

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**REAKTÖRLERİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ
KONTROLÜ**

106295

Kimya Müh. Nurdan İLHAN

**F.B.E Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

: Prof. Dr. Selahattin Gültekin

Doç. Dr. Seyfettin Erturan Prof. Dr. Hüseyin Afsar
Erturan

Selahattin Gültekin

İSTANBUL, 2001

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KÜKÜRTTEN İTİBAREN SÜLFÜRİK ASİT ELDESİ.....	2
2.1 Kükürdün İncelenmesi.....	2
2.1.1 Kükürdün Kullanıldığı Alanlar ve Ekonomisi.....	2
2.1.2 Kükürdün Toprakdan Çıkarılması ve Üretimi.....	3
2.1.3 Yakıt Gazlardan Kükürt Üretimi.....	4
2.2 Kükürt Dioksitin İncelenmesi.....	5
2.3 Kükürt Trioksitin İncelenmesi.....	5
2.4 Sülfürik Asidin İncelenmesi.....	6
2.4.1 Sülfürik Asidin Özellikleri.....	6
2.4.2 Sülfürik Asidin Kullanıldığı Alanlar.....	7
2.4.3 Sülfürik Asit Üretimi.....	7
2.5 Sülfürik Asit Üretim Proses Aşamaları.....	11
2.5.1 Kükürdün Yakılması.....	11
2.5.2 Yakıcı Gaza Uygulanan İşlemler.....	11
2.5.3 Isı Değiştirici ve Soğutucu Aşamaları.....	11
2.5.4 Dönüştürücü Aşaması.....	12
2.5.5 SO ₃ Absorpsiyon Kuleleri.....	12
3. SABİT YATAKLI REAKTÖRLER.....	13
3.1 Reaktörün Genel Özellikleri.....	13
3.1.1 BASF Cihazı.....	13
3.1.2 HOSCHT Fabrikası Cihazı.....	13
3.1.3 KUHLMANN Cihazı.....	14
3.1.4 GRILLO-SCHRÖDER Cihazı.....	14
3.2 Reaktörün İşletimi.....	14
4. PROBLEMİN BELİRLENMESİ.....	17
4.1 Problemin Belirlenmesinde Uygulanan Genel Prosedür.....	18
5. TASARIM MODEL DENKLEMLERİ.....	19
5.1 Mol Denkliği.....	19
5.2 Enerji Denkliği.....	20
5.3 Basınç Düşmesi Denkliği.....	21

6.	PROBLEMİN ÇÖZÜM YÖNTEMİ	23
7.	TASARIM MODEL DENKLEMLERİ	24
7.1	Sıcaklığın Etkisi	24
7.2	Basıncın Etkisi	26
7.3	Giriş Debisinin Etkisi	29
7.4	Boru Çapının Etkisi	32
8.	SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME	35
KAYNAKLAR		71
EKLER		36
Ek 1	Problemin MATLAB paket programı ile çözümü	36
Ek 2	Sıcaklık değişimi sonucunda L, X, P' de meydana gelen değişikliklerin sayısal değerleri	37
Ek 3	Basıncı değişimi sonucunda L, X, T' de meydana gelen değişikliklerin sayısal değerleri	45
Ek 4	Giriş Debisinin değişimi sonucunda L, X, T' de meydana gelen değişikliklerin sayısal değerleri	55
Ek 5	Boru çapı (di) değiştirilmesi sonucunda X,T,P de meydana gelen değişikliklerin sayısal değerleri	65
ÖZGEÇMİŞ		72

SİMGE LİSTESİ

A_c	Reaktörün gaz akış yönündeki kesit alanı, m^2
C_p	Gazın spesifik ısı kapasitesi, $kJ/(kg \cdot K)$
d_i	Boru iç çapı, m
D_p	Katalizör partikül çapı, m
F_0	Besleme debisi, $kmol/saat$
G	Kütleli debi, $kg/(m^2 \cdot saat)$
K_p	Denge sabiti, $atm^{-1/2}$
k	Reaksiyon hız sabiti, $kmol/(kg \cdot kat \cdot s \cdot atm)$
L	Reaktör uzunluğu, m
M	Ortalama molekül ağırlığı, $kg/kgmol$
P	Toplam basınç, atm
P_0	Giriş basıncı, atm
P_{A0}	A bileşeninin giriş kısmi basıncı, atm
P_A	A bileşeninin basıncı, atm
r'_A	Reaksiyon hızı, $kmol/(kg \cdot kat \cdot saat)$
R	Gaz sabiti, $cal/mol \cdot K$
T	Reaksiyon sıcaklığı, K
T_0	Giriş sıcaklığı, K
T_a	Soğutucu maddenin kaynama sıcaklığı, K
T_R	Referans sıcaklık, K
U	Isı transfer katsayısı, $kJ/(saat \cdot m^2 \cdot K)$
X	% Dönüşüm
X_0	Giriş bileşeninin giriş mol fraksiyonu
W	Katalizör ağırlığı, kg
ρ_0	Gazın yoğunluğu, kg/m^3
ρ_c	Reaktör içerisindeki katalizör yoğunluğu, kg/m^3
Θ_i	i bileşen konsantrasyonunun referans konsantrasyona oranı
μ	Gazın viskozitesi, $kg/m \cdot h \cdot K$
θ	Katalizör boşluk oranı
ε	Hacimsel genleşme oranı
ΔH	Reaksiyon ısı, $Kj/kmol$
ΔP	Basınç düşüşü değeri, atm

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Kükürt çıkarılmasında kullanılan Frasch Prosesi	4
Şekil 2.2	Sülfürik asit üretimi akış şeması	10
Şekil 3.1	BASF Cihazı	15
Şekil 3.2	KUHLMANN Cihazı	15
Şekil 3.3	GRILLO-SCHRÖDER Cihazı	16
Şekil 7.1	Giriş sıcaklığının değişimi ile reaktör boyunca sıcaklıkta meydana gelen değişiklikler	25
Şekil 7.2	Giriş sıcaklığının değişimi ile reaktör boyunca basınçta meydana gelen değişiklikler	25
Şekil 7.3	Giriş sıcaklığının değişimi ile reaktör boyunca sıcaklıkta meydana gelen değişiklikler	26
Şekil 7.4	Giriş basıncının değişimi ile reaktör boyunca dönüşümde meydana gelen değişiklikler	27
Şekil 7.5	Giriş basıncının değişimi ile reaktör boyunca basınçta meydana gelen değişiklikler	28
Şekil 7.6	Giriş basıncının değişimi ile reaktör boyunca sıcaklıkta meydana gelen değişiklikler	28
Şekil 7.7	Değişik F lerde X değişimi	30
Şekil 7.8	Reaktör boyunca değişik F lerde X değişiminin geniş gösterimi	30
Şekil 7.9	Reaktör boyunca F değişimi ile P de ki değişim	31
Şekil 7.10	Reaktör boyunca F değişimi ile T de ki değişim	31
Şekil 7.11	Reaktör boyunca F değişimi ile T de ki değişimin geniş gösterimi	32
Şekil 7.12	Reaktör boyunca d_i değişimi ile X te ki değişim	33
Şekil 7.13	Reaktör boyunca d_i değişimi ile P de ki değişim	34
Şekil 7.14	Reaktör boyunca d_i değişimi ile T de ki değişim	34

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Kükürt dioksidin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....5
Çizelge 2.2	Kükürt trioksidin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....6
Çizelge 7.1	Giriş sıcaklığının değişimi ile X,T,P deki değişimlerin sayısal değerleri.....24
Çizelge 7.2	Giriş basıncının değişimi ile X,T,P deki değişimlerin sayısal değerleri.....26
Çizelge 7.3	Giriş debisinin değişimi ile X,T,P deki değişimlerin sayısal değerleri.....29
Çizelge 7.4	Boru çapının değişimi ile X,T,P deki değişimlerin sayısal değerleri.32



ÖNSÖZ

Günümüz kimyasında her geçen gün önemi artan sülfürik asit ihtiyacını maksimum verimle karşılayabilmek için, sülfürik asit üretiminin kalbi sayılan dönüştürücüden maksimum dönüşümü almak gereklidir. Bunun içinde dönüştürücüde her parametre uygun değerlerde ve birbirine uyum içinde olmalıdır.

Bu çalışmada sabit yataklı ve çok borulu bir reaktörde SO_2 oksidasyonu gerçekleştirilmiş, reaktör boyunca giriş sıcaklığı, basınç, besleme miktarı ve boru çapı gibi parametreler değiştirilmiş ve bunların dönüşüm üzerine olan etkisi incelenmiştir. Tüm bu değişimlere ait grafikler verilmiştir.

Tüm bu çalışma boyunca beni sürekli destekleyerek çalışmalarını yönlendiren, bilimsel ve çok yönlü yorumlarıyla bana ışık tutan tez danışmanım Sn.Prof.Dr.Selahattin GÜLTEKİN'e, araştırmalarım sırasında benden yardımlarını esirgemeyen Etibor Bandırma Sülfürik Asit Fabrikası Genel Müdürü Sn.Ersin DEMİRCİ 'ye ve çalışmalarım sırasında bana her türlü desteği veren Evyap Sabun, Yağ, Gliserin A.Ş. Üretim Planlama ve Stok Kontrol Müdürü sayın Şahin EROL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Matlab paket programını kullanmamda bana her türlü desteği sağlayan sevgili nişanlım Elektronik ve Haberleşme Yük.Mühendisi Ümit Yapanel'e, yine benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ÖZET

Bu çalışmada, çok borulu sabit yataklı reaktörde SO_2 oksidasyonu sırasında çeşitli reaksiyon parametrelerinin değişimi ile (Sıcaklık, Basınç, Debi, Boru çapı) bu değişimlerin dönüşüm üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Sistem için kurulan model denklemlerinde, prosesi en çok etkileyen ve reaksiyon verimliliğinde direkt etkili olan proses değişkenleri (T,X,P,F...vb.) kullanılmıştır. Bu model denklemleri Matlab matematiksel paket programı ile çözülmüş ve sayısal değerler alınarak bu değerlerin olması gereken değerlerle uyum içinde olup olmadığı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sabit yataklı Reaktör, Oksidasyon, SO_2 , Sülfürik asit, Dinamik davranış.



ABSTRACT

In this thesis, we consider the oxidation of SO_2 in multi-pipe fixed bed reactors. We especially focus on the effect of the variation of some parameters such as temperature, pressure, feed, pipe diameter on the conversion rate. Variations of the conversion rate with respect to each of these parameters are separately given in different graphics and interpreted accordingly.

In the model equations that are derived for the system, the variables (like T , X , P , F , ..) affecting directly the process and reaction efficiency are used. Afterwards, these equations are solved by using a good mathematical package program MATLAB. The numerical results are examined and compared with the expected results from the theory of the related reaction. The correlation level between the numerical results and expected results are then interpreted accordingly.

Keywords : Fixed-bed reactor, SO_2 , oxidation, Sulfuric acid, dynamic behaviour.

1.GİRİŞ

Çok yönlü kullanım sahası olan sülfürik asit,dünya çapında özelliklede sanayide ve gübre üretiminde en önemli kimyasal maddelerden birisidir. Dolayısıyla, sülfürik asit üretim proseslerinde dönüştürücü verimliliğinin artırılması, hem bağlı bulunduğu diğer proseslerin dengesi, hem de ekonomi bakımından son derece önemlidir. Bu çalışma çeşitli reaksiyon parametre değişikliklerinin dönüştürücünün verimliliği üzerinde olmuştur.

SO₂ oksidasyonu reaksiyonu, tersinir ve ekzotermik bir reaksiyon olup, 673-773 K sıcaklıkta gerçekleştirilir. Tercih edilen basınç ise atmosfer basıncına yakın değerlerdir.

Endüstriyel katalitik reaktörlerin büyük çoğunluğu, çeşitli geometrilerde bulunan peletler şeklindeki katalizörlerin silindirik borular içine konduğu çok borulu sabit yataklı reaktörler diye adlandırılır. Çok borulu reaktörler nadir olarak kullanılır. Çok fazla miktarda ısı açığa çıkmasına yol açan ekzotermik reaksiyonların gerçekleştiği ve bu ısının yataktan uzaklaştırılması gerektiği durumlarda çok borulu reaktörler kullanılır. Bu çalışmada da çok borulu reaktör kullanılmıştır.

Böyle bir proses işletiminde göz önüne alınması gereken bazı faktörler şunlardır, katalizör hacmi, soğutma işlemi, reaksiyona girmeyen reaktiflerin tekrar reaktöre gönderilmesi, ekipman maliyeti ve güvenilirliğidir.

2. KÜKÜRTTEN İTİBAREN SÜLFÜRİK ASİT ELDESİ

Bu bölümde kükürdün incelenmesi, elde edilmesi ve SO_2 ' ye dönüşüm reaksiyonundan başlayarak sülfürik asidin oluşumuna kadar olan süreç incelenecektir. Ayrıca bu süreç boyunca oluşan SO_2 , SO_3 ,ve sülfürik asidin özellikleri verilecektir.

2.1 Kükürdün İncelenmesi

Kimyasal proses endüstrilerinin en önemli ve temel ham maddelerinden biri kükürttür. Doğada serbest halde veya pritte (FeS_2) olduğu gibi bileşikleri halinde bulunur. Ayrıca petrol ve doğal gazın (H_2S gibi) önemli bir parçasıdır. (Austin, 1984)

2.1.1 Kükürdün Kullanıldığı Alanlar ve Ekonomisi

Elementsel kükürt üretimi 1973'lü yıllarda 10 milyon tonu bulmuştur. Bunun %76'sı Frasch sıcak su proseslerinden %24'ü rafineri gazlarından sağlanmıştır. Daha sonra bu miktar 10,4 milyon tona ulaşmıştır ve bunun %88'i sülfürik aside dönüştürülmüştür. Bu asidin % 53,3'ü suni gübreler için ve % 34,7'si de endüstriyel asit olarak kullanılmıştır. Endüstriyel kullanımı içerisinde, anorganik ve organik kimyasal maddelerin, pigmentlerin, patlayıcı maddelerin, petrol ürünlerinin ve rayonun üretimi ile çelik üzerindeki pası alma işlemi yer almaktadır. Geride kalan %12 kullanım içinde ise odun hamurunun, karbon disülfürün , ağartma maddelerin ve organik boyar maddelerin üretimi bulunmaktadır. Çeşitli endüstriyel ve akademik araştırma grupları, kükürt için yeni kullanım alanları bulmaktadırlar. Üzerinde çalışmalar yapılan yeni kullanım alanlarından bazıları: (Austin, 1984)

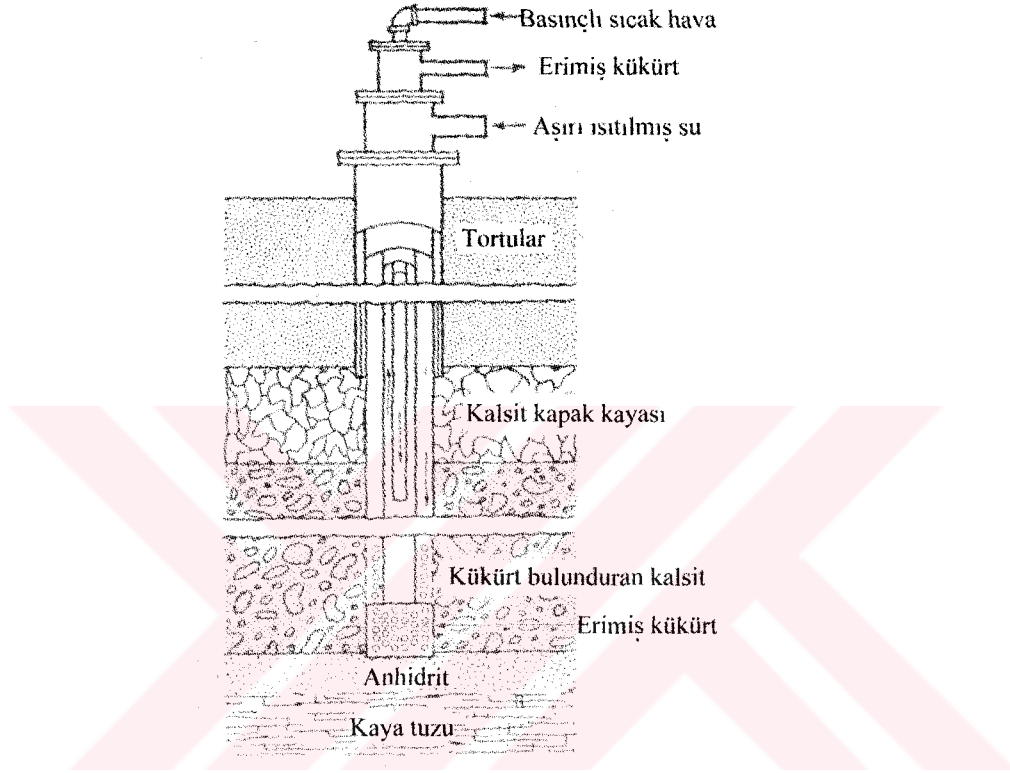
- a)Asfalt için bir katkı maddesi
- b)Kükürt betonu ve harçları
- c)Bitki ve toprak işleme
- d)Kükürt-alkali metal bataryaları

2.1.2 Kükürdün Toprakdan Çıkarılması ve Üretimi

Frasch Prosesi: Herman Frasch, kükürdü toprak veya deniz altında eritme ve sonra yüzeye pompalama yöntemini kullanarak kükürt üretmiştir. Yeryüzünden 150-750 m derinlikteki, kükürt bulunduran tabaka altına kadar delik delmek, normal petrol sondaj cihazlarını kullanarak yapılabilir. Büyüklükleri 3.75 ve 20 cm arasında değişen ve birbiri içerisine yerleştirilmiş üç yuvarlak boru, açılan kuyuya daldırılır. 20 cm'lik dış boru kükürt bulunduran tabakayı geçer ve Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi anhidrit tabakası üzerine oturur. Bu borunun içinden geçen 10 cm'lik boru, kükürt bulunduran tabaka tabanına yakın bir noktaya kadar uzanır ve böylelikle iki boru arasında halka şekilli bir boşluk oluşur ve bu boşluğun sonu, kendisini kapatan yüksük şeklide bir kapakla son bulur. 3.75 cm'lik üçüncü boru (hava borusu) ise iç borunun içinden geçer ve yukarıda adı geçen kapağın, biraz üstündeki bir noktaya kadar uzanır. 20 cm'lik dış boru, değişik iki yükseklikte deliklere sahiptir. Bunlardan biri halka şekilli kapağın üstünde ve diğeri de altındadır. Üstteki delikler sıcak suyun kükürt taşıyan tabakaya geçişini ve diğeri de erimiş kükürdün tabakadan boru içerisine girişini sağlar. (Austin,1984)

Kuyunun çalışması için, yaklaşık 160°C'da bulunan sıcak su, 20 ve 10 cm'lik borular arasındaki halka şekilli boşluktan aşağıya iner. Üst delikli bölgeden, kükürt taşıyan tabaka içerisine sızar ve kuyu çevresindeki bölgenin sıcaklığını, kükürdün erime sıcaklığı olan 119°C'ın üzerine ısıtır. Erimiş kükürt sudan daha ağırdır, dibe çöker ve orada, erimiş kükürten oluşan bir göl oluşturur. Erimiş kükürt alt deliklerden boru içine girer ve Şekil 1.1 de ki gibi, 10 cm'lik borudan yukarı çıkar. Sıcak su basıncı yardımı ile erimiş kükürdün çıkacağı yükseklik, yeryüzüne olan uzaklığın yaklaşık yarısıdır. 3.75 cm'lik borudaki basınçlı hava, erimiş kükürt içinde dağılarak, onu hafif bir şekle sokar ve böylelikle yeryüzüne kadar yükselmesini sağlar. Basınçlı hava hacmi, kükürt erime debisi ile üretim debisi eşdeğer olacak şekilde düzenlenir. Böylelikle kükürt gölü boşaltılarak, kuyunun su üretir duruma gelmesi engellenir. Görevini tamamlayan su, yaklaşık aynı debide çekilmelidir. Aksi halde, suyu meydana getireceği basınç, daha fazla sıcak suyun verilmesini imkansız hale getirir. Çoğunlukla kubbe şekilli oluşumun, derindeki yüzeylerinde oluşan ve daha ağır olan soğuk su, orada birikim yapar.

