

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazel DURMAZ

**FARKLI İŞGÜCÜ SEVİYELERİNİN OLDUĞU ÜRETİM
HATLARINDA ATAMA PROBLEMİ OPTİMİZASYONU**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ADANA-2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI İŞGÜCÜ SEVİYELERİNİN OLDUĞU ÜRETİM
HATLARINDA ATAMA PROBLEMİ OPTİMİZASYONU**

Hazel DURMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez/...../2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmişti.

.....
Dr.Öğr.Üyesi Melik KOYUNCU
DANIŞMAN

.....
Prof.Dr.Ali KOKANGÜL
ÜYE

.....
Dr.Öğr.Üyesi Fikri EGE
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 bildirimlerin, çizelge ve şekillerin kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI İŞGÜCÜ SEVİYELERİNİN OLDUĞU ÜRETİM HATLARINDA ATAMA PROBLEMİ OPTİMİZASYONU

Hazel DURMAZ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Melik KOYUNCU

Yıl:2019 Sayfa: 91

Jüri : Dr. Öğr. Üyesi Melik KOYUNCU

: Prof.Dr.Ali KOKANGÜL

: Dr.Öğr.Üyesi Fikri EGE

Bu çalışmada bir üretim hattında farklı becerilere sahip işgücü ataması için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model, otomotiv endüstrisindeki belirli bir kaynak prosesinde üretilen bir ürüne işçi atamasında test edilmiştir. İlk olarak ürünü üretebilmek için gerekli olan işgücü ile ilgili veriler zaman etüdü ile toplanmış ve analiz edilmiştir. Zaman etüdü ile işçilerin beceri seviyeleri, üretilen ürün için gerekli olan beceri seviyesi (minimum ve maksimum), beceri matrisi oluşturulmuştur. Üretim maliyetini en küçükleyen matematiksel modelin girdi parametreleri olarak üretim alanından toplanan veriler kullanılmıştır. Yapılan analizlere, üretim maliyetini azaltmak ve verimliliği artırmak için, her iş için doğru beceri seviyesine sahip işgücünün atanması gerektiğini göstermiştir. Uygulama otomotiv sektöründe, kaynaklı imalat hattında bir ürün seçilerek yapılmıştır. Hatta 5 istasyon 14 iş bulunmaktadır.Bununla beraber işletmede o hatta çalışabilecek 27 operatör vardır, atama kriterleri baz alınarak operatörler optimum şartlar altında işlere atanabileceği bir modelleme çalışılmıştır. Matematiksel model raporlarında ve model üzerinde yapılan model genişletme analizlerinde elde edilen sayısal sonuçlar, doğru işgücünün doğru işe atanmasıyla işçilik maliyetlerindeki düşüşle beraber işin yapılma süresine olan etkisini ve yetkinlik seviyelerinde farklılıkların önemini de göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Matematiksel Modelleme, Atama Problemleri ,Zaman Etüdü

ABSTRACT

MSc THESIS

OPTIMIZATION OF ASSIGNMENT PROBLEMS IN PRODUCTION LINES WITH DIFFERENT SKILLED LABOR LEVELS

Hazel DURMAZ

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

Supervisor: Asst.Prof.Dr. Melik KOYUNCU

Year:2019 Pages: 91

Jury : Asst.Prof.Dr. Melik KOYUNCU

: Prof.Dr. Ali KOKANGÜL

: Asst.Prof.Dr. Fikri EGE

In this study we developed a mathematical model to assign workforces to the jobs who have different skills in a production line. The assignment model had been examined on a product that produced in a specified welding line in the Automotive Industry. First, all labor levels related to the product were analyzed by time study and the collected data were analyzed. In addition to time study analyzes, skill levels of workers, skill matrix and skill requirements (minimum and maximum) of the jobs were determined. The collected data were used as an input parameter in the mathematical model that minimizes the unit production cost. The experiments showed that it is necessary to assign right skilled worker to the job to minimize the production cost and increase the efficiency. The implementation was made in the automotive sector by selecting a product in the welding manufacturing line. In the line, 5 stations have 14 jobs. There are 27 operators that can work together with this line in company. A modeling has been carried out in which the operators can be assigned to jobs under optimum conditions, based on assignment criterias. The statistic results obtained in the mathematical model reports and the model analyzes made on the model show the importance of the differences in the level of competence and the effect on the duration of the job as well as the decrease in the labor costs by assigning the correct workforce to the right job.

Keywords: Mathematical modelling, Assignment Problems, Time Study

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Yetkinlikleri farklı seviyelerde olan işgüçleriyle yani kaynaklarla kurulan matematiksel modeller yardımıyla atamalar yapılarak dengelenmiş bir hatta ulaşılması ve ulaşılan hat dengelemenin işletme için maliyeti en küçüklenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın amacına hizmet etmek üzere aynı kaynaklar ve aynı işlerin olduğu hatta iki farklı model kurulmuştur. Kullanılan kaynaklardan en önemlilerinden biri işgücüdür. Her iki modelde de işgücünde farklı yetkinliklerde operatörler bulunmaktadır, yetkinlikleri farklı olan bu operatörlerin ise probleme ve çözümlere etkiyen en önemli özelliği yetkinliklerinin bir istanyondaki işte çalışıp çalışamayacağını belirlemesi eğer çalışabiliyor ise de yetkinlik seviyesine göre işi tamamlama süresinin farklılık göstermesidir. Tüm bu kriter ve özelliklerin modellere kısıt olarak yansıdığı ve her bir matematiksel modelin çözümü sonucunda elde edilen sonuçlara etki ettiği görülmektedir.

Model-1’de hattın çevrim zamanı belirlidir ve bu çevrim zamanı üzerinde çalışılması istenmektedir. Matematiksel model kurulurken bu çevrim zamanı altında çalışabilecek yetkinlikte operatörler atanması için kısıtlar eklenmiş ve atanacak bu operatörlerin ürettikleri ürünler üzerindeki maliyetinin işletme için minimum olması amaçlanmıştır. Model-2’de hattın çevrim zamanı belirsizdir, modelde çevrim zamanı kısıtları yer almadan kaynak maksimizasyonu ve maliyet minimizasyonu yapacak kısıtlar ile çevrim zamanını ve dolayısı ile ürüne yansıyan maliyeti en küçüklemek amaçlanmıştır.

Model-1 ve Model-2 arasındaki temel fark esnekliktir. İşletmelerin üretimdeki işgücü, makine, ekipman gibi kaynaklarından, finansal gücünden, pazar payı, rekabet, yatırım gibi sayılabilecek iç dinamiklerinden bağımsız olarak müşteri istediği ürün kalitesi, beklediği teslimat zamanı ve bunun için ödemeye hazır olduğu değeri kendisi belirler. Müşterinin belirlediği bu şartlara göre işletmelerin iç dinamiklerini yönetmesi beklenir, bu sebeple de esnek imalat yapabilmek

işletmeler için önemlidir. Model-1’de işletmenin kendi belirlediği zamana göre yeterli kaynaklar kullanıldığında maliyet minimizasyonu yapılırken, Model-2’de bu durum geliştirilerek kaynaklar maksimumda kullanıldığında maliyet minimizasyonu yapmak üzere en kısa süreli çevrim zamanında üretebilmek amaçlanmıştır. Sonuçlar geliştirilen modelde daha iyi çıkmıştır.

Model-2’nin daha iyi sonuç vermesi üzerine kurulan bu matematiksel model üzerinde ‘‘Model Genişletme’’ gerçekleştirilerek üç yeni model daha oluşturulmuştur. Model genişletmelerde amaç probleme yeni kaynak ve yeni işler eklendiğinde problemin ulaştığı sınırları görmek, sonuçları birbirleriyle karşılaştırabilmektir. Bu karşılaştırmalar ile pazarda müşteri beklentilerini karşılayabilmek için işletmenin izleyeceği yol haritasını belirlemek amaçlanmıştır. İşletmenin izleyeceği bu yol haritasında ilerlenen her t zamanı için gerçekleştirilen iyileştirmelerin gidişatının izlenebiliyor olması önemlidir, bu nedenle bir diğer amaç mevcut model yeni duruma göre çalıştırılarak yeni durum sonuçlarının alınabileceği ve gerçekleştirilen iyileştirme faaliyetlerinin ölçülebileceği ,bu ölçümün ise sürekli sağlanabileceğini göstererek aradaki anlamlı ilişkinin yani sürekli iyileştirme döngüsünün kurulmasını sağlamaktır.

