

67862

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK YATAKLI AMONYAK SENTEZ
REAKTÖRÜNÜN İKİ BOYUTLU
(EKSENEL-RADYAL) MODELLENMESİ**

Kimya Yük.Müh. H. İbrahim ÜNAL

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

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi

: 12 Ağustos 1997

Tez Danışmanı

: Prof.Dr. Selahattin GÜLTEKİN (Y.T.Ü.)

Jüri Üyeleri

: Prof.Dr. Z. İlsen ÖNSAN (B.Ü.)

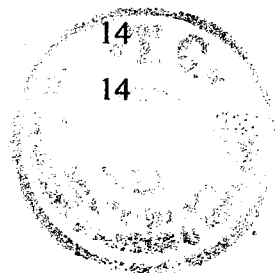
Prof.Dr. Ekrem EKİNCİ (İ.T.Ü.)

İSTANBUL, Ağustos 1997



İÇİNDEKİLER

	Sayfa no
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
TABLO LİSTESİ	xx
TEŞEKKÜR	xxii
ÖZET	xxiii
ABSTRACT	xxiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amonyagın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	2
1.2. Amonyagın Kullanıldığı Alanlar ve Ekonomisi	2
1.3. Amonyak Üretimi	3
1.3.1. Amonyak Üretim Proseslerinin Tanımı	3
1.3.2. Amonyak Üretim Proses Aşamaları	5
1.3.2.1. Kükürt Giderme	6
1.3.2.2. Reformer Ünitesi	6
1.3.2.2.1. Birincil Reformer	7
1.3.2.2.2. İkincil Reformer	9
1.3.2.3. Karbon Monoksit Dönüştürme Ünitesi	10
1.3.2.4. Karbon Dioksitin Uzaklaştırılması ve Geri Kazanılması	12
1.3.2.4.1. Su ile Temizleme	12
1.3.2.4.2. Sıcak Potasyum Karbonat	12
1.3.2.4.3. Mono Etanol Amin (MEA)	13
1.3.2.4.5. Sulfinol	13
1.3.2.4.6. Propilen Karbonat	13
1.3.2.4.7. Soğutulmuş Aseton	14
1.3.2.4.8. Soğutulmuş Metanol	14



	Sayfa
	no
1.3.2.4.9. Giammorco-Vetrocoke	14
1.3.2.5. Metanasyon	14
1.3.2.6. Sıkıştırma	15
1.3.2.7. Amonyak Sentezi	15
1.3.2.7.1. Sentez Denge Reaksiyonu Entalpisi	18
1.3.2.7.2. Sentez Denge Reaksiyon Hızı	18
1.3.2.7.3. Amonyak Sentezinde Kullanılan Katalizörler	20
2. AMONYAK SENTEZ REAKTÖRLERİ	24
2.1. Sentez Reaktörleri Genel Özellikleri	24
2.2. Sentez Reaktörünün İşletimi	25
3. PROBLEMİN BELİRLENMESİ	27
4. TASARIM MODEL DENKLEMLERİ	29
4.1. Mol Denkliği	29
4.2. Enerji Denkliği	30
4.3. Basınç Düşüşü	31
5. AMONYAK SENTEZ REAKSİYONUNUN TERMODİNAMİKSEL SINIRLAR İÇERİSİNDEKİ HIZ DEĞERLERİ	32
6. AMONYAK SENTEZ REAKSİYONUNUN TERMODİNAMİKSEL SINIRLAR İÇERİSİNDEKİ DENGİ DEĞERLERİ	33
7. PROBLEMİN ÇÖZÜM YÖNTEMİ	34
8. İKİ BOYUTLU (EKSENEL-RADYAL) MODEL DENKLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ	38
8.1. Sentez Reaktörü Giriş $T=699\text{ K}$, $X=0.0323$, $P=280\text{ atm}$ ve $f=0.95$ Olması Durumunda Model Denklemlerinin Çözümü	39
8.1.1. Model Denklemlerinin Çözümünde Kullanılacak Sistem Verileri Giriş $T=699\text{ K}$, $X=0.0323$, $P=280\text{ atm}$ ve $f=0.95$	39
8.1.2. Reaksiyon Hız Sabiti ve Model Denklemleri Notasyon İfadeleri Giriş $T=699\text{ K}$, $X=0.0323$, $P=280\text{ atm}$ ve $f=0.95$	39

	Sayfa no
8.1.3. Birinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar(T,X) Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95	39
8.1.4. İkinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar(TB,XB) Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95	48
8.1.5. Üçüncü (Radyal) Yatak İçin Hesaplamalar(TR,XR) Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95	57
8.2. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1 Olması Durumunda Model Denklemlerinin Çözümü	80
8.2.1. Model Denklemlerinin Çözümünde Kullanılacak Sistem Verileri Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1	80
8.2.2. Reaksiyon Hız Sabiti ve Model Denklemleri Notasyon İfadeleri Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1	80
8.2.3. Birinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar(T,X) Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1	80
8.2.4. İkinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar(TB,XB) Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1	89
8.2.5. Üçüncü (Radyal) Yatak İçin Hesaplamalar(TR,XR) Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1	98
8.3. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9 Olması Durumunda Model Denklemlerinin Çözümü	121
8.3.1. Model Denklemlerinin Çözümünde Kullanılacak Sistem Verileri Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9	121
8.3.2. Reaksiyon Hız Sabiti ve Model Denklemleri Notasyon İfadeleri Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9	121
8.3.3. Birinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar(T,X) Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9	121
8.3.4. İkinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar(TB,XB) Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9	130

	Sayfa no
8.3.5. Üçüncü (Radyal) Yatak İçin Hesaplamalar(TR,XR)	
Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9	139
9. MODEL DENKLEMLERİNİN DEĞİŞİK GİRİŞ ŞARTLARINDA BASINÇ DÜŞÜŞÜ (ΔP) DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI	162
9.1. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95 Olması Durumunda Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması	162
9.1.1. Birinci (Eksenel) Yatak İçin Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması. Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95	162
9.1.2. İkinci (Eksenel) Yatak İçin Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması. Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95	163
9.1.3. Üçüncü (Radyal) Yatak İçin Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması. Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95	164
9.2. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1 Olması Durumunda Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması	165
9.2.1. Birinci (Eksenel) Yatak İçin Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması. Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1	165
9.2.2. İkinci (Eksenel) Yatak İçin Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması. Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1	166
9.2.3. Üçüncü (Radyal) Yatak İçin Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması. Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1	167
9.3. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9 Olması Durumunda Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması	168
9.3.1. Birinci (Eksenel) Yatak İçin Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması. Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9	168
9.3.2. İkinci (Eksenel) Yatak İçin Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması. Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9	169

	Sayfa no
9.3.3. Üçüncü (Radyal) Yatak İçin Basınç Düşüşü Değerinin (ΔP) Hesaplanması. Giriş $T=699$ K, $X=0.0269$, $P=276$ atm ve $f=0.9$	170
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	171
KAYNAKLAR	180
EK 1. MODEL DENKLEMLERİNDE KULLANILAN KÜTLE VE ENERJİ DENKLİKLERİNİN ÇIKARIMI	184
EK 1.1. Kütle Denkliği	184
EK 1.2. Enerji Denkliği	184
EK 1.3. Hız İfadesinin Açılımı	185
EK 2. AMONYAK SENTEZ DENGİ REAKSİYONUNUN TERMODİNAMİKSEL SINIRLAR İÇERİSİNDEKİ HIZ GRAFİĞİ	186
EK 3. AMONYAK SENTEZ REAKSİYONUNUN TERMODİNAMİKSEL SINIRLAR İÇERİSİNDEKİ DENGİ EĞRİSİ	188
EK 4. C++ DİLİ İLE YAZILAN SÜREKLİ SİSTEM MODEL PROGRAMININ (CSMP) SANAL ALGORİTMASI (PSEUDO-CODE)	190
ÖZGEÇMİŞ	191

SEMBOL LİSTESİ

A_c	Reaktör yatağının gaz akış yönündeki kesit alanı, m^2
c_p	Gazın spesifik ısı kapasitesi, $kcal/(kg\ K)$
CP	Katalizörün spesifik ısı kapasitesi, $kcal/(kg\ K)$
d	Reaktör katalitik yatak çapı, m
D_A	Gaz faz difüzyon katsayısı, m^2/s
d_p	Katalizör partikül çapı, m
F0	Besleme debisi, $kmol/saat$
f	Katalizör aktivite katsayısı
G	Kütesel debi, $kg/(m^2\ saat)$
$G(R)$	Üçüncü (radyal) yatak değişik yarı çaplardaki kütesel debi, $kg/(m^2\ saat)$
K	Denge sabiti, $atm^{2/3}$
ke	Katalizörün ısı iletim katsayısı, $kcal/(msaatK)$
k_1	Sağa doğru reaksiyon hız sabiti, $kmol/(kg.kat.saat.atm^{1/2})$
k_2	Sola doğru reaksiyon hız sabiti, $kmol/(kg.kat.saat.atm^{2/3})$
L	Reaktör uzunluğu, m
L1	Sentez reaktörü birinci (eksenel) yatak uzunluğu, m
L2	Sentez reaktörü ikinci (eksenel) yatak uzunluğu, m
L3	Sentez reaktörü üçüncü (radyal) yatak uzunluğu, m
M	Ortalama molekül ağırlığı, $kg/kgmol$
N	Toplam mol sayısı, $kmol$
N_i	i bileşeninin mol sayısı, $kmol$
P	Toplam basınç, atm

PA0	A bileşeninin giriş kısmı basıncı, atm
P _A	A bileşeninin kısmı basıncı, atm
Pe	Peclet sayısı, uL/D_A , ud_p/D_A
P0	Giriş basıncı, atm
r	Katalitik yatak yarı çapı, m
r _A	Reaksiyon hızı, kmol/(kgkatsaat)
R	Gaz sabiti, J/kmol K
RP	Ortalama reaksiyon hızı, kmol/(kgkatsaat)
R1	Üçüncü yatak birinci pencere yarıçap uzunluğu, m
T	Reaksiyon sıcaklığı, K
T0	Giriş sıcaklığı, K
TB00	İkinci (eksenel) yatak giriş sıcaklığı
TR00	Üçüncü (radyal) yatak giriş sıcaklığı
u	Gaz akış hızı, m/s
X	%Dönüşüm
XA	A bileşeninin giriş mol fraksiyonu
XB00	İkinci (eksenel) yatak giriş %dönüşümü
XR00	Üçüncü (radyal) yatak giriş %dönüşümü
W	Katalizör ağırlığı, kg

GREK HARFLERİ

ρ_B	Yatak içerisindeki katalizörün yoğunluğu, kg/m^3
ρ_0	Gazın yoğunluğu, kg/m^3
θ_i	i bileşen konsantrasyonunun referans konsantrasyonuna oranı
μ	Gazın viskozitesi, Pa.s
ϕ	Katalizör boşluk oranı
ε	Hacimsel genleşme oranı
v_i	i bileşeninin stokiometrik katsayısı
K_v	Uçuculuk faktörü
ΔH	Reaksiyon ısısı, kcal/kmol
ΔP	Basınç düşüşü değeri, atm
Δr	Radyal aralık, m
ΔZ	Eksenel aralık, m
π	Toplam basınç, atm

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa no
Şekil 1.1. Doğal gazdan amonyak üretimi proses akış diyagramı (<i>İGSAS</i>)	4
Şekil 1.2. Katalizör aktivite değişimi	23
Şekil 2.1. <i>İGSAS</i> (İstanbul Gübre San.A.Ş)'a ait amonyak sentez reaktörü	26
Şekil 5.1. Amonyak sentez reaksiyonunu ortalama hız değişimi	32
Şekil 6.1. Amonyak sentez reaksiyonunu denge eğrisi	33
Şekil 7.1. Amonyak sentez reaktörü eksenel yatak sıcaklık dağılımı	36
Şekil 7.2. Amonyak sentez reaktörü eksenel yatak %dönüşüm dağılımı	36
Şekil 7.3. Amonyak sentez reaktörü radyal yatak sıcaklık dağılımı	37
Şekil 7.4. Amonyak sentez reaktörü radyal yatak %dönüşüm dağılımı	37
Şekil 8.1. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	72
Şekil 8.2. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	72
Şekil 8.3. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	72
Şekil 8.4. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	72
Şekil 8.5. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	73

	Sayfa no
Şekil 8.6. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	73
Şekil 8.7. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	73
Şekil 8.8. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	73
Şekil 8.9. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	74
Şekil 8.10. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	74
Şekil 8.11. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	74
Şekil 8.12. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	74
Şekil 8.13. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	75
Şekil 8.14. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	75
Şekil 8.15. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	75
Şekil 8.16. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	75
Şekil 8.17. Üçüncü (radyal) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	76

	Sayfa no
Şekil 8.18. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	76
Şekil 8.19. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	76
Şekil 8.20. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	76
Şekil 8.21. Üçüncü (radyal) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	77
Şekil 8.22. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	77
Şekil 8.23. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	77
Şekil 8.24. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	77
Şekil 8.25. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşüm-sıcaklığın radyal eksen boyunca değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	78
Şekil 8.26. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşüm-sıcaklığın eksenel değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	78
Şekil 8.27. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşüm eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	78
Şekil 8.28. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	78
Şekil 8.29. Sentez reaktörü denge eğrisine göre sıcaklık ve %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	79

	Sayfa no
Şekil 8.30. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	113
Şekil 8.31. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	113
Şekil 8.32. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	113
Şekil 8.33. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	113
Şekil 8.34. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	114
Şekil 8.35. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	114
Şekil 8.36. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	114
Şekil 8.37. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	114
Şekil 8.38. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	115
Şekil 8.39. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	115
Şekil 8.40. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	115
Şekil 8.41. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	115

	Sayfa no
Şekil 8.42. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	116
Şekil 8.43. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	116
Şekil 8.44. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	116
Şekil 8.45. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	116
Şekil 8.46. Üçüncü (radyal) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	117
Şekil 8.47. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	117
Şekil 8.48. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	117
Şekil 8.49. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	117
Şekil 8.50. Üçüncü (radyal) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	118
Şekil 8.51. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	118
Şekil 8.52. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	118
Şekil 8.53. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	118

	Sayfa no
Şekil 8.54. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşüm-sıcaklığın radyal eksen boyunca değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	119
Şekil 8.55. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşüm-sıcaklığın eksenel değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	119
Şekil 8.56. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşüm eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	119
Şekil 8.57. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	119
Şekil 8.58. Sentez reaktörü denge eğrisine göre sıcaklık ve %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	120
Şekil 8.59. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	154
Şekil 8.60. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	154
Şekil 8.61. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	154
Şekil 8.62. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	154
Şekil 8.63. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	155
Şekil 8.64. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	155
Şekil 8.65. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	155

	Sayfa no
Şekil 8.66. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	155
Şekil 8.67. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	156
Şekil 8.68. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	156
Şekil 8.69. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	156
Şekil 8.70. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	156
Şekil 8.71. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	157
Şekil 8.72. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	157
Şekil 8.73. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	157
Şekil 8.74. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşümün eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	157
Şekil 8.75. Üçüncü (radyal) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	158
Şekil 8.76. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	158
Şekil 8.77. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklığın eksenel-radyal değişimi. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	158

	Sayfa no
Şekil 8.78. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklığın aksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	158
Şekil 8.79. Üçüncü (radyal) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	159
Şekil 8.80. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	159
Şekil 8.81. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşümün aksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	159
Şekil 8.82. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşümün aksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	159
Şekil 8.83. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşüm-sıcaklığın radyal eksen boyunca değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	160
Şekil 8.84. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşüm-sıcaklığın aksenel değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	160
Şekil 8.85. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşüm aksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	160
Şekil 8.86. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %sıcaklığın aksenel-radyal değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	160
Şekil 8.87. Sentez reaktörü denge eğrisine göre sıcaklık ve %dönüşüm değişimi. Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	161
Şekil 9.1. Birinci (ksenel) yatak boyunca basınç düşüşü (ΔP) değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	162
Şekil 9.2. İkinci (ksenel) yatak boyunca basınç düşüşü (ΔP) değişimi. Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	163

	Sayfa no
Şekil 9.3. Üçüncü (radyal) yatak boyunca basınç düşüşü (ΔP) değişimi Giriş: T=699 K, P=280 atm, X=0.0323 ve f=0.95 durumunda	164
Şekil 9.4. Birinci (eksenel) yatak boyunca basınç düşüşü (ΔP) değişimi Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	165
Şekil 9.5. İkinci (eksenel) yatak boyunca basınç düşüşü (ΔP) değişimi Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	166
Şekil 9.6. Üçüncü (radyal) yatak boyunca basınç düşüşü (ΔP) değişimi Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=1 durumunda	167
Şekil 9.7. Birinci (eksenel) yatak boyunca basınç düşüşü (ΔP) değişimi Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	168
Şekil 9.8. İkinci (eksenel) yatak boyunca basınç düşüşü (ΔP) değişimi Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	169
Şekil 9.9. Üçüncü (radyal) yatak boyunca basınç düşüşü (ΔP) değişimi Giriş: T=699 K, P=276 atm, X=0.0269 ve f=0.9 durumunda	170
Şekil E1. Sabit katalitik yatak üzerinde alınan bir hacim elemanı	184
Şekil E2. Amonyak denge reaksiyonu hız değişimi	187
Şekil E3. Amonyak sentez reaksiyonu denge sabiti-sıcaklık değişimi	188
Şekil E4. Amonyak sentez reaksiyonu denge eğrisi	189

TABLO LİSTESİ

	Sayfa no
Tablo 1.1. Metanın reforming reaksiyonu sıcaklık-denge sabiti değerleri.	8
Tablo 1.2. Karbon monoksit dönüştürme reaksiyonu denge değerleri.	11
Tablo 1.3. Değişik sıcaklık-basınç değerlerindeki denge amonyak yüzdesi.	17
Tablo 1.4. Sıvı amonyak içerisindeki gazların değişik sıcaklıklardaki çözünürlüğü.	19
Tablo 1.5. Sıvı amonyak içerisinde değişik sıcaklık ve basınçlardaki amonyak konsantrasyonu.	20
Tablo 1.6. Amonyak senezinde kullanılan katalizörlerin fiziksel özellikleri	22
Tablo 8.1. Birinci (eksenel) yatak için sıcaklık ve %dönüşüm dağılımı. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	69
Tablo 8.2. İkinci (eksenel) yatak için sıcaklık ve %dönüşüm dağılımı. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	70
Tablo 8.3. Üçüncü (radyal) yatak için sıcaklık ve %dönüşüm dağılımı. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda	71
Tablo 8.4. Birinci (eksenel) yatak için sıcaklık ve %dönüşüm dağılımı. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	110
Tablo 8.5. İkinci (eksenel) yatak için sıcaklık ve %dönüşüm dağılımı. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	111
Tablo 8.6. Üçüncü (radyal) yatak için sıcaklık ve %dönüşüm dağılımı. Giriş: $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=1$ durumunda	112

	Sayfa no
Tablo 8.7. Birinci (eksenel) yatak için sıcaklık ve %dönüşüm dağılımı. Giriş: $T=699$ K, $P=276$ atm, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	151
Tablo 8.8. İkinci (eksenel) yatak için sıcaklık ve %dönüşüm dağılımı. Giriş: $T=699$ K, $P=276$ atm, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	152
Tablo 8.9. Üçüncü (radyal) yatak için sıcaklık ve %dönüşüm dağılımı. Giriş: $T=699$ K, $P=276$ atm, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda	153

TEŞEKKÜR

Beni sürekli destekleyerek çalışmalarımı yönlendiren saygıdeğer tez hocam Prof. Dr. Selahattin GÜLTEKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana her türlü imkanı sağlayan **İGSAS** (İstanbul Gübre San. A.Ş.) Üretim Müdürü Reşat YOLASIĞMAZ'a, Üretim Müdür Yardımcısı Aziz AYAR'a, tezimle ilgili verdiğim seminere gelme nezaketini göstererek değerli bilgilerini aktaran Üretim Baş Mühendisi Atalay SANLI ve Üretim Mühendisi Mümin HACIMUSALAR'a, çalışmalarımı dinleyerek önemli önerilerde bulunan British Colombia Üniversitesi'nden Prof.Dr. Sander ÇALIŞAL'a, fikir alışverişinde bulunduğum hocam Doç.Dr. Eser KILIÇ'a , hocam Doç.Dr. Abdürrezzak BOZDOĞAN'a, her zaman yardımlarını gördüğüm hocam Yrd.Doç.Dr. Seyfettin ERTURAN'a , Arş.Gör. Fevzi ÖZKAN'a, Öğretim Gör.Dr. Jale GÜLEN'e, Arş.Gör. Fatma KARACA'ya, Arş.Gör. İnci UYGUN'a, C++ Dili ile yazılan Sürekli Sistem Model Programının yapımında yardımcı olan becerisi ve dostluğu ile tanınan Matematik Yüksek Mühendisi Abdülkadir TEPECİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Başarılarımı başarısı sayan, çalışmalarım boyunca bana her türlü desteği sağlayan sevgili eşim Kimya Mühendisi Saliha ÜNAL'a ve kızlarım Ahsen ve Ayça'ya en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ÖZET

Çok yönlü kullanım sahası olan amonyak, dünya çapında özellikle tarım alanında en önemli kimyasal maddelerden birisidir. Dolayısıyla, amonyak üretim proseslerinde sentez reaktörünün verimliliğinin arttırılması, hem bağlı bulunduğu diğer proseslerin dengesi hem de ekonomisi bakımından son derece önemlidir.

Bu çalışma amonyak sentez reaktörü proses parametre değerleri değişimlerinin sentez reaktörü verimliliğine etkileri üzerinde olmuştur. Sentez reaktörü adyabatik olup çok yüksek proses parametre değerlerine sahiptir (basınç: 220-300 atm, sıcaklık: 420-550 °C, gaz sirkülasyon hızı: 460.000 Nm³/saat).

Bu çalışmada, *İGSAŞ* (İstanbul Gübre San. A.Ş.)' a ait çok yataklı (eksenel, eksenel, radyal) katalitik amonyak sentez reaktörü model olarak alınmıştır.

Sistem için kurulan model denklemlerinde, prosesi en çok etkileyen ve reaksiyon verimliliğinde direkt etkili olan proses değişkenleri (T, X, P, f.. vb.) kullanılmıştır. Çıkarılan iki boyutlu (eksenel-radyal) model denklemleri halen çalışmakta olan *İGSAŞ* (İstanbul Gübre San. A. Ş.) reaktörünün özelliklerine göre karakterize edilmiştir.

Model denklemlerinin çözüm hesaplamaları *İGSAŞ* (İstanbul Gübre San.A.Ş.) sentez reaktörüne ait üç farklı giriş proses parametre değerleri üzerinden yapılmış ve sonuçlar gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır.

İki boyutlu (eksenel- radyal) model denklemlerinin çözümünde *Sonlu Farklar Yöntemi* kullanılmıştır. Sonlu Farklar Yöntemi ile yapılan analitik çözümlerde, tablo ve şekillerin oluşturulmasında *MATCAD* Paket Programı kullanılmıştır.

Ayrıca C++ Program Dili kullanılarak yapılan *Sürekli Sistem Model Programı* (CSMP) ile de model denkemlerinin çözümü kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.

Model denklemlerinin çözümüyle sentez reaktörünün herhangi bir noktasında sıcaklık, %dönüşüm ve basınç değerleri de belirlenebilmektedir.

ABSTRACT

Ammonia is one of the most important chemical compounds in the world, with divers fields of usage, especially in agriculture. The improvement of the efficiency of the ammonia production processes is extremely important for economical reasons as well as stability of related processes.

This study is based, on the effect of the changes of process parameters, in ammonia synthesis reactors, on their efficiency. The synthesis reactor is assumed to be adiabatic, and has very high process parameters (pressure: 220-300 atm, temperature: 420 - 550 degrees, gas circulation speed: 460 000 Nm³/hour).

As a model a multibed (axial, axial, radial) catalytic, ammonia reactor of *İGSAŞ* (İstanbul Gübre San. A.Ş.) is studied.

In the equations representing the chemical processes, the parameters (T, X, P, f..) that affect significantly, the chemical process and the efficiency of the reaction, are used. The two dimensional (axial- radial) modeling equations are further characterized, following the parameters of the operational reactor of *İGSAŞ* (İstanbul Gübre San. A.Ş.).

The solutions of the modeling equations are obtained for, the three different input parameters of the *İGSAŞ*'s reactor (İstanbul Gübre San. A.Ş.). The results are compared with the full scale experimental values.

The two dimensional (axial, radial) modeling equations are solved by a finite difference method. **MATCAD** numerical software package is used for the analytical solution and presentations. In addition a Continuous System Modeling Program (CSMP) written in C++ permitted, the relatively easy solution of the modeling equations.

The solution of modeling equations gives the values of temperature, percent conversion, pressure at any point in the synthesis reactor.

1. GİRİŞ

Azot bileşiklerinin toprağa verilmesiyle toprağın gıda sağlama gücünün artırılması insanlık yaşamında çok önemli bir yer işgal eder. Kimyagerler ve kimya mühendisleri azot türevlerini, ekonomik bir yol kullanarak, havadan elde etmeyi başarmışlardır. İlk başarılı proses (1904) Ark Prosesi olup çok fazla miktarda elektrik enerjisi gerektirir. Fakat günümüzde daha az enerji ve daha düşük dönüşüm gideri gerektiren prosesler kullanılmaktadır. Bu proseslerde azot, hidrojen ile reaksiyona girerek amonyak oluşturur.

Amonyak bugün en önemli kimyasal maddelerden biri olup çok büyük miktarlarda üretilmektedir. Bu üretimin ekonomik oluşu, pek çok azot bileşiklerinin üretimi ve azotlu gübre eldesi bu yöntemle yapılmaktadır. *Bu olay kimya mühendislerinin tarihteki en önemli başarılarından biridir.*

2. Dünya Savaşından önce amonyak üretim kapasitesi değişmemiştir. Fakat savaş sırasında patlayıcı maddelere olan ihtiyaç, nitrik asit üretiminin ve dolayısıyla amonyak üretiminin artmasına neden olmuştur. Savaştan sonra mevcut amonyak kapasitesi gübre üretimine yönlendirilmiştir. Dünyadaki nüfus artışı ile birlikte amonyak üretim kapasiteleri de artış göstermiştir.

Amonyak, dünyada savaş ve barış zamanlarının vazgeçilmez olan kimyasal maddesidir. Gelişmiş ülkelerde ilk kurulan tesisler Amonyak Üretim Tesisleridir. Amonyak üretiminde, sentez reaktörünün tipi ve kullanılan katalizörlerin özellikleri sentez reaktörünün verimliliğinde çok önemli bir yer tutar.



1.1. Amonyakın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Amonyak (NH_3), azot ve hidrojenden oluşan, renksiz, keskin kokulu, gözleri yakan bir gazdır. Havadan daha hafiftir (yoğunluğu 0,60). Atmosfer basıncı altında $-33\text{ }^\circ\text{C}$ 'da kolayca sıvılaşır ve bu halde soğutucu ve çözücü olarak da kullanılır. Suda çok kolay çözünür.

Amonyak gazı ısıtılınca, azot ve hidrojen vererek bozunur. Saf oksijende fazla ışık vermeyen bir alevle yanarak, su buharıyla azot çıkarır. Hafifçe ısıtılmış platin (Pt) süngerinden geçirilen bir amonyak gazı-hava karışımı nitrik asit üretiminde kullanılan azot dioksit meydana getirir. Toprakta amonyaklı bileşikler buna benzer bir oksitlenmeye uğrayarak nitrat haline geçer (Freitag and Sheibler, 1986).

1.2. Amonyakın Kullanıldığı Alanlar ve Ekonomisi

Amonyak, modern uygarlığın yararlandığı ana ham maddelerden biridir. Susuz amonyağın en büyük tüketicisi suni gübre endüstrisidir. Kalsiyum ve sodyum nitrat, amonyum sülfat, nitrat ve fosfat, amonyaklandırılmış süper fosfatlar ve üre gibi gübrelerin üretiminde susuz amonyak kullanılır. Anhidramonyak, özel makinalar kullanılarak doğrudan toprağa verilebilen çok önemli bir gübredir. Amonyak amonyum nitratla birlikte, her yıl giderek artan bir miktarda kullanılmaktadır. Amonyak, hemen tüm askeri amaçlı patlayıcıların başlangıç maddesidir. Susuz soda, nitrik asit, naylon, plastikler, vernikler, organik boyar maddeler, ağartıcılar, lastik ve diğer ürünlerin üretimi için amonyak gerektiğinden, endüstride hemen her yerde kendisine rastlanır. Amonyak endüstride, sulu amonyak çözeltisi ve anhidramonyak olmak üzere iki şekilde bulunur. Ticarete satılan sulu amonyak çözeltisi, 0,92 yoğunlukta olup ortalama %20-25 amonyak içerir.

1.3. Amonyak Üretimi

Amonyak üretiminde ham madde olarak doğal gaz, nafta, kömür veya rafineri atık gazları kullanılmaktadır. Ham madde kaynakları farklı olan üretimlerde işletme prosesleri de farklılık gösterir. Doğal gaz diğer ham madde kaynaklarına nazaran daha ergonomik olduğundan yeni işletmeler bu kaynağa göre tasarlanmakta hatta nafta ve diğer ham madde kaynaklı işletmeler imkanlar dahilinde doğal gaza dönmektedir. Model olarak aldığımız **İGSAŞ** (İstanbul Gübre Sanayi A.Ş.) tesisleri de nafta' dan doğal gaza geçilen bir tesistir.

Amonyak üretiminde en önemli proseslerden biri de hidrojen üretimidir. Hidrojen üretimi büyük miktarda enerji gerektirir. Bu nedenle hidrojen üretimi için gerekli olan enerji kaynağı, gerçekleştirilecek prosesin tipini belirler (Green, 1974).

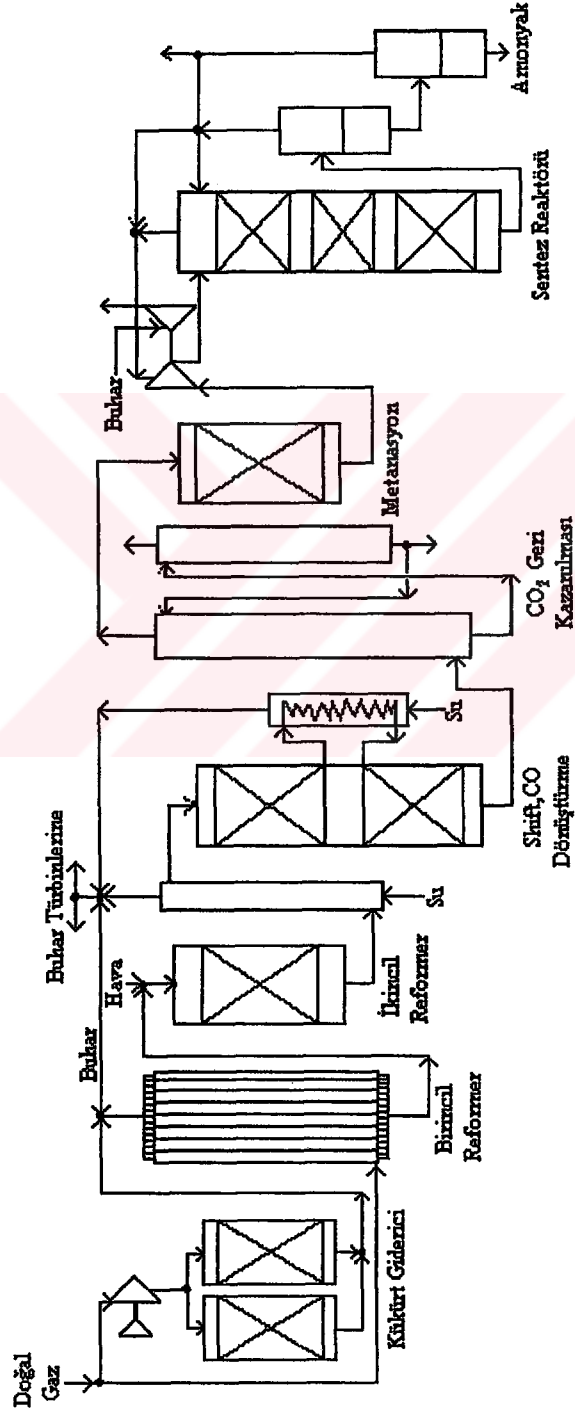
Doğal gaz, genellikle tercih edilen enerji kaynağıdır. Kömür iyi bir enerji kaynağı fakat kötü bir hidrojen kaynağıdır.

Halen kullanılan amonyak üretim prosesleri şunlardır (Maclean et al,1980): TVA, Chemico, SBA, OSAG-Linz, Kellog, Topsoe, Uhde, Lummus, ICI, Braun.

Bir Uhde tasarımı olan **İGSAŞ** (İstanbul Gübre Sanayi A.Ş.) 'a ait amonyak üretimi proses akış diyagramı Şekil 1.1.'de verilmiştir.

1.3.1. Amonyak Üretim Proseslerinin Tanımı

Doğal gazın içinde bulunma olasılığı olan kükürt bileşikleri, “ Reformlama ve CO Dönüşümü” katalizörlerini zehirleyici özelliğe sahip olduklarından bu bileşiklerden arındırılması gerekir. Ham madde olarak kullanılacak doğal gaz bir kompresörde sıkıştırılır, ısıtılır ve kükürt gidericiye gönderilir. Burada gaz içindeki kükürt bileşikleri ZnO üzerinde adsorplanır. Kükürdü giderilen doğal gaz, aşırı ısınmış buharla karıştırılır, ısıtılır ve “Birincil Reformer”e gönderilir. Burada doğal gaz, çeşitli katalizörler üzerinde



Şekil 1.1. Doğal gazdan amonyak üretimi proses akış diyagramı (İGSAŞ)

CO, CO₂ ve H₂'ye dönüşür. Daha sonra "İkincil Reformer" bölümüne gelen karışıma, gerekli azot oranını sağlamak üzere sıcak hava verilir. Gazın yanması ile oluşan ısı, katalizör yatağından geçen gazdaki metanın reformlanması dolayısıyla azalır. Gazın içindeki CO, farklı sıcaklıklarda çalışan ikinci katalitik reaktörden geçirilir. Bu reaktörlerde H₂O ile reaksiyona giren CO, CO₂ ve H₂'ye dönüşür. Proses gazının içindeki CO₂, Benfield CO₂ giderilmesi prosesi kullanılarak absorblanır. Benfield çözeltisi, monoetanol amin (MEA), K₂CO₃ ve organik katkı maddelerinden hazırlanır.

Proses gazında çok küçük miktarlarda kalan CO ve CO₂'in amonyak sentezi katalizörleri üzerinde zehirleyici etki yapmasını engellemek için metanlaştırma reaksiyonu uygulanır. Nikel katalizör üzerinde, proses gazındaki H₂'in küçük bir bölümü ile reaksiyona giren CO ve CO₂'den CH₄ oluşur. Metanatörü terkeden içerisinde 3/1 oranında H₂, N₂ bulunduran temizlenmiş sentez gazı, kademeli kompresörlerle sıkıştırılarak sentez reaktöründe katalizörlerin etkisi ile amonyağı oluşturur. Sentez reaktörünü terk eden gazlar soğutucularda soğutulur ve yüksek basınçlı ayırma kaplarında sıvı amonyak içindeki gazların tümü karışımdan ayrılır. Elde edilen sıvı amonyak ise, amonyak deposuna gönderilir.

Amonyak sentezleme bölümünde yüksek basınçlı atık gazdan hidrojenin geri kazanılması, yakıt ve ham madde gereksinimini azaltan bir yöntemdir. Atık gaz su ile yıkanır ve bir gaz ayırıcısıyla içindeki H₂'den ayrılan metanca zengin gaz, yakıt olarak reformerde kullanılır. Suda çözünen amonyak ise bir amonyak ayırıcısında su'dan ayrılarak amonyak deposuna gönderilir.

1.3.2. Amonyak Üretim Proses Aşamaları

Amonyak Üniteleri :

Amonyak üretimi için "Su Buharı Reformlama" prosesi uygulanmaktadır. Bu prosesten önce hidrokarbonların kükürdünü giderilir. Hidrokarbonlardan Buhar

Reformlama prosesi ile sentez gazı hazırlanır, arıtılır ve amonyak sentezi reaktörüne gönderilir (Graeve, 1981).

Amonyak tesisi sırasıyla 6 proses ünitesinden meydana gelmiştir.

- a) Kükürt giderme ünitesi
- b) Reformer ünitesi
- c) Karbon monoksit dönüştürme ünitesi
- d) Karbon dioksit giderme ve geri kazanma ünitesi
- e) Metanasyon ünitesi
- f) Sıkıştırma ünitesi
- h) Amonyak sentezi ünitesi

2.3.2.1. Kükürt Giderme

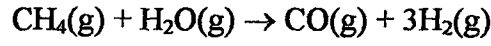
Reformer katalizörü kükürde karşı çok hassas olduğundan doğal gaz reformere verilmeden önce son bir kükürt giderme işlemine daha tabi tutulur. Proses şarjı doğal gaz, H_2 gazı ile karıştırılıp fırında ısıtıldıktan sonra kobalt-molibden tipi katalizörle yüklü reaktöre gönderilir. Burada gerçekleşen hidrojenasyon reaksiyonları sonucunda organik kükürt H_2S haline geçer. Reaktörden çıkan akım soğutucularda yoğunlaştırıldıktan sonra ZnO katalizörlerle yüklü adsorber kolonundan geçirilerek proses şarjı içerisindeki H_2S 'in tamamı tutulur.

2.3.2.2. Reformer Ünitesi

Amonyak ünitesi için gerekli hidrojen reformer ünitesinden elde edilir. Reformlama iki aşamada olur.

1.3.2.2.1. Birincil Reformer

Reforming reaksiyonu aşağıdaki gibidir. Reaksiyon endotermik olup büyük miktarda ısı girişi gerekir. Reformerdeki reaksiyon 800°C sıcaklık ve 34-35 atm basınç altında gerçekleşir.



Prosesin temel prensibi, ön ısıtmaya tabi tutulan doğal gaz ve su buharı özel katalizörler üzerinden geçirilerek hidrokarbonları H_2 ve CO 'e dönüştürmektir. Bu sırada bazı yan reaksiyonlar sonucunda, CO_2 ve CH_4 de oluşur.



Denge bileşimi; reaktör girişindeki buharın gaza oranına, sıcaklık, basınç ve reaksiyon karışımındaki inert madde miktarına bağlıdır. Hougen ve Watson metan'ın buharla reformingi için basitleştirilmiş genel bir denklem vermiştir (Hougen et al, 1959).

$$K = \frac{(N_{\text{CO}}) \cdot (N_{\text{H}_2})^3}{(N_{\text{CH}_4}) \cdot (N_{\text{H}_2\text{O}})} \cdot (K_\gamma) \cdot \left(\frac{\pi}{N} \right)^2 \quad [1.1.]$$

Burada;

K: Denge sabiti ($\text{atm}^{2/3}$), N_{co} : Karbon monoksitin mol sayısı (kmol)

N: Toplam mol sayısı (kmol), K_γ : Uçuculuk faktörü, π : Toplam basınç (atm)

Metanın reforming reaksiyonu için denge sabiti değerleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 1.1. Metanın reforming reaksiyonu sıcaklık-denge sabiti değerleri

Sıcaklık °C	Denge Sabiti
315	$2.186.10^{-7}$
427	$2.659.10^{-4}$
548	$4.900.10^{-2}$
649	2.679
760	$0.6343.10^2$
870	$8.166.10^2$
982	$6.755.10^3$

Bahsedilen reaksiyonlarda olduğu gibi karbon oluşumundan uzak durmak için buharın gaza oranı yeterli yükseklikte tutulmalıdır.

Bu reaksiyonlar için genellikle katalizör olarak nikel oksit (NiO) kullanılır. Toz halindeki nikel oksit ile alüminyum oksit karışımı olan bu katalizörler, kalsiyum alüminat çimentosuyla istenen boyuta şekillendirilir ve 650 - 1093 °C sıcaklıklarda kalsine edilerek hazırlanır.

Su buharı reformlama fırını ısıtma ve taşınım olmak üzere iki ana kısımdan meydana gelmiştir. Radyasyon bölümü 5-20 cm çapında yaklaşık 3-12 m uzunluğunda dikey olarak monte edilmiş ve içerisi katalizörlerle dolu krom-nikel borulardan meydana gelir.

Proses gazı ve buhar karışımı katalizör üzerine yukarıdan aşağıya doğru beslenir ve boruların alt kısmından uzaklaştırılır. Yukarı veya aşağıda fırına yerleştirilen brülörlerle borular ısıtılır. Borular boyunca homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamak için kapalı ısı kontrolü önemlidir. Dönüştürme bölümünde proses şarjı, kazan besleme suyu, kızgın buhar ve ikinci reformer için gerekli proses havası ısıtılır. Fırında yakıt olarak CH₄

ve H₂ gazları kullanılır. Birinci reformeri terkeden proses gazında ortalama %8 CH₄ bulunur.

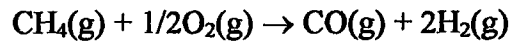
Buhar ve doğal gaz fırına girmeden önce 3-5 oranında karıştırılır. Bu gaz karışımı katalizör yatağına girmeden önce ön ısıtmaya tabi tutulur.

Buharın karbona oranının 4-8 aralığında olması durumunun avantaj olduğu ileri sürülür. Bu oranlar atık ısı kaynaticılarının daha az kirlenmesine dolayısıyla reformer katalizörünün daha verimli kullanılması ve boru ömrünün daha uzun olmasına imkan sağlar (U.S. Patent, 3-268).

Gaz ürün için hidrojenin karbon monoksit oranı çoğunlukla 4-5 dir. Bununla birlikte reaksiyonda ek buhar kullanılırsa bu oran artırılabilir. Buhar ve karbon monoksit'den hidrojen üretimi prosesi verimliliğinin yüksek olması reformerden sonra gelen karbon monoksit shift reaktörüne olan talebi azaltır.

1.3.2.2. İkincil Reformer

Birincil reformerden çıkan proses gazı ve ön ısıtmaya tabi tutulmuş basınçlı hava ikinci reformere beslenir. Amonyak sentezinde gerekli olan azot, hava ile sisteme burada verilir. Havadaki oksijenin hızlı reaksiyonu nedeniyle karışma noktasında sıcaklık 1280°C'ye ulaşır. Oluşan bu ısı daha sonra gerçekleşecek olan endotermik reforming (ikincil dönüşüm) reaksiyonuna zemin hazırlar ve sıcaklığın yükselmesi ile gazda bulunan metan da katalizör üzerinden yeniden H₂O ile reaksiyona girerek hidrojen miktarını artırır. Gazların ikincil reformer çıkışındaki sıcaklığı 980°C olur. Reaksiyon dönüşüm oranı; sıcaklık, basınç, mevcut olan azot ve buharın miktarına bağlıdır.



Doğal gazın sınırlı miktarda oksijenle yanmasıyla yaklaşık olarak her karbon monoksit molü başına 2 mol hidrojen içeren sentez gazı elde edilebilir (Kent, 1974).

Reaksiyon ekzotermik olup refrakter hatlı veya su soğutmalı reaktörlerde gerçekleştirilmelidir. Reaksiyon sıcaklığının yüksek olması karbon monoksit ve hidrojen oluşumunu artırır (Research Project Standarts, 1970). Yüksek basınç reaksiyonu ters yönde etkiler. Bu reaktörde maksimum çalışma basıncı 102 atm olup, düşük metan içerikli gaz da kullanılabilir. Buharın reaksiyona girmesi durumunda hidrojenin karbon monoksit oranı 2' nin üzerine çıkar.

Doğal gaz ve oksijen karışımının ön ısıtılmaya tabi tutulması doğal gaz için gerekli olan oksijen miktarını azaltır. Doğal gazın bir kısmı, ürünleri istenen sıcaklığa yükseltmek için karbon dioksit yakılır. Gerçekleşen kısmi yanma reaksiyonu, ürünleri istenen sıcaklığa yükseltmek için yeteri kadar ekzotermik değildir.

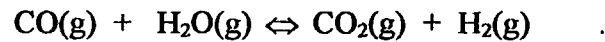
Sentez reaktörü için gerekli azot oranı ikincil reformere verilen havanın miktarı ile ayarlanır

Bu reforming adımında kullanılan katalizörün birincil reformer katalizörü kadar aktif olması gerekmez. Nikel konsantrasyonu birincil katalizördeki %25'e kıyasla %15' dir.

İkincil reformerden 960-980 °C sıcaklıkta çıkan proses gazı bir atık ısı kazanından geçirilerek 340-360 °C'ye kadar soğutulur ve CO₂ dönüştürme ünitesine verilir. Atık ısı kazanında elde edilen yüksek basınçlı buhar, amonyak ünitesinin enerji (proses buharı) ihtiyacının büyük bir kısmını karşılar.

1.3.2.3. Karbon Monoksit Dönüştürme Ünitesi

Buharla karbon monoksidin, karbon dioksit ve hidrojene dönüşümü önceki proseslerde üretilen ham sentez gazlarının ekonomik kullanımını sağlamak için gereklidir. Bu işlem aşağıdaki reaksiyonla ilerler.



Reformer ünitesinden çıkan gaz karışımının içinde yaklaşık olarak %12 CO bulunur. Karbon monoksit dönüştürmesi iki kademedeyi yapar.

Birinci kademedeyi yüksek sıcaklıkta (350-400 °C) çalışan demir-krom oksitli katalizör yüklü bir reaktörde su buharı ile reaksiyona giren CO, CO₂ ve H₂'ye dönüşür. Birinci kademe sonunda gazda yaklaşık %2-3 CO kalır.

İkinci kademedeyi düşük sıcaklıkta (220-240 °C) özel çinko/bakır katalizörü yüklü bir reaktörde CO %0,3 miktarına kadar düşer. Proses gazı ikinci kademeye girmeden önce, diğer ünitelerde ve kazan besleme suyunu ısıtmada kullanılarak 220 °C'ye kadar soğutulur.

Bu katalizör kükürde ve halojenlere karşı çok hassas olduğundan, proses girdileri içindeki kükürt miktarı kükürt giderme ünitesinde 1 ppm'i geçmeyecek seviyede olmalıdır (Lombard, 1969). Bu nedenle karbon monoksit katalizörünü korumak için reaktör girişine bir yedek katalizör yerleştirilir.

Reaksiyon ekzotermik olup denge sabiti basınçtan etkilenmez ancak yüksek sıcaklık, dönüşümün tamamlanması için uygun değildir.

Tablo 1.2. Karbon monoksit dönüştürme reaksiyonu denge değerleri

Sıcaklık °C	Denge Sabiti
204	207
232	119
260	72.8
287	46.2
315	31.4
343	22.0
371	15.9

1.3.2.4. Karbon dioksitin Uzaklaştırılması ve Geri Kazanılması

Karbon monoksit dönüştürme reaksiyonundan sonra proses gazında bulunan karbon dioksitin hidrojen ve azot'tan uzaklaştırılması gerekir. Karbon dioksit'in sistemden uzaklaştırılmasında değişik yöntem ve farklı absorberler kullanılır (Swaim, 1970). Karbon dioksit, su ile basınç altında gazın temizlenmesiyle absorpsiyon kolonunda; sıcak potasyum karbonat, monoetanol amin (MEA), sulfinol, propilen karbonat, soğutulmuş aseton veya metanol ile uzaklaştırılabilir. Fakat yaygın olarak kullanılan proses bir absorpsiyon ile bir rejenerasyon kolonundan meydana gelir.

Absorpsiyon kolonunda potasyum karbonat çözeltisi tarafından absorplanan karbon dioksit, doymuş çözeltinin rejenerasyonu sırasında geri kazanılır ve üre tesisine ham madde olarak gönderilir. Rejenere edilen çözelti tekrar absorpsiyon kolonuna geri verilir.

Karbon dioksit giderme ünitesinden çıkan proses gazında %0,1 kadar CO₂ vardır.

1.3.2.4.1. Su ile Temizleme

Karbon dioksit'i çözmek için büyük miktarda su gerekir. Ayrıca aşırı azot gereksinimini ve hidrojen kaybını önlemek için özel tasarım gereklidir (Uhde, 1973).

1.3.2.4.2. Sıcak Potasyum Karbonat

Bu sistemde %40 K₂CO₃ içeren sulu çözelti absorberde 118°C'de sirküle eder. Tutulan CO₂, çözeltinin 230°C'ye ısıtılmasıyla atmosferik basınç altında sıyrma kolonundan alınır. Korozyonu azaltmak için genellikle sirküle eden çözeltiye bir inhibitör



katılır. Çoğu yerde paslanmaz çelik ekipmanlar kullanılır. Bu sistem düşük buhar gereksinimi ve katalizör uygunluğuyla karakterize edilir.

Sistem CO₂'in çözünürlüğünü arttıran katkı maddeleriyle modifiye edilebilir. Alkanalamines ve As₂O₃ tipik katkı maddeleridir (Strelzof, 1981).

1.3.2.4.3. Monoetanol amin (MEA)

MEA'nın %15-20 oranındaki soda çözeltisi, basınç altında CO₂'i absorblamak için kullanılır. Sonra CO₂'in ayrıldığı sıyırma kolonunda çözelti ısıtılarak tekrar rejenere edilir. Bu sistem düşük basınçta iyi absorpsiyon özellikleriyle karakterize edilir.

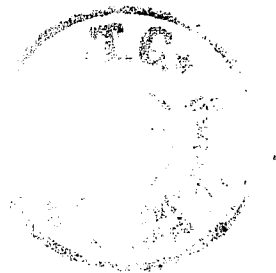
1.3.2.4.5. Sulfinol

Bu proses Shell Development Corp. Emoryville Calif tarafından geliştirilmiştir (U.S. Patent, 3-352). Kullanılan çözelti sulfalene (C₄H₈SO₂), diizopropanolamin ve su içerir. Proses basınç altında yüksek CO₂ tutma yeteneğiyle karakterize edilir.

Prosesde akım yönündeki nikel katalizörü kükürtten korumak için sistemin tasarımında dikkat edilmelidir (U.S. Patent, 3-347)

1.3.2.4.6. Propilen Karbonat

Bu proses önceden doğal gazdan CO₂ uzaklaştırılması için geliştirilmiştir (Strelzof, 1980). Absorblama çözeltisi az miktarda su ve propilen karbonat içerir. Sistem rejenerasyon için az miktarda gerekli olan buhar miktarıyla karakterize edilir ve ekonomik bir işlem için yüksek CO₂ kısmi basıncı gerekir. Temizlenmiş gaz %1-2 CO₂ içerir.



1.3.2.4.7. Soğutulmuş Aseton

Bu sistemde absorblayıcı olarak soğutulmuş aseton kullanılarak CO₂'in uzaklaştırılmasına çalışılmıştır. Fakat bu prosesin absorbsiyon verimliliği az olduğundan yaygın olarak kullanılmaz (U.S. Patent, 3-880).

1.3.2.4.8. Soğutulmuş Metanol

Bu sistemde absorblayıcı olarak soğutulmuş metanol kullanılarak CO₂'in uzaklaştırılmasına çalışılmıştır (U.S. Patent, 2-863).

1.3.2.4.9. Giammarco-Vetrocoke

Bu proses aktifleşmiş arsenik potasyum karbonat çözeltisinin absorblama gücüne dayandırılır (Green, 1974). H₂S ve CO₂ ortamdan uzaklaştırılır. CO₂ seviyesi yaklaşık %0.05' e kadar azaltılabilir ve elde edilen CO₂ saflığı %99 derecesindedir. Sirküle eden absorbsiyon çözeltisi korozif değildir.

1.3.2.5. Metanasyon

Karbon dioksit giderme ünitesinden gelen proses gazında % 0,1 CO₂ ve %0,3 CO bulunur. Bu miktar CO, amonyak sentez katalizörünün zehirlenmesine sebep olur. Bunu önlemek için, metanasyon ünitesinde CO ve CO₂, H₂ ile reaksiyona girerek, metan ve su haline dönüşür. Metanasyon, metan reforming prosesinin tersidir.



Düşük reaksiyon sıcaklığı ve hidrojenin aşırı karbon oksitlerinin tamamen uzaklaşmasını sağlar. Genellikle sentez devresine verilen proses gazındaki CO ve CO₂ miktarının 10 ppm'den az olması gerekir.

Bu proseste CO₂ 'in uzaklaştırılması için temizlenmiş olan sentez gazı yaklaşık 600°C sıcaklığa kadar ön ısıtma yapılır. Bu sentez gazı daha sonra bir nikel katalizör (Al₂O₃ üzerine NiO) üzerinden geçer. Katalizör olarak rutenyum da etkilidir. Kullanılan boşluk hızı prosesin basıncına bağlıdır.

Metanasyonda kullanılan katalizör ömrü normal olarak 1-3 yıldır. Kükürt ve halojenler katalizörü zehirler (Satterfield, 1991).

1.3.2.6. Sıkıştırma

Sentez gazının sıkıştırılmasında ve gazların tekrar sirkülasyonunda yenilikler olmuştur. Büyük kapasiteli işletmelerde gerekli basınç santrifüj kompresörlerle sağlanır. Santrifüj kompresörlerin avantajlarından biri de makina yağı ihtiyacının en az olmasıdır. Stokiyometrik orandaki hidrojen ve azot karışımı için kompresör sıkıştırma faktörlerini elde etmek mümkündür (Perry, 1985).

Santrifüj kompresörler buhar türbinleriyle çalıştırılır. Kompresörler için gerekli olan yüksek sıcaklık ve yüksek basınçtaki buhar, ikincil reformerden ayrılan gaz karışımı ve birincil reformer baca gazındaki ısının kullanılmasıyla üretilir.

1.3.2.7. Amonyak Sentezi

Metanasyon ünitesini terk eden proses gazı (sentez gazı) bir santrifüj kompresör ile sentez basıncına kadar sıkıştırılır. Amonyak sentezi 136-680 atm basınç aralığında gerçekleştirilir. Tercih edilen basınç sentez gazının niteliğine ve diğer şartlara bağlıdır.



O.J.Quartulli'nin sentez basıncının seçiminde gözönüne alınan faktörlerle ilgili çalışması mevcuttur (Quartulli, 1969). Reaksiyon dengesi, reaksiyon hızı ve amonyağın kondenzasyonu yüksek basınçta sağlanır. Mekanik problemler ve maliyette çok önemlidir. Bunlar , 200-320 atm basınç seviyesinin optimuma yakın olmasıyla sonuçlanır. Bu seviye aşağı veya yukarı olabilir.

Sentez devresi, bir reaktör ile bir seri ısı değiştiricilerinden meydana gelen kapalı bir devredir.

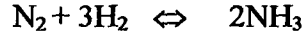
Sentez reaktöründen çıkan gaz hacim olarak yaklaşık % 17 amonyak içerir. Gazın sıcaklığı 390 °C'dir. Gazın ısısından buhar üretiminde ve reaktöre giren sentez gaz akımının ısıtılmasında faydalanılır. Meydana gelen amonyağın yoğunlaşarak devreden ayrılmasını sağlamak amacıyla gazın soğutulması gerekir. Soğutma işlemi, sırasıyla su soğutucuları ve refrijerasyon sistemi ile sağlanır. Yoğuşan amonyak çeşitli soğutma kademeleri arasında bulunan ayırıcılar vasıtasıyla sentez devresinden ayrılır ve bir basınç giderme kabında toplanır.

Metan, argon gibi inert gazların sistemde birikip reaktör verimliliğinin azalmasını önlemek amacıyla sirküle eden bir miktar gaz sistemden uzaklaştırılır (purge) ve sisteme taze sentez gazı katılır. Sentez gazı ilavesi son yoğunlaşma kademesinden önce yapılır. Böylece sentez gazı ile sisteme giren bir miktar su buharı yoğunlaşan amonyak tarafından absorbe edilerek devreden uzaklaştırılmış olur. Son kademe yoğunlaştırma işleminden sonra gaz sirkülasyon kompresörü vasıtası ile reaktöre sirküle edilir. Refrijerasyon sisteminde soğutucu olarak kapalı bir devrede sirküle ettirilen sıvı amonyak kullanılır. Refrijerasyon derecesi sentez basıncına bağlı olarak değişir.

Sentez reaktörü işletiminde dikkate alınması gereken faktörlerden bazıları da şunlardır: Katalizör hacmi, kullanılan maddeleri yeniden kullanılır hale getirme akışı, üretilen gazın sıkışması için gereken beygir gücü, sirküle eden gaz akışı, soğutma, ekipman maliyeti ve ekipman güvenirliliği.



Amonyak denge reaksiyonu,



şeklinde olup ekzotermiktir. Reaksiyon için denge verileri Tablo 1.3.'de verilmiştir (Larson, 1924). Bu tablodan da görüldüğü gibi daha düşük sıcaklıklar amonyanın daha yüksek denge konsantrasyonlarını ortaya çıkarır. Bununla birlikte düşük sıcaklıklarda reaksiyon hızı yavaştır. Proses yaklaşık 400°C'nin altındaki sıcaklıklarda ekonomik değildir. Çoğunlukla sıcaklık 400-600°C aralığında iken her geçiş başına yaklaşık %15-30 dönüşüm elde edilir.

Tablo 1.3. Dengede amonyak yüzdesi ($\text{H}_2/\text{N}_2 = 3$)

Sıcaklık °C	Basınç (atm)						
	1	10	20	100	300	600	1000
200	15.30	50.66	74.38	81.54	89.94	95.37	98.29
300	2.18	14.73	39.41	52.04	70.96	84.21	92.55
350	0.90	7.41	25.23	37.35	59.12	75.62	87.46
400	0.44	3.85	15.27	25.12	47.00	65.20	79.82
500	-	1.21	5.56	10.61	26.44	42.15	57.47
600	-	0.49	2.25	4.52	13.77	23.10	31.43
700	-	-	1.05	2.18	7.28	-	12.87

1.3.2.7.1. Sentez Denge Reaksiyonu Entalpisi

Amonyak sentezi için reaksiyon ısısı aşağıdaki denklemle verilmiştir (Nielsen, 1956).

$$\Delta H = \left(0.54526 + \frac{840.609}{T} + \frac{459.73410^6}{T^3} \right) \cdot P - 5.34685T - 0.252510^{-3} \cdot T^2 + 1.6916710^{-6} \cdot T^3 - 9157.0$$

[1.2.]

Burada; T : Sıcaklık (K), P: Basınç (atm), ΔH : Entalpi (cal/mol) 'dür.

1.3.2.7.2. Sentez Denge Reaksiyon Hızı

Katalizör üzerindeki reaksiyon hızı; katalizörün tipine sentez ve bozunmanın hız sabitine, azot, hidrojen ve amonyakın kısmi basınçlarına bağlıdır. Amonyak sentez denge reaksiyonu için Temkin ve Pyzhev aşağıdaki hız denklemini önermiştir (Dayson and Simon, 1968).

$$r = f \left[k_1 \cdot \frac{(P_{N_2}) \cdot (P_{H_2})^{1.5}}{(P_{NH_3})} - k_2 \cdot \frac{(P_{NH_3})}{(P_{H_2})^{1.5}} \right]$$

[1.3.]

Burada;

f: Katalizör aktivite katsayısı, P_{N_2} : Azot'un kısmi basıncı (atm),

r: Amonyak sentez denge reaksiyon hızı (kmol/kg.kat saat)

Temkin ve Pyzhev hız denklemini, diatomik şekildeki azot molekülünün katalizör yüzeyinde kemisorpsiyonu ve kimyasal olarak adsorblanmış azot molekülünün hidrojen

molekölü ile birleşmesi temeli üzerine kurmuşlardır. Çoğu sistemler 136-340 atm işletme basınç aralıklarında tasarlanır.

Sirküle eden proses sentez gazında argon, metan gibi inert maddelerin konsantrasyonları zamanla yükselir ve sirkülasyon sisteminde birikir. Dolayısıyla H_2 , N_2 'un kısmi basınçları düşer. Bunun sonucunda amonyak dönüşümü az olur. Böyle durumlarda bu maddelerin sistemden temizlenmesi ve hidrojenin azota özel oranının sağlanması gerekir. Bu reaktanlardan birinin aşırısı inert madde olarak hareket eder. Bu durumda da istenen dönüşüm için temizleme gerekir.

Ekipman tasarımında, sentez gazlarının sıvı amonyak içerisindeki çözünürlüğünü de hesaba katmak gerekir. Sıvı amonyakın gramı başına normal sıcaklık ve basınçta sentez gazlarının çözünürlüğü Tablo 1.4.' de verilmiştir (Kent, 1974).

Tablo 1.4. Sıvı amonyak içerisinde gazların değişik sıcaklıklardaki çözünürlüğü

Gaz	5°C	30°C
Hidrojen	0.095	0.112
Azot	0.117	0.126
Argon	0.151	0.161
Metan	0.270	0.392

Dört gazın da yüksek sıcaklıklarda daha çözünür olduğuna dikkat edilmelidir.

İnert maddelerin optimum konsantrasyonu prosesin sıcaklığına, basıncına ve sirküle eden gazdaki inert maddelerin konsantrasyonuna bağlıdır. Sıvı amonyakta argon, metan, hidrojen ve azotun çözünürlüğü sıvı amonyakla sistemden uzaklaştırılan gazların miktarını belirler.

Amonyakın üretim hızı sistemdeki gazların tekrar kullanılabilir hale gelme hızına bağlıdır. $3H_2:1N_2$ oranındaki sentez gazı karışımına göre, sıvı amonyak üzerinde değişik

sıcaklık-basınç değerlerinde amonyak buharı konsantrasyonları tablo halinde verilmiştir (Tablo 1.5.).