Yüzeye çıkarılan erimiş kükürt, içerisindeki çözünüş havadan kurtarılmak için, su buharı ile ısıtılan borulardan geçirilir. Kükürt, ya büyük depolama fiçilerinde katılaştırılır veya su buharı ile ısıtılan depolama tanklarında sıvı halde tutulur. (Austin,1984)



Şekil 2.1 Kükürt çıkarılmasında kullanılan Frasch Prosesi (Austin,1984)

2.1.3 Yakıt Gazlardan Kükürt Üretimi

Kükürtlü hidrojen giderek artan bir şekilde, doğal gazın, kok fırını gazının ve rafineri gazlarının saflaştırılması işleminde, potasyum karbonat çözeltisi veya etanol amin tarafından çözülerek bu gazlardan alınmakta ve bunu ısıtma işlemi izlemektedir. Bu yolla elde edilen kükürtlü hidrojen, özel olarak yapılmış bir fırında yakılarak sülfürik asit üretimi için, SO_2 verir. Fakat giderek artan bir miktarda, orijinal Clause prosesinin çeşitli değişikliklere uğramış yöntemleri ile, geri kazanılmış kükürde dönüştürülmektedir. (Austin,1984)

2.2 Kükürt Dioksidin İncelenmesi

Kükürdün sanayi bakımından en önemli bileşiği ,gerek sülfat asidi ,gerek sülfatların üretimine yarayan kükürt dioksittir. Kükürt di oksit gazı, kükürdün kontrollü yakılma prosesi ile elde edilir. Kontaktı yöntemi ile sülfürik asit eldesin de kullanılacak olan kükürt dioksidin elde edileceği fırınların bazı özelliklerinin olması gerekir. Kükürt yakıcısının istenilen konsantrasyondaki gazı sabit hacimde vermesi gerekir. Basınç altında çalışmak mümkün olmalıdır. Süblime kükürt içermemeli,diğer safsızlıklara minimum değerde olmalıdır. Yakıcılar büyük kapasiteli olmalı ve değişik kapasitede yüklemelere uygun olmalıdır. (ETİBOR, 1987) Çizelge 2.1 de Kükürt dioksidin kimyasal ve fiziksel birkaç özelliği verilmiştir.(de Groot, 1991)

Çizelge 2.1 Kükürt dioksidin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Moleküler ağırlığı	64 g/mol
Kimyasal formülü	SO ₂
Görünüşü	Renksiz gaz
Çözünürlük (suda)	273 K'de 185 g/L, 323 K'de 43 g/L
Erime noktası	197,5 K
Kaynama noktası	263 K
Isı kapasitesi	0.645 kJ/kg°C
Oluşum ısısı	298 K 'de -9230 kJ/kg
Viskozite	473 K 'de 20.10 ⁻⁶ , 673 K'de 28.10 ⁻⁶

2.3 Kükürt Trioksidin İncelenmesi

Kükürt trioksit, kükürt dioksidin katalitik oksidasyonu sonucu elde edilir. Katı ve sıvı halde bulunabilir. Katı hali A, B ve C diye adlandırılan üç şekildedir. Bunlardan sadece A hali karardır. A'nın erime noktası 335 K'dir ve bu sıcaklıktaki sıvı SO₃'ün buhar basıncı 2.5 atm'dir. A hali sıvı fazdan kristalize edilememesine rağmen başlangıçta sadece B formundan

kristaller elde edilebilir. Kükürt trioksidin bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.2. de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Kükürt trioksidin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Molekül ağırlığı	80 g/mol
Kimyasal formülü	SO ₃
Görünüşü	Renksiz gaz (atmosfer nemiyle fume görünüş kazanır)
Erime noktası	289,8 K
Kaynama noktası	317,8 K
Isı kapasitesi	0.515 kJ/kg °C
Oluşum ısısı	600 K'de -3063 kJ/kg, 800 K'de -3018 kJ/kg
Denge sabiti (Kp)	673 K'de 397, 773 K'de 48.1, 873 K'de 0.53, 973 K'de 2,63

2.4 Sülfürik Asidin İncelenmesi

Sülfürik asit, sülfat oluşumu ve sülfanasyon için bir reaktif araçtır. Fakat daha çok ve daha sık, kuvvetli ve ekonomik fiyatı olan inorganik bir asit olarak kullanılır. Sayısız endüstri kolunda yer alır ve bunların çoğu da son ürünün elde edilişidir. Suni gübre, deri ve kösele, kalaylı sac üretiminde, petrolün saflaştırılmasında ve dokumaların boyanmasında kullanılır.

2.4.1 Sülfürik Asidin Özellikleri

Sülfürik asit, korozif, renksiz, yağ kıvamında, molekül ağırlığı 98,08 olan, hafifçe viskoz olan bir sıvıdır. Özgül ağırlığı 274,5 K'de, suya göre, 1.839 olup, erime noktası 283.49 K'dir %98.3 sülfürik asit oranına karşılık SO₃ miktarından az veya çok SO₃ içeren sülfürik asit karışımları, hangi konsantrasyonlarda olurlarsa olsunlar, ısıtılmakla 611 K'de kaynayan %98,3 sülfürik asitli bir ürün verirler. (Sanıgök, 1997)

Sülfürik asit kuvvetli bir dibazik asittir. Ayrıca organik kimyasal maddelerden su alan bir maddedir. Nitrolama, esterleştirme ve sülfonasyon gibi kimyasal dönüşümlerde oluşan suyu absorplaması yönünden, bu özelliği önemlidir ve yüksek verimi güvence altına alır.

2.4.2 Sülfürik Asidin Kullanıldığı Alanlar

Genellikle suni gübre üretiminde kullanılmaktadır. Yaklaşık 12 adet özel kullanım alanı olan değişik konsantrasyonda asit vardır. Bunlar aşağıda verildiği gibi değişik amaçlarla kullanılır.

(Etibor,1987)

- Süper fosfat ve diğer yapay gübrelerin üretimi.
- Boya endüstrileri.
- Yapay ipek endüstrileri.
- Cam sanayisi için gerekli Na_2SO_4 üretimi.
- Patlayıcı madde endüstrileri.
- Deri ve Kösele endüstrisi.
- Petrol rafinasyonu.
- Çelik metalurjisi.
- Şeker endüstrisi.
- Kağıt endüstrisi.
- Plastik endüstrisi.
- Borik asit üretimi.

2.4.3 Sülfürik Asit Üretimi

Bilindiği gibi sülfürik asit kükürt ve oksijenin yanması, oluşan kükürt dioksitin oksidasyonu ile kükürt trioksidin oluşması ve onunda su ile reaksiyonundan oluşur. Sülfürik asit üretimi için genellikle kontakt prosesi uygulanmaktadır.

Kontakt metodu, verimi arttıran ve SO_3 'e dönüşmemiş SO_2 kaybını (baca yoluyla) azaltan çift absorpsiyon (çift kataliz) diye de adlandırılır. (Austin, 1984)

Sülfürden sülfürik asit üretiminde ilk adım sülfürün bir fırının içinde SO_2 'yi oluşturmak için yakılmasıdır.



Daha sonra SO_2 titiz bir şekilde saflaştırılıp ,temizlenir. Bir V_2O_5 katalizörü kullanılarak havayla SO_3 'e dönüştürülür.



Yukarıdaki SO_2 'nin SO_3 'e dönüşümü, ekzotermik reversible bir reaksiyondur. Bu eşitliğe göre SO_2 veya oksijenin arttırılması halinde, SO_3 dönüşümünün de artacağı görülmektedir. Le Chatelier prensibine göre, basınçta meydana getirilecek bir artmada, SO_3 dönüşümünde artmaya sebep olur. Fakat etkisinin az olması ve fazla gideri olmasından dolayı endüstriyel uygulanması pek yapılmamaktadır. SO_3 'ün bir kısmı ortamdan uzaklaştırıldığı zaman dengeyi yeni baştan kurmak için daha fazla SO_2 , SO_3 'e dönüşür.

Bu olaydan modern asit fabrikalarında tüm dönüşüm randımanını yükseltmek ve atmosfere bırakılan gazlar içinde SO_2 miktarını azaltmak için yararlanılır. (Austin, 1984)

Reaksiyon hızı, sıcaklık düşüyle artmaktadır, fakat daha sonra reaksiyon dengeye yaklaştıkça reaksiyon hızı da azalmaya başlar. Dönüşüm oranı %60-70, sıcaklık da 600 °C civarında reaksiyon aslında durur. Gaz ikinci sabit katalizör yatağına girmeden önce, 430 °C civarına bir ısı değiştiricisiyle soğutulur veya kuru hava eklenerek bu sıcaklığa getirilir. Bu işlemin uygulanması halinde verim %97-98 aralığındadır ve tüm reaksiyon debisi çok yüksektir. (de Groot, 1991)

Kontakt sülfat asidi tesisinin kalbi sayılan dönüştürücüde SO_2 'nin SO_3 'e dönüşümü reaksiyonu ekzotermik olduğundan düşük sıcaklıklar SO_3 oluşumu lehinedir. Fakat düşük sıcaklıklarda dengeye varma hızı azdır. Bu yüzden nispeten düşük ılımlı bir sıcaklıkta tatmin edici bir reaksiyon hızı sağlamak için uygun bir katalizör kullanmak gerekir. Bu zamana kadar kullanılan katalizörler arasında platin, demir oksitler, krom, bakır, mangan, titan, vanadyum oksitler ve diğer metal oksitleri sayılabilir. Platin kullanılan ilk katalizördü. Fakat kükürt dioksit üretiminde kullanılan bazı başlangıç maddelerinde (pirit gibi) az miktarlarda bulunan arsenik bileşikler gibi bazı maddelerin zehirlenme etkilerine karşın son derece hassastır. Kontakt prosesindeki başarılı gelişmelerden birisi de katalitik zehirlerin saptanması ve bunların giderilmesi metotlarının bulunması idi. Bu katalizörler içinde verim açısından en uygun olanı V_2O_5 katalizörüdür. Bazen iki ayrı kalite olarak dönüştürücüye yüklenir, dönüştürücünün ilk bölümünde daha az aktif, fakat daha sert olan tipi, sonraki bölümde ise daha fazla aktif ve yumuşak olanı tipi kullanılır. Bu katalizörler uzun ömürlü olup 20 yıla kadar kullanılabilir ve zehirlenmezler. Dönüşümler giren SO_2 gaz karışımının yüzdesine ve O_2/SO_2 oranına bağlı olarak %97-98'e, çift absorplayıcı tesislerde ise %99,7'ye kadar yükselir. Dolayısıyla temiz SO_2 kullanılmalıdır. (Sanıgök, 1997)

Bir sülfürik Asit üretim prosesini Şekil 2.2'de görebiliriz. Akış diyagramındaki aşamaları şu şekilde sıralayabiliriz,

1. Kükürdün fabrikaya taşınması.
2. Erimiş halde fabrikaya gelmemesi halinde, kükürdün eritilmesi ve çoğu kez, az miktardaki toprağın uzaklaştırılması için, erimiş kükürdün süzülmesi.
3. Erimiş kükürdün pompalanması ve atomize edilmesi.
4. Yanma havasının kurutulması.
5. Kükürdün yakılması.
6. Sıcak SO_2 gazının soğutulması ve ısı kazanılması.
7. Sıcak süzme ile SO_2 gazının saflaştırılması.
8. Dönüştürücüde SO_2 gazının SO_3 'e oksidasyonu.
9. Yüksek SO_3 verimini güvence altına almak için, ısı transferi ile sıcaklık kontrolünün sağlanması.

2.5 Sülfürik Asit Üretim Proses Aşamaları

2.5.1 Kükürdün Yakılması

Kontakt ve kurşun odalar prosesleri, örneğin kükürt ve bir kısım sülfürlü mineraller aynı hammaddeyi kullanırlar. Taşıma giderinin düşüklüğü nedeniyle daha çok kükürt kullanılır ve erimiş halde depolanır. Daha sonra bir depolama tankından herhangi bir sıvı gibi Şekil 2.2’de gösterildiği gibi bir fırın içerisine pompalanır. Genel olarak kükürt yakıldığı zaman %9 SO_2 sağlanır ve bu yüzdenin arttırılması mümkündür.

2.5.2. Yakıcı Gaza Uygulanan İşlemler

Kontakt prosesi için üretilen yakıcı gaz SO_2 beraberinde taşıdığı toz CO_2 , N_2 ve O_2 den başka klor, arsenik ve flor gibi safsızlıklara sahiptir. Son iki safsızlık elementel kükürttten başka maddelerin yakılması halinde var olurlar. Yakıcı gazların neden olabilecekleri aşınmayı önlemek için, kükürdün yakılması ve dönüştürücüde, Şekil 2.2.’de gösterildiği gibi SO_2 ’oksidasyonu amacıyla kullanılacak havanın kurutulması, yaygın bir uygulamadır. Bu kurutma işlemi %93-98’lik sülfürik asit kullanan kulelerde yapılır. Kükürt yakan brülörün gazları, ısının büyük bir kısmını atık ısı kazanında su buharı üretmek için kullanır.

2.5.3 Isı Değiştirici ve Soğutucu Aşamaları

Gazlar dönüştürücünün ilk aşamasına alınmadan önce sıcaklıkları katalizörün reaksiyon hızını yükselteceği en düşük sıcaklığa, 683-713 K arasına ayarlanır. Yüksek dönüşüm sağlamak için gazlar katalizör kademeleri arasında soğutulmalıdır. Bu amaçla soğutucu hava veya soğutucu maddeler kullanılabilir. Buhar kazanları, aşırıcı ısıtıcılar veya borulu ısı değiştiriciler kullanılabilir. Isı değiştiriciler içerisinde çok sayıda tüp bulunduran büyük ve düşey silindirlerdir. SO_3 gazı çoğunlukla boruların içerisinden geçer ve SO_2 gazı boruları dış yüzeyinden sarar.

2.5.4 Dönüştürücü Aşaması

SO₂'nin dönüştürücüde SO₃'e dönüşümünü arttırmak için uygulanan metotlar:

- Sıcaklıktaki bir düşme proses ekzotermik olduğu için SO₃ oluşumunu artırır.
- Oksijen konsantrasyonunun artırılması
- SO₃'ün uzaklaştırılması (Çift absorpsiyon prosesi durumunda)
- Sistem basıncının artırılması
- Çalışma sıcaklığını (denge) düşürmek için, bir katalizör seçilmesi
- Daha uzun reaksiyon süresi(Bat,1999)

Bu temel şartlarla birlikte giriş sıcaklığı 683-713 K olan çok geçişli bir dönüştürücünün kullanılması tüm dönüşümü %98'e kadar yükselmesini sağlar. Dönüşümün büyük bir kısmı (yaklaşık %75) ve ilk katalizör yatağının çıkış sıcaklığı 873 K veya daha fazladır. Kademeler arasında birbiri ardına sıcaklığın düşürülmesi tüm dönüşümün yüksek olmasını sağlar. Dönüştürücünün son kademesine girmeden önce SO₃'ün uzaklaştırılması tüm dönüşümün %99,5 üzerine çıkmasını sağlar. Tüm katalizörün yaklaşık %25'i ilk kademededir ve burada dönüşümün %70-75'i meydana gelebilir. Dönüştürücüden çıkan gazlar azar azar soğutulurlar ve en son kademedен çıktıktan sonra SO₃ absorpsiyon kulesine gitmeden önce ekonomizör veya ısı değıştircilere girerler. Dönüştürücü sülfürik asit üreten bir fabrikanın kalbi olmakla beraber maksimum sonucu güvence altına almak için optimize edilmelidir.

2.5.5 SO₃ Absorpsiyon Kuleleri

%98,5-99 arasında bir sülfürik asit derişikleştirilmesi için, en etkin kimyasal maddenin SO₃ absorpsiyonu olduğu uzun bir süreden beri bilinmektedir. Çünkü bu derişiklikteki bir asit diğer herhangi bir konsantrasyondaki buhar basıncından daha düşüktür. SO₃ ile doğrudan temas esnasında asit sisi oluştuğundan su kullanılmaz. SO₃'ün su içinde absorplanması hemen hemen mümkün değildir. Absorpsiyon için kullanılan asit sürekli derişikleştiği için herhangi bir yolla seyreltilmelidir. Ayrıca bu asit soğutulmalıdır. (Austin, 1984)

3. SABİT YATAKLI REAKTÖRLER

3.1 Reaktörün Genel Özellikleri

Oksidasyon reaksiyonları için değişik tipte reaktörler kullanılmaktadır. Bunlar adyabatik çok yataklı ve çok tüplü olabileceği gibi sabit yataklı katalitik reaktörlerde olabilir. Belki de en çok kullanılan reaktör tipi adyabatik bölümlere ayrılmış ve bu bölümler arasına soğutucu yerleştirilmiş reaktör tipidir. Buna rağmen diğer bir tip olan reaktör içine yerleştirilmiş soğutucu tüplerden oluşmuş reaktörde sık kullanılanlar arasındadır. (Elsevier ,1997)

Bu tip reaktörlerin ana prensibi katalizör yatağını terk eden yüksek sıcaklıktaki reaksiyon gazının bir sonraki katalizör yatağında ısı ihtiyacı olan reaksiyona girmemiş gaz için dolaylı olarak ısı değiştirmesidir. Böylece amaç ısı kayıplarını engellemektir. Bu durumda reaksiyon ısısını mümkün olan en yüksek sıcaklık seviyesinde geri kazanmak mümkün olabilir.

Sabit yataklı katalitik reaktörlerin adyabatik reaktörlere göre avantajı ara kademede yer alan borulu ısı değiştiricilerin ortadan kalkması ve soğuk giriş gazının düşük giriş gazı konsantrasyonu ile işlenebilmesi imkanındır. (Elsevier ,1999)

Oksidasyon için kullanılan bazı reaktör tipleri şunlardır. (Etibor,1987)

3.1.1 BASF Cihazı

3 m yüksekliğinde ve 2.75 m çapında bir kulenin içinde 12 cm çapında 144 boru vardır. Bu boruların her biri 30 yatay plato içerir ve bu platolar plâtinlenmiş amiyant ile kaplanmıştır. Kükürt dioksit ve oksijen dönüştürücünün yanından girerler, kataliz tüplerinden geçip yukarıdaki bir odada optimal sıcaklığa erişir ve sıcaklık ayarlanır. 144 boruluk 10 ünite SO₂'nin oksidasyonu için yeterlidir. Fırının üzerinde gazların geriye dönüp tekrar ısınmasını sağlayan bir siper vardır. Tipik bir BASF cihazı Şekil 3.1. de verilmiştir.

3.1.2 HÖCSHT Fabrikası Cihazı

İki dönüştürücü içerir, ilk dönüştürücüde sadece tozdan arınmış gaz, bir dizi borun içinde gelir. Bu borular fırının çıkışına takılmıştır. Burada 773 K'e kadar ısıtma sağlanır ve platoları NiSO₄ ile kaplanmış ilk kataliz cihazına gelir. Buradan da sıcaklık değiştiricisine gelir. Daha sonra birinci absorblayıcıya sonra tekrar ısı değiştiricisine ve son olarakta ikinci dönüştürücüye gelir.

3.1.3 KUHLMANN Cihazı

Bu dönüştürücü de ise vanadyum pentaoksit katalizörünün çok büyük hacim işgal etmesinden dolayı katalizör kütlesi boruların dışında bulunur. Gaz karışımı ise boruların içinde dolaşır. Dönüştürücünün altından giren gaz karışımı yan taraftan yükseltmenmiş olarak çıkar.

Tipik bir KUHLMANN cihazı Şekil 3.2.de verilmiştir.

3.1.4 GRILLO-SCHRÖDER Cihazı

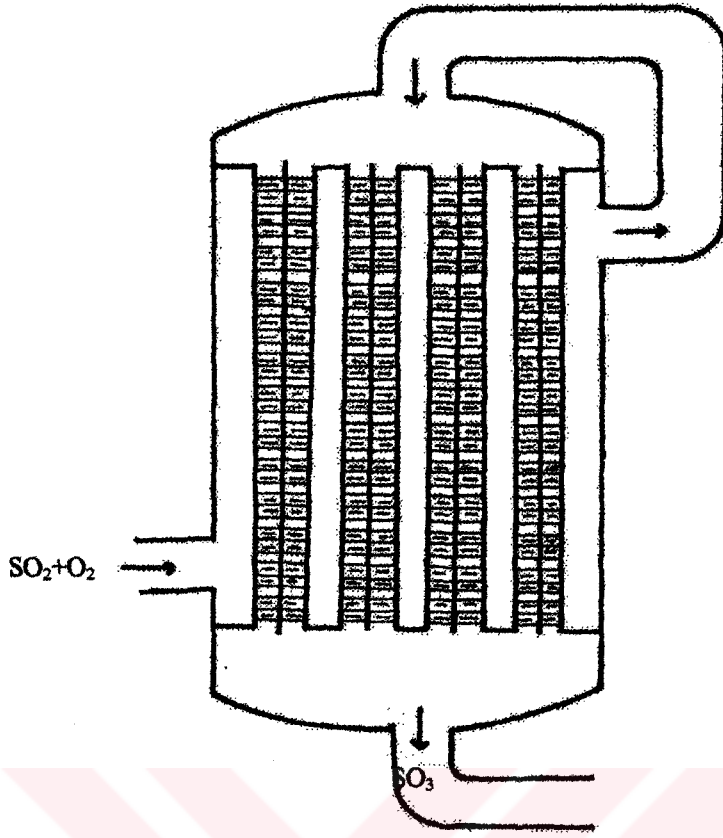
Dıştan yalıtılmış, demir saçtan yapılmış kontaktı fırını 4 m yüksekliğinde ve 2 m çapındadır. Fırının içinde 4 adet $MgSO_4$ ve platin ile kaplanmış delikli raflar vardır. Gazlar yukarıdan girer ve 4 raftan geçerek aşağıya gelir ve oradan çıkar. Her raf 40-50 cm kalınlığındadır ve 793-803 K ' lik optimal sıcaklık bütün raflarda az çok sağlanır. Rafların üzerinde gereksiz ısınmaları önleyen ekranlar bulunur.

Isı alıp verme cihazı kataliz aracını içine alan bir silindirdir. Gazlar spiral bir yol izleyerek temas süresini artırır ve ısı alışverişi kolaylaşır. Bu araç % 6-7 SO_2 içeren gazlarla günde 7-8 ton SO_3 verebilir. İşlem esnasında ancak 4-5 saniyelik bir temas süresi için SO_2 ' in % 95-97'si SO_3 haline geçer. Kullanılan gazlar iyi temizlenmiş ise cihaz aylarca işleyebilir. Tipik bir cihazı Şekil 3.3'te verilmiştir.

