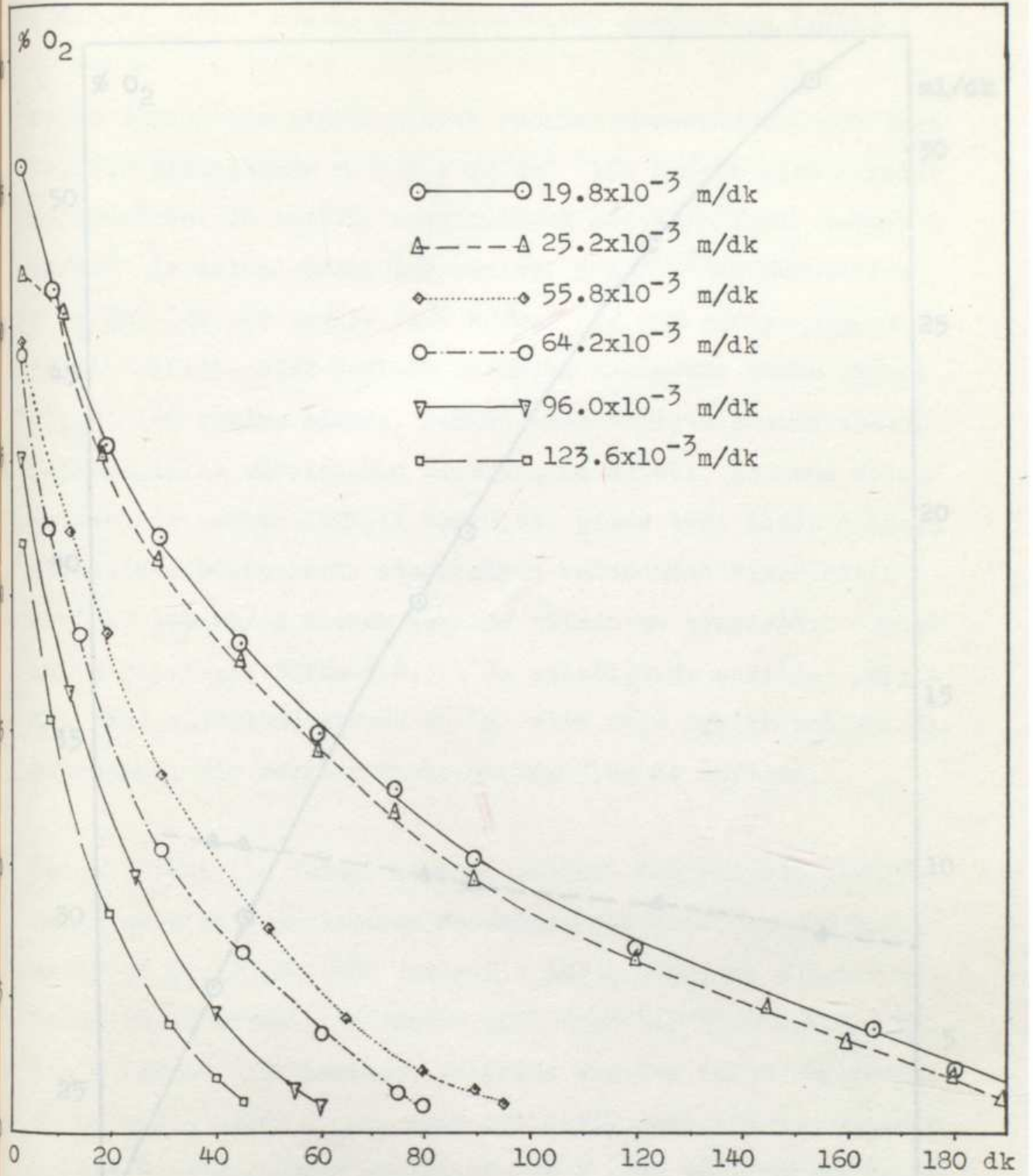


| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup>     |
|-----------|------------------|------------------------------------------------|
| 3.        | 42.0             | v (Kolondaki Hız): 123.6x10 <sup>-3</sup> m/dk |
| 9.        | 35.4             | V <sub>D</sub> (Debi) : 392 ml/dk              |
| 20.       | 28.2             | R <sub>31</sub> : 0.99553683                   |
| 31.       | 24.0             | A <sub>31</sub> : 2.3108631x10 <sup>-2</sup>   |
| 40.       | 22.0             | B <sub>31</sub> : 5.6491607x10 <sup>-4</sup>   |
| 45.       | 21.0             | C <sub>O</sub> : % 29.19                       |
|           |                  | m <sub>N</sub> : 6.880 litre                   |
|           |                  | m <sub>H</sub> : 17.640 litre                  |
|           |                  | V <sub>O</sub> : 32.1 ml/dk                    |
|           |                  | C <sub>a</sub> : 8.19                          |

TABLO-43 : 10-18 Tane Büyüklüğünde ve 392 ml/dk Debi'lik Hıza Ait Değerler

| Hız (x) (.10 <sup>-3</sup> m/dk) | C <sub>a</sub> (y <sub>2</sub> ) | V <sub>O</sub> (y <sub>1</sub> ) | y <sub>2</sub> ' | y <sub>1</sub> ' |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|
| 19.8                             | 10.88                            | 6.7                              | 10.89            | 6.8              |
| 25.2                             | 10.78                            | 8.7                              | 10.74            | 8.5              |
| 55.8                             | 9.87                             | 17.5                             | 9.90             | 17.5             |
| 64.2                             | 9.59                             | 19.4                             | 9.67             | 19.7             |
| 96.0                             | 8.97                             | 27.3                             | 8.84             | 27.1             |
| 123.6                            | 8.19                             | 32.1                             | 8.15             | 32.2             |