Tablo 1.5. Sıvı amonyak üzerinde değişik sıcaklık-basınç değerlerinde amonyak buharı konsantrasyonları

Basınç (atm)	Sıcaklık (° C)	% NH ₃
50	-20	5.7
	0	10
	20	19.0
	30	25.5
100	-20	3.25
	0	5.9
	20	11.0
	30	15
200	-20	2.05
	0	3.95
	20	7.5
	30	10.04
300	-20	1.62
	0	3.25
	20	6.4
	30	8.8
-200	-20	1.19
	0	2.35
	20	4.90
	30	6.80

1.3.2.7.3. Amonyak Sentezinde Kullanılan Katalizörler

Hidrojen ve azotun, tek başlarına çok yavaş reaksiyon vermeleri sebebiyle, reaksiyonun ekonomik olması için reaksiyonun debisi arttırılmalıdır. Ticari amaçlı amonyak sentezlerinin temeli, ekonomik değeri olan bir derecede reaksiyon hızının

arttırılması için, etkin bir katalizör kullanılması esası üzerine kurulmuştur. Bulunmuş olan böyle bir katalizör indirgenmiş demir oksittir (Fe_3O_4). Katalizör olarak kullanılan demir oksitler nispeten saf demirin elektrikli arkla eritilmesiyle hazırlanır. Sonra bu maddeye (Fe_3O_4); potasyum, kalsiyum, magnezyum veya alüminyum oksitler gibi geliştiriciler (promotör) katılır. Bu geliştiriciler sinterleşmeyi önlediği gibi aktiviteyi de artırır.

Katalizör önce, reaksiyona giren maddelerden biriyle reaksiyon vererek bir ara madde oluşturur ve bu ara madde, reaksiyona girecek olan ikinci madde ile reaksiyon vererek katalitik reaksiyon ürünü verir ve katalizörü serbest halde bırakır. Amonyak katalizörüne yüzeyindeki aktif demir atomlarıyla bir nitrit katılmasının mümkün olduğu kabul edilmektedir. Demir, $520\text{ }^\circ\text{C}$ 'ın üzerine ısıtıldığı zaman hızlı bir şekilde aktivitesini kaybetse de, çok iyi sonuç veren bir katalizör malzemesidir. Katalizör metalik oksitlerin katılmasıyla daha gelişmiş bir şekle sokulur. Bu, aktivite artımı şeklinde kendini gösterir. Alüminyum, zirkonyum veya silisyum gibi metallerin amfoterik oksitleri ve potasyum oksit gibi bir alkali oksitler ana katalizör geliştiricilerdir. 3:1 oranına sahip saf hidrojen-azot gazı karışımı 100 atm basınç , 50000 ($\text{Nm}^3\text{gaz}/\text{m}^3\text{kat.saat}$) boşluk hızı (reaktör boş iken), $450\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta çift geliştirilmiş böyle bir katalizör üzerinden geçirildiğinde, amonyak yüzdesinin 13-15 olmasına karşılık, tek geliştirilmiş (promote edilmemiş) katalizörde % 3-5 kadardır (Emmet and Brunauer, 1937). Modern katalizörler K_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 ve çok az miktarlarda TiO_2 , ZnO_2 , V_2O_5 bulunduran magnetitten yapılırlar. Geliştiriciler indirgenmiş katalizörü daha gözenekli yapar. Düşük sıcaklıkta daha aktif olan katalizörler daha geçerlidir. Bu katalizörler bakır, fosfor, arsenik ve kükürt gibi pek çok maddelerin temasından etkilenecek zehirlenir. Bunlar demirin elektronik yapısını etkiler. Karbon monoksit de katalizörün aktivitesini önemli derecede azaltır. Bu sebeple amonyak sentezinde azot ve hidrojenin saflaştırılmasının maliyeti oldukça yüksektir.

Amonyak sentezinde kullanılan katalizörlerin genel fiziksel özellikleri Tablo 1.6.'da verilmiştir (BASF, 1974). Bu katalizörlerin ömrü ortalama 10-12 yıl'dır. Katalizörlerin

kullanım süresi boyunca aktiviteleri de azalır (BASF, 1977). Bu değişim Şekil 1.2.'de grafik olarak gösterilmiştir (BASF, 1978).

İyi bir katalizörde olması gereken özellikler şunlardır :

Katalizör kalitesi,

Gaz sirkülasyonu için daha az enerjinin kullanılması,

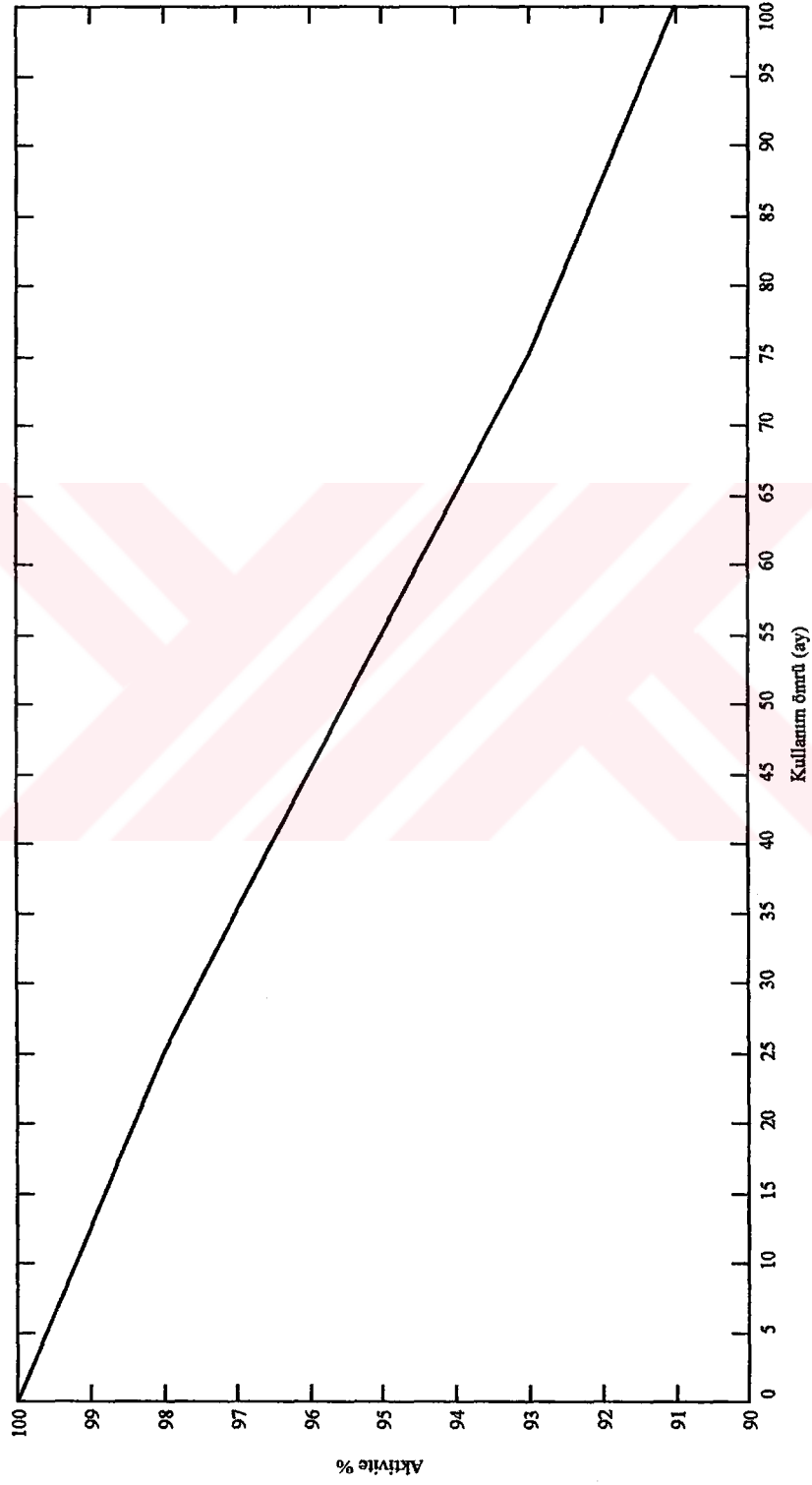
Amonyakın sıvılaştırılmasında maliyetin düşük olması,

Sirkülasyon gazının kompozisyonundan dolayı sentez reaktör verimliliğinin daha az etkilenmesi,

Ömrünün uzun olması.

Tablo 1.6. Amonyak sentez katalizörlerinin fiziksel özellikleri

Etkin çap ($deff=6v/A$):				
Boyut (mm)	3 - 6	6 - 10	8 - 10	16 - 23
$deff$	2.75	4.9	6.1	11.3
Boşluk Oranı:				
Boyut (mm)	3 - 6	6 - 10	8 - 10	16 - 23
Boşluk	0.410	0.425	0.438	0.505
Karışım Yoğunluğu ρ_B (kg/m ³):				
Boyut (mm)	3 - 6	6 - 10	8 - 10	16 - 23
ρ_B (ort.%3)	2.7	2.8	2.85	2.9
Isı Kapasitesi (kcal/kg °C):				
T (°C)	20	200	400	600
C_p	0.170	0.215	0.262	0.311
Isıl İletkenlik (kcal/mh°C):				
T (°C)	20	200	400	600
k_e	0.29	0.34	0.59	0.90



Şekil 1.2. Katalizör aktivitesinin değişimi

2. AMONYAK SENTEZ REAKTÖRLERİ

2.1. Sentez Reaktörleri Genel Özellikleri

Amonyak sentezinde değişik tiplerde reaktörler kullanılmaktadır. Bu reaktörler adyabatik olup çok yataklı veya çok tüplüdür (Bischoff and Froment, 1979). Aralarındaki fark, içerisindeki gazın akış şeklidir ki bunlar; eksenel, radyal veya eksenel-radyal olabilir. Bir reaktörün tasarımında yataklar sadece radyal veya eksenel olabildiği gibi eksenel ve radyal da olabilir. Bu tamamen tasarımcıya kalmıştır.

Çalışmalarımızda model olarak aldığımız **İGSAŞ** (İstanbul Gübre Sanayii A.Ş.)'e ait sentez reaktörü iki tane eksenel ve bir tane radyal yataktan oluşmaktadır (Şekil 2.1.).

Bu tip reaktörlerin ana prensibi katalizör yatağını terk eden yüksek sıcaklıktaki reaksiyon gazının bir sonraki katalizör yatağında ısı ihtiyacı olan reaksiyona girmemiş sentez gazı ile dolaylı olarak ısı değiştirmesidir. Böylece amonyak konsantrasyonunun seyrelmesini ve ısı kayıplarını engellemek için reaksiyon gazlarını soğutmaya yarayan mevcut yataklar arası bölmeler yerine ısı değiştiriciler yerleştirilmiştir. Bu yolla, reaksiyon ısını mümkün olan en yüksek sıcaklık seviyesinde geri kazanmak mümkün olur ve her yatakta elde edilen amonyak konsantrasyonu muhafaza edilebilir.

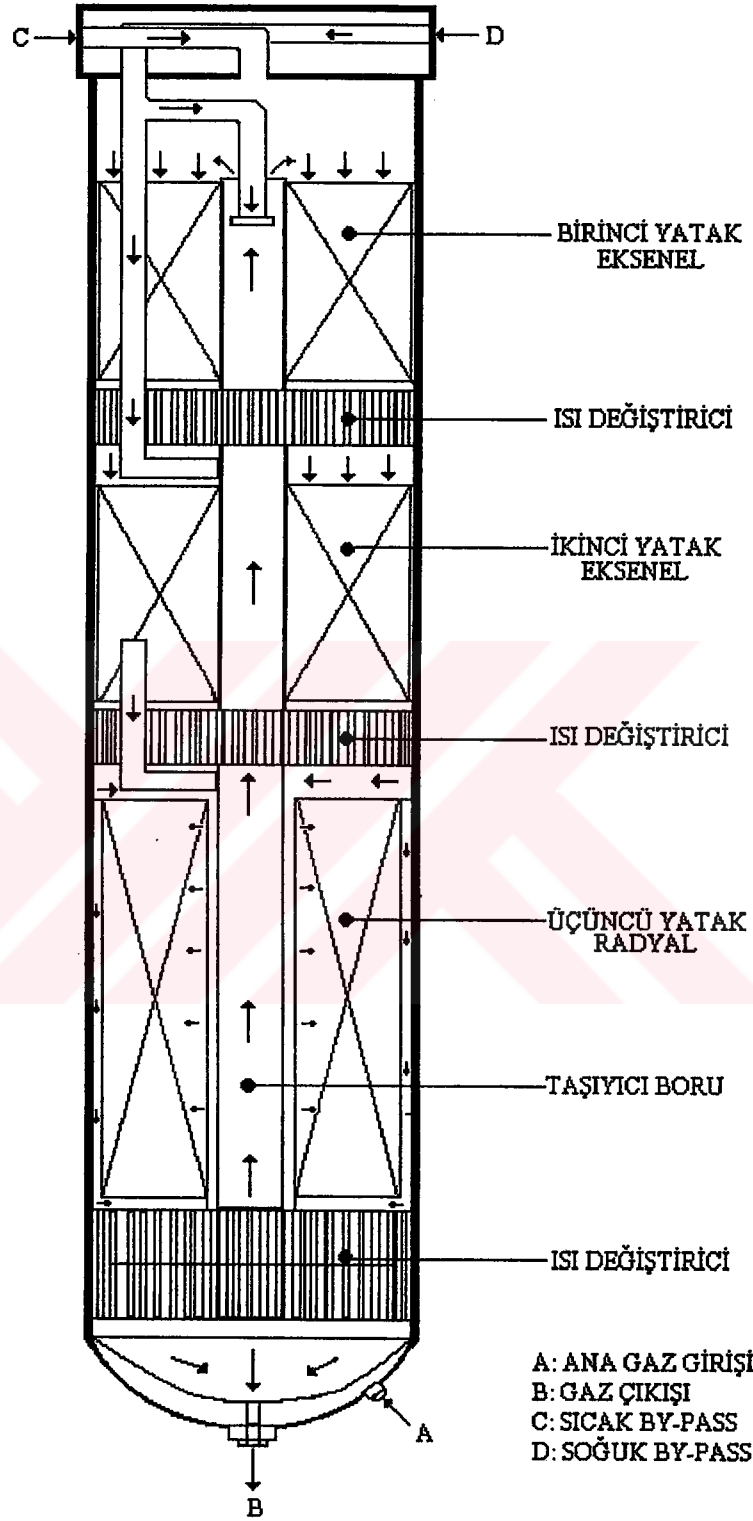
Bütün katalizör daha çok sayıda yatak arasında dağıtıldığından gerçek amonyak oluşumu için uygun reaksiyon şartları oluşturulabilmişse de uygulamada mekaniksel nedenlerden dolayı katalitik yatak sayısı mümkün olduğu kadar sınırlandırılır (Uhde, 1983).

2.2. Sentez Reaktörünün İşletimi

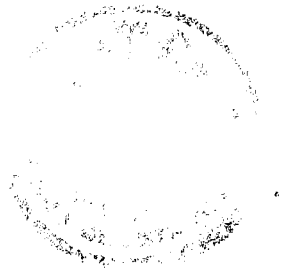
Reaktör bünyesindeki ısı değıştiricileri by-pass hatları, mevcut soğutma hatları olup katalizörün gerçek kalan aktivitesine göre reaksiyon sıcaklıklarının tam bir ayarını sağlar.

Amonyak sentezinde kullanılan başlıca katalizör Fe_3O_4 'dir. Bu katalizördeki demir sadece metalik olduğu zaman etkindir. Burada demir, hidrojen veya hidrojen-nitrojen karışımlarında indirgenebilir. Sentez reaktörünün ilk çalışma safhasında katalizör sıcaklığı artışı saatte 20 °C'yi geçmemelidir. Saatte 20 °C' lik artış 400 °C 'den sonraki sıcaklıklar için geçerlidir. Çünkü bu katalizör 400°C' den sonra kayda değer bir şekilde indirgenmeye başlar (BASF, 1971).

Gaz bileşiminin kontrolü çok önemlidir. Hidrojenin azota oranı 3'e yakın tutulmalıdır. İnert maddelerin (Ar , CH_4) konsantrasyonları, H_2 ve N_2 'un reaksiyona girmeleri için gerekli kısmi basınç değerlerine izin verecek seviyede sınırlandırılmalıdır. Prosesde sirküle eden sentez gazı hidrojen ve azot için analiz edilir ve hidrojenin azota oranı 3' de tutulur. Bu oran ikincil reformere beslenen hava akışı ile ayarlanır. Aynı zaman da sirküle eden gaz akımı içerisinde amonyak miktarının mümkün olduğunca düşük tutulması gerekmektedir.

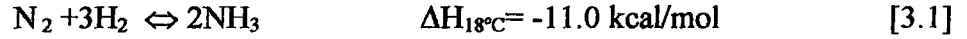


Şekil 2.1. İGSAŞ (İstanbul Gübre San.A.Ş.)'a ait sentez reaktörü



3. PROBLEMİN BELİRLENMESİ

Haber Prosesi ile yüksek basınçta üretilen amonyakın katalitik reaksiyonu aşağıdaki şekilde gerçekleşir (Shereve and Brink, 1984):



Amonyak sentez reaksiyonu tersinir ve ekzotermik bir reaksiyon olup, 150-700 atm basınç ve 400-550 °C sıcaklık aralıklarında gerçekleştirilir. Tercih edilen basınç ve sıcaklık, sentez gazının niteliğine ve diğer proses şartlarına bağlıdır.

Amonyak sentezinde kullanılan reaktörlerin (çok yataklı veya çok tüplü) çalışmasının ana prensibi katalizör yatağını terkeden yüksek sıcaklıktaki reaksiyon gazının sonraki katalizör yatağına girmeden önce doğrudan veya dolaylı soğutulmasıdır. Bu da Le Chatelier prensibinin bir sonucudur (Özdemir, 1981). Bu yolla reaksiyon ısı geri kazanılır ve her yatakta elde edilen amonyak konsantrasyonu muhafaza edilir. Dolayısıyla da reaktiflerin bir sonraki yatağa düşük sıcaklıkta girmesiyle reaksiyon dönüşüm oranını daha da arttırmak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada amaç, çok yüksek miktarlarda akış debisi ve basınca sahip olan sentez reaktörünün, reaksiyon parametrelerini değiştirerek çeşitli şartlarda modellenmesi ve simülasyonunu yapmaktır. Kurulacak olan model denklemleri iki boyutlu (eksenel-radyal) olup bu prosesin verimliliğine doğrudan etkili olacak proses parametreleri, sentez reaktörü çalışma şekli ve katalizör özelliği gibi faktörleri de kapsayacaktır. Ayrıca model denklemlerinin çözümüyle sentez reaktörünün herhangi bir yerinde proses parametre değerleri bulunabilecektir.

Çalışmalarımızda halen doğal gazdan amonyak üreten **İGSAŞ** (İstanbul Gübre Sanayii A.Ş.)'a ait sentez reaktörü model olarak alınmıştır. Kurulan model

denklemlerinde bu reaktöre ait gerçek proses parametre değerleri kullanılacaktır. Model denklemlerden elde edilen değerler *İGSAŞ* (İstanbul Gübre Sanayii A.Ş.)'a ait sentez reaktöründen elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

Model olarak alınan *İGSAŞ* (İstanbul Gübre Sanayii A.Ş.)'a ait sentez reaktörü ile ilgili özellikler verilmiştir (Bölüm 2., Şekil 2.1.).

Amonyak sentez reaktörünün iki boyutlu (eksenel-radyal) model denklemlerinin çıkarılmasında aşağıdaki hususlar göz önüne alınmıştır:

- a) *Temkin ve Pyzhev*'in önerdiği hız denklemi kullanılmıştır (Dayson and Simon, 1968).
- b) Model denklemleri iki boyutlu olup, sıcaklık ve konsantrasyon eksenel ve radyal yönde, basınç eksenel yönde değişebilmektedir (Zardi and Bonvin, 1992).
- c) Eksenel dağılma (axial dispersion) kararlı hal için ihmal edilmiştir ($L/dp > 300$) (Smith, 1987).
- d) Radyal dağılma (radyal dispersion) kararlı hal için ihmal edilmiştir ($d/dp > 30$) (Smith, 1987).
- e) Reaktör boyunca ısı ve kütle difüzyonu ihmal edilmiştir ($Re \gg 150\,000$) (Baddour et al, 1965).
- f) Reaktördeki gazın sıcaklığı katalizör sıcaklığına eşittir (Walas, 1959).
- g) Katalizör aktivitesi reaktör boyunca sabittir.
- h) Reaktör akış yönündeki basınç düşüşü *Ergun Denkleminde* hesaplanmıştır (Howard, 1988).
- i) Sentez reaksiyon entalpisi hesabında proses basınç değeri de dikkate alınmıştır (Kent, 1974).
- j) Sentez reaktörü adyabatiktir (Bischoff and Froment, 1979).
- k) Gaz karışımı viskozitesi Jossi metoduna göre hesaplanmıştır (Reid et al, 1977).

4. TASARIM MODEL DENKLEMLERİ

4.1. Mol Denkliği

Amonyak sentez denge reaksiyonu için Temkin - Pyzhev 'in önerdiği hız ifadesi aşağıdaki gibidir (Temkin and Pyzhev, 1939).

$$r = f \left[k_1 \cdot \frac{(P_{N_2}) \cdot (P_{H_2})^{1.5}}{(P_{NH_3})} - k_2 \cdot \frac{(P_{NH_3})}{(P_{H_2})^{1.5}} \right] \quad [4.1]$$

Burada;

f : Katalizör aktivitesi

r : Reaksiyon hızı (kmol/kg.kat saat)

k_1 : Sağa doğru reaksiyon hız sabiti (kmol/kg.kat saat atm^{1/2})

k_2 : Sola doğru reaksiyon hız sabiti (kmol/kg.kat saat atm^{2/3})

Hız ifadesinde açıldığında;

$$r = f \left[k_1 \cdot \left(\frac{1 - X}{\theta C + v C \cdot X} \right) \cdot \left(\frac{\theta B + v B \cdot X}{1 + \varepsilon X} \right)^{1.5} \cdot \left(\frac{P \cdot P_{A0} \cdot T_0}{P_0 \cdot T_0} \right)^{1.5} - k_2 \cdot \left(\frac{1}{\theta C + v C \cdot X} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B + v B \cdot X)^3}{1 + \varepsilon \cdot X} \right]^{-0.5} \cdot \left[\left(\frac{P \cdot P_{A0} \cdot T_0}{P_0 \cdot T_0} \right)^{-0.5} \right] \right] \quad [4.2]$$

Bu denklemin (4.2.) çıkarımı Ek 1.' de verilmiştir.

Bir hacim elemanı alınarak üzerinde yapılan iki boyutlu (eksenel-radyal) kütle denkliği ifadesi aşağıdaki şekildedir.

$$\frac{d}{dz}x - \frac{dp}{Pe} \left(\frac{1}{r} \frac{d}{dz}x + \frac{d^2}{dr^2}x \right) - \frac{RP \cdot \rho_B}{\left(\frac{G}{Mort} \right) \cdot x_A} = 0 \quad [4.3.]$$

Bu denklem (4.3.) sonlu farklar metoduna göre tekrar ifade edildiğinde (Rose, 1974; Smith, 1987);

$$X_{n,L+1} = X_{n,L} + H1 \cdot \left[\frac{1}{n} \cdot (X_{n+1,L} - X_{n,L}) + X_{n+1,L} - 2 \cdot X_{n,L} + X_{n-1,L} \right] - H2 \cdot RP \quad [4.4.]$$

$$X_{0,L+1} = X_{0,L} + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X_{1,L} - 2 \cdot X_{0,L}) - H2 \cdot RP \quad [4.5.]$$

Bu denklemlerin (4.3-4.5.) çıkarımı Ek 1.' de verilmiştir.

4.2. Enerji Denkliği

Bir hacim elemanı alınarak üzerinde yapılan iki boyutlu (eksenel-radyal) enerji denkliği ifadesi aşağıdaki şekildedir.

$$-G \cdot CP \cdot \frac{d}{dz}T + ke \cdot \left[\frac{1}{r} \left(\frac{d}{dr}T + \frac{d^2}{dr^2}T \right) - RP \cdot \rho_B \cdot \Delta H \right] = 0 \quad [4.6.]$$

Bu denklem (4.6.) sonlu farklar metoduna göre tekrar ifade edildiğinde (Holman, 1990);

$$T_{n,L+1} = T_{n,L} + F1 \cdot \left[\frac{1}{n} \cdot (T_{n+1,L} - T_{n,L}) + T_{n+1,L} - 2 \cdot T_{n,L} + T_{n-1,L} \right] - F2 \cdot RP \quad [4.7.]$$

$$T_{0,L+1} = T_{0,L} + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T_{1,L} - 2 \cdot T_{0,L}) - F2 \cdot RP \quad [4.8.]$$

Bu denklemlerin (4.6.-4.8.) çıkarımı Ek 1.' de verilmiştir.

4.3. Basınç Düşüşü

Reaktör akış yönü boyunca basınç düşüşü **Ergun Denklemi** ile ifade edilmiştir. Ergun Denklemi sistemle ilgili olarak; kullanılan katalizörün geometrik yapısı, akışkan hızı ve özelliklerini içerir (Howard, 1988).

$$\frac{dP}{dZ} = \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \varepsilon \cdot x) \cdot G}{\rho_0 \cdot \left(\frac{P}{P0} \right) \cdot \left(\frac{T0}{T} \right) \cdot dp \cdot \phi^3} \cdot \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot G \right] \quad [4.9.]$$

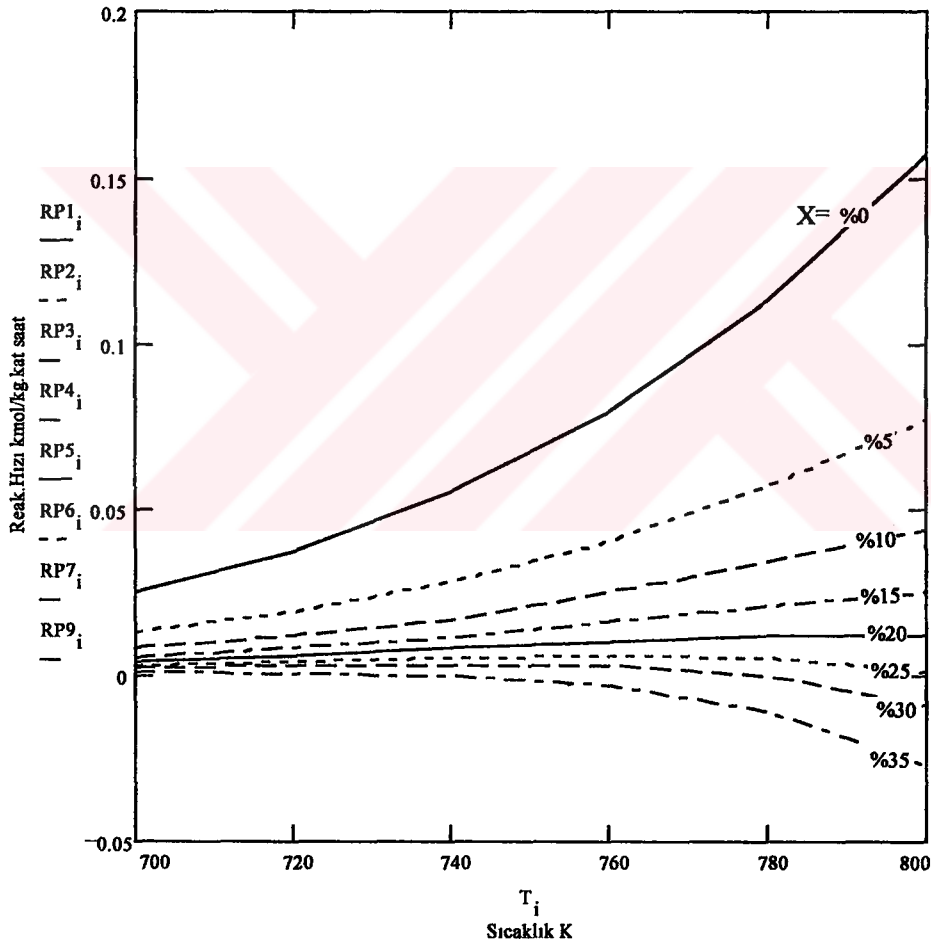
Denklem (4.9), kullanılan katalizör ağırlığı üzerinden de yazılabilir (Fogler, 1992).

$$\frac{dP}{dW} = \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \varepsilon \cdot x)}{\rho_B \cdot A_c \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{P}{P0} \right) \cdot \left(\frac{T0}{T} \right) \cdot dp \cdot \phi^3} \cdot \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot G \right] \quad [4.10.]$$



5. AMONYAK SENTEZ REAKSİYONUNUN TERMODİNAMİKSEL SINIRLAR İÇERİSİNDEKİ HIZ DEĞERLERİ

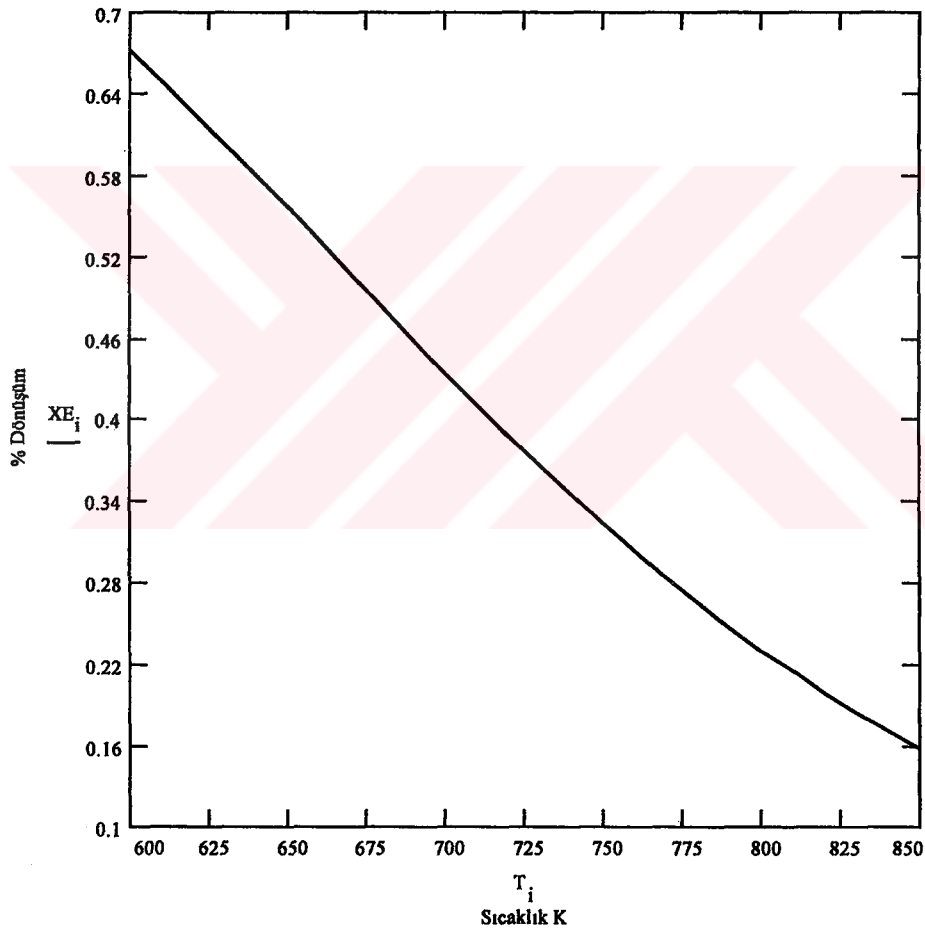
Sentez reaksiyonunda denge olayı söz konusu olduğundan işletme şartlarında (İGSAŞ, 1995) değişik sıcaklık ve dönüşüm değerlerine karşılık gelen hız değerleri reaksiyon kinetiği açısından çok önemlidir. Reaksiyon hız değişimi grafik olarak bulunmuştur. Bu değerlerin matematiksel ifadesi Ek 2' de verilmiştir.



Şekil 5.1. Amonyak sentez reaksiyonu ortalama hız değişimi

6. AMONYAK SENTEZ REAKSİYONUNUN TERMODİNAMİKSEL SINIRLAR İÇERİSİNDEKİ DENGİ DEĞERLERİ

Sentez reaksiyonu işletme şartlarında (*İGSAS*, 1995) sıcaklık ve dönüşüm denge değerleri grafik olarak bulunmuştur. Bu değerlerin matematiksel ifadesi Ek 3' de verilmiştir.



Şekil 6.1. Amonyak sentez reaksiyonu denge eğrisi

7. PROBLEMİN ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Diferansiyel formdaki iki boyutlu (eksenel-radyal) tasarım model denklikleri (mol ve enerji denk.) öncelikle sonlu farklar yöntemine göre lineer hale getirilir. Sonlu farklar yöntemine göre lineer hale getirilen bu denklemler analitik olarak çözülür. Bu işlemlerin tamamı **MATCAD** paket programı kullanılarak gerçekleştirilir. Basınç düşüşü Ergun Denklemi integrasyonu ile hesaplanır. Basınç, sadece akış yönünde değiştiğinden iki boyutlu model denkliklerinden elde edilen değerler (dönüşüm-sıcaklık) kullanılarak yatak boyunca basınç değişimi kolayca hesaplanabilir. Bu hesaplamalar da **MATCAD** Paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Yapılan bütün işlem sonuçlarının tablo haline getirilmesi ve grafiklerinin çizilmesinde **MATCAD** paket programı kullanılmıştır.

Ayrıca bu sisteme için C++ Programı kullanılarak Sürekli Sistem Model Programı (CSMP, Continous System Modelling Program) yapılmıştır. Bu bilgisayar programıyla sisteme ait bütün model denklemlerin çözümü mümkün hale getirilmiştir. C++ ile yapılan bilgisayar programının sanal algoritması (*pseudocode*) Ek 3.' de verilmiştir.

Sisteme ait model denkliklerinin çözümünde aşağıda sıralanan şartlar gözönüne alınmıştır:

Sentez reaktörüne ait herbir katalitik yatak istenilen sayıda pencerelere (grid) ayrılır (Şekil 7.1-7.4).

Sentez reaktörü katalitik yatak girişi radyal pozisyonda ($L=1$) sıcaklık, dönüşüm ve basınç değerleri bilinmektedir (*İGSAŞ*- Katalco, 1993).

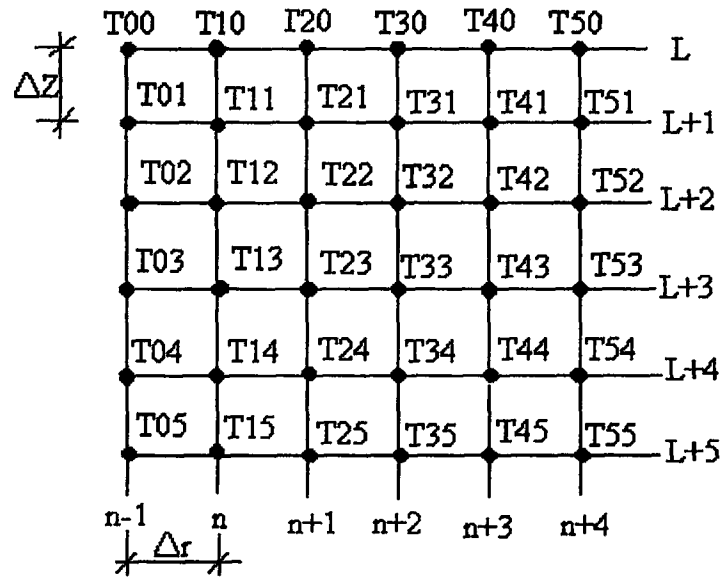
Model denkleminin içinde bulunan sistemle ilgili sabit parametreler *İGSAŞ* sentez reaktöründe kullanılan katalizöre ait verilerden (Tablo 1.6.) alınmıştır.

Model denklemleri, yatak boyunca akış yönünde gerçekleşecek olan reaksiyonun ortalama hız değişimi operatör (belirleyici) alınarak türetilmiştir (Denk. 4.3-4.8.).

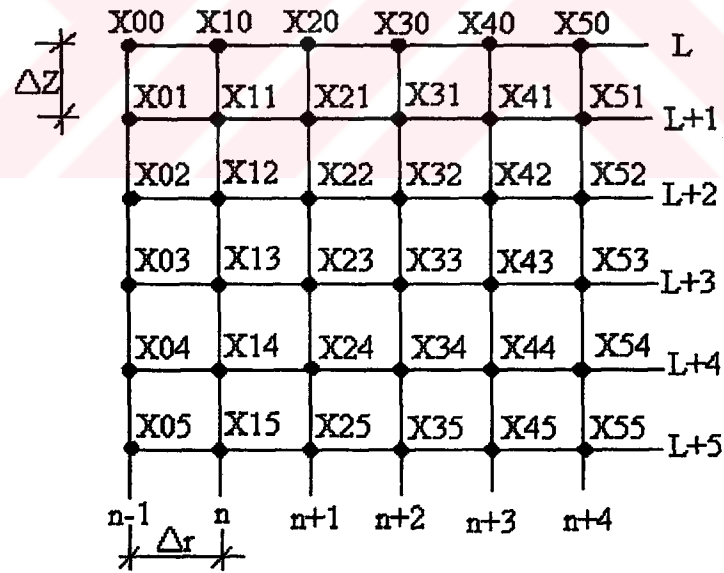
Bilinen başlangıç şartları (T_{00} , T_{10} , T_{20} ,... ve X_{00} , X_{10} , X_{20} ,...) kullanılarak elde edilen hız değeriyle bir sonraki pencereye ait sıcaklık, dönüşüm ve bunlara karşılık gelen hız değeri bulunur. Bu reaksiyona ait sıcaklık, dönüşüm ve hız arasındaki ilişki Bölüm 5.'de grafik olarak verilmiştir.

Bu yönteme göre yapılan çözüm işlemi dört adımda gerçekleşir:

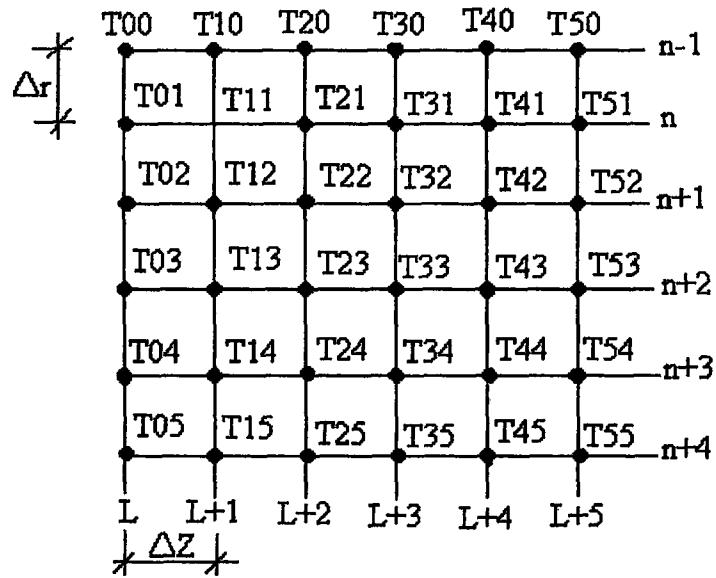
1. Bilinen giriş şartlarına (T, X) karşılık gelen hız değeri (RP_{10}) Şekil 5.1.'den bulunur. Daha sonra bir sonraki pencere için tahmini bir hız değeri (RP) verilir.
2. 4.4 - 4.8. denklemleri üzerinden tahmini hız değeri kullanılarak bir sonraki sıcaklık (T_{11}) ve dönüşüm (X_{11}) değerleri hesaplanır.
3. Bulunan sıcaklık ve dönüşüm değerine karşı gelen hız değeri (RP_{11}) Şekil 5.1'den bulunur.
4. Başlangıç durumundaki hız değeriyle (RP_{10}), hesaplanan hız değerinin (RP_{11}) ortalaması alınır ve tahmin edilen hız değeriyle (RP) karşılaştırılır. Eğer ortalama hız değeri tahmini hız değeriyle aynı çıkıyorsa bulunan değerler kabul edilebilir. Aksi takdirde tahmini hız değerlerinin değiştirilmesiyle gerçekleşen bu işlemler hız değerleri benzerlik gösterene kadar tekrarlanır.



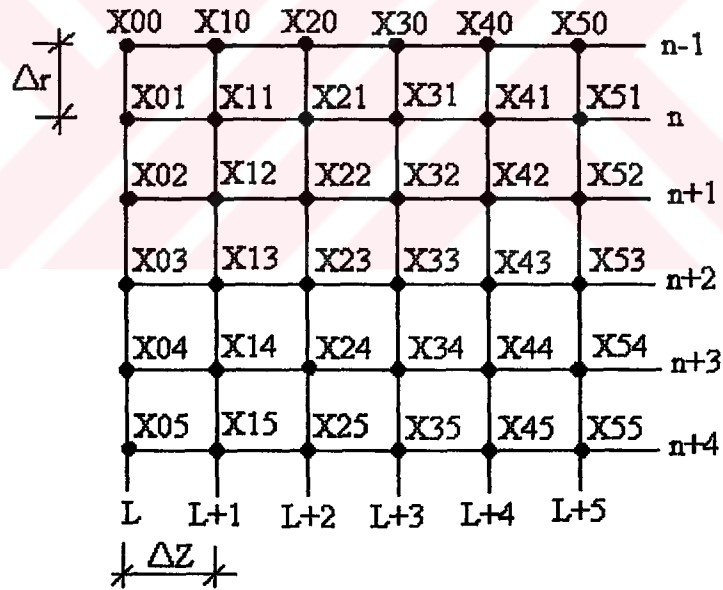
Şekil 7.1. Amonyak sentez reaktörü aksenal yatak sıcaklık dağılımı



Şekil 7.2. Amonyak sentez reaktörü aksenal yatak % dönüşüm dağılımı



Şekil 7.3. Amonyak sentez reaktörü radyal yatak sıcaklık dağılımı



Şekil 7.4. Amonyak sentez reaktörü radyal yatak % dönüşüm dağılımı

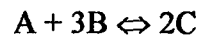
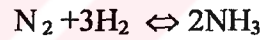
8. İKİ BOYUTLU (EKSENEL - RADYAL) MODEL DENKLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ

Lineer duruma getirilen model denklemleri Bölüm 7.'de belirtilen işlem sıraları takip edilerek **MATCAD** Paket Programı kullanılarak çözülmüştür. Her bilgisayar programında olduğu gibi **MATCAD** Paket Programının da bazı karakteristik yazım ve işletim özellikleri vardır. Program işletimi ile ilgili notasyonlar, sembol listesinin dışında gerektiği yerlerde bölgesel olarak da verilmiştir.

Model olarak alınan **İGSAS** (İstanbul Gübre Sanayi A.Ş.) amonyak sentez reaktörüne ait değişik proses parametre değerleri kullanılarak model denklemleri çözülecektir. Model denklemleri öncelikle değişik zamanlarda alınan üç farklı proses parametre değerleri için **MATCAD** Paket Programı kullanılarak çözülecek ve sonuçlar gerçek değerlerle karşılaştırılacaktır.

Model denklemleri sonuçlarının tablo haline getirilmesi, grafiklerinin çizimi ve referans değerlerle karşılaştırması da Bölüm 8. içerisinde yapılacaktır.

Amonyak sentez reaksiyonu sembolik olarak aşağıdaki gibi gösterilmiştir.



A: Azot

B: Hidrojen

C: Amonyak

D: Metan

E: Argon

8.1. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95 Olması Durumunda Model Denklemlerinin Çözümü

8.1.1. Model Denklemlerinin Çözümünde Kullanılacak Sistem Verileri

Pe := 2	F0 := 22218.8	d := 1.837	XA := 0.2193	MA := 28	ΔH := -13360
Δz := 0.508	G := 65561.2	dp := 0.5·10 ⁻³	XB := 0.6139	MB := 2	CP := 0.26
Δr := 0.1837	M := 11.087	ke := 0.71	XC := 0.0323	MC := 17	T0 := 699
θB := 2.8	ε := 0.438	ρB := 2200	XD := 0.0921	MD := 16	T := 750
θC := 0.147	i := 0..5	f := 0.95	XE := 0.0424	ME := 40	PA0 := 61.4
					PT := 57.2
vB := 3	T := 700, 720..800				
vC := 2					

8.1.2. Reaksiyon Hız Sabiti ve Model Denklemleri Notasyon İfadeleri

$$K1(T) := 4.9722 \cdot \exp\left(-\frac{10475.1}{T}\right)$$

$$K2(T) := 7.1389 \cdot 10^{12} \cdot \exp\left(-\frac{23871.1}{T}\right)$$

$$F1 := \frac{\Delta z \cdot ke}{\Delta r^2 \cdot G \cdot CP}$$

$$F2 := \frac{\Delta H \cdot \rho B \cdot \Delta z}{G \cdot CP}$$

$$H1 := \frac{\Delta z \cdot dp}{\Delta r^2 \cdot Pe}$$

$$H2 := \frac{\rho B \cdot M \cdot \Delta z}{G \cdot XA}$$

8.1.3. Birinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar (T, X)

T00 := 699	T10 := 699	T20 := 699	T30 := 699	T40 := 699	T50 := 699
X00 := 0.0323	X10 := 0.0323	X20 := 0.0323	X30 := 0.0323	X40 := 0.0323	X50 := 0.0323

Hız ifadesi:

$$T := 711.6 \quad x := 0.044$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.015$$

n=0 L=1 için Hesaplamalar: 699 K X := 0.0323 için RP00 := 0.013 (Şekil 5.1.'den)
Tahmin Edilen Değer: RP := 0.014

$$T01 := T00 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T10 - 2 \cdot T00) - F2 \cdot RP \quad T01 = 711.263$$

$$X01 := X00 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X10 - 2 \cdot X00) + H2 \cdot RP \quad X01 = 0.044$$

Şekil 5.1.'den 711.263 K ve 4.4% dönüşüm için $RP=0.015$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.013 + 0.015}{2} \quad R_{Port} = 0.014 \quad RP_{01} := 0.015$$

n=1 L=1 için Hesaplamalar: 699 K X := 0 için $RP_{10} := 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01401$

$$T_{11} := T_{10} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T_{20} - T_{10}) + T_{20} - 2 \cdot T_{10} + T_{00} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{11} = 711.272$$

$$X_{11} := X_{10} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X_{20} - X_{10}) + X_{20} - 2 \cdot X_{10} + X_{00} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{11} = 0.044$$

Şekil 5.1.'den 711.272 K ve 4.4% dönüşüm için $RP=0.015$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.013 + 0.015}{2} \quad R_{Port} = 0.014 \quad RP_{11} := 0.015$$

n=2 L=1 için Hesaplamalar: 699 K $RP_{20} := 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01402$

$$T_{21} := T_{20} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T_{30} - T_{20}) + T_{30} - 2 \cdot T_{20} + T_{10} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{21} = 711.281$$

$$X_{21} := X_{20} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X_{30} - X_{20}) + X_{30} - 2 \cdot X_{20} + X_{10} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{21} = 0.044$$

Şekil 5.1.'den 711. K ve 4.4% dönüşüm için $RP=0.015$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.013 + 0.015}{2} \quad R_{Port} = 0.014 \quad RP_{21} := 0.015$$

n=3 L=1 için Hesaplamalar: $RP_{30} := 0.013$

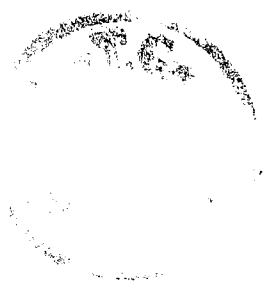
Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01403$

$$T_{31} := T_{30} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{40} - T_{30}) + T_{40} - 2 \cdot T_{30} + T_{20} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{31} = 711.289$$

$$X_{31} := X_{30} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{40} - X_{30}) + X_{40} - 2 \cdot X_{30} + X_{20} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{31} = 0.044$$

Şekil 5.1.'den 711.289 K ve 4.4% dönüşüm için $RP=0.015$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.013 + 0.015}{2} \quad R_{Port} = 0.014 \quad RP_{31} := 0.015$$



n=4 L=1 için Hesaplamalar: 699 K RP40 := 0.013

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01405

$$T41 := T40 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T50 - T40) + T50 - 2 \cdot T40 + T30 \right] - F2 \cdot RP \quad T41 = 711.307$$

$$X41 := X40 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X50 - X40) + X50 - 2 \cdot X40 + X30 \right] + H2 \cdot RP \quad X41 = 0.044$$

Şekil 5.1.'den 711.307 K ve 4.4% dönüşüm için RP=0.015 Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.015}{2} \quad RPort = 0.014 \quad RP41 := 0.015$$

n=5 L=1 için Hesaplamalar: 699 K RP50 := 0.013

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01401

$$T51 := T50 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T40 - 2 \cdot T50) - F2 \cdot RP \quad T51 = 711.272$$

$$X51 := X50 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X40 - 2 \cdot X50) + H2 \cdot RP \quad X51 = 0.044$$

Şekil 5.1.'den 711.272 K ve 4.4% dönüşüm için RP=0.015 Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.015}{2} \quad RPort = 0.014 \quad RP51 := 0.015$$

$$T := 726.278 \quad x := 0.059$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.01717$$

n=0 L=2 için Hesaplamalar: RP01 = 0.015

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.016

$$T02 := T01 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T11 - 2 \cdot T01) - F2 \cdot RP \quad T02 = 725.278$$

$$X02 := X01 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X11 - 2 \cdot X01) + H2 \cdot RP \quad X02 = 0.058$$

Şekil 5.1.'den 725.278 K ve 5.8 % dönüşüm için RP=0.017 Böylece;

$$RPort := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad RPort = 0.016 \quad RP02 := 0.017$$

n=1 L=2 için Hesaplamalar: RP11 = 0.015

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01701



$$T12 := T11 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T21 - T11) + T21 - 2 \cdot T11 + T01 \right] - F2 \cdot RP \quad T12 = 726.172$$

$$X12 := X11 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X21 - X11) + X21 - 2 \cdot X11 + X01 \right] + H2 \cdot RP \quad X12 = 0.059$$

Şekil 5.1.'den 725.172 K ve 5.9 % dönüşüm için $RP=0.017$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad RPort = 0.016 \quad RP12 := 0.017$$

$n=2$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RP21 = 0.015$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01602$

$$T22 := T21 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T31 - T21) + T31 - 2 \cdot T21 + T11 \right] - F2 \cdot RP \quad T22 = 725.313$$

$$X22 := X21 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X31 - X21) + X31 - 2 \cdot X21 + X11 \right] + H2 \cdot RP \quad X22 = 0.058$$

Şekil 5.1.'den 725.313 K ve 5.8 % dönüşüm için $RP=0.017$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad RPort = 0.016 \quad RP22 := 0.017$$

$n=3$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RP31 = 0.015$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01603$

$$T32 := T31 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T41 - T31) + T41 - 2 \cdot T31 + T21 \right] - F2 \cdot RP \quad T32 = 725.331$$

$$X32 := X31 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X41 - X31) + X41 - 2 \cdot X31 + X21 \right] + H2 \cdot RP \quad X32 = 0.058$$

Şekil 5.1.'den 725.331 K ve 5.8 % dönüşüm için $RP=0.017$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad RPort = 0.016 \quad RP32 := 0.016$$

$n=4$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RP41 = 0.015$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01604$

$$T42 := T41 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T51 - T41) + T51 - 2 \cdot T41 + T31 \right] - F2 \cdot RP \quad T42 = 725.357$$

$$X42 := X41 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X51 - X41) + X51 - 2 \cdot X41 + X31 \right] + H2 \cdot RP \quad X42 = 0.058$$

Şekil 5.1.'den 725.357 K ve 5.8 % dönüşüm için $RP=0.017$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad R_{Port} = 0.016 \quad RP_{42} := 0.033$$

$n=5$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RP_{51} = 0.015$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01603$

$$T_{52} := T_{51} + 2 \cdot F_1 \cdot (2 \cdot T_{42} - 2 \cdot T_{51}) - F_2 \cdot RP \quad T_{52} = 725.348$$

$$X_{52} := X_{51} + 2 \cdot H_1 \cdot (2 \cdot X_{42} - 2 \cdot X_{51}) + H_2 \cdot RP \quad X_{52} = 0.058$$

Şekil 5.1.'den 725.348 K ve 5.8 % dönüşüm için $RP=0.017$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad R_{Port} = 0.016 \quad RP_{52} := 0.017$$

$$T := 741.31 \quad x := 0.074$$

$$r := f \left[K_1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + v C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - v B \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K_2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + v C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - v B \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.0197$$

$n=0$ ve $L=3$ için Hesaplamalar $RP_{02} = 0.017$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0183$

$$T_{03} := T_{02} + 2 \cdot F_1 \cdot (2 \cdot T_{12} - 2 \cdot T_{02}) - F_2 \cdot RP \quad T_{03} = 741.31$$

$$X_{03} := X_{02} + 2 \cdot H_1 \cdot (2 \cdot X_{12} - 2 \cdot X_{02}) + H_2 \cdot RP \quad X_{03} = 0.074$$

Şekil 5.1.'den 741.31 K ve 7.4% dönüşüm için $RP=0.0197$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.0197}{2} \quad R_{Port} = 0.0183 \quad RP_{03} := 0.0197$$

$n=1$ $L=3$ için Hesaplamalar: $RP_{12} = 0.017$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01831$

$$T_{13} := T_{12} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T_{22} - T_{12}) + T_{22} - 2 \cdot T_{12} + T_{02} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{13} = 742.208$$

$$X_{13} := X_{12} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X_{22} - X_{12}) + X_{22} - 2 \cdot X_{12} + X_{02} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{13} = 0.075$$

Şekil 5.1.'den 741208 K ve 7.5% dönüşüm için $RP=0.0197$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.0197}{2} \quad R_{Port} = 0.0183 \quad RP_{13} := 0.0197$$

n=2 L=3 için Hesaplamalar: $RP_{22} = 0.017$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01832$

$$T_{23} := T_{22} + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T_{32} - T_{22}) + T_{32} - 2 \cdot T_{22} + T_{12} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{23} = 741.361$$

$$X_{23} := X_{22} + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X_{32} - X_{22}) + X_{32} - 2 \cdot X_{22} + X_{12} \right] + H2 \cdot RP \quad X_{23} = 0.074$$

Şekil 5.1.'den 741.361 K ve 7.4% dönüşüm için $RP=0.0197$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.0197}{2} \quad R_{Port} = 0.0183 \quad RP_{23} := 0.0197$$

n=3 L=3 için Hesaplamalar: $RP_{32} = 0.016$

Tahmin Edilen Değer $RP := 0.01833$

$$T_{33} := T_{32} + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{42} - T_{32}) + T_{42} - 2 \cdot T_{32} + T_{22} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{33} = 741.387$$

$$X_{33} := X_{32} + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{42} - X_{32}) + X_{42} - 2 \cdot X_{32} + X_{22} \right] + H2 \cdot RP \quad X_{33} = 0.074$$

Şekil 5.1.'den 741.387 K ve 7.4% dönüşüm için $RP=0.0197$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.0197}{2} \quad R_{Port} = 0.0183 \quad RP_{33} := 0.0197$$

n=4 L=3 için Hesaplamalar: $RP_{42} = 0.033$

Tahmin Edilen Değer $RP := 0.01834$

$$T_{43} := T_{42} + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T_{52} - T_{42}) + T_{52} - 2 \cdot T_{42} + T_{32} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{43} = 741.422$$

$$X_{43} := X_{42} + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X_{52} - X_{42}) + X_{52} - 2 \cdot X_{42} + X_{32} \right] + H2 \cdot RP \quad X_{43} = 0.074$$

Şekil 5.1.'den 741.422 K ve 7.4% dönüşüm için $RP=0.0197$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.0197}{2} \quad R_{Port} = 0.0183 \quad RP_{43} := 0.0197$$

n=5 L=3 için Hesaplamalar: $RP_{52} = 0.017$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01835$

$$T_{53} := T_{52} + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T_{43} - 2 \cdot T_{52}) - F2 \cdot RP \quad T_{53} = 741.462$$

$$X_{53} := X_{52} + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X_{43} - 2 \cdot X_{52}) + H2 \cdot RP \quad X_{53} = 0.074$$

Şekil 5.1.'den 741.462 K ve 7.4% dönüşüm için $RP=0.0197$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.0197}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0183$$

$$RP53 := 0.0197$$

$$T := 760.0 \quad x := 0.092$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.023$$

n=0 ve L=4 için Hesaplamalar

$$RP03 = 0.0197$$

Tahmin Edilen Değer:

$$RP := 0.0214$$

$$T04 := T03 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T13 - 2 \cdot T03) - F2 \cdot RP$$

$$T04 = 760.057$$

$$X04 := X03 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X13 - 2 \cdot X03) + H2 \cdot RP$$

$$X04 = 0.092$$

Şekil 5.1.'den 760.057 K ve 9.2% dönüşüm için RP=0.023 Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.0197 + 0.023}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0214$$

$$RP04 := 0.023$$

n=1 L=4 için Hesaplamalar:

$$RP13 = 0.0197$$

Tahmin Edilen Değer:

$$RP := 0.02141$$

$$T14 := T13 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T23 - T13) + T23 - 2 \cdot T13 + T03 \right] - F2 \cdot RP$$

$$T14 = 760.96$$

$$X14 := X13 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X23 - X13) + X23 - 2 \cdot X13 + X03 \right] + H2 \cdot RP$$

$$X14 = 0.093$$

Şekil 5.1.'den 760.96 K ve 9.3% dönüşüm için RP=0.023 Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.0197 + 0.023}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0214$$

$$RP14 := 0.023$$

n=2 L=4 için Hesaplamalar:

$$RP23 = 0.0197$$

Tahmin Edilen Değer:

$$RP := 0.02142$$

$$T24 := T23 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T33 - T23) + T33 - 2 \cdot T23 + T13 \right] - F2 \cdot RP$$

$$T24 = 760.124$$

$$X24 := X23 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X33 - X23) + X33 - 2 \cdot X23 + X13 \right] + H2 \cdot RP$$

$$X24 = 0.092$$

Şekil 5.1.'den 760.124 K ve 9.2% dönüşüm için RP=0.023 Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.0197 + 0.023}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0214$$

$$RP24 := 0.023$$

n=3 L=4 için Hesaplamalar: RP33 = 0.02

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.02143

$$T34 := T33 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T43 - T33) + T43 - 2 \cdot T33 + T23 \right] - F2 \cdot RP \quad T34 = 760.158$$

$$X34 := X33 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X43 - X33) + X43 - 2 \cdot X33 + X23 \right] + H2 \cdot RP \quad X34 = 0.092$$

Şekil 5.1.'den 760. K ve 9.2% dönüşüm için RP=0.023 Böylece;

$$RPort := \frac{0.0197 + 0.023}{2} \quad RPort = 0.0214 \quad RP34 := 0.023$$

n=4 L=4 için Hesaplamalar: RP43 = 0.02

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.02144

$$T44 := T43 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T53 - T43) + T53 - 2 \cdot T43 + T33 \right] - F2 \cdot RP \quad T44 = 760.202$$

$$X44 := X43 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X53 - X43) + X53 - 2 \cdot X43 + X33 \right] + H2 \cdot RP \quad X44 = 0.093$$

Şekil 5.1.'den 760.202 K ve 9.3% dönüşüm için RP=0.023 Böylece;

$$RPort := \frac{0.0197 + 0.023}{2} \quad RPort = 0.0214 \quad RP44 := 0.023$$

n=5 L=4 için Hesaplamalar: RP53 = 0.02

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.02142

$$T54 := T53 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T44 - 2 \cdot T53) - F2 \cdot RP \quad T54 = 760.272$$

$$X54 := X53 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X44 - 2 \cdot X53) + H2 \cdot RP \quad X54 = 0.093$$

Şekil 5.1.'den 760.272 K ve 9.3% dönüşüm için RP=0.023 Böylece;

$$RPort := \frac{0.0197 + 0.023}{2} \quad RPort = 0.0214 \quad RP54 := 0.023$$

$$T := 781.52 \quad x := 0.114$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.026$$

n=0 ve L=5 için Hesaplamalar RP04 = 0.023

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0245

$$T05 := T04 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T14 - 2 \cdot T04) - F2 \cdot RP \quad T05 = 781.52$$

$$X05 := X04 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X14 - 2 \cdot X04) + H2 \cdot RP \quad X05 = 0.114$$

Şekil 5.1.'den 781.52 K ve 11.4% dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.023 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.0245 \quad RP_{05} := 0.026$$

$n=1$ $L=5$ için Hesaplamalar: $RP_{14} = 0.023$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02451$

$$T_{15} := T_{14} + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T_{24} - T_{14}) + T_{24} - 2 \cdot T_{14} + T_{04} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{15} = 782.428$$

$$X_{15} := X_{14} + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X_{24} - X_{14}) + X_{24} - 2 \cdot X_{14} + X_{04} \right] + H2 \cdot RP \quad X_{15} = 0.114$$

Şekil 5.1.'den 781.428 K ve 11.4% dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.023 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.0245 \quad RP_{15} := 0.026$$

$n=2$ $L=5$ için Hesaplamalar: $RP_{24} = 0.023$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02452$

$$T_{25} := T_{24} + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T_{34} - T_{24}) + T_{34} - 2 \cdot T_{24} + T_{14} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{25} = 781.602$$

$$X_{25} := X_{24} + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X_{34} - X_{24}) + X_{34} - 2 \cdot X_{24} + X_{14} \right] + H2 \cdot RP \quad X_{25} = 0.114$$