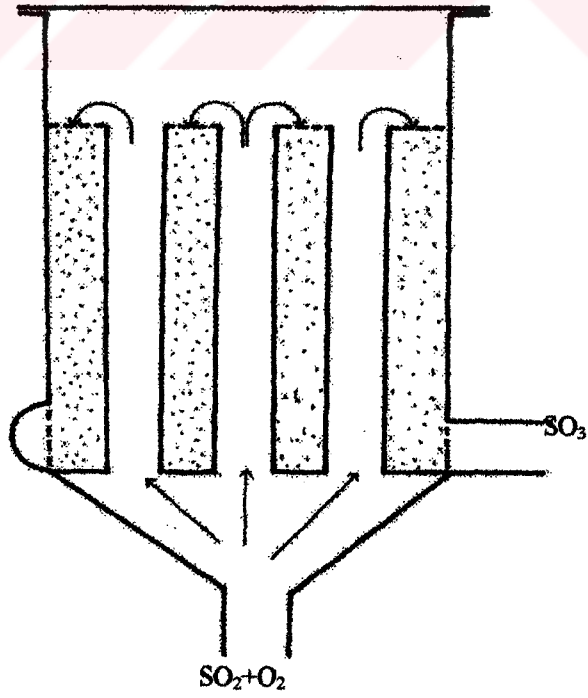
3.2 Reaktörün İşletimi

Sabit yataklı reaktörler atmosferik basınçtan sadece biraz daha yüksek basınçlarda çalışırlar. Bizim tasarımıımızda 2 atm değeri kullanılacaktır. Reaktörün iç sıcaklığı en fazla çevrimi verecek şekilde ayarlanacaktır. Fakat bunu yaparken şu iki sınırlama göze alınacaktır. V_2O_5 katalizörü ile elde edilen reaksiyon oranı 672 K sıcaklığın altında ihmal edilebilecek kadar küçüktür ve reaktör sıcaklığı herhangi bir noktada 880 K ni aşmamalıdır. (Donovan And Salamone)

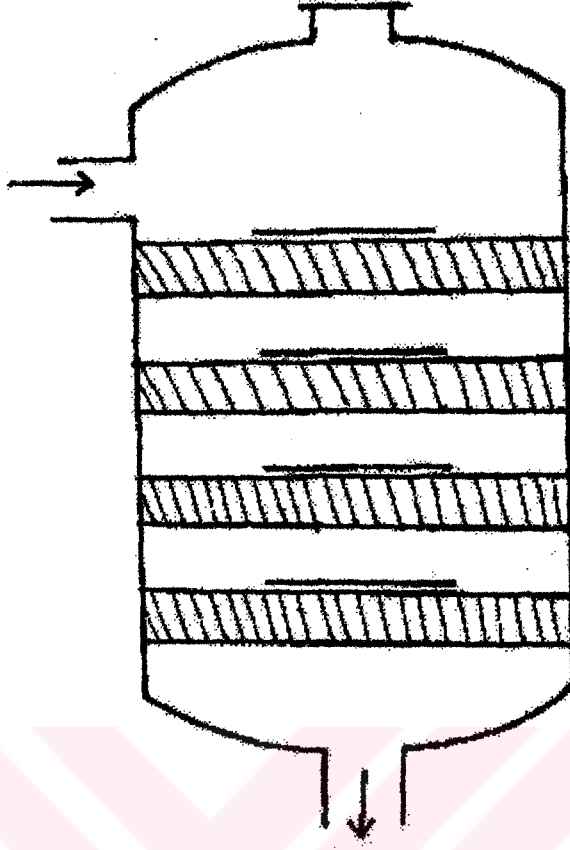
Bir seri giriş sıcaklığı test edilmelidir ve 677 K'in üzerinde olan ve en fazla çevrimi veren ve 880 Ki aşmayan sıcaklık kullanılmalıdır. Isının tekrar kullanılmasıyla ısıl etkinliği arttırmak için soğutma maddesi yüksek sıcaklıkta olmalıdır. En uygun madde Dowtherm A gibi görünmektedir. Bu madde yaklaşık olarak 672 K 'lik bir çalışma limitine sahip olmasına karşın bizim tasarımlarımızı başlangıç aşamasında soğutucu olarak kullanılabilir. (Fogler, 1992)



Şekil 3.1 Basf Cihazı



Şekil 3.2 Kuhlmann Cihazı



Şekil 3.3 Grillo-Schröder Cihazı

4. PROBLEMİN BELİRLENMESİ

Kükürtden sülfürik asit üretiminde ilk adım sülfürün bir fırının içinde SO_2 'yi oluşturmak için yakılmasıdır. Bu üretimin reaksiyonları şu şekildedir;



Daha sonra SO_2 bir katalizör kullanılarak SO_3 'e çevrilir.



Daha önce sülfürik asit üretiminde platin kullanılıyor olmasına rağmen şimdilerde pratikte kullanılan tek katalizör V_2O_5 'tir. (Cameron,G.M). Yukarıdaki reaksiyonda, Eklund tarafından üzerinde çalışılan katalizör olan V_2O_5 katalizörü kullanılacaktır. Eklund'un bu çalışması Donovan tarafından alınmış ve SO_2 oksidasyonunun tanımlanmasında kullanılmıştır (Eklund,R.B.). Silindirik tüpler 8 mm çapındadır ve 8mm uzunluğundadır.

Gaz yoğunluğu $541,55 \text{ kg/m}^3$ tür. 710 K ve 827 K arasında, bu özel katalizör ile SO_2 oksidasyonu için hız denklemi aşağıda verilmiştir.

$$-r'_{SO_2} = k \sqrt{\frac{P_{SO_2}}{P_{SO_3}}} \left[P_{O_2} - \left(\frac{P_{SO_3}}{K_p P_{SO_2}} \right)^2 \right] \quad (\text{Fogler, 1992}) \quad (4.3)$$

Harrer'a göre bir SO_2 reaktöründe normal basınç ve sıcaklıkta ölçülen hacimsel akış oranı genel olarak çevirici alanının $22, 86$ ila $30,48 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$ 'si kadardır. Yine aynı kişi çevirici yataklarının $0, 5$ ila $0,76 \text{ m}$ derinlikte olabileceğini söyler.

Yatak boyunca üfleme fanı enerji gereksinimlerini olabildiğince küçültmek için, düşük bir kütle akış hızına sahip olmak istenilir. Bu nedenle $22, 86 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$ değeri kullanılacaktır. Adyabatik çeviricilerde normal olarak çevrimin % 70 i ilk aşama da buna ek olarak % 18'i ise ikinci aşamada gerçekleşir. Sonuç olarak, soğutucu tüplü reaktörde, toplam olarak $110, 71 \text{ m}^3$ katalizör hacmi kullanılır. (Fogler, 1992)

Katalizör borulara konulmuş, daha sonra bu borular kaynayan bir sıvı tarafından soğutulacakları ısı transferi yapılan yere konulmuşlardır. Boruların dış çapı 0.0762 m olacaktır. SO_2 oksidasyon sistemlerinde platin katalizörler kullanılmasına ve burada gözönüne alınan reaktörlerden daha değişik çalışma şartlarına sahip olmalarına rağmen şiddetli radial sıcaklık düşüşü gözlenmiştir. $0, 0762 \text{ m}$ 'lik çap, bu sıcaklık gradyanları ve kullanılan

boruların sayısı az tutmak arasındaki ilişkiyi sağlamak için seçilmiştir. Bunun için 12 gauge kalınlık belirlenmiştir. Bu 2, 76 mm kalınlık ve 0, 07 m bir iç çap anlamına gelmektedir, Azalan üfleme fanı enerji gereksinimleri (daha kısa tüp uzunluğu) ve işletme masraflarını azaltmak arasındaki ilişkiyi sağlamak için 6, 096 m uzunluk kullanılacaktır. 110, 8 m³'lük katalizör için gereken boruların sayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$N_i = \frac{\text{Katalizör hacmi}}{\text{Birim tüpün hacmi}} = \frac{110,7189}{6.096 * \Pi * (0,0706)^2 / 4} = 4631 \text{ Adet} \quad (4.4)$$

4.1 Problemin Belirlenmesinde Uygulanan Genel Prosedür

a-Katalizör ağırlığını reaksiyon hızı ve dönüşümü ile ilişkilendiren, piston akışlı tasarım denklemini uygulanacaktır. Hız kanununu dönüşümün bir fonksiyonu olarak tanımlamak için stokiometrik ilişki ve besleme özellikleri kullanılacaktır.

b-Sıcaklık ve katalizör ağırlığı ile ilgili enerji denklemi oluşturulacaktır.

c-Basıncın, katalizör ağırlığının bir fonksiyonu olarak belirlenmesinde, basınç düşüşü hesaplamalarında kullanılan Ergun Denkleminde yararlanılacaktır.

d-Nümerik bütünleştirme, tasarım eşitliği, enerji dengesi ve Ergun denkliği, çıkış dönüşümünü sıcaklığı ve konsantrasyon profilini belirlemek için eş zamanlı olarak çözülecektir.

Burada içinde %11 SO₂, %10 O₂, ve %79 N₂ inert gazı içeren 3583 kg/mol besleme SO₂ dönüştürücüye beslenmiştir. Dönüştürücü 6, 093 m uzunluğundadır ve 4631 adet boru bulundurmaktadır. Tüpler 0, 0762 m dış çapında, 0, 0706 m iç çapındadır. Tüpler 702 °K de kaynayan bir sıvı ile soğutulmaktadır. Giriş basıncı daha öncede bahsedildiği gibi 2 atm'dir.

5.TASARIM MODEL DENKLEMLERİ

Model denklemleri içerisinde yer alan parametrelerin sayısal değerleri:

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0.45 & U &= 206.61 \text{ kJ/h.m}^2.\text{K} \\
 \rho_0 &= 0.8652 \text{ kg/m}^3 & A_{ci} &= 0.0039205 \text{ m}^2 \\
 P_0 &= 2 \text{ ata} & T_0 &= 778^\circ\text{K} \\
 D_P &= 0.00457 \text{ m} & g &= 32 \text{ km/N.h}^2 \\
 \mu &= 0.1339 \text{ kg/m.h} & \rho_c &= 541.55 \text{ kg/m}^3 \\
 F_{T0} &= 3583 \text{ kgmol/h} & D &= 0.0706 \text{ m} \\
 L &= 6.096 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$K_p(\text{atm}^{-1/2}, T \text{ K de}) = \exp\left[\frac{42311}{R.T} - 11.24\right] \text{ (Janaf, 1971)} \quad (5.1)$$

$$k = \exp\left[\frac{-176008}{T} - (110.1 \ln T) + 912.8\right] \text{ (EKLUND, BY DONOVAN)} \quad (5.2)$$

$k(\text{kg mol SO}_2/\text{kg kat.s.atm}, T \text{ K de})$

5.1 Mol Denkliği

$$F_{Ao} \cdot \frac{dX}{dW} = -r'_A \quad (5.3)$$

SO₂ Oksidasyonu için hız ifadesi denklem 5.4 teki gibidir.

$$-r'_{\text{SO}_2} = k \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{SO}_2}}{P_{\text{SO}_3}}} \cdot \left[P_{\text{O}_2} - \left(\frac{P_{\text{SO}_3}}{K_p \cdot P_{\text{SO}_2}} \right)^2 \right] \quad (5.4)$$

Burada;

r : Reaksiyon hızı (kmol/kg.kat.saad)

K_p : Denge sabiti ($\text{atm}^{-1/2}$)

k : Reaksiyon hız sabiti (kgmol/kg.kat.h.atm)



A burada SO₂ olarak tanımlanmıştır.

Reaksiyon denklemlerine göre hız ifadesi açıldığında;

$$P_i = C_i(RT) = C_{Ao} \frac{(\Theta_i + v_i X)(RT)P}{(1 + \varepsilon X)(T/T_o)P_o} = P_{Ao} \frac{(\Theta_i + v_i X)P}{(1 + \varepsilon X)P_o} \quad (5.7)$$

Kısmi basınç için, eşitlik 5.7'yi hız kanununda yerine koyarsak eşitlik 5.8 elde edilebilir.

$$\frac{dX}{dW} = \frac{r'_A}{F_{Ao}} = \frac{k}{F_{Ao}} \sqrt{\frac{1-X}{\Theta_{SO_3} + X}} \left[\frac{P}{P_o} P_{Ao} \left(\frac{\Theta_{SO_2} - 1/2X}{1 + \varepsilon X} \right) \left(\frac{\Theta_{SO_3} + X}{1-X} \right)^2 \cdot \frac{1}{Kp^2} \right] \quad (5.8)$$

$\varepsilon = -0.055$, $P_{Ao} = 0.22 \text{ atm}$, $\Theta_{SO_2} = 1.0$, $\Theta_{O_2} = 0.91$, $\Theta_{SO_3} = 0.0$, ve $\Theta_{N_2} = 7.17$;

$F_{To} = 3583 \text{ kg/mol}$

$F_{Ao} = 3583.0, 11 = 394, 13 \text{ kg/mol}$

Tüp Başına yazılırsa;

$$F_{Ao} = \frac{394,13}{4631} = 0.085 \text{ kg/mol} \quad (5.9)$$

5.2 Enerji Denklği

(5.10)

Reaksiyon Isısı;

$$\Delta H_R(T) = \Delta H_R^\circ(T_R) + \Delta \alpha \cdot (T - T_R) + \frac{\Delta \beta}{2} \cdot (T^2 - T_R^2) + \frac{\Delta \gamma}{3} \cdot (T^3 - T_R^3) \quad (5.11)$$

SO₂ Oksidasyonu için;



$$\Delta \alpha = \alpha_{SO_3} - \frac{1}{2} \cdot \alpha_{O_2} - \alpha_{SO_2} = 8,511 - (0,5)(5,731) - 7,208 = -1,563$$

Benzer Olarak;

$$\Delta\beta = 0,00273 \text{ ve } \Delta\gamma = - 0,738 \times 10^{-6}$$

$$T_R = 700 \text{ K 'de}$$

$$\Delta H_R(700^\circ\text{K}) = - 98.807 \text{ kJ/kgmol SO}_2$$

$$\Delta H_R(T) = - 98.807 - (1,563).(T - 700) + (1,36 \times 10^{-3}).(T^2 - 700^2) - (2,459 \times 10^{-7}).(T^3 - 700^3) \quad (5.13)$$

$$C_{pSO_2} = 30.212 + 23.610 \times 10^{-3}.T - 5.628 \times 10^{-6}.T^2$$

$$C_{pO_2} = 24.24 + 9.825 \times 10^{-3}.T - 20.654 \times 10^{-7}.T^2$$

$$C_{pSO_3} = 35.981 + 40.254 \times 10^{-3}.T - 9.832 \times 10^{-6}.T^2$$

$$C_{pN_2} = 26.418 + 37.127 \times 10^{-4}.T - 9.009 \times 10^{-8}.T^2$$

Burada C_p J/kg $^\circ$ K T $^\circ$ K.

$$\sum \Theta_i C_{pi} = 241.68 + 0,036.T - 8.152 \times 10^{-6}.T^2 \quad (5.14)$$

Isı Transfer Katsayısı;

$$\frac{U\pi.D}{\rho c.A_c} = \frac{4.U}{\rho c.D} = \frac{4.204,61}{541,55.0,0706}$$

$$\frac{U\pi.D}{\rho c.A_c} = 21.41 \text{ kJ/h.kg kat. } ^\circ\text{K}$$

$$\frac{dT}{dW} = \frac{21.41.(T_a - T) + (r'_A)[- \Delta H_R(T)]}{0.085(\sum \Theta_i C_{Pi} + XC_p)} \quad (5.15)$$

5.3 Basınç Düşmesi Denkliği

$$\frac{dP}{dL} = - \frac{(1 - \phi).G.(1 + \varepsilon X)}{\rho_o(P/P_o)(T_o/T)gcDp\phi^3} \left(\frac{150.\mu.(1 - \phi)}{Dp} + 1,75G \right) \quad (5.16)$$

Burada;

$$G = (\sum F_{i0}.M_i)/A_c = 644.56 \text{ kg/m}^2.\text{h}$$

A_c = Reaktör yatağının gaz akış yönündeki kesit alanı

M_i = i bileşeninin molekül ağırlığı

$W = \rho_c.A_c.L$ şeklinde yazarsak;

(5.17)

Verilen parametreleri yerlerine koyarsak ;

$$\frac{dP}{dW} = -\frac{1.12.10^{-8} \cdot (1 - 0.055 \cdot X) \cdot T}{P} \cdot (18052 \cdot \mu + 1127.98) \quad (5.18)$$

Elde edilir.

Sonuç olarak burada birlikte çözülmesi gereken üç diferansiyel denklem vardır. Bunlar;

$$\text{Mol Denklemi } \frac{dX}{dW} = f_1(T, P, X) \quad (5.19)$$

$$\text{Enerji Denklemi } \frac{dT}{dW} = f_2(T, P, X) \quad (5.20)$$

$$\text{Basınç Denklemi } \frac{dP}{dW} = f_3(T, P, X) \quad (5.21)$$

6. PROBLEMİN ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Model denklemlerinin oluşması sonucunda ortaya çıkan aşağıdaki diferansiyel denklemlerin çözülebilmesi için lineer hale getirilmesi gereklidir. Bunun için Runge-Kutta Gill yöntemi kullanılabilir. Bu metodla lineer hale getirilen bu denklemler analitik olarak çözülebilir. Bu işlemlerin tamamı MATLAB paket programı yoluyla çözülebilir.

$$\text{Mol Denklemi } \frac{dX}{dW} = f1(T, P, X) \quad (6.1)$$

$$\text{Enerji Denklemi } \frac{dT}{dW} = f2(T, P, X) \quad (6.2)$$

$$\text{Basınç Denklemi } \frac{dP}{dW} = f3(T, P, X) \quad (6.3)$$

Yapılan bütün işlem sonuçlarının çizelge haline getirilmesi ve grafiklerin çizilmesinde MATLAB paket programı kullanılmıştır. Her bilgisayar programında olduğu gibi MATLAB Paket programının kendine özgü yazım ve işletim özellikleri vardır. Programın yazılımı ve işletimi Ek 6'da verilmiştir.

7.PROBLEMİN ÇÖZÜLMESİ

Problemin çözülmesinde MATLAB paket programı kullanıldığı belirtilmişti. Burada yukarıdaki model denklemleri ve parametreleri kullanılarak , SO_2 dönüşümünün katalizör miktarına dolayısıyla reaktör boyuna bağlı olarak, giriş sıcaklıkları, giriş debisi, giriş basıncı ,boru çapına nasıl bağlı olduğu araştırılacaktır. Giriş sıcaklığı 611 den 883 °K e, giriş debisi 3175,14 kg dan 4534,92 kg 'a, giriş basıncı 2 atm den 4 atm' e, reaktör boyu 3,048 den 6,093 m ve boru çapı ise 63,5 mm den 76,2 mm ye değiştirilmiştir.

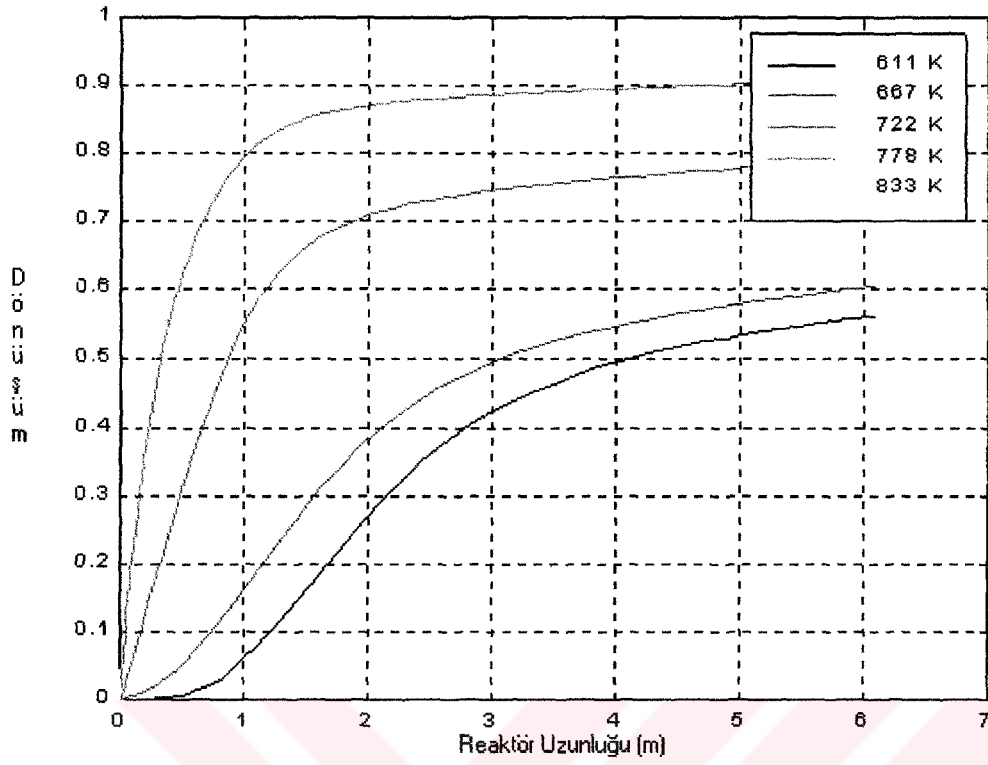
7.1 Sıcaklığın Etkisi

Başlangıç için 5 ayrı sıcaklık değeri seçilmiş ve Çizelge 7.1'de ki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçların grafiksel gösterimleri ise Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te verilmiştir. Şekil 7.1 Reaktör boyunca başlangıç sıcaklıkları ve dönüşümün ilişkisini, Şekil 7.2 Reaktör boyunca başlangıç sıcaklıkları ve basıncın ilişkisini, ve Şekil 7.3 Reaktör boyunca başlangıç sıcaklıkları ve değişen sıcaklığın ilişkisini göstermektedir.