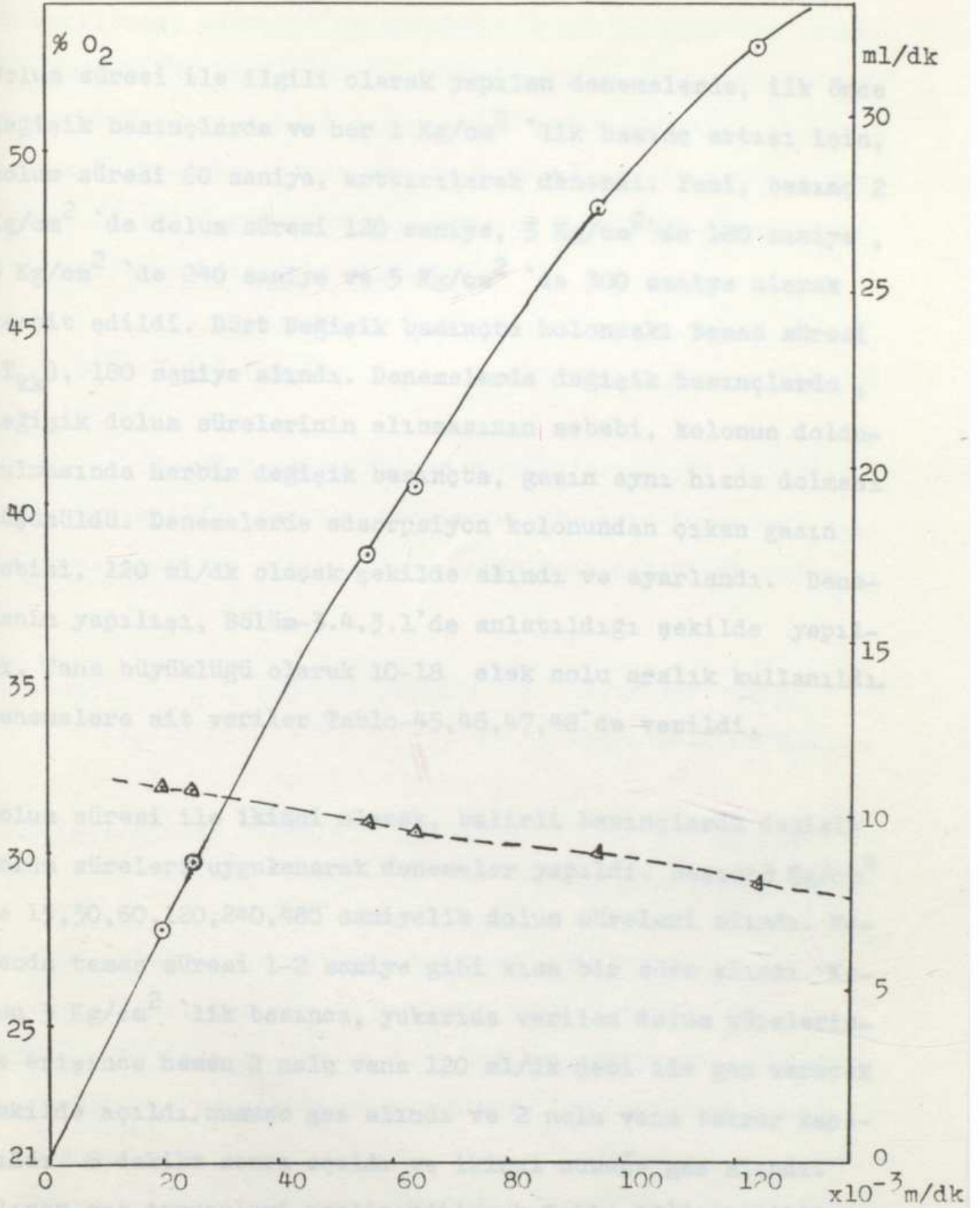
TABLO-44 : Hıza Bağlı Olarak Değişen, 1 dk'da Arttırılan O<sub>2</sub> Miktarı ve Arttırılan % O<sub>2</sub> nin DeneySEL ve Teo-rik Değerleri.



ŞEKİL-8 : Kolona Verilen Hava Hızının Oksijen Yüzdesi İle Değişim Grafikleri.

ŞEKİL-9 : Hava Bağılı Olarak Değişen, 1 dk'da Arttırılan O<sub>2</sub> Miktarı ve Arttırılan O<sub>2</sub> Yüzdesinin Değişim Grafikleri.





ŞEKİL-9 : Hıza Bağlı Olarak Değişen, 1 dk'da Arttırılan O<sub>2</sub> Miktarı ve Arttırılan O<sub>2</sub> Yüzdesinin Değişim Grafikleri.

#### 3.4.3.4. DOLUM SÜRESİ İLE ADSORPSİYON ARASINDAKİ İLİŞKİ

Dolum süresi ile ilgili olarak yapılan denemelerde, ilk önce değişik basınçlarda ve her 1 Kg/cm<sup>2</sup> 'lik basınç artışı için, dolum süresi 60 saniye, arttırılarak denendi. Yani, basınç 2 Kg/cm<sup>2</sup> 'de dolum süresi 120 saniye, 3 Kg/cm<sup>2</sup> 'de 180 saniye , 4 Kg/cm<sup>2</sup> 'de 240 saniye ve 5 Kg/cm<sup>2</sup> 'de 300 saniye olarak tespit edildi. Dört Değişik basınçta kolondaki temas süresi ( $T_{kk}$ ), 180 saniye alındı. Denemelerde değişik basınçlarda , değişik dolum sürelerinin alınmasının sebebi, kolonun doldurulmasında herbir değişik basınçta, gazın aynı hızda dolması düşünüldü. Denemelerde adsorpsiyon kolonundan çıkan gazın debisi, 120 ml/dk olacak şekilde alındı ve ayarlandı. Denemenin yapılışı, Bölüm-3.4.3.1'de anlatıldığı şekilde yapıldı. Tane büyüklüğü olarak 10-18 elek nolu aralık kullanıldı. Denemelere ait veriler Tablo-45,46,47,48'de verildi.

Dolum süresi ile ikinci olarak, belirli basınçlarda değişik dolum süreleri uygulanarak denemeler yapıldı. Basınç 3 Kg/cm<sup>2</sup> de 15,30,60,120,240,480 saniyelik dolum süreleri alındı. Kolonda temas süresi 1-2 saniye gibi kısa bir süre alındı. Kolon 3 Kg/cm<sup>2</sup> 'lik basınca, yukarıda verilen dolum sürelerinde erişince hemen 2 nolu vana 120 ml/dk debi ile gaz verecek şekilde açıldı, numune gaz alındı ve 2 nolu vana tekrar kapatıldı. 6 dakika sonra açıldı ve ikinci numune gaz alındı. Alınan gaz numuneleri analiz edilerek Tablo-49'da verildi. İkinci olarak yapılan bu denemenin verileri için aşağıdaki denklemler kullanılarak regresyon analizi yapıldı.

$$y_3 = a_3 + b_3(x) + c_3(x)^2 \quad (3-12)$$

Bu denklemde, Tablo-49'da verilen ilk numune gaza ait veriler kullanıldı ve denklemin katsayılarının değerleri ve regresyon katsayısı değeri hesaplandı. Benzer şekilde, kolonda 6 dakika bekledikten sonra alınan numune gaza ait veriler aşağıdaki (3-13) denklemine uygulandı ve denklemin katsayıları ile regresyon katsayısı hesaplandı.

$$y_4 = a_4 + b_4(x) + c_4(x)^2 \quad (3-13)$$

(3-12) ve (3-13) denklemlerinin katsayılarına ait değerler Tablo-49 verildi. Her iki denklemin ayrı ayrı türevleri alınarak denklemlere ait maksimum noktaların değerleri bulundu.