Şekil 5.1.'den 781.602 K ve 11.4% dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.023 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.0245 \quad RP_{25} := 0.026$$

$n=3$ $L=5$ için Hesaplamalar: $RP_{34} = 0.023$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02453$

$$T_{35} := T_{34} + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{44} - T_{34}) + T_{44} - 2 \cdot T_{34} + T_{24} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{35} = 781.645$$

$$X_{35} := X_{34} + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{44} - X_{34}) + X_{44} - 2 \cdot X_{34} + X_{24} \right] + H2 \cdot RP \quad X_{35} = 0.114$$

Şekil 5.1.'den 781.645 K ve 11.4% dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.023 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.0245 \quad RP_{35} := 0.026$$

n=4 L=5 için Hesaplamalar: $RP_{44} = 0.023$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02454$

$$T_{45} := T_{44} + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T_{54} - T_{44}) + T_{54} - 2 \cdot T_{44} + T_{34} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{45} = 781.697$$

$$X_{45} := X_{44} + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X_{54} - X_{44}) + X_{54} - 2 \cdot X_{44} + X_{34} \right] + H2 \cdot RP \quad X_{45} = 0.114$$

Şekil 5.1.'den 781.697 K ve 11.4% dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.023 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.0245 \quad RP_{45} := 0.026$$

n=5 L=5 için Hesaplamalar: $RP_{54} = 0.023$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0243$

$$T_{55} := T_{54} + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T_{45} - 2 \cdot T_{54}) - F2 \cdot RP \quad T_{55} = 781.611$$

$$X_{55} := X_{54} + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X_{45} - 2 \cdot X_{54}) + H2 \cdot RP \quad X_{55} = 0.114$$

Şekil 5.1.'den 781.611 K ve 11.4% dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.023 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.0245 \quad RP_{55} := 0.026$$

8.1.4. İkinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar (TB, XB)

$$T_{05} = 781.52 \quad T_{15} = 782.428 \quad T_{25} = 781.602 \quad T_{35} = 781.645 \quad T_{45} = 781.697 \quad T_{55} = 781.611$$

$$X_{05} = 0.114 \quad X_{15} = 0.114 \quad X_{25} = 0.114 \quad X_{35} = 0.114 \quad X_{45} = 0.114 \quad X_{55} = 0.114$$

$$TB_{00} := 718 \quad TB_{10} := 718 \quad TB_{20} := 718 \quad TB_{30} := 718 \quad TB_{40} := 718 \quad TB_{50} := 718$$

$$XB_{00} := 0.114 \quad XB_{10} := 0.114 \quad XB_{20} := 0.114 \quad XB_{30} := 0.114 \quad XB_{40} := 0.114 \quad XB_{50} := 0.114$$

$$\Delta z := 0.518$$

$$F1 := \frac{\Delta z \cdot k_e}{\Delta r^2 \cdot G \cdot CP}$$

$$F2 := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta z}{G \cdot CP}$$

$$H1 := \frac{\Delta z \cdot dp}{\Delta r^2 \cdot Pe}$$

$$H2 := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta z}{G \cdot XA}$$

$$T := 726.485 \quad x := 0.122$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon)x} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.01$$

n=0 L=1 için Hesaplamalar: $RP_{B00} := 0.009$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0095$

$$TB_{01} := TB_{00} + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB_{10} - 2 \cdot TB_{00}) - F2 \cdot RP$$

$$TB_{01} = 726.485$$

$$XB_{01} := XB_{00} + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB_{10} - 2 \cdot XB_{00}) + H2 \cdot RP$$

$$XB_{01} = 0.122$$

Şekil 5.1.'den 726.485 K ve 12.2% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad RPort = 0.0095 \quad RPB01 := 0.01$$

$n=1$ $L=1$ için Hesaplamalar: $RPB10 := 0.009$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.00951$

$$TB11 := TB10 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB20 - TB10) + TB20 - 2 \cdot TB10 + TB00 \right] - F2 \cdot RP \quad TB11 = 726.494$$

$$XB11 := XB10 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB20 - XB10) + XB20 - 2 \cdot XB10 + XB00 \right] + H2 \cdot RP \quad XB11 = 0.122$$

Şekil 5.1.'den 726.494 K ve 12.2% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad RPort = 0.0095 \quad RPB11 := 0.01$$

$n=2$ $L=1$ için Hesaplamalar: $RPB20 := 0.009$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.00952$

$$TB21 := TB20 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB30 - TB20) + TB30 - 2 \cdot TB20 + TB10 \right] - F2 \cdot RP \quad TB21 = 726.503$$

$$XB21 := XB20 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB30 - XB20) + XB30 - 2 \cdot XB20 + XB10 \right] + H2 \cdot RP \quad XB21 = 0.122$$

Şekil 5.1.'den 726.503 K ve 12.2% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad RPort = 0.0095 \quad RPB21 := 0.01$$

$n=3$ $L=1$ için Hesaplamalar: $RPB30 := 0.009$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.00953$

$$TB31 := TB30 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB40 - TB30) + TB40 - 2 \cdot TB30 + TB20 \right] - F2 \cdot RP \quad TB31 = 726.512$$

$$XB31 := XB30 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB40 - XB30) + XB40 - 2 \cdot XB30 + XB20 \right] + H2 \cdot RP \quad XB31 = 0.122$$

Şekil 5.1.'den 726.512 K ve 12.2% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad RPort = 0.0095 \quad RPB31 := 0.01$$



$$TB12 := TB11 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB21 - TB11) + TB21 - 2 \cdot TB11 + TB01 \right] - F2 \cdot RP \quad TB12 = 735.881$$

$$XB12 := XB11 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB21 - XB11) + XB21 - 2 \cdot XB11 + XB01 \right] + H2 \cdot RP \quad XB12 = 0.132$$

Şekil 5.1.'den 735.881 K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB12 := 0.011$$

n=2 L=2 için Hesaplamalar: $RPB21 = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01052$

$$TB22 := TB21 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB31 - TB21) + TB31 - 2 \cdot TB21 + TB11 \right] - F2 \cdot RP \quad TB22 = 735.899$$

$$XB22 := XB21 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB31 - XB21) + XB31 - 2 \cdot XB21 + XB11 \right] + H2 \cdot RP \quad XB22 = 0.132$$

Şekil 5.1.'den 735.899 K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB22 := 0.011$$

n=3 L=2 için Hesaplamalar: $RPB31 = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01053$

$$TB32 := TB31 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB41 - TB31) + TB41 - 2 \cdot TB31 + TB21 \right] - F2 \cdot RP \quad TB32 = 735.917$$

$$XB32 := XB31 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB41 - XB31) + XB41 - 2 \cdot XB31 + XB21 \right] + H2 \cdot RP \quad XB32 = 0.132$$

Şekil 5.1.'den 735.917 K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB32 := 0.011$$

n=4 L=2 için Hesaplamalar: $RPB41 = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01054$

$$TB42 := TB41 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB51 - TB41) + TB51 - 2 \cdot TB41 + TB31 \right] - F2 \cdot RP \quad TB42 = 735.935$$

$$XB42 := XB41 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB51 - XB41) + XB51 - 2 \cdot XB41 + XB31 \right] + H2 \cdot RP \quad XB42 = 0.132$$

Şekil 5.1.'den 735.935 K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;



n=4 L=1 için Hesaplamalar: RPB40 := 0.009

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.00954

$$TB41 := TB40 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB50 - TB40) + TB50 - 2 \cdot TB40 + TB30 \right] - F2 \cdot RP \quad TB41 = 726.521$$

$$XB41 := XB40 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB50 - XB40) + XB50 - 2 \cdot XB40 + XB30 \right] + H2 \cdot RP \quad XB41 = 0.122$$

Şekil 5.1.'den 726.521 K ve 12.2% dönüşüm için RP=0.01 Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad RPort = 0.0095 \quad RPB41 := 0.01$$

n=5 L=1 için Hesaplamalar: RPB50 := 0.009

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.00952

$$TB51 := TB50 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB40 - 2 \cdot TB50) - F2 \cdot RP \quad TB51 = 726.503$$

$$XB51 := XB50 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB40 - 2 \cdot XB50) + H2 \cdot RP \quad XB51 = 0.122$$

Şekil 5.1.'den 726.503 K ve 12.2% dönüşüm için RP=0.01 Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad RPort = 0.0095 \quad RPB51 := 0.01$$

$$T := 735.83 \quad x := 0.132$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.011$$

n=0 L=2 için Hesaplamalar: RPB01 = 0.01

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0105

$$TB02 := TB01 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB11 - 2 \cdot TB01) - F2 \cdot RP \quad TB02 = 735.864$$

$$XB02 := XB01 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB11 - 2 \cdot XB01) + H2 \cdot RP \quad XB02 = 0.132$$

Şekil 5.1.'den 735.864 K ve 13.2% dönüşüm için RP=0.011 Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB02 := 0.011$$

n=1 L=2 için Hesaplamalar: RPB11 = 0.01

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01051

$$R_{Port} := \frac{0.01 + 0.011}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0105$$

$$R_{PB42} := 0.011$$

n=5 L=2 için Hesaplamalar: $R_{PB51} = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01053$

$$TB52 := TB51 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB42 - 2 \cdot TB51) - F2 \cdot RP \quad TB52 = 735.932$$

$$XB52 := XB51 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB42 - 2 \cdot XB51) + H2 \cdot RP \quad XB52 = 0.132$$

Şekil 5.1.'den 735. 932 K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.01 + 0.011}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0105$$

$$R_{PB52} := 0.011$$

$$T := 746.135 \quad x := 0.142$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.012$$

n=0 ve L=3 için Hesaplamalar $R_{PB02} = 0.011$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0115$

$$TB03 := TB02 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB12 - 2 \cdot TB02) - F2 \cdot RP \quad TB03 = 746.135$$

$$XB03 := XB02 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB12 - 2 \cdot XB02) + H2 \cdot RP \quad XB03 = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 746.135 K ve 14.2% dönüşüm için $RP=0.012$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.011 + 0.012}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0115$$

$$R_{PB03} := 0.012$$

n=1 L=3 için Hesaplamalar: $R_{PB12} = 0.011$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01151$

$$TB13 := TB12 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB22 - TB12) + TB22 - 2 \cdot TB12 + TB02 \right] - F2 \cdot RP \quad TB13 = 746.162$$

$$XB13 := XB12 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB22 - XB12) + XB22 - 2 \cdot XB12 + XB02 \right] + H2 \cdot RP \quad XB13 = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 746.162 K ve 14.2% dönüşüm için $RP=0.012$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.011 + 0.012}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0115$$

$$R_{PB13} := 0.012$$

n=2 L=3 için Hesaplamalar: RPB22 = 0.011

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01152

$$TB23 := TB22 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB32 - TB22) + TB32 - 2 \cdot TB22 + TB12 \right] - F2 \cdot RP \quad TB23 = 746.189$$

$$XB23 := XB22 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB32 - XB22) + XB32 - 2 \cdot XB22 + XB12 \right] + H2 \cdot RP \quad XB23 = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 746.189 K ve 14.2% dönüşüm için RP=0.012 Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2}$$

$$RPort = 0.0115$$

$$RPB23 := 0.012$$

n=3 L=3 için Hesaplamalar: RPB32 = 0.011

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01153

$$TB33 := TB32 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB42 - TB32) + TB42 - 2 \cdot TB32 + TB22 \right] - F2 \cdot RP \quad TB33 = 746.216$$

$$XB33 := XB32 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB42 - XB32) + XB42 - 2 \cdot XB32 + XB22 \right] + H2 \cdot RP \quad XB33 = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 746.216 K ve 14.2% dönüşüm için RP=0.012 Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2}$$

$$RPort = 0.0115$$

$$RPB33 := 0.012$$

n=4 L=3 için Hesaplamalar: RPB42 = 0.011

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01154

$$TB43 := TB42 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB52 - TB42) + TB52 - 2 \cdot TB42 + TB32 \right] - F2 \cdot RP \quad TB43 = 746.242$$

$$XB43 := XB42 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB52 - XB42) + XB52 - 2 \cdot XB42 + XB32 \right] + H2 \cdot RP \quad XB43 = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 746.242 K ve 14.2% dönüşüm için RP=0.012 Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2}$$

$$RPort = 0.0115$$

$$RPB43 := 0.012$$

n=5 L=3 için Hesaplamalar: RPB52 = 0.011

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01153

$$TB53 := TB52 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB43 - 2 \cdot TB52) - F2 \cdot RP \quad TB53 = 746.257$$

$$XB53 := XB52 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB43 - 2 \cdot XB52) + H2 \cdot RP \quad XB53 = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 746.257 K ve 14.2% dönüşüm için RP=0.012 Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2}$$

$$RPort = 0.0115$$

$$RPB53 := 0.012$$

$$T := 757.3 \quad x := 0.153$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.013$$

n=0 ve L=4 için Hesaplamalar $RPB03 = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0125$

$$TB04 := TB03 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB13 - 2 \cdot TB03) - F2 \cdot RP \quad TB04 = 757.3$$

$$XB04 := XB03 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB13 - 2 \cdot XB03) + H2 \cdot RP \quad XB04 = 0.153$$

Şekil 5.1.'den 757.3 K ve 15.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB04 := 0.013$$

n=1 L=4 için Hesaplamalar: $RPB13 = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01251$

$$TB14 := TB13 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB23 - TB13) + TB23 - 2 \cdot TB13 + TB03 \right] - F2 \cdot RP \quad TB14 = 757.336$$

$$XB14 := XB13 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB23 - XB13) + XB23 - 2 \cdot XB13 + XB03 \right] + H2 \cdot RP \quad XB14 = 0.153$$

Şekil 5.1.'den 757.336 K ve 15.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB14 := 0.013$$

n=2 L=4 için Hesaplamalar: $RPB23 = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01252$

$$TB24 := TB23 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB33 - TB23) + TB33 - 2 \cdot TB23 + TB13 \right] - F2 \cdot RP \quad TB24 = 757.371$$

$$XB24 := XB23 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB33 - XB23) + XB33 - 2 \cdot XB23 + XB13 \right] + H2 \cdot RP \quad XB24 = 0.153$$

Şekil 5.1.'den 757.371 K ve 15.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB24 := 0.013$$

n=3 L=4 için Hesaplamalar: $RPB33 = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01253$

$$TB34 := TB33 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB43 - TB33) + TB43 - 2 \cdot TB33 + TB23 \right] - F2 \cdot RP \quad TB34 = 757.407$$

$$XB34 := XB33 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB43 - XB33) + XB43 - 2 \cdot XB33 + XB23 \right] + H2 \cdot RP \quad XB34 = 0.153$$

Şekil 5.1.'den 757.407 K ve 15.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB34 := 0.013$$

n=4 L=4 için Hesaplamalar: $RPB43 = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01254$

$$TB44 := TB43 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB53 - TB43) + TB53 - 2 \cdot TB43 + TB33 \right] - F2 \cdot RP \quad TB44 = 757.443$$

$$XB44 := XB43 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB53 - XB43) + XB53 - 2 \cdot XB43 + XB33 \right] + H2 \cdot RP \quad XB44 = 0.153$$

Şekil 5.1.'den 757.443 K ve 15.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB44 := 0.013$$

n=5 L=4 için Hesaplamalar: $RPB53 = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01252$

$$TB54 := TB53 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB44 - 2 \cdot TB53) - F2 \cdot RP \quad TB54 = 757.468$$

$$XB54 := XB53 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB44 - 2 \cdot XB53) + H2 \cdot RP \quad XB54 = 0.153$$

Şekil 5.1.'den 757.468 K ve 15.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB54 := 0.013$$

$$T := 769.001 \quad x := 0.164$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.013$$

n=0 ve L=5 için Hesaplamalar $RPB04 = 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0131$

$$TB05 := TB04 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB14 - 2 \cdot TB04) - F2 \cdot RP \quad TB05 = 769.001$$

$$XB05 := XB04 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB14 - 2 \cdot XB04) + H2 \cdot RP \quad XB05 = 0.164$$

Şekil 5.1.'den 769.001 K ve 16.4% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.013 \quad RPB05 := 0.013$$

n=1 L=5 için Hcsaplamalar: RPB14 = 0.013

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0132

$$TB15 := TB14 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB24 - TB14) + TB24 - 2 \cdot TB14 + TB04 \right] - F2 \cdot RP \quad TB15 = 769.126$$

$$XB15 := XB14 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB24 - XB14) + XB24 - 2 \cdot XB14 + XB04 \right] + H2 \cdot RP \quad XB15 = 0.164$$

Şekil 5.1.'den 769.126 K ve 16.4% dönüşüm için RP=0.013 Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.013}{2}$$

$$RPort = 0.013$$

$$RPB15 := 0.013$$

n=2 L=5 için Hesaplamalar: RPB24 = 0.013

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0133

$$TB25 := TB24 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB34 - TB24) + TB34 - 2 \cdot TB24 + TB14 \right] - F2 \cdot RP \quad TB25 = 769.251$$

$$XB25 := XB24 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB34 - XB24) + XB34 - 2 \cdot XB24 + XB14 \right] + H2 \cdot RP \quad XB25 = 0.164$$

Şekil 5.1.'den 769.251 K ve 16.4% dönüşüm için RP=0.013 Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.013}{2}$$

$$RPort = 0.013$$

$$RPB25 := 0.013$$

n=3 L=5 için Hesaplamalar: RPB34 = 0.013

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0134

$$TB35 := TB34 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB44 - TB34) + TB44 - 2 \cdot TB34 + TB24 \right] - F2 \cdot RP \quad TB35 = 769.376$$

$$XB35 := XB34 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB44 - XB34) + XB44 - 2 \cdot XB34 + XB24 \right] + H2 \cdot RP \quad XB35 = 0.165$$

Şekil 5.1.'den 769.376 K ve 16.4% dönüşüm için RP=0.013 Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.013}{2}$$

$$RPort = 0.013$$

$$RPB35 := 0.013$$

n=4 L=5 için Hesaplamalar: RPB44 = 0.013

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0134

$$TB45 := TB44 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB54 - TB44) + TB54 - 2 \cdot TB44 + TB34 \right] - F2 \cdot RP \quad TB45 = 769.411$$

$$XB45 := XB44 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB54 - XB44) + XB54 - 2 \cdot XB44 + XB34 \right] + H2 \cdot RP \quad XB45 = 0.165$$

Şekil 5.1.'den 769.411 K ve 16.4% dönüşüm için RP=0.013 Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.013}{2}$$

$$RPort = 0.013$$

$$RPB45 := 0.013$$

n=5 L=5 için Hesaplamalar: RPB54 = 0.013

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0133

$$TB55 := TB54 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB45 - 2 \cdot TB54) - F2 \cdot RP \quad TB55 = 769.378$$

$$XB55 := XB54 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB45 - 2 \cdot XB54) + H2 \cdot RP \quad XB55 = 0.165$$

Şekil 5.1.'den 769.378 K ve 16.5% dönüşüm için RP=0.013 Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.013 \quad RPB55 := 0.013$$

8.1.5. Üçüncü (Radyal) Yatak İçin Hesaplamalar (TR, XR)

$$TB05 = 769.001 \quad TB15 = 769.126 \quad TB25 = 769.251 \quad TB35 = 769.376 \quad TB45 = 769.411 \quad TB55 = 769.378$$

$$XB05 = 0.164 \quad XB15 = 0.164 \quad XB25 = 0.164 \quad XB35 = 0.165 \quad XB45 = 0.165 \quad XB55 = 0.165$$

$$TR00 := 696 \quad TR10 := 694 \quad TR20 := 692 \quad TR30 := 689 \quad TR40 := 688 \quad TR50 := 687$$

$$XR00 := 0.165 \quad XR10 := 0.165 \quad XR20 := 0.165 \quad XR30 := 0.165 \quad XR40 := 0.165 \quad XR50 := 0.165$$

$$F0 := 22218.8 \quad M = 11.087 \quad F := F0 \cdot M \quad F = 2.463 \cdot 10^5 \quad \Delta R := 0.169 \quad \Delta Z := 1.1$$

$$R1 := 0.429 \quad R2 := 0.598 \quad R3 := 0.767 \quad R4 := 0.936 \quad R5 := 1.105 \quad L3 := 5.255$$

$$G(R) := \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L3} \quad G(R1) = 1.739 \cdot 10^4 \quad G(R3) = 9.727 \cdot 10^3 \quad G(R5) = 6.752 \cdot 10^3$$

$$G(R2) = 1.248 \cdot 10^4 \quad G(R4) = 7.971 \cdot 10^3$$

$$F1(R) := \frac{\Delta R \cdot ke}{\Delta Z^2 \cdot G(R) \cdot CP} \quad F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho B \cdot \Delta R}{G(R) \cdot CP} \quad H1 := \frac{\Delta R \cdot dp}{\Delta Z^2 \cdot Pe} \quad H2(R) := \frac{\rho B \cdot M \cdot \Delta z}{G(R) \cdot XA}$$

$$T := 692 \quad x := 0.169$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.004$$

n=0 L=1 için Hesaplamalar: RPR00 := 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.00$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR01 := TR00 + 2 \cdot F1(R1) \cdot (2 \cdot TR10 - 2 \cdot TR00) - F2(R1) \cdot RP \quad TR01 = 696$$

$$XR01 := XR00 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR10 - 2 \cdot XR00) + H2(R1) \cdot RP \quad XR01 = 0.165$$

Şekil 5.1.'den 696.0K ve 16.5% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR01 := 0.004$$

n=1 L=1 için Hesaplamalar: RPB10 := 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 700.00 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR11 := TR10 + F1(R1) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR20 - TR10) + TR20 - 2 \cdot TR10 + TR00 \right] - F2(R1) \cdot RP \quad TR11 = 695.52$$

$$XR11 := XR10 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR20 - XR10) + XR20 - 2 \cdot XR10 + XR00 \right] + H2(R1) \cdot RP \quad XR11 = 0.166$$

Şekil 5.1.'den 695.52 K ve 16.6% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR11 := 0.004$$

n=2 L=1 için Hesaplamalar: RPR20 := 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR21 := TR20 + F1(R1) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR30 - TR20) + TR30 - 2 \cdot TR20 + TR10 \right] - F2(R1) \cdot RP \quad TR21 = 695.691$$

$$XR21 := XR20 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR30 - XR20) + XR30 - 2 \cdot XR20 + XR10 \right] + H2(R1) \cdot RP \quad XR21 = 0.169$$

Şekil 5.1.'den 695.691 K ve 16.9% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR21 := 0.004$$

n=3 L=1 için Hesaplamalar: RPR30 := 0.003

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0035

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR31 := TR30 + F1(R1) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR40 - TR30) + TR40 - 2 \cdot TR30 + TR20 \right] - F2(R1) \cdot RP \quad TR31 = 692.799$$

$$XR31 := XR30 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR40 - XR30) + XR40 - 2 \cdot XR30 + XR20 \right] + H2(R1) \cdot RP \quad XR31 = 0.169$$

Şekil 5.1.'den 692.799K ve 16.9% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.003 + 0.003}{2} \quad RPort = 0.003 \quad RPR31 := 0.004$$

n=4 L=1 için Hesaplamalar: RPB40 := 0.003

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0035

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR41 := TR40 + F1(R1) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR50 - TR40) + TR50 - 2 \cdot TR40 + TR30 \right] - F2(R1) \cdot RP \quad TR41 = 692.369$$

$$XR41 := XR40 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR50 - XR40) + XR50 - 2 \cdot XR40 + XR30 \right] + H2(R1) \cdot RP \quad XR41 = 0.169$$

Şekil 5.1.'den 692.369 K ve 16.9% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.003 + 0.003}{2} \quad RPort = 0.003 \quad RPR41 := 0.004$$

n=5 L=1 için Hesaplamalar: RPB50 := 0.003

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0035

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR51 := TR50 + 2 \cdot F1(R1) \cdot (2 \cdot TR40 - 2 \cdot TR50) - F2(R1) \cdot RP \quad TR51 = 691.939$$

$$XR51 := XR50 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR40 - 2 \cdot XR50) + H2(R1) \cdot RP \quad XR51 = 0.17$$

Şekil 5.1.'den 691.939 K ve 17.0% dönüşüm için RP=0.003 Böylece;

$$RPort := \frac{0.003 + 0.003}{2} \quad RPort = 0.003 \quad RPR51 := 0.003$$

TC

$$T := 691.9 \quad x := 0.17$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.003$$

n=0 L=2 için Hesaplamalar:

$$RPR01 = 0.004$$

Tahmin Edilen Değer:

$$RP := 0.004$$

Burada Karışım Yoğunluğu 0.0 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.0$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR02 := TR01 + 2 \cdot F1(R2) \cdot (2 \cdot TR11 - 2 \cdot TR01) - F2(R2) \cdot RP \quad TR02 = 696$$

$$XR02 := XR01 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR11 - 2 \cdot XR01) + H2(R2) \cdot RP \quad XR02 = 0.165$$

Şekil 5.1.'den 696.00 K ve 16.5 % dönüşüm için RP=0.04 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR01 := 0.004$$

n=1 L=2 için Hesaplamalar:

$$RPB10 := 0.004$$

Tahmin Edilen Değer:

$$RP := 0.004$$

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR12 := TR11 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR21 - TR11) + TR21 - 2 \cdot TR11 + TR01 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR12 = 697.638$$

$$XR12 := XR11 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR21 - XR11) + XR21 - 2 \cdot XR11 + XR01 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR12 = 0.169$$

Şekil 5.1.'den 697.638 K ve 16.9% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR12 := 0.004$$

n=2 L=2 için Hesaplamalar:

$$RPB20 := 0.004$$

Tahmin Edilen Değer:

$$RP := 0.004$$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR22 := TR21 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR31 - TR21) + TR31 - 2 \cdot TR21 + TR11 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR22 = 700.835$$

$$XR22 := XR21 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR31 - XR21) + XR31 - 2 \cdot XR21 + XR11 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR22 = 0.174$$

Şekil 5.1.'den 700.835 K ve 17.4 % dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR22 := 0.004$$

n=3 L=2 için Hesaplamalar: $RPR31 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR32 := TR31 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR41 - TR31) + TR41 - 2 \cdot TR31 + TR21 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR32 = 698.852$$

$$XR32 := XR31 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR41 - XR31) + XR41 - 2 \cdot XR31 + XR21 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR32 = 0.175$$

Şekil 5.1.'den 698.852 K ve 17.5% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.003 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.0035 \quad RPR32 := 0.004$$

n=4 L=2 için Hesaplamalar: $RPR41 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR42 := TR41 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR51 - TR41) + TR51 - 2 \cdot TR41 + TR31 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR42 = 699.33$$

$$XR42 := XR41 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR51 - XR41) + XR51 - 2 \cdot XR41 + XR31 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR42 = 0.176$$

Şekil 5.1.'den 699.33 K ve 17.6% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.003 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.0035 \quad RPR42 := 0.004$$

n=5 L=2 için Hesaplamalar: $RPR51 = 0.003$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0035$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR52 := TR51 + 2 \cdot F1(R2) \cdot (2 \cdot TR41 - 2 \cdot TR51) - F2(R2) \cdot RP \quad TR52 = 698.824$$

$$XR52 := XR51 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR41 - 2 \cdot XR51) + H2(R2) \cdot RP \quad XR52 = 0.177$$

Şekil 5.1.'den 698.824 K ve 17.7% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.003 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.0035 \quad RPR52 := 0.004$$

n=0 L=3 için Hesaplamalar: $RPR02 := 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.0$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR03 := TR02 + 2 \cdot F1(R3) \cdot (2 \cdot TR12 - 2 \cdot TR02) - F2(R3) \cdot RP \quad TR03 = 696$$

$$XR03 := XR02 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR12 - 2 \cdot XR02) + H2(R3) \cdot RP \quad XR03 = 0.165$$

Şekil 5.1.'den 696.0 K ve 16.5% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR03 := 0.004$$

n=1 L=3 için Hesaplamalar: $RPR12 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR13 := TR12 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR22 - TR12) + TR22 - 2 \cdot TR12 + TR02 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR13 = 700.356$$

$$XR13 := XR12 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR22 - XR12) + XR22 - 2 \cdot XR12 + XR02 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR13 = 0.171$$

Şekil 5.1.'den 700.356 K ve 17.1% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR13 := 0.004$$

n=2 L=3 için Hesaplamalar: $RPR22 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR23 := TR22 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR32 - TR22) + TR32 - 2 \cdot TR22 + TR12 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR23 = 707.434$$

$$XR23 := XR22 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR32 - XR22) + XR32 - 2 \cdot XR22 + XR12 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR23 = 0.18$$

Şekil 5.1.'den 707.434K ve 18.0% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR23 := 0.004$$

n=3 L=3 için Hesaplamalar: $RPR32 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_{B00} := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR33 := TR32 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR42 - TR32) + TR42 - 2 \cdot TR32 + TR22 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR33 = 705.451$$

$$XR33 := XR32 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR42 - XR32) + XR42 - 2 \cdot XR32 + XR22 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR33 = 0.181$$

Şekil 5.1.'den 705.451K ve 18.1% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR33 := 0.005$$

n=4 L=3 için Hesaplamalar: $RPR42 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR43 := TR42 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR52 - TR42) + TR52 - 2 \cdot TR42 + TR32 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR43 = 708.258$$

$$XR43 := XR42 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR52 - XR42) + XR52 - 2 \cdot XR42 + XR32 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR43 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 708.258 K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR43 := 0.004$$

n=5 L=3 için Hesaplamalar: RPR52 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR53 := TR52 + 2 \cdot F1(R3) \cdot (2 \cdot TR42 - 2 \cdot TR52) - F2(R3) \cdot RP \quad TR53 = 708.917$$

$$XR53 := XR52 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR42 - 2 \cdot XR52) + H2(R3) \cdot RP \quad XR53 = 0.187$$

Şekil 5.1.'den 708.917 K ve 18.7% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR53 := 0.004$$

$$T := 715.468 \quad x := 0.188$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.005$$

n=0 L=4 için Hesaplamalar: RPR03 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.0$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR04 := TR03 + 2 \cdot F1(R4) \cdot (2 \cdot TR13 - 2 \cdot TR03) - F2(R4) \cdot RP \quad TR04 = 696.001$$

$$XR04 := XR03 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR13 - 2 \cdot XR03) + H2(R4) \cdot RP \quad XR04 = 0.165$$

Şekil 5.1.'den 696.001 K ve 19.1% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR04 := 0.004$$

n=1 L=4 için Hesaplanıncı: RPR13 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR14 := TR13 + F1(R4) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR23 - TR13) + TR23 - 2 \cdot TR13 + TR03 \right] - F2(R4) \cdot RP \quad TR14 = 703.672$$

$$XR14 := XR13 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR23 - XR13) + XR23 - 2 \cdot XR13 + XR03 \right] + H2(R4) \cdot RP \quad XR14 = 0.175$$

Şekil 5.1.'den 703.672 K ve 17.5% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR14 := 0.004$$

n=2 L=4 için Hesaplamalar: $RPR23 = 0.004$
Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR24 := TR23 + F1(R4) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR33 - TR23) + TR33 - 2 \cdot TR23 + TR13 \right] - F2(R4) \cdot RP \quad TR24 = 716.493$$

$$XR24 := XR23 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR33 - XR23) + XR33 - 2 \cdot XR23 + XR13 \right] + H2(R4) \cdot RP \quad XR24 = 0.189$$

Şekil 5.1'den 716.4963 K ve 18.9% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad R_{Port} = 0.0045 \quad RPR24 := 0.005$$

n=3 L=4 için Hesaplamalar: $RPR33 = 0.005$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_{B00} := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR34 := TR33 + F1(R4) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR43 - TR33) + TR43 - 2 \cdot TR33 + TR23 \right] - F2(R4) \cdot RP \quad TR34 = 714.511$$

$$XR34 := XR33 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR43 - XR33) + XR43 - 2 \cdot XR33 + XR23 \right] + H2(R4) \cdot RP \quad XR34 = 0.19$$

Şekil 5.1.'den 714.511 K ve 19.0% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad R_{Port} = 0.0045 \quad RPR34 := 0.005$$

n=4 L=4 için Hesaplamalar: $RPR43 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR44 := TR43 + F1(R4) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR53 - TR43) + TR53 - 2 \cdot TR43 + TR33 \right] - F2(R4) \cdot RP \quad TR44 = 720.514$$

$$XR44 := XR43 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR53 - XR43) + XR53 - 2 \cdot XR43 + XR33 \right] + H2(R4) \cdot RP \quad XR44 = 0.197$$

Şekil 5.1.'den 720.514 K ve 19.7 % dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad R_{Port} = 0.0045 \quad RPR44 := 0.005$$

$n=5$ $L=4$ için Hesaplamalar: $RPR53 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR54 := TR53 + 2 \cdot F1(R4) \cdot (2 \cdot TR43 - 2 \cdot TR53) - F2(R4) \cdot RP \quad TR54 = 722.772$$

$$XR54 := XR53 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR43 - 2 \cdot XR53) + H2(R4) \cdot RP \quad XR54 = 0.2$$

Şekil 5.1.'den 722.772 K ve 20.0 % dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad R_{Port} = 0.0045 \quad RPR54 := 0.005$$

$$T := 728.772 \quad x := 0.201$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{0C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{0B - vB \cdot x}{(1 - \epsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{0C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(0B - vB \cdot x)^3}{1 - \epsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.006$$

$n=0$ $L=5$ için Hesaplamalar: $RPR04 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.0$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR05 := TR04 + 2 \cdot F1(R5) \cdot (2 \cdot TR14 - 2 \cdot TR04) - F2(R5) \cdot RP \quad TR05 = 696.003$$

$$XR05 := XR04 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR14 - 2 \cdot XR04) + H2(R5) \cdot RP \quad XR05 = 0.165$$

Şekil 5.1.'den 696.003 K ve 19.1% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR04 := 0.004$$

$n=1$ $L=5$ için Hesaplamalar: $RPR14 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR15 := TR14 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR24 - TR14) + TR24 - 2 \cdot TR14 + TR04 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR15 = 708.077$$

$$XR15 := XR14 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR24 - XR14) + XR24 - 2 \cdot XR14 + XR04 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR15 = 0.179$$

Şekil 5.1.'den 708.077 K ve 17.9 % dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.0045 \quad RPR15 := 0.005$$

n=2 L=5 için Hesaplamalar: $RPR24 = 0.005$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0055$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR25 := TR24 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR34 - TR24) + TR34 - 2 \cdot TR24 + TR14 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR25 = 729.564$$

$$XR25 := XR24 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR34 - XR24) + XR34 - 2 \cdot XR24 + XR14 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR25 = 0.202$$

Şekil 5.1.'den 729.564 K ve 20.2 % dönüşüm için $RP=0.006$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.005 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.005 \quad RPR24 := 0.006$$

n=3 L=5 için Hesaplamalar: $RPR34 = 0.005$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0055$

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_{B00} := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR35 := TR34 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR44 - TR34) + TR44 - 2 \cdot TR34 + TR24 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR35 = 727.583$$

$$XR35 := XR34 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR44 - XR34) + XR44 - 2 \cdot XR34 + XR24 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR25 = 0.202$$

Şekil 5.1.'den 727.583 K ve 20.2% dönüşüm için $RP=0.006$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.005 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.005 \quad RPR34 := 0.006$$

n=4 L=5 için Hesaplamalar: RPR44 = 0.005

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0055

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR45 := TR44 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR54 - TR44) + TR54 - 2 \cdot TR44 + TR34 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR45 = 738.2$$

$$XR45 := XR44 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR54 - XR44) + XR54 - 2 \cdot XR44 + XR34 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR45 = 0.214$$

Şekil 5.1.'den 738.2 K ve 21.4 % dönüşüm için RP=0.006 Böylece;

$$RPort := \frac{0.005 + 0.006}{2} \quad RPort = 0.0055 \quad RPR45 := 0.006$$

n=5 L=5 için Hesaplamalar: RPR54 = 0.005

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0055

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR55 := TR54 + 2 \cdot F1(R5) \cdot (2 \cdot TR44 - 2 \cdot TR54) - F2(R5) \cdot RP \quad TR55 = 742.764$$

$$XR55 := XR54 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR44 - 2 \cdot XR54) + H2(R5) \cdot RP \quad XR55 = 0.22$$

Şekil 5.1.'den 742.764 K ve 22.0% dönüşüm için RP=0.006 Böylece;

$$RPort := \frac{0.005 + 0.006}{2} \quad RPort = 0.0055 \quad RPR55 := 0.006$$

Tablo 8.1. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95 Olması Durumunda Birinci (Eksenel) Yatak için Sıcaklık ve %Dönüşüm Değerleri

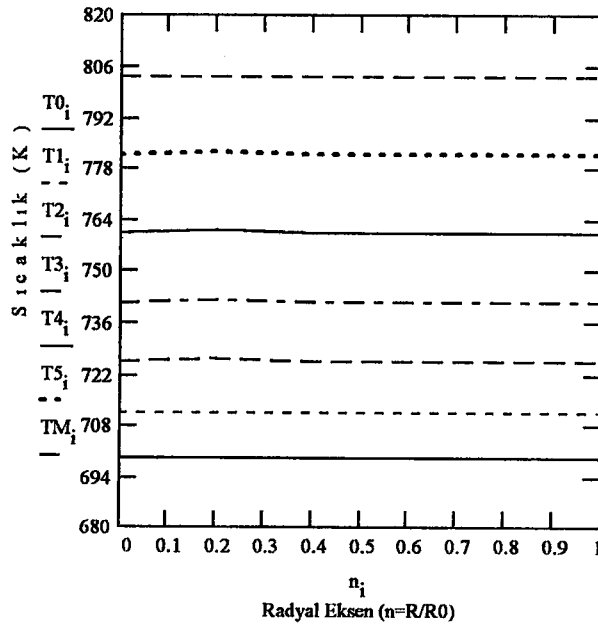
Yatak Boyu (m)	Radyal Durum (n=R/R0)					
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Sıcaklık K						
L := 0 z := 0.0	T00 = 699	T10 = 699	T20 = 699	T30 = 699	T40 = 699	T50 = 699
L := 1 z := 0.508	T01 = 711.263	T11 = 711.272	T21 = 711.281	T31 = 711.289	T41 = 711.307	T51 = 711.272
L := 2 z := 1.016	T02 = 725.278	T12 = 726.172	T22 = 725.313	T32 = 725.331	T42 = 725.357	T52 = 725.348
L := 3 z := 1.524	T03 = 741.31	T13 = 742.208	T23 = 741.361	T33 = 741.387	T43 = 741.422	T53 = 741.462
L := 4 z := 2.032	T04 = 760.057	T14 = 760.96	T24 = 760.124	T34 = 760.158	T44 = 760.202	T54 = 760.272
L := 5 z := 2.54	T05 = 781.52	T15 = 782.428	T25 = 781.602	T35 = 781.645	T45 = 781.697	T55 = 781.611
%Dönüşüm						
L := 0 z := 0.0	X00 = 0.032	X10 = 0.032	X20 = 0.032	X30 = 0.032	X40 = 0.032	X50 = 0.032
L := 1 z := 0.508	X01 = 0.044	X11 = 0.044	X21 = 0.044	X31 = 0.044	X41 = 0.044	X51 = 0.044
L := 2 z := 1.016	X02 = 0.058	X12 = 0.059	X22 = 0.058	X32 = 0.058	X42 = 0.058	X52 = 0.058
L := 3 z := 1.524	X03 = 0.074	X13 = 0.075	X23 = 0.074	X33 = 0.074	X43 = 0.074	X53 = 0.074
L := 4 z := 2.032	X04 = 0.092	X14 = 0.093	X24 = 0.092	X34 = 0.092	X44 = 0.093	X54 = 0.093
L := 5 z := 2.54	X05 = 0.114	X15 = 0.114	X25 = 0.114	X35 = 0.114	X45 = 0.114	X55 = 0.114

Tablo 8.2. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95 Olması Durumunda İkinci (Eksenel) Yatak için Sıcaklık ve %Dönüşüm Değerleri

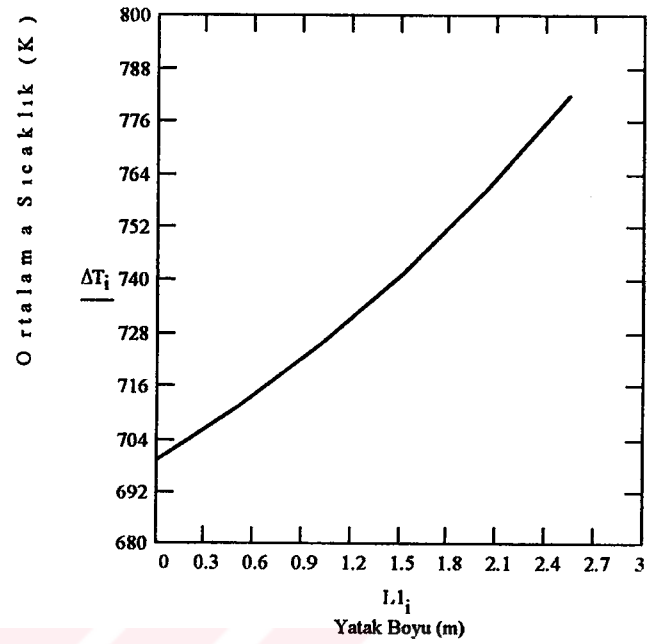
Yatak Boyu (m)	Radyal Durum (n=R/R0)					
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Sıcaklık K						
L := 0 zB := 0.0	TB00 = 718	TB10 = 718	TB20 = 718	TB30 = 718	TB40 = 718	TB50 = 718
L := 1 zB := 0.518	TB01 = 726.485	TB11 = 726.494	TB21 = 726.503	TB31 = 726.512	TB41 = 726.521	TB51 = 726.503
L := 2 zB := 1.036	TB02 = 735.864	TB12 = 735.881	TB22 = 735.899	TB32 = 735.917	TB42 = 735.935	TB52 = 735.932
L := 3 zB := 1.554	TB03 = 746.135	TB13 = 746.162	TB23 = 746.189	TB33 = 746.216	TB43 = 746.242	TB53 = 746.257
L := 4 zB := 2.072	TB04 = 757.3	TB14 = 757.336	TB24 = 757.371	TB34 = 757.407	TB44 = 757.443	TB54 = 757.468
L := 5 zB := 2.59	TB05 = 769.001	TB15 = 769.126	TB25 = 769.251	TB35 = 769.376	TB45 = 769.411	TB55 = 769.378
%Dönüşüm						
L := 0 zB := 0.0	XB00 = 0.114	XB10 = 0.114	XB20 = 0.114	XB30 = 0.114	XB40 = 0.114	XB50 = 0.114
L := 1 zB := 0.518	XB01 = 0.122	XB11 = 0.122	XB21 = 0.122	XB31 = 0.122	XB41 = 0.122	XB51 = 0.122
L := 2 zB := 1.036	XB02 = 0.132	XB12 = 0.132	XB22 = 0.132	XB32 = 0.132	XB42 = 0.132	XB52 = 0.132
L := 3 zB := 1.554	XB03 = 0.142	XB13 = 0.142	XB23 = 0.142	XB33 = 0.142	XB43 = 0.142	XB53 = 0.142
L := 4 zB := 2.072	XB04 = 0.153	XB14 = 0.153	XB24 = 0.153	XB34 = 0.153	XB44 = 0.153	XB54 = 0.153
L := 5 zB := 2.59	XB05 = 0.164	XB15 = 0.164	XB25 = 0.164	XB35 = 0.165	XB45 = 0.165	XB55 = 0.165

Tablo 8.3. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0323, P=280 atm ve f=0.95 Olması Durumunda Üçüncü (Radyal) Yatak için Sıcaklık ve %Dönüşüm Değerleri

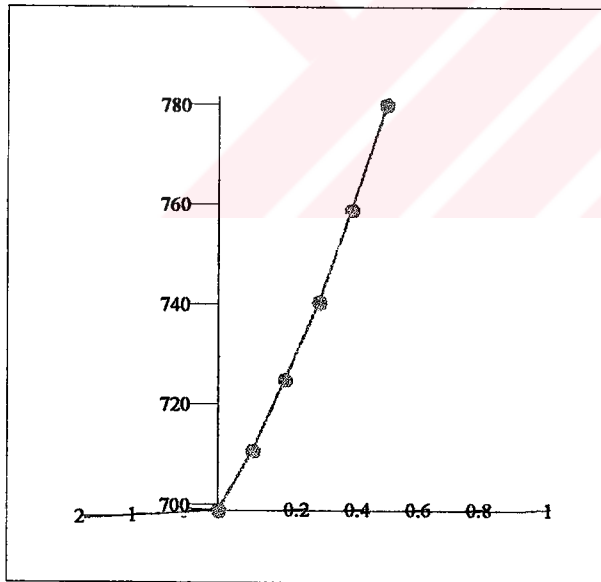
Yarıçap (m)	Eksenel Durum (L/L0)						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	
	Sıcaklık K						
n := 0	R := 0.2585	TR00 = 696	TR10 = 694	TR20 = 692	TR30 = 689	TR40 = 688	TR50 = 687
n := 0.2	R := 0.4275	TR01 = 696	TR11 = 695.52	TR21 = 695.691	TR31 = 692.799	TR41 = 692.369	TR51 = 691.935
n := 0.4	R := 0.5965	TR02 = 696	TR12 = 697.638	TR22 = 700.835	TR32 = 698.852	TR42 = 699.33	TR52 = 698.824
n := 0.6	R := 0.7655	TR03 = 696	TR13 = 700.356	TR23 = 707.434	TR33 = 705.451	TR43 = 708.258	TR53 = 708.917
n := 0.8	R := 0.9345	TR04 = 696	TR14 = 703.672	TR24 = 716.493	TR34 = 714.511	TR44 = 720.514	TR54 = 722.772
n := 1	R := 1.035	TR05 = 696	TR15 = 708.077	TR25 = 729.564	TR35 = 727.583	TR45 = 738.2	TR55 = 742.764
%Dönüşüm							
n := 0	R := 0.2585	XR00 = 0.165	XR10 = 0.165	XR20 = 0.165	XR30 = 0.165	XR40 = 0.165	XR50 = 0.165
n := 0.2	R := 0.4275	XR01 = 0.165	XR11 = 0.166	XR21 = 0.169	XR31 = 0.169	XR41 = 0.169	XR51 = 0.17
n := 0.4	R := 0.5965	XR02 = 0.165	XR12 = 0.169	XR22 = 0.174	XR32 = 0.175	XR42 = 0.176	XR52 = 0.177
n := 0.6	R := 0.7655	XR03 = 0.165	XR13 = 0.171	XR23 = 0.18	XR33 = 0.181	XR43 = 0.185	XR53 = 0.187
n := 0.8	R := 0.9345	XR04 = 0.165	XR14 = 0.175	XR24 = 0.189	XR34 = 0.19	XR44 = 0.197	XR54 = 0.2
n := 1	R := 1.035	XR05 = 0.165	XR15 = 0.179	XR25 = 0.202	XR35 = 0.203	XR45 = 0.214	XR55 = 0.22



Şekil 8.1. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi.

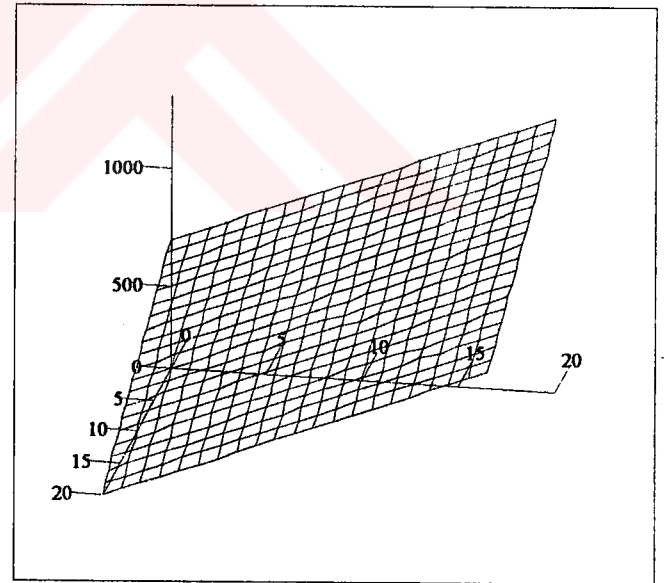


Şekil 8.2. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi.



L1,n,ΔT

Şekil 8.3. Birinci (eksenel) yatak ortalama sıcaklığının eksenel - radyal değişimi



L1,n,ΔT

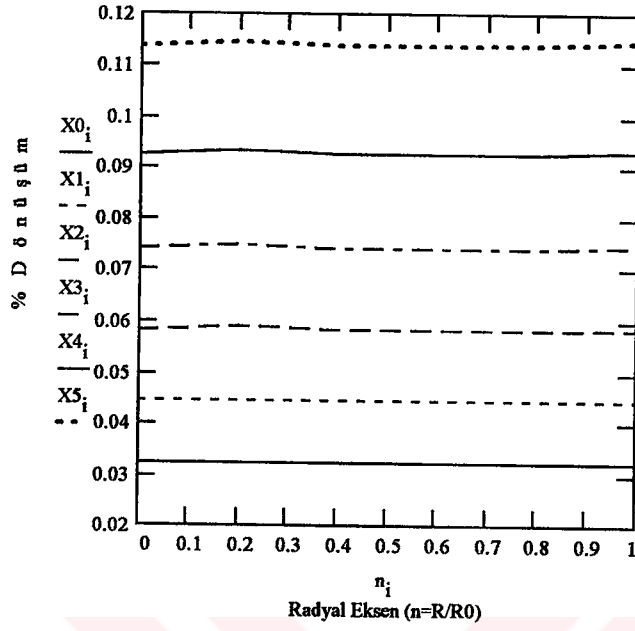
Şekil 8.4. Birinci (eksenel) yatak ortalama sıcaklığının eksenel - radyal değişimi

Şekil 8.1-4. Giriş $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda.

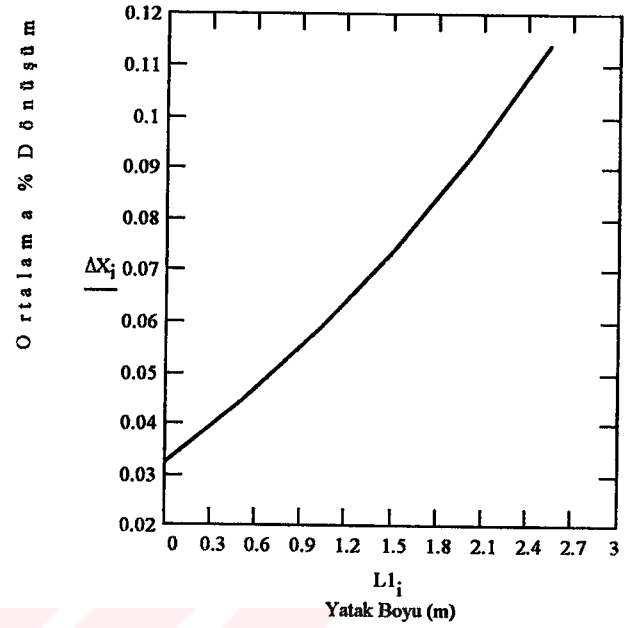
T_0 : Gazın radyal eksenindeki giriş sıcaklık dağılımı

T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 : Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki sıcaklık dağılımı

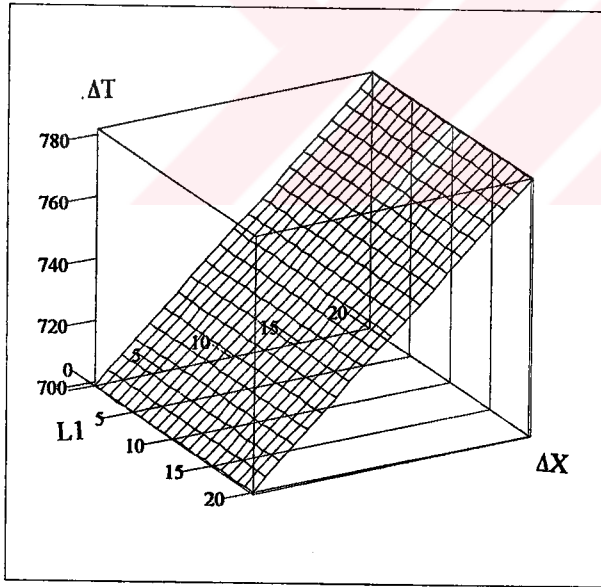
T_M : Model olarak alınan reaktörün yatak çıkış sıcaklığı



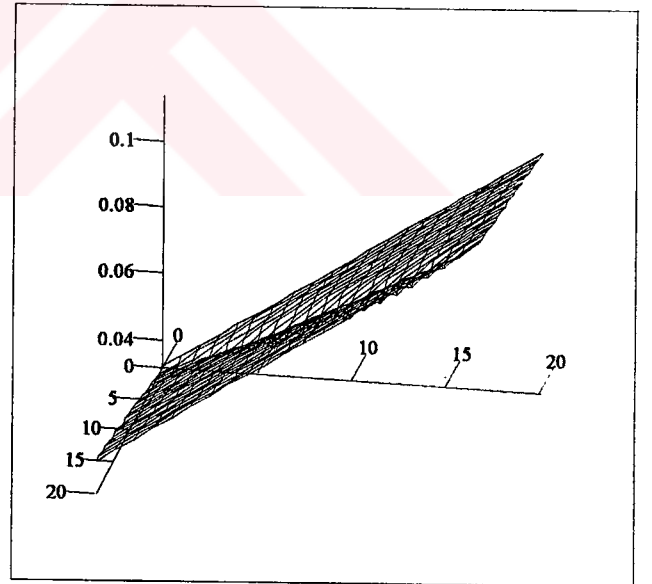
Şekil 8.5. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi.



Şekil 8.6. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişim



L1, ΔX, ΔT



L1, n, ΔX

Şekil 8.7. Birinci (eksenel) yatak, ortalama %dönüşümün-sıcaklığın yatak boyunca değişimi

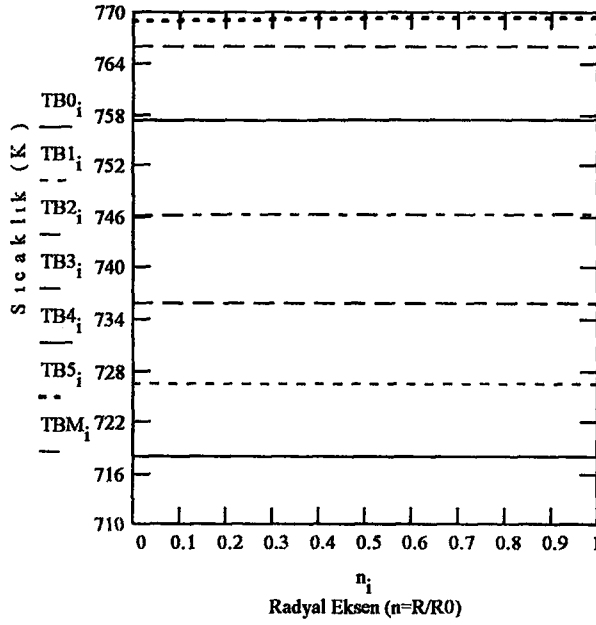
Şekil 8.8. Birinci (eksenel) yatak, %dönüşümün eksenel - radyal değişimi

Şekil 8.6- 8. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$ $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda.

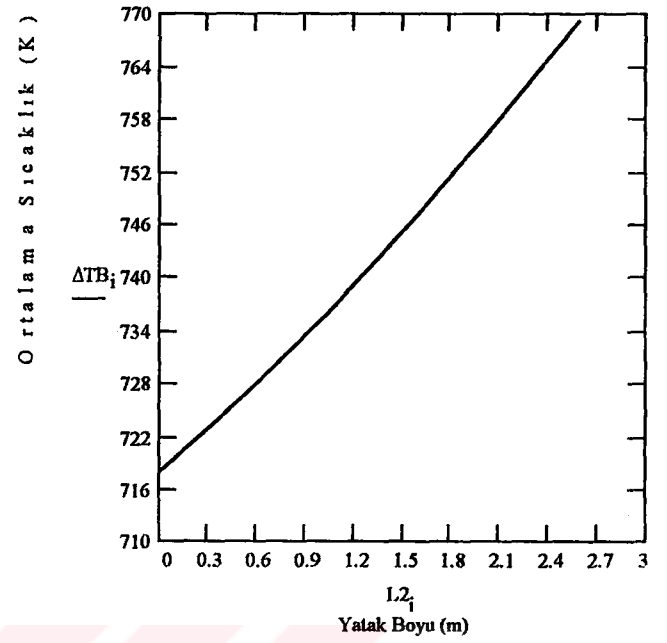
X0: Gazın radyal eksenindeki giriş %dönüşüm dağılımı

X1,X2, X3,X4,X5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki %dönüşüm dağılımı

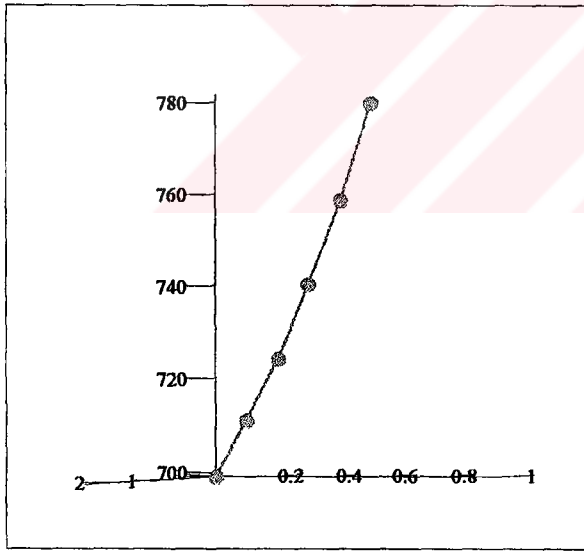




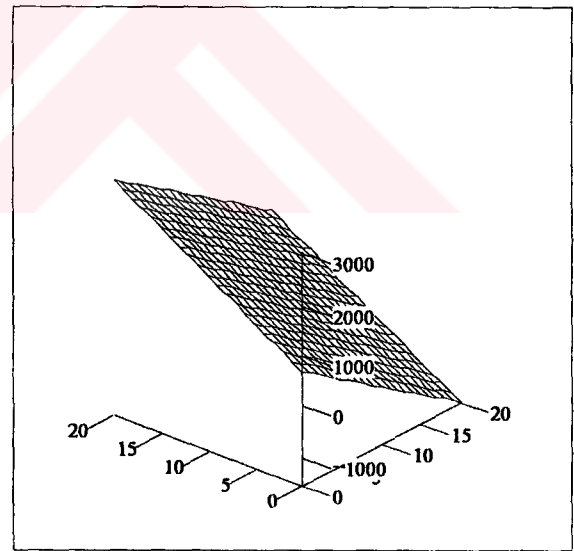
Şekil 8.9. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi.



Şekil 8.10. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi.



L2, n, ΔT



L2, n, ΔT

Şekil 8.11. İkinci (eksenel) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

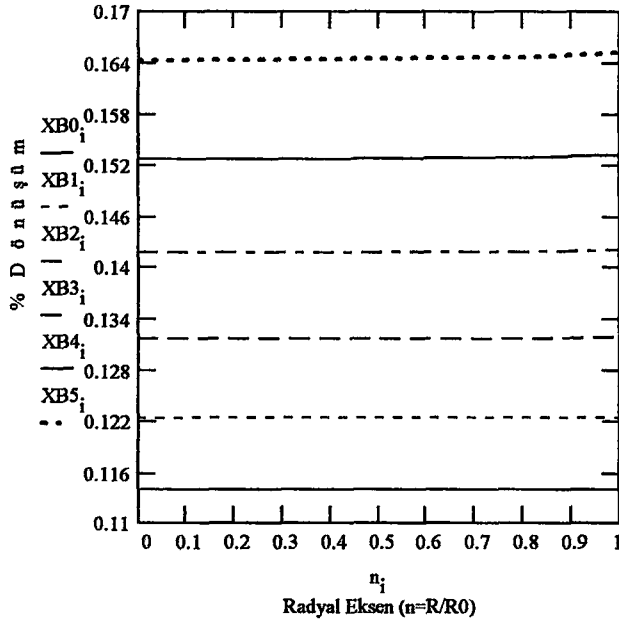
Şekil 8.12. İkinci (eksenel) yatak, sıcaklığın eksenel radyal değişimi

Şekil 8.9-12. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda.