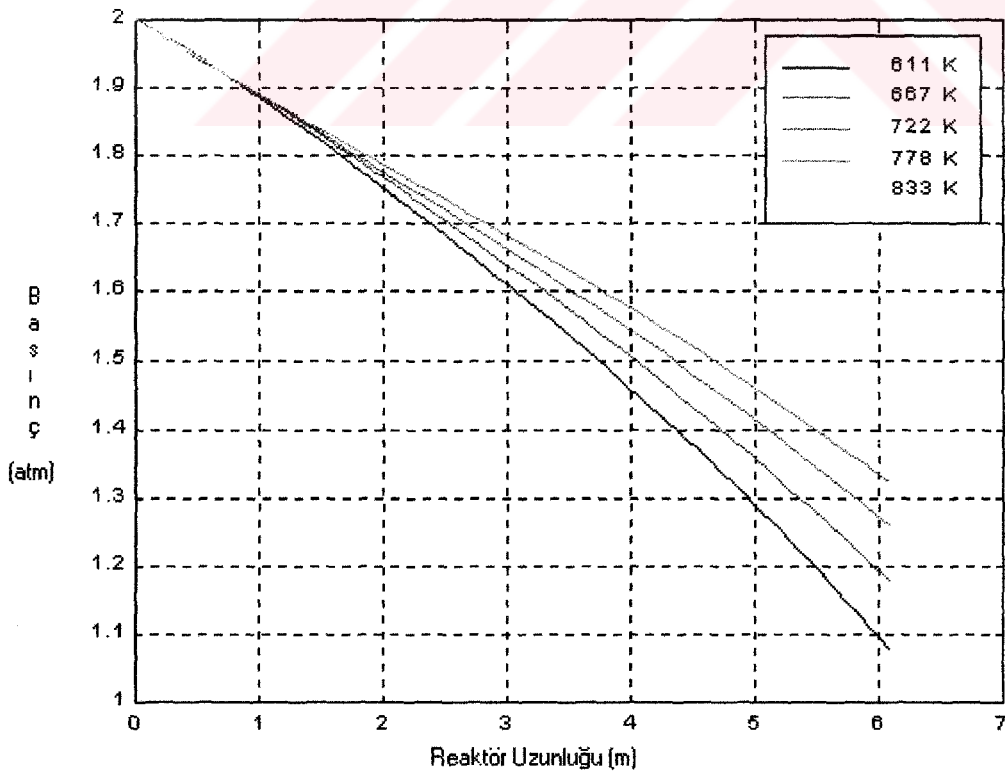
Çizelge 7.1 Giriş sıcaklığının değişimi ile X.T.P deki değişimlerin sayısal değerleri

P_0 (atm)	2				
X_0	0				
T_0 (K)	611	667	722	778	833
X_φ	0,5611	0,604	0,7913	0,9093	0,9154
P_φ	1,08	1,175	1,26	1,32	1,37
T_φ	706,9	706,4	704,1	703,08	703

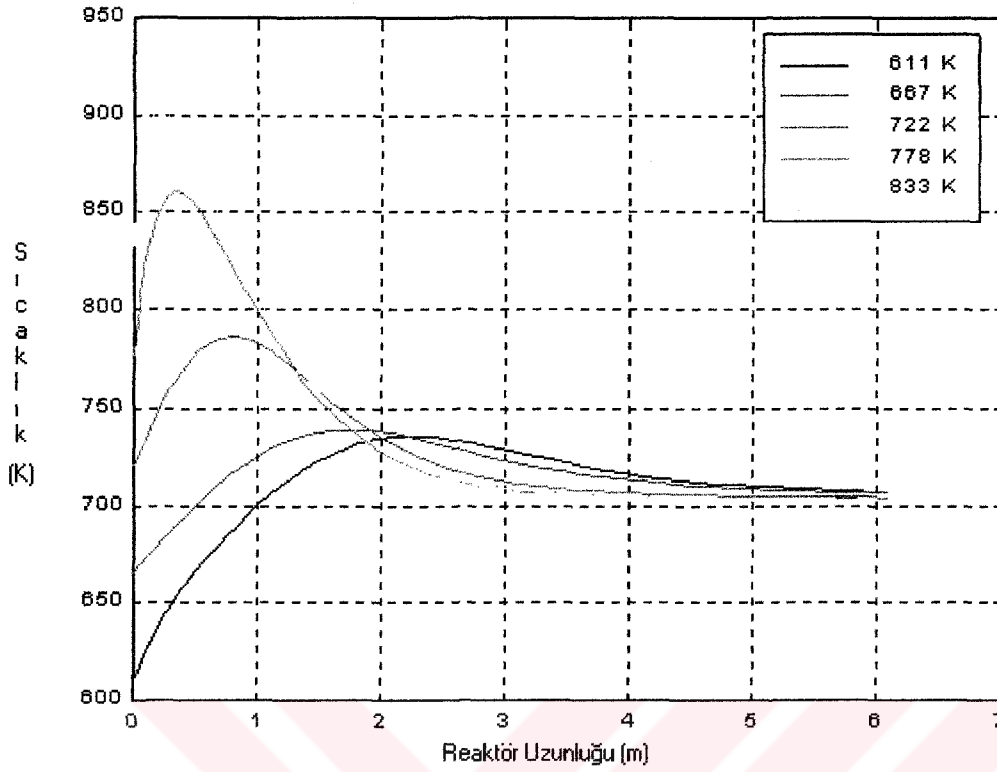
Yukarıdaki çizelgeden de anlaşılacağı gibi giriş sıcaklığını yüksek tutmak reaksiyonunun çıkış dönüşümünü artırmaktadır. Bunun anlamı şudur, giriş sıcaklığı yüksek olduğu takdirde reaksiyon reaktörün giriş bölgesine daha yakın yerlerde başlayacaktır. Çünkü reaksiyonun başlaması için gereken sıcaklığa daha yakınlaşmış olunacaktır. Reaktörün geri kalan kısmında ise dönüşüm reaktör boyunca artacak fakat bu başlangıç anında hızlı artıştan çok çok daha yavaş olacaktır. Reaksiyon sıcaklığı ise reaksiyon gerçekleştikten sonra reaktör boyunca düşecektir. Ayrıca giriş sıcaklığının yüksek olması basınç düşmesini de azaltacaktır. Bu etkinin tüm sayısal değerleri reaktör uzunluğu da dikkate alınarak EK.2. de verilmiştir.



Şekil 7.1 Giriş sıcaklığının değişimi ile reaktör boyunca sıcaklıkta meydana gelen değişiklikler



Şekil 7.2 Giriş sıcaklığının değişimi ile reaktör boyunca basınçta meydana gelen değişiklikler



Şekil 7.3 Giriş sıcaklığının değişimi ile reaktör boyunca sıcaklıkta meydana gelen değişiklikler

7.2 Basıncın Etkisi

Başlangıç için 5 ayrı basınç değeri seçilmiş ve Çizelge 7.2'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçların grafiksel gösterimleri ise Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da verilmiştir.

Şekil 7.4 Reaktör boyunca başlangıç basıncı ve dönüşümün ilişkisini göstermektedir.

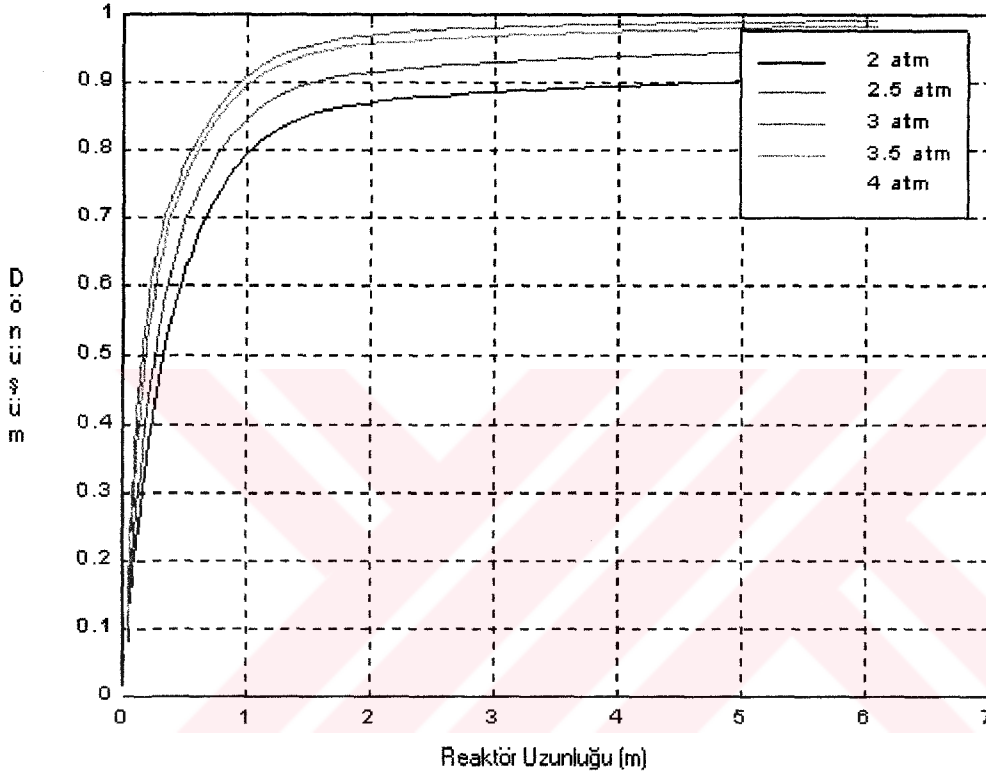
Şekil 7.5 Reaktör boyunca başlangıç basıncı ve basınç değişimlerini göstermektedir.

Şekil 7.6 Reaktör boyunca başlangıç basıncı ve sıcaklığın ilişkisini göstermektedir.

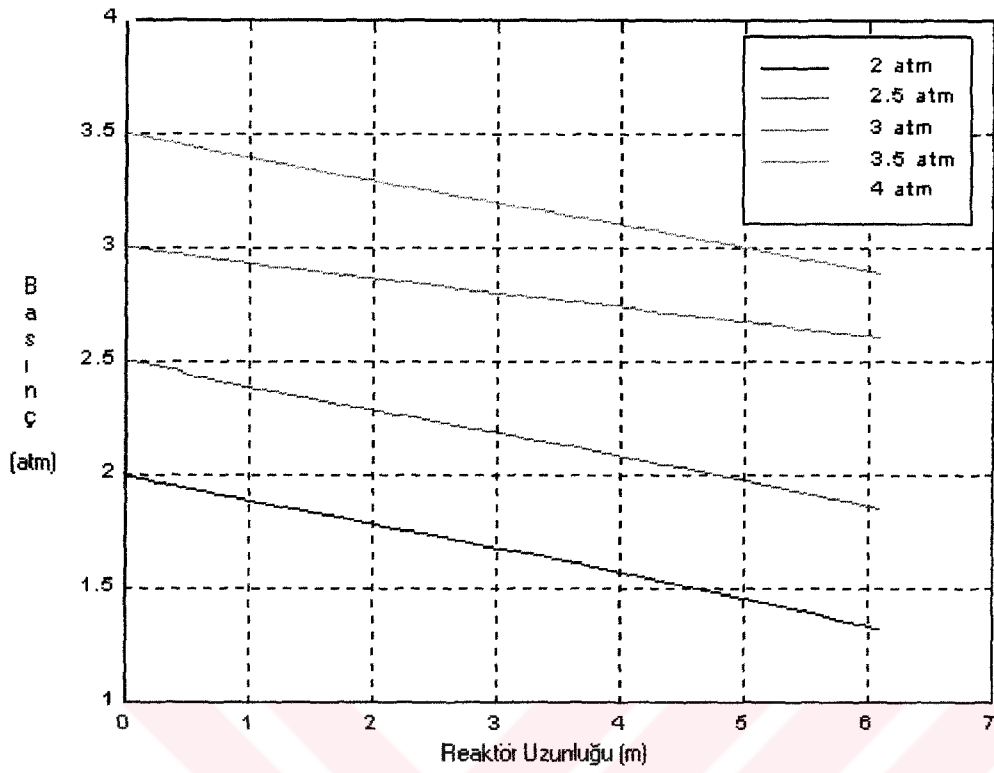
Çizelge 7.2 Giriş basıncının değişimi ile X.T.P deki değişimlerin sayısal değerleri.

T_o (K)	778				
X_0	0				
P_o (atm)	2	2,5	3	3,5	4
$X_ç$	0,9093	0,9511	0,973	0,9838	0,9887
$P_ç$	1,32	1,85	2,37	2,88	3,39
$T_ç$	703,09	702,99	702,82	702,59	702,34

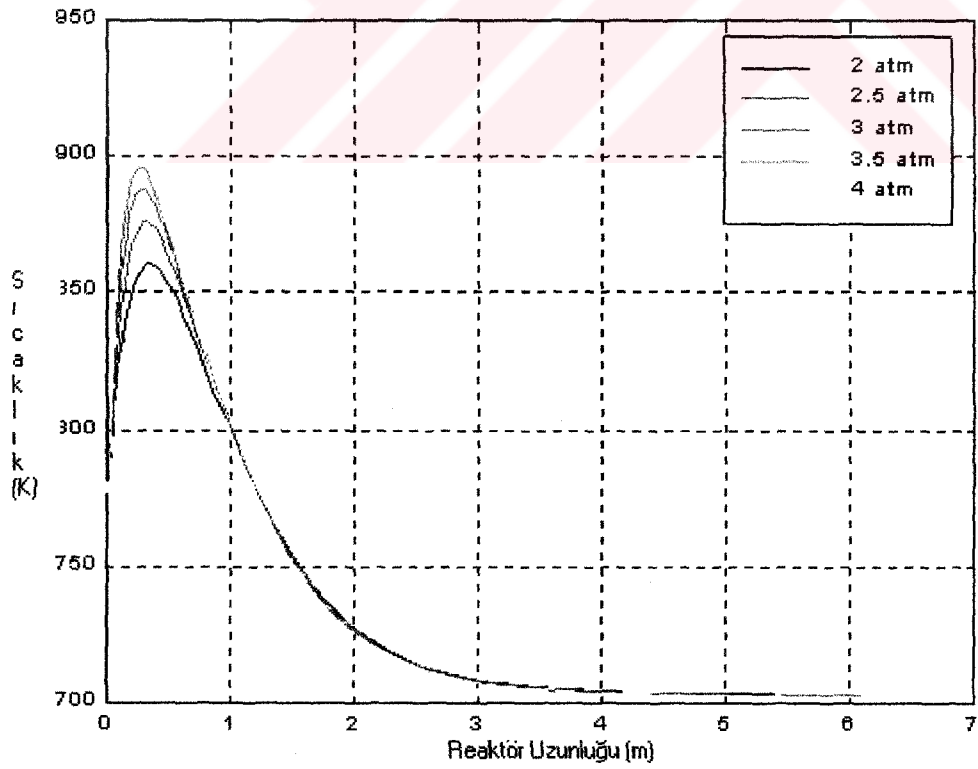
Çizelge 7.2’de görüldüğü gibi basıncın beş ayrı basınç değeri için, dönüşümde artmaktadır. Bunun anlamını şu şekilde açıklanabilir, Le Chatelier prensibine göre basınçta meydana gelebilecek herhangi bir artma SO_3 dönüşümünde de artmaya neden olacaktır. Fakat basıncın artması işlemi masrafı yüksek bir işlem olduğundan endüstriyel uygulaması pek yapılmamaktadır. Bu etkinin tüm sayısal değerleri reaktör uzunluğu da dikkate alınarak EK.3 de verilmiştir



Şekil 7.4 Giriş basıncının değişimi ile reaktör boyunca dönüşümde meydana gelen değişiklikler



Şekil 7.5 Giriş basıncının değişimi ile reaktör boyunca basınçta meydana gelen değişiklikler



Şekil 7.6 Giriş basıncının değişimi ile reaktör boyunca sıcaklıkta meydana gelen değişiklikler

7.3 Giriş Debisinin Etkisi

Başlangıç için 5 ayrı debi değeri seçilmiş ve Çizelge 7.3'teki sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçların grafiksel gösterimleri ise Şekil 7.7, Şekil 7.8 , Şekil 7.9,Şekil 7.10'da verilmiştir.

Şekil 7.7 Başlangıç giriş debilerinin dönüşüme olan etkisini göstermektedir.

Şekil 7.8 Reaktör boyunca başlangıç debileri ve dönüşümün değişimini göstermektedir.

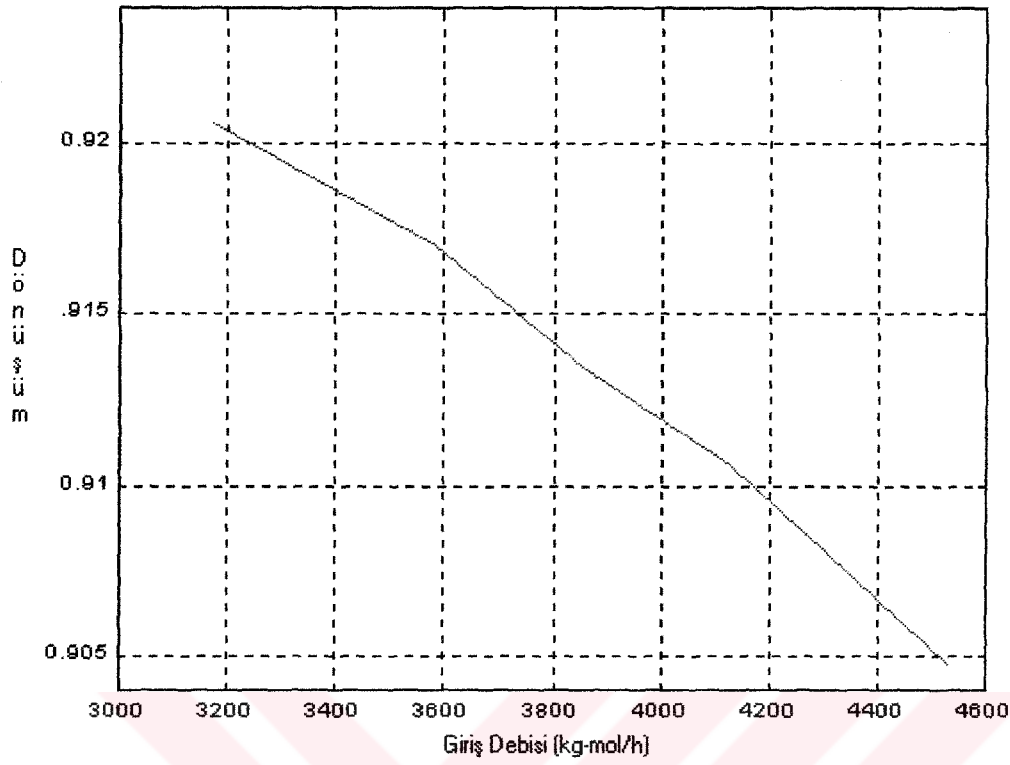
Şekil 7.9 Reaktör boyunca başlangıç debileri ve basıncın ilişkisini göstermektedir.

Şekil 7.10 Reaktör boyunca başlangıç debileri ve sıcaklığın ilişkisini göstermektedir.

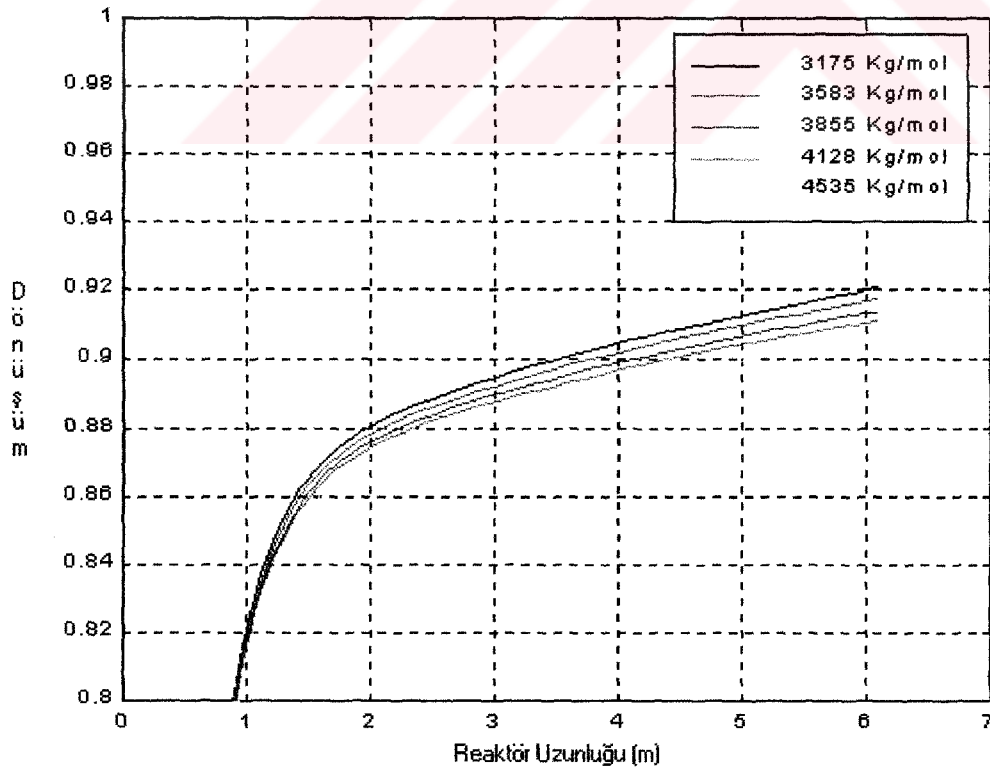
Sabit çapta ve hacimde bu kez giriş debisi değiştirilmiştir. Bu değişim sonucunda Çizelge 7.3'teki sonuçlar alınmıştır. Bunun da anlamını şu şekilde açıklanabilir. Debinin artmasıyla reaksiyon süresi azalacağından, SO_2 moleküllerinin reaktör içinde harcayacağı zaman azalıyor. Ayrıca Katalizör miktarı sabit tutulduğu için katalizörün birim miktarı başına düşen gaz artacağından dönüşümün azalacağı da söylenebilir. Bu etkinin tüm sayısal değerleri reaktör uzunluğu da dikkate alınarak EK.4 te verilmiştir.