Model genişletme analizleri gerçekleştirildikten sonra elde edilen sonuçlar ve öneriler, izlenecek yol haritası ile ilgili odaklanılması gereken konular ve ne çıkması gereken stratejiler değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda doğru işe doğru yetkinlikte operatör atanmasının önemine, eğitim planlama ve insan kaynağı planlamanın işletmeler için orta ve uzun vadedeki getirilerine, katma değerli faaliyetlerin ortadan kaldırılıp katma değerli faaliyetlerin ise iyileştirilerek daha verimli üretmek için yalın metodlardan yararlanılması gerekliliklerine ve getirilerine odaklanılması gereklilikleri ortaya çıkmıştır. Modeller arasındaki çevrim süreleri, operatör sayısı,birim maliyet ve bu indikatörlerin sonucunda ulaşılan yıllık üretim kapasitesi ve yıllık üretim maliyetleri açısından ulaşılan sayısal sonuçlara bakıldığında da belirlenecek stratejinin işletme için önemli olduğu sonuçlarına varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans dönemim boyunca tüm tecrübesini her koşulda aktaran, desteğini hep yanımda hissettiğim çok değerli tez danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Melik KOYUNCU'ya ayırdığı değerli zamanları için teşekkürü borç bilirim. Saygıdeğer Jüri Üyeleri Prof.Dr.Ali KOKANGÜL ve Dr.Öğr.Üyesi Fikri EGE'ye katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Her zaman manevi destekleri ile yanımda duran ve başarılamın arkasındaki gizli kaynaklarım olan çok değerli ve saygıdeğer ailem; annem Berrin DURMAZ, babam İhsan DURMAZ ve kardeşim Gizem DURMAZ'a ve hayat arkadaşım Erhan KARADENİZ'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca özel sektörde çalışıyor olmam sebebi ile yüksek lisans dönemi boyunca ihtiyaç duyduğum yardımlarını esirgemeyen değerli büyüğüm Hakan YAMAN'a, manevi destekleri ile ekibimdeki değerli arkadaşlarım Duygu KİYAĞA,Aylin KATAR BOYACI,Samet KESGİN ve Tarkan AKDOĞMUŞ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET.....	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLERLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIV
1.GİRİŞ.....	1
1. 1.Çalışmanın Amacı.....	3
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL METOD.....	15
3.1.Otomotiv İşletmesi ve Üretim Süreçleri Hakkında Bilgi.....	16
3.1.1.İşletme Profili.....	16
3.1.2.Üretim Bilgileri.....	16
3.2.Matematiksel Modellerin Kurulması için Üretim Hattından Veri Toplanması ve Analiz Edilmesi.....	19
3.2.1.Yetkinlik Çizelgesi ile Atanacak İşlerin Gereklerinin Belirlenmesi.....	19
3.3.Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması(Model I).....	27
3.4.Doğrusal Programlama Modeli ile Farklı İşgücü Atama Probleminin Çözülmesi(Model I)	31
3.5.Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması(Model II)	33
3.6.Doğrusal Programlama Modeli ile Farklı İşgücü Atama Probleminin Çözülmesi(Model II)	35
3.7.Karşılaştırma,Sonuç ve Öneriler.....	37

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	43
4.1.Model Genişletme 1 (Yeni Model 2.1)	44
4.2.Model Genişletme 2 (Yeni Model 2.2)	48
4.3.Model Genişletme 3 (Yeni Model 2.3)	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
5.1.Doğru İşe Doğru Yetkinlikte Operatör Atanması,Eğitim Planlama, İnsan Kaynağı Planlama ve Verimlilik Üzerine Elde Edilen Sonuçlar ve Öneriler.....	59
5.2.Darboğaz İşleri Bulma ve Sürekli İyileştirme Döngüsü ile Sağlanan Verimlilik Üzerine Elde Edilen Sonuçlar ve Öneriler.....	60
5.3.Çevrim Süresi , Operatör Sayısı ve Birim Maliyet Üzerine Elde Edilen Sonuçlar ve Öneriler.....	63
5.4.Yıllık Üretim Kapasitesi ve Yıllık Üretim Maliyeti Üzerine Elde Edilen Sonuçlar ve Öneriler.....	64
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	73
EKLER.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1.Yetkinlik Tablosunda Kullanılan Yetenek Seviyeleri Açıklamaları Çizelgesi.....	20
Çizelge 3.2.Treyler Kaynak Hattı Yetkinlik Çizelgesi.....	21
Çizelge 3.3.Yetkinlik(Polivalans) Çizelgesindeki Teknik Özelliklere Göre İstasyonlardaki Minimum Yetkinlik Gerekleri Çizelgesi.....	22
Çizelge 3.4.Operatörlerin İstasyonlardaki İşlerin Gereklerine Göre Sahip Oldukları Yetenek Seviyeleri Çizelgesi.....	23
Çizelge 3.5.Modelde İstasyonlara Atanacak İşlerin ve Operatörlerin Dağılım Çizelgesi.....	24
Çizelge 3.6.Farklı Yeteneklerdeki Operatörlerden Alınan Z.Etüdlerinden Herbir İş İçin Elde Edilen Max-Min Süreler Çizelgesi.....	25
Çizelge 3.7.İstasyonlar, İşler , Operatörler için Z.Etüdleri Veri Setinden Elde Edilen Max- MinSüreler Çizelgesi(1-15.işçi).....	26
Çizelge 3.8.İstasyonlar, İşler , Operatörler için Z.Etüdleri Veri Setinden Elde Edilen Max- MinSüreler Çizelgesi(16-27.işçi).....	27
Çizelge 3.9.Model-1 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi.....	31
Çizelge3.10.Model-1 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar.....	33
Çizelge3.11.Model-2 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi.....	36
Çizelge3.12.Model-2 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar.....	37
Çizelge3.13.Model-1 (Mavi), Model-2 (Yeşil) Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçların Karşılaştırılması- Genel Çizelge.....	39
Çizelge4.1.Mevcut Modeller ve Model Genişletme 1-2-3 için Kurulacak Modellere İlişkin Bilgiler.....	44

Çizelge 4.2. Yetkinlik Tablosundaki Teknik Özelliklere Göre İstasyonlardaki Minimum Yetkinlik Gerekleri Tablosu (6. İstasyon Yeni).....	44
Çizelge 4.3. Farklı Yeteneklerdeki Operatörlerden Alınan Z. Etüdlerinden Herbir İş İçin Elde Edilen Maximum - Minimum Süreler Tablosu (6. İstasyon Yeni).....	45
Çizelge 4.4. Model Genişletme 1 Model - 2.1 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi.....	46
Çizelge 4.5. Model Genişletme 2 Model - 2.1 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar.....	48
Çizelge 4.6. Yetkinlik (Polivalans) Tablosundaki Teknik Özelliklere Göre İstasyonlardaki Minimum Yetkinlik Gerekleri Çizelgesi (7. Ve 8. İstasyon Yeni).....	49
Çizelge 4.7. Farklı Yeteneklerdeki Operatörlerden Alınan Z. Etüdlerinden Herbir İş İçin Elde Edilen Maximum – Minimum Süreler Çizelgesi (7. Ve 8. İstasyon Yeni).....	49
Çizelge 4.8. Model Genişletme 2 Model - 2.2 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi.....	51
Çizelge 4.9. Model Genişletme 2 Model - 2.2 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar.....	53
Çizelge 4.10. Yetkinlik (Polivalans) Tablosundaki Teknik Özelliklere Göre İstasyonlardaki Minimum Yetkinlik Gerekleri Çizelgesi (9. Ve 10. İstasyon Yeni).....	54
Çizelge 4.11. Farklı Yeteneklerdeki Operatörlerden Alınan Z. Etüdlerinden Herbir İş İçin Elde Edilen Maximum – Minimum Süreler Çizelgesi (9. Ve 10. İstasyon Yeni).....	55
Çizelge 4.12. Model Genişletme 3 Model - 2.3 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi.....	56

