

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra ÖRNEK KOCABEY

**YÜKSEK GERİLİM HATLARINDA KULLANILAN ALÜMİNYUM
ALAŞIM ORANLARININ OPTİMİZASYONU**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK GERİLİM HATLARINDA KULLANILAN ALÜMİNYUM
ALAŞIM ORANLARININ OPTİMİZASYONU**

Kübra ÖRNEK KOCABEY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
DANIŞMAN

Dr. Öğr.Üyesi Melik KOYUNCU
ÜYE

Dr. Öğr.Üyesi Cansu DAĞSUYU
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK GERİLİM HATLARINDA KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIM ORANLARININ OPTİMİZASYONU

Kübra ÖRNEK KOCABEY

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL

Yıl: 2019, Sayfa:81

Jüri : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL

: Dr. Öğr.Üyesi Melik KOYUNCU

: Dr. Öğr.Üyesi Cansu DAĞSUYU

Günümüzde elektrik enerjisinin iletiminde 6101 Serisi alüminyum alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi iletiminin en önemli kalite değerleri olan mukavemet ve iletkenlik bakımından Alüminyum (Al) diğer iletkenlere göre önemli avantajlara sahiptir. Dünyanın hemen hemen her yerindeki yüksek gerilim havai hatlarında enerji iletimi Al tel ile sağlanmaktadır.

Yüksek gerilim havai hatlarında kullanılan 6101 serisi alüminyum alaşımlarının temel hammaddeleri magnezyum (Mg) ve silisyum (Si) elementidir. Dünyada geleneksel iletkenlerin dezavantajları göz önüne alındığında alternatif olarak değerlendirilen 6101 serisi alüminyum alaşımlarının karışım oranları ve döküm parametreleri hala net olarak saptanamamıştır. Standartlarda belirtilen ve geniş aralıklar içerisinde bulunan alaşım oranlarının optimum değerlerini saptamak ve alaşım oranlarının mukavemet ile iletkenlik arasındaki etkisini araştırmak amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Çalışmada 6101 serisi alüminyum alaşımlı iletkeninin bileşiminde kullanılan Magnezyum (Mg), Silisyum (Si), Bakır (Cu), Demir (Fe), Titanyum (Ti), Bor(B) miktarlarının iletkenlik ve mukavemet üzerindeki etkisi incelenmiş ve iletkenlik ile mukavemet değerlerini maksimize edecek Mg, Si, Cu, Fe, Ti, B girdi değerleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada Osmaniye şehrinde yer alan bir iletken firmasında üretilen 6101 serisi alüminyum alaşımlı iletken verileri dikkate alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Matematiksel Model, 6101 serisi alüminyum alaşımları, mukavemet, iletkenlik.

ABSTRACT

MSc THESIS

OPTIMIZATION OF ALUMINUM ALLOY RATINGS USED IN HIGH VOLTAGE LINES

Kübra ÖRNEK KOCABEY

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS**

Supervisor : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL

Year: 2019, Pages:81

Jury : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL

: Assist. Prof. Dr. Melik KOYUNCU

: Assist. Prof. Dr. Cansu DAĞSUYU

The 6101 Series aluminum alloys are now widely used in the transmission of electrical energy. Aluminum (Al) has significant advantages over other conductors in terms of strength and conductivity, the most important quality values of electrical energy transmission. In high voltage overhead lines in almost all parts of the world, the power transmission is provided by Al wire.

The main raw materials of 6101 series aluminum alloys used in high voltage overhead lines are magnesium (Mg) and silicon (Si). In view of the disadvantages of conventional conductors in the world, the mixing ratios and casting parameters of the 6101 series aluminum alloys which are considered as alternative are still not clearly determined.

This study was conducted in order to determine the optimum values of alloy ratios in the wide range of standards and to investigate the effect of alloy ratios on strength and conductivity. In the study, the effect of Magnesium(Mg), Silicon(Si), Iron(Fe), Copper(Cu), Titanium(Ti), Boron(B) amounts on the conductivity and strength of the 6101 series aluminum alloy conductor were investigated and the input values of Mg, Si, Cu, Fe, Ti, B were calculated to maximize the conductivity and strength values. In the study, 6101 series aluminum alloy conductor data produced in a conductor company located in Osmaniye city were taken into consideration.

Key Words: Optimization, mathematical model, 6101 series aluminum alloys, strength, conductivity

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu çalışma kapsamında yüksek gerilim havai hatlarında kullanılan 6101 serisi alüminyum alaşım iletkeni üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yüksek gerilim havai hatlarında kullanılan 6101 serisi alüminyum alaşımlarının üretim sürecinde ve üretime başlamadan ön hazırlık süreçlerinde birçok farklı problemle karşılaşmaktadır. Alüminyum alaşımları üretilirken standartlarda belirtilen ve geniş aralıklara sahip alaşım oranlarının istenilen seviyede yakalanması oldukça zaman almaktadır. Ön hazırlık yapılırken istenilen oranlar elde edilmediği müddetçe üretime başlanılamamaktadır. Firma sürekli olarak deneme üretimleri yapmakta bu da zamana ve maliyet kaybına neden olmaktadır. Yapılan çalışmada iletkenin iletkenlik ve mukavemet özellikleri üretime geçmeden tahmin edilerek deneme üretimleri ortadan kaldırılacak, zaman kaybı ve denemelerden kaynaklanacak maliyet artışı da önlenmiş olacaktır.

Yüksek gerilim havai hatlarında kullanılmakta olan, içerisinde yüzde ikiden daha az alaşım elementi olan 6101 serisi olarak adlandırdığımız alüminyum-magnezyum-silisyum AlMgSi alaşımlarının, üretim öncesi ulaşılmaya çalışılan istenilen alaşım değerlerinin elde edilebilmesi için bu çalışma yürütülmüştür. Bu iletkenlerin üretiminin yapılabilmesi için aynı zamanda standartlarda belirtilen değer aralıklarına da uyum sağlamak gerekmektedir. Yüksek gerilim hatlarında istenilen çıktılar olan iletkenlik ve mukavemetin maksimize edilmesi temel amaçlarımızı oluşturmaktadır.

Çalışmamız, uygulama alanı olarak yüksek gerilim iletken hattı üretimi yapan Osmaniye ilinde yer alan bir iletken üretim tesisinin döküm hattı üzerinde alaşım oranı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

6101 serisi iletkenler Alüminyum, Silisyum, Magnezyum, Demir, Bakır, Titanyum ve Bor elementlerinden meydana gelmektedir. 6101 serisinin hammaddesi olan Alüminyum elementi her üretimde aynı seviyede kullanıldığı ve

aynı değerler elde edildiği için bu çalışmada dikkate alınmamış ve asıl elde edilmek istenen Silisyum, Magnezyum, Demir, Bakır, Titanyum ve Bor elementleri üzerine yoğunlaşılmıştır. İletken tel üretimi sırasında üründen istenilen çıktıyı etkileyecek birçok etmen bulunmaktadır. rne uygulanan ısıl işlem, kullanılan alaşım oranı, kullanılan alaşım miktarı, döküm parametreleri ve daha birçok etmen bu süreci etkilemektedir. Bu çalışmada belirli özelliklere 6101 serisi alüminyum iletkenlerin istenilen çıktı değerleri olan mukavemet ve iletkenlik özelliklerinin maksimizasyonunun amaçlandığı optimizasyon modelleri oluşturulması hedeflenmiştir. Bu çalışmada sorunlardan biri olan istenilen alaşım oranı değerlerini elde etmek üstünde çalışılmıştır.

Tez çalışmasının esas amacı performans değerlerinin en iyilenmesinin hedeflendiği optimizasyon modelleri elde etmek olduğundan, iletkenlik ve mukavemet ifadesinin, amaç fonksiyonu, diğer eşitliklerin ise kısıt olarak kullanıldığı bir iletkenlik/mukavemet maksimizasyonu modeli kurularak “ana/temel model” olarak tanımlanmıştır. Bunların optimum mleri LINGO 17.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Söz konusu modellerin oluşturulması, m ve m raporlarının yorumu, ilgili bölümlerde, detaylı olarak irdelenmiştir.

Çalışmada öncelikle havai hatları, neden alüminyum üretildiği, kullanılan 6101 seri alaşım özelliklerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde önceki çalışmalara yer verilmiştir. nc bölümde kullanılan materyal metot anlatılmıştır. Dördüncü bölümde araştırma bulguru ayrıntılandırılmış ve son olarak beşinci bölümde sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her aşamasında yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima destek olan ve her konuda yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ali KOKANGÜL'e, doğrudan ve dolaylı katkıları için jürideki sayın hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada kullanılan verilerin kısa sürede temin edilmesini ve verilerin işlenmesinde gereken belge ve bilgiyi sağlayan uygulamanın yapıldığı firma yöneticilerine yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi yazarken şu an çalışmakta olduğum Transformatör Elektromekanik ARGE Merkezindeki iş arkadaşlarıma yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve her konuda bana koşulsuz güvenen canım eşim Ferdican KOCABEY'e, maddi manevi destekleriyle daima yanımda olan çok sevdiğim anne babama, her zaman örnek aldığım canım ablalarıma ve varlığıyla neşe veren kedim Tesla'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1.YÜKSEK GERİLİM HATLARI	1
1.1. Hava Hattı İletkenleri ve Özellikleri.....	1
1.2. Havai Hatlarda Alüminyumun Tercih Edilme Nedenleri	3
1.3. Yapılarına Göre İletken Çeşitleri	3
1.4. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	6
1.5. AlMgSi Alaşımları (6XXX Serisi)	8
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
2.1. Deney Tasarımı ve Optimizasyon.....	11
2.2. Hedef Programlama	16
3. MATERYAL VE METOD	19
3.1. Materyal.....	19
3.1.1. Kullanılan Materyaller	19
3.1.2. Alınan Veriler.....	21
3.1.3. İşletme Üretim Prosesi	21
3.1.3.1. Döküm Prosesi (Ergitme ve Alaşımlandırma)	22
3.1.3.2. Tel Çekme Prosesi	25
3.1.3.3. Örme Prosesi	28
3.1.4. Kullanılan Yazılımlar	29
3.2. Metot.....	29
3.2.1. Deney Tasarımı	29

3.2.2 Regresyon Analizi	31
3.2.3. Hata Hesaplama Kavramı	32
3.2.4. Doğrusal Programlama.....	33
3.2.2.1. Doğrusal Programlamada Modelin Oluşturulması Süreci.....	36
3.2.5. Hedef Programlama	40
3.2.4.1. Hedef Programlama Tanımı	40
3.2.4.2. Hedef Programlama Kavramları	41
3.2.4.3. Genel Hedef Programlama Modeli	43
3.2.4.4. Hedef Programlamanın Sınıflandırılması	45
3.2.6. HP ile DP Karşılaştırılması	46
4.BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. Problemin Tanımlanması	49
4.2. Modelin Kurulması	50
4.2.1. Notasyon	51
4.2.2. İletkenlik Değeri İçin Regresyon Analiz Sonuçları	51
4.2.3. Mukavemeti Değeri İçin Regresyon Analiz Sonuçları.....	56
4.2.4. Hata Hesaplama	59
4.3. Lineer ve Çok Amaçlı Modellerin Oluşturulması.....	62
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
5.1. Sonuçlar	69
5.2. Öneriler	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 4.1. TS 9632 EN 50183’de yer alan değer aralıkları	49
Çizelge 4.2. Çalışmada Kullanılan Veriler İçin Özet Tablo	52
Çizelge 4.3. İletkenlik Değeri İçin Model Özet Tablosu	52
Çizelge 4.4. İletkenlik Değeri İçin SPSS ANOVA Tablosu	53
Çizelge 4.5. İletkenlik Değeri İçin Katsayılar Tablosu	54
Çizelge 4.6. Mukavemet Değeri İçin Model Özet Tablosu	56
Çizelge 4.7. Mukavemet Değeri İçin SPSS ANOVA Tablosu	56
Çizelge 4.8. Mukavemet Değeri İçin Katsayılar Tablosu	57
Çizelge 4.9. İletkenlik için Hata Değerleri	60
Çizelge 4.10. Mukavemet Değeri için Hata Değerleri	61
Çizelge 4.11. Tek Amaçlı Fonksiyonların Lingo Paket Programda Çözülmesi	64
Çizelge 4.12. Eşit Ağırlıklı Çok Amaçlı Hedef Programlama Modelinin Lingo Paket Programında Çözülmesi	66
Çizelge 4.13. Öncelikli Hedef Programlama Çıktıları	67
Çizelge 5.1. Etkiler İçin Özet R-sq(adj) Tablosu	70



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Havai Hat İletkenleri.....	3
Şekil 1.2. AACSR (Aluminium Alloy Conductor Steel Reinforced)	4
Şekil 1.3. ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced)	5
Şekil 1.4. AAC (All Aluminium Conductor).....	5
Şekil 1.5. ACSR (Çelik Özlü Alüminyum İletken)	6
Şekil 3.1. Döküm Prosesi Ergime ve Dinlendirme Fırınları	22
Şekil 3.2. Döküm Prosesi İş Akış Şeması.....	23
Şekil 3.3. Döküm Prosesi Bakır Teker Soğutma Ünitesi	24
Şekil 3.4. Döküm Prosesi Haddelme Ünitesi	24
Şekil 3.5. Döküm Prosesi Sepet Ünitesi	25
Şekil 3.6. Tel Çekme Prosesi	25
Şekil 3.7. Tel Çekme Prosesi İş Akış Şeması	27
Şekil 3.8. Örme Prosesi İş Akış Şeması.....	28
Şekil 3.9. Örme Prosesi.....	29



SİMGELER VE KISALTMALAR

AAAC	: Tam Alaşımli Alüminyum İletken
AAC	: Tam Alüminyum İletken
AACSR	: Çelik Özlü Alüminyum Alaşımli İletken
ACAR	: Alaşım Özlü Alüminyum İletken
ACSR	: Çelik Özlü Alüminyum İletken
Al	: Alüminyum
AŞ	: Anonim Şirket
Cu	: Bakır
Df	: Serbestlik Derecesi
DT	: Deneysel Tasarım
DP	: Doğrusal Programlama
EC	: Elektrik İletkeni
EN	: Avrupa Standardı
Fe	: Demir
HP	: Hedef Programlama
IACS	: Uluslararası Tavlanmış Bakır Standardı
LME	: Londra Metal Borsası
Max	: Maksimum
Min	: Minimum
Mg	: Magnezyum
Mg ² Si	: Magnezyum Silisit
Mm ²	: Milimetre kare
Mn	: Manganez
MPA	: Megapascal
Na	: Sodyum

Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Si	: Silisyum
SPSS	: Sosyal Bilimler İçin İstatistiksel Paket
Ti	: Titanyum
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
USD	: Amerikan Doları
Vb.	: Ve benzeri
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum

1.YÜKSEK GERİLİM HATLARI

1.1. Hava Hattı İletkenleri ve Özellikleri

Yüksek gerilim hava hatlarında kullanılan iletkenlerin hem enerji taşıması hem de mekanik yönden uygun olarak seçilmesi gerekir. İletkenlerin gerekli esnekliği sağlamak, askı ve gergi noktalarında oluşan titreşimler sebebiyle kopmasını önlemek amacıyla spiral şekilde örgülü olarak yapılır. Spiral şeklinde örgülü yapılmış iletkenlerde her bir damarın yüzeyinde meydana gelen kir ve oksit tabakaları sebebiyle akım, damardan damara değil de spiral örgünün içinde akar. Bu bakımdan örgülü iletkenlerin direnç ve endüktansları, dolayısıyla endüktif reaktansları aynı kesit ve cinsteki örgülü olmayan iletkenlere göre daha büyüktür. Endüktans artışını azaltmak için, katlardaki damarlar birbirlerini izleyen katlarda ters yönde konsantrik olarak yapılır.

Yüksek gerilimli enerji iletim hatlarında kullanılacak olan iletkenlerin bazı özellikleri aşağıdaki gibidir:

İletkenlik: Enerji iletim hatlarında kullanılacak iletkenin iletkenliği iyi olmalıdır. İletkenlik, kullanılan malzemenin cinsine bağlı olarak değişiklik gösterir. Enerjinin taşınmasında ekonomik olarak bakıldığında, enerji iletim hatlarında daha çok bakır ve alüminyum iletkenler kullanılır. İletkenlik, iletkenin direncini etkileyeceğinden, iletim hatlarında kayıpları minimum düzeyde tutmak için iletkenliği iyi olan malzemeler seçilir. (Orozaliev, 2009, s. 5)

Mekanik dayanım: Enerji iletim hatları dış faktörlerden dolayı (kar, buz, rüzgâr, yağmur, güneş) ekstra bir kuvvete maruz kalır. İletkenler bu gibi olumsuz etkilere dayanabilecek şekilde imal edilmelidir.

Isı dayanımı: Enerji iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin ısı dayanımı iyi olmalıdır. Gerek iletkenin içinden geçen akımdan dolayı, gerekse dış faktörlerden dolayı iletken ısınır, ısınan iletkenin sehimi artar. (Orozaliev, 2009, s. 6)

İletkenin çapı: İletkenlik özelliği göz önünde bulundurularak iletken çapı seçilmelidir. İletkenlerin çapının büyük olması, daha fazla yüklenmeye maruz kalması demektir. İletken çapı büyüdüğünde, buz yükü ve rüzgâr yükü artarak iletkenin mekanik dayanımının azalmasına neden olur.

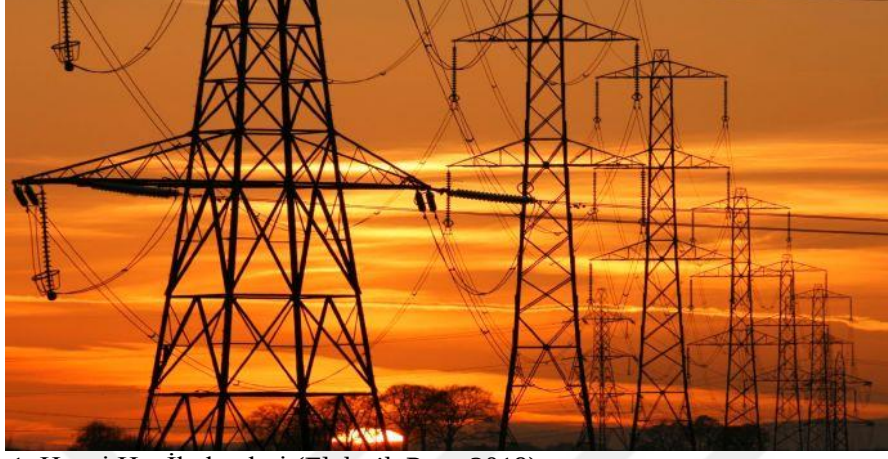
Özgül ağırlık: Enerji iletim hatlarında, iletkenin özgül ağırlığı göz önüne tutularak iletkenin mekanik dayanım hesabı yapılır. İletken çekiminde iletkenin özgül ağırlığının az olması istenir. Özgül ağırlığın az olması durumunda direğe gelen çekme kuvveti azalır. İmal ediliş şekline göre hava hattı iletkenleri 3 duruma ayrılır. (Orozaliev, 2009, s. 6)

Som (içi dolu) iletkenleri: Bu tür iletkenler yalnız bir cins malzemeden ve içi dolu tek bir tel halinde olmak üzere 10mm² kesite kadar imal edilmektedir. Som iletkenler iç tesisatta kullanılır.

Örgülü iletkenler: Enerji iletiminde ve dağıtımında kullanılan iletkenler, örgülü çok telli olarak yapılırlar. Bu tür iletkenler, aynı cins veya ayrı cins metallerden imal edilen ince delerlin birbiri üzerine örülmesi suretiyle yapılırlar. Bu iletkenlerin avantajları;

- Deri olayının etkisini en aza düşürür.
- Mekanik gerilme (esneklik) açısından daha uygundur.

Demet iletkenler: Çok yüksek gerilimde her faz için 2 ya da daha fazla iletken kullanılır. Bu şekilde kullanılan iletkenlere demet iletkenler denir. Korona kaybı yanında hatlarda meydana gelen diğer kayıpları azaltmak için fazlara ait iletkenler ikili veya üçlü demet şeklinde yapılır. Demet iletkenleri birbirine tutturmak için kullanılan malzemeye spacer (ara tutucu) adı verilir (Tosun, 2007).