Çizelge 7.3 Giriş debisinin değişimi ile X,T,P deki değişimlerin sayısal değerleri

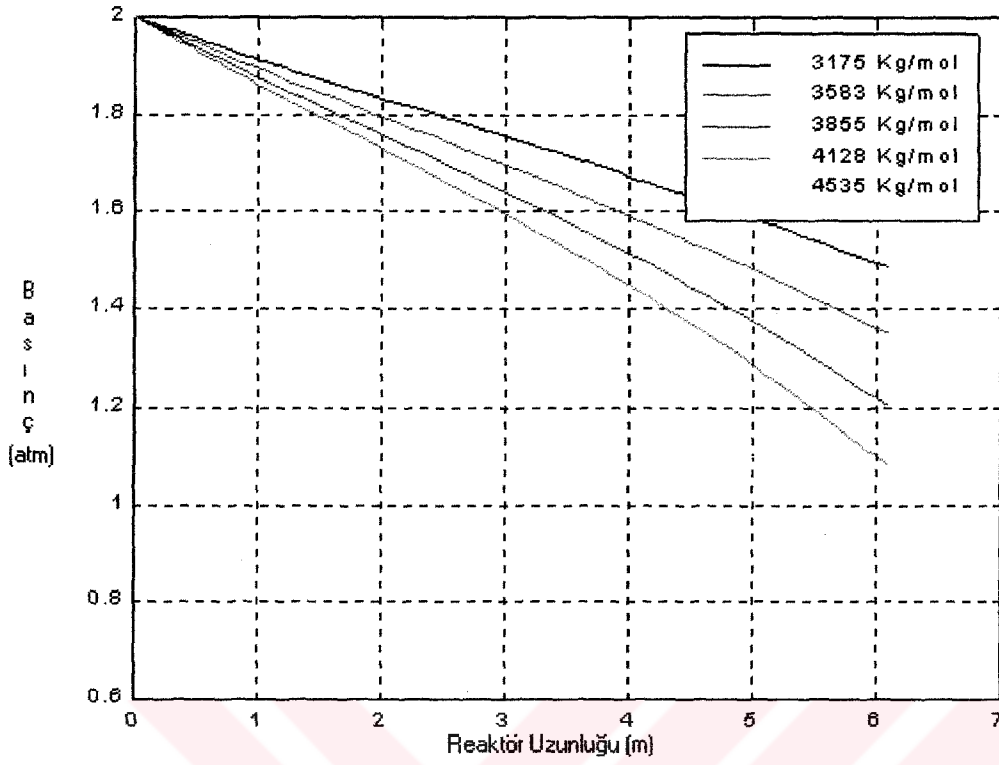
P_o	2				
$T_o(K)$	778				
X_o	0				
$F_{Ao}(kg)$	3175,147	3583,38	3855,53	4127,69	4534,92
X_{φ}	0,9206	0,917	0,9135	0,9106	0,9047
P_{φ}	1,49	1,35	1,2	1,08	0,79



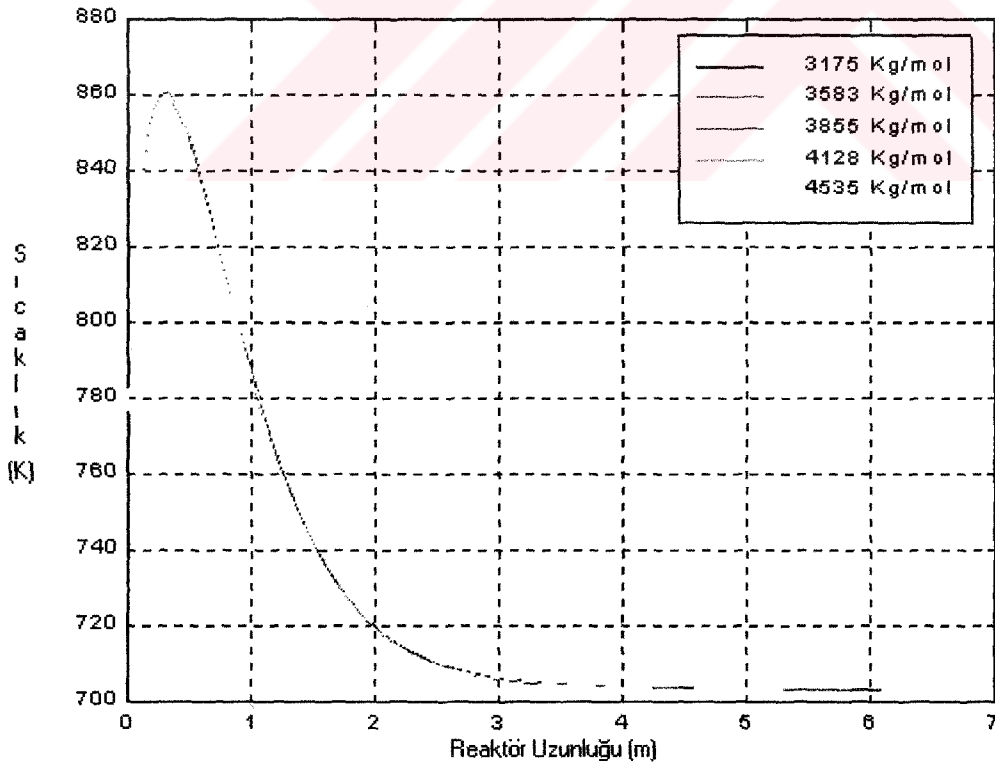
Şekil 7.7 Değişik F lerde X değişimi



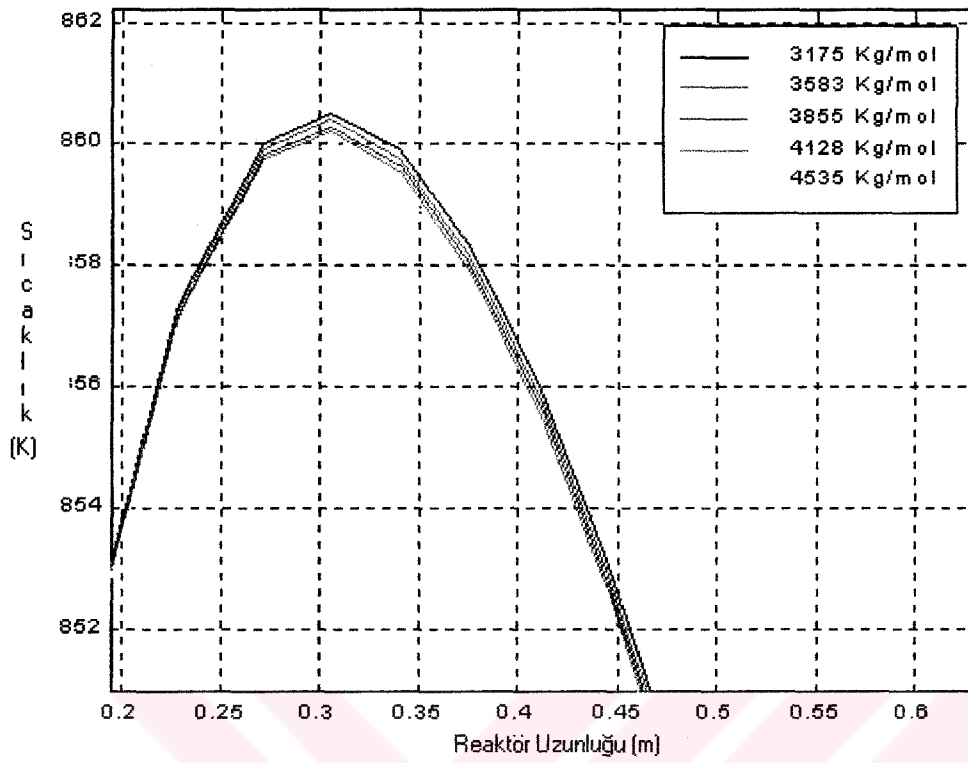
Şekil 7.8 Reaktör boyunca değişik F lerde X değişimi



Şekil 7.9 Reaktör boyunca F değişimi ile P de ki değişim



Şekil 7.10 Reaktör boyunca F değişimi ile T de ki değişim



Şekil 7.11 Reaktör boyunca F değişimi ile T de ki değişimin geniş gösterimi

7.4 Boru Çapının Değiştirilmesi ve Etkileri

Başlangıç için 5 ayrı debi değeri seçilmiş ve Çizelge 7.4'teki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçların grafiksel gösterimleri ise Şekil 7.12, Şekil 13, Şekil 7.14 te verilmiştir.

Şekil 7.12 Başlangıç giriş debilerinin dönüşüme olan etkisini göstermektedir.

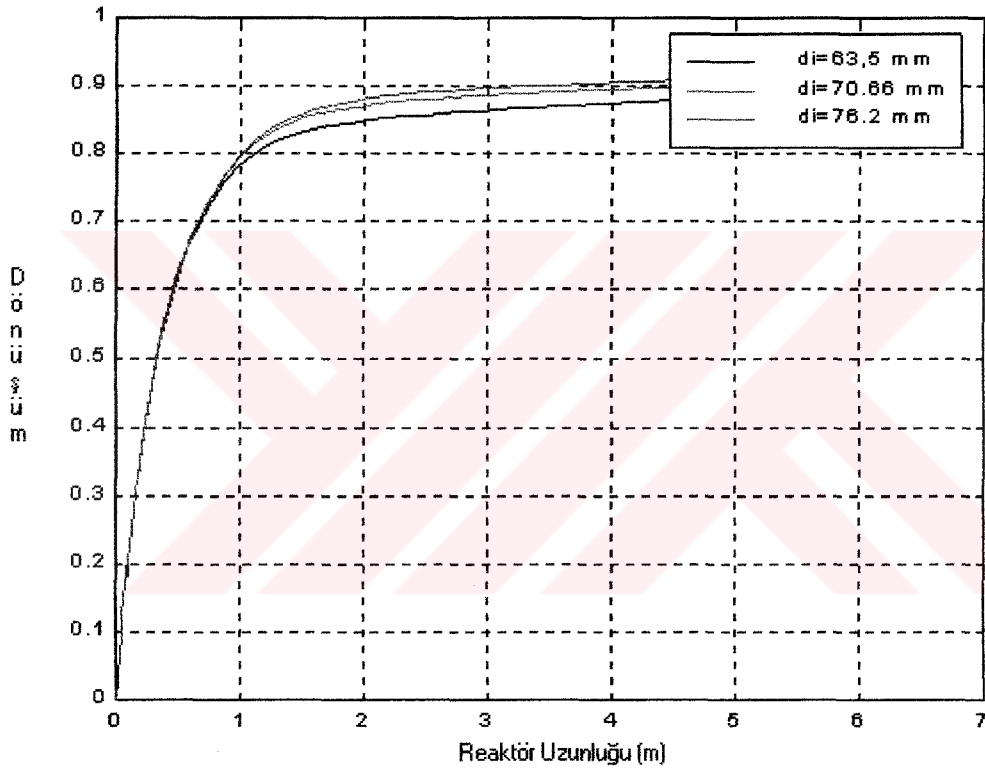
Şekil 7.13 Reaktör boyunca başlangıç debileri ve dönüşümün değişimini göstermektedir.

Şekil 7.14 Reaktör boyunca başlangıç debileri ve basıncın ilişkisini göstermektedir

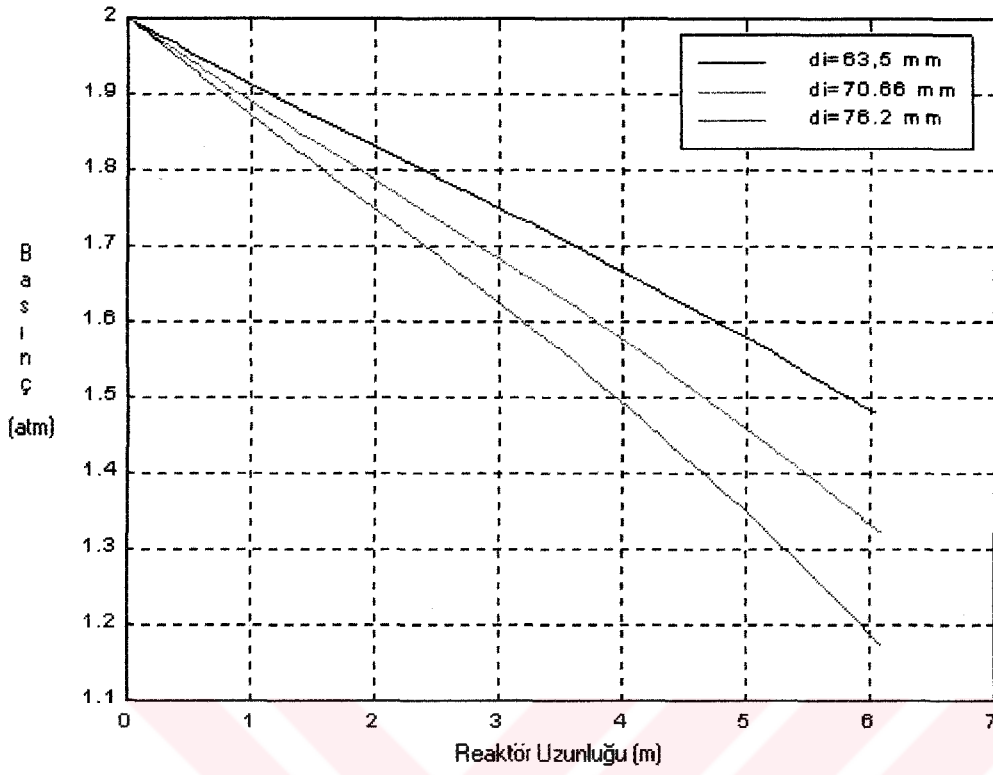
Çizelge 7.4 Boru çapının değişimi ile X,T,P de ki değişimlerin sayısal değerleri.

P_o (atm)	2		
T_o (K)	788		
X_0	0		
d_i (mm)	63,5	70,66	76,2
X_φ	0,8917	0,9093	0,9173
T_φ	703,21	703,09	703,02
P_φ	1,48	1,32	1,17

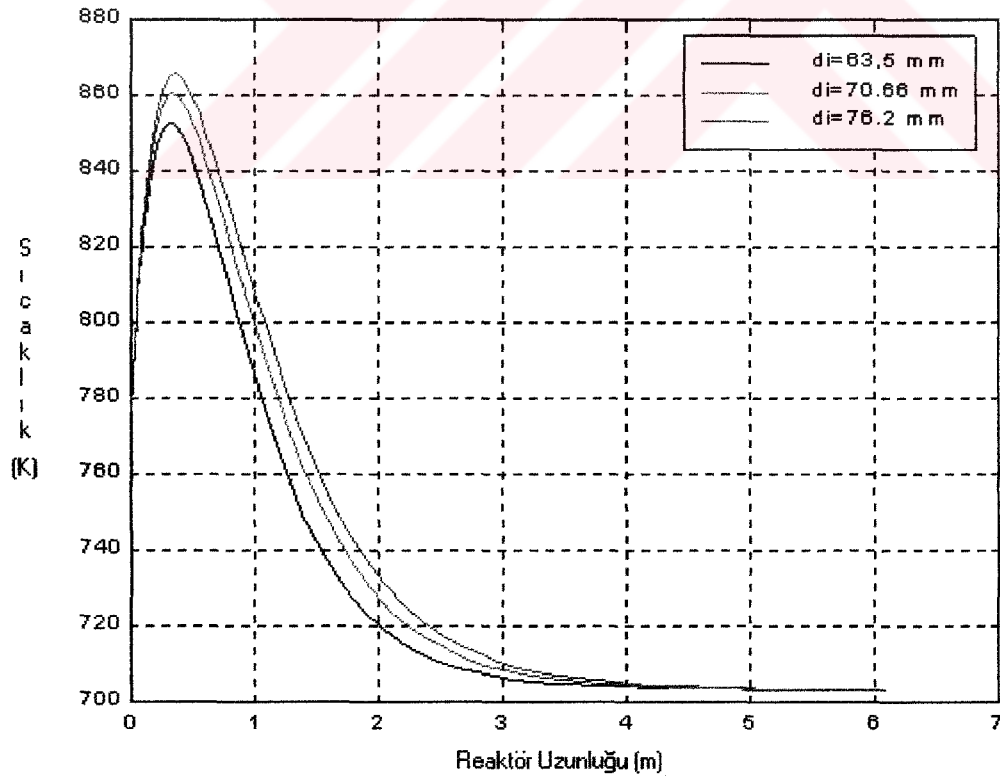
Sabit hacim ve sabit reaktör boyunda reaktör içindeki boru çapı değiştirilmiştir. Boru çapının değişmesi ile reaktördeki boru sayısı ve buna bağlı olarak boru başına düşen besleme miktarı değişmiştir. Çizelge 7.4'te de görüldüğü gibi eğer boru çapını daha geniş tutulursa reaksiyonun dönüşümü artacaktır. Bunu şu şekilde açıklamak mümkündür. Reaksiyon ekzotermik bir reaksiyon olduğu için yüksek derecede ısı açığa çıkacaktır fakat boru çapı daha geniş olduğunda ısı transferi azalacak daha çok sıcak nokta oluşacak ve böylece dönüşüm artacaktır. Bu etkinin tüm sayısal değerleri reaktör uzunluğu da dikkate alınarak EK.5 te verilmiştir.



Şekil 7.12 Reaktör boyunca d_i değişimi ile X te ki değişim



Şekil 7.13 Reaktör boyunca d_i değişimi ile P de ki değişim



Şekil 7.14 Reaktör boyunca d_i değişimi ile T de ki değişim

8.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Öncelikle, yüksek sıcaklıkta gerçekleşen tersinir SO_2 oksidasyon reaksiyonuna ait kütle ve enerji model denklemleri elde edilmiştir. Ayrıca basınç düşüşünü ifade eden Ergun denklemi kullanılmıştır. Aynı zamanda, model olarak seçilen reaktöre ait değişkenler için reaksiyon denge denklemleri çözülerek, model denklemlerinden elde edilen değişken değerlerin reaktör boyunca nasıl değiştiği incelenmiştir.

Eşzamanlı olarak çözülmesi gereken denklemlerin çözümünde ve sıcaklık, basınç, dönüşüm, profillerinin çiziminde MATLAB paket programı kullanılmıştır. SO_2 dönüşümünün katalizör miktarına dolayısıyla reaktör boyuna bağlı olarak, giriş sıcaklıkları ,giriş debisi, giriş basıncı ve boru çapının değişimi ile nasıl değiştiği gözlenmiştir.

Giriş sıcaklığının arttırılması ile SO_2 dönüşümünün de arttığı gözlenmiştir. Yani yüksek sıcaklıkla başlamak reaksiyon sıcaklığına daha kısa sürede ulaşılmasını sağlamıştır.

Giriş basıncının arttırılması ile de SO_2 dönüşümünün arttığı gözlenmiştir. Fakat yüksek basınçta çalışma işleminin maliyeti çok arttırdığından endüstriyel kullanımı pek olmadığı tespit edilmiştir.

Giriş debisinin arttırılması ile ise SO_2 dönüşümünün azaldığı gözlenmiştir. Buradan çıkarılan sonuç ise yüksek debi reaksiyon süresini azaltacağından, SO_2 moleküllerinin reaktör içinde harcayacağı zaman azalacaktır ve bu durum dönüşümü azaltacak yönde etkileyecektir.

Sabit hacim ve reaktör boyunda reaktördeki boru çapları değiştirilmiştir. Buna bağlı olarak boru başına düşen besleme miktarı bundan etkilenmiştir.Boru çapının geniş olması ısı transferini azaltacak ve bu da dönüşümü attıracaktır.

Sonuç olarak böyle bir reaksiyon ve böyle bir reaktör için en uygun sıcaklık 677 ve 880 K arasında, basınç ise 2 atm' e yakın olmalıdır.