$$\frac{dy_3}{dx} = 0 \quad (3-14) \text{ için ;} \quad x = 388 \text{ saniye}$$

$$y_3 = 64.1 (\% O_2)$$

$$\frac{dy_4}{dx} = 0 \quad (3-15) \text{ için ;} \quad x = 377 \text{ saniye}$$

$$y_4 = 63.37 (\% O_2)$$

Bulunan maksimum noktaların değerleri optimum dolum süresi olarak alındı. İlk numune gaza ait verilerin denkleminin maksimum noktasının değeri olan 388 saniyelik süre adsorpsiyon kolonunun kapasitesini hesaplamak için kullanıldı. Bunun için adsorpsiyon kolonu, 3 nolu vana açılarak vakumla boşaltıldı ve sonra 3 nolu vana kapatılıp 1 nolu vana açıldı, 388 saniyelik süre içinde kolon  $3 \text{ Kg/cm}^2$  'ye dolduruldu. 1 nolu vana kapatıldı ve 2 nolu vana açılarak kolon içindeki gaz,

su altında büyük bir cam balonda toplandı. Kolondaki tüm gaz vakum pompası yardımıyla boşaltılarak büyük cam balona alındı ve toplanan gazın hacmi ölçüldü. Kolona verilen hava 12.1 litre olarak ölçüldü. Kolona 1 dakikada verilen hava;

$$\frac{12.100}{388} \times 60 = 1.870 \text{ litre/dakika}$$

olarak hesaplandı. Kolonda 1.018 Kg aktifleştirilmiş zeolit bulunduğundan, kolonun hava ile beslenme kapasitesi;

$$\frac{1.870}{1.018} = 1.840 \text{ litre (Hava)/dakika} \times \text{Kg (Zeolit)}$$

olarak hesaplandı.

Dolum süresi ile ilgili üçüncü olarak, 2 Kg/cm<sup>2</sup> basınçta 10, 25, 35, 600 saniyelik dolum sürelerinde ve 60 ile 3600 saniyelik temas sürelerinde denemeler yapıldı. Denemelere başlamadan önce kolon vakumla boşaltıldı. Kolon 2 Kg/cm<sup>2</sup> 'lik basınçta verilen dolum sürelerinde doldurulacak şekilde erişildi. Verilen temas sürelerinde beklendikten sonra basınç düşmeleri kaydedilip, numune gaz alındı ve analiz edildi. Veriler Tablo-50'de verildi.



| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|-----------|------------------|----------------------------------------------|
| 3.        | 47.0             | T <sub>d</sub> (Dolum Süresi) : 120 sn       |
| 10.       | 46.2             | T <sub>kk</sub> (Temas Süresi) : 130 sn      |
| 20.       | 43.0             | V <sub>D</sub> (Debi) : 120 ml/dk            |
| 30.       | 37.0             | Tane Büyüklüğü : 10-18 mesh                  |
| 45.       | 31.8             | R <sub>32</sub> : 0.99758296                 |
| 60.       | 28.6             | A <sub>32</sub> : 1.9371635x10 <sup>-2</sup> |
| 75.       | 26.0             | B <sub>32</sub> : 2.5836423x10 <sup>-4</sup> |
| 90.       | 23.2             | C <sub>O</sub> : % 31.77                     |
| 110.      | 21.0             | m <sub>N</sub> : 6.770 litre                 |
|           |                  | m <sub>H</sub> : 13.200 litre                |

TABLO-45 : 120sn. lik Dolum Süresinde ve 2 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Değerler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 3 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|-----------|------------------|---------------------------------------------|
| 2.        | 51.0             | T <sub>d</sub> (Dolum Süresi) : 180 sn      |
| 10.       | 47.2             | T <sub>kk</sub> (Temas Süresi) : 180 sn     |
| 21.       | 41.2             | V <sub>D</sub> (Debi) : 120 ml/dk           |
| 32.       | 35.6             | Tane Büyüklüğü : 10-18 mesh                 |
| 50.       | 31.0             | R <sub>33</sub> : 0.9956561                 |
| 85.       | 25.0             | A <sub>33</sub> : 1.990138x10 <sup>-2</sup> |
| 110.      | 22.4             | B <sub>33</sub> : 2.23784x10 <sup>-4</sup>  |
| 130.      | 21.0             | C <sub>O</sub> : % 30.97                    |
|           |                  | m <sub>N</sub> : 7.406 litre                |
|           |                  | m <sub>H</sub> : 15.600 litre               |

TABLO-46 : 180 sn'lik Dolum Süresinde ve 3 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Değerler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 4 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|-----------|------------------|---------------------------------------------|
| 2.        | 50.6             | T <sub>d</sub> (Dolum Süresi) : 240 sn      |
| 12.       | 46.0             | T <sub>kk</sub> (Temas Süresi) : 180 sn     |
| 34.       | 35.8             | V <sub>D</sub> (Debi) : 120 ml/dk           |
| 54.       | 30.4             | Tane Büyüklüğü : 10-18 mesh                 |
| 80.       | 27.0             | R <sub>34</sub> : 0.9906089                 |
| 100.      | 25.4             | A <sub>34</sub> : 2.093915x10 <sup>-2</sup> |
| 120.      | 24.0             | B <sub>34</sub> : 1.802802x10 <sup>-4</sup> |
| 135.      | 22.4             | C <sub>O</sub> : % 30.53                    |
| 152.      | 21.0             | m <sub>N</sub> : 8.278 litre                |
|           |                  | m <sub>H</sub> : 18.240 litre               |

TABLO-47 : 240 sn'lik Dolum Süresinde ve 4 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Değerler.

| Zaman(dk) | % O <sub>2</sub> | P (Çalışma Basıncı) : 5 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|-----------|------------------|---------------------------------------------|
| 3.        | 49.0             | T <sub>d</sub> (Dolum Süresi) : 300 sn      |
| 5.        | 47.2             | T <sub>kk</sub> (Temas Süresi) : 180 sn     |
| 15.       | 42.8             | V <sub>D</sub> (Debi) : 120 ml/dk           |
| 30.       | 38.0             | Tane Büyüklüğü : 10-18 mesh                 |
| 55.       | 30.6             | R <sub>35</sub> : 0.9907472                 |
| 95.       | 26.2             | A <sub>35</sub> : 2.133677x10 <sup>-2</sup> |
| 135.      | 24.2             | B <sub>35</sub> : 1.569616x10 <sup>-4</sup> |
| 150.      | 22.6             | C <sub>O</sub> : % 30.40                    |
| 170.      | 21.0             | m <sub>N</sub> : 9.131 litre                |
|           |                  | m <sub>H</sub> : 20.400 litre               |