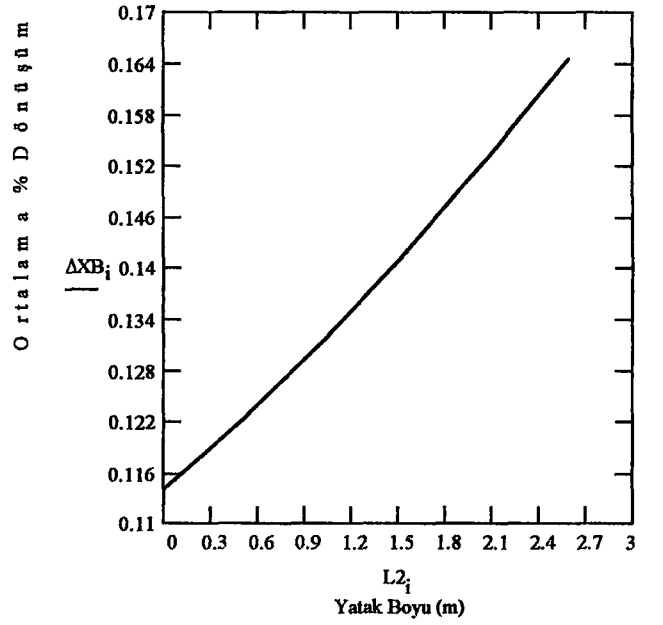
TB0: Gazın radyal eksenindeki giriş sıcaklık dağılımı

TB1, TB2, TB3, TB4, TB5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki sıcaklık dağılımı

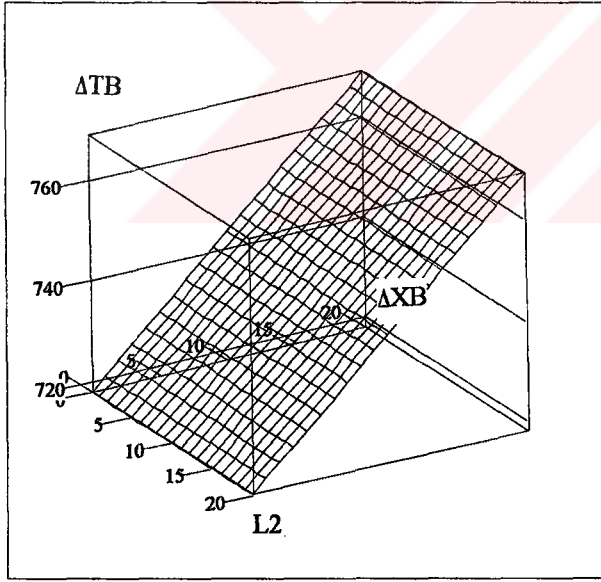
TBM: Model olarak alınan reaktörün yatak çıkış sıcaklığı



Şekil 8.13. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi.

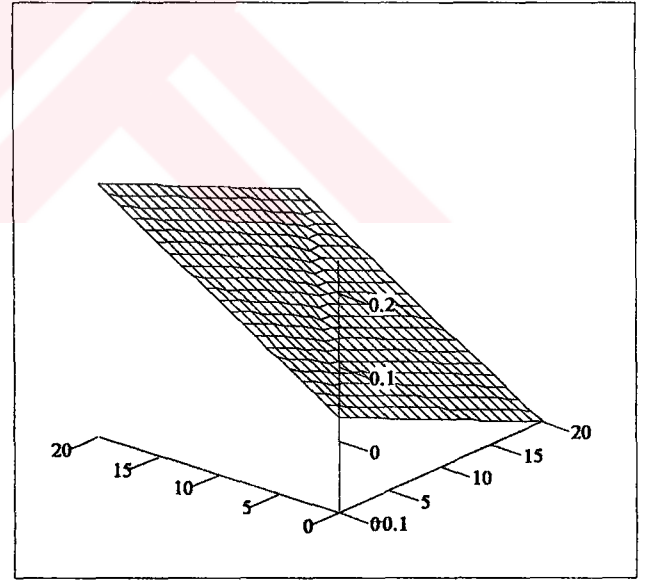


Şekil 8.14. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi



L2, ΔXB, ΔTB

Şekil 8.15. İkinci (eksenel) yatak, ortalama %dönüşümün-sıcaklığın yatak boyunca değişimi



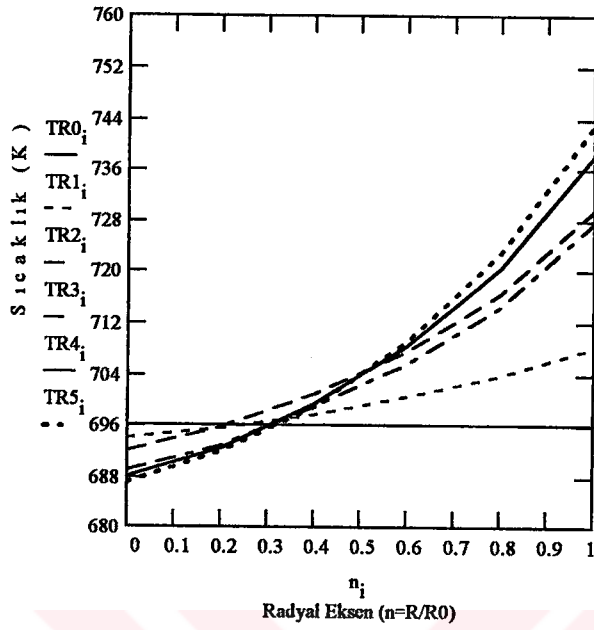
L2, n, ΔX

Şekil 8.16. İkinci (eksenel) yatak %dönüşümünün eksenel - radyal değişimi

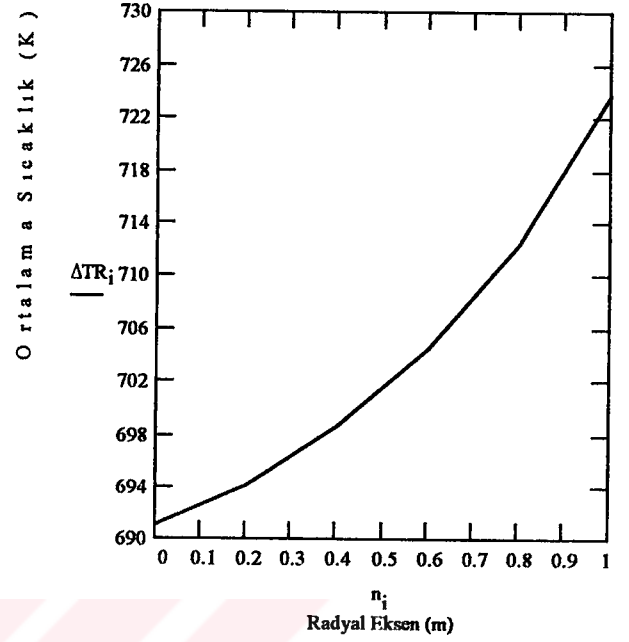
Şekil 8.13-16. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda.

XB0: Gazın radyal eksenindeki giriş %dönüşüm dağılımı

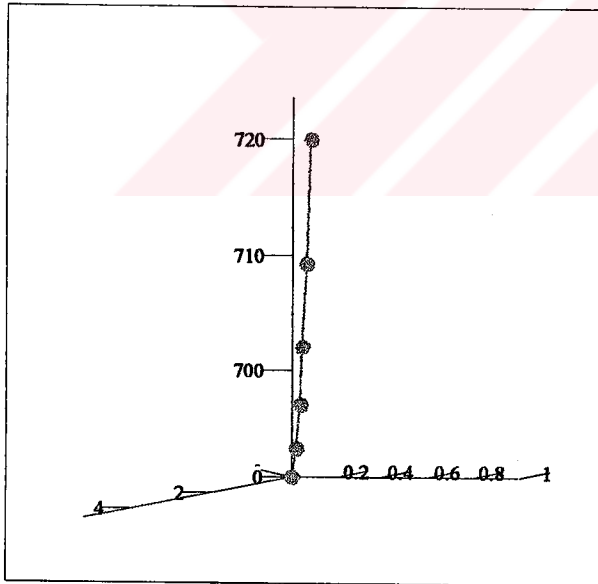
XB1, XB2, XB3, XB4, XB5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki %dönüşüm dağılımı



Şekil 8.17. Üçüncü(radyal) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi.

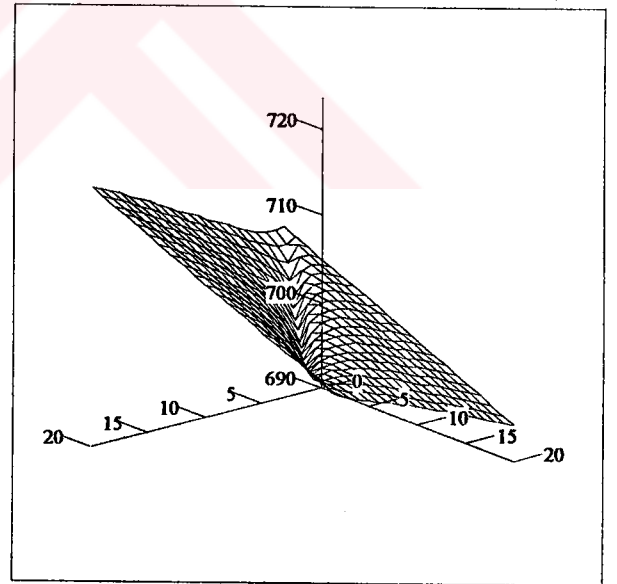


Şekil 8.18. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi.



L3,n, Δ TR

Şekil 8.19. Üçüncü(radyal) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal dağılımı



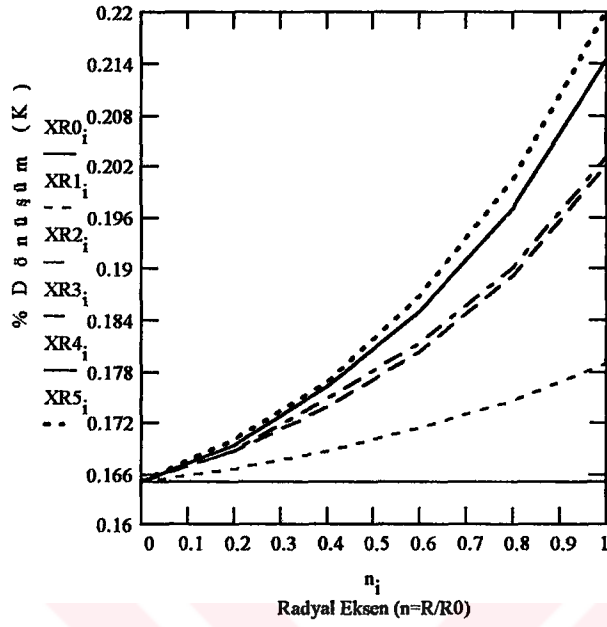
L3,n, Δ TR

Şekil 8.20. Üçüncü(radyal) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal dağılımı

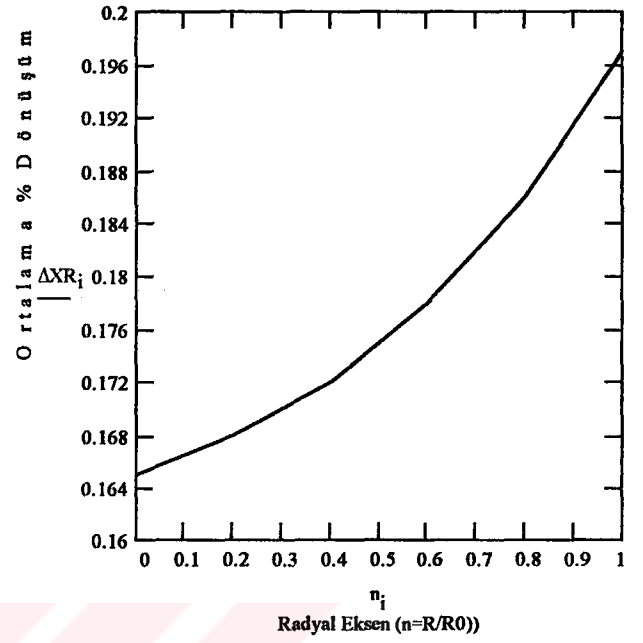
Şekil 8.17-20. Giriş $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda.

TR0: Gazın radyal eksenindeki giriş sıcaklık dağılımı

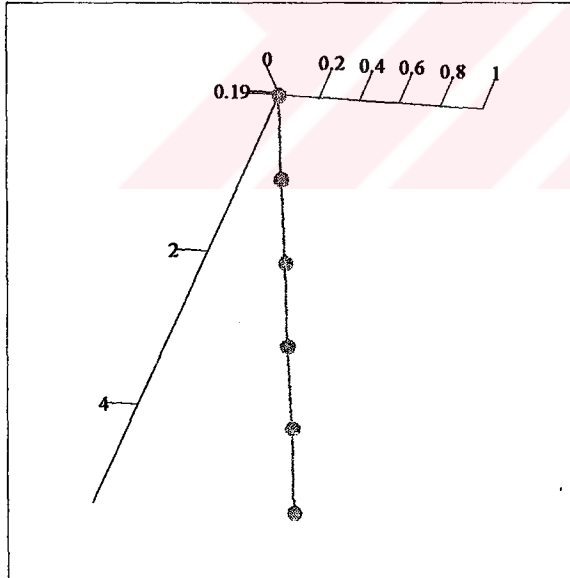
TR1,TR2, TR3,TR4,TR5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 8.21. Üçüncü (radyal) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi.

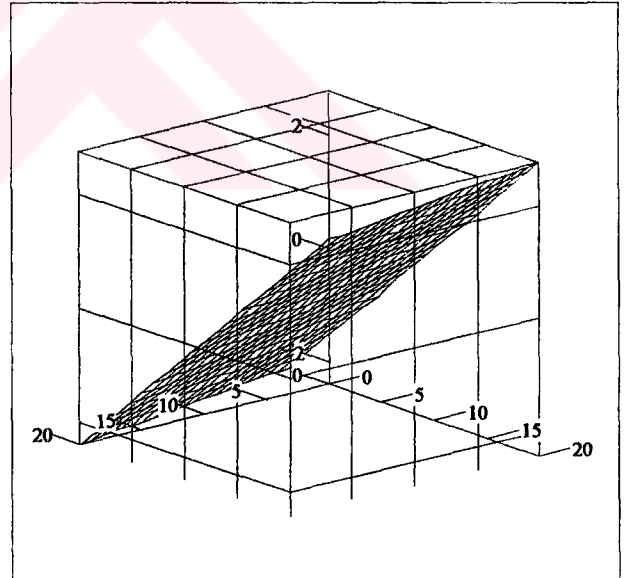


Şekil 8.22. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi.



L3, n, ΔXR

Şekil 8.23. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşümün eksenel - radyal değişimi



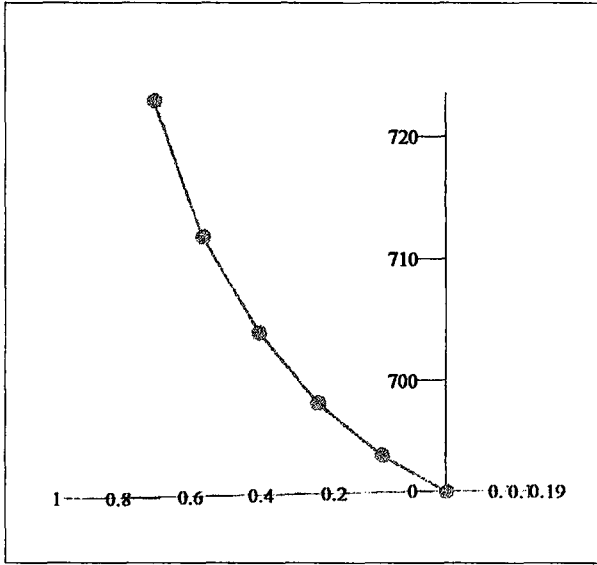
L3, n, ΔXR

Şekil 8.24. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

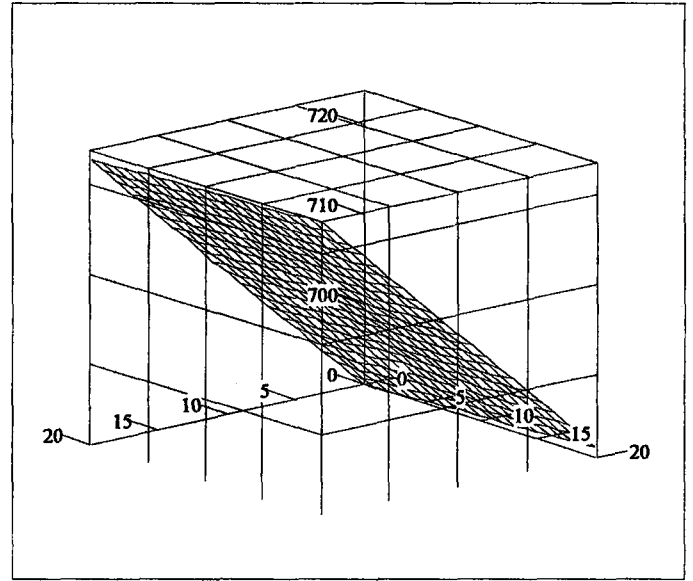
Şekil 8.21- 24. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda.

XR0: Gazın radyal eksenindeki giriş %dönüşüm dağılımı

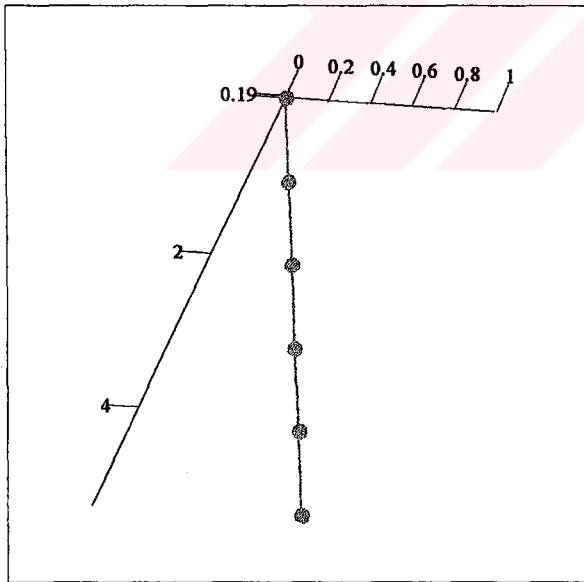
XR1, XR2, XR3, XR4, XR5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki %dönüşüm dağılımı.

n, ΔXR , ΔTR

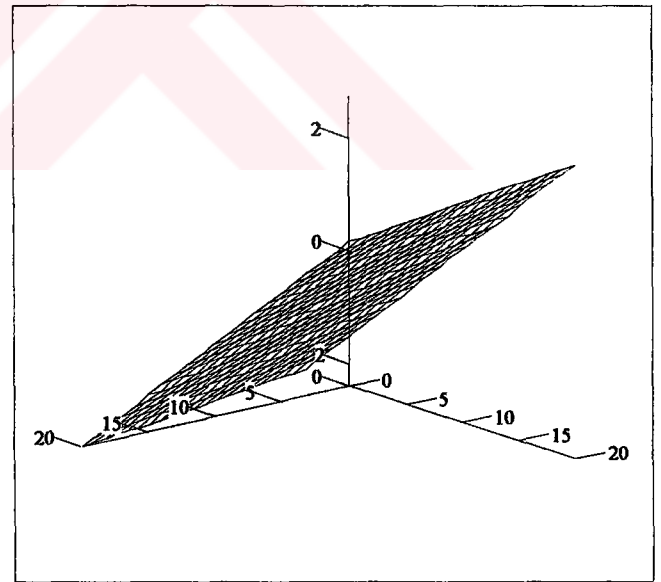
Şekil 8.25. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşümün-sıcaklığın radyal değişimi

L3, ΔXR , ΔTR

Şekil 8.26. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşüm sıcaklığın eksenel değişimi

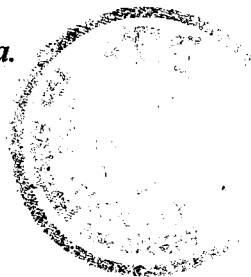
L3, n, ΔXR

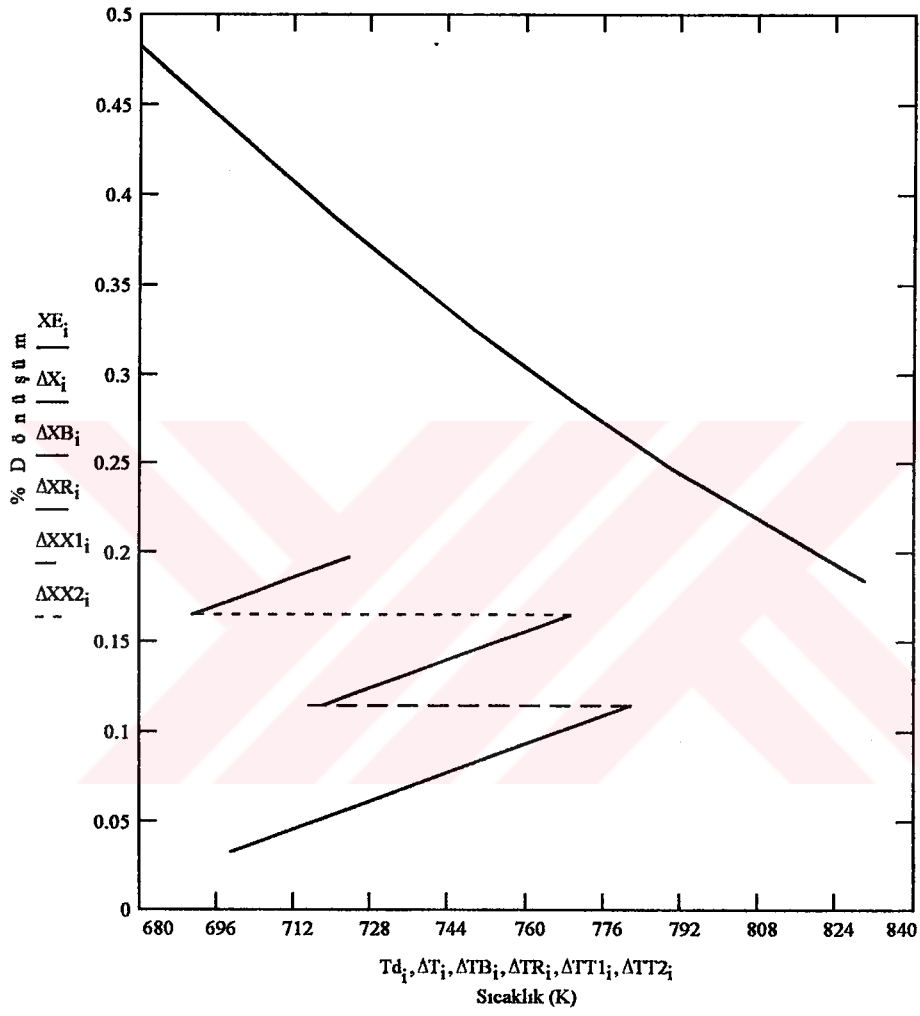
Şekil 8.27. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşümün eksenel - radyal değişimi

L3, n, ΔXR

Şekil 8.28. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

Şekil 8.21- 24. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda.





Şekil 8.29. Sentez reaktörü denge eğrisine göre sıcaklık ve %dönüşüm değişimi.
Giriş $T=699$ K, $P=280$ atm, $X=0.0323$ ve $f=0.95$ durumunda.

8.2. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1 Olması Durumunda Model Denklemlerinin Çözümü

8.2.1. Model Denklemlerinin Çözümünde Kullanılacak Sistem Verileri

Pe := 2	F0 := 22218.8	d := 1.837	XA := 0.2058	MA := 28	ΔH := -13340
Δz := 0.508	G := 65561.2	dp := 0.5 · 10 ⁻³	XB := 0.6306	MB := 2	CP := 0.26
Δr := 0.1837	M := 10.7	ke := 0.71	XC := 0.0269	MC := 17	T0 := 699
θB := 3.064	ε := 0.438	ρB := 2200	XD := 0.0938	MD := 16	T := 750
θC := 0.131	i := 0..5	f := 1	XE := 0.043	ME := 40	PA0 := 56.8
vB := 3	T := 700, 720.. 800				PT := 52.7
vC := 2					

8.2.2. Reaksiyon Hız Sabiti ve Model Denklemleri Notasyon İfadeleri

$$K1(T) := 4.9722 \cdot \exp\left(-\frac{10475.1}{T}\right) \quad K2(T) := 7.1389 \cdot 10^{12} \cdot \exp\left(-\frac{23871.1}{T}\right)$$

$$F1 := \frac{\Delta z \cdot ke}{\Delta r^2 \cdot G \cdot CP} \quad F2 := \frac{\Delta H \cdot \rho B \cdot \Delta z}{G \cdot CP} \quad H1 := \frac{\Delta z \cdot dp}{\Delta r^2 \cdot Pe} \quad H2 := \frac{\rho B \cdot M \cdot \Delta z}{G \cdot XA}$$

8.2.3. Birinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar (T,X)

$$T00 := 699 \quad T10 := 699 \quad T20 := 699 \quad T30 := 699 \quad T40 := 699 \quad T50 := 699$$

$$X00 := 0.0269 \quad X10 := 0.0269 \quad X20 := 0.0269 \quad X30 := 0.0269 \quad X40 := 0.0269 \quad X50 := 0.0269$$

Hız İfadesi:

$$T := 699 \quad x := 0.0269$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.016$$

$$n=0 \quad L=1 \text{ için Hesaplamalar: } 699 \quad K \quad X := 0.0269 \text{ için } RP00 := 0.016$$

$$\text{Tahmin Edilen Değer: } RP := 0.017$$

$$T01 := T00 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T10 - 2 \cdot T00) - F2 \cdot RP \quad T01 = 713.869$$

$$X01 := X00 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X10 - 2 \cdot X00) + H2 \cdot RP \quad X01 = 0.042$$

Şekil 5.1.'den 713.869K ve 4.2% dönüşüm için $RP=0.018$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.016 + 0.018}{2} \quad R_{Port} = 0.017 \quad RP_{01} := 0.018$$

n=1 L=1 için Hesaplamalar: 699 K $X := 0.0269$ için $RP_{10} := 0.016$
Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01701$

$$T_{11} := T_{10} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T_{20} - T_{10}) + T_{20} - 2 \cdot T_{10} + T_{00} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{11} = 713.877$$

$$X_{11} := X_{10} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X_{20} - X_{10}) + X_{20} - 2 \cdot X_{10} + X_{00} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{11} = 0.042$$

Şekil 5.1.'den 713.877 K ve 4.2% dönüşüm için $RP=0.018$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.016 + 0.018}{2} \quad R_{Port} = 0.017 \quad RP_{11} := 0.018$$

n=2 L=1 için Hesaplamalar: $RP_{20} := 0.016$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01702$

$$T_{21} := T_{20} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T_{30} - T_{20}) + T_{30} - 2 \cdot T_{20} + T_{10} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{21} = 713.886$$

$$X_{21} := X_{20} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X_{30} - X_{20}) + X_{30} - 2 \cdot X_{20} + X_{10} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{21} = 0.042$$

Şekil 5.1.'den 713.886 K ve 4.2% dönüşüm için $RP_{21}=0.018$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.016 + 0.018}{2} \quad R_{Port} = 0.017 \quad RP_{21} := 0.018$$

n=3 L=1 için Hesaplamalar: $RP_{30} := 0.016$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01703$

$$T_{31} := T_{30} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{40} - T_{30}) + T_{40} - 2 \cdot T_{30} + T_{20} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{31} = 713.895$$

$$X_{31} := X_{30} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{40} - X_{30}) + X_{40} - 2 \cdot X_{30} + X_{20} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{31} = 0.042$$

Şekil 5.1.'den 713.895 K ve 4.2% dönüşüm için $RP=0.018$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.016 + 0.018}{2} \quad R_{Port} = 0.017 \quad RP_{31} := 0.018$$

n=4 L=1 için Hesaplamalar: RP40 := 0.016

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01705

$$T41 := T40 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T50 - T40) + T50 - 2 \cdot T40 + T30 \right] - F2 \cdot RP \quad T41 = 713.912$$

$$X41 := X40 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X50 - X40) + X50 - 2 \cdot X40 + X30 \right] + H2 \cdot RP \quad X41 = 0.042$$

Şekil 5.1.'den 713.912 K ve 4.2 % dönüşüm için RP=0.018 Böylece;

$$RPort := \frac{0.016 + 0.018}{2} \quad RPort = 0.017 \quad RP41 := 0.018$$

n=5 L=1 için Hesaplamalar: RP50 := 0.016

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01704

$$T51 := T50 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T40 - 2 \cdot T50) - F2 \cdot RP \quad T51 = 713.904$$

$$X51 := X50 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X40 - 2 \cdot X50) + H2 \cdot RP \quad X51 = 0.042$$

Şekil 5.1.'den 713.904 K ve 4.2% dönüşüm için RP=0.018 Böylece;

$$RPort := \frac{0.016 + 0.018}{2} \quad RPort = 0.017 \quad RP51 := 0.018$$

$$T := 731.361 \quad x := 0.06$$

$$r := f \cdot \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.022$$

n=0 L=2 için Hesaplamalar: RP01 = 0.018

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.020

$$T02 := T01 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T11 - 2 \cdot T01) - F2 \cdot RP \quad T02 = 731.361$$

$$X02 := X01 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X11 - 2 \cdot X01) + H2 \cdot RP \quad X02 = 0.06$$

Şekil 5.1.'den 731.361K ve 6.0 % dönüşüm için RP=0.022 Böylece;

$$RPort := \frac{0.018 + 0.022}{2} \quad RPort = 0.02 \quad RP02 := 0.022$$

n=1 L=2 için Hesaplamalar: RP11 = 0.018

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0201

$$T12 := T11 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T21 - T11) + T21 - 2 \cdot T11 + T01 \right] - F2 \cdot RP \quad T12 = 731.457$$

$$X_{12} := X_{11} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X_{21} - X_{11}) + X_{21} - 2 \cdot X_{11} + X_{01} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{12} = 0.06$$

Şekil 5.1.'den 731.457 K ve 6.0% dönüşüm için $RP=0.022$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.018 + 0.022}{2} \quad R_{Port} = 0.02 \quad RP_{12} := 0.022$$

$n=2$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RP_{21} = 0.018$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0202$

$$T_{22} := T_{21} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T_{31} - T_{21}) + T_{31} - 2 \cdot T_{21} + T_{11} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{22} = 731.554$$

$$X_{22} := X_{21} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X_{31} - X_{21}) + X_{31} - 2 \cdot X_{21} + X_{11} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{22} = 0.06$$

Şekil 5.1.'den 731.554 K ve 6.0% dönüşüm için $RP=0.022$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.018 + 0.022}{2} \quad R_{Port} = 0.02 \quad RP_{22} := 0.022$$

$n=3$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RP_{31} = 0.018$

Tahmin edilen değer: $RP := 0.0203$

$$T_{32} := T_{31} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{41} - T_{31}) + T_{41} - 2 \cdot T_{31} + T_{21} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{32} = 731.65$$

$$X_{32} := X_{31} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{41} - X_{31}) + X_{41} - 2 \cdot X_{31} + X_{21} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{32} = 0.06$$

Şekil 5.1.'den 731.65 K ve 6.0% dönüşüm için $RP=0.022$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.018 + 0.022}{2} \quad R_{Port} = 0.02 \quad RP_{32} := 0.022$$

$n=4$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RP_{41} = 0.018$

Tahmin Edilen Değer $RP := 0.0205$

$$T_{42} := T_{41} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T_{51} - T_{41}) + T_{51} - 2 \cdot T_{41} + T_{31} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{42} = 731.842$$

$$X_{42} := X_{41} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X_{51} - X_{41}) + X_{51} - 2 \cdot X_{41} + X_{31} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{42} = 0.06$$

Şekil 5.1.'den 731.842 K ve 6.0% dönüşüm için $RP=0.022$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.018 + 0.022}{2} \quad R_{Port} = 0.02 \quad RP_{42} := 0.022$$

n=5 L=2 için Hesaplamalar: RP51 = 0.018

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0204

$$T52 := T51 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T42 - 2 \cdot T51) - F2 \cdot RP \quad T52 = 731.791$$

$$X52 := X51 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X42 - 2 \cdot X51) + H2 \cdot RP \quad X52 = 0.06$$

Şekil 5.1.'den 731.791 K ve 6.0% dönüşüm için RP=0.022 Böylece;

$$RPort := \frac{0.018 + 0.022}{2} \quad RPort = 0.02 \quad RP52 := 0.022$$

$$T := 751.197 \quad x := 0.081$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.025$$

n=0 ve L=3 için Hesaplamalar RP02 = 0.022

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0235

$$T03 := T02 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T12 - 2 \cdot T02) - F2 \cdot RP \quad T03 = 751.915$$

$$X03 := X02 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X12 - 2 \cdot X02) + H2 \cdot RP \quad X03 = 0.081$$

Şekil 5.1.'den 751.915 K ve 8.1 % dönüşüm için RP=0.025 Böylece;

$$RPort := \frac{0.022 + 0.025}{2} \quad RPort = 0.0235 \quad RP03 := 0.025$$

n=1 L=3 için Hesaplamalar: RP12 = 0.022

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.02351

$$T13 := T12 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T22 - T12) + T22 - 2 \cdot T12 + T02 \right] - F2 \cdot RP \quad T13 = 752.02$$

$$X13 := X12 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X22 - X12) + X22 - 2 \cdot X12 + X02 \right] + H2 \cdot RP \quad X13 = 0.081$$

Şekil 5.1..den 752.K ve 8.1 % dönüşüm için RP=0.025 Böylece;

$$RPort := \frac{0.022 + 0.025}{2} \quad RPort = 0.0235 \quad RP13 := 0.025$$

n=2 L=3 için Hesaplamalar: RP22 = 0.022

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.02352

$$T23 := T22 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T32 - T22) + T32 - 2 \cdot T22 + T12 \right] - F2 \cdot RP \quad T23 = 752.125$$

$$X23 := X22 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X32 - X22) + X32 - 2 \cdot X22 + X12 \right] + H2 \cdot RP \quad X23 = 0.081$$

Şekil 5.1..'den 752.125K ve 8.1 % dönüşüm için $RP=0.025$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.022 + 0.025}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0235$$

$$RP_{23} := 0.025$$

$n=3$ $L=3$ için Hesaplamalar: $RP_{32} = 0.022$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02353$

$$T_{33} := T_{32} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{42} - T_{32}) + T_{42} - 2 \cdot T_{32} + T_{22} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{33} = 752.23$$

$$X_{33} := X_{32} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{42} - X_{32}) + X_{42} - 2 \cdot X_{32} + X_{22} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{33} = 0.081$$

Şekil 5.1..'den 752.23K ve 8.1 % dönüşüm için $RP=0.025$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.022 + 0.025}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0235$$

$$RP_{33} := 0.025$$

$n=4$ $L=3$ için Hesaplamalar: $RP_{42} = 0.022$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02355$

$$T_{43} := T_{42} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T_{52} - T_{42}) + T_{52} - 2 \cdot T_{42} + T_{32} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{43} = 752.439$$

$$X_{43} := X_{42} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X_{52} - X_{42}) + X_{52} - 2 \cdot X_{42} + X_{32} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{43} = 0.081$$

Şekil 5.1..'den 752.439K ve 8.1 % dönüşüm için $RP=0.025$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.022 + 0.025}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0235$$

$$RP_{43} := 0.025$$

$n=5$ $L=3$ için Hesaplamalar: $RP_{52} = 0.022$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02354$

$$T_{53} := T_{52} + 2 \cdot F_1 \cdot (2 \cdot T_{43} - 2 \cdot T_{52}) - F_2 \cdot RP \quad T_{53} = 752.431$$

$$X_{53} := X_{52} + 2 \cdot H_1 \cdot (2 \cdot X_{43} - 2 \cdot X_{52}) + H_2 \cdot RP \quad X_{53} = 0.082$$

Şekil 5.1..'den 752.431K ve 8.1 % dönüşüm için $RP=0.025$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.022 + 0.025}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0235$$

$$RP_{53} := 0.027$$

$$T := 775.957 \quad x := 0.105$$

$$r := f \cdot \left[K_1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + v C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - v B \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K_2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + v C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - v B \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.03036$$

n=0 ve L=4 için Hesaplamalar $RP_{03} = 0.025$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0275$

$$T_{04} := T_{03} + 2 \cdot F_1 \cdot (2 \cdot T_{13} - 2 \cdot T_{03}) - F_2 \cdot RP \quad T_{04} = 775.968$$

$$X_{04} := X_{03} + 2 \cdot H_1 \cdot (2 \cdot X_{13} - 2 \cdot X_{03}) + H_2 \cdot RP \quad X_{04} = 0.105$$

Şekil 5.1.'den 775.968 K ve 10.5 % dönüşüm için $RP=0.03$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.025 + 0.03}{2} \quad R_{Port} = 0.0275 \quad RP_{04} := 0.03$$

n=1 L=4 için Hesaplamalar: $RP_{13} = 0.025$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02751$

$$T_{14} := T_{13} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T_{23} - T_{13}) + T_{23} - 2 \cdot T_{13} + T_{03} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{14} = 776.081$$

$$X_{14} := X_{13} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X_{23} - X_{13}) + X_{23} - 2 \cdot X_{13} + X_{03} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{14} = 0.105$$

Şekil 5.1.'den 776.081 K ve 10.5 % dönüşüm için $RP=0.03$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.025 + 0.03}{2} \quad R_{Port} = 0.0275 \quad RP_{14} := 0.03$$

n=2 L=4 için Hesaplamalar: $RP_{23} = 0.025$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02751$

$$T_{24} := T_{23} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T_{33} - T_{23}) + T_{33} - 2 \cdot T_{23} + T_{13} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{24} = 776.186$$

$$X_{24} := X_{23} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X_{33} - X_{23}) + X_{33} - 2 \cdot X_{23} + X_{13} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{24} = 0.105$$

Şekil 5.1.'den 776.186 K ve 10.5 % dönüşüm için $RP=0.03$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.025 + 0.03}{2} \quad R_{Port} = 0.0275 \quad RP_{24} := 0.03$$

n=3 L=4 için Hesaplamalar: $RP_{33} = 0.025$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02753$

$$T_{34} := T_{33} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{43} - T_{33}) + T_{43} - 2 \cdot T_{33} + T_{23} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{34} = 776.308$$

$$X_{34} := X_{33} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{43} - X_{33}) + X_{43} - 2 \cdot X_{33} + X_{23} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{34} = 0.105$$

Şekil 5.1.'den 776.308 K ve 10.5 % dönüşüm için $RP=0.03$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.025 + 0.03}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0275$$

$$RP_{34} := 0.03$$

n=4 L=4 için Hesaplamalar: $RP_{43} = 0.025$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02755$

$$T_{44} := T_{43} + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T_{53} - T_{43}) + T_{53} - 2 \cdot T_{43} + T_{33} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{44} = 776.535$$

$$X_{44} := X_{43} + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X_{53} - X_{43}) + X_{53} - 2 \cdot X_{43} + X_{33} \right] + H2 \cdot RP \quad X_{44} = 0.105$$

Şekil 5.1.'den 776.535 K ve 10.5 % dönüşüm için $RP=0.03$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.025 + 0.03}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0275$$

$$RP_{44} := 0.03$$

n=5 L=4 için Hesaplamalar: $RP_{53} = 0.027$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02754$

$$T_{54} := T_{53} + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T_{44} - 2 \cdot T_{53}) - F2 \cdot RP \quad T_{54} = 776.579$$

$$X_{54} := X_{53} + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X_{44} - 2 \cdot X_{53}) + H2 \cdot RP \quad X_{54} = 0.106$$

Şekil 5.1.'den 776.579 K ve 10.5 % dönüşüm için $RP=0.03$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.025 + 0.03}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0275$$

$$RP_{54} := 0.03$$

$$T := 803.047 \quad x := 0.132$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + v C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - v B \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + v C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - v B \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.032$$

n=0 ve L=5 için Hesaplamalar $RP_{04} = 0.03$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.031$

$$T_{05} := T_{04} + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T_{14} - 2 \cdot T_{04}) - F2 \cdot RP \quad T_{05} = 803.081$$

$$X_{05} := X_{04} + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X_{14} - 2 \cdot X_{04}) + H2 \cdot RP \quad X_{05} = 0.132$$

Şekil 5.1.'den 803.081 K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.032$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.03 + 0.032}{2}$$

$$R_{Port} = 0.031$$

$$RP_{05} := 0.032$$

n=1 L=5 için Hesaplamalar: $RP_{14} = 0.03$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0311$

$$T_{15} := T_{14} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T_{24} - T_{14}) + T_{24} - 2 \cdot T_{14} + T_{04} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{15} = 803.282$$

$$X_{15} := X_{14} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X_{24} - X_{14}) + X_{24} - 2 \cdot X_{14} + X_{04} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{15} = 0.133$$

Şekil 5.1.'den 803.282 K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.032$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.03 + 0.032}{2} \quad R_{Port} = 0.031 \quad RP_{15} := 0.032$$

n=2 L=5 için Hesaplamalar: $RP_{24} = 0.03$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0312$

$$T_{25} := T_{24} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T_{34} - T_{24}) + T_{34} - 2 \cdot T_{24} + T_{14} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{25} = 803.474$$

$$X_{25} := X_{24} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X_{34} - X_{24}) + X_{34} - 2 \cdot X_{24} + X_{14} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{25} = 0.133$$

Şekil 5.1.'den 803. K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.032$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.03 + 0.032}{2} \quad R_{Port} = 0.031 \quad RP_{25} := 0.032$$

n=3 L=5 için Hesaplamalar: $RP_{34} = 0.03$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0313$

$$T_{35} := T_{34} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{44} - T_{34}) + T_{44} - 2 \cdot T_{34} + T_{24} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{35} = 803.684$$

$$X_{35} := X_{34} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{44} - X_{34}) + X_{44} - 2 \cdot X_{34} + X_{24} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{35} = 0.133$$

Şekil 5.1.'den 803.684 K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.032$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.03 + 0.032}{2} \quad R_{Port} = 0.031 \quad RP_{35} := 0.032$$

n=4 L=5 için Hesaplamalar: $RP_{44} = 0.03$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0314$

$$T_{45} := T_{44} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T_{54} - T_{44}) + T_{54} - 2 \cdot T_{44} + T_{34} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{45} = 803.998$$

$$X_{45} := X_{44} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X_{54} - X_{44}) + X_{54} - 2 \cdot X_{44} + X_{34} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{45} = 0.133$$

Şekil 5.1.'den 803.998 K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.032$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.03 + 0.032}{2} \quad R_{Port} = 0.031 \quad RP45 := 0.032$$

n=5 L=5 için Hesaplamalar: $RP54 = 0.03$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0312$

$$T55 := T54 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T45 - 2 \cdot T54) - F2 \cdot RP \quad T55 = 803.936$$

$$X55 := X54 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X45 - 2 \cdot X54) + H2 \cdot RP \quad X55 = 0.134$$

Şekil 5.1.'den 803.936 K ve 13.2% dönüşüm için $RP=0.032$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.03 + 0.032}{2} \quad R_{Port} = 0.031 \quad RP55 := 0.032$$

8.2.4. İkinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar (TB, XB)

$$T05 = 803.081 \quad T15 = 803.282 \quad T25 = 803.474 \quad T35 = 803.684 \quad T45 = 803.998 \quad T55 = 803.936$$

$$X05 = 0.132 \quad X15 = 0.133 \quad X25 = 0.133 \quad X35 = 0.133 \quad X45 = 0.133 \quad X55 = 0.134$$

$$TB00 := 718 \quad TB10 := 718 \quad TB20 := 718 \quad TB30 := 718 \quad TB40 := 718 \quad TB50 := 718$$

$$XB00 := 0.133 \quad XB10 := 0.133 \quad XB20 := 0.133 \quad XB30 := 0.133 \quad XB40 := 0.133 \quad XB50 := 0.133$$

$$\Delta z := 0.518 \quad F1 := \frac{\Delta z \cdot k_e}{\Delta r^2 \cdot G \cdot CP} \quad F2 := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta z}{G \cdot CP} \quad H1 := \frac{\Delta z \cdot dp}{\Delta r^2 \cdot Pe} \quad H2 := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta z}{G \cdot XA}$$

$$T := 726.047 \quad x := 0.142$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon)x} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.01$$

n=0 L=1 için Hesaplamalar: $RPB00 := 0.009$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0095$

$$TB01 := TB00 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB10 - 2 \cdot TB00) - F2 \cdot RP \quad TB01 = 726.473$$

$$XB01 := XB00 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB10 - 2 \cdot XB00) + H2 \cdot RP \quad XB01 = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 726.473 K ve 14.2% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad R_{Port} = 0.0095 \quad RPB01 := 0.01$$

n=1 L=1 için Hesaplamalar: $RP_{10} := 0.009$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.00951$

$$TB_{11} := TB_{10} + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB_{20} - TB_{10}) + TB_{20} - 2 \cdot TB_{10} + TB_{00} \right] - F2 \cdot RP \quad TB_{11} = 726.481$$

$$XB_{11} := XB_{10} + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB_{20} - XB_{10}) + XB_{20} - 2 \cdot XB_{10} + XB_{00} \right] + H2 \cdot RIXB_{11} = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 726.481 K ve 14.2% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad RPort = 0.0095 \quad RPB_{11} := 0.01$$

n=2 L=1 için Hesaplamalar: $RPB_{10} := 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.00952$

$$TB_{21} := TB_{20} + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB_{30} - TB_{20}) + TB_{30} - 2 \cdot TB_{20} + TB_{10} \right] - F2 \cdot RP \quad TB_{21} = 726.49$$

$$XB_{21} := XB_{20} + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB_{30} - XB_{20}) + XB_{30} - 2 \cdot XB_{20} + XB_{10} \right] + H2 \cdot RP \quad XB_{21} = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 726.49 K ve 14.2% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad RPort = 0.0095 \quad RPB_{21} := 0.01$$

n=3 L=1 için Hesaplamalar: $RPB_{30} := 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.00953$

$$TB_{31} := TB_{30} + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB_{40} - TB_{30}) + TB_{40} - 2 \cdot TB_{30} + TB_{20} \right] - F2 \cdot RP \quad TB_{31} = 726.499$$

$$XB_{31} := XB_{30} + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB_{40} - XB_{30}) + XB_{40} - 2 \cdot XB_{30} + XB_{20} \right] + H2 \cdot RIXB_{31} = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 726.499 K ve 14.2% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad RPort = 0.0095 \quad RPB_{31} := 0.01$$

n=4 L=1 için Hesaplamalar: $RPB_{40} := 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.00954$

$$TB_{41} := TB_{40} + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB_{50} - TB_{40}) + TB_{50} - 2 \cdot TB_{40} + TB_{30} \right] - F2 \cdot RP \quad TB_{41} = 726.508$$

$$XB_{41} := XB_{40} + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB_{50} - XB_{40}) + XB_{50} - 2 \cdot XB_{40} + XB_{30} \right] + H2 \cdot RP \quad XB_{41} = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 726. 508 K ve 14.2% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad R_{Port} = 0.0095 \quad R_{PB41} := 0.01$$

$n=5$ $L=1$ için Hesaplamalar: $R_{PB50} := 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.00952$

$$TB51 := TB50 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB40 - 2 \cdot TB50) - F2 \cdot RP \quad TB51 = 726.49$$

$$XB51 := XB50 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB40 - 2 \cdot XB50) + H2 \cdot RP \quad XB51 = 0.142$$

Şekil 5.1.'den 726.49 K ve 14.2% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad R_{Port} = 0.0095 \quad R_{PB51} := 0.01$$

$$T := 735.879 \quad x := 0.151$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \varepsilon \cdot x} \right]^{0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.011$$

$n=0$ $L=2$ için Hesaplamalar: $R_{PB01} = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0105$

$$TB02 := TB01 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB11 - 2 \cdot TB01) - F2 \cdot RP \quad TB02 = 735.837$$

$$XB02 := XB01 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB11 - 2 \cdot XB01) + H2 \cdot RP \quad XB02 = 0.151$$

Şekil 5.1.'den 735.837 K ve 15.1 % dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad R_{Port} = 0.0105 \quad R_{PB02} := 0.011$$

$n=1$ $L=2$ için Hesaplamalar: $R_{PB11} = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01051$

$$TB12 := TB11 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB21 - TB11) + TB21 - 2 \cdot TB11 + TB01 \right] - F2 \cdot RP \quad TB12 = 735.855$$

$$XB12 := XB11 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB21 - XB11) + XB21 - 2 \cdot XB11 + XB01 \right] + H2 \cdot RP \quad XB12 = 0.151$$

Şekil 5.1.'den 735.855 K ve 15.1 % dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad R_{Port} = 0.0105 \quad R_{PB12} := 0.011$$



n=2 L=2 için Hesaplamalar: RPB21 = 0.01

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01052

$$TB22 := TB21 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB31 - TB21) + TB31 - 2 \cdot TB21 + TB11 \right] - F2 \cdot RP \quad TB22 = 735.873$$

$$XB22 := XB21 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB31 - XB21) + XB31 - 2 \cdot XB21 + XB11 \right] + H2 \cdot RP \quad XB22 = 0.151$$

Şekil 5.1.'den 735.873 K ve 15.1 % dönüşüm için RP=0.011 Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB22 := 0.011$$

n=3 L=2 için Hesaplamalar: RPB31 = 0.01

Tahmin edilen değer: RP := 0.01053

$$TB32 := TB31 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB41 - TB31) + TB41 - 2 \cdot TB31 + TB21 \right] - F2 \cdot RP \quad TB32 = 735.89$$

$$XB32 := XB31 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB41 - XB31) + XB41 - 2 \cdot XB31 + XB21 \right] + H2 \cdot RP \quad XB32 = 0.151$$

Şekil 5.1.'den 735.89 K ve 15.1% dönüşüm için RP=0.011 Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB32 := 0.011$$

n=4 L=2 için Hesaplamalar: RPB41 = 0.01

Tahmin Edilen Değer RP := 0.01054

$$TB42 := TB41 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB51 - TB41) + TB51 - 2 \cdot TB41 + TB31 \right] - F2 \cdot RP \quad TB42 = 735.908$$

$$XB42 := XB41 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB51 - XB41) + XB51 - 2 \cdot XB41 + XB31 \right] + H2 \cdot RP \quad XB42 = 0.151$$

Şekil 5.1.'den 735.908 K ve 15.1% dönüşüm için RP=0.011 Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB42 := 0.011$$

n=5 L=2 için Hesaplamalar: RPB51 = 0.01

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01052

$$TB52 := TB51 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB42 - 2 \cdot TB51) - F2 \cdot RP \quad TB52 = 735.897$$

$$XB52 := XB51 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB42 - 2 \cdot XB51) + H2 \cdot RP \quad XB52 = 0.151$$

Şekil 5.1.'den 735.897 K ve 15.1% dönüşüm için RP=0.011 Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB52 := 0.011$$

$$T := 746.15 \quad x := 0.161$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.012$$

n=0 ve L=3 için Hesaplamalar RPB02 = 0.011

Tahmin edilen RP := 0.0115

$$TB03 := TB02 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB12 - 2 \cdot TB02) - F2 \cdot RP \quad TB03 = 746.093$$

$$XB03 := XB02 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB12 - 2 \cdot XB02) + H2 \cdot RP \quad XB03 = 0.161$$

Şekil 5.1.'den 746.093 K ve 16.1% dönüşüm için RP03=0.012 Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2} \quad RPort = 0.0115 \quad RPB03 := 0.012$$

n=1 L=3 için Hesaplamalar: RPB12 = 0.011

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01151

$$TB13 := TB12 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB22 - TB12) + TB22 - 2 \cdot TB12 + TB02 \right] - F2 \cdot RP \quad TB13 = 746.12$$

$$XB13 := XB12 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB22 - XB12) + XB22 - 2 \cdot XB12 + XB02 \right] + H2 \cdot RP \quad XB13 = 0.161$$

Şekil 5.1.'den 747.171 K ve 13.5% dönüşüm için RP03=0.015 Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.015}{2} \quad RPort = 0.014 \quad RPB13 := 0.012$$

n=2 L=3 için Hesaplamalar: RPB22 = 0.011

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01152

$$TB23 := TB22 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB32 - TB22) + TB32 - 2 \cdot TB22 + TB12 \right] - F2 \cdot RP \quad TB23 = 746.147$$

$$XB23 := XB22 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB32 - XB22) + XB32 - 2 \cdot XB22 + XB12 \right] + H2 \cdot RP \quad XB23 = 0.162$$

Şekil 5.1.'den 746. K ve 16.1% dönüşüm için RP03=0.012 Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2} \quad RPort = 0.0115 \quad RPB23 := 0.012$$

n=3 L=3 için Hesaplamalar: RPB32 = 0.011

Tahmin edilen değer: RP := 0.01153

$$TB33 := TB32 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB42 - TB32) + TB42 - 2 \cdot TB32 + TB22 \right] - F2 \cdot RP \quad TB33 = 746.173$$

$$XB33 := XB32 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB42 - XB32) + XB42 - 2 \cdot XB32 + XB22 \right] + H2 \cdot RP \quad XB33 = 0.162$$

Şekil 5.1.'den 746.173 K ve 16.1% dönüşüm için $RP03=0.012$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2} \quad RPort = 0.0115 \quad RPB33 := 0.012$$

n=4 L=3 için Hesaplamalar: $RPB42 = 0.011$

Tahmin edilen değer $RP := 0.01154$

$$TB43 := TB42 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB52 - TB42) + TB52 - 2 \cdot TB42 + TB32 \right] - F2 \cdot RP \quad TB43 = 746.2$$

$$XB43 := XB42 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB52 - XB42) + XB52 - 2 \cdot XB42 + XB32 \right] + H2 \cdot RP \quad XB43 = 0.162$$

Şekil 5.1.'den 746.2 K ve 16.2% dönüşüm için $RP03=0.012$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2} \quad RPort = 0.0115 \quad RPB43 := 0.012$$

n=5 L=3 için Hesaplamalar: $RPB52 = 0.011$

Tahmin edilen değer $RP := 0.01153$

$$TB53 := TB52 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB43 - 2 \cdot TB52) - F2 \cdot RP \quad TB53 = 746.206$$

$$XB53 := XB52 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB43 - 2 \cdot XB52) + H2 \cdot RP \quad XB53 = 0.162$$

Şekil 5.1.'den 746.206 K ve 16.2% dönüşüm için $RP03=0.012$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2} \quad RPort = 0.0115 \quad RPB53 := 0.012$$

$$T := 757.23 \quad x := 0.172$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + v C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - v B \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + v C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - v B \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.013$$

n=0 ve L=4 için Hesaplamalar $RPB03 = 0.012$

Tahmin edilen $RP := 0.0125$

$$TB04 := TB03 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB13 - 2 \cdot TB03) - F2 \cdot RP \quad TB04 = 757.241$$

$$XB04 := XB03 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB13 - 2 \cdot XB03) + H2 \cdot RP \quad XB04 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 757.241 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.012 + 0.013}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0125$$

$$R_{PB04} := 0.013$$

n=1 L=4 için Hesaplamalar: $R_{PB13} = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01251$

$$TB14 := TB13 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB23 - TB13) + TB23 - 2 \cdot TB13 + TB03 \right] - F2 \cdot RP \quad TB14 = 757.277$$

$$XB14 := XB13 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB23 - XB13) + XB23 - 2 \cdot XB13 + XB03 \right] + H2 \cdot RP \quad XB14 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 757.277 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.012 + 0.013}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0125$$

$$R_{PB14} := 0.013$$

n=2 L=4 için Hesaplamalar: $R_{PB23} = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01252$

$$TB24 := TB23 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB33 - TB23) + TB33 - 2 \cdot TB23 + TB13 \right] - F2 \cdot RP \quad TB24 = 757.312$$

$$XB24 := XB23 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB33 - XB23) + XB33 - 2 \cdot XB23 + XB13 \right] + H2 \cdot RP \quad XB24 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 757.312 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.012 + 0.013}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0125$$

$$R_{PB24} := 0.013$$

n=3 L=4 için Hesaplamalar: $R_{PB33} = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01253$

$$TB34 := TB33 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB43 - TB33) + TB43 - 2 \cdot TB33 + TB23 \right] - F2 \cdot RP \quad TB34 = 757.348$$

$$XB34 := XB33 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB43 - XB33) + XB43 - 2 \cdot XB33 + XB23 \right] + H2 \cdot RP \quad XB34 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 757.348 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.012 + 0.013}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0125$$

$$R_{PB34} := 0.013$$

n=4 L=4 için Hesaplamalar: $R_{PB43} = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01254$

$$TB44 := TB43 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB53 - TB43) + TB53 - 2 \cdot TB43 + TB33 \right] - F2 \cdot RP \quad TB44 = 757.384$$

$$XB44 := XB43 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB53 - XB43) + XB53 - 2 \cdot XB43 + XB33 \right] + H2 \cdot RP \quad XB44 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 757.384 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad R_{Port} = 0.0125 \quad R_{PB44} := 0.013$$

n=5 L=4 için Hesaplamalar: $R_{PB53} = 0.012$

Tahmin edilen $RP := 0.01253$

$$TB54 := TB53 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB44 - 2 \cdot TB53) - F2 \cdot RP \quad TB54 = 757.409$$

$$XB54 := XB53 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB44 - 2 \cdot XB53) + H2 \cdot RP \quad XB54 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 757.409 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad R_{Port} = 0.0125 \quad R_{PB54} := 0.013$$

$$T := 768.823 \quad x := 0.184$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.013$$

n=0 ve L=5 için Hesaplamalar $R_{PB04} = 0.013$

Tahmin edilen $RP := 0.013$

$$TB05 := TB04 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB14 - 2 \cdot TB04) - F2 \cdot RP \quad TB05 = 768.835$$

$$XB05 := XB04 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB14 - 2 \cdot XB04) + H2 \cdot RP \quad XB05 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 768. K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad R_{Port} = 0.013 \quad R_{PB05} := 0.013$$

n=1 L=5 için Hesaplamalar: $R_{PB14} = 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01302$

$$TB15 := TB14 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB24 - TB14) + TB24 - 2 \cdot TB14 + TB04 \right] - F2 \cdot RP \quad TB15 = 768.889$$

$$XB15 := XB14 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB24 - XB14) + XB24 - 2 \cdot XB14 + XB04 \right] + H2 \cdot RP \quad XB15 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 768.889 K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad R_{Port} = 0.013 \quad R_{PB15} := 0.013$$

n=2 L=5 için Hesaplamalar: $R_{PB24} = 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01303$

$$TB25 := TB24 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB34 - TB24) + TB34 - 2 \cdot TB24 + TB14 \right] - F2 \cdot RP \quad TB25 = 768.933$$

$$XB25 := XB24 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB34 - XB24) + XB34 - 2 \cdot XB24 + XB14 \right] + H2 \cdot RP \quad XB25 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 768.933 K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.013 \quad RPB25 := 0.013$$

n=3 L=5 için Hesaplamalar: $RPB34 = 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01304$

$$TB35 := TB34 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB44 - TB34) + TB44 - 2 \cdot TB34 + TB24 \right] - F2 \cdot RP \quad TB35 = 768.978$$

$$XB35 := XB34 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB44 - XB34) + XB44 - 2 \cdot XB34 + XB24 \right] + H2 \cdot RP \quad XB35 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 768.978 K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.013 \quad RPB35 := 0.018$$

n=4 L=5 için Hesaplamalar: $RPB44 = 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01302$

$$TB45 := TB44 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB54 - TB44) + TB54 - 2 \cdot TB44 + TB34 \right] - F2 \cdot RP \quad TB45 = 768.995$$

$$XB45 := XB44 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB54 - XB44) + XB54 - 2 \cdot XB44 + XB34 \right] + H2 \cdot RP \quad XB45 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 768.995 K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.013 \quad RPB45 := 0.018$$

n=5 L=5 için Hesaplamalar: $RPB54 = 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01302$

$$TB55 := TB54 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB45 - 2 \cdot TB54) - F2 \cdot RP \quad TB55 = 769.051$$

$$XB55 := XB54 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB45 - 2 \cdot XB54) + H2 \cdot RP \quad XB55 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 769.051 K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.013 \quad RPB55 := 0.018$$