Şekil 1.1. Havai Hat İletkenleri (Elektrik Port, 2019)

1.2. Havai Hatlarda Alüminyumun Tercih Edilme Nedenleri

Alüminyum (Al), Magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si) elementlerinden oluşan 6101 alüminyum alaşımı, AAAC (All Aluminum Alloy Conductor) serisi kablo üretiminin temel malzemesidir. Alüminyum yüksek gerilim nakil hatlarında 1945 sonrası ve bugün bakır yerine en ekonomik şekilde elektrik iletimini sağlamaktadır (Demiray, 1998). Alüminyum elektrik enerjisi iletiminde gerek mukavemet gerekse de iletkenlik yönünden üstünlüğü nedeniyle diğer metallere karşı büyük bir üstünlük sağlamış bulunmaktadır. Neredeyse tüm aydınlatmalar, motorlar, cihazlar ve güç sistemlerine enerji Al tel ile sağlanmaktadır. Dünyanın en büyük yüksek gerilim hava iletim ve dağıtım hatları ile çok sayıda metro hatlarının enerji naklinde de alüminyum teller ile kullanılmaktadır (Demiray, 1998). Bu özelliklerinden dolayı dünyada elektrik iletim sektöründe gün geçtikçe daha çok tercih edilmektedir (Karabay ve ark., 2005, s. 160).

1.3. Yapılarına Göre İletken Çeşitleri

Havai hat iletkenlerinde genel olarak bakır, tam alüminyum (AAC) ve çelik özlü alüminyum (ACSR) iletkenler kullanılmaktadır.

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. Günümüzde enerji nakil hatları alüminyumdan yapılmaktadır. Pek çok ülkede, alüminyumun iletim ve dağıtım sistemlerinin tüm elemanları için bakırın yerine, ana iletken malzemesi olarak kabul edilmesinde pek çok neden bulunmaktadır. Alüminyum bakıra göre çok hafiftir, alüminyumun yoğunluğu, yaklaşık olarak bakırın %30'u kadardır. Özellikle, hava hattı direk yapılarında hafiflik çok önemlidir; çünkü ağır iletkenler, ağır direk yapılarına ihtiyaç gösterir. Ayrıca, alüminyum iletkenlerin taşınması, işlenmesi ve montajı, ağır bakır iletkenlere göre daha kolaydır. Alüminyumun hafifliği, ağır bakır iletkenlere göre birçok avantaj sağlamaktadır (Orozalieva,2009, s. 11). Aşağıda en çok kullanılan iletken türleri anlatılmıştır.

AACSR (Aluminium Alloy Conductor Steel Reinforced); çok fazla kullanım alanı olmayan iletken tipleri arasında yer almaktadır. Şekil 1.2'de de görüldüğü üzere çelik teller sarımlı bir şekilde bulunan çelik teller üstünde alüminyum alaşım tellerinin birbiri farklı katlar da farklı yönlerde doğru sarılması ile oluşturulmaktadır. Boğaz ve nehir üstü geçişleri gibi fazla mekanik dayanıma ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılmaktadırlar (Davies, 1988) (Karabay ve ark., 2004).



Şekil 1.2. AACSR (Aluminium Alloy Conductor Steel Reinforced)(AnHui Electric Group, 2019)

ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced); bu tip iletkenlerde alüminyumdan oluşan tellerin en iç kısmına çelik damarlı teller eklenmiş gerilme dayanımının artırılması amaçlanmıştır (Şekil.1.3). Kısaca özetleyecek olursak çelik tellerden elde edilen mukavemet ile alüminyum tellerden elde edilen iletkenlikten faydalanılmıştır.

Orta ve yüksek gerilim iletim hatlarında kullanılan çıplak çelik özlü alüminyum iletkenler, Türk Standardı TS-IEC 1089' a uygun olarak, 15...750 mm² kesitleri arasında üretilmektedir. İstek üzerine gibi diğer ülke standartlarına uygun üretim yapılmaktadır. Genel olarak iletkenler, standart ağaç makaralar üzerinde teslim edilir. (Orozaliev, 2009, s. 12)



Şekil 1.3. ACSR (Çelik Özlü Alüminyum İletken) (Elektrik Port, 2019)

AAC (All Aluminium Conductor); tam alüminyum iletken olarak adlandırılan bu iletken yalnızca alüminyumdan meydana gelmektedir. Şekil 1.4'de görüldüğü üzere yuvarlak alüminyum tellerin birbiri üzerine sarılmasıyla oluşturulmaktadır.



Şekil 1.4. AAC (All Aluminium Conductor) (Elektrik Port, 2019)

AAAC (All Aluminium Alloy Conductors); Şekil 1.5.'de görüldüğü üzere bu iletken birbiri üzerine sarılan içerisinde yüzde ikiden daha az alaşım elementi yer alan 6101 ve 6201 serisi alüminyum iletkenleri şeklinde tanımlanmaktadır. AAC iletkenine kıyasla mekanik direnççi ve korozyona karşı dayanımı oldukça fazladır. (Karabay ve ark., 2004) Tez kapsamında dikkate alınan iletken türüdür.



Şekil 1.5. AAAC (All Aluminium Alloy Conductors) (Elektrik Port, 2019)

1.4. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Saf alüminyum, hafif mavimsi beyaz bir metaldir ve Al ile sembolize edilmektedir. Atomik ağırlığı 26,981 g/mol'dür. Alüminyum, 1807 yılında Sir Humphrey Davy tarafından ilk defa oksit halindeki bileşiğinden ayrıştırılarak elde edilmiştir. Yeryüzünde konsantrasyon açısından oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına ve dünya kabuğunun %8' ini oluşturmasına rağmen, alüminyum bileşiklerinin çok kararlı olması nedeniyle, alüminyumun endüstriyel çapta üretimine ancak 1886 yılında Charles Martin Hall ve Paul T. Heroult'un birbirinden habersiz olarak yaptıkları elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile geçilmiştir. Böylece, elektroliz yöntemi ile üretimin keşfedilmesinden günümüze kadar alüminyum üretimi dünyada, yıllık 13 tondan, 50 milyon tonun üzerine yükselmiştir. Üretim miktarlarının artışıyla alüminyumun birim fiyatı ilk üretildiği yıllarda altın ve gümüş gibi kıymetli metaller sınıfında yer

alırken, günümüzde bakır ile karşılaştırılabilir düzeye düşmüştür (Ankara Alüminyum Sanayicileri Derneği, 2003).

İlk sırada düşük yoğunluğun olmak üzere bazı temel özellikleri ile diğer metallere göre başlıca üç noktada seçkinleşir:

- Alaşımlarında daha da belirgin olan dayanım / yoğunluk oranının (özellik dayanım) yüksekliği, hafifletilmelerine öncelik verilen konstrüksiyonların çoğu için alüminyum uygun bir malzeme olmasını sağlar. Örneğin uçak, silah, taşınabilir kamp donatımı vb.
- Elektrik iletkenliğinin yoğunluğu oranı bakımından tüm metal malzemelerin önünde gelen alüminyum, yüksek gerilim hatlarında bakırın yerini almaktadır.
- Havada ve diğer birçok ortamda korozyona dayanıklı oluşu, alüminyuma dekoratif görünüm kazandırarak mimari uygulamalarda ve ev araçlarının üretiminde de geniş bir alan açmıştır (Davis, 1999). Elektrokimyasal gerilim serisindeki konumu nedeniyle asal bir metal olmayan alüminyumun korozyona dayanıklılığı, havada veya sulu çözeltilerde yüzeyi kaplayan oksit tabakasından ileri gelir. Bu koruyucu tabaka, bozulduğunda doğal oksitlenmeyle bile yeniden oluşur; ayrıca ortamda bulunabilecek asitler ne kadar oksitleyici ise o kadar kararlı davranır. Örneğin derişik nitrik asit alüminyum kaplarda nakledilebilmektedir. Öte yandan anılan oksit tabakasını çözebilen derişik alkaliler alüminyumu korozyona uğratar.

En az %99,5 saflıktaki alüminyumun elektrik iletkenliği bakırınkinin sadece %62'sine, yoğunluğu nedeniyle, iletken hacminin ve lehimlenebilirliğin önemli olmadığı uygulamalarda alüminyum bakırın yerini almıştır (Burger ve ark., 1995).

1.5. AlMgSi Alaşımları (6XXX Serisi)

6000 serisi olarak bilinen AlMgSi alaşımları iyi ekstrüzyon edilebilirlikleri, yüksek korozyon dayanımları, sıcak deformasyon sonrasında temiz yüzey ve orta derecede dayanım elde edebilmek için uygulanan süreçlerin düşük maliyetli olması ile tanınırlar. Dünya alüminyum ekstrüzyon üretiminin yaklaşık %80'inden fazlasını 6000 serisi alaşımlar, bu serinin %70'inde AA 6063 grubu oluşturmaktadır (Court ve ark., 2001).

Alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımları Mg_2Si fazı partikülleri ihtiva ederler. Mg_2Si metaller arası bileşiğinin Mg_2Si oranı 1.73'dür, maksimum çözünürlüğü %1,85'dir ve sıcaklıkla azalır (ASM, 1997). Bu faz solüsyona alma ısı işlemi esnasında çözünür ve yapay yaşlandırma esnasında küçük bir miktar çözelir. Sonuç olarak, bu fazın miktarı ve dağılımı alaşıma uygulanan ısı işlemin süresi ve derecesini gösterir. Ayrıca yapıda Mg_2Si oluşumundan artan silisyum partikülleri mevcut olabilir (ASM, 1997).

Al-Mg-Si alaşımları bileşimleri açısından üç gruba ayrılırlar. Birinci grupta Mg ve Si'un toplam miktarı %1,5 geçmez. Bu elementler neredeyse dengelenmiş durumdadırlar veya az miktarda fazla silisyum içerirler. Bu grubun tipik bir alaşımı AA 6063'tür (ASM, 1997). AA 6063 alaşımının ekstrüzyon yöntemiyle üretilen profillerinin en yaygın kullanıldığı sektörler, inşaat/mimari (cephe kaplama, pencereler, kapılar, dekorasyon, mobilya) otomotiv, elektrik/elektronik ve makina imalat sektörleridir.

AA 6063 alaşımının eloksallanabilme özelliği de son derece iyidir (Uchida ve ark., 1996). Bu kolay ekstrüze edilebilen alaşım nominal olarak %1,1 Mg_2Si içerir. Solüsyona alma işlem sıcaklığı 500 °C'nin hemen üzeridir. Bu alaşım ekstrüzyondan sonra ayrı bir ısı işleme gerek duymaz, prestan sonra havada soğutulabilir ve orta seviyede dayanım, iyi süneklik ve mükemmel korozyon direnci elde etmek için yapay olarak yaşlandırılır (ASM, 1997).

İkinci grup nominal olarak %1,5 veya daha fazla Mg + Si ve T6 temperinde mukavemeti arttıran %3 Cu gibi diğer katkıları içerir. Manganez, krom

ve zirkonyum gibi elementler tane yapısını kontrol etmek için kullanılır. Bu gruptaki alaşımlar, AA 6061 yapısal alaşım gibi, T6 temperinde birinci grup alaşımlardan yaklaşık olarak 70 MPa daha yüksek dayanım gösterirler. Bu alaşımlar birinci gruptan daha yüksek solüsyona alma sıcaklığı gerektirirler, su vermeye duyarlıdırlar. Bundan dolayı, hızlı su verme ve yapay yaşlandırmanın takip ettiği ayrı bir solüsyona alma işlemine gerek duyarlar (ASM, 1997).

Üçüncü grup alaşımlar ilk iki gruptaki kadar magnezyum ve önemli miktarda fazla silisyum içerirler. %0,2 fazla silisyum %0,8 Mg_2Si içeren alaşımın dayanımını yaklaşık olarak 70 MPa artırır. Fazla silisyumun daha yüksek miktarlara daha az faydalıdır. Bununla birlikte fazla magnezyum Mg_2Si 'nin çözünürlüğünü azalttığı için istenmez. Fazla silisyum içeren alaşımlarda silisyumun tane sınırlarındaki segregasyonu rekristalize olmuş yapılarda tane sınırı kırılmasına yol açar. Manganez, krom veya zirkonyum ilavesi ısıtma işlemi sırasında rekristalizasyonu önleyerek silisyumun etkisini ortadan kaldırır. Bu grubun belli başlı alaşımları AA6351 ve yakın geçmişte geliştirilen AA6009 ve AA6010'dur. Bu grup alaşımlara kurşun veya bizmut ilavesi (AA6262) talaşlı işlenebilirliği kolaylaştırır. (ASM, 1997).



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde yapılan çalışmalar deney tasarımı (DT), optimizasyon modeli, çok kriterli karar verme yöntemleri başlıkları altında ele alınmıştır.

2.1. Deney Tasarımı ve Optimizasyon

DT, ilk kez 1920’li yıllarda tarım alanında Ronald Fisher tarafından kullanılmıştır. Fisher verimliliği artırmak için tarımsal faaliyetlerin daha doğru ve daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini hedeflemiştir. Tarımda kullanılan ilaçlar, sulama yöntemleri ve diğer parametreler üzerinde çalışarak en uygun şartları araştırmış ve başarılı sonuçlar elde etmiştir. Birçok faktörün nihai sonuca etkisi araştırılarak süreçlerin daha verimli çalışması sağlanmıştır. Bu yöntem daha sonra farklı sektörlerde de uygulanmış ve yine başarılı sonuçlar elde edilmiştir. 1980’li yıllarda Japonya’da Genichi Taguchi tarafından özellikle imalat süreçlerinde başarılı sonuçlar elde edilmiş ve yöntemin dünya çapında tanınması sağlanmıştır. Sonraki yıllarda da birçok çalışmada önemli sonuçlar elde edilen bu yöntemleri iyi bir problem çözücü olarak tanımlamak mümkündür (Şirvancı, 1997, s. 110).

DT 1950’li yıllardan sonra George Box ve K.B. Wilson tarafından geliştirilerek Yanıt Yüzeyi Metodolojisini geliştirmişlerdir. Bu yöntemin diğer tasarım metotlarından farkı ise bağımlı değişkenin hızlı bir şekilde gözlemlenebilmesi ve daha az sayıda verilerle daha güvenilir sonuçlar elde etmektir. Yanıtların oluşturduğu yüzeyde en iyi noktayı ya da noktaları arayarak optimum veya optimuma yakın sonuçların kolay bir şekilde elde edilmesini amaçlamaktadır (Montgomery, 2014, s. 752) (Behjoomanesh ve ark., 2015)

Chen ve Wang (1997), Kanada da faaliyet gösteren entegre bir çelik üretim işletmesinde üretim ve dağıtım planlaması için doğrusal programlamayı kullanmışlardır. İşletmenin, birden çok fabrikadan oluşması, çok sayıda malzeme tedarikçisi ile çalışması, farklı coğrafik bölgelerde müşterilerinin olması ve müşterilerinin farklı üretim süreçlerinden ürünler (yarı mamul veya bitmiş ürün

şeklinde) sipariş edebilmesi sebebiyle; etkileşimli bir malzeme akışının zorunlu olduğu, planlamanın çok önemli olduğu bu ortamda; işletmenin satınalma, üretim ve dağıtım ile ilgili problemlerini bütünleştirerek tek bir planlama altında modelleyen bir çalışma yapmışlardır. Doğrusal programlama yaklaşımıyla kurdukları modelin çözümüyle, işletmeye büyük finansal fayda sağlamışlardır.

Yang ve Tarng (1997), tornalama süreçleri için kesici değişkenlerini optimize ettiği çalışmalarında S45C çelik barların tornalamasında kesici ekipman parametrelerinin optimum düzeylerinin ortaya konulması için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Her biri 3 düzeyli 3 ana çarpanın tornalama işlemi üzerindeki tesirlerini görmek için L9(3⁴) ortogonal dizinini kullanmışlardır. Deneyler sonucu ortaya çıkan veriler ise varyans analizi yöntemi ile analiz edilmiştir.

Kağnıcıoğlu (1998), çalışmasında Taguchi yöntemi ele alınarak termik santrallerin de ortaya çıkan SO₂ gazının ortadan kaldırılması için sitrat usulüne başvurulması araştırılmıştır. Bu usulün en seçkin neticeleri Taguchi yöntemi ile birlikte bulunmuştur. Hedef sitrat usulünün en verimli neticelerinin ortaya konulabilmesi için 3 farklı başarımla istatistiğinin optimizasyonudur. Bu çalışma kapsamında L18(2¹³) ortogonal dizini kullanılmıştır ve uygulama neticesinde çevre kirliliği ve maliyetlerde ciddi oranda azalma olacağı öngörülmüştür.

Dovey ve Matthews (1998), yürüttükleri çalışmalarda matkap uçlarının fiziksel buhar biriktirme tekniğine başvurarak titanyum nitrür kaplaması muamelesinde, başarımla istatistiği olarak namevcut bağıntı ele alınmıştır. Uygulanan Taguchi metodu neticesinde, kaplama maliyetlerinde yüzde yirmi beş ölçeğinde bir fazlalaşma olmasına rağmen matkap uçlarının oksitlenmeye karşı olan mukavemetinde yüzde kırklık bir kalite elde edilmiştir.

Montgomery ve Runger (1999), teknik personel için edimsel sayıbilim ve ihtimal kitabında çalışmaların bütün mühendislik ve akademik disiplinlerde uygulanabileceğini ve düzencelerle süreçlerin ne türlü devamlılık gösterdiklerini hayati elemanlar olduğunu belirtmişlerdir.

Karayılmazlar ve Balaban (2000), birden çok ürün tipinin üretildiği işletmelerde üretim planlama problemlerinden birisi olan, optimum ürün bileşiminin belirlenmesi (hangi tip üründen ne kadar üretileceği) problemi için bir doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Orman endüstrisinde bir işletme için kurdukları tamsayılı doğrusal programlama modeli ile işletmenin belli bir dönem için hangi üründen ne miktarda üreteceği ne miktarda satacağı ne miktarda stoklayacağını üretim, satış, stok kısıtları uyarınca, optimum üretim planı ile satışlardan elde edilecek geliri maksimize edecek şekilde belirlemişlerdir.

Goh (2001), DT, ananevi istatistiksel proses kontrol yöntemleri ile kıyasladığı çalışmasında, DT için ilk olarak talim, bilgilenme ve tatbikat kademelerinde mukadder ve cazip verilerin elde edilmesi gerektiğinin altını çizmiştir. Diğer taraftan DT' nin başka teknikler olan Taguchi metodu ve Altı Sigma yöntemi ile karşılaştırmasını da çalışmalarına dahil etmiştir.

Chan ve Spedding (2001), bir imalat sürecindeki nitelik seviyesinin optimizasyonu konusu altındaki çalışmalarında, Altı Sigma kalite seviyesine erişilmesi için DT, cevap yönü ve sinir ağı meta form tutumlarından yararlanılmıştır.

Demir ve Mutlu (2002), yaptığı çalışmalarda tekstil şirketleri boyahanelerinde yıkama süreci devamı ton dönüşümü üzerinde çalışmışlardır. Yapılan mütalaa için DT geliştirmişlerdir. DT üzerinde yapılan çalışmalar çıktı parametresi olarak renk haslığı değerini, girdi parametresi olarak da yumuşatıcı, fiksator, kaynatma ve sabunlama dataları üzerinde çalışmışlardır. Yapılan veri analizi neticesinde faktörlerin renk haslığı üstünde mühim seviyede bir tesirinin olmadığı ortaya konulmuştur.

Baynal (2003), yaptığı çalışmada otomotiv sanayisinin tedarikçisi tarafından imal edilen far kumanda kolu şapkasının baş kısmında ortaya çıkan bombelik ve parlaklığının ortadan kaldırılması için ağırlık ve uzanımının istenilen düzeyde olması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada ürünün ağırlığı, görünümü ve boyutu olmak üzere 3 kalite seviyeli bir problem üzerinde yoğunlaşmıştır. 13

seviyenin başarımlı karakteristiğı üstündeki tesirleri incelenmiş ve optimum faktör-seviye birleşimi tespit edilmeye çalışılmıştır ve pozitif neticeler elde edilmiştir.