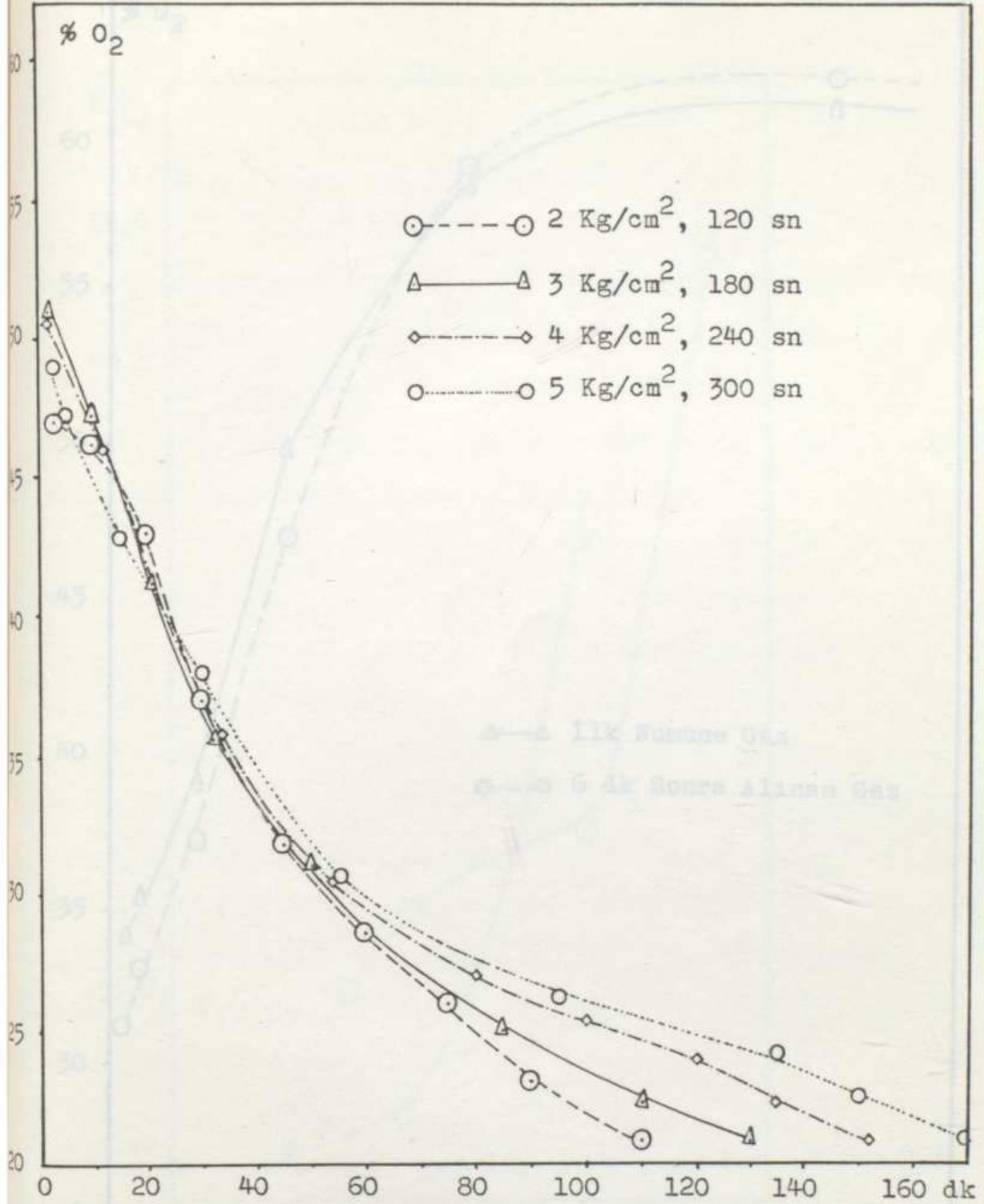
TABLO-48 : 300 sn'lik Dolum Süresinde ve 5 Kg/cm<sup>2</sup> Basıncıdaki Değerler.

| Dolum Süresi( $T_d$ )<br>(x) (sn)           | % $O_2$<br>( $y_3$ ) | % $O_2$<br>( $y_4$ ) | $r_3$ : 0.999177                 |
|---------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|
| 15                                          | 31.2                 | 34.0                 | $a_3$ : 27.738                   |
| 30                                          | 33.0                 | 35.4                 | $b_3$ : 0.1876                   |
| 60                                          | 37.2                 | 39.0                 | $c_3$ : $-2.4188 \times 10^{-4}$ |
| 120                                         | 47.0                 | 49.8                 | $r_4$ : 0.996312                 |
| 240                                         | 59.0                 | 58.5                 | $a_4$ : 30.794                   |
| 480                                         | 62.0                 | 61.0                 | $b_4$ : 0.1729                   |
|                                             |                      |                      | $c_4$ : $-2.294 \times 10^{-4}$  |
| $V_D$ (Debi) : 120 ml/dk                    |                      |                      |                                  |
| $P$ (Çalışma Basıncı): 3 Kg/cm <sup>2</sup> |                      |                      |                                  |
| Tane Büyüklüğü : 8-10 mesh                  |                      |                      |                                  |

TABLO-49 : Dolum Süresi ile %  $O_2$  Konsantrasyonunun Değişimi.