8.2.5. Üçüncü (Radyal) Yatak İçin Hesaplamalar (TR, XR)

$$\begin{aligned} \text{TB05} &:= 768.835 & \text{TB15} &:= 768.889 & \text{TB25} &:= 768.933 & \text{TB35} &:= 768.978 & \text{TB45} &:= 768.995 & \text{TB55} &:= 769.051 \\ \text{XB05} &:= 0.185 & \text{XB15} &:= 0.185 & \text{XB25} &:= 0.185 & \text{XB35} &:= 0.185 & \text{XB45} &:= 0.185 & \text{XB55} &:= 0.185 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TR00} &:= 696 & \text{TR10} &:= 694 & \text{TR20} &:= 692 & \text{TR30} &:= 689 & \text{TR40} &:= 688 & \text{TR50} &:= 687 \\ \text{XR00} &:= 0.185 & \text{XR10} &:= 0.185 & \text{XR20} &:= 0.185 & \text{XR30} &:= 0.185 & \text{XR40} &:= 0.185 & \text{XR50} &:= 0.185 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F0} &:= 22218.8 & \text{M} &:= 10.7 & \text{F} &:= \text{F0} \cdot \text{M} & \text{F} &:= 2.377 \cdot 10^5 & \Delta r &:= 0.169 & \Delta Z &:= 1.051 \\ \text{R0} &:= 0.2585 & \text{R1} &:= 0.429 & \text{R2} &:= 0.598 & \text{R3} &:= 0.767 & \text{R4} &:= 0.936 & \text{R5} &:= 1.105 & \text{L3} &:= 5.255 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{G(R)} &:= \frac{\text{F}}{2 \cdot \pi \cdot \text{R} \cdot \text{L3}} & \text{G(R1)} &:= 1.678 \cdot 10^4 & \text{G(R3)} &:= 9.388 \cdot 10^3 & \text{G(R5)} &:= 6.516 \cdot 10^3 \\ & & \text{G(R2)} &:= 1.204 \cdot 10^4 & \text{G(R4)} &:= 7.693 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F1(R)} &:= \frac{\Delta r \cdot k_e}{\Delta Z^2 \cdot \text{G(R)} \cdot \text{CP}} & \text{F2(R)} &:= \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{\text{G(R)} \cdot \text{CP}} & \text{H2(R)} &:= \frac{\rho_B \cdot \text{M} \cdot \Delta r}{\text{G(R)} \cdot \text{XA}} & \text{H1} &:= \frac{\Delta r \cdot d_p}{\Delta Z^2 \cdot \text{Pe}} \end{aligned}$$

$$\text{T} := 696.43 \quad \text{x} := 0.189$$

$$\text{r} := \text{f} \left[\text{K1(T)} \cdot \left(\frac{1-x}{\theta_C + v_C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta_B - v_B \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (\text{PT})^{1.5} - \text{K2(T)} \cdot \left(\frac{1}{\theta_C + v_C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta_B - v_B \cdot x)^3}{1-\varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (\text{PT})^{-0.5} \right]$$

$$\text{r} = 0.004$$

$$\text{n}=0 \quad \text{L}=1 \text{ için Hesaplamalar: } \text{RPR00} := 0.004$$

$$\text{Tahmin Edilen Değer: } \text{RP} := 0.004$$

$$\text{Burada Karışım Yoğunluğu } 0.00 \text{ kg/m}^3 \text{ olarak alınmıştır. } \rho_B := 0.00$$

$$\text{F2(R)} := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{\text{G(R)} \cdot \text{CP}} \quad \text{H2(R)} := \frac{\rho_B \cdot \text{M} \cdot \Delta r}{\text{G(R)} \cdot \text{XA}}$$

$$\text{TR01} := \text{TR00} + 2 \cdot \text{F1(R1)} \cdot (2 \cdot \text{TR10} - 2 \cdot \text{TR00}) - \text{F2(R1)} \cdot \text{RP} \quad \text{TR01} = 696$$

$$\text{XR01} := \text{XR00} + 2 \cdot \text{H1} \cdot (2 \cdot \text{XR10} - 2 \cdot \text{XR00}) + \text{H2(R1)} \cdot \text{RP} \quad \text{XR01} = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 696.0 K ve 18.5% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$\text{RPort} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad \text{RPort} = 0.004 \quad \text{RPR01} := 0.004$$

$$\text{n}=1 \quad \text{L}=1 \text{ için Hesaplanıncı: } \text{RPB10} := 0.004$$

$$\text{Tahmin Edilen Değer: } \text{RP} := 0.004$$

$$\text{Burada Karışım Yoğunluğu } 700 \text{ kg/m}^3 \text{ olarak alınmıştır.}$$

$$\rho_B := 700$$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR11 := TR10 + F1(R1) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR20 - TR10) + TR20 - 2 \cdot TR10 + TR00 \right] - F2(R1) \cdot RP \quad TR11 = 695.446$$

$$XR11 := XR10 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR20 - XR10) + XR20 - 2 \cdot XR10 + XR00 \right] + H2(R1) \cdot RP \quad XR11 = 0.186$$

Şekil 5.1.'den 695.466 K ve 18.6% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR11 := 0.004$$

n=2 L=1 için Hesaplamalar: $RPR20 := 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0041$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR21 := TR20 + F1(R1) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR30 - TR20) + TR30 - 2 \cdot TR20 + TR10 \right] - F2(R1) \cdot RP \quad TR21 = 695.601$$

$$XR21 := XR20 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR30 - XR20) + XR30 - 2 \cdot XR20 + XR10 \right] + H2(R1) \cdot RP \quad XR21 = 0.189$$

Şekil 5.1.'den 695.601K ve 18.9% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR21 := 0.004$$

n=3 L=1 için Hesaplamalar: $RPR30 := 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR31 := TR30 + F1(R1) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR40 - TR30) + TR40 - 2 \cdot TR30 + TR20 \right] - F2(R1) \cdot RP \quad TR31 = 693.133$$

$$XR31 := XR30 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR40 - XR30) + XR40 - 2 \cdot XR30 + XR20 \right] + H2(R1) \cdot RP \quad XR31 = 0.189$$

Şekil 5.1.'den 693.133K ve 18.9% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR31 := 0.004$$

n=4 L=1 için Hesaplamalar: RPB40 := 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR41 := TR40 + F1(R1) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR50 - TR40) + TR50 - 2 \cdot TR40 + TR30 \right] - F2(R1) \cdot RP \quad TR41 = 692.753$$

$$XR41 := XR40 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR50 - XR40) + XR50 - 2 \cdot XR40 + XR30 \right] + H2(R1) \cdot RP \quad XR41 = 0.19$$

Şekil 5.1.'den 692.753 K ve 19.0% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPB41 := 0.004$$

n=5 L=1 için Hesaplamalar: RPB50 := 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0041

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR51 := TR50 + 2 \cdot F1(R1) \cdot (2 \cdot TR40 - 2 \cdot TR50) - F2(R1) \cdot RP \quad TR51 = 692.507$$

$$XR51 := XR50 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR40 - 2 \cdot XR50) + H2(R1) \cdot RP \quad XR51 = 0.191$$

Şekil 5.1.'den 692.507 K ve 19.1% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPB51 := 0.004$$

$$T := 696.0 \quad x := 0.185$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + v C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - v B \cdot x}{(1-\epsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + v C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - v B \cdot x)^3}{1-\epsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.004$$

n=0 L=2 için Hesaplamalar: RPR01 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.00$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR02 := TR01 + 2 \cdot F1(R2) \cdot (2 \cdot TR11 - 2 \cdot TR01) - F2(R2) \cdot RP \quad TR02 = 696$$

$$XR02 := XR01 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR11 - 2 \cdot XR01) + H2(R2) \cdot RP \quad XR02 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 696 K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.0045 \quad RPR02 := 0.005$$

$n=1$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RPR11 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m^3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR12 := TR11 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR21 - TR11) + TR21 - 2 \cdot TR11 + TR01 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR12 = 697.463$$

$$XR12 := XR11 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR21 - XR11) + XR21 - 2 \cdot XR11 + XR01 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR12 = 0.189$$

Şekil 5.1.'den 697.463 K ve 18.9% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR12 := 0.004$$

$n=2$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RPR21 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m^3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR22 := TR21 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR31 - TR21) + TR31 - 2 \cdot TR21 + TR11 \right] - F2(R2) \cdot RTR22 = 700.498$$

$$XR22 := XR21 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR31 - XR21) + XR31 - 2 \cdot XR21 + XR11 \right] + H2(R2) \cdot RXR22 = 0.194$$

Şekil 5.1.'den 700.498 K ve 19.4% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR22 := 0.004$$

$n=3$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RPR31 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m^3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR32 := TR31 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR41 - TR31) + TR41 - 2 \cdot TR31 + TR21 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR32 = 698.894$$

$$XR32 := XR31 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR41 - XR31) + XR41 - 2 \cdot XR31 + XR21 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR32 = 0.195$$

Şekil 5.1.'den 698.894 K ve 19.5% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR32 := 0.004$$

n=4 L=2 için Hesaplamalar: $RPB41 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR42 := TR41 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR51 - TR41) + TR51 - 2 \cdot TR41 + TR31 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR42 = 699.378$$

$$XR42 := XR41 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR51 - XR41) + XR51 - 2 \cdot XR41 + XR31 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR42 = 0.197$$

Şekil 5.1.'den 699.378 K ve 19.7% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR42 := 0.004$$

n=5 L=2 için Hesaplamalar: $RPB51 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR52 := TR51 + 2 \cdot F1(R2) \cdot (2 \cdot TR41 - 2 \cdot TR51) - F2(R2) \cdot RP \quad TR52 = 699.997$$

$$XR52 := XR51 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR41 - 2 \cdot XR51) + H2(R2) \cdot RP \quad XR52 = 0.198$$

Şekil 5.1.'den 699.997 K ve 19.8% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR52 := 0.004$$

$$T := 706.70 \quad x := 0.20$$

$$r := f \cdot \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + v C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - v B \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + v C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - v B \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.004$$

n=0 L=3 için Hesaplamalar: $RPR02 := 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m^3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.00$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR03 := TR02 + 2 \cdot F1(R3) \cdot (2 \cdot TR12 - 2 \cdot TR02) - F2(R3) \cdot RP \quad TR03 = 696$$

$$XR03 := XR02 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR12 - 2 \cdot XR02) + H2(R3) \cdot RP \quad XR03 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 696 K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR03 := 0.004$$

n=1 L=3 için Hesaplamalar: $RPR12 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m^3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR13 := TR12 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR22 - TR12) + TR22 - 2 \cdot TR12 + TR02 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR13 = 700.049$$

$$XR13 := XR12 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR22 - XR12) + XR22 - 2 \cdot XR12 + XR02 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR13 = 0.191$$

Şekil 5.1.'den 700.049 K ve 19.1% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.00 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.002 \quad RPR13 := 0.004$$

n=2 L=3 için Hesaplamalar: $RPR22 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m^3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR23 := TR22 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR32 - TR22) + TR32 - 2 \cdot TR22 + TR12 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR23 = 706.778$$

$$XR23 := XR22 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR32 - XR22) + XR32 - 2 \cdot XR22 + XR12 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR23 = 0.2$$

Şekil 5.1.'den 706.778 K ve 20.0% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR23 := 0.004$$

n=3 L=3 için Hesaplamalar: RPR32 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR33 := TR32 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR42 - TR32) + TR42 - 2 \cdot TR32 + TR22 \right] - F2(R3) \cdot RP \cdot TR33 = 706.284$$

$$XR33 := XR32 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR42 - XR32) + XR42 - 2 \cdot XR32 + XR22 \right] + H2(R3) \cdot RP \cdot XR33 = 0.203$$

Şekil 5.1.'den 706.284 K ve 203% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR33 := 0.004$$

n=4 L=3 için Hesaplamalar: RPR42 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR43 := TR42 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR52 - TR42) + TR52 - 2 \cdot TR42 + TR32 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR43 = 707.876$$

$$XR43 := XR42 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR52 - XR42) + XR52 - 2 \cdot XR42 + XR32 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR43 = 0.205$$

Şekil 5.1.'den 707.876 K ve 20.5% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR43 := 0.004$$

n=5 L=3 için Hesaplamalar: RPR52 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR53 := TR52 + 2 \cdot F1(R3) \cdot (2 \cdot TR42 - 2 \cdot TR52) - F2(R3) \cdot RP \quad TR53 = 709.603$$

$$XR53 := XR52 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR42 - 2 \cdot XR52) + H2(R3) \cdot RP \quad XR53 = 0.208$$

Şekil 5.1.'den 709.603 K ve 20.8% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR53 := 0.004$$

$$T := 703.823 \quad x := 0.194$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.004$$

n=0 L=4 için Hesaplamalar: RPR03 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.00$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR04 := TR03 + 2 \cdot F1(R4) \cdot (2 \cdot TR13 - 2 \cdot TR03) - F2(R4) \cdot RP \quad TR04 = 696.001$$

$$XR04 := XR03 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR13 - 2 \cdot XR03) + H2(R4) \cdot RP \quad XR04 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 696.001 K ve 18.5% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR04 := 0.004$$

n=1 L=4 için Hesaplamalar: RPR13 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR14 := TR13 + F1(R4) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR23 - TR13) + TR23 - 2 \cdot TR13 + TR03 \right] - F2(R4) \cdot RP \quad TR14 = 703.206$$

$$XR14 := XR13 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR23 - XR13) + XR23 - 2 \cdot XR13 + XR03 \right] + H2(R4) \cdot RP \quad XR14 = 0.194$$

Şekil 5.1.'den 703.206 K ve 19.4% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR14 := 0.004$$

n=2 L=4 için Hesaplamalar: RPR23 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0045

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR24 := TR23 + F1(R4) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR33 - TR23) + TR33 - 2 \cdot TR23 + TR13 \right] - F2(R4) \cdot RP \quad TR24 = 715.401$$

$$XR24 := XR23 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR33 - XR23) + XR33 - 2 \cdot XR23 + XR13 \right] + H2(R4) \cdot RP \quad XR24 = 0.209$$

Şekil 5.1.'den 715.401 K ve 20.9% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.0045 \quad RPR24 := 0.005$$

n=3 L=4 için Hesaplamalar: $RPR33 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR34 := TR33 + F1(R4) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR43 - TR33) + TR43 - 2 \cdot TR33 + TR23 \right] - F2(R4) \cdot RP \quad TR34 = 716.428$$

$$XR34 := XR33 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR43 - XR33) + XR43 - 2 \cdot XR33 + XR23 \right] + H2(R4) \cdot RP \quad XR34 = 0.213$$

Şekil 5.1.'den 716.428 K ve 21.3% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.0045 \quad RPR34 := 0.005$$

n=4 L=4 için Hesaplamalar: $RPR43 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR44 := TR43 + F1(R4) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR53 - TR43) + TR53 - 2 \cdot TR43 + TR33 \right] - F2(R4) \cdot RP \quad TR44 = 719.542$$

$$XR44 := XR53 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR53 - XR43) + XR53 - 2 \cdot XR43 + XR33 \right] + H2(R4) \cdot RP \quad XR44 = 0.22$$

Şekil 5.1.'den 719.542 K ve 22.0% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.0045 \quad RPR44 := 0.005$$

n=5 L=4 için Hesaplamalar: $RPR53 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR54 := TR53 + 2 \cdot F1(R4) \cdot (2 \cdot TR44 - 2 \cdot TR53) - F2(R4) \cdot RP \quad TR54 = 722.793$$

$$XR54 := XR53 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR44 - 2 \cdot XR53) + H2(R4) \cdot RP \quad XR54 = 0.221$$

Şekil 5.1.'den 722.793 K ve 22.1% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.0045 \quad RPR54 := 0.005$$

$$T := 707.8 \quad x := 0.198$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + v C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - v B \cdot x}{(1 - \varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + v C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - v B \cdot x)^3}{1 - \varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.005$$

n=0 L=5 için Hesaplamalar: $RPR04 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.00$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR05 := TR04 + 2 \cdot F1(R5) \cdot (2 \cdot TR14 - 2 \cdot TR04) - F2(R5) \cdot RP \quad TR05 = 696.003$$

$$XR05 := XR04 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR14 - 2 \cdot XR04) + H2(R5) \cdot RP \quad XR05 = 0.185$$

Şekil 5.1.'den 696.003 K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR05 := 0.004$$

n=1 L=5 için Hesaplamalar: $RPR14 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0044$

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR15 := TR14 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR24 - TR14) + TR24 - 2 \cdot TR14 + TR04 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR15 = 707.306$$

$$XR15 := XR14 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR24 - XR14) + XR24 - 2 \cdot XR14 + XR04 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR15 = 0.198$$

Şekil 5.1.'den 707.306 K ve 19.8% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.0045 \quad RPR15 := 0.005$$

n=2 L=5 için Hesaplamalar: RPR24 = 0.005

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.005

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR25 := TR24 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR34 - TR24) + TR34 - 2 \cdot TR24 + TR14 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR25 = 726.711$$

$$XR25 := XR24 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR34 - XR24) + XR34 - 2 \cdot XR24 + XR14 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR25 = 0.22$$

Şekil 5.1.'den 726.711 K ve 22.0% dönüşüm için RP=0.005 Böylece;

$$RPort := \frac{0.005 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.005 \quad RPR25 := 0.005$$

n=3 L=5 için Hesaplamalar: RPR34 = 0.005

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0055

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR35 := TR34 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR44 - TR34) + TR44 - 2 \cdot TR34 + TR24 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR35 = 731.066$$

$$XR35 := XR34 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR44 - XR34) + XR44 - 2 \cdot XR34 + XR24 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR35 = 0.228$$

Şekil 5.1.'den 731.066 K ve 22.8% dönüşüm için RP=0.005 Böylece;

$$RPort := \frac{0.005 + 0.006}{2} \quad RPort = 0.0055 \quad RPR35 := 0.006$$

n=4 L=5 için Hesaplamalar: RPR44 = 0.005

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0055

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR45 := TR44 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR54 - TR44) + TR54 - 2 \cdot TR44 + TR34 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR45 = 736.376$$

$$XR45 := XR44 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR54 - XR44) + XR54 - 2 \cdot XR44 + XR34 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR45 = 0.237$$

Şekil 5.1.'den 736.376 K ve 23.7% dönüşüm için $RP=0.006$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.005 + 0.006}{2} \quad R_{Port} = 0.0055 \quad R_{PR45} := 0.006$$

n=5 L=5 için Hesaplamalar: $R_{PR54} = 0.005$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0055$

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR55 := TR54 + 2 \cdot F1(R5) \cdot (2 \cdot TR44 - 2 \cdot TR54) - F2(R5) \cdot RP \quad TR55 = 741.821$$

$$XR55 := XR54 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR44 - 2 \cdot XR54) + H2(R5) \cdot RP \quad XR55 = 0.241$$

Şekil 5.1.'den 741.821 K ve 24.1% dönüşüm için $RP=0.006$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.005 + 0.006}{2} \quad R_{Port} = 0.0055 \quad R_{PR55} := 0.006$$

Tablo 8.4. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1.0 Olması Durumunda Birinci (Eksenel) Yatak için Sıcaklık ve %Dönüşüm Değerleri

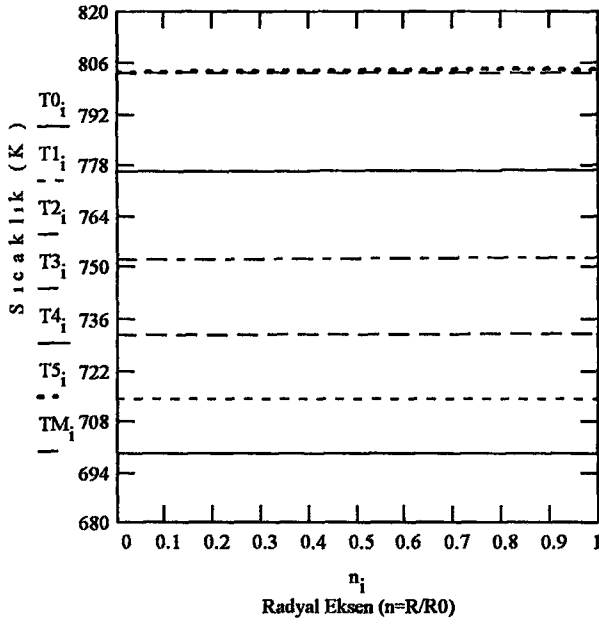
Yatak Boyu (m)	Radyal Durum (n=R/R0)					
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Sıcaklık K						
L := 0 z := 0.0	T00 = 699	T10 = 699	T20 = 699	T30 = 699	T40 = 699	T50 = 699
L := 1 z := 0.508	T01 = 713.869	T11 = 713.877	T21 = 713.886	T31 = 713.895	T41 = 713.912	T51 = 713.904
L := 2 z := 1.016	T02 = 731.361	T12 = 731.457	T22 = 731.554	T32 = 731.65	T42 = 731.842	T52 = 731.791
L := 3 z := 1.524	T03 = 751.915	T13 = 752.02	T23 = 752.125	T33 = 752.23	T43 = 752.439	T53 = 752.431
L := 4 z := 2.032	T04 = 775.968	T14 = 776.081	T24 = 776.186	T34 = 776.308	T44 = 776.535	T54 = 776.579
L := 5 z := 2.54	T05 = 803.081	T15 = 803.282	T25 = 803.474	T35 = 803.684	T45 = 803.998	T55 = 803.936
%Dönüşüm						
L := 0 z := 0.0	X00 = 0.027	X10 = 0.027	X20 = 0.027	X30 = 0.027	X40 = 0.027	X50 = 0.027
L := 1 z := 0.508	X01 = 0.042	X11 = 0.042	X21 = 0.042	X31 = 0.042	X41 = 0.042	X51 = 0.042
L := 2 z := 1.016	X02 = 0.06	X12 = 0.06	X22 = 0.06	X32 = 0.06	X42 = 0.06	X52 = 0.06
L := 3 z := 1.524	X03 = 0.081	X13 = 0.081	X23 = 0.081	X33 = 0.081	X43 = 0.081	X53 = 0.082
L := 4 z := 2.032	X04 = 0.105	X14 = 0.105	X24 = 0.105	X34 = 0.105	X44 = 0.105	X54 = 0.106
L := 5 z := 2.54	X05 = 0.132	X15 = 0.133	X25 = 0.133	X35 = 0.133	X45 = 0.133	X55 = 0.134

Tablo 8.5. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1.0 Olması Durumunda İkinci (Eksenel) Yatak için Sıcaklık ve %Dönüşüm Değerleri

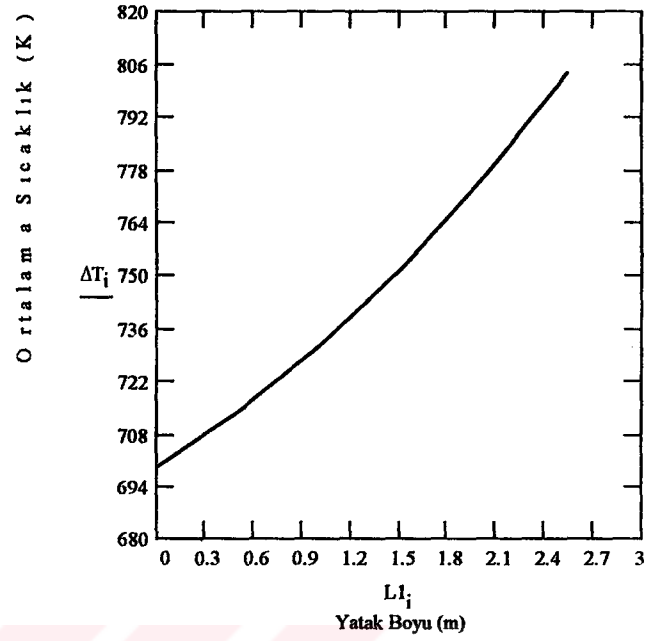
Yatak Boyu (m)	Radyal Durum (n=R/R0)					
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Sıcaklık K						
L := 0 zB := 0.0	TB00 = 718	TB10 = 718	TB20 = 718	TB30 = 718	TB40 = 718	TB50 = 718
L := 1 zB := 0.518	TB01 = 726.473	TB11 = 726.481	TB21 = 726.49	TB31 = 726.499	TB41 = 726.508	TB51 = 726.49
L := 2 zB := 1.036	TB02 = 735.837	TB12 = 735.855	TB22 = 735.873	TB32 = 735.89	TB42 = 735.908	TB52 = 735.897
L := 3 zB := 1.554	TB03 = 746.093	TB13 = 746.12	TB23 = 746.147	TB33 = 746.173	TB43 = 746.2	TB53 = 746.206
L := 4 zB := 2.072	TB04 = 757.241	TB14 = 757.277	TB24 = 757.312	TB34 = 757.348	TB44 = 757.384	TB54 = 757.409
L := 5 zB := 2.59	TB05 = 768.835	TB15 = 768.889	TB25 = 768.933	TB35 = 768.978	TB45 = 768.995	TB55 = 769.051
%Dönüşüm						
L := 0 zB := 0.0	XB00 = 0.133	XB10 = 0.133	XB20 = 0.133	XB30 = 0.133	XB40 = 0.133	XB50 = 0.133
L := 1 zB := 0.518	XB01 = 0.142	XB11 = 0.142	XB21 = 0.142	XB31 = 0.142	XB41 = 0.142	XB51 = 0.142
L := 2 zB := 1.036	XB02 = 0.151	XB12 = 0.151	XB22 = 0.151	XB32 = 0.151	XB42 = 0.151	XB52 = 0.151
L := 3 zB := 1.554	XB03 = 0.161	XB13 = 0.161	XB23 = 0.162	XB33 = 0.162	XB43 = 0.162	XB53 = 0.162
L := 4 zB := 2.072	XB04 = 0.173	XB14 = 0.173	XB24 = 0.173	XB34 = 0.173	XB44 = 0.173	XB54 = 0.173
L := 5 zB := 2.59	XB05 = 0.185	XB15 = 0.185	XB25 = 0.185	XB35 = 0.185	XB45 = 0.185	XB55 = 0.185

Tablo 8.6. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1.0 Olması Durumunda Üçüncü (Radyal) Yatak için Sıcaklık ve %Dönüşüm Değerleri

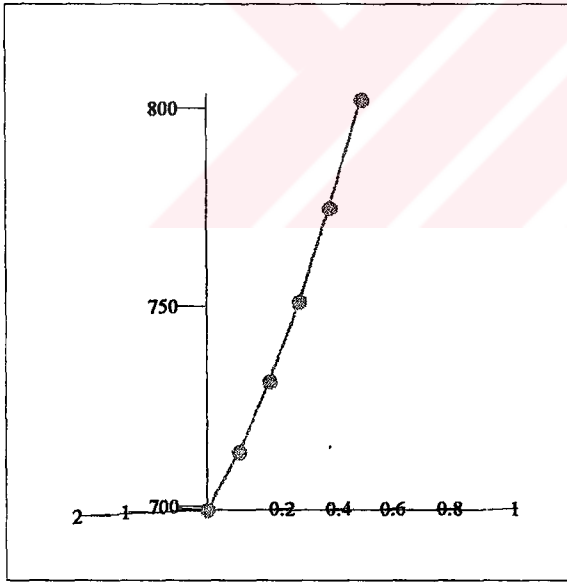
Yarıçap (m)	Eksenel Durum (L/L0)						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	
	Sıcaklık K						
n := 0	R := 0.2585	TR00 = 696	TR10 = 694	TR20 = 692	TR30 = 689	TR40 = 688	TR50 = 687
n := 0.2	R := 0.4275	TR01 = 696	TR11 = 695.446	TR21 = 695.601	TR31 = 693.133	TR41 = 692.753	TR51 = 692.507
n := 0.4	R := 0.5965	TR02 = 696	TR12 = 697.463	TR22 = 700.498	TR32 = 698.894	TR42 = 699.378	TR52 = 699.997
n := 0.6	R := 0.7655	TR03 = 696	TR13 = 700.049	TR23 = 706.778	TR33 = 706.284	TR43 = 707.876	TR53 = 709.603
n := 0.8	R := 0.9345	TR04 = 696	TR14 = 703.206	TR24 = 715.401	TR34 = 716.428	TR44 = 719.542	TR54 = 722.793
n := 1	R := 1.035	TR05 = 696	TR15 = 707.306	TR25 = 726.711	TR35 = 731.066	TR45 = 736.376	TR55 = 741.821
%Dönüşüm							
n := 0	R := 0.2585	XR00 = 0.185	XR10 = 0.185	XR20 = 0.185	XR30 = 0.185	XR40 = 0.185	XR50 = 0.185
n := 0.2	R := 0.4275	XR01 = 0.185	XR11 = 0.186	XR21 = 0.189	XR31 = 0.189	XR41 = 0.19	XR51 = 0.191
n := 0.4	R := 0.5965	XR02 = 0.185	XR12 = 0.189	XR22 = 0.194	XR32 = 0.195	XR42 = 0.197	XR52 = 0.198
n := 0.6	R := 0.7655	XR03 = 0.185	XR13 = 0.191	XR23 = 0.2	XR33 = 0.203	XR43 = 0.205	XR53 = 0.208
n := 0.8	R := 0.9345	XR04 = 0.185	XR14 = 0.194	XR24 = 0.209	XR34 = 0.213	XR44 = 0.22	XR54 = 0.221
n := 1	R := 1.035	XR05 = 0.185	XR15 = 0.198	XR25 = 0.22	XR35 = 0.228	XR45 = 0.237	XR55 = 0.241



Şekil 8.30. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi.

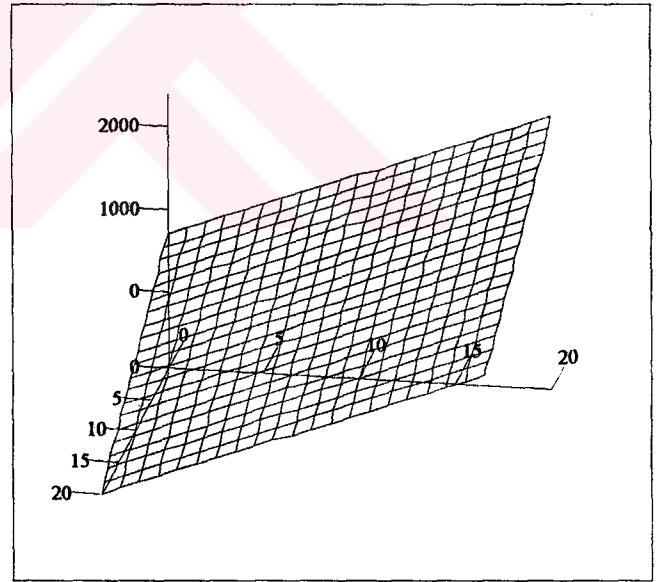


Şekil 8.31. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi.



L1, n, ΔT

Şekil 8.32. Birinci (eksenel) yatak ortalama sıcaklığının eksenel - radyal değişimi



L1, n, ΔT

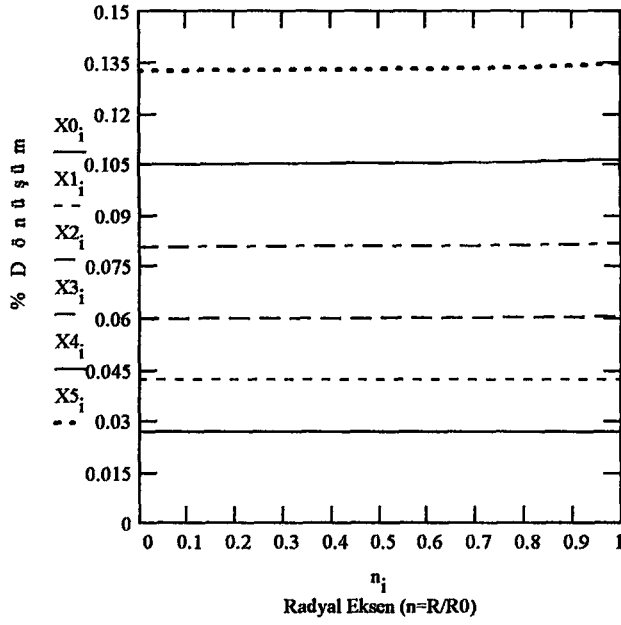
Şekil 8.33. Birinci (eksenel) yatak ortalama sıcaklığının eksenel - radyal değişimi

Şekil 8.30- 33. Giriş $T=699$ K, $P=276$ atm, $X=0.027$ ve $f=1$ durumunda.

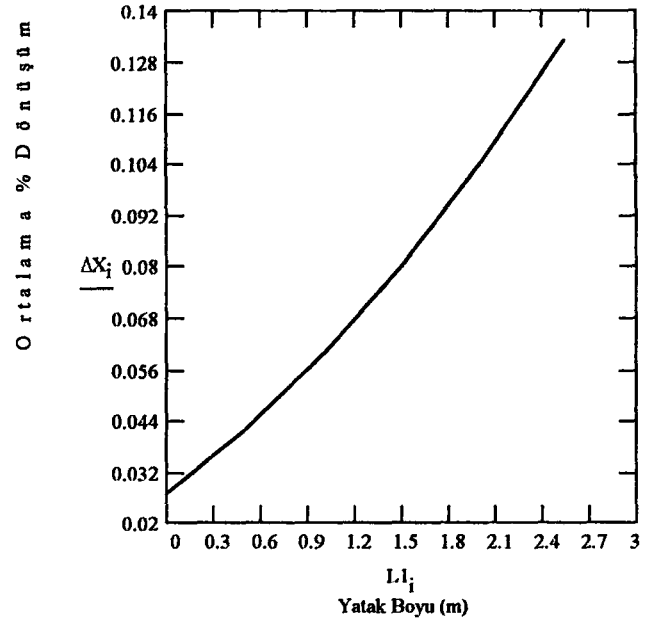
$T0$: Gazın radyal eksenindeki giriş sıcaklık dağılımı

$T1, T2, T3, T4, T5$: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki sıcaklık dağılımı

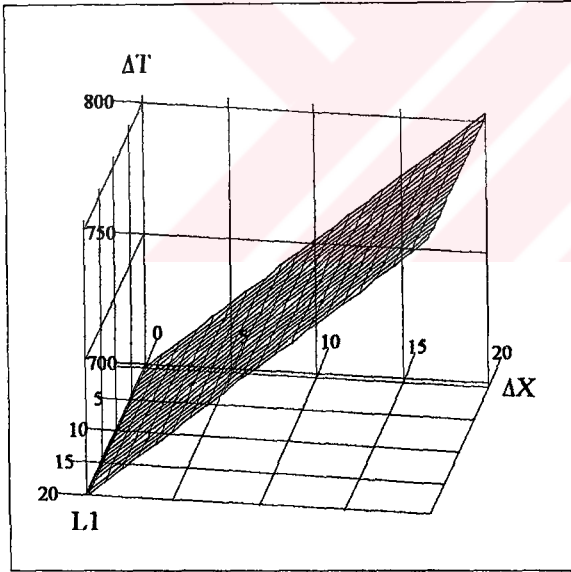
TM : Model olarak alınan reaktörün yatak çıkış sıcaklığı



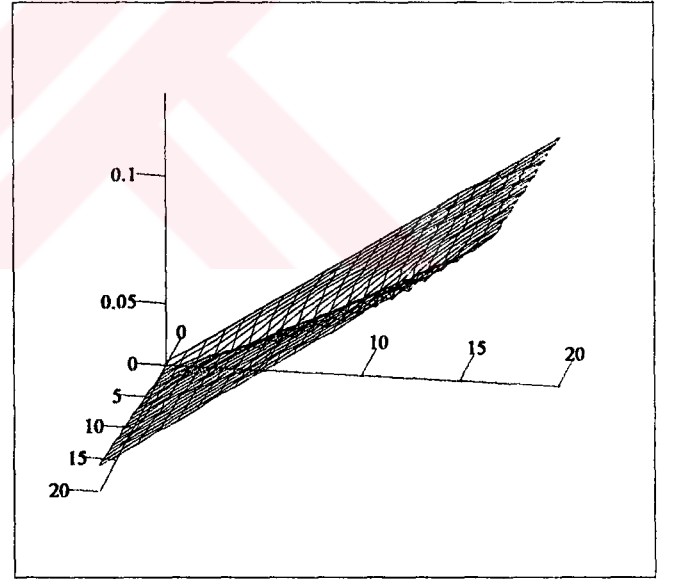
Şekil 8.34. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi.



Şekil 8.35. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi.



L1, ΔX, ΔT



L1, n, ΔX

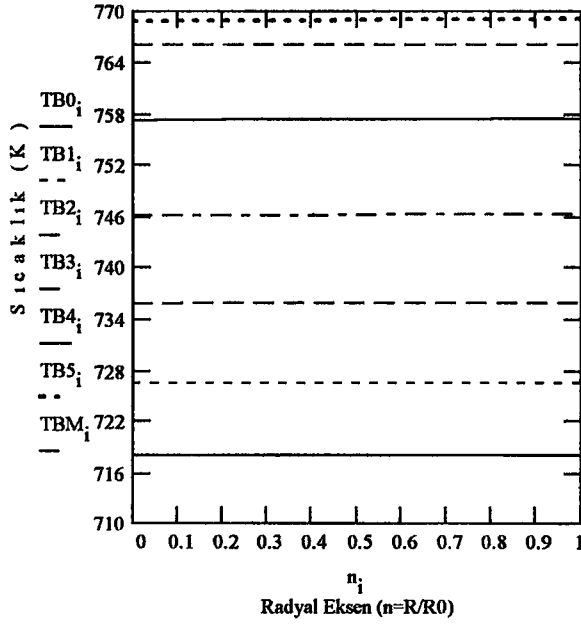
Şekil 8.36. Birinci (eksenel) yatak, ortalama %dönüşümün-sıcaklığın yatak boyunca değişimi

Şekil 8.37. Birinci (eksenel) yatak, %dönüşümün eksenel - radyal değişimi

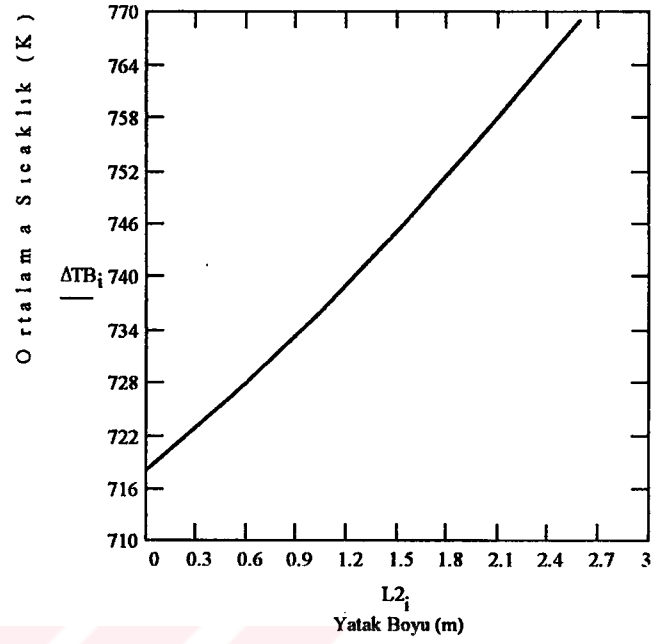
Şekil 8.34-37. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.027$ ve $f=1$ durumunda.

X_0 : Gazın radyal eksende giriş %dönüşüm dağılımı

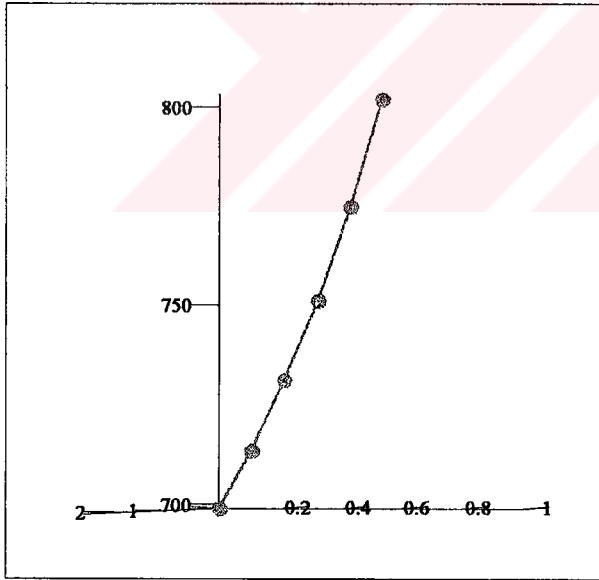
X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 : Gazın bulunduğu pencere radyal eksende %dönüşüm dağılımı



Şekil 8.38. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi.

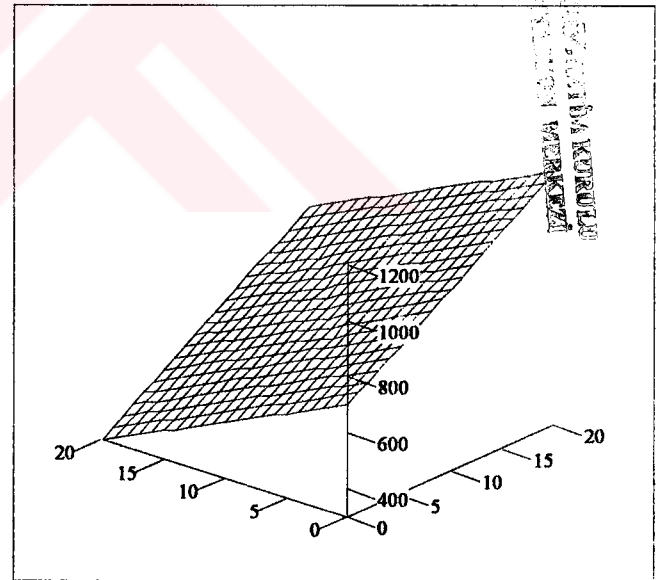


Şekil 8.39. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi.



L2, n, ΔT

Şekil 8.40. İkinci (eksenel) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal değişimi



L2, n, ΔT

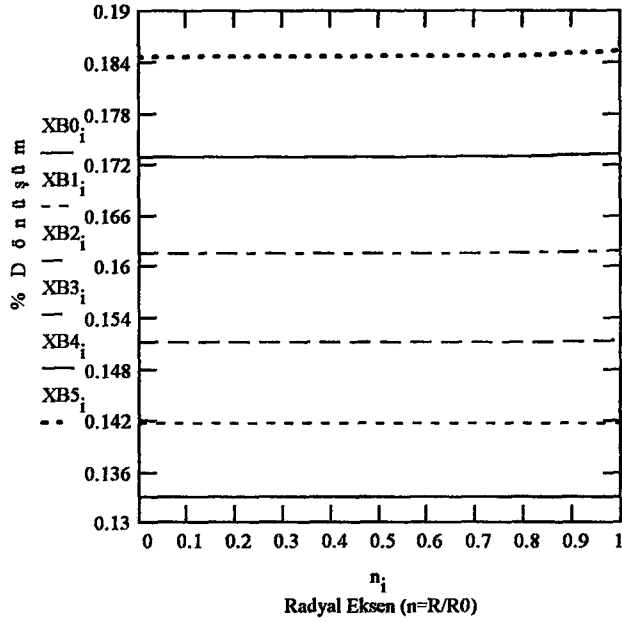
Şekil 8.41. İkinci (eksenel) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

Şekil 8.38- 41. Giriş $T=699$ K, $P=276$ atm, $X=0.027$ ve $f=1$ durumunda.

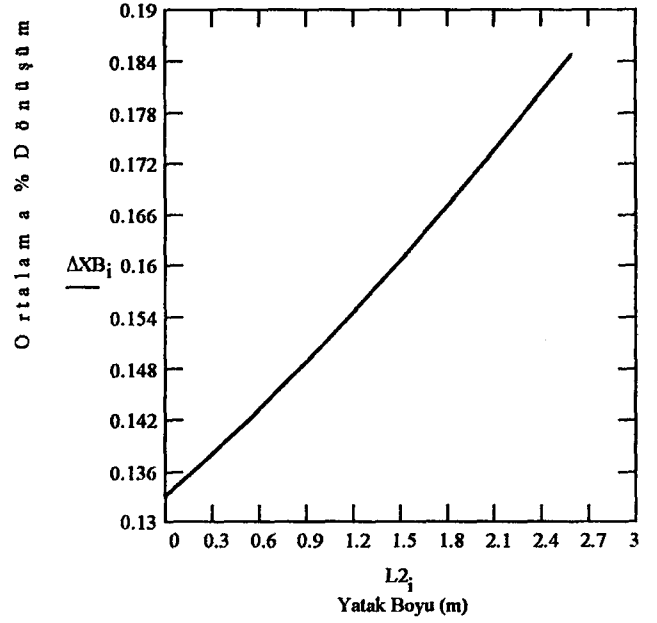
TB0: Gazın radyal eksenindeki giriş sıcaklık dağılımı

TB1, TB2, TB3, TB4, TB5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki sıcaklık dağılımı

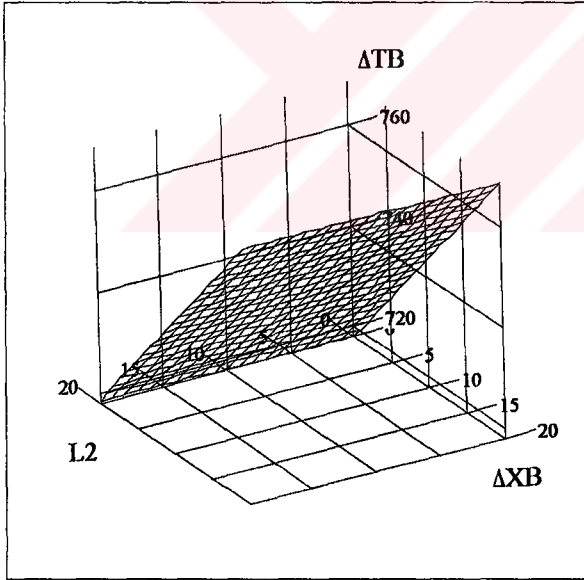
TBM: Model olarak alınan reaktörün yatak çıkış sıcaklığı



Şekil 8.42. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi.

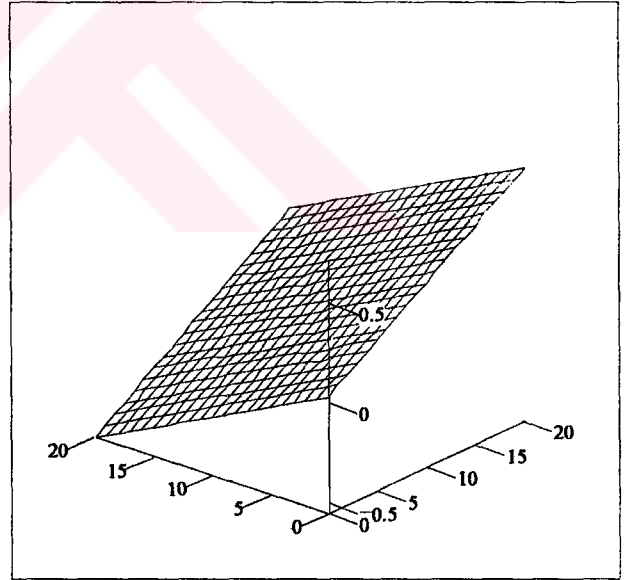


Şekil 8.43. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi.



L2, ΔXB, ΔTB

Şekil 8.44. İkinci (eksenel) yatak, ortalama %dönüşümün-sıcaklığın yatak boyunca değişimi



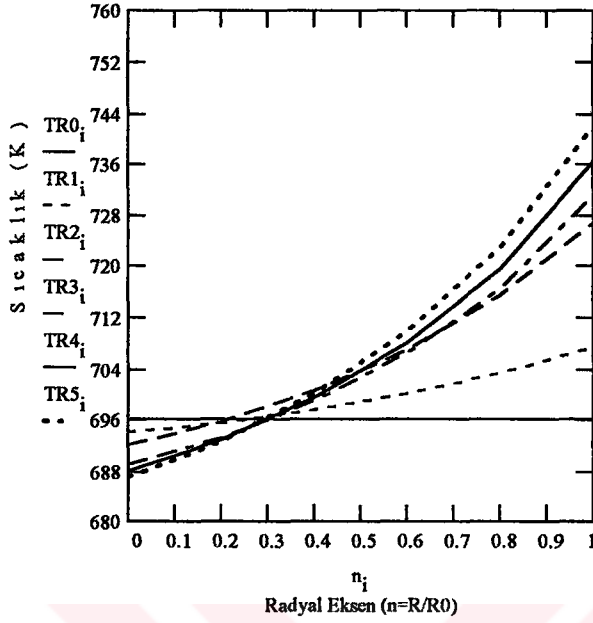
L2, n, ΔX

Şekil 8.45. İkinci (eksenel) yatak %dönüşümünün eksenel - radyal değişimi

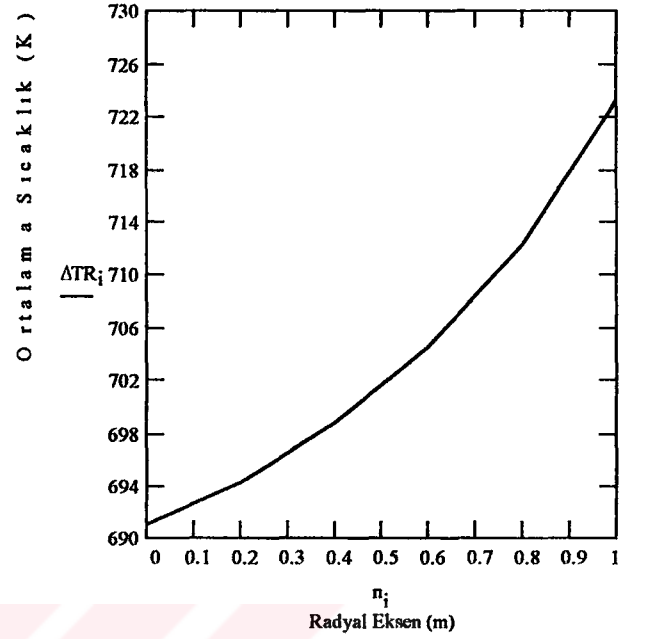
Şekil 8.42-45. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.027$ ve $f=1$ durumunda.

XB0: Gazın radyal eksenindeki giriş %dönüşüm dağılımı

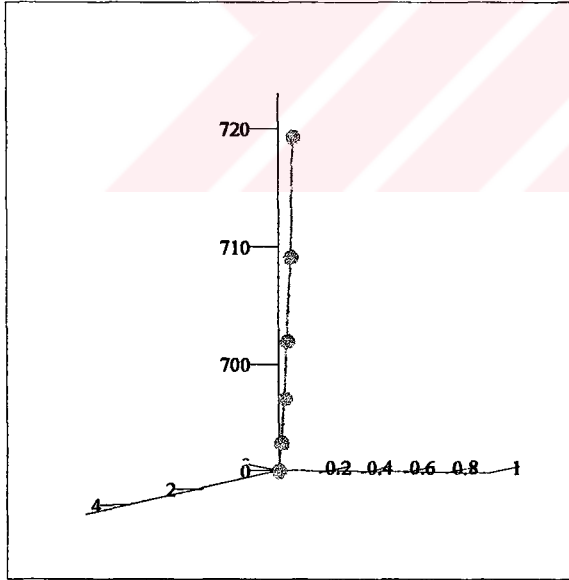
XB1, XB2, XB3, XB4, XB5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki %dönüşüm dağılımı.



Şekil 8.46. Üçüncü (radyal) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi.

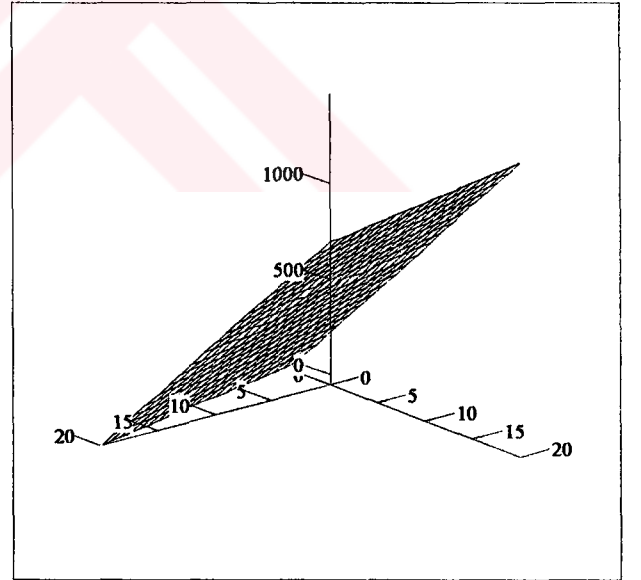


Şekil 8.47. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi.



L3, n, ΔTR

Şekil 8.47. Üçüncü (radyal) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal değişimi



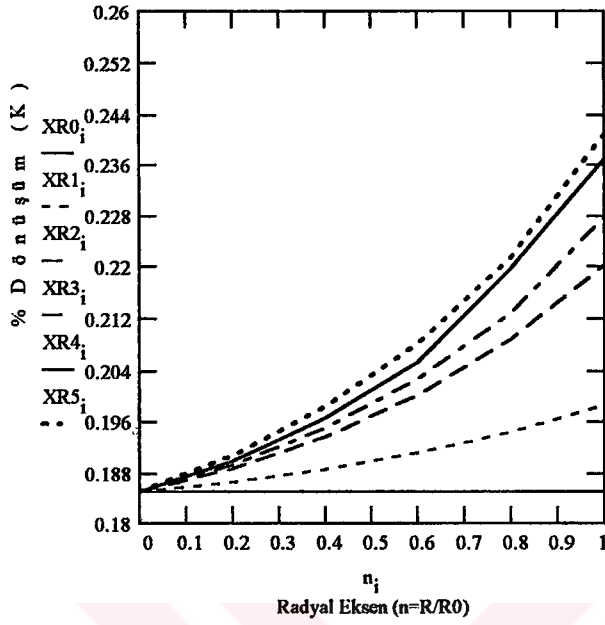
L3, n, ΔTR

Şekil 8.48. Üçüncü (radyal) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

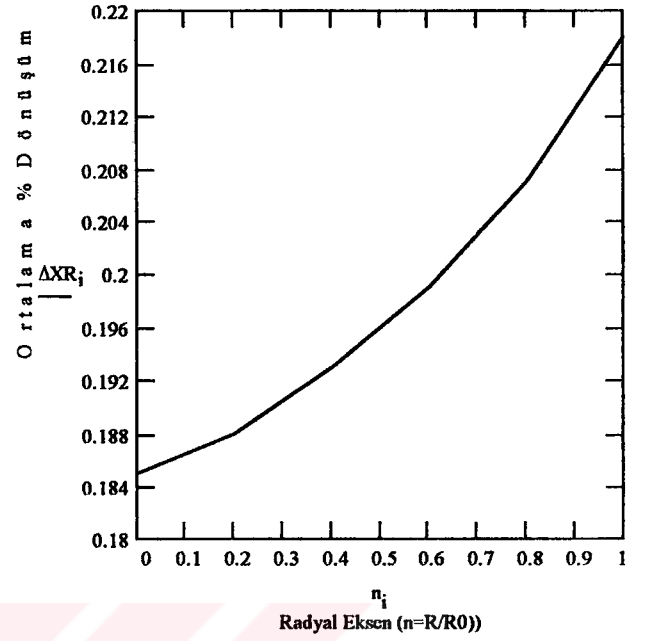
Şekil 8.45-48. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.027$ ve $f=1$ durumunda.

TR0: Gazın radyal eksenindeki giriş sıcaklık dağılımı

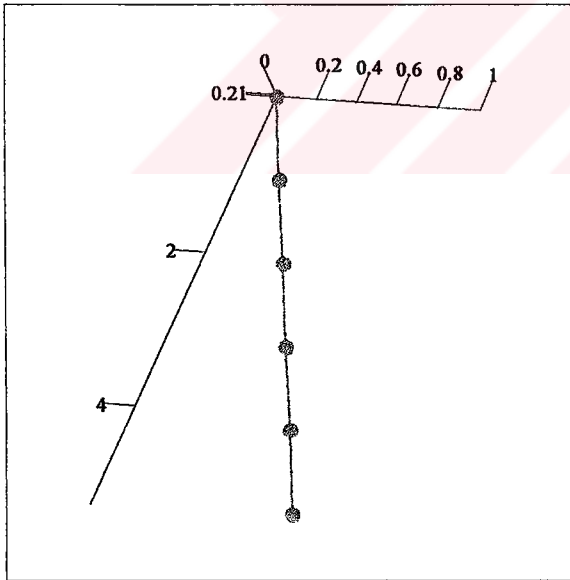
TR1, TR2, TR3, TR4, TR5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 8.49. Üçüncü (radyal) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi.

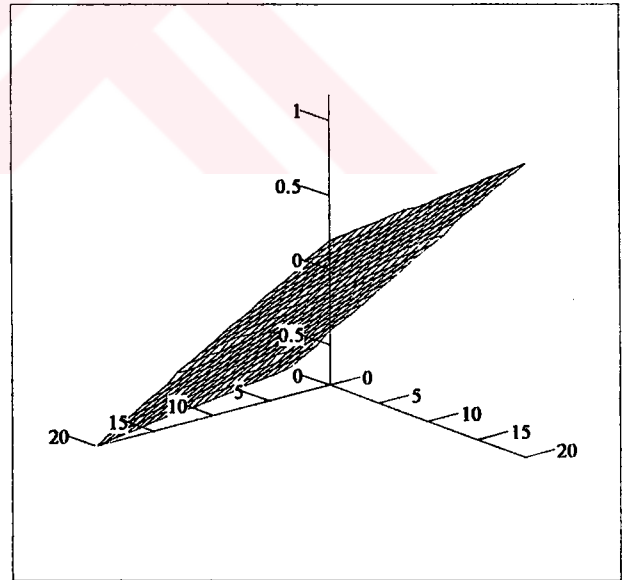


Şekil 8.50. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişim



L3, n, ΔXR

Şekil 8.51. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşümün eksenel - radyal değişimi



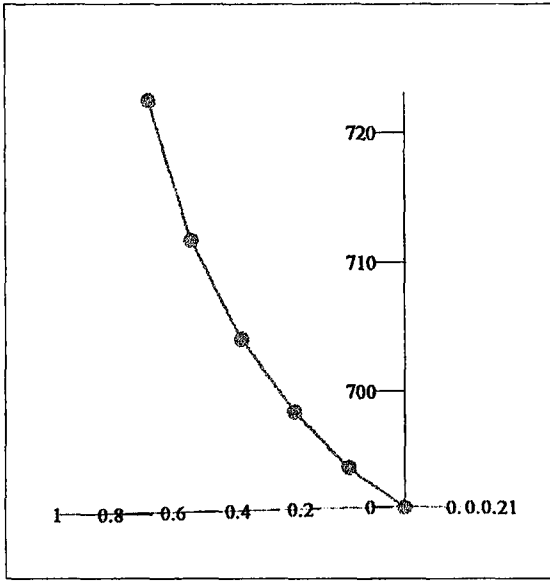
L3, n, ΔXR

Şekil 8.52. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

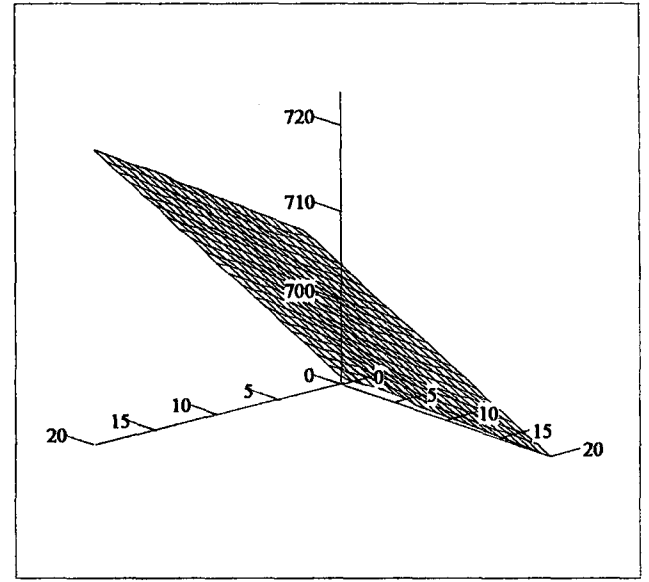
Şekil 8.49-52. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.027$ ve $f=1$ durumunda.

XR0: Gazın radyal eksenindeki giriş %dönüşüm dağılımı

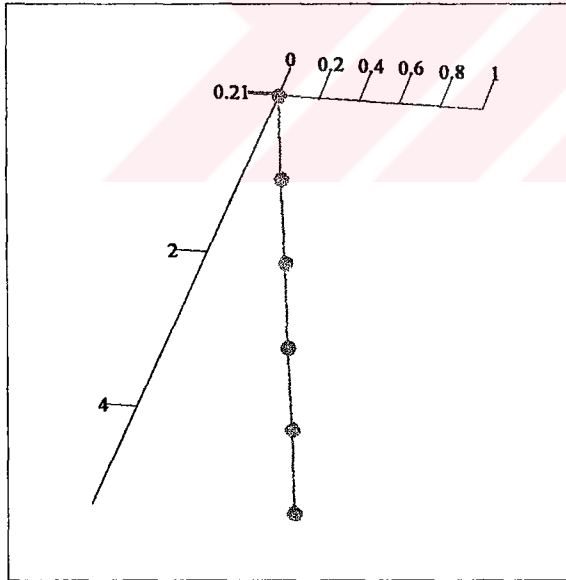
XR1, XR2, XR3, XR4, XR5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki %dönüşüm dağılımı.

n, ΔX_R , ΔT_R

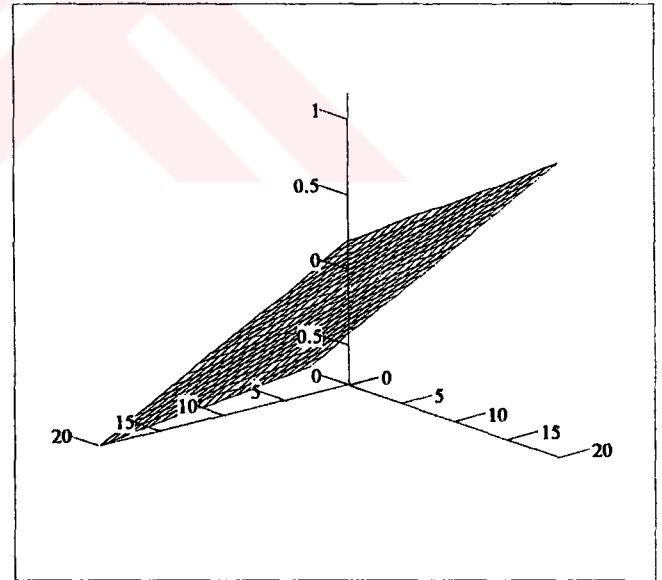
Şekil 8.53. Üçüncü(radyal) yatak, ortalama %dönüşümün-sıcaklığın radyal değişimi

L3, ΔX_R , ΔT_R

Şekil 8.54. Üçüncü(radyal) yatak, ortalama %dönüşüm-sıcaklığın eksenel değişimi

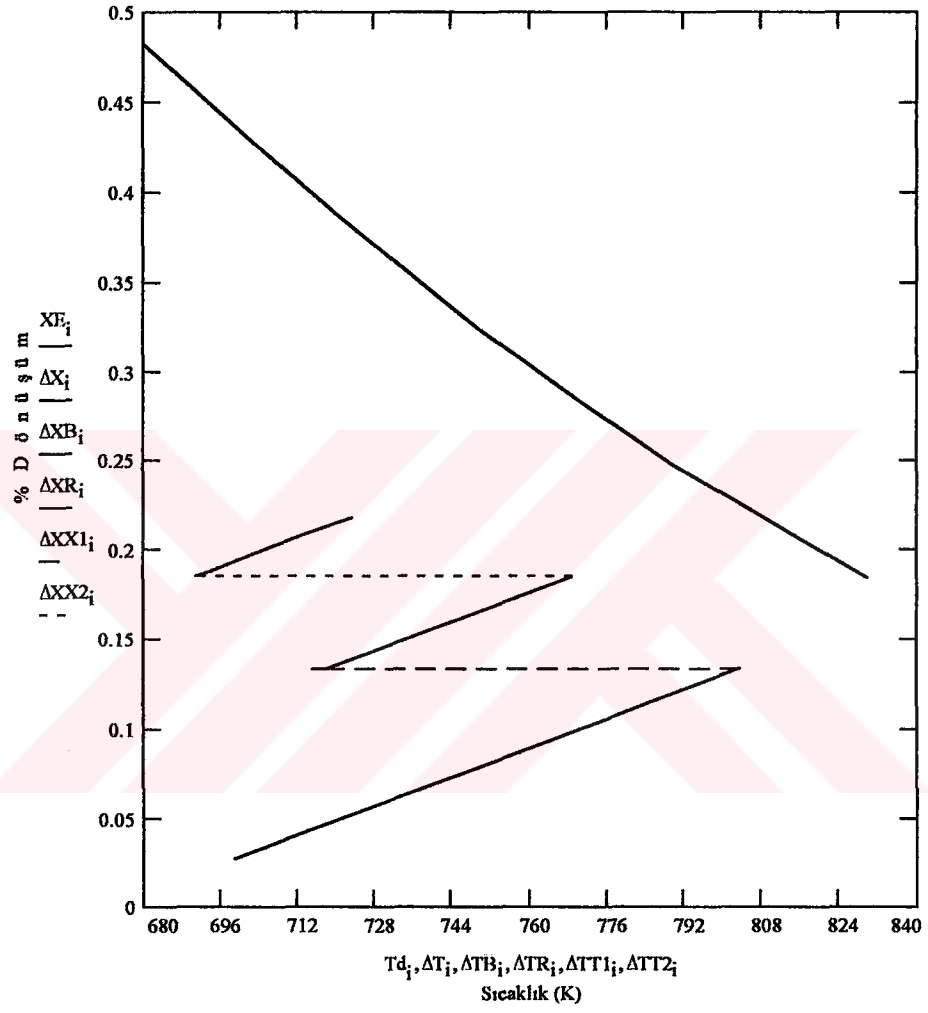
L3, n, ΔX_R

Şekil 8.55. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşümün eksenel - radyal değişimi

L3, n, ΔX_R

Şekil 8.56. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

Şekil 8.53-56. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.027$ ve $f=1$ durumunda.