Güral (2003), yaptığı çalışmada DT ile iyi bir kaynak dikişinde elde edebilmek maksadıyla sürece tesir eden parametrelerin optimizasyonunu amaçlamıştır. Bu çalışmada çıktı parametresi olarak dikiş üst yüksekliğı, dikiş üst genişliğı ve dikiş alt genişliğı değerleri tartılmıştır. Akım şiddeti, kaynak gerilimi, kaynak hızı ve serbest tel uzunluğı girdi parametreleri olarak incelenmiştir. Yapılan çözümlemeler sonucunda parametre değerleri optimize edilmiştir. Elektrot kullanımında ve enerji tüketiminde bu sayede tasarruf sağlanmıştır. Proses zamanında da azalma sağlandığı için diğer maliyet kalemlerinde de maliyet üstünlüğü elde edilmiştir.

Özdemir ve ark. (2003), yaptığı çalışmada bor üretimi sürecinde ortaya çıkan katı atıkların sebebiyet verdiği çevresel sorunları en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. Bor üretimi dahilinde oluşan katı atık maddelerinden olan boraksın maddesinin su ile katı-sıvı özütlemesi yapılarak geri kazanılması amaçlanmıştır. DT geliştirilmiş olup, girdi değişkenleri olarak katı-sıvı oranı, reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklıkları üzerinde çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda girdi değişkenlerinin geri kazanım için optimum sonuçlara ulaşılmıştır.

Akyalçın ve Kaytakoğlu (2005), yaptıkları çalışmalarda kalorifik seviyesi düşük ve kükürt içeriğı yüksek kömürlerin ülke ekonomisine kazandırılması maksadıyla, termik santrallerde yakılması neticesinde ortaya çıkan ve atmosferi ciddi seviyede kirleten SO₂ gazının ortadan kaldırılmasında kullanılan, geri dönüşüm metotlarından biri olan sitrat süreci üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada Taguchi yöntemi kullanılarak Tribazik Sodyum Sitrat (TSS) çözeltisiyle SO₂ giderimine ait optimum şartlar ele alınmıştır. Yapılan deneyler neticesinde, mevcudat da bulunan süreç için optimum koşulların reaksiyon sıcaklığına, gaz akış hızına ve çözelti derişimine bağımlı olduğu görüşü ortaya atılmıştır.

Baynal ve Terzi (2005) alüminyum kablo üretim sürecinde çekme mukavemeti, iletkenlik ve uzama gibi kalite parametrelerinin arzu edilen düzeyde

elde edilmesini sağlamayı amaçlamıştır. Çalışmada DT tekniği olan Taguchi yöntemine başvurulmuştur. Her faktör için iki seviye belirlenerek, çözüm için L8 dizayn matrisine başvurulmuştur. Kalite iyileştirmesi için regresyon doğruları oluşturulmuş ve en iyi faktör seviye kombinasyonunu elde etmek üzere hedef programlamaya başvurulmuştur. Hedef programlama modelinin sonucunda çalışma için en iyi faktör seviye kombinasyonu belirlenmiştir. Hedef programlama ile daha doğru ve hızlı sonuç alındığı görülmüştür.

Kasman (2009), yaptığı çalışmalarda DT yaklaşımını lazer oyma tekniği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemek adına geliştirmiştir. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü çıktı değişkeni olarak esas alınmıştır. Işın tarama hızı ve güç değerleri ise girdi değişkeni olarak değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerini maksimum kılacak girdi değişkeni değerleri yapılan analizler neticesinde ortaya konulmuştur.

Akman ve Özkan (2011) sac imalatında karşılaşılan yapışma problemine DT yöntemi ile çözüm aramışlardır. Çalışma düşük karbonlu yassı çelik üretimi yapan bir firmada gerçekleştirilmiştir. Üretimde yeni kullanıma alınan bir tavlama fırınında sacların sarım yapıldığında birbirine yapıştığı ve dolayısıyla ürünlerin çeşitli deformasyonlara maruz kaldığı görülmüştür. Kalite hataları ve dolayısıyla hurdalar oluştuğu gözlemlenmiştir. Problemi azaltmak veya tamamıyla ortadan kaldırmak için süreçler incelenerek problemin oluşmasına neden olan üç adet faktör tespit edilmiştir. Sonuç olarak en uygun üretim parametrelerini elde etmek üzere kalite, süreç ve tasarım gibi birçok alanda kullanılan DT yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmada parametreler ayrı ayrı ve ikili etkileşimler şeklinde incelenmiştir. Üç faktörden ikisinin anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Parametreler etkileşim olmadan ayrı incelendiğinde R^2 değerinin yaklaşık 82% olduğu görülmüştür. İkili etkileşimler çoklu regresyon modeline dahil edildiğinde R^2 değerinin yaklaşık 98% olduğu görülmüştür. Ancak Anova analizi sonuçları dikkate alındığında ikili etkileşimlerin dahil edildiği modelde R^2 değerinin daha yüksek olmasına rağmen p-anlamlılık değerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

İkili etkileşimlerin istatistiksel olarak kayda değer olmadığı görülmüştür. Bu yüzden ikili etkileşimler oluşturulan regresyon denkleminde dahil edilmemiştir. Bu kaynak bu tür çalışmalarda sadece determinasyon katsayısını kullanmanın yeterli olmadığını anlamımıza yardımcı olmaktadır.

2.2. Hedef Programlama

Bu bölümde hedef programlamayla ilgili son yıllarda yapılan bazı çalışmalar bir araya getirilmiştir.

Eminkahyagil (1997), en küçük ortalama mutlak sapmayı kullanarak çok değişkenli çoklu regresyon modelini hedef programlama modeli olarak modellemiştir.

Ali, Blanco ve Buclatin (1998), mutlak öncelikli hedef ağ programlama problemlerinin çözümü için özel bir ağ süreci üzerinde çalışmışlardır. Hedef ağ programlama problemlerinin özel çözümleri için ağ simpleks yönteminin kurallarında değişiklik yapılması gerektiği gösterilmiştir. Uygulama olarak deniz kuvvetlerindeki personelin işlere atanması problemi incelenmiştir. Powell ve Premachandra (1998), doğrusal olmayan hedef programlama modeline göre portföy seçimi üzerinde çalışmışlardır. Çeşitli yardım kurumlarının yatırım kararlarında portföy müdürlerinin karşılaştıkları çelişen yatırım amaçları, risk ve hedef kısıtları, kurum sorumlulukları, fon yöneticilerinin kısıtları, kurumdaki para akışı ve ihtiyaçlar düşünülerek en iyi portföy seçimi yapılmıştır.

Bal (1999), doğrusal hedef programlama modelini kullanarak basit ve etkili bir alternatif üçlü sınıflandırmanın yapılabileceğini göstermiştir. Çalışmada gelişmişlik düzeyi gelişmiş, gelişmekte olan ve gelişmemiş ülke bakımından gruplanan onar ülke rasgele alınmıştır. Üç gruplu sınıflandırma problemi hedef programlamaya göre tek bir optimizasyon modeli ile ifade edilmiş, sınıflandırma fonksiyonu ve çoklu ayırma değerleri bulunarak ülkelerin uygun gruplara atanması sağlanmıştır.

Caballero, Galache, Gomez, Molina ve Torrico, Malaga üniversitesinde finansal kaynakların etkili bir şekilde tahsis edilmesi üzerine çalışmışlardır. Karar verme sürecinin amacı en önemli öğrenim ihtiyaçlarını karşılamak, araştırma çıktılarını maksimum yapmak ve personelin kalitesini artırmaktır. Araştırmacılar elde edilen sonuçların İspanya'nın diğer üniversitelerinde de uygulanabileceğini belirtmişlerdir (Aouni ve ark., 2001).

Abdelaziz ve Mejri, Tunusdaki bir baraj işletmesi için hedef programlama modeli kurarak Tunusun kuzeyindeki su kaynakları problemleri üzerinde çalışmışlardır. Sulama ve içme suyu talebinin, tuzluluğun ve pompalama fiyatının minimizasyonu hedeflerine ulaşmak için farklı barajlardan, uygun akışların bulunmasına çalışmışlardır. Problemin çözümü için stokastik hedef programlama modelini kullanmışlardır (Aouni ve ark., 2001).

Yamada, Tanino ve Inuiguchi, para piyasalarında portföy optimizasyon problemini çok amaçlı hedef programlama ile çözmüşlerdir. Fon yöneticileri için etkili küme üzerinden tutanak fiyatlarını minimize eden çözümün bulunmasına çalışmışlardır (Aouni ve ark., 2001).

Karsak, Sözer ve Alptekin (2002), kalite fonksiyonunda müşteri memnuniyetinin artması için müşteriye yönelik ürünlerin geliştirilmesi ve yeni ürünlerin yapılması için bir planlama üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında analitik ağ süreci ve 0-1 hedef programlama yöntemlerini kullanmışlardır. Karar yaklaşımının amacı müşteri ihtiyaçlarını ve ürün teknik ihtiyaçlarının birbirine bağımlılığını ve bunların iç bağımlılıklarını göstermektir.

Linares ve Romero (2002), yaptıkları çalışmada hedef programlamayı kullanarak gelecekte elde edilebilecek enerji kapasitesini tahmin etmeye çalışmışlardır. İspanya'da 2020'deki elektrik üretimi için sosyal gruplar tarafından belirlenen amaçları göz önünde bulundurmuşlardır. Sosyal grupların belirledikleri öncelik sırasını dikkate almışlardır.

Lee, Chong, Park (2003), projelerde ortaya çıkan çizimler arası uyumsuzluk sorunlarını hedef programlama yöntemini kullanarak ilk çizim ile son çizim arasında sönüşüm sağlayan basit bir model geliştirmişlerdir.

Ghosh, Sharma ve Mattison (2003), yaptıkları çalışmada hedef programlama yöntemini kullanarak pirinç üretiminde verimliliği arttırmak adına gerekli hammaddelerin uygun karışım oranlarını tespit ederek optimal gübrenin elde edilmesini sağlamışlardır.

Dağdeviren, Akay ve Kurt (2004), yaptıkları çalışmada hedef programlama yöntemini ve iş değerlendirme yöntemlerini inceleyerek, faktör derece puanlarının belirlenmesinde hedef programlama yöntemini kullanabileceklerini göstermişlerdir.

Uçakcıoğlu ve Eren (2017), savunma sanayisi sektöründe özgün ürünler üretmekte olan şirket için en uygun yatırım projesinin seçiminde AHP, VIKOR ve hedef programlama yöntemlerini kullanmışlardır.

Önceki çalışmalara bakıldığında alüminyum kablo üretiminde üretim parametrelerinde dahil edildiği hedef programlama yönteminin de kullanıldığı çalışmalara rastlanılmış ancak yüksek gerilim havai hatlarında kullanılan 6101 serisi alüminyum alaşımlarının üretim süreçlerindeki değerlerinin oransal optimizasyonuna rastlanılmamıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan Materyaller

Alüminyum; periyodik cetvelin III A gurubunda bulunan ve atom numarası 13, atom ağırlığı 26.89 olan +3 değerlikli, yüzey merkezli kübik sıkı istiflenmiş yapıya sahip bir element olan alüminyumun 20°C'taki yoğunluğu 2,7gr/cm³, ergime noktası 659,8°C, kaynama noktası 2450°C, ısınma ısısı 0.224 cal/gr erime ısısı 400 cal/gr, 20°C'taki elektriksel iletkenliği Cu elementinin %65'i, iletkenlik değeri 36–37.7 m/(Ωmm²), ısı genleşme katsayısı 24.10-6 l/grd, ışık yansıtılabilirliği %90 olup, bu özellikler alaşım elementleri ile büyük ölçüde değiştirilebilmektedir (Davis, 1999).

Al, uygulanan ısı işlemlere ve yöne bağlı olarak geniş bir aralıkta değişen özelliklere sahiptir. Haddeleme ve yumuşatma tavlamasından sonra mekanik özellikleri; elastik modülü: 65000- 70000N/mm², çekme mukavemeti: 70–140N/mm, akma dayanımı: 20- 30 N/mm², kopma uzaması: 30-50 %, kopma büzülmesi: 80-95 %, sertlik:15-25 HB30'dır (Demiray, 1998, s. 318-319).

Al'u diğer metallere göre birçok alanda avantajlı kılan en önemli ana özelliklerini; düşük yoğunluk, hafifliğine karşın alaşımlandırılabilirliği, tekrar geri dönüşebilirliği, yüksek korozyon direnci, çekilebilirliği, şekillendirilebilirliği, dövülebilirliği, işlenebilirliği, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği, ışık ve ısı yansıtıcılığı olarak sıralayabiliriz (Su, 1988). Aynı zamanda Al manyetik değildir. Al; hafif, yenilenebilir bir metal olmasından dolayı elektrik sektöründe; iletken tel imalatında, gıda sektöründe; ambalaj ve mutfak eşyası yapımında, inşaat sektöründe, kapı, pencere, doğrama ve dekoratif levha olarak kullanılmaktadır (Su, 1988).

Elektroteknik için kullanılan Saf Al (EAI), Al'dan üretilen dünya çapında en önemli iletken malzemedir. Yapısı ve yarı mamul olarak mekanik dayanım değerleri bakımından uluslararası normlaştırılmıştır (Su, 1988). Malzeme

terkibinde asgari %99,5 Al olması gerekir ve bu husus DIN1712'de normlaştırılmıştır. Alüminyum Birliği'nin (AA)'nın Avrupa'da da önemli olan standartlarına göre, uluslararası kullanılan bu kaidelere göre AA1350 (daha önce EC) sembolü ile gösterilmektedir (Su, 1988).

Magnezyum (Mg); Al-Mg alaşımına yüksek mukavemet, süneklik ve mükemmel korozyon direnci kazandırır. Mg, alüminyumdan daha düşük özgül ağırlığa sahip olduğu için alaşımın özgül ağırlığını düşürür. İşlem alaşımlarında %1-6 oranında Mg şekil verme kolaylığı sağlar. %33 ve %39 Mg alüminyumla ötektik bileşim verir. Formülü Al_3Mg_2 olan bir bileşik oluşturur. Al'un içinde %4-18 erir. Bununla beraber; Cu gibi bu elementte alaşıma ısıtılma işlemi özelliği kazandırır (ASTM Standart, 2003).

Silisyum (Si); boksit cevherlerinde bulunan kuartz ve silis katlı kayalar nedeniyle silisyum, alüminyumda en çok bulunan ikinci empürite elementtir. Keza bakırdan sonra alüminyumda en yaygın kullanılan alaşım elementidir. Alüminyuma, akışkanlık, kaynak kabiliyeti ve yüksek mekanik özellikler kazandırıldığı gibi bazı elementleri ilavesi ile ısıtılma işlemi uygun alaşımlar da yapmak mümkündür. (Köşker, 2011)

Bakır (Cu); alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementidir. Alüminyumun endüstride ilk kullanıldığı yıllarda döküm alaşımı olarak %8 Cu içeren Al -Cu alaşımı kullanılıyordu. Ticari saflıktaki alüminyuma bakır ilavesi ile yapılan bu kum kalıba döküm alaşımı uzun yıllar dökülebilirliğinin zorluğuna rağmen kullanılmıştır. (Köşker, 2011, s. 39-42)

Demir (Fe); "Al" alaşımlarında genelde demire rastlanır, Ticari bileşimdeki alaşımlarda birinci empürite elementtir ve daha düşük yüzdelere indirilmeye çalışılmaktadır. (Köşker, 2011)

Titanyum (Ti); genellikle primer alüminyumda empürite halinde vardır ve cevherden gelir. Bunun dışında döküm alaşımlarında tane küçültücü olarak kullanılır. Titanyum, "Al-%5 Ti" ön alaşımı şeklinde ilave edilir. (Köşker, 2011)

Bor (B); Bor, tane küçültücü dolaylı şekilde iletkenliği arttırıcı olarak kullanılır. Tane küçültücü olarak bor, titanyum ile olan kombinasyonundan daha etkili olur. Mesleki tane küçültücüler 1'e 5 oranında titanyum ve bor içerirler. (Tunçer, 2015)

3.1.2. Alınan Veriler

Çalışmanın bu bölümünde Osmaniye ilindeki bir iletken işletmesinin döküm üretim hattından iletken ürünü varyantlarından biri olan 6101 serisi alüminyum alaşım iletkeni ürünü seçilmiş, döküm öncesi ön hazırlık kısmı ele alınmıştır.

2016-2017 yılları arasında toplamda 5 defa deneme üretimi yapılarak gerçek veriler kayıt altına alınmıştır. Aynı zamanda firmanın geçmiş yıllarda kayıt altına aldığı verilerde çalışmaya dahil edilmiştir. 6101 serisi iletkenlerini üretimi sırasında firma istenilen alaşım oranlarını standartlarda (TS 9632 EN 50183'de) yer alan değerlerde elde edebilmek için bir ön hazırlık sürecine yer vermektedir. Toplanan tüm veriler ön hazırlık sürecinde kullanılan değerler göz önüne alınarak kayıt altına alınmıştır. Çalışma toplamda 1 seneye yayılmıştır. Bu süreçte modelin kurulumu ve diğer kısıtlarla ilgili çalışmalara devam edilmiştir.

Bu uygulama iletken sektöründeki farklı çıktı değerleri olan iletkenlik ve mukavemet değerlerinin müşteri talepleri doğrultusunda istenilen değerlerde elde etmek için hem ön hazırlık sürecini en aza indirme hem de maliyeti minimize edebilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

3.1.3. İşletme Üretim Prosesi

Yüksek gerilim havai hatlarda kullanılan 6101 serisi alüminyum alaşım iletkenleri 4 ana işlemten geçmektedir. Sırasıyla döküm prosesi (ergitme ve alaşımlandırma), tel çekme prosesi, örme prosesi ve ısıl işlem prosesidir.

3.1.3.1. Döküm Prosesi (Ergitme ve Alaşımlandırma)

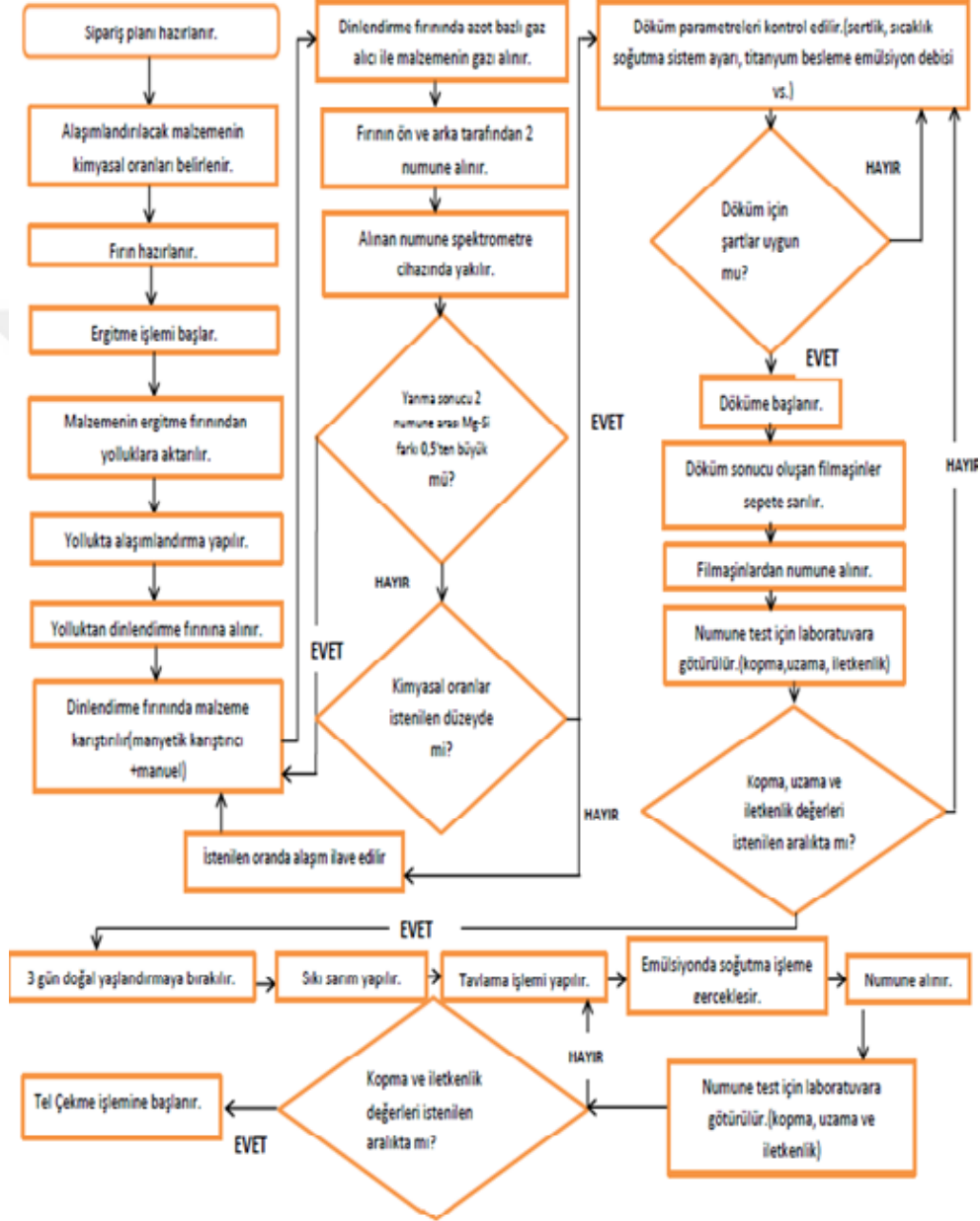
Uygulama tesisinde bulunan sürekli döküm; 1 tane ergitme fırını ve 2 adet dinlendirme fırınından oluşmaktadır. Döküm prosesi sonucunda alüminyum rod (filmaşın) üretilmektedir. Alüminyum rod, daire biçimli, sıcak haddelenerek elde edilmiştir. 9,5 ya da 12 mm çaplarında üretilebilmektedir.