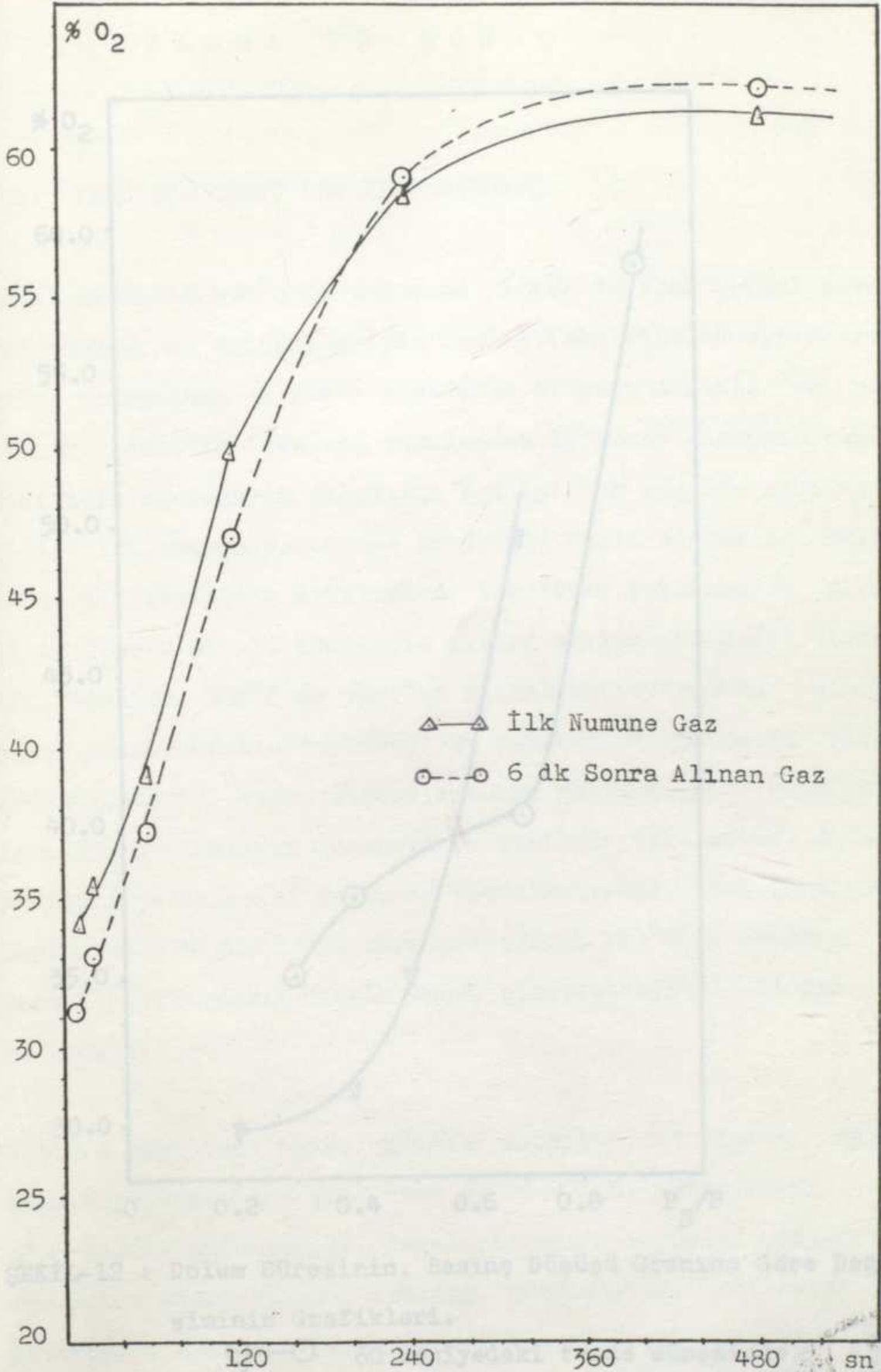
| Dolum Süresi( $T_d$ )<br>(sn)                | % $O_2$<br>( $T_{kk}$ : 60 sn) | % $O_2$<br>( $T_{kk}$ : 3600 sn) | Basınç Düşüşü<br>(60sn)(3600sn) |     |
|----------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----|
| 10                                           | 35.0                           | 30.0                             | 0.6                             | 0.4 |
| 25                                           | 37.6                           | 31.2                             | 0.8                             | 0.5 |
| 35                                           | 40.2                           | 35.0                             | 1.4                             | 1.0 |
| 600                                          | 58.6                           | 49.6                             | 1.8                             | 1.4 |
| $P$ (Çalışma Basıncı) : 2 Kg/cm <sup>2</sup> |                                |                                  | $P_s$ (Kg/cm <sup>2</sup> )     |     |

TABLO-50 : Dolum Süresi ve Temas Süreleri ile %  $O_2$  Konsantrasyonunun Değişimi.

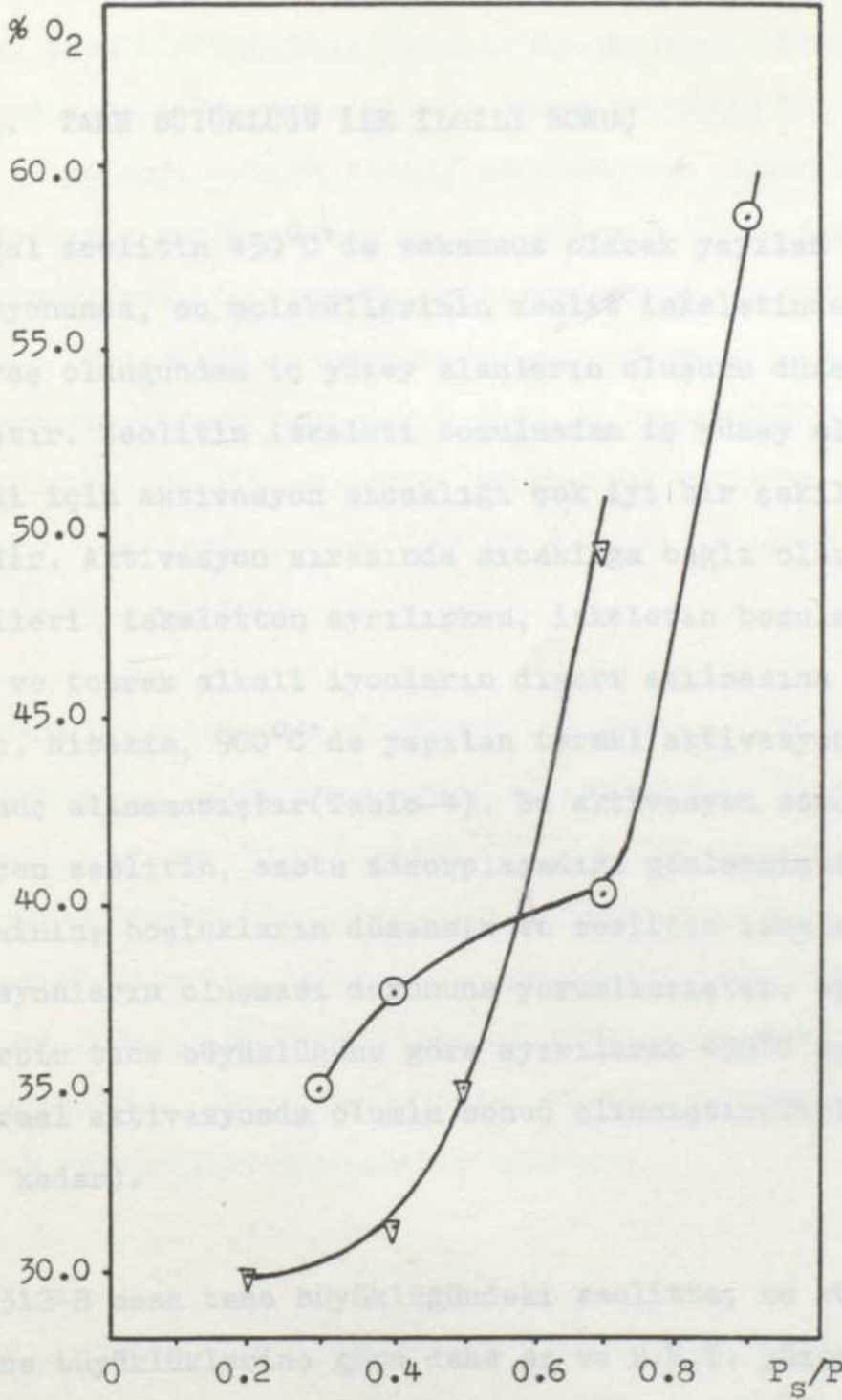


ŞEKİL-10 : Dolum Süresinin Basınca Göre Arttırıldığında, Başlangıçta Alınan Gazdaki O<sub>2</sub> Yüzdesinin, Değişiminin Grafikleri.