Ek 1

```

% "prob_1"
% x(1)=X
% x(2)=P
% x(3)=T
% xdot(1)=d(X)/dw, xdot(2)=d(P)/dw, xdot(3)=d(T)/dw,

function xdot=prob_1(w,x)

fao=0,085;
visc=0,1339;
Ta=702,59;
deltah=-98,807-1,563*(x(3)-700)+0,00136*(x(3)^2-700^2)-2,459*10^(-7)*(x(3)^3-700^3);
sum=241,68+0,036*x(3)-8,152*10^(-6)*x(3)^2;
dcp=-1,5625+2,72*10^(-3)*x(3)-7,38*10^(-7)*x(3)^2;
k=3600*exp(-176008/x(3)-(110,1*log(x(3)))+912,8);
thetaso=0;
Po=2;
Pao=0,22;
thetao=0,91;
eps=-0,055;
R=1,987;
Kp=exp(42311/R/x(3)-11,24);
if x(1)<0,05
    ra=-k*(,848-,012/(Kp^2));
else
    ra=-k*((1-x(1))/(thetaso+x(1)))^5*(x(2)/Po*Pao*((thetao-.5*x(1))/(1+eps*x(1)))-
    ((thetaso+x(1))/(1-x(1)))^2/(Kp^2));
end

xdot(1,:)=-ra/fao;
xdot(2,:)=(-1,12*10^(-8)*(1-,055*x(1))*x(3))*(18052*visc+1127,98)/x(2);
xdot(3,)=(5,11*(Ta-x(3))+(-ra)*(-deltah))/(fao*(sum+x(1)*dcp));

```

Ek 2

Sıcaklık değişimi sonucunda L, X, P' de meydana gelen değişikliklerin sayısal değerleri:

T=611 K İÇİN							
L	X	T	P	L	X	T	P
0	0	610,5	2,00	2,2749	0,3228	735,6	1,72
0,0433	0,0001	617,4	2,00	2,4271	0,3486	735,0	1,69
0,0865	0,0001	623,8	1,99	2,5793	0,3718	733,8	1,67
0,1298	0,0003	629,7	1,99	2,7316	0,3925	732,2	1,65
0,1731	0,0005	635,2	1,98	2,8838	0,4107	730,3	1,63
0,2164	0,0008	640,3	1,98	3,0360	0,4267	728,2	1,61
0,2596	0,0012	645,0	1,97	3,1883	0,4409	726,0	1,58
0,3029	0,0018	649,5	1,97	3,3405	0,4534	723,9	1,56
0,3462	0,0025	653,6	1,96	3,4927	0,4646	721,9	1,54
0,3984	0,0036	658,3	1,96	3,6450	0,4745	720,1	1,51
0,4507	0,0051	662,7	1,95	3,7972	0,4835	718,4	1,49
0,5030	0,0070	666,8	1,95	3,9494	0,4917	716,8	1,47
0,5552	0,0094	670,6	1,94	4,1017	0,4991	715,4	1,44
0,6256	0,0134	675,6	1,93	4,2539	0,5059	714,2	1,42
0,6959	0,0185	680,3	1,92	4,4061	0,5123	713,1	1,39
0,7662	0,0249	684,8	1,91	4,5584	0,5181	712,1	1,37
0,8366	0,0328	689,3	1,91	4,7106	0,5236	711,3	1,34
0,9234	0,0456	695,0	1,90	4,8628	0,5288	710,5	1,31
1,0101	0,0607	700,6	1,88	5,0151	0,5336	709,9	1,29
1,0969	0,0765	705,6	1,87	5,1673	0,5381	709,3	1,26
1,1837	0,0930	710,0	1,86	5,3195	0,5425	708,8	1,23
1,2705	0,1105	714,2	1,85	5,4718	0,5466	708,3	1,20
1,3572	0,1287	718,0	1,84	5,6240	0,5504	707,9	1,17
1,4440	0,1475	721,4	1,83	5,7762	0,5541	707,6	1,14
1,5308	0,1667	724,4	1,82	5,8545	0,5559	707,4	1,13
1,6788	0,1998	728,7	1,80	5,9328	0,5577	707,2	1,11
1,8267	0,2326	732,0	1,78	6,0110	0,5595	707,1	1,09
1,9747	0,2643	734,1	1,76	6,0893	0,5611	706,9	1,08
2,1226	0,2942	735,3	1,74				

T=667 K İÇİN							
L	X	T	P	L	X	T	P
0	0,000	666,0	2,00	2,3858	0,437	732,9	1,7197
0,0013	0,000	666,1	2,00	2,5380	0,454	730,5	1,7002
0,0026	0,000	666,2	2,00	2,6902	0,469	728,0	1,6805
0,0039	0,000	666,3	2,00	2,8425	0,482	725,6	1,6607
0,0052	0,000	666,4	2,00	2,9947	0,494	723,4	1,6408
0,0117	0,001	666,9	2,00	3,1469	0,504	721,2	1,6206
0,0182	0,001	667,4	2,00	3,2992	0,514	719,3	1,6003
0,0246	0,001	667,9	2,00	3,4514	0,522	717,6	1,5798
0,0311	0,001	668,4	2,00	3,6036	0,529	716,1	1,5590
0,0635	0,003	670,7	1,99	3,7559	0,536	714,7	1,5381
0,0960	0,005	673,0	1,99	3,9081	0,543	713,6	1,5169
0,1284	0,007	675,3	1,99	4,0603	0,549	712,5	1,4954
0,1608	0,009	677,5	1,98	4,2126	0,555	711,6	1,4737
0,2410	0,015	682,7	1,97	4,3648	0,560	710,8	1,4516
0,3213	0,024	687,9	1,97	4,5170	0,565	710,2	1,4293
0,4015	0,034	693,0	1,96	4,6693	0,569	709,6	1,4066
0,4817	0,047	698,2	1,95	4,8215	0,574	709,0	1,3836
0,6323	0,077	707,7	1,93	4,9737	0,578	708,6	1,3602
0,7829	0,110	715,7	1,92	5,1260	0,582	708,2	1,3364
0,9335	0,145	722,5	1,90	5,2782	0,586	707,8	1,3122
1,0841	0,181	728,2	1,88	5,4304	0,590	707,5	1,2876
1,2192	0,215	732,3	1,86	5,5827	0,594	707,2	1,2625
1,3543	0,248	735,4	1,85	5,7349	0,597	706,9	1,2369
1,4895	0,280	737,5	1,83	5,8871	0,600	706,7	1,2108
1,6246	0,310	738,7	1,82	5,9377	0,601	706,6	1,2020
1,7768	0,342	739,0	1,80	5,9882	0,602	706,5	1,1932
1,9291	0,370	738,4	1,78	6,0388	0,603	706,5	1,1842
2,0813	0,395	737,0	1,76	6,0893	0,604	706,4	1,1753
2,2335	0,418	735,1	1,74				

T=722 K İÇİN			
L	X	T	P
0	0	721,5	2,00
0,0001	0,0001	721,5	2,00
0,0002	0,0001	721,5	2,00
0,0003	0,0002	721,5	2,00
0,0004	0,0002	721,6	2,00
0,0010	0,0005	721,6	2,00
0,0015	0,0007	721,7	2,00
0,0021	0,0010	721,7	2,00
0,0026	0,0012	721,8	2,00
0,0054	0,0025	722,1	2,00
0,0081	0,0038	722,4	2,00
0,0109	0,0051	722,8	2,00
0,0136	0,0064	723,1	2,00
0,0273	0,0132	724,8	2,00
0,0410	0,0205	726,6	2,00
0,0547	0,0282	728,5	1,99
0,0685	0,0364	730,5	1,99
0,1085	0,0623	736,7	1,99
0,1486	0,0886	742,6	1,98
0,1887	0,1142	747,8	1,98
0,2288	0,1395	752,6	1,98
0,2633	0,1615	756,5	1,97
0,2978	0,1835	760,2	1,97
0,3323	0,2055	763,7	1,96
0,3668	0,2274	766,9	1,96
0,5191	0,3211	778,2	1,94
0,6713	0,4067	784,5	1,93
0,8235	0,4811	786,2	1,91
0,9757	0,5418	783,6	1,89
1,1280	0,5889	777,8	1,88
1,2802	0,6251	770,4	1,86

L	X	T	P
1,7369	0,6893	746,3	1,81
1,8891	0,7017	739,4	1,79
2,0414	0,7115	733,4	1,77
2,1936	0,7193	728,3	1,75
2,3458	0,7259	723,9	1,74
2,4981	0,7314	720,3	1,72
2,6503	0,7362	717,4	1,70
2,8025	0,7404	715,0	1,69
2,9548	0,7442	713,0	1,67
3,1070	0,7477	711,4	1,65
3,2592	0,7509	710,1	1,63
3,4115	0,7539	709,0	1,61
3,5637	0,7567	708,1	1,60
3,7159	0,7594	707,4	1,58
3,8682	0,762	706,9	1,56
4,0204	0,7645	706,4	1,54
4,1726	0,7668	706,0	1,52
4,3249	0,7691	705,7	1,50
4,4771	0,7713	705,4	1,48
4,6293	0,7735	705,2	1,46
4,7816	0,7756	705,0	1,44
4,9338	0,7776	704,9	1,42
5,0860	0,7796	704,7	1,40
5,2383	0,7815	704,6	1,38
5,3905	0,7833	704,5	1,36
5,5427	0,7852	704,4	1,34
5,6950	0,7869	704,3	1,32
5,8472	0,7886	704,2	1,29
5,9077	0,7893	704,2	1,28
5,9682	0,7900	704,2	1,28
6,0288	0,7906	704,2	1,27

1,4324	0,6526	762,1	1,84	6,0893	0,7913	704,1	1,26
1,5847	0,6734	754,0	1,82				



T=778 K İÇİN			
L	X	T	P
0	0	777,000	2,00
0	0,0001	777,013	2,00
0	0,0001	777,026	2,00
0,0001	0,0002	777,039	2,00
0,0001	0,0002	777,052	2,00
0,0002	0,0005	777,117	2,00
0,0003	0,0007	777,182	2,00
0,0005	0,0010	777,248	2,00
0,0006	0,0012	777,313	2,00
0,0012	0,0025	777,642	2,00
0,0018	0,0038	777,972	2,00
0,0024	0,0050	778,306	2,00
0,003	0,0063	778,641	2,00
0,006	0,0129	780,355	2,00
0,0091	0,0198	782,131	2,00
0,0121	0,0268	783,973	2,00
0,0151	0,0341	785,884	2,00
0,0283	0,0664	794,205	2,00
0,0414	0,0967	801,730	2,00
0,0546	0,1243	808,175	1,99
0,0677	0,1499	813,874	1,99
0,0783	0,1702	818,222	1,99
0,0889	0,1897	822,268	1,99
0,0995	0,2086	826,038	1,99
0,1101	0,2269	829,550	1,99
0,1594	0,3048	842,810	1,98
0,2086	0,3721	851,746	1,98
0,2578	0,4303	857,188	1,97
0,3071	0,4806	859,815	1,97
0,3465	0,516	860,287	1,96

L	X	T	P
0,985	0,7916	801,556	1,89
1,1060	0,8137	789,075	1,88
1,2421	0,8306	775,569	1,86
1,3783	0,8430	763,594	1,85
1,5144	0,8521	753,201	1,84
1,6505	0,8590	744,340	1,82
1,8028	0,8648	736,083	1,81
1,9550	0,8693	729,363	1,79
2,1072	0,8729	723,964	1,78
2,2595	0,8759	719,654	1,76
2,4117	0,8784	716,209	1,74
2,5639	0,8807	713,480	1,73
2,7162	0,8826	711,334	1,71
2,8684	0,8844	709,643	1,70
3,0206	0,8861	708,298	1,68
3,1729	0,8877	707,239	1,67
3,3251	0,8892	706,410	1,65
3,4773	0,8906	705,756	1,63
3,6296	0,8919	705,234	1,62
3,7818	0,8932	704,820	1,60
3,9340	0,8945	704,494	1,58
4,0863	0,8957	704,233	1,57
4,2385	0,8969	704,022	1,55
4,3907	0,8981	703,852	1,53
4,5430	0,8992	703,714	1,51
4,6952	0,9003	703,601	1,50
4,8474	0,9014	703,506	1,48
4,9997	0,9024	703,426	1,46
5,1519	0,9035	703,359	1,44
5,3041	0,9045	703,301	1,42

0,3858	0,5477	859,615	1,96	5,4564	0,9054	703,249	1,40
0,4252	0,5762	858,020	1,95	5,6086	0,9064	703,204	1,38
0,4646	0,6019	855,681	1,95	5,7608	0,9073	703,163	1,36
0,504	0,6252	852,750	1,94	5,9130	0,9082	703,126	1,34
0,5434	0,6463	849,358	1,94	5,9571	0,9085	703,115	1,34
0,5827	0,6655	845,614	1,94	6,0012	0,9088	703,105	1,33
0,6221	0,6831	841,601	1,93	6,0452	0,909	703,095	1,33
0,7431	0,7276	828,176	1,92	6,0893	0,9093	703,086	1,32
0,8641	0,7627	814,501	1,91				



T=833 K İÇİN			
L	X	T	P
0	0	832,5	2,00
0	0,0001	832,5	2,00
0	0,0001	832,5	2,00
0	0,0002	832,5	2,00
0	0,0002	832,6	2,00
0,0001	0,0005	832,6	2,00
0,0002	0,0007	832,7	2,00
0,0002	0,0010	832,8	2,00
0,0003	0,0012	832,8	2,00
0,0005	0,0025	833,2	2,00
0,0008	0,0037	833,5	2,00
0,0011	0,0050	833,8	2,00
0,0014	0,0063	834,2	2,00
0,0027	0,0127	835,9	2,00
0,0041	0,0192	837,6	2,00
0,0055	0,0258	839,4	2,00
0,0069	0,0325	841,2	2,00
0,0122	0,0580	848,0	2,00
0,0175	0,0811	853,9	2,00
0,0228	0,1009	858,8	2,00
0,0281	0,1186	862,9	2,00
0,0334	0,1355	866,7	2,00
0,0387	0,1513	870,2	2,00
0,0440	0,1661	873,3	2,00
0,0493	0,1802	876,2	1,99
0,0755	0,2407	887,1	1,99
0,1016	0,2906	894,3	1,99
0,1277	0,3333	899,0	1,99
0,1538	0,3705	901,8	1,98
0,1794	0,4026	903,0	1,98
0,2049	0,4313	903,3	1,98

L	X	T	P
0,718	0,7283	843,1	1,92
0,8117	0,7566	830,5	1,91
0,9053	0,7806	818,4	1,90
0,999	0,8004	806,9	1,89
1,1201	0,8205	792,9	1,88
1,2411	0,8359	780,1	1,87
1,3621	0,8476	768,7	1,86
1,4832	0,8565	758,6	1,85
1,6354	0,8649	747,8	1,83
1,9399	0,8757	731,5	1,80
2,0921	0,8794	725,6	1,79
2,2444	0,8825	720,9	1,77
2,3966	0,8850	717,2	1,76
2,5488	0,8872	714,3	1,75
2,7010	0,8892	711,9	1,73
2,8533	0,8910	710,1	1,72
3,0055	0,8926	708,6	1,70
3,1577	0,8942	707,5	1,69
3,3100	0,8956	706,6	1,67
3,4622	0,8970	705,9	1,66
3,6144	0,8983	705,3	1,64
3,7667	0,8996	704,9	1,63
3,9189	0,9009	704,5	1,61
4,0711	0,9020	704,3	1,60
4,2234	0,9032	704,0	1,58
4,3756	0,9043	703,9	1,56
4,5278	0,9054	703,7	1,55
4,6801	0,9065	703,6	1,53
4,8323	0,9076	703,5	1,51
4,9845	0,9086	703,4	1,50
5,1368	0,9096	703,3	1,48

0,2305	0,4573	902,7	1,98	5,2890	0,9106	703,3	1,46
0,256	0,4811	901,4	1,97	5,4412	0,9116	703,2	1,45
0,2965	0,5149	898,3	1,97	5,5935	0,9125	703,2	1,43
0,337	0,5450	894,4	1,96	5,7457	0,9134	703,1	1,41
0,3775	0,5721	889,8	1,96	5,8316	0,9139	703,1	1,40
0,4179	0,5966	884,7	1,95	5,9175	0,9144	703,1	1,39
0,4695	0,6249	877,8	1,95	6,0034	0,9149	703,1	1,38
0,5211	0,6505	870,7	1,94	6,0893	0,9154	703,1	1,37
0,5727	0,6737	863,5	1,94				
0,6243	0,6948	856,2	1,93				



Ek 3

Basınç değişimi sonucunda L, X, T' de meydana gelen değişikliklerin sayısal değerleri:

P=2 atm							
L	X	T	P	L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	2,00	0,985	0,7916	801,56	1,89
0,0000	0,0001	777,01	2,00	1,1060	0,8137	789,08	1,88
0,0000	0,0001	777,03	2,00	1,2421	0,8306	775,57	1,86
0,0001	0,0002	777,04	2,00	1,3783	0,8430	763,59	1,85
0,0001	0,0002	777,05	2,00	1,5144	0,8521	753,20	1,84
0,0002	0,0005	777,12	2,00	1,6505	0,8590	744,34	1,82
0,0003	0,0007	777,18	2,00	1,8028	0,8648	736,08	1,81
0,0005	0,0010	777,25	2,00	1,9550	0,8693	729,36	1,79
0,0006	0,0012	777,31	2,00	2,1072	0,8729	723,96	1,78
0,0012	0,0025	777,64	2,00	2,2595	0,8759	719,65	1,76
0,0018	0,0038	777,97	2,00	2,4117	0,8784	716,21	1,74
0,0024	0,0050	778,31	2,00	2,5639	0,8807	713,48	1,73
0,0030	0,0063	778,64	2,00	2,7162	0,8826	711,33	1,71
0,0060	0,0129	780,35	2,00	2,8684	0,8844	709,64	1,70
0,0091	0,0198	782,13	2,00	3,0206	0,8861	708,30	1,68
0,0121	0,0268	783,97	2,00	3,1729	0,8877	707,24	1,67
0,0151	0,0341	785,88	2,00	3,3251	0,8892	706,41	1,65
0,0283	0,0664	794,20	2,00	3,4773	0,8906	705,76	1,63
0,0414	0,0967	801,73	2,00	3,6296	0,8919	705,23	1,62
0,0546	0,1243	808,17	1,99	3,7818	0,8932	704,82	1,60
0,0677	0,1499	813,87	1,99	3,9340	0,8945	704,49	1,58
0,0783	0,1702	818,22	1,99	4,0863	0,8957	704,23	1,57
0,0889	0,1897	822,27	1,99	4,2385	0,8969	704,02	1,55
0,0995	0,2086	826,04	1,99	4,3907	0,8981	703,85	1,53
0,1101	0,2269	829,55	1,99	4,5430	0,8992	703,71	1,51
0,1594	0,3048	842,81	1,98	4,6952	0,9003	703,60	1,50
0,2086	0,3721	851,75	1,98	4,8474	0,9014	703,51	1,48
0,2578	0,4303	857,19	1,97	4,9997	0,9024	703,43	1,46
0,3071	0,4806	859,82	1,97	5,1519	0,9035	703,36	1,44

0,3465	0,5160	860,29	1,96	5,3041	0,9045	703,30	1,42
0,3858	0,5477	859,62	1,96	5,4564	0,9054	703,25	1,40
0,4252	0,5762	858,02	1,95	5,6086	0,9064	703,20	1,38
0,4646	0,6019	855,68	1,95	5,7608	0,9073	703,16	1,36
0,5040	0,6252	852,75	1,94	5,9130	0,9082	703,13	1,34
0,5434	0,6463	849,36	1,94	5,9571	0,9085	703,12	1,34
0,5827	0,6655	845,61	1,94	6,0012	0,9088	703,11	1,33
0,6221	0,6831	841,60	1,93	6,0452	0,9090	703,10	1,33
0,7431	0,7276	828,18	1,92	6,0893	0,9093	703,09	1,32
0,8641	0,7627	814,50	1,91				



P=2,5 atm							
L	X	T	P	L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	2,50	0,7474	0,7884	832,32	2,42
0,0000	0,0001	777,01	2,50	0,8190	0,8080	823,08	2,41
0,0000	0,0001	777,03	2,50	0,8905	0,8249	814,11	2,40
0,0001	0,0002	777,04	2,50	0,9621	0,8393	805,43	2,39
0,0001	0,0002	777,05	2,50	1,0820	0,8588	791,70	2,38
0,0002	0,0005	777,12	2,50	1,2018	0,8737	779,19	2,37
0,0003	0,0007	777,18	2,50	1,3217	0,8851	767,99	2,36
0,0005	0,0010	777,25	2,50	1,4416	0,8938	758,09	2,34
0,0006	0,0012	777,31	2,50	1,5938	0,9020	747,31	2,33
0,0012	0,0025	777,64	2,50	1,7460	0,9080	738,42	2,31
0,0018	0,0038	777,97	2,50	1,8983	0,9126	731,19	2,30
0,0024	0,0050	778,31	2,50	2,0505	0,9162	725,38	2,28
0,0030	0,0063	778,64	2,50	2,2027	0,9192	720,72	2,27
0,0060	0,0129	780,35	2,50	2,3550	0,9217	717,01	2,25
0,0091	0,0198	782,13	2,50	2,5072	0,9238	714,09	2,24
0,0121	0,0268	783,97	2,50	2,6594	0,9257	711,79	2,22
0,0151	0,0341	785,88	2,50	2,8116	0,9275	709,96	2,21
0,0217	0,0535	791,10	2,50	2,9639	0,9291	708,52	2,19
0,0284	0,0747	796,84	2,50	3,1161	0,9306	707,40	2,18
0,0350	0,0942	801,96	2,50	3,2683	0,9320	706,51	2,16
0,0417	0,1120	806,44	2,50	3,4206	0,9333	705,81	2,15
0,0483	0,1294	810,77	2,50	3,5728	0,9346	705,25	2,13
0,0550	0,1463	814,87	2,49	3,7250	0,9358	704,81	2,11
0,0616	0,1627	818,77	2,49	3,8773	0,9370	704,47	2,10
0,0682	0,1786	822,49	2,49	4,0295	0,9381	704,19	2,08
0,0916	0,2317	834,26	2,49	4,1817	0,9393	703,97	2,07
0,1149	0,2805	844,19	2,49	4,3340	0,9403	703,79	2,05
0,1382	0,3253	852,45	2,49	4,4862	0,9414	703,65	2,03
0,1615	0,3663	859,20	2,48	4,6384	0,9424	703,53	2,02
0,1980	0,4233	867,07	2,48	4,7907	0,9434	703,43	2,00