Çizelge4.13. Model Genişletme 3 Model - 2.3 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar.....	58
Çizelge 5.1. Model Genişletme 3 Model - 2.3 Versiyon 2 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Tablosu.....	62





ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.Damper Treyler Kaynak Hattı Akış Diyagramı.....	2
Şekil 3.1.Model-1 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri.....	32
Şekil 3.2.Model-2 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri.....	36
Şekil 3.3.Model-1 ve Model-2 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri Karşılaştırması.....	38
Şekil 3.4.Model -1, Model -2 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firma için Araç B.Maliyeti Sonuçlarının Karşılaştırması.....	40
Şekil 3.5.Model -1, Model -2 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firma için Vardiyada Üretim Kapasitesi Durumuna İlişkin Sonuçların Karşılaştırması.....	40
Şekil 3.6.Model -1, Model -2 Çözümüne göre 880 Araç Üretiminde Yıllık Maliyet Durumuna İlişkin Sonuçların Karşılaştırması.....	41
Şekil 4.1.Model Genişletme 1 Model - 2.1 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri.....	47
Şekil 4.2.Model Genişletme 2 Model - 2.2 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri.....	52
Şekil 4.3.Model Genişletme 3 Model - 2.3 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri.....	55
Şekil 5.1. Model Genişletme 3 Model - 2.3 Versiyon 2 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri.....	63
Şekil 5.2.Çevrim Süresi, Operatör (İşçi) Sayısı ve Birim Maliyet Üzerine Elde Edilen Sonuçlar.....	64
Şekil 5.3.Yıllık Üretim Kapasitesi Üzerine Elde Edilen Sonuçlar.....	65
Şekil 5.4.Yıllık Üretim Maliyeti Üzerine Elde Edilen Sonuçlar.....	66



SİMGELER VE KISALTMALAR

X_{ijk} : i.istasyon j.işe k.operatör atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

T_{ijk} : i.istasyon j.iş k.operatörün işi yapma süresi (dk)

C_w : 1 dakikalık işçilik ücreti (€)

C_{si} : i.istasyonun çevrim süresi (dk)

D_i : i.işçi 1.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

E_i : i.işçi 2.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

F_i : i.işçi 3.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

G_i : i.işçi 4.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

H_i : i.işçi 5.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

S_{ij} : i.istasyonda j.işçiye atanan işlerin süreleri toplamı (dk)

J_i : {i.istasyonda çalışacak işçilerin kümesi}

C_i : $\text{Max } \{S_{ij}\}$ i.istasyonun çevrim süresi (dk)



1.GİRİŞ

Mühendislik bakış açısıyla problemlerin öncelikle tanımlandığı, kısıtlarının belirlendiği ve bu kısıtlar çerçevesinde çözüm kümesine ulaşıldığı matematiksel modeller yöneylem araştırmalarında klasik bir yaklaşım olarak yer almaktadır. Bu klasik yaklaşımlarda probleme ait veriler kesin olarak kabul edilir ve modelleme bu veriler üzerinden değişiklik arz etmeyecek şekilde kurularak çözüm kümesine veya optimum sonuca ulaşılır. Doğrusal Matematiksel Programlama olarak adlandırılan bu klasik yaklaşım 1920’li yıllardan itibaren oyun teorisi ile ilişkili olarak kullanılmaya başlanan ve ilerleyen yıllarda ulaştırma, atama ve karar problemlerinin çözümünde oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Basit, sınırları belirlenmiş, etkileşimlerin az olduğu gerçek hayat problemlerinde doğrusal matematiksel programlama çok iyi sonuçlar verirken, daha karmaşık, sınırlarının tam olarak çizilemediği, etkileşimlerin daha yoğun olduğu gerçek hayat problemlerinde yetersiz kaldığı da görülmektedir. Üretim süreçlerinde atama problemleri oldukça sık karşılaşılan ve kullanımına ihtiyaç duyulan bir araç olmuştur. Atama problemleri Doğrusal Matematiksel Programlama yaygın bir metod olmakla birlikte, gerçek hayat problemlerinde doğru yöntemin seçilebilmesi için öncelikle veri analizinin doğru yapılması ve doğru metodoloji ile ilerlenmesi gerekmektedir.

Tez çalışmasında atama modelleri arasında incelenecek olan alan; üretim hatlarında farklı işgücü seviyeleri olan bir atama problemidir. Atama modeli Otomotiv Sektöründe belirlenen bir kaynak hattından çıkan bir ürün (Damper Treyler) üzerine çalışılmıştır. Model farklı iş gücü seviyelerinde yapılan işleri içermektedir. Yapılan işlerin süreleri ise işi yapan opetatörün yetkinliğine göre değişmektedir.

Atama problemlerinde amaç fonksiyonu etkileyecek kısıtların probleme etki ederek bir sonuç oluştururken, ele alınan problemde farklı iş gücü seviyelerinin bulunması, her işe her iş gücünün atanamaması, atanabilmesi için çalıştırılacak

operatörlerde en az seviyede gerek duyulan yetkinliğin var olması gibi kaynak prosesinin doğasında bulunan kısıtlarında etkili olduğu, yapılan işin süresinin yetkinliğe göre değiştiği ve maliyete dönüştüğü bir problemin ele alınması sebebi ile otomotiv sektörü için önemli parametreleri içermektedir.

Otomotiv sektöründe üretimi; parça üretim, kaynak, boya, montaj olarak ana proseslere ayırdığımızda kaynaklı imalatın gerçekleştirildiği kaynak prosesi yapılan işler gereği imalatın farklı noktalarında farklı yetkinliklerde operatörlere ihtiyaç duyulan bir alandır. Örneğin gaz altı kaynak yapılan bir bölgede gaz altı kaynağı yapma yetkinliğine sahip bir operatöre ihtiyaç duyulurken toz altı kaynak yapılan bir bölgede toz altı kaynağı yapma yetkinliğine sahip bir operatöre ihtiyaç duyulmaktadır. Örnekte olduğu gibi sadece kaynak türlerine göre değil kaynak proses zorluklarına göre de yetkinlikler farklılaşmaktadır. Bu nedenle problemde farklı işgücü kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır.

Probleme ait metodlar belirlenip veriler toplanırken; öncelikle ürüne ait tüm işgücü seviyelerinde zaman etüdü yapılarak veriler toplanmış, toplanan verinin analizinin yapılması sağlanmıştır. Zaman etüdü analizleri haricinde hatta; işgücü seviyelendirme, yetkinlik matrisi ve atanacak işlerin yetenek gereksinimleri(minimum ve maksimum) belirlenmiştir. Tüm bu veri toplama-analiz etme aşaması sonrasında ikinci aşamada elde edilen veri setleri iki farklı modellemede kullanılmıştır. Amaç minimum birim üretim maliyetini sağlayacak doğru iş gücünün atamasını sağlamaktır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için işin gereklerine göre, doğru yetenek seviyelerinde ve istenen süre aralığında ürünü çıkarabilecek işgücü ataması yapılması gerekmektedir .Veri setlerine bakıldığında iş sürelerinin yetenek seviyelerine göre artıp azaldığı bir aralığa sahip olduğu ve her işin de yetenek gereksinimlerinin minimum yetenek seviyelerin ve maximum yetenek seviyelerinin olduğu görülmüştür. Aynı problem DP ile iki farklı modellemeyle çözümlenerek iki metod arasında elde edilen çözüm kümelerinin karşılaştırılması, metodlardan elde edilen sonuçların analizleri yapılarak

yorumlanması, karşılaştırılması ve metotlardan elde edilen sonuçların gerçek hayatla uyumu tez sonucu olarak sunulacaktır.