ŞEKİL-11 : Dolum Süresi ile % O<sub>2</sub> Konsantrasyonunun Değişim Grafikleri.



ŞEKİL-12 : Dolum Süresinin, Basınç Düşüşü Oranına Göre Değişiminin Grafikleri.



60 saniyedeki temas süresinde



3600 saniyedeki temas süresinde

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

##### 4.1. TANE BÜYÜKLÜĞÜ İLE İLGİLİ SONUÇ

Doğal zeolitin  $450^{\circ}\text{C}$ 'de vakumsuz olarak yapılan termal aktivasyonunda, su moleküllerinin zeolit iskeletinden ayrılması yavaş olduğundan iç yüzey alanların oluşumu düzenli ve yavaştır. Zeolitin iskeleti bozulmadan iç yüzey alanının büyümesi için aktivasyon sıcaklığı çok iyi bir şekilde seçilme-  
lidir. Aktivasyon sırasında sıcaklığa bağlı olarak su molekülleri iskeletten ayrılırken, iskeletin bozulmasına, alkali ve toprak alkali iyonların dışarı atılmasına neden olabilir. Nitekim,  $900^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan termal aktivasyondan olumlu sonuç alınamamıştır(Tablo-4). Bu aktivasyon sonucunda ele geçen zeolitin, azotu adsorplamadığı gözlenmiştir. Bunun nedeninin; boşlukların düzensiz ve zeolitin iskeletinde deformasyonların oluşması durumuna yorumlanmıştır. Aynı şartlarda herbir tane büyüklüğüne göre ayrılarak  $450^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan termal aktivasyonda olumlu sonuç alınmıştır(Tablo-11'den 37'ye kadar).

0.312-8 mesh tane büyüklüğündeki zeolitte, su yüzdesi diğer tane büyüklüklerine göre daha az ve B.E.T. yüzey alanı  $11 \text{ m}^2/\text{g}$  olarak bulunmuştur. Tanelerin aşırı büyümesi ( $3\text{mm} <$ ) durumunda adsorpsiyonun azaldığı görülmüştür. Aktivasyon sırasında, diğer tane büyüklükleri ile aynı şartlara tabi tutulduğundan suyun tamamen uzaklaştırılamadığı ve iç yüzey

alanlarının tam oluşmadığı şeklinde açıklamak mümkündür. Şekil-2'de bu durum belirgin olarak görülmektedir. 0.312-8 mesh tane büyüklüğünde yapılan denemelerde, zamanla adsorplanan azot miktarında ilk 20.dakikaya kadar bir artma olmuş ve bu noktadan sonra azalma görülmüştür. Bunun nedeni; iç yüzeylerin küçük olması ve gazın içeri doğru difüzyon hızının azalması, dolayısıyla adsorpsiyon hızındaki azalma şeklinde açıklanabilir. Adsorplanan azot miktarını ve % O<sub>2</sub> konsantrasyonunu hesaplamak için bu tane büyüklüğündeki denemelerde ilk 20. dakikaya kadar olan verilere  $y' = A' + B'x$  (3-5) denklemi, 20. dakikadan sonraki verilere  $y = \frac{1}{A + Bx}$  denklemi uygulandı.

Literatürlerde tane büyüklüğü, 60 mesh - 3 mm arasındaki taneler uygun büyüklük olarak belirtilmiştir/16, /. Nitekim yapılan adsorpsiyon denemelerinde 0.312-8 mesh(8-2.38 mm) büyüklüğündeki tanelerde, azot adsorpsiyonunun, 8-50 mesh arasındakilerden daha az olduğu görülmüştür(Tablo-36,37 ve Şekil-2,3,4,5,6). Şekillerden görüleceği gibi optimum azot adsorpsiyonu ve yüksek oksijen yüzde konsantrasyonu, 8-10 mesh tane büyüklüğünde elde edildi.

#### 4.2. BASINCIN ADSORPSİYONA ETKİSİ İLE İLGİLİ SONUÇ

Tablo-37'deki değerlere ve buna bağlı olarak çizilen Şekil-7'deki grafikler, basıncın artmasıyla birim zeolit kütle başına adsorplanan azotun arttığını göstermektedir. Bu grafik-

lerden 2 numaralı, 8-10 mesh tane büyüklüğündeki zeolite ait olup, basınçla, düşük eğimle (0.265) lineer bir adsorpsiyon artışı göstermektedir. Bunun dışında kalan 1,3,4,5 numaralı grafiklerde ise basınçla adsorpsiyon artışının 3 - 4  $\text{Kg/cm}^2$  ye kadar daha hızlı olduğu, bundan sonra bir yavaşlama gösterdiği saptanmıştır. Ancak 6  $\text{Kg/cm}^2$  de elde edilen adsorpsiyon değerlerinin çok yüksek olduğu farkedilmiş, fakat daha yüksek basınçlarda çalışma olanağı bulunmadığından ve ekonomik olamayacağıda düşünülerek optimum çalışma basıncı 3.5-5.0  $\text{Kg/cm}^2$  arası önerildi.

#### 4 3. KOLONA GÖNDERİLEN HAVA HIZI İLE İLGİLİ SONUÇ

Gönderilen havanın hızının artmasıyla birim zamanda üretilen toplam oksijen miktarı artarken, elde edilen gaz karışımındaki oksijen yüzdesi azalmıştır (Şekil-8). Optimum hava hızının saptanması için hız-arttırılmış oksijen yüzdesi ve hız-fazlalaştırılan oksijen miktarı arasında grafikler çizildi (Şekil-9). Bu grafiklere ait denklemler (bkz. s-59) yardımı ile maksimum oksijen üretimi için hız hesaplandı ve  $231 \times 10^{-3} \text{ m/dk}$  olarak bulundu. Bu hızdaki oksijen yüzdesi, % 26.7 olup yeterince zengin olmadığından, optimum hız olarak, iki eğrinin kesiştiği noktaya tekabül eden değer alındı. Bu noktadaki hız  $31.7 \times 10^{-3} \text{ m/dk}$ , oksijen yüzdesi % 31.56 olarak bulundu.