0,2345	0,4729	872,15	2,47	4,9429	0,9444	703,35	1,98
0,2710	0,5160	874,98	2,47	5,0951	0,9454	703,28	1,97
0,3075	0,5537	875,95	2,47	5,2474	0,9463	703,22	1,95
0,3440	0,5865	875,45	2,46	5,3996	0,9472	703,17	1,93
0,3805	0,6156	873,80	2,46	5,5518	0,9481	703,12	1,92
0,4170	0,6414	871,27	2,45	5,7041	0,9490	703,08	1,90
0,4535	0,6644	868,05	2,45	5,8004	0,9495	703,06	1,89
0,5091	0,6950	862,21	2,44	5,8967	0,9500	703,04	1,88
0,5647	0,7216	855,69	2,44	5,9930	0,9506	703,02	1,86
0,6203	0,7451	848,81	2,43	6,0893	0,9511	702,99	1,85
0,6758	0,7657	841,69	2,43				



P=3atm							
L	X	T	P	L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	3,00	0,6214	0,7822	851,15	2,93
0,0000	0,0001	777,01	3,00	0,6612	0,7958	845,46	2,93
0,0000	0,0001	777,03	3,00	0,7305	0,8168	835,70	2,92
0,0001	0,0002	777,04	3,00	0,7997	0,8351	826,21	2,91
0,0001	0,0002	777,05	3,00	0,8689	0,8512	817,08	2,90
0,0002	0,0005	777,12	3,00	0,9381	0,8650	808,30	2,90
0,0003	0,0007	777,18	3,00	1,0662	0,8852	793,01	2,88
0,0005	0,0010	777,25	3,00	1,1943	0,9006	779,33	2,87
0,0006	0,0012	777,31	3,00	1,3224	0,9126	767,33	2,86
0,0012	0,0025	777,64	3,00	1,4505	0,9215	756,85	2,84
0,0018	0,0038	777,97	3,00	1,6027	0,9290	746,16	2,83
0,0024	0,0050	778,31	3,00	1,7550	0,9345	737,39	2,81
0,0030	0,0063	778,64	3,00	1,9072	0,9386	730,29	2,80
0,0060	0,0129	780,35	3,00	2,0594	0,9419	724,60	2,78
0,0091	0,0198	782,13	3,00	2,2117	0,9447	720,05	2,77
0,0121	0,0268	783,97	3,00	2,3639	0,9470	716,44	2,75
0,0151	0,0341	785,88	3,00	2,5161	0,9489	713,61	2,74
0,0215	0,0546	791,49	3,00	2,6684	0,9507	711,37	2,73
0,0279	0,0795	798,43	3,00	2,8206	0,9523	709,60	2,71
0,0342	0,1036	805,02	3,00	2,9728	0,9538	708,21	2,70
0,0406	0,1250	810,65	3,00	3,1251	0,9551	707,12	2,68
0,0470	0,1448	815,73	3,00	3,2773	0,9564	706,26	2,67
0,0534	0,1640	820,56	2,99	3,4295	0,9576	705,58	2,65
0,0597	0,1827	825,16	2,99	3,5818	0,9588	705,04	2,64
0,0661	0,2008	829,54	2,99	3,7340	0,9599	704,62	2,62
0,0900	0,2648	844,22	2,99	3,8862	0,9609	704,28	2,60
0,1140	0,3223	856,26	2,99	4,0385	0,9620	704,01	2,59
0,1379	0,3737	865,89	2,99	4,1907	0,9629	703,80	2,57
0,1619	0,4194	873,37	2,98	4,3429	0,9639	703,62	2,56
0,1844	0,4577	878,69	2,98	4,4952	0,9648	703,48	2,54
0,2069	0,4920	882,57	2,98	4,6474	0,9657	703,36	2,53

0,2294	0,5228	885,21	2,97	4,7996	0,9666	703,27	2,51
0,2519	0,5504	886,80	2,97	4,9519	0,9674	703,19	2,49
0,2744	0,5753	887,48	2,97	5,1041	0,9683	703,12	2,48
0,2969	0,5977	887,41	2,97	5,2563	0,9691	703,06	2,46
0,3194	0,6181	886,69	2,96	5,4086	0,9698	703,00	2,45
0,3419	0,6366	885,44	2,96	5,5608	0,9706	702,95	2,43
0,3818	0,6658	882,22	2,96	5,7130	0,9713	702,91	2,41
0,4218	0,6912	878,07	2,95	5,8071	0,9717	702,89	2,40
0,4617	0,7136	873,27	2,95	5,9012	0,9722	702,86	2,39
0,5017	0,7335	868,01	2,94	5,9952	0,9726	702,84	2,38
0,5416	0,7512	862,48	2,94	6,0893	0,9730	702,82	2,37
0,5815	0,7674	856,83	2,94				



P=3,5 atm			
L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	3,50
0,0000	0,0001	777,01	3,50
0,0000	0,0001	777,03	3,50
0,0001	0,0002	777,04	3,50
0,0001	0,0002	777,05	3,50
0,0002	0,0005	777,12	3,50
0,0003	0,0007	777,18	3,50
0,0005	0,0010	777,25	3,50
0,0006	0,0012	777,31	3,50
0,0012	0,0025	777,64	3,50
0,0018	0,0038	777,97	3,50
0,0024	0,0050	778,31	3,50
0,0030	0,0063	778,64	3,50
0,0060	0,0129	780,35	3,50
0,0091	0,0198	782,13	3,50
0,0121	0,0268	783,97	3,50
0,0151	0,0341	785,88	3,50
0,0190	0,0432	788,23	3,50
0,0229	0,0544	791,23	3,50
0,0268	0,0694	795,40	3,50
0,0307	0,0860	800,05	3,50
0,0346	0,1013	804,28	3,50
0,0385	0,1162	808,32	3,50
0,0425	0,1306	812,19	3,50
0,0464	0,1447	815,94	3,50
0,0581	0,1854	826,45	3,49
0,0697	0,2238	836,01	3,49
0,0814	0,2601	844,71	3,49
0,0931	0,2943	852,56	3,49
0,1195	0,3637	867,28	3,49

L	X	T	P
0,5976	0,7964	856,18	3,43
0,6431	0,8118	849,34	3,43
0,6885	0,8258	842,59	3,42
0,7340	0,8387	835,97	3,42
0,8023	0,8559	826,29	3,41
0,8706	0,8708	817,01	3,40
0,9390	0,8839	808,16	3,40
1,0073	0,8950	799,73	3,39
1,1333	0,9113	785,30	3,38
1,2592	0,9237	772,54	3,36
1,3852	0,9335	761,48	3,35
1,5112	0,9409	751,87	3,34
1,6634	0,9471	741,97	3,32
1,8156	0,9517	733,92	3,31
1,9679	0,9552	727,45	3,29
2,1201	0,9580	722,29	3,28
2,2723	0,9604	718,18	3,27
2,4246	0,9624	714,93	3,25
2,5768	0,9641	712,38	3,24
2,7290	0,9656	710,37	3,22
2,8813	0,9671	708,78	3,21
3,0335	0,9684	707,53	3,19
3,1857	0,9696	706,55	3,18
3,3380	0,9707	705,79	3,16
3,4902	0,9717	705,17	3,15
3,6424	0,9728	704,69	3,13
3,7947	0,9737	704,31	3,12
3,9469	0,9746	704,00	3,10
4,0991	0,9755	703,75	3,09
4,2514	0,9763	703,55	3,07

0,1458	0,4235	878,32	3,48	4,4036	0,9771	703,39	3,06
0,1721	0,4746	886,20	3,48	4,5558	0,9779	703,26	3,04
0,1985	0,5183	891,46	3,48	4,7081	0,9786	703,14	3,03
0,2248	0,5557	894,58	3,48	4,8603	0,9793	703,05	3,01
0,2511	0,5880	895,99	3,47	5,0125	0,9800	702,97	3,00
0,2775	0,6159	896,02	3,47	5,1648	0,9806	702,89	2,98
0,3038	0,6402	894,94	3,47	5,3170	0,9812	702,83	2,96
0,3329	0,6636	892,79	3,46	5,4692	0,9818	702,77	2,95
0,3620	0,6843	889,89	3,46	5,6215	0,9823	702,72	2,93
0,3911	0,7027	886,44	3,46	5,7737	0,9828	702,68	2,92
0,4201	0,7192	882,59	3,45	5,8526	0,9831	702,65	2,91
0,4531	0,7363	877,93	3,45	5,9315	0,9833	702,63	2,90
0,4861	0,7518	873,08	3,45	6,0104	0,9836	702,61	2,89
0,5191	0,7662	868,11	3,44	6,0893	0,9838	702,59	2,88
0,5521	0,7795	863,09	3,44				

P=4atm			
L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	4,00
0,0000	0,0001	777,01	4,00
0,0000	0,0001	777,03	4,00
0,0001	0,0002	777,04	4,00
0,0001	0,0002	777,05	4,00
0,0002	0,0005	777,12	4,00
0,0003	0,0007	777,18	4,00
0,0005	0,0010	777,25	4,00
0,0006	0,0012	777,31	4,00
0,0012	0,0025	777,64	4,00
0,0018	0,0038	777,97	4,00
0,0024	0,0050	778,31	4,00
0,0030	0,0063	778,64	4,00
0,0060	0,0129	780,35	4,00
0,0091	0,0198	782,13	4,00
0,0121	0,0268	783,97	4,00
0,0151	0,0341	785,88	4,00
0,0183	0,0413	787,71	4,00
0,0215	0,0507	790,26	4,00
0,0247	0,0646	794,20	4,00
0,0279	0,0805	798,75	4,00
0,0311	0,0951	802,88	4,00
0,0343	0,1092	806,83	4,00
0,0375	0,1230	810,63	4,00
0,0407	0,1365	814,31	4,00
0,0500	0,1743	824,47	3,99
0,0593	0,2103	833,83	3,99
0,0687	0,2445	842,47	3,99
0,0780	0,2769	850,40	3,99
0,1014	0,3507	867,30	3,99

L	X	T	P
0,5770	0,8067	859,97	3,94
0,6122	0,8187	854,42	3,93
0,6613	0,8341	846,84	3,93
0,7103	0,8482	839,44	3,92
0,7594	0,8609	832,23	3,92
0,8085	0,8724	825,21	3,91
0,8783	0,8868	815,58	3,90
0,9482	0,8992	806,45	3,90
1,0180	0,9099	797,81	3,89
1,0879	0,9190	789,66	3,88
1,2063	0,9311	776,92	3,87
1,3248	0,9404	765,72	3,86
1,4432	0,9478	755,99	3,85
1,5617	0,9535	747,56	3,83
1,7139	0,9587	738,38	3,82
1,8661	0,9626	730,97	3,80
2,0184	0,9657	725,05	3,79
2,1706	0,9681	720,34	3,78
2,3228	0,9702	716,60	3,76
2,4751	0,9719	713,65	3,75
2,6273	0,9735	711,34	3,73
2,7795	0,9748	709,52	3,72
2,9318	0,9761	708,08	3,70
3,0840	0,9772	706,95	3,69
3,2362	0,9782	706,06	3,67
3,3884	0,9792	705,37	3,66
3,5407	0,9801	704,81	3,65
3,6929	0,9810	704,36	3,63
3,8451	0,9817	704,01	3,62
3,9974	0,9825	703,72	3,60

0,1249	0,4138	880,19	3,99	4,1496	0,9832	703,49	3,59
0,1484	0,4674	889,62	3,98	4,3018	0,9838	703,30	3,57
0,1718	0,5128	896,14	3,98	4,4541	0,9844	703,14	3,56
0,1953	0,5514	900,34	3,98	4,6063	0,985	703,01	3,54
0,2188	0,5843	902,65	3,98	4,7585	0,9855	702,90	3,53
0,2422	0,6125	903,42	3,97	4,9108	0,986	702,80	3,51
0,2657	0,6367	902,95	3,97	5,0630	0,9865	702,72	3,50
0,2898	0,6584	901,51	3,97	5,2152	0,9869	702,65	3,48
0,3139	0,6774	899,34	3,96	5,3675	0,9873	702,58	3,47
0,3380	0,6943	896,59	3,96	5,5197	0,9877	702,52	3,45
0,3621	0,7095	893,44	3,96	5,6719	0,988	702,47	3,43
0,3895	0,7252	889,56	3,96	5,8242	0,9883	702,42	3,42
0,4168	0,7396	885,45	3,95	5,8904	0,9884	702,39	3,41
0,4441	0,7528	881,19	3,95	5,9567	0,9885	702,37	3,41
0,4714	0,7652	876,84	3,95	6,0230	0,9886	702,36	3,40
0,5066	0,7800	871,21	3,94	6,0893	0,9887	702,34	3,39
0,5418	0,7939	865,58	3,94				

Ek 4

Giriş debisinin değişimi sonucunda L, X, T'de meydana gelen değişikliklerin sayısal değerleri:

F=3175,147 kg							
L	X	T	P	L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	2,00	0,8756	0,7961	801,43	1,92
0,0000	0,0001	777,01	2,00	0,9855	0,8190	788,61	1,91
0,0000	0,0001	777,03	2,00	1,1002	0,8349	775,72	1,91
0,0001	0,0002	777,04	2,00	1,2150	0,8468	764,23	1,90
0,0001	0,0002	777,05	2,00	1,3297	0,8557	754,19	1,89
0,0002	0,0005	777,12	2,00	1,4444	,862,60	745,57	1,88
0,0003	0,0007	777,18	2,00	1,5966	0,8694	736,09	1,87
0,0004	0,0010	777,25	2,00	1,7489	0,8744	728,58	1,85
0,0005	0,0012	777,31	2,00	1,9011	0,8783	722,74	1,84
0,0010	0,0025	777,64	2,00	2,0533	0,8815	718,22	1,83
0,0016	0,0038	777,97	2,00	2,2056	0,8843	714,71	1,82
0,0021	0,0050	778,31	2,00	2,3578	0,8867	712,02	1,81
0,0026	0,0063	778,64	2,00	2,5100	0,8888	709,99	1,79
0,0053	0,0129	780,35	2,00	2,6622	0,8908	708,44	1,78
0,0080	0,0198	782,13	2,00	2,8145	0,8926	707,24	1,77
0,0107	0,0268	783,97	2,00	2,9667	0,8943	706,32	1,76
0,0133	0,0341	785,88	2,00	3,1189	0,8960	705,63	1,74
0,0249	0,0664	794,21	2,00	3,2712	0,8976	705,10	1,73
0,0366	0,0967	801,74	2,00	3,4234	0,8991	704,68	1,72
0,0482	0,1243	808,19	2,00	3,5756	0,9006	704,37	1,71
0,0598	0,1500	813,89	2,00	3,7279	0,9020	704,12	1,69
0,0691	0,1702	818,24	1,99	3,8801	0,9034	703,93	1,68
0,0785	0,1898	822,29	1,99	4,0323	0,9047	703,78	1,67
0,0878	0,2087	826,07	1,99	4,1846	0,9061	703,66	1,66
0,0972	0,2270	829,59	1,99	4,3368	0,9074	703,56	1,64
0,1406	0,3050	842,88	1,99	4,4890	0,9086	703,48	1,63
0,1841	0,3725	851,86	1,98	4,6413	0,9099	703,42	1,62
0,2275	0,4308	857,35	1,98	4,7935	0,9111	703,36	1,60

0,2710	0,4813	860,02	1,98	4,9457	0,9123	703,31	1,59
0,3053	0,5164	860,52	1,97	5,0980	0,9135	703,27	1,58
0,3397	0,5479	859,90	1,97	5,2502	0,9146	703,23	1,56
0,3740	0,5762	858,37	1,97	5,4024	0,9158	703,20	1,55
0,4083	0,6019	856,10	1,96	5,5547	0,9169	703,17	1,54
0,4427	0,6250	853,25	1,96	5,7069	0,9180	703,14	1,52
0,4770	0,6461	849,94	1,96	5,8025	0,9186	703,12	1,51
0,5113	0,6654	846,28	1,96	5,8981	0,9193	703,11	1,50
0,5457	0,6829	842,35	1,95	5,9937	0,9200	703,09	1,49
0,6556	0,7294	828,64	1,94	6,0893	0,9206	703,07	1,49
0,7656	0,7659	814,68	1,93				



F=3583,38 kg							
L	X	T	P	L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	2,00	0,8722	0,7936	801,53	1,91
0,0000	0,0001	777,01	2,00	0,9804	0,8162	788,92	1,90
0,0000	0,0001	777,03	2,00	1,0961	0,8337	774,69	1,88
0,0001	0,0002	777,04	2,00	1,2159	0,8464	762,18	1,87
0,0001	0,0002	777,05	2,00	1,3356	0,8557	751,45	1,86
0,0002	0,0005	777,12	2,00	1,4553	0,8625	742,41	1,85
0,0003	0,0007	777,18	2,00	1,6075	0,8687	733,57	1,83
0,0004	0,0010	777,25	2,00	1,7597	0,8734	726,60	1,82
0,0005	0,0012	777,31	2,00	1,9120	0,8770	721,19	1,80
0,0010	0,0025	777,64	2,00	2,0642	0,8800	717,03	1,79
0,0016	0,0038	777,97	2,00	2,2164	0,8826	713,79	1,77
0,0021	0,0050	778,31	2,00	2,3687	0,8849	711,31	1,76
0,0026	0,0063	778,64	2,00	2,5209	0,8870	709,44	1,74
0,0053	0,0129	780,35	2,00	2,6731	0,8888	708,01	1,73
0,0080	0,0198	782,13	2,00	2,8254	0,8906	706,90	1,71
0,0107	0,0268	783,97	2,00	2,9776	0,8923	706,06	1,69
0,0133	0,0341	785,88	2,00	3,1298	0,8939	705,42	1,68
0,0249	0,0664	794,21	2,00	3,2821	0,8954	704,93	1,66
0,0366	0,0967	801,73	2,00	3,4343	0,8969	704,55	1,65
0,0482	0,1243	808,18	2,00	3,5865	0,8983	704,25	1,63
0,0598	0,1500	813,88	1,99	3,7388	0,8997	704,02	1,62
0,0691	0,1702	818,23	1,99	3,8910	0,9010	703,84	1,60
0,0785	0,1897	822,28	1,99	4,0432	0,9023	703,70	1,58
0,0879	0,2086	826,05	1,99	4,1955	0,9036	703,58	1,57
0,0972	0,2270	829,57	1,99	4,3477	0,9049	703,49	1,55
0,1407	0,3049	842,84	1,99	4,4999	0,9061	703,42	1,53
0,1841	0,3723	851,80	1,98	4,6522	0,9073	703,35	1,52
0,2276	0,4306	857,26	1,98	4,8044	0,9084	703,30	1,50
0,2711	0,4810	859,91	1,97	4,9566	0,9096	703,25	1,48
0,3056	0,5162	860,40	1,97	5,1089	0,9107	703,20	1,46
0,3402	0,5478	859,75	1,96	5,2611	0,9118	703,17	1,45

0,3748	0,5762	858,19	1,96	5,4133	0,9128	703,13	1,43
0,4093	0,6019	855,88	1,96	5,5656	0,9139	703,10	1,41
0,4439	0,6251	852,99	1,95	5,7178	0,9149	703,07	1,39
0,4785	0,6462	849,64	1,95	5,8107	0,9154	703,05	1,38
0,5130	0,6655	845,93	1,95	5,9035	0,9160	703,04	1,37
0,5476	0,6830	841,96	1,94	5,9964	0,9165	703,02	1,36
0,6558	0,7284	828,39	1,93	6,0893	0,9170	703,00	1,35
0,7640	0,7641	814,59	1,92				



F=3855,kg			
L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	2,00
0,0000	0,0001	777,01	2,00
0,0000	0,0001	777,03	2,00
0,0001	0,0002	777,04	2,00
0,0001	0,0002	777,05	2,00
0,0002	0,0005	777,12	2,00
0,0003	0,0007	777,18	2,00
0,0004	0,0010	777,25	2,00
0,0005	0,0012	777,31	2,00
0,0010	0,0025	777,64	2,00
0,0016	0,0038	777,97	2,00
0,0021	0,0050	778,31	2,00
0,0026	0,0063	778,64	2,00
0,0053	0,0129	780,35	2,00
0,0080	0,0198	782,13	2,00
0,0107	0,0268	783,97	2,00
0,0133	0,0341	785,88	2,00
0,0249	0,0664	794,20	2,00
0,0366	0,0967	801,73	2,00
0,0482	0,1243	808,17	1,99
0,0598	0,1499	813,87	1,99
0,0691	0,1702	818,22	1,99
0,0785	0,1897	822,27	1,99
0,0879	0,2086	826,04	1,99
0,0972	0,2269	829,55	1,99
0,1407	0,3048	842,81	1,98
0,1842	0,3721	851,74	1,98
0,2277	0,4303	857,18	1,97
0,2711	0,4806	859,81	1,97
0,3059	0,5160	860,28	1,96