1.1.Çalışmanın Amacı

Elde edilen bilgiler doğrultusunda DP yardımıyla otomotiv işletmesinin Damper Treyler üretiminin belirli bir oranda üretim süresini kısaltarak,doğru yetenekteki işgücünü doğru işlere atayarak, atanan işler arasında iş yükü dengeleme (hat dengeleme) yaparak işçilik maliyetini minimize eden modellemeler ile üretimi gerçekleştirmektir, ayrıca üretim süresinin düşüşü ile seri üretim yapan bir firma için oldukça önemli olan kapasite arttımını da sağlamış olacaktır. Seri üretim haricinde ise yeni ürün geliştirmede, doğru işgücünün doğru işe atanması ile ürün devreye alma süresini kısaltarak, tasarım doğrulama çalışmalarının verimliliğini arttıracaktır. Yeni ürün geliştirme esnasında teknik resimler üzerinde kaynak yapılacak yerler, yapılacak kaynağın özellikleri, parça bazlı işlem adımları yer almaktadır. Teknik resimlerle birlikte WPS(kaynak standartları), PQR(kaynak prosedürü), NDT(tahribatsız muayene) Planları ve Kaynak Haritaları ise prosesin kaynaklı imalat esnasında proseslerin gerek duyduğu yetkinliği belirlemede kullanılmaktadır, belirlenen bu yetkinliklere göre gerçekleştirilen doğru işgücü atamaları ürün devreye alma ve tasarım doğrulama çalışmalarına katkı sağlarken yeni geliştirilen ürünün seri imalata geçmeden önce proses standartlarının da oluşmasını sağlayacaktır.

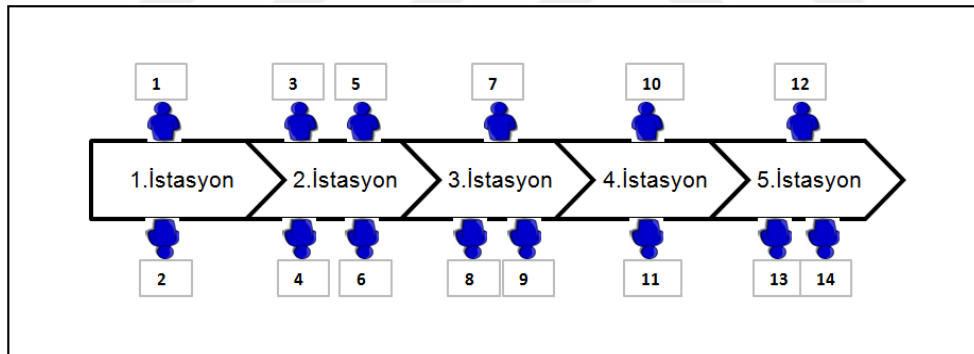
Dolaylı olarak tüm fabrikaya uygulandığında yetkinlikleri artırılması gereken operatörleri, hangi istasyonda hangi yetkinlikte operatöre ihtiyacın olduğunu da ortaya çıkararak eğitim planlarına, insan kaynağı analizine, insan kaynağının doğru kullanımı ve yönetimine, norm kadro çalışmalarına girdiler oluşturacaktır.

Uygulamanın bir başka amacı, aynı problemi DP ile iki farklı modellemeyle çözerek sonuçları yorumlamak ve optimum sonuca ulaşmak, hangi yöntemin daha avantajlı olduğunu optimum sonuçlar üzerinden değerlendirmek

aynı zamanda gerçek dünya problemlerine nasıl uygulandığı ve ne derece etkili olduğunun gösterilmesidir. Bu mantıktan hareketle, bir üretim sisteminde bu metot desteğinde farklı işgücü atamalarıyla bir üretim uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yöntem ile reel dünyanın özelliklerini yansıtmaya çalışan, onun belirsizliklerini göz ardı etmeyen bir programlama yaklaşımı ile işletmenin bir üründe işgücü atamaları analitik olarak oluşturulmuştur.

DP ile yapılan iki farklı modelleme sonuçları dikkate alınarak, daha iyi sonuç veren model üzerinde model genişletilerek analizler gerçekleştirmek ve yapılacak çalışmanın kısıtlarını genişleterek bulguların arttırılması ile sonuç ve önerilere hizmet edecek bilgilere ulaşmak amaçlanmaktadır.

Damper Treyler ürünü kaynaklı imalatın gerçekleştirildiği hattın akış diyagramı aşağıdaki gibidir. Seri olarak kurulmuş bir hat ve istasyon bazında ayrılmış ana işler ve bu işlere ataması yapılacak operatörler akışta gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Damper Treyler Kaynak Hattı Akış Diyagramı

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Savunma ihtiyacı ile Yöneylem Araştırmasına yönelik ilk gelişmeler II.Dünya Savaşı esnasında ortaya çıkmıştır. Optimizasyona amacı ile o yıllarda başlayan çalışmalar günümüze kadar gelişim göstermiştir. 1947 yılında George Dantzig tarafından Simplex Optimizasyon Yöntem bulunmuş ve bulunan simplex algoritması doğrusal programlama ile ilgili gelişmeleri beraberinde getirmiştir (Nash,2000; Hillier ve ark.,2010). Atama problemleri, ulaştırma problemlerinin özel bir türü olarak görülmekle birlikte yöneylem araştırmalarında doğrusal programlama modellerinde de en sık karşılaşılan tür olarak karşımıza çıkmıştır. Atamam problemlerinin yaygın türü olan ulaştırma problemleri ilk olarak 1941 yılında Frank L. Hitchcock tarafından ortaya atılmıştır (Hitchcock,1941).

Dantzig Simplex Algoritmasını bulmasıyla ulaştırma ve atama problemlerin doğrusal programlama ile modellenmesi ve simplex algoritması ile çözülmesini de gerçekleştirmiştir (Nash,2000). Atama problemlerinde (a adet) işler ve (b adet) kaynaklar vardır, elde bulunan kaynaklarla (b) yapılacak işlere (a)atama yapılır ve bu atama esnasında da bir maliyet oluşur. Amaç her bir kaynağı bir işte kullanmak bunu gerçekleştirirken de maliyetin kontrollü olarak minimumda olmasını sağlayacak bir algoritmayı içeren bir çözüm metoduna ulaşmak istenir. Simplex algoritma mantığı geliştirilerek alternatif çözüm yöntemlerine ulaşılmıştır ve çok farklı alandaki problemlerin çözümünde bu yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu alternatif metodların bazılarında işlem sürelerinin kısaldığı görülmüş, bazılarında daha gelişmiş problemlerin ele alındığı görülmüştür. 1957 yılında Tjalling C. Koopmans and Martin Beckmann doğrusal programlama modellemelerini kullanarak atama problemlerinin ekonomik faaliyetler içerisinde yerini ve önemini anlatan çalışmalarda bulunması simplex algoritma mantığının genişletilerek farklı alanlarda kullanılması ve alternatif çözümlere ulaşılmasına bir örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada ekonomik

faaliyetler içeren iki problem ele alınmıştır, sadece bölünebilen kaynakların değil bölünemeyen kaynakların ataması üzerine de ekonomik sonuçların elde edilebileceği görülmüştür (Koopmans ve ark.,1957).

Atama problemlerinde en sık başvurulmuş çözüm yöntemi problem bilgilerini 0-1 matrisine dönüştürülerek her adımda indirgenmiş matrisler elde etme metodu ile çözüme ulaştırmaya çalışan Macar Yöntemidir. Macar Yöntemi Khun tarafından 1955 yılında ortaya atılan bir yöntem olmuştur. Khun,Konig'in grafik teorisi hakkındaki kitabını okurken edindiği bilgiler ve yaptığı araştırmalar sonrasında Macar çözüm yönteminin bulunduğunu bulmuştur(Kuhn,1955).