#### 4.4. DOLUM SÜRESİ İLE İLGİLİ SONUÇ

Dolum süresi ile ilgili olarak yapılan 1. çalışmada, her bir  $\text{Kg/cm}^2$  basınç artışına karşılık dolum süresine 60 saniye ilave edildiğinde elde edilen veriler Tablo-45, 46, 47, 48 'de verilmiş olup bu değerlerden çizilen Şekil-10'daki grafiklerden, dolum süresi ile oksijen yüzdesindeki başlangıç konsantrasyonunu arttırdığı görülmektedir. Şekil-10 ile Şekil-4 deki aynı basınçları gösteren eğriler karşılaştırıldığında, dolum süresinin basınca göre arttırılmasıyla oksijen yüzdesinin arttığı görülmektedir.

Dolum süresi ile ilgili olarak yapılan ikinci denemede, dolum süresinin optimum şartları incelendi. Kolonun gaz çıkış vanası kapalı iken, belirli basınca erişinceye kadar geçmesi gereken süre, dolum süresi alınmıştır. Doğal olarak bu süre besleme gazı debisine bağlı olarak değişmektedir. Bu sürenin uzamasıyla azot adsorpsiyonunun arttığı şeklinde veriler elde edildi(Şekil-11). Ancak belirli bir dolum süresine eriştikten sonra (220 sn) adsorpsiyonun sabit kaldığı gözönüne alınırsa, çok hızlı dolum süresinde ilk gelen gaz kütlesinin reaksiyona girecek zamanı bulamadan kolonu katettiği, dolayısıyla ilk alınan üründe oksijen yüzdesinin düşük olduğu, nitekim dolum süresi sonunda hemen örnek alma yerine 6 dakika bekledikten sonra örnek alındığında daha yüksek oksijen yüzdesi elde edildiği görüldü. Bu da, difüzyonla kolonun her noktasındaki gaz konsantrasyonunun aynı olmasının doğal sonucudur. Nitekim beklemekle; kolonun iç basıncının düştüğü,

dolum süresi uzadıkça basınç düşüşünün azaldığı, buna karşılık, oksijen yüzdesinin arttığı gözlemlendi(Tablo-50, Şekil-12). Bu da, kolonda adsorpsiyon sırasında belirli bir difüzyon süresinin gerektiğini ortaya koymaktadır. Şekil-11 deki eğrilerden çalışılan kolon için, dolum süresinin minimum değeri 220 saniye (eğrinin yükselen kısmı ile sabitleşen kısmındaki teğetlerin kesişim noktası) olarak bulundu.

Zeolitın azot adsorplama kapasitesi, Bölüm 3.4.3.4. deki (3-12) denkleminin maksimum nokta verilerinden ve kolona verilen hava miktarından yararlanarak aşağıdaki şekilde hesaplandı.

Kolona Verilen Hava  $\approx$  12.100 litre

Dolum Süresi  $=$  388 saniye

Kolondaki Zeolit  $=$  1.018 Kg

Tane Büyüklüğü  $=$  8-10 mesh

Çalışma Basıncı  $=$  3.0 Kg/cm<sup>2</sup>

Kolondaki gazın konsantrasyonu  $=$  % 64.1 Oksijen

Adsorpsiyon Kapasitesi :

$$\frac{12.100 - (12.100)(0.21/0.641)}{1.018} = 7.992 \text{ litre(N}_2\text{)/Kg(Zeolit)}$$

Bulunan adsorpsiyon kapasitesi değeri , Tablo-37'deki aynı tane büyüklüğündeki ve aynı basınçtaki değere yakındır.



## K A Y N A K L A R

- /1/ Mortimer, C.E.; Chemistry A Conceptual Approach, 263-70, D. Van Nostrand Co., New York, 1979.
- /2/ Kirk, R.E.; Othmer, D.F.; Encyclopedia of Chemical Technology, Vol-14, 390-8, The Interscience Encyclopedia, New York, 3rd Ed.
- /3/ Kolin, I.; Termodinamik Atlası, 29-40, Güven Kitabevleri İstanbul, 1977.
- /4/ Kirk, R.E.; Othmer, D.F.; Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.16, 653-65, The Interscience Encyclopedia, New York, 3rd Ed.
- /5/ Weast, R.C.; CRC Handbook of Chemistry and Physics, B-26 B-27, F-8, F-10, 69th Ed., U S A, 1989.
- /6/ Hassan, M.M.; Raghavan, N.S.; Ruthven, D.M.; "Air Separation by PSA on a Carbon Molecular Sieve", Chemical Engineering Science, Vol.41/3, 1333-45, London, 1985.
- /7/ Mortimer, C.E.; Chemistry, 634-55, Van Nostrand Reinhold Int., Hong Kong, 1987.
- /8/ Kirk, R.E.; Othmer, D.F.; Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.7, 227-9, The Interscience Encyclopedia, New York, 3rd Ed.

- /9/ Perry, J.H.; Chemical Engineer's Handbook, 12/21-32, 4th Ed., Tokyo, 1963.
- /10/ Terem, H.N.; Anorganik Sinai Kimya, 52-62, Istanbul, 1961.
- /11/ İsfendiyaroğlu, A.; Saraç, S.; Elektrokimyanın Endüstriye Uygulanması, 20-46, Istanbul, 1980.
- /12/ Chen, D.; "Separation of nitrogen from air by PSA", Huagong Jinzhan, (4) 39-41, China, 1985.
- /13/ Surinova, S.I.; Kostomarova, M.A.; Petukhov, S.S.; Zh. Prikl. Khim., 60(3), 640-2, Leningrad, 1987.
- /14/ Atalay, S.; Olgun, O.; "Sentetik Y Tipi Zeolitin Aktivasyonu", Türk Kimya Dergisi, 12/2, 115-20, Ankara, 1988.
- /15/ Minato, H.; Tamura, T.; "Production of Oxygen and Nitrogen with Natural Zeolites", Natural Zeolites, 509-13, Arizona 1976.
- /16/ Galabova, I.; Haralampiev, G.A.; Alexiev, B.; "Oxygen enrichment of air using Bulgarian clinoptilolites" Natural Zeolites, 431-7, Arizona, 1976.
- /17/ Alietti, A.; "Polymorphism and Crystal Chemistry of Heulandites and Clinoptilolites", Amer. Mineral, 57, 1448-72, 1972.