Şekil 3.1. Döküm Prosesi Ergime ve Dinlendirme Fırınları

%99,8 saflıkta yaklaşık 750 kg ağırlığında alüminyum külçeler prosesin ilk adımı olan ergitme fırınında eritilerek sıvı faza dönüştürülür. Daha sonra yolluklar aracılığı ile dinlendirme fırınlarına aktarılır (Şekil 3.1). Dinlendirme fırınları yaklaşık 15'er ton kapasiteli olup 2 adettir ve doğalgaz ile çalışmaktadır. Ergitme ocağından sürekli döküm hattına alınan sıvı metal yaklaşık 690-730 °C civarındadır. Döküm fırınlarında sıvı metalin cürufu alınır. Alaşımlandırma yapılmadan önce kimyasal analiz yapılmak üzere kalıp vasıtası ile sıvı metal alınır ve analiz yapılmak üzere spektrometre cihazına götürülür. Gerekli alaşımlandırma hesapları yapılarak deneme yanılma yöntemi ile istenilen kimyasal oran bulmaya çalışılır. İstenilen oran bulunduktan sonra döküm işlemine başlanmaktadır. Döküm prosesinde bakır dış zarflı döküm tekerleği ve dışında bulunan kanal vasıtası ile soğutma suyu püskürttürülerek yaklaşık 500°C sıcaklıkta alüminyum bara elde edilir. Daha sonra döküm makinası ile senkronize çalışan haddeleme makinasında 9.5 mm veya 12 mm çaplı alüminyum filmaşın sekline dönüştürülür. Filmaşın çıkış sıcaklığı 180- 220°C'dir. Filmaşın müteakiben ve sürekli olarak deveboynu denilen

bir aktarma kısmı ile filmaşın sepetlerine istiflenir. Şekil 3.2 ‘de ayrıntılı iş akış şemasında belirtilmiştir.



Şekil 3.2.Döküm Prosesi İş Akış Şeması

Aşağıda döküm prosesinin detayları yer almaktadır. Şekil 3.3 'de döküm prosesine ait bakır teker soğutma ünitesi, Şekil 3.4. 'de döküm prosesi haddeleme ünitesi, Şekil 3.5 de ise döküm prosesi sepet ünitesi yer almaktadır.



Şekil 3.3. Döküm Prosesi Bakır Teker Soğutma Ünitesi



Şekil 3.4. Döküm Prosesi Haddeleme Ünitesi



Şekil 3.5. Döküm Prosesi Sepet Ünitesi

3.1.3.2. Tel Çekme Prosesi

Tel çekme prosesin de filmaşın haline gelen alüminyum aşama aşama inceltilerek belirli kalınlıklarda alüminyum tellere dönüştürülür. Tel Çekme prosesi; 9,5, 12 mm çaplı alüminyum filmaşınların matris (hadde) içinden geçirilerek belirli standartlardaki ölçülere gelerek örme prosesine hazırlandığı kısımdır. Şekil 3.6 ‘da tel çekme prosesinin başlangıç kısmı görülmektedir.

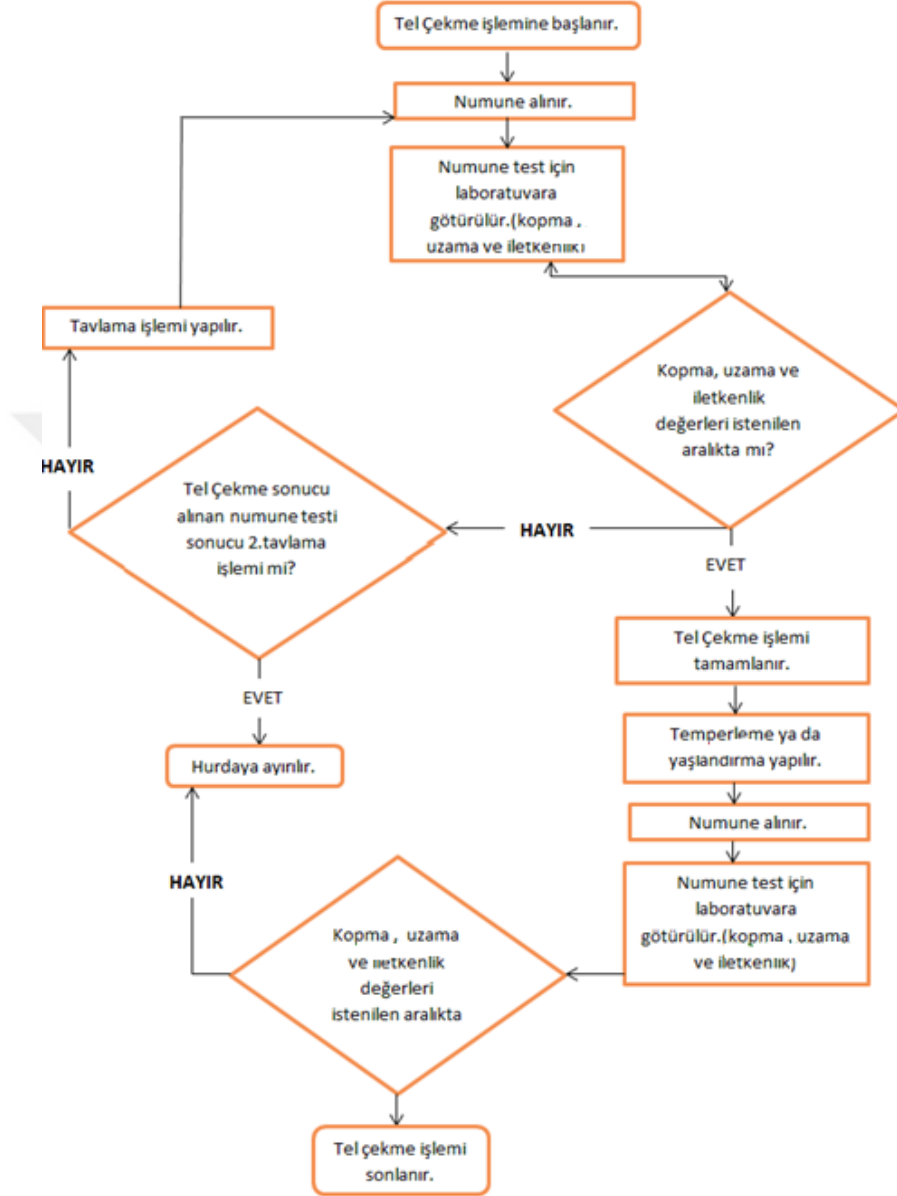


Şekil 3.6. Tel Çekme Prosesi

Tel kesitleri genelde daireseldir. Döküm prosesi sonunda ortaya çıkan 9,5 veya 12 mm çaplı alüminyum filmaşınlar tel çekme makinelerinde tel çekme yağı ile soğuk çekilerek 1,50- 5 mm çaplarında tel haline getirilmektedirler.

Tel çekme yağları yüksek sıcaklıklarda olursa hadde sarabilir. Bu nedenle düşük sıcaklıklarda (40-50°C) tutulması gerekmektedir. Tel çekme yağının görevi sürtünmeyi azaltmak ve şekillendirmeyi kolaylaştırmaktır. Tel çekme yağını düşük sıcaklıklarda tutmak için soğutma eşanjörü kullanılmaktadır. Şekil 3.7 'da tel çekme prosesine ait iş akış şeması bulunmaktadır.

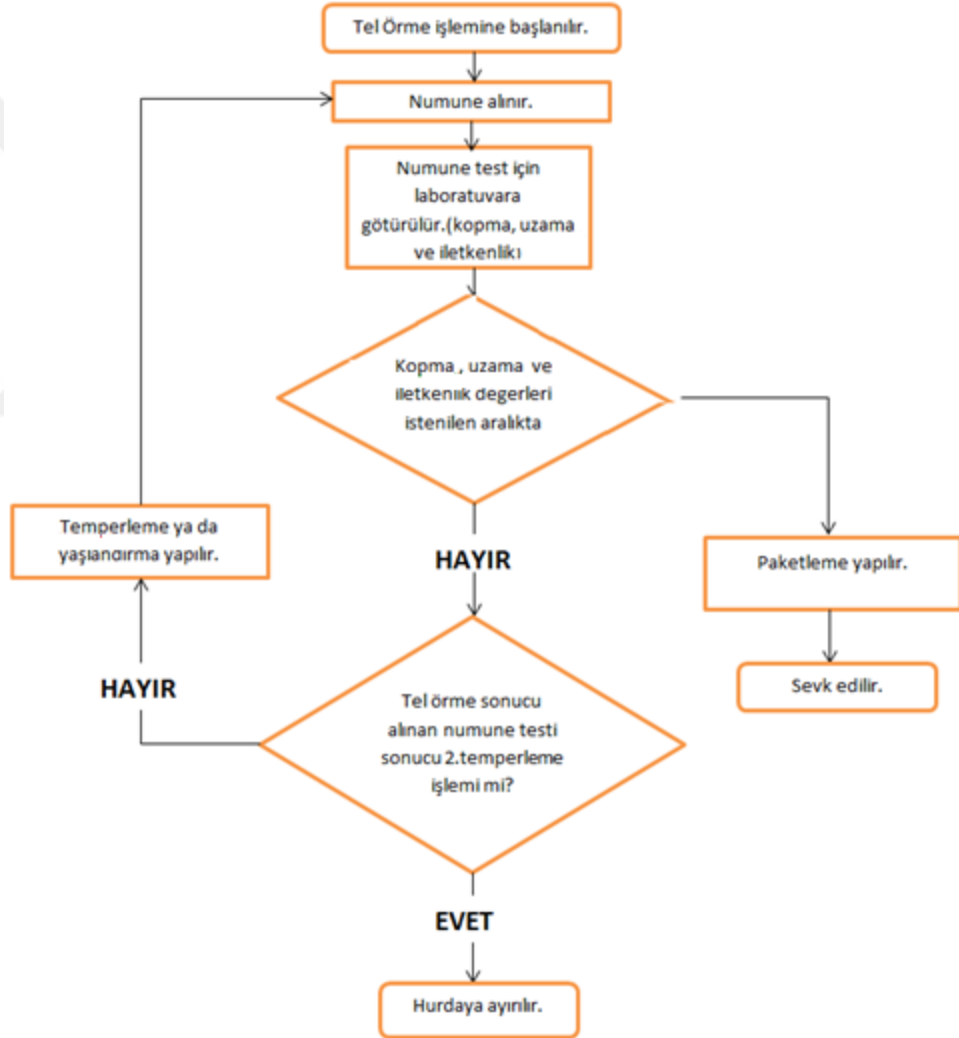




Şekil 3.7. Tel Çekme Prosesi İş Akış Şeması

3.1.3.3. Örme Prosesi

Tel çekme prosesi sonucunda ortaya çıkan alüminyum teller örme makinalarında istenilen katmana göre sarılır. İletkenlerde ihtiyaç duyulan esnekliği kazandırmak adına; askı ve gergi kısımlarında ortaya çıkan sarsıntılar nedeniyle kopma noktasına gelmesinin önüne geçmek adına sarmal biçimde birbiri üstüne geçilerek imalatı yapılmaktadır. Şekil 3.8’de örme prosesine ait iş akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.8. Örme Prosesi İş Akış Şeması

Örgülü iletkenlerde üst üste binen biçimler birbirine ters yönde sarılmasının sebebi burulmalarda tellerin birbirinden uzaklaşmaması, boşluk oluşmaması ve ters tarafta meydana gelen manyetik alanın birbirini ortadan kaldırmasıdır. Şekil 3.9 'da örme süreci ünite resmi yer almaktadır.



Şekil 3.9. Örme Prosesi

3.1.4. Kullanılan Yazılımlar

Çalışma kapsamında iletkenlik, mukavemet değerlerinin karışım oranlarına bağlı regresyon analizi SPSS 15.0 for Windows Evaluation Version'da hesaplanmıştır. Elde edilen model matematiksel modelin kurulmasında kullanılmıştır.

Elde edilen matematiksel modelin çözümü için bir optimizasyon programı olan Lingo 17.0 paket program kullanılmıştır. LINGO, LINDO Sistem Inc. Şirketi tarafından üretilmiş, doğrusal, tamsayılı ve doğrusal olmayan matematiksel modelleri çözebilen, duyarlılık analizi yapan bir en iyileme yazılımı ve modelleme dilidir (LINGO Kullanım Kılavuzu, 2003).

3.2. Metot

3.2.1. Deney Tasarımı

Herhangi bir deneyde araştırmacının amacı kesin çıkarsamalarda bulunmak ya da üzerinde çalışılan konuya ilişkin bazı hipotezler hakkında karar vermektir.

Herhangi bir kararda kişi, kararı az sayıda veriye dayandığında, kararın yanlış olabileceği riskini göze almalıdır. İstatistiksel yöntemler deney yapımında kullanıldığında, kişi belirli bir karar verirken, göze alınacak riskin büyüklüğünü belirleyebilir (Hicks 1994).

Karar verme, istatistiksel yöntemlerin kullanımına dayandığında her zaman veri toplamayı gerektirir. Bir deneyin düzenlenmesi, basit olarak deneyde izlenecek sıra (yol, düzen) olarak tanımlanır. Deneysel düzenler veri toplamadaki deneysel hatayı azaltmaya yardım ederler (Hicks 1994).

Deney çözülecek problemin tanımını içerir. Üzerinde çalışılacak bağımlı değişken ya da değişkenlerin seçimi de yapılmalıdır. Bağımlı ya da yanıt değişkenine etki edecek bağımsız değişkenlerin ya da etkenlerin tanımlanması gereklidir. Deneyde izlenecek sıranın rasgele olması önemlidir. Test için rasgele sıra, zaman içindeki değişimin etkisini kaldırmayı amaçlamaktadır. Rasgeleleştirme aynı zamanda araştırmacıya ölçüm hataları bağımsızmış gibi düşünme olanağı sağlar. Deney üzerinde ve rasgeleleştirme süreci üzerinde karara varıldıktan sonra deneyi tanımlayan bir matematiksel model kurulabilir (Hicks 1994).

Son adım olan çözümleme, veri toplama işlemini, deneyin çeşitli durumları hakkında karar vermede kullanılacak test istatistiklerinin hesaplanmasını ve matematiksel model hakkındaki hipotezleri test etmek için bunlara karşılık gelen karar kurallarını içerir (Hicks 1994).

Uygulama yapılan işletme prosesine ait fırın, yaklaşık 15 tonluk bir kapasiteye sahiptir. Yüksek tonajlarda üretim yapılmasından dolayı uygulamada herhangi bir alışım değerlerinin değiştirilmesi oldukça meşakkatli bir durumdur. Bu da maliyet artışına neden olmakta ve firmaya istemediği olumsuzluklar içinde bırakmaktadır. Bundan dolayı öncelikle firmada mevcut alışım oranlarıyla yapılan farklı üretim alışım bilgileri elde edilmiş ve bu bilgiler ışığında güvenilir formüller (mukavemet ve iletkenlik için) elde edilmeye çalışılmıştır. Var olan istatistiki datalarla çalışmak en doğru sonucu verecektir. Deneme üretimlerinden elde edilen

verilerle regresyon ile çözüm yoluna gidilmiştir. Maliyetli bulunmasından dolayı DT uygulanmamıştır.

3.2.2 Regresyon Analizi

Regresyon analizi, aralarında ilişki olan iki ya da daha fazla değişkenden birinin bağımlı değişken, diğerlerinin bağımsız değişkenler olarak ayrımı ile aralarındaki ilişkinin matematiksel eşitlik ile açıklanması sürecini anlatır (Büyüköztürk, 2012, s. 91). Regresyon analizinde, bağımlı değişken bir, bağımsız değişken bir ise, yöntemine Basit Regresyon Analizi, bağımlı değişken bir, bağımsız değişken iki ya da daha fazla ise Çoklu Regresyon Analizi, bağımlı değişken iki ya da daha fazla ise Çok Değişkenli Regresyon Analizi denir (Büyüköztürk, 2012, s. 91).

Çoklu doğrusal regresyonun, çoklu bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken ($\hat{Y}$) arasındaki ilişkinin doğrusal kombinasyon ile belirlenen değerlerinin bağımlı değişkeni üzerindeki tahmin etkisine dayalı bir analiz olduğunu belirtmektedirler. (Green ve ark., 2008, s. 285) Çoklu regresyon modelinde, tek bir bağımlı değişken ile iki veya daha çok sayıda bağımsız (açıklayıcı) değişken arasındaki ilişki araştırılmaktadır (Albayrak, 2006, s. 225). Y bağımlı değişken ve $X_1, X_2, \dots, X_p$ bağımsız değişkenler olmak üzere değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisini matematiksel bir model olarak ortaya koyan yöntemine çoklu regresyon analizi adı verilir. (Özdamar, 2002)

Çoklu regresyon analizi, bağımlı değişkenle ilişkili olan iki ya da daha çok bağımsız değişkene (yordayıcı değişkenlere) dayalı olarak, bağımlı değişkenin tahmin edilmesine yönelik bir analiz türüdür. Çoklu regresyon analizi, yordayıcı değişkenler tarafından bağımlı değişkende açıklanan toplam varyansın yorumlanmasına, açıklanan varyansın istatistiksel anlamlılığına, yordayıcı değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlılığına ve yordayıcı değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki ilişkinin yönüne ilişkin yorum yapma olanağı verir.

Çoklu doğrusal regresyon analizi için matematiksel model, n tane yordayıcı değişken için 3.1'deki gibi yazılabilmektedir.

$$\hat{Y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (3.1)$$

Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki ortak etkisi R^2 ile incelenir. Bu değer tüm değişkenlerin birlikte Y'de açıkladıkları varyans oranını verir. Çoklu regresyon analizinde eğimler (b_i), diğer değişkenler sabit tutulduğunda o bağımsız değişkendeki birim artışa karşılık bağımlı değişkendeki değişim miktarını gösterir ve kısmi eğim ya da kısmi regresyon katsayısı olarak da isimlendirilir. Çoklu doğrusal regresyon analizi, en az aralık ölçeğinde ölçülen sürekli değişkenleri gerektirir (Büyüköztürk, 2012, s. 98).

Regresyon analizleri istatistiksel paket progamlarda hızlı bir şekilde hesaplanmaktadır.