Macar yöntemi oldukça yalın bir çözüm yöntemi olmakta birlikte simpleks yöntemi ile kıyaslandığında simpleks yönteminin bozulmalar olmaması için değişkenlerin eklenmesi ve ya temel algoritmanın problem özelliklerine göre geliştirilmesi gereklilikleri olmadan macar yönteminde doğrudan bir matrisi üzerinde basit işlemler gerçekleştirilerek sonuca ulaşıldığı bilgisine ulaşılmaktadır. Bu nedenle ilerleyen yıllarda da Macar Yöntemi temel alınarak bazı ek matrisler ya da geliştirmeler yapılmak suretiyle atama problemlerinde pek çok alternatif çözüm yöntemleri uygulanmıştır. Macar metodu pek çok çalışmada kullanılmış ve günümüz araştırmalarında hala kullanılmakta olan yaygın bir metoddur. Supian ve arkadaşları(2005) 10 kişinin 10 farklı noktaya (posta ofisi teslim merkezine) tanımladıkları kısıtlar doğrultusunda atamasının yapılacağı bir atama problemini Macar Metodu kullanarak çözüme ulaştırmışlardır ve yaptıkları duyarlılık analizi ile de optimum atamaların değişmediğini göstermişlerdir(Supian ve ark.,2005).

Singh ve arkadaşları(2012) ise macar metodunu temel alıp geliştirerek MOA adını verdikleri ve "Matris Ones Assingment Method" yaklaşımı ile farklı bir çözüm oluşturmuşlardır. MOA yaklaşımında matris birleştirme yöntemleri kullanılmıştır ve Macar metodu ile bu yöntem birleştirilerek atamalar gerçekleştirilmiştir, maksimizasyon veya minimizasyon yapılmak istenen tüm atama problemleri için kullanılabilecek yeni ve basit bir yöntem bulunmuştur.(Singh ve ark.,2012).

Atama problemleri ulaştırma problemlerinin bir türü olmasına rağmen üretim alanında yoğunluklu olarak kullanılan özellikle işçi makine atamalarında sık kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Aicha Ferjani ve arkadaşları (2017) üretim sektöründe başta müşteri taleplerindeki değişiklikler olmak üzere sistemi dinamik tutan pek çok değişikliğin meydana geldiği bir atama problemi çalışmasında bulunmuşlardır. Bu değişikliklere uyum sağlamak ve hedefler doğrultusunda işi tamamlamak için yapılan makine ve işçi atamalarının önemi olduğunu, şirketlerin çoğu üretim sistemlerinde stokastik yaklaşımı benimsediğini fakat bu yaklaşım değişikliklere karşı dinamik bir çözüm sunmadığını savunmuşlardır. Değişikliklere karşı duyarlı sistemler ile işçi ve makine atamaları yapılabilir olmalıdır. Meydana gelen değişiklikler atama yapılırken ana akış zamanına etki ettiği görülmüştür, ana akış zamanına etki eden bu değişikliklerden biri de işçilerde meydana gelen yorgunluktur. İşçiler atandıkları görevlere yorgunluk sebebi ile beklenen zamandan daha fazla zaman harcayabilmektedirler. Yorgunluğun görev süresine olan etkisinin incelendiği çalışmada çok kriterli sezgisel bir analiz metodu kullanılmış ve daha dinamik bir makine işçi ataması yapılmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar ana akış zamanı üzerinde yorgunluğun etkisinin olduğunu ve sezgisel yaklaşımın daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Ele alınan bu atama probleminde yorgunluk faktörü değişiklik olarak ele alınmıştır ama bir başka değişiklik de ele alınıp sunulan metod ile çözüme ulaştırılabileceği aktarılmıştır. Aicha Ferjani ve arkadaşlarının ulaştığı bir başka sonuç ise atama problemlerinde işlerin yapılma sürelerinin pek çok faktöre bağlı olduğu ve bu faktörlerin her zaman niteliksel olmayabileceği, bazılarının niceliksel olduğudur, bu gibi durumlarda da bulanık mantık kullanılabileceğidir (Ferjani ve ark., 2010).

Farklı yetenekler gerektiren işlerin, yetenek seviyeleri bilinmeyen işçilere atanmasını konu alan Stefanie Brilon'un (2010) gerçekleştirdiği çalışmada yapılan iş atamalarında ilk olarak işçilerin gösterdikleri performanslara odaklanılmaktadır. Atanacak 2 iş olduğu varsayarak atanacak işçiler için referans alınan temel fikir şu

şekilde olmuştur; mevcut işçi veya dışardan alınabilecek bir işçinin önce 1.işe atanması sağlanmakta, atandığı bu işte performansı izlenerek belirlenmekte, işçinin eğitim ve yeteneğine göre 2.iş için yeniden atamasının yapılması sağlanmaktadır. 1.işte gözlenen performansa göre 2.işte daha verimli bir atama yapılmaktadır. Atanacak işçiler için kurulan matematiksel model ile birinci kısımda işveren uygun gördüğü herhangi bir göreve herhangi bir işçiyi atayabilir iken ikinci kısımda işveren firmaya dışardan gelen veya mevcutta bulunan işçilerle izlenen performansları dikkate alarak belirli işleri belirli işçilerle atamasıyla oluşturulmuş ve Peter Prensibi temel alınmıştır. Ulaşılan sonuçlardan en önemlilerinden biri, işçiler başka bir işe yeniden atandıklarında daha az üretken olduklarının ortaya çıkmış olmasıdır, bunun sebebi ise işverenlerin tamamen yeni işçileri işe almak yerine, bazı tecrübeleri olan işçileri yeniden atamayı etmeyi tercih etmesi olduğu savunulmuştur. Bu prensibin etkisi dışardan gelen adaylar hakkında edinilecek bilgiye, mevcut işçilerin sahip olduğu yetenek seviyesine, piyasanın durumuna, rekabet derecesine göre artan veya azalan değişkenlik gösterdiği sonuçlarına ulaşılmıştır(Brilon,2010).

Atama problemleri doğrusal programlama temel alınarak metasezgisel algoritmalar geliştirilen ve daha iyi çözümlere ulaşılabilindiği görülen bir alan olduğu Mayron C'esar de O. Moreira, Alysson M. Costa'nın (2009) çalışmalarında da görülmüştür. Metasezgisel algoritmalar kullanılarak geliştirilen bu çalışmada tabu algoritması atama probleminde kullanılarak montaj hattı dengeleme çalışması yapılmıştır. Ele alınan problemde son zamanlarda engelli insanların refahı ile ilgili konularda toplumsal farkındalık artışı görülmesinin de etkili olması ile engelli işçiler kullanılmış ve göreve ataman işçilere bağlı olarak işin farklı zamanlarda tamamlaması problemini çözmek ele alınmıştır. Bu sorunların çözülmesi için geliştirilen tabu arama algoritmasının tasarlanmasında atamaları olabildiğince basit, esnek, doğru ve hızlı hale getirecek bir algoritma geliştirmek amaçlanmıştır. Engelli işçilerin çalışma ortamına alışmaları için daha uzun bir adaptasyon süresine ihtiyaçları vardır, bu adaptasyonlar için çalışan sosyal yardım birimleri

bulunmaktadır fakat bazı görevler vardır ki engelli bir çalışan normal bir çalışan gibi performans gösterebilir, bazı görevler vardır ki engelli bir çalışan tarafından yerine getirilemez. Kurulan matematiksel modelde iş öncelik sıraları ve iş merkezlerindeki takt zamanları dikkate alınarak (en küçüklemek amaçlanarak) atamalar yapılmıştır. Tabu algoritmasında kurulan bir matematiksel modelin hızlı ve doğru çözmesi kadar basit olması ve esneklik göstermesi savunulmaktadır. Tabu algoritması problem üzerinde çok sayıda çalıştırılmış ve daha iyi sonuçlar alındığı görülmüştür. Engelli vatandaşlara çalışma koşullarının oluşturulması, hükümetler ve şirketler gündeminde giderek artan bir görev haline gelmiştir fakat bu durum iş merkezlerinde montaj hatlarının programlanması problemini zorlaştırmaktadır, yapılan çalışma ile daha basit, esnek, hızlı ve doğru bir atama yapılarak atama zorluklarının minimize edilebileceği bu nedenle de engelli insanlara da kendi yetenekleri doğrultusunda iş merkezlerinde yer verilebileceğini ve bu durumun işçi görev atamalarını geliştirilen yöntem kullanılarak yapılabileceğini örneklemiştir(Moreira ve ark.,2009).