- /18/ Sheppard, A.O.; Starkey, H.C.; "Effect of cation exchange on the thermal behavior of heulandite and clinoptilolite", US Geol. Survey. Prof. Paper, 475-D, D89-92; 1964.
- /19/ Draper, N.R.; Smith, H.C.; Applied Regression Analysis, Wiley, New York, 1966.
- /20/ Amlinger, H.; Pressure-Swing Apparatus for Nitrogen, Leybold-Heraeus G.m.b.H., Ger. Offen. DE 3,146,189, (C1 C01 B21/04), 26/5/1983.
- /21/ Alpar, S.R.; Hakdiyen, M.İ.; Bigat, T.; Sınai Kimya Analiz Metodları, 193-4, Döner Sermaye Basımevi, İstanbul, 1967.
- /22/ Tanın, S.; Gürgey, İ.; "Investigation of possibilities of the production of active carbon from rice hulls", Chimica Acta Turcica, 15, 461-76, 1987.
- /23/ İzumi, J.; Shirakawa, S.; Fujioka, Y.; "Manufacture of Oxygen", Mitsubishi Heavy Ind., JP 60,231,401(85,231,401), Japan, 18/11/1985.
- /24/ Way, J.; "Method of and arrangement for enriching the N<sub>2</sub> content of an effluent gas in a PSA system", Nitrotech Corp., US P 4,560,393 (C1 55-5 B03C3/14), USA, 24/12/1985.
- /25/ Spitzer, Z.; Hincir, J.; Lisy, J.; "Effect of pressure and temperature on separation of air by adsorption on a CMS" Chem. Prom., 31(7), 342-4, Czech., 1981.

- /26/ Hirooka, E.; Miyoshi, T.; "Enrichment of oxygen in air", Showa Denko KK, JP 61,133,114(86,133,114), Japan, 1986.
- /27/ Sircar, S.; Kratz, W.C.; "The oxy-rich. PSA process for production of oxygen enriched air", AIChE Symp. Ser. Trexlertown, 1988, 141-4.
- /28/ Izumi, J.; Fujioka, Y.; Shirakawa, S.; "Manufacture of Oxygen", Mitsubishi Heavy Ind. Ltd., JP 60,231,402(85,231,402), Japan, 18/11/1985.
- /29/ Fedoseeva, N.A.; Arkharov, A.M.; Serpinski, V.V.; "Low Temperature short cycle sorption separation of air", Khim. Neft. Mashinostr., 1984, (7), 12-14.
- /30/ Haruna, K.; Hayashi, S.; "High concentration oxygen by PSA" Seitetsu Kagaku Co. Ltd., EP 163,242; JP 84/104,239; 1984
- /31/ Castellan, G.W.; Physical Chemistry, Addison-Wesley Publishing Co., 435-8, California, 1971.
- /32/ Gregg, S.J.; Sing, K.S.W.; "Adsorption, Surface Area and Porosity", Academic-Press, 1-50, 195-210, London, 1967.
- /33/ Ma, Y.H.; Lee, T.Y.; "Sorption and diffusion properties of Natural Zeolites", Natural Zeolite 76, Arizona-Tucson, 1976, 373-83.
- /34/ Vaughan, D.E.W.; "Properties of Natural Zeolites", Natural

Zeolites 76, Arizona-Tucson, 1976, 353-67. 54, 2201,

Japan, 18/3/1986.

/35/ Sheppard, R.A.; Gude, A.J.; "Chemical composition and physical properties of the related zeolites offretite and erionite", Amer. Mineral, 54, 875-86, 1969. 30(11),

422-3, Leipzig, 1983.

/36/ Boles, J.R.; "Composition, optical properties, cell dimensions, and thermal stability of some heulandite group zeolites", Amer. Mineral., 57, 1463-93, 1972.

/37/ Ataman, G.; "Batı Anadolu'da Zeolit Oluşumları", Yer Bilimleri, 3, 85-94, 1977.

/38/ Barrer, R.M.; Makki, M.B.; "Molecular sieve sorbents from clinoptilolite", Can. J. Chem., 42, 1481-87, 1964.

/39/ Schoellner, R.; Broddack, R.; Jusec, M.; "Studies on adsorptive air decomposition", Z. Physics Chem., 262(2), 362-8, Leipzig, 1981.

/40/ Seo, G.; Kim, K.; Moon, S.; "Adsorption characteristics of  $N_2$  and on natural zeolite", Hwihak Konghak, 19(5), 349-54, Korean, 1981.

/41/ Iwamoto, M.; Yamaguchi, K.; Akutagawa, Y.; "Partially Zinc-ion exchanged, K-A-zeolites as molecular sieves distinguishing  $O_2$  and  $N_2$ ", J. Phys Chem., 88(19), 4195-7, 1984.

/42/ Izumi, J.; Tsutaya, H.; Shirakawa, S.; "Separation of  $N_2$  and  $O_2$ "

Mitsubishi Heavy Ind. Ltd.; JP 61,54,220(86,54,220),  
Japan, 18/3/1986.

/43/ Herden,H.; Broddack,R.; Schoellner,R.;"Nitrogen/oxygen  
separation on  $\text{NaMe}^{2+}\text{LiA}$  zeolites", Z. Chem.,20(11),  
422-3, Leipzig, 1980.

Birenen 1958 dogumlu olup, ilk orta ve lise öğrenimini  
İstanbul'da tamamladı. 1975 yılında, İ.U. Kimya Fakültesine  
girdi. 1980 Şubat döneminde Kimya Mühendisliği bölümünden  
mezun oldu. Aynı dönemde, İ.U. Kimya Fakültesinde, Yüksek  
Eğitim Öğrencisine başladı. 1981 Şubat döneminde, Kimya YÜ-  
sek Mühendisi Unvanı ile mezun oldu.

1981-1983 yılları arasında, Özel sektöre ait bir tekstil iş-  
letmesinde, işletme mühendisi görevinde bulundu. 1984 yılın-  
da, İ.U. Fen-Edebiyat Fakültesine, Araştırma Görevlisi ola-  
rak girdi ve halen bu görevde bulunmaktadır.

Evli ve bir kız çocuğu vardır.



## Ö Z G E Ç M İ Ş

MURAT TEKER

Giresun 1958 doğumlu olup, ilk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1975 yılında, İ.Ü. Kimya Fakültesine girdi. 1980 Şubat döneminde Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı dönemde, İ.Ü. Kimya Fakültesinde, Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 1981 Şubat döneminde, Kimya Yüksek Mühendisi ünvanı ile mezun oldu.

1981-1983 yılları arasında, özel sektöre ait bir tekstil işletmesinde, işletme müdürlüğü görevinde bulundu. 1984 yılında, Y.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesine, Araştırma Görevlisi olarak girdi ve halen bu görevde bulunmaktadır.

Evli ve bir kız çocuğu vardır.