Şekil 8.57. Sentez reaktörü denge eğrisine göre sıcaklık ve %dönüşüm değişimi.
Giriş $T=699$ K, $P=276$ atm, $X=0.027$ ve $f=1$ durumunda.

8.3. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9 Olması Durumunda Model Denklemlerinin Çözümü

8.3.1. Model Denklemlerinin Çözümünde Kullanılacak Sistem Verileri

Pe := 2	F0 := 22218.8	d := 1.837	XA := 0.2058	MA := 28	ΔH := -13340
Δz := 0.508	G := 65561.2	dp := 0.5 · 10 ⁻³	XB := 0.6306	MB := 2	CP := 0.26
Δr := 0.1837	M := 10.7	ke := 0.71	XC := 0.0269	MC := 17	T0 := 699
θB := 3.064	ε := 0.438	ρB := 2200	XD := 0.0938	MD := 16	T := 750
θC := 0.131	i := 0..5	f := 0.9	XE := 0.043	ME := 40	PA0 := 56.8
vB := 3	T := 700, 720..800				PT := 52.7
vC := 2					

8.3.2. Reaksiyon Hız Sabiti ve Model Denklemleri Notasyon İfadeleri

$$K1(T) := 4.9722 \cdot \exp\left(-\frac{10475.1}{T}\right) \quad K2(T) := 7.1389 \cdot 10^{12} \cdot \exp\left(-\frac{23871.1}{T}\right)$$

$$F1 := \frac{\Delta z \cdot ke}{\Delta r^2 \cdot G \cdot CP} \quad F2 := \frac{\Delta H \cdot \rho B \cdot \Delta z}{G \cdot CP} \quad H1 := \frac{\Delta z \cdot dp}{\Delta r^2 \cdot Pe} \quad H2 := \frac{\rho B \cdot M \cdot \Delta z}{G \cdot XA}$$

8.3.3. Birinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar (T,X)

$$\begin{aligned} T00 &:= 699 & T10 &:= 699 & T20 &:= 699 & T30 &:= 699 & T40 &:= 699 & T50 &:= 699 \\ X00 &:= 0.0269 & X10 &:= 0.0269 & X20 &:= 0.0269 & X30 &:= 0.0269 & X40 &:= 0.0269 & X50 &:= 0.0269 \end{aligned}$$

Hız İfadesi:

$$T := 712.984 \quad x := 0.041$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.017$$

$$n=0 \quad L=1 \text{ için Hesaplamalar: } 699 \text{ K } X := 0.0269 \text{ için } RP00 := 0.015$$

$$\text{Tahmin Edilen Değer: } RP := 0.016$$

$$T01 := T00 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T10 - 2 \cdot T00) - F2 \cdot RP \quad T01 = 712.994$$

$$X01 := X00 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X10 - 2 \cdot X00) + H2 \cdot RP \quad X01 = 0.041$$

Şekil 5.1.'den 712.994 K ve 4.1% dönüşüm için $RP=0.017$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad R_{Port} = 0.016 \quad RP01 := 0.017$$

n=1 L=1 için Hesaplamalar: 699 K X := 0.0269 için $RP10 := 0.015$
Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01601$

$$T11 := T10 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T20 - T10) + T20 - 2 \cdot T10 + T00 \right] - F2 \cdot RP \quad T11 = 713.003$$

$$X11 := X10 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X20 - X10) + X20 - 2 \cdot X10 + X00 \right] + H2 \cdot RP \quad X11 = 0.041$$

Şekil 5.1.'den 713.003 K ve 4.1% dönüşüm için $RP=0.017$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad R_{Port} = 0.016 \quad RP11 := 0.017$$

n=2 L=1 için Hesaplamalar: $RP20 := 0.015$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01602$

$$T21 := T20 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T30 - T20) + T30 - 2 \cdot T20 + T10 \right] - F2 \cdot RP \quad T21 = 713.011$$

$$X21 := X20 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X30 - X20) + X30 - 2 \cdot X20 + X10 \right] + H2 \cdot RP \quad X21 = 0.041$$

Şekil 5.1.'den 713.001 K ve 4.1% dönüşüm için $RP21=0.017$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad R_{Port} = 0.016 \quad RP21 := 0.017$$

n=3 L=1 için Hesaplamalar: $RP30 := 0.015$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01603$

$$T31 := T30 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T40 - T30) + T40 - 2 \cdot T30 + T20 \right] - F2 \cdot RP \quad T31 = 713.02$$

$$X31 := X30 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X40 - X30) + X40 - 2 \cdot X30 + X20 \right] + H2 \cdot RP \quad X31 = 0.041$$

Şekil 5.1.'den 713.02 K ve 4.1% dönüşüm için $RP=0.017$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad R_{Port} = 0.016 \quad RP31 := 0.017$$

n=4 L=1 için Hesaplamalar: $RP_{40} := 0.015$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01605$

$$T_{41} := T_{40} + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T_{50} - T_{40}) + T_{50} - 2 \cdot T_{40} + T_{30} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{41} = 713.038$$

$$X_{41} := X_{40} + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X_{50} - X_{40}) + X_{50} - 2 \cdot X_{40} + X_{30} \right] + H2 \cdot RP \quad X_{41} = 0.041$$

Şekil 5.1.'den 713.038 K ve 4.1 % dönüşüm için $RP=0.017$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad RPort = 0.016 \quad RP_{41} := 0.017$$

n=5 L=1 için Hesaplamalar: $RP_{50} := 0.015$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01604$

$$T_{51} := T_{50} + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T_{40} - 2 \cdot T_{50}) - F2 \cdot RP \quad T_{51} = 713.029$$

$$X_{51} := X_{50} + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X_{40} - 2 \cdot X_{50}) + H2 \cdot RP \quad X_{51} = 0.041$$

Şekil 5.1.'den 713.029 K ve 4.1% dönüşüm için $RP=0.017$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.015 + 0.017}{2} \quad RPort = 0.016 \quad RP_{51} := 0.017$$

$$T := 731.421 \quad x := 0.06$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.019$$

n=0 L=2 için Hesaplamalar: $RP_{01} = 0.017$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.018$

$$T_{02} := T_{01} + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T_{11} - 2 \cdot T_{01}) - F2 \cdot RP \quad T_{02} = 728.737$$

$$X_{02} := X_{01} + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X_{11} - 2 \cdot X_{01}) + H2 \cdot RP \quad X_{02} = 0.057$$

Şekil 5.1.'den 728.737K ve 5.7 % dönüşüm için $RP=0.019$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.017 + 0.019}{2} \quad RPort = 0.018 \quad RP_{02} := 0.019$$

n=1 L=2 için Hesaplamalar: $RP_{11} = 0.017$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01801$

$$T_{12} := T_{11} + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T_{21} - T_{11}) + T_{21} - 2 \cdot T_{11} + T_{01} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{12} = 728.755$$

$$X_{12} := X_{11} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X_{21} - X_{11}) + X_{21} - 2 \cdot X_{11} + X_{01} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{12} = 0.057$$

Şekil 5.1.'den 728.755 K ve 5.7% dönüşüm için $RP=0.019$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.019}{2} \quad R_{Port} = 0.018 \quad RP_{12} := 0.019$$

$n=2$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RP_{21} = 0.017$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01802$

$$T_{22} := T_{21} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T_{31} - T_{21}) + T_{31} - 2 \cdot T_{21} + T_{11} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{22} = 728.772$$

$$X_{22} := X_{21} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X_{31} - X_{21}) + X_{31} - 2 \cdot X_{21} + X_{11} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{22} = 0.057$$

Şekil 5.1.'den 728.772 K ve 5.7% dönüşüm için $RP=0.019$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.019}{2} \quad R_{Port} = 0.018 \quad RP_{22} := 0.019$$

$n=3$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RP_{31} = 0.017$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01803$

$$T_{32} := T_{31} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{41} - T_{31}) + T_{41} - 2 \cdot T_{31} + T_{21} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{32} = 728.79$$

$$X_{32} := X_{31} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{41} - X_{31}) + X_{41} - 2 \cdot X_{31} + X_{21} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{32} = 0.057$$

Şekil 5.1.'den 730.775 K ve 5.9% dönüşüm için $RP=0.019$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.019}{2} \quad R_{Port} = 0.018 \quad RP_{32} := 0.019$$

$n=4$ $L=2$ için Hesaplamalar: $RP_{41} = 0.017$

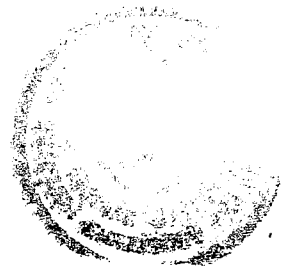
Tahmin Edilen Değer $RP := 0.01805$

$$T_{42} := T_{41} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T_{51} - T_{41}) + T_{51} - 2 \cdot T_{41} + T_{31} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{42} = 728.825$$

$$X_{42} := X_{41} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X_{51} - X_{41}) + X_{51} - 2 \cdot X_{41} + X_{31} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{42} = 0.057$$

Şekil 5.1.'den 728.825 K ve 5.7% dönüşüm için $RP=0.019$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.019}{2} \quad R_{Port} = 0.018 \quad RP_{42} := 0.019$$



n=5 L=2 için Hesaplamalar: RP51 = 0.017

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01804

$$T52 := T51 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T42 - 2 \cdot T51) - F2 \cdot RP \quad T52 = 728.847$$

$$X52 := X51 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X42 - 2 \cdot X51) + H2 \cdot RP \quad X52 = 0.057$$

Şekil 5.1.'den 731.847 K ve 5.7% dönüşüm için RP=0.019 Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.017 + 0.019}{2} \quad R_{Port} = 0.018 \quad RP52 := 0.019$$

$$T := 751.63 \quad x := 0.081$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.023$$

n=0 ve L=3 için Hesaplamalar RP02 = 0.019

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0205

$$T03 := T02 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T12 - 2 \cdot T02) - F2 \cdot RP \quad T03 = 746.667$$

$$X03 := X02 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X12 - 2 \cdot X02) + H2 \cdot RP \quad X03 = 0.075$$

Şekil 5.1.'den 746.667 K ve 7.5 % dönüşüm için RP=0.022 Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.019 + 0.022}{2} \quad R_{Port} = 0.0205 \quad RP03 := 0.022$$

n=1 L=3 için Hesaplamalar: RP12 = 0.019

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.02051

$$T13 := T12 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T22 - T12) + T22 - 2 \cdot T12 + T02 \right] - F2 \cdot RP \quad T13 = 746.693$$

$$X13 := X12 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X22 - X12) + X22 - 2 \cdot X12 + X02 \right] + H2 \cdot RP \quad X13 = 0.075$$

Şekil 5.1.'den 746.693 K ve 7.5 % dönüşüm için RP=0.022 Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.019 + 0.022}{2} \quad R_{Port} = 0.0205 \quad RP13 := 0.022$$

n=2 L=3 için Hesaplamalar: RP22 = 0.019

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.02052

$$T23 := T22 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T32 - T22) + T32 - 2 \cdot T22 + T12 \right] - F2 \cdot RP \quad T23 = 746.72$$

$$X23 := X22 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X32 - X22) + X32 - 2 \cdot X22 + X12 \right] + H2 \cdot RP \quad X23 = 0.075$$

Şekil 5.1..'den 746.72K ve 7.5 % dönüşüm için $RP=0.022$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.019 + 0.022}{2} \quad R_{Port} = 0.0205 \quad RP23 := 0.022$$

$n=3$ $L=3$ için Hesaplamalar: $RP32 = 0.019$

Tahmin Edilen Değer $RP := 0.02053$

$$T33 := T32 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T42 - T32) + T42 - 2 \cdot T32 + T22 \right] - F2 \cdot RP \quad T33 = 746.746$$

$$X33 := X32 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X42 - X32) + X42 - 2 \cdot X32 + X22 \right] + H2 \cdot RP \quad X33 = 0.075$$

Şekil 5.1..'den 746.746 K ve 7.5 % dönüşüm için $RP=0.022$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.019 + 0.022}{2} \quad R_{Port} = 0.0205 \quad RP33 := 0.022$$

$n=4$ $L=3$ için Hesaplamalar: $RP42 = 0.019$

Tahmin Edilen Değer $RP := 0.02055$

$$T43 := T42 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T52 - T42) + T52 - 2 \cdot T42 + T32 \right] - F2 \cdot RP \quad T43 = 746.798$$

$$X43 := X42 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X52 - X42) + X52 - 2 \cdot X42 + X32 \right] + H2 \cdot RP \quad X43 = 0.075$$

Şekil 5.1..'den 746.798 K ve 7.5 % dönüşüm için $RP=0.022$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.019 + 0.022}{2} \quad R_{Port} = 0.0205 \quad RP43 := 0.022$$

$n=5$ $L=3$ için Hesaplamalar: $RP52 = 0.019$

Tahmin Edilen Değer $RP := 0.02054$

$$T53 := T52 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T43 - 2 \cdot T52) - F2 \cdot RP \quad T53 = 746.857$$

$$X53 := X52 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X43 - 2 \cdot X52) + H2 \cdot RP \quad X53 = 0.076$$

Şekil 5.1..'den 746.857 K ve 7.6 % dönüşüm için $RP=0.022$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.019 + 0.022}{2} \quad R_{Port} = 0.0205 \quad RP53 := 0.022$$

$$T := 765.957 \quad x := 0.0905$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + \nu C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - \nu B \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + \nu C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - \nu B \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.02676$$

n=0 ve L=4 için Hesaplamalar $RP_{03} = 0.022$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.024$

$$T_{04} := T_{03} + 2 \cdot F_1 \cdot (2 \cdot T_{13} - 2 \cdot T_{03}) - F_2 \cdot RP \quad T_{04} = 767.658$$

$$X_{04} := X_{03} + 2 \cdot H_1 \cdot (2 \cdot X_{13} - 2 \cdot X_{03}) + H_2 \cdot RP \quad X_{04} = 0.096$$

Şekil 5.1.'den 767.658 K ve 9.6 % dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.022 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.024 \quad RP_{04} := 0.026$$

n=1 L=4 için Hesaplamalar: $RP_{13} = 0.022$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0241$

$$T_{14} := T_{13} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T_{23} - T_{13}) + T_{23} - 2 \cdot T_{13} + T_{03} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{14} = 767.772$$

$$X_{14} := X_{13} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X_{23} - X_{13}) + X_{23} - 2 \cdot X_{13} + X_{03} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{14} = 0.097$$

Şekil 5.1.'den 767.772 K ve 9.7 % dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.022 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.024 \quad RP_{14} := 0.026$$

n=2 L=4 için Hesaplamalar: $RP_{23} = 0.022$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02402$

$$T_{24} := T_{23} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T_{33} - T_{23}) + T_{33} - 2 \cdot T_{23} + T_{13} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{24} = 767.728$$

$$X_{24} := X_{23} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X_{33} - X_{23}) + X_{33} - 2 \cdot X_{23} + X_{13} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{24} = 0.097$$

Şekil 5.1.'den 767.728 K ve 9.7% dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

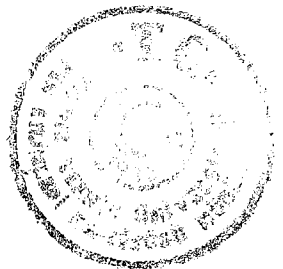
$$R_{Port} := \frac{0.022 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.024 \quad RP_{24} := 0.026$$

n=3 L=4 için Hesaplamalar: $RP_{33} = 0.022$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02403$

$$T_{34} := T_{33} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{43} - T_{33}) + T_{43} - 2 \cdot T_{33} + T_{23} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{34} = 767.763$$

$$X_{34} := X_{33} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{43} - X_{33}) + X_{43} - 2 \cdot X_{33} + X_{23} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{34} = 0.097$$



Şekil 5.1.'den 767.763 K ve 9.7 % dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.022 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.024 \quad RP_{34} := 0.026$$

$n=4$ $L=4$ için Hesaplamalar: $RP_{43} = 0.022$

Tahmin Edilen Değer $RP := 0.024055$

$$T_{44} := T_{43} + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T_{53} - T_{43}) + T_{53} - 2 \cdot T_{43} + T_{33} \right] - F2 \cdot RP \quad T_{44} = 767.837$$

$$X_{44} := X_{43} + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X_{53} - X_{43}) + X_{53} - 2 \cdot X_{43} + X_{33} \right] + H2 \cdot RP \quad X_{44} = 0.097$$

Şekil 5.1.'den 767.837 K ve 9.7 % dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.022 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.024 \quad RP_{44} := 0.026$$

$n=5$ $L=4$ için Hesaplamalar: $RP_{53} = 0.022$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02405$

$$T_{54} := T_{53} + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T_{44} - 2 \cdot T_{53}) - F2 \cdot RP \quad T_{54} = 767.944$$

$$X_{54} := X_{53} + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X_{44} - 2 \cdot X_{53}) + H2 \cdot RP \quad X_{54} = 0.097$$

Şekil 5.1.'den 767.944 K ve 9.7 % dönüşüm için $RP=0.026$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.022 + 0.026}{2} \quad R_{Port} = 0.024 \quad RP_{54} := 0.026$$

$$T := 800.047 \quad x := 0.132$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\epsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\epsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.028$$

$n=0$ ve $L=5$ için Hesaplamalar $RP_{04} = 0.026$

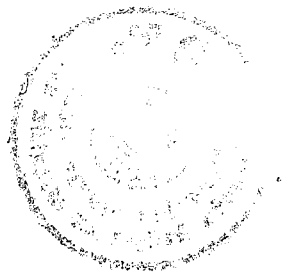
Tahmin Edilen Değer $RP := 0.0275$

$$T_{05} := T_{04} + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T_{14} - 2 \cdot T_{04}) - F2 \cdot RP \quad T_{05} = 791.711$$

$$X_{05} := X_{04} + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X_{14} - 2 \cdot X_{04}) + H2 \cdot RP \quad X_{05} = 0.121$$

Şekil 5.1.'den 791.711 K ve 12.1% dönüşüm için $RP=0.029$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.026 + 0.029}{2} \quad R_{Port} = 0.0275 \quad RP_{05} := 0.032$$



n=1 L=5 için Hesaplamalar: $RP_{14} = 0.026$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02751$

$$T_{15} := T_{14} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (T_{24} - T_{14}) + T_{24} - 2 \cdot T_{14} + T_{04} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{15} = 791.833$$

$$X_{15} := X_{14} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (X_{24} - X_{14}) + X_{24} - 2 \cdot X_{14} + X_{04} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{15} = 0.121$$

Şekil 5.1.'den 791.833 K ve 12.1% dönüşüm için $RP=0.029$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.026 + 0.029}{2} \quad R_{Port} = 0.0275 \quad RP_{15} := 0.029$$

n=2 L=5 için Hesaplamalar: $RP_{24} = 0.026$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02752$

$$T_{25} := T_{24} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (T_{34} - T_{24}) + T_{34} - 2 \cdot T_{24} + T_{14} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{25} = 791.798$$

$$X_{25} := X_{24} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (X_{34} - X_{24}) + X_{34} - 2 \cdot X_{24} + X_{14} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{25} = 0.121$$

Şekil 5.1.'den 791.798 K ve 12.1% dönüşüm için $RP=0.029$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.026 + 0.029}{2} \quad R_{Port} = 0.0275 \quad RP_{25} := 0.029$$

n=3 L=5 için Hesaplamalar: $RP_{34} = 0.026$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02753$

$$T_{35} := T_{34} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (T_{44} - T_{34}) + T_{44} - 2 \cdot T_{34} + T_{24} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{35} = 791.842$$

$$X_{35} := X_{34} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (X_{44} - X_{34}) + X_{44} - 2 \cdot X_{34} + X_{24} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{35} = 0.121$$

Şekil 5.1.'den 791.842K ve 121% dönüşüm için $RP=0.029$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.026 + 0.029}{2} \quad R_{Port} = 0.0275 \quad RP_{35} := 0.029$$

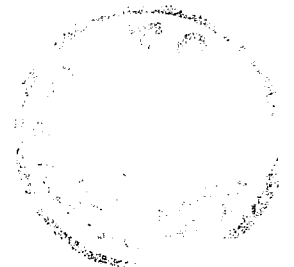
n=4 L=5 için Hesaplamalar: $RP_{44} = 0.026$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02754$

$$T_{45} := T_{44} + F_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (T_{54} - T_{44}) + T_{54} - 2 \cdot T_{44} + T_{34} \right] - F_2 \cdot RP \quad T_{45} = 791.925$$

$$X_{45} := X_{44} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (X_{54} - X_{44}) + X_{54} - 2 \cdot X_{44} + X_{34} \right] + H_2 \cdot RP \quad X_{45} = 0.121$$

Şekil 5.1.'de 791.925 K ve 12.1% dönüşüm için $RP=0.029$ Böylece;



$$R_{Port} := \frac{0.026 + 0.029}{2} \quad R_{Port} = 0.0275 \quad RP45 := 0.029$$

n=5 L=5 için Hesaplamalar: $RP54 = 0.026$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.02755$

$$T55 := T54 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot T45 - 2 \cdot T54) - F2 \cdot RP \quad T55 = 792.1$$

$$X55 := X54 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot X45 - 2 \cdot X54) + H2 \cdot RP \quad X55 = 0.122$$

Şekil 5.1.'den 792.1 K ve 12.2% dönüşüm için $RP=0.029$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.026 + 0.029}{2} \quad R_{Port} = 0.0275 \quad RP55 := 0.029$$

8.3.4. İkinci (Eksenel) Yatak İçin Hesaplamalar (TB, XB)

$$\begin{aligned} T05 &= 791.711 & T15 &= 791.833 & T25 &= 791.798 & T35 &= 791.842 & T45 &= 791.925 & T55 &= 792.1 \\ X05 &= 0.121 & X15 &= 0.121 & X25 &= 0.121 & X35 &= 0.121 & X45 &= 0.121 & X55 &= 0.122 \\ TB00 &:= 718 & TB10 &:= 718 & TB20 &:= 718 & TB30 &:= 718 & TB40 &:= 718 & TB50 &:= 718 \\ XB00 &:= 0.121 & XB10 &:= 0.121 & XB20 &:= 0.121 & XB30 &:= 0.121 & XB40 &:= 0.121 & XB50 &:= 0.121 \end{aligned}$$

$$\Delta z := 0.518 \quad F1 := \frac{\Delta z \cdot k_e}{\Delta r^2 \cdot G \cdot CP} \quad F2 := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta z}{G \cdot CP} \quad H1 := \frac{\Delta z \cdot dp}{\Delta r^2 \cdot P_e} \quad H2 := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta z}{G \cdot XA}$$

$$T := 718.0 \quad x := 0.121$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.009$$

n=0 L=1 için Hesaplamalar: $RPB00 := 0.009$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0095$

$$TB01 := TB00 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB10 - 2 \cdot TB00) - F2 \cdot RP \quad TB01 = 726.473$$

$$XB01 := XB00 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB10 - 2 \cdot XB00) + H2 \cdot RP \quad XB01 = 0.13$$

Şekil 5.1.'den 726.473 K ve 13.0% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad R_{Port} = 0.0095 \quad RPB01 := 0.01$$

n=1 L=1 için Hesaplamalar RP10 := 0.009

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.00951

$$TB11 := TB10 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB20 - TB10) + TB20 - 2 \cdot TB10 + TB00 \right] - F2 \cdot RP \quad TB11 = 726.481$$

$$XB11 := XB10 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB20 - XB10) + XB20 - 2 \cdot XB10 + XB00 \right] + H2 \cdot RIXB11 = 0.13$$

Şekil 5.1.'den 726.481 K ve 13.0% dönüşüm için RP=0.013 Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2}$$

$$RPort = 0.0095$$

$$RPB11 := 0.01$$

n=2 L=1 için Hesaplamalar: RPB10 := 0.01

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.00952

$$TB21 := TB20 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB30 - TB20) + TB30 - 2 \cdot TB20 + TB10 \right] - F2 \cdot RP \quad TB21 = 726.49$$

$$XB21 := XB20 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB30 - XB20) + XB30 - 2 \cdot XB20 + XB10 \right] + H2 \cdot RP \quad XB21 = 0.13$$

Şekil 5.1.'den 726.49 K ve 13.0% dönüşüm için RP=0.01 Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2}$$

$$RPort = 0.0095$$

$$RPB21 := 0.01$$

n=3 L=1 için Hesaplamalar: RPB30 := 0.01

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.00953

$$TB31 := TB30 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB40 - TB30) + TB40 - 2 \cdot TB30 + TB20 \right] - F2 \cdot RP \quad TB31 = 726.499$$

$$XB31 := XB30 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB40 - XB30) + XB40 - 2 \cdot XB30 + XB20 \right] + H2 \cdot RIXB31 = 0.13$$

Şekil 5.1.'den 726.499 K ve 13% dönüşüm için RP=0.01 Böylece;

$$RPort := \frac{0.009 + 0.01}{2}$$

$$RPort = 0.0095$$

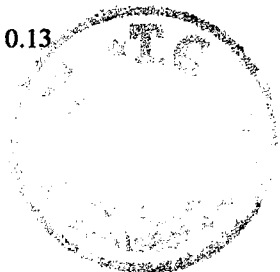
$$RPB31 := 0.01$$

n=4 L=1 için Hesaplamalar: RPB40 := 0.01

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.00954

$$TB41 := TB40 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB50 - TB40) + TB50 - 2 \cdot TB40 + TB30 \right] - F2 \cdot RP \quad TB41 = 726.508$$

$$XB41 := XB40 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB50 - XB40) + XB50 - 2 \cdot XB40 + XB30 \right] + H2 \cdot RP \quad XB41 = 0.13$$



Şekil 5.1.'den 726. 508 K ve 13.0% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad R_{Port} = 0.0095 \quad R_{PB41} := 0.01$$

$n=5$ $L=1$ için Hesaplamalar: $R_{PB50} := 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.00952$

$$TB51 := TB50 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB40 - 2 \cdot TB50) - F2 \cdot RP \quad TB51 = 726.49$$

$$XB51 := XB50 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB40 - 2 \cdot XB50) + H2 \cdot RP \quad XB51 = 0.13$$

Şekil 5.1.'den 726.49 K ve 13.0% dönüşüm için $RP=0.01$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.009 + 0.01}{2} \quad R_{Port} = 0.0095 \quad R_{PB51} := 0.01$$

$$T := 730.879 \quad x := 0.151$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.009$$

$n=0$ $L=2$ için Hesaplamalar: $R_{PB01} = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01051$

$$TB02 := TB01 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB11 - 2 \cdot TB01) - F2 \cdot RP \quad TB02 = 735.846$$

$$XB02 := XB01 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB11 - 2 \cdot XB01) + H2 \cdot RP \quad XB02 = 0.139$$

Şekil 5.1.'den 735.837 K ve 13.9 % dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad R_{Port} = 0.0105 \quad R_{PB02} := 0.011$$

$n=1$ $L=2$ için Hesaplamalar: $R_{PB11} = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01051$

$$TB12 := TB11 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB21 - TB11) + TB21 - 2 \cdot TB11 + TB01 \right] - F2 \cdot RP \quad TB12 = 735.855$$

$$XB12 := XB11 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB21 - XB11) + XB21 - 2 \cdot XB11 + XB01 \right] + H2 \cdot RP \quad XB12 = 0.139$$

Şekil 5.1.'den 735.855 K ve 13.9 % dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad R_{Port} = 0.0105 \quad R_{PB12} := 0.011$$



n=2 L=2 için Hesaplamalar: $RPB21 = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01052$

$$TB22 := TB21 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB31 - TB21) + TB31 - 2 \cdot TB21 + TB11 \right] - F2 \cdot RP \quad TB22 = 735.873$$

$$XB22 := XB21 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB31 - XB21) + XB31 - 2 \cdot XB21 + XB11 \right] + H2 \cdot RP \quad XB22 = 0.139$$

Şekil 5.1.'den 735.873 K ve 13.9% dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB22 := 0.011$$

n=3 L=2 için Hesaplamalar: $RPB31 = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01053$

$$TB32 := TB31 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB41 - TB31) + TB41 - 2 \cdot TB31 + TB21 \right] - F2 \cdot RP \quad TB32 = 735.89$$

$$XB32 := XB31 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB41 - XB31) + XB41 - 2 \cdot XB31 + XB21 \right] + H2 \cdot RP \quad XB32 = 0.139$$

Şekil 5.1.'den 735.89 K ve 13.9% dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB32 := 0.011$$

n=4 L=2 için Hesaplamalar: $RPB41 = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01054$

$$TB42 := TB41 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB51 - TB41) + TB51 - 2 \cdot TB41 + TB31 \right] - F2 \cdot RP \quad TB42 = 735.908$$

$$XB42 := XB41 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB51 - XB41) + XB51 - 2 \cdot XB41 + XB31 \right] + H2 \cdot RP \quad XB42 = 0.139$$

Şekil 5.1.'den 735.908 K ve 13.9% dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.01 + 0.011}{2} \quad RPort = 0.0105 \quad RPB42 := 0.011$$

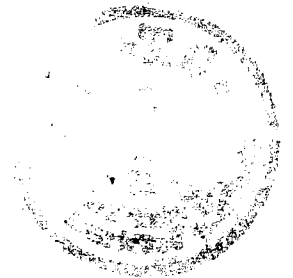
n=5 L=2 için Hesaplamalar: $RPB51 = 0.01$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01052$

$$TB52 := TB51 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB42 - 2 \cdot TB51) - F2 \cdot RP \quad TB52 = 735.897$$

$$XB52 := XB51 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB42 - 2 \cdot XB51) + H2 \cdot RP \quad XB52 = 0.139$$

Şekil 5.1.'den 735.897 K ve 13.9% dönüşüm için $RP=0.011$ Böylece;



$$R_{Port} = \frac{0.01 + 0.011}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0105$$

$$R_{PB52} = 0.011$$

$$T = 736.15 \quad x = 0.161$$

$$r = f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.009$$

n=0 ve L=3 için Hesaplamalar $R_{PB02} = 0.011$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.0115$

$$TB03 = TB02 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB12 - 2 \cdot TB02) - F2 \cdot RP \quad TB03 = 746.102$$

$$XB03 = XB02 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB12 - 2 \cdot XB02) + H2 \cdot RP \quad XB03 = 0.149$$

Şekil 5.1.'den 746.102 K ve 14.9% dönüşüm için $RP03=0.012$ Böylece;

$$R_{Port} = \frac{0.011 + 0.012}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0115$$

$$R_{PB03} = 0.012$$

n=1 L=3 için Hesaplamalar: $R_{PB12} = 0.011$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.01151$

$$TB13 = TB12 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB22 - TB12) + TB22 - 2 \cdot TB12 + TB02 \right] - F2 \cdot RP \quad TB13 = 746.12$$

$$XB13 = XB12 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB22 - XB12) + XB22 - 2 \cdot XB12 + XB02 \right] + H2 \cdot RP \quad XB13 = 0.149$$

Şekil 3.'den 746.12 K ve 14.9% dönüşüm için $RP03=0.012$ Böylece;

$$R_{Port} = \frac{0.013 + 0.015}{2}$$

$$R_{Port} = 0.014$$

$$R_{PB13} = 0.012$$

n=2 L=3 için Hesaplamalar: $R_{PB22} = 0.011$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.01152$

$$TB23 = TB22 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB32 - TB22) + TB32 - 2 \cdot TB22 + TB12 \right] - F2 \cdot RP \quad TB23 = 746.147$$

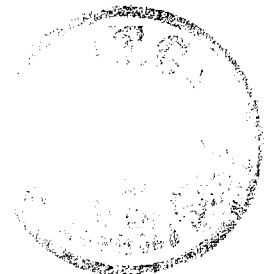
$$XB23 = XB22 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB32 - XB22) + XB32 - 2 \cdot XB22 + XB12 \right] + H2 \cdot RP \quad XB23 = 0.15$$

Şekil 5.1.'den 746.147 K ve 15.0% dönüşüm için $RP03=0.012$ Böylece;

$$R_{Port} = \frac{0.011 + 0.012}{2}$$

$$R_{Port} = 0.0115$$

$$R_{PB23} = 0.012$$



n=3 L=3 için Hesaplamalar: RPB32 = 0.011

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01153

$$TB33 := TB32 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB42 - TB32) + TB42 - 2 \cdot TB32 + TB22 \right] - F2 \cdot RP \quad TB33 = 746.173$$

$$XB33 := XB32 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB42 - XB32) + XB42 - 2 \cdot XB32 + XB22 \right] + H2 \cdot RP \quad XB33 = 0.15$$

Şekil 5.1.'den 746.173 K ve 15.0% dönüşüm için RP03=0.012 Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2} \quad RPort = 0.0115 \quad RPB33 := 0.012$$

n=4 L=3 için Hesaplamalar: RPB42 = 0.011

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01154

$$TB43 := TB42 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB52 - TB42) + TB52 - 2 \cdot TB42 + TB32 \right] - F2 \cdot RP \quad TB43 = 746.2$$

$$XB43 := XB42 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB52 - XB42) + XB52 - 2 \cdot XB42 + XB32 \right] + H2 \cdot RP \quad XB43 = 0.15$$

Şekil 5.1.'den 746.2 K ve 15.0% dönüşüm için RP03=0.012 Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2} \quad RPort = 0.0115 \quad RPB43 := 0.012$$

n=5 L=3 için Hesaplamalar: RPB52 = 0.011

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01153

$$TB53 := TB52 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB43 - 2 \cdot TB52) - F2 \cdot RP \quad TB53 = 746.206$$

$$XB53 := XB52 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB43 - 2 \cdot XB52) - H2 \cdot RP \quad XB53 = 0.15$$

Şekil 5.1.'den 746.206 K ve 15.0% dönüşüm için RP03=0.012 Böylece;

$$RPort := \frac{0.011 + 0.012}{2} \quad RPort = 0.0115 \quad RPB53 := 0.012$$

$$T = 757.23 \quad x = 0.172$$

$$r = f \left[K1(T) \cdot \frac{1-x}{\theta C + \nu C \cdot x} \cdot \left[\frac{\theta B - \nu B \cdot x}{(1 - \varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + \nu C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - \nu B \cdot x)^3}{1 - \varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.011$$

n=0 ve L=4 için Hesaplamalar RPB03 = 0.012

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0125

$$TB04 := TB03 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB13 - 2 \cdot TB03) - F2 \cdot RP \quad TB04 = 757.25$$

$$XB04 := XB03 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB13 - 2 \cdot XB03) + H2 \cdot RP \quad XB04 = 0.161$$

Şekil 5.1.'den 757.241 K ve 16.1% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB04 := 0.013$$

n=1 L=4 için Hesaplamalar: $RPB13 = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.01251$

$$TB14 := TB13 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB23 - TB13) + TB23 - 2 \cdot TB13 + TB03 \right] - F2 \cdot RP \quad TB14 = 757.277$$

$$XB14 := XB13 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB23 - XB13) + XB23 - 2 \cdot XB13 + XB03 \right] + H2 \cdot RP \quad XB14 = 0.161$$

Şekil 5.1.'den 757.277 K ve 16.1% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB14 := 0.013$$

n=2 L=4 için Hesaplamalar: $RPB23 = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.01252$

$$TB24 := TB23 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB33 - TB23) + TB33 - 2 \cdot TB23 + TB13 \right] - F2 \cdot RP \quad TB24 = 757.312$$

$$XB24 := XB23 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB33 - XB23) + XB33 - 2 \cdot XB23 + XB13 \right] + H2 \cdot RP \quad XB24 = 0.161$$

Şekil 5.1.'den 757.312 K ve 16.1% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort = \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB24 := 0.013$$

n=3 L=4 için Hesaplamalar: $RPB33 = 0.012$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.01253$

$$TB34 := TB33 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB43 - TB33) + TB43 - 2 \cdot TB33 + TB23 \right] - F2 \cdot RP \quad TB34 = 757.348$$

$$XB34 := XB33 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB43 - XB33) + XB43 - 2 \cdot XB33 + XB23 \right] + H2 \cdot RP \quad XB34 = 0.161$$

Şekil 5.1.'den 757.348 K ve 16.1% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$RPort = \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB34 := 0.013$$

n=4 L=4 için Hesaplamalar: RPB43 = 0.012

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01254

$$TB44 = TB43 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB53 - TB43) + TB53 - 2 \cdot TB43 + TB33 \right] - F2 \cdot RP \quad TB44 = 757.384$$

$$XB44 = XB43 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB53 - XB43) + XB53 - 2 \cdot XB43 + XB33 \right] + H2 \cdot RP \quad XB44 = 0.161$$

Şekil 5.1.'den 757.384 K ve 16.1% dönüşüm için RP=0.013 Böylece;

$$RPort = \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB44 := 0.013$$

n=5 L=4 için Hesaplamalar: RPB53 = 0.012

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01253

$$TB54 = TB53 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB44 - 2 \cdot TB53) - F2 \cdot RP \quad TB54 = 757.409$$

$$XB54 = XB53 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB44 - 2 \cdot XB53) + H2 \cdot RP \quad XB54 = 0.161$$

Şekil 5.1.'den 757.409 K ve 16.1% dönüşüm için RP=0.013 Böylece;

$$RPort = \frac{0.012 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.0125 \quad RPB54 := 0.013$$

$$T = 769.23 \quad x = 0.173$$

$$r = f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.013$$

n=0 ve L=5 için Hesaplamalar RPB04 = 0.013

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.013

$$TB05 = TB04 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB14 - 2 \cdot TB04) - F2 \cdot RP \quad TB05 = 768.844$$

$$XB05 = XB04 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB14 - 2 \cdot XB04) + H2 \cdot RP \quad XB05 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 768. K ve 17.3% dönüşüm için RP=0.013 Böylece;

$$RPort = \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad RPort = 0.013 \quad RPB05 := 0.013$$

n=1 L=5 için Hesaplamalar: RPB14 = 0.013

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.01302

$$TB15 = TB14 + F1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TB24 - TB14) - TB24 - 2 \cdot TB14 + TB04 \right] - F2 \cdot RP \quad TB15 = 768.889$$

$$XB15 = XB14 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XB24 - XB14) - XB24 - 2 \cdot XB14 + XB04 \right] + H2 \cdot RP \quad XB15 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 768.889 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} = \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad R_{Port} = 0.013 \quad R_{PB15} := 0.013$$

$n=2$ $L=5$ için Hesaplamalar: $R_{PB24} = 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01303$

$$TB25 := TB24 + F1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TB34 - TB24) + TB34 - 2 \cdot TB24 + TB14 \right] - F2 \cdot RP \quad TB25 = 768.933$$

$$XB25 := XB24 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XB34 - XB24) + XB34 - 2 \cdot XB24 + XB14 \right] + H2 \cdot RP \quad XB25 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 768.933 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad R_{Port} = 0.013 \quad R_{PB25} := 0.013$$

$n=3$ $L=5$ için Hesaplamalar: $R_{PB34} = 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01304$

$$TB35 := TB34 + F1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TB44 - TB34) + TB44 - 2 \cdot TB34 + TB24 \right] - F2 \cdot RP \quad TB35 = 768.978$$

$$XB35 := XB34 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XB44 - XB34) + XB44 - 2 \cdot XB34 + XB24 \right] + H2 \cdot RP \quad XB35 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 768.978 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} = \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad R_{Port} = 0.013 \quad R_{PB35} := 0.013$$

$n=4$ $L=5$ için Hesaplamalar: $R_{PB44} = 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01302$

$$TB45 := TB44 + F1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TB54 - TB44) + TB54 - 2 \cdot TB44 + TB34 \right] - F2 \cdot RP \quad TB45 = 768.995$$

$$XB45 := XB44 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XB54 - XB44) + XB54 - 2 \cdot XB44 + XB34 \right] + H2 \cdot RP \quad XB45 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 768.995 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;

$$R_{Port} = \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad R_{Port} = 0.013 \quad R_{PB45} := 0.013$$

$n=5$ $L=5$ için Hesaplamalar: $R_{PB54} = 0.013$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.01302$

$$TB55 := TB54 + 2 \cdot F1 \cdot (2 \cdot TB45 - 2 \cdot TB54) - F2 \cdot RP \quad TB55 = 769.051$$

$$XB55 := XB54 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XB45 - 2 \cdot XB54) - H2 \cdot RP \quad XB55 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 769.051 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.013$ Böylece;



$$R_{Port} := \frac{0.013 + 0.013}{2} \quad R_{Port} = 0.013 \quad R_{PB55} := 0.013$$

8.3.5. Üçüncü (Radyal) Yatak İçin Hesaplamalar (TR, XR)

$$TB05 = 768.844 \quad TB15 = 768.889 \quad TB25 = 768.933 \quad TB35 = 768.978 \quad TB45 = 768.995 \quad TB55 = 769.051$$

$$XB05 = 0.173 \quad XB15 = 0.173 \quad XB25 = 0.173 \quad XB35 = 0.173 \quad XB45 = 0.173 \quad XB55 = 0.173$$

$$TR00 := 696 \quad TR10 := 694 \quad TR20 := 692 \quad TR30 := 689 \quad TR40 := 688 \quad TR50 := 687$$

$$XR00 := 0.173 \quad XR10 := 0.173 \quad XR20 := 0.173 \quad XR30 := 0.173 \quad XR40 := 0.173 \quad XR50 := 0.173$$

$$F0 := 22218.8 \quad M = 10.7 \quad F := F0 \cdot M \quad F = 2.377 \cdot 10^5 \quad \Delta r := 0.169 \quad \Delta Z := 1.051$$

$$R0 := 0.2585 \quad R1 := 0.429 \quad R2 := 0.598 \quad R3 := 0.767 \quad R4 := 0.936 \quad R5 := 1.105 \quad L3 := 5.255$$

$$G(R) := \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L3} \quad G(R1) = 1.678 \cdot 10^4 \quad G(R3) = 9.388 \cdot 10^3 \quad G(R5) = 6.516 \cdot 10^3$$

$$G(R2) = 1.204 \cdot 10^4 \quad G(R4) = 7.693 \cdot 10^3$$

$$F1(R) := \frac{\Delta r \cdot k_e}{\Delta Z^2 \cdot G(R) \cdot CP} \quad F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA} \quad H1 := \frac{\Delta r \cdot dp}{\Delta Z^2 \cdot Pe}$$

$$T := 696.0 \quad x := 0.173$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\epsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\epsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.004$$

$$n=0 \quad L=1 \text{ için Hesaplamalar: } RPR00 := 0.004$$

$$\text{Tahmin Edilen Değer: } RP := 0.004$$

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.00$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR01 := TR00 + 2 \cdot F1(R1) \cdot (2 \cdot TR10 - 2 \cdot TR00) - F2(R1) \cdot RP \quad TR01 = 696$$

$$XR01 := XR00 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR10 - 2 \cdot XR00) + H2(R1) \cdot RP \quad XR01 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 696.0 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} = \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR01 := 0.004$$

n=1 L=1 için Hesaplamalar: $R_{PB10} := 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m^3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F_2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H_2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR_{11} := TR_{10} + F_1(R_1) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR_{20} - TR_{10}) + TR_{20} - 2 \cdot TR_{10} + TR_{00} \right] - F_2(R_1) \cdot RP \quad TR_{11} = 695.446$$

$$XR_{11} := XR_{10} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR_{20} - XR_{10}) + XR_{20} - 2 \cdot XR_{10} + XR_{00} \right] + H_2(R_1) \cdot RP \quad XR_{11} = 0.174$$

Şekil 5.1.'den 695.466 K ve 17.4% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad R_{PR11} := 0.004$$

n=2 L=1 için Hesaplamalar: $R_{PR20} := 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0041$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m^3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F_2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H_2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR_{21} := TR_{20} + F_1(R_1) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR_{30} - TR_{20}) + TR_{30} - 2 \cdot TR_{20} + TR_{10} \right] - F_2(R_1) \cdot RP \quad TR_{21} = 695.601$$

$$XR_{21} := XR_{20} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR_{30} - XR_{20}) + XR_{30} - 2 \cdot XR_{20} + XR_{10} \right] + H_2(R_1) \cdot RP \quad XR_{21} = 0.177$$

Şekil 5.1.'den 695.601 K ve 17.7% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad R_{PR21} := 0.004$$

n=3 L=1 için Hesaplamalar: $R_{PR30} := 0.003$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.003$

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m^3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2000$

$$F_2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H_2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR_{31} := TR_{30} + F_1(R_1) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR_{40} - TR_{30}) + TR_{40} - 2 \cdot TR_{30} + TR_{20} \right] - F_2(R_1) \cdot RP \quad TR_{31} = 692.1$$

$$XR_{31} := XR_{30} + H_1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR_{40} - XR_{30}) + XR_{40} - 2 \cdot XR_{30} + XR_{20} \right] + H_2(R_1) \cdot RP \quad XR_{31} = 0.176$$

Şekil 5.1.'den 693.133 K ve 18.9% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;



$$R_{Port} := \frac{0.003 + 0.003}{2} \quad R_{Port} = 0.003 \quad R_{PR31} := 0.003$$

n=4 L=1 için Hesaplamalar: $R_{PB40} := 0.003$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.003$

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR41 := TR40 + F1(R1) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR50 - TR40) + TR50 - 2 \cdot TR40 + TR30 \right] - F2(R1) \cdot RP \quad TR41 = 691.565$$

$$XR41 := XR40 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR50 - XR40) + XR50 - 2 \cdot XR40 + XR30 \right] + H2(R1) \cdot RP \quad XR41 = 0.177$$

Şekil 5.1.'den 691.565 K ve 17.7% dönüşüm için $RP=0.003$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.003 + 0.003}{2} \quad R_{Port} = 0.003 \quad R_{PB41} := 0.003$$

n=5 L=1 için Hesaplamalar: $R_{PB50} := 0.003$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0031$

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR51 := TR50 + 2 \cdot F1(R1) \cdot (2 \cdot TR40 - 2 \cdot TR50) - F2(R1) \cdot RP \quad TR51 = 691.164$$

$$XR51 := XR50 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR40 - 2 \cdot XR50) + H2(R1) \cdot RP \quad XR51 = 0.177$$

Şekil 5.1.'den 692.507 K ve 19.1% dönüşüm için $RP=0.003$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.003 + 0.003}{2} \quad R_{Port} = 0.003 \quad R_{PB51} := 0.003$$

$$T := 697.166 \quad x := 0.181$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.004$$

n=0 L=2 için Hesaplamalar: $R_{PR01} = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B = 0.00$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR02 := TR01 + 2 \cdot F1(R2) \cdot (2 \cdot TR11 - 2 \cdot TR01) - F2(R2) \cdot RP \quad TR02 = 696$$

$$XR02 := XR01 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR11 - 2 \cdot XR01) + H2(R2) \cdot RP \quad XR02 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 696 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR02 := 0.004$$

n=1 L=2 için Hesaplamalar: $RPR11 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR12 := TR11 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR21 - TR11) + TR21 - 2 \cdot TR11 + TR01 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR12 = 697.463$$

$$XR12 := XR11 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR21 - XR11) + XR21 - 2 \cdot XR11 + XR01 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR12 = 0.177$$

Şekil 5.1.'den 697.463 K ve 17.7% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR12 := 0.004$$

n=2 L=2 için Hesaplamalar: $RPR21 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m3 olarak alınmıştır $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR22 := TR21 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR31 - TR21) + TR31 - 2 \cdot TR21 + TR11 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR22 = 700.498$$

$$XR22 := XR21 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR31 - XR21) + XR31 - 2 \cdot XR21 + XR11 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR22 = 0.182$$

Şekil 5.1.'den 700.498 K ve 18.2% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort = \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR22 := 0.004$$

n=3 L=2 için Hesaplamalar: RPR31 = 0.003

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0035

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B = 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR32 = TR31 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR41 - TR31) + TR41 - 2 \cdot TR31 + TR21 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR32 = 697.141$$

$$XR32 = XR31 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR41 - XR31) + XR41 - 2 \cdot XR31 + XR21 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR32 = 0.181$$

Şekil 5.1.'den 697.141 K ve 18.1% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.003 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.0035 \quad RPR32 := 0.004$$

n=4 L=2 için Hesaplamalar: RPB41 = 0.003

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0035

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B = 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR42 = TR41 + F1(R2) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR51 - TR41) + TR51 - 2 \cdot TR41 + TR31 \right] - F2(R2) \cdot RP \quad TR42 = 697.362$$

$$XR42 = XR41 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR51 - XR41) + XR51 - 2 \cdot XR41 + XR31 \right] + H2(R2) \cdot RP \quad XR42 = 0.182$$

Şekil 5.1.'den 697.362 K ve 18.3% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.003 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.0035 \quad RPR42 := 0.004$$

n=5 L=2 için Hesaplamalar: RPB51 = 0.003

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.0035

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B = 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR52 = TR51 + 2 \cdot F1(R2) \cdot (2 \cdot TR41 - 2 \cdot TR51) - F2(R2) \cdot RP \quad TR52 = 697.717$$

$$XR52 = XR51 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR41 - 2 \cdot XR51) + H2(R2) \cdot RP \quad XR52 = 0.184$$

Şekil 5.1.'den 697.717 K ve 18.4% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort = \frac{0.003 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.0035 \quad RPR52 := 0.004$$

$$T := 697.70 \quad x := 0.184$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon)x} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.004$$

n=0 L=3 için Hesaplamalar: RPR02 := 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.00$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR03 := TR02 + 2 \cdot F1(R3) \cdot (2 \cdot TR12 - 2 \cdot TR02) - F2(R3) \cdot RP \quad TR03 = 696$$

$$XR03 := XR02 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR12 - 2 \cdot XR02) + H2(R3) \cdot RP \quad XR03 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 696 K ve 17.3% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR03 := 0.004$$

n=1 L=3 için Hesaplamalar: RPR12 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR13 := TR12 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR22 - TR12) + TR22 - 2 \cdot TR12 + TR02 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR13 = 700.049$$

$$XR13 := XR12 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR22 - XR12) + XR22 - 2 \cdot XR12 + XR02 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR13 = 0.179$$

Şekil 5.1.'den 700.049 K ve 17.9% dönüşüm için RP=0.004 Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR13 := 0.004$$

n=2 L=3 için Hesaplamalar: RPR22 = 0.004

Tahmin Edilen Değer: RP := 0.004

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m3 olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR23 := TR22 - F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR32 - TR22) + TR32 - 2 \cdot TR22 + TR12 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR23 = 706.778$$

$$XR23 := XR22 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR32 - XR22) - XR32 - 2 \cdot XR22 + XR12 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR23 = 0.188$$

Şekil 5.1.'den 706.778 K ve 18.8% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR23 := 0.004$$

$n=3$ $L=3$ için Hesaplamalar: $RPR32 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B = 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR33 := TR32 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR42 - TR32) + TR42 - 2 \cdot TR32 + TR22 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR33 = 704.53$$

$$XR33 := XR32 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR42 - XR32) + XR42 - 2 \cdot XR32 + XR22 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR33 = 0.189$$

Şekil 5.1.'den 706.284 K ve 18.9% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR33 := 0.004$$

$n=4$ $L=3$ için Hesaplamalar: $RPR42 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B = 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR43 := TR42 + F1(R3) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR52 - TR42) + TR52 - 2 \cdot TR42 + TR32 \right] - F2(R3) \cdot RP \quad TR43 = 705.86$$

$$XR43 := XR42 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR52 - XR42) + XR52 - 2 \cdot XR42 + XR32 \right] + H2(R3) \cdot RP \quad XR43 = 0.191$$

Şekil 5.1.'den 705.86 K ve 19.1% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR43 := 0.004$$

$n=5$ $L=3$ için Hesaplamalar: $RPR52 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B = 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR53 := TR52 + 2 \cdot F1(R3) \cdot (2 \cdot TR42 - 2 \cdot TR52) - F2(R3) \cdot RP \quad TR53 = 707.323$$

$$XR53 := XR52 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR42 - 2 \cdot XR52) - H2(R3) \cdot RP \quad XR53 = 0.194$$

Şekil 5.1.'den 709.603 K ve 19.4% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} = \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR53 := 0.004$$

$$T := 705.823 \quad x := 0.191$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.004$$

n=0 L=4 için Hesaplamalar: $RPR03 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 0.00$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR04 := TR03 + 2 \cdot F1(R4) \cdot (2 \cdot TR13 - 2 \cdot TR03) - F2(R4) \cdot RP \quad TR04 = 696.001$$

$$XR04 := XR03 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR13 - 2 \cdot XR03) + H2(R4) \cdot RP \quad XR04 = 0.173$$

Şekil 5.1.'den 696.01 K ve 18.5% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} = \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR04 := 0.004$$

n=1 L=4 için Hesaplamalar: $RPR13 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR14 := TR13 + F1(R4) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR23 - TR13) + TR23 - 2 \cdot TR13 + TR03 \right] - F2(R4) \cdot RP \quad TR14 = 703.206$$

$$XR14 := XR13 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR23 - XR13) + XR23 - 2 \cdot XR13 + XR03 \right] + H2(R4) \cdot RP \quad XR14 = 0.182$$

Şekil 5.1.'den 703.206 K ve 18.2% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$R_{Port} = \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad R_{Port} = 0.004 \quad RPR14 := 0.004$$

n=2 L=4 için Hesaplamalar: $RPR23 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) = \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR_{24} := TR_{23} + F1(R_4) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR_{33} - TR_{23}) + TR_{33} - 2 \cdot TR_{23} + TR_{13} \right] - F2(R_4) \cdot RP \quad TR_{24} = 715.401$$

$$XR_{24} := XR_{23} + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR_{33} - XR_{23}) + XR_{33} - 2 \cdot XR_{23} + XR_{13} \right] + H2(R_4) \cdot RP \quad XR_{24} = 0.197$$

Şekil 5.1.'den 715.401 K ve 19.7% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad R_{Port} = 0.0045 \quad RPR_{24} := 0.005$$

n=3 L=4 için Hesaplamalar: $RPR_{33} = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR_{34} := TR_{33} + F1(R_4) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR_{43} - TR_{33}) + TR_{43} - 2 \cdot TR_{33} + TR_{23} \right] - F2(R_4) \cdot RP \quad TR_{34} = 714.675$$

$$XR_{34} := XR_{33} + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR_{43} - XR_{33}) + XR_{43} - 2 \cdot XR_{33} + XR_{23} \right] + H2(R_4) \cdot RP \quad XR_{34} = 0.199$$

Şekil 5.1.'den 714.675 K ve 19.9% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad R_{Port} = 0.0045 \quad RPR_{34} := 0.005$$

n=4 L=4 için Hesaplamalar: $RPR_{43} = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR_{44} := TR_{43} + F1(R_4) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR_{53} - TR_{43}) + TR_{53} - 2 \cdot TR_{43} + TR_{33} \right] - F2(R_4) \cdot RP \quad TR_{44} = 717.526$$

$$XR_{44} := XR_{53} + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR_{53} - XR_{43}) + XR_{53} - 2 \cdot XR_{43} + XR_{33} \right] + H2(R_4) \cdot RP \quad XR_{44} = 0.205$$

Şekil 5.1.'den 717.526 K ve 20.5% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad R_{Port} = 0.0045 \quad RPR_{44} := 0.005$$

n=5 L=4 için Hesaplamalar $RPR_{53} = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP = 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$\begin{aligned} TR54 &:= TR53 + 2 \cdot F1(R4) \cdot (2 \cdot TR44 - 2 \cdot TR53) - F2(R4) \cdot RP & TR54 &= 720.514 \\ XR54 &:= XR53 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR44 - 2 \cdot XR53) + H2(R4) \cdot RP & XR54 &= 0.207 \end{aligned}$$

Şekil 5.1.'den 720.514 K ve 20.7% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.0045 \quad RPR54 := 0.005$$

$$T := 707.8 \quad x := 0.198$$

$$r := f \left[K1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\varepsilon x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - K2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1-\varepsilon x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r = 0.004$$

$n=0$ $L=5$ için Hesaplamalar: $RPR04 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.004$

Burada Karışım Yoğunluğu 0.00 kg/m^3 olarak alınmıştır $pB := 0.00$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot pB \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{pB \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$\begin{aligned} TR05 &:= TR04 + 2 \cdot F1(R5) \cdot (2 \cdot TR14 - 2 \cdot TR04) - F2(R5) \cdot RP & TR05 &= 696.003 \\ XR05 &:= XR04 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR14 - 2 \cdot XR04) + H2(R5) \cdot RP & XR05 &= 0.173 \end{aligned}$$

Şekil 5.1.'den 696.003 K ve 17.3% dönüşüm için $RP=0.004$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.004}{2} \quad RPort = 0.004 \quad RPR05 := 0.004$$

$n=1$ $L=5$ için Hesaplamalar: $RPR14 = 0.004$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0045$

Burada Karışım Yoğunluğu 700 kg/m^3 olarak alınmıştır $pB := 700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot pB \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{pB \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$\begin{aligned} TR15 &:= TR14 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (TR24 - TR14) + TR24 - 2 \cdot TR14 + TR04 \right] - F2(R5) \cdot RP & TR15 &= 707.399 \\ XR15 &:= XR14 + H1 \cdot \left[\frac{1}{1} \cdot (XR24 - XR14) + XR24 - 2 \cdot XR14 + XR04 \right] + H2(R5) \cdot RP & XR15 &= 0.187 \end{aligned}$$

Şekil 5.1.'den 707.399 K ve 18.7% dönüşüm için $RP=0.005$ Böylece;

$$RPort := \frac{0.004 + 0.005}{2} \quad RPort = 0.0045 \quad RPR15 := 0.005$$

n=2 L=5 için Hesaplamalar: RPR24 = 0.005

Tahmin Edilen Değer: RP = 0.0055

Burada Karışım Yoğunluğu 1700 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B = 1700$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR25 = TR24 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (TR34 - TR24) + TR34 - 2 \cdot TR24 + TR14 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR25 = 727.842$$

$$XR25 = XR24 + H1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (XR34 - XR24) + XR34 - 2 \cdot XR24 + XR14 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR25 = 0.209$$

Şekil 5.1.'den 727.842 K ve 20.9% dönüşüm için RP=0.006 Böylece;

$$RPort := \frac{0.005 + 0.006}{2} \quad RPort = 0.0055 \quad RPR25 := 0.006$$

n=3 L=5 için Hesaplamalar: RPR34 = 0.005

Tahmin Edilen Değer: RP = 0.0055

Burada Karışım Yoğunluğu 2000 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B = 2000$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR35 = TR34 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (TR44 - TR34) + TR44 - 2 \cdot TR34 + TR24 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR35 = 729.313$$

$$XR35 = XR34 + H1 \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (XR44 - XR34) + XR44 - 2 \cdot XR34 + XR24 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR35 = 0.214$$

Şekil 5.1.'den 729.313 K ve 21.4% dönüşüm için RP=0.006 Böylece;

$$RPort := \frac{0.005 + 0.006}{2} \quad RPort = 0.0055 \quad RPR35 := 0.006$$

n=4 L=5 için Hesaplamalar: RPR44 = 0.005

Tahmin Edilen Değer: RP = 0.0055

Burada Karışım Yoğunluğu 2300 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B = 2300$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR45 = TR44 + F1(R5) \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (TR54 - TR44) + TR54 - 2 \cdot TR44 + TR34 \right] - F2(R5) \cdot RP \quad TR45 = 734.359$$

$$XR45 = XR44 + H1 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (XR54 - XR44) + XR54 - 2 \cdot XR44 + XR34 \right] + H2(R5) \cdot RP \quad XR45 = 0.222$$



