

18 29 (

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME FAKÜLTESİ
ÜRETİM YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMANIN
SÜREÇ OPTİMİZASYONU OLARAK
STİREN ÜNİTESİNE UYGULANMASI

(DOKTORA TEZİ)

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

TEZİ YÖNETEN

Prof.Dr. Güneş GENÇYILMAZ

TEZİ HAZIRLAYAN

Cemalettin KUBAT

İSTANBUL - HAZİRAN - 1992

İ Ç İ N D E K İ L E R

İÇİNDEKİLER.....	I
TEŞEKKÜR.....	IV
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	V
TABLoların LİSTESİ.....	VII
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	XII

BÖLÜM 1

SÜREÇ OPTİMİZASYONU

1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. KİMYASAL SÜREÇ ENDÜSTRİSİ.....	3
1.3. KİMYASAL SÜREÇ ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ.....	4
1.4. KİMYASAL SÜREÇLERDE MODELLEME.....	9
1.5. KİMYASAL SÜREÇLERDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ OPTİMİZASYON.....	14

BÖLÜM 2

BİR PETROKİMYA ÜNİTESİ OLARAK STİREN

2.1. STİREN'İN PETROKİMYA ÜRÜNLERİ ARASINDAKİ YERİ, TANIMI, ÖNEMİ.....	18
2.2. STİREN ÜNİTESİNDE ÜRETİM VE SÜREÇ KONTROL PROBLEMİ.....	22
2.3. KİMYASAL SÜREÇLERDE DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLEME VE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI....	29

BÖLÜM 3

DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMA

3.1. GİRİŞ.....	64
3.2. GENEL AMAÇ PROGRAMLAMA MODELİ.....	66
3.3. DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLER.....	69
3.4. ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR MODELLERİ.....	71
3.5. AMAÇ PROGRAMLAMA MODELLERİNİN GELİŞİMİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	77
3.6. DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMADA DEĞİŞTİRİLMİŞ ÖRNEKLEYEREK ARAMA YÖNTEMİ.....	85

BÖLÜM 4

STİREN ÜNİTESİNİN SÜREÇ KONTROL PROBLEMİ OLARAK E L E ALINMASI

4.1. GENEL BİR SÜREÇ KONTROL PROBLEMİNİN AMAÇ PROGRAMLAMA FORMÜLASYONU.....	100
4.2. STİREN ÜNİTESİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMA FORMÜLASYONU.....	107
4.3. DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMA PROBLEMİNİN BİLGİSAYAR ÇÖZÜMÜ İÇİN PROGRAM GELİŞTİRİLMESİ.....	128

BÖLÜM 5

PROBLEMİN DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMA İLE ÇÖZÜMÜ

5.1. ÇÖZÜM SONUÇLARI.....	139
5.2. ÇÖZÜMÜN DUYARLILIĞI.....	143

BÖLÜM 6

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

6.1. TARTIŞMA	158
6.2. ÖNERİLER.....	159
SONUÇ.....	160
KAYNAKLAR.....	162
EKLER.....	170
ÖZGEÇMİŞ.....	210

TESEKKÜR

Doktora ders programında, bu tezin konusunun belirlenerek kaynaklarının tesbitinde ve çalışmalarımın her safhasında çok değerli zamanlarını ayırarak yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof.Dr. Güneş GENÇYILMAZ ' a minnet ve şükranlarımı sunarım. Tezin uygulama kısmı için gerekli verilerin sağlanması ve çeşitli safhalarda ilgilerini esirgemeyen PETKİM Stiren Ünitesi yetkililerine tesekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, çalışmalarım sırasında teşvik ve yardımlarını gördüğüm değerli meslektaşım Doç.Dr.Harun TAŞKIN 'a da müteşekkirim.

SEKİLLERİN LİSTESİ

Sekil 1.1. İki Bağımsız Değişkenli Optimizasyon Problemi İçin Olurlu Bölge

Sekil 1.2. Basit Bir Kimyasal Süreç Modeli

Sekil 1.3. Girdi ve Çıktı ile Süreç Değişkenleri

Sekil 1.4. Çok Amaçlı Hiyerarşik Yapı

Sekil 2.1. Stiren ' in Kullanım Yerleri

Sekil 2.2. Petrokimyasal Maddeler Zinciri

Sekil 2.3. Petrokimya Kompleksi Akım Seması

Sekil 2.4. Stiren Ünitesi Akış Seması

Sekil 3.1. Amaç Programlamanın Grafik Gösterimi

Sekil 3.2. Çok Amaçlı Karar Yöntemi İçin
Bir Sınıflama

Sekil 3.3. Verilen Örneğin Karar Değişken Uzayına Ait
Olurlu Çözüm Alanının Gösterimi

Sekil 3.4. Örneğe Ait Olurlu Bölgenin Amaç Fonksiyonu
Uzayının Grafik Gösterimi

Sekil 3.5. Sayısal Örneğe Ait Olurlu Bölgenin
Amaç Fonksiyon Uzayının Grafik Gösterimi

Sekil 3.6. Değiştirilmiş Hooke-Jeeves Arama
Yöntemi İle DOAP nın Akış Diyagramı

Sekil 3.7. Örnekleyerek Arama Yönteminin Grafik Gösterimi

Sekil 3.8. Değiştirilmiş Örnekleyerek Aramanın
Grafik Gösterimi



T A B L O L A R I N L İ S T E S İ

Tablo 2.1. Stiren Unitesi Dizayn Değerleri

Tablo 2.2. $\Delta H_i = a_i + b_i.T$ deki Sabitler

Tablo 2.3. FREKANS FAKTÖRLERİ VE AKTİVASYON ENERJİLERİ

Tablo 2.4. NİSAN SONUÇLARI (MODEL , FİİLİ)

Tablo 2.5. G A Z U R U N L E R İ

Tablo 2.6. F i l l i M o d e l

Tablo 2.7. Tek Yatak İçin Optimum Arama Sonuçları

Tablo 3.1. GİRİŞ SPEŞİFİKASYONLARI

Tablo 3.2. SÜREC DEĞİŞKENLERİ

Tablo 3.3. ÇIKTI ÖZELLİKLERİ

Tablo 3.4. Maliyeti Etkileyen Birim Fiatlar

Tablo 5.1. GİRİŞ VE SÜREC DEĞİŞKENLERİ

(Ürün Maliyeti=2,910,154 Önceliği=11)

Tablo 5.2. GİRİŞ VE SÜREC DEĞİŞKENLERİ

(Ürün Maliyeti=2,910,154 Önceliği=12)

Tablo 5.3. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ
(Ürün Maliyeti=2,910,154 Önceliği=13)

Tablo 5.4. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ
(Ürün Maliyeti=2,910,154 Önceliği=14)

Tablo 5.5. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ
(Ürün Maliyeti=3,400,000 Önceliği=11)

Tablo 5.6. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ
(Ürün Maliyeti=3,400,000 Önceliği=12)

Tablo 5.7. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ
(Ürün Maliyeti=3,400,000 Önceliği=13)

Tablo 5.8. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ
(Ürün Maliyeti=3,400,000 Önceliği=14)

Tablo 5.9. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ
(Ürün Maliyeti=2,400,000 Önceliği=11)

Tablo 5.10. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ
(Ürün Maliyeti=2,400,000 Önceliği=12)

Tablo 5.11. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ
(Ürün Maliyeti=2,400,000 Önceliği=13)

Tablo 5.12. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ
(Ürün Maliyeti=2,400,000 Önceliği=14)

Ö Z E T

Bilindiği gibi günümüzde gittikçe karmaşık hale gelen sosyal, ekonomik ve teknolojik problemlerin çözümünde bilgisayarlarla birlikte matematiksel yöntemlerde yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Bu problemler içerisinde özellikle endüstriyel yapıda olanlar ağırlık kazanmaktadır. Bu açıdan, bu tip problemleri matematiksel olarak Sürekli ve Kesikli şeklinde iki kısma ayırabiliriz. Bu tasnife göre, genellikle probleme üretim açısından bakıldığında sürekli ve kesikli üretim sistemlerinden bahsedilebilir. Yine bilindiği gibi sürekli üretim sistemlerinin konusunu ağırlıklı olarak kimyasal süreç endüstrileri oluşturmaktadır. Kimyasal süreç endüstrileri hem modelleme hem optimizasyon ve hem de kontrol yönüyle kullanılan analitik ve sayısal çözüm yöntemleri yoğun bir ilgi alanı oluşturmaktadır. 1960 lardan beri bu alanda özellikle bir çok sayısal yöntem geliştirilmiştir. Bunlar matematiksel programlama başlığı altında toplanabilir. Diğer yandan, kimyasal bir süreç problemini klasik optimizasyon teknikleri şeklinde bir amaç fonksiyonu ve çok sayıda kısıtla ifade etmek çoğu kere pratik açıdan yetersiz olmaktadır. Bunun için, amaç fonksiyonunda yer alan kriterin veya ölçütün birden fazla olması problemi hem ekonomik ve hem de teknolojik açıdan incelememizi mümkün kılar. Bu çalışmada, bir petrokimya ünitesinin uyuşan ve çatışan bir çok amacını kapsayacak teknolojik hedefleri yanında firmanın kısa ve uzun vadeli hedeflerini de kısıtlar kümesi şeklinde gösterebilecek bir modelin kurulması daha uygun olacaktır. Yukarda bahsedilen ihtiyaca cevap verecek bir matematiksel programlama tekniği olarak Amaç Programlama'nın böyle bir üretim sistemine nasıl uygulandığı bu çalışmanın ana konusu olacaktır.

Bu amaçla tez 6 ayrı Bölümüne ayrılmıştır. İlk Bölümde giriş düzeyinde Sürec (Proses) Optimizasyonu'nun tanımı, Doğrusal Olmayan Programlama ve Madde-Enerji Denge Denklemleri gibi temel kimyasal kavramlar incelenmiştir. 2. Bölümde, özellikle Doğrusal Olmayan Programlama içerisinde Çok Amaçlı Karar Verme ve onun türevi olarak Doğrusal Olmayan Amaç Programlama ele alınmıştır. Bu yöntemin uygulandığı Stiren'in kimyasal ve ünite olarak tanımı yapılmış, ayrıca bu alanda yapılan modelleme ve optimizasyonla ilgili makaleler özetlenmiştir.

3. Bölümde Doğrusal Olmayan Amaç Programlama'nın genel yapısı ve bu yöntemin çözümü için Griffith ve Stewart tarafından teklif edilen tekniğin adımları, bu adımları içerisinde sayısal çözüm tekniği olarak Hooke-Jeeves'in Örnekleyerek Arama Yöntemi ayrıntılı bir biçimde ele alınarak Doğrusal Olmayan Amaç Programlama ile nasıl çalıştığı gösterilmiştir.

4. Bölümde, Stiren Ünitesi'nin bir Sürec Kontrol Problemi olarak Amaç Programlama ile formülasyonu ve yukarıda bahsedilen çözüm yöntemi ile incelemesi yapılmıştır. Çözüm sonucunda, ürüne ait birden fazla amacın ve yine ürüne ait kalite ve diğer faktörlere göre kısıtlandırılması sonucunda minimum sapmayı veren Optimal Çözüm elde edilmiştir. Optimal Çözüm tanımına göre çözüm değeri 1,766,354 TL/ton bulunmuştur.

5. ve 6. Bölümde, Maliyet Önceliği ve Seviyeleri değiştirilerek Duyarlılık Analizi yapılmış, 2. , 3. , ... optimal çözümler bulunmuştur. Sonuçta, karar vercilere kendi çalışma alanları ile ilgili değişkenlere ait limit veya kıstasların belirlenmesi konusunda öncelik ve seviye faktörlerine göre maliyet ağırlıklı optimal değişim aralıkları elde edilmiştir.

S U M M A R Y

In this Ph.D. Study, nonlinear programming technique has been applied to a petro-chemical unit, which produces Styrene via Ethylbenzene Dehidregeneration in Turkish Petro-Chemical Industry Co.

Process optimization concept or approach has been applied to process operation, which satisfy several absolute requirements(material balances, production capacities etc.) and conflicting objectives.

This Ph.D. Thesis has been divided into 6 chapters. In the first chapter ,the introductory process optimization definition has been made with the method of nonlinear programming form and the determination of basic chemical data such as kinetics, material balances, energy changes and energy balances, which chemical process industries(involve chemical conversion and physical operation in any chemical plant) rest.

Optimization techniques in a continious process (e.g. chemical process industries) may be viewed at different hierarchical levels: plant unit design, production planning, production schedulling and process operation. It has been described applicable optimization techniques in steady-state dynamic process , which are linear programming , nonlinear programming and constrained optimization techniques are very important. Another stage, modelling approach in general definition and in a chemical process has been presented lastly by multiple criteria decision making.

In second chapter, the importance of styrene and its place in petro-chemical materials has been presented. The predominant route of the production of styrene is via ethylbenzene which alkylated from benzene with ethylene and subsequently dehidrogenated over an aluminum chloride catalyst, solid phosphoric acid or silica alumina catalists. This chemical reaction has been presented scematically with a flowchart.

Nonlinear modelling and optimization articles in chemical processes have been summarized. Especially Griffith and Stewart's Method of Approximation Programming which is a differantial technique utilizing the linear programming algorithm has been used. Sengupta reported fixing the levels of inputs and process variables in order to meet a required specification of output. However, difficulties can arise when the output has a number of characteristics which has to satisfy a specification. Such a problem was met in a paper manufacturing plant and the problem was solved using Goal Programming.

The third chapter was allocated to the Genaral Goal Programming Model, Nonlinear Models, Multiple Criteria Decision Making, Goal Programming Models Studies, Modified Pattern Search Method on Nonlinear Goal Programming. Most real-world decision problems involve multiple conflicting objectives. If we decide to use linear programming to solve decision problems with multiple objectives, we may introduce other objectives (other than the objective function) as model constraints. The linear programming model, however, requires that the optimum solution must satisfy all

constraints. Goal Programming is a linear mathematical model in which the optimum attainment of multiple goals is sought within the given decision environment.

To solve nonlinear Goal Programming Problem a Simplex Based Nonlinear Goal Programming Algorithm is used. However in this method each iteration employs the use of Modified Simplex Algorithm (and of course, the size of the problem has been larged so as to employ this technique. Another drawback includes that is one must employ either numerical or exact methods of differentiation in a performance of the algorithm.

The method to be discussed next, avoids these two drawbacks. This method is based on an extension (the extension itself being very minor for this case) of the search method of Hooke and Jeeves or, as it often known, the Method of Pattern Search. Pattern Search is one of a class of search techniques as accelerated search method. Such method increase their search step size if previous searches have been successful and maintain or decrease the step size otherwise. Prior to our discussion of the method it is necessary to list and explain the terminology that will be employed.

We shall begin our search at our initial base point. This point, designated as $\bar{X}^{(1)}$, may be selected by a number of means: arbitrarily, by an educated guess, or by using a present solution (if we are concerned about an existing system). The better our choice of this point (i.e., the closer to the true optimal), the faster will the search, in general converge.

For convenience, this first base point will also be denoted as our first trial point. A search is conducted about each trial point. To form this search, we perturb each variable, one at a time, about present trial point. This perturbation is determined by selecting a step size for each of the n variables ($x_1, x_2, \dots, x_n$).

It is important to note that it is not necessary to examine all of the perturbations for a given trial point. We stop as soon as we obtain a point giving a value of $\bar{a}$ that is preferred to our previous best perturbation point. Articles and books based on survey related to goal programming and its extensions have been presented.

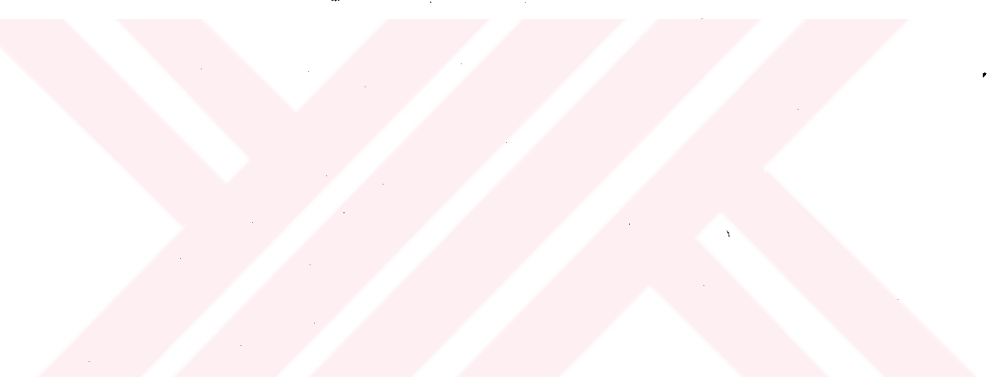
In chapter 4, modelling and solution of the Styrene Unit as a process control problem has been studied. In this step, firstly goal programming formulation of the general process control problem has been initiated. Secondly, nonlinear goal programming of this formulation of the Styrene Unit with given past data has been adapted.

In the last chapters, five and six, with the use of written program, which is BASIC based, optimal solution has been obtained. Definition of the optimal solution gives minimum cost and satisfies input and output level of process. More obvious explanation is that optimal solution is 1,766,354 TL/ton.

In final chapter, results, solutions, discussions and proposals have been given. Sensitivity analysis of nonlinear goal programming with pre-emption to date have failed with the effects of changes in parameters after the optimal

solution has been obtained. It is known that post-optimality analysis nonlinear goal programming involves changes in priority factors(w_i), changes in w_i for non-basic activities, changes w_i for basic activities, overall rearrangement of priority structure and changes in resources or goal levels. We have applied changes in priority factors.

It has been seen that if we change cost priority and value an approach in determining limits or constraints of the variable related to working area to decision maker can be obtained.



B Ö L Ü M 1

SÜREÇ(PROSES) OPTİMİZASYONU

1.1. GİRİŞ

Kimya Mühendisliğinde tasarım ve operasyon planlama problemlerinin çoğu, belirli veya sonsuz sayıda çözümlere sahiptir. Mümkün çözümlerin çokluğu dışında böyle bir probleme ait en iyi çözümü seçme kimya mühendisliğinde yeni bir kavram değildir. Fakat, gittikçe artan bir hızda bu alandaki çalışmalar da önemli hale gelmektedir. Yüksek hıza sahip bilgisayarların gelişmesi, optimum şartların hesaplanması için ileri matematiksel teknikler yalnızca amaç fonksiyonunu optimize etmede değil, optimizasyon yöntemini optimize etmede de önemli olmaktadır. Diğer bir ifade ile en etkin tarzda optimum şartların bulunması arzu edilir. Analitik olarak optimizasyonu yapılacak sistemin matematiksel modeli bilinmelidir. Bu modelde, maksimize veya minimize edilecek amaç fonksiyonu ve sistem üzerindeki bütün kısıtlar yer alacaktır.

Karmaşık yapıdaki kimyasal bir ünitenin doğrusal olmayan optimizasyonu matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\max F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

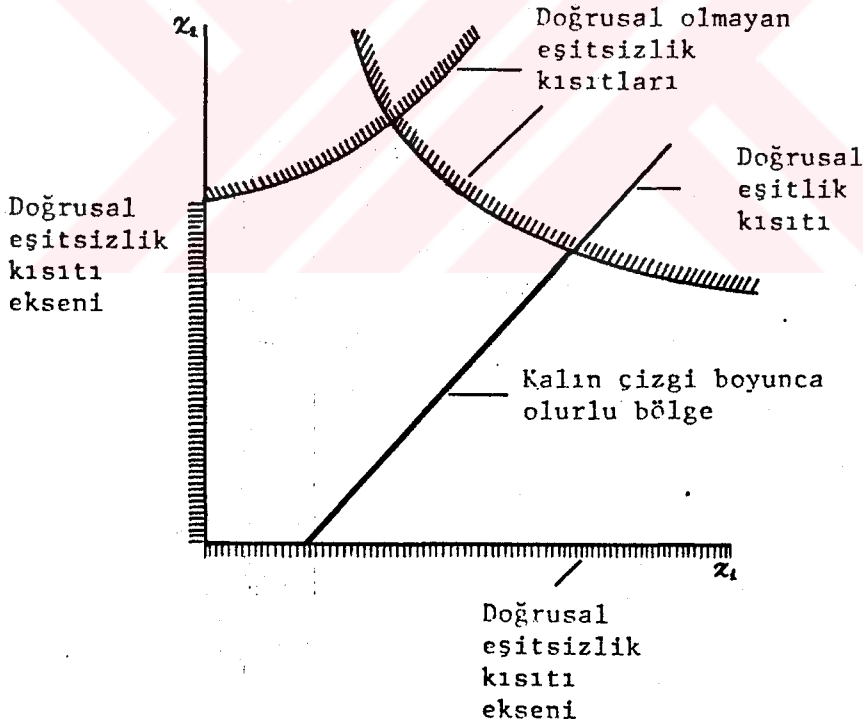
$$G_i(x_1, x_2, \dots, x_k) = 0, \quad i=1, 2, \dots, m$$

$$L_j \leq x_j \leq U_j, \quad j=1, 2, \dots, k$$

Burada $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ amaç fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan yapıdadır ve n bağımsız değişkenden oluşur. $G(x_1, x_2, \dots, x_k)$ m adet eşitlik kısıtını, $x_1, x_2, \dots, x_n$ n bağımsız değişkeni ve $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_k$ ise bağımlı

değişkenleri (bağımsız değişkenlerin fonksiyonu olan f) gösterir. m kısıtın bir kısmı veya tamamı için $\leq$ veya $\geq$ işaretleri de bulunabilir. L_j ve U_j , x_j değişkenlerinin alt ve üst limitleridir. Bu limitler sabit veya bağımsız değişkenlerin fonksiyonları olabilirler. Genellikle $m = n$ kısıtlarının bulunduğu durumlarda $m < n$ dir.¹ (yani kısıt sayısı bağımsız değişken sayısından küçüktür.)

Kısıt denklemleri, sistemin kararlı durumundaki madde dengeleri bağımsız yapılarak elde edilir.² m tüm kısıtların sayısını, m_1 eşitlik kısıtlarını, m_2 ise eşitsizlik kısıtlarını gösterir. Yani $m = m_1 + m_2$ veya $h(x)=0$, $g(x)\geq 0$ şeklinde de yazılabilir. Bu tanımlar aşağıdaki şekilde gösterilebilir³.



Sekil 1.1. İki Bağımsız Değişkenli Optimizasyon Problemi İçin Olurlu Bölge

1. Adelman, A. & Steven, W. F., -Process Optimization by the Complex Method, AICHE Journal, Vol. 18, No. 1, 1972, S. 20-24.
2. Himmelblau, D. M., -Process Optimization By Search Techniques, I&EC Process Design And Development, Vol. 2, No. 4, 1963, s. 296-309
3. Edgar, T. F., Himmelblau, D. M. -Optimization of Chemical Processes, McGraw-Hill Book Co., New York, 1989.

1.2. KİMYASAL SÜREC ENDÜSTRİSİ

"İş gücü, malzeme ve enerji gibi girdilerin çıktıya dönüşümü" şeklinde tanımlanan üretim, miktar veya akışa göre sınıflandırıldığında; süreç üretimi, büyük parti ve kütle üretimi ile küçük parti ve birim üretim adlarını alırlar⁴. Bunların içerisinde süreç üretimi kimyasal süreç endüstrisinin de konusunu oluşturur. Kimyasal süreç endüstrisinde süreklilik söz konusu olduğundan çok küçük birimlerdeki değişimler çeşitli etkileşimlere neden olabilir. Ayrıca bu tip sistemlerin matematiksel olarak modellendirilmesi, çoğu kez karmaşık bir yapı göstermesi nedeniyle çözümleri için yine çoğu kez sayısal yöntemlere başvurulur. İşte burada Optimizasyon Yöntemleri devreye girer.

Herhangibir fabrikada/ünitede kimyasal dönüşümler ve fiziksel işlemleri kapsayan kimyasal süreç , birim süreçler (kimyasal dönüşümlerle kimyasal değişimler) ve birim operasyonlar (fiziksel değişimler) gibi iki ana bölüme ayrılır.

Kimyasal süreç endüstrisi, çevre koruma ile hava ve su temizlemesiden, çimento, şeker, plastik, rafineri, petro-kimya, nükleer, kağıt, cam ve ilaç (farmasötik) endüstrilerine kadar yayılmıştır. Artan rekabet, işgücü ve malzeme fiyatlarındaki artışlar, teknolojik değişimlerin hızlanması nedeniyle Araştırma-Geliştirme çalışmaları ile malzeme, maliyet ve enerji kontrolleri önem kazanmıştır⁵. Özellikle II. Dünya Savaşı sonrasında birçok matematiksel tekniğin, 1950 lerden sonra Yöneylem Araştırması Tekniklerinin, ve 1960 lardan sonra da Optimizasyon

4. Wild, R. - Management and Production, Penquin Books Ltd. , Middlesex, England, 1972.

5. Shreve, N. R. , Brink, J. A. - Chemical Process Industries, McGraw Hill International Book Corp., Tokyo, 1977.

Tekniklerinin bilgisayar yardımıyla endüstriye uygulanması hızla artmıştır. Kimyasal süreç endüstrisinde 1959 da başlayan Bilgisayarla Süreç Kontrolü (computer process control) uygulamaları için temel kimyasal verilerin saptanması (reaksiyon verimi, reaksiyonun dönüşümü, enerji değişimleri gibi), madde ve enerji dengelerinin sağlanması, süreç seçimi, donanım ve yer seçimi, envanter ve kalite kontrol tekniklerinin kullanımı, bakım planlaması gibi birçok alanda, optimizasyon teknikleri diğer endüstrilerden daha çok kullanılmış ve yukarıda bahsedilen süreklilik özelliğinden dolayı da kimyasal süreç endüstrisi için gelişme kaynağı olmuştur⁶.

1.3. KİMYASAL SÜREÇ ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

Aşağıda verilecek olan optimizasyon teknikleri, sürekli süreç endüstrilerinde (örneğin kimyasal) dört hiyerarşik düzeyde uygulama alanı bulurlar.

I. Fabrika Tesis Tasarımı: Donanım kapasitesini ve süreç tasarım özelliklerini belirleme (çok kere yatırım üzerinden getiriyi maksimize etme). Bu aşama tesisin başlangıç veya yenileme aşamasıdır.

II. Üretim Planlama: Belirli bir tesisin ve kararlı durumda çalışma şartlarında, çeşitli teknolojik ve diğer kısıtları sağlayan tahmini pazar talebini karşılamak için toplam kârı

6. Savas, E. E. - Computer Control of Industrial Processes
Mc Graw-Hill N. Y., 1965.

maksimize edecek her ürün için üretim miktarlarını belirleme. Planlama periyodu uzun (stratejik, birkaç yıl) veya orta (birkaç ay, taktik) vadeli olabilir.

III. Üretim Programlama: Çok ürünli bir tesiste, depolama maliyetlerini hazırlık (ürün değiştirme) maliyetlerine karşı dengelerken II. aşamada belirlenen üretim miktarlarını üretmek için üretim sırasını ve çalışma uzunluğunu belirleme. Planlama ufku birkaç saatten birkaç güne kadar değişebilir (operasyon planlama).

IV. Sürec İşlemleri: Çalışma-işlem maliyetlerini veya besleme (girdi) tüketimini minimize etmek, veya çıktıyı maksimum kılmak için sürecin çalışma şartlarını (saat olarak) değiştirmek. Bu aşama kontrol aşamasıdır⁷.

Kimyasal süreç endüstrisinde optimizasyon çalışmalarının genel sınıflamasını ve bazı örneklerini süreçlerin:

- a) Kararlı durum
- b) Kararsız durum

şeklindeki iki tipine göre ele alacağız. Bilindiği üzere kararlı durumda kimyasal süreçlerde incelenen sistem, zamandan bağımsız olarak, girenler çıkanlara eşit olup sistemde birikme söz konusu değildir. Bunlar için kurulan denklemlerin kısıtları daima eşitlik halindedir. Kararsız durum veya dinamik yapıda süreçler zamana bağlı olup, sistem bir kesit halinde değil sürekli olarak incelenir. Bunlar için kurulan madde ve ısı denge denklemleri diferensiyel denklemler şeklinde verilir⁸.

7. Zanakis, S.H., Smith, J.S., -Chemical Production Planning via Goal Programming, Int. J. Prod. Res. Vol. 18, No. 6, 1980, s. 687-697.

8. Savas, E.E. - a. g. e.

Kimyasal süreçlerin kararlı durumlarında kullanılan optimizasyon teknikleri:

1. Doğrusal Programlama
 - 1.1. Parçalı Doğrusal Programlama
 - 1.2. Aralık Doğrusal Programlama
2. Doğrusal Olmayan Programlama
 - 2.1. Doğrusallaştırma Yöntemleri
 - 2.2. Karesel Programlama
 - 2.3. Geometrik Programlama
 - 2.4. Gradient Projeksiyon Tekniği
 - 2.5. Ceza Teknikleri
3. Kısıtsız Optimizasyon Teknikleri
 - 3.1. Arama Yöntemleri
 - 3.2. Gradient Yöntemleri

şeklinde sınıflandırılabilir⁹. Kararsız durumda kullanılan optimizasyon tekniklerini dinamik optimizasyon başlığı altında ele alabiliriz. Bu başlık altındaki yöntemler

1. Gradient Yöntemler
2. Varyasyonel Hesap
3. Dinamik Programlama
4. Maksimum İlkesi

gibi bölümlendirme yapılır. Burada gradient yöntemler süreçlerin kararsız durumlarına geçişte ve bu sistemlerin optimal kontrolünde kullanılırlar. Kuramsal olarak dinamik optimizasyon içerisinde yer almazlar.

9. Gottfried, L.D., Weisman, S. -Introduction to Optimization Theory, Prentice Hall, N.S., 1979.

Yukarıda sayılan bu tekniklerin özel kimyasal problemlere uygulanması, alanlarına göre sırasıyla aşağıdaki gibi verilebilir:

Doğrusal Programlama ile 1950 lerden sonra yapılan çalışmalar daha çok Karışım Problemlerinin çözümü şeklinde görülmüştür. Bu problemde, farklı ünitelerden gelen benzinin belirli oktan sayısı ve ünite kapasite kısıtları altında maksimum karıverecek benzin miktarının saptanması istenir. Diğer uygulama alanları daha sonraki yıllarda madde ve ısı denge denklemlerinin geniş bir şekilde modellere dahil edilmesi ile (ürün optimizasyonunda) Dünya Rafineri Modelinin çözümünde kullanılmıştır. Ayrıca demir-çelik endüstrisinde haddehanelerin optimizasyonunda da yaygın bir biçimde kullanılır.

Aralık doğrusal programlama, normal doğrusal programlama gibi karışım ve fırın yükleme problemlerine uygulanabilir. (Mixing ve Kupol Fırınları gibi)

Doğrusal olmayan programlama, daha çok küçük ölçekli modeller için uygun olup, özellikle sistemdeki küçük değişimleri içermesi ve belirlenen amaçdan sapmaları gösterebilmeleri bakımından gradient projeksiyonu ve ceza fonksiyonları yöntemlerinin kullanılmaları daha çok yaygındır. Stiren Ünitesinin ve Oktan İzomer Ayrıştırma Sürecinin Optimizasyonu gibi. Burada kullanılan analitik yöntemlerin yanında sayısal çözüm yöntemlerini de kapsayan kısıtlı optimizasyon teknikleri içerisinde gradient projeksiyon ve ceza fonksiyonu teknikleri de yer alır.

Kısıtsız optimizasyon teknikleri ile çözülebilir hale getirilen kimyasal süreç modelleri, kısıtların amaç(performans) fonksiyonuna taşınmasıyla sistemin kontrolü veya değişken değerlerinin duyarlı bir şekilde saptanması ve değişkenler üzerinde kısıtların etkisinin olmaması durumu kolayca izlenebilir. Bunlar türevsel süreksiz formda gösterilirler. Gradient ve Arama yöntemleri adını alan bu yöntemlerle doğrusal olmayan rafineri optimizasyonu, benzin karışım, Ksilen ayrıştırma, Alkilasyon, Solvent ekstraksiyon, benzin polimerizasyon ve katalitik karking süreçlerinin optimizasyonu gerçekleştirilebilir¹⁰.

Gradient yöntemler içinde En Dik Çıkış (Steepest Ascent) veya İniş (Descent) kullanılarak dinamik fonksiyonlarda sayısal çözümler daha kolayca elde edilebilir. Bu tür süreçler için yapılan çalışmalar dinamik programlama ve Maksimum İlkesi etrafında yoğunlaşmıştır¹¹.

Dinamik programlama ile çözülen kimyasal süreç modelleri çok aşamalı sistemlerin optimizasyonu zıt akımlı ve çapraz akımlı ekstraksiyon süreçlerinde optimal tasarım ve çalıştırma, katalist değiştirme, çok aşamalı ısı değiştiricilerin, ağır su damıtılması, çok aşamalı kompresör tasarımları için kurulup çözülebilir¹².

Maksimum İlkesi ile çok boyutlu reaktörlerin geçişli çalışma koşulları altında analizi, optimum sıcaklık profili, damıtma kolonlarına ait optimum damıtma hızlarının belirlenmesi, reaktörlerin ekonomik tasarımı, nükleer

10. Gottfried, B.S., Weisman, S.-a.g.e.

11. Latour, P.R., -Online Computer Optimizasyonal: What it is and There do it? Hydrocarbon Processing, Gulf Publishing Corp. Texas, June 1979, s. 79-88.

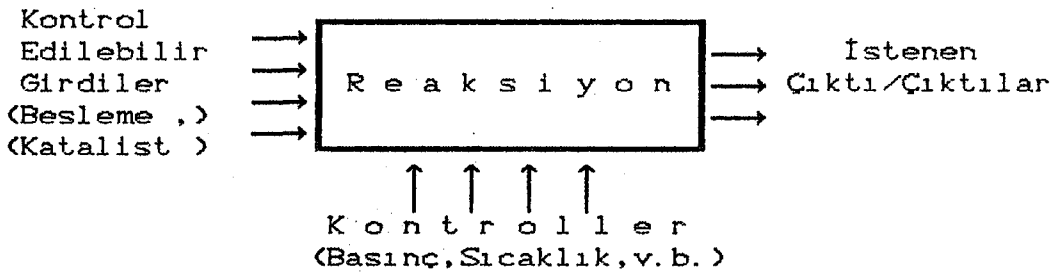
12. Jenson, V.G., Jeffreys, G.V. -Mathematical Methods in Chemical Engineering, Academic Press, London, 1977.

reaktörlerde akış-durum değişmelerinin optimizasyonu yapılabilir¹³.

Varyasyonel Hesap, sistemin kısıtlarının diferensiyel olarak ifade edilemediği durumlarda bir integral kısıtı şekline getirilerek optimize edilmesidir. Optimum sıcaklık profili buna iyi bir örnek olarak verilebilir.

1.4. KİMYASAL SÜREÇLERDE MODELLEME

Kimya endüstrisinde süreçler, bir hammaddenin kimyasal reaksiyon yoluyla daha değerli ürünlere dönüşmesi veya ham petrolün petrol ürünlerine dönüşmesi gibi arıtma yöntemleridir. Şekil 1.4. te görüldüğü gibi böyle bir sürecin genel özelliği beslemeye katılan birçok girdi, çok kere bir katalist yardımıyla, girdiler arasında bir reaksiyon ve istenen ürünün çıktısından oluşmaktadır. Reaksiyon, sıcaklığa, basınca, katalist girdi hızına ve diğer faktörlere göre kontrol edilebilir. Diğer modellerde olduğu gibi, kimyasal süreç modeli de değişkenler, parametreler ve sabitlerden meydana gelir¹⁴.



Şekil 1.2. Basit Bir Kimyasal Süreç Modeli

13. Fun, L. - Introduction to Optimization Practice, John Wiley and Sons inc., 1969

14. Savas, E. E. - a. g. e.

Proses değişkenleri şu şekilde ayırma tabi tutulabilir:

I. Bağımsız Değişkenler

A.Kontrol edilemeyen değişkenler

- 1.Hammadde
- 2.Değişen koşullar (basınc,sıcaklık,nem)
- 3.Donanım koşulları (katalist aktivitesinin azalması)
- 4.Ekonomik faktörler

B.Kontrol edilebilir değişkenler

- 1.Temel kontrol değişkenleri
- 2.Değiştirilmiş kontrol değişkenleri

II. Bağımlı Değişkenler

A.Performans değişkenleri

- 1.Ekonomik değişkenler
- 2.Kısıtlı değişkenler
 - a.Fiziksel değişkenler
 - b.Yönetmel değişkenler
 - Kalite değişkenleri
 - Kantite değişkenleri

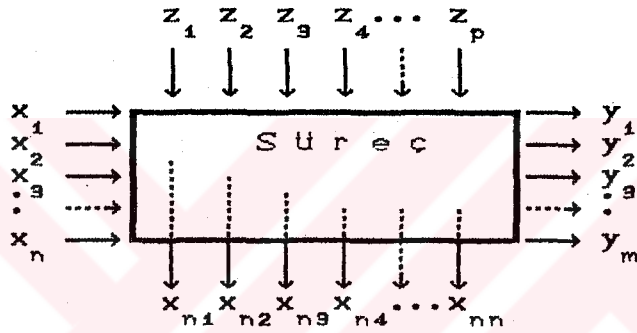
B.Ara değişkenler

Kimyasal süreç problemlerinde kullanılan değişkenler gösterim bakımından ise aşağıdaki gibi tanımlanabilirler¹⁵.

- a. Kontrol Değişkenleri: $X(t)=(x_1(t),x_2(t),\dots,x_n(t))$
- b. Performans Değişkenleri: $Y(t)=(y_1(t),y_2(t),\dots,y_m(t))$
- c. Bozucu Değişkenleri: $Z(t)=(z_1(t),z_2(t),\dots,z_p(t))$

15. Nicholson,T.A.J.-Optimization in Industry,Longman Group Ltd.,Vol. I,London ,1971.

Burada t zamanı göstermek üzere, kontrol değişkenleri, akış hızı, basınç v.b. operasyon koşullarını ayarlama aracıdırılar. Performans değişkenleri, sürecin çıktıları olarak, $\hat{k}$ ve benzeri bir değer kriteridirler. Bozucu değişkenler ise optimum çalışma koşullarını etkileyen beslemenin arılığı, fiyatlar ve değişen sıcaklıklar gibi çevresel faktörlerdir. Bu tür sınıflama biraz daha geniş olarak aşağıdaki şekilde gösterilebilir:



Sekil 1.3. Girdi ve Çıktı Süreç Değişkenleri

Burada

- $x_1, x_2, \dots, x_n$ Sürecin akışına doğrudan etki eden ve ölçülebilen, amaca uygun olarak değiştirilebilen değişkenler'dir.
- $x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nn}$ Sürecin akışı ile dolaylı ilişkili olup aracı değişkenler'dir.
- $y_1, y_2, \dots, y_m$ Kontrol edilen değişkenler, sürecin süresi boyunca değişirler.
- $z_1, z_2, \dots, z_p$ Bozucu değişkenler ise sürece doğrudan etki ederler, fakat amaca dönük olarak değişmezler¹⁶.

16. Kavarof, V. -Cybernetics Methods in Chemistry and Chemical Engineering, Mir Publishers, Moscow, 1976.

Kimyasal bir sürecin modellenendirilmesi için önce genel olarak matematiksel model kurma kurallarının veya aşamalarının bilinmesi gerekir. Doğal olarak bu kurallardan sonra ele alınacak adımlar sistemin kimyasal bir süreç oluşuna göre bazı farklılıklar gösterecektir¹⁷. Bu adımlar:

1. Problemin Tanımı :

- a. Matematiksel olarak temsil etmek istediğimiz fiziksel sistem nedir ?
- b. Bu modelin kullanılması ne gibi yararlar sağlayacaktır.
- c. Modeli test etmek için ne tür veriler mevcuttur.

2. Süreçten gelen verilerin toplanması

Veriler, özel deneysel testten veya sistemin normal faaliyet verilerinden elde edilebilir.

3. Matematiksel bir model ortaya koymak için sistemin özelliklerinin kuramsal analizi:

Matematiksel modellerin kaynağı aşağıdaki gibi tasnif edilebilir:

- a. Model, fizik ve kimyanın temel ilkeleriyle doğrudan açıklanabilir. Bur a da , kimya mühendisliğinde kullanılan madde ve enerji dengesi, reaksiyon koşulları, kurulacak sistemin prototipini belirleyen temel ilke ve hesaplamalar ele alınır. Başka bir ifade ile kimyasal bir sürecin matematiksel modelinin kurulması için:

- aa. Madde ve enerji dengeleri, akışlardaki sıcaklık, yoğunluk ve spesifik ısı v.b. değişkenleri açıklar.

17. Jenson, V. G. , Jeffreys, G. V. -a. g. e.

- ab.Elementel süreç denklemleri, Kimyasal reaksiyonları kapsar.
- ac.Çeşitli değişkenler arasındaki kuramsal, yarıdeneysel ve deneysel ilişkilerin kurulması, Süreç değişkenlerinin üzerindeki limitleri kapsar.
- b.Diğer bir uç "kara kutu" denilen modellerdir.Bu model, sistem hakkında ön bilginin mevcut olmadığı durumu yansıtır.
- c.En çok rastlanan durum bu iki uç arasında yer alan sistemin temel yapısı üzerinde bazı bilgilere sahip olmasıdır.
- 4. Modelin çözümü, Doğrusal ve doğrusal olmayan süreçlerin analitik çözümünün kompüter yardımıyla sayısal yöntemlerle yapılmasıdır.
- 5. Modelin değerlendirilmesi, Modelin ve verilerin karşılaştırılması¹⁸.

Sürecin işleme koşulları temel olarak şöyle incelenebilir:

Sürecin matematiksel modelini ortaya koymak için fizik ve kimyanın temel yasalarından yararlanılır.

Örneğin, kütlenin ve enerjinin sakınımı yasasından hareketle bir sistemdeki kütle ve enerjiye ilişkin değişmeler, sistemin kararlı oluşuna göre şöyle tanımlanır^{19,20}.

-
- 18. Seinfeld, J. H. ,Lapidus,L. -Mathematical Methods in Chemical Engineering, Vol. 3, Process Modeling, Estimation and Identification, Prentice-Hall, Inc.Englewoods, Cliffs, 1974.
 - 19. Catalbas, İ. -Sıvı Stokiyometri, Endüstride Kütle ve Enerji Hesaplamaları, İnkilap ve Aka Kitabevi, İstanbul, 1972.
 - 20. Jenson, V. G. ,Jeffreys, G. v. -a.g. e.

Kararlı Süreçlerde madde dengesi

$$0 = \begin{array}{cccc} \text{Sistemin} & \text{Sistemin} & \text{Sistemin} & \text{Sistemin} \\ \text{Girdileri} & - \text{Çıktılar} & + \text{Ürettikleri} & - \text{Tukettikleri} \end{array}$$

dir. Veya sistem içinde üretim ve kullanım yoksa

$$\text{Girdi} = \text{Çıktı}$$

dir.

Diğer taraftan sistemin enerji dengesi

$$0 = \begin{array}{cccc} \text{Sistem Boyunca} & \text{Sistemden} & \text{Sistemin} & \text{Sistemin} \\ \text{Sisteme Transfer} & - \text{Çıkan} & + \text{Ürettiği} & - \text{Tukettiği} \\ \text{Edilen Enerji (G)} & \text{Enerji (Ç)} & \text{Enerji (Ü)} & \text{Enerji (T)} \end{array}$$

şeklinde ifade edilebilir.²¹

1.5. KİMYASAL SÜREÇLERDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ OPTİMİZASYON

Süreç mühendisliğini de kapsayan çeşitli alanlardaki birçok karar problemi, Sistem Analizi ve tasarımı çatısında yer alan optimizasyon problemleri olarak formüle edilmiştir. Son 20 yılda büyük veya küçük ölçekli sistemler için optimizasyon problemleri, Doğrusal Programlama Yöntemi veya Direk Arama Tekniği gibi doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak çözülmüşlerdir. Bu optimizasyon yöntemleri, genellikle tekil amaçlı fonksiyonun formülasyonu ve bu fonksiyonun önceden belirlenmiş kısıtlar setine göre amaç fonksiyonunun optimizasyonundan oluşur. Süreç mühendisliğinde süreç sistemlerinin optimal tasarımı tek

21. Schrage, R.W., -Optimizing A Catalytic Cracking Operation
the Method of Steepest Ascent, Op. Res. Vol. 6, NO. 4, July,
1958.

amaçlı optimizasyon problemi olarak incelenmiştir. Bununla birlikte büyük ölçekli süreç sistemlerinin performansı, ekonomik yeterlilik, süreç çizgi kontrol performansı, çevre kirliliği kontrol performansı ve güvenilirlik performansını kapsayan bir dizi kriterle değerlendirilir. Bu kriterler, genellikle bir diğeri cinsinden ölçülemez olduğundan skaler değerli bütün performans kriterlerinin toplam olarak formüle edilmesi mümkün değildir. Bunun için çoğu kez ekonomi kriterleri, tek amaçlı olarak ele alınır, diğer kriterler eşitsizlik şeklinde gösterilir. Bununla birlikte çevresel kalite, güvenilirlik ve süreç sistemleri gibi ekonomik olmayan performans kriterinin önemi gittikçe artmaktadır. Bunun için süreç mühendisliğinin bir hedefinin gerçekleştirilmesi için süreç sistem analizi, içinde iki veya daha fazla ölçülemeyen amacın aynı anda yer aldığı çok amaçlı optimizasyon problemleri ile ilgilenmiştir²².

Bir kimyasal süreç sistemi genellikle bir dizialt sistemden oluşur. Bunlar, Süreç Alt Sistemi, Kontrol Alt Sistemi ve Devreye Alma Alt Sistemi'dir. Her alt sistem birbirine bağlı bir alt sistemden oluşur. Bu alt sistemler ve aşamalar Şekil 1.4. de görüldüğü gibi çok aşamalı hiyerarsik yapıyı oluşturur. Çünkü her alt sistemin amacı diğer alt sistemle ilişkili olup, birbirleriyle çatışabilir durumda olabilir. Kimyasal bir süreç sistemi tasarım aşamasına kadar her amaç tek tek veya ayrı ayrı olarak değerlendirildiğinde sistemin amacı değerlendirilmiş olunmaz. Bunun için bütün amaçlar eş zamanlı olarak optimize edilmemelidir²³.

22. Takama,N. ,Umeda,T. , -Multi-Level,Multi-Objective Optimization in Process Engineering,Chemical Engineering Science Vol.36,1980,S.129-136.

23. Takama,N. ,Kuriyama,T. ,Nilda,K. ,Kinoshita,A. ,Shiroko,K. , Umeda,T. , -Optimal Design of a Processing System,Chemical Engineering Process,1982,S. 89-90.

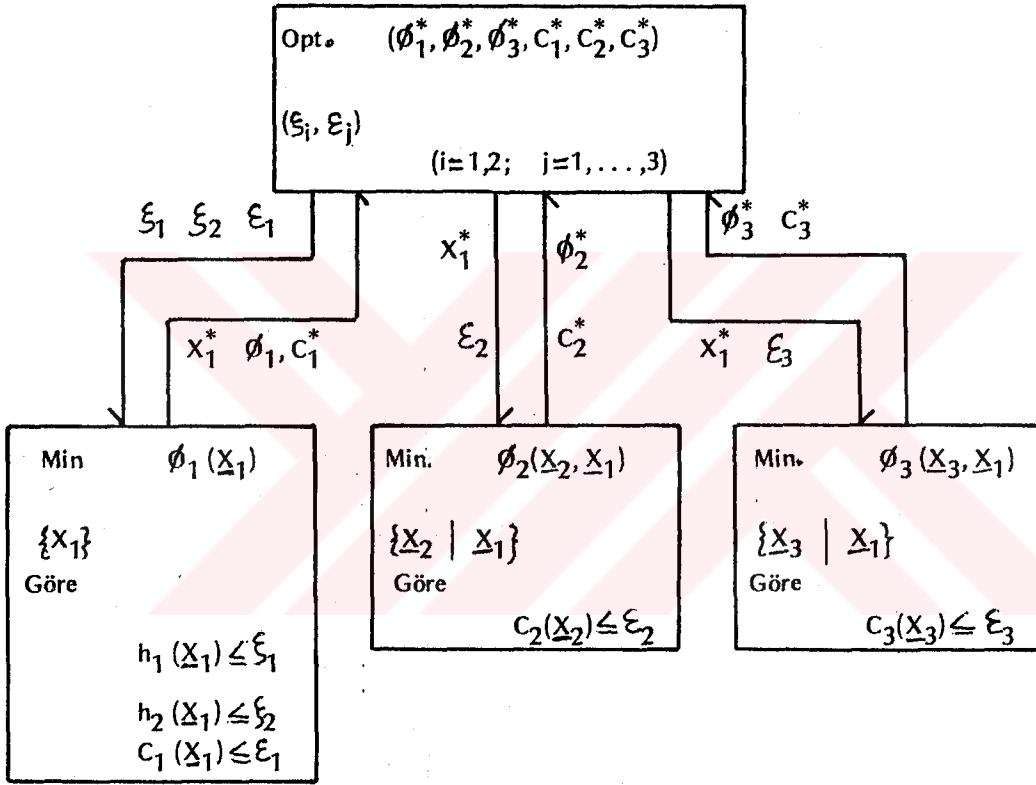
Kimyasal süreçlerde diğer bir durum da, birden fazla ürünün söz konusu olduğu kimyasal süreç ve ilaç endüstrisinde bir çok imalat yerinin ve ürün gönderme noktası için çok zaman periyodlu planlama ufkunda çok amaçlı model kullanılmasıdır. Bu amaçlar, toplam maliyetin istenen düzeyinden sapmaların minimizasyonu, nihai envanter için hedef düzeyinden sapmaların minimizasyonu, çeşitli ünitelerde üretilmiş ürünlerin, yani belirli rotalar (yollar) üzerinde gönderilecek ürünlerin istenen düzeyden sapmalarının minimizasyonu şeklindedir²⁴.

Bir süreçleme sisteminde optimal tasarımın yapılmasında sistemin performansı ekonomik, denetlenebilirlik, çalışabilirlik ve diğer ölçütlerle değerlendirilir. Bu ölçütler genellikle ölçülemez, çoğu durumlarda birbirleriyle çatışır olduklarından süreç mühendisliği belirli amacı başaracak şekilde çok amaçlı optimizasyon problemleri ile ilgilenir.

Bir süreçleme sistemi, genellikle süreçleme alt sistemi, kontrol alt sistemi, devreye alma (başlatma) gibi bir dizi alt sistemi kapsar. Bir süreçleme sisteminin tasarımı bu alt sistemlerin birbirine bağlı olduğu birçok aşama (hiyerarsik yapı)dan oluşur (Şekil 1.4.)²⁵.

24. Arthur, J. L., -Multiple Goal Production and Logistics Planning in a Chemical And Pharmaceutical Company, Comput. & Ops. Res., Vol.9, No.2, 1982, s.127-137.