Li ve arkadaşları(2008) yaptıkları çalışmada , hücresel üretim yapan bir firmada , değişken ve değişken olmayan işçilik maliyetini dikkate alan , toplam maliyeti en küçükleyerek, işçileri hücreler atayan bir matematiksel model geliştirmişlerdir.Toplam üretim maliyetini farklı yeteneğe bağlı değişen maliyetlere göre hesaplamışlardır. Üretim verimliliğini x adet üretmek için bir makinada geçirilen zamanın x adet üretmek için aynı makinada geçirilen normal zaman ile saptamışlardır. İşçilerin yetkinlikleri kullanabildikleri makine sayıları üzerinden kullandıkları süre boyunca elde ettikleri üretim verimliliği Gauss Dağılımı metodu kullanılarak 3 sigma kuralına göre belirlemişler ve her işçinin bu yöntemle göre yetkinliğinin bir teknik değeri oluşturulmuşlardır. Değişen işçilik maliyetleri ve değişmeyen işçilik maliyetleri açısından sonuçlar yorumlandığında personellerin yetkinlikleri yükseldikçe ve yüksek yetkinliğe sahip çalışan personel sayısı arttıkça toplam maliyetin azaldığını göstermiştir. Gelecek için yapılacak çalışma operatörlerin yetkinliğini artırma yönünde eğitimler olmalıdır, belki

toplam maliyet her t zamanında azalmayacaktır fakat yüksek yetenekli operatörlerin maliyeti ile operatörlerin yetkinliğini arttırma maliyetleri arasında bir denge olması gerektiği öngörülmüştür(Li ve ark.,2008). İşçi atama problemlerinin üretim sistemlerinde sistem performansını büyük ölçüde etkilediği bilinmektedir. Üretim sistemlerinde atama problemlerinin pek çok kriteri bulunmaktadır. Achraf Ammar ve arkadaşlarının (2013) gerçekleştirdiği çalışmada ilk olarak üretim sistemlerinde atama problemlerinin önemli özellikleri ele alınmış sonrasında ise kriterler olarak değerlendirilebilecek ve problemin türünü ortaya koyan diğer özellikler ; çalışanların esnekliği, istasyon sayısına, işçi hareketine, sorun doğasına (statik veya dinamik atama) ve insani düşünceye (örneğin; öğrenme ve unutma etkileri), sistem türüne (örneğin; U-şekilli sistemler ve hücreli organizasyonlar), problemleri çözmek için kullanılan farklı yöntemlere (örneğin; matematiksel yaklaşımlar, simülasyon, çok kriterli karar verme, bulanık mantık ve bu yaklaşımların kombinasyonunu içeren yöntemler, vb.) yer verilerek bir analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarında aktarılan önemli bulgular olmuştur. Dinamik işçi atamaları için kullanılan yaklaşımlarla ilgili olarak, çok yönlü yaklaşımlar ve öğrenme yöntemleri gibi yaklaşımlarda nöral ağ simülasyonu metamodelleri kullanılmasına rağmen henüz çalışmalar istenilen kadar yaygınlaşmamıştır fakat önemli bir potansiyele sahip olduğuna dikkat çekilmiştir. Buradan hareketle genel olarak literatür analizini özetlemek gerekirse; gerçekleştirilen analiz işçilerin atama problemlerinin bilimsel alanının daha fazla araştırmaya açılması gerektiğini göstermektedir(Ammar ve ark.,2013).

Atama problemlerinde son zamanlarda kullanılmaya başlayan bir diğer yöntem ise iyi bilinen ve günümüzde yaygınlaşan yapay zeka genetik algoritması olmuştur. Shaikh Nizami ve arkadaşlarının (2011) gerçekleştirdiği çalışma da bunun bir örneği olarak karşımıza çıkmıştır, bu çalışmada genellikle Macar Yöntemi ile çözülen atama problemlerinin genetik algoritma ile çözülebileceğini ve bu yöntemin daha hızlı ve daha etkili bir araç olduğundan bahsedilmektedir. Metod kullanılırken bazı genetik terimler ile algoritma/matris kurulmaktadır.(Örneğin;

genotip, kromozom, çaprazlama, seçim, çoğalma, mutasyon vb..) Amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılar bu algoritmaya göre kodlanarak, sıralı işlemler gerçekleştirilip çözüme ulaşılmaktadır(Nizami ve ark.,2011).Genetik algoritması kullanılmış olduğu Jameer. G. Kotwal, Dr. Tanuja S. Dhope'un (2015) çalışmalarında ise; bir operatörün birden fazla işe atanabileceği, görev-zamanlama ve operatör-yerleşim kısıtlamalarının bulunduğu, görevleri yerine getirmek için operatör kapasitesi kısıtının da bulunduğu durumların günlük giderleri değiştirdiği bir problem ele alınmıştır. Genetik algoritma temel olarak, işlerin doğru çizelgelenmesi ve doğru operatöre doğru görevin atanması için toplam hatalı atamaları en aza indirmek için kullanılmıştır. Ele alınan problemde farklı genetik algoritmalar ile çözüm tablosu sunulmuş aynı problem için ulaşılan farklı çözümler gösterilmiş olup daha fazla evrimsel algoritmik tekniği birleştirilerek problemlerin çözebileceğine dikkat çekilmiştir(Kotwal ve ark.,2015).

Hücreyel üretim sistemlerinde hücre içinde çalışan operatörün hareketliliği dikkate alınarak karakterize edilen işgücü esnekliğini (iş gücü paylaşımı ve iş gücü dengelemesi prensiplerini temel alarak) ortaya koymak üzere Viviana I. Cesani, Harold J. Steudel (2005) tarafından geliştirilen atama modelini konu alan bir başka çalışma incelendiğinde odak noktanın ; farklı iş dağılımı stratejilerinin (sadece bir operatör bir makine veya gruptan veya makineden sorumlu olduğunda), (bir makineden veya bir grup makineden birden fazla operatör sorumlu olduğunda) sistem performansı üzerinde yarattığı etkiyi araştırmak olduğu görülmüştür. Yapılan deney sonuçları ise bireysel operatörlere atanan iş yükündeki denge ve operatörler arasında paylaşılan iş yükünün seviyesi, sistemin performansını belirlemede önemli bir faktör olduğunu göstermiştir.Gelecek çalışmalarda genişletilmesi gereken alanlar; seviye paylaşımı, dengeleme seviyesi ve hücrelerin iş çıktılarından elde edilen verim oranı arasındaki karmaşık ilişkiler olarak öngörülmüştür(Cesani ve ark.,2005).

Bilgi/beceri değer kaybı ve şirketin yetenek seviyesi hedeflerine göre çok yönlü yeteneği olan operatörlerin işe atanmasını konu alan Christian Heimerl ve

Rainer Kolisch'in (2009) gerçekleştirdiği çalışmada kurulan model ile (kısıtlı doğrusal olmayan sürekli optimizasyon modeli) izlenebilecek stratejilere ulaşılmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilen atamalar ve bunlara bağlı öğrenme eğrileri incelendiğinde ;daha hızlı öğrenme, insan kaynaklarını daha uzmanlaşmış hale getirdiği bunun da şirketin daha geniş bir niteliğe sahip olmasına yol açtığı sonucuna ulaşılmıştır.Şirketin beceri seviyesi hedefleri, şirketin niteliklerini genişletmek için etkili bir araç olduğu ancak yüksek maliyetlere neden olabileceğine dikkat çekilmiştir. Genetik algoritmalar ile konunun ele alınabileceği de sonuçlar arasında değerlendirilmiştir(Heimerl ve ark.,2009).