3.2.3. Hata Hesaplama Kavramı

Bir uygulama için toplanan veriler türlü deney ve ölçümlerle elde edilmektedir. Deneyin yapıldığı koşul veya rejim kaynaklı hatalar elde edilen verinin hatalı olmasına sebep olmaktadır.

Sayısal yöntemler analitik çözümlerden farklı olarak belli bir hata payı içerirler. Bunun yanı sıra giriş verisi de bir miktar hatalı olabilir.

Mutlak Hata; eşitlik 3.16 'de ki gibi analitik olarak bilinen ve doğru değer olarak kabul edilen bir sonuç ile sayısal yöntemler ile elde edilmiş sonucun arasındaki farkın mutlak değeridir.

$$\epsilon_m = |y_g - y_y| \quad (3.2)$$

ϵ_m : Mutlak Hata,

y_g : Gerçek Değer,

y_y : Yaklaşık Değer olarak ifade edilmektedir.

Bağıl Hata, gerçek değere ne kadar yaklaşıldığının oransal gösteren bir hata çeşididir. Çoğu problemde bağıl hata mutlak hatadan daha fazla anlam ifade etmektedir. Eşitlik 3.3'de formüle edilmiştir.

$$\epsilon_b = \frac{|y_g - y_y|}{|y_g|} \quad (3.3)$$

ϵ_b : Bağıl Hata şeklinde ifade edilmektedir.

Bağıl hata 100 ile çarpılarak % bağıl hata olarak kullanılabilir. (Karabük Üniversitesi, 2019) Üzerinde çalışma yaptığımız 20 adet veri ekler kısmında belirtilmiştir.

3.2.4. Doğrusal Programlama

Doğrusal programlamanın(DP) temel konusu, sınırlı kaynakların yarışan faaliyetler arasında en iyi (optimal) biçimde dağıtımını sağlanması problemi ile ilgilidir. Bu bağlamda, doğrusal programlama optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan matematiksel bir çözüm olmaktadır. (Öztürk, 2005, s. 35)

Doğrusal programlama kavram olarak ilk kez 2. Dünya Savaşı sırasında A. N. Kolmogorov tarafından geliştirilmiştir. Doğrusal programlama başlangıçta askeri amaçla kullanılmıştır. Daha sonraları yaşanan gelişmelerle beraber, endüstride de kullanılmıştır ve kullanılmaya devam etmektedir. Doğrusal programlama ile ilgili ilk uygulama 1945 yılında Stigler tarafından geliştirilmiş olan diyet problemidir. Daha sonra 1947 yılında, George Bernard Dantzig tarafından geliştirilen simpleks yöntemi, doğrusal programlama konusundaki önemli bir gelişmedir (Timör, 2001).

Doğrusal programlama, yöneylem araştırmasında yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Kara, 2000). Doğrusal programlama, bir amacın gerçekleşmesini etkileyen bazı faktörlerin bulunması durumunda ve bu faktörlerin kısıt olarak, doğrusal eşitlik veya eşitsizlik olarak ifade edildiği durumda hedefe en iyi (optimum) şekilde ulaşmayı sağlayan matematiksel bir yöntemdir (Tulunay, 1980).

Herhangi bir yöneylem araştırması probleminde olduğu gibi doğrusal programlama modelinin üç temel bileşeni bulunmaktadır. Bunlar:

1. Amaç Fonksiyonu
2. Kısıtlayıcı Fonksiyonlar
3. Pozitif Kısıtlamadır (Esin, 2003).

Bir doğrusal programlama probleminde, modelden beklenen sonucun elde edilmesi için ulaşılmak istenen amacın net bir şekilde biliniyor olması ve nicel olarak yazılması gereklidir. Genel olarak amaç ya karın maksimum yapılması ya da maliyetin minimum yapılması olarak karşımıza çıkmaktadır. Karar değişkenleri 3.4'deki gibi gösterilirse, kar veya maliyet sabit katsayıları 3.5 formülü ile gösterilirse, amaç fonksiyonu: max veya min ; 3.6 olarak ifade edilir (Öztürk, 2002). Üretim kapasitesi ve olanakları sınırlı olduğundan dolayı, kısıtlayıcı fonksiyonlar 3.7, 3.8 şeklinde ifade edilir:

$$x_1, x_2, \dots, x_n \quad (3.4)$$

$$c_1, c_2, \dots, c_n \quad (3.5)$$

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (3.6)$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n (\leq = \geq) b_1 \quad (3.7)$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n (\leq = \geq) b_2 \quad (3.8)$$

Kısıtlar 3.9 şeklinde ifade edilmektedir.

$$am_1x_1 + am_2x_2 + \dots + am_nx_n (\leq = \geq) b_m \quad (3.9)$$

Matematiksel model 3.10 şeklinde gösterilebilmektedir.

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.10)$$

İşletmenin elinde bulunan kaynak miktarlarını, $b_1, b_2, \dots, b_m$ ile gösterilmektedir. A_{ij} üretimin teknik katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Bu kaynaktan üretilecek olan her bir ürüne ayrılacak olan miktarı a_{ij} ile ifade edilir. A_{ij} ifadesiyle bir birim j ürünü üretmek için i kaynağından kullanılacak olan miktardır (Srinath, 1983).

Gerçek hayatta bir işletme için, doğrusal programlama probleminde yer alan faaliyetlerin bir anlam ifade edebilmesi için negatif değer almaması gerekmektedir. Çünkü bir üretim faaliyeti gerçekleşiyorsa pozitif, gerçekleşmiyorsa bu değer sıfır olur. Negatif değer alamaz. Bu yüzden bir doğrusal programlama probleminde yer alan karar değişkenleri pozitif kısıtlamaya sahiptirler (Öztürk, 2002).

Pozitif kısıtlama mantıksal yapı olarak da anlamlı bir durumdur. Örnek olarak x_1 karar değişkeni, televizyon üretimini temsil ediyorsa bunun negatif bir değer alması anlamsız olacaktır. Bu yüzden doğrusal programlama probleminde pozitif kısıtlama 3.11 formülündeki gibi kullanılır (Sarıaslan, 2000).

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \quad (3.11)$$

Matematiksel modeldeki kullanılan ifadeler aşağıdaki şekilde açıklanabilir (Esin, 2003):

Z : Maksimum veya minimum değer alması sağlanacak olan amaç fonksiyonunu temsil etmektedir (Esin, 2003).

C_j : Amaca bağlı olarak kar veya maliyeti temsil eden elemanlardan oluşmuş satır vektörüdür (Esin, 2003).

x_j : Değişkenleri temsil etmektedir (Esin, 2003).

a_{ij} : Ürünlerin seçenekli üretim yolları veya teknoloji katsayıları

Bir sistemde bileşenlerin simge olarak ifade edilip, bu bileşenlerin birbiriyle olan ilişkilerinin fonksiyonlarla ifade edilmesine matematiksel model denir. Sistem içerisinde bulunan ve yöneticinin (karar vericinin) kontrol edebildiği değişkenlere karar değişkeni, sistemi etkileyen fakat karar vericinin (yönetici) kontrolünde olmayan değişkenlere parametre denir. Problemde ifade edilmiş olan amaca ulaşmak için karar değişkenlerine verilecek olan değeri tespit etmek amacıyla oluşturulan matematiksel modellere karar modeli denir. Model içerisindeki karar değişkenleri ve parametreler arasındaki zorunlu ilişkilere kısıtlar denir (Kara, 2000).

Bir doğrusal programlama modeli oluşturulurken, ilk adım karar değişkenlerinin açık bir şekilde tanımlanmasıdır. Daha sonra bu karar değişkenleri; amaç fonksiyonu ve kısıtlarda yerlerine konularak bu bileşenler elde edilir. Bu şekilde bir doğrusal programlama modeli kurulmuş olacaktır (Taha, 2007).

3.2.2.1. Doğrusal Programlamada Modelin Oluşturulması Süreci

Doğrusal programlama modeli bir Yöneylem Araştırması problemi olarak düşünüldüğünde üç temel elemanı olacaktır:

1. Belirlenen karar değişkenleri
2. Optimum kılacağımız amaç (hedef)

3. İçinde bulunduğumuz kısıtlar

Model geliştirmede ilk adım karar değişkenlerinin açıkça tanımlanmasıdır. Karar değişkenleri tanımlandıktan sonra, bundan yararlanılarak amaç fonksiyonu oluşturulur. Modelin son aşaması ise içinde bulunulan duruma ait kısıtlardır. Modelde bulunmayan ve değişkenlerin negatif değer alamayacağını ifade eden bir başka kısıt daha vardır. Bu negatif olmama koşulunu sağlayan kısıttır ve işaret kısıtı olarak adlandırılır (Taha, 2007)

Stevenson'a (1996) göre ise bir doğrusal programlama modeli yapısında dört unsuru bulundurur:

- Amaç,
- Karar değişkenleri,
- Kısıtlar,
- Parametreler.

Amaç fonksiyonu, yönetimin ulaşmak istediği hedefin matematiksel ifadesidir. Bu ifadede, karar vericinin kontrolü altındaki parametrelerin, yani, karar değişkenlerinin amaç üzerindeki etkilerinin analitik olarak gösterimi sağlanır. Amaç fonksiyonu negatif olmayan karar değişkenlerinden oluşur. Çünkü karar değişkenleri, bir malın üretilmesi, bir aracın yaptığı sefer sayısı, bir işin yapılmasında kullanılacak işgücü, bir reklam aracının kullanılması gibi unsurları temsil etmek için modelde yer alır ve bu unsurların da negatif olması düşünülemez (Büyükkeklik, 2007).

Problemi şekillendiren koşullar da kısıtlar setini oluşturur. Amaç fonksiyonunda olduğu gibi kısıtlar seti de matematiksel denklemler şeklindedir. Bu denklemlerde eşitliklerin bulunması tanımlanan kaynakların tümüyle kullanılacağını gösterirken; eşitsizliklerin bulunması kaynak kullanımlarının

koşullu olduğunu gösterir (Çınar, 1990). Eğer tüm sınırlar eşitlik biçiminde ifade edildiyse en iyi çözüm tek bir noktada oluşur (denklemlerin kesim noktası), tam tersi olarak tüm sınırlar eşitsizlik şeklindeyse sonsuz sayıda olası çözüm vardır, ancak, amaç fonksiyonunun tek bir en iyi (optimum) değeri vardır.

Doğrusal programlama, sınırlı kaynakların alternatifler arasında dağıtılması problemi ile ilgilendiğinden negatif faaliyetler veya negatif kaynak kullanımından söz etmek mümkün değildir. Doğrusal programlama modellerinin son kısmı da karar değişkenlerin negatif olmamalarını sağlayan sınırdan oluşmaktadır (Büyükkelik, 2007).

Herhangi bir problemin doğrusal programlama problemi olabilmesi için bazı koşulları sağlaması gerekir (Cinemre, 2011).

- 1) Karar vericinin ulaşmak istediği bir amacı olmalıdır.
- 2) İçlerinden en az bir tanesi amacı gerçekleştirecek olan alternatif stratejiler bulunmalıdır.
- 3) Kaynaklar sınırlı olmalıdır.
- 4) Amaç matematiksel olarak açıklanabilmeli ve kullanılan kaynakların sınırları eşitlik ve eşitsizlikler biçiminde gösterilmelidir. Bu eşitlik veya eşitsizliklerin hepsi doğrusal olmalıdır.

Bu koşullar sağlandıktan sonra problem matematiksel olarak ifade edilebilir. Diğer sayısal karar verme yöntemlerinin hepsinde olduğu gibi doğrusal programlama modellerinin kurulması da problemin tanımlanması ile başlar. Tanımlanan problem bulunduğu sistem içerisinde gözlemlenerek, probleme etki eden parametreler belirlenir. Bu parametreler kullanılarak problemin amaç fonksiyonu ve kısıtlar setinden oluşan doğrusal programlama modeli kurulmuş olur. Bu modelin çözülmesiyle, tüm sınır şartlarını sağlayan ve amaç fonksiyonunun değerini de optimum yapan karar değişkenlerinin değerleri elde edilir.

Doğrusal programlama modellerinin temel kurulum aşamaları ve bu aşamalarda yerine getirilen faaliyetler aşağıda verilmiştir:

1. Problemin belirlenmesi: Bu aşamada çalışmaya konu olan, karar vericiler, karar vericinin amaçları, karar değişkenleri, parametreler, sınır şartları gibi temel faktörler belirlenir.

Karar değişkenleri, problemi etkileyen kontrol edilebilir değişkenlerdir. Karar verici tarafından karar değişkenlerinin; kavramsal tanımları (üretilen ürünler, kullanılacak makineler, çalıştırılacak işçiler, kullanılacak hammaddeler vb.) yapıldıktan sonra bunlar X_i , $i=1,2,3,...,n$ şeklinde simgelerle gösterilir.

Sistemde kontrol edilemeyen değişkenlere ise parametre denir. Parametreler, belirli koşullarda karar vericinin kontrolü dışında belirli değerler alabilirler. Bir doğrusal programlama modelindeki parametreler: makine kapasitesi, insan gücü kapasitesi, birim başına maliyet, bir hammaddenin ürüne dönüşüm oranı, kanuni zorunluluklar, azami ve asgari sınırlar vb. olabilir. Parametreler de c_j , $j=1,2,3,...,n$ şeklinde simgelerle gösterilir.

Kurulacak doğrusal programlama modelinin çözüm getirmek istediği problemin içinde bulunduğu sistem veya çevre sistemlerden kaynaklanan sınırlayıcı koşullara kısıtlar (sınırlar) denir. Bir anlamda kısıtlar, problemin dayandığı karar ortamında, karar değişkenlerini ve bunlarla parametreler arasındaki ilişkileri etkileyen koşullardır. Sınırlar kullanılan kaynaklardan (malzeme, para, makine, işgücü), çevre sistemlerden (devlet, toplum, müşteriler, rakipler gibi), karar vericinin amaçlarından ve karar değişkenleri arasındaki zorunlu ilişkilerden (montaj hattı iş sıralaması, iş akışı, işlem zamanı gibi) meydana gelebilir.

2. Modelin Geliştirilmesi: Problem belirlendikten sonra problemi en iyi şekilde temsil edecek doğrusal bir matematiksel modelin kurulması gerekir. Model gerçeğin basitleştirilmiş bir gösterimidir.

3. Modelin Çözümü: Model geliştirildikten sonra modelin çözümlenmesi ve bilinmeyen değişkenlerinin hesaplanması gerekir. Doğrusal programlama modellerinin çözümünde grafik yöntemi ve simpleks yöntemi kullanılmaktadır. Ancak günümüzde bilgisayar programlarındaki ilerlemelerle beraber, kurulan çok karmaşık modeller bile çeşitli paket programlar yardımıyla kısa sürede çözülebilmektedir.
4. Modelin Çözüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi: Modelin çözümü sonucunda ulaşılan karar değişkenlerinin değerleri ile beklenen değerler karşılaştırılır. Bunun sonucunda modelin sistemi hangi ölçüde temsil ettiği, model kapsamına alınmış gereksiz değişkenler, ulaşılmak istenen amaçların tutarlılığı ortaya konulmaya çalışılır. Belirlenen hata veya eksiklikler karar modeli üzerinde düzeltilir ve model tekrar çözümlenir.
5. Çözümün Uygulanması: Bu aşama, elde edilen sonuçların karar verici tarafından uygulanmasıdır (Büyükkelik, 2007).

3.2.5. Hedef Programlama

Bu başlık altında hedef programlama yöntemi öncelikle kavramsal olarak açıklanmaktadır. Yöntemin temel varsayımları, prensipleri ve genel matematiksel gösterimi anlatılmaktadır. Daha sonra hedef programlama türleri alt başlıklar altında belirtilmiştir.

3.2.4.1. Hedef Programlama Tanımı

Hedef Programlama (HP), çok kriterli karar verme tekniklerinden biridir. Genel olarak doğrusal programlamanın her hedef için hedef değerlerine ulaşmayı ifade eden birden fazla amaç içerecek şekilde genişletilmiş bir versiyonu olarak görülmektedir. Bir başka deyişle doğrusal programlama hedef programlamanın tek amaçlı özel bir versiyonudur (Arakawa ve ark.,2003).

Doğrusal programlamanın altından kalkamadığı doğası gereği çatışma halinde hedefleri olan durumlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş doğrusal

programlamanın bir uzantı ya da genellemesi olarak düşünülmektedir (Kaliszewski ve ark.,2016, s.42)

Hedef Programlama organizasyonlarda ve toplumda karşılaşılan karar verme problemlerine yönelik olarak tasarlanmış ve oldukça çok kabul görmüş bir çeşit doğrusal programlama modeli olup modelde kısıt şeklinde görev yapan hedef noktalarından hareketle yaşanacak istenmeyen sapmaları tek bir amaç fonksiyonu vasıtasıyla minimize etmeye çalışan, doğrusal programlama tabanlı bir modelleme çeşididir (Spronk,1984, s.58).

3.2.4.2. Hedef Programlama Kavramları

Bu bölümde çok kriterli karar verme ve hedef programlama ile ilgili temel tanımlar ve kavramlar açıklanmaktadır (Jones ve ark.,2010).

Karar Verici(ler): Çok kriterli karar verme ve hedef programlama yazınında karar verici(ler), dikkate alınan karar probleminin ait olduğu kişi(ler), oranizasyon(lar) veya paydaş(lar) anlamındadır.

Karar Değişkeni: Karar değişkeni karar vericinin kontrol ettiği bir faktör olarak tanımlanmaktadır. Karar değişkenleri problemi tam olarak tarif etmekte ve yapılacak kararı oluşturmaktadır. Hedef programlama modelinin amacı, karar vericinin amaç ve kısıtlamalarını en iyi karşılayan noktayı belirlemek için tüm olası karar değişkeni değer kombinasyonlarının (olurlu çözüm alanı olarak bilinir) taranmasıdır.

Kriter: Kriter bir karar probleminde herhangi bir çözümün iyiliğinin ölçülebileceği tek bir ölçüttür. Farklı uygulama alanlarından kaynaklanan pek çok olası kriter vardır. Bu nedenle, birden fazla kritere sahip bir karar problemi, çok kriterli karar verme problemi olarak adlandırılmaktadır.

Sapma Değişkeni: Bir kriter üzerindeki hedef seviye ile belli bir çözümde elde edilen değer arasındaki farkı ölçmektedir. Eğer elde edilen değer hedef seviyenin üzerindeyse pozitif sapma değişkeni ile; eğer elde edilen değer hedef seviyesi altındaysa negatif sapma değişkeni ile ifade edilir.

Kısıt: Olurlu çözümün sağlanması için yerine getirilmesi gereken, karar değişkenleri üzerinde bir sınırlamadır. Bu başarısızlığın otomatik olarak çözümü uygulanamaz kılmayan bir hedef kavramından farklıdır. Bir kısıt, normalde birkaç karar değişkeninin bir fonksiyonudur ve eşitlik veya eşitsizlik olabilmektedir. Hedeflerden sapmalar olsa da çözüm gerçekleştirilebilir, fakat kısıtlardan istenmeyen sapma olması halinde çözüm olursuz halde gelecektir. Bu ayrımı daha netleştirebilmek için literatürde kısıtların “hedef kısıtı” ve “sistem kısıtı” olmak üzere ikiye ayrıldığı görülmektedir.

İşaret Kısıtlaması: Tek bir karar veya sapma değişkeninin, yalnızca kendi aralığı içinde belirli değerleri almak için sınırlayan kısıtlamalardır. En yaygın olanı işaret kısıtlaması olarak bilinen ve değişkenin negatif olmaması ve sürekli olmasını koşul koyan kısıtlamalardır.

Olurlu Çözüm Alanı: Hedef programlama modelindeki tüm kısıtlamaları yerine getiren karar alanındaki çözümler dizisini oluşturur. Bu alandaki herhangi bir çözümün pratikte uygulanabilir olduğu kabul edilmektedir.

Pareto-Etkin Çözüm: Çok amaçlı bir problemde bir çözüm en azından tüm hedeflere göre iyi olan ve en azından bir amaca göre kesinlikle daha iyi olan başka bir çözüm bulunmaması durumunda pareto etkindir. Temel bir karar verme kanununa göre, hiçbir rasyonel karar verici eğer karar probleminde bir pareto etkin çözüm olduğu bilgisine sahipse bilinçli olarak pareto-verimsiz çözümü seçmemektedir.