Şekil 5.1.'den 734.359 K ve 22.2% dönüşüm için $RP=0.006$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.005 + 0.006}{2} \quad R_{Port} = 0.0055 \quad RPR45 := 0.006$$

$n=5$ $L=5$ için Hesaplamalar: $RPR54 = 0.005$

Tahmin Edilen Değer: $RP := 0.0055$

Burada Karışım Yoğunluğu 2600 kg/m³ olarak alınmıştır. $\rho_B := 2600$

$$F2(R) := \frac{\Delta H \cdot \rho_B \cdot \Delta r}{G(R) \cdot CP} \quad H2(R) := \frac{\rho_B \cdot M \cdot \Delta r}{G(R) \cdot XA}$$

$$TR55 := TR54 + 2 \cdot F1(R5) \cdot (2 \cdot TR44 - 2 \cdot TR54) - F2(R5) \cdot RP \quad TR55 = 739.542$$

$$XR55 := XR54 + 2 \cdot H1 \cdot (2 \cdot XR44 - 2 \cdot XR54) + H2(R5) \cdot RP \quad XR55 = 0.226$$

Şekil 5.1.'den 739.542 K ve 22.6% dönüşüm için $RP=0.006$ Böylece;

$$R_{Port} := \frac{0.005 + 0.006}{2} \quad R_{Port} = 0.0055 \quad RPR55 := 0.006$$

Tablo 8.7. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9 Olması Durumunda Birinci (Eksenel) Yatak için Sıcaklık ve %Dönüşüm Değerleri

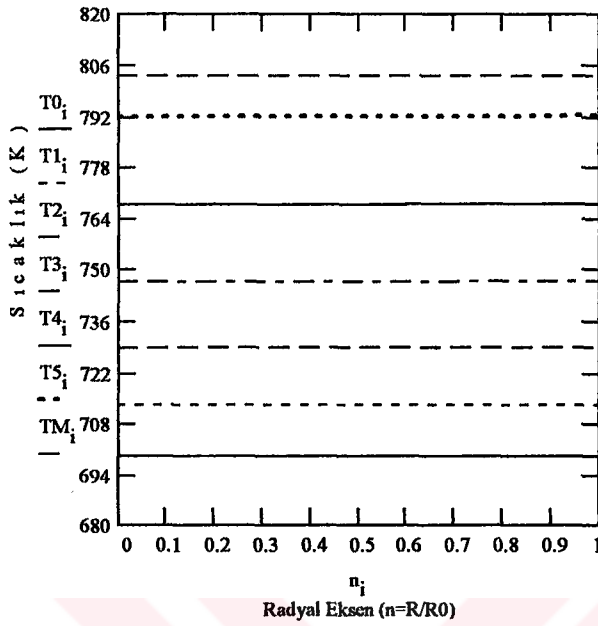
Yatak Boyu (m)	Radyal Durum (n=R/R0)					
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Sıcaklık K						
L := 0 z := 0.0	T00 = 699	T10 = 699	T20 = 699	T30 = 699	T40 = 699	T50 = 699
L := 1 z := 0.508	T01 = 712.994	T11 = 713.003	T21 = 713.011	T31 = 713.02	T41 = 713.038	T51 = 713.029
L := 2 z := 1.016	T02 = 728.737	T12 = 728.755	T22 = 728.772	T32 = 728.79	T42 = 728.825	T52 = 728.847
L := 3 z := 1.524	T03 = 746.667	T13 = 746.693	T23 = 746.72	T33 = 746.746	T43 = 746.798	T53 = 746.857
L := 4 z := 2.032	T04 = 767.658	T14 = 767.772	T24 = 767.728	T34 = 767.763	T44 = 767.837	T54 = 767.944
L := 5 z := 2.54	T05 = 791.711	T15 = 791.833	T25 = 791.798	T35 = 791.842	T45 = 791.925	T55 = 792.1
%Dönüşüm						
L := 0 z := 0.0	X00 = 0.027	X10 = 0.027	X20 = 0.027	X30 = 0.027	X40 = 0.027	X50 = 0.027
L := 1 z := 0.508	X01 = 0.041	X11 = 0.041	X21 = 0.041	X31 = 0.041	X41 = 0.041	X51 = 0.041
L := 2 z := 1.016	X02 = 0.057	X12 = 0.057	X22 = 0.057	X32 = 0.057	X42 = 0.057	X52 = 0.057
L := 3 z := 1.524	X03 = 0.075	X13 = 0.075	X23 = 0.075	X33 = 0.075	X43 = 0.075	X53 = 0.076
L := 4 z := 2.032	X04 = 0.096	X14 = 0.097	X24 = 0.097	X34 = 0.097	X44 = 0.097	X54 = 0.097
L := 5 z := 2.54	X05 = 0.121	X15 = 0.121	X25 = 0.121	X35 = 0.121	X45 = 0.121	X55 = 0.122

Tablo 8.8. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9 Olması Durumunda İkinci (Eksenel) Yatak için Sıcaklık ve %Dönüşüm Değerleri

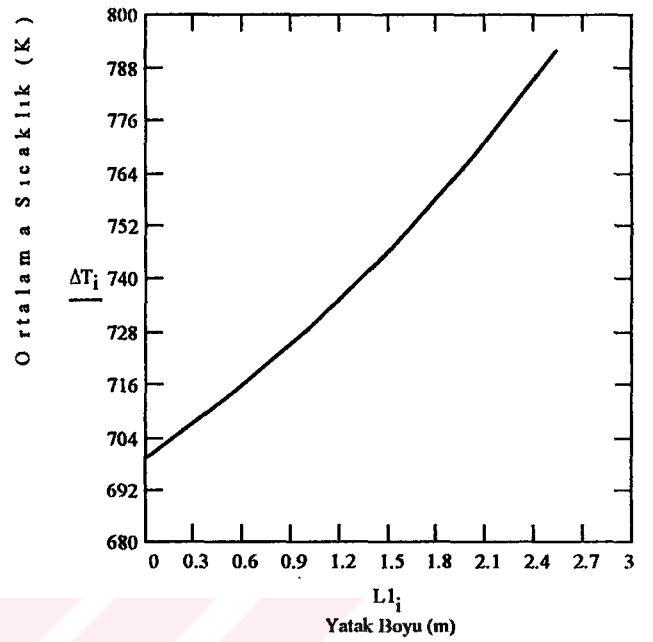
Yatak Boyu (m)	Radyal Durum (n=R/R0)					
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Sıcaklık K						
L := 0 zB := 0.0	TB00 = 718	TB10 = 718	TB20 = 718	TB30 = 718	TB40 = 718	TB50 = 718
L := 1 zB := 0.518	TB01 = 726.473	TB11 = 726.481	TB21 = 726.49	TB31 = 726.499	TB41 = 726.508	TB51 = 726.49
L := 2 zB := 1.036	TB02 = 735.846	TB12 = 735.855	TB22 = 735.873	TB32 = 735.89	TB42 = 735.908	TB52 = 735.897
L := 3 zB := 1.554	TB03 = 746.102	TB13 = 746.12	TB23 = 746.147	TB33 = 746.173	TB43 = 746.2	TB53 = 746.206
L := 4 zB := 2.072	TB04 = 757.25	TB14 = 757.277	TB24 = 757.312	TB34 = 757.348	TB44 = 757.384	TB54 = 757.409
L := 5 zB := 2.59	TB05 = 768.844	TB15 = 768.889	TB25 = 768.933	TB35 = 768.978	TB45 = 768.995	TB55 = 769.051
%Dönüşüm						
L := 0 zB := 0.0	XB00 = 0.121	XB10 = 0.121	XB20 = 0.121	XB30 = 0.121	XB40 = 0.121	XB50 = 0.121
L := 1 zB := 0.518	XB01 = 0.13	XB11 = 0.13	XB21 = 0.13	XB31 = 0.13	XB41 = 0.13	XB51 = 0.13
L := 2 zB := 1.036	XB02 = 0.139	XB12 = 0.139	XB22 = 0.139	XB32 = 0.139	XB42 = 0.139	XB52 = 0.139
L := 3 zB := 1.554	XB03 = 0.149	XB13 = 0.149	XB23 = 0.15	XB33 = 0.15	XB43 = 0.15	XB53 = 0.15
L := 4 zB := 2.072	XB04 = 0.161	XB14 = 0.161	XB24 = 0.161	XB34 = 0.161	XB44 = 0.161	XB54 = 0.161
L := 5 zB := 2.59	XB05 = 0.173	XB15 = 0.173	XB25 = 0.173	XB35 = 0.173	XB45 = 0.173	XB55 = 0.173

Tablo 8.9. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9 Olması Durumunda Üçüncü (Radyal) Yatak için Sıcaklık ve %Dönüşüm Değerleri

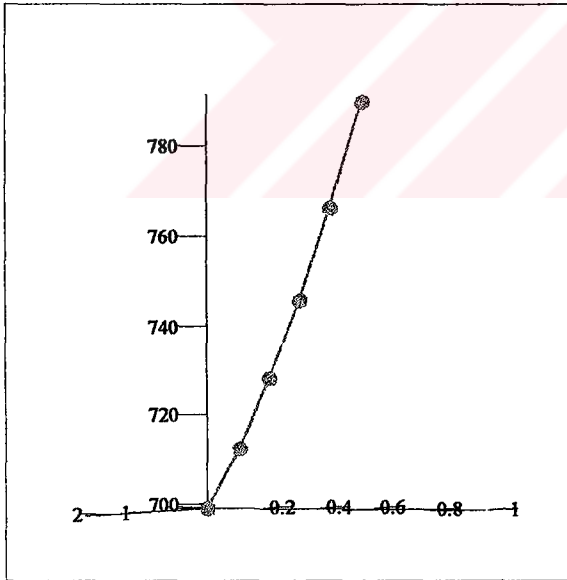
Yarıçap (m)	Eksenel Durum (L/L0)						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	
	Sıcaklık K						
n := 0	R := 0.2585	TR00 = 696	TR10 = 694	TR20 = 692	TR30 = 689	TR40 = 688	TR50 = 687
n := 0.2	R := 0.4275	TR01 = 696	TR11 = 695.446	TR21 = 695.601	TR31 = 692.1	TR41 = 691.565	TR51 = 691.164
n := 0.4	R := 0.5965	TR02 = 696	TR12 = 697.463	TR22 = 700.498	TR32 = 697.141	TR42 = 697.362	TR52 = 697.717
n := 0.6	R := 0.7655	TR03 = 696	TR13 = 700.049	TR23 = 706.778	TR33 = 704.53	TR43 = 705.86	TR53 = 707.323
n := 0.8	R := 0.9345	TR04 = 696	TR14 = 703.206	TR24 = 715.401	TR34 = 714.675	TR44 = 717.526	TR54 = 720.514
n := 1	R := 1.035	TR05 = 696	TR15 = 707.399	TR25 = 727.842	TR35 = 729.313	TR45 = 734.359	TR55 = 739.542
%Dönüşüm							
n := 0	R := 0.2585	XR00 = 0.173	XR10 = 0.173	XR20 = 0.173	XR30 = 0.173	XR40 = 0.173	XR50 = 0.173
n := 0.2	R := 0.4275	XR01 = 0.173	XR11 = 0.174	XR21 = 0.177	XR31 = 0.176	XR41 = 0.177	XR51 = 0.177
n := 0.4	R := 0.5965	XR02 = 0.173	XR12 = 0.177	XR22 = 0.182	XR32 = 0.181	XR42 = 0.182	XR52 = 0.184
n := 0.6	R := 0.7655	XR03 = 0.173	XR13 = 0.179	XR23 = 0.188	XR33 = 0.189	XR43 = 0.191	XR53 = 0.194
n := 0.8	R := 0.9345	XR04 = 0.173	XR14 = 0.182	XR24 = 0.197	XR34 = 0.199	XR44 = 0.205	XR54 = 0.207
n := 1	R := 1.035	XR05 = 0.173	XR15 = 0.187	XR25 = 0.209	XR35 = 0.214	XR45 = 0.222	XR55 = 0.226



Şekil 8.59. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi.

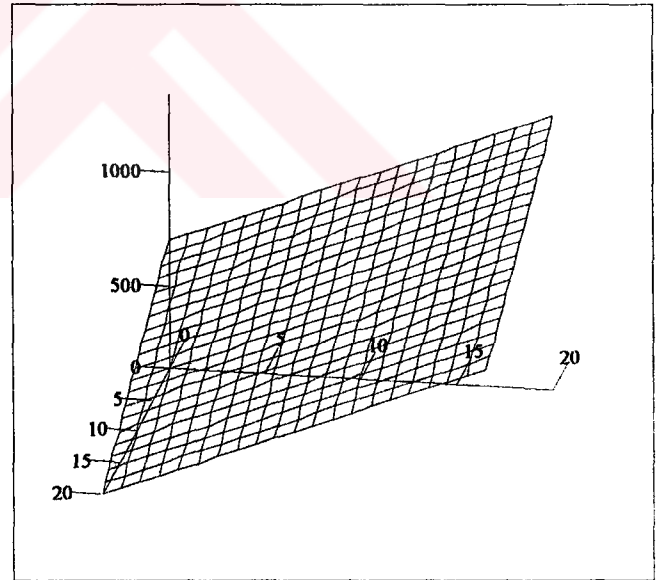


Şekil 8.60. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi.



L1, n, ΔT

Şekil 8.61. Birinci (eksenel) yatak ortalama sıcaklığının eksenel - radyal değişimi



L1, n, ΔT

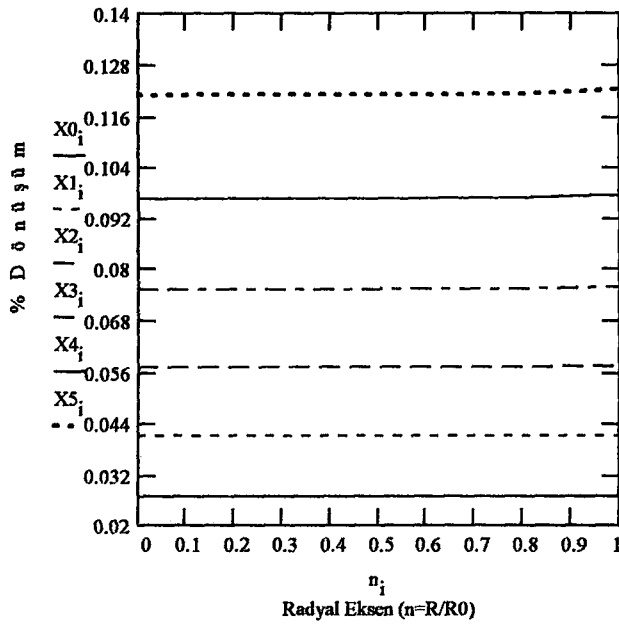
Şekil 8.62. Birinci (eksenel) yatak ortalama sıcaklığının eksenel - radyal değişimi

Şekil 8.59- 62. Giriş $T=699$ K, $P=276$ atm, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda.

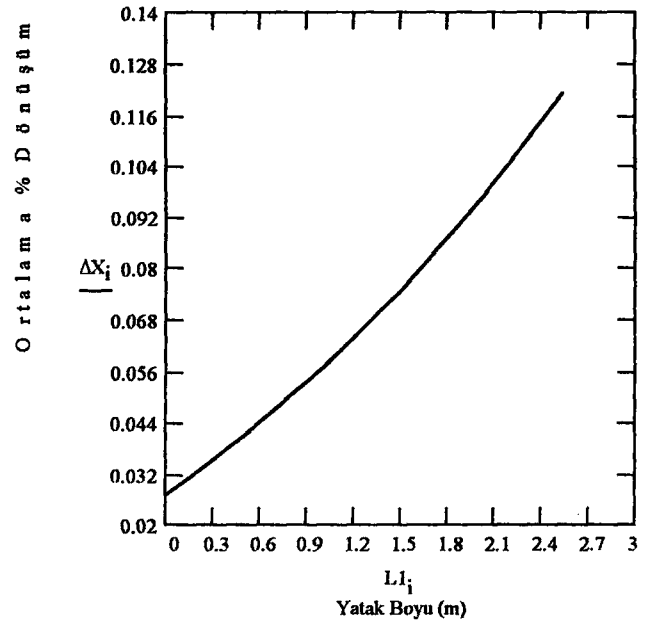
T0: Gazın radyal eksenindeki giriş sıcaklık dağılımı

T1, T2, T3, T4, T5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki sıcaklık dağılımı

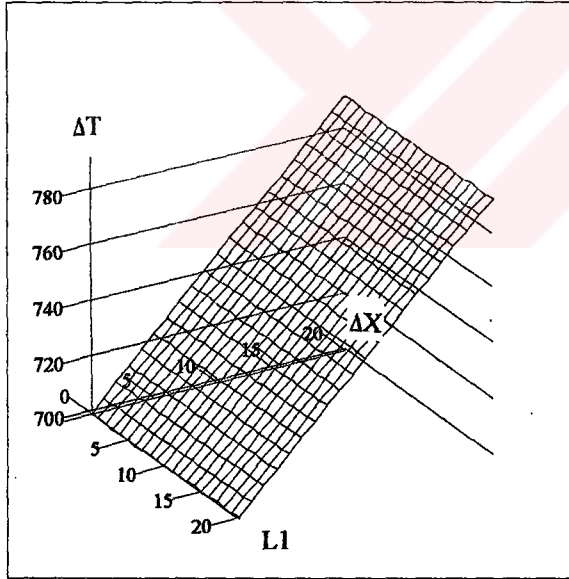
TM: Model olarak alınan reaktörün yatak çıkış sıcaklığı



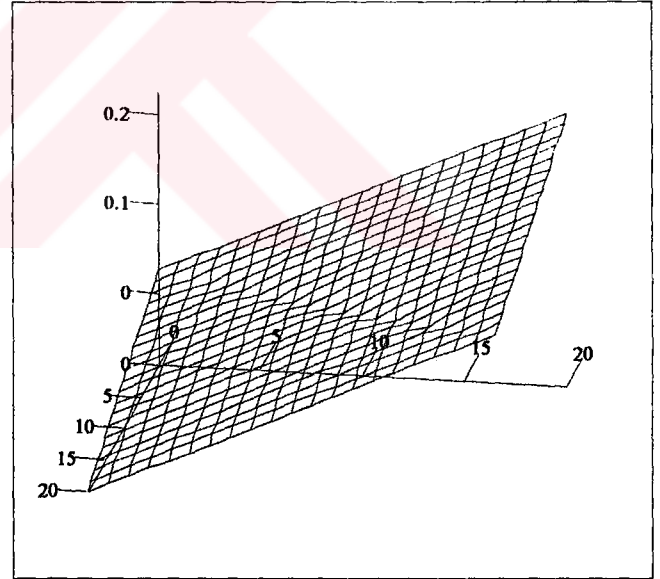
Şekil 8.63. Birinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi.



Şekil 8.64. Birinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi



L1, ΔX, ΔT



L1, n, ΔX

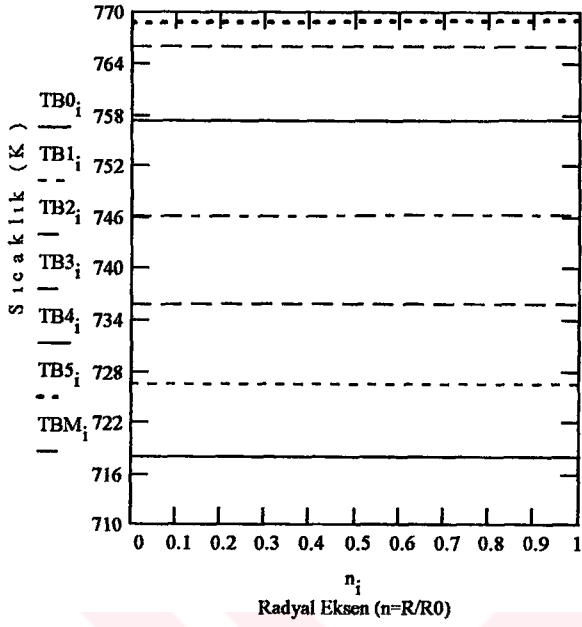
Şekil 8.65. Birinci (eksenel) yatak, ortalama %dönüşümün-sıcaklığın yatak boyunca değişimi

Şekil 8.66. Birinci (eksenel) yatak, %dönüşümün eksenel - radyal değişimi

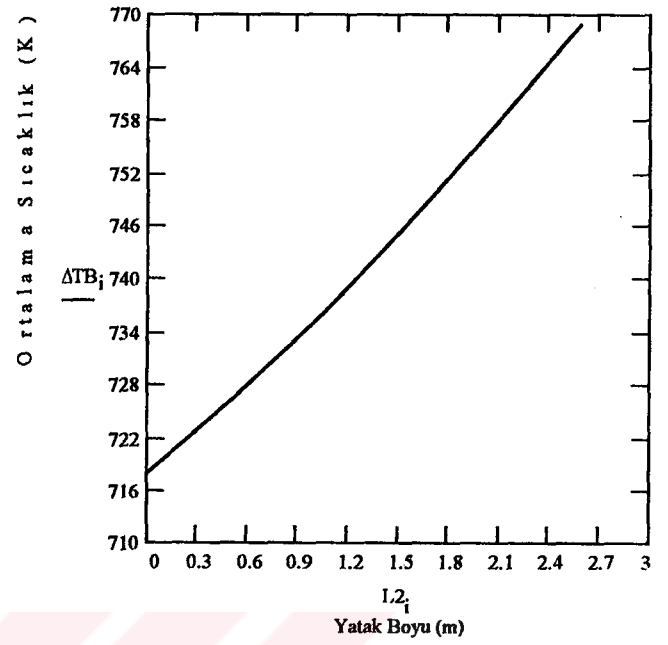
Şekil 8.63-66. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda.

X0: Gazın radyal eksenindeki giriş %dönüşüm dağılımı

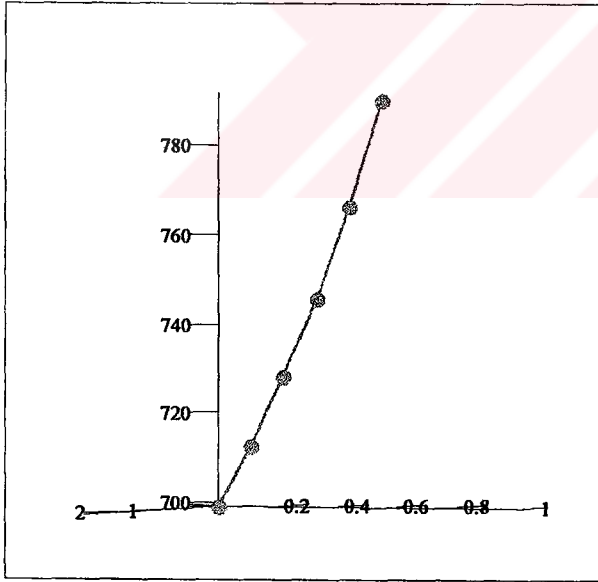
X1, X2, X3, X4, X5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki %dönüşüm dağılımı



Şekil 8.67. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi.

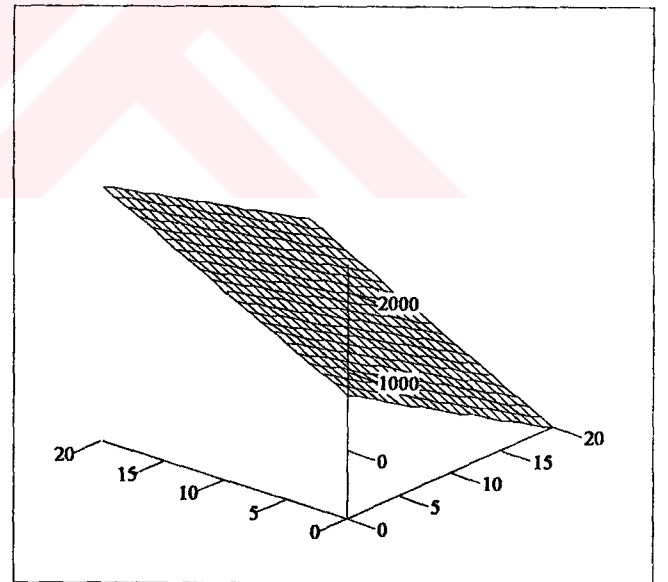


Şekil 8.68. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi.



L2,n,ΔT

Şekil 8.69. İkinci (eksenel) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal değişimi



L2,n,ΔT

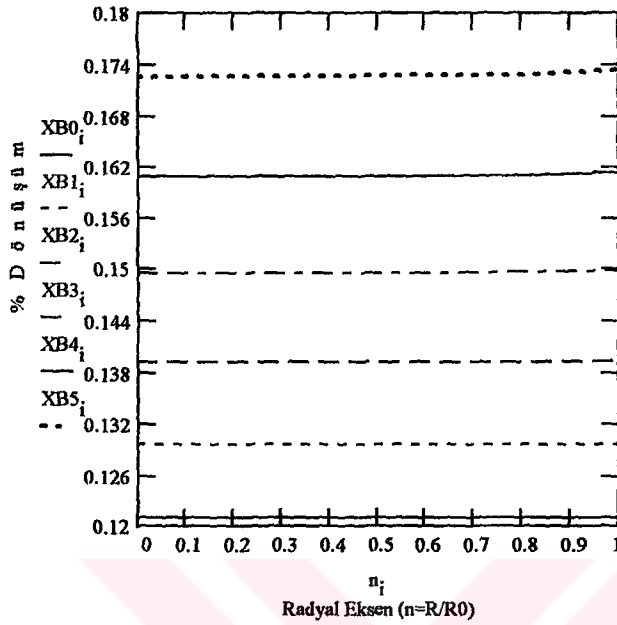
Şekil 8.70. İkinci (eksenel) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

Şekil 8.67- 70. Giriş $T=699$ K, $P=276$ atm, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda.

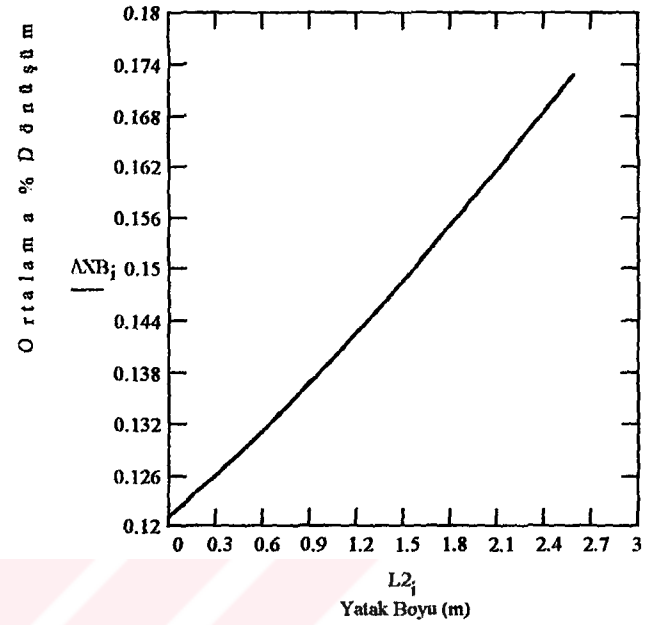
TB0: Gazın radyal eksenindeki giriş sıcaklık dağılımı

TB1,TB2, TB3,TB4,TB5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki sıcaklık dağılımı

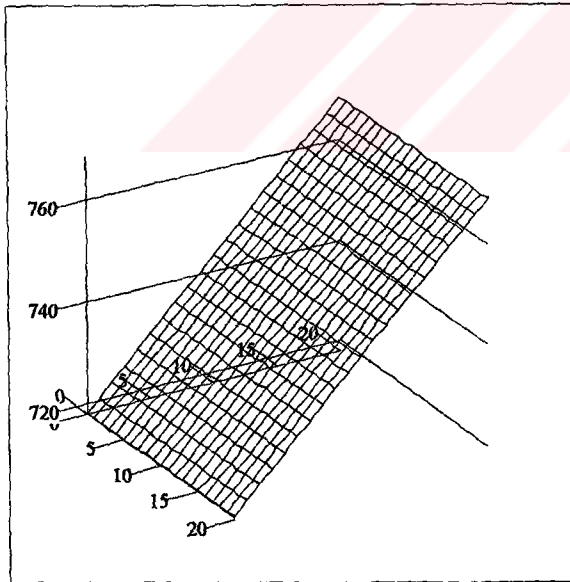
TBM: Model olarak alınan reaktörün yatak çıkış sıcaklığı



Şekil 8.71. İkinci (eksenel) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi.

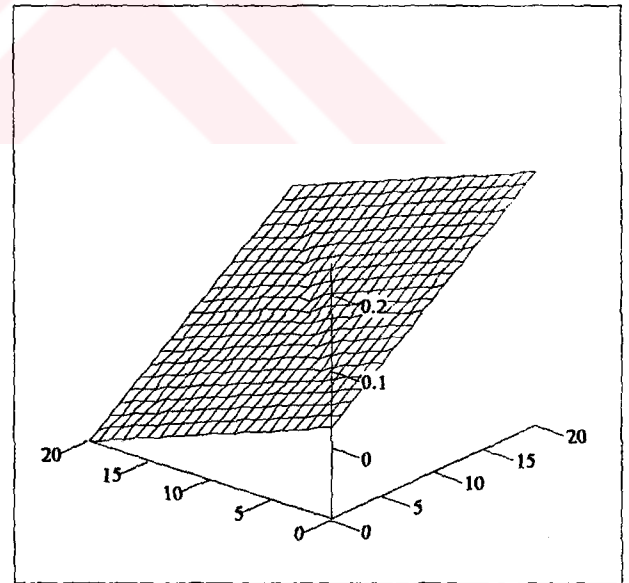


Şekil 8.72. İkinci (eksenel) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi.



L2, ΔXB , ΔTB

Şekil 8.73. İkinci (eksenel) yatak, ortalama %dönüşümün-sıcaklığın yatak boyunca değişimi



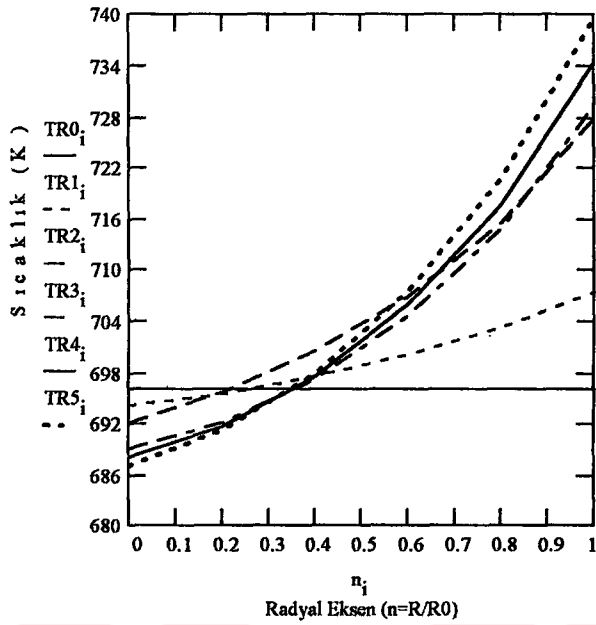
L2, n, ΔX

Şekil 8.74. İkinci (eksenel) yatak %dönüşümünün eksenel - radyal değişimi

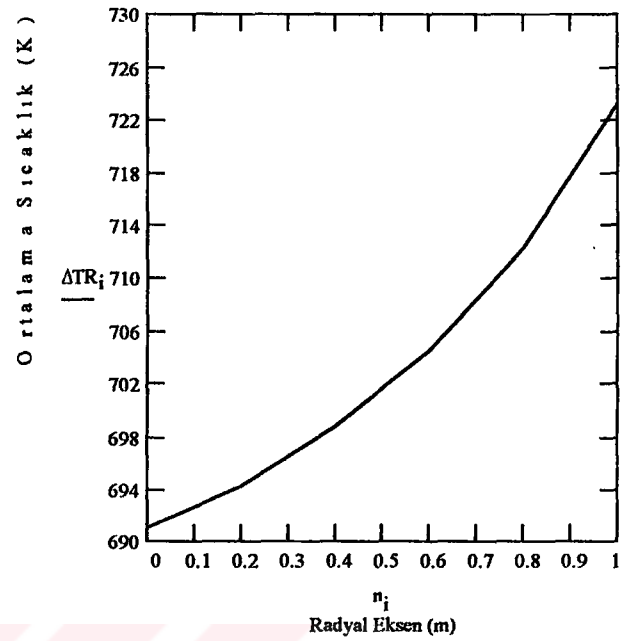
Şekil 8.71-74. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=280\text{ atm}$, $X=0.0269$ ve $f=0.9$ durumunda.

XB0: Gazın radyal eksenindeki giriş %dönüşüm dağılımı

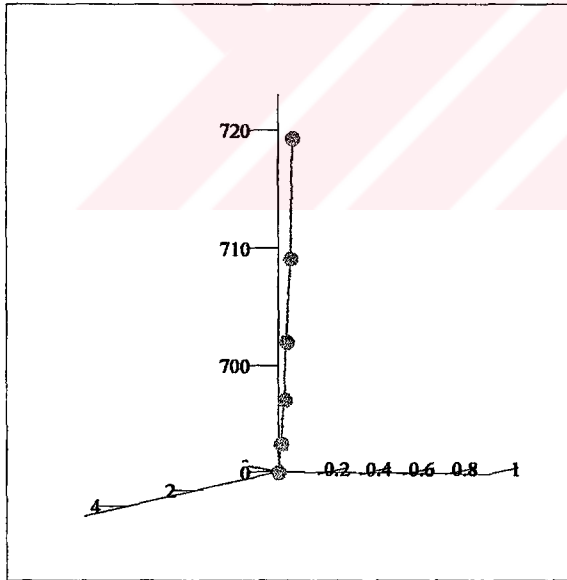
XB1, XB2, XB3, XB4, XB5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki %dönüşüm dağılımı



Şekil 8.76. Üçüncü (radyal) yatak radyal eksen boyunca sıcaklık değişimi.

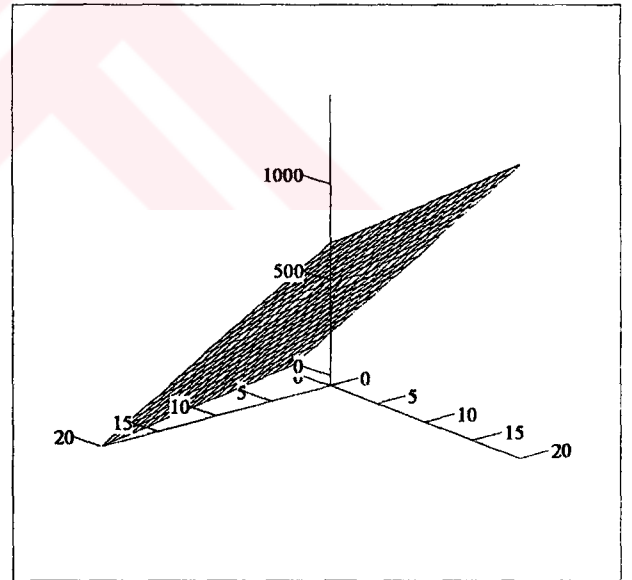


Şekil 8.77. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama sıcaklık değişimi.



L3, n, ΔTR

Şekil 8.77. Üçüncü (radyal) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal değişimi



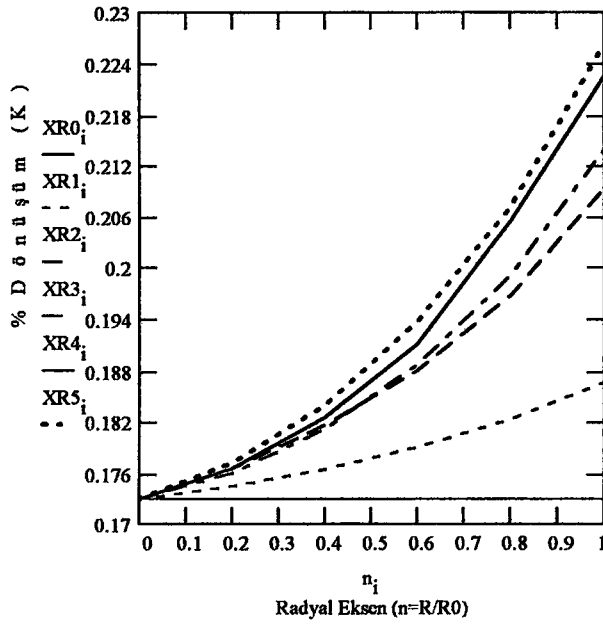
L3, n, ΔTR

Şekil 8.78. Üçüncü (radyal) yatak, sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

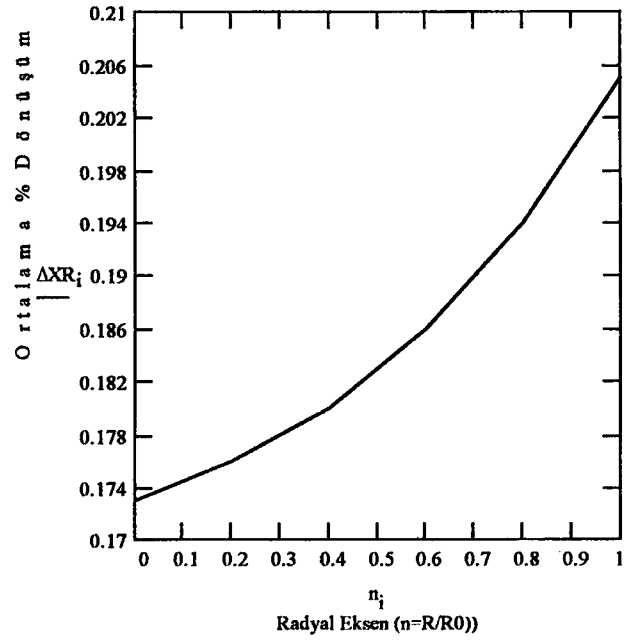
Şekil 8.75-78. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.027$ ve $f=0.9$ durumunda.

TR0: Gazın radyal eksenindeki giriş sıcaklık dağılımı

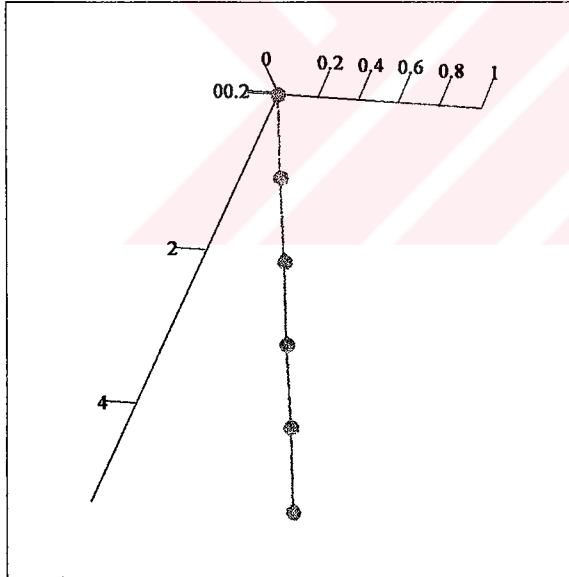
TR1, TR2, TR3, TR4, TR5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki sıcaklık dağılımı



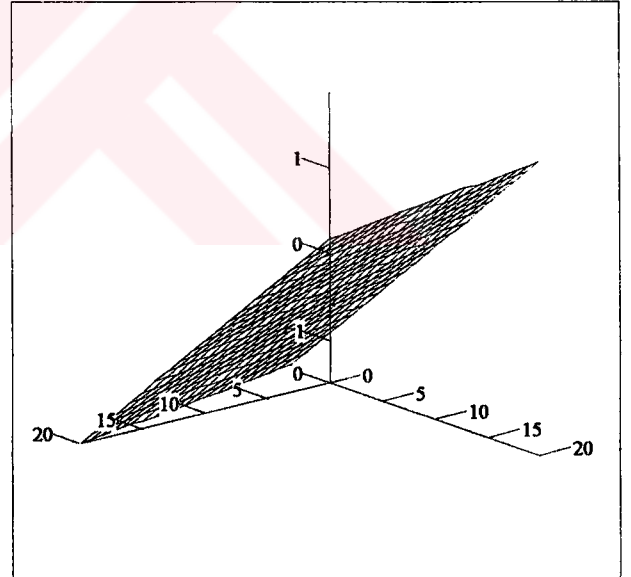
Şekil 8.79. Üçüncü(radyal) yatak radyal eksen boyunca %dönüşüm değişimi.



Şekil 8.80. Üçüncü (radyal) yatak boyunca ortalama %dönüşüm değişimi.



L3, n, ΔXR



L3, n, ΔXR

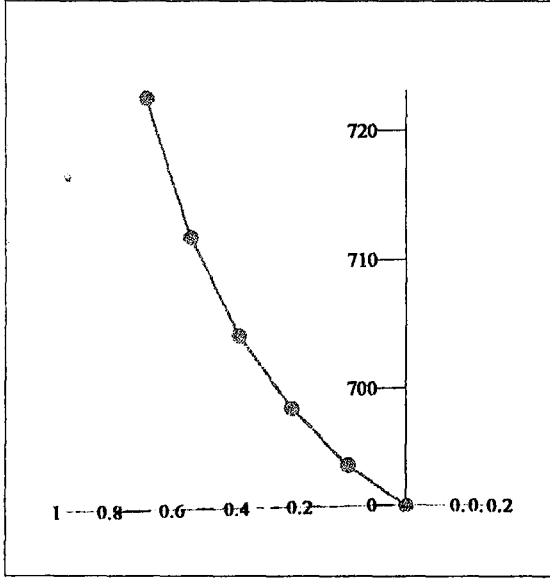
Şekil 8.81. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşümün eksenel - radyal değişimi

Şekil 8.82. Üçüncü(radyal) yatak, ortalama sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

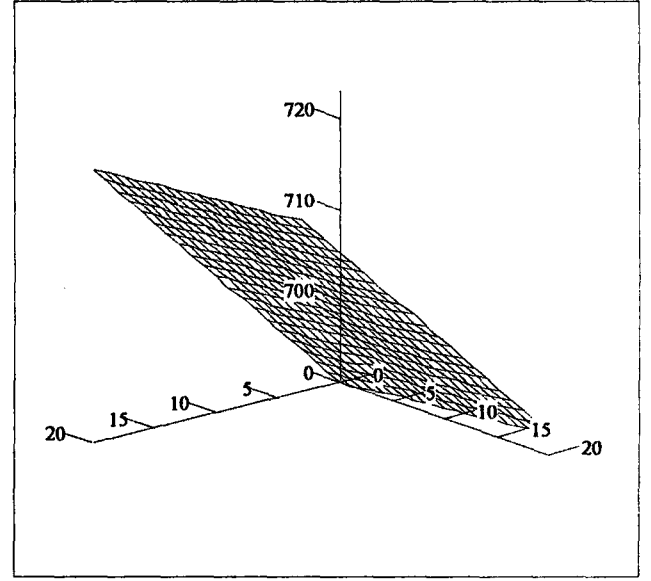
Şekil 8.79-82. Giriş $T=699\text{ K}$, $P=276\text{ atm}$, $X=0.027$ ve $f=0.9$ durumunda.

XR0: Gazın radyal eksenindeki giriş %dönüşüm dağılımı

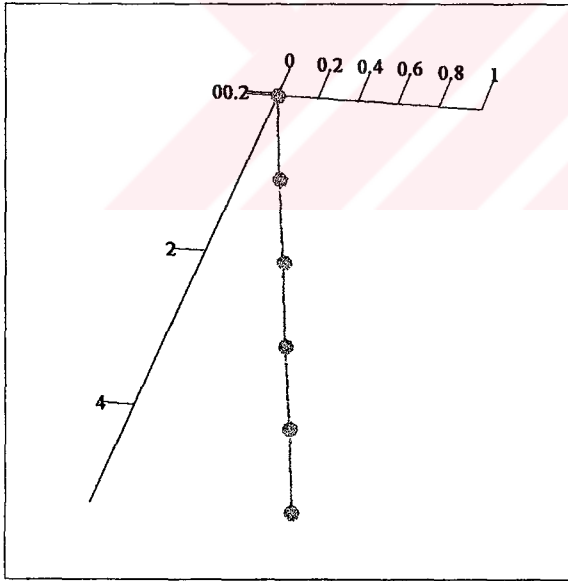
XR1, XR2, XR3, XR4, XR5: Gazın bulunduğu pencere radyal eksenindeki %dönüşüm dağılımı.

n, ΔX_R , ΔT_R

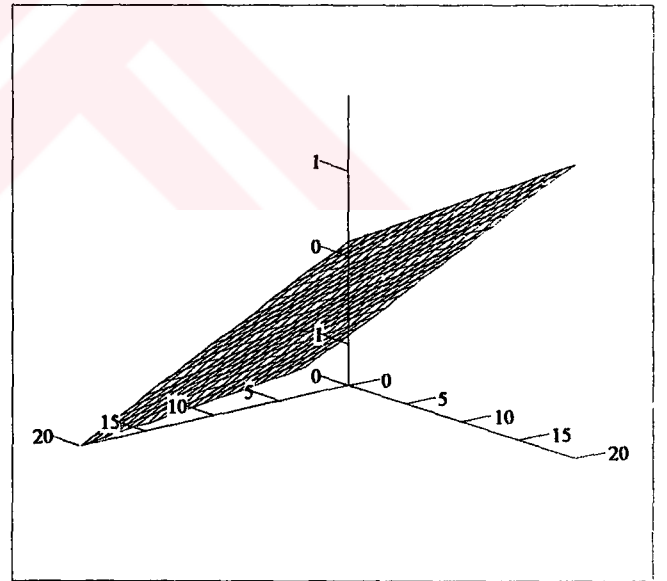
Şekil 8.83. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşümün-sıcaklığın radyal değişimi

L3, ΔX_R , ΔT_R

Şekil 8.84. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşümün-sıcaklığın eksenel değişimi

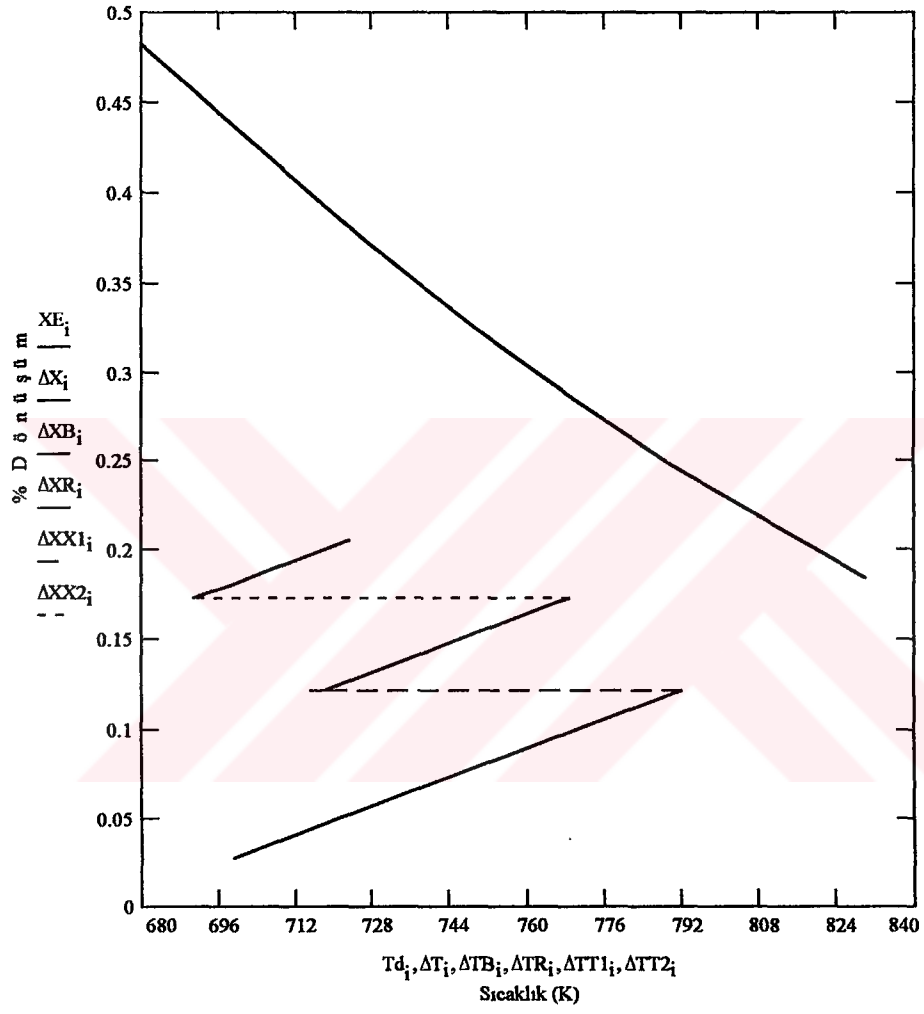
L3, n, ΔX_R

Şekil 8.85. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama %dönüşümün eksenel - radyal değişimi

L3, n, ΔX_R

Şekil 8.86. Üçüncü (radyal) yatak, ortalama sıcaklığın eksenel - radyal değişimi

Şekil 8.83-86. Giriş $T=699$ K, $P=276$ atm, $X=0.027$ ve $f=0.9$ durumunda.



Şekil 8.87. Sentez reaktörü denge eğrisine göre sıcaklık ve %dönüşüm değişimi.
Giriş $T=699$ K, $P=276$ atm, $X=0.027$ ve $f=0.9$ durumunda.

9. SENTEZ REAKTÖRÜ PROSES GAZI AKIŞ YÖNÜNDEKİ BASINÇ DÜŞÜŞÜ DEĞERİNİN HESAPLANMASI

Basınç düşüşü hesabında, başlangıç şartlarına göre hesaplanan sıcaklık ve %dönüşüm değerleri kullanılarak önce gazın yoğunluğu (bulunduğu noktada) hesaplanır ve integre edilen **ERGUN** denkleminde basınç düşüşü hesaplanır. Bulunan değerler model olarak alınan **İGSAŞ** (İstanbul Gübre San.A.Ş.)'a ait sentez reaktörü toplam basınç düşüşü değerleriyle karşılaştırılacaktır. Sentez reaktörü yataklar arasında bulunan ısı değiştiricilerden kaynaklanan basınç kaybı dikkate alınmamıştır.

9.1. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.323, P=280 atm ve f=0.95 Olması Durumunda Basınç Düşüşü (ΔP) Değerinin Hesaplanması

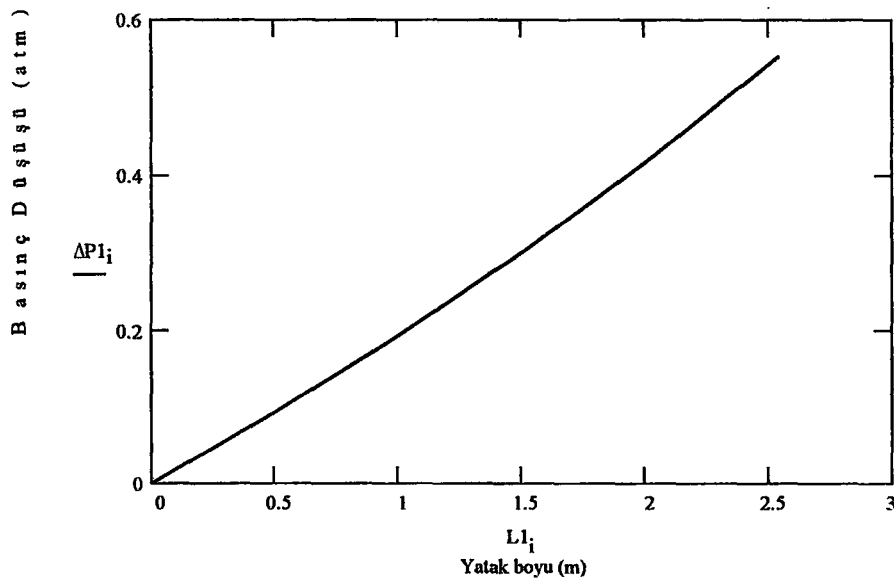
9.1.1. Birinci (Eksenel) Yatak için Basınç Düşüşü (ΔP) Değerini Hesaplanması

$$\begin{aligned} T_0 &:= 699 & \mu &:= 2.0764 \cdot 10^{-5} & \phi &:= 0.41 & G &:= 18.2 & R &:= 8314.34 & P &:= 280 \\ P_0 &:= 280.0 & \varepsilon &:= -0.438 & i &:= 0.5 & dp &:= 0.005 & M &:= 11.087 \end{aligned}$$

$$\Delta P_{1_i} := \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \varepsilon \cdot X_{1_i}) \cdot G}{\rho_i \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{699}{T_{1_i}} \cdot dp \cdot \phi^3 \cdot 101325} \cdot \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot G \right] \cdot L_{1_i}$$

$$\rho_i := \frac{P \cdot M \cdot 101325}{R \cdot T_{1_i}}$$

L_{1_i}	T_{1_i}	X_{1_i}
0.0	699	0.032
0.508	711.3	0.044
1.016	725.467	0.058
1.524	741.533	0.074
2.032	760.317	0.093
2.54	781.733	0.114



ΔP_{1_i}
0
0.094
0.195
0.304
0.422
0.553

Şekil 9.1. Birinci (eksenel) yatak boyunca basınç düşüşü değişimi

9.1.2. İkinci (Eksenel) Yatak için Basınç Düşüşü (ΔP) Değerini Hesaplanması

$$P := 277$$

$$L2_i :=$$

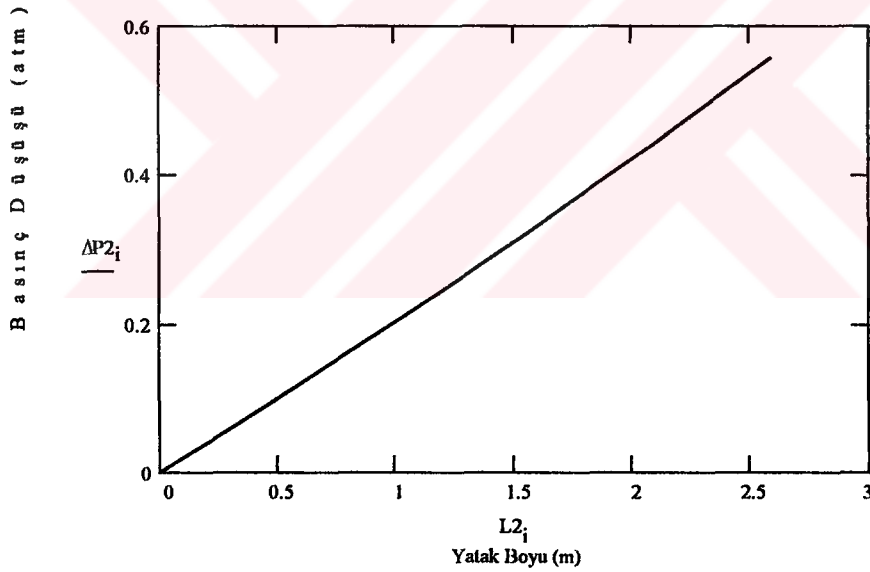
$$T2_i$$

$$X2_i$$

$$\rho_i := \frac{P \cdot M \cdot 101325}{R \cdot T2_i}$$

0	718	0.114
0.518	726.5	0.122
1.036	735.9	0.132
1.554	746.2	0.142
2.072	757.383	0.153
2.59	769.267	0.165

$$\Delta P2_i := \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \varepsilon \cdot X1_i) \cdot G}{\rho_i \cdot \frac{P}{P0} \cdot \frac{699}{T2_i} \cdot dp \cdot \phi^3 \cdot 101325} \cdot \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot G \right] \cdot L2_i$$



TC YATIRIMCI VE İÇİŞİLER BAKANLIĞI
DOKÜMAN İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

$\Delta P2_i$
0
0.103
0.209
0.32
0.437
0.557

Şekil 9.2. İkinci (eksenel) yatak boyunca basınç düşüşü değişimi

9.1.3. Üçüncü (Radyal) Yatak için Basınç Düşüşü (ΔP) Değerini Hesaplanması

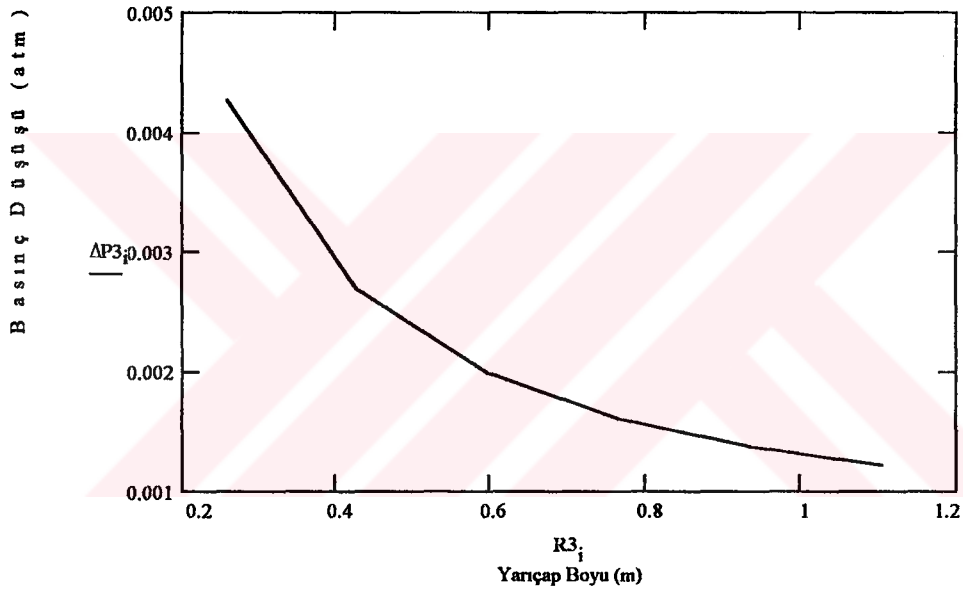
$$P := 275$$

$$GR3_i := T3_i := X3_i := R3_i :=$$

5.6	691	0.185	0.2585
3.4	694.233	0.188	0.4275
2.44	698.717	0.193	0.5965
1.9	704.433	0.199	0.7655
1.56	712.217	0.207	0.9345
1.32	723.217	0.218	1.1035

$$\rho_i := \frac{P \cdot M \cdot 101325}{R \cdot T3_i}$$

$$\Delta P3_i := \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \varepsilon \cdot X3_i) \cdot GR3_i}{\rho_i \cdot \frac{P}{P0} \cdot \frac{699}{T3_i} \cdot dp \cdot \phi^3 \cdot 101325} \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot GR3_i \right] \cdot R3_i$$



$\Delta P3_i$
0.004
0.003
0.002
0.002
0.001
0.001

Şekil 9.3. Üçüncü (radyal) yatak boyunca basınç düşüşü değişimi

9.1.4. Hesaplanan Toplam Basınç Düşüşü Değişimi Değerinin (ΔP) Referans Değerle (*İGSAS* Sentez Reaktörü, ΔP) Karşılaştırılması

Toplam Basınç Düşüşü (ΔP):

$$\Delta P := \Delta P1 + \Delta P2 + \Delta P3$$

$$\Delta P_{5,0} = 1.11 \text{ atm}$$

$$\Delta P_{M(ort\%3)} = 1.12 \text{ (İGSAS, 1996)}$$

9.2. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=1.0 Olması Durumunda Basınç Düşüşü (ΔP) Değerinin Hesaplanması

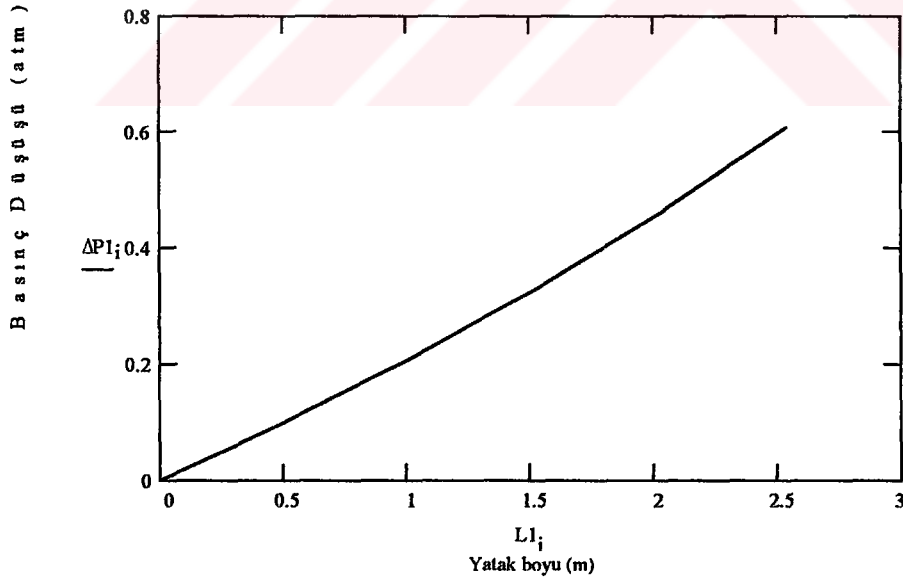
9.2.1. Birinci (Eksenel) Yatak için Basınç Düşüşü (ΔP) Değerini Hesaplanması

$$\begin{aligned} T_0 &:= 699 & \mu &:= 2.0764 \cdot 10^{-5} & \phi &:= 0.41 & G &:= 18.2 & R &:= 8314.34 & P &:= 276.0 \\ P_0 &:= 276.0 & \varepsilon &:= -0.438 & i &:= 0..5 & dp &:= 0.005 & M &:= 10.7 \end{aligned}$$

$$\rho_i := \frac{P \cdot M \cdot 101325}{R \cdot T_{1_i}}$$

L_{1_i}	T_{1_i}	X_{1_i}
0.0	699	0.027
0.508	713.9	0.042
1.016	731.617	0.06
1.524	752.167	0.081
2.032	776.283	0.105
2.54	803.583	0.133

$$\Delta P_{1_i} := \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \varepsilon \cdot X_{1_i}) \cdot G}{\rho_i \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{699}{T_{1_i}} \cdot dp \cdot \phi^3 \cdot 101325} \cdot \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot G \right] \cdot L_{1_i}$$



ΔP_{1_i}
0
0.1
0.209
0.328
0.46
0.608

Şekil 9.4. Birinci (eksenel) yatak boyunca basınç düşüşü değişimi

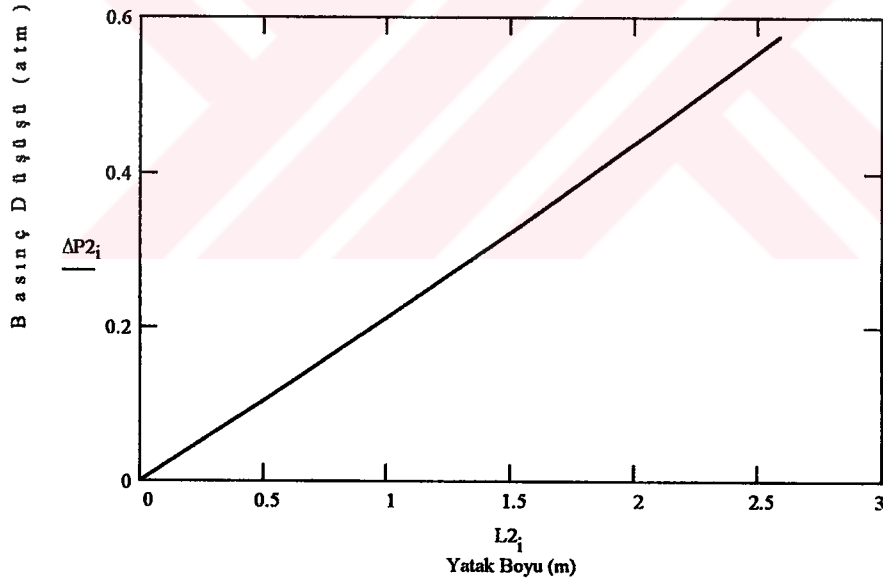
9.2.2. İkinci (Eksenel) Yatak için Basınç Düşüşü (ΔP) Değerini Hesaplanması

$$P := 274$$

$$\rho_i := \frac{P \cdot M \cdot 101325}{R \cdot T_{2_i}}$$

$L_{2_i} :=$	T_{2_i}	X_{2_i}
0	718	0.133
0.518	726.5	0.142
1.036	735.883	0.151
1.554	746.15	0.162
2.072	757.317	0.173
2.59	768.95	0.185

$$\Delta P_{2_i} := \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \varepsilon \cdot X_{1_i}) \cdot G}{\rho_i \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{699}{T_{2_i}} \cdot dp \cdot \phi^3 \cdot 101325} \cdot \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot G \right] \cdot L_{2_i}$$



ΔP_{2_i}
0
0.107
0.218
0.333
0.453
0.576

Şekil 9.5. İkinci (eksenel) yatak boyunca basınç düşüşü değişimi

9.2.3. Üçüncü (Radyal) Yatak için Basınç Düşüşü (ΔP) Değerini Hesaplanması

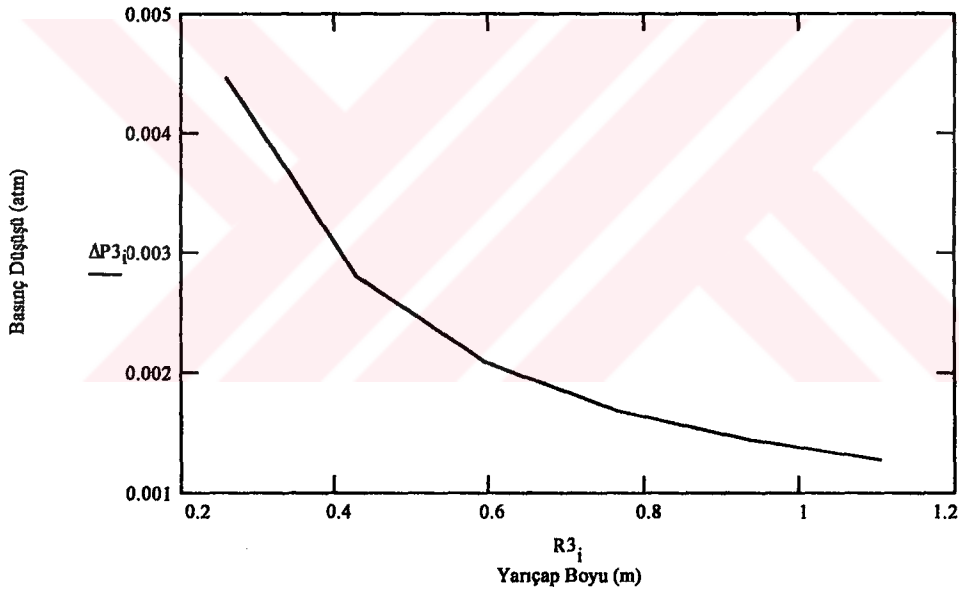
$$P := 272$$

$$GR3_i := T3_i := X3_i := R3_i :=$$

5.6	691	0.185	0.2585
3.4	694.233	0.188	0.4275
2.44	698.717	0.193	0.5965
1.9	704.433	0.199	0.7655
1.56	712.217	0.207	0.9345
1.32	723.217	0.218	1.1035

$$\rho_i := \frac{P \cdot M \cdot 101325}{R \cdot T3_i}$$

$$\Delta P3_i := \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \varepsilon X3_i) \cdot GR3_i}{\rho_i \cdot \frac{P}{P0} \cdot \frac{699}{T3_i} \cdot dp \cdot \phi^3 \cdot 101325} \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot GR3_i \right] \cdot R3_i$$



$\Delta P3_i$
0.004
0.003
0.002
0.002
0.001
0.001

Şekil 9.6. Üçüncü (radyal) yatak boyunca basınç düşüşü değişimi

9.2.4. Hesaplanan Toplam Basınç Düşüşü Değişimi Değerinin (ΔP) Referans Değerle (İGSAŞ Sentez Reaktörü, ΔP) Karşılaştırılması

Toplam Basınç Düşüşü (ΔP):

$$\Delta P := \Delta P1 + \Delta P2 + \Delta P3$$

$$\Delta P_{s,0} = 1.19 \text{ atm}$$

$$\Delta P_{M(ort\%3)} = 1.12 \text{ (İGSAŞ, 1996)}$$

9.3. Sentez Reaktörü Giriş T=699 K, X=0.0269, P=276 atm ve f=0.9 Olması Durumunda Basınç Düşüşü (ΔP) Değerinin Hesaplanması

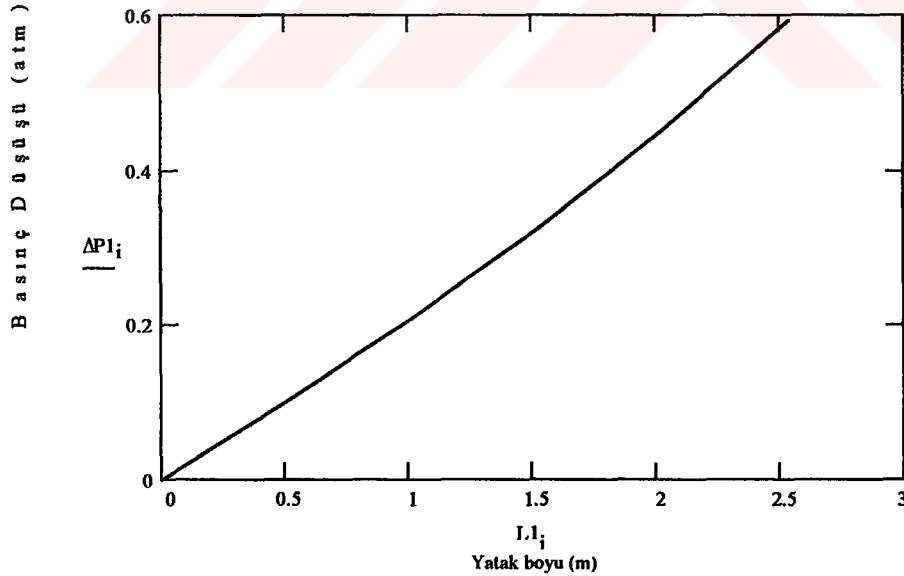
9.3.1. Birinci (Eksenel) Yatak için Basınç Düşüşü (ΔP) Değerini Hesaplanması

$$\begin{aligned} T_0 &:= 699 & \mu &:= 2.0764 \cdot 10^{-5} & \phi &:= 0.41 & G &:= 18.2 & R &:= 8314.34 & P &:= 276.0 \\ P_0 &:= 276.0 & \varepsilon &:= -0.438 & i &:= 0.5 & dp &:= 0.005 & M &:= 10.7 \end{aligned}$$

$$\rho_i := \frac{P \cdot M \cdot 101325}{R \cdot T_{1i}}$$

L_{1i}	T_{1i}	X_{1i}
0.0	699	0.027
0.508	713	0.041
1.016	728.783	0.057
1.524	746.75	0.075
2.032	767.783	0.097
2.54	791.85	0.121

$$\Delta P_{1i} := \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \varepsilon \cdot X_{1i}) \cdot G}{\rho_i \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{699}{T_{1i}} \cdot dp \cdot \phi^3 \cdot 101325} \cdot \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot G \right] \cdot L_{1i}$$



ΔP_{1i}
0
0.1
0.207
0.324
0.452
0.594

Şekil 9.7. Birinci (eksenel) yatak boyunca basınç düşüşü değişimi

9.3.2. İkinci (Eksenel) Yatak için Basınç Düşüşü (ΔP) Değerini Hesaplanması

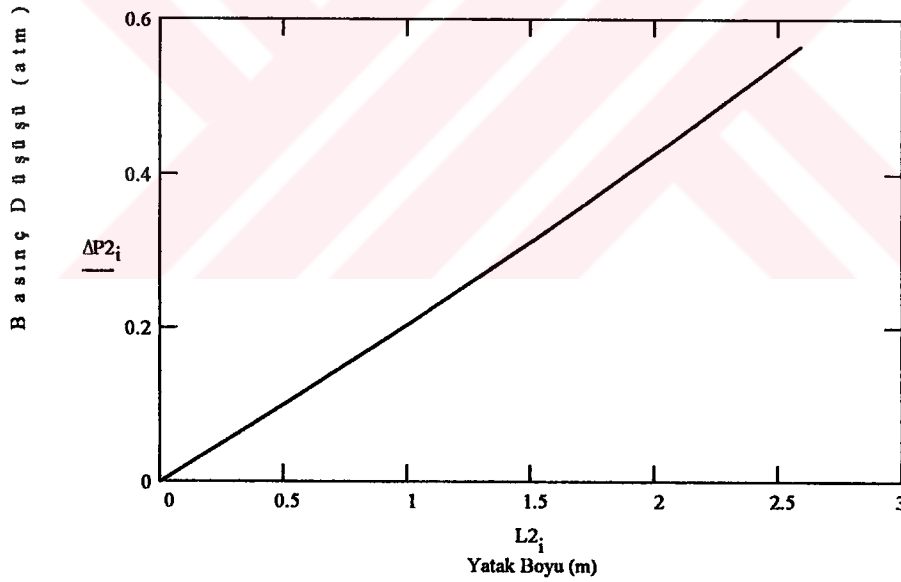
$$P := 274$$

$$\rho_i := \frac{P \cdot M \cdot 101325}{R \cdot T_{2_i}}$$

$$L_{2_i} :=$$

	T_{2_i}	X_{2_i}
0	718	0.121
0.518	726.5	0.13
1.036	735.883	0.139
1.554	746.15	0.15
2.072	757.333	0.161
2.59	768.95	0.173

$$\Delta P_{2_i} := \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \epsilon \cdot X_{2_i}) \cdot G}{\rho_i \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{699}{T_{2_i}} \cdot dp \cdot \phi^3 \cdot 101325} \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot G \right] \cdot L_{2_i}$$



ΔP_{2_i}
0
0.103
0.211
0.323
0.441
0.566

Şekil 9.8. İkinci (eksenel) yatak boyunca basınç düşüşü değişimi

9.3.3. Üçüncü (Radyal) Yatak için Basınç Düşüşü (ΔP) Değerini Hesaplanması

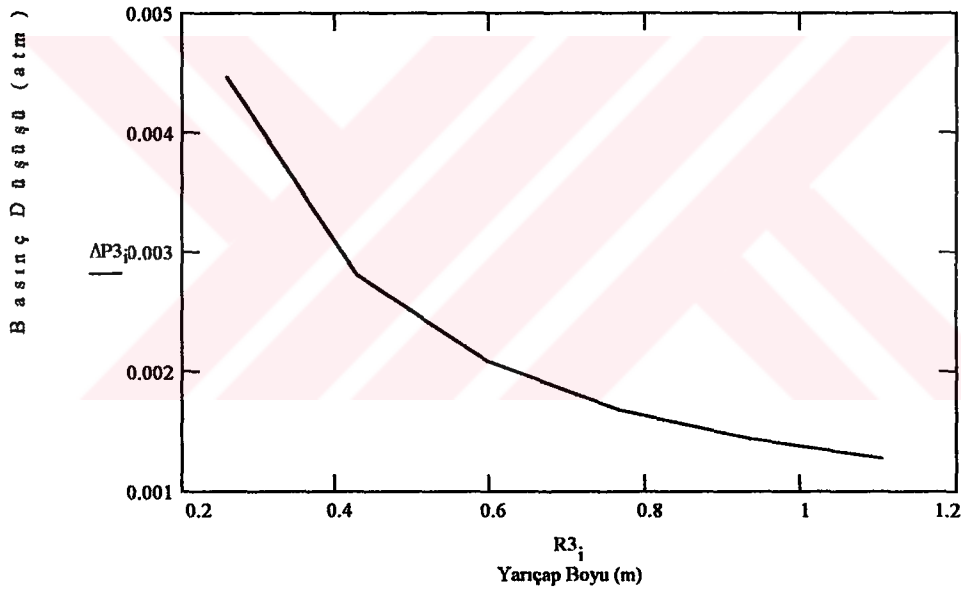
$$P := 272$$

$$GR3_i := T3_i := X3_i := R3_i :=$$

5.6	691	0.185	0.2585
3.4	694.233	0.188	0.4275
2.44	698.717	0.193	0.5965
1.9	704.433	0.199	0.7655
1.56	712.217	0.207	0.9345
1.32	723.217	0.218	1.1035

$$\rho_i := \frac{P \cdot M \cdot 101325}{R \cdot T3_i}$$

$$\Delta P3_i := \frac{(1 - \phi) \cdot (1 + \varepsilon X3_i) \cdot GR3_i}{\rho_i \cdot \frac{P}{P0} \cdot \frac{699}{T3_i} \cdot dp \cdot \phi^3 \cdot 101325} \left[\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \phi)}{dp} + 1.75 \cdot GR3_i \right] \cdot R3_i$$



$\Delta P3_i$
0.004
0.003
0.002
0.002
0.001
0.001

Şekil 9.9. Üçüncü (radyal) yatak boyunca basınç düşüşü değişimi

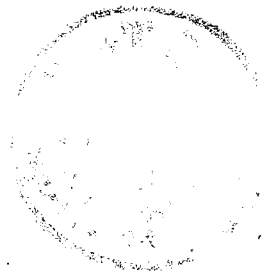
9.3.4. Hesaplanan Toplam Basınç Düşüşü Değişimi Değerinin (ΔP) Referans Değerle (İGSAS Sentez Reaktörü, ΔP_M) Karşılaştırılması

Toplam Basınç Düşüşü (ΔP):

$$\Delta P := \Delta P1 + \Delta P2 + \Delta P3$$

$$\Delta P_{5,0} = 1.16 \text{ atm}$$

$$\Delta P_M(\text{ort\%3}) = 1.12 \quad (\text{İGSAS, 1996})$$



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Öncelikle, iki eksenel ve bir radyal katalitik yataktan oluşan amonyak sentez reaktörü özelliklerine göre karakterize edilen iki boyutlu (eksenel-radyal) kütle ve enerji model denklemleri elde edildi. Basınç düşüşü değişiminin sadece gaz akış yönünde gerçekleştiği kabul edilerek bu hesaplamalarda da **Ergun Denklemi** (Ergun, 1952) kullanıldı (Howard, 1988).

Amonyak sentez reaksiyonu tersinir olduğundan denge olayı sözkonusudur. Bu reaksiyona ait termodinamiksel parametre değerleri dahilindeki değişik sıcaklık, %dönüşüm değerlerine karşılık gelen reaksiyon hızı grafik olarak bulundu (Bölüm 6).

Model olarak seçilen sentez reaktörü (**İGSAŞ**) parametre değerleri için sentez denge reaksiyonu denklemi çözülerek termodinamiksel denge eğrisi elde edildi (Bölüm 3). Denge eğrisinin çizilmesi, model denklemlerinden elde edilen proses parametre değerlerinin (sıcaklık, %dönüşüm, basınç) termodinamiksel değerlere yaklaşımını inceleme bakımından önem taşımaktadır.

Sisteme ait model denklemleri çıkarımında, sentez reaktörünün verimliliğinde en çok etkili olan parametreler kullanılarak, denklemlerin çok karmaşık olmaması ve kolaylıkla uygulanabilir olmasına dikkat edildi.

İki boyutlu (eksenel-radyal) model denklemlerinin çözümünde Sonlu Farklar Yöntemi kullanıldı. Burada yatak boyunca akış yönünde gerçekleşecek olan reaksiyonun ortalama hız değişimi operatör (belirleyici) olarak kullanıldı. Çünkü reaksiyon hızı $RP(T,X)$, hem sıcaklığın hemde %dönüşümün bir fonksiyonudur (Denklem 4.2). Dolayısıyla referans olarak alınan sistemin (**İGSAŞ**) proses parametre değerleri sınırlarında oluşan reaksiyon hızları değişimi çok önemlidir.

Amonyak sentez reaktörlerinin modellenmesi ile ilgili değişik çalışmalar literatürlerde bulunmaktadır. Bunlardan; Yoo ve Dixon, eksenel-radyal akışlı bir reaktör için iki boyutlu (eksenel-radyal) model denklemleri üzerinden hesaplamalar yapmıştır. Kararlı hal için kurulan model denklemlerinde; sentez gaz sıcaklığı katalizör sıcaklığına eşit alınmış, akışkan özellikleri (hız, yoğunluk, viskozite) yatak boyunca sabit kabul edilmiş, hacim değişimi ihmal edilmiştir ve toplam konsantrasyon değişimi operatör (belirleyici) olarak kullanılmıştır. Burada elde edilen diferansiyel haldeki model denklemleri Nümerik İntegrasyon Yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Sonuç olarak eksenel yataktaki dönüşüm oranı radyal yatağa göre daha fazla, basınç düşüşü değeri ise daha az olarak hesaplanmıştır (Yoo and Dixon, 1988).

Başka bir çalışmada ise; eksenel-radyal akışlı reaktör için çıkarılan model denklemlerinde ise Navier-Stokes Denklemleri kullanılmıştır (Zardi and Bonvin, 1992). Burada kurulan iki boyutlu (eksenel-radyal) diferansiyel model denklemlerinde limit reaktif olarak amonyak konsantrasyonu değişimi alınmıştır. Model denklemlerinde yine hız değişimi operatör (belirleyici) olarak alınmıştır. Lineer hale getirilen model denklemleri Sonlu Elemanlar (Finite Elements) Yöntemine göre çözülmüştür.

Hidrojen konsantrasyonu limit reaktif alınarak bir eksenel akışlı reaktör üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise; kütle, ısı ve basınç düşüşü ile ilgili çıkarılan tek boyutlu 3 adet diferansiyel model denklemleri eş zamanlı olarak Nümerik İntegrasyon Yöntemi ile çözülmüştür (Shah, 1967).

Model denklemlerinin çözümünde Temkin ve Pyzhev'in hız denklemi kullanıldı (Temkin and Pyzhev, 1939). Kararlı hal için; $L/d > 300$ olduğundan eksenel dağılma (axial dispersion), $d/dp > 30$ olduğundan radyal dağılma (radial dispersion) ihmal edildi (Smith, 1987). Dolayısıyla da $Pe=2$ (Peclet Sayısı) olarak alındı (Perry, 1985).

Akış hızı çok yüksek olduğundan ($Re \gg 150\ 000$) kütle-enerji denklemlerinde kütle ve ısı difüzyonu ihmal edildi (Baddour et al, 1965). Katalizörün aktivitesi yatak boyunca sabit alındı. Gaz karışımı viskozitesi Jossi Yöntemine göre hesaplandı

(Reid et al, 1977). Zardi ve Bonvin' nin çalışmasında yoğunluk, viskozite ve ısı kapasiteleri Redlich-Kwong denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır ve ayrıca Jossi metodu kullanılarak viskozite tekrar hesaplanmıştır (Zardi and Bonvin, 1992).

Reaksiyon entalpisi hesaplamalarında proses basınç değeri de hesaba katıldı (Nielsen, 1956). Hesaplamalarda reaksiyon entalpi değerinin sıcaklıkla değişmediği görüldü.

Model deklemleri hesaplamalarında reaktör boyunca ortalama molekül ağırlığı değişiminin sonuç değerlerinde önemli bir etkisi olmadığından her bir giriş şartlarına özel sabit alınmıştır. Reaktör boyunca reaksiyon hız değişimi içerisinde %dönüşüm değişimi bulunduğundan dolayı olarak da ortalama molekül ağırlıklarında etkisi hesaplamalara katılmaktadır.

Dayson ve Simon, laboratuvar ölçülerindeki amonyak sentez reaksiyon katalizörleri üzerinde yaptığı bir çalışmada, iki boyutlu (eksenel-radyal) model denklemleri üzerinden sentez katalizör verimliliği hesaplamaları yapmıştır (Dayson and Simon, 1968). Model denklemlerinde Temkin-Pyzhev hız denklemini kullanmışlardır. Burada kullanılan hız denklemini sentez gazı bileşenlerinin aktiviteleri cinsinden, aktiviteler de her bir gazın fûgasiteleri cinsinden ifade edilmiştir (Denbigh, 1964, Kasarnovskil, 1945). Boyutsuzlaştırılan diferansiyel haldeki model denklemlerinin çözümünde Romberg İntegrasyon Yöntemi kullanılmıştır (Conte, 1965; Henrici, 1964).

Kurulan iki boyutlu (eksenel-radyal) model denklemleri hesaplamalarında sentez reaktörü verimliliğinde en çok etkili olan parametrelerin başında yatak içerisindeki katalizör yoğunluğu (ρ_B) gelmektedir. İGSAŞ (İstanbul Gübre San.A.Ş.) sentez reaktöründe kullanılan katalizör çapı 0.005 m ($d_p=0.005$) olup bu ebattaki katalizörün yoğunluğu 2600 kg/m³ 'dir (Tablo 1.6). Bu değer, katalizörün kendi birim hacminin ağırlığıdır. Fakat yatak içerisinde katalizör partikülleri aralarındaki boşluklar ve yüklemekten kaynaklanabilecek düzensizlik nedeniyle yatak içerisindeki katalizör yoğunluğu azalır. Bunun için hesaplamalarda birinci ve ikinci eksenel yataklarda katalizör

yoğunluğu 2100-2300 kg/m³ aralığında alınabilir (BASF, 1977). Hesaplamalarda akış yönündeki kesit alanı değişmeyen birinci ve ikinci eksenel yataklar için yatak içerisindeki katalizör yoğunluğu 2200 kg/m³ değeri kullanıldı.

Üçüncü radyal yatak hesaplamalarında ise durum daha farklıdır. Burada gaz akış yönünde kesit alanı genişlemektedir. Bu yatakta da katalizör yüklemesinden kaynaklanan düzensizlik ve katalizör partikülleri arasındaki boşluktan daha ziyade zamanla katalizör kütlesi alt tarafa doğru yoğunlaşmaktadır. Dolayısıyla radyal yatağın üst kısmında bir miktar boşluk meydana gelmektedir. Çok yüksek basınç, sıcaklık ve akış hızındaki gazların bir kısmı bu boşluktan reaksiyona girmeden (by-pass) radyal yataktan çıkmaktadır. By-pass olan proses gazının miktarı bilinemediği için bu durumu model denklemlerinde matematiksel olarak ifade etmek çok zordur. Ancak dikkat edilirse kütle ve enerji denklemlerinin her ikisinde de etkili olan parametre yatak içerisindeki katalizör yoğunluğudur (ρ_B). Radyal yatak için yapılan hesaplamalarda yatak katmanlarında ρ_B değerlerini farklı alarak (sentez gaz karışımının katalizörle etkileşmesini düşünerek) by-pass olan sentez gazı da dikkate alınmış olmaktadır. Buna göre radyal yatak altı (6) adet katmana ayrılmış, bu katmanlarda sırasıyla ρ_B değeri: 0, 700, 1000, 1700, 2000, 2300 kg/m³ alınmıştır. Bu değerlere karar verilmesinde model denklemlerinden hesaplanan üçüncü yatak çıkış değerlerinin İGSAŞ (İstanbul Gübre San.A.Ş.) sentez reaktörü çıkış değerleriyle karşılaştırılması etkin rol aldı.

Yoo ve Dixon, radyal yataklı sentez reaktörü ilgili çalışma yapmışlardır. Radyal yatakla ilgili model denklemlerinin çözümünde; Etkinlik Faktörü (Effectiveness Factor) operatör (belirleyici) olarak alınmış ve model denklemleri bu operatör değişimi üzerinden Nümerik İntegrasyon Yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Burada tanımlanan Etkinlik Faktörü (η); yatağın herhangi bir noktasında gerçekleşen tahmini reaksiyon hız değerinin teorik hız değerine oranıdır (Yoo and Dixon, 1988).

Yukarıda belirtilen hususlar dikkate alınarak çıkarılan sistem model denklemlerinde İGSAŞ (İstanbul Gübre San.A.Ş.)' den alınan proses parametre



değerlerinin üç farklı durumu için çözüm gerçekleştirildi. Sonlu Farklar Yöntemi kullanılarak yapılan analitik çözümlerde, tablo ve şekillerin oluşturulmasında **MATCAD** paket programı kullandı. Ayrıca C++ Program Dili kullanılarak yapılan Sürekli Sistem Model Programı (CSMP) ile de model denklemlerinin çözümü kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Yazılan bu Paket Programın kendisi disket halinde tez yazarında mevcut olup Ek 4.' de programın sanal algoritması (pseudo-code) verilmiştir.

Model denklemlerinin çözümünden elde edilen değerler (X, T, P) referans olarak alınan **İGSAŞ** (İstanbul Gübre San.A.Ş.)' a ait gerçek endüstriyel sentez reaktörü verileri ile karşılaştırıldı. **İGSAŞ** (İstanbul Gübre San.A.Ş.) sentez reaktöründen sadece yatak giriş-çıkış sıcaklıkları, reaktör giriş ve çıkış %dönüşüm, basınç değerleri verileri mevcuttur.

Sentez reaktörü birinci ve ikinci eksenel yataklarda radyal eksen boyunca sıcaklık ve %dönüşüm değerleri fazla değişmemektedir (Şekil 8.1, 8.9, 8.30, 8.34, 8.39, 8.63.. vb.). TVA (Tennessee Valley Authority) Eksenel Akışlı reaktör için yapılan bir çalışmada; tek boyutlu model denklemleri üzerinden yapılan hesaplamalarda radyal eksen boyunca sıcaklığın değişmediği ve sıcaklık değişiminin en fazla 0.6 °C olduğu bulunmuştur (Baddour, 1965). Bütün yataklarda ortalama sıcaklık ve %dönüşüm oranı yatak boyunca artmaktadır (Şekil 8.2, 8.6, 8.22, 8.31, 8.40.. vb.). Üçüncü yatakta herhangi bir yarıçap değerinde yatak boyunca önemli derecede sıcaklık ve %dönüşüm artışı olmaktadır (Şekil 8.18, 8.22, 8.47.,8.51.. vb.). **İGSAŞ** sentez reaktörü üçüncü (radyal) yatakta; sabit bir R yarı çapında eksenel yönde yapılan sıcaklık ölçümünde de önemli derecede artışın olduğu gözlemlendi. Bu durum; üçüncü (radyal) yatak için anlatılan nedenlerden dolayı yatak içerisindeki katalizör yoğunluğu değişmesi ile açıklanabilir. Üçüncü yatak hesaplamalarında; giriş sıcaklık değerleri altı ayrı noktada farklı olup radyal yatak üst katmanı ile alt katmanı arasında yaklaşık 9 °C sıcaklık farkı radyal yatak boyunca lineer olarak dağıtılmıştır ki bunlar: 696, 694, 692, 689, 688, 687 °C.

Model denklemleri hesaplamalarında **MATHCAD** Paket Programı ile yapılan analitik çözümden ve **C++** ile yapılan Paket Programından elde edilen sonuçlar tablo halinde verilmiştir.**

Reaktör Giriş: $T=699\text{ K}$, $\%NH_3 = 0.0269$, $P=276\text{ atm}$, $f=1$ için;

1	REFERANS (İGSAŞ)	MATHCAD	C++
YATAK ÇIKIŞ SICAKLIĞI (K)			
YATAK 1 (EKS.)	803	803.576	800.470
YATAK 2 (EKS.)	766	768.938	768.495
YATAK 3 (RAD.)	727	723.4	728
ÇIKIŞ AMONYAK KONSANTRASYONU (%X)			
	18.63	19.1	19.2

** Sıcaklık ve %dönüşüm değerleri yatak çıkış ortalama değer olup giriş amonyak yüzdesi hesaplanan sonuç değerlerinden çıkarılmıştır.

Reaktör Giriş: $T=699\text{ K}$, $\%NH_3 = 0.0323$, $P=280\text{ atm}$, $f=0.95$ için;

2	REFERANS (İGSAS)	MATCAD	C++
YATAK ÇIKIŞ SICAKLIĞI (K)			
YATAK 1 (EKS.)	788	781.8	794.925
YATAK 2 (EKS.)	772	769.2	767.603
YATAK 3 (RAD.)	727	723.697	725.784
ÇIKIŞ AMONYAK KONSANTRASYONU (%X)			
	17.3	16.5	18.2

Reaktör Giriş: $T=699\text{ K}$, $\%NH_3 = 0.0269$, $P=276\text{ atm}$, $f=0.9$ için;

3	REFERANS (İGSAS)	MATCAD	C++
YATAK ÇIKIŞ SICAKLIĞI (K)			
YATAK 1 (EKS.)	795	791.65	796.623
YATAK 2 (EKS.)	762	768.920	767.21
YATAK 3 (RAD.)	725	722.409	728.412
ÇIKIŞ AMONYAK KONSANTRASYONU (%X)			
	17.06	17.8	18.01

Gerçekleşen reaksiyon gereği negatif bir hacim genleşmesi sözkonusu olduğundan reaktör boyunca bir miktar basınç düşüşü (ΔP) meydana gelecektir. Bu basınç düşüşü yükselmesi eksenel yataklarda normal olarak oluşmaktadır (Şekil 9.1-8).

Fakat üçüncü radyal yatakta ise reaksiyon olmasına rağmen bir basınç düşüşü azalması meydana gelmektedir (Şekil 9.3.,9.6.,9.9.). Bu yatakta (radyal), gaz akış yönünde yarıçap arttığından gaz akışına daha büyük kesit oluşur. Kesit alanı büyüdüğünden basınç düşüşü azalması meydana gelmektedir. Bu basınç düşüşü (ΔP) azalması birim hacim başına katalizör aktivitesindeki artışla daha küçük çaplı katalizör partiküllerinin kullanımına imkan verir. Bu durumun reaktör verimliliğinde artış meydana getireceği kanısındayım.

Amonyak sentez katalizörlerinin aktiviteleri zamanla azalır (BASF, 1977). Azalan katalizör aktivitesi doğrultusunda, reaktör çıkış amonyak yüzdesini yüksek tutabilmek için proses işletme basıncı artar. Bu durum da işletme maliyetlerini ciddi olarak artırır.

Yukarıda belirtilen bütün hususlar dikkate alınarak sentez reaktörünün giriş parametre değerlerinin değiştirilerek de sentez reaktörünün herhangi bir noktasındaki sıcaklık, %dönüşüm ve basınç değerleri rahatlıkla bulunabilmektedir. Kurulan model denklemleri grubu hem **MATCAD** ile yapılan analitik çözüm hem de C++ ile yapılan Paket Program çözümleriyle başka bir sisteme de uyarlanabilecek duruma getirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda sentez reaktörü gaz giriş sıcaklığı, giriş amonyak konsantrasyonu, işletme basıncı, katalizör aktivitesi ve katalitik yatak tipinin reaktör verimliliğini doğrudan etkilediği gözlemlendi. Fakat katalitik yatak içerisindeki katalizör yoğunluğunun (ρ_B) sentez reaktörü verimliliğinde çok önemli bir faktör olduğu kanısındayım. Bu durum özellikle radyal veya radyal-eksenel yataklı reaktörlerde çok önemlidir.

Bu sistem için çıkarılan model denklemlerine birde zaman boyutu katılabilir ki bununla proses parametre giriş değerleri değişimine, sistemin karşılık verme zamanı ve buna bağlı olarak da ekonomik boyutu da hesaba katılabilir.

Model olarak alınan **İGSAŞ** (İstanbul Gübre San.A.Ş.) sentez reaktör sistem işletimi ile ilgili olarak; toplam sentez gaz miktarı katalizör yataklarının tümünden geçer

ve böylece toplam katalizör miktarından en iyi şekilde yararlanılır. Sentez gazının birinci ve ikinci katalitik yataklardan eksenel olarak geçmesiyle homojen bir gaz dağılımı ve en önemlisi gerçek amonyak dönüşüm oranı elde edilir.

Üçüncü yataktan çevresel geçen gaz akımı çok az bir basınç düşüşü azalması meydana getirir. Bu durum küçük boyutlu ve daha yüksek aktivitede katalizör kullanımını mümkün kılar. Bu yolla, üst katalizör yatakları homojen eksenel gaz akımından yoksun bırakılmaksızın, sirküle eden gaz miktarı ve amonyak dönüşüm oranı aynı zamanda arttırılabilir. Bütün bunlar doğrultusunda yüksek dönüşüm oranının sağlanması sonucunda sirküle eden gaz miktarı azalır ve amonyak sentez basıncı düşer. Sonuç olarak, sentez kompresörü, soğutma kompresörü ve soğutma su sistemleri enerji tüketimleri azalır.

Mevcut olan sentez reaktöründe radyal olan üçüncü yatağın eksenel olması durumunda çıkış %amonyak miktarı arttırılabilir mi ? Böyle bir sistemde üçüncü yatağın eksenel olması sonuçta çıkış amonyak miktarını ciddi olarak değiştirmez yani radyal yataktan farklı olmaz. Çünkü sentez gaz karışımı üçüncü yatağa geldiğinde mevcut gaz kompozisyonu (yüksek %amonyak) nedeniyle konsantrasyon farkı azaldığından ve sıcaklık olarak denge değerine yaklaştığından reaksiyon hızı az olacaktır. Aynı zamanda üçüncü yatağın eksenel olması durumunda radyal yatağa nazaran basınç düşüşü de daha fazla olacak ve işletme maliyeti de artacağından tercih edilmez.

Bu sistemin verimliliğini (%amonyak miktarını) arttırabilmek için; birinci reaktöre ilave olarak ikinci bir reaktör seri olarak tasarlanabilir. İlave edilecek olan reaktör; mevcut birinci reaktöre nazaran daha az akış miktarına sahip olacağından, küçük boyutlu ve daha yüksek aktivitede katalizör kullanımını mümkün kılan radyal akışlı olabilir. Bu tip reaktörlerde işletme maliyetinin düşük olması da ayrı bir tercih nedenidir.

KAYNAKLAR

- 1- BASF Catalysts, 1971. "BASF Catalyst S 6-10/S 6-10 red", Technical Leaflet, GCOK / V, 11: p.p. 3-5.
- 2- BASF Catalysts, 1974. "BASF Catalyst S 6-10", k 0013e, 5: p.p. 1-5.
- 3- BASF Catalysts, 1977. "BASF Catalyst S 6-10", GCV / K,125: p.p. 1.
- 4- Baddour, B.F., Brian, P.L.T., Logeais, B.A. and Emmery, J.P., 1965. "Steady State Simulation of Ammonia-Synthesis Converter", Chem. Eng. Sci.20: p.p. 281-292.
- 5- Bird, R.B., Steawart, E.W., Lightfoot, E.N., 1960. "Transport Phenomena", John Wiley & Sons, New York.
- 6- Conte, S.D., 1965, "Elementary Numerical Analysis", Mc Graw-Hill, New York
- 7- Bischoff, B.K. and Froment, F.G., 1979. "Chemical Reactor Analysis and Design", John Wiley & Sons, New York: p.p. 465-475.
- 8- Dayson, D.C. and Simon, J.M., 1968. "A Kinetic Expression with Diffusion Correction for Ammonia Synthesis on Industrial Catalyst", I & EC Fundamentals, 7,4: p.p. 606-610.
- 9- Denbigh, K.G., 1964, "Principles of Chemical Equilibrium", Cambridge University Press, London: p.p. 150-154.
- 10- Emmet, P.H. and Brunauer, S., 1937, "Surface Concentration of Promoters", Jour. Amer. Chem. Soc., 59,310: p.p.111-112
- 11- Ergun, S., 1952. "Fluid Flow Trough Packed Columns", Chem. Eng. Prog., 48, 2: p.p. 89-94.
- 12- Freitag, W. and Sheibler, E., 1986. "Uhde Nitric Acid Process", R.A.Meyers (Editor), Handbook of Chemicals Production Processes, Mc Graw-Hill, New York: p.p. 3.6.2-7.

- 13- Fogler, H.S., 1992. "Elements of Chemical Reaction Engineering", 2th. ed. Prentice-Hall, New York.
- 14- Greave, H.W., 1981. " High Pressure Stream Equipment for a Low-Energy Ammonia Plant", Chem. Eng. Prog., 77,10: p.p: 54.
- 15- Green, R.V.,1974. "Synthetic Nitrogen Production", J.A.Kent (Editor), Handbook of Industrial Chemistry, Van Nostrand Reinhold, New York: p.p. 78-84.
- 16- Hennry, W. and Wilhelm, A., 1957. "Axial Dispersion and Channeling", Am. Inst. Chem. Eng. Jour., 3, 16: p.p. 83.
- 17- Henrici, P., 1964," Elements of Numerical Analysis", Wiley, New York: p.p.260
- 18- Holman, J.P., 1990. "Heat Transfer", 7th. ed., Mc Graw-Hill, New York: p.p. 74-121.
- 19- Howard, J.R., 1988. "Fudized Bed Technology Principles and Applications", Adam Hilger, Bristol and New York: p.p. 27-30.
- 20- Hougen, O.A.,1959, "Chemical Process Principles", Part II, John Wiley & Sons, New York: p.p:1017.
- 21- İGSAS (İstanbul Gübre San. A.Ş.) 10 Ağustos 1995 Tarihli Sentez Reaktörü Verileri.
- 22- İGSAS-Katalco, 1993. "Plant Catalyst Data Evaluation", ICI Katalco, Appendix 4, Billingham: p.p. 13.
- 23- Kasarnovskil, Y.S., 1945, Zh. Fiz. Khim., 19: p.p.392.
- 24-Larson, A.T., 1924. "Complied from Publications of the Fixed Nitrogen Laboratory", Jour. Am. Chem. Soc., 12, 4: p.p. 625-633.
- 25- Nielsen, A., 1956, "An Investigation of Promoted Iron Catalysts for the Synthesis Ammonia", 3th. ed. Gjellerup Forlag, Copenhagen.
- 26- Özdemir, H.İ., 1981. "Genel Anorganik Teknik Kimya", Matbaa Teknisyenleri Basmevi, İstanbul: s. 323-324.

- 27- Perry, J.H., 1985, "Chemical Engineers Handbook", Mc Graw-Hill, New York: p.p. 3.112-117.
- 28- Perry, J.H., 1985, "Chemical Engineers Handbook", Mc Graw-Hill, New York: p.p. 16-27.
- 29- Quartulli, O.J., 1969. "High Pressure Technology", Nitrogen, 58: p.p. 25.
- 30- Reid, R.C., Prausnitz, J.M. and Polling, B.E., 1987. "The Properties of Gases and Liquids", 4th. ed., Mc Graw-Hill, New York: p.p. 420.
- 31- Research Project, 1970. "Selected Values of Properties of Hydrocarbons", Am. Pet. Ins., National Bureau of Standards.
- 32- Rose, L.M., 1974. "The Application of Mathematical Modelling to Process Development and Design", Applied Science Publishers.
- 33- Satterfield, C.N., 1991. "Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice", 2 th. ed., Mc Graw-Hill, Inc., New York: p.p. 458-465.
- 34- Shreve, R.N., Birink, J.A., 1984. "Shreve's Chemical Process Industries", Austin, G.T. (Editor), 5 th. ed., Mc Graw-Hill, New York: p.p. 303-313.
- 35- Slack, A.V. and James, G.R., 1977. "Ammonia: Fertilizer Science and Technology Series", PartIII, Marcel-Dekker, Inc., New York: p.p. 125.
- 36- Smith, J.M., 1984. "Chemical Engineering Kinetics", 3th., Mc Graw-Hill, New York: p.p. 557-584.
- 37- Shah, J.M., 1967, "Control Simulation in Ammonia Production", Industrial and Engineering Chemistry, 59, 1: p.p.72-83.
- 38- Speckhart, F.H. and Green, W.L., 1976. "A Guide to Using The Continuous System Modelling Program", Prentice-Hall. Inc., New York: p.p. 85-88.
- 39- Strelzof, S., 1980. "Technology and Manufacture of Ammonia", Wiley-Interscience, New York: p.p. 135-148.
- 40- Swaim, C.D., 1970, "Hydrocarbon Processes", 49, 32: p.p. 127-130.
- 41- Temkin, M.I. and Pyzhev, V., 1939. Journal Phys. Chem. (U.S.S.R.), 13: p.p. 851.

- 42- UHDE, 1933. "Water Scrubbing for CO₂ Removal", Fredrich Uhde-Gmbh Systems.
- 43- UHDE / CHEMIE LINZ AG-(OSW), 1983. "İndirekt Soğutmalı Amonyak Reaktörü Rasyonalizasyon Sonrası Ünite İlave", 1002-700: p.p. 3-5.
- 44- U.S. Patent, 3, 081, 268.
- 45- U.S. Patent, 3, 352, 631.
- 46- U.S. Patent, 3, 347, 621.
- 47- U.S. Patent, 2, 880, 591.
- 48- U.S. Patent, 2, 863, 527.
- 49- Walas, S.M., 1959. "Reaction Kinetics for Chemical Engineers", Mc Graw- Hill, New York.
- 50- Yoo, C.S. and Dixon, A.G., 1988, " Modelling and Simulation of Mixed-Flow Reactor For Ammonia and Methanol Synthesis", Chem. Engineering Science, 43,10: p.p.2859-2865.
- 51- Zardi, F., and Bonvin, D., 1992. "Modelling Simulation and Model Validation for an Axial-Radial Ammonia Synthesis Reactor", Chem. Eng. Science, 47, 9-11: p.p. 2513-2528.

EK 1. MODEL DENKLEMLERİNDE KULLANILAN KÜTLE VE ENERJİ DENKLEMLERİNİN ÇIKARIMI

Reaktör içerisinde alınan bir silindirik hacim elemanı (Şekil A) üzerinde yapılan kütle ve enerji denklığı hesaplamalarında (kararlı hal için diferansiyel formda).

i hacim elemanı üzerinde:

$$(\text{Giriş hızı}) - (\text{Çıkış hızı}) - (\text{Üretim hızı}) = (\text{Birikim hızı})$$

$$\frac{d}{dr} \left(r(De)_r \cdot \frac{dC}{dr} \right) + r \cdot \frac{d}{dz} \left[-u \cdot C + (De)_r \cdot \frac{dC}{dz} \right] - RP \cdot \rho_B \cdot r = 0$$

Sistem adyabatik olup ısı ve kütle difüzyonları ihmal edilir.

EK 1.1. Kütle Denkliği:

$$\frac{dx}{dz} - \frac{dp}{Pe} \cdot \left(\frac{1}{r} \frac{dx}{dr} + \frac{d^2 \cdot x}{dr^2} \right) - \frac{RP \cdot \rho_B}{\left(\frac{G}{M} \right) \cdot X_A} = 0$$

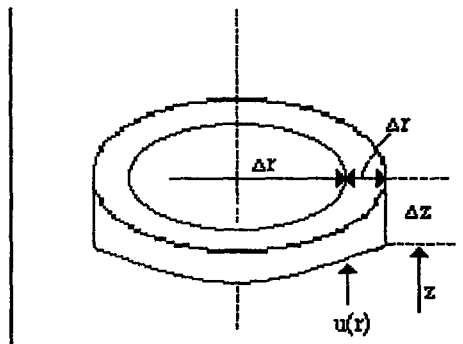
$$Pe = \frac{u \cdot dp}{D_A}$$

$$\left(\frac{G}{M} \right) \cdot X_A = u_0 \cdot C_0$$

M: Ortalama molekül ağırlığı
G: Kütleli akış hızı
X_A: Limit reaktif mol yüzdesi
ρ_B: Yatak içerisindeki kat. yoğ.

EK 1.2. Enerji Denkliği:

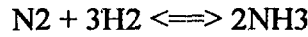
$$-G \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dz} + ke \cdot \left(\frac{1}{r} \frac{dT}{dr} + \frac{d^2 \cdot T}{dr^2} \right) - RP \cdot \rho_B \cdot \Delta H = 0$$



Şekil E1. Sabit katalitik yatak üzerinde alınan hacim elemanı (Bird, 1960)

EK 1.3. Hız İfadesinin Açılımı:

Amonyak sentez denge reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



Temkin - Pyzhev' in hız denklemi:

$$r = f \left[k_1 \cdot \frac{(P_{\text{N}_2}) \cdot (P_{\text{H}_2})^{1.5}}{(P_{\text{NH}_3})} - k_2 \cdot \frac{(P_{\text{NH}_3})}{(P_{\text{H}_2})^{1.5}} \right]$$

Burada ;

f: Aktivite katsayısı

r: Azotun reaksiyon hızı

k1: Sağa doğru olan reaksiyon hız sabiti

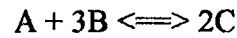
k2: Sola doğru olan reaksiyon hız sabiti

ve

$$P_i = C_i \cdot R \cdot T$$

$$P_i = P_{i0} \cdot \frac{(\theta_i + v_i \cdot x)}{(1 + \varepsilon \cdot x)} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

Bu reaksiyon sembolik olarak aşağıdaki gibi gösterilmiştir.



Bunlara göre hız ifadesi yeniden düzenlenmiştir.

$$r = f \left[k_1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta_C + v_C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta_B - v_B \cdot x}{(1 - \varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot \left(\frac{P \cdot P_{A0}}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \right)^{1.5} - FF \right]$$

$$FF = \left[k_2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta_C + v_C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta_B - v_B \cdot x)^3}{1 - \varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot \left(\frac{P \cdot P_{A0}}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \right)^{-0.5} \right]$$

$$PT = \frac{P \cdot P_{A0}}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \quad \text{ise;}$$

$$r = f \left[k_1(T) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta_C + v_C \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta_B - v_B \cdot x}{(1 - \varepsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - k_2(T) \cdot \left(\frac{1}{\theta_C + v_C \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta_B - v_B \cdot x)^3}{1 - \varepsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

EK 2. AMONYAK SENTEZ DENGİ REAKSİYONUNUN TERMODİNAMİKSEL SINIRLAR İÇERİSİNDEKİ HIZ GRAFİĞİ

$$x := 0, 0.05.. 0.4$$

$$r1(x) = f \left[k1(700) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\epsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - k2(700) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \epsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r2(x) = f \left[k1(720) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\epsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - k2(720) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \epsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r3(x) = f \left[k1(740) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\epsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - k2(740) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \epsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

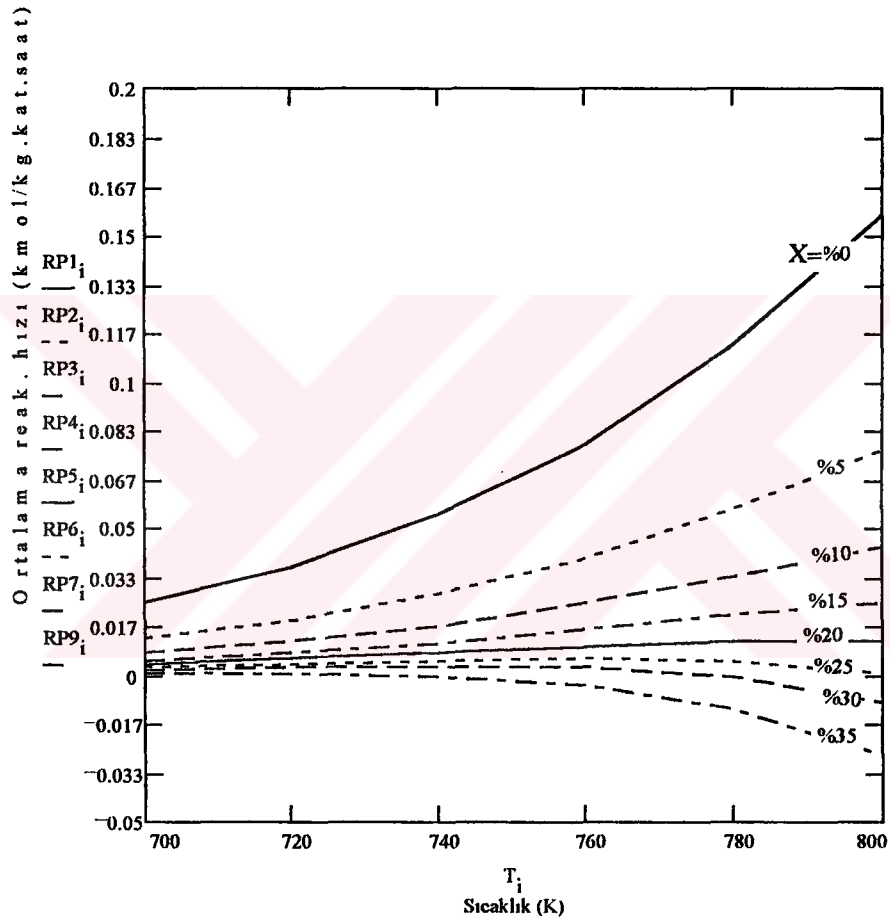
$$r4(x) = f \left[k1(760) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\epsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - k2(760) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \epsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r5(x) = f \left[k1(780) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\epsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - k2(780) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \epsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

$$r6(x) = f \left[k1(800) \cdot \left(\frac{1-x}{\theta C + vC \cdot x} \right) \cdot \left[\frac{\theta B - vB \cdot x}{(1-\epsilon \cdot x)} \right]^{1.5} \cdot (PT)^{1.5} - k2(800) \cdot \left(\frac{1}{\theta C + vC \cdot x} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{(\theta B - vB \cdot x)^3}{1 - \epsilon \cdot x} \right]^{-0.5} \cdot (PT)^{-0.5} \right]$$

r1(x)	r2(x)	r3(x)	r4(x)	r5(x)	r6(x)
0.025	0.037	0.055	0.079	0.113	0.157
0.013	0.019	0.028	0.04	0.057	0.077
0.008	0.012	0.017	0.025	0.034	0.044
0.005	0.008	0.011	0.016	0.021	0.025
0.004	0.006	0.008	0.01	0.012	0.012
0.003	0.004	0.005	0.006	0.005	0.001
0.002	0.003	0.003	0.003	-3.094·10 ⁻⁴	-0.009
0.001	0.002	0.001	-4.193·10 ⁻⁴	-0.005	-0.018
8.058·10 ⁻⁴	6.823·10 ⁻⁴	-2.545·10 ⁻⁴	-0.003	-0.011	-0.027

$RP1_i$	$RP2_i$	$RP3_i$	$RP4_i$	$RP5_i$	$RP6_i$	$RP7_i$	$RP8_i$	$RP9_i$	T_i
0.025	0.013	0.008	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	$8.058 \cdot 10^{-4}$	700
0.037	0.019	0.012	0.008	0.006	0.004	0.003	0.002	$6.823 \cdot 10^{-4}$	720
0.055	0.028	0.017	0.011	0.008	0.005	0.003	0.001	$-2.545 \cdot 10^{-4}$	740
0.079	0.04	0.025	0.016	0.01	0.006	0.003	$-4.193 \cdot 10^{-4}$	-0.003	760
0.113	0.057	0.034	0.021	0.012	0.005	$-3.094 \cdot 10^{-4}$	-0.005	-0.011	780
0.157	0.077	0.044	0.025	0.012	0.001	-0.009	-0.018	-0.027	800



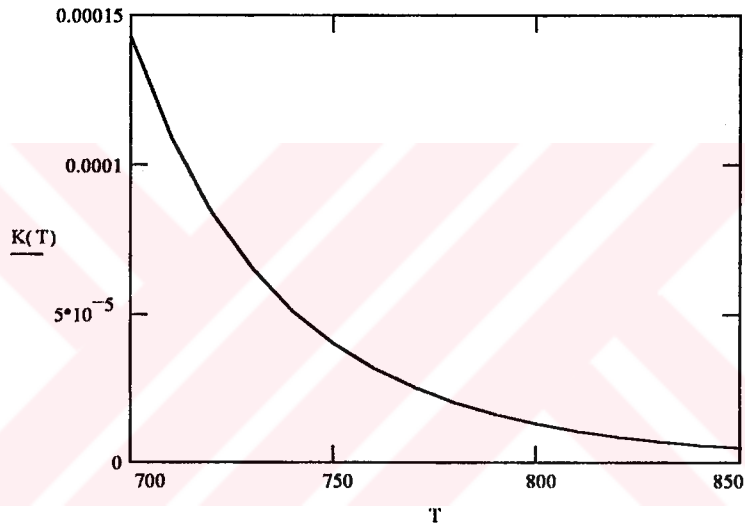
Şekil E2. Amonyak denge reaksiyonu hız değişimi

EK 3. AMONYAK SENTEZ REAKSİYONUNUN TERMODİNAMİKSEL SINIRLAR İÇERİSİNDEKİ Denge Eğrisi

$$\theta_A := 1 \quad \theta_B := 3.064 \quad \theta_D := 0.131 \quad \varepsilon := 0.411 \quad T_0 := 700 \quad v_0 := 1302.45 \quad F_{A0} := 1270.175$$

$$T := 700, 710 \dots 850$$

$$K(T) = \frac{k_1(T)}{k_2(T)} \quad K(T) := \frac{4.9722 \cdot \exp\left(\frac{-10475.1}{T}\right)}{7.1389 \cdot 10^{12} \cdot \exp\left(\frac{-23871.1}{T}\right)}$$



Şekil E3. Amonyak sentez reaksiyonu denge sabiti-sıcaklık değişimi

$$X_E := 0.8$$

Given

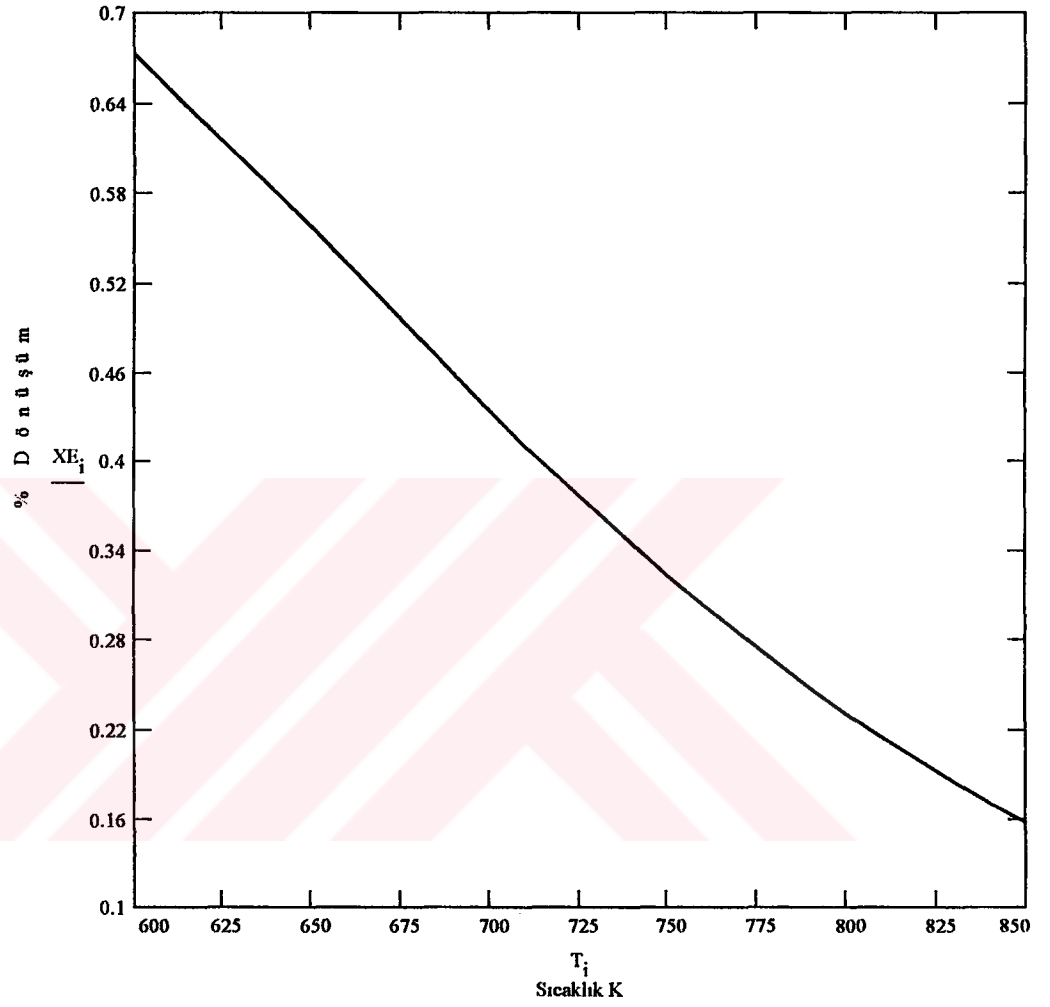
$$X_E \leq 0.8 \quad X_E \geq 0$$

$$5.068 \cdot 10^{-5} = \left(\frac{1}{R \cdot 600}\right)^2 \cdot \left[\frac{v_0 \cdot \left(\frac{600}{T_0}\right) \cdot (1 + \varepsilon X_E)}{F_{A0}} \right]^2 \cdot \frac{(\theta_D + 2 \cdot X_E)^2}{(1 - X_E) \cdot (\theta_B - 3 \cdot X_E)^3}$$

$$\text{Find}(X_E) = 0.344$$

$XE_i = T_i =$

0.672	600
0.557	650
0.434	700
0.41	710
0.388	720
0.323	750
0.303	760
0.284	770
0.265	780
0.247	790
0.23	800
0.214	810
0.199	820
0.184	830
0.17	840
0.157	850



Şekil E4. Amonyak sentez reaksiyonu denge eğrisi

**EK 4. C++ PROGRAM DİLİ İLE YAPILAN SÜREKLİ SİSTEM MODEL
PROGRAMININ (CSMP) SANAL ALGORİTMASI (PSEUDO-CODE)**

input temperature[i][0], conversion[i][0], rpmatrix[i][0];

input pe, f0, d, xa, ma, dh, dz, g, dp, xb, mb, cp, dr, m, ke, xc, tetab, epsi, rob, xd,
md, t, tetac, f, xe, me, pa0, nub, pt, nuc, interval, Tol

```
for (j=1; j <= interval; j++) {
    for (j=1; j <= interval; i++) {
        DO {
            rpestimation ← Random Number Generator ( )
            tvalue ← tformulae ( )
            xvalue ← xformulae ( )
            rvalue ← rformulae ( )
            rpmean ← (rpmatrix[ j ][ I-1 ] + rvalue ) / I
        } while ( | rpmean - rpestimation | > TOL)
        conversion[ i ][ j ] ← xvalue;
        temperature[ i ][ j ] ← tvalue;
        rpmatrix[ i ][ j ] ← rvalue;
    }
}
```

Output temperature[i][0], conversion[i][0], rpmatrix[i][0];

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi: 11 Mayıs 1967
Doğum yeri: Kırıkkale
İlk/Orta Öğrenim: Kaletpe İlkokulu / Kurtuluş Ortaokulu / Kırıkkale Lisesi
Üniversite Öğrenimi: Yıldız Üniversitesi (1984-1988)
Yüksek Lisans: İstanbul Üniversitesi (1990-1992)
Görevi: Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde
Araştırma Görevlisi
Medeni Hali: Evli ve iki çocuk babası