Bryan ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada ise; hem insani hem teknik özellikleri ve bunların sistem performansı üzerindeki etkilerini dikkate almak üzere üretim alanlarına işçi atama modeli kurulmuştur. Test sonuçları, bu modelin sadece teknik yetenekleri dikkate alan çalışanlardan daha iyi görev atamaları sunduğunu göstermiştir bu sebeple şirketlerin üretim sistemleri tasarımında insan unsuru üzerinde daha fazla yer ayırdığı eğilimi desteklemektedir. Problem gelişime açık bir problem olduğu savunulmuş, işçilerden daha fazla operasyonun (iş merkezi) olduğu durumları da göz önünde bulundurarak, her bir işçinin bir operasyon gerçekleştirirken zamanlarının sadece bir kısmını harcayabileceğini ve her bir operasyonun zamanın% 100'ünden daha azını gerçekleştirebileceği, ayrıca bu modelin performansını hem daha fazla çalışanı hem de daha fazla beceriyi içerenler de dahil olmak üzere geliştirebileceği öngörülmüştür(Norman ve ark.,2002).

Nakade ve arkadaşları(1999) gerçekleştirdikleri üretim hatlarına işçi atama çalışmalarında tam zamanlı üretimi referans almışlardır. Farklı yetenekte işçilerin olduğu, operasyon zamanlarının ve yürüme zamanlarının deterministik kabul edildiği U şeklindeki üretim hatlarına çevrim zamanının altında olması şartıyla atamaların gerçekleştirildiği bir problem ele alınmıştır, geliştirmiş oldukları algoritma ile optimum atamalara ulaşmışlardır(Nakade ve ark.,1999).

Brusco ve arkadaşları (1998) bir işletmenin sahip olduğu farklı yetkinliklerdeki işgücünün işletmeye olan maliyetlerinin araştırılması ve politika analizinin yapılması amacı ile bu çalışmada bulunmuşlardır.Farklı yetkinlikleri olan çalışanları işletmenin var olan planlanmış işleri doğrultusunda asgari işgücü kullanmak sureti ile tamsayılı doğrusal programlama kullanarak sonuca ulaşılmıştır. Atamalar doğrultusunda karşılaştırmalar yapılmış ve farklı yetkinliklerde işgücüne sahip olmanın faydalı olduğu görülmüştür.(Brusco ve ark.,1998)

İşgücü esnekliği dikkate alınarak iş istasyonlarına operatörlerin atandığı bir hücrel üretim alanında Rafiei ve arkadaşları (2012) DEA(Determining efficient assignment) metodolojisi kullanılarak hem en uygun atama stratejisine hem de işgücünü optimum seviyede tutacak parti büyüklüklerine yönelik optimizasyonu sağlayan bir modelleme yapılmıştır.Ulaşılan sonuçlarda bir hücrede işyükünün artmasının her zaman üretimi arttırmadığı, darboğaz istasyonlarla diğer istasyonlar arasındaki atamaların farklı olması gerektiği, transfer yapılacak parti büyüklüğünün kullanılan işgücüne etkisinin yüksek olduğu görülmüştür(Rafiei ve ark.,2012).

Mahdavi ve arkadaşları (2010) hücrel üretimin yapıldığı bir işletmede işçilerin makinelere atanması üzerine geliştirdikleri matematiksel modellemede, makine-işçi kapasitesinin maksimum verimle kullanılması,parçaların üretim hacmi ve buna bağlı olarak etkilenen üretim planlaması hakkında yeni öneriler sunmuştur(Mahdavi ve ark.,2010).

İşgücü esnekliği ile bir başka çalışma Molleman ve arkadaşları (1999) gerçekleştirilmiş olup işgücü esnekliği kadar çalışan verimliliğine de dikkat çekilmiştir. İşgücü esnekliğini ekip performansı olarak değerlendirmişlerdir ve bu performansa etkiyen en önemli olumsuz etkenlerden en önemlisi ise devamsızlık olarak görülmüştür. Darboğaz işlere atanmış olan işçilerin işyükü devamsızlık durumunda diğer işçilere atanacak ve mevcut yüklerine ek olarak gelecek, bekleme süreleri oluşturacaktır bu da ekip performansının düşmesine neden olacağı

anlatılmıştır. Çalışmanın sonucunda işgücü esnekliğinde ekip performansı yani verimliliği de arttırmak için devamsızlığın olumsuz etkilerinin azaltılması gerektiği açıklanmış ve her görevin en az iki operatör tarafından yapılabilir olması sonucu çıkarılmıştır. (Molleman ve ark.,1999)

Rabbani ve arkadaşları (2012) robotların üretim hatlarına girmesiyle hem robot hem de insanların çalıştığı üretim hattında karma model montaj hattı dengeleme yapmayı amaçlamışlardır.Ürünün seride olup olmamasına göre işleri ortak işler ve özel işler olarak gruplamış ve iki ayrı modelleme yaparak işlerin iş istasyonuna atanmasını sağlamış, modeller arası yaptıkları karşılaştırmalarla performans değerlendirmelerinde bulunmuşlardır. (Rabbani ve ark.,2012)

Nilakantan ve arkadaşlarının (2016) birden fazla görevi gerçekleştirmesi beklenen robotların yer aldığı U şekilli montaj hattında iş istasyonlarına görevlerin atanması ve robotların bu görevleri gerçekleştirmesi beklenmektedir, yapılan atamalarda amaç göreve en uygun robotun atanması ile çevrim sürelerinin düşürülmesidir.

Atamalarda kullanılan algoritma ile düz montaj hatlarına göre U şekilli montaj hatlarının robotlarla kurulan montaj hattında çevrim süreleri değerlendirildiğinde daha iyi sonuç verdiğine ulaşılmıştır.(Nilakantan ve ark.,2016)

3. MATERYAL METOD

(Üretim Süreçlerinde Farklı İşgücü Seviyeleri Bulunan Otomotiv Sektöründeki İşletmede Yapılan İşgücü Atamalarında Matematiksel Doğrusal Programlama Uygulaması)

Çalışmanın bu bölümünde Mersin ilindeki bir otomotiv işletmesinin kaynak üretim hattından Treyler ürünü varyantlarından biri olan Damper Treyler ürünü seçilmiş, zaman etüdü çalışması yapıp elde edilen gerçek verilerle iş için gerekli işgücü seviyeleri dikkate alınarak DP problemi olarak modellenmiştir. Zaman etüdü yapılırken REFA (Alman Zaman Ölçüm Standartları) dikkate alınmıştır, Refa Standartlarını içeren zaman etüd formu ile zaman etüdü Refa Eğitimi olan kişiler tarafından alınmıştır. Hattaki operatörler ölçüm öncesi bilgilendirilmiştir. Bir istasyondaki bir işin ölçümü alınırken 1,2,3,4. seviyelerdeki işçilerin etüdüleri ayrı ayrı alınmıştır. Her bir seviyede ilgili istasyon ilgili işte yeterli sayıda örneklem alındıktan sonra, örneklem üzerinde gerçekleştirilen karşılaştırma ve analizler sonucunda modelleme içerisinde kullanılan ilgili çizelgeler oluşturulmuştur. Zaman etüdlerinde yaklaşık 7 ay süresince devam eden çalışma çizelgelerin oluşturulması ile birlikte modelin kurulumu ve diğer kısıtlarla ilgili çalışmalara devam edilmiştir.