İdeal Nokta: Çok amaçlı bir optimizasyon sorununun içindeki her bir hedefin, mümkün olan bölgede tek tek optimize edildiğinde optimal değeri aldığı olurlu çözüm alanı içindeki nokta, ideal nokta olarak bilinmektedir.

İdeal Olmayan Nokta: Doğru bir karşılaştırma sağlamak için, en iyi çözüm olmayan noktaların belirlenmesinde kullanılan ideal çözüm alanı içindeki noktalardır.

3.2.4.3. Genel Hedef Programlama Modeli

Hedef programlama modeli aşağıdaki gibi formüle edilmiştir;

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^I P_k (a_{ik}^+ d_i^+ + a_{ik}^- d_i^-) \quad (3.12)$$

Kısıtlayıcılar;

$$\sum_{j=1}^n t_{ij} x_j - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad (3.13)$$

(i=1,2,...,I)

(j=1,2,...,n)

Pozitif Kısıtlayıcılar;

$x_j \geq 0, d_i^- \geq 0, d_i^+ \geq 0$ olarak yazılabilir.

Burada;

P_k : k'inci hedefin önceliği

a_{ik}^+, a_{ik}^- : k önceliğine sahip i'inci hedefe ilişkin negatif ve pozitif sapma değişkenleri

d_i^-, d_i^+ : i'inci hedef ilişkin negatif ve pozitif sapma değişkenleri

t_{ij} : i'inci hedef ve x_j ile ilişkili teknoloji katsayısı

b_i : i'inci hedef düzeyini gösterir.

Bu temel özelliklere ek olarak bazı HP modellerinde karşılaşılabilecek bir özel durum daha vardır. Bu durumda bazı modellerde hedefin tamamının karşılanması yerine g_k ile bir alt sınır hedefi veya üst sınır hedefi tanımlanabilmesidir. Eğer g_k alt sınır hedefi ise;

$$\sum_{j=1}^n t_{jk} x_j \geq g_k \quad (3.14)$$

eşitsizliği kullanılır. Yani hedef g_k 'dan küçük olan tüm sapmalardan mümkün olduğunca sakınılmalıdır. Bu durumda, amaç fonksiyonunda yer alan d_k^+ 'ları çıkartmak gerekir. Çünkü sadece d_k^- sapma değişkeni en küçüklenmek istenmektedir. Ayrıca d_k^+ , d_k^- 'lerin her ikisi de g_k hedefi kısıtlayıcılarında yer alacağından, her iki sapma değişkeni de değer alabilecektir.

Eğer g_k üst hedef sınırı ise;

$$\sum_{j=1}^n t_{jk} x_j \leq g_k \quad (3.15)$$

Burada ise hedef g_k 'dan daha küçük her değer kabul edilebilmesine karşın g_k 'dan daha büyük miktarlardan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Bu amaçla amaç fonksiyonundan d_k^- sapma değişkenini çıkarmak gerekir. Çünkü burada sadece d_k^+ sapma değişkeni küçüklenecektir. Ayrıca d_k^- ve d_k^+ 'lerin her ikisi de g_k hedefi kısıtlayıcılarında yer alacağından, her iki sapma değişkeni de modelin tamamına bağlı olarak değer alabilecektir. Burada hedeften aynı anda iki yönlü sapma olamayacağı için sapma değişkenlerinden birinin değeri otomatik olarak sıfır olacaktır (Öztürk, 2007, s.325-327).

3.2.4.4. Hedef Programlamanın Sınıflandırılması

HP amaç fonksiyonlarına, karar değişkenlerine, modelin yapısına ve katsayıların özelliklerine göre sınıflandırılabilir (Lee, 1972, s.98).

HP sınıflandırmasını modelin yapısına göre; hedef programlama doğrusal ve doğrusal olmayan hedef programlama karar değişkenlerinin değerlerine göre; sürekli değerler alabilen hedef programlama, tamsayılı hedef programlama, 0-1 tamsayılı hedef programlama; katsayıların özelliklerine göre; deterministik, stokastik, bulanık hedef programlama, amaç fonksiyonun yapısına göre; tek hedefli modeller, eşit öncelikli(Ağırlıklı) çok hedefli modeller, ağırlıklı çok hedefli modeller, öncelikli çok hedefli modeller, ağırlıklı (çelişik) öncelikli çok hedefli modeller olarak yapabiliriz.

Biz burada çalışmamıza da konu olan eşit ağırlıklı çok hedefli modeller ile öncelikli çok hedefli modeller anlatılacaktır.

Eşit Öncelikli Çok Hedefli Modeller: Eşit öncelikli çok hedefli bir modelin erişim fonksiyonun yapısı,

$$\text{Min } Z = d_1^+ + d_2^- + d_3^+ + \dots + d_n^- \quad (3.16)$$

biçimindedir.

Probleme ilişkin hedefler eşit önemli ise, istenmeyen sapma değişkenlerin toplamı biçiminde ifade edilen amaç fonksiyonu, minimum kılınmaya çalışılır. Bu biçimdeki amaç fonksiyonunun anlamlı olabilmesi, sapma değişkenlerinin aynı birimde olmasına bağlıdır. Yoksa erişim fonksiyonunun değerinin bir anlamı olmaz. Böylesi durumlarda, erişim fonksiyonunun yorumlanabilmesi için her bir sapma değişkeninin ayrı ayrı ele alınarak yorumlanması gerekir. Bu olumsuz durumdan sakınmak için yapılması gereken işlem, sapma değişkenlerinin ölçü birim farklılığını giderecek her bir değişkene farklı ağırlık verilmesidir (Öztürk, 2007, s.308).

Öncelikli Çok Hedefli Modeller: Öncelikli HP yönteminde, amaç fonksiyonunu oluşturmak için ulaşılmaması istenen hedeflerin hiyerarşik bir yapıda verilmesi gerekir. Karar verici, tercihini kullanarak hedeflerin en önemliden daha az önemliye doğru sıralamasını yapar. Bu sıralama işlemi sayısal veya sözel yapılabilir. Birinci öncelikli hedef, tam olarak gerçekleştirilmeden ikinci öncelikli hedefe, ikinci hedef gerçekleştirilmeden üçüncü öncelikli hedefe geçilmez. Bu durum aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$p_1 \gg p_2 \gg p_3 \gg \dots \gg p_n \quad (3.17)$$

Burada, p_1 hedefi p_2 hedefinden çok daha önemli olduğu belirtilmektedir. Tüm hedefler için aynı koşul geçerlidir. Öncelikli hedef programlamanın amaç fonksiyonu,

$$\text{Min } Z = p_1 d_1^+ + p_2 d_2^- + p_3 d_3^+ + \dots \quad (3.8)$$

biçiminde yazılabilir. Sonuç olarak, hedeflerin tümünde istenilen düzeyde bir doyuma her zaman ulaşamayabilir. Önemli olan, karar vericinin istediği öncelikli hedeflerden başlanarak istenilen doyumlara ulaşmaya çalışılmasıdır. Hedeflerin öncelikleri değiştirilebileceği gibi bu değişikliklerin çözüm üzerindeki etkileri de belirlenebilir (Öztürk, 2007, s.317).

3.2.6. HP ile DP Karşılaştırılması

HP yöntemi, DP yönteminin daha fonksiyonel bir türüdür. HP ile DP yöntemlerinin karşılaştırılmasından elde edilen farklar aşağıda verilmiştir:

- DP modelinde doğrusal bir amaç fonksiyonu optimal yapılmaya çalışılırken, HP modelinin amaç fonksiyonunda hedeflerden sapmalar

minimize edilmeye çalışılır. HP, DP'' dan farklı olarak tek bir amaç yerine, birbiri ile çelişebilen birden çok amaç bulunabilir. Bundan dolayı DP çözüm optimal iken HP da bulunan çözüm en uygun çözümdür.

- DP 'da bütün kısıtlar eşit önemdedir ve hepsi eş zamanlı olarak sağlanmaktadır. HP'da ise kısıtlar belirlenen öncelik sıralarına göre sağlanmaya çalışılır.
- HP'da bulunan pozitif ve negatif sapma değişkenleri, DP 'da bulunan aylak değişkenlere karşılık gelir.
- DP 'da amaç fonksiyonu maksimizasyon veya minimizasyonu şeklinde olabilirken hedef programlamada amaç fonksiyonu sadece minimizasyonu şeklinde olur. HP'da hedefler birer kısıt olarak modele girer. Kaynaklar üzerindeki sınırlamaları yansıtan kısıtlar modele aynen herhangi bir DP modeline katılacağı gibi dâhil edilir.
- DP' da hedef belirlenmez, HP' da ise hedef değerleri gereklidir.
- HP karar verici açısından daha esnek yapıya sahip bir yöntemdir.
- DP ve HP'da bütün değişkenler sıfır ya da sıfırdan büyük değerler almak zorundadır (Doğan, 1995, s.56).



4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Yüksek gerilim havai hat iletkeni üreten bir işletmede yapılan bu çalışma, standart 6101 serisi iletken üretiminde kullanılan gerçek verilerle yapılmıştır.

4.1. Problemin Tanımlanması

Prosesin incelenmesi ile birlikte mukadder olan girdilerin irdelenmesi sağlanarak, problem ortaya konulmuştur. Veriler kayıt altına alınırken, şirket içerisinde önceden yapılmış olan üretim verileri de dikkate alınmıştır. Bu çalışma için de ayrı olarak üretim yapılmış tüm veriler kayıt altına alınmıştır.

İşletme uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda standartlarda yer alan değerleri kısıtlayarak yeni bir aralık oluşturmuştur. İşletme düşük kimyasal değerler için 1,50 mm Al tel ile 2,50 mm Al, arasındaki teller yüksek kimyasal teller için ise 2,50 mm üzeri teller kullanılmaktadır. Düşük ve yüksek kimyasal oranları işletme içerisindeki çalışma şartlarına göre Çizelge 4.1’de belirtildiği gibi sınıflandırılmaktadır. İstenilen çıktıyı elde edebilmek için girdi parametrelerinin bu aralıklara denk getirilebilmesi için uzun bir döküm öncesi sürece maruz kalmaktadırlar.

TS 9632 EN 50183 standardına göre olması gereken değer aralıkları Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. TS 9632 EN 50183’de yer alan değer aralıkları

Element Adı	Değer Aralığı(%kg)
Si:	0,48-0,7
Mg:	0,5-0,7
Fe:	Mak. 0,5
Cu:	Mak. 0,1
Ti:	Mak. 0,03
B:	Mak. 0,06

Üretim sürecinde uygun reçeteyi ve optimum üretim şartlarını sağlamak için, laboratuvar ortamının etkinliğini artırmak, üretim sürecindeki parametrenin hangi oranda hangi etkiyi yaptığını, malzemenin dökümden çıkan sonuçları mikro yapı üzerinden tespit edilmesine bağlı olarak gelişmektedir. Bunun içinde standartlar çerçevesinde, optimum alaşım oranın hesaplanması gerekmektedir.

İşletme içerisinde uygulanan deneme üretimleri neticesinde belirlenen üretimdeki parametreler aşağıda yer almaktadır. Malzeme içerisinde Alüminyum elementi sabit alındığından dolayı girdi parametrelerine dahil edilmemiştir.

Girdi Parametreleri:

- ✓ Si Oranı
- ✓ Mg Oranı
- ✓ Fe Oranı
- ✓ Cu Oranı
- ✓ Ti Oranı
- ✓ Bor Oranı

Çıktı parametreleri:

- ✓ İletkenlik
- ✓ Kopma Mukavemeti

4.2. Modelin Kurulması

Modelin kurulması aşamasında, işletmede var olan kısıtlar göz önünde bulundurularak, maksimum iletkenlik ve mukavemet değerlerini sağlayan matematiksel model doğrusal olarak ifade edilmektedir. İşletmede iletken olarak 6101 serisi alüminyum alaşımlı iletken ürünü için üretime dahil olan alaşım malzemeleri dikkate alınarak, işletmeyi temsil eden model oluşturulmuştur.

4.2.1. Notasyon

Modelimizi oluştururken İletkenlik (IACS) ve mukavemet (MPa) değerleri için gerekli olan tanımlamalar aşağıda belirtilmiştir.

- X_i : karışımdaki alaşım elementi oranı $i=1,2,3..6$;
- a_i : regresyon sonucunda belirlenmiş iletkenlik için i 'inci katsayı değeri ($i=0,1..6$),
- b_i : regresyon sonucunda belirlenmiş mukavemet için i 'inci katsayı değeri,
- l_i : Standartlarda yer alan alaşım alt sınır değeri,
- U_i : Standartlarda yer alan alaşım üst sınır değeri,
- D : Maksimum İletkenlik seviyesi,
- C : İstenilen İletkenlik değeri,
- S : İstenilen Mukavemet değerlerini,
- d_i^+ : Hedeften pozitif sapma miktarı,
- d_i^- : Hedeften negatif sapma miktarını ifade etmektedir.

4.2.2. İletkenlik Değeri İçin Regresyon Analiz Sonuçları

İşletmede uygulanan tüm üretimlerde, elde edilen veriler kayıt altına almaktadır. Bu veriler esas alınarak SPSS programında çoklu regresyon analizi uygulanmıştır.

SPSS paket programının içerisindeki regresyon analizi kısmında Independent(s) penceresine elimizde bulunan üretime konu olan değişken girişi gerçekleştirilir. Bu çalışmada Si, Mg, Fe, Cu, Ti, B değişkenlerinin İletkenlik (IACS) değerine tesirini tespit etmeye çalışacağız. Toplanan 509 verinin ortalaması ve standart sapması aşağıda yer alan Çizelge 4.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Çalışmada Kullanılan Veriler İçin Özet Tablo

Tanımlayıcı İstatistikler					
	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Si	509	0,4	0,51	0,49	0,02159
Mg	509	0,46	0,61	0,5247	0,02115
Fe	509	0,09	0,24	0,129	0,02064
Cu	509	0,007	0,019	0,017094	0,003473
Ti	509	0,0001	0,03	0,003366	0,003507
B	509	0,0001	0,007	0,004093	0,001607
Tav Öncesi Kopma (Mpa)	509	110	217	129,843	28,0588
İletkenlik (IACS)	509	53,8	61,81	59,39	3,09707

Model özeti tablosuna (Çizelge 4.3) bakıldığında bağımsız değişken durumundaki Si, Mg, Fe, Cu, Ti, B değişkenlerinin bağımlı değişken durumundaki İletkenlik (IACS) değerine ne derece şekillendiği R Square sütunundaki değerden bakılarak yorumlanmaktadır. Çizelge 4.3. 'de C iletkenlik değerinin uygulandığı aralıktaki verilerden elde edilen R^2 değeri bağımlı değişken olan talepteki %88'lik değişimin modelde dikkate alınan bağımsız değişkenler olan karışım oranları ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.3. İletkenlik Değeri İçin Model Özet Tablosu

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,939 ^a	,881	,880	1,07306994683 3940
a. Predictors: (Constant), B, Ti , MG, FE, CU, Si				

Regresyon analizi ile elde edilen ve modelin açıklayıcılığını gösteren R^2 değerleri modellerin kullanılabilmesi için yeterli seviyelerdedir. Fakat regresyon analizi sonucunda elde edilen modelleri kabul edebilmek için Anova çizelgesinin de incelenmesi ve yorumlanması gerekmektedir.

Çizelge 4.4. İletkenlik Değeri İçin SPSS ANOVA Tablosu

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	4294,613	6	715,769	621,608	,000 ^b
Residual	578,043	502	1,151		
Total	4872,655	508			
a. Dependent Variable: İLETKENLİK IACS					
b. Predictors: (Constant), B, Tİ , MG, FE, CU, Sİ					

Anova çizelgesi ile modelin tamamının anlamlılığı test edilir. Burada modelin anlamlılığını gösteren F istatistiğinin ve bu değerin anlamlılık düzeyini gösteren Sig. değerinin incelenmesi gerekmektedir. Eğer F değeri anlamlı bulunursa elde edilen modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucu elde edilir. Sig. Değerinin 0.05'ten küçük olması F değerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.4.'da Sig. değerleri 0.05'ten küçüktür. Bu durum modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Regresyon modeli sonucunda alışım aralıklarına göre iletkenlik formüllerinin elde edilebilmesi için katsayılar çizelgesi incelenir.

Çizelge 4.5. İletkenlik Değeri İçin Katsayılar Tablosu

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	44,242	1,619		27,333	,000
Si	51,785	4,359	,361	11,879	,000
MG	-26,722	3,731	-,183	-7,163	,000
FE	-17,954	3,022	-,120	-5,940	,000
CU	190,754	25,663	,214	7,433	,000
Ti	-34,042	13,823	-,039	-2,463	,014
B	726,430	48,137	,377	15,091	,000

a. Dependent Variable: İLETKENLİK IACS

Katsayı (Coefficients) tablosu ise, regresyon denkleminin anlamlılık seviyelerini, regresyon denklemi için kullanılan regresyon katsayılarını belirtmektedir. Yukarıda belirtilen tabloda iletkenlik ile Si, Mg, Fe, Cu ve B arasındaki ilişkinin $p < 0,05$ seviyesinde anlamlı olduğu gözlemlenmektedir. Bu çıktıdan yola çıkarak Si, Mg, Fe, Cu, B ve Ti iletkenlik değerine anlamlı bir katkı sağladığı yorumu yapılabilmektedir. İletkenlik (IACS)'nin alabileceği değerleri Çizelge 4.5'de yer alan verilerden yola çıkarak aşağıdaki şekilde formüle edilebilir. Bu formül sayesinde yeni girilecek olan bir veri grubunun iletkenlik değerine etkisi bulunabilir. Formüllerdeki katsayılar incelendiğinde katsayısı negatif olan fiyatın bir birim artışı talebi negatif yönde etkilemektedir.

Literatüre ve firmanın geçmiş deneyimleri göz önüne alındığında elde edilen formül uyumluluk göstermektedir.

- Boron elementi tane küçültücü olarak dolaylı şekilde iletkenliği arttırıcı olarak kullanılır. (Tunçer, 2015) Formülümüzde de iletkenliğe pozitif etkisi olduğu görülmektedir.
- Titanyum elementi, elektrik iletkenliği azaltır mukavemeti arttırıcı etkisi bulunmaktadır. (Tunçer, 2015) Elde edilen çıktıda da Ti elementinin iletkenliğe etkisi negatif oranda gözükmemektedir.
- Fe elementi az oranda mukavemeti arttırır ve yüksek sıcaklıklarda serinin akışkanlığını arttırır, tane boyutunu küçültür iletkenliği azaltır. (Tunçer, 2015) Formülümüzde de negatif etkisi görülmektedir.
- Bakır, elektrik iletkenliğinin ana talep olduğu uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Dövme Al-Mg alaşımları %1-6, dökme Al-Mg alaşımları %4-10 oranında magnezyum ihtiva ederler. Magnezyum yüksek mukavemet, süneklik ile korozyon mukavemeti ve kaynak kabiliyeti sağladığı gibi malzeme yoğunluğunu da düşürmez (Arnold, 1993) .

Anova çizelgesindeki F istatistiği ile modelin bir bütün olarak anlamlı olduğu, katsayılar çizelgesindeki t istatistiği ile de modele katılan değişkenlerin anlamlı olduğu ortaya konulmuştur. B kolonu katsayıları göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda iletkenlik fonksiyonu;

$$C = 44,242 + 51,785(x_1) - 26,722(x_2) - 17,954(x_3) + 190,754(x_4) - 34,042(x_5) + 726,430(x_6) \quad (4.1)$$

4.2.3. Mukavemeti Değeri İçin Regresyon Analiz Sonuçları

SPSS paket programında yer alan Independent(s) penceresine birden fazla değişken girişi yapılır. Çalışmamızda Si, Mg, Fe, Cu, Ti, B değişkenlerinin Kopma Mukavemeti (MPA) değerine etkilerini belirlemek adına işlemler yapılmıştır.