L	X	T	P
0,8697	0,7915	801,56	1,89
0,9764	0,8136	789,08	1,88
1,3206	0,8304	775,63	1,86
1,4608	0,8428	763,69	1,85
1,6009	0,8519	753,32	1,84
1,7411	0,8588	744,48	1,82
1,8933	0,8653	735,21	1,80
2,0455	0,8702	727,88	1,79
2,1978	0,8740	722,18	1,77
2,3500	0,8771	717,78	1,75
2,5022	0,8798	714,36	1,73
2,6545	0,8821	711,74	1,72
2,8067	0,8841	709,76	1,70
2,9589	0,8860	708,25	1,68
3,1112	0,8878	707,08	1,66
3,2634	0,8895	706,18	1,64
3,4156	0,8910	705,51	1,62
3,5679	0,8925	704,99	1,60
3,7201	0,8940	704,58	1,58
3,8723	0,8954	704,27	1,57
4,0246	0,8967	704,03	1,55
4,1768	0,8980	703,84	1,53
4,3290	0,8993	703,68	1,51
4,4813	0,9005	703,56	1,49
4,6335	0,9017	703,46	1,46
4,7857	0,9029	703,38	1,44
4,9380	0,9040	703,31	1,42
5,0902	0,9052	703,25	1,40
5,2424	0,9062	703,20	1,38
5,3946	0,9073	703,15	1,36

0,3407	0,5477	859,61	1,96	5,5469	0,9083	703,11	1,33
0,3755	0,5762	858,01	1,95	5,6991	0,9093	703,07	1,31
0,4103	0,6019	855,67	1,95	5,8513	0,9103	703,04	1,29
0,4451	0,6252	852,74	1,94	6,0036	0,9113	703,00	1,26
0,4798	0,6463	849,35	1,94	6,0250	0,9118	702,98	1,25
0,5146	0,6655	845,60	1,94	6,0464	0,9124	702,96	1,23
0,5494	0,6831	841,59	1,93	6,0679	0,9129	702,95	1,22
0,6562	0,7276	828,17	1,92	6,0893	0,9135	702,93	1,20
0,7629	0,7626	814,50	1,90				



F=4127,69 kg							
L	X	T	P	L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	2,00	0,8681	0,7900	801,54	1,88
0,0000	0,0001	777,01	2,00	0,9739	0,8118	789,15	1,86
0,0000	0,0001	777,03	2,00	1,0875	0,8279	776,34	1,85
0,0001	0,0002	777,04	2,00	1,2011	0,8399	764,89	1,83
0,0001	0,0002	777,05	2,00	1,3148	0,8489	754,85	1,82
0,0002	0,0005	777,12	2,00	1,4284	0,8558	746,20	1,80
0,0003	0,0007	777,18	2,00	1,5806	0,8627	736,58	1,78
0,0004	0,0010	777,25	2,00	1,7329	0,8678	728,95	1,76
0,0005	0,0012	777,31	2,00	1,8851	0,8717	723,00	1,74
0,0010	0,0025	777,64	2,00	2,0373	0,8748	718,41	1,72
0,0016	0,0038	777,97	2,00	2,1896	0,8775	714,84	1,70
0,0021	0,0050	778,31	2,00	2,3418	0,8799	712,10	1,68
0,0026	0,0063	778,64	2,00	2,4940	0,8820	710,03	1,66
0,0053	0,0129	780,35	2,00	2,6463	0,8838	708,45	1,64
0,0080	0,0198	782,13	2,00	2,7985	0,8856	707,22	1,62
0,0107	0,0268	783,97	2,00	2,9507	0,8873	706,29	1,60
0,0133	0,0341	785,88	2,00	3,1030	0,8888	705,58	1,58
0,0249	0,0663	794,20	2,00	3,2552	0,8903	705,04	1,56
0,0366	0,0967	801,73	2,00	3,4074	0,8917	704,61	1,54
0,0482	0,1242	808,17	1,99	3,5597	0,8931	704,28	1,51
0,0598	0,1499	813,87	1,99	3,7119	0,8944	704,03	1,49
0,0691	0,1701	818,21	1,99	3,8641	0,8957	703,83	1,47
0,0785	0,1897	822,26	1,99	4,0164	0,8969	703,67	1,44
0,0879	0,2086	826,03	1,99	4,1686	0,8981	703,54	1,42
0,0972	0,2269	829,54	1,99	4,3208	0,8993	703,44	1,40
0,1407	0,3047	842,78	1,98	4,4731	0,9004	703,35	1,37
0,1842	0,3720	851,70	1,97	4,6253	0,9015	703,28	1,35
0,2277	0,4301	857,12	1,97	4,7775	0,9026	703,22	1,32
0,2712	0,4804	859,73	1,96	4,9298	0,9036	703,16	1,30
0,3061	0,5159	860,19	1,96	5,0820	0,9047	703,11	1,27

0,3411	0,5476	859,50	1,95	5,2342	0,9056	703,07	1,24
0,3760	0,5762	857,88	1,95	5,3865	0,9066	703,02	1,22
0,4110	0,6020	855,51	1,94	5,5387	0,9075	702,99	1,19
0,4459	0,6252	852,55	1,94	5,6909	0,9084	702,95	1,16
0,4809	0,6464	849,12	1,93	5,7905	0,9089	702,92	1,14
0,5158	0,6656	845,34	1,93	5,8901	0,9095	702,90	1,12
0,5508	0,6831	841,30	1,92	5,9897	0,9100	702,88	1,10
0,6566	0,7271	827,99	1,91	6,0893	0,9106	702,86	1,08
0,7623	0,7616	814,41	1,89				



F=4534,92 kg							
L	X	T	P	L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	2,00	0,8659	0,7874	801,45	1,86
0,0000	0,0001	777,01	2,00	0,9700	0,8086	789,18	1,84
0,0000	0,0001	777,03	2,00	1,0790	0,8242	776,88	1,82
0,0001	0,0002	777,04	2,00	1,1880	0,8359	765,81	1,80
0,0001	0,0002	777,05	2,00	1,2970	0,8448	756,03	1,79
0,0002	0,0005	777,12	2,00	1,4059	0,8516	747,54	1,77
0,0003	0,0007	777,18	2,00	1,5582	0,8587	737,63	1,74
0,0004	0,0010	777,25	2,00	1,7104	0,8640	729,77	1,72
0,0005	0,0012	777,31	2,00	1,8626	0,8679	723,63	1,70
0,0010	0,0025	777,64	2,00	2,0149	0,8711	718,89	1,67
0,0016	0,0038	777,97	2,00	2,1671	0,8738	715,19	1,65
0,0021	0,0050	778,31	2,00	2,3193	0,8762	712,36	1,62
0,0026	0,0063	778,64	2,00	2,4716	0,8782	710,22	1,60
0,0053	0,0129	780,35	2,00	2,6238	0,8801	708,58	1,57
0,0080	0,0198	782,13	2,00	2,7760	0,8818	707,31	1,54
0,0107	0,0268	783,97	2,00	2,9283	0,8834	706,34	1,52
0,0133	0,0341	785,88	2,00	3,0805	0,8849	705,61	1,49
0,0249	0,0663	794,20	2,00	3,2327	0,8864	705,04	1,46
0,0366	0,0967	801,72	1,99	3,3850	0,8877	704,60	1,44
0,0482	0,1242	808,16	1,99	3,5372	0,8890	704,26	1,41
0,0598	0,1499	813,85	1,99	3,6894	0,8903	703,99	1,38
0,0692	0,1701	818,20	1,99	3,8416	0,8915	703,78	1,35
0,0785	0,1896	822,24	1,99	3,9939	0,8927	703,62	1,32
0,0879	0,2085	826,00	1,99	4,1461	0,8938	703,48	1,29
0,0973	0,2268	829,51	1,98	4,2983	0,8949	703,37	1,26
0,1408	0,3046	842,73	1,98	4,4506	0,8959	703,27	1,22
0,1843	0,3717	851,61	1,97	4,6028	0,8969	703,19	1,19
0,2278	0,4298	857,01	1,96	4,7550	0,8979	703,12	1,16
0,2713	0,4799	859,59	1,96	4,9073	0,8988	703,06	1,12
0,3066	0,5156	860,03	1,95	5,0595	0,8997	703,01	1,08
0,3418	0,5475	859,30	1,94	5,2117	0,9006	702,95	1,05

0,3771	0,5762	857,63	1,94	5,3640	0,9014	702,90	1,01
0,4123	0,6020	855,20	1,93	5,5162	0,9021	702,86	0,97
0,4476	0,6253	852,18	1,93	5,6684	0,9029	702,81	0,92
0,4829	0,6465	848,70	1,92	5,7737	0,9034	702,78	0,89
0,5181	0,6657	844,86	1,91	5,8789	0,9038	702,75	0,86
0,5534	0,6832	840,76	1,91	5,9841	0,9043	702,72	0,83
0,6575	0,7261	827,62	1,89	6,0893	0,9047	702,69	0,79
0,7617	0,7598	814,22	1,87				



Ek 5

Boru çapı (di) değiştirilmesi sonucunda X,T,P de meydana gelen değişikliklerin sayısal değerleri,

di=63,5 mm							
L	X	T	P	L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	2,00	0,8746	0,7598	800,21	1,92
0,0000	0,0001	777,01	2,00	0,9807	0,7817	788,20	1,91
0,0000	0,0001	777,03	2,00	1,0932	0,7986	776,11	1,90
0,0001	0,0002	777,04	2,00	1,2057	0,8113	765,16	1,90
0,0001	0,0002	777,05	2,00	1,3182	0,8210	755,46	1,89
0,0002	0,0005	777,11	2,00	1,4307	0,8284	747,03	1,88
0,0003	0,0007	777,18	2,00	1,5816	0,8359	737,54	1,86
0,0005	0,0010	777,24	2,00	1,7326	0,8415	729,94	1,85
0,0006	0,0012	777,30	2,00	1,8836	0,8458	723,96	1,84
0,0012	0,0025	777,62	2,00	2,0346	0,8493	719,30	1,83
0,0018	0,0038	777,95	2,00	2,1856	0,8523	715,65	1,82
0,0024	0,0050	778,27	2,00	2,3366	0,8549	712,84	1,80
0,0030	0,0063	778,60	2,00	2,4876	0,8573	710,68	1,79
0,0060	0,0129	780,26	2,00	2,6385	0,8594	709,03	1,78
0,0090	0,0197	781,99	2,00	2,7895	0,8614	707,75	1,77
0,0120	0,0268	783,78	2,00	2,9405	0,8633	706,76	1,75
0,0149	0,0340	785,63	2,00	3,0915	0,8650	706,01	1,74
0,0282	0,0666	793,79	2,00	3,2425	0,8667	705,43	1,73
0,0414	0,0971	801,10	2,00	3,3935	0,8684	704,98	1,72
0,0546	0,1247	807,29	2,00	3,5445	0,8700	704,63	1,70
0,0678	0,1504	812,70	1,99	3,6954	0,8715	704,36	1,69
0,0784	0,1705	816,79	1,99	3,8464	0,8730	704,15	1,68
0,0891	0,1899	820,56	1,99	3,9974	0,8745	703,98	1,67
0,0997	0,2087	824,04	1,99	4,1484	0,8759	703,84	1,65
0,1103	0,2269	827,27	1,99	4,2994	0,8773	703,74	1,64
0,1597	0,3041	839,18	1,99	4,4504	0,8787	703,65	1,63
0,2090	0,3708	846,79	1,98	4,6014	0,8800	703,58	1,61

0,2584	0,4286	851,02	1,98	4,7523	0,8814	703,51	1,60
0,3078	0,4786	852,55	1,97	4,9033	0,8827	703,46	1,59
0,3389	0,5067	852,40	1,97	5,0543	0,8839	703,42	1,57
0,3700	0,5325	851,56	1,97	5,2053	0,8852	703,38	1,56
0,4010	0,5562	850,14	1,96	5,3563	0,8864	703,34	1,54
0,4321	0,5781	848,23	1,96	5,5073	0,8876	703,31	1,53
0,4632	0,5982	845,91	1,96	5,6583	0,8888	703,28	1,52
0,4943	0,6168	843,26	1,96	5,7536	0,8896	703,26	1,51
0,5253	0,6340	840,33	1,95	5,8488	0,8903	703,24	1,50
0,5564	0,6499	837,18	1,95	5,9441	0,8910	703,22	1,49
0,6625	0,6958	825,27	1,94	6,0394	0,8917	703,21	1,48
0,7686	0,7315	812,63	1,93				



di=70,66 mm							
L	X	T	P	L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	2,00	0,9850	0,7916	801,56	1,89
0,0000	0,0001	777,01	2,00	1,1060	0,8137	789,08	1,88
0,0000	0,0001	777,03	2,00	1,2421	0,8306	775,57	1,86
0,0001	0,0002	777,04	2,00	1,3783	0,8430	763,59	1,85
0,0001	0,0002	777,05	2,00	1,5144	0,8521	753,20	1,84
0,0002	0,0005	777,12	2,00	1,6505	0,8590	744,34	1,82
0,0003	0,0007	777,18	2,00	1,8028	0,8648	736,08	1,81
0,0005	0,0010	777,25	2,00	1,9550	0,8693	729,36	1,79
0,0006	0,0012	777,31	2,00	2,1072	0,8729	723,96	1,78
0,0012	0,0025	777,64	2,00	2,2595	0,8759	719,65	1,76
0,0018	0,0038	777,97	2,00	2,4117	0,8784	716,21	1,74
0,0024	0,0050	778,31	2,00	2,5639	0,8807	713,48	1,73
0,0030	0,0063	778,64	2,00	2,7162	0,8826	711,33	1,71
0,0060	0,0129	780,35	2,00	2,8684	0,8844	709,64	1,70
0,0091	0,0198	782,13	2,00	3,0206	0,8861	708,30	1,68
0,0121	0,0268	783,97	2,00	3,1729	0,8877	707,24	1,67
0,0151	0,0341	785,88	2,00	3,3251	0,8892	706,41	1,65
0,0283	0,0664	794,20	2,00	3,4773	0,8906	705,76	1,63
0,0414	0,0967	801,73	2,00	3,6296	0,8919	705,23	1,62
0,0546	0,1243	808,17	1,99	3,7818	0,8932	704,82	1,60
0,0677	0,1499	813,87	1,99	3,9340	0,8945	704,49	1,58
0,0783	0,1702	818,22	1,99	4,0863	0,8957	704,23	1,57
0,0889	0,1897	822,27	1,99	4,2385	0,8969	704,02	1,55
0,0995	0,2086	826,04	1,99	4,3907	0,8981	703,85	1,53
0,1101	0,2269	829,55	1,99	4,5430	0,8992	703,71	1,51
0,1594	0,3048	842,81	1,98	4,6952	0,9003	703,60	1,50
0,2086	0,3721	851,75	1,98	4,8474	0,9014	703,51	1,48
0,2578	0,4303	857,19	1,97	4,9997	0,9024	703,43	1,46
0,3071	0,4806	859,82	1,97	5,1519	0,9035	703,36	1,44
0,3465	0,5160	860,29	1,96	5,3041	0,9045	703,30	1,42
0,3858	0,5477	859,62	1,96	5,4564	0,9054	703,25	1,40

0,4252	0,5762	858,02	1,95	5,6086	0,9064	703,20	1,38
0,4646	0,6019	855,68	1,95	5,7608	0,9073	703,16	1,36
0,504	0,6252	852,75	1,94	5,9130	0,9082	703,13	1,34
0,5434	0,6463	849,36	1,94	5,9571	0,9085	703,12	1,34
0,5827	0,6655	845,61	1,94	6,0012	0,9088	703,11	1,33
0,6221	0,6831	841,60	1,93	6,0452	0,909	703,10	1,33
0,7431	0,7276	828,18	1,92	6,0893	0,9093	703,09	1,32
0,8641	0,7627	814,50	1,91				



di=76,2 mm							
L	X	T	P	L	X	T	P
0,0000	0,0000	777,00	2,00	1,0072	0,7990	807,78	1,87
0,0000	0,0001	777,01	2,00	1,1267	0,8209	795,62	1,86
0,0000	0,0001	777,03	2,00	1,2454	0,8363	783,87	1,84
0,0001	0,0002	777,04	2,00	1,3641	0,8483	773,15	1,83
0,0001	0,0002	777,05	2,00	1,4828	0,8576	763,50	1,81
0,0002	0,0005	777,12	2,00	1,6015	0,8649	754,92	1,80
0,0003	0,0007	777,19	2,00	1,7540	0,8721	745,41	1,78
0,0005	0,0010	777,25	2,00	1,9064	0,8776	737,45	1,76
0,0006	0,0012	777,32	2,00	2,0589	0,8818	730,89	1,74
0,0012	0,0025	777,65	2,00	2,2113	0,8852	725,53	1,72
0,0018	0,0038	777,99	2,00	2,3638	0,8880	721,15	1,70
0,0024	0,0050	778,33	2,00	2,5162	0,8905	717,61	1,68
0,0030	0,0063	778,67	2,00	2,6687	0,8925	714,77	1,67
0,0060	0,0129	780,42	2,00	2,8212	0,8944	712,48	1,65
0,0090	0,0198	782,23	2,00	2,9736	0,8961	710,64	1,63
0,0121	0,0268	784,11	2,00	3,1261	0,8976	709,16	1,61
0,0151	0,0342	786,05	2,00	3,2785	0,8991	707,98	1,59
0,0281	0,0662	794,48	2,00	3,4310	0,9004	707,03	1,57
0,0411	0,0965	802,15	2,00	3,5835	0,9017	706,27	1,55
0,0541	0,1240	808,76	1,99	3,7359	0,9029	705,65	1,53
0,0671	0,1496	814,64	1,99	3,8884	0,9041	705,16	1,51
0,0776	0,1699	819,17	1,99	4,0408	0,9052	704,77	1,49
0,0881	0,1895	823,40	1,99	4,1933	0,9063	704,44	1,47
0,0986	0,2085	827,36	1,99	4,3457	0,9073	704,18	1,44
0,1092	0,2269	831,06	1,99	4,4982	0,9083	703,97	1,42
0,1580	0,3053	845,23	1,98	4,6507	0,9093	703,79	1,40
0,2069	0,3730	855,05	1,97	4,8031	0,9102	703,65	1,38
0,2557	0,4314	861,29	1,97	4,9556	0,9112	703,53	1,36
0,3046	0,4817	864,63	1,96	5,1080	0,9120	703,43	1,33
0,3476	0,5203	865,64	1,96	5,2605	0,9129	703,34	1,31

0,3906	0,5544	865,23	1,95	5,4129	0,9138	703,26	1,28
0,4336	0,5848	863,69	1,94	5,5654	0,9146	703,20	1,26
0,4766	0,6118	861,26	1,94	5,7179	0,9154	703,14	1,24
0,5195	0,6360	858,14	1,93	5,8703	0,9162	703,09	1,21
0,5625	0,6578	854,49	1,93	5,9273	0,9164	703,07	1,20
0,6055	0,6775	850,46	1,92	5,9843	0,9167	703,05	1,19
0,6485	0,6955	846,14	1,92	6,0413	0,9170	703,04	1,18
0,7681	0,7371	833,26	1,90	6,0983	0,9173	703,02	1,17
0,8876	0,7707	820,25	1,89				



KAYNAKLAR

- Austin, G. T., (1984), Shreve's Chemical Process Industries, Mc Graw Hill, New York.
- BAT, (1999), (Best Available Techniques) Reference Document on the Production of Sulphuric Acid.
- Cameron G.M., (1982), Chemical Engineering Prog., New York
- Donovan, J.R., Salamone J.M., in Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, (1978), Wiley-Interscience, New York.
- Eklund R.B., (1956), Dissertation, Royal Institute of Technology, Acs Monograph Series Stockholm.
- ETİBOR A.Ş., (1987), Bor ve Asit Fabrikaları Proje verileri.
- Fogler, H. Scott, (1992), Elements of Chemical Reaction Engineering, Printice-Hall.
- Friedman L.F., (1982), Chemical Engineering Prog., New York.
- Herman De Groot, W., (1991), Suplhonation Technology in the Detergent Industry, Kluwer Academic Publishers, London.
- Hong, Ruoyu., Li, Xin., (1997), "Modeling and Simulation of SO₂ Oxidation in a Fixed bed Reactor with periodic flow reversal ", Elsevier Catalysis Today, 38:47-58
- Howard, J.R., (1988), Fluidized Bed Technology Principles and Applications, Bristol and New York.
- Sanıgök, Ü., (1997), Anorganik Endüstriyel Kimya, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul
- Stull, D.R., Prophet, H., (1971), JANAF Thermochemical Tables, Washington.
- Vernikovskaya, N.V., Zagoruiko A.N., Noskov A.S., (1999), "SO₂ Oxidation Method Mathematical Modeling Taking into Account Dynamic Properties of the catalyst", Chemical Engineering Science, 54:4475-4482

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	18.08.1976	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1991-1994	İstanbul Nişantaşı Kız Lisesi
Lisans	1994-1998	Yıldız Üniversitesi Kimya-Metalurji Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum

2000-Devam ediyor.Evyap Sabun,Yağ,Gliserin A.Ş.