Bu uygulama otomotiv sektöründeki farklı işgücü seviyeleri olan üretim hatlarında ve ya ürünlerde, işe işgücü ataması yaparken doğru atamalar ile hem en kısa sürede ürünü tamamlayabilme hem de işçilik maliyetini minimize edebilmede DP kullanarak iki model kurulmuştur. Birinci matematiksel model çevrim süresi(takt) belli olan hatlarda farklı iş gücü seviyelerindeki işçileri işin gerektirdiği seviye doğrultusunda atanarak maliyet minimizasyonu sağlanmasını amaçlamıştır. İkinci modelde ise çevrim süresi belirsizdir, farklı işgücü seviyelerindeki işçiler işin gerektirdiği seviye doğrultusunda atanarak, aynı zamanda atama yapılan işler arasındaki süre farkını minimize eden ve maksimum işi yapma süresine sahip işçinin çevrim süresini (takt) belirlediği modelin maliyet minimizasyonu sağlarken

hat dengeleme de yapması amaçlamıştır. Kurulan bu iki model arasındaki farklılıklar yorumlanacaktır.

3.1 Otomotiv İşletmesi ve Üretim Süreçleri Hakkında Bilgi

3.1.2 İşletme Profili

1965 senesinde Ankara’da makine ithalatı, ihracatı ve mümessillik faaliyetleri ile iştigal etmek üzere kurulmuş, farklı sektörlerde hizmet veren holding yapısı ile varlığını devam ettirmektedir. Mersin işletmesinde kamyon üst yapı üretimi gerçekleştirilmektedir. 300.000 metrekare alanda 66.000 metrekare kapalı alanda üretim yapmaktadır. Bulunulan lokasyonda modern yüzey koruma teknolojisi kataforez kaplama tesisi içeren kaynak ve boyahane imalat proseslerinde robotlu otomasyon sistemlerinin kullanılacağı (yıllık 25.000 adet ürün üretim kapasiteli) tek çatı altında entegre üretim tesisi yatırımı sürmektedir. Mavi ve beyaz yaka olarak 650 kadar çalışanıyla yurtiçinde Ankara, İstanbul, Mersin ve Gaziantep, yurtdışında Rusya,Almanya,İrak, Tayland bayi ağı ile müşterilerine ürün ve hizmet sunmaktadır.

3.1.2 Üretim Bilgileri

İşletmede beş farklı üretim süreci bulunmaktadır. Bunlardan üçü ana süreç diğer ikisi yan süreçlerdir. Ana süreçler kaynaklı konstrüksiyon hatları, boyahane ve montajlı üretim hatlarıdır ve her ürün sırasıyla bu üç üretim sürecinden geçmektedir. Yan süreçler ise parça imalat ve parça kaynaktır, ana süreçlerin tedarikçi süreci olan bu iki üretim merkezi işletmenin ana üretim süreçlerindeki malzeme kalitesi, parça tedarik süresi, iç lojistik süreci , doğru miktarda ve zamanında parça üretimi gibi konularda hayati öneme sahiptir.

3.1.2.1 Parça İmalat

İşletmenin yan yani yardımcı üretim süreçlerinden ilki parça imalatıdır. Aynı zamanda parça imalata hammadde tedariki sağlayan bir sac ambarı da

bulunmaktadır, işletme ürün portföyü ile hem çelik hem de alüminyum sac kullanan bir işletmedir. Parça imalat merkezinde ürün portföyüne yönelik olarak uygun saclar Lazer Kesim’de kesilir, kesim işlemi sonrasında doğrudan kullanılacak ise ilgili müşteri istasyonuna gönderilir doğrudan kullanılmayacak ise talaşlı imalat aşamalarına geçer. Freze, torna ve büküm olmak üzere kesilen parçalar teknik resimlerine göre bir ve ya birden fazla işleminden geçebilmektedir. Ana üretim süreçleri ve parça kaynak için böylelikle doğru ürün parça imalat merkezinden çıkarılmış olur.

3.1.2.2 Parça Kaynak

Tedarikçi prosesi parça imalat olmak üzere parça kaynak da parça imalat gibi yan yana yardımcı üretim süreçlerindendir. Parça kaynak işletmede iki farklı şekilde yapılmaktadır bunlardan ilki el ile yapılan(manuel) parça kaynak iken diğeri robot kaynaktır. Aynı girdi ve aynı çıktılar her iki yöntemle de sağlanırken birinde işgücü kullanımı diğeri ise robot kullanımı yer almaktadır, bir diğer farklılık ise robot kaynağın çok daha hızlı bir üretim gerçekleştirmesidir. Manuel yapılan parça kaynak istasyonlarında hücre tipi üretim kullanılmaktadır. Parçalar parça imalat tarafından tedarik edilir, bu parçalar doğrudan lazer kesimden gelen parçalar olabileceği gibi talaşlı imalat süreçlerinden geçmiş parçalar da olabilmekle birlikte teknik resimlere göre kaynaklı konstrüksiyon işlemi gerçekleştirilerek doğru ürün parça kaynak merkezinden çıkarılmış olur.

3.1.2.3 Kaynaklı İmalat Hatları

Ana üretim süreci olan kaynaklı imalat hatlarında kamyon üstyapıları için şasi ve gövde kaynakları yapılmaktadır. Şasi kaynak ve gövde kaynakta ürün çeşidine göre her bir ürün tipi için bir kaynak hattı bulunmaktadır. Aynı ürünün tüm varyantları da bu kaynak hattında üretililebilecek şekilde hatlar kurulmuştur. Kaynak hatlarında hem çelik konstrüksiyonlu hem de alüminyum konstrüksiyonlu ürünler yer almaktadır, ana malzemenin farklı olması üretim sıralaması ve

metodolojisini değiştirmeyken kaynak tipi ve yöntemleri ile kaynak makinası ayarlamaları farklılık oluşturmaktadır. Kaynaklı üretimde WPS (Welding Procedure Certification) , yani kaynak yöntem şartnamesi hayati önem arz etmektedir. Kaynak yapan kişiye hangi kaynağı, hangi yöntem ve değerler ile yapacağını, kaç pasoda kaynatacağını ve ön hazırlık (ısınma) ihtiyaçlarını belirtir. WPS’ler WPS yazma onayı bulunan kişiler tarafından işe uygun olarak yazılır ve yapılan işe değişiklikler meydana geldikçe güncellenir. Bu sebepler doğrultusunda kaynaklı imalat hatlarındaki prosesler ve bu prosesleri gerçekleştirecek iş gücü tasarımı hem ürün kalitesinde hem de üretim sürecinin doğru işlemesinde oldukça önemlidir. Kaynak hatları daha çok parça imalat ve parça kaynaktan beslenirken az da olsa satın alma malzemeleri de kullanımdadır. Kaynak hatlarında kalıp fiştrler de üretime yardımcı olan bir diğer üretim araçlarıdır.

3.1.2.4 Boyahane

Ana retim süreci olan boyahanede parça, şası, gövde boyama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Boyahane de kumlama, astarlama ,silikonlama, fosfatlama ,boyama (toz boyama ve yaş boyama) ve kurutma işlemlerini yapan fonksiyonel alanlar bulunmaktadır.

Kumlama; metalin zamanla pas ve korozyona uğramasından dolayı üzerindeki yağ,kir,pas ve korozyonu kaldırıp boyama işlemi ile metalin kullanım ömrünü uzatmak için uygulanan kaynaklı imalat sonrası boyahanede ilk sırada uygulanan yöntemdir.

Fosfatlama / Kromatlama, boya öncesinde metal üzerindeki kir, yağ, tozlanmaları alarak yüzeyi boyamaya uygun hale getiren işlemlerdir.

Astarlama, boya öncesinde yüzeye uygulanan astar boya işlemidir, yüzeyi boya için pürüzsüz hale getirir aynı zamanda boya sarfiyatını da azaltır.

Boyama, astar boya atıldıktan sonra yapılan nihai boyama işlemidir.Yaş boya ve toz boya şeklinde uygulanabilir.

Kurutma; boyama sonrası parça,şasi ve gövdelerin kurutma fırınlarına alınarak yeteri sıcaklıkta kurutma işlemlerinin yapılmasıdır.

Silikonlama , boya sonrasında eksik veya kalite bulguları sebebi ile yetersiz boya alanları için yapılan ek boyama işlemleridir.

3.1.2.5 Montaj Hatları

Ana üretim süreci olan montaj hatlarında