Çizelge 4.6. Mukavemet Değeri için Model Özet Tablosu

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,950 ^a	,903	,902	8,7984
a. Predictors: (Constant), B, Tİ , MG, FE, CU, Sİ				

Model özeti tablosuna (Çizelge 4.6) bakıldığında bağımsız değişken durumundaki Si, Mg, Fe, Cu, Ti, B değişkenlerinin bağımlı değişken durumundaki kopma mukavemeti (MPA) değerine ne derece şekillendiği R Square sütunundaki değerden bakılarak yorumlanmaktadır. R² mevcut inputlardan outputu temsil etme oranıdır. Düşük çıkması istenilmez. Eğer düşük bir değer çıkarsa fonksiyonu etkileyen başka metallere var olduğu anlamına gelmektedir. Çizelge 4.6. 'de S mukavemet değerinin uygulandığı aralıktaki verilerden elde edilen R² değeri bağımlı değişken olan talepteki %90'lık değişimin modelde dikkate alınan bağımsız değişkenler olan karışım oranları ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.7. Mukavemet Değeri İçin SPSS ANOVA Tablosu

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	361084,658	6	60180,78	777,41	,000 ^b
Residual	38860,769	502	77,412		
Total	399945,426	508			
a. Dependent Variable: TAV ÖNCESİ KOPMA (DÖKÜM MPA)					
b. Predictors: (Constant), B, Tİ , MG, FE, CU, Sİ					

ANOVA tablosu incelendiğinde sigma değerinin 0,05'ten küçük olması karşılaştırılan grupların ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğu anlamına gelmektedir. Çizelge 4.7 da incelendiğinde verilerimiz arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.8. Mukavemet Değeri İçin Katsayılar Tablosu

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	229,694	13,272		17,307	,000
Si	-308,377	35,744	-,237	-8,627	,000
Mg	195,583	30,589	,147	6,394	,000
Fe	119,001	24,781	,088	4,802	,000
Cu	-1833,172	210,422	-,227	-8,712	,000
Ti	308,951	113,337	,039	2,726	,007
B	-8897,278	394,687	-,510	-22,543	,000

a. Dependent Variable: TAV ÖNCESİ KOPMA (DÖKÜM MPA)

Katsayı (Coefficients) tablosu ise, regresyon denkleminin anlamlılık seviyelerini, regresyon denklemi için kullanılan regresyon katsayılarını belirtmektedir. Yukarıda belirtilen tabloda kopma mukavemeti ile Si, Mg, Fe, Cu ve B arasındaki ilişkinin $p < 0,001$ seviyesinde anlamlı olduğu gözlemlenmektedir. Bu çıktıdan yola çıkarak Si, Mg, Fe, Cu, B ve Ti kopma mukavemeti değerine anlamlı bir katkı sağladığı yorumu yapılabilir. Kopma mukavemetinin alabileceği değerleri Çizelge 4.8'da yer alan verilerden yola çıkarak aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

Genel olarak iletkenlik ve mukavemet arasında ters ilişki bulunmaktadır. Malzemenin içerisindeki alaşımlar saflığı azalttığı için iletkenliği azaltmakta mukavemeti arttırmaktadır. Yukarıda iletkenlik formülünde açıkladığımız veriler ışığında iletkenliğe pozitif etkisi bulunanlar bu formülasyonda negatif etki yaratmakta, aynı şekilde negatif etkisi bulunanlar ise pozitif etki yaratmaktadır.

Literatüre ve firmanın geçmiş deneyimleri göz önüne alındığında elde edilen formül uyumluluk göstermektedir.

- Bor elementi tane küçültücü olarak dolaylı şekilde mukevemete olumsuz yönde etkisi bulunmaktadır. Formülümüzde de iletkenliğe pozitif, mukavemete negatif etkisi olduğu görülmektedir.
- Titanyum elementi, elektrik iletkenliği azaltır mukavemeti artırıcı etkisi bulunmaktadır. (Tunçer, 2015) Elde edilen çıktıda da Ti elementinin mukavemete etkisi pozitif oranda gözükmemektedir.
- Demir elementi az oranda mukavemeti artırır ve yüksek sıcaklıklarda serinin akışkanlığını artırır, tane boyutunu küçültür iletkenliği azaltır. (Tunçer, 2015) Formülümüzde de pozitif etkisi görülmektedir.
- Bakır, elektrik iletkenliğinin ana talep olduğu uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mukavemete negatif etkisi bulunmaktadır.
- Dövme Al-Mg alaşımları %1-6, dökme Al-Mg alaşımları %4-10 oranında magnezyum ihtiva ederler. Magnezyum yüksek mukavemet, süneklik ile korozyon mukavemeti ve kaynak kabiliyeti sağladığı gibi malzeme yoğunluğunu da düşürmez (Arnold, 1993).

Tüm bu elementlerin birbiri içinde etkileşime girerek oluşturdukları bileşiklerin etkisinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

SPSS ile elde edilen fonksiyon; kopma mukavemeti (MPA) 4.2 eşitliğindeki gibidir.

$$S = 229,694 - 308,377(x_1) + 195,583(x_2) + 119,001(x_3) - 1833,172(x_4) + 308,951(x_5) - 8897,278(x_6) \quad (4.2)$$

4.2.4. Hata Hesaplama

Firma içerisinde toplam 529 veri tutulmuştur. 509 veri regresyon analizi için kullanılmış olup 20 rastgele seçilen adet veri uygunluk yüzdesini hesaplamak için analize dahil edilmemiştir.

Hariç tutulan 20 adet veri üzerinden hesaplanan uygunluk yüzdesi değerleri Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'de belirtilmiştir.



Çizelge 4.9. İletkenlik için Hata Değerleri

	Formülasyon Değeri	Gerçek Değer	Mutlak Hata	Bağıl Hata	Uygunluk Yüzdesi
1	54,180	54,610	0,420	0,780	99,210
2	61,200	61,810	0,600	0,980	99,010
3	61,200	60,500	0,700	1,150	98,840
4	61,205	61,810	0,605	0,989	99,011
5	61,273	61,500	0,227	0,371	99,629
6	61,310	59,200	2,110	3,442	96,558
7	61,307	61,000	0,307	0,501	99,499
8	61,307	61,810	0,503	0,820	99,180
9	55,567	54,100	1,467	2,641	97,359
10	54,169	54,490	0,321	0,593	99,407
11	53,744	54,550	0,806	1,500	98,500
12	61,205	61,810	0,605	0,989	99,011
13	61,273	61,810	0,537	0,876	99,124
14	54,169	54,490	0,321	0,593	99,407
15	52,930	55,090	2,160	4,080	95,920
16	57,582	55,490	2,092	3,632	96,368
17	53,007	55,690	2,683	5,062	94,938
18	58,481	55,300	3,181	5,439	94,561
19	55,370	55,140	0,230	0,415	99,585
20	61,273	61,400	0,127	0,207	99,793
ORTALA MA DEĞERL ER	58,088	58,080	1,001	1,754	98,246

20 adet girdi parametresi göz önünde bulundurularak işletmede tuttuğumuz değerler ile SPSS sonucu ortaya çıkartılan formülasyon ile elde edilen değerlerin mutlak değeri alınmış ve bağıl hata oranı ortaya çıkartılmıştır. Bu kapsamda iletkenlik formülasyon için hata oranı %1,75 olmaktadır.

Çizelge 4.10. Mukavemet Değeri için Hata Değerleri

	Formülasyon Değeri	Gerçek Değer	Mutlak Hata	Bağlı Hata	Uygunluk Yüzdesi
1	177,549	172,000	5,549	3,126	96,874
2	113,408	110,000	3,408	3,005	96,995
3	113,408	119,000	5,592	4,931	95,069
4	113,408	110,000	3,408	3,005	96,995
5	112,790	122,000	9,210	8,166	91,834
6	112,450	120,000	7,550	6,714	93,286
7	112,481	118,000	5,519	4,907	95,093
8	112,481	110,000	2,481	2,206	97,794
9	170,631	199,000	28,369	16,626	83,374
10	180,569	181,000	0,431	0,239	99,761
11	185,010	169,000	16,010	8,653	91,347
12	113,408	110,000	3,408	3,005	96,995
13	112,790	110,000	2,790	2,474	97,526
14	180,569	181,000	0,431	0,239	99,761
15	188,474	166,000	22,474	11,924	88,076
16	148,143	161,000	12,857	8,679	91,321
17	191,462	165,000	26,462	13,821	86,179
18	138,118	166,000	27,882	20,187	79,813
19	170,094	160,000	10,094	5,934	94,066
20	112,790	112,000	0,790	0,700	99,300
ORTALAMA DEĞERLER	143,002	143,050	9,736	6,427	93,573

Çizelge 4.10 incelendiğinde mukavemet değeri için elde edilen bağlı hata değeri %6,42 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar göstermektedir ki program ile bulduğumuz formülasyon gerçeği yansıtmaktadır.

4.3. Lineer ve Çok Amaçlı Modellerin Oluşturulması

Prosesin incelenmesi ile birlikte mukadder olan girdilerin irdelenmesi sağlanarak, problem ortaya konulmuştur. Veriler kayıt altına alınırken, şirket içerisinde önceden yapılmış olan üretim verileri de dikkate alınmıştır. Bu çalışma için de ayrı olarak üretim yapılmış tüm veriler kayıt altına alınmıştır.

Matematiksel Modelin Lingo Programında Çözülmesi; varyans ve regresyon analizi sonucu elde edilen ve performans parametrelerinin optimizasyonu için kullanılan doğrusal modeller aşağıda belirtilmiştir

Kurulan matematiksel modeldeki karar değişkenleri, parametreler, amaç fonksiyonu ve kısıtlar şöyle sıralanabilir karar değişkenleri;

C değeri, çalışma dahilinde göz önünde bulundurulan faktörlerin (Si, Mg, Fe, Cu, B, Ti) maksimum iletkenlik değeri (IACS) için imalatın başlatılabilmesi için gerekli olan reçetede hangi düzeylerde bulunması gerekliliğini hesaplamak için kullanılmıştır. Amaç bu değerin maksimize edilmesidir.

S değeri, çalışma dahilinde göz önünde bulundurulan faktörlerin (Si, Mg, Fe, Cu, B, Ti) maksimum Kopma yani dayanım sertliği (MPa) için imalatın başlatılabilmesi için reçetede hangi düzeylerde bulunması gerektiğini hesaplamak için kullanılmıştır. Amaç bu değerin maksimize edilmesidir.

Kısıtlar; alaşım içerisinde yer alan elementlerin yüzdelerinin standartlar dahilinde üretim yapılabilmesi için oluşturulmuş kısıtlardır. 6101 serisi alaşım iletkeninin içerisindeki elementlerin belirlenen üst sınırdan aşmaması ve alt sınırdan taşmaması bu denklemler ile sağlanır. i:0,1,2,3,4,5,6; ve u:1,2,3,4,5,6 için 4.3 'de ki gibidir.

$$l_i < x_i < U_i \quad (4.3)$$

Standartlarda yer alan IACS değerine göre C amaç fonksiyonunun kısıtı; 4.4'de belirtilmiştir.

$$C \leq D \quad (4.4)$$

İşletme içerisindeki yapılan üretim verileri sonrasında amaç fonksiyonlar için belirlenen kısıtlar 4.4 ve 4.5 'de ki gibi belirtilmiştir.

$$X_i \geq 0 \quad (4.5)$$

1. İşletmeden elde edilen veriler doğrultusunda mukavemetin dikkate alınmadığı matematiksel modelin genel hali $i=0,1, 2...6$ olacak şekilde eşitlik 4.1 de yer almaktadır. Bu değerle iletkenliğin maksimum seviyede olması öngörülmüştür.

$$Max C = \sum_{i=0}^6 a_i x_i \quad (4.6)$$

İşletmenin kendi deneyimleri doğrultusunda iletkenliği maksimize etmek istenildiğinde kullandıkları alarım aralıklar kısıt olarak Çizelge 4.1 'de yer alan değerler sırası ile 4.3 eşitliğinde yerine konulacaktır. 4.4 ve 4.5 eşitliğinde kısıt olarak dikkate alınacaktır.

2. İşletmeden elde edilen veriler doğrultusunda iletkenliğin dikkate alınmadığı matematiksel modelin $i:0, 1,..., 6$ değerleri için genel hali 4.2 eşitliğindeki gibi yer almaktadır. Bu değerle mukavemetin maksimum seviyede olması öngörülmüştür.

$$Max S = \sum_{i=0}^6 b_i x_i \quad (4.7)$$

İşletmenin kendi deneyimleri doğrultusunda iletkenliği maksimize etmek istenildiğinde kullandıkları alarım aralıklar kısıt olarak Çizelge 4.1 'de yer alan

değerler sırası ile 4.3 eşitliğinde yerine konulacaktır. 4.5 eşitliğide kısıt olarak dikkate alınacaktır. Bu durumda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.11. Tek Amaçlı Fonksiyonların Lingo Paket Programda Çözümlemesi

Amaç Fonksiyon	Si	Mg	Fe	Cu	Ti	B	İletkenlik	Kopma Mukavemeti (MPA)
							(IACS)	
Max İletkenlik (IACS)	0,48	0,70	0,50	0,00018	0,03	0,029	62	-
Max Kopma Mukavemeti (MPA)	0,62	0,75	0,50	0,000001	0,003	0,0086	-	210

3. Hem iletkenliğin hem mukavemetin istenilen sınırlar içinde olmasını göz önünde bulundurulması amaçlanmıştır.

Adım 1: (4.3) ve (4.5) kısıtlamaları altında maksimum iletkenliği değeri 62 olarak elde edilir.

Adım 2: (4.3) ve (4.5) kısıtlamaları altında maksimum mukavemet değeri 220 olarak elde edilir.

$$\sum_{i=0}^6 a_0 x_0 \leq 220 \quad (4.8)$$

$$\sum_{i=0}^6 b_0 x_0 \leq 62 \quad (4.9)$$

Adım 3: Bütün amaç fonksiyonları optimum değerleri çok amaçlı optimum modelinde elde edilmeyebilir. Sağ taraf değişkendir. Mümkün olduğu kadar yaklaşılması gereken yönetim hedefleri olan esnekliğe sahip kısıtlamalardır. Bu sebeple 4.8 ve 4.9 kısıtları 4.10 ve 4.11 de yer alan modele eşittir.

$$\sum_{i=0}^6 a_i x_0 + d_1^+ - d_1^- = 62 \quad (4.10)$$

$$\sum_{i=0}^6 b_i x_0 + d_2^+ - d_2^- = 220 \quad (4.11)$$

Adım 4: Kullandıkları alarım aralıklar kısıt olarak Çizelge 4.1 ‘de yer alan değerler sırası ile 4.3 eşitliğinde yerine konulacaktır. 4.5 eşitliğide kısıt olarak dikkate alınacaktır.

Adım 5: Amaç fonksiyonunun anlamlı olabilmesi için sapma değişkenlerinin aynı birimde olması gerekmektedir. Bu durumda yapılması gereken işlem, sapma değişkenlerinin ölçü birim farklılıklarını gidermek ve her bir değişkene farklı ağırlık verilmesidir. 4.12 eşitliğinde bu durum sağlanmıştır. 4.13’de negatif olmama kısıtı da eklenmiştir.

$$220d_1^- = 62 d_2^- \quad (4.12)$$

$$d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+ \geq 0 \quad (4.13)$$

Adım 6: Hedefler arasında öncelik sıralaması veya birbirlerine göre ağırlıklarında farkı bulunmamaktadır. Bütün hedefler aynı öncelik sırasına sahiptir. 4.14’de negatiflerin sapmaların toplamı minimize edilmek istenmektedir.

$$\min d_1^- + d_2^- \quad (4.14)$$

Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.12. Eşit Ağırlıklı Çok Amaçlı Hedef Programlama Modelinin Lingo Paket Programda Çözümlemesi

Amaç Fonksiyon	Si	Mg	Fe	Cu	Ti	B	İletkenlik	Kopma Mukavemeti (MPa)
Optimum Kopma ve İletkenlik değeri	0,65	0,7	0,05	0,00001	0,006	0,00001	56,3	190,6

4. Bu çözüm de ise öncelikli hedef programlama yöntemi kullanarak elde edilmiştir. Öncelikli hedef programlamada; farklı hedefler, önceliklerinin seviyelerine göre kategorize edilir. Bu yaklaşımda; ilk önce üst seviye hedefler optimize edilir, daha sonra alt seviye hedefler dikkate alınır. Böylece hedef programlama problemleri sıralı bir şekilde formüle edilir ve çözülür (Deb, 1999, s. 80) daha önce bulduğumuz değerleri kısıt olarak formüle ekleyeceğiz.

İlk önceliğimiz iletkenliğin maksimize edilmesidir. Kullandıkları aralık kısıt olarak Çizelge 4.1 'de yer alan değerler sırası ile 4.3 eşitliğinde yerine konulacaktır. 4.5 eşitliğinde kısıt olarak dikkate alınacaktır. 4.10 ve 4.11 eşitliği ile 4.13 'de ki pozitif olma kısıtı da dahil edilmiştir. Aşağıda yer 4.15 eşitliği önceliğimizi belirlemektedir.

$$Min = d_1^- \quad (4.15)$$

Öncelikli hedef programlama yaklaşımında 1. Öncelik hedef iletkenliği maksimum etmek iken 2. öncelikli amaç mukavemeti maksimum etmektir. Mukavemet için Öncelikli Hedef Programlamada kısıtlamalar ise kullandıkları aralık kısıt olarak Çizelge 4.1 'de yer alan değerler sırası ile 4.3 eşitliğinde yerine konulacaktır. 4.5 eşitliğinde kısıt olarak dikkate alınacaktır. 4.10 ve 4.11 eşitliği ile 4.13 'de ki pozitif olma kısıtı da dahil edilmiştir. Aşağıda yer

4.16 eşitliği önceliğimizi belirlemektedir. Aynı zamanda birinci öncelikli modelden elde edilen sapma değişkeni de 4.17'deki gibi eklenmiştir.

$$Min = d_2^- \quad (4.16)$$

$$d_1^- = 0 \quad (4.17)$$

Öncelikli hedef programlama yöntemi ile elde edilen veriler Çizelge 4.13'de belirtildiği gibidir. Bu model gerçekleştirilmesi gereken son hedefi de ifade ettiğine göre bu modelin optimal çözümü de aynı zamanda öncelikli hedef programlama modelinin de optimal çözümüdür.

Çizelge 4.13. Öncelikli Hedef Programlama Çıktıları

Amaç Fonksiyon	Si	Mg	Fe	Cu	Ti	B	İletkenlik	Kopma Mukavemeti (MPa)
							(IACS)	
Optimum Çözüm	0,48	0,50	0,483	0,015	0,03	0,000 001	58,7	158



5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Literatür incelendiğinde, yüksek gerilim havai hattı iletken üretim süreci ile ilgili pek çok çalışma olduğu fakat bu çalışmaların çoğunun iletkeni oluşturan malzemelerin yapısı ve değerlerin çeşitlendirilmesi ile ilgili yapıldığı görülmektedir.

Yapılan çalışmada yüksek gerilim havai hatları için 6101 serisi iletkenin üretim sürecindeki istenilen karışım oranlarının (Mg, Si, Fe, Cu, Ti, B) regresyon analizi yapılarak matematiksel model yaklaşımı geliştirilmiştir. Benzer çalışmalara bakıldığında uygun reçeteyi elde etmek için matematiksel model geliştirilmediği görülmektedir.

Çalışmaya ilk olarak işletme prosesinde standartta yer alan değerler arasında çalışmalar yapılmıştır. Fakat standartlarda yer alan değerlerin oldukça geniş aralıklarda yer alması firmanın istediği değerlere ulaşmasında zorluklara sebep olmaktadır. Ürüne dahil olan veriler istatistiksel analizler ile alaşım oranlarının elde edilen çıktı parametrelerine olan etkileri ortaya konmuştur.

Çalışmalar kapsamında çıktı parametreleri olan kopma ve iletkenlik değerlerini etkileyen alüminyuma alaşımlandırılan altı element göz önünde tutularak, istatistiksel analizle (SPSS) bu katsayıların üretim değerleri üstündeki etkileri irdelenmiştir. Daha sonra uygulanan regresyon analizleriyle alaşıma etki eden elementlerin matematiksel fonksiyonları ortaya konulmuştur. Matematiksel model, çoklu regresyon analizleri sonucuna göre Çizelge 5.1 'de görüldüğü üzere en yüksek R-sq(adj) değerinin elde edildiği varyans analizi sonuçlarına göre kurulmuştur.