25. Takama, N., Kuriyama, T., Niida, K., Kinoshita, A., Shiroko, K., and Umeda, T. -a. g. e.



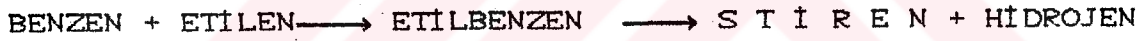
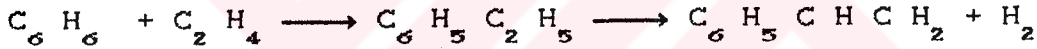
Şekil 1.4. Çok Amaçlı Hiyerarşik Yapı

B Ö L Ü M 2

BİR PETROKİMYA ÜNİTESİ OLARAK STİREN

2.1. STİRENİN PETROKİMYA ÜRÜNLERİ ARASINDAKİ YERİ , TANIMI , ÖNEMİ

Stiren, hem kauçuk hem de plastik üretiminde kullanılan bir petro-kimya ürünüdür. Şekil 2.3. de de görüldüğü gibi hammaddesi, petrol ürünlerinden Naftanın ayrışmasıyla elde edilen Etilen ve Benzenin birleşiminden meydana gelen Etilbenzen'dir. Stiren, Etilbenzenin Dehidrejenasyonu ile elde edilir. Bu işlemlerin kimyasal reaksiyon formülü

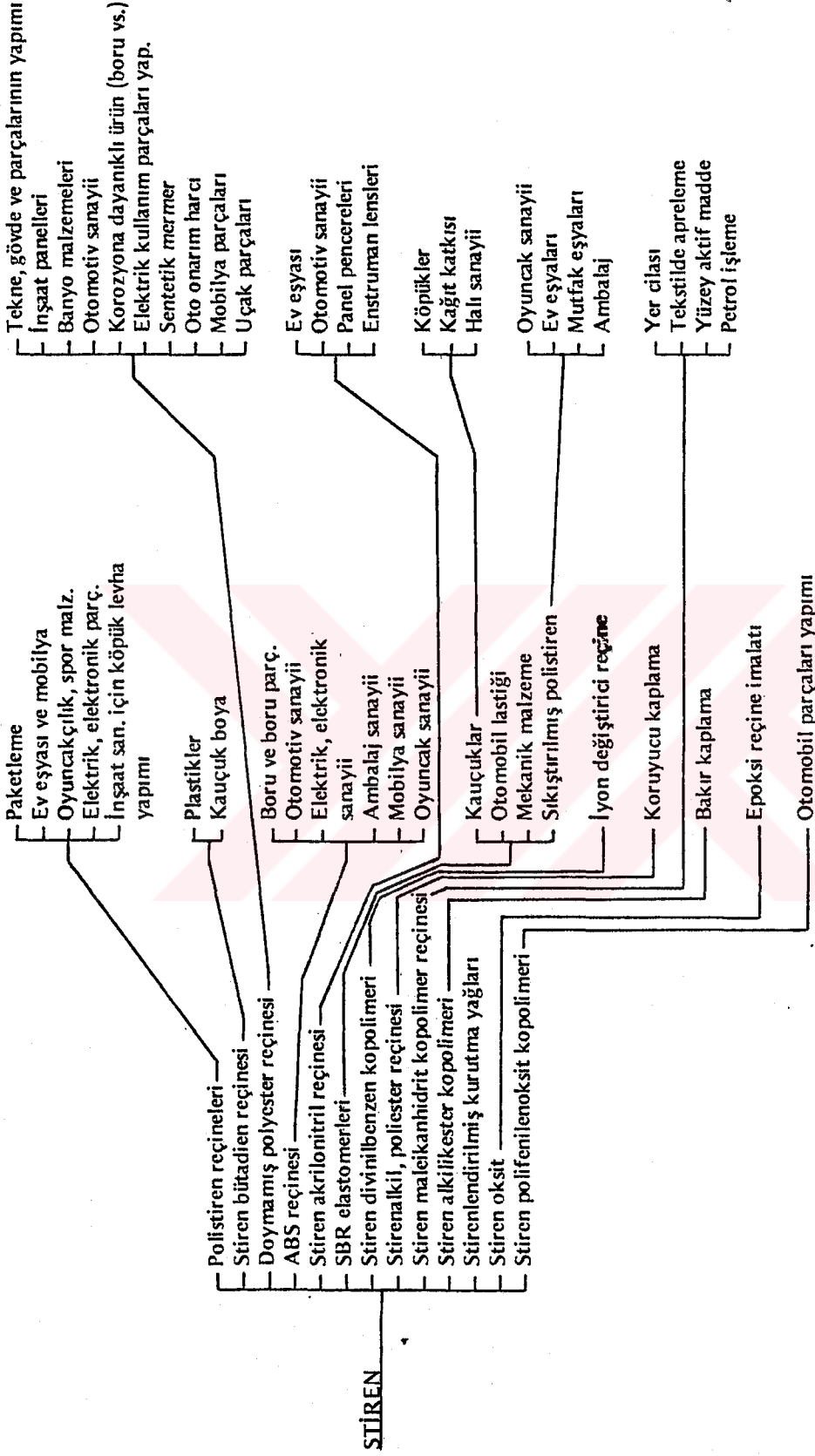


şeklindedir²⁶. Stiren'in dünyada en çok kullanımı polistiren üretiminde olmaktadır (%65). Ayrıca SBR, ABS, Polyester üretimi ve diğer bazı maddelerin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır.

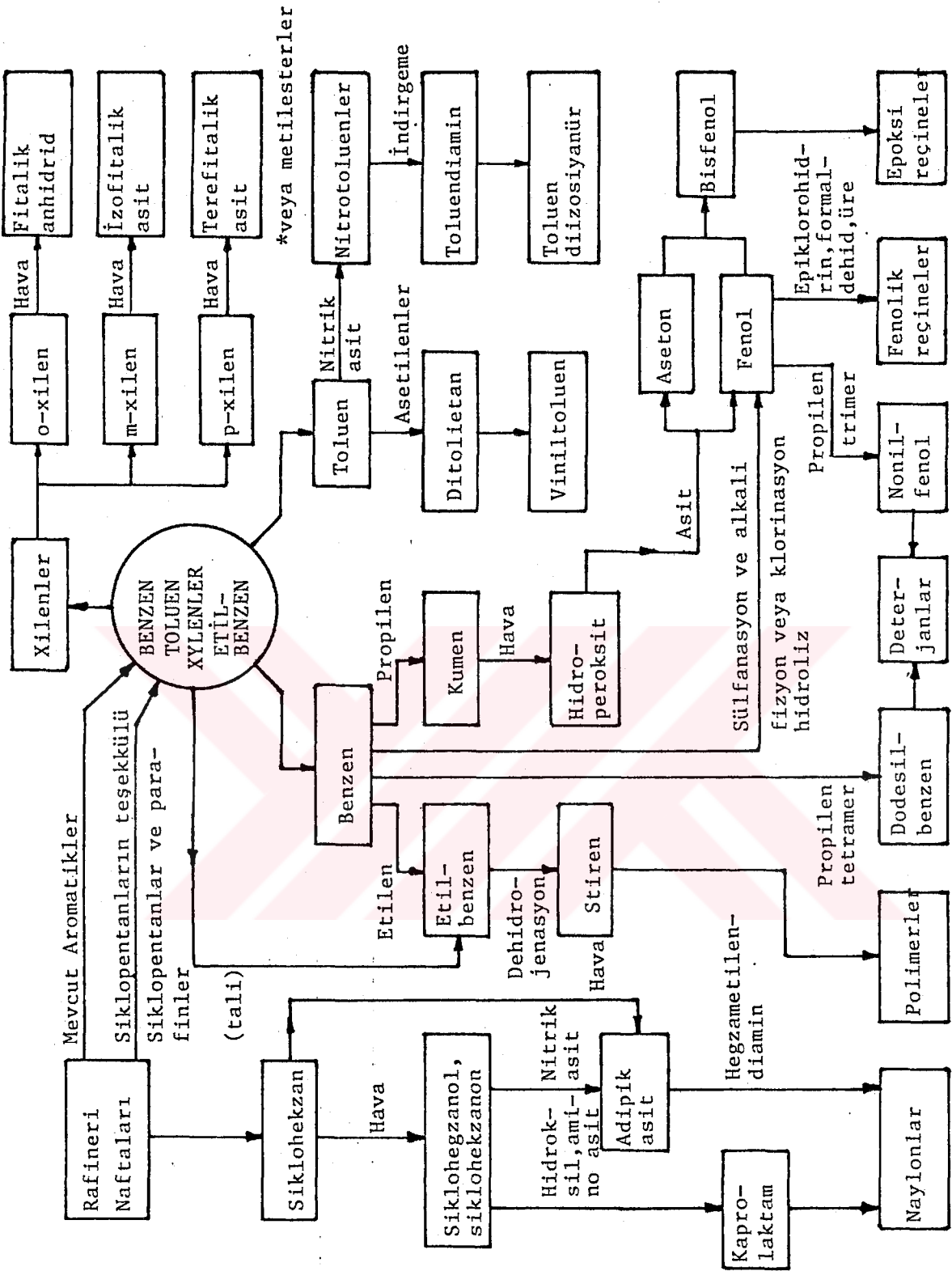
Stiren'in başlıca kullanım yerleri olarak, paketlenme, ev eşyası, mobilya, boru ve boru parçaları, uçak parçaları, otomotiv sanayi, elektronik sanayi, boya sanayi, halı sanayi, sayılabilir. Bu kullanım yerleri ayrıntılı olarak Şekil 2.1. de gösterilmiştir. Diğer taraftan Stiren'in diğer petrokimyasal ürünler arasındaki yeri Şekil 2.2. de, bir petrokimya kompleksine ait akım şeması ise Şekil 2.3. de görülmektedir.²⁷

26. Shereve, R.N., Brink, JR., J.A., -Chemical Process Industries, McGraw-Hill. International Book Company, London, 1977.

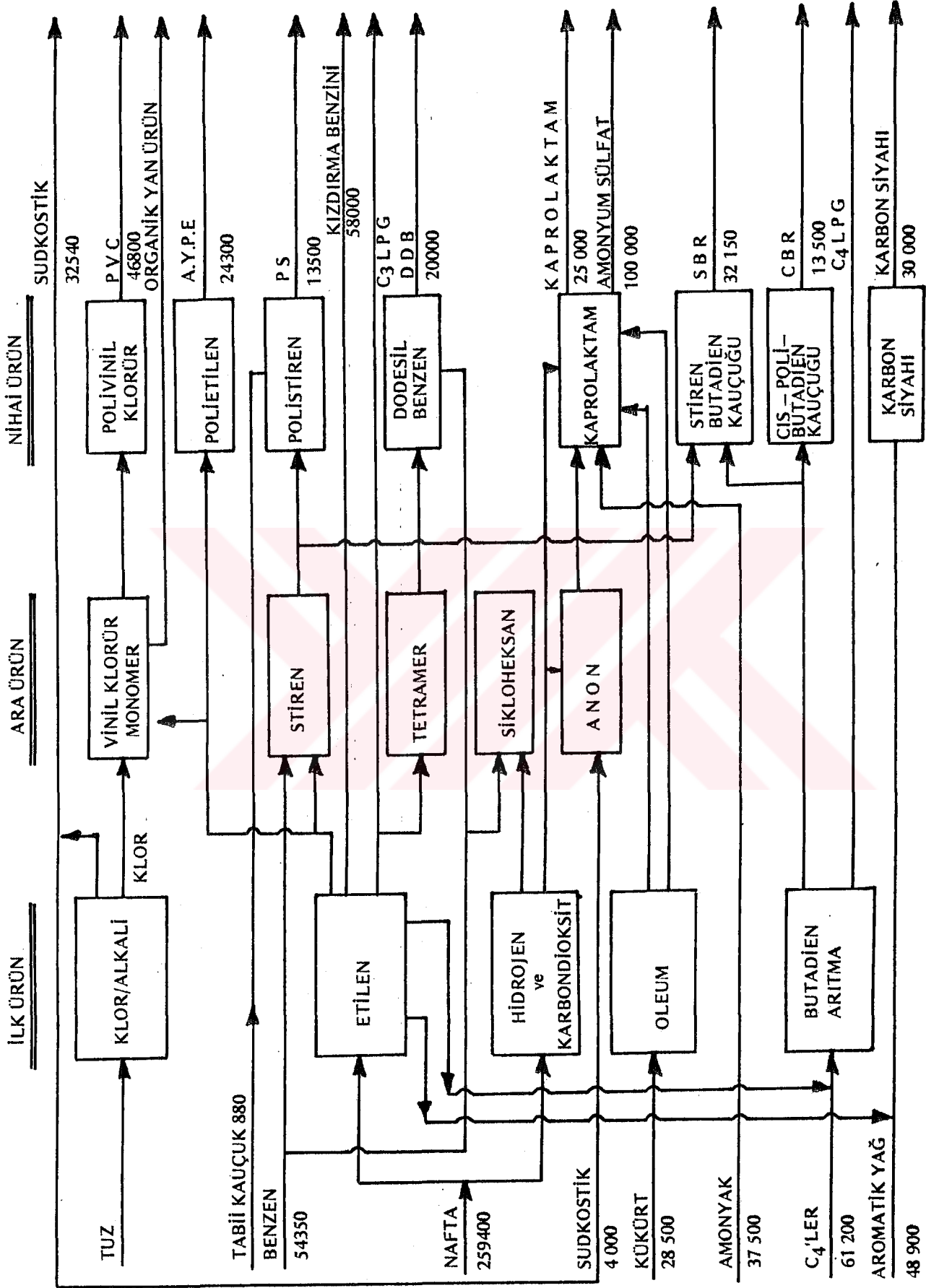
27. Petrokimya, VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ö.i.K. Raporu Ankara, 1990.



Sekil 2.1. Stiren ' in Kullanım Yerleri



Sekil 2.2. Petrokimyasal Maddeler Zinciri



Sekil 2.3. Petrokimya Kompleksi Akım Şeması

2.2. STİREN UNİTESİNDE ÜRETİM VE SÜRECİ KONTROL PROBLEMİ

Fabrikanın Etilbenzen(EB) Kısımında üretilerek depolanan EB, yaklaşık olarak 0.5 kg/cm^2 ve basınçta 600°C sıcaklıkta çalışan reaktörler içerisinde geçirilerek Etilbenzenin yapısındaki bir molekül hidrojen ayrılır. Böylece Stiren teşekkül eder. Bu reaksiyon %100 verimle meydana gelmez. Yani, şarj edilen EB nin hepsi Stiren'e (STR) dönüşmediği gibi, bu arada Benzen(B), Toluen(T) gibi yan ürünler de meydana gelir.*

Dehidrojenasyon Kısımındaki bu reaksiyon sonucunda meydana gelen Stiren'in ve karışımındaki diğer maddelerin birbirinden ayrışması işlemi Saflaştırma Kısımında gerçekleştirilir. Bu karışım, D-204 ayırıcı damının hidrokarbon bölümünden 300 Kolonlarına şarj edilerek vakum altında distilasyona tabi tutulur. C-301 Kolonu tepesinden Benzen, Toluen karışımı ayrılır. C-302 Kolonu tepesinden ayrılan EB tekrar reaktörlere döndürülür. C-302 nin dibinden alınan ürün içindeki polimer ve ağır hidrokarbonlar C-303 kolonu dibinde bırakılarak bu kolonun tepesinden % 99.6 saflıkta STİREN elde edilir.

Bu kısımların günlük ve yıllık hammadde, katkı maddesi, yan ürün ve ürün dizayn değerleri şöyledir:

* Bk. Sayfa 49.

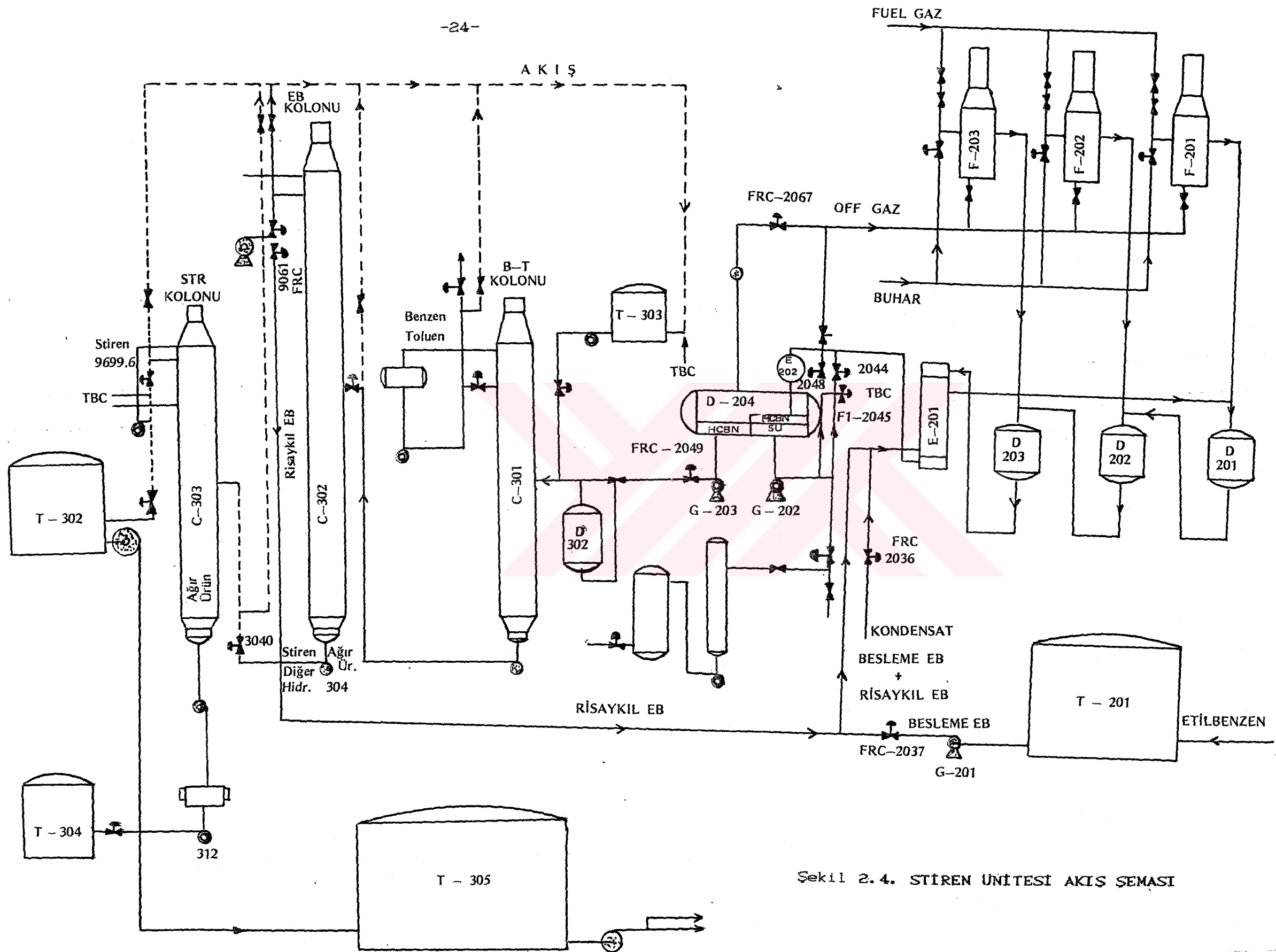
Tablo 2.1. Stiren Unitesi Dizayn Değerleri

T Ü K E T İ M L E R	TON/GÜN	TON/YIL
Etilbenzen (Hammadde -EB)	88.2	29400
Kükürt (Katki -S)	0.3	120
Katbekyağı (Katki -KB)	0.9	320
TBC (Katki -TBC)	0.01	4.8
Ü R E T İ M L E R		
Stiren (Ana ürün-STR)	75.0	25000
BenzenToluen (Yan ürün-BT)	7.2	2400
Off Gaz (Yan ürün-OFG)	3.6	1200
Ağır Ürün (Yan ürün-AÜ)	3.7	1240

Simdi Stiren üretiminin gerçekleştirildiği iki kısmı ayrıntılarıyla inceleyelim: (Şekil 2.4.)

Dehidrojenasyon kısmında en önemli bölümler " 200 Reaktörleri, 200 Fırınları ve 200 Eşanjörleri" dir.

200 Reaktörleri, sırasıyla birbirine bağlı D-201, D-202, D-203 nolu 3 reaktörden oluşur. Herbir reaktör, taban ve tavanı eliptik olan silindirik bir kaptır. Şarj üst flansından girip alt flansından çıkar. Seramik bilya ve katalizin süreç hatlarına kaçmaması ve akışın düzgün dağılması için giriş ve çıkış flansları içerisinde dağıtıcı ve tutucu adı verilen parçalar vardır. Ayrıca alt kısımda iki kataliz boşaltma vanası bulunmaktadır. Her üç reaktörün şekli aynı olmakla birlikte ölçülerinde farklılıklar vardır ve dolum prensipleri aynıdır. Prensip olarak,



En alt bombe kisma.....Büyük seramik bilya
Bunun Üzerine Küçük seramik bilya
Silindirik kisma Kataliz
Katalizin üzerine Küçük seramik bilya
Bunun Üzerine Büyük seramik bilya

konulur. Yaklaşık olarak,

D-201 Reaktörüne 11250 kg SHELL-105 Katalizi
D-202 Reaktörüne 8500 kg CCl-C-97 Katalizi
D-203 Reaktörüne 4500 kg CCl-C-97 Katalizi

yüklenir. Bu sıra aynı zamanda reaktörlerin büyüklük sırasını da verir.

Benzer şekilde 200 Fırınları da F-201, F-202, F-203 şeklinde numaralanır. Kademe kademe artırılmak üzere

F-201 den 3350 kg/s
F-202 den 6200 kg/s
F-203 den 5000 kg/s

buhar geçirilmeye başlandığında sıcaklıklarda meydana gelen değişikliklere göre gereken düzeltmeler yapılır. Buhar akımları kademelerle artırılırken fuel gaz da buna uygun şekilde kademelerle kesilir. E-201 'e verilen fuel gaz EB sarjına kadar devam eder. Fırın sıcaklıkları 60°C hızla artırılmaya devam edilir. Fırınlardan buhar geçirilmeye başladığında T1-2122, T1-2128 ve T1-2134 sıcaklıkları 750°C ye kadar çıkarılabilir. 3.Reaktör çıkış sıcaklığı (T1-2033)

400°C olduğu zaman 1.Reaktör giriş sıcaklığı 250°C nin altına düşürmemek şartıyla FRC-2036 Kondensat akımı 3 birim olacak şekilde başlatılır. Fırın sıcaklıkları artırılmaya devam edilir. Reaktörlerin giriş-çıkış sıcaklıkları 590°C olduğu zaman reaktörler EB şarjına hazırlanmış demektir.

Önce T-201 tankı su dreyni için kontrol edildikten sonra G-201 pompası devreye alınarak EB şarjı FRC-2037, 2.5 birimde başlatılır. EB, E-201 den geçtikten sonra 560°C ye kadar ısıtılır. Daha sonra F-201 den gelen kızgın buharla karışarak (en fazla) 630°Cye kadar ısınır. EB şarjı başladıktan sonra reaktörlerin giriş sıcaklıkları 570°C nin altına düşmemelidir. Şarj başladıktan sonra reaktörlerin giriş sıcaklıklarına dikkat edilerek fırın sıcaklıklarında gerekli düzeltmeler yapılır. Reaktörlere EB şarjı başlamadan az önce FRC-2048 akımı içerisine F1-2045 skalası tam ortada olmak üzere TBC(Tersiyer Bütil Katekol) akımı verilmeye başlanır. Böylece, takriben 85 ppm verilen TBC, E-202 tüpleri üzerinde toplanacak polimere mani olur. Reaksiyon başladıktan sonra FR-2075 deki gaz akımı artmaya başladığında E-201 'e verilen fuel gaz akımı kademelerle kesilir. D-203 ten takriben 600°C de çıkan ürünler E-201 de kendisi 225°C ye kadar soğurken D-201 reaktörüne girecek şarjı 560°C ye kadar ısıtılır. E-202 girişinden önce FRC-2044 ve FRC-2048 ile 100°C ye kadar soğutulur. Bu ürünler E-202 de 38°C ye kadarsoğuyarak D-204 dramının su tarafına dökülürler. EB şarjı başlayıp D-204 ün su tarafında seviye birikmeye başladığında LC-2059 un çalışması yakından kontrol edilerek seviyeyi doğru kontrol

ettiği görülmür. Bu kontrol gerektiği şekilde yapılmazsa Hidrokarbon tarafına su kaçma ihtimali veya su tarafına Hidrokarbon akma tehlikesi vardır. D-204 deki Hidrokarbonlar ile F-200 fırınlarına verilen buharın yoğunlaştırılması (kondansesi) ve FRC-2036 dan gelen kondensatın birbirinden ayrılması şu şekilde olur:

Kondensat, hidrokarbonlardan ağır olduğu için D-204 ün su tarafının altında birikir. Biriken su seviyesi kontrol seviyesinden daha da arttığı zaman kontrol vanası açılarak su bir kısmını akıtır ve seviyeyi sabit bir değerde tutar. Hidrokarbonlar ise sudan hafif olduğundan suyun üzerinde birikir. Dramın içindeki perdeden taşıdığı zaman hidrokarbon bölmesine dökülmür. Buradaki seviyeye göre de G-203 pompası ve FRC-2049 akımı ile D-302 den geçerek C-301 'e şarj edilir. Böylece T-201 tankından alınan EB ile C-302 EB kolonunun tepesinden gelen Risaykıl (geridönen) EB karışımı E-201 de ısıtılıp yüksek basınçlı buhar ile birlikte dehidrejenasyon reaktörlerinden geçirilerek 3.Reaktörden çıkan ürün karışımı ısı değiştiricilerde (eşanjörlerde E-201) soğutulduktan sonra D-204 ürün değiştiricisinde yoğunlaşan buhar hidrokarbonlardan ayrılır. Bu hidrokarbon karışımı daha sonra Benzen-Toluen (C-301) Kolonuna gönderilir. Kolona giden besleme akımının bir kısmı kükürt potalarından (D-302) geçirilerek kolona verilir. Böylece sisteme, Stiren'in polimerleşmesini önlemek amacıyla inhibitör (polimerleşmeyi önleyici) olarak kükürt ilave edilir.

Benzen-Toluen Kolonunun tepe ürünü olarak alınan Benzen-Toluen karışımı depo tankına gider. Dipten alınan karışım ise EB Kolonuna (C-302) sarj edilir. C-302 kolonunun tepesinden alınan EB Risaykıl olarak EB dehidrejenasyon reaktörlerine gönderilir. Dipten alınan Stiren Kolonuna (C-303) sarj edilir.

Stiren kolonunun tepesinden Stiren, dip kısmından da buraya biriken Stiren, Polistiren ve Ağır Ürünlerin karışımından meydana gelen dip ürün incelttilerek alınır. Dip ürün, içerisindeki Stiren buharlaştırılarak, geri kazanıldıktan sonra depolanır. Nihai Stiren ürününün içinde kükürt istenmediği için, Stiren kolonuna belirli noktalarda TBC verilir. Stiren ürünü ise soğutulduktan sonra ara tankında (T-302) toplanır. Bu ürün istenilen spesifikasyona sahip ise depo tankına (T-305) gönderilip depolanır. Depo tankındaki Stiren, polimerleşmemesi için 5°C de ve içinde en fazla 13 ppm düzeyinde TBC içerecek şekilde muhafaza edilir.²⁸

Girdiler, genellikle bir tek Çıktının (veya İlave Çıktıların) üretimi için Sürec Değişkenleri içerisinde işlenirler. Bu Çıktının (çıktıların) belirli sayıdaki özellikleri için spesifikasyonları sağlaması gerekir. Her bir Girdinin, içerisinde çalışması gerektiği değerler aralığı ve Sürec Değişkenlerinin çalışabileceği limitler bilinir.

28. Petkim Stiren Ünitesi Raporları, 1981, Yarımcı.

Buna göre problem, içerisinde kısıtlara bağlı Çıktı Özelliklerine göre bütün spesifikasyonları toplayan "Girdi Seviyeleri" ve "Süreç Değişkenleri" bulunan bir çözüm bulmak yada eğer böyle bir çözüm yoksa, bu taktirde sistemle en iyi uzlaşan çözümü elde etmektir.

2.3. KİMYASAL SÜREÇLERDE DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLEME VE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Pratikte karşılaşılan Doğrusal Olmayan Optimizasyon Problemleri içerisinde, Doğrusal kısıtlı ve ikinci dereceden amaç fonksiyonuna sahip kimyasal süreçlerin optimizasyonu karesel programlama ile yapılmaktadır. Bu yapıdaki süreçleri optimize etmek için Kuhn-Tucker Teoreminden yararlanılır. Fakat analitik bir çözüm yöntemi olan bu teknik özel şartlar gerektirir. Oysa, sürekli bir sistemin gerek amaç fonksiyonu gerekse kısıtların derece ve sayısı, ek olarak başlangıç şartları daha çok gradient ve arama yöntemlerini kullanmayı zorunlu kılmaktadır. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar 1958'lere dayanmaktadır²⁹. Daha kapsamlı çalışmalar 1960'larda bilgisayarların gelişmesiyle çok değişkenli ve çok katlı doğrusal olmayan yöntemler hızla kullanılmaya başlamıştır. Bu gelişmeyle, kimyasal süreç endüstrilerinde özellikle de petrol ve petrokimya endüstrilerinde süreçlerin kontrolüne ilişkin çalışmalar da hızlanmıştır. Bu çerçevede, modelleme , modelleme ve

29. Schrage, R.W. -a. g. e.

optimizasyon çalışmaları kontrol işlemlerine yardımcı olmuştur. Bu amaçla, bir çok petrol ve petrokimyasal ünitelerde tasarımdan süreç operasyonlarına kadar matematiksel metodlar daha özel olarak optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Ele aldığımız Stiren Ünitesi için, bir çok ünitelerde kullanıldığı gibi, verilen tasarım değerlerine göre süreç değişkenlerinin madde ve ısı denge denklemlerinden gelen kısıtlar altında kar ve maliyet amaçlı modellerinin doğrusal, dinamik ve doğrusal olmayan programlama tekniklerine göre optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bunlardan, daha çok kullanılan yöntemler Arama ve Gradient Yöntemler'dir.

Konumuzla ilgili olan optimizasyon çalışmalarından bazı örnekleri şöyle özetleyebiliriz:

Griffith-Stewart'ın Yaklaşık Programlama Yöntemi:

Konumuzla ilgili optimizasyon çalışmalarının en önemlilerinden birisi Griffith-Stewart tarafından Sürekli Süreç Sistemlerinin Optimizasyonu için Doğrusal Olmayan Bir Programlama Tekniği geliştiren çalışmadır. Bu çalışmada petrol rafinerisi optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılan bir doğrusal olmayan programlama yöntemini tanıtmaktadır. Yaklaşık Programlama Yöntemi(YPY) adı verilen bu yöntem, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde olduğu gibi, tekrar eden doğrusal programlama algoritmasını kullanan türevsel bir tekniktir.

1959 ların başında ilk olarak, 7 doğrusal olmayan, yaklaşık olarak ta 80 doğrusal değişkenle, 10 tanesi doğrusal olmayan 45 kısıttan oluşan pratikteki bir problemin çözümüne uygulanmış olup, bu problem IBM 650 sisteminde çözülmüştür. Diğer bir uygulama ise Shell Oil Company's Houston Rafinerisindeki sürekli tekrarlanan temel işlemlerin çözümünde olmuştur. Bu problem, yaklaşık 30 doğrusal olmayan değişken ile 100 ün üzerinde doğrusal olmayan kısıttan oluşmakta olup, IBM 704 sisteminde çözülmüştür. Yegane çözüme yaklaşım sağlamada problemin YPY ile çözümü için iç bükey kısıt uzayı, dış bükey hedef fonksiyonu ve 1. mertebe kısmi türevlerin sürekli olması gibi gerek şartlar bir araya getirilmiştir. Bununla birlikte fiili çalışmada problemler bu yöntemle gerek şartların tamamı sağlanmadan çözülmüştür. Kısıt uzayındaki eğrinin doğrusal olmayan yapıya sahip olması en önemli deneyimdir. Maalesef, bir rafineri sürecini temsil eden fonksiyonlar bu yapıdadır. Böylece şu görülmektedir ki, bir petrol rafinerisindeki benzer bir ünite bulunan herhangi bir doğrusal olmayan programlama problemi formüle edilebilir ve bu problem YPY ile çözülebilir.

YPY Yönteminin Matematik Tanımı:

Bir Doğrusal Olmayan Programlama Problemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{Maks. (Min.) } G = \sum_{j=1}^n C_{1j} x_j + g_1(y_1, y_2, \dots, y_k)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + g_1(y_1, y_2, \dots, y_k) = b_i, \quad i=2, 3, \dots, m$$

$$L_i \leq y_i \leq U_i, \quad i=1, 2, \dots, k$$

ve $x_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, n$

kısıtlarına göre G amaç fonksiyonunun Maksimize (minimize) edilmesidir. Burada, a, b, c, L ve U lar sabitler,

x ler doğrusal ifadelerle ilgili değişkenler,

y ler en az birisi doğrusal olmayan ilişkilerle ilgili değişkenlerdir.

g fonksiyonları ise genellikle doğrusal olmayan yapıda düzenlenirler.

Mutlaka gerekli olmamasına rağmen $L_i \leq y_i \leq U_i$ kısıtları genellikle vardır.

Problem şimdi, $x_i = 0, y_i = y_i^c$ noktası civarındaki bölgede Taylor Serisine açılarak buradaki yüksek mertebeli terimlerin ihmal edilmesiyle doğrusallaştırılabilir. Böylece doğrusallaştırılmış form aşağıdaki gibidir:

$$\text{Maks. (Min.) } G = \sum_{j=1}^n C_{1j} x_j + g_1(y_1^0, y_2^0, \dots, y_k^0) \\ + \sum_{j=1}^k (y_r^0 - y_r^0) \frac{\partial g_1(y_1^0, y_2^0, \dots, y_k^0)}{\partial y_r}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + g_1(y_1^0, y_2^0, \dots, y_k^0) \\ + \sum_{j=1}^k (y_r^0 - y_r^0) \frac{\partial g_1(y_1^0, y_2^0, \dots, y_k^0)}{\partial y_r} = b_i$$

$$i=2, 3, \dots, m$$

$$L_i \leq y_i \leq U_i, \quad i=1, 2, \dots, k$$

ve $x_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, n$

Burada

$$\partial g_1(y_1^0, y_2^0, \dots, y_k^0) = v_i$$

ve $\frac{\partial g_1(y_1^0, y_2^0, \dots, y_k^0)}{\partial y_r} = w_{ij}$

sabitlerle, $(y_i - y_i^0) = \Delta y_i$ olsun.

Simdi, ilgili ifadeler aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$\text{Maks. (Min.) } G-V_1 = \sum_{j=1}^n C_{1j} X_j + \sum_{r=1}^k W_{1r} \Delta y_r$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + \sum_{r=1}^k W_{ir} \Delta y_r = b_i - v_i, \quad i=2,3,\dots,m$$

$$L_i - y_i^0 \leq \Delta y_i \leq U_i - y_i^0, \quad i=1,2,\dots,k$$

$$\begin{array}{lll} \text{Şimdi} & \Delta y_i > 0 & \text{olduğu zaman} & \Delta^+ y_i = \Delta y_i \\ & \Delta y_i < 0 & \text{olduğu zaman} & \Delta^- y_i = -\Delta y_i \end{array}$$

olsun. Bunlar bir üstteki ifadede yerlerine konularak

$$G-V_1 = \sum_{j=1}^n C_{1j} X_j + \sum_{r=1}^k W_{1r} \Delta^+ y_r - \sum_{r=1}^k W_{1r} \Delta^- y_r$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + \sum_{r=1}^k W_{ir} \Delta^+ y_r - W_{ir} \Delta^- y_r = b_i - v_i, \quad i=2,3,\dots,m$$

haline gelir. Şimdi $X_j \geq 0$ 'a aşağıdaki kısıtlar eklenebilir:

$$p_i \Delta^+ y_i + q_i \Delta^- y_i \leq m_i, \quad i=1,2,\dots,k$$

$$\text{Burada } p_i = \text{Maks} \left(1, \frac{m_i}{U_i - y_i^0} \right),$$

$$q_i = \text{Maks} \left(1, \frac{m_i}{y_i^0 - L_i} \right),$$

ve m_i ise probleme tekrar yaklaşım yapmadan önce hareket için izin verilen maksimum uzaklıktır. Diğer taraftan eğer $\Delta^+ y_i$ ve $\Delta^- y_i$ 0 'a yaklaşırlarsa bütün ifadelerde $(U_i - y_i^0)$ ve $(y_i^0 - L_i)$ de 0 'a yaklaşırlar. Problem şimdi doğrusal programlama algoritması ile çözülebilen bir forma gelmiş olur.

Bu yöntemi aşağıdaki örnek üzerinde görmek istersek:

$$\begin{aligned} \text{Maks. } G &= 2x + y \\ x^2 + y^2 &\leq 25 \\ x^2 - y^2 &\leq 7 \\ x &\geq 0 \\ y &\geq 0 \end{aligned}$$

Problemin açık olan çözümü $(x_0, y_0) = (4, 3)$ ile iki doğrusal olmayan kısıtın arakesitidir. Bu probleme YPY ni uygulayabilmek için doğrusal olmayan kısıtlar Taylor Açılımındaki 1.mertebe terimler alınmak suretiyle dönüştürülerek

$$F(x, y) = F(x_0, y_0) + (x - x_0) \frac{\partial F(x, y)}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial F(x, y)}{\partial y}$$

elde edilir. Daha kolay anlaşılması açısından Δx ve Δy $(x - x_0)$ ve $(y - y_0)$ kullanılmıştır. Böylece (x_0, y_0) noktası civarında Taylor Açılımının uygulanmasıyla şu Genel Doğrusal Programlama Problemi elde edilir:

$$\begin{aligned} G &= 2(x-x_0) + (y-y_0) + 2x_0 + y_0 \\ 2x_0(x-x_0) + 2y_0(y-y_0) &\leq 25 - x_0^2 - y_0^2 \\ 2x_0(x-x_0) - 2y_0(y-y_0) &\leq 7 - x_0^2 + y_0^2 \\ x &\geq 0 \\ y &\geq 0 \\ -1 &\leq x - x_0 \leq 1 \\ -1 &\leq y - y_0 \leq 1 \end{aligned}$$

Bu problemin 4 aşama sonucundaki çözümü,

$$\begin{aligned} (x_0, y_0) &= (3.993, 3.025) \\ G &= 11.011 \end{aligned}$$

şeklindedir. Bu çözümün olurlu bölge içerisinde olduğu görülmektedir.³⁰

PLİSKİN VE RZAEV'İN "Stiren Üretimi'nin Optimal Kontrolü İçin Matematik Model ve Algoritma" Üzerine Yaptığı Çalışma:

Pliskin ve Rzaev tarafından 1968 yılında yapılan bu çalışmada optimal kontrol amacıyla sentetik kauçuk fabrikalarının birisindeki Stiren üretimi için bir matematik model kurulmuştur. Kompleksin çalışma şartlarının optimizasyonu iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada kompleksin alt sistemlerinin optimum çalışma şartları bulunur. İkinci aşamada ise dinamik programlama yöntemleri kullanılarak reaktörlerin çalışma şartları belirlenir. Sonuçlar, endüstriyel hedefin modelleme ve optimizasyonu için verilmiştir.

30. Griffith, R.E., Stevart, R.A.- A Nonlinear Programming Technique for The Optimization of Continuous Processing Systems, Management Science, Vol.7, pp.379-392, 1961.

Stiren üretimini gerçekleştiren ünite dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde Benzen ile Etilen'in alkilasyonunun olduğu paralel iki reaktör bulunmaktadır. Bu reaktörlerin girişinde Benzen karışımı ve ikinci bölümde ise benzen ve polialkilbenzen ile gaz durumundaki etan-etilen karışımı yüklenir. Reaktörlerden arzu edilen Etilbenzen ürünü ile benzen oranı değişmeyen izopropilbenzen, polialkilbenzen ve diğer bir karışım elde edilir. Reaktörlerden aynı zamanda içerisinde çok küçük miktarda etilen bulunan etan gazı da elde edilmektedir. İkinci bölümün saflaştırma kolonlarında bileşenler içerisindeki alkileyltlerin ayırımı yapılır. Ayırıştırılmış Etilbenzen 3. bölüm olan Dehidrejenasyon Bölümüne gönderilir. Bu bölümde dört paralel reaktör vardır. Reaktörlerin girişinden etilbenzen yüklenir. Bu reaktörlerde oluşan reaksiyonlar sonucundaki karışım ayırıştırma kolonlarında bileşenlerine ayırıştırılarak elde edilen etilbenzen 3. bölüme, üretilmek istenen Stiren ürünü kauçuk üretiminin gerçekleştiği polimerizasyon kısmına, benzen ve yan ürünler ise ticari ürün olarak ilgili depolara gönderilmektedir.

Kompleks bir zincir yapısına sahiptir. Buna göre problemin formülasyonu:

$$U(t), p=1,2,\dots,s, 0 \leq t \leq T$$

değerlerini bulmak için

$$Q = \sum_{p=1}^s q_{T,p} = \sum_{p=1}^s \int_0^T q(t) \cdot dt = \max$$

ölçütü alınarak

$$\begin{aligned} X_{p+1}(t) &= F_p(X_p(t), U_p(t), Y_p(t)), \\ Y_p(t) &= \Phi_p(X_p(t), V_p(t)) \end{aligned}$$

ifadeleri kullanılmıştır.

Burada $X_{p+1} = (x_1, x_2, \dots, x_n)_{p+1}$ p. alt sisteme ait, çıktı ürünlerinin nicel ve nitel değerlerine ait belirleyici vektörlerdir. $(p+1)$. alt sistemi takip için toplam veya kısmi girdi; $Y_p = (y_1, y_2, \dots, y_n)_p$ p. alt sistemin durumunu belirleyen belirleyici vektördür. $U_p = (u_1, u_2, \dots, u_r)_p$ p. alt sistemin faaliyetlerinin kontrol vektörüdür. $q_p(t)$ p. alt sistemin ölçüt değeri, T ise kompleksin faaliyeti sırasında geçen süredir.

Stiren Üretiminin optimizasyonu olarak ele alınan problemde alt sistemlere yapılacak yükleme 2. alt sistemin dehidrejenasyon bölümünde belirlenir. Alt sistemlerin optimizasyonu ile tüm sistemlerin optimizasyonu gerçekleştirilmiş olur. Kompleks paralel bir yapıya sahiptir ve bu kompleks ile ilgili problemin formülasyonu aşağıda verilmiştir:

$$U_p(t) \text{ ve } V_p(t), \quad p=1,2,\dots,s, \quad 0 \leq t \leq T$$

vektörlerini, yukardaki Q ifadesi ekstremuma sahip olacak şekilde, ve

$$\begin{aligned} X_p(t) &= E_p(V_p(t), U_p(t), Y_p(t)), \\ Y_p(t) &= \Phi_p(V_p(t), U_p(t), Y_p(t)) \end{aligned}$$

$$V_{OL} \leq V_o(t) = \sum_{p=1}^s V_p(t) \leq V_{OU}$$

$$V_p \in \Omega(V_p), \quad U_p \in \Omega(U_p)$$

ifadeleri altında bulunuz. Burada $V_o = (v_1, \dots, v_r)_o$ madde ve enerji akışlarının başlangıç vektörüdür. $V_p = (v_1, \dots, v_r)_p$ p. reaktöre ait madde ve enerji akışları vektörüdür, $X_p = (x_1, \dots, x_n)_p$ p. vektörün çıktı ürünlerinin nicel ve nitel değerlerinin belirleyicileri olan vektördür. V_{OL} , V_{OU} sırasıyla V_o vektörünün alt ve üst limitlerini gösterirken, $\Omega(V_p)$, $\Omega(U_p)$ ise değişkenlerin tayin edildiği bölgelere karşılık gelir.

Katalizör çalışma periyodunda reaktörlerin matematik modelini elde etmek için 20-30 günlük çalışma süresi aralıklara bölümlendirilmiş ve bu aralıkların herbirinin oluşumu

$$\begin{aligned} X(k) &= b_o(k) + b_1(k) U_1(k) + b_2(k) U_2(k) + b_{12}(k) U_1(k) U_2(k) \\ &\quad + b_{11}(k) U_1^2(k) + b_{22}(k) U_2^2(k) \end{aligned}$$

modeli ile gerçekleştirilir. Burada, x çıktı olan Stiren'in yüzde ağırlığını, U_1 reaktör sıcaklığını, U_2 reaktördeki hammadde verimini, ve k aralık istasyon sayısını

göstermektedir. Yukardaki denklemin katsayıları, reaktörlerden toplanan datalara regresyon analizi yöntemleri uygulanarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada ϵ hata kareler ortalaması % 3-5 dir.

Benzer şekilde, süreçlerin kinetik denklemleri

$$\ln \frac{1}{1-x} = \frac{k_0}{U_2^{k_1}} e^{-\frac{E}{R(U_1+23)}}$$

olarak tanımlanır. Burada k_0, k_1 katsayılar, E aktivasyon enerjisi, R ise gaz sabitidir. Yukardaki ifadedeki sabitler hesaplanarak

$$k_0 = 46.15, k_1 = 0.0588, E/R = 3515$$

elde edilmiştir. $X(t)$ ifadesi sadeleştirilerek

$$X(t) = b_0(t) + b_1(t) U_1 + b_{11}(t) U_1^2$$

haline getirilir. Buradaki b_1, b_{11} katsayıları tahminlenerek

$$b_{11}(t) = 1.84 t^{1.309} e^{-0.0165t} 10^{-4}$$

$$b_1(t) = -0.30 - 0.91 t^{1.309} e^{-0.0165t}$$

elde edilir. Stiren eldesi için gerçekleştirilen dehidrojenasyon sürecinin modeli

$$X(t) = b_0 + (0.30 - 0.91 t^{1.309} e^{-0.0165t}) U_1 \\ + 1.84 t^{1.309} e^{-0.0165t} 10^{-4} U_1^2$$

olarak tanımlanır. Böylece kurulan modele dinamik programlama yöntemi uygulanarak U_p, V_p ($p=1,2,3$) nin optimal değerleri hesaplanmış

$v_0 = 8800$ için $v_1^* = 2200$, $v_2^* = 2200$, $v_3^* = 4400$ elde edilmiştir.

Bu sonuçlar, endüstriyel şartlar altında yapılan deneysel sağlamalar, bilinen optimal kontrol kanunundan Stiren çıktısının ortalama olarak % 3 arttığı görülmüştür. Bu sonuçların bazı Stiren üretim kontrol unitelerinde kullanıldığı belirtilmektedir.³¹

SHELL ve CROWE ' UN "Bir Etilbenzen Dehidrejenasyon Reaktörünün Simülasyon ve Optimizasyonu"

Uzerine Yaptığı Çalışma:

Bu çalışmada, Stiren üretimi için Etilbenzen'in Dehidrojenasyonu sürecinin gerçekleştiği adyabatik bir reaktörün modellenmesi ele alınmıştır. Modelleme işleminde diferensiyel denklemler kullanılarak IBM 7040 sisteminden yararlanılmıştır.

Burada, süreç değişkenlerinin çeşitli kombinasyonları için kazanç/saat (\$) şeklinde bir kar fonksiyonu seçilmiş, tek yataklı reaktör Rosenbrock Yöntemi ile optimize edilmiştir. Aynı çalışma iki yataklı reaktör için de gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sırasında katalistin çözünümü ele alınmamıştır.

31. Pliskin, L.G., Rzaev, T.G. - Mathematical Model And Algorithm for Optimal Control of Styrene Production, Translated from Avtomatika i Telemekhanika, No. 11, pp.160-171, November, 1968.

Etilbenzen'in dehidrojenasyonu dışardan ısı alan bir yapıya sahip olduğundan mol sayıları artar, yüksek oranda Stiren eldesi için "yüksek sıcaklık, düşük basınç ve benzen veya buhar gibi girdi bileşenlerinin hafifletilmiş olmaları" tercih edilir. Buhar, yalnız ısı ihtiyacını karşılamakla kalmaz, hidrokarbon için gerekli sıcaklığı sağladığı gibi, diğer taraftan karbon teşekkülünü de önler.

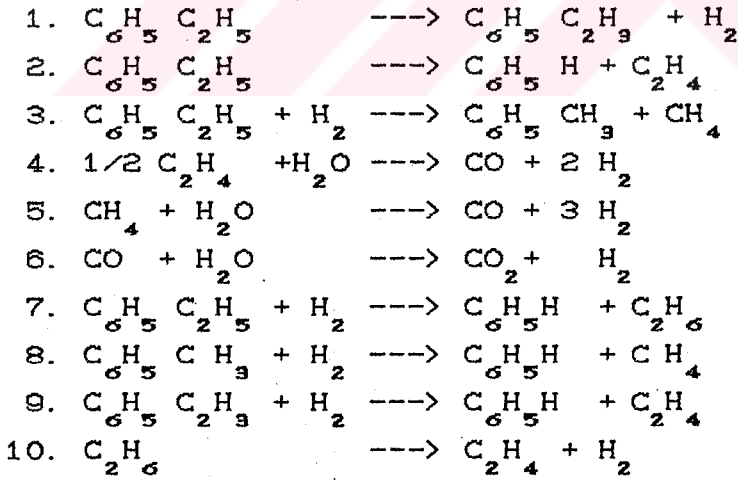
Ana reaksiyonun karlı dönüşümünün gerçekleşmesi için yan ürün oluşumu, özellikle benzen ve toluen düşük tutulmalıdır. Ana reaksiyonun denge dönüşümünün yüksek olduğu yerde çok yüksek sıcaklıkla en iyi işlemler elde edilecektir. Fakat, maalesef yan ürünlerinin teşekkül oranı yüksek sıcaklıkta hızla artar. Öyle ki arzu edilen işlem sıcaklığı Stiren ve yan ürün dönüşümleri arasındaki çatışmayı temsil eder. Dehidrojenasyon katalisti kullanıldığında minimum kenar reaksiyonu ile düşük sıcaklıkta Stiren'in daha hızlı oluşumunu sağlar.

Bu çalışma British American Oil Co. şirketine ait Unitede gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın esasını teşkil eden reaktöre ait ölçüler ve gerçekleşen reaksiyon ile ilgili kısıt değerleri verilmiştir. Bunlardan süreç değişkenleri "basınç, sıcaklık, buhar/hidrokarbon oranı ve yatak derinliği" dir.

Modellemede reaktördeki akışların radyal düzgünlüğe sahip olduğu kabul edilmiş, aksenel dağılma ihmal edilmiş, katalist içerisindeki ısı ve kütle transferi limitlerinin sabit olduğu varsayılmıştır. Fiilen zaman ve yatak

derinliğine göre değişmesine rağmen, katalist aktivitesindeki değişimin sabit olduğu düşünülmüştür. Çünkü gerekli datalar yeterli dereceye sahip uzunluktaki periyoddan elde edilmiştir. Aktivasyon enerjisi, reaksiyon mekanizması ve reaksiyonlar en iyi bir şekilde seçilmiştir. Seçilen datalar setinin, değişebilirlik ve deneysel hatalar nedeniyle bazı sapmalara sahip olabileceği kabul edilmiştir.

Literatür araştırmaları sonucunda 16 mümkün reaksiyonun varlığı ortaya çıkarılmıştır. Ünite datalarını temsil etmek için reaksiyonlar setinin seçiminde, Ünite hassas olarak incelenmek suretiyle bazı reaksiyonlar çıkarılarak set daraltılmıştır. Kalan reaksiyonlar şunlardır:



1. ve 3. reaksiyonların Stiren ve Toluenin oluşumu için gerekli olduğu açıktır. Benzen'in ortaya çıkması için 2., 7., 8. vey 9. dan en az birisi seçilmelidir. 9. 2. ye eşdeğerdir. Çeşitli kombinasyonlar incelendiğinde gerekli

en iyi kombinasyonun 1. den 6. ya kadarki reaksiyonlar olduğu görülmüştür. Etan, propan ve propilen'in çok küçük miktarları ihmal edilmiştir. Söz konusu 6 reaksiyonun tamamının katalitik olarak gerçekleşeceği ve böylece de 1 nolu ana reaksiyona dönüşeceği kabul edilmiştir.

Model Denklemleri ise şu şekildedir:

Her biri bir reaksiyona karşılık gelmek üzere 6 Madde Dengesi bir Enerji Dengesi ve basınç düşüşlerini tarif eden ifade modeli oluştururlar. Bu diferensiyel denklemler aşağıda verilmiştir:

Reaksiyon No	Hız Denklemleri
1	$r_1 = k_1 (P_E - P_S P_H / K_p)$
2	$r_2 = k_2 P_E$
3	$r_3 = k_3 P_E P_H$
4	$r_4 = k_4 P_\pi P_{C_2H_4}$
5	$r_5 = k_5 P_\pi P_{CH_4}$
6	$r_6 = k_6 \frac{-\pi}{T^3} P_\pi P_{CO}$

i=1,2,3 için Madde Dengeleri

$$E_o \frac{dx_i}{dz} = r_i A \rho_B$$

i=4,5,6 için

$$W_o \frac{dx_i}{dz} = r_i A \rho_B$$

dır. Burada x_i ler, sırasıyla etilbenzen veya suya ait i . reaksiyonun oransal dönüşümüdür.

Basınc düşüşlerinin tanımında kullanılan

$$\frac{d\pi}{dz} = \frac{-V(1-\epsilon)}{D_p \epsilon^3 g} \left[\frac{150\mu(1-\epsilon)}{D_p} + 1.75 V_o \rho \right]$$

eşitliği, Ergun Denklemi olarak tanınır.

Enerji Dengesi ise

$$-E_o \sum_{i=1}^3 \Delta H_i \frac{dx_i}{dz} - W_o \sum_{i=4}^6 \Delta H_i \frac{dx_i}{dz} = \sum_{j=1}^6 n_j C_{pj} \frac{dT}{dz}$$

şeklindeki denklemle ifade edilmektedir. Doğrusal denklemler olarak uydurulmuş olan ΔH_i reaksiyon entalpileri,

$$\Delta H_i = a_i + b_i T$$

dir ve kullanılan (a_i, b_i) seti Tablo 1'de verilmiştir. C_{pj} ısı kapasiteleri T nin karesel fonksiyonunun teşkilinde kullanılmıştır. 6 madde dengesinin çözümünde, reaktör girişinde $i=1,2,\dots,6$ için $x_i = 0$ alınarak, 4. mertebeden Runge-Kutta-Gill Integral Yöntemi kullanılmıştır. Sıcaklık ve basınç belirli bir artışın üzerinde sabit tutulmuş ve her bir artışın sonunda

düzeltilmiştir.

Dataların Toplanması, 1966 yılının Nisan, Mayıs ve Haziran aylarına ait 5 günlük periyotta gerçekleştirilmiştir. Bu datalar reaktörün giriş ve çıkışına ait "karışımlar, sıcaklıklar ve basınçlardan" oluşmaktadır.

Model Sabitlerinin Uydurulması:

k_i hız sabitleri, ΔE_i aktivasyon enerjileri seti varsayılarak ve F_i değerlerinin bulunmasında Rosenbrock arama tekniği

$$k_i = \exp(F_i - \Delta E_i / RT)$$

ifadesi vasıtasıyla bulunmuştur. Burada , aromatik bileşenlere ait akış oranlarının tahmin edilen ve fiili değerler arasındaki farkların kareleri toplamının minimize edilmesine çalışılmıştır. Bileşenlerin tamamına ait tahminlenen miktarlar, varsayılan ΔE_i ve F_i setleri ile model denklemleri çözülerek bulunmuştur. Kullanılan ΔE_i ve F_i değerleri ilgili Tabloda görülmektedir. Reaktörlere Giriş Basıncı Besleme Hızı oranının doğrusal bir fonksiyonu olarak

$$\Pi = 1.046 + 4.39 * S$$

şeklinde bulunur. Burada S Karışık Besleme Oranı lb.mol/sn, Π ise atmosfer olarak Basıncı göstermektedir.

Çalışmaya esas teşkil eden değerlerle ilgili tablolar aşağıda görülmektedir:

Tablo 2.2.

$\Delta H_i = a_i + b_i \cdot T$ deki Sabitler		
Reaksiyon	a_i , PCU lb.mol	b_i , PCU/(lb.mol K)
1	28,843	1.09
2	425,992	-1.90
3	-12,702	-3.15
4	19,602	2.11
5	50,460	3.96
6	-10,802	2.50

Tablo 2.3.

FREKANS FAKTÖRLERİ VE AKTİVASYON ENERJİLERİ		
Reaksiyon	ΔE_i , PCU lb.mol	F_i
1	21,708	8.1033
2	49,675	13.2392
3	21,857	0.2961
4	24,838	-0.0724
5	15,697	-2.9344
6	17,585	21.2402

Tablo 2.4.

NİSAN SONUÇLARI (MODEL , FİİLİ)			
	Besleme, lb/saat	Sıvı Ürün, lb/saat	
		Fiili	Model
Etilbenzen	8630.73	4551.22	4450.58
Stiren	153.45	3573.76	3573.64
Toluen	178.74	412.02	412.02
Benzen	18.54	258.25	257.53
Su	18000.00	ölçülemedi	17802.21

Tablo 2.5.

G A Z U R Ü N L E R İ			
	Fiili, Mol %	Model, Mol %	Model
Hidrojen	83.54	85.92	96.41
Metan	2.80	2.91	26.13
Etilen	3.18	1.34	21.01
Karbondioksit	9.28	9.73	240.46
Karbonmonoksit	0.04	0.11	1.70
Diğerleri	1.16	0.0	0.0

Tablo 2.6.

	F i l i l i	M o d e l
Giriş Sıcaklığı (°F)	922.59	922.59
Çıkış Sıcaklığı (°F)	850.00	850.76
Giriş Basıncı (Atm.)	2.37	2.37
Çıkış Basıncı (Atm.)	2.29	2.29

Runge-Kutta-Gill İntegrasyon Yönteminin kullanılmasında sıcaklıklarının en küçük adım büyüklüğü 50 alınarak % 0.3 sapma ile çözüme ulaşılmıştır.

Optimizasyon çalışmasının amacı için belirlenen Kar fonksiyonu,

$$\begin{aligned} \text{Kazanç (\$/saat)} = & \text{Stiren'den Elde Edilen Kazanç} + \text{Fuel Gazdan Elde Edilen Kazanç} \\ & - \text{Buhar Maliyeti} - \text{Yan Üründen Gelen Kayıp} \end{aligned}$$

Tablo 2.7.

Tek Yatak İçin Optimum Arama Sonuçları							
Durum	Değişkenler	Başl. Değ.	Son Değ.	Kısıt	Atm.	ft.	\$/saat
1	Buhar Sıcak. °K	1045	1049.98	<1050	2.37	5.5833	120.45
	" Oranı lb/saat	5000	17999.00	<18000			
2	Buhar Sıcak. °K	1025	1049.54	<1050	2.37	5.5833	120.39
	" Oranı lb/saat	16000	17985.00	<18000			
3	Buhar Sıcak. °K	1100	1063.24	<12000	2.638	5.5833	123.07
	" Oranı lb/saat	5000	21970.70	<30000			
4	Buhar Sıcak. °K	1045	1061.55	<1200	2.638	5.5833	120.09
	" Oranı lb/saat	12000	22470.00	<30000			
5	Buhar Sıcak. °K	1010	1049.85	<1050	2.37	-----	124.66
	" Oranı lb/saat	10000	17997.00	<18000			
	Yatak Der. ft.	7.5	8.19	<10			
6	Buhar Sıcak. °K	1050	1046.21	<1200	2.50	-----	125.87
	" Oranı lb/saat	12000	19570.00	<30000			
	Yatak Der. ft.	5.5833	7.658	<10			
Şimd.	Buhar Sıcak. °K	1027.7	-----	-----	2.37	-----	124.66
İşlem	" Oranı lb/saat	18000	-----	-----			
	Yatak Der. ft.	5.5833	-----	-----			

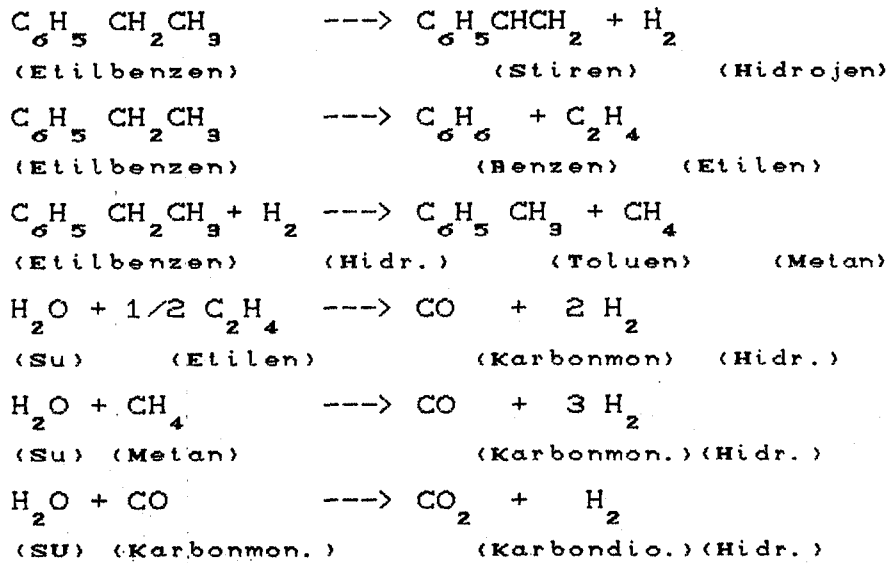
*°K-Kelvin derecesi=°C+273, **1lb=453.6gr, 1 ft.=30.48 cm

Buna göre, etilbenzenin dehidrejenasyonu için fiili Ünite koşullarına ait bir model geliştirilmiştir. Model ve fiili Ünite sıcaklık değerleri arasındaki fark 5°K dan fazla değildir. Bu çalışmalar iki yataklı reaktörler için de yapılarak benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Reaktör Sisteminin 6 karar değişkeni için optimum çalışma şartlarının aranmasında kullanılan yöntem Rosenbrock'un çok değişkenli arama tekniğidir. IBM 7040 sistemindeki her bir optimizasyon işlemi için geçen bilgisayar zamanı 5 ile 20 dakika arasında göstermiştir.³²

CLOUGH ve RAMIREZ'in " Stiren Oluşumu İçin Etilbenzen'in Dehidrejenasyonunun Matematik Modelleme ve Optimizasyonu " Üzerine Yaptığı Çalışma:

Bu çalışmada bir Stiren Pilot Ünitesi için matematik model geliştirilmiştir. Süreçte, reaktörden demir oksit katalizörü yüklü iken etilbenzen geçirilir. Reaksiyon ısı alan olduğundan reaktör sıcaklığı 50°K kadar düşer. Bu reaksiyon sonunda yan ürünlerden düşük oranda benzen ve toluen ile metan ve etan gazları ortaya çıkar. Daha sonra su-gaz değişimi ile hidrojen, karbonmonoksit ve karbonmonoksit de oluşur. Burada önemli kimyasal reaksiyonlar Shell ve Crowe (1969) 'un çalışmasında da görüldüğü gibi



32. Shell, J. G. P., Crowe, C. M., - Simulation and Optimization of an Existing Ethylbenzene Dehydrogenation Reactor, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 47, April, 1969.

Genel dönüşüm denklemlerinin basitleştirilmesiyle türevli matematik model elde edilir. Radyal ve eksenel doğrultulardaki mekanik dağılımlarla yataklardaki akışın modellenmesi önemli bir yaklaşımdır. Reaktördeki termal enerjiyi ifade etmek için ısı kaynaklarına ait terimler eklenmiş, aynı şekilde madde dengeleri, hareket denklemleri ve ısı enerji dengeleri türevli denklemler şeklinde ve silindirik koordinatlarda ortaya konulmuştur.

Çalışmayla ilgili ölçümlere göre modelde yapılan bazı önemli basitleştirmeler şöyledir:

1. Reaktörlerdeki Basıncı değişimleri ihmal edilebilir ve böylece reaktörlerde basınç sabit kabul edilebilir.
2. Isı geçişi için mekanizmanın analizi, böylece de katalistin ısı geçişi ve enerji dengesindeki değişimler denklemlerden çıkarılır.
3. Zaman ölçümleri göstermiştir ki sıcaklık ve konsantrasyondinamikleri çok hızlı karşılaştırarak eksenel hız grafikleri oluşturulur.
4. Katalistteki eksenel ısı geçişi bağlantısının ihmal edilebileceği görülmüş, böylece de eksenel terim çıkarılmıştır.

Buna göre reaktör sistemi için tanımlanan Diferensiyel denklemler

$$\rho \bar{C}_p \frac{\partial T}{\partial t} = - \rho \bar{C}_p v \frac{\partial T}{\partial z} + Q_c + Q_r$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = - \frac{\partial (v C_i)}{\partial z} - R_j$$

$$\rho_c C_{pc} \frac{\partial T_c}{\partial t} = \frac{k_c}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_c}{\partial r} \right) - Q_c \frac{e}{1-e}$$

şekline indirgenir. Burada, herhangi bir z eksenel pozisyonu için Q_c terimindeki T akış sıcaklığının değeri r radyan pozisyonuna göre sabittir.

Matematik modelin çözümü için, etilbenzenin dehidrejenasyonu reaktörünün çalışmasının incelenmesinde, bilgisayar benzetim yöntemi araç olarak kullanılmıştır. Reaktör sisteminin performans ölçüsü reaksiyon ürünlerinin ekonomik değeri ile tanımlanmıştır. Optimizasyon çalışmalarında iki strateji kullanılmıştır:

1. Basit Bir Arama Yöntemi , 2. Gradient Projeksiyon Tekniği

Reaktör sisteminin optimizasyonu, reaktör performans ölçüsünü maksimize etmek için, değişen çalışma şartları ve dizayn parametrelerinden oluşmaktadır. İlk optimizasyon problemi, pilot reaktör ünitesine ait reaktör girişindeki Buhar-Etilbenzen karışımının optimizasyonudur. İkincisi ise, reaktör çıkışına ait ürünlerin spesifikasyonlarının sağlanmasıdır. Kısıtlarla değişebilen çalışma şartları; Buhar/Etilbenzen oranı ve Etilbenzen'in Çıkış Sıcaklığı'dır.

Türevli denklemlerin çözümünden elde edilen madde ve enerji denge denklemlerinin kararlı durum değerlerini elde ederken integrasyon için 4. mertebeden Runga-Kutta algoritması kullanılmıştır. Sonuçta kullanılan performans ölçüsü aşağıdaki ifadeyle tanımlanmıştır:

$$PI = C_s F_s - (C_s - C_b) F_b - (C_s - C_t) F_t - C_h F_h$$

Burada C_s : Stiren değeri , 44.20 \$/kg mol
 C_b : Benzen değeri , 21.13 \$/kg mol
 C_t : Toluen değeri , 17.65 \$/kg mol
 C_h : Buhar Maliyeti, $(.0079+4.29 \times 10^{-5} \cdot T(^{\circ}K))$ /kg mol
 F_s, F_b, F_t, F_h : Stiren, Benzen, Toluen ve Buhar'ın
Akış Oranı (kg mol/gün)

Bu performans ölçüsüne göre optimizasyon çalışmalarındaki ilk strateji çalışma şartlarının uygun aralığında kullanılan Arama Tekniği, ikinci strateji ise Rosen'in Gradient Projeksiyon Tekniği'dir.

Bu optimizasyon tekniklerinin uygulanması sonucunda, yukardaki ifade ile elde edilen maliyetlerle karşılaştırıldığında önemli bir sapma olmadığı görülmüştür.

Optimizasyon işlemleri sonucunda

Buhar/Etilbenzen Oranı.....: 1.6
Buhar Çıkış Sıcaklığı.....: 1019 $^{\circ}K$
Etilbenzen Çıkış Sıcaklığı.....: 800 $^{\circ}K$
Bu Şartlar Altındaki Performans Fonksiyonu.: 71.83 \$/gün

değerleri elde edilmiştir.⁹⁹

99. Clough, D.E., Ramirez, W.F. - Mathematical Modeling and Optimization of The Dehidrogenation of Ethylbenzene to Form Styrene , AIChE Journal, Vol.22 ,No.6, pp.1097-1105, November, 1976.

DEGANNES ve RUTHVEN'in " Stiren Üretimi İçin Etilbenzen'in Oksidativ Dehidrojenasyonu " Üzerine Yaptığı Çalışma:

Bu çalışmada, bir organik kataliste göre etilbenzenin oksidativ dehidrejenasyonu ile stiren üretimi için yapılan kinetik çalışmanın sonuçları verilmiş, sonuçta etilbenzenin oksidativ dehidrejenasyonunun çalışma sıcaklığının 250-300°C civarına indirgenebileceği, böylece de yüksek sıcaklıktan gelen bazı problemlerden kaçınmanın mümkün olabileceği teklif edilmiştir.

Ele alınan ünitelerde reaksiyon dışardan ısı alan özelliğe sahiptir ve dönüşümün verimli olması için yüksek sıcaklık gereklidir. Normal çalışma sıcaklığı 500-600°C aralığındadır, yüksek sıcaklık benzen ve toluen gibi yan ürünlerin büyük miktarda oluşmasına engel olur.

Bu çalışmadaki ana özellikler önceki iki çalışmada özetlenmiştir. İncelenen maddelerden Pirolyze Poliakrilonitril (PPAN) kabul edilebilir en iyi katalist olarak görülmektedir.

Bu maddenin benzen'e, sikloheksan'ın aseton'a, propanol-2 nin dehidrojenasyon için aktif olacağı gösterilmiştir. Eğer reaksiyon basit bir dehidrojenasyon olarak başarlılırsa, katalist hidrojeni absorbe eder ve giderek aktivitesini kaybeder. Aktivite havadaki oksidasyonla tekrar artırılır. Tek yataklı reaktörlerde bir oksidativ dehidrojenasyon işleminin başarılı olabilmesinin imkanı Manassen ve Wallach tarafından gösterilmiştir.

Bununla birlikte, bu tip katalistlerden teklif edilenlerin çoğu, katalist maddesinin katalitik aktivite ile ayrıntılı fiziksel ve kimyasal yapısı arasındaki ilişkinin kurulması içindir. Elektronik özellikler ve katalitik aktivite arasındaki ilişki ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışma için daha basit örnekler seçilmiş, bu örnekler deneysel uygunluk için pratik uygulamalardan seçilmiştir. Herne kadar endüstride önemli ticari reaksiyonlara böyle katalistlerin uygulanması incelense de bunlar hakkında literatürde raporlar vardır. Bu çalışmada yapılan teklif, endüstriyel alandaki Stiren üretimi için gerçekleştirilen önemli dehidrejenasyonda kullanılan katalistin bu tipi için bir hazırlık kinetik çalışması olarak kabul edilmelidir.

Kinetik çalışmalar akış reaktör sisteminde gerçekleştirilmiştir. Açık havada kontrol edilen etilbenzenin kısmi basıncı kontrol edilen sıcaklıkta başarılmıştır. Katalist sıcaklığında değişimi minimize etmek için reaktörün merkezi bölgesi 4-5 cm çapında kuşatılmıştır. Giriş ve çıkış akışlarının oluşumları belirlenmiştir. Deneylerin çoğu için reaktör % 10 dan daha düşük oranlı dönüşümlerde çalıştırılmış, gaz analizi ve akış hızları kullanılarak reaksiyon hızları hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın sonucu Stiren üretimi için etilbenzenin dehidrojenasyonu PPAN katalistine ihtiyaç duyulduğu gösterilmiştir. Reaktör çıkışı ölçümleri, diğer çıkışların etilbenzen, benzen ve su' dan daha önemli olmadıklarını göstermiş, böylece de işaret edilen reaksiyonların önemli olduğu görülmüştür. Deneyler sürekli çalışılan 115 saatlik

periyodda yapılmış ve katalistlere ait aktiviteyle ilgili geriye kalan esas sabitler elde edilmiştir. Bu periyodun devamındaki 2 hafta boyunca da sonuçlar kontrol edilmiştir. PPAN katalistinin 200-325°C aralığında aktif olduğu, bu aralıkta önemli olmayan reaksiyonların olduğu gözlenmiştir. Deneylerin çoğu, kinetik hız denkleminin oluşumu için farklı şartlar altındaki düşük dönüşümlerde gerçekleştirilmiş, fakat entegre deneylerin sınırlı serileri, önemli olmayan yan ürünlerin bulunduğu şartlar altında ve 325°C de %80 gibi yüksek oranlı bir dönüşümle gerçekleştirileceği gösterilmiştir.³⁴

SHEPPARD VE MAIER 'in " Etilbenzen'in Dehidrojenasyonunun Reaktör Modeli " Uzerine Yaptığı Çalışma:

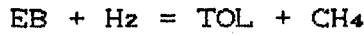
Bu çalışmada, bir endüstriyel katalitik dehidrojenasyon reaktörü için model geliştirilmiştir. Katalist üretimlerine ait dataaları kullanarak bir kaç kinetik model ölçümlendirilmiştir. İki farklı ünite için fiili ve benzeşimle elde edilen endüstriyel işlemler arasında kıyaslama yapılmıştır. Sonuçta , iki endüstriyel katalist sistemi kullanılarak tek ve iki yataklı reaktör için optimum çalışma şartları bulunmuştur.

Bu çalışmanın amacı endüstriyel bir etilbenzen dehidrojenasyon reaktörüne benzetim uygulayarak bir model geliştirmek ve reaktör çevre elemanları, katalist sistemleri ile farklı çalışma şartlarının ekonomik analizine ait performansın belirlenmesi için bu modelin kullanılmasıdır.

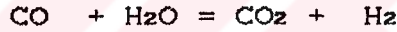
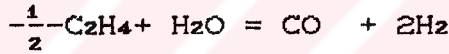
34. Degannes, P.N., Ruthven, D.M.- The Oxidative Dehydrogenation of Ethylbenzene to Styrene, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol.57, October, 1979.

Ticari olarak yapılan Stiren üretimi ısı alan özelliğe sahip bir reaktörde gerçekleştirilmekte olup, burada gerekli ısı,yüksek seviyeye kadar ısıtılmış buharla sağlanırken, kok oluşumunun önlenmesi amacıyla basınçlar düşürülerek dönüşümün yükseltilmesine çalışılır.

3 Anahtar reaksiyon



olup, bunların yanında oluşan diğer reaksiyonlar



şeklindedir.

Yukardaki reaksiyonlara dayanan süreçle ilgili kinetik modelin araştırılmasında 1948-1978 yılları arasında teklif edilen çeşitli deneysel modeller karşılaştırılmış, çalışmalarla ilgili reaktörlerde kullanılan katalistlerin kinetik davranışları incelenerek en iyi verime sahip katalistin belirlenmesine çalışılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda Shell-105 katalistinin en iyi verime sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Diğer taraftan,Kinetik Modelin Ünite datalarıyla test edilmesi amacıyla endüstriyel reaktörlerde benzetim yapılarak kinetik sabitler kullanılmak suretiyle reaktör modeli çalıştırılmıştır. Burada yapılan karşılaştırmada Houston USS Chemicals Sheppard'daki TX, Ontario'daki Polymers Corp. ünitelerinden alınan datalar

kullanılmıştır. Reaktör çalışmalarını en iyi sağlayan model için Giriş Sıcaklığı, Basıncı, Akış Hızı ve Karışım değerleri belirlenmiş Ergun Denklemi kullanılarak basınç düşüşleri hesaplanmıştır. 100 defa yapılan benzetim işlemleri sonucunda hesaplanan dönüşüm değerleriyle ölçülen değerler arasındaki ortalama farkın % 10 dan az olduğu gözlenmiş, vakaların % 85 inde fiili dönüşümün, benzetim sonucu elde edilen değerden daha düşük olduğu görülmüştür.

Katalist ve Reaktör çevreninin ekonomik analizinde Amac Fonksiyonu

$$\text{Stiren Üretimi Hızı} \star \text{Stiren Satış Fiyatı} - \text{Stiren Üretim Maliyeti}$$

şeklinde oluşturulmuştur. Burada, Stiren Satış Fiyatı 55.1 ¢/kg olarak kullanılmış, Stiren Üretim Maliyeti 190 \$/saat, Etilbenzen Maliyeti 34.6 ¢/kg, Vent Gaz Değeri 4.63 \$/m³ ve Enerji Maliyeti 3.94 \$/milyar olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen kinetik modelin yüksek aktiviteli ve seçiciliğe sahip katalist ile ölçümü yapıldığında unite dataları ile çok iyi bir uyum sağladığı, fakat hesaplanan yüksek aktivasyon enerjisi bu sonuç hakkında tereddütlere neden olmuştur. Bu taktirde, model belirlenen Stiren Satış Fiyatı ve maddeler ile çalışma maliyetlerinin hesabı için Optimum Giriş Sıcaklığı ve Buhar/EB oranının belirlenmesinde kullanılabilir. Aynı zamanda modelin İki Yataklı reaktör sistemleri için de ekonomik olarak ve yüksek aktiviteli katalist ile kullanılabileceği teklif edilmektedir.³⁵

35. Sheppard, G.M., Maier, E.E. - Ethylbenzene Dehydrogenation Reactor Model, Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. Vol.25, No. 1, pp. 207-210, 1986.

SENGUPTA'NIN " Bir Kalite Kontrol Problemine Amaç Programlama Yaklaşımı " Üzerine Yaptığı Çalışma:

Çıktının gerekli spesifikasyonlara sahip olması için girdiler ve süreç değişkenlerinin seviyelerinin belirlenmesi bilinen bir kalite kontrol problemidir. Bununla birlikte, çıktı belirli bir sayıda özelliğe sahip olduğu zaman ve yine bu özelliklerden herbirinin bir spesifikasyona sahip olduğu zaman bazı güçlükler ortaya çıkabilir. Böyle bir problemle kağıt fabrikasında karşılaşmış, bu problem Amaç Programlama (AP) yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Bu yöntem, diğer süreç kontrol problemlerine de uygulanabilir ve bu çalışma genel bir süreç kontrol probleminin AP formülasyonunu verir. Bu çalışma, aynı zamanda, içerisinde bir yöntem geliştirilmiş olan vaka çalışmasının detaylarını verir.

Tek özellikli bir çıktı düşünüldüğü zaman uygun istatistik yöntemler kullanılarak böyle bir problem ele alınabilir. Fakat buna karşılık çoklu özelliğe sahip çıktı(lar) düşünüldüğü ve bu özelliklerin her birinin bu spesifikasyonları sağlaması gerektiği zaman, güçlükler ortaya çıkar. Böyle bir problemle bir kağıt fabrikasında karşılaşmış ve bu problem AP yardımıyla çözülmüştür.

Burada problem, içerisinde kısıtlara bağlı çıktı özelliklerine göre bütün spesifikasyonları toplayan Girdi Seviyeleri ve Süreç Değişkenleri bulunan bir çözüm bulmak ve eğer böyle bir çözüm yoksa bu taktirde sistemle en iyi uzlaşan çözümü bulmaktır.

$X_1, \dots, X_l$ Girdilerin özelliğini
 $R_1, \dots, R_k$ k adet Süreç Değişkenlerini
 $Y_1, \dots, Y_r$ Çıktıların r adet Özelliğini

gösterebilir. Böyle değişkenlerin iki tipi vardır:

"İki taraflı ve Tek taraflı". Diğer bir tip de vardır ki "e yakın".

Burada Girdiler , Süreç Değişkenleri ve Çıktı Özellikleri arasındaki ilişkiler doğrusal denklemleri şeklinde belirlenmiş, bunların genel şekli

$$Y_i = F_i(x_1, x_2, \dots, x_l ; R_1, \dots, R_k)$$

olarak ele alınmıştır. Problemi bir AP problemi olarak formüle etmek için şu adımlar gereklidir:

1. Spesifikasyon Formunun Değiştirilmesi:

Ardışık değişkenlerin sınırları üst limitten alt limit çıkarılarak ($X'_i = X_{USL} - X_{ASL}$) iki taraflı spesifikasyon limiti şekline dönüştürülür. Böylece kısıtlar, tek taraflı spesifikasyon limiti haline gelecektir.

2. Regresyon Denklemlerinin Düzenlenmesi:

1. safhada limitlerin düzenlenmesiyle X'_j ve R'_i değiştirilmiş Girdi ve Süreç Değişkenlerine karşılık olarak Regresyon Denklemlerinin de,

$$Y'_i = F_i(X'_1, \dots, X'_l ; R'_1, \dots, R'_k)$$

formunda yeniden düzenlenmesi gerekir.

Buradan Genel Süreç Kontrol Problemi bir AP problemi olarak şöyle formüle edilebilir:

$$\text{Min. } \sum_{m=1}^{l+k+r} (d_m^+ + d_m^-)$$

Aşağıdaki kısıtlara göre:

i)Çıktı ile ilgili Amaç Kısıtları:

$$P_{fi} Y_i' - d_i^+ + d_i^- = S_i', \quad i=1,2,\dots,r$$

Burada, P_{fi} = i. amaç için Öncelik Faktörü

S_i' = Değiştirilmiş Spesifikasyon Limiti
dir.

ii)Girdi ile ilgili Amaç Kısıtları:

$$P_{fj} X_j' - d_j^+ + d_j^- = S_j', \quad j=1,2,\dots,l$$

Burada, P_{fj} = j. amaç için Öncelik Faktörü

S_j' = Değiştirilmiş Spesifikasyon Limiti
dir.

iii)Süreç ile ilgili Amaç Kısıtları:

$$P_{ft} R_t' - d_t^+ + d_t^- = S_t', \quad t=1,2,\dots,k$$

Burada, P_{ft} = t. amaç için Öncelik Faktörü

S_t' = Değiştirilmiş Spesifikasyon Limiti
dir. Ve

$$Y_i', X_j', R_t' \geq 0$$

dir.

Tabii ki asıl çözümün elde edilebilmesi için modelin çözümünün ilk değişkenlere göre değiştirilmesi gerekecektir.

Ele alınan kağıt üretiminde girdi olarak Bambu kırıntıları kullanılır. Bu kırıntılar bazı kimyasal maddeler yardımıyla bir kazanda pişirilir. Kazanda pişen madde hamur halinde çeşitli işlemlere tabi tutularak kağıt elde edilir. Çıktı olarak elde edilen kağıdın sahip olması gereken özellikler önem sırasına göre " K sayısı, Patlama Faktörü ve Kopma Özelliği" dir.

13 günlük periyotta 46 adet veri kullanılarak çoklu regresyon analizi sonucunda bu çıktı özellikleri ile Girdi ve Sürec Değişkenleri (kimyasal maddeler ve şartlar) arasında elde edilen ilişkiler Y_1, Y_2, Y_3 denklemleri ile ifade edilmiştir. Burada, 3 Çıktı özelliği ile Girdi ve Sürec Değişkenleri arasındaki ilişkilerde çeşitli zıtlıklar belirlenmiştir.

Böylece kurulan formülasyon AP çözümü için $X_1, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ değişkenleri için düzeltmeler yapılarak $X'_1, R'_1, R'_2, R'_3, R'_4, R'_5, R'_6, R'_7$ yeni değişkenler oluşturulmuş, buradan da Y_1, Y_2, Y_3 denklemlerinin düzeltilmiş şekli Y'_1, Y'_2, Y'_3 elde edilmiştir.

Amaç fonksiyonu belirlenirken, Çıktı özelliklerinden K-sayısı öncelikle yerine getirilmesi gerektiği için en üst öncelik verilmiş, Kağıdın Patlama Faktörüne 2., Kopma

Uzunluğuna ise 3. öncelik verilmesi uygun görölmüştür. Yönetim ,Süreç Değişkenlerinden Yüksek Buhar Basıncı ile Alkali İndeksine 4., geriye kalan % Girdi Miktarı ile Süreç değişkenleri olan Alçak ve Yüksek Pişme Sıcaklığı, Alçak Buhar Basıncı, Aktif Alkali ve Beyaz Sıvı'ya 5. önceliğin verilmesini uygun görmüştür.

Problemin çözümünde, asıl değişkenlere göre dönüşüm yapıldıktan sonra Çıktının ilk iki özelliği olan amaçlar tam sağlanmış, 3. öncelikli Kopma Uzunluğu için az bir sapma ile kabul edilebilir bir değer elde edilmiştir. Sonraki önceliğe sahip amaçlardan % Girdi Miktarı ile Pişme Sıcaklığı dışındaki amaçlar tam olarak sağlanırken, diğerleri için elde edilen değerlerin yine kabul edilebilir olduğu gözlenmiştir.⁹⁶

96. Sengupta,S. - Goal Programming Approach to a Type of Quality Control Problem, J. Opl. Res. Soc. Vol.32., 1981,pp. 207-211.

B Ö L Ü M - 3

DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMA

3.1. GİRİŞ

Karar verme mekanizması bilimsel metodolojiyi kullanarak gerçek dünya problemlerinin çözümü için geliştirilmiş bir işlemler bütünüdür. Bu yöntem kantitatif modellere uygulanmakta olup ele alınan probleme ait ihtiyaçların belirlenmesi, modelin kurulması, problemin formülasyonu, veri toplanması, modelin çözümü, geçerliliğinin kanıtlanması ve duyarlılığının araştırılması gibi aşamalardan oluşur.

İhtiyaçların belirlenmesi aşamasında karar vericilerin bir kısmı üzerinde sezginin önemli bir yeri vardır. Bu sezgi ile kastedilen karar vericilerin bir kısmı için amaç ve kriterlerdir. Amaç veya kriterleri yansıtan ölçüleri belirlemek için ihtiyaç, karar verici ve uzman bilgi ile kişiler arasındaki uygun ilişki model kurmada aynı zamanda amaç ve kriterleri yansıtır.

Amaçlar ve Kriterler:

Herhangi bir karar verici çevreninde hedefler, amaçlar veya kriterler mevcut durumun değerlendirilmesinde kullanılır. Bu değerlendirme olumsuz ise karar verme süreci başlamıştır. Bazı kişiler kriterlerden daha az özelliğe sahip amaçlara yönelik geniş bir perspektife sahip hedefler üzerinde düşünmekten hoşlanır. Bir kişinin kriteri diğer bir kişinin hedefi olacağından bu ayırımın her zaman yapılması gerekmez. Genellikle kriter terimi kullanılmakla birlikte

yönetim bilimi açısından amaç fonksiyonu kullanılır. Bütün bu terimler karar vermede aynı amaca sahiptir. Kriterler karar verme sürecini yönlendirirler. Departmanlar, şirketler, hastaneler veya şehir yönetimleri gibi birçok örgütsel birimlerde olduğu kadar kişiler de kriterlere sahiptir. Karar vermedeki kritik problemlerden biri, bazı kararlarda birçok kriterin bulunduğu gerçeğinden ortaya çıkar. Karar verici birçok amaca sahip olup, bu amaçlar diğer kişilerin ve örgütsel alt birimlerin kriterleriyle dengelenmelidir. Bu taktirde karar verme sürecinde kriterler kümesi veya sisteminden bahsedilebilir. Yönetim biliminde yakın zamanlardaki araştırmalar çoklu kriterler adını alan modellerin geliştirilmesini de kapsar.

Kantitatif yöntemler karar verme çevrenine ait matematiksel modellerin kurulması ve işletilmesini kapsar. Bir matematiksel model ise kontrol edilebilir, kontrol edilemez kısıtlar ve parametrelerin yer aldığı girdilerle amaç fonksiyonundan oluşan çıktı arasındaki ilişkiyi gösteren bir modeldir³⁷.

Yöneylem araştırması yönetsel bir karar verme yaklaşımı olup, işletme yönetimi eğitiminde yönetim bilimi ile eş anlamlıdır. Fakat mühendislik eğitiminde yöneylem araştırması matematiksel ispatlara ağırlık vererek işletme dışı uygulamalarda kullanılır. Matematiksel Programlama ise YA'nın büyük bir bölümünü oluşturur. ve aynı yaklaşımı kullanır. Diğer bir özelliği de deterministik problemlerin çözümüne ağırlık verir. Matematiksel Programlama modelleri genelde doğrusal, doğrusal olmayan, dinamik, tamsayılı programlamayı, şebeke, oyun ve envanter teorisini kapsar³⁸.

37. Budnick, F.S., Mojena, R., Vollman, T.E. - Principle of Operations Research for Management, Richard D. Irwin Inc., 1977.

38. Hillier, F.S., Lieberman G. J. - Introduction to Mathematical Programming, McGraw-Hill Publishing Company, 1990.

Çok az istisnalarla Doğrusal Olmayan Programlama (DOP) veya doğrusal olmayan optimizasyon tek amaçlı modellerin çözümünde yoğunlaşmıştır (tek amaç çok sayıda kısıt). Bundan başka, doğrusal optimizasyona benzemeksizin öncelikli bir amaç kullanılmaz. Hatta genellikle verilen problem için global optimumu bulmayı garanti eden bir yol yoktur. Bu, araştırmacının çok kere yerel optimumu elde etmekle çözümü sağlaması yoluna başvurulmaktadır. Global optimumu bulmak şansa kalır. Bu şansı sağlayan faktörlerde çok kere belirlenemez. DOP da modeller çoktur ve durmadan değişmektedir. Bu modellerin belirli bir sınıfı Doğrusal Olmayan Amaç Programlama (DOAP) için özel bir ilgi alanı olmaktadır. Bunların başında Sürec Kontrol Problemleriyle ilgili modeller gelmektedir.

3.2. GENEL AMAÇ PROGRAMLAMA MODELİ

Amaç programlama doğrusal programlamanın genişletilmiş bir yapısı olup, tek veya çoklu hedeflere sahip karar problemlerini çözme yeteneğine sahiptir. Hedefler yönetim tarafından oluşturulur ve diğer hedeflerin sapmasına karşılık başarılır. Hedefler ortak ölçüye sahip değildir. Diğer bir ifadeyle hedefler aynı birim temelinde ölçülmezler³⁹.

Genel Doğrusal Olmayan Amaç Programlama Modeli aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

39. Lee, S.M. - Linear Optimization for Management,
New York: Petrocelli/Charter, 1976, s. 178.

n_i negatif sapmaları,
 p_i pozitif sapmaları,
 $\bar{a}$ bu sapmaların toplamını,
 $\bar{n}, \bar{p}$ bu sapmaların matrisel formunu,
 g_k kısıt fonksiyonlarını,

göstermek üzere

$$\bar{a} = \{ [g_1(\bar{n}, \bar{p})], [g_2(\bar{n}, \bar{p})], \dots, [g_k(\bar{n}, \bar{p})] \}$$

fonksiyonunu minimize eden

$\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_j)$ 'i bul öyleki, bütün i 'ler için

$$\sum_{j=1}^J c_{i,j} \cdot x_j + n_i - p_i = b_i$$

$$\bar{X}, \bar{n}, \bar{p} \geq \bar{0}$$

olsun. $c_{i,j}$, i . amacın j . değişkeninin katsayısıdır⁴⁰.

Amaç Programlamada iki durumla karşılaşılır:

"Öncelikli" ve "Önceliksiz" amaçlar.

Öncelikli Amaç Programlamada amaçlar için öncelik seviyelerinin hiyerarşik yapıda dizilmesi söz konusudur. Öncelikli Olmayan (Önceliksiz) Amaç programlamada ise amaçlar aşağı yukarı aynı öneme sahiptir.

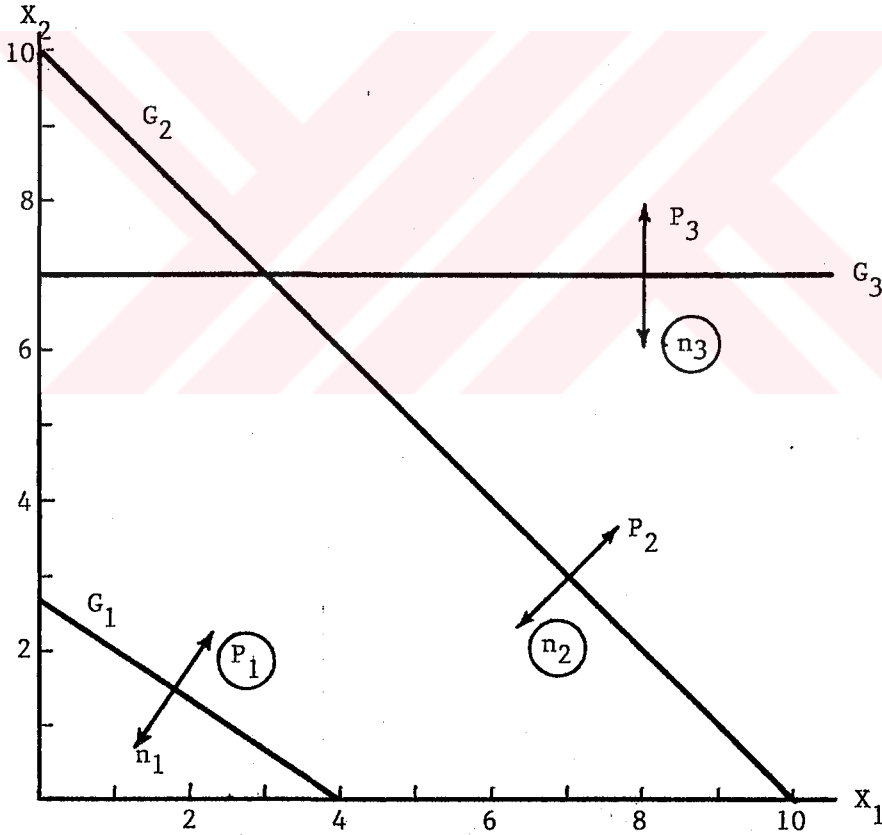
Genel Amaç Programlama Modelinin Grafiksel Çözümü 4
Adımda Gerçekleştirilebilir:

40. Ignizio, J. - Goal Programming and Extensions, Lexington Books
D.C. Heath and Company Lexington, Massachusetts, 1979.

- (1) Karar değişkenleri vasıtasıyla bütün amaçları çiz
- (2) İlk Önceliğe sahip amaçlara ait çözümleri belirle
- (3) Bir sonraki en yüksek önceliğe sahip amaçlara hareket et ve bu amaçlar için en iyi çözümü belirle.

Bu en iyi çözüm en yüksek öncelikli amaçlar için başarılmış çözümlerin değerini düşüremez.

- (4) (3). adımı bütün öncelik seviyeleri araştırılınca kadar tekrar et.



Şekil 3.1. Amaç Programlamanın Grafik Gösterimi

3.3. DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLER

Doğrusal programlamanın birçok pratik probleme uygulanması yanında doğrusallaştırmadan doğan hataları gidermek için doğrusal olmayan yapıya sahip modeller ele alınmalıdır. Doğrusal olmayan bir modelin yapısı

$$f_{opt}(x)$$

$$g_i(x) \leq b_i, \quad i=1,2,\dots,m$$

$$x \geq 0$$

gibi amaç fonksiyonu ve kısıtlardan oluşur. Burada amaç fonksiyonu ve/veya kısıtlar doğrusal olmayan yapıda olmalıdır. Doğrusal olmayan modellerin tipleri çeşitli yönlerden sınıflandırılabilir. İlk sınıflandırma Kısıtlı, Kısıtsız diğer bir sınıflandırma Tek Boyutlu Çok Boyutlu, üçüncü tip bir sınıflandırma ise Gradient ve Arama yöntemlerine göre olabilir. Bu tasnifler içerisinde doğrusal olmayan programlamayı ilgilendiren tanım ve sınıflandırmaları şöyle belirtebiliriz.⁴¹

Doğrusal olmayan programlamanın genel yapısı şu şekildedir:

$$f_{min}(x)$$

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$$

$$h_j(x) = 0, \quad j=1,2,\dots,m$$

$$g_j(x) \geq 0, \quad j=m+1,\dots,p$$

41. Lee, S.M., -Goal Programming for Decision Analysis, Aurbach Publishers Inc., Philadelphia, 1976.

Burada kısıtlar doğrusal veya doğrusal olmayan, eşitlik veya eşitsizlik şeklinde olabilirler.

Doğrusal olmayan programlamanın problem tipleri ise şöyle sıralanabilir:

1 . Kısıtsız Optimizasyon

$$f_{\max}(x)$$

$$\bar{X} = [x_1 \ x_2 \dots x_n]$$

sekindeki modele sahiptir. Özel çözüm için $x=x^*$ gerekli şartları yazılmalıdır. Eğer $f(x)$ dışbükey ise yeter şartlar da yazılabilir. İçbükey ise yeter şartlar yazılamaz.

2 . Doğrusal Hale Getirilen Kısıtlı Optimizasyon

Burada kısıtlar doğrusal amaç fonksiyonu eğriseldir. Amaç fonksiyonu da doğrusal hale getirilerek çözüme gidilebilir.

Bu işlemden en çok kullanılan yöntem Karesel Programlama'dır.

3 . Karesel Programlama

Kısıtlar doğrusal, amaç fonksiyonu- $f(x)$ dışbükey ve 2. dereceden olmalıdır.

4 . İçbükey Programlama

Amaç fonksiyonu- $f(x)$ dışbükey , $g(x)$ -kısıtlar içbükey olmalıdır.

Ayrışabilir, İçbükey olmayan ve Kesirsel Programlamalar da bunların yanında sayılabilir.

Arama ve gradient yöntemlerin en önemlileri kısıtsız optimizasyon içinde yer alan Fibonacci ve Altın Bölümlendirme Arama, Hooke ve Jeeves Arama Algoritması, Gradient Projeksiyon ve Newton Yöntemleri'dir. Konumuzu ilgilendirmesi bakımından biz bunlardan Hooke ve Jeeves Örnekleyerek Arama Yöntemini ele alacağız⁴².

3.4. ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR MODELLERİ

Çok amaçlı programlamayı dört temel kelime ile birlikte aşağıda verilen tanımlarla genişçe açıklamaya çalışalım. Bu dört kelime " özellikler, amaçlar, hedefler ve kriterler " dir.

Tanım 1. Özellikler:

Özellikler, alternatiflerin karakteristiği, kalitesi ve performans parametresidir.

Tanım 2. Amaçlar:

Amaçlar, karar vericinin arzularının yansıtılmasıdır.

Tanım 3. Hedefler:

Verilen zaman ve mekanda belirli durumda karar verici tarafından arzulanan şeylerdir.

Amaçlar arzu edilen doğrultuyu verirken, hedefler başarılması arzu edilen hedef düzeyini verir.

42. Ravindran, A. , Philips, D. T. , Solberg, J. -Operational Research
John Wiley, 1987.

Tanım 4. Ölçütler:

Kabul edilebilirliği test etmek için hüküm veya kuralların standartlarıdır. Matematiksel tanımla ,

$$[f_1(\bar{X}) , f_2(\bar{X}) , \dots , f_k(\bar{X})]_{\max}$$

$$g_j(\bar{X}) \leq 0 \quad , \quad j=1,2,\dots,m$$

veya vektörel gösterimle

$$\bar{f}_{\max}(\bar{X})$$

$$\bar{g}(\bar{X}) \leq \bar{0}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $\bar{X}$ n-boyutlu bir vektördür.

Bu ifadelere göre;

k maksimize edilecek amaç sayısını,

m kısıt sayısını,

n karar değişkeni sayısını

gösterir.

Tanım 5. $\bar{X} \leq \bar{Y}$ Vektörleri:

Her hangi iki $\bar{X}$, $\bar{Y}$ vektörü için her zaman $\bar{X} \leq \bar{Y}$ dir, ancak ve ancak bütün i ler için $x_i \leq y_i$ ise.

Tanım 6. Olurlu X Kümesi:

Olurlu bir X kümesi

$$g(\bar{X}) \leq \bar{0} \text{ yani } X = \{ \bar{X} \mid g(\bar{X}) < \bar{0} \}$$

kısıtlar kümesini sağlayan $\bar{X}$ karar değişkenleri kümesidir.
X deki her noktaya bir $\bar{f}(\bar{X})$ vektörü karşılık gelir.

Tanım 6. S Fonksiyonel Değerler Kümesi:

S, X teki her $\bar{X}$ vektörü için $\bar{f}(\bar{X})$ fonksiyonel değerlerinin bir kümesidir. Yani $S = \{ \bar{f}(\bar{X}) \mid \bar{X} \in X \}$ dir.
Bu kavramları bir örnekle gösterelim.

$$f_{1, \max} = x_1 + x_2$$

$$f_{2, \max} = x_2 - x_1$$

$$x_1 \leq 3$$

$$x_2 \leq 3$$

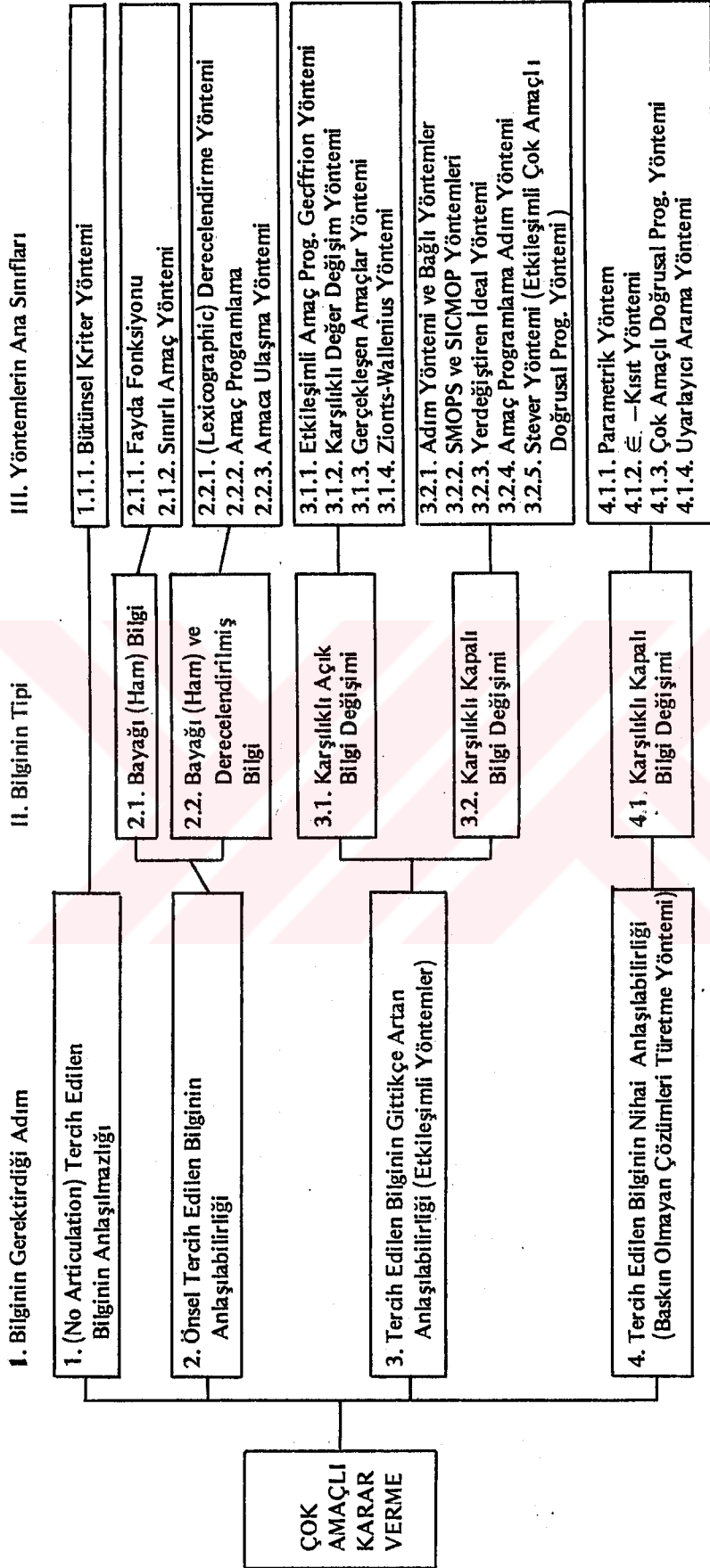
$$x_1, x_2 \geq 0$$

Tanım 8. Optimal Çözüm:

Optimal çözüm, amaç fonksiyonlarının her birinin maksimum değerinin sonucu olan bir çözümdür.

Yani bütün $\bar{X} \in X$ için ancak ve ancak $\bar{X}^* \in X$ ve $\bar{f}(\bar{X}^*) \geq \bar{f}(\bar{X})$ ise $\bar{X}^*$ bir optimal çözümdür.

Çok Amaçlı Karar Verme Problemlerinin çatışan



Sekil 3.2. Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemi İçin

Bir Sınıflama

amaçlara sahip olma özelliğinden dolayı çok kere optimal çözüm yoktur. Optimal çözüm, en iyi çözüm veya maksimum çözüm olarak da bilinir.

Tanım 9. Baskın Olmayan Çözüm:

Vektör maksimum problemi nin çözümünde kural, diğer amaçların hiç birisine ait iyileşmeyen çözümün bulunmamasıdır. Yani $\bar{X}^*$, vektör maksimum problemine ait baskın olmayan çözümdür.

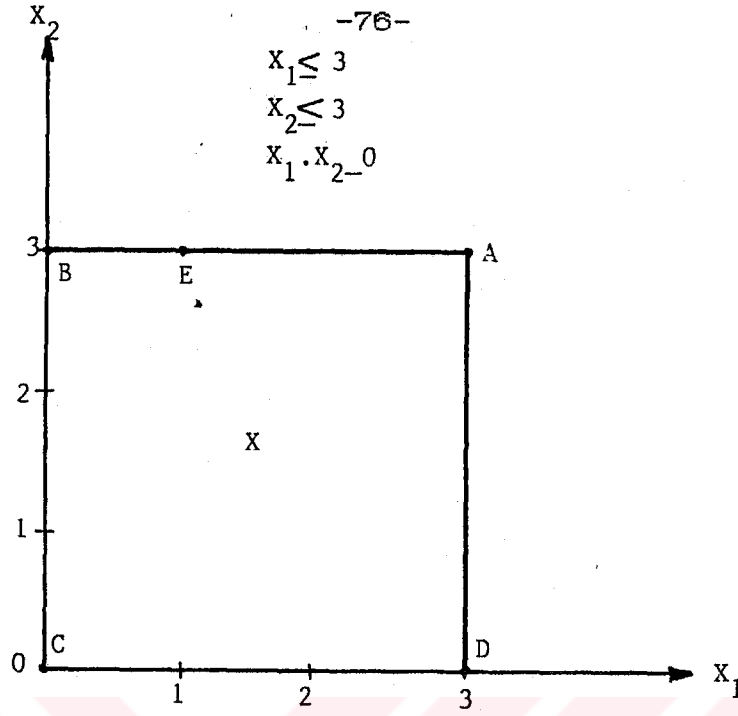
En az bir j için $f_j(\bar{X}^*) < f_j(\bar{X})$ dir ve bütün i ler için $f_i(\bar{X}^*) \leq f_i(\bar{X})$ dir, ancak ve ancak herhangi bir $\bar{X} \in X$ yoksa.

Tanım 10. Tercih Edilen Çözüm:

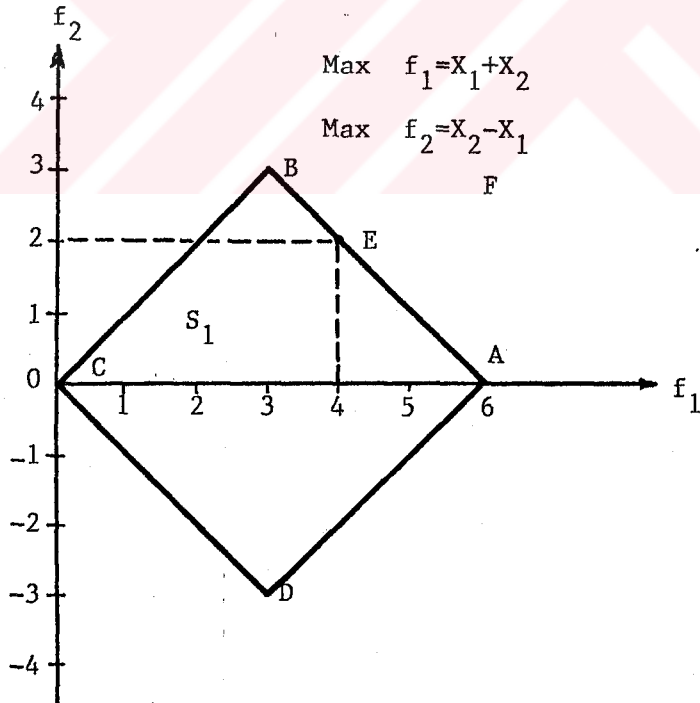
Bazı ek kriterler yardımıyla karar vericinin nihai karar olarak seçtiği baskın olmayan bir çözümdür. Aynı zamanda en iyi bir çözüm olarak da bilinir.

Tanım 11. Sağlayan Çözüm:

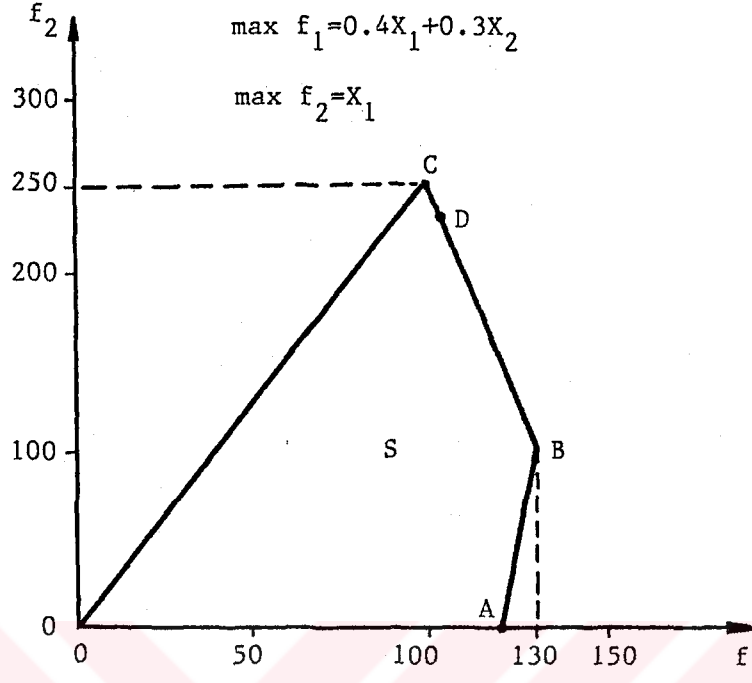
Sağlayan çözüm, Simon'a göre her amacın bütün istek düzeylerini aşan olurlu kümesinin indirgenmiş alt kümesidir.



Sekil 3.3. Verilen Örneğin Karar Değişken Uzayına Ait Olurlu Çözüm Alanının Gösterimi



Sekil 3.4. Örneğe Ait Olurlu Bölgenin Amaç Fonksiyonu Uzayının Grafik Gösterimi



Sekil 3.5. Sayısal Örneğe Ait Olurlu Bölgenin Amaç Fonksiyon Uzayının Grafik Gösterimi

3.5. AMAÇ PROGRAMLAMA MODELLERİNİN GELİŞİMİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Amaç programlama kavramı 1950 lerde ilk defa A. Charnes ve W.W.Cooper tarafından olursuz doğrusal programlama problemlerinin tekrar çözülmesi için kullanılan araç olarak geliştirilmiştir. Charnes, Cooper çözülemeyen problemlerdeki çatışmaların analizi ile ilgili olan ve "hedefe ulaşma" olarak adlandırılan konuyu ele almışlardır. Yönetim çeşitli nedenlerle, mevcut kaynakların sınırlı oluşundan dolayı hedeflere ulaşamaz. Örneğin, böyle hedefler teşviği sağlamak için öngörülür veya başarılı bir karar almada yardımcı olur. Özellikle uzun vadeli

düşüncelerin hemen ulaşılabilir amaçlarla gerçekleştirilmesini temin eder. Hedefler ulaşılabilir veya ulaşılamaz olmasına rağmen, amaçlar işaret edilen hedeflere "mümkün olduğu kadar yakın" bir durumda bulunurlar⁴³.

Daha sonra Ijiri, Lee, Zeleny, Ignizio başta olmak üzere bu teknik üzerinde ileri çalışmalar yapılmıştır⁴⁴. Ravindran tarafından geliştirilen "Parçalama Algoritması" vasıtasıyla ise Amaç Programlama Problemleri etkin olarak çözülebilmektedir. Bu yöntemin temeli, öncelik seviyesi daha üst sırada olan amaçların daha düşük sıradaki amaçlardan önce optimize edilmesi gerektiğidir. "Daha düşük öncelikli problem için başlangıç çözümü olarak, daha yüksek öncelikli problemin çözümünü kullanan bir dizi doğrusal programlama alt problemine ayırarak daha sonra bunların çözümünü birleştirmek" bu yöntemin esasını teşkil eder⁴⁵.

Günümüze kadar yapılan çalışmaları teori ve uygulama alanlarında olmak üzere iki grupta toplanabilir. Birinci grupta başlıca yapılan çalışmaları şöyle sıralayabiliriz:

Dyer , amaç programlama ile çok ölçütlü problemlerin optimizasyonu için teklif edilen etkileşimli stratejiler arasında köprü kuran bir algoritma geliştirmiştir⁴⁶.

43. Charnes, A., Cooper, W.W. -Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, John Wiley and Sons Inc., Newyork, 1961, s. 215.

44. Lee, S. M. -a. g. e. -Linear Optimization for Management.

45. Ravindran, A., Philips, D. T., Solberg, J. -a. g. e.

46. Dyer, J. D. -Interactive Goal Programming ,Los Angeles, Management Science, Vol. 19, No. 1, Septemper, 1972, s. 62-70.

Zeleny, Çok Ölçütlü Simpleks Yöntem'e ait bir FORTRAN programı geliştirmiş ve ayrıca 1975 yılına kadar Çok Ölçütlü Karar Verme de yapılan çalışmaları bir bibliyografyada toplamıştır⁴⁷. De Kluyver, büyük ölçekli amaç programlama problemleri için "genelleştirilmiş en üst sınır algoritmasını" önermiştir⁴⁸. Ignizio ve Perlis, IBM in geliştirdiği "Matematik Programlama Sistemi (MPSX) Paket Programı" ile Ardışık Doğrusal Amaç Programlama Yöntemini birleştirmişlerdir⁴⁹. Hwang, Paidy ve Yoon , daha önce yaptıkları çok amaçlı matematik programlama konusundaki çalışmalara dair yeni bir eğitim amaçlı çalışma yapmışlardır⁵⁰. Shim ve Siegel öncelikli amaç programlamada duyarlılık analizleri ve dualite konusunda çalışmalar sunmuşlardır⁵¹. Gençyılmaz, Etkileşimli Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinden önemli olanlar üzerinde durarak, metodolojileri karşılaştırmalı olarak açıklamıştır⁵².

47. Zeleny, M. -Multicriteria Simplex Method ,Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, Newyork, 1975, s. 324-345.

48. De Kluyver, Cornelis A. - A Generalized Upper Bounding Algorithm for Large-Scale Generalized Goal Programming Problems ,Int. J. Systems Science, Vol. 8, No. 8, 1977, s. 883-904.

49. Ignizio, J. P. -Sequential Linear Goal Programming: Implementation Via MPSX ,Comput. & Ops. Res. ,Vol. 6, 1979, s. 141-145.

50. Hwang, C. L. , Paidy, S. R. , Yoon, K. -Mathematical Programming with Multiple Objectives: A Tutorial ,Comput. & Ops. Res. Vol. 7, 1980, s. 5-31.

51. Shim, J. , Siegel , J. -Sensitivity Analysis of Goal Programming with Pre-emption ,Int. J. Systems Sci., Vol. 11 No. 4, 1980, s. 393-401.

52. Gençyılmaz, G. -Interactive Multicriteria Decision Making , Journal of Faculty of Business Administration, Vol. 1, 1982, S. 105-124.

Markowski ve Ignizio, çok aşamalı ve ardışık doğrusal amaç programlamada dualite ve dönüşümler konusunda bir çalışma yapmışlardır⁵³. Ignizio, Derecelendirilmiş Doğrusal Amaç Programlamada hesaplama yöntemleri için bir algoritma geliştirmiştir⁵⁴. Doğrusal Olmayan Çok Ölçütlü Karar Verme Problemleri için etkileşimli amaç programlama problemini Pareto Optimumu altında incelemiştir⁵⁵. Zimmerman, Bulanık Kümeler kavramından hareket ederek amaç programlama ile birlikte Vektör Maksimum Problemini çözmede bir algoritma geliştirmiştir⁵⁶. Korhonen ve Laakso, bilgisayar ekran grafiklerini kullanarak etkileşimli amaç programlama problemleri için çözümler getirmiştir⁵⁷. Gass , doğrusal amaç programlamada amaç ağırlıklarının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır⁵⁸. Zahedi, kararlarda birden fazla alternatiflerin söz konusu olduğu durumlarda en uygun durumun seçimi için kalitatif bilgiyi kullanarak bir amaç programlama çözümü geliştirmiştir⁵⁹.

53. Markowski, G. A. -Duality and Transformations in Multiphase and Sequential Linear Goal Programming , Comput. & Ops. Res. Vol. 10, No. 4, 1983, S. 321-333.

54. Ignizio, J. P. -A Note on Computational Methods in Lexicographic Linear Goal Programming , J. Opl. Res. Soc., Vol. 34, No. 6, 1983, S. 539-542.

55. Weistroffer, H. R. -An Interactive Goal Programming Method for Non-Linear Multiple-Criteria Decision-Making Problems , Comput. & Ops. Res. , Vol. 10, No. 4, 1983, S. 311-320.

56. Zimmerman, H. J. -Fuzzy Mathematical Programming , Comput. & Ops. Res. , Vol. 10, No. 4, 1983, S. 291-298.

57. Korhonen, P. & Laakso, J. -Solving Generalized Goal Programming Problems using a visual interactive approach , European Jour. of Opl. Res. , Vol. 26, 1986, S. 355-363.

58. Gass, S. I. -The Setting of Weights in Linear Goal-Programming Problems , Comput. Ops. Res. , Vol. 14, No. 3, 1987, S. 227-229.

59. Zahedi, F. -Qualitative Programming for Selection Decisions , Comput. Ops. Res. , Vol. 14, No. 5, 1987, S. 395-407.

Ng Kevin Dinamik Optimizasyon Tekniği ile amaç programlamayı birlikte kullanarak Optimal Kontrol Probleminin çözümünü gerçekleştirmiştir⁶⁰. Gibson , Bernardo, Chung ve Badinelli çok amaçlı karar verme yöntemlerini karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır⁶¹. Baba , Takeda ve Miyake, Doğrusal Olmayan Etkileşimli Çok Amaçlı Programlamada doğrusal olmayan fonksiyonların çözümü için Rosenbrock Algoritmasını kullanmışlardır⁶².

Uygulama alanlarında yapılan çalışmaları ise şu başlıklar altında toplayabiliriz⁶³:

A- Muhasebe

- A1: Bütçeleme ve Başbaş Noktası Analizi
- A2: Maliyet Atama
- A3: Denetim Örneklemeye Amaçları
- A4: Kamu Muhasebesi Firma Planlaması
- A5: Şirket Sosyal Raporlama

B- Finans

- B1: Çalışma Sermayesi Yönetimi
- B2: Varlıklar Yönetimi
- B3: Sermaye Bütçeleme
- B4: Finansal Kararlar
- B5: Şirket Birleşmesi
- B6: Yatırım Planlaması ve Portföy Seçimi

-
60. Ng, Kevin Y. G. -Goal Programming, Method of Weighted Residuals, and Optimal Control Problems , IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics, Vol. SMC-17, No. 1, Jan./Feb. , 1987.
61. Gibson, M. -A Comparison of Interactive Multiple-Objective Decision Making Procedures , Comput. Opns. Res. , Vol. 14, No. 2, 1987, S. 97-105.
62. Baba, N. , Takeda, H. , & Miyake, T. -Interactive Multi-Objective Goal Programming Technique Using Random Optimization Method, Int. J. Systems Science, Vol. 19, No. 1, 1988, S. 151-159.
63. Lin, W. T. -A Survey of Goal Programming Applications , OMEGA, The Int. Jor. of Mngmt. Science, Vol. 8, No. 1, 1979, S. 115-122.

C- Operasyon Planlama

- C1:Envanter Yönetimi
- C2:Satınalma
- C3:Bütünleşik Üretim Planlama
- C4:Ulaştırma
- C5:Şebeke(ağ) Planlama

D- Pazarlama

- D1:Medya(Reklam Araçları) Planlama
- D2:Satış Elemanları Atama
- D3:Pazarlama ve Satış Faaliyetleri

E- İşgücü Planlama

- E1:Eşit İstihdam İmkânı Sağlama
- E2:Eğitim Programı
- E3:Programlama ve Atama
- E4:Toplam İşgücü Planlama

D- Diğerleri

- F1:Sosyal Ekonomik Planlama
- F2:Şehir ve Çevre Planlama
- F3:Tarımsal Planlama
- F4:Askeri Planlama

Yazarın bu sınıflandırması yanında , Sağlık Planlama ,Araştırma-Geliştirme,Proje Planlama, Tasarım gibi konulardaki çalışmalar da sınıflamaya dahil edilebilir.

Uygulama alanında sınıflanan bu konularda yapılan çalışmaları gözden geçirdiğimizde başlıcalarını şöyle özetleyebiliriz:

Monarchi, Weber ve Duckstein tarımsal planlama alanında bir su kaynaklarının optimizasyonu problemini doğrusal olmayan amaç programlama yöntemi ile ele almışlardır⁶⁴. Lee, güvenlik görevlilerinin çeşitli karakollara atanması probleminin (işgücü planlama problemi) etkileşimli doğrusal olmayan amaç programlama yöntemi ile çözümü konusunda bir çalışma yapmıştır⁶⁵. Johnsen, küçük firmalarda arama-öğrenme modeline dayanarak elemanların davranışlarını kontrol etmeyi amaçlayan bir çalışmayı doğrusal olmayan amaç programlama yöntemini kullanarak yapmıştır⁶⁶. Taylor, III ve Keown, toplam getiriyi maksimize edecek yatırım projelerinin seçimini bir üretim firmasında sermaye bütçeleme problemi olarak ele alıp, 0-1 tam sayılı programlama yaklaşımı ile çözmüştür⁶⁷. Aynı yazarlar yine aynı yöntem ile araştırma-gelistirme projeleri için atanacak kıt kaynakların optimize edilmesini yüksek teknolojiye sahip bir elektrik donanım firmasında ele almışlardır⁶⁸. Zanakis, bir danışmanlık firmasında projelerin mühendislere dağıtımını ele alan bir atama problemini 0-1 tamsayılı amaç programlama modeli ile çözmüştür⁶⁹.

64. Monarchi, D. E., Weber, J. E., Duckstein, L. -An Interactive Goal Programming, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, Newyork, 1975.

65. Lee, S. M. -Interactive Integer Goal Programming: Methods And Applications, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, Newyork, 1977.

66. Johnsen, E. -Multiobjective Management of The Small Firm, Lecture Notes in Economics and Mathenmatical Systems, Springer-Verlag, Newyork, 1977.

67. Taylor, III, B. W., Keown, A. J. -A Goal Programming Application of Capital Project Selection in the Production Area, AIIE Transections, Volume 10, No. 1, March 1978, s. 52-57.

68. Taylor, III, B. W., Keown, A. J., Duncan, C. P. -Allocation of Research and Development Fund: A Zero-One Goal Programming Approach, OMEGA The Int. Jl. of Mgmt Sci. Vol. 7 No. 4, 1979, s. 345-351.

69. Zanakis, S. H. -A Staff to Job Assignment (Partitioning Problem With Multiple Objectives, Comput. & Ops. Res. Vol. 10, No. 4, 1983, s. 357-369.

Cammon, su altı ve elektro-akustik sistemlerin tasarımıda doğrusal olmayan amaç programlamayı kullanmıştır⁷⁰. Beilby ve Mott, bir akademik araştırma kütüphanesinde fonların atanması problemine derecelendirilmiş amaç programlamayı uygulamıştır⁷¹. Rugg, White ve Endres şeker hastalarının perhizine dair bir bilgisayar destekli menü(diyet) planlama modelini amaç programlama yöntemi ile çözmüştür⁷². Parker, sıtma ve ilgili bulaşıcı hastalıkların kontrolü için kaynak seçimi ve atama problemini 0-1 tamsayıllı amaç programlama modeli ile çözmüştür⁷³. Steuer, firmada maaş ve ücret planlama problemini enflasyon ve kısa vadeli arz-talep şartlarında amaç programlama ile çözmüştür⁷⁴. Schniederjans ve Kim, bir fakültede öğretim elemanlarının departmanların ihtiyaçlarına ve elemanların tercihlerine göre özel kurslara atanması problemini 0-1 tamsayıllı amaç programlama ile çözmüştür⁷⁵. Charnes, Cooper ve Sueyoshi, BELL telefon telgraf şirketinin piyasadaki tekel durumunun ortadan kalkmasına neden olan mahkeme kararına dayanarak değişik departmanlarda çalışan çeşitli elemanların fonksiyonlarının belirlenmesini kısıtlı regresyon ve amaç programlama birleşimi bir ekonometrik modelle çözmüşlerdir⁷⁶.

70. McCammon, D. F. -The Use of Goal Programming in the Design of Electroacoustic Transducers And Transducers Arrays , Comput. & Ops. Res. Vol. 10, No. 4, 1983, s. 345-355.

71. Beilby, M. H. , Mott, Jr. T. H. -Academic Library Acquisitions Allocation Based On Multiple Collection Development Goals , Comput. & Ops. Res. Vol. 10, No. 4, 1983, s. 335-343.

72. McCann-Rugg, M. , White, G. P. , Endres, J. M. -Using Goal Programming to Improve the Calculation of Diabetic Diets , Comput. & Ops. Res. Vol. 10, No. 4, 1983, s. 365-373.

73. Parker, B. R. -A Program Selection/Resource Allocation Model for Control of Malaria and Related Parasitic Diseases , Comput. & Ops. Res. Vol. 10, No. 4, s. 375-389.

74. Steuer, R. E. -Multiple Criterion Function Goal Programming Applied to Managerial Compensation Planning , Comput. & Ops. Res. Vol. 10, No. 4, 1983, s. 299-309.

75. Schniederjans, M. J. , Kim, G. C. -A Goal Programming Model to Optimize Departmental Preference in Course Assignment , Comput. Opns. Res. Vol. 14, No. 2, 1987, pp. 87-96.

76. Charnes, A. , Cooper, W. W. , and Sueyoshi, T. , "A Goal Programming Contrained Regression Review of The Bell System Breakup ", Management Science , Vol. 4, No. 1, January, 1988, s. 1-126

3.6. DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMADA DEĞİŞTİRİLMİŞ ÖRNEKLEYEREK ARAMA YÖNTEMİ

Hooke ve Jeeves Örnekleyerek Arama Yöntemi ' inde Kısıtsız bir $h(\bar{X})$ fonksiyonunu minimize etmek için ardışık arama işlemi birden fazla $\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ değişkenini kapsar. $\bar{X}$ değişkeni $h(\bar{X})$ minimize edilinceye kadar değişir. Arama işlemi $\bar{X}$ in alacağı değerler sırasını belirler. $\bar{X}$ in başarılı değerleri boyutsuz uzayda noktalar olarak yorumlanır.

Yöntem iki tip hareketten oluşur: 1.Keşfedici Arama, 2.Örnekleme . Bir hareket verilen bir noktadan onu izleyen bir noktaya gidiş olarak tanımlanır. Minimizasyon için, $h(\bar{X})$ de azalma varsa hareket başarılı yoksa başarısızdır.

Hareketin 1.tipi $h(\bar{X})$ amaç fonksiyonunun yerel davranışını keşfetmek için tasarlanan bir keşfedici hareket tir. Keşfedici hareketin başarılı yada başarısız oluşu başarılı hareket için gerekli olan ve muhtemel doğrultuyu gösteren örnek hareketin elde edilmesinde kullanılır. Doğrusal Olmayan Amaç Programlama (DOAP) problemi, kısıt ve sapma değişkenlerinden oluştuğundan, orijinal Hooke-Jeeves Arama Yöntemi problemin çözümü için doğrudan uygulanamaz. Bu nedenle yöntem düzeltilir. DOAP problemlerinin çözümü için kullanılan Değiştirilmiş Hooke-Jeeves Örnekleyerek Arama (DHJÖA) Yöntemi ' nde amaç $\bar{a}=(a_1, a_2, \dots, a_l)$ başarı fonksiyonu vektörünü minimize etmektir.

DOAP nın ardışık yaklaşımında, $(j+1)$. amaca ait çözüm, $f_j(\bar{X}) + d_{m+j}^- - d_{m+j}^- = b_j$ j. amacının sağlanması

yanında önceki ulaşılan başarılı fonksiyonların bozulmaması ve $\bar{a} = (\bar{d}^-, \bar{d}^+)$ başarı fonksiyonunu minimize etmekle $\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ çözüm vektörü elde edilir. Yani $a(\bar{d}^-, \bar{d}^+) \leq a^*$, $t=1,2,\dots,j$ dir. Bunun için problem kısıtlı bir problemdir. Bununla birlikte kısıtları test etme DHJÖA Yönteminin hareketine dahil edilebilir. DHJÖA Yöntemi için başarılı bir hareket, $a_{j+1}(\bar{d}^-, \bar{d}^+)$ in değerleri azalırsa ve $a_t(\bar{d}^-, \bar{d}^+) \leq a_t^*$, $t=1,2,\dots,j$ sağlanırsa geçerlidir. Aksi halde başarısızlık söz konusudur. Bu değiştirme işlemi keşfedici hareket ve örnekleme hareketi ile birleştirilmiştir.

Tek amaçlı DOAP daki deneyimler göstermiştir ki

- * Özel bir yöntem herhangi bir probleme iyi bir şekilde uygulanabilirken problemde yapılan küçük bir değişme yöntemin zayıflamasına neden olabilmektedir.
- * Her hangi bir yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar başlangıç nokta/noktalarına yüksek oranda bağlıdır.
- * Problem çok özel bir formda olmadıkça yalnız yerel optimal çözümün elde edilmesi beklenir.
- * Bazı araştırmacılar tarafından altı çizildiği gibi az tecrübeye dayanan algoritmaların seçimiyle elde edilen sonuçların kabulü mümkün değildir.

Burada, "tek amaçlı" DOAP Yöntemlerinin bizim "çok amaçlı" DOAP yöntemlerinden doğru bir şekilde

ayrılabilmesi için bu gibi tartışmaları beklememiz gerekir. Bölüm 2.3 te tartışılan Griffith-Stewart Tekniği yukarda ifade edilen kusurların bir kısmına ve özel bazı kusurlara sahiptir. Bu kusurlar:

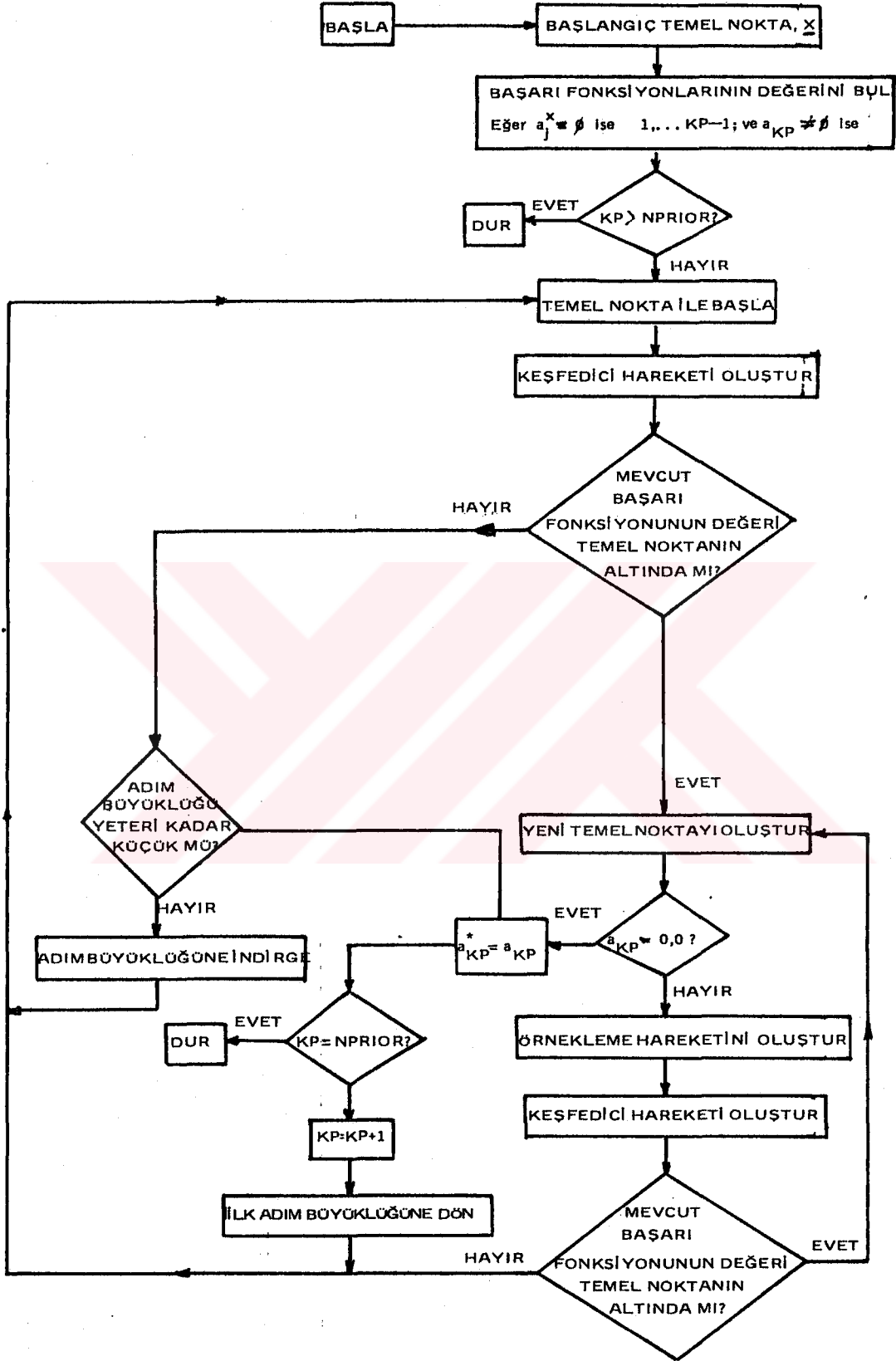
- (1)Kullanılan algoritmanın performansında sayısal veya analitik yöntemle türevlerin alınabilmesi gerekir.
- (2)Her bir iterasyon Değiştirilmiş Simpleks Yöntemi kullanır. Bu tekniğin kullanılmasıyla problemin boyutu büyür.

Burada yaptığımız çalışmada, bu kusurların her ikisini de gideren bir yöntem ele alınacaktır. Bu yöntem Hooke ve Jeeves veya çok kere Örnekleyerek Arama (Pattern Search) olarak bilinen yöntemin değiştirilmiş bir biçimidir. Örnekleyerek Arama Yöntemini programlayabilmek ve onu çalıştırmak kısmen kolaydır. Bu yönteme yöneltilen ana eleştiri "çok basit olduğu" dur. Maalesef, basit bir yöntemin daha seçkin olduğu iddia edilen yöntemden daha iyi olduğuna inanmayan veya inanmak istemeyen bir çok kişi vardır. Fakat burada kullanılan yöntem, "tek" ve "çok" amaçlı çok sayıda gerçek dünya probleminin çözümünde yıllarca tatmin edici sonuçlar vermiştir⁷⁷.

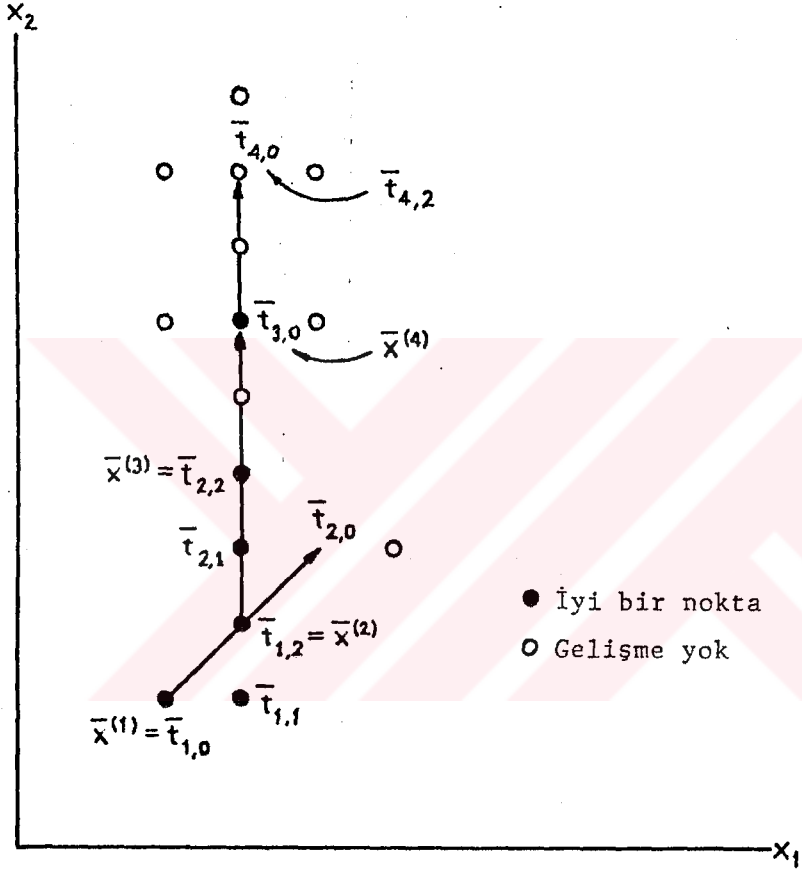
Clayton, Weber, Taylor Doğrusal ve DOAP yı Monte Carlo dışı benzetim modellerinin optimizasyonu ile birlikte kullanılmış ve doğrusal olmayan modellerin çözümünde hem Örnekleyerek Arama hem de Gradiet Arama Yöntemleri ile çözüm yapmışlardır⁷⁸.

77. Ignizio, J. -Goal Programming and Extensions-a.g.e.

78. Clayton, E. R., Weber, W. E., Taylor, B. W. -A Goal Programming Approach to the Optimization of Multiresponse Simulation Models, IIE Transactions, Vol. 14, No. 4, 1982, s. 282, 287.



Şekil 3.6. Değiştirilmiş Hooke-Jeeves Arama Yöntemi ile DOAP nın Akış Diyagramı



Sekil 3.7. Örnekleyerek Arama Yönteminin Grafik Gösterimi

Örnekleyerek Arama , "hızlandırıcı arama teknikleri olarak bilinen arama teknikleri sınıfının bir üyesidir." "Böyle yöntemler, eğer önceki aramalar başarılı olursa adım büyüklüğünü artırır, aksi halde azaltır". Yöntemi tartışmadan önce kullanılacak terminolojiyi şöyle açıklayabiliriz:

Arama işlemine seçilen bir Başlangıç Temel Noktası ile başlanır. Bu nokta $\bar{X}^{(4)}$ olarak işaretlenir ve keyfi olarak, problemi bilen bir eleman veya mevcut bir çözüm yardımıyla seçilebilir. Genellikle, bu noktayı bizim seçmemiz, arama ve yakınsamanın daha hızlı olması bakımından daha iyidir. Uygunluk için, bu "İlk Temel Nokta" aynı zamanda "İlk Deneme Noktası" olacaktır. Bu ilk Deneme Noktası ise $\bar{t}_{1,0}$ olarak işaretlenir. Deneme Noktasının indislerinin yorumlanması önemlidir. İlk indis örnekleme numarasını, ikinci indis ise salınım gösteren değişken sayısını gösterir. Örneğin, $\bar{t}_{1,0}$ Deneme Noktası, ilk örneklemeye ait olduğu, henüz salınım yapan bir değişken olmadığı şeklinde yorumlanır. Benzer şekilde genel olarak, $\bar{t}_{k,j}$ j. salınım gösteren değişken ile k. örnekleme'ye karşılık gelen Deneme Noktasıdır (Şekil 3.7.).

Bir arama her deneme noktası civarında uygulanır. Aramayı oluşturmak için mevcut deneme noktası civarında aynı anda her bir değişkene salınım yaptırırız. Bu salınım işlemi $x_1, x_2, \dots, x_n$ değişkenlerinin her birisi için bir δ_i adım büyüklüğü seçilerek belirlenir. j. bileşeni δ_j , diğer bileşenleri sıfır olan $\bar{\delta}_j$ vektörü belirlenir. Örneğin, 5 değişken varsa, o zaman δ_j vektörleri

$$\bar{\delta}_1 = (\delta_1, 0, 0, 0, 0)$$

$$\bar{\delta}_2 = (0, \delta_2, 0, 0, 0)$$

$$\bar{\delta}_3 = (0, 0, \delta_3, 0, 0)$$

$$\bar{\delta}_4 = (0, 0, 0, \delta_4, 0)$$

$$\bar{\delta}_5 = (0, 0, 0, 0, \delta_5)$$

şeklindedir. Bu yöntemi bir ÖRNEK üzerinde gösterelim.

Kabul edelimki 3 değişken olsun, x_1, x_2, x_3 . Başlangıç Temel Noktası $\bar{X}^{(1)} = (2, 2, 0)$ dır. Tanım olarak, İlk Deneme Noktası İlk Temel Nokta dır.

Salınım adım büyüklüğünü 0.1 kabul edersek ilgili vektörleri

$$\bar{\delta}_1 = (0.1, 0, 0)$$

$$\bar{\delta}_2 = (0, 0.1, 0)$$

$$\bar{\delta}_3 = (0, 0, 0.1)$$

şeklinde yazabiliriz. Böylece $\bar{t}_{1,0}$ a salınım yaptırarak $\bar{t}_{1,1}$ Deneme Noktası bulunur. Gerçekten $\bar{t}_{1,1}$

$$\bar{t}_{1,1} = \begin{bmatrix} \bar{t}_{1,0} + \bar{\delta}_1 \\ \bar{t}_{1,0} - \bar{\delta}_1 \\ \bar{t}_{1,0} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{veya} \\ \text{veya} \end{matrix}$$

ifadeleri arasından $\bar{a}$ ye minimum değer verdiren Deneme Noktası'dır. Bu örnek için

$$\bar{t}_{1,1} = \begin{cases} (2,2,0) + (0.1,0,0) = (2.1,2,0) & \text{veya} \\ (2,2,0) - (0.1,0,0) = (1.9,2,0) & \text{veya} \\ (2,2,0) \end{cases}$$

seklindedir. Burada, verilen bir Deneme Noktası civarında yapılan bütün salınımların incelenmesinin gerekli olmadığını dikkate almak önemlidir. Önceki en iyi salınım noktasına tercih edilen $\bar{a}$ nin değerini veren noktayı elde eder etmez işlemi durdururuz. Örneğin, eğer $(2.1,2,0)$ daki $\bar{a}$ $(2,2,0)$ daki $\bar{a}$ ye tercih edilirse, bu taktirde $(2.1,2,0)$ noktası derhal $\bar{t}$ noktası olarak seçilir. Bu durumda $(1.9,2,0)$ noktasını incelemek gereksizdir.

Önceki Temel Noktası $\bar{X}^{(k)}$ ile karşılaştırılan nihai $t_{k,n}$ noktası civarında bütün değişkenlere salınım işlemi uygulandı. Eğer $\bar{a}$ nin değeri $\bar{t}_{k,n}$ noktasında iyileştirilirse yeni temel $\bar{X}^{(k+1)}$ olur. Öyle değilse şimdiki temel noktamız $\bar{X}^{(k)}$ halen en iyi noktadır. Ve bu nokta $\bar{X}^{(k+1)}$ olarak işaretlenir. İlk durumda Örneklememizin bir parçasını oluşturabiliriz. Bu örnekleme, $\bar{X}^{(k)}$ dan $\bar{X}^{(k+1)}$ e çizilen vektör boyunca bir harekettir ve yeni deneme noktamız olan $\bar{t}_{k+1,0}$ in tanımlanmasına yardım eder. Burada

$$\bar{t}_{k+1,0} = 2 \bar{X}^{(k+1)} - \bar{X}^{(k)}$$

dir. Böylece $\bar{t}_{k+1,0}$ in $\bar{X}^{(k)}$ dan $\bar{X}^{(k+1)}$ e uzaklığın iki katı uzaklıkta olan $\bar{X}^{(k)}$ dan $\bar{X}^{(k+1)}$ e çizilen

vektörün sonunda bulunduğunu görürüz. Temel noktalar arasındaki uzaklığın iki kat alınması aramanın hızlanmasına neden olur. Tipik bir Örnekleyerek Aramada adımların gösterimini Şekil 3.7. ye başvurarak tartışabiliriz. İlk temel nokta $\bar{X}^{(1)}$ belirlenir. Tanımdan $\bar{t}_{1,0} = \bar{X}^{(1)}$ yaparız. Şimdi $\bar{t}_{1,0}$ civarındaki bölgeyi Keşfedeceğiz. $\bar{\delta}_1$ vasıtasıyla $\bar{t}_{1,0}$ a salınım işlemi uygulanarak $\bar{a}$ nın gelişen değerini veren $\bar{t}_{1,0} + \bar{\delta}_1$ yi elde ederiz. Ve böylece $\bar{t}_{1,1} = \bar{t}_{1,0} + \bar{\delta}_1$ olur. Şimdi $\bar{t}_{1,1}$ e $\bar{\delta}_2$ ile salınım işlemi uygulayabiliriz. Böylece $\bar{a}$ ya gelişen bir değer veren ve $\bar{t}_{1,2} = \bar{t}_{1,1} + \bar{\delta}_2$ olan $\bar{t}_{1,1} + \bar{\delta}_2$ yi keşfederiz. $\bar{t}_{1,0}$ civarındaki salınım işlemi tamamlanmış oldu. Ve şimdi $\bar{t}_{1,0} = \bar{X}^{(1)}$ için $\bar{t}_{1,2}$ nin $\bar{a}$ ye tercih edilen bir değer verip vermediğini belirleyebiliriz. İkinci temel noktamızı $\bar{X}^{(2)} = \bar{t}_{1,2}$ olarak yazabiliriz. $\bar{X}^{(1)}$ den $\bar{X}^{(2)}$ ye vektörümüzü çizerek örneklememizi şekillendirebiliriz (Şekil 3.2.). Bu vektör, bir sonraki Deneme Noktamız olan $\bar{t}_{2,0}$ da son bulur. $\bar{t}_{2,0}$ salınımını $\bar{\delta}_1$ vasıtasıyla yaparız. $\bar{t}_{2,0} + \bar{\delta}_1$ de $\bar{a}$ için gelişme olmaz fakat $\bar{t}_{2,0} - \bar{\delta}_1$ de gelişme vardır ve böylece $\bar{t}_{2,1} = \bar{t}_{2,0} - \bar{\delta}_1$ dir. $\bar{\delta}_2$ ile $\bar{t}_{2,1}$ civarında salınım yapılarak $\bar{t}_{2,1} + \bar{\delta}_2$ deki $\bar{a}$ de gelişme elde ederiz ve bu nokta $\bar{t}_{2,2}$ olur. Bütün değişkenlere salınım işlemi uygulanarak $\bar{X}^{(2)}$ deki $\bar{t}_{2,2}$ nin $\bar{a}$ değerinin tercih edilip edilmeyeceğini belirleriz. Ve biz böylece $\bar{X}^{(3)} = \bar{t}_{2,2}$ yi elde ederiz. $\bar{X}^{(2)}$ yi bir sonraki deneme noktası $\bar{t}_{3,0}$ da son bulan $\bar{X}^{(3)}$ e birleştiren vektörümüzü çizerek sonraki örneklememiz elde edilir. $\bar{t}_{3,0}$ civarındaki salınımlar $\bar{t}_{3,0}$ ın üzerinde herhangi bir gelişme gerçekleştirmez ve böylece $\bar{t}_{3,2} = \bar{t}_{3,0}$ olur. $\bar{X}^{(3)}$ deki $\bar{a}$ ile $\bar{t}_{3,2}$ deki $\bar{a}$ karşılaştırılarak bir gelişme olduğu görülür ve böylece $\bar{X}^{(4)} = \bar{t}_{3,2}$ olur. $\bar{X}^{(3)}$ ve $\bar{X}^{(4)}$ yoluyla yeni bir örneklem oluşturulur.

$\bar{t}_{4,0}$ civarındaki salınımların $\bar{t}_{4,0}$ in üzerinde gelişme sağlamadığını buluruz ve ek olarak $\bar{t}_{4,0}$ daki $\bar{a}$ değerinden daha kötüdür. Öyleyse bu örnekleme iptal edilir. ve $\bar{X}^{(5)} = \bar{X}^{(4)}$ e eşitlenir. Ya $\bar{X}^{(5)}$ noktasında yerel optimumu bulmuş oluruz yada aksi halde yeni örnekleme hareketini bulunması için salınım adımlarının büyüklüğünü (δ_i leri) indirgememiz gerekir.

Şimdi DOAP için Örnekleyerek Arama Algoritması adımlarını belirleyelim. Algoritmayı takiben de gerçek yaklaşımı göstermede bir örnek kullanılacaktır:

Adım 1. $q=0$ ve $r=0$ al. İlk Temel Nokta $\bar{X}^{(1)}$ i ve değişken sapma değerlerinin kümesi $\bar{\delta}$ yı seç.

$R_{\max}$ = İterasyonların maksimum sayısını,

$\bar{\delta}_{\min}$ = $\bar{\delta}$ için minimum değerleri,

$\bar{\epsilon}$ = $\bar{a}$ nın başarılı değerleri arasındaki minimum çözümü, belirle.

Adım 2. $\bar{X}^{(1)}$ için başarı fonksiyonunun değerinin belirle ve bunu $\bar{a}(\bar{X}^{(1)})$ olarak işaretle. $\bar{t}_{1,0} = \bar{X}^{(1)}$ yaz. $k=q+1$ al.

Adım 3. $q=q+1$ ve $r=r+1$ yap.

Adım 4. $\bar{t}_{k,0}$ civarındaki salınımları incele, $\bar{t}_{k,n}$ yi belirlemek için aşağıdaki adımları gerçekleştir:

(a) $j=1$ al.

(b) Eğer $\bar{a}(\bar{t}_{k,0} + \bar{\delta}_j) < \bar{a}(\bar{t}_{k,0})$ ise o zaman

$\bar{t}_{k,j} = \bar{t}_{k,0} + \bar{\delta}_j$ yap ve Adım 4. (d) 'ye git.

Aksi halde Adım 4. (c) 'ye git.

(c) Eğer $\bar{a}(\bar{t}_{k,o} - \bar{\delta}_j) < \bar{a}(\bar{t}_{k,o})$ ise o zaman
 $\bar{t}_{k,j} = \bar{t}_{k,o} - \bar{\delta}_j$ yap ve Adım 4. (d) 'ye git.

Aksi halde $\bar{t}_{k,j} = \bar{t}_{k,o}$ yap,

ve Adım 4. (d) 'ye git.

(d) Eğer $j=n$ ise Adım 5. e git. Aksi halde

$j=j+1$ al ve Adım 4. (b) ye geri dön.

Adım 5. Şimdi $\bar{X}^{(k)}$ daki ile $\bar{t}_{k,n}$ deki başarı fonksiyonu değerlerini karşılaştıralım:

Eğer

$$\bar{a}(\bar{t}_{k,n}) + \bar{s} < \bar{a}(\bar{X}^{(k)})$$

ise $\bar{t}_{k,n}$ yeni temel noktamız olur. Burada

$$\bar{X}^{(q+1)} = \bar{t}_{k,n}$$

ve Adım 6. ya gidilir. Eğer bununla birlikte

$$\bar{a}(\bar{t}_{k,n}) + \bar{s} \geq \bar{a}(\bar{X}^{(k)})$$

ise yeni temel noktamız

$$\bar{X}^{(q+1)} = \bar{X}^{(k)}$$

dır ve Adım 7. ye geçilir.

Adım 6. $k=q+1$ olsun. Eğer $r \geq R_{\max}$ ise Adım 9. a git.

Değilse $\bar{t} = 2\bar{X}^{(k)} - \bar{X}^{(k-1)}$

al ve Adım 3. 'e git.

Adım 7. $\bar{a}$ da gelişme olmamıştır, böylece sapma adım büyüklüklerini indirgeriz ve araştırmaya aşağıdaki gibi devam ederiz:

$$\bar{\delta} = \bar{\delta} / 2 \quad \text{olsun.}$$

Adım 8. $\bar{\delta}$, $\bar{\delta}_{\min}$ dan küçük ise Adım 9.'a git.

Aksi halde

$$k=q+1$$

$$\text{al ve } \bar{t}_{k,0} = \bar{X}^{(q+1)}$$

yap, Adım 3. 'e git.

Adım 9. Arama sona erer. Son temel noktayı çözüm olarak alırız.

Bu adımları şimdi Griffth-Stewart Yönteminde ele alınan gerçek bir örnek üzerinde gösterelim:

$$\bar{a} = \{(p_3), (2n_1 + p_2)\}$$

$$x_1 x_2 + n_1 - p_1 = 16$$

$$(x_1 - 3) + x_2 + n_2 - p_2 = 9$$

$$x_2 + x_3 + n_3 - p_3 = 6$$

ifadesindeki $\bar{a}$ yı minimize edecek x_1 , x_2 yi araştıralım:

Başlangıç temel noktası olarak yine $\bar{X}^{(1)} = (5, 5)$ i alalım.

Aşağıdaki algoritma ile çözüm şöyledir:

Adım 1. $q=0$, $r=0$ ve $\bar{X}^{(1)} = (5, 5)$ i alırız.

Salınım adım büyüklüğümüz başlangıçta 0.5 olsun. Bundan başka

$$R_{\max} = 50$$

$$\bar{\delta}_{\min} = (0.25, 0.25)$$

$$\bar{\varepsilon} = (0.01, 0.01)$$

değerlerini belirleyelim.

Adım 2. $\bar{a}(\bar{X}^{(1)}) = (4, 20)$

$$k = q + 1 = 1$$

$$\bar{t}_{1,0} = \bar{X}^{(1)} = (5, 5)$$

Adım 3. $q = q + 1 = 1$, $r = r + 1 = 1$

Adım 4. $\bar{a}(\bar{t}_{1,0}) = (4, 20)$

$$\bar{a}(\bar{t}_{1,0} + \bar{\delta}_1) = \bar{a}(5.5, 5) = (4.5, 22.25)$$

$$\bar{a}(\bar{t}_{1,0} - \bar{\delta}_1) = \bar{a}(4.5, 5) = (3.5, 18.25)$$

böylece $\bar{t}_{1,1} = (4.5, 5)$ olur. Buradan

$$\bar{a}(\bar{t}_{1,1} + \bar{\delta}_2) = \bar{a}(4.5, 5) = (4, 23.5)$$

$$\bar{a}(\bar{t}_{1,1} - \bar{\delta}_2) = \bar{a}(4.5, 4.5) = (3, 13.5)$$

böylece $\bar{t}_{1,2} = (4.5, 4.5)$ olur. Buradan

Adım 5. $\bar{a}(\bar{t}_{1,2})$ ile $\bar{a}(\bar{X}^{(1)})$ karşılaştırılarak bir gelişme elde ederiz ve böylece $\bar{t}_{1,2}$ yeni temel nokta olur. Yani

$$\bar{X}^{(2)} = \bar{t}_{1,2} = (4.5, 4.5)$$

dir.

Adım 6. Yeni deneme noktamızı($k=q+1=1$)

$$\bar{t}_{2,0} = 2\bar{X}^{(2)} - \bar{X}^{(1)} = (9, 9) - (5, 5) = (4, 4)$$

olarak elde ederiz ve Adım 3. 'e döneriz.

Adım 3. $q=q+1=0+1=1$

$$r=r+1=0+1=1$$

olur.

Adım 4. $\bar{t}_{2,0} = (4, 4)$ civarındaki salınımları inceleyerek

$$\bar{t}_{2,2} = (3.5, 3.5)$$

$$\bar{a}(\bar{t}_{2,2}) = (1, 11)$$

buluruz.

Adım 5. $\bar{a}(\bar{X}^{(2)})$ ile $\bar{a}(\bar{t}_{2,2})$ yi karşılaştırarak tekrar gelişme elde ederiz ve böylece

$$\bar{X}^{(3)} = \bar{t}_{2,2} = (3.5, 3.5)$$

olur.

Adım 6. Bir sonraki deneme noktamızı($k=q+1=2$ için)

$$\bar{t}_{3,0} = 2\bar{X}^{(3)} - \bar{X}^{(2)} = (7, 7) - (4.5, 4.5) = (2.5, 2.5)$$

Ve Adım 3. 'e geri döneriz.

Adım 3. $q=q+1=2$, $r=r+1=2$

Adım 4. $\bar{t}_{3,0}$ civarındaki salınımlarımızı inceleyerek

$$\bar{t}_{3,2} = (3, 3)$$

buluruz ve $\bar{a}(\bar{t}_{3,2}) = (0, 14)$ olur. Devam edersek

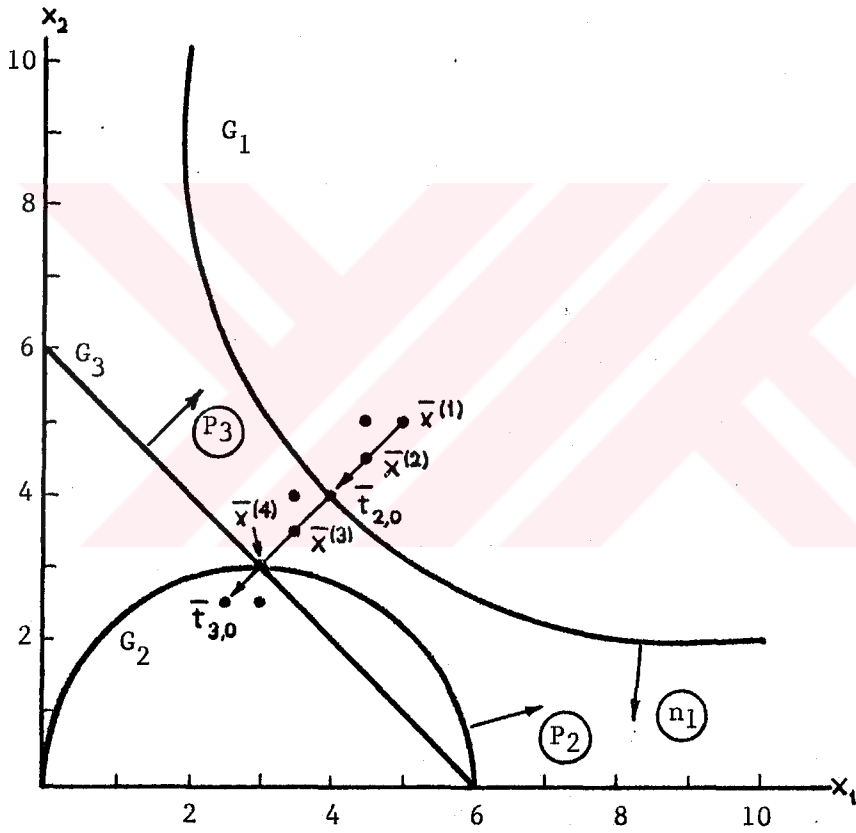
$\bar{t}_{3,2}$ nin üzerinde bir gelişme elde edemeyiz.

Mümkün olan minimum salınım adım büyüklüğüne indirgendikten sonra algoritma, optimal çözüm

ile sona erer. Böylece en son elde edilen

$\bar{t}_{3,2} = (3, 3)$ deneme noktası optimal çözüm olur.

Bu yöntem ile ilgili grafik gösterim Şekil 3.8. te verilmiştir⁷⁹.



Şekil 3.8. Değiştirilmiş Örnekleyerek Aramanın Grafik Gösterimi

79. Ignizio, J. - a. g. e.

B Ö L Ü M - 4
STİREN ÜNİTESİNİN SÜREÇ KONTROL PROBLEMİ
OLARAK ELE ALINMASI

4.1. GENEL BİR SÜREÇ KONTROL PROBLEMİNİN
AMAC PROGRAMLAMA FORMÜLASYONU

Çıktının istenen bir spesifikasyona sahip olması için Girdi'lerin ve Süreç Değişkenlerine ait seviyelerin belirlenmesi bilinen bir Süreç Kontrol Problemi'dir. Tek özellikli bir Çıktı düşünüldüğü zaman, uygun bir basit yöntem kullanılarak böyle bir problem ele alınabilir. Bunun yanında, Çoklu özelliğe sahip bir Çıktı düşünüldüğü ve bu özelliklerin herbirinin onun spesifikasyonlarını sağlaması gerektiği zaman güçlükler ortaya çıkabilir. Böyle bir problemle bir petro-kimya ünitesi olan Stiren Fabrikasında karşılaşmış ve bu problem Doğrusal Olmayan amaç Programlama Yöntemi Yardımı ile ele alınmıştır. Böylece bir Süreç Kontrol Problemi için Amaç Programlama Formülasyonunun mümkün olduğu görülmüştür. Bu bölümde bir süreç kontrol probleminin Genel Amaç Programlama Formülasyonu verilmiş ve bu formülasyon ele aldığımız petro-kimyasal süreç probleminin çözümüne esas teşkil edecektir.

Girdiler, genellikle bir tek Çıktının (veya İlave Çıktıların) üretimi için Süreç Değişkenleri içerisinde işlenirler. Bu Çıktının(çıktıların) belirli sayıdaki

özellikleri için spesifikasyonları sağlaması gerekir. Her bir Girdinin, içerisinde çalışması gerektiği değerler aralığı ve Sürec Değişkenlerinin çalışabileceği limitler bilinir.

Buna göre problem, içerisinde kısıtlara bağlı Çıktı Özelliklerine göre bütün spesifikasyonları toplayan "Girdi Seviyeleri" ve "Süreç Değişkenleri" bulunan bir çözüm bulmak yada eğer böyle bir çözüm yoksa, bu taktirde sistemle en iyi uzlaşan çözümü elde etmektir.

Tek amaçlı çözümlerde problemin, burada Stiren Üretiminin gerçekleştirilmesi için, aynı zaman diliminde birden fazla amacı gözönünde tutması mümkün olamaz. Çünkü modelin yapısı, amaç fonksiyonu ve kısıtlar ya kar ya da maliyet temeline göre oluşturulur. Diğer amaçlar için ise, yeni ve değişik modellerin kurulması gerekir. Her modelin çözümü farklı amaçlara dayandığından, amaçlar arasında uyum sağlanamaz. Oysa, birden fazla amacın, örneğimizde "Girdi/Etilbenzen'in Kalitesi ve diğer özellikleri, Çıktı/Stiren'in Kalitesi ve diğer özellikleri, Reaktörlere ait Sıcaklık, Basınc, Buhar değerleri, Ürün/Stiren'in Maliyeti ve Girdilerin fiyatları" bir modelin çatısı altında ele alınması gerekir. Aksi halde, bunların tek tek optimum noktalarının belirlenmesi durumunda tümüne ait ortak noktayı yakalamak mümkün değildir. Çünkü bu amaçlar birbirleriyle çatışır durumdadır. Bu çatışmayı değerlendirerek uzlaştıracak ortak nokta ancak bunları bir çatı altında bir araya getirmekle bulunabilir.

Şimdi sırasıyla

$X_1, X_2, \dots, X_l$ 1 adet Girdi Özelliğini,

$R_1, R_2, \dots, R_k$ k adet Süreç Değişkenlerini,

$Y_1, Y_2, \dots, Y_r$ r adet Çıktı Özelliklerini

gösterebiliriz.

Genellikle böyle değişkenler için mühendislik spesifikasyonlarının iki tipi vardır: İki taraflı, Tek taraflı. Bununla birlikte, spesifikasyonun diğer bir formu da bulunur "e yakın". (Problemde karşılaşılan spesifikasyonların bu tipi de gözlenmiştir.) Biz burada, Girdi Özellikleri ve Süreç Değişkenleri ile her bir Çıktı Özelliği arasında Doğrusal Olmayan Regresyon Denklemleri şeklindeki ilişkileri ifade etmeye çalışacağız. Böyle ilişkiler

$$Y_i = F_i(X_1, X_2, \dots, X_l ; R_1, R_2, \dots, R_k) , i=1,2,\dots,r$$

şeklinde olsunlar.

Bu problemi bir DOAP Problemi olarak formüle etmek için aşağıdaki başlangıç adımları gereklidir:

Adım 1. Spesifikasyonların Formunun Değiştirilmesi:

Ardışık değişkenler Ust Spesifikasyon Limitinden (USL) Alt Spesifikasyon Limitini (ASL) çıkarılmak suretiyle İki Taraflı bir Spesifikasyon Limiti sekline getirilir ve böylece değiştirilmiş olur.

Böylece bütün değişkenler Tek Taraflı spesifikasyon limitine veya " e yakın " tipindeki spesifikasyona sahip olacaktır. Bu işlem matematiksel olarak

$$USL - ASL = USL_{\text{yeni}}$$

şeklinde gösterilebilir.

Adım 2. Regresyon Denklemlerinin Düzenlenmesi:

Regresyon Denklemlerinin

$$Y'_i = F_i(X'_1, X'_2, \dots, X'_l; R'_1, R'_2, \dots, R'_k)$$

formunda yeniden yazılması gerekir. Burada Y'_i, X'_j ve R'_t Değiştirilmiş Değişkenler'dir.

Buna göre Değiştirilmiş Problem şöyle ifade edilebilir:

" Bütün $i=1,2,\dots,r$ için öyle X' ve R' değerleri bulunuz ki Y'_i bu $X'_1, X'_2, \dots, X'_l$ ve $R'_1, R'_2, \dots, R'_k$ değerlerine bağlı (spesifikasyonlar şeklindeki) kısıtlara göre spesifikasyonlara sahip olsun."

Burada, bu spesifikasyonları amaç kısıtları olarak ele alabileceğimize ve onlara ait öncelik faktörlerini belirleyebileceğimize dikkat edilmelidir. Böylece problem, Öncelik faktörlerine uygun olarak ileri sürülen düşünceler yardımıyla kurulan amaç kısıtlarına bağlı sapmalı değişkenlerin minimize edilmesi problemi şekline gelir. Buradan, genel bir süreç kontrol problemi bir amaç programlama problemi olarak formüle edilebilir. Ve sembolik olarak şöyle yazılır:

$$\text{Min } \sum_{m=1}^{l+k+r} (d_m^+ + d_m^-)$$

sapmalar toplamı

(1)Çıktı ile ilgili Amaç Kısıtları:

$$P_{f_i} \cdot Y_i' - d_i^+ + d_i^- = S_i', \quad i=1,2,\dots,r$$

Burada;

P_{f_i} = i. amaç için öncelik faktörü

S_i' = Değiştirilmiş spesifikasyon limiti (veya amaç)

(2)Girdi ile ilgili Amaç Kısıtları:

$$P_{f_j} \cdot X_j' - d_j^+ + d_j^- = S_j', \quad j=1,2,\dots,l$$

Burada;

P_{f_j} = j. amaç için öncelik faktörü

S_j' = Değiştirilmiş spesifikasyon limiti (veya amaç)

(3) Sürec İle İlgili Amaç Kısıtları:

$$P_{f_t} \cdot R_t' - d_t^+ + d_t^- = S_t', \quad t=1,2,\dots,r$$

Burada;

P_{f_t} = t. amaç için öncelik faktörü

S_t' = Değiştirilmiş spesifikasyon limiti (veya amaç)

Ve

$$Y_i', X_j', R_t' \geq 0$$

kısıtlarına göre minimize edilecektir.

Burada, tek taraflı spesifikasyon limitlerinin durumuna dikkat edilirse, pozitif veya negatif sapmalı değişkenlerden yalnız birisine sahip olacaklardır. Bununla birlikte spesifikasyonun " e yakın " (eşitlik) tipi için her iki sapma değişkeninin de düşünülmesi gerekir.⁸⁰

Bölüm 2.3. de de bahsedildiği gibi, bu DOAP Probleminin çözümü için akla gelecek uygun bir yöntem Değiştirilmiş Griffith-Stewart Yöntemi ' dir. Bölüm 2.3. de tanıtılan bu yöntem, " Doğrusal olmayan ifadeleri Doğrusal hale getirmek için çalışma yapılan başlangıç noktası civarında Taylor Serisine açarak doğrusal olmayan yüksek mertebeli terimlerin ihmal edilmesi" esasına dayanır.

80. Sengupta, S. - a. g. e.

Burada dikkatten uzak tutulmaması gereken nokta, ihmal edilen yüksek mertebeli terimlerden gelecek kayıplardır. Bu kayıplar nedeniyle optimal çözümden sapmalar artabilecektir. Bu sakıncalı durumu ortadan kaldırmak için " Doğrusal olmayan yapılardan kayba uğramaksızın kurtulmak, daha optimal bir çözüme ulaşmada önemli bir gelişme olacaktır ".

Böyle bir yöntem Bölüm 3.5. te tanıtılan ve Hooke-Jeeves Örnekleyerek Arama Tekniği ile Amaç Programlamanın birlikte düşünülmesiyle geliştirilen " DEĞİŞTİRİLMİŞ ÖRNEKLEYEREK ARAMA YÖNTEMİ " 'dir. Bu yöntemde problemi oluşturan ifadeler için herhangi bir düzeltme söz konusu değildir. İfadeler üzerinde doğrudan işlem yapılmakta, dolayısıyla da ifadelere ait herhangi bir terim kaybı söz konusu olmamaktadır. Bu nedenle ele aldığımız DOAP Probleminin çözümünde bu yöntemin kullanılmasıyla optimal çözüme yaklaşımın daha etkin olması beklenmektedir.

Böylece, bu yöntem kullanılarak $\langle X_i^* \rangle$ ve $\langle R_i^* \rangle$ için elde edilecek çözümü $\langle X_i \rangle$, $\langle R_i \rangle$ ve $\langle Y_i \rangle$ şeklindeki asıl değişkenler setine ait çözüme dönüştürmek kolay bir işlem olacaktır.

4.2. STİREN ÜNİTESİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMA FORMÜLASYONU

Şimdi, çalışmamıza konu olan Stiren Ünitesini Bölüm 2.2. de genel tanımı yapılan bir kimyasal süreç olarak ele almak suretiyle bu sürecin amaç programlama formülasyonunu oluşturalım.

Burada, EB hammaddesine ait Risaykıl ve Besleme Miktarı, Katılma Noktası, Safiyet, Spesifik Gravite, Parafinler, Distilasyon Aralığı, Sülfür, Bromindeksi, Bazikoksit ile Kükürt, Katbek Yağı, TBC Katkı Maddeleri GİRDİ 'leri, 1., 2., 3. Reaktörlerdeki Sıcaklık, Basıncı, Buhar ve Buhar/EB oranları ile Benzen-Toluen, EB, Stiren Kolonlarının Tepe Basıncı, Dip Basıncı, Tepsi Sıcaklığı, Dip Sıcaklığı SÜREÇ DEĞİŞKENLERİNİ, Stiren'e ait Miktar, Safiyet, Renk, Aldehitler, Peroksitler, Sülfür, Polimer, İnhibitör, Kloritler, Alfametilstiren, Divinilbenzen, Viskozite(25°C) ile Benzen-Toluen, Off Gaz, Ağır Ürün gibi Yanürünler ÇIKTI ÖZELLİKLERİ olmak üzere bunlar Stiren üretiminde önde gelen değerler olarak gözönüne alınacaktır.

Özellikle reaktörlerde oluşan reaksiyonlar üretimin en önemli safhasını teşkil ederler. Bunlardan Reaksiyon sıcaklığı normal olarak 590°C ile 630°C arasında değer alır. 640°Cden daha yüksek sıcaklıklar Stiren üretimine yararlı olmadığı gibi, kataliz ömrünü kısaltıp daha fazla polimer teşekkülüne sebep olmaktadır. EB sarjı (yüklemesi) başladıktan sonra ise reaktörlerdeki sıcaklık 570°C nin altına düşürülmemelidir. Daha düşük sıcaklıklarda üretimi sağlayacak reaksiyonun oluşması mümkün olmamaktadır.

Sarj arttırılmalarında öncelikle Buhar, daha sonra da EB arttırılmalıdır. Sarj azaltılmalarında ise bunun tersine önce EB daha sonra da Buhar miktarı azaltılmalıdır. Normal çalışma basıncı 0.5 kg/cm^2 dir. "Düşük Basınçlar Reaksiyonu kolaylaştırıcı tesir gösterirler. Reaksiyon endotermik (dışardan ısı isteyen) bir özelliğe sahiptir". Buna göre, 1.reaktöre belirli sıcaklıkta giren EB nin bir kısmı reaksiyona uğradıktan sonra, reaktör çıkışındaki sıcaklığı girişekine göre daha düşüktür. O halde 2.reaktörde reaksiyon şartlarına uygunluk için bu ürünlerin sıcaklığının yükseltilmesi gerekmektedir. Bu sıcaklık takviyesi fırınlarda (F-201, F-202, F-203) ısıtılan buhar ile yapılır. Aynı şekilde 2.reaktörden çıkan hidrokarbonunda 3.reaktöre girişinde sıcaklık takviyesinin yapılması gerekecektir.

Reaksiyonda teorik olarak 1 molekül EB den (106 gr/mol), 1 molekül (2 gr/mol) Hidrojen (H) alınarak, 1 molekül Stiren (STR) (104 gr/mol) elde edilmektedir. Fakat bu işlem % 100 verimle meydana gelmez. Yani, reaktöre sarj edilen EB nin tamamı STR ve H 'e dönüşmez. EB kısmen STR 'e dönüşürken bu arada da yan ürün olarak Benzen (B), Toluen (T) teşekkül etmektedir. Bu reaksiyonda meydana gelen ürünleri ifade edecek olursak reaksiyonun çalışma durumunu daha kolay anlamak mümkün olabilir:

Reaktöre 100 kg EB sarj ettiğimizi kabul edelim. Sarj sıcaklığının da 600°C olduğu varsayalım. Bu durumda son reaktör çıkışındaki ürünlerin şu şekilde olduğunu kabul edelim;

47 kg EB
45 kg STR
4 kg T
2 kg B

Bu durumda söylenebilecek ilk şey reaksiyon $100-47=53$ kg EB i parçalamış, yani başka ürünlere dönüştürmüştür. Fakat reaksiyon hakkında hüküm vermek için bu ölçü yeterli olmamaktadır. Benzer şartlarda oluşan başka bir reaksiyon için şu ürünlerin elde edildiğini kabul edersek;

48 kg EB
47 kg STR
2 kg T
1 kg B

reaksiyonun $100-48=52$ kg EB i dönüştürdüğünü söyleyebiliriz. Böylece de bu reaksiyon öncekine göre daha iyi çalışmıştır. Çünkü bize 47 kg STR üretmiştir.

Dönüştürülen EB nin şarj edilen EB e oranına Dönüşüm, meydana gelen STR nin parçalanmış EB e oranına Seçicilik adı verilmektedir.

Buna göre 1. Reaksiyonda : Dönüşüm = $53/100$ (%53)
Seçicilik = $45/53$ (%84.9)

2. Reaksiyonda : Dönüşüm = $52/100$ (%52)
Seçicilik = $47/52$ (%90.3)

Diğer taraftan " elde edilen STR'in şarj edilen EB e oranına da VERİM denir".

1.Reaksiyonda : Verim=45/100 (%45)

2.Reaksiyonda : Verim=47/100 (%47)

olur. Reaksiyonun çalışmasına ait en iyi Ölçü Verim olabilir. Bu değer ölçüsü diğer bir ifadeyle

$$\text{VERİM} = (\text{DÖNÜŞÜM}) \times (\text{SEÇİCİLİK})$$

şeklinde de ifade edilebilir.

Buhar, reaksiyonda başlıca şu 3 amaç için kullanılır:

1. Reaksiyon için gerekli sıcaklığı temin etmek,
2. Hidrokarbon kısmı basıncını düşük tutarak reaksiyon şartlarını STR üretimi lehine kaydırmak.
3. Katalizi aktif ve rejenere durumda tutmak.

Diğer taraftan dizayn değerleri göz önüne alınarak, F-201 e 3350 kg Buhar, F-202 ye 6200 kg Buhar, F-203 e 5000 kg Buhar ve FRC-2036 ile 3610 kg Kondensat verildiğinde, herbir reaktör için BUHAR/EB oranları sırasıyla şöyle olacaktır: (Toplam EB şarjı=6215 kg)

$$\text{D-201} : (3350+3610)/6215 = 1.1$$

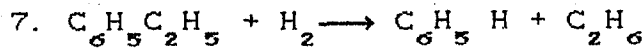
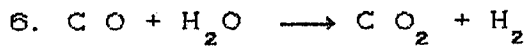
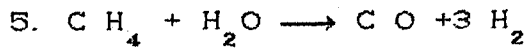
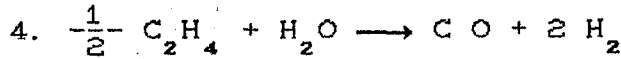
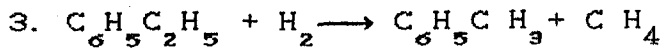
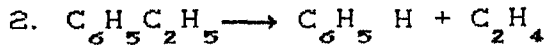
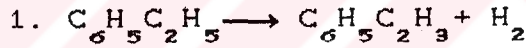
$$\text{D-202} : (3350+3610+6200)/6215 = 2.1$$

$$\text{D-203} : (3350+3610+6200+5000)/6215 = 2.9$$

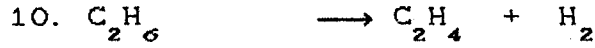
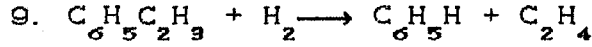
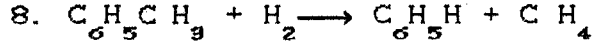
Burada asıl amaç STR nin istenilen kalite ve düşük maliyette elde edilmesidir. Diğer çıktılar yan ürün olarak ikinci derecede kalmaktadır. Böylece ürün ve yan ürünler, değerleri belirli sınırlar arasında kalan " Sıcaklık, Basınc, Miktar ve EB Beslemesi " ile belirli orana sahip Buharın etkisi altındaki reaksiyonların sonucunda elde edilirler.

Formülasyon yapılırken şu varsayımlar yapılmıştır:⁸¹

1. Reaktörlerde basınç değişimi ve maddelerin ısı kapasiteleri sabittir.
2. Madde, ısı ve enerjideki radyal dağılıma ihmal edilecektir.
3. Kataliz sıcaklığındaki değişimlerin büyüklüğü hidrokarbon sıcaklığındakilere göre daha yavaştır.
4. Yine katalizdeki eksenel ısı geçişi ihmal edilecektir.
5. Araştırmalara göre reaktörlerde oluşan reaksiyonlar



81. Clough, D.E & Ramirez, W.F. -a.g.e.



şeklinde sıralanabilir. Bunlardan, 1. Stiren, 2., 7., 8. veya 9. Benzen, 3. Toluen, 4. Etilen, 5. Metan, 6. ise Karbonmonoksit ile ilgili reaksiyonlardır. Bunların dışında bazı önemsiz reaksiyonların da olduğu belirtilmekte fakat bunlarla birlikte 7., 8., 9. ve 10., sonuçları önemsiz değere sahip Off Gaz ve Ağır Ürünleri ortaya çıkaran reaksiyonları ifade etmektedir⁸².

Ürünün yüksek miktarda elde edilmesi için "Yüksek Sıcaklık , Düşük Basınc " tercih edilir. Fakat bu arada, "Sıcaklığın fazla yüksek olması yan ürün miktarının ve kok teşekkülünün artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, herbir reaktördeki sıcaklık ve basıncın iyi kontrol edilmeleri gerekmektedir. " Diğer bir ifadeyle Sıcaklık ve Basınc çatışan amaçlar " dır.

Değerlerin tamamı, günde en az bir defa ölçüm yapılarak kaydedilmektedir.

Girdi, Sürec Değişkenleri ve Çıktılarla ilgili Sembol tanımlamaları ve alabilecekleri değer aralıkları aşağıda verilmiştir:

82. Sheel, J. G. P. & Crowe, C. M. -a. g. e.

Tablo 3.1. GİRDİ SPESİFİKASYONLARI:

	SEMBOLU	DEĞİŞİM ARALIĞI	BİRİMİ
Geridönen (Risaykıl) EB Miktarı	X_1	$X_1 \leq 70$	ton/gün
Besleme EB Miktarı	X_2	$X_2 \leq 88.2$	ton/gün
Katılma Noktası (EB).....	X_3	$X_3 \geq 5.2$	°C
Safiyet (EB).....	X_4	$X_4 \geq 99.9$	% Ağır.
Spesifik Gravite (EB).....	X_5	$0.882 \leq X_5 \leq 0.886$	
Parafinler (n-Heptan, EB).....	X_6	$X_6 \leq 50$	ppm
Distilasyon Aralığı (EB).....	X_7	$79.1 \leq X_7 \leq 81.1$	°C
Sülfür (EB).....	X_8	$X_8 \leq 0.5$	ppm
Bromindeksi (EB).....	X_9	$X_9 \leq 10$	ASTM
Bazikoksit (EB).....	X_{10}	$X_{10} \leq 0.5$	ppm
Kükürt (S).....	X_{11}	$X_{11} \leq 0.3$	ton/gün
Katbekyağı (KB).....	X_{12}	$X_{12} = 0.9$	ton/gün
TBC.....	X_{13}	$X_{13} = 0.01$	ton/gün

Tablo 3.2. SÜREC DEĞİŞKENLERİ

Sıcaklık (1. Reaktör).....	$X_{14} (R_1)$	$590 \leq X_{14} \leq 640$	°C
Sıcaklık (2. Reaktör).....	$X_{15} (R_2)$	$590 \leq X_{15} \leq 640$	°C
Sıcaklık (3. Reaktör).....	$X_{16} (R_3)$	$590 \leq X_{16} \leq 640$	°C
Basınc (1. Reaktör).....	$X_{17} (R_4)$	$0.5 \leq X_{17} \leq 1.3$	Atm
Basınc (2. Reaktör).....	$X_{18} (R_5)$	$0.5 \leq X_{18} \leq 1.3$	Atm
Basınc (3. Reaktör).....	$X_{19} (R_6)$	$0.5 \leq X_{19} \leq 1.3$	Atm
Buhar (1. Reaktör).....	$X_{20} (R_7)$	$60 \leq X_{20} \leq 100$	ton/gün
Buhar (2. Reaktör).....	$X_{21} (R_8)$	$100 \leq X_{21} \leq 160$	ton/gün
Buhar (3. Reaktör).....	$X_{22} (R_9)$	$80 \leq X_{22} \leq 125$	ton/gün

Buhar/EB (1.Reaktör).....	$X_{23} (R_{10})$	$X_{23} = 1.1$	
Buhar/EB (2.Reaktör).....	$X_{24} (R_{11})$	$X_{24} = 2.1$	
Buhar/EB (3.Reaktör).....	$X_{25} (R_{12})$	$X_{25} = 2.9$	
Kondensat	$X_{26} (R_{13})$	$X_{26} = 86.6$	ton/gün
Tepe Basıncı..... (B+T Kolonu).	$X_{27} (R_{14})$	$100 < X_{27} < 130$	mmHga
Dip Basıncı..... (B+T Kolonu).	$X_{28} (R_{15})$	$180 < X_{28} < 225$	mmHga
12.Tepsi Sıcaklığı (B+T Kolonu).	$X_{29} (R_{16})$	$85 < X_{29} < 80$	°C
D i p Sıcaklığı (B+T Kolonu).	$X_{30} (R_{17})$	$85 < X_{30} < 105$	°C
Tepe Basıncı..... (EB Kolonu).	$X_{31} (R_{18})$	$25 < X_{31} < 45$	mmHga
Dip Basıncı..... (EB Kolonu).	$X_{32} (R_{19})$	$235 < X_{32} < 290$	mmHga
10.Tepsi Sıcaklığı (EB Kolonu).	$X_{33} (R_{20})$	$50 < X_{33} < 80$	°C
D i p Sıcaklığı (EB Kolonu).	$X_{34} (R_{21})$	$80 < X_{34} < 115$	°C
Tepe Basıncı..... (STR Kolonu).	$X_{35} (R_{22})$	$20 < X_{35} < 35$	mmHga
Dip Basıncı..... (STR Kolonu).	$X_{36} (R_{23})$	$40 < X_{36} < 100$	mmHga
10.Tepsi Sıcaklığı (STR Kolonu).	$X_{37} (R_{24})$	$55 < X_{37} < 70$	°C
D i p Sıcaklığı (STR Kolonu).	$X_{38} (R_{25})$	$70 < X_{38} < 100$	°C

Tablo 3.3. ÇIKTI ÖZELLİKLERİ

Stiren Miktarı.....	Y_1	$Y_1 = 75$	ton/gün
Safiyet (STR).....	Y_2	$Y_2 \geq 99.6$	% Ağır.
Renk (STR).....	Y_3	$Y_3 > 10$	
Aldehitler (STR).....	Y_4	$Y_4 < 0.02$	% Ağır.
Peroksitler (STR).....	Y_5	$Y_5 < 0.01$	% Ağır.
SÜlfür (STR).....	Y_6	$Y_6 < 0.003$	% Ağır.
Polimer (STR).....	Y_7	$Y_7 < 10$	ppm
İnhibitör (STR).....	Y_8	$Y_8 < 13$	ppm
Kloritler (STR).....	Y_9	$Y_9 < 100$	ppm
Alfametilstiren.....	Y_{10}	$Y_{10} < 0.9$	ppm
Divinilbenzen.....	Y_{11}	$Y_{11} < 5$	ppm

Viskozite (25°C) (STR).....	Y_{12}	$Y_{12} < 0.8$	cp
Benzen-Toluen Miktarı.....	Y_{13}	$Y_{13} = 7.2$	ton/gün
Off Gaz Miktarı.....	Y_{14}	$Y_{14} = 3.6$	ton/gün
Ağır Ürün Miktarı.....	Y_{15}	$Y_{15} = 3.7$	ton/gün
Stiren Maliyeti	Y_{16}	$Y_{16} < 2910154$	TL

Problem, "bu özellikleri sağlayan, tam sağlama gerçekleşemezse en az sapma ile uzlaşan GİRDİ, SÜREC ve ÇIKTI Seviyelerini belirlemektir".

Fiziki sistemler, ister durgun isterse hareket halinde olsunlar, genel olarak belirli ölçülerle tanımlanırlar. Bunun için de, önce bazı temel boyutların belirlenmiş olması gerekir. Belirlenen bu temel boyutlar ölçülerde baz olarak kullanılır. Bazlar belli olduktan sonra birimler ölçülen sistemlere göre belirtilir.⁸⁹

Yukarda değişkenleri tanımlanan problemimize ait değerler, ASTM (American Standart Technical Method) ve UOP (Universal Oil Products) Deney Yöntemlerine göre yapılan ölçümler sonucunda elde edilmiştir. Buradaki değerlerin bir kısmı bu iki deney yöntemine özgü birimleri içerirken, bir kısmı da CGS ve MKS sistemlerine ait birimleri içermektedir.

UNITE YETKİLİLERİ İLE GÖRÜŞMELER VE VERİLER:

Araştırmanın yapıldığı Stiren Unitesi ile ilgili çalışmalara yetkililerden izin alınarak başlanmıştır. Öncelikle Unitenin hangi koşullarda çalıştığı, hangi amaçla üretim yaptığı, amaçlanan hedeflere ulaşıp ulaşılamadığı, ve

89. GÜLENSOY, H. - Kimya Mühendisliği Stokiyometrisi, İstanbul Üniversitesi Kimya Fakültesi Yayınları, 1975.

Üretimde karşılaşılan sorunlarla ilgili genel bilgiler alınmıştır. Devamında, Ünitenin çalışmasıyla ilgili teknik koşullar ve yapılan işlemler hakkında ayrıntılı bilgiler veren Unite Manuel'leri elde edilmiştir. Bu dökümanlar yardımıyla Unite hakkında daha ayrıntılı bilgiler alınmış, gerekli oldukça Unite yetkilileri ile görüşmeler yapılarak ilgili bölümlerde incelemelerde bulunulmuştur. Unite hakkında yeterli bilgiye sahip olduktan sonra, Ünitenin çalışmasıyla ilgili veriler kayıtlı formlardan alınarak düzenlenmiştir. Bu arada, Unite ile ilgili temel problemin ürün maliyetinin düşürülmesi olduğu yetkililer tarafından ifade edilmiş, buna dayanılarak da çalışmanın, ürün maliyetinin minimize edilmesi yönünde ağırlık kazanmasına karar verilmiştir. Bu amaç temel alınarak yapılan çalışmalarda yetkililerle görüşülerek 1991 yılına ait birim maliyetleri TL bazında sağlanmıştır.

Problemimizin çözümü için gerekli veriler, 1989 yılının Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz aylarına ait ve üretimin yeni başladığı günden itibaren tam faal çalışılan 40 günlük periyoddaki değerlerin kayıtlı olduğu formlardan alınmıştır (EK-I VERİLER).

Bu veriler kullanılarak, En Küçük Kareler Yöntemi vasıtasıyla Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi yapılmış, bu analiz sonucunda EK-II de verilen Regresyon Denklemleri elde edilmiştir. Yapılan Regresyon Analizi hesaplarına ait Çoklu Korelasyon Katsayılarının oldukça yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu ise, problemin çözümü için uygulayacağımız yöntemin başarılı olması ve bulunacak çözüm sonuçlarının gerçek fiili değerlere oldukça yakın olmasını sağlayacaktır.

Yukarda bahsedilen regresyon denklemlerinin sonucuna ve Girdi ile Sürec Değişkenlerine dayanılarak kurulan Stiren Maliyet Modeli aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} Y16 = & (EBBM * (X(1) + X(2)) + KBF * X(11) + KATBF * Y1 \\ & + TBCBF * X(13) + IGBF * Y1 + DHBFB * Y1 + YUMBF * Y1 \\ & +BBM * (X(20) + X(21) + X(22)) + YHUGBF * Y1 \\ & +GIGBF * Y1 - BTBF * Y13 - AUBF * Y15) / Y1 \end{aligned}$$

Bu model, unite yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda ve kayıtlara geçmiş planlama bilgileri yardımıyla kurulmuştur.

Burada, maliyeti etkileyen 1991 yılına ait birim fiyatlar ise

Tablo 3.4. Maliyeti Etkileyen Birim Fiyatlar

Etilbenzen Birim Maliyeti...EBBM	=	687,392 TL/ton
Kükürt Birim Fiyatı.....KBF	=	452,420 TL/ton
Kataliz Birim Fiyatı.....KATBF	=	6,428 TL/ton
TBC Birim Fiyatı.....TBCBF	=	14,904,000 TL/ton
İşletme Gid. Birim Fiyatı....IGBF	=	118,693 TL/ton
Diğer Harc. Birim Fiyatı....DHBFB	=	51,341 TL/ton
Yardımcı Üret.Mad.Bir.Fiyatı YUMBF	=	31,175 TL/ton
Buhar Birim Maliyeti.....BBM	=	35,553 TL/ton
Yardımcı Hizmet Unite		
Giderleri Birim Fiyatı.....YHUGBF	=	52,289 TL/ton
Genel İşl.Gid.Birim Fiyatı...GIGBF	=	16,629 TL/ton
Benzen-Toluen Birim Fiyatı...BTBF	=	1,000,000 TL/ton
Ağır Ürün Birim Fiyatı.....AUBF	=	250,000 TL/ton

şeklindedir.

Problemimizdeki Çıktılara ait Özelliklerle, Girdi ve Sürec Değişkenleri arasındaki ilişkilerde zıtlıklar söz konusudur. Öyle ki, gerçekten incelendiğinde, değişkenlerin bazılarının değerlerinde artış olduğunda diğer bazılarının değerleri azalırken, tersine bazılarının değerlerinde azalış gözlenirken bazılarının değerlerinde artış görülebilmektedir.

Bu problemi bir Amaç Programlama Problemi olarak formüle etmek için ilk adım, iki yönlü spesifikasyonlardan tek yönlü spesifikasyonlara geçişi sağlamak amacıyla değişkenleri dönüştürmek ve regresyon denklemlerindeki sabit terimlerle katsayıları gerektiği gibi değiştirmektir.

Böylece, bu değişimi şöyle yazabiliriz:

<u>Değişken Dönüştürümü</u>	<u>Yeni Değişim Aralığı</u>
$x'_1 = x_1$	$x'_1 \leq 70$
$x'_2 = x_2$	$x'_2 = 88.2$
$x'_3 = x_3$	$x'_3 \geq 5.2$
$x'_4 = x_4$	$x'_4 \geq 99.9$
$x'_5 = x_5 - 0.882$	$x'_5 \leq 0.004$
$x'_6 = x_6$	$x'_6 \leq 50$

$$X_7' = X_7 - 79.1$$

$$X_7' \leq 2$$

$$X_8' = X_8$$

$$X_8' \leq 0.5$$

$$X_9' = X_9$$

$$X_9' \leq 10$$

$$X_{10}' = X_{10}$$

$$X_{10}' \leq 0.5$$

$$X_{11}' = X_{11}$$

$$X_{11}' = 0.3$$

$$X_{12}' = X_{12}$$

$$X_{12}' = 0.9$$

$$X_{13}' = X_{13}$$

$$X_{13}' = 0.01$$

$$R_1' = R_1 - 590$$

$$R_1' \leq 50$$

$$R_2' = R_2 - 590$$

$$R_2' \leq 50$$

$$R_3' = R_3 - 590$$

$$R_3' \leq 50$$

$$R_4' = R_4 - 0.5$$

$$R_4' \leq 0.8$$

$$R_5' = R_5 - 0.5$$

$$R_5' \leq 0.8$$

$$R_6' = R_6 - 0.5$$

$$R_6' \leq 0.8$$

$$R_7' = R_7 - 60$$

$$R_7' \leq 40$$

$$R_8' = R_8 - 100$$

$$R_8' \leq 60$$

$$R_9' = R_9 - 80$$

$$R_9' \leq 45$$

$$R'_{10} = R_{10}$$

$$R'_{10} < 1.1$$

$$R'_{11} = R_{11}$$

$$R'_{11} < 2.1$$

$$R'_{12} = R_{12}$$

$$R'_{12} < 2.9$$

$$R'_{13} = R_{13}$$

$$R'_{13} = 86.6$$

$$R'_{14} = R_{14} - 100$$

$$R'_{14} < 30$$

$$R'_{15} = R_{15} - 180$$

$$R'_{15} < 45$$

$$R'_{16} = R_{16} - 65$$

$$R'_{16} < 15$$

$$R'_{17} = R_{17} - 85$$

$$R'_{17} < 20$$

$$R'_{18} = R_{18} - 25$$

$$R'_{18} < 20$$

$$R'_{19} = R_{19} - 235$$

$$R'_{19} < 55$$

$$R'_{20} = R_{20} - 50$$

$$R'_{20} < 30$$

$$R'_{21} = R_{21} - 80$$

$$R'_{21} < 35$$

$$R'_{22} = R_{22} - 20$$

$$R'_{22} < 15$$

$$R'_{23} = R_{23} - 40$$

$$R'_{23} < 60$$

$$R'_{24} = R_{24} - 55$$

$$R'_{24} < 15$$

$$R'_{25} = R_{25} - 70$$

$$R'_{25} < 30$$

$$Y_1' = Y_1$$

$$Y_1' = 75$$

$$Y_2' = Y_2$$

$$Y_2' \geq 99.6$$

$$Y_3' = Y_3$$

$$Y_3' > 10$$

$$Y_4' = Y_4$$

$$Y_4' \leq 0.02$$

$$Y_5' = Y_5$$

$$Y_5' \leq 0.01$$

$$Y_6' = Y_6$$

$$Y_6' \leq 0.003$$

$$Y_7' = Y_7$$

$$Y_7' \leq 10$$

$$Y_8' = Y_8$$

$$Y_8' \leq 13$$

$$Y_9' = Y_9$$

$$Y_9' \leq 100$$

$$Y_{10}' = Y_{10}$$

$$Y_{10}' \leq 1000$$

$$Y_{11}' = Y_{11}$$

$$Y_{11}' \leq 5$$

$$Y_{12}' = Y_{12}$$

$$Y_{12}' \leq 0.8$$

$$Y_{13}' = Y_{13}$$

$$Y_{13}' = 7.2$$

$$Y_{14}' = Y_{14}$$

$$Y_{14}' = 3.6$$

$$Y_{15}' = Y_{15}$$

$$Y_{15}' = 3.7$$

$$Y_{16}' = Y_{16}$$

$$Y_{16}' \leq 2910154$$

Bunlara bağılı olarak elde edilen Değıştirilmiş Regresyon Denklemleri ise EK - III de verilmiştir.

ÖNCELİK SEVİYELERİ:

Stiren üretiminde temel girdi olan EB ile ilgili karakteristikler üretim için mutlak sağlanması gereken özelliklerdir. Bunların başında EB nin Safiyeti gelmektedir. EB nin bu özelliğinin 1., diğer özelliklerinin 2., Miktarı'nın ise 3. önceliğe sahip amaç olması gerekmektedir. Kükürt, Katbekyağı ve TBC İlave Girdilerine, Reaksiyon ve Saflaştırma işlemleri sırasında üretimin daha etkin olmasına yardımcı olacaklarından 4. öncelikli amaç, yine sırasıyla Reaksiyon ve Saflaştırma Süreçleri sırasında bu işlemlerin gerçekleşmesini sağlayan Sürec Değışkenleri ile ilgili amaçlara 5. , 6. , 7. ve 8. öncelikler verilmiştir. Sonraki öncelikler ise Çıktılarla ilgilidir. 9. önceliğe sahip amaç, temel çıktı olan Stiren'in mutlak sağlanması gereken özelliklerinden Safiyet'e aittir. Bunu takibeden amaçlardan Stiren'in diğer özellikleri olan Renk , Aldehitler, Peroksitler, Sülfür, Polimer, İnhibitör, Alfametil Stiren, Divinil Benzen ve Viskozite 10.,Kloritler 11., Stiren Miktarı 12., Yan Çıktılardan Benzen-Toluen, Off Gaz ve Ağır Ürün Miktarlarına 13. öncelik verilmiştir. Bütün bu amaçlar altında nihai öncelikli Maliyet Amacı'nın ise 14. önceliğe sahip olması uygun görülmüştür.

Bu önceliklerin belirlenmesi ve değışkenlere ait seviyelerin düzenlenmesi, Unite yetkilileri tarafından verilen bilgiler sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Stiren Unitesine ait Sürec Kontrol Probleminin bu bilgiler ışığında kurulan Doğrusal Olmayan Amaç Programlama Problemini şimdi şu şekilde ifade edebiliriz:

A M A Ç F O N K S İ Y O N U

$$\begin{aligned} \text{Min } (& P_1 \cdot (d_4^-) \\ & + P_2 \cdot (d_9^- + d_5^+ + d_6^- + d_7^+ + d_8^+ + d_9^+ + d_{10}^+) \\ & + P_3 \cdot (d_1^+ + d_2^- + d_2^+) \\ & + P_4 \cdot (d_{11}^- + d_{11}^+ + d_{12}^- + d_{12}^+ + d_{19}^- + d_{19}^+) \\ & + P_5 \cdot (d_{14}^+ + d_{15}^+ + d_{16}^+ + d_{17}^+ + d_{18}^+ + d_{19}^+ + d_{20}^+ \\ & \quad + d_{21}^+ + d_{22}^+ + d_{23}^- + d_{23}^+ + d_{24}^- + d_{24}^+ \\ & \quad + d_{25}^- + d_{25}^+ + d_{26}^- + d_{26}^+) \\ & + P_6 \cdot (d_{27}^+ + d_{28}^+ + d_{29}^+ + d_{30}^+) \\ & + P_7 \cdot (d_{31}^+ + d_{32}^+ + d_{33}^+ + d_{34}^+) \\ & + P_8 \cdot (d_{35}^+ + d_{36}^+ + d_{37}^+ + d_{38}^+) \\ & + P_9 \cdot (d_{40}^-) \\ & + P_{10} \cdot 0.5 \cdot (d_{41}^- + d_{42}^+ + d_{43}^+ + d_{44}^+ + d_{45}^+ + d_{46}^+ + d_{48}^+ \\ & \quad + d_{49}^+ + d_{50}^+) \\ & + P_{11} \cdot 0.5 \cdot (d_{47}^+) \\ & + P_{12} \cdot (d_{39}^- + d_{39}^+) \\ & + P_{13} \cdot 0.2 \cdot (d_{51}^- + d_{51}^+ + d_{52}^- + d_{52}^+ + d_{53}^- + d_{53}^+) \\ & + P_{14} \cdot (d_{54}^+)) \end{aligned}$$

ÇIKTI Kısıtları

$$Y_1' + d_{30}^- - d_{30}^+ = 75$$

$$Y_2' + d_{40}^- = 99.6$$

$$Y_3' + d_{41}^- = 10$$

$$Y_4' - d_{42}^+ = 0.02$$

$$Y_5' - d_{43}^+ = 0.01$$

$$Y_6' - d_{44}^+ = 0.003$$

$$Y_7' - d_{45}^+ = 10$$

$$Y_8' - d_{46}^+ = 13$$

$$Y_9' - d_{47}^+ = 100$$

$$Y_{10}' - d_{48}^+ = 1000$$

$$Y_{11}' - d_{49}^+ = 5$$

$$Y_{12}' - d_{50}^+ = 0.8$$

$$Y_{13}' + d_{51}^- - d_{51}^+ = 7.2$$

$$Y_{14}' + d_{52}^- - d_{52}^+ = 3.6$$

$$Y_{15}' + d_{53}^- - d_{53}^+ = 3.7$$

$$Y_{16}' - d_{54}^+ = 2910154$$

G İ R D İ K ı s ı t l a r ı

$$x_1' - d_1^+ = 70$$

$$x_2' + d_2^- - d_2^+ = 88.2$$

$$x_3' + d_3^- = 5.2$$

$$x_4' + d_4^- = 99.9$$

$$x_5' + d_5^- = 0.004$$

$$x_6' - d_6^+ = 50$$

$$x_7' - d_7^+ = 2$$

$$x_8' - d_8^+ = 0.5$$

$$x_9' - d_9^+ = 10$$

$$x_{10}' - d_{10}^+ = 0.5$$

$$x_{11}' + d_{11}^- - d_{11}^+ = 0.3$$

$$x_{12}' + d_{12}^- - d_{12}^+ = 0.9$$

$$x_{13}' + d_{13}^- - d_{13}^+ = 0.01$$

S U R E C K ı s ı t l a r ı

$$R_1' - d_{14}^+ = 50$$

$$R_2' - d_{15}^+ = 50$$

$$R_3' - d_{16}^+ = 50$$

$$R_4' - d_{17}^+ = 0.8$$

$$R_5' - d_{18}^+ = 0.8$$

$$R_6' - d_{19}^+ = 0.8$$

$$R_7' - d_{20}^+ = 40$$

$$R_8' - d_{21}^+ = 60$$

$$R_9' - d_{22}^+ = 45$$

$$R_{10}' + d_{23}^- - d_{29}^+ = 1.1$$

$$R_{11}' + d_{24}^- - d_{24}^+ = 2.1$$

$$R_{12}' + d_{25}^- - d_{25}^+ = 2.9$$

$$R_{13}' + d_{26}^- - d_{26}^+ = 86.6$$

$$R_{14}' - d_{27}^+ = 30$$

$$R_{15}' - d_{28}^+ = 45$$

$$R'_{16} - d^+_{29} = 15$$

$$R'_{17} - d^+_{30} = 20$$

$$R'_{18} - d^+_{31} = 20$$

$$R'_{19} - d^+_{32} = 55$$

$$R'_{20} - d^+_{33} = 30$$

$$R'_{21} - d^+_{34} = 35$$

$$R'_{22} - d^+_{35} = 15$$

$$R'_{23} - d^+_{36} = 60$$

$$R'_{24} - d^+_{37} = 15$$

$$R'_{25} - d^+_{38} = 30$$

Ve

$$x'_t \geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, 13$$

$$R'_t \geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, 25$$

dir.

4.3. DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMA PROBLEMİNİN BİLGİSAYAR ÇÖZÜMÜ İÇİN PROGRAM GELİŞTİRİLMESİ

Çalışmamızda ele alınan ve Doğrusal Olmayan Amaç Programlama formülasyonu yapılan problemin çözümü için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program, daha önce de belirtildiği gibi, herhangi bir bilgi kaybına meydan vermemek için, Düzeltilmiş Örnekleyerek Arama (sayısal) Yöntemi esas alınarak geliştirilmiştir. Bu amaçla Ignizio'nun 1976 yılında FORTRAN-IV dilinde küçük boyutlu problemler için geliştirdiği programdan yararlanılmıştır. İlk denemeler sonucunda, söz konusu programın yayınlanan şeklinde görülen eksikliklerin giderilmesi, daha büyük boyutlu problemler için kullanılabilmesi, bununla birlikte kolay ve etkileşimli kullanımının sağlanması amacıyla BASIC Dilinde benzer bir program yazılmıştır. Programın son şeklinde Başlangıç ve Çözüm Değerlerinin dosyalanması imkanı sağlanmıştır. Geliştirmeye, küçük boyutlu problemlerin çözümüyle başlanmış, yapılan denemelerle ve elde edilen sonuçlar beklenen doğruluk ve hassasiyete sahip oluncaya kadar devam edilmiş, gerekli ara düzeltmeler yapılarak programa son şekli verilmiştir.

Şimdi, geliştirilmiş olan programı tanıtmaya çalışalım:

Problemi ilgilendiren amaçlarla ilgili fonksiyonlar (regresyon denklemleri) programın ilgili bölümüne yazılmalıdır. Ancak bu işlemin tamamlanmasından sonra problemin çözümü amacıyla program çalıştırılabilir. Program çalıştırıldığında Doğrusal Olmayan Amaç Programlama Örnekleyerek Arama Menüü ekrana gelecektir. Buradaki seçenekler ve bu seçeneklerle ilgili açıklamalar şöyledir:

1. BİLGİ GİRİŞİ:Çözümü yapılacak olan probleme ait Başlangıç Bilgileri'nin ekrandan girilmesi veya daha önce bir dosyaya kaydedilmiş ise ilgili dosyadan okutulması işlemi için seçilir.

2. HESAPLAMA:Bilgi Girişi işlemi tamamlanmış veya halen çözümü yapılmakta olan problemin elde edilen son çözümünün başlangıç bilgileri kabul edilmek suretiyle daha hassas hesap yapılmak istenildiğinde seçilir.

3. BİLGİ GÖRME/DÜZELTME/SİLME:Gerek yeni girilmiş olan Başlangıç Bilgilerinin, gerekse hesaplama sonucunda elde edilen çözüm sonuçlarının ve ilgili başlangıç bilgilerinin görüntülenmesi, gerekli görülenlerin değiştirilmesi veya silinmesi istenildiğinde seçilir.

4. DOSYA KAYIT:Girişi yapılan Başlangıç Bilgileri veya çözümü yapılan problemle ilgili tüm değerlerin daha sonra elde edilebilmesi amacıyla Disk veya Disket gibi bir kayıt ortamına kayıt edilmek istenildiğinde seçilir.

5. ÇIKIŞ:Ele alınan problemle ilgili işlemler tamamlandığında programdan ayrılmak istenildiğinde seçilir.

Programlarla ilgili Kayıtlı Disketler ilgili Ana Bilim Dalı arşivine teslim edilmiştir.

Menüsü kısaca açıklanan programın çalıştırılması sırasındaki ekran görüntüleri ise aşağıda verilmiştir.

DOGRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMA
ÖRNEKLEYEREK ARAMA MENÜSÜ

1. BİLGİ GİRİŞİ
2. HESAPLAMA
3. BİLGİ GÖRME/DÜZELTME/SİLME
4. DOSYA KAYIT
5. ÇIKIŞ

SEÇİMİNİZ:



SİLER DOSYADANMI OKUNACAK(E/H):
A ADINI GİA(uzunluğu<=8): DUY11180

HESAPLAMA İŞLEMLERİNE GEÇİLECEK

BU BİLGİLER İÇİN HESAPLAMA YAPILMIŞ...

NUCLARI BAŞLANGIÇ DEĞERLERİ OLARAK ALAYIM MI?(E/H):

X(21)= 54
X(22)= 44
X(23)= 1
X(24)= 1.5
X(25)= 2
X(26)= 79
X(27)= 25
X(28)= 31
X(29)= 13
X(30)= 15
X(31)= 7
X(32)= 42
X(33)= 29
X(34)= 33
X(35)= 12
X(36)= 50
X(37)= 8
X(38)= 27

HESAPLAMA ZAMANI: DİTİS ZAMANI:09:42:11

PROBLEMİN GİRİŞ VE ÇIKIŞ BİLGİLERİNİ DOSYALANAK İSTERMİSİN(E/H):

BASLANGIC BİLGİLERİ [DUY111SO]

PROBLEMDEKİ DEĞİSKEN SAYISI.....: 38
PROBLEMDEKİ HEDEF SAYISI.....: 54
BASARI FONK.DAKİ ONCELİK SAYISI.: 14
BASARI FONK.DAKİ ELEMAN SAYISI.: 66
MAKSİMUM ARAMA SAYISI.....: 5
ARA İSLEMLER YAZILSIN(E-1/H-0): 1
MAKSİMUM İNDİRGEME SAYISI.....: 4

M - Menu , D - Duzelt , G - Gec

DEĞİSKENLERİN BASLANGIC DEĞERLERİ(38)

XT(1)= 65	XT(21)= 50
XT(2)= 82	XT(22)= 40
XT(3)= 4	XT(23)= 1
XT(4)= 99	XT(24)= 1.5
XT(5)= .001	XT(25)= 2
XT(6)= 40	XT(26)= 75
XT(7)= 1.5	XT(27)= 25
XT(8)= .4	XT(28)= 35
XT(9)= 7	XT(29)= 12
XT(10)= .3	XT(30)= 15
XT(11)= .2	XT(31)= 10
XT(12)= .6	XT(32)= 45
XT(13)= .01	XT(33)= 25
XT(14)= 45	XT(34)= 30
XT(15)= 30	XT(35)= 10
XT(16)= 40	XT(36)= 50
XT(17)= .5	XT(37)= 10
XT(18)= .5	XT(38)= 25
XT(19)= .5	
XT(20)= 35	

Devam için bir tusa basınız...

DEĞİSKENLERİN ARTIŞ DEĞERLERİ(38)

EPST(1)= .01	EPST(21)= 1
EPST(2)= .01	EPST(22)= 1
EPST(3)= 1	EPST(23)= .1
EPST(4)= 1	EPST(24)= .1
EPST(5)= .001	EPST(25)= .1
EPST(6)= 1	EPST(26)= 1
EPST(7)= .1	EPST(27)= 1
EPST(8)= .1	EPST(28)= 1
EPST(9)= 1	EPST(29)= 1
EPST(10)= .1	EPST(30)= 1
EPST(11)= .1	EPST(31)= 1
EPST(12)= .1	EPST(32)= 1
EPST(13)= .01	EPST(33)= 1
EPST(14)= 1	EPST(34)= 1
EPST(15)= 1	EPST(35)= 1
EPST(16)= 1	EPST(36)= 1
EPST(17)= .1	EPST(37)= 1
EPST(18)= .1	EPST(38)= 1
EPST(19)= 1	
EPST(20)= 1	

Devam için bir tusa basınız...

HEDEFLERİN SAĞ TARAF DEĞERLERİ(54)

RHS(1)= 70	RHS(21)= 60	RHS(41)= 10
RHS(2)= 88.2	RHS(22)= 45	RHS(42)= .02
RHS(3)= 5.2	RHS(23)= 1.1	RHS(43)= .01
RHS(4)= 99.9	RHS(24)= 2.1	RHS(44)= .003
RHS(5)= .004	RHS(25)= 2.9	RHS(45)= 10
RHS(6)= 50	RHS(26)= 86.6	RHS(46)= 13
RHS(7)= 2	RHS(27)= 30	RHS(47)= 100
RHS(8)= .5	RHS(28)= 45	RHS(48)= 1000
RHS(9)= 10	RHS(29)= 15	RHS(49)= 5
RHS(10)= .5	RHS(30)= 20	RHS(50)= .8
RHS(11)= .3	RHS(31)= 20	RHS(51)= 7.2
RHS(12)= .9	RHS(32)= 55	RHS(52)= 3.6
RHS(13)= .01	RHS(33)= 30	RHS(53)= 3.7
RHS(14)= 50	RHS(34)= 35	RHS(54)= 2910154
RHS(15)= 50	RHS(35)= 15	
RHS(16)= 50	RHS(36)= 60	
RHS(17)= .8	RHS(37)= 15	
RHS(18)= .8	RHS(38)= 30	
RHS(19)= .8	RHS(39)= 75	
RHS(20)= 40	RHS(40)= 99.6	

M - Menu , D - Düzelt , G - Gec

BASARI FONKSIYONU TOLERANSLARI(14)

EPSY(1)= .0001
EPSY(2)= .0001
EPSY(3)= .0001
EPSY(4)= .0001
EPSY(5)= .0001
EPSY(6)= .0001
EPSY(7)= .0001
EPSY(8)= .0001
EPSY(9)= .0001
EPSY(10)= .0001
EPSY(11)= .0001
EPSY(12)= .0001
EPSY(13)= .0001
EPSY(14)= .0001

M - Menu , D - Duzelt , G - Gec

SAPMA DEGIKENLERI BILGILERI(66)

TiPi (n=-1,p=1)	HEDEF NO	ONCELİK SEV.	AGIRLIGI
=>> -1	4	1	1
=>> -1	3	2	1
=>> 1	5	2	1
=>> 1	6	2	1
=>> 1	7	2	1
=>> 1	8	2	1
=>> 1	9	2	1
=>> 1	10	2	1
=>> 1	1	3	1
=>> -1	2	3	1
=>> 1	2	3	1
=>> -1	11	4	1
=>> 1	11	4	1
=>> -1	12	4	1
=>> 1	12	4	1
=>> -1	13	4	1
=>> 1	13	4	1
=>> 1	14	5	1

M - Menu , D - Duzelt , G - Gec

SAPMA DEĞİSKENLERİ BİLGİLERİ(66)

TiPi(n=-1,p=1)	HEDEF NO	ONCELİK SEV.	AGIRLIGI
=>> 1	15	5	1
=>> 1	16	5	1
=>> 1	17	5	1
=>> 1	18	5	1
=>> 1	19	5	1
=>> 1	20	5	1
=>> 1	21	5	1
=>> 1	22	5	1
=>> -1	23	5	1
=>> 1	23	5	1
=>> -1	24	5	1
=>> 1	24	5	1
=>> -1	25	5	1
=>> 1	25	5	1
=>> -1	26	5	1
=>> 1	26	5	1
=>> 1	27	6	1
=>> 1	28	6	1

M - Menu , D - Duzelt , G - Gec

SAPMA DEĞİSKENLERİ BİLGİLERİ(66)

TiPi(n=-1,p=1)	HEDEF NO	ONCELİK SEV.	AGIRLIGI
=>> 1	29	6	1
=>> 1	30	6	1
=>> 1	31	7	1
=>> 1	32	7	1
=>> 1	33	7	1
=>> 1	34	7	1
=>> 1	35	8	1
=>> 1	36	8	1
=>> 1	37	8	1
=>> 1	38	8	1
=>> -1	40	9	1
=>> -1	41	10	.5
=>> 1	42	10	.5
=>> 1	43	10	.5
=>> 1	44	10	.5
=>> 1	45	10	.5
=>> 1	46	10	.5
=>> 1	47	12	.5

M - Menu , D - Duzelt , G - Gec

SAPMA DEĞİSKENLERİ BİLGİLERİ(66)

TiPi(n=-1,p=1)	HEDEF NO	ONCELİK SEV.	AGIRLIGI
>> 1	48	10	.5
>> 1	49	10	.5
>> 1	50	10	.5
>> -1	39	13	1
>> 1	39	13	1
>> -1	51	14	.7
>> 1	51	14	.7
>> -1	52	14	.7
>> 1	52	14	.7
>> -1	53	14	.7
>> 1	53	14	.7
>> 1	54	11	1

I - Menu , D - Duzelt , G - Gec

HESAPLAMA SONUCUNDA ELDE EDİLEN DEĞERLER

=====

NEKLEME HAREKETİ SAYISI...: 9 İNDİRGEME SAYISI...: 5
DEĞİSKENLERİN SON ARTIŞ DEĞERLERİ(38)

S(1)= .000625	EPS(19)= .0625	EPS(37)= .0625
S(2)= .000625	EPS(20)= .0625	EPS(38)= .0625
S(3)= .0625	EPS(21)= .0625	
S(4)= .0625	EPS(22)= .0625	
S(5)= .0000625	EPS(23)= .00625	
S(6)= .0625	EPS(24)= .00625	
S(7)= .00625	EPS(25)= .00625	
S(8)= .00625	EPS(26)= .0625	
S(9)= .0625	EPS(27)= .0625	
S(10)= .00625	EPS(28)= .0625	
S(11)= .00625	EPS(29)= .0625	
S(12)= .00625	EPS(30)= .0625	
S(13)= .000625	EPS(31)= .0625	
S(14)= .0625	EPS(32)= .0625	
S(15)= .0625	EPS(33)= .0625	
S(16)= .0625	EPS(34)= .0625	
S(17)= .00625	EPS(35)= .0625	
S(18)= .00625	EPS(36)= .0625	

I - Menu , D - Duzelt , G - Gec

BASARI FONKSiYONUNUN DEGERLERi(14)

1)= 0
2)= 0
3)= 6.149987
4)= 1.788139E-07
5)= 9.196598
6)= 0
7)= 0
8)= 0
9)= 0
(10)= .79801
(11)= 0
(12)= 2.033691
(13)= 10.23656
(14)= 38.80395

devam icin bir tusa basiniz...

TOPLAM SAPMA= 67.2188

SURE: - 09:42:11

devam icin bir tusa basiniz...

DEĞİSKENLERİN Ç Ö Z Ü M DEĞERLERİ(38)

1)= 64.96003	X(21)= 54
2)= 82.04001	X(22)= 44
3)= 6	X(23)= 1
4)= 100	X(24)= 1.5
5)= .003	X(25)= 2
6)= 39	X(26)= 79
7)= 1.3	X(27)= 25
8)= .4000001	X(28)= 31
9)= 5	X(29)= 13
10)= .3	X(30)= 15
11)= .3	X(31)= 7
12)= .9000002	X(32)= 42
13)= .01	X(33)= 29
14)= 45	X(34)= 33
15)= 34	X(35)= 12
16)= 42	X(36)= 50
17)= .6000002	X(37)= 8
18)= .7000003	X(38)= 27
19)= .5	
20)= 39	

[- Menu , D - Düzelt , G - Gec

BİLGİLER İÇİN` DUY111SO.GOA ` İSİMLİ DOSYA KULLANILMIŞTI...

ADINI GIR(uzunlugu<=8):

B Ö L Ü M 5

PROBLEMİN DOĞRUSAL OLMAYAN AMAÇ PROGRAMLAMA İLE ÇÖZÜMÜ

5.1. Ç Ö Z Ü M S O N U Ç L A R I

Problemin çözümünde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Sapma değişkenlerinin değerleri incelendiğinde

$d_4^- = 0$ EB nin Safiyet Amacı Tam Sağlanmıştır.

$d_3^+ + d_5^+ + d_6^- + d_7^+$

$d_8^+ + d_9^+ + d_{10}^+ = 0$ EB nin Diğer Karakteristikleri ile ilgili Amaç Tam Sağlanmıştır.

$d_1^+ + d_2^- + d_2^+ = 3.051758E-05$..EB Miktarı Amacına Çok Düşük Bir Sapma ile Yaklaşılmıştır.

$d_{11}^- + d_{11}^+ + d_{12}^- + d_{12}^+$

$d_{13}^- + d_{13}^+ = 1.460314E-06$.Yan Girdi Miktarı Amacına Çok Düşük bir Sapma ile Yaklaşılmıştır.

$d_{14}^+ + d_{15}^+ + d_{16}^+ + d_{17}^+$

$d_{18}^+ + d_{19}^+ + d_{20}^+ + d_{21}^+$

$d_{22}^+ + d_{23}^- + d_{23}^+ + d_{24}^-$

$d_{24}^+ + d_{25}^- + d_{25}^+ + d_{26}^- = 2.715223$ Reaktörlerin Süreç Değişkenleri Amacına Çok Düşük Bir Sapma ile Yaklaşılmıştır.

$d_{27}^+ + d_{28}^+ + d_{29}^+ + d_{30}^+ = 4.659966$ Benzen-Toluen Kolonu Süreç Değişkenleri Amacına Çok Düşük Bir Sapma ile yaklaşmıştır.

$d_{31}^+ + d_{32}^+ + d_{33}^+ + d_{34}^+ = 0$ Etilbenzen Kolonu Süreç Değişkenleri ile ilgili Amaç Tam sağlanmıştır.

$d_{35}^+ + d_{36}^+ + d_{37}^+ + d_{38}^+ = 0$ Stiren Kolonu Süreç Değişkenleri ile ilgili Amaç Tam sağlanmıştır.

$d_{40}^- = 0$ Stiren'in Safiyet Amacı Tam Olarak Sağlanmıştır.

$$d_{41}^- + d_{42}^+ + d_{43}^+ + d_{44}^+$$

$$d_{45}^+ + d_{46}^+ + d_{48}^+ + d_{49}^+$$

$$+ d_{50}^+ = 17.7761$$

Stiren'in Diğer Karakteristikleri
Amacına Çok Düşük Bir Sapma ile
yaklaşılmıştır.

$$d_{47}^+ = 9.195984 \dots \dots \dots$$

Stiren'in Kloritler Karakteristiği
Amacına Çok Düşük Bir Sapma ile
Yaklaşılmıştır.

$$d_{39}^- + d_{39}^+ = 3.631043 \dots \dots \dots$$

Stiren'in Miktarı Amacına Çok
Düşük Bir Sapma ile Yaklaşılmıştır.

$$d_{51}^- + d_{51}^+ + d_{52}^- + d_{52}^+$$

$$d_{53}^- + d_{53}^+ = 5.492444$$

Yan Çıktıların Miktarı Amacına
Çok Düşük Bir Sapma ile
yaklaşılmıştır.

$$d_{54}^+ = 0 \dots \dots \dots$$

Maliyet Amacı Tam Olarak
Sağlanmıştır.

DEĞİŞKENLERİN DÖNÜŞÜM ÖNCESİ ÇÖZÜM DEĞERLERİ

$$X(1) = 69.9971$$

$$X(20) = 40$$

$$X(2) = 88.20002$$

$$X(21) = 59.99501$$

$$X(3) = 5.479996$$

$$X(22) = 45$$

$$X(4) = 100.72$$

$$X(23) = 4.01001$$

$$X(5) = 3.999987E-03$$

$$X(24) = 2$$

$$X(6) = 49.63198$$

$$X(25) = 3.000003$$

$$X(7) = 1.967001$$

$$X(26) = 86.6601$$

$$X(8) = .5$$

$$X(27) = 26.34$$

$$X(9) = 10$$

$$X(28) = 49.65997$$

$$X(10) = .3479992$$

$$X(29) = 12.255$$

$$X(11) = .2999992$$

$$X(30) = 14.01999$$

$$X(12) = .9000006$$

$$X(31) = 18.969998$$

$$X(13) = .01$$

$$X(32) = 48.68495$$

$$X(14) = 49.96602$$

$$X(33) = 28.73499$$

$$X(15) = 44.81997$$

$$X(34) = 34.99989$$

$$X(16) = 49.99989$$

$$X(35) = 15$$

$$X(17) = .51$$

$$X(36) = 58.98994$$

$$X(18) = .79$$

$$X(37) = 6.860006$$

$$X(19) = .5$$

$$X(38) = 29.99998$$

DEĞİŞKENLERİN DÖNÜŞÜM SONRASI ÇÖZÜM DEĞERLERİ

X(1)=69.9971	X(20)=100
X(2)=88.20002	X(21)=159.99501
X(3)=5.479996	X(22)=125
X(4)=100.72	X(23)=4.01001
X(5)=0.8859	X(24)=2
X(6)=49.63198	X(25)=3.000003
X(7)=81.067001	X(26)=86.6601
X(8)=.5	X(27)=126.34
X(9)=10	X(28)=229.65997
X(10)=.3479992	X(29)=77.255
X(11)=.2999992	X(30)=99.01999
X(12)=.9000006	X(31)=43.969998
X(13)=.01	X(32)=283.68495
X(14)=639.96602	X(33)=78.73499
X(15)=634.81997	X(34)=114.99989
X(16)=639.99989	X(35)= 35
X(17)=1.01	X(36)= 98.98994
X(18)=1.29	X(37)=61.860006
X(19)=1.	X(38)= 99.99998

Bu X(I) değerlerine karşılık gelen

ÇIKTILARA AİT Y(I) DEĞERLERİ

Y(1)=71.36895	Stiren Miktarı
Y(2)=99.60249	Safiyet(STR)
Y(3)=49.08164	Renk(STR)
Y(4)=1.804361E-02	Aldehitler(STR)
Y(5)=3.179532E-02	Peroksitler(STR)
Y(6)=2.691212E-02	Sülfür(STR)
Y(7)=9.00638	Polimer(STR)

YC 8)=19.50049	Inhibitör(STR)
YC 9)=118.3918	Kloritler(STR)
YC(10)=476.021	Alfametilstiren(STR)
YC(11)=1.851921	Divinil Benzen(STR)
YC(12)=0.313597	Viskozite(25°C)(STR)
YC(13)=7.000824	Benzen-Toluen Miktarı
YC(14)=10.890822	Off Gaz Miktarı
YC(15)=3.42775	Ağır Ürün Miktarı
YC(16)=1766354	Stiren Maliyeti

olarak elde edilmiştir.

Amaçların bu önceliklerine göre elde edilen yukardaki Girdi, Sürec ve Çıktı Değerlerinden hesaplanan değerle, fiili sonuçlar arasında karşılaştırma yapıldığında;

fiili beklenen maliyet 2,910,154 TL/ton iken, buna karşılık olarak çözümden hesaplanan birim maliyetin 1,766,354 TL/ton şeklinde oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Bu sonuç üniteye, ton başına 1,143,800 TL, yıllık ise $19000 \times 1,143,800 = 21,732,200,000$. _ TL tasarruf sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Ünite, Girdi ve Sürec Değişkenlerinin çözüm sonucunda elde edilen değerlerinde çalışırsa, bu değerler ünitenin minimum maliyette çalışması için kararlı değerler olacaktır.

5.2. CÖZÜMÜN DUYARLILIĞI

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, bir süreç endüstrisinde en iyi (verimli) çalışma şartlarını veren değişkenlere ait yegane seviyelerin gerçekleştirilmesinin her zaman mümkün olmayacağıdır. Çünkü değişimler zorunlu olarak oluşacaktır ve yerine getirilebilir çözüm setini oluşturmada, elde edilen çözüm için toleranslara ihtiyaç duyulur. Buna göre Çıktı'nın ileri sürülen spesifikasyon limitleri gözönüne alınarak ve çözümün komşuluğundaki Girdi ve Süreç Değişkenlerinin değerleri için Çıktı Değerleri hesabedilerek, farklı seviyelere sahip çeşitli çözümler elde edilebilir. Bu amaçla Ürünün çeşitli maliyet değerleri ile bu değerlerin sırasıyla 11. , 12. , 13. ve 14. öncelik seviyelerine sahip olması durumlarına göre hesaplamalar yapılarak çeşitli seviyelerde değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler aşağıdaki tablolarda verilmiştir:

Tablo 5.1. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 2,910,154 TL		Önceliği= 11	
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 64.96	$d_1^+ = 2.65$	X(20)= 99	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 82.04	$d_2^- - d_2^+ = 3.50$	X(21)= 154	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 6	$d_3^- = 0$	X(22)= 124	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.97	$d_4^- = 0$	X(23)= 1	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.21$
X(5)= 0.885	$d_5^+ = 0$	X(24)= 1.5	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.42$
X(6)= 39	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.52$
X(7)= 80.4	$d_7^+ = 0$	X(26)= 79	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 7.60$
X(8)= 0.4	$d_8^+ = 0$	X(27)= 125	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 5	$d_9^+ = 0$	X(28)= 211	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.3	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 78	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.3	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0$	X(30)= 100	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.9	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0$	X(31)= 32	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.01	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0$	X(32)= 277	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 635	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 79	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 624	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 113	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 632	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 32	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.1	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 90	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.2	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 63	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 1.0	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 97	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 63.96	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 11.1$	Y(9)= 93.123	$d_{47}^+ = 0$
Y(2)= 99.96	$d_{40}^- = 0$	Y(10)= 505.51	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 18.62	$d_{41}^- = 0$	Y(11)= 3.94	$d_{49}^+ = 0$
Y(4)= 0.0105	$d_{42}^+ = 0$	Y(12)= 0.73	$d_{50}^+ = 0$
Y(5)= 0.007	$d_{43}^+ = 0$	Y(13)= 2.64	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 4.41$
Y(6)= 0.0026	$d_{44}^+ = 0$	Y(14)= 2.43	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 1.09$
Y(7)= 9.66	$d_{45}^+ = 5$	Y(15)= 4.76	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 0.91$
Y(8)= 11.52	$d_{46}^+ = 0$	Y(16)= 1709290	$d_{54}^+ = 0$

Tablo 5.2. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 2,910,154 TL		Önceliği= 12	
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 64.98	$d_1^+ = 9.65$	X(20)= 97	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 80.02	$d_2^- - d_2^+ = 6.82$	X(21)= 152	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 6	$d_3^- = 0$	X(22)= 122	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.92	$d_4^- = 0$	X(23)= 1	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.21$
X(5)= 0.885	$d_5^+ = 0$	X(24)= 1.5	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.42$
X(6)= 46	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.52$
X(7)= 80.5	$d_7^+ = 0$	X(26)= 77	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 9.60$
X(8)= 0.5	$d_8^+ = 0$	X(27)= 123	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 5	$d_9^+ = 0$	X(28)= 213	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.3	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 79	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.35	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0.048$	X(30)= 100	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.9	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0$	X(31)= 33	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.011	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0$	X(32)= 273	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 634	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 77	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 621	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 67	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 632	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 32	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.1	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 90	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.1	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 63	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 1.0	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 92	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 63.80	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 11.21$	Y(9)= 104.38	$d_{47}^+ = 4.401$
Y(2)= 99.79	$d_{40}^- = 0$	Y(10)= 466.53	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 18.51	$d_{41}^- = 0$	Y(11)= 3.98	$d_{49}^+ = 0$
Y(4)= 0.078	$d_{42}^+ = 0.053$	Y(12)= 1.179	$d_{50}^+ = 0.318$
Y(5)= 0.006	$d_{43}^+ = 0$	Y(13)= 0.852	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 6.418$
Y(6)= 0.0018	$d_{44}^+ = 0$	Y(14)= 0.496	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 0.47$
Y(7)= 15.23	$d_{45}^+ = 5.27$	Y(15)= 0.26	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 0.251$
Y(8)= 1.273	$d_{46}^+ = 0$	Y(16)= 1860836	$d_{54}^+ = 0$

Tablo 5.3. GİRİŞ VE SÜREC DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 2,910,154 TL		Önceliği= 13	
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 66.97	$d_1^+ = 0$	X(20)= 99	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 81.03	$d_2^- - d_2^+ = 6.70$	X(21)= 151	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 8	$d_3^- = 0$	X(22)= 124	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.95	$d_4^- = 0$	X(23)= 1.1	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.01$
X(5)= 0.885	$d_5^+ = 0$	X(24)= 1.6	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.49$
X(6)= 42	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2.38	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.52$
X(7)= 80.3	$d_7^+ = 0$	X(26)= 76	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 9.66$
X(8)= 0.4	$d_8^+ = 0$	X(27)= 124	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 11	$d_9^+ = 0$	X(28)= 217	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.3	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 79	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.35	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0.046$	X(30)= 100	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.9	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0$	X(31)= 33	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.011	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0.001$	X(32)= 279	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 632	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 78	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 625	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 113	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 631	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 31	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.1	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 93	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.2	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 63	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 1.0	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 94	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 62.27	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 12.68$	Y(9)= 117.5	$d_{47}^+ = 17.46$
Y(2)= 99.71	$d_{40}^- = 0$	Y(10)= 459	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 4.38	$d_{41}^- = 5.22$	Y(11)= 4.247	$d_{49}^+ = 0$
Y(4)= 0.065	$d_{42}^+ = 0.01$	Y(12)= 0.757	$d_{50}^+ = 6.5$
Y(5)= 0.085	$d_{43}^+ = 0.07$	Y(13)= 11.39	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 3.875$
Y(6)= 0.39	$d_{44}^+ = 0.01$	Y(14)= 5.45	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 2.16$
Y(7)= 14.4	$d_{45}^+ = 4.6$	Y(15)= 1.87	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 1.89$
Y(8)= 7.95	$d_{46}^+ = 0$	Y(16)= 1980786	$d_{54}^+ = 0$

Tablo 5.4. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 2,910,154 TL Önceliği= 14			
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 64.97	$d_1^+ = 0$	X(20)= 98	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 80.03	$d_2^- - d_2^+ = 7.75$	X(21)= 153	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 6	$d_3^- = 0$	X(22)= 123	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.93	$d_4^- = 0$	X(23)= 1	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.01$
X(5)= 0.886	$d_5^+ = 0$	X(24)= 1.5	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.49$
X(6)= 40	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.85$
X(7)= 80.4	$d_7^+ = 0$	X(26)= 78	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 8.59$
X(8)= 0.4	$d_8^+ = 0$	X(27)= 122	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 10	$d_9^+ = 0$	X(28)= 217	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.3	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 77	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.35	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0.046$	X(30)= 99.98	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.9	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0$	X(31)= 33	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.011	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0.001$	X(32)= 279	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 632	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 79	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 625	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 114	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 631	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 32	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.1	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 93	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.2	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 63	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 1.0	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 93	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 72.97	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 1.92$	Y(9)= 99	$d_{47}^+ = 17.46$
Y(2)= 99.7	$d_{40}^- = 0$	Y(10)= 154	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 6	$d_{41}^- = 3.7$	Y(11)= 14	$d_{49}^+ = 0$
Y(4)= 0.01	$d_{42}^+ = 0.01$	Y(12)= 1	$d_{50}^+ = 6.5$
Y(5)= 0.015	$d_{43}^+ = 0.005$	Y(13)= 3.5	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 4.645$
Y(6)= 0.023	$d_{44}^+ = 0.02$	Y(14)= 2	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 1.56$
Y(7)= 11.4	$d_{45}^+ = 1.4$	Y(15)= 1.87	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 1.89$

Tablo 5.5. GİRİŞ VE SÜREC DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 3,400,000 TL		Önceliği= 11	
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 66.97	$d_1^+ = 0$	X(20)= 99.32	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 84.03	$d_2^- - d_2^+ = 3.64$	X(21)= 157	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 5.6	$d_3^- = 0$	X(22)= 125	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.91	$d_4^- = 0$	X(23)= 1.2	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.1$
X(5)= 0.883	$d_5^+ = 0$	X(24)= 1.9	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.21$
X(6)= 49	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2.19	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.72$
X(7)= 80.4	$d_7^+ = 0$	X(26)= 85	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 1.60$
X(8)= 0.5	$d_8^+ = 0$	X(27)= 128	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 10	$d_9^+ = 0$	X(28)= 217	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.3	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 77	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.3	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0$	X(30)= 101	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.9	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0$	X(31)= 37	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.008	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0.002$	X(32)= 281	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 627	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 80	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 638	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 112	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 631	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 35	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.3	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 95	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.1	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 63	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 1.15	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 90	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 64.55	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 10.48$	Y(9)= 103.03	$d_{47}^+ = 3.028$
Y(2)= 99.58	$d_{40}^- = 0$	Y(10)= 374.76	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 13	$d_{41}^- = 0$	Y(11)= 5.68	$d_{49}^+ = 0.71$
Y(4)= 0.07	$d_{42}^+ = 0$	Y(12)= 2.694	$d_{50}^+ = 1.88$
Y(5)= 0.0082	$d_{43}^+ = 0$	Y(13)= 6.38	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 0.83$
Y(6)= 0.0026	$d_{44}^+ = 0$	Y(14)= 5.99	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 2.38$
Y(7)= 12.23	$d_{45}^+ = 2.28$	Y(15)= 1.059	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 2.562$
Y(8)= 0.4	$d_{46}^+ = 0$	Y(16)= 2097353	$d_{54}^+ = 0$

Tablo 5.6. GİRİŞ VE SÜREC DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 3,400,000 TL		Önceliği= 12	
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 60.97	$d_1^+ = 0$	X(20)= 98	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 84.03	$d_2^- - d_2^+ = 0$	X(21)= 156	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 6.1	$d_3^- = 0$	X(22)= 123	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.8	$d_4^- = 0.1$	X(23)= 1	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.11$
X(5)= 0.884	$d_5^+ = 0$	X(24)= 1.7	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.42$
X(6)= 48	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2.49	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.52$
X(7)= 80.3	$d_7^+ = 0$	X(26)= 81	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 4.98$
X(8)= 0.5	$d_8^+ = 0$	X(27)= 126	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 10	$d_9^+ = 0$	X(28)= 217	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.2	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 77	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.32	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0$	X(30)= 98	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.9	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0$	X(31)= 32	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.011	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0.01$	X(32)= 272	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 633	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 78	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 638	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 113	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 631	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 32	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.3	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 93	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.23	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 62	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 1.21	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 93	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 63.35	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 11.54$	Y(9)= 71.649	$d_{47}^+ = 0$
Y(2)= 99.8	$d_{40}^- = 0$	Y(10)= 445.17	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 18.45	$d_{41}^- = 0$	Y(11)= 6.27	$d_{49}^+ = 1.32$
Y(4)= 0.021	$d_{42}^+ = 0.012$	Y(12)= 2.2	$d_{50}^+ = 0.44$
Y(5)= 0.0072	$d_{43}^+ = 0.0051$	Y(13)= 8.8	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 1.58$
Y(6)= 0.0021	$d_{44}^+ = 0$	Y(14)= 5.42	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 1.87$
Y(7)= 7.78	$d_{45}^+ = 0$	Y(15)= 5.99	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 2.79$
Y(8)= 9.82	$d_{46}^+ = 0$	Y(16)= 2097353	$d_{54}^+ = 0$

Tablo 5.7. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 3,400,000 TL		Önceliği= 13	
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 62.98	$d_1^+ = 0$	X(20)= 92	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 84.02	$d_2^- - d_2^+ = 3.50$	X(21)= 157	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 5.7	$d_3^- = 0$	X(22)= 120	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.87	$d_4^- = 0.03$	X(23)= 1.2	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.1$
X(5)= 0.885	$d_5^+ = 0$	X(24)= 1.9	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.2$
X(6)= 43	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2.4	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.52$
X(7)= 80.4	$d_7^+ = 0$	X(26)= 82	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 3.96$
X(8)= 0.35	$d_8^- = 0.18$	X(27)= 127	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 9	$d_9^+ = 0$	X(28)= 214	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.3	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 74	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.35	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0.042$	X(30)= 98	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.8	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0.1$	X(31)= 38	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.011	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0$	X(32)= 280	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 634	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 78	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 630	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 110	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 628	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 32	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.2	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 92	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.3	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 65	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 1.0	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 94	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 65.024	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 0$	Y(9)= 108.956	$d_{47}^+ = 9.124$
Y(2)= 95.05	$d_{40}^+ = 0$	Y(10)= 681.13	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 33.08	$d_{41}^- = 0$	Y(11)= 9.14	$d_{49}^+ = 4.23$
Y(4)= 0.00172	$d_{42}^+ = 0$	Y(12)= 0.014	$d_{50}^+ = 0$
Y(5)= 0.0026	$d_{43}^+ = 0$	Y(13)= 13.25	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 5.78$
Y(6)= 0.0346	$d_{44}^+ = 0$	Y(14)= 7.15	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 3.351$
Y(7)= 15.1	$d_{45}^+ = 0$	Y(15)= 1.82	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 1.492$
Y(8)= 34.9	$d_{46}^+ = 0$	Y(16)= 1506472	$d_{54}^+ = 0$

Tablo 5.8. GİRİŞ VE SÜREC DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 3,400,000 TL Önceliği= 14			
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 67.97	$d_1^+ = 0$	X(20)= 98	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 75.03	$d_2^- - d_2^+ = 12.94$	X(21)= 156	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 6	$d_3^- = 0$	X(22)= 121	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.97	$d_4^- = 0$	X(23)= 1.2	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.09$
X(5)= 0.889	$d_5^+ = 0.0028$	X(24)= 1.7	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.317$
X(6)= 44	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2.29	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.62$
X(7)= 80.6	$d_7^+ = 0$	X(26)= 82.4	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 3.9$
X(8)= 0.4	$d_8^+ = 0$	X(27)= 126	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 10	$d_9^+ = 0$	X(28)= 221	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.3	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 75	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.3	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0$	X(30)= 102	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.9	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0$	X(31)= 37	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.011	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0$	X(32)= 283	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 636	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 78	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 628	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 112	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 635	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 30	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.0	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 88	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.2	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 64	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 0.8	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 92	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 63.11	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 11.78$	Y(9)= 112.05	$d_{47}^+ = 12.35$
Y(2)= 94.78	$d_{40}^- = 4.15$	Y(10)= 564.8	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 30.14	$d_{41}^- = 0$	Y(11)= 1.8	$d_{49}^+ = 0$
Y(4)= 0.018	$d_{42}^+ = 0$	Y(12)= 0.038	$d_{50}^+ = 0$
Y(5)= 0.0059	$d_{43}^+ = 0$	Y(13)= 14.43	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 7.24$
Y(6)= 0.0019	$d_{44}^+ = 0$	Y(14)= 11.21	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 7.56$
Y(7)= 20.54	$d_{45}^+ = 9.67$	Y(15)= 0.63	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 2.97$
Y(8)= 12	$d_{46}^+ = 0$	Y(16)= 1711279	$d_{54}^+ = 0$

Tablo 5.9. GİRİŞ VE SÜREC DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 2,400,000 TL		Önceliği= 11	
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 64.98	$d_1^+ = 0$	X(20)= 97	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 80.02	$d_2^- - d_2^+ = 7.58$	X(21)= 153	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 5.6	$d_3^- = 0$	X(22)= 125	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.93	$d_4^- = 0$	X(23)= 1.2	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.1$
X(5)= 0.885	$d_5^+ = 0$	X(24)= 1.9	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.2$
X(6)= 48	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2.2	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.72$
X(7)= 80.5	$d_7^+ = 0$	X(26)= 85	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 1.60$
X(8)= 0.5	$d_8^+ = 0$	X(27)= 127	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 10	$d_9^+ = 0$	X(28)= 218	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.3	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 77	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.3	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0$	X(30)= 98	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.9	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0$	X(31)= 42	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.012	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0$	X(32)= 283	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 630	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 77	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 630	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 113	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 637	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 35	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.3	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 91	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.2	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 66	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 1.2	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 100	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 74.15	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 0.813$	Y(9)= 44.34	$d_{47}^+ = 0$
Y(2)= 99.68	$d_{40}^- = 0$	Y(10)= 279.06	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 38.95	$d_{41}^- = 0$	Y(11)= 0.0024	$d_{49}^+ = 0$
Y(4)= 0.0075	$d_{42}^+ = 0$	Y(12)= 0.0017	$d_{50}^+ = 0$
Y(5)= 0.00011	$d_{43}^+ = 0$	Y(13)= 4.78	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 2.53$
Y(6)= 0.005	$d_{44}^+ = 0.0017$	Y(14)= 4.42	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 1.675$
Y(7)= 5.527	$d_{45}^+ = 0$	Y(15)= 2.386	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 1.356$
Y(8)= 13.13	$d_{46}^+ = 4.78$	Y(16)= 2097353	$d_{54}^+ = 0$

Tablo 5.10. GİRİŞ VE SÜREC DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 2,400,000 TL		Önceliği= 12	
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 60.98	$d_1^+ = 0$	X(20)= 97	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 84.02	$d_2^- - d_2^+ = 1.78$	X(21)= 155	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 6.1	$d_3^- = 0$	X(22)= 122	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.99	$d_4^- = 0.1$	X(23)= 1	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.11$
X(5)= 0.885	$d_5^+ = 0$	X(24)= 1.7	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.42$
X(6)= 47	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2.5	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.52$
X(7)= 80.4	$d_7^+ = 0$	X(26)= 80	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 6.62$
X(8)= 0.5	$d_8^+ = 0$	X(27)= 127	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 10	$d_9^+ = 0$	X(28)= 218	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.2	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 76	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.32	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0.018$	X(30)= 98	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.8	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0.085$	X(31)= 33	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.011	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0.001$	X(32)= 273	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 634	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 77	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 637	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 112	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 630	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 32	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.23	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 92	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.25	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 63	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 1.20	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 92	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 56.08	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 13.15$	Y(9)= 15.4	$d_{47}^+ = 0$
Y(2)= 99.99	$d_{40}^- = 0$	Y(10)= 523	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 7.74	$d_{41}^- = 2.28$	Y(11)= 0.566	$d_{49}^+ = 0$
Y(4)= 0.0086	$d_{42}^+ = 0$	Y(12)= 0.327	$d_{50}^+ = 0$
Y(5)= 0.0007	$d_{43}^+ = 0$	Y(13)= 4.48	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 2.518$
Y(6)= 0.00094	$d_{44}^+ = 0$	Y(14)= 7.11	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 3.475$
Y(7)= 11.9	$d_{45}^+ = 1.762$	Y(15)= 5.55	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 1.782$
Y(8)= 17.1	$d_{46}^+ = 3.953$	Y(16)= 2028294	$d_{54}^+ = 0$

Tablo 5.11. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ

Urün Maliyeti= 2,400,000 TL		Önceliği= 13	
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 61.97	$d_1^+ = 0$	X(20)= 94	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 81.02	$d_2^- - d_2^+ = 6.78$	X(21)= 154	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 5.575	$d_3^- = 0$	X(22)= 123	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.87	$d_4^- = 0.15$	X(23)= 1.2	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.09$
X(5)= 0.886	$d_5^+ = 0$	X(24)= 2.1	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.38$
X(6)= 45.125	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2.39	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.48$
X(7)= 80.19	$d_7^+ = 0$	X(26)= 82.1	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 4.96$
X(8)= 0.108	$d_8^+ = 0$	X(27)= 127	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 10.	$d_9^+ = 0$	X(28)= 219.9	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.1875	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 74	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.3375	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0.037$	X(30)= 99	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.812	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0.078$	X(31)= 39.88	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.011	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0$	X(32)= 282.88	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 631	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 78.13	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 630	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 112.13	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 633	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 35	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.3	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 92.13	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.3	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 62.87	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 1.2	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 98.13	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 56.38	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 18.58$	Y(9)= 24.19	$d_{47}^+ = 0$
Y(2)= 99.98	$d_{40}^- = 0$	Y(10)= 240.82	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 16.125	$d_{41}^- = 0$	Y(11)= 3.874	$d_{49}^+ = 0$
Y(4)= 0.009	$d_{42}^+ = 0$	Y(12)= 0.167	$d_{50}^+ = 0$
Y(5)= 0.00047	$d_{43}^+ = 0$	Y(13)= 5.29	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 1.95$
Y(6)= 0.0005	$d_{44}^+ = 0$	Y(14)= 2.23	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 0.094$
Y(7)= 10.7	$d_{45}^- = 0.678$	Y(15)= 2.16	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 0.57$
Y(8)= 15.538	$d_{46}^+ = 2.529$	Y(16)= 2055081	$d_{54}^+ = 0$

Tablo 5.12. GİRİŞ VE SÜREÇ DEĞİŞKENLERİ

Ürün Maliyeti= 3,400,000 TL		Önceliği= 14	
Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
X(1)= 61.99	$d_1^+ = 0$	X(20)= 98	$d_{20}^+ = 0$
X(2)= 75.01	$d_2^- - d_2^+ = 12.91$	X(21)= 157	$d_{21}^+ = 0$
X(3)= 5	$d_3^- = 0.23$	X(22)= 121	$d_{22}^+ = 0$
X(4)= 99.99	$d_4^- = 0$	X(23)= 1.2	$d_{23}^- - d_{23}^+ = 0.087$
X(5)= 0.883	$d_5^+ = 0$	X(24)= 1.7	$d_{24}^- - d_{24}^+ = 0.42$
X(6)= 44	$d_6^+ = 0$	X(25)= 2.3	$d_{25}^- - d_{25}^+ = 0.58$
X(7)= 80.6	$d_7^+ = 0$	X(26)= 82	$d_{26}^- - d_{26}^+ = 4.63$
X(8)= 0.5	$d_8^+ = 0$	X(27)= 124	$d_{27}^+ = 0$
X(9)= 9	$d_9^+ = 0$	X(28)= 220	$d_{28}^+ = 0$
X(10)= 0.3	$d_{10}^+ = 0$	X(29)= 78	$d_{29}^+ = 0$
X(11)= 0.3	$d_{11}^- - d_{11}^+ = 0$	X(30)= 99	$d_{30}^+ = 0$
X(12)= 0.8	$d_{12}^- - d_{12}^+ = 0.095$	X(31)= 38	$d_{31}^+ = 0$
X(13)= 0.011	$d_{13}^- - d_{13}^+ = 0$	X(32)= 284	$d_{32}^+ = 0$
X(14)= 631	$d_{14}^+ = 0$	X(33)= 76	$d_{33}^+ = 0$
X(15)= 631	$d_{15}^+ = 0$	X(34)= 108	$d_{34}^+ = 0$
X(16)= 627	$d_{16}^+ = 0$	X(35)= 30	$d_{35}^+ = 0$
X(17)= 1.2	$d_{17}^+ = 0$	X(36)= 91	$d_{36}^+ = 0$
X(18)= 1.1	$d_{18}^+ = 0$	X(37)= 62	$d_{37}^+ = 0$
X(19)= 0.8	$d_{19}^+ = 0$	X(38)= 93	$d_{38}^+ = 0$

ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Çözüm Değerleri	Sapmalar	Çözüm Değerleri	Sapmalar
Y(1)= 54.20	$d_{39}^- - d_{39}^+ = 10.76$	Y(9)= 44.205	$d_{47}^+ = 0$
Y(2)= 99.62	$d_{40}^- = 0$	Y(10)= 678	$d_{48}^+ = 0$
Y(3)= 12.24	$d_{41}^- = 0$	Y(11)= 3.5	$d_{49}^+ = 0$
Y(4)= 0.023	$d_{42}^+ = 0.0028$	Y(12)= 0.575	$d_{50}^+ = 0$
Y(5)= 0.00015	$d_{43}^+ = 0$	Y(13)= 8.24	$d_{51}^- - d_{51}^+ = 0.96$
Y(6)= 0.0026	$d_{44}^+ = 0$	Y(14)= 4.63	$d_{52}^- - d_{52}^+ = 0.957$
Y(7)= 0.606	$d_{45}^+ = 0$	Y(15)= 6.523	$d_{53}^- - d_{53}^+ = 2.896$
Y(8)= 12.97	$d_{46}^+ = 0$	Y(16)= 2025089	$d_{54}^+ = 0$

B Ö L Ü M 6

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

6.1. TARTIŞMA

Çözümün duyarlılığı için yapılan hesaplamalar sonucunda karşılaşılan sapmalar toplamına göre en düşük sapmadan en yüksek sapmaya doğru şu sıralama elde edilmiştir:

Tablo 6.1. Toplam Sapmaya Göre Sıralanmış Çözümler

Sıra No	Toplam Sapma	Maliyet Kısıtı	Önceliği
1	21.356	2,400,000 TL	11
2	22.82	2,910,154 TL	11
3	29.378	3,400,000 TL	12
4	30.282	3,400,000 TL	11
5	34.076	2,400,000 TL	13
6	34.529	2,400,000 TL	14
7	38.474	2,400,000 TL	12
8	41.366	2,910,154 TL	14
9	46.689	2,910,154 TL	12
10	47.349	3,400,000 TL	13
11	72.032	2,910,154 TL	11
12	73.590	3,400,000 TL	14

Duyarlılık çözümleri ile ilgili bu tablo incelendiğinde Maliyet Kısıtı 2,400,000 TL , Önceliği 11 olan çözümün en düşük sapmayı, buna karşılık en yüksek sapmaya ise Maliyet

Kısıtı 3,400,000 TL , Önceliği 14 olan çözümün sahip olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, her bir çözümdeki hedeflere ait sapmalar ayrı ayrı incelendiğinde, yukardaki Sıralanmış Tablo'ya göre;

Maliyet Kısıtı 2,400,000 TL , Önceliği 11 olan 1 Nolu çözüm ile, Maliyet Kısıtı 2,910,154 TL , Önceliği 11 olan 2 Nolu çözüm ve Maliyet Kısıtı 2,400,000 TL , Önceliği 14 olan 6 Nolu Çözümlere ait sapmaların sahip olduğu seviyeler, bu çözümlerin, başta Etilbenzen(Girdi) ve Stiren(Çıktı) 'e ait kalite değerlerini sağlayan, sonrasında da ürün maliyetlerine minimum değerler verdiren olurlu çözümler olduğu görülmektedir.

Diğer çözümlerin sahip olduğu sapmalara bakıldığında,

3 Nolu çözüm, Etilbenzen'in X(4) ve Stiren'in Y(4),Y(5) ve Y(11) şeklindeki Kalite değerlerinden sapmalara,

4 Nolu çözüm, Stiren'in Y(7), Y(7), Y(11), Y(12) şeklindeki Kalite değerlerinden sapmalara,

5 Nolu çözüm, Etilbenzen'in X(4) ve Stiren'in Y(7),Y(8) şeklindeki Kalite değerlerinden sapmalara,

7 Nolu çözüm, Stiren'in Y(3), Y(7), Y(8) şeklindeki Kalite değerlerinden sapmalara,

8 Nolu çözüm, Stiren'in Y(3), Y(7), Y(8), Y(11), Y(12) şeklindeki Kalite değerlerinden sapmalara,

9 Nolu çözüm, Stiren'in Y(4), Y(7), Y(9), Y(12) şeklindeki Kalite değerlerinden sapmalara,

10 Nolu çözüm, Etilbenzen'in X(4) ve Stiren'in Y(2), Y(9), Y(11) şeklindeki Kalite değerlerinden sapmalara,

11 Nolu çözüm, Stiren'in Y(3), Y(4), Y(5), Y(6), Y(7) Y(9) şeklindeki Kalite değerlerinden sapmalara,

12 Nolu çözüm, Stiren'in Y(2), Y(7), Y(9) şeklindeki Kalite değerlerinden sapmalara,

sahip olmaları nedeniyle olursuz çözümleri oluştururlar.

Burada, bütün olurlu çözümleri, tüm amaçları sağlayan ve özellikle üretimin gerçekleşmesinde vazgeçilemeyen faktörler olarak kalite özelliklerinin sağlanması temeline göre sıraladığımızda 3 kadar olurlu çözüm bulunmuştur. Duyarlılığın amacı, optimal tabloda yer alan çözüme göre, önceliklerin bütün kombinasyonlarının içinde mümkün, anlamlı ve olurlu kombinasyonlar, ancak maliyetin duyarlılığını ele alan çözümlerde de kalite faktörlerini sağlayan kombinasyonların elde edilmesidir. Bu da süreç optimizasyonunun temel özelliğidir.

6.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir petrokimyasal ünite olan Stiren Ünitesinin, doğrusal olmayan matematiksel modeline Doğrusal Olmayan Amaç Programlama tekniği uygulanmıştır. Modelde bu sistemin bir çok amacı bir arada optimize edilmiş, ayrıca maliyet duyarlılığı incelenmiştir. Duyarlılıkta, yalnızca öncelik düzeyleri ele alınmıştır. Daha ileri çalışmalarda, modelin sağ taraf sabitlerinin, teknolojik katsayıların, yeni ek değişkenlerin ve ek kısıtların duyarlılığı incelenebilir. Ayrıca, ayrıştırma (decomposition) algoritması dual ve düzeltilmiş simpleks algoritmaları incelenebilir. Ele alınan problem başka bir yaklaşımla Kontrol Problemi olarak dinamik optimizasyon yöntemleri, dinamik programlama ve optimal kontrol ile optimize edilebilir. Bu da problemin amaç programlama gibi statik optimizasyon tekniği yanında zaman boyutunun da dahil edildiği yeni bir bakışla incelenmesi demektir ki, süreç optimizasyonlarında daha sık rastlanan durum budur. Son olarak, sistemin kararlı ve kararsız durumları değişik optimizasyon teknikleri ile belirlenerek bir kontrol algoritması geliştirmekle bilgisayar kontrolü sağlanabilir.

S O N U Ç

Bu çalışmada ele aldığımız problem, bir süreç kontrol problemi olup, bir petro-kimyasal ürün olan Stiren'in üretimine ait, içerisinde kısıtlara bağlı çıktı özelliklerine göre bütün spesifikasyonları toplayan "Girdi Seviyeleri ve Süreç Değişkenleri" bulunan bir çözüm bulmak, ya da eğer böyle bir çözüm yoksa bu taktirde, "sistemle en iyi uzlaşan" çözümü elde etmektir. Böyle bir çözümün elde edilmesi için, "özellikle kalite değişkenlerine ve diğer değişkenlere ait sapmaları minimize edecek" çözüm tekniği olarak Doğrusal Olmayan Amaç Programlama Yaklaşımı kullanılmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar, problemi statik ve dinamik yapıda ele alarak, analitik ve sayısal çözüm yöntemleriyle çözmüşler, modele üretimin yapıldığı sistemin tasarım boyutunu da katarak simülasyon yöntemini uygulamışlardır. Bu yöntemler , Dinamik Programlama, Gradient Projeksiyon ve Arama Yöntemleri olup, bir tek amaca yönelik çözümlerin elde edilmesini sağlamışlardır. Çalışmamızda ise, birden fazla amacı ve çözümün duyarlılığını içeren Amaç Programlama Yöntemi bu yönden avantajlı oluşuyla seçilmiştir.

Bulunan çözüm sonucunda, Girdi ve Süreç Değişkenlerinin hedef değerlerinden sapmaları minimum yapan değerlere karşılık, ürünün maliyet değeri 1,766,354 TL/ton olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında, Etilbenzen(girdi) ve Stiren'e(çıktı) ait kalitelerin tam sağlandığı diğer spesifikasyonların ise ihmal edilebilir sapmalarla elde edildiği gözlenmiştir. Bu sonuç, Ünite yetkilileri tarafından kabul edilebilir bulunmuştur.

Yapılan duyarlılık sonucunda ise Maliyetin değerleri ve önceliği değiştirilerek karar vericiye ait çalışma alanı sınırlarının belirlenmesinde bir yaklaşım sağlanmıştır. Bu yaklaşımın, Unite yetkililerine sistemin bilgisayarla kontrolü konusunda ışık tutacağı söylenebilir.



K A Y N A K L A R

- ADELMAN, A. & STEVEN, W.F. - Process Optimization by the Complex Method, AICHE Journal, Vol.18, No.1, 1972, s.20-24.
- ARTHUR, J.L. - Multiple Goal Production and Logistics Planning in a Chemical And Pharmaceutical Company, Comput. & Ops. Res., Vol.9, No.2, 1982, s.127-137.
- BABA, N., TAKEDA, H., & MIYAKE, T. - Interactive Multi-Objective Goal Programming Technique Using Random Optimization Method, Int.J.Systems Science, Vol.19, No.1, 1988, s.151-159.
- BEILBY, M.H., MOTT, JR. T.H. - Academic Library Acquisitions Allocation Based On Multiple Collection Development Goals, Comput. & Ops. Res. Vol.10, No.4, 1983, s.335-343.
- BUDNICK, F.S., MOJENA, R., VOLLMAN, T.E. - Principle of Operations Research for Management, Richard D. Irwin Inc., 1977.
- CHARNES, A., COOPER, W.W., and SUEYOSHI, T. - A Goal Programming Constrained Regression Review of The Bell System Breakup, Management Science, Vol.4, No.1, January, 1988, s.1-126.
- CHARNES, A., COOPER, W.W. - Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, John Wiley and Sons Inc., New York, 1961, s.215.

- CLAYTON, E.R., WEBER, W.E., TAYLOR, B.W.-A Goal Programming Approach to the Optimization of Multiresponse Simulation Models, IIE Transactions, Vol.14, 1982, pp.282-287.
- CLOUGH, D.E., RAMIREZ, W.F.- Mathematical Modeling and Optimization of the Dehidrogenation of Ethylbenzene to Form Styrene AICHE Journal, Vol.22, No.6, s.1097-1105, 1976.
- CATALBAS, İ.- Sıralı Stokiyometri, Endüstride Kütle ve Enerji Hesaplamaları, İnkılap ve Aka Kitabevi, İstanbul, 1972.
- DE KLUYVER, CORNELIS, A.-A Generalized Upper Bounding Algorithm for Large-Scale Generalized Goal Programming Problems, Int.J. Systems Science, Vol.8., No.8, 1977, s.883-904.
- DEGANNES, P.N., RUTHVEN, D.M.- The Oxidative Dehidrogenation of Ethylbenzene to Styrene, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol.57, October, 1970.
- DYER, J.D.-Interactive Goal Programming, Los Angeles, Management Science, Vol.19, No.1, September, 1972, s.62-70.
- EDGAR, T.F., Himmelblau, D.M. -Optimization of Chemical Processes, McGraw-Hill Book Co., New York, 1989.
- FUN, L.- Introduction to Optimization Practice, John Wiley and Sons inc., 1969.
- GASS, S.I.- The Setting of Weights in Linear Goal-Programming Problems, Comput. Opt. Res., Vol.14, No.3, 1987, s.277-229.

- GENÇYILMAZ, G. - Interactive Multicriteria Decision Making, Journal of Faculty of Business Administration, Vol. 1, 1982, s. 105-124.
- GIBSON, M. - A Comparison of Interactive Multiple-Objective Decision Making Procedures, Comput. Opns. Res., Vol. 14, No. 2, 1987, s. 97-105.
- GOTTFREID, L. D., WEISMAN, S. - Introduction to Optimization Theory, Prentice Hall, N.S., 1973.
- GRIFFITH, R. E., STEWART, R. A. - A Nonlinear Programming Technique for The Optimization of Continuous Processing Systems, Management Science, Vol. 7, s. 379-392, 1961.
- GÜLENSOY, H. - Kimya Mühendisliği Stokiyometrisi, İstanbul Üniversitesi Kimya Fakültesi Yayınları, 1975.
- HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J. - Introduction to Mathematical Programming, McGraw-Hill Publishing Company, 1990.
- HIMMELBLAU, D. M. - Process Optimization By Search Techniques, I&EC Process Design And Development, Vol. 2, No. 4, 1963, s. 296-309.
- HWANG, C. L., PAIDY, S. R., YOON, K. - Mathematical Programming with Multiple Objectives: A Tutorial, Comput. & Ops. Res., Vol. 7, 1980, s. 5-31.
- IGNIZIO, J. - Goal Programming and Extensions, Lexington Books D.C. Heath and Company Lexington, Massachusetts, 1979.

IGNIZIO, J.P.-Sequential Linear Goal Programming: Implementation Via MPSX, Comput. & Ops.Res., Vol.6., 1979, s.141-145.

IGNIZIO, J.P.-A Note on Computational Methods in Lexicographic Linear Goal Programming, J.Opl.Res.Soc., Vol.34, No.6, 1983, s.539-542.

JENSON, V.G., JEFFREYS, G.V.-Mathematical Methods in Chemical Engineering, Academic Press, London, 1977.

JOHNSEN, E.- Multiobjective Management of The Small Firm, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, New York, 1977.

KAVAROF, V.- Cybernetics Methods in Chemistry and Chemical Engineering, Mir Publishers, Moscow, 1976.

KORHONEN, P. & LAAKSO, J.-Solving Generalized Goal Programming Problems using a visual interactive approach, European Jour. of Opl.Res., Vol.26, 1986, s.355-363.

LATOUR, P.R.-Online Computer Optimizasyonal: What it is and There do it? Hydrocarbon Processing, Gulf Publishing Corp. Texas, June 1979, s.73-88.

LEE, S.M.- Linear Optimization for Management, New York: Petrocelli/Charter, 1976, s.178.

LEE, S.M.- Goal Programming for Decision Analysis, Aurbach Publishers Inc., Philedelpia, 1976.

- LEE, S.M. - Interactive Integer Goal Programming: Methods And Applications, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, New York, 1977.
- LIN, W.T. - A Survey of Goal Programming Applications, OMEGA, The Int. Jor. of Mngmt. Science, Vol. 8, No. 1, 1979, s. 115-122.
- MARKOWSKI, C.A. - Duality and Transformations in Multiphrase and Sequential Linear Goal Programming Comput. & Ops. Res. Vol. 10, No. 4, 1983, s. 321-333.
- MCCAMMON, D.F. - The Use of Goal Programming in the Design of Electroacoustic Transducers And Transducers Arrays, Comput. & Ops. Res., Vol. 10, No. 4, 1983, s. 345-355.
- MCCANN-RUGG, M., WHITE, G.P., J.M. - Using Goal Programming to Improve the Calculation of Diabetic Diets, Comput. & Ops. Res. Vol. 10, No. 4, 1983, s. 365-373.
- MONARCHI, D.E., WEBER, J.E., DUCKSTEIN, L. - An Interactive Goal Programming, Lecture Notes in Economics and Mathematics Systems, Springer-Verlag, New York, 1975.
- NG KEVIN, Y.G. - Goal Programming, Method of Weighted Residuals, and Optimal Control Problems, IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics, Vol. SMC-17, No. 1, Jan. Feb., 1987.
- NICHOLSON, T.A.J. - Optimization in Industry, Longman Group Ltd., Vol. 1, London, 1971.
- PARKER, B.R. - A Program Selection/Resource Allocation Model for Control of Malaria and Related Parasitic Diseases, Comput. & Ops. Res., Vol. 10, No. 4, s. 375-389.

- PETROKİMYA, VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ö.İ.K. Raporu, Ankara, 1990.
- PETKİM, Stiren Ünitesi Raporları, 1981, Yarımca.
- PLISKIN, L.G., RZAEV, T.G.- Mathematical Model And Algorithm for Optimal Control of Styrene Production, Translated from Avtomatika i Telemekhanika, No.11, s.160-171, November, 1968.
- RAVINDRAN, A., PHILIPS, D.T., SOLBERG, J.-Operational Research, John Wiley, 1987.
- SAVAS, E.E.- Computer Control of Industrial Processes McGraw-Hill N.Y., 1965.
- SCHRAGE, R.W.- Optimizing A Catalyting Cracking Operation the Method of Steepest Ascent, Op.Res.Vol.6, No.4, July, 1958.
- SCHNEIDERJANS, M.J., KIM, G.C.-A Goal Programming Model to Optimize Departmental Preference in Course Assignment, Comput., Opns., Vol.14, No.2, 1987, pp.87-96.
- SEINFELD, J.H., LAPIDUS, L.- Mathematical Methods in Chemical Engineering, Vol.3, Process Modelling, Estimation and Identification, Prentice-Hall, Inc. Englewoods, Cliffs, 1974.
- SENGUPTA, S.- Goal Programming Approach to a Type of Quality Control Problem, J.Opl.Res.Soc. Vol.32, 1981, s.207-211.
- SHIM, J., SEGEL, J.-Sensitivity Analysis of Goal Programming with Pre-emption, Int.J. Systems Science, Vol.11, No.4, 1980, s.393-401.

- SHREVE, N.R., BRINK, J.A. - Chemical Process Industries, McGraw Hill International Book Corp., Tokyo, 1977.
- SHELL, J.G.P., CROWE, C.M. - Simulation and Optimization of an Existing Ethylbenzene Dehydrogenation Reactor, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 47, April, 1969, pp. 183-187.
- SHEPPARD, C.M., MAIER, E.E. - Ethylbenzene Dehydrogenation Reactor Model, Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. Vol. 25, No. 1, s. 207-210, 1986.
- STEUR, R.E. - Multiple Criterion Function Goal Programming Applied to Managerial Compensation Planning, Comput. & Ops. Res., Vol. 10, No. 4, 1983, s. 209-309.
- TAKAMA, N., UMEDA, T. - Multi-Level, Multi-Objective Optimization in Process Engineering, Chemical Engineering Science Vol. 36, 1980, s. 129-136.
- TAKAMA, N., KURIYAMA, T., NIIDA, K., KINOSHITA, A., SHIROKO, K., UMEDA, T. - Optimal Design of a Processing System, Chemical Engineering Process, 1982, s. 83-90.
- TAYLOR, III, B.W., KEOWN, A.J. - A Goal Programming Application of Capital Project Selection in the Production Area, AIIE Transactions, Vol. 10, No. 1, March 1978, s. 52-57.
- TAYLOR, III, B.W., KEOWN, A.J., DUNCAN, C.P. - Allocation of Research and Development Fund: A Zero-One Goal Programming Approach, OMEGA The Int. J. of Mngmt. Sci. Vol. 7, No. 4., 1979, s. 354-351.

- WEISTROFFER, H.R.-An Interactive Goal Programming Method for Non-Linear Multiple-Criteria Decision-Making Problems, Comput. & Ops. Res., Vol.10, No.4, 1983, s.311-320.
- WILD, R.- Management and Production, Penquin Books Ltd., Middlesex, England, 1972.
- ZIMMERMAN, H.J.-Fuzzy Mathematical Programming, Comput. & Ops. Res., Vol.10, No.4, 1983, s.291-298.
- ZAHEDI, F.-Qualitative Programming for Selection Decisions, Comput. Ops. Res., Vol.14, No.5, 1987, s.395-407.
- ZANAKIS, S.H.-A Staff to Job Assignment (Partitioning Problem With Multiple Objectives), Comput. & Ops. Res. Vol.10, No.4, 1983, s.357-363.
- ZANAKIS, S.H., SMITH, J.S.- Chemical Production Planning via Goal Programming, Int.J.Prod.Res.Vol.18, No.6, 1980, s.687-697.
- ZELENY, M.- Multicriteria Simplex Method, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, New York, 1975, s.324-345.

E K L E R

EK-I.1

GİRDİ-ETİLBENZEN 'in KARAKTERİSTİKLERİ

B E S L E M E		Katılma	Safiyet	Spesifik	Parafinler
Risaykil	Taze	Noktası			
(ton/gün)		(C°)	(%Ağ.)	Gravite	n-Heptan
					(ppm)
48.4	48.5	5.4	99.94	.886	48
44.9	67	6.5	99.94	.882	40
56.9	80.65	5.7	99.92	.883	41
63.8	78.9	5.8	99.92	.883	40
63.2	79.05	5.8	99.94	.886	44
67.68	79.15	6.1	99.97	.885	48
69.9	80.95	5.5	99.91	.885	43
68.1	82	5.2	99.93	.883	43
66.9	83.2	5.5	99.96	.883	40
67.4	83.5	5.2	99.93	.882	49
65.24	84.45	6.3	99.99	.884	43
68.5	86.5	5.2	99.94	.882	48
65.58	85.6	6.4	99.99	.886	41
61.1	84.85	6	99.96	.886	50
62.9	84	6.4	99.99	.882	44
62.7	84.95	5.4	99.94	.886	44
61.9	86.3	5.5	99.92	.882	48
66.5	81.8	6.3	99.93	.884	42
67.8	81.38	5.2	99.93	.882	50
65.1	82.15	5.3	99.91	.884	42
67.89	82.23	6.1	99.90	.882	45
69.3	82.23	6.3	99.99	.884	49
68.7	81.88	5.7	99.98	.885	44
68.02	83.7	6.5	99.92	.883	43
66.01	83.9	5.2	99.99	.885	48
67.28	84.75	5.7	99.95	.882	43
66.12	84.5	6.1	99.93	.885	42
65.52	85	5.3	99.92	.882	41
65.94	85.8	5.7	99.93	.883	40
63.95	87.5	6.3	99.94	.883	47
64.5	84.85	6.2	99.99	.882	47
59.35	85.2	5.2	99.93	.882	46
58.88	86.25	5.8	99.96	.883	44
56.91	88.3	5.6	99.97	.882	42
48.3	88.55	5.6	99.96	.884	44
50.61	83	5.4	99.92	.885	46
49.86	77.55	6.3	99.92	.885	44
49.39	78.3	6	99.96	.884	48
50.54	80.15	6	99.95	.884	48
51.78	82.8	6	99.94	.883	46

EK-I.2

Distil. Aralığı (C°)	Sülfür (ppm)	Brom- İndeksi (ASTM)	Bazik- oksit (ppm)
79.7	.4	9	0.4
81	.5	9	0.3
79.1	.3	9	0.5
80.9	.4	7	0.4
79.6	.3	10	0.5
80.7	.4	7	0.4
79.7	.4	9	0.3
79.3	.5	7	0.4
80	.5	8	0.3
79.4	.4	8	0.5
79.8	.5	10	0.5
79.9	.3	7	0.5
81.1	.3	7	0.3
79.6	.5	10	0.5
81.1	.4	8	0.4
79.9	.4	8	0.5
81	.4	7	0.4
79.1	.3	8	0.4
79.6	.4	10	0.3
80.9	.3	7	0.4
79.7	.3	10	0.5
80.4	.4	10	0.4
79.7	.5	7	0.4
79.4	.4	7	0.3
79.4	.4	7	0.4
79.2	.5	10	0.4
80.6	.5	8	0.3
80.7	.5	9	0.3
80.6	.5	9	0.4
80.3	.3	7	0.3
80.2	.3	9	0.4
79.2	.3	9	0.3
80	.3	7	0.4
80.3	.5	8	0.4
81.1	.5	7	0.4
80.4	.4	8	0.5
79.9	.5	7	0.4
79.5	.4	10	0.5
80.9	.3	7	0.5
79.8	.4	8	0.4

EK-I.3

KATKI MADDELERİ (TÜKETİMLER)

Kükürt (ton)	Katbek Yağı (ton)	TBC (ton)
0.2	0.65	0.007
0.27	0.8	0.009
0.29	0.9	0.01
0.28	0.85	0.008
0.28	0.86	0.007
0.3	0.89	0.009
0.29	0.87	0.008
0.3	0.9	0.01
0.3	0.88	0.009
0.28	0.87	0.008
0.29	0.89	0.009
0.3	0.88	0.008
0.3	0.89	0.007
0.28	0.84	0.008
0.29	0.85	0.008
0.29	0.87	0.009
0.3	0.89	0.01
0.29	0.89	0.01
0.28	0.87	0.008
0.27	0.86	0.008
0.28	0.88	0.009
0.25	0.87	0.008
0.26	0.87	0.009
0.27	0.86	0.008
0.3	0.89	0.009
0.3	0.87	0.008
0.29	0.88	0.007
0.28	0.87	0.008
0.29	0.88	0.007
0.29	0.89	0.009
0.3	0.85	0.008
0.3	0.87	0.009
0.29	0.88	0.007
0.27	0.87	0.006
0.26	0.86	0.007
0.27	0.85	0.008
0.28	0.87	0.009
0.29	0.9	0.01
0.3	0.87	0.008
0.28	0.86	0.008

EK-I. 4

SÜREC DEĞİŞKENLERİNİN DEĞERLERİ

REAKTÖR GİRİŞ SICAKLIKLARI			REAKTÖR GİRİŞ BASINÇLARI		
1. R.	2. R. (C°)	3. R.	1. R.	2. R. (kgg)	3. R.
588.1	601	610	.58	.55	.45
587	601	610	.56	.51	.45
598	614	624	.54	.50	.35
602	617	625	.80	.71	.55
601	622	632	.803	.77	.50
600	621	630	.833	.75	.59
608	622	633	.915	.833	.646
611	628	633	.936	.866	.65
612	630	633	.94	.854	.65
606	630	632	.94	.896	.629
613	638	641	.966	.87	.691
612	639	644	.98	.90	.70
616	639	644	.99	.95	.72
620	641	641	1.0	.90	.70
609	640	643	.927	.896	.668
614	640	641	.95	.90	.70
617	639	643	.925	.90	.70
621	639	643	.95	.937	.662
624	640	642	.95	.90	.70
623	642	642	.95	.90	.70
601	634	641	.95	.90	.70
598	637	643	.88	.85	.63
611	641	645	.893	.84	.62
618	642	645	.90	.75	.60
621	641	645	.916	.88	.66
621	641	645	.98	.90	.70
621	641	645	.99	.92	.70
620	641	645	.99	.916	.70
606	641	645	1.0	.916	.70
614	642	646	1.0	.95	.70
609	641	645	.94	.85	.70
609	641	641	1.0	.906	.695
606	641	646	.976	.87	.688
607	641	646	.993	.94	.68
600	641	646	.902	.80	.65
591	639	645	.90	.80	.60
594	642	647	.90	.85	.60
611	642	646	.976	.866	.616
603	641	648	.92	.90	.60
598	643	648	.94	.85	.60

EK-I.5

REAKTÖRLER

BUHAR 1. R.	GİRİŞ 2. R. (ton)	MIKTARLARI 3. R.	KONDEN- SAT. (ton)
60	108	84	82
60	108	84	83
75	135	105	82
83	140.4	109.2	84
84	140.4	109.2	84
84	140.4	109.2	83
89.5	150.3	116.9	82
90	151.2	117.6	85
90	151.2	117.6	84
90	151.2	117.6	84
90.8	151.2	117.6	85
91.2	151.2	117.6	82
91.2	151.2	117.6	84
90	151.2	117.6	85
90	151.2	117.6	85
90	151.2	117.6	84
90	151.2	117.6	83
90	151.2	117.6	84
90	151.2	117.6	82
90	151.2	117.6	83
90	151.2	117.6	83
90	151.2	117.6	83
90	151.2	117.6	84
90.5	151.2	117.6	85
90.2	151.2	117.6	84
90.1	151.2	117.6	83
90.4	151.2	117.6	83
90.6	151.2	117.6	82
90.5	151.2	117.6	82
90.4	151.2	117.6	84
90	151.2	117.6	86
90.2	151.2	117.6	85
89.7	151.2	117.6	84
90.1	151.2	117.6	83
90.2	151.2	117.6	83
90.1	151.2	117.6	82
89.5	151.2	117.6	84
90.3	151.2	117.6	85
90	151.2	117.6	86
90.3	151.2	117.6	84

EK-I.6

BUTADİEN + TOLUEN KOLONU			
BASINÇLAR		SICAKLIKLAR	
Tepe (mmHga)	Dip (mmHga)	12. Tepsi (C°)	Dip. (C°)
113.42	198.75	70.83	95.16
103.25	194.5	73.75	94.3
101.75	186.3	72.1	92.25
109.3	193.25	72.25	92.42
122.1	204.16	72	94.75
125.16	204.42	71.42	94.75
124.3	205.16	73.25	94.9
121.42	202.25	73.16	94.25
111.83	184.58	72.5	92.25
111.9	195.4	72.1	92.58
119.83	199.16	72.5	93.75
119.5	202.16	72.5	94.75
121.1	205.25	72.3	95.5
117.66	207.5	72.58	96
117	208.16	72.1	95.42
109.66	202.58	71.9	95.25
117.83	205.25	72.25	95.75
105.58	204.25	72.83	95.58
105.42	206	72.33	96.16
112.16	211	71.6	96.5
111	205.8	72	96
108	208.4	71.3	95
111.75	210.83	71.83	95.75
105.25	206.3	71.5	95.58
104.1	206.83	71.5	95.6
103.1	205.3	70.9	95.75
104	206.6	70.83	95.75
106.6	208.9	71.1	95.3
105.58	207.75	71.16	95.42
104	206.83	71	95.3
114.16	213.1	71.25	97.16
119.5	218	72	97.25
116.6	217.1	72.1	97
115.9	214.83	72.16	97.16
126.75	211.25	70.25	98
117.83	205.9	73.25	97
116.25	206.33	74	96.73
117.83	210.25	74.25	98
118.16	209.1	74	98
124.66	214.1	73.83	98.16

EK-I.7

ETİL BENZEN		KOLONU	
BASINÇLAR		SICAKLIKLAR	
Tepe (mmHg)	Dip (mmHg)	10. Tepsi (C°)	Dip. (C°)
33.9	241.5	56	56
34.25	261.25	57.9	88.1
34.2	250.58	57.42	91.88
35	253.58	57.9	94
34.42	267.5	60	96.75
34.16	271.16	61.88	99.25
34	273.66	62	102.1
33.9	272	61.42	102.75
35	269.9	59.83	103.58
35	269.75	60	104.6
35	266	59.83	105.33
35	270.5	60	105.58
35	273.75	60.5	106.3
34.75	271.6	60.5	106.9
35	270.1	60.9	107
34	268	60	106.6
34	269.9	60.5	105.9
34	273.16	60	105.83
34	275.9	60	106
34.1	277.9	61.6	105.9
34.58	279.5	62.16	105.75
35	279.5	62.5	105.25
35	281.6	62.9	105.75
35	280.1	62.9	106.1
34.16	279.25	61.83	105.75
34.3	279	62.6	106.1
34.38	280.6	61.9	105.9
34.75	280.1	62.5	105.3
34.75	280.5	63.3	105.16
34.75	281.3	64	105.83
35.9	283	65.6	106.1
39.1	280.1	69.5	105.5
39.1	282.75	69.3	106.42
38.25	282.25	69.75	107.25
34.5	281.75	63.1	102.1
35	282.25	60.5	105.4
35	282	59.9	105.16
35	283	60	106
35	281	60	105.9
35	282	60.16	105.42

EK-I.8

STİREN		KOLONU	
BASINÇLAR		SICAKLIKLAR	
Tepe (mmHg)	Dip (mmHg)	10. Tepsi (C°)	Dip. (C°)
27	44.42	57.1	72
27	52.75	59.9	79.83
27	60.66	61.3	82.83
27	61.1	60.5	83.9
27.65	66.75	63.16	84.83
28.66	65	62.66	84.25
29.16	63.6	63.75	83.75
28.63	64.58	64.25	84.33
28.8	62.83	63.58	81.3
28.83	64.1	63.25	84.25
28.75	65.25	63.75	80.9
28.75	65.9	63.3	79.6
28.9	69.25	63.75	84.66
28.6	69.75	62.83	79.58
29.16	100.3	61.3	74.3
28.9	98.58	64.3	85.42
28.25	100.3	63.9	92.3
27.8	68.5	63.58	97.9
27.58	68.58	63.5	98.25
27.42	95	62.83	91.83
26.66	128.3	61.9	93.25
27.3	69.9	62.3	94.9
27.42	62.1	62.5	98
27.66	66	63.25	94.3
27	65.9	62.42	97
27	64.9	63.25	99
27.5	64.9	62.9	100.5
27.3	84.16	62.25	93.16
28	86.16	63	93.3
27	66.3	62.75	95.25
29.75	66.5	63.58	98.5
34.75	69.16	63.9	93.25
34.3	71.58	64.58	87.6
35	68	63.83	86
28.66	79.33	64.83	87.9
28	73	65.16	86.66
28	71.33	64.75	86.75
28	71.42	64.5	83.42
28	69.75	64.75	84
28	70.66	64.25	86.25

EK-I.9

ÇIKTI - STİREN 'in KARAKTERİSTİKLERİ

MİKTAR (ton/gün)	SAFİYET (%Ağ.)	RENK	ALDEHİT- LER (%Ağ.)	PEROK- SİTLER (%Ağ.)	SÜLFÜR (%Ağ.)
29	99.7	10	.018	.006	.003
47	99.7	9	.017	.006	.002
60	99.6	10	.019	.005	.001
60	99.8	8	.011	.006	.001
60.5	99.8	8	.011	.006	.002
61.5	99.6	8	.018	.01	.002
62	99.9	8	.019	.007	.001
62	99.7	7	.017	.008	.002
62.5	99.8	8	.011	.005	.003
62.5	99.6	8	.016	.005	.002
62.5	99.9	8	.01	.007	.001
62.5	99.9	7	.019	.01	.003
62.6	99.7	8	.016	.007	.003
62	99.6	8	.018	.007	.001
60	99.6	8	.017	.01	.002
62.5	99.8	7	.019	.006	.001
62.5	99.9	7	.011	.01	.003
62.5	99.8	7	.014	.01	.003
62.65	99.8	9	.014	.008	.001
62.74	99.9	7	.012	.005	.001
62.75	99.8	10	.02	.01	.002
62.8	99.7	7	.01	.007	.002
63	99.6	9	.011	.009	.001
64	99.8	8	.014	.01	.001
65	99.9	10	.02	.008	.002
65	99.8	10	.015	.008	.001
66	99.9	7	.014	.006	.002
66	99.6	10	.017	.009	.003
66	99.7	7	.019	.008	.002
67	99.8	8	.014	.007	.001
67	99.8	9	.014	.008	.002
67	99.9	9	.012	.006	.002
67.4	99.8	9	.014	.01	.003
67.55	99.6	9	.011	.008	.003
72	99.6	7	.018	.009	.002
70	99.8	7	.014	.01	.002
70	99.6	7	.011	.008	.002
70	99.9	9	.016	.009	.003
70	99.7	7	.012	.009	.001
70	99.8	10	.015	.01	.001

EK-I.10

POLİMER (%Ağ.)	İNHİBİTÖR (ppm)	KLORİT- LER (ppm)	ALFAMETİL STİREN (ppm)	DİVİNİL- BENZEN (%Ağ.)	VİSKOZİTE (cp)
9	9	97	950	5	.8
10	13	92	985	3	.5
7	13	99	959	4	.5
9	11	99	971	3	.6
9	12	96	999	4	.4
10	13	98	956	4	.8
9	12	94	992	4	.7
10	12	98	953	4	.8
10	9	91	978	3	.5
10	12	94	979	3	.8
8	9	100	979	3	.8
10	13	99	979	3	.6
8	9	94	993	3	.4
10	10	100	958	3	.7
9	9	90	952	5	.4
10	13	100	995	3	.5
7	11	95	966	4	.6
9	9	98	980	4	.4
7	10	99	989	5	.6
9	9	100	999	3	.6
7	9	97	991	4	.8
10	11	99	977	3	.8
8	10	90	965	3	.8
7	11	100	977	3	.6
9	9	93	957	3	.4
10	12	93	959	5	.6
9	12	90	990	5	.7
10	11	90	993	3	.6
10	9	100	964	4	.7
10	12	94	959	3	.7
8	12	94	960	4	.5
9	9	93	975	4	.8
10	11	91	986	3	.4
8	11	97	953	5	.4
10	10	97	985	5	.5
8	12	99	961	3	.8
10	13	98	969	4	.6
8	9	96	999	3	.6
7	9	91	970	5	.8
9	11	100	997	4	.4

REGRESYONLA ELDE EDİLEN MODEL DENKLEMLERİ

Y1 - STİREN MİKTARI MODELİ

$$\begin{aligned} Y1 = & +13.46764 + .2937944 * X(1) - .7984036 * X(2) - 12.74295 * X(3) \\ & + 1.463327 * X(4) - 6.491882 * X(5) + .1309284 * X(6) + 1.267536 * X(7) \\ & + 59.26521 * X(8) + 7.996319 * X(9) + 114.9239 * X(10) + 310.8384 * X(11) \\ & - 54.85967 * X(12) + 10251.27 * X(13) - .3047632 * X(14) + .1548676 * X(15) \\ & - .2595302 * X(16) - 24.53129 * X(17) - 146.1547 * X(18) + 64.4378 * X(19) \\ & + .1856189 * X(20) - .7349775 * X(21) + .3624244 * X(22) - 1.239136 * X(26) \\ & + .5262325 * X(27) - .4301116 * X(28) - .5290255 * X(29) - 1.352363 * X(30) \\ & + .4457144 * X(31) + .2337235 * X(32) - .9570189 * X(33) - 1.229095 * X(34) \\ & + 5.211697E-02 * X(35) - .5240221 * X(36) + 3.042736 * X(37) + .3936308 * X(38) \\ & - 4.442603E-03 * X(1)^2 + 4.96602E-03 * X(2)^2 + 1.217356 * X(3)^2 \\ & - 1.080333E-02 * X(4)^2 - 3.706322 * X(5)^2 + 2.862463E-04 * X(6)^2 \\ & + 4.970416E-03 * X(7)^2 - 66.88426 * X(8)^2 - .4550248 * X(9)^2 \\ & - 123.2845 * X(10)^2 - 477.1671 * X(11)^2 + 29.32712 * X(12)^2 \\ & - 609976.9 * X(13)^2 + 3.650451E-04 * X(14)^2 - 1.125223E-04 * X(15)^2 \\ & + 2.684791E-04 * X(16)^2 + 17.93501 * X(17)^2 + 77.65346 * X(18)^2 \\ & - 39.66019 * X(19)^2 + .0027739 * X(20)^2 - 1.022286E-03 * X(21)^2 \\ & + 4.427249E-03 * X(22)^2 + 3.380981E-03 * X(26)^2 - 2.941814E-03 * X(27)^2 \\ & + 1.237052E-03 * X(28)^2 + 5.781991E-03 * X(29)^2 + 1.437305E-03 * X(30)^2 \\ & - 3.917564E-03 * X(31)^2 + 5.523134E-04 * X(32)^2 + 6.247496E-03 * X(33)^2 \\ & - 3.309448E-04 * X(34)^2 + 2.97459E-03 * X(35)^2 + 3.106548E-03 * X(36)^2 \\ & - 5.791397E-03 * X(37)^2 - 2.132506E-03 * X(38)^2 \end{aligned}$$

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.999

Y2 - SAFİYET (STR) MODELİ

```
=====
Y2 =+106.0914+.1814001*X(1)-1.743505*X(2)-13.90912*X(3)
-.1276901*X(4)-.3621331*X(5)+.3366754*X(6)+.8747274*X(7)
-5.709139*X(8)-2.399912*X(9)+17.02416*X(10)+131.4822*X(11)
+82.2014*X(12)+823.4221*X(13)-7.902094E-02*X(14)
-7.867112E-02*X(15)-1.597018E-02*X(16)+62.89375*X(17)
+36.80021*X(18)-47.18622*X(19)+.4944363*X(20)-.4349872*X(21)
+.2427314*X(22)-3.614201E-02*X(26)-1.481429E-02*X(27)
-.1626641*X(28)-.1205056*X(29)+4.653536E-03*X(30)
-2.2697792*X(31)+4.261184E-02*X(32)-3.199229E-02*X(33)
+.3496937*X(34)+2.669598*X(35)+3.139583E-03*X(36)-.56754*X(37)
+.2526551*X(38)-1.164649E-03*X(1)^2+1.141368E-02*X(2)^2
+1.185367*X(3)^2+3.886867E-04*X(4)^2+3.690076*X(5)^2
-4.675182E-03*X(6)^2-1.954353E-03*X(7)^2+6.72956*X(8)^2
+.1527128*X(9)^2-14.69262*X(10)^2-245.581*X(11)^2
-41.06112*X(12)^2-53069.29*X(13)^2+7.161095E-05*X(14)^2
-7.303173E-06*X(15)^2+5.655795E-05*X(16)^2-32.62379*X(17)^2
-24.39786*X(18)^2+37.69*X(19)^2-7.822581E-03*X(20)^2
+3.143513E-03*X(21)^2-1.794514E-03*X(22)^2-1.32001E-04*X(26)^2
+2.583012E-05*X(27)^2+1.914831E-04*X(28)^2+4.676769E-03*X(29)^2
+1.437079E-03*X(30)^2+3.031129E-02*X(31)^2+1.516126E-05*X(32)^2
-6.478699E-05*X(33)^2-7.336353E-04*X(34)^2-3.971455E-02*X(35)^2
-1.183433E-04*X(36)^2+1.728245E-03*X(37)^2-1.157467E-03*X(38)^2
=====
```

COKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.998

EK-II.3

Y3 - RENK (STR) MODELİ

```
=====
Y3 =-37.69167+1.975259*X(1)+.4203773*X(2)+12.39825*X(3)
+3.488962*X(4)+19.77072*X(5)-.8746323*X(6)-1.919104*X(7)
+175.8622*X(8)+5.70539*X(9)+123.8162*X(10)+133.7261*X(11)
-143.2982*X(12)+10802.46*X(13)-.489929*X(14)+3.136716E-02*X(15)
-.3114862*X(16)-60.28136*X(17)-257.5199*X(18)+110.3829*X(19)
-5.230973E-02*X(20)-1.246735*X(21)+.8772474*X(22)+.8144048*X(26)
+.5420348*X(27)-.827583*X(28)-1.687575*X(29)-.6825683*X(30)
+5.570886*X(31)+.3692181*X(32)-1.979481*X(33)-2.485177*X(34)
+3.285822*X(35)-.9603612*X(36)+7.113965*X(37)+.4802172*X(38)
-1.618185E-02*X(1)^2-.0041052*X(2)^2-.9985908*X(3)^2
-2.245498E-02*X(4)^2-18.9575*X(5)^2+1.113535E-02*X(6)^2
+6.977461E-03*X(7)^2-205.9657*X(8)^2-.3242132*X(9)^2
-156.7972*X(10)^2-163.7898*X(11)^2+53.6838*X(12)^2
-631596.1*X(13)^2+5.87678E-04*X(14)^2+1.523165E-05*X(15)^2
+4.295187E-04*X(16)^2+13.22394*X(17)^2+169.7198*X(18)^2
-66.2749*X(19)^2+4.140799E-03*X(20)^2-6.21195E-03*X(21)^2
+1.169616E-02*X(22)^2-8.510177E-03*X(26)^2-2.119943E-03*X(27)^2
+2.66591E-03*X(28)^2+6.241458E-03*X(29)^2-5.976682E-03*X(30)^2
-4.499783E-02*X(31)^2+2.811856E-05*X(32)^2+1.310388E-02*X(33)^2
+6.14234E-03*X(34)^2-.0739754*X(35)^2+5.906265E-03*X(36)^2
-3.323086E-02*X(37)^2-3.903999E-03*X(38)^2
=====
```

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.996

=====

EK-II. 4

Y4 - ALDEHİTLER (STR) MODELİ

=====

Y4 =-.2186621+7.237339E-03*X(1)+8.428242E-04*X(2)-8.819239E-03*X(3)
+1.005723E-02*X(4)+.892795*X(5)-4.14097E-03*X(6)
+1.573152E-03*X(7)+2.461711E-02*X(8)+1.561089E-04*X(9)
+.489106*X(10)+.9670616*X(11)-.2261846*X(12)+28.54296*X(13)
-6.580118E-04*X(14)+1.167708E-04*X(15)-9.612723E-04*X(16)
+.228917*X(17)-.8733239*X(18)-7.214156E-02*X(19)
-1.734983E-03*X(20)-7.587571E-04*X(21)+1.14569E-03*X(22)
-1.208532E-03*X(26)+3.156733E-03*X(27)-2.862516E-04*X(28)
-1.021852E-02*X(29)-5.289649E-03*X(30)+4.213945E-03*X(31)
-1.061742E-03*X(32)-3.243219E-03*X(33)-5.539267E-03*X(34)
-3.52353E-03*X(35)-2.009474E-03*X(36)+1.117068E-02*X(37)
+2.870619E-03*X(38)-6.224705E-05*X(1)^2-1.26923E-05*X(2)^2
+8.885225E-04*X(3)^2-3.381494E-05*X(4)^2-.1801011*X(5)^2
+5.643678E-05*X(6)^2-4.059644E-06*X(7)^2-1.402741E-02*X(8)^2
-2.011773E-05*X(9)^2-.6050918*X(10)^2-1.554547*X(11)^2
+9.251237E-02*X(12)^2-1706.09*X(13)^2+6.41386E-07*X(14)^2
-8.212215E-07*X(15)^2+1.800131E-06*X(16)^2-6.548348E-02*X(17)^2
+.4763983*X(18)^2+5.394273E-02*X(19)^2+2.559506E-05*X(20)^2
-9.557508E-06*X(21)^2+1.442986E-05*X(22)^2-1.034554E-05*X(26)^2
-1.523299E-05*X(27)^2+1.143973E-06*X(28)^2+4.66323E-05*X(29)^2
+9.416684E-06*X(30)^2-1.679163E-04*X(31)^2+3.18624E-06*X(32)^2
+1.877894E-05*X(33)^2+1.959403E-05*X(34)^2+1.442483E-04*X(35)^2
+1.249854E-05*X(36)^2-5.760916E-05*X(37)^2-1.776826E-05*X(38)^2

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.998

=====

EK-II.5

Y5 - PEROKSİTLER (STR) MODELİ

```
=====
Y5 =-.3789437+3.953977E-03*X(1)+1.596415E-03*X(2)+3.566942E-03*X(3)
      +7.247524E-03*X(4)-.798777*X(5)-2.640838E-03*X(6)
      -3.291997E-04*X(7)+.245663*X(8)+2.549668E-02*X(9)
      +.4290574*X(10)+.2073511*X(11)-.4721649*X(12)-5.250648*X(13)
      -1.357105E-03*X(14)-1.643867E-04*X(15)-8.868138E-04*X(16)
      -.2226956*X(17)-.9081989*X(18)+.9766424*X(19)+1.445908E-03*X(20)
      -1.44537E-03*X(21)-5.77477E-04*X(22)+3.409031E-03*X(26)
      +3.52291E-03*X(27)-2.227028E-03*X(28)-1.535277E-03*X(29)
      -3.82574E-03*X(30)+1.664522E-02*X(31)+2.490635E-03*X(32)
      -2.923736E-03*X(33)-1.019667E-02*X(34)+1.331936E-02*X(35)
      -1.867161E-03*X(36)+1.405718E-02*X(37)-1.153256E-03*X(38)
      -2.628484E-05*X(1)^2-1.162344E-05*X(2)^2-5.019542E-05*X(3)^2
      -1.983438E-05*X(4)^2+.3826406*X(5)^2+3.824386E-05*X(6)^2
      -1.355494E-06*X(7)^2-.2723281*X(8)^2-1.49195E-03*X(9)^2
      -.5224003*X(10)^2-.2735458*X(11)^2+.1847955*X(12)^2
      +245.158*X(13)^2+1.570178E-06*X(14)^2+3.519152E-07*X(15)^2
      +1.866576E-06*X(16)^2+7.661707E-02*X(17)^2+.5631478*X(18)^2
      -.7073931*X(19)^2-9.591699E-06*X(20)^2-7.534769E-07*X(21)^2
      +8.886312E-06*X(22)^2-2.488392E-05*X(26)^2-1.57312E-05*X(27)^2
      +6.93813E-06*X(28)^2+2.265522E-05*X(29)^2-8.284464E-06*X(30)^2
      -1.813786E-04*X(31)^2-2.584196E-06*X(32)^2+1.703717E-05*X(33)^2
      +2.778705E-05*X(34)^2-2.402639E-04*X(35)^2+1.236767E-05*X(36)^2
      -3.984677E-05*X(37)^2+2.896121E-06*X(38)^2
=====
```

COKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.969

=====

EK-II.6

Y6 - SULFÜR (STR) MODELİ

```
=====
Y6 = -.098601+9.555061E-04*X(1)+3.113998E-04*X(2)-1.914574E-02*X(3)
      +9.952309E-04*X(4)-.2506866*X(5)-1.085224E-03*X(6)
      +1.031152E-03*X(7)+9.673418E-02*X(8)+4.433358E-03*X(9)
      +5.823015E-02*X(10)-.1769441*X(11)-.1066548*X(12)-15.12977*X(13)
      -4.382669E-05*X(14)-2.634658E-04*X(15)-9.332391E-05*X(16)
      +2.834494E-02*X(17)-.1448231*X(18)+.1587243*X(19)
      +9.434602E-04*X(20)+9.488129E-04*X(21)-4.800758E-04*X(22)
      +2.189687E-03*X(26)+3.299978E-04*X(27)+8.523186E-05*X(28)
      -1.434924E-03*X(29)-5.662126E-04*X(30)+1.756491E-03*X(31)
      +6.262458E-04*X(32)-1.208848E-03*X(33)-1.913637E-03*X(34)
      +4.079962E-03*X(35)-3.39216E-05*X(36)-9.225556E-04*X(37)
      -4.656406E-04*X(38)-6.409494E-06*X(1)^2-2.413274E-06*X(2)^2
      +1.660186E-03*X(3)^2+8.041938E-06*X(4)^2+.1322442*X(5)^2
      +1.217079E-05*X(6)^2-5.087804E-06*X(7)^2-.1186805*X(8)^2
      -2.504767E-04*X(9)^2-5.707114E-02*X(10)^2+.309721*X(11)^2
      +3.401184E-02*X(12)^2+916.0898*X(13)^2+1.654439E-07*X(14)^2
      +8.051327E-08*X(15)^2+4.514098E-07*X(16)^2-2.804094E-02*X(17)^2
      +9.091968E-02*X(18)^2-9.158554E-02*X(19)^2-1.346018E-05*X(20)^2
      +3.438295E-06*X(21)^2-6.989935E-06*X(22)^2-1.480979E-05*X(26)^2
      -1.029396E-06*X(27)^2-6.641934E-07*X(28)^2+1.236674E-05*X(29)^2
      -2.751772E-06*X(30)^2+2.644887E-06*X(31)^2-1.906649E-07*X(32)^2
      +6.700931E-06*X(33)^2+6.154456E-06*X(34)^2-7.374747E-05*X(35)^2
      +4.051925E-07*X(36)^2+1.73611E-05*X(37)^2+2.009127E-06*X(38)^2
=====
```

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.954

EK-II.7

Y7 - POLİMER (STR) MODELİ

```
=====
Y7 =-104.9255+1.256692*X(1)-.1773738*X(2)+8.212463*X(3)+2.421136*X(4)
+166.4626*X(5)-1.449982*X(6)-1.099302*X(7)+36.86385*X(8)
+18.17637*X(9)+156.0567*X(10)-296.121*X(11)-156.6721*X(12)
+452.117*X(13)-.2066901*X(14)+1.536903E-02*X(15)-.3587067*X(16)
-53.05591*X(17)+32.35595*X(18)-13.27537*X(19)-.3714585*X(20)
+.2539243*X(21)+.7988518*X(22)+1.139181*X(26)-1.908689*X(27)
-.1490858*X(28)-.2916697*X(29)-1.263478*X(30)+.314195*X(31)
-.205343*X(32)-.4103881*X(33)+1.151942*X(34)+1.74703*X(35)
-.1642023*X(36)+1.595581*X(37)+1.234465*X(38)-7.525178E-03*X(1)^2
+2.049299E-03*X(2)^2-.5483608*X(3)^2-1.373816E-02*X(4)^2
-165.3755*X(5)^2+1.786314E-02*X(6)^2+1.079283E-02*X(7)^2
-29.57113*X(8)^2-1.086859*X(9)^2-169.6417*X(10)^2+505.7582*X(11)^2
+74.6519*X(12)^2-23225.02*X(13)^2+3.252624E-04*X(14)^2
-1.214328E-04*X(15)^2+2.70713E-04*X(16)^2+7.752722*X(17)^2
-7.583103*X(18)^2+39.50574*X(19)^2+6.024613E-03*X(20)^2
-5.860557E-03*X(21)^2+2.706992E-03*X(22)^2-8.860412E-03*X(26)^2
+7.067455E-03*X(27)^2+3.608158E-04*X(28)^2+3.644382E-03*X(29)^2
+.011136*X(30)^2+2.604946E-02*X(31)^2+1.112201E-03*X(32)^2
+1.39563E-03*X(33)^2-1.104502E-02*X(34)^2-.0395359*X(35)^2
+1.005051E-03*X(36)^2+4.408011E-03*X(37)^2-9.226353E-03*X(38)^2
=====
```

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.976

=====

EK-II.8

Y8 - İNHİBİTÖR (STR) MODELİ

```
=====
Y8 =+381.6207-3.288878*X(1)-4.416599*X(2)-59.19659*X(3)-5.389496*X(4)
-409.9052*X(5)+1.199945*X(6)+3.246594*X(7)+331.5873*X(8)
+.6197416*X(9)-24.11511*X(10)-133.1048*X(11)+1.136369*X(12)
-15772.73*X(13)+.6774763*X(14)-.3414176*X(15)+.6910415*X(16)
+13.51445*X(17)+446.3191*X(18)-418.9578*X(19)+3.065305*X(20)
+1.549692*X(21)-.2428976*X(22)+1.911171*X(26)-3.224833*X(27)
+1.358047*X(28)-.6835664*X(29)+2.37768*X(30)-8.019227*X(31)
+1.02605*X(32)-3.793428*X(33)+3.288356*X(34)+3.698281*X(35)
-.7972693*X(36)-8.6417*X(37)-.9982078*X(38)+3.230001E-02*X(1)^2
+3.352739E-02*X(2)^2+5.204542*X(3)^2+1.028017E-02*X(4)^2
+9.202666*X(5)^2-1.952256E-02*X(6)^2+3.554833E-03*X(7)^2
-405.4134*X(8)^2-3.713907E-02*X(9)^2+81.36312*X(10)^2
+209.3623*X(11)^2-92.85102*X(12)^2+1095495!*X(13)^2
-4.331274E-04*X(14)^2+1.682578E-04*X(15)^2-6.578532E-04*X(16)^2
-26.98256*X(17)^2-264.5443*X(18)^2+393.424*X(19)^2
-4.129084E-02*X(20)^2+9.503689E-03*X(21)^2-2.022024E-02*X(22)^2
-1.350264E-02*X(26)^2+1.271282E-02*X(27)^2-2.945061E-03*X(28)^2
+2.080495E-02*X(29)^2-1.559065E-02*X(30)^2+.1578656*X(31)^2
-1.159704E-04*X(32)^2+2.214287E-02*X(33)^2-1.669684E-02*X(34)^2
-7.465596E-02*X(35)^2+3.874107E-03*X(36)^2+9.465342E-02*X(37)^2
+3.817857E-03*X(38)^2
=====
```

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.996

=====

Y9 - KLORİTLER (STR) MODELİ

```
=====
Y9 = -258.8511-1.95832*X(1)+2.776634*X(2)-47.32414*X(3)-1.203177*X(4)
      -200.4998*X(5)+1.739688*X(6)+1.582197E-02*X(7)-231.8687*X(8)
      +24.8665*X(9)-55.43529*X(10)-1067.305*X(11)-84.40316*X(12)
      -4888.708*X(13)-.1054219*X(14)+.4714354*X(20)-.1305544*X(21)
      -.6816414*X(22)-3.735707*X(26)+2.364353*X(27)+.24447*X(28)
      +7.773623*X(29)-1.893704*X(30)-7.901765*X(31)-1.137314*X(32)
      +8.743105*X(33)-.634635*X(34)-.5566058*X(35)+4.203906*X(36)
      -.313083*X(37)-2.420461*X(38)+.0202948*X(1)^2-1.919958E-02*X(2)^2
      +4.313221*X(3)^2+3.537912E-02*X(4)^2+524.3281*X(5)^2
      -1.088698E-02*X(6)^2-5.515961E-02*X(7)^2+276.6711*X(8)^2
      -1.534559*X(9)^2+64.96516*X(10)^2+1801.174*X(11)^2
      +192.6288*X(12)^2-75404.55*X(13)^2-1.814677E-04*X(14)^2
      +3.3484E-04*X(15)^2-2.796207E-04*X(16)^2+191.6465*X(17)^2
      +63.28467*X(18)^2-571.7712*X(19)^2-8.035843E-03*X(20)^2
      +2.151735E-03*X(21)^2+2.845253E-03*X(22)^2+3.230419E-02*X(26)^2
      -8.180876E-03*X(27)^2-2.392742E-03*X(28)^2-2.033599E-02*X(29)^2
      +3.001001E-02*X(30)^2+.1548493*X(31)^2-5.557929E-05*X(32)^2
      -4.869003E-02*X(33)^2-4.50622E-03*X(34)^2-8.532943E-02*X(35)^2
      -2.258248E-02*X(36)^2-1.296719E-02*X(37)^2+1.611761E-02*X(38)^2
=====
```

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.999

=====

EK-II.10

Y10 - ALFAMETİLSTİREN (STR) MODELİ

=====

Y10=+3619.859-46.87276*X(1)-25.67948*X(2)-373.6458*X(3)-64.44474*X(4)
-7895.002*X(5)+44.68352*X(6)+33.91372*X(7)+1989.654*X(8)
-162.4721*X(9)-1160.36*X(10)+4216.412*X(11)+2022.994*X(12)
-144598.8*X(13)+3.075031*X(14)-.7244356*X(15)+8.066894*X(16)
-1593.09*X(17)+3091.821*X(18)+942.7636*X(19)+27.50967*X(20)
-4.729922*X(21)-15.48269*X(22)-11.24488*X(26)+.9647518*X(27)
-.762185*X(28)+41.926*X(29)+24.12579*X(30)-50.10525*X(31)
+18.51481*X(32)+.8969323*X(33)-3.283715*X(34)+29.5154*X(35)
-2.050222*X(36)-58.79306*X(37)-29.18659*X(38)+.4130859*X(1)^2
+.1901554*X(2)^2+30.90978*X(3)^2+.1595539*X(4)^2+2803.705*X(5)^2
-.5769901*X(6)^2-2.317452E-02*X(7)^2-2659.282*X(8)^2
+10.22885*X(9)^2+1796.182*X(10)^2-7360.252*X(11)^2-1695.651*X(12)^2
+8792980!*X(13)^2-2.044929E-03*X(14)^2+4.428611E-03*X(15)^2
-6.058479E-03*X(16)^2+771.2574*X(17)^2-1660.901*X(18)^2
-690.3855*X(19)^2-.3657422*X(20)^2+.1402606*X(21)^2
-8.623748E-02*X(22)^2+9.227416E-02*X(26)^2+1.365329E-03*X(27)^2
-5.605183E-03*X(28)^2-7.786672E-02*X(29)^2-.1724723*X(30)^2
+.4952659*X(31)^2-2.451598E-02*X(32)^2-1.892986E-02*X(33)^2
+1.044657E-03*X(34)^2-.1519205*X(35)^2+7.14334E-03*X(36)^2
+.3682011*X(37)^2+.1776411*X(38)^2

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.999

=====

EK-II.11

Y11 - DİVİNİL BENZEN (STR) MODELİ

```
=====
Y11=-123.9566+.0682929*X(1)+1.081355*X(2)+9.838431*X(3)+.3650054*X(4)
-372.2731*X(5)-.3246544*X(6)-.59764*X(7)-8.269832*X(8)
+5.161593*X(9)+47.20801*X(10)+61.81391*X(11)-86.41372*X(12)
-2875.635*X(13)-.1704742*X(14)-1.336236E-02*X(15)
-1.851319E-02*X(16)-96.97428*X(17)-248.9635*X(18)+336.5209*X(19)
+.8268123*X(20)+2.938986E-02*X(21)-1.050981*X(22)+.7089737*X(26)
+1.73245*X(27)-.2828482*X(28)+.9914976*X(29)-.9075761*X(30)
+6.143394*X(31)+.7672691*X(32)+.595*X(33)-3.542781*X(34)
+2.161575*X(35)-.2314423*X(36)+2.749795*X(37)-.7734347*X(38)
-2.557372E-04*X(1)^2-8.549721E-03*X(2)^2-.8761008*X(3)^2
+2.747441E-03*X(4)^2+212.8448*X(5)^2+6.413968E-03*X(6)^2
-2.65262E-03*X(7)^2+14.34227*X(8)^2-.3020991*X(9)^2
-71.80158*X(10)^2-44.11483*X(11)^2+24.6929*X(12)^2+115735.4*X(13)^2
+1.949717E-04*X(14)^2+2.476117E-04*X(15)^2+3.139651E-04*X(16)^2
+38.70301*X(17)^2+156.8747*X(18)^2-249.449*X(19)^2
-8.372873E-03*X(20)^2+2.979392E-03*X(21)^2-2.696718E-04*X(22)^2
-3.058428E-03*X(26)^2-7.053832E-03*X(27)^2+1.498694E-03*X(28)^2
-1.139354E-03*X(29)^2-1.198507E-02*X(30)^2-8.372415E-02*X(31)^2
-1.121125E-03*X(32)^2-3.301933E-03*X(33)^2+1.237203E-02*X(34)^2
-4.422992E-02*X(35)^2+1.993668E-03*X(36)^2-7.069095E-03*X(37)^2
+3.922209E-03*X(38)^2
=====
```

COKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.981

=====

EK-II.12

Y12 - VISKOZİTE (STR) MODELİ

```
=====
Y12=+2.717643+.1282155*X(1)-7.293563E-02*X(2)-8.837025E-02*X(3)
+.1288921*X(4)+27.71188*X(5)-3.379902E-02*X(6)+.2238172*X(7)
-21.37638*X(8)-.7770095*X(9)+9.525755*X(10)+65.80067*X(11)
+8.393729*X(12)+1437.797*X(13)-1.985743E-02*X(14)
+3.353757E-03*X(15)-1.763977E-02*X(16)+14.66125*X(17)
-22.39865*X(18)-11.91189*X(19)-.1017524*X(20)-.0726926*X(21)
-2.376331E-04*X(22)-.1776549*X(26)+.1901091*X(27)
-2.509481E-02*X(28)-.2295076*X(29)-9.711414E-02*X(30)
-.0468665*X(31)-4.604104E-02*X(32)-3.556013E-02*X(33)
-9.347268E-02*X(34)-.3797736*X(35)-3.669372E-02*X(36)
+.1844989*X(37)+.1057078*X(38)-1.095886E-03*X(1)^2
+1.415992E-04*X(2)^2-3.046252E-03*X(3)^2-3.487558E-04*X(4)^2
-9.627049*X(5)^2+8.118179E-04*X(6)^2+3.391106E-04*X(7)^2
+27.27476*X(8)^2+4.730429E-02*X(9)^2-12.40236*X(10)^2
-116.7255*X(11)^2-2.791165*X(12)^2-84920.01*X(13)^2
-1.010382E-07*X(14)^2-3.341967E-05*X(15)^2+3.614302E-05*X(16)^2
-2.499508*X(17)^2+10.35953*X(18)^2+2.948584*X(19)^2
+1.243946E-03*X(20)^2+9.647179E-05*X(21)^2+3.789135E-04*X(22)^2
+1.081608E-03*X(26)^2-8.705815E-04*X(27)^2+1.130851E-04*X(28)^2
+6.103865E-04*X(29)^2+3.215113E-04*X(30)^2-4.54333E-03*X(31)^2
+9.85491E-06*X(32)^2+1.621017E-04*X(33)^2+8.081156E-04*X(34)^2
+.0101046*X(35)^2+2.046778E-04*X(36)^2-1.76404E-03*X(37)^2
-4.465154E-04*X(38)^2
=====
```

COKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.982

EK-II.13

Y13 - BENZEN-TOLUEN MİKTARI MODELİ

$$\begin{aligned} Y13 = & +94.30495 - .4166941 * X(1) - .5157357 * X(2) - 22.9541 * X(3) - .5576789 * X(4) \\ & - 326.0804 * X(5) + .8364239 * X(6) + 2.201208 * X(7) + 64.30326 * X(8) \\ & - 6.964757 * X(9) + 43.38467 * X(10) + 391.0861 * X(11) + 34.42802 * X(12) \\ & - 2640.997 * X(13) - .1807224 * X(14) + 1.311511E-02 * X(15) \\ & + 3.755727E-02 * X(16) - 29.40041 * X(17) - 212.4648 * X(18) + 225.8463 * X(19) \\ & + .9935191 * X(20) - .7931272 * X(21) - .6341716 * X(22) - .5527192 * X(26) \\ & + 2.139803 * X(27) - .4000948 * X(28) - 8.323433E-02 * X(29) - .1296868 * X(30) \\ & + .9649754 * X(31) + .9123761 * X(32) - .5013106 * X(33) - 3.013339 * X(34) \\ & + 2.102297 * X(35) - .2366812 * X(36) + 1.178318 * X(37) - 1.138999 * X(38) \\ & + 3.776663E-03 * X(1)^2 + 2.234615E-03 * X(2)^2 + 1.916509 * X(3)^2 \\ & + 4.128202E-03 * X(4)^2 + 230.1269 * X(5)^2 - .0101101 * X(6)^2 \\ & - .0100697 * X(7)^2 - 89.02152 * X(8)^2 + .4365124 * X(9)^2 - 42.14584 * X(10)^2 \\ & - 662.2816 * X(11)^2 - 23.83151 * X(12)^2 + 119010.2 * X(13)^2 \\ & + 1.833006E-04 * X(14)^2 + 1.469201E-04 * X(15)^2 + 1.814398E-04 * X(16)^2 \\ & + 22.362 * X(17)^2 + 122.0038 * X(18)^2 - 165.7782 * X(19)^2 \\ & - 1.310908E-02 * X(20)^2 + 5.733327E-03 * X(21)^2 + 5.853868E-04 * X(22)^2 \\ & + 1.94532E-03 * X(26)^2 - 8.486282E-03 * X(27)^2 + 9.928977E-04 * X(28)^2 \\ & + 3.343383E-03 * X(29)^2 - 1.081963E-02 * X(30)^2 - 2.330599E-02 * X(31)^2 \\ & - 1.416712E-03 * X(32)^2 + 2.998625E-03 * X(33)^2 + 1.212703E-02 * X(34)^2 \\ & - 2.778484E-02 * X(35)^2 + 1.311352E-03 * X(36)^2 - 2.456027E-03 * X(37)^2 \\ & + 6.875892E-03 * X(38)^2 \end{aligned}$$

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.996

EK-II.14

Y14 - OFF GAZ MİKTARI MODELİ

$$\begin{aligned} Y14 = & -50.66036 + .4374678 * X(1) + .362161 * X(2) + 7.793054 * X(3) + .3394946 * X(4) \\ & + 48.94718 * X(5) - .5222265 * X(6) - .2658618 * X(7) - 22.37115 * X(8) \\ & - .202718 * X(9) - 19.91915 * X(10) - 22.65766 * X(11) + 5.976868 * X(12) \\ & - 1507.021 * X(13) + 5.861586E-02 * X(14) - 3.114683E-02 * X(15) \\ & - 4.493492E-03 * X(16) + 37.27819 * X(17) + 8.688032 * X(18) - 43.52894 * X(19) \\ & - .2869682 * X(20) + .4307714 * X(21) - .081657 * X(22) + .2963691 * X(26) \\ & - .1330486 * X(27) + .1657489 * X(28) - .4704371 * X(29) - .1848261 * X(30) \\ & + .7248396 * X(31) - .1997786 * X(32) + .1473419 * X(33) + 9.647735E-02 * X(34) \\ & - .6449595 * X(35) + 5.108271E-03 * X(36) - .6442741 * X(37) + .2533954 * X(38) \\ & - 3.890468E-03 * X(1)^2 - 2.44579E-03 * X(2)^2 - .7010088 * X(3)^2 \\ & + 2.270596E-03 * X(4)^2 - 40.37314 * X(5)^2 + 5.580139E-03 * X(6)^2 \\ & + 8.785374E-04 * X(7)^2 + 27.07043 * X(8)^2 + .015615 * X(9)^2 \\ & + 23.20445 * X(10)^2 + 35.78759 * X(11)^2 + 2.987594 * X(12)^2 \\ & + 102443! * X(13)^2 - 6.916417E-05 * X(14)^2 - 3.759531E-05 * X(15)^2 \\ & + 7.454101E-05 * X(16)^2 - 19.12201 * X(17)^2 - 8.169478 * X(18)^2 \\ & + 31.70663 * X(19)^2 + 2.980677E-03 * X(20)^2 - 3.959555E-04 * X(21)^2 \\ & - 1.463808E-03 * X(22)^2 - 1.561103E-03 * X(26)^2 + 5.379375E-04 * X(27)^2 \\ & - 4.582527E-04 * X(28)^2 - 1.088152E-03 * X(29)^2 + 1.956251E-03 * X(30)^2 \\ & - 1.139113E-02 * X(31)^2 + 3.539618E-04 * X(32)^2 - 9.478995E-04 * X(33)^2 \\ & + 7.493278E-04 * X(34)^2 + 1.232354E-02 * X(35)^2 - 1.269611E-04 * X(36)^2 \\ & + 6.722541E-04 * X(37)^2 - 1.469786E-03 * X(38)^2 \end{aligned}$$

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.999

EK-II.15

Y15 - AĞIR URUN MIKTARI MODELİ

=====

$$\begin{aligned} Y15 = & +322.2403 - 2.540401 * X(1) - 1.694262 * X(2) - 5.935393 * X(3) - 4.679388 * X(4) \\ & + 283.5322 * X(5) + .2127811 * X(6) - .1783155 * X(7) + 45.71436 * X(8) \\ & - 24.28026 * X(9) - 230.0478 * X(10) - 154.5222 * X(11) + 213.5329 * X(12) \\ & - 9570.595 * X(13) + .6660425 * X(14) - .3579715 * X(15) + .749808 * X(16) \\ & + 130.9909 * X(17) + 556.6267 * X(18) - 586.2183 * X(19) + .5132439 * X(20) \\ & + .7707078 * X(21) + .3360289 * X(22) + 1.898807 * X(26) - 2.903933 * X(27) \\ & + .7848396 * X(28) + .1505694 * X(29) + 4.236547 * X(30) - 11.87728 * X(31) \\ & - .440428 * X(32) - .9387779 * X(33) + 6.103145 * X(34) - 1.694171 * X(35) \\ & + .7967271 * X(36) - 8.203622 * X(37) + .6140508 * X(38) + 2.073186E-02 * X(1)^2 \\ & + 1.602972E-02 * X(2)^2 + .4034366 * X(3)^2 + 9.558544E-03 * X(4)^2 \\ & - 224.7236 * X(5)^2 - 9.159911E-03 * X(6)^2 + 5.151374E-03 * X(7)^2 \\ & - 66.12478 * X(8)^2 + 1.411922 * X(9)^2 + 279.606 * X(10)^2 + 222.8579 * X(11)^2 \\ & - 139.4094 * X(12)^2 + 716386.6 * X(13)^2 - 8.125797E-04 * X(14)^2 \\ & - 7.945298E-05 * X(15)^2 - 9.077377E-04 * X(16)^2 - 49.253 * X(17)^2 \\ & - 328.5339 * X(18)^2 + 427.1729 * X(19)^2 - 1.286224E-02 * X(20)^2 \\ & + 3.168156E-03 * X(21)^2 - 8.380675E-03 * X(22)^2 - 9.470242E-03 * X(26)^2 \\ & + 1.257238E-02 * X(27)^2 - 2.793702E-03 * X(28)^2 - 3.976565E-03 * X(29)^2 \\ & - 1.21637E-03 * X(30)^2 + .164486 * X(31)^2 + 2.451718E-05 * X(32)^2 \\ & + 5.551667E-03 * X(33)^2 - 1.603448E-02 * X(34)^2 + 2.862746E-02 * X(35)^2 \\ & - 5.323858E-03 * X(36)^2 + 3.334986E-02 * X(37)^2 - 3.017406E-03 * X(38)^2 \end{aligned}$$

ÇOKLU KORELASYON KATSAYISI = 0.999

=====

EK-III.1

DÜZELTİLMİŞ MODEL DENKLEMLERİ

$$\begin{aligned} Y1 = & +13.46764 + .2937944 * X(1) - .7984036 * X(2) - 12.74295 * X(3) + 1.463327 * X(4) \\ & - 6.491882 * (X(5) + .882) + .1309284 * X(6) + 1.267536 * (X(7) + 79.1) \\ & + 59.26521 * X(8) + 7.996319 * X(9) + 114.9239 * X(10) + 310.8384 * X(11) \\ & - 54.85967 * X(12) + 10251.27 * X(13) - .3047632 * (X(14) + 590) \\ & + .1548676 * (X(15) + 590) - .2595302 * (X(16) + 590) - 24.53129 * (X(17) + .5) \\ & - 146.1547 * (X(18) + .5) + 64.4378 * (X(19) + .5) + .1856189 * (X(20) + 60) \\ & - .7349775 * (X(21) + 100) + .3624244 * (X(22) + 80) - 1.239136 * X(26) \\ & + .5262325 * (X(27) + 100) - .4301116 * (X(28) + 180) - .5280255 * (X(29) + 65) \\ & - 1.352363 * (X(30) + 85) + .4457144 * (X(31) + 25) + .2337235 * (X(32) + 235) \\ & - .9570189 * (X(33) + 50) - 1.229095 * (X(34) + 80) + 5.211697E-02 * (X(35) + 20) \\ & - .5240221 * (X(36) + 40) + 3.042736 * (X(37) + 55) + .3936308 * (X(38) + 70) \\ & - 4.442603E-03 * X(1)^2 + 4.96602E-03 * X(2)^2 + 1.217356 * X(3)^2 \\ & - 1.080333E-02 * X(4)^2 - 3.706322 * (X(5) + .882)^2 + 2.862463E-04 * X(6)^2 \\ & + 4.970416E-03 * (X(7) + 79.1)^2 - 66.88426 * X(8)^2 - .4550248 * X(9)^2 \\ & - 123.2845 * X(10)^2 - 477.1671 * X(11)^2 + 29.32712 * X(12)^2 \\ & - 609976.9 * X(13)^2 + 3.650451E-04 * (X(14) + 590)^2 \\ & - 1.125223E-04 * (X(15) + 590)^2 + 2.684791E-04 * (X(16) + 590)^2 \\ & + 17.93501 * (X(17) + .5)^2 + 77.65346 * (X(18) + .5)^2 - 39.66019 * (X(19) + .5)^2 \\ & + .0027739 * (X(20) + 60)^2 - 1.022286E-03 * (X(21) + 100)^2 \\ & + 4.427249E-03 * (X(22) + 80)^2 + 3.380981E-03 * X(26)^2 \\ & - 2.941814E-03 * (X(27) + 100)^2 + 1.237052E-03 * (X(28) + 180)^2 \\ & + 5.781991E-03 * (X(29) + 65)^2 + 1.437305E-03 * (X(30) + 85)^2 \\ & - 3.917564E-03 * (X(31) + 25)^2 + 5.523134E-04 * (X(32) + 235)^2 \\ & + 6.247496E-03 * (X(33) + 50)^2 - 3.309448E-04 * (X(34) + 80)^2 \\ & + 2.97459E-03 * (X(35) + 20)^2 + 3.106548E-03 * (X(36) + 40)^2 \\ & - 5.791397E-03 * (X(37) + 55)^2 - 2.132506E-03 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.2

Y2 = +106.0914+.1814001*X(1)-1.743505*X(2)-13.90912*X(3)-.1276901*X(4)
-.3621331*(X(5)+.882)+.3366754*X(6)+.8747274*(X(7)+79.1)
-5.709139*X(8)-2.399912*X(9)+17.02416*X(10)+131.4822*X(11)
+82.2014*X(12)+823.4221*X(13)-7.902094E-02*(X(14)+590)
-7.867112E-02*(X(15)+590)-1.597018E-02*(X(16)+590)
+62.89375*(X(17)+.5)+36.80021*(X(18)+.5)-47.18622*(X(19)+.5)
+.4944363*(X(20)+60)-.4349872*(X(21)+100)+.2427314*(X(22)+80)
-3.614201E-02*X(26)-1.481429E-02*(X(27)+100)-.1626641*(X(28)+180)
-.1205056*(X(29)+65)+4.653536E-03*(X(30)+85)-2.269792*(X(31)+25)
+4.261184E-02*(X(32)+235)-3.199229E-02*(X(33)+50)
+.3496937*(X(34)+80)+2.669598*(X(35)+20)+3.139583E-03*(X(36)+40)
-.56754*(X(37)+55)+.2526551*(X(38)+70)-1.164649E-03*X(1)^2
+1.141368E-02*X(2)^2+1.185367*X(3)^2+3.886867E-04*X(4)^2
+3.690076*(X(5)+.882)^2-4.675182E-03*X(6)^2
-1.954353E-03*(X(7)+79.1)^2+6.72956*X(8)^2+.1527128*X(9)^2
-14.69262*X(10)^2-245.581*X(11)^2-41.06112*X(12)^2
-53069.29*X(13)^2+7.161095E-05*(X(14)+590)^2
-7.303173E-06*(X(15)+590)^2+5.655795E-05*(X(16)+590)^2
-32.62379*(X(17)+.5)^2-24.39786*(X(18)+.5)^2+37.69*(X(19)+.5)^2
-7.822581E-03*(X(20)+60)^2+3.143513E-03*(X(21)+100)^2
-1.794514E-03*(X(22)+80)^2-1.32001E-04*X(26)^2
+2.583012E-05*(X(27)+100)^2+1.914831E-04*(X(28)+180)^2
+4.676769E-03*(X(29)+65)^2+1.437079E-03*(X(30)+85)^2
+3.031129E-02*(X(31)+25)^2+1.516126E-05*(X(32)+235)^2
-6.478699E-05*(X(33)+50)^2-7.336353E-04*(X(34)+80)^2
-3.971455E-02*(X(35)+20)^2-1.183433E-04*(X(36)+40)^2
+1.728245E-03*(X(37)+55)^2-1.157467E-03*(X(38)+70)^2

EK-III.3

$$\begin{aligned} Y3 = & -37.69167 + 1.975259 * X(1) + .4203773 * X(2) + 12.39825 * X(3) + 3.488962 * X(4) \\ & + 19.77072 * (X(5) + .882) - .8746323 * X(6) - 1.919104 * (X(7) + 79.1) \\ & + 175.8622 * X(8) + 5.70539 * X(9) + 123.8162 * X(10) + 133.7261 * X(11) \\ & - 143.2982 * X(12) + 10802.46 * X(13) - .489929 * (X(14) + 590) \\ & + 3.136716E-02 * (X(15) + 590) - .3114862 * (X(16) + 590) - 60.28136 * (X(17) + .5) \\ & - 257.5199 * (X(18) + .5) + 110.3829 * (X(19) + .5) - 5.230973E-02 * (X(20) + 60) \\ & - 1.246735 * (X(21) + 100) + .8772474 * (X(22) + 80) + .8144048 * X(26) \\ & + .5420348 * (X(27) + 100) - .827583 * (X(28) + 180) - 1.687575 * (X(29) + 65) \\ & - .6825683 * (X(30) + 85) + 5.570886 * (X(31) + 25) + .3692181 * (X(32) + 235) \\ & - 1.979481 * (X(33) + 50) - 2.485177 * (X(34) + 80) + 3.285822 * (X(35) + 20) \\ & - .9603612 * (X(36) + 40) + 7.113965 * (X(37) + 55) + .4802172 * (X(38) + 70) \\ & - 1.618185E-02 * X(1)^2 - .0041052 * X(2)^2 - .9985908 * X(3)^2 \\ & - 2.245498E-02 * X(4)^2 - 18.9575 * (X(5) + .882)^2 + 1.113535E-02 * X(6)^2 \\ & + 6.977461E-03 * (X(7) + 79.1)^2 - 205.9657 * X(8)^2 - .3242132 * X(9)^2 \\ & - 156.7972 * X(10)^2 - 163.7898 * X(11)^2 + 53.6838 * X(12)^2 - 631596.1 * X(13)^2 \\ & + 5.87678E-04 * (X(14) + 590)^2 + 1.523165E-05 * (X(15) + 590)^2 \\ & + 4.295187E-04 * (X(16) + 590)^2 + 13.22394 * (X(17) + .5)^2 \\ & + 169.7198 * (X(18) + .5)^2 - 66.2749 * (X(19) + .5)^2 \\ & + 4.140799E-03 * (X(20) + 60)^2 \\ & - 6.21195E-03 * (X(21) + 100)^2 + 1.169616E-02 * (X(22) + 80)^2 \\ & - 8.510177E-03 * X(26)^2 - 2.119943E-03 * (X(27) + 100)^2 \\ & + 2.66591E-03 * (X(28) + 180)^2 + 6.241458E-03 * (X(29) + 65)^2 \\ & - 5.976682E-03 * (X(30) + 85)^2 - 4.499783E-02 * (X(31) + 25)^2 \\ & + 2.811856E-05 * (X(32) + 235)^2 + 1.310388E-02 * (X(33) + 50)^2 \\ & + 6.14234E-03 * (X(34) + 80)^2 - .0739754 * (X(35) + 20)^2 \\ & + 5.906265E-03 * (X(36) + 40)^2 - 3.323086E-02 * (X(37) + 55)^2 \\ & - 3.903999E-03 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.4

$$\begin{aligned} Y4 = & -.2186621 + 7.237339E-03 * X(1) + 8.428242E-04 * X(2) - 8.819239E-03 * X(3) \\ & + 1.005723E-02 * X(4) + .892795 * (X(5) + .882) - 4.14097E-03 * X(6) \\ & + 1.573152E-03 * (X(7) + 79.1) + 2.461711E-02 * X(8) + 1.561089E-04 * X(9) \\ & + .489106 * X(10) + .9670616 * X(11) - .2261846 * X(12) + 28.54296 * X(13) \\ & - 6.580118E-04 * (X(14) + 590) + 1.167708E-04 * (X(15) + 590) \\ & - 9.612723E-04 * (X(16) + 590) + .228917 * (X(17) + .5) - .8733239 * (X(18) + .5) \\ & - 7.214156E-02 * (X(19) + .5) - 1.734983E-03 * (X(20) + 60) \\ & - 7.587571E-04 * (X(21) + 100) + 1.14569E-03 * (X(22) + 80) \\ & - 1.208532E-03 * X(26) + 3.156733E-03 * (X(27) + 100) \\ & - 2.862516E-04 * (X(28) + 180) \\ & - 1.021852E-02 * (X(29) + 65) - 5.289649E-03 * (X(30) + 85) \\ & + 4.213945E-03 * (X(31) + 25) - 1.061742E-03 * (X(32) + 235) \\ & - 3.243219E-03 * (X(33) + 50) - 5.539267E-03 * (X(34) + 80) \\ & - 3.52353E-03 * (X(35) + 20) - 2.009474E-03 * (X(36) + 40) \\ & + 1.117068E-02 * (X(37) + 55) + 2.870619E-03 * (X(38) + 70) \\ & - 6.224705E-05 * X(1)^2 - 1.26923E-05 * X(2)^2 + 8.885225E-04 * X(3)^2 \\ & - 3.381494E-05 * X(4)^2 - .1801011 * (X(5) + .882)^2 + 5.643678E-05 * X(6)^2 \\ & - 4.059644E-06 * (X(7) + 79.1)^2 - 1.402741E-02 * X(8)^2 - 2.011773E-05 * X(9)^2 \\ & - .6050918 * X(10)^2 - 1.554547 * X(11)^2 + 9.251237E-02 * X(12)^2 \\ & - 1706.09 * X(13)^2 + 6.41386E-07 * (X(14) + 590)^2 \\ & - 8.212215E-07 * (X(15) + 590)^2 + 1.800131E-06 * (X(16) + 590)^2 \\ & - 6.548348E-02 * (X(17) + .5)^2 + .4763983 * (X(18) + .5)^2 \\ & + 5.394273E-02 * (X(19) + .5)^2 + 2.559506E-05 * (X(20) + 60)^2 \\ & - 9.557508E-06 * (X(21) + 100)^2 + 1.442986E-05 * (X(22) + 80)^2 \\ & - 1.034554E-05 * X(26)^2 - 1.523299E-05 * (X(27) + 100)^2 \\ & + 1.143973E-06 * (X(28) + 180)^2 + 4.66323E-05 * (X(29) + 65)^2 \\ & + 9.416684E-06 * (X(30) + 85)^2 - 1.679163E-04 * (X(31) + 25)^2 \\ & + 3.18624E-06 * (X(32) + 235)^2 + 1.877894E-05 * (X(33) + 50)^2 \\ & + 1.959403E-05 * (X(34) + 80)^2 + 1.442483E-04 * (X(35) + 20)^2 \\ & + 1.249854E-05 * (X(36) + 40)^2 - 5.760916E-05 * (X(37) + 55)^2 \\ & - 1.776826E-05 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.5

$$\begin{aligned}
 Y5 = & -.3789437 + 3.953977E-03 * X(1) + 1.596415E-03 * X(2) + 3.566942E-03 * X(3) \\
 & + 7.247524E-03 * X(4) - .798777 * (X(5) + .882) - 2.640838E-03 * X(6) \\
 & - 3.291997E-04 * (X(7) + 79.1) + .245663 * X(8) + 2.549668E-02 * X(9) \\
 & + .4290574 * X(10) + .2073511 * X(11) - .4721649 * X(12) - 5.250648 * X(13) \\
 & - 1.357105E-03 * (X(14) + 590) - 1.643867E-04 * (X(15) + 590) \\
 & - 8.868138E-04 * (X(16) + 590) - .2226956 * (X(17) + .5) - .9081989 * (X(18) + .5) \\
 & + .9766424 * (X(19) + .5) + 1.445908E-03 * (X(20) + 60) - 1.44537E-03 * (X(21) + 100) \\
 & - 5.77477E-04 * (X(22) + 80) + 3.409031E-03 * X(26) + 3.52291E-03 * (X(27) + 100) \\
 & - 2.227028E-03 * (X(28) + 180) - 1.535277E-03 * (X(29) + 65) \\
 & - 3.82574E-03 * (X(30) + 85) + 1.664522E-02 * (X(31) + 25) \\
 & + 2.490635E-03 * (X(32) + 235) - 2.923736E-03 * (X(33) + 50) \\
 & - 1.019667E-02 * (X(34) + 80) + 1.331936E-02 * (X(35) + 20) \\
 & - 1.867161E-03 * (X(36) + 40) + 1.405718E-02 * (X(37) + 55) \\
 & - 1.153256E-03 * (X(38) + 70) - 2.628484E-05 * X(1)^2 - 1.162344E-05 * X(2)^2 \\
 & - 5.019542E-05 * X(3)^2 - 1.983438E-05 * X(4)^2 + .3826406 * (X(5) + .882)^2 \\
 & + 3.824386E-05 * X(6)^2 - 1.355494E-06 * (X(7) + 79.1)^2 - .2723281 * X(8)^2 \\
 & - 1.49195E-03 * X(9)^2 - .5224003 * X(10)^2 - .2735458 * X(11)^2 \\
 & + .1847955 * X(12)^2 + 245.158 * X(13)^2 + 1.570178E-06 * (X(14) + 590)^2 \\
 & + 3.519152E-07 * (X(15) + 590)^2 + 1.866576E-06 * (X(16) + 590)^2 \\
 & + 7.661707E-02 * (X(17) + .5)^2 + .5631478 * (X(18) + .5)^2 \\
 & - .7073931 * (X(19) + .5)^2 - 9.591699E-06 * (X(20) + 60)^2 \\
 & - 7.534769E-07 * (X(21) + 100)^2 + 8.886312E-06 * (X(22) + 80)^2 \\
 & - 2.488392E-05 * X(26)^2 - 1.57312E-05 * (X(27) + 100)^2 \\
 & + 6.93813E-06 * (X(28) + 180)^2 + 2.265522E-05 * (X(29) + 65)^2 \\
 & - 8.284464E-06 * (X(30) + 85)^2 - 1.813786E-04 * (X(31) + 25)^2 \\
 & - 2.584196E-06 * (X(32) + 235)^2 + 1.703717E-05 * (X(33) + 50)^2 \\
 & + 2.778705E-05 * (X(34) + 80)^2 - 2.402639E-04 * (X(35) + 20)^2 \\
 & + 1.236767E-05 * (X(36) + 40)^2 - 3.984677E-05 * (X(37) + 55)^2 \\
 & + 2.896121E-06 * (X(38) + 70)^2
 \end{aligned}$$

EK-III.6

$$\begin{aligned} Y_6 = & -.098601 + 9.555061E-04 * X(1) + 3.113998E-04 * X(2) - 1.914574E-02 * X(3) \\ & + 9.952309E-04 * X(4) - .2506866 * (X(5) + .882) - 1.085224E-03 * X(6) \\ & + 1.031152E-03 * (X(7) + 79.1) + 9.673418E-02 * X(8) + 4.433358E-03 * X(9) \\ & + 5.823015E-02 * X(10) - .1769441 * X(11) - .1066548 * X(12) \\ & - 15.12977 * X(13) - 4.382669E-05 * (X(14) + 590) - 2.634658E-04 * (X(15) + 590) \\ & - 9.332391E-05 * (X(16) + 590) + 2.834494E-02 * (X(17) + .5) \\ & - .1448231 * (X(18) + .5) + .1587243 * (X(19) + .5) + 9.434602E-04 * (X(20) + 60) \\ & + 9.488129E-04 * (X(21) + 100) - 4.800758E-04 * (X(22) + 80) \\ & + 2.189687E-03 * X(26) + 3.299978E-04 * (X(27) + 100) \\ & + 8.523186E-05 * (X(28) + 180) \\ & - 1.434924E-03 * (X(29) + 65) - 5.662126E-04 * (X(30) + 85) \\ & + 1.756491E-03 * (X(31) + 25) + 6.262458E-04 * (X(32) + 235) \\ & - 1.208848E-03 * (X(33) + 50) - 1.913637E-03 * (X(34) + 80) \\ & + 4.079962E-03 * (X(35) + 20) - 3.39216E-05 * (X(36) + 40) \\ & - 9.225556E-04 * (X(37) + 55) - 4.656406E-04 * (X(38) + 70) \\ & - 6.409494E-06 * X(1)^2 \\ & - 2.413274E-06 * X(2)^2 + 1.660186E-03 * X(3)^2 + 8.041938E-06 * X(4)^2 \\ & + .1322442 * (X(5) + .882)^2 + 1.217079E-05 * X(6)^2 \\ & - 5.087804E-06 * (X(7) + 79.1)^2 - .1186805 * X(8)^2 - 2.504767E-04 * X(9)^2 \\ & - 5.707114E-02 * X(10)^2 + .309721 * X(11)^2 + 3.401184E-02 * X(12)^2 \\ & + 916.0898 * X(13)^2 + 1.654439E-07 * (X(14) + 590)^2 \\ & + 8.051327E-08 * (X(15) + 590)^2 + 4.514098E-07 * (X(16) + 590)^2 \\ & - 2.804094E-02 * (X(17) + .5)^2 + 9.091968E-02 * (X(18) + .5)^2 \\ & - 9.158554E-02 * (X(19) + .5)^2 - 1.346018E-05 * (X(20) + 60)^2 \\ & + 3.438295E-06 * (X(21) + 100)^2 - 6.989935E-06 * (X(22) + 80)^2 \\ & - 1.480979E-05 * X(26)^2 - 1.029396E-06 * (X(27) + 100)^2 \\ & - 6.641934E-07 * (X(28) + 180)^2 + 1.236674E-05 * (X(29) + 65)^2 \\ & - 2.751772E-06 * (X(30) + 85)^2 + 2.644887E-06 * (X(31) + 25)^2 \\ & - 1.906649E-07 * (X(32) + 235)^2 + 6.700931E-06 * (X(33) + 50)^2 \\ & + 6.154456E-06 * (X(34) + 80)^2 - 7.374747E-05 * (X(35) + 20)^2 \\ & + 4.051925E-07 * (X(36) + 40)^2 + 1.73611E-05 * (X(37) + 55)^2 \\ & + 2.009127E-06 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.7

$$\begin{aligned} Y7 = & -104.9255 + 1.256692 * X(1) - .1773738 * X(2) + 8.212463 * X(3) + 2.421136 * X(4) \\ & + 166.4626 * (X(5) + .882) - 1.449982 * X(6) - 1.099302 * (X(7) + 79.1) \\ & + 36.86385 * X(8) + 18.17637 * X(9) + 156.0567 * X(10) - 296.121 * X(11) \\ & - 156.6721 * X(12) + 452.117 * X(13) - .2066901 * (X(14) + 590) \\ & + 1.536903E-02 * (X(15) + 590) - .3587067 * (X(16) + 590) - 53.05591 * (X(17) + .5) \\ & + 32.35595 * (X(18) + .5) - 13.27537 * (X(19) + .5) - .3714585 * (X(20) + 60) \\ & + .2539243 * (X(21) + 100) + .7988518 * (X(22) + 80) + 1.139181 * X(26) \\ & - 1.908688 * (X(27) + 100) - .1490858 * (X(28) + 180) - .2916697 * (X(29) + 65) \\ & - 1.263478 * (X(30) + 85) + .314195 * (X(31) + 25) - .205343 * (X(32) + 235) \\ & - .4103881 * (X(33) + 50) + 1.151942 * (X(34) + 80) + 1.74703 * (X(35) + 20) \\ & - .1642023 * (X(36) + 40) + 1.595581 * (X(37) + 55) + 1.234465 * (X(38) + 70) \\ & - 7.525178E-03 * X(1)^2 + 2.049299E-03 * X(2)^2 - .5483608 * X(3)^2 \\ & - 1.373816E-02 * X(4)^2 - 165.3755 * (X(5) + .882)^2 + 1.786314E-02 * X(6)^2 \\ & + 1.079283E-02 * (X(7) + 79.1)^2 - 29.57113 * X(8)^2 - 1.086859 * X(9)^2 \\ & - 169.6417 * X(10)^2 + 505.7582 * X(11)^2 + 74.6519 * X(12)^2 - 23225.02 * X(13)^2 \\ & + 3.252624E-04 * (X(14) + 590)^2 - 1.214328E-04 * (X(15) + 590)^2 \\ & + 2.70713E-04 * (X(16) + 590)^2 + 7.752722 * (X(17) + .5)^2 \\ & - 7.583103 * (X(18) + .5)^2 + 39.50574 * (X(19) + .5)^2 \\ & + 6.024613E-03 * (X(20) + 60)^2 - 5.860557E-03 * (X(21) + 100)^2 \\ & + 2.706992E-03 * (X(22) + 80)^2 - 8.860412E-03 * X(26)^2 \\ & + 7.067455E-03 * (X(27) + 100)^2 + 3.608158E-04 * (X(28) + 180)^2 \\ & + 3.644382E-03 * (X(29) + 65)^2 + .011136 * (X(30) + 85)^2 \\ & + 2.604946E-02 * (X(31) + 25)^2 + 1.112201E-03 * (X(32) + 235)^2 \\ & + 1.39563E-03 * (X(33) + 50)^2 - 1.104502E-02 * (X(34) + 80)^2 \\ & - .0395359 * (X(35) + 20)^2 + 1.005051E-03 * (X(36) + 40)^2 \\ & + 4.408011E-03 * (X(37) + 55)^2 - 9.226353E-03 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.8

$$\begin{aligned} Y8 = & +381.6207 - 3.288878 * X(1) - 4.416599 * X(2) - 59.19659 * X(3) - 5.389496 * X(4) \\ & - 409.9052 * (X(5) + .882) + 1.199945 * X(6) + 3.246594 * (X(7) + 79.1) \\ & + 331.5873 * X(8) + .6197416 * X(9) - 24.11511 * X(10) - 133.1048 * X(11) + \\ & 1.136369 * X(12) - 15772.73 * X(13) + .6774763 * (X(14) + 590) \\ & - .3414176 * (X(15) + 590) + .6910415 * (X(16) + 590) + 13.51445 * (X(17) + .5) \\ & + 446.3191 * (X(18) + .5) - 418.9578 * (X(19) + .5) + 3.065305 * (X(20) + 60) \\ & + 1.549692 * (X(21) + 100) - .2428976 * (X(22) + 80) + 1.911171 * X(26) \\ & - 3.224833 * (X(27) + 100) + 1.358047 * (X(28) + 180) - .6835664 * (X(29) + 65) \\ & + 2.37768 * (X(30) + 85) - 8.019227 * (X(31) + 25) + 1.02605 * (X(32) + 235) \\ & - 3.793428 * (X(33) + 50) + 3.288356 * (X(34) + 80) + 3.698281 * (X(35) + 20) \\ & - .7972693 * (X(36) + 40) - 8.6417 * (X(37) + 55) - .9982078 * (X(38) + 70) \\ & + 3.230001E-02 * X(1)^2 + 3.352739E-02 * X(2)^2 + 5.204542 * X(3)^2 \\ & + 1.028017E-02 * X(4)^2 + 9.202666 * (X(5) + .882)^2 - 1.952256E-02 * X(6)^2 \\ & + 3.554833E-03 * (X(7) + 79.1)^2 - 405.4134 * X(8)^2 - 3.713907E-02 * X(9)^2 \\ & + 81.36312 * X(10)^2 + 209.3623 * X(11)^2 - 92.85102 * X(12)^2 + 1095495 * X(13)^2 \\ & - 4.331274E-04 * (X(14) + 590)^2 + 1.682578E-04 * (X(15) + 590)^2 \\ & - 6.578532E-04 * (X(16) + 590)^2 - 26.98256 * (X(17) + .5)^2 \\ & - 264.5443 * (X(18) + .5)^2 + 393.424 * (X(19) + .5)^2 - 4.129084E-02 * (X(20) + 60)^2 \\ & + 9.503689E-03 * (X(21) + 100)^2 - 2.022024E-02 * (X(22) + 80)^2 \\ & - 1.350264E-02 * X(26)^2 + 1.271282E-02 * (X(27) + 100)^2 \\ & - 2.945061E-03 * (X(28) + 180)^2 + 2.080495E-02 * (X(29) + 65)^2 \\ & - 1.559065E-02 * (X(30) + 85)^2 + .1578656 * (X(31) + 25)^2 \\ & - 1.159704E-04 * (X(32) + 235)^2 + 2.214287E-02 * (X(33) + 50)^2 \\ & - 1.667684E-02 * (X(34) + 80)^2 - 7.465596E-02 * (X(35) + 20)^2 \\ & + 3.874107E-03 * (X(36) + 40)^2 + 9.465342E-02 * (X(37) + 55)^2 \\ & + 3.817857E-03 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.9

$$\begin{aligned}
 Y9 = & -258.8511 - 1.95832 * X(1) + 2.776634 * X(2) - 47.32414 * X(3) - 1.203177 * X(4) \\
 & - 200.4998 * (X(5) + .882) + 1.739688 * X(6) + 1.582197E-02 * (X(7) + 79.1) \\
 & - 231.8687 * X(8) + 24.8665 * X(9) - 55.43529 * X(10) - 1067.305 * X(11) \\
 & - 84.40316 * X(12) - 4888.708 * X(13) - .1054219 * (X(14) + 590) \\
 & + .9566225 * (X(15) + 590) - .7054718 * (X(16) + 590) - 321.3679 * (X(17) + .5) \\
 & - 176.022 * (X(18) + .5) + 801.9381 * (X(19) + .5) + .4714354 * (X(20) + 60) \\
 & - .1305544 * (X(21) + 100) - .6816414 * (X(22) + 80) - 3.735707 * X(26) \\
 & + 2.364353 * (X(27) + 100) + .24447 * (X(28) + 180) + 7.773623 * (X(29) + 65) \\
 & - 1.893704 * (X(30) + 85) - 7.901765 * (X(31) + 25) - 1.137314 * (X(32) + 235) \\
 & + 8.743105 * (X(33) + 50) - .634635 * (X(34) + 80) - .5566058 * (X(35) + 20) \\
 & + 4.203906 * (X(36) + 40) - .313083 * (X(37) + 55) - 2.420461 * (X(38) + 70) \\
 & + .0202948 * X(1)^2 - 1.919958E-02 * X(2)^2 + 4.313221 * X(3)^2 \\
 & + 3.537912E-02 * X(4)^2 + 524.3281 * (X(5) + .882)^2 - 1.088698E-02 * X(6)^2 \\
 & - 5.515961E-02 * (X(7) + 79.1)^2 + 276.6711 * X(8)^2 - 1.534559 * X(9)^2 \\
 & + 64.96516 * X(10)^2 + 1801.174 * X(11)^2 + 192.6288 * X(12)^2 - 75404.55 * X(13)^2 \\
 & - 1.814677E-04 * (X(14) + 590)^2 + 3.3484E-04 * (X(15) + 590)^2 \\
 & - 2.796207E-04 * (X(16) + 590)^2 + 191.6465 * (X(17) + .5)^2 \\
 & + 63.28467 * (X(18) + .5)^2 - 571.7712 * (X(19) + .5)^2 \\
 & - 8.035843E-03 * (X(20) + 60)^2 + 2.151735E-03 * (X(21) + 100)^2 \\
 & + 2.845253E-03 * (X(22) + 80)^2 + 3.230419E-02 * X(26)^2 \\
 & - 8.180876E-03 * (X(27) + 100)^2 - 2.392742E-03 * (X(28) + 180)^2 \\
 & - 2.033599E-02 * (X(29) + 65)^2 + 3.001001E-02 * (X(30) + 85)^2 \\
 & + .1548493 * (X(31) + 25)^2 - 5.557929E-05 * (X(32) + 235)^2 \\
 & - 4.869003E-02 * (X(33) + 50)^2 - 4.50622E-03 * (X(34) + 80)^2 \\
 & - 8.532943E-02 * (X(35) + 20)^2 - 2.258248E-02 * (X(36) + 40)^2 \\
 & - 1.296719E-02 * (X(37) + 55)^2 + 1.611761E-02 * (X(38) + 70)^2
 \end{aligned}$$

EK-III.10

$$\begin{aligned} Y_{10} = & +3619.859 - 46.87276 * X(1) - 25.67948 * X(2) - 373.6458 * X(3) - 64.44474 * X(4) \\ & - 7895.002 * (X(5) + .882) + 44.68352 * X(6) + 33.91372 * (X(7) + 79.1) \\ & + 1989.654 * X(8) - 162.4721 * X(9) - 1160.36 * X(10) + 4216.412 * X(11) \\ & + 2022.994 * X(12) - 144598.8 * X(13) + 3.075031 * (X(14) + 590) \\ & - .7244356 * (X(15) + 590) + 8.066894 * (X(16) + 590) - 1593.09 * (X(17) + .5) \\ & + 3091.821 * (X(18) + .5) + 942.7636 * (X(19) + .5) + 27.50967 * (X(20) + 60) \\ & - 4.729922 * (X(21) + 100) - 15.48269 * (X(22) + 80) - 11.24488 * X(26) \\ & + .9647518 * (X(27) + 100) - .762185 * (X(28) + 180) + 41.926 * (X(29) + 65) \\ & + 24.12579 * (X(30) + 85) - 50.10525 * (X(31) + 25) + 18.51481 * (X(32) + 235) \\ & + .8969323 * (X(33) + 50) - 3.283715 * (X(34) + 80) + 29.5154 * (X(35) + 20) \\ & - 2.050222 * (X(36) + 40) - 58.79306 * (X(37) + 55) - 29.18659 * (X(38) + 70) \\ & + .4130859 * X(1)^2 + .1901554 * X(2)^2 + 30.90978 * X(3)^2 + .1595539 * X(4)^2 \\ & + 2803.705 * (X(5) + .882)^2 - .5769901 * X(6)^2 - 2.317452E-02 * (X(7) + 79.1)^2 \\ & - 2659.282 * X(8)^2 + 10.22885 * X(9)^2 + 1796.182 * X(10)^2 - 7360.252 * X(11)^2 \\ & - 1695.651 * X(12)^2 + 8792980! * X(13)^2 - 2.044929E-03 * (X(14) + 590)^2 \\ & + 4.428611E-03 * (X(15) + 590)^2 - 6.058479E-03 * (X(16) + 590)^2 \\ & + 771.2574 * (X(17) + .5)^2 - 1660.901 * (X(18) + .5)^2 - 690.3855 * (X(19) + .5)^2 \\ & - .3657422 * (X(20) + 60)^2 + .1402606 * (X(21) + 100)^2 \\ & - 8.623748E-02 * (X(22) + 80)^2 + 9.227416E-02 * X(26)^2 \\ & + 1.365329E-03 * (X(27) + 100)^2 - 5.605183E-03 * (X(28) + 180)^2 \\ & - 7.786672E-02 * (X(29) + 65)^2 - .1724723 * (X(30) + 85)^2 \\ & + .4952659 * (X(31) + 25)^2 - 2.451598E-02 * (X(32) + 235)^2 \\ & - 1.892986E-02 * (X(33) + 50)^2 + 1.044657E-03 * (X(34) + 80)^2 \\ & - .1519205 * (X(35) + 20)^2 + 7.14334E-03 * (X(36) + 40)^2 \\ & + .3682011 * (X(37) + 55)^2 + .1776411 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.11

$$\begin{aligned} Y_{11} = & -123.9566 + .0682929 * X(1) + 1.081355 * X(2) + 9.838431 * X(3) + .3650054 * X(4) \\ & - 372.2731 * (X(5) + .882) - .3246544 * X(6) - .59764 * (X(7) + 79.1) \\ & - 8.269832 * X(8) + 5.161593 * X(9) + 47.20801 * X(10) + 61.81391 * X(11) \\ & - 86.41372 * X(12) - 2875.635 * X(13) - .1704742 * (X(14) + 590) \\ & - 1.336236E-02 * (X(15) + 590) - 1.851319E-02 * (X(16) + 590) \\ & - 96.97428 * (X(17) + .5) - 248.9635 * (X(18) + .5) + 336.5209 * (X(19) + .5) \\ & + .8268123 * (X(20) + 60) + 2.938986E-02 * (X(21) + 100) - 1.050981 * (X(22) + 80) \\ & + .7089737 * X(26) + 1.73245 * (X(27) + 100) - .2828482 * (X(28) + 180) \\ & + .9914976 * (X(29) + 65) - .9075761 * (X(30) + 85) + 6.143394 * (X(31) + 25) \\ & + .7672691 * (X(32) + 235) + .595 * (X(33) + 50) - 3.542781 * (X(34) + 80) \\ & + 2.161575 * (X(35) + 20) - .2314423 * (X(36) + 40) + 2.749795 * (X(37) + 55) \\ & - .7734347 * (X(38) + 70) - 2.557372E-04 * X(1)^2 - 8.549721E-03 * X(2)^2 \\ & - .8761008 * X(3)^2 + 2.747441E-03 * X(4)^2 + 212.8448 * (X(5) + .882)^2 \\ & + 6.413968E-03 * X(6)^2 - 2.65262E-03 * (X(7) + 79.1)^2 + 14.34227 * X(8)^2 \\ & - .3020991 * X(9)^2 - 71.80158 * X(10)^2 - 44.11483 * X(11)^2 \\ & + 24.6929 * X(12)^2 + 115735.4 * X(13)^2 + 1.949717E-04 * (X(14) + 590)^2 \\ & + 2.476117E-04 * (X(15) + 590)^2 + 3.139651E-04 * (X(16) + 590)^2 \\ & + 38.70301 * (X(17) + .5)^2 + 156.8747 * (X(18) + .5)^2 - 249.449 * (X(19) + .5)^2 \\ & - 8.372873E-03 * (X(20) + 60)^2 + 2.979392E-03 * (X(21) + 100)^2 \\ & - 2.696718E-04 * (X(22) + 80)^2 - 3.058428E-03 * X(26)^2 \\ & - 7.053832E-03 * (X(27) + 100)^2 + 1.498694E-03 * (X(28) + 180)^2 \\ & - 1.139354E-03 * (X(29) + 65)^2 - 1.198507E-02 * (X(30) + 85)^2 \\ & - 8.372415E-02 * (X(31) + 25)^2 - 1.121125E-03 * (X(32) + 235)^2 \\ & - 3.301933E-03 * (X(33) + 50)^2 + 1.237203E-02 * (X(34) + 80)^2 \\ & - 4.422992E-02 * (X(35) + 20)^2 + 1.993668E-03 * (X(36) + 40)^2 \\ & - 7.069095E-03 * (X(37) + 55)^2 + 3.922209E-03 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.12

$$\begin{aligned} Y12 = & +2.717643 + .1282155 * X(1) - 7.293563E-02 * X(2) - 8.837025E-02 * X(3) \\ & + .1288921 * X(4) + 27.71188 * (X(5) + .882) - 3.379902E-02 * X(6) \\ & + .2238172 * (X(7) + 79.1) - 21.37638 * X(8) - .7770095 * X(9) \\ & + 9.525755 * X(10) + 65.80067 * X(11) + 8.393729 * X(12) + 1437.797 * X(13) \\ & - 1.985743E-02 * (X(14) + 590) + 3.353757E-03 * (X(15) + 590) \\ & - 1.763977E-02 * (X(16) + 590) + 14.66125 * (X(17) + .5) - 22.39865 * (X(18) + .5) \\ & - 11.91189 * (X(19) + .5) - .1017524 * (X(20) + 60) - .0726926 * (X(21) + 100) \\ & - 2.376331E-04 * (X(22) + 80) - .1776549 * X(26) + .1901091 * (X(27) + 100) \\ & - 2.509481E-02 * (X(28) + 180) - .2295076 * (X(29) + 65) \\ & - 9.711414E-02 * (X(30) + 85) - .0468665 * (X(31) + 25) \\ & - 4.604104E-02 * (X(32) + 235) - 3.556013E-02 * (X(33) + 50) \\ & - 9.347268E-02 * (X(34) + 80) - .3797736 * (X(35) + 20) - 3.669372E-02 * (X(36) + 40) \\ & + .1844989 * (X(37) + 55) + .1057078 * (X(38) + 70) - 1.095886E-03 * X(1)^2 \\ & + 1.415992E-04 * X(2)^2 - 3.046252E-03 * X(3)^2 - 3.487558E-04 * X(4)^2 \\ & - 9.627049 * (X(5) + .882)^2 + 8.118179E-04 * X(6)^2 \\ & + 3.391106E-04 * (X(7) + 79.1)^2 + 27.27476 * X(8)^2 + 4.730429E-02 * X(9)^2 \\ & - 12.40236 * X(10)^2 - 116.7255 * X(11)^2 - 2.791165 * X(12)^2 - 84920.01 * X(13)^2 \\ & - 1.010382E-07 * (X(14) + 590)^2 - 3.341967E-05 * (X(15) + 590)^2 \\ & + 3.614302E-05 * (X(16) + 590)^2 - 2.499508 * (X(17) + .5)^2 \\ & + 10.35953 * (X(18) + .5)^2 + 2.948584 * (X(19) + .5)^2 \\ & + 1.243946E-03 * (X(20) + 60)^2 + 9.647179E-05 * (X(21) + 100)^2 \\ & + 3.789135E-04 * (X(22) + 80)^2 + 1.081608E-03 * X(26)^2 \\ & - 8.705815E-04 * (X(27) + 100)^2 + 1.130851E-04 * (X(28) + 180)^2 \\ & + 6.103865E-04 * (X(29) + 65)^2 + 3.215113E-04 * (X(30) + 85)^2 \\ & - 4.54333E-03 * (X(31) + 25)^2 + 9.85491E-06 * (X(32) + 235)^2 \\ & + 1.621017E-04 * (X(33) + 50)^2 + 8.081156E-04 * (X(34) + 80)^2 \\ & + .0101046 * (X(35) + 20)^2 + 2.046778E-04 * (X(36) + 40)^2 \\ & - 1.76404E-03 * (X(37) + 55)^2 - 4.465154E-04 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.13

$$\begin{aligned} Y13 = & +94.30495 - .4166941 * X(1) - .5157357 * X(2) - 22.9541 * X(3) - .5576789 * X(4) \\ & - 326.0804 * (X(5) + .882) + .8364239 * X(6) + 2.201208 * (X(7) + 79.1) \\ & + 64.30326 * X(8) - 6.964757 * X(9) + 43.38467 * X(10) + 391.0861 * X(11) \\ & + 34.42802 * X(12) - 2640.997 * X(13) - .1807224 * (X(14) + 590) \\ & + 1.311511E-02 * (X(15) + 590) + 3.755727E-02 * (X(16) + 590) \\ & - 29.40041 * (X(17) + .5) - 212.4648 * (X(18) + .5) + 225.8463 * (X(19) + .5) \\ & + .9935191 * (X(20) + 60) - .7931272 * (X(21) + 100) - .6341716 * (X(22) + 80) \\ & - .5527192 * X(26) + 2.139803 * (X(27) + 100) - .4000948 * (X(28) + 180) \\ & - 8.323433E-02 * (X(29) + 65) - .1296868 * (X(30) + 85) + .9649754 * (X(31) + 25) \\ & + .9123761 * (X(32) + 235) - .5013106 * (X(33) + 50) - 3.013339 * (X(34) + 80) \\ & + 2.102297 * (X(35) + 20) - .2366812 * (X(36) + 40) + 1.178318 * (X(37) + 55) \\ & - 1.138999 * (X(38) + 70) + 3.776663E-03 * X(1)^2 + 2.234615E-03 * X(2)^2 \\ & + 1.916509 * X(3)^2 + 4.128202E-03 * X(4)^2 + 230.1269 * (X(5) + .882)^2 \\ & - .0101101 * X(6)^2 - .0100697 * (X(7) + 79.1)^2 - 89.02152 * X(8)^2 \\ & + .4365124 * X(9)^2 - 42.14584 * X(10)^2 - 662.2816 * X(11)^2 - 23.83151 * X(12)^2 \\ & + 119010.2 * X(13)^2 + 1.833006E-04 * (X(14) + 590)^2 \\ & + 1.469201E-04 * (X(15) + 590)^2 + 1.814398E-04 * (X(16) + 590)^2 \\ & + 22.362 * (X(17) + .5)^2 + 122.0038 * (X(18) + .5)^2 - 165.7782 * (X(19) + .5)^2 \\ & - 1.310908E-02 * (X(20) + 60)^2 + 5.733327E-03 * (X(21) + 100)^2 \\ & + 5.853868E-04 * (X(22) + 80)^2 + 1.94532E-03 * X(26)^2 \\ & - 8.486282E-03 * (X(27) + 100)^2 + 9.928977E-04 * (X(28) + 180)^2 \\ & + 3.343383E-03 * (X(29) + 65)^2 - 1.081963E-02 * (X(30) + 85)^2 \\ & - 2.330599E-02 * (X(31) + 25)^2 - 1.416712E-03 * (X(32) + 235)^2 \\ & + 2.998625E-03 * (X(33) + 50)^2 + 1.212703E-02 * (X(34) + 80)^2 \\ & - 2.778484E-02 * (X(35) + 20)^2 + 1.311352E-03 * (X(36) + 40)^2 \\ & - 2.456027E-03 * (X(37) + 55)^2 + 6.875892E-03 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.14

$$\begin{aligned} &14 = -50.66036 + .4374678 * X(1) + .362161 * X(2) + 7.793054 * X(3) + .3394946 * X(4) \\ &+ 48.94718 * (X(5) + .882) - .5222265 * X(6) - .2658618 * (X(7) + 79.1) \\ &- 22.37115 * X(8) - .202718 * X(9) - 19.91915 * X(10) - 22.65766 * X(11) \\ &+ 5.976868 * X(12) - 1507.021 * X(13) + 5.861586E-02 * (X(14) + 590) \\ &- 3.114683E-02 * (X(15) + 590) - 4.493492E-03 * (X(16) + 590) \\ &+ 37.27819 * (X(17) + .5) + 8.688032 * (X(18) + .5) - 43.52894 * (X(19) + .5) \\ &- .2869682 * (X(20) + 60) + .4307714 * (X(21) + 100) - .081657 * (X(22) + 80) \\ &+ .2963691 * X(26) - .1330486 * (X(27) + 100) + .1657489 * (X(28) + 180) \\ &- .4704371 * (X(29) + 65) - .1848261 * (X(30) + 85) + .7248396 * (X(31) + 25) \\ &- .1997786 * (X(32) + 235) + .1473419 * (X(33) + 50) + 9.647735E-02 * (X(34) + 80) \\ &- .6449595 * (X(35) + 20) + 5.108271E-03 * (X(36) + 40) - .6442741 * (X(37) + 55) \\ &+ .2533954 * (X(38) + 70) - 3.890468E-03 * X(1)^2 - 2.44579E-03 * X(2)^2 \\ &- .7010088 * X(3)^2 + 2.290596E-03 * X(4)^2 - 40.37314 * (X(5) + .882)^2 \\ &+ 5.580139E-03 * X(6)^2 + 8.785374E-04 * (X(7) + 79.1)^2 + 27.07043 * X(8)^2 \\ &+ .015615 * X(9)^2 + 23.20445 * X(10)^2 + 35.78759 * X(11)^2 \\ &+ 2.987594 * X(12)^2 + 1024431 * X(13)^2 - 6.916417E-05 * (X(14) + 590)^2 \\ &- 3.759531E-05 * (X(15) + 590)^2 + 7.454101E-05 * (X(16) + 590)^2 \\ &- 19.12201 * (X(17) + .5)^2 - 8.169478 * (X(18) + .5)^2 + 31.70663 * (X(19) + .5)^2 \\ &+ 2.980677E-03 * (X(20) + 60)^2 - 3.959555E-04 * (X(21) + 100)^2 \\ &- 1.463808E-03 * (X(22) + 80)^2 - 1.561103E-03 * X(26)^2 \\ &+ 5.379375E-04 * (X(27) + 100)^2 - 4.582527E-04 * (X(28) + 180)^2 \\ &- 1.088152E-03 * (X(29) + 65)^2 + 1.956251E-03 * (X(30) + 85)^2 \\ &- 1.139113E-02 * (X(31) + 25)^2 + 3.539618E-04 * (X(32) + 235)^2 \\ &- 9.478995E-04 * (X(33) + 50)^2 + 7.493278E-04 * (X(34) + 80)^2 \\ &+ 1.232354E-02 * (X(35) + 20)^2 - 1.269611E-04 * (X(36) + 40)^2 \\ &+ 6.722541E-04 * (X(37) + 55)^2 - 1.469786E-03 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

EK-III.15

$$\begin{aligned} Y15 = & +322.2403 - 2.540401 * X(1) - 1.694262 * X(2) - 5.935393 * X(3) - 4.679388 * X(4) \\ & + 283.5322 * (X(5) + .882) + .2127811 * X(6) - .1783155 * (X(7) + 79.1) \\ & + 45.71436 * X(8) - 24.28026 * X(9) - 230.0478 * X(10) \\ & - 154.5222 * X(11) + 213.5329 * X(12) - 9570.595 * X(13) + .6660425 * (X(14) + 590) \\ & - .3579715 * (X(15) + 590) + .749808 * (X(16) + 590) + 130.9909 * (X(17) + .5) \\ & + 556.6267 * (X(18) + .5) - 586.2183 * (X(19) + .5) + .5132439 * (X(20) + 60) \\ & + .7707078 * (X(21) + 100) + .3360289 * (X(22) + 80) + 1.898807 * X(26) \\ & - 2.903933 * (X(27) + 100) + .7848396 * (X(28) + 180) + .1505694 * (X(29) + 65) \\ & + 4.236547 * (X(30) + 85) - 11.87728 * (X(31) + 25) - .440428 * (X(32) + 235) \\ & - .9387779 * (X(33) + 50) + 6.103145 * (X(34) + 80) - 1.694171 * (X(35) + 20) \\ & + .7967271 * (X(36) + 40) - 8.203622 * (X(37) + 55) + .6140508 * (X(38) + 70) \\ & + 2.073186E-02 * X(1)^2 + 1.602972E-02 * X(2)^2 + .4034366 * X(3)^2 \\ & + 9.558544E-03 * X(4)^2 - 224.7236 * (X(5) + .882)^2 - 9.159911E-03 * X(6)^2 \\ & + 5.151374E-03 * (X(7) + 79.1)^2 - 66.12478 * X(8)^2 + 1.411922 * X(9)^2 \\ & + 279.606 * X(10)^2 + 222.8579 * X(11)^2 - 139.4094 * X(12)^2 + 716386.6 * X(13)^2 \\ & - 8.125797E-04 * (X(14) + 590)^2 - 7.945298E-05 * (X(15) + 590)^2 \\ & - 9.077377E-04 * (X(16) + 590)^2 - 49.253 * (X(17) + .5)^2 \\ & - 328.5339 * (X(18) + .5)^2 + 427.1729 * (X(19) + .5)^2 \\ & - 1.286224E-02 * (X(20) + 60)^2 + 3.168156E-03 * (X(21) + 100)^2 \\ & - 8.380675E-03 * (X(22) + 80)^2 - 9.470242E-03 * X(26)^2 \\ & + 1.257238E-02 * (X(27) + 100)^2 - 2.793702E-03 * (X(28) + 180)^2 \\ & - 3.976565E-03 * (X(29) + 65)^2 - 1.21637E-03 * (X(30) + 85)^2 \\ & + .164486 * (X(31) + 25)^2 + 2.451718E-05 * (X(32) + 235)^2 \\ & + 5.551667E-03 * (X(33) + 50)^2 - 1.603448E-02 * (X(34) + 80)^2 \\ & + 2.862746E-02 * (X(35) + 20)^2 - 5.323858E-03 * (X(36) + 40)^2 \\ & + 3.334986E-02 * (X(37) + 55)^2 - 3.017406E-03 * (X(38) + 70)^2 \end{aligned}$$

Ö Z G E Ç M İ S

1952 yılında Sivas'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini burada tamamladı. 1970 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümünü 1974 yılında bitirdi. Bir müddet öğretmenlik ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığında uzmanlık görevlerinde bulunduktan sonra 1977 yılında Sakarya Mühendislik ve Mimarlık Akademisinde Matematik asistanı oldu. 1980 yılında E.U.Elektronik Hesap Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans çalışmasını tamamladı. 1982 yılında Akademinin Fakülteye dönüşmesinden sonra Öğretim Görevlisi oldu. Daha sonra İ.U.İşletme Fakültesi Üretim Yönetimi Ana Bilim Dalında doktora çalışmasına başladı. 1987 yılından beri Endüstri Bölümünde Matematik ve Bilgisayar Programlama derslerini yürütmektedir.