Çizelge 5.1. Etkiler İçin Özet R-sq(adj) Tablosu

Faktör Etkileri	İletkenlik(IACS) R-sq(adj)	Kopma Mukavemeti(MPA) R-sq(adj)
Ana Etkiler	%88	%90

Çalışmada tek amaçlı ve çok amaçlı olmak üzere lineer optimizasyon modeli kurulmuş, optimizasyon programı olan Lingo 17.0 Version kullanılmış ve global çözümler elde edilmiştir. Kurulan tek amaçlı modellerde amaç, iletkenliğin veya mukavemetin özelliğinin kısıtlar doğrultusunda eniyilenmesi (optimizasyonu) olup bazı durumlarda aynı anda iki veya daha fazla amacın gerçekleştirilmesi gerekebilmektedir. Bu nedenle tek amaçlı modellerin yanı sıra daha fazla performans özelliğinin aynı anda optimize edilmeye çalışıldığı çok amaçlı modellerin de oluşturulmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebepten ötürü iletkenlik ve mukavemetin aynı anda eniyilenmeye çalışıldığı model kurularak uygun çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. Modellerde yer alan kısıtların sınır değerleri 6101 serisi iletkenlerin standartlarında belirtilen veriler esas alınarak belirlenmiştir. Daha sonra iletkenliğin ilk olarak önceliklendiği öncelikli hedef programlama yöntemi kullanılarak istenilen çözümlere ulaşılmaya çalışılmıştır.

Kullanılan yöntemler arasında firmaya en uygun çözüm hedef programlama ile elde edilmiştir. Bu kapsamda çok amaçlı fonksiyonun en etkin değerleri ana elementler için Si : 0,65, Mg: 0.7, Fe:0,05, Cu:0,00001, Ti:0.006, B: 0,00001 değerleri alındığında iletkenli değirimiz 56,3 kopma mukavemetimiz ise 190,6 değerini almaktadır.

İşletme müşteri talepleri doğrultusunda istenilen çıktı değerlerine erişebilmek için uzun bir ön hazırlık sürecinden geçtikten sonra asıl üretime başlamaktadır. Yapılan bu analizler neticesinde firmanın üretime geçmeden önce istenilen oranları elde etmek için saatler süren denemeler en aza indirilmiştir.

5.2. Öneriler

Yapılan çalışmada regresyon modelinde sonucunda ortaya çıkan bağıntılar ile matematiksel model oluşturulmaktadır. Uygulanan regresyon analizi kullanılan veriler çalışmayı yürüttüğümüz firma içerisinde deneme üretimleri neticesinde toplamda beş yüz dokuz veri göz önüne alınarak uygulanmıştır.

Regresyon analizi sonucunda elde ettiğimiz matematiksel modelin gerçeğe yakın neticeler verebilmesi için döküm sırasında ve filmaşın üretimi sırasında iletkenlik ve mukavemeti etkileyen diğer etmenlerinde izlenerek sürece dahil edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada yalnızca iletkenlik ve kopma değerlerinin üretime dahil edilen alaşım elementlerinin miktarlarına göre değişimi göz önüne alınmış diğer süreçler kapsam dışı bırakılmıştır. Ancak çok önemli bir detay olan döküm parametreleri de göz önüne alınarak çok daha kapsamlı bir çalışma yapılması daha doğru sonuçlar ortaya çıkartabilir. Ayrıca üretim sonrasında ürüne yapılan ısıl işlem süreci de alaşımdaki etkileri önemli derece de etkilemekte ve çıktılarımızın değerlerini değiştirmektedir. Bu çalışmada ısıl işlem ve diğer etmenler kapsam dışı bırakılmıştır. Çalışmamız kapsamında hedef programlama ve öncelikli hedef programları kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda üretim maliyetlerini minimize edecek çalışmalara yer verilebilir.



KAYNAKLAR

- Ahmet, Ö. (2005). Yöneylem Araştırması.10.Basım, Ankara: Etkin Kitabevi.
- Akgül, A. (1998). Sistem Tasarımı ve Optimizasyon. Ankara: Yay yayıncılık.
- AKYALÇIN, L., Kaytakoğlu, S., (2005). Sitrat prosesiyle SO₂ gideriminde optimum şartların belirlenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı: 8.
- Akman, G., Özkan, C., (2011). Sac imalatında karşılaşılan yapışma probleminin deney tasarımı ile çözümü. Doğu Üniversitesi Dergisi, 12 (2), 187-199. ss.
- Aladağ, Z. (2011). Karar Teorisi. Kocaeli: Umuttepe Kitabevi.
- Aladağ, Z. (2011). Yöneylem araştırması -1-. Kocaeli: Umuttepe Kitabevi.
- Albayrak, A. (2006). Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Ankara: Asil Yayın Dağıtım.
- Ali, A. I., Blanco, T., Buclatin, B.1998 Goal Network Programs: A Specialized Algorithm And An Application, European Journal Of Operational Research, 106
- AnHui Electric Group. (2019, 02 14). ACAR Aluminum Conductor Aluminum-Alloy Reinforced. ahecable: http://www.ahecable.com/e_productshow/?36-ACAR-Aluminum-Conductor-Aluminum-Alloy-Reinforced-36.html adresinden alındı
- Ankara Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2003, 05 13). Alüminyum Tarihçesi, Gelişimi,Mevcut Durumu ve Hedefleri. 02 28, 2018 tarihinde ankaraasad: <http://ankaraasad.org.tr/2011/06/1-turkiye-aluminyumsempozyumu-13-mayis-2003/9/> adresinden alındı
- Arakawa, M., Billaut, C., Coello, C. A. ve Ehrgot, M. (2003). Multiple Optimization: State of The Art Annotated Bibliographic Surveys. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Arnold, S. (1993). J. Metals. 45 (6),12.
- ASM. (1997). ASM Handbook.

- ASTM Standart. (2003). Spesification for aluminium and aluminium alloys designation.
- Aouni, B., Kettani, O., 2001, Goal Programming Model: A Glorious History And A Promising Future, European Journal Of Operational Research, 133
- Bal, H. (1995). Optimizasyon Teknikleri. Ankara: G.Ü. Yayın No 207 (F.E.F.Yayın No29).
- Bal, H., 1999, Doğrusal Hedef Programlama İle Üç Gruplu Sınıflandırma, Gazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 12, No 3
- BAYNAL, K., 2003. Çok yanıtli kalite karakteristiklerinin eş zamanli eniyilenmesinde Taguchi Yöntemi ve otomatik endüstrisinde bir uygulama, Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt:16, Sayı:2.
- BAYNAL, K., TERZİ, Ü., (2005) ÇOKLU KALİTE BAŞARIM ÖZELLİKLERİNİN HEDEF PROGRAMLAMA VE TAGUCHİ YÖNTEMİ KULLANILARAK ENİYİLENMESİ, V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu.
- Behjoomanesh, M., Keyhani, M., Ganji-azad, E., Izadmehr, M., & Riahi. (2015). Assessment of total oil production in gas-lift process of wells using Box–Behnken design of experiments in comparison with traditional approach. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 1455-1461.
- Burger, G., Gupta, A., Jeffret, P., & Lloyd, D. (1995). Materials Characterization. 23-39.
- Büyükkeklik, M. (2007). Üretim Planlama Problemlerinde Doğrusal Programlama Modellerinin Kullanımı: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde.
- Büyüköztürk, Ş. (2012). Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı. Ankara: PegemA Yayıncılık.
- CHEN, Mingyuan and WANG, Weimin (1997), A Linear Programming for Integrated Steel Production and Distribution Planning, International

- Journal of Operations & Production Management, Vol.17, No.6, pp. 592-610.
- Chan, K.K., Spedding T.A., (2001), On line optimization of quality in a manufacturing system, International Journal of Production Research, Vol 39.
- Cinemre, Nalan. (2011). Yöneylem Araştırması (2. Basım). İstanbul: Evrim Yayınevi
- Court, S., Hirth, S., Lloyd, D., & Marchall, G. (2001). Effects of Si on the Aging Behaviour and Formability of Aluminum Allaoy Based on AA6016. Material Science Engineering, 452-456.
- ÇINAR, Mehmet. (1990). Yönetmel Kararlara İlişkin Sayısal Yöntemler. Kayseri: Erciyes Üniversitesi Yayınları.
- Dağdeviren, M., Tamer, E., 2001, Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması, Gazi Üniv. Müh. Mim.Fak. Der.,Cilt 16, No 2
- Davies, G. (1988). Aluminium Alloy [6201, 6101A] Conductors,International Conference on Overhead Line Design and Construction: Theory and Practice (up to 150kV). London : London UK.
- Davis, J. (1999). Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys. Ohio: ASM International.
- Deb, K. (1999). Solving goal programming problems using multi-objective genetic algorithms. Washington: Congress on Evolutionary Computation.
- Demir,L., Mutlu, Ö., (2002). Tekstil Terbiyesinde Uygulanan ART İşlemlerin Kuru Sürme Hastalığı üzerindeki Etkisinin İstatiksel Deney Tasarımı Yöntemi ile Belirlenmesi, TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası, sayı :57.
- Demiray O., Z. (1998). İletken malzeme olarak alüminyum. Elektrik Mühendisliği Odası Yayınları, 318-319.
- Doğan, İ. (1995). Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.

- DOVEY, S.J., Matthews, A., 1998. Taguchi and TQM quality issues for surface engineered applications, Research Centre in Surface Engineering, University of Hull, Surface and Coatings Technology, Hull.
- Elektrikport. (2012). Bakır ve Alaşımları. 2 28, 2018 tarihinde Elektrikport: <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elektrik-dersleri-bakr-ve-alamlar/4288#ad-image-0> adresinden alındı
- Elektrikport. (2018, 11 25). Hava Hattı İletkenleri ve Özellikleri. 28 02, 2018 tarihinde Elektrikport: <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/hava-hatti-iletkenleri-ve-ozellikleri/4248#ad-image-0> adresinden alındı
- Elektrik Port. (2019, 02 14). Hava Hattı İletkenleri ve Özellikleri. Elektrik Port: <https://www.elektrikport.com/makale-detay/hava-hatti-iletkenleri-ve-ozellikleri/4248#ad-image-0> adresinden alındı
- EMİKAHYAGİL, G. 1997. Hedef programlama ve bir uygulama, A.Ü. Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi (basılmamış).
- Esin, A. (2003). Yöneylem Araştırmalarında Yararlanılan Karar Yöntemleri. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Flavell, R. (1976). A New Goal Programming Formulation. Omega.
- Ghosh, D., Sharma, D. K., Mattison, D. M., 2003, Goal Programming Formulation In Nutrient Management For Rice Production In West Bengal, Int. J. Production Economics.
- GOH, T. N., 2001, “A Pragmatic Approach to Experimentel Design in Industry”, Journal Applied Statics, 391-398.
- Green, S., & Salkind, N. (2008). Using SPSS for Windows and Macintosh, Analyzing and Understanding Data. New Jersey: Fifth Edition, Pearson Education Upper Saddle River.
- GÜRAL, G., (2003), Gazaltı Kaynağında Proses Parametrelerinin Optimizasyonu, İzmir.

- Hicks, C.R., “Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler”, (Çevirenler: Z., Kurt, S., Toktamış, Ö. Ve Karaağaoğlu, E.) Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir, 1994
- Ignizio, J., & Cavalier, T. (1994). Linear programming. New Jersey: Prentice Hall.
- İmrek, M. K. (2003). Yöneticiler için Karar Verme Teknikleri El Kitabı. İstanbul: Beta Basım A.Ş.
- İmrek, M. K. (2003). Yöneticiler için Karar Verme Teknikleri El Kitabı. İstanbul: Beta Basım A.Ş.
- Jensen, P., & Bard, J. (2003). Operations Research Models and Methods. Wiley.
- Jones, D., & Tamiz, M. (2010). Practical Goal Programming. New York: Springer Science+Business Media,LLC.
- Kağnıcıoğlu, C.H., 1998. Üretim öncesi kalite kontrolünde Taguchi yöntemi ve kükürtdioksit giderici sitrat yöntemine uygulanması, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 216s.
- Kaliszewski, I., Miroforidis, J. ve Podkopaev, D. (2016). Multiple Criteria Decision Making by Multiobjective Optimization. Berlin: Springer.
- Kara, İ. (2000). Doğrusal Programlama. Ankara: Bilim Teknik Yayınevi.
- Karabay, S., & Onder, F. (2004). An Approach for Analysis in Refurbishment of Existing Conventional HV-ACSR Transmission Lines With AAAC. Electrical Power System Research,December Issue 2,.
- Karabay, S., Yılmaz, M., & Zeren, M. (2005). Investigation of extrusion ratio effect on mechanical behaviour of extruded alloy AA-6101 from the billets homogenisedrapid quenched and as-cast conditions. Journal of Materials Processing Technology, 138-147.
- Karabük Üniversitesi. (2019, 02 04). Yasinortakci. Karabük Üniversitesi,Uzaktan Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi: http://web.karabuk.edu.tr/yasinortakci/dokumanlar/say%C4%B1sal_analiz/turkce/2.pdf adresinden alındı

- Karayılmazlar, S., Balaban E., (2000). Yongalevha Endüstrisinde Bir Yöneylem Araştırması Uygulaması. Turk j. Agric for 24.
- Karsak, E. E., Sözer, S., Alptekin, S. E., 2002, Product Planning İn Quality Function Deployment Using A Combined Analytic Network Process And Goal Programming Approach, Computer & İndustrial Engineering.
- Kasman, Ş., (2009).Lazer Mikro İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Deney Tasarım Yöntemiyle Belirlenmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, Teknik Program Bölümü, İzmir.
- Keçek, G. (2005). Bir Dişli Fabrikasında Tamsayılı Hedef Programlama Uygulama Denemesi. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 13.
- Kobu, B. (2008). İşletme Matemetiği. İstanbul: Beta Basım A.Ş.
- Köşker, A. (2011). Alüminyum Alaşımlarının Asal Gaz Ortamında Kaynaklanması Ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi. İstanbul.
- Lee, K. W, Chong, T. H., Park, G., 2003, Development Of A Methodology EFor A Simplified Finite Element Model And Optimum Design, Computer Structures.
- Linares, P., Romero, C., 2002, Aggregation Of Prefenrences İn An Environmental Economics Context: A Goal Programming Approach, Omega .
- M.Kaiser, H., & D.Messer, K. (2011). Mathematical Programming for Agricultural,Environmental and Resource Economics. U.S.A: John Wiley&Sons Inc.
- Montgomery, D. C. (2014). Design and Analysis of Experiments. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Montgomery, D. C. ve Runger G.C., 1999, Applied Statistics and Probability for Engineers (John Wiley&Sons, Newyork)
- Orozaliev, N. (2009, 9). Yüksek Gerilim İletim Hatlarında Aşırı Gerilmeler. Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi. s. 25.

- Özdamar, K., 2002. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi-1 SPSSMINITAB. Kaan Kitabevi, Eskişehir.
- Özdemir, M., Kıpçak, İ., Öztürk, N., (2003) Bor Endüstrisi Katı Atıklarından Boraksın Katı-Sıvı Özütleme İle Geri Kazanılması. BAÜ Fen Bilimleri Enst. Dergisi, Cilt:5 , Sayı:1, Sayfa:175-182.
- Özkan, Ş. (2011). Yöneylem araştırması: nicel karar teknikleri. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Öztürk, A. (2002). Yöneylem Araştırması. Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları.
- Öztürk, A. (2007), Yöneylem Araştırması: Ekin Kitabevi, 9: s. 490, Bursa.
- Pidd, M. (2009). Tools for Thinking; Modelling in Management Science. (3rd ed.) Chichester: John Wiley and Sons Ltd.
- Romero, C. (1991). Handbook of Critical Issues in Goal Programming. New York: Pergamon Press.
- Romero, C., & Rehman, T. (2003). Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions. Amsterdam: Elsevier Science.
- S.Hillier, F., & J.Lieberman, G. (2001). Introduction To Operations Research. New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Sariasslan, H. (2000). Kaynak Dağılımında Doğrusal Programlama. Ankara: Turhan Kitabevi.
- Serper, Ö., & Gürsakal, N. (1982). Doğrusal Programlama. Bursa: BİTİA İşletme Fakültesi.
- Spronk, J. (1984). Interactive Multiple Goal Programming. Boston: Martinus Nijhoff Publishing
- Srinath, L. (1983). Linear Programming: Principles and Applications. London: the Macmillan Press Limited.
- Su, Ş. (1988). 2XXX Grubu alaşımlarda katı eriyiğe alma sıcaklık ve süresinin yaşlanma sonrası özelliklere etkileri. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,, 21-49.
- Şirvancı, M. (1997). Kalite İçin Deney Tasarımı. İstanbul,: Literatür.
- Taha, H. A. (2007). Yöneylem Araştırması. İstanbul: Literatür Yayıncılık.

- Taşkın, H. (2009). Yöneylem araştırması. Ankara: Papatya yayıncılık eğitim.
- Tekin, M. (2004). Sayısal Yöntemler. Konya.
- Timör, M. (2001). Yöneylem Araştırması ve İşletmecilik Uygulamaları. İstanbul: İ. Ü. Basımevi.
- Tosun, İ. (2007). Enerji iletimi ve Dağıtımı. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Tulunay, Y. (1980). Matematik Programlama ve İşletme Uygulamaları. İstanbul: Sermet Matbaası.
- Tunçer, K. (2015, 04 23). alüminyum-alasımları-ve-diyagramları. 11 12, 2018 tarihinde prezi: https://prezi.com/rl_r8qhsavwn/aluminyum-alasımları-ve-diyagramları/ adresinden alındı
- Uchida, H., Yoshida, H. (1996)). Improvement in Paint Bake Response of an Al-Mg-Si Alloy by Reversion“, The Minerals, Metals&Materials Society : 97-103
- Uçakçıoğlu, B., Eren, T. (2017). Analitik Hiyerarşi Prosesi ve VIKOR yöntemleri ile Hava Savunma Sanayisinde Yatırım Projesi Seçimi, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi:Cilt:2, Sayı:2
- Yang, W.H., Tarng, Y.S., 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi Metod, Journal of Metarials Processing Technology, 84, 123-130

ÖZGEÇMİŞ

1990'da Gaziantep'te doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Gaziantep'te tamamladı. 2009 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2015 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına başladı. 2013-2014 yılları arasında Volvo İş Makinaları firmasında satış Mühendisi olarak çalıştı. 2014-2017 yılları arasında EMTA Kablo firmasında ARGE Mühendisi olarak çalıştı. 2017 yılında Transformatör Elektromekanik firmasında ARGE Merkezi Sorumlusu olarak başladığı işine devam etmektedir.





EKLER

Si	Mg	Fe	Cu	Ti	B
0,45	0,54	0,09	0,007	0,003	0,002
0,5	0,52	0,12	0,019	0,0040	0,005
0,5	0,52	0,12	0,019	0,0040	0,005
0,5	0,52	0,12	0,019	0,0040	0,005
0,5	0,52	0,12	0,019	0,0020	0,005
0,5	0,52	0,12	0,019	0,0009	0,005
0,5	0,52	0,12	0,019	0,0010	0,005
0,5	0,52	0,12	0,019	0,0010	0,005
0,47	0,52	0,12	0,016	0,009	0,0004
0,46	0,53	0,12	0,009	0,0006	0,001
0,46	0,55	0,09	0,007	0,002	0,001
0,5	0,52	0,12	0,019	0,0040	0,005
0,5	0,52	0,12	0,019	0,0020	0,005
0,46	0,53	0,12	0,009	0,0006	0,001
0,44	0,5	0,19	0,014	0,002	0,0001
0,5	0,55	0,16	0,015	0,0007	0,003
0,49	0,6	0,15	0,008	0,0040	0,001
0,5	0,55	0,15	0,015	0,0009	0,004
0,48	0,53	0,17	0,015	0,003	0,001
0,5	0,52	0,12	0,019	0,0020	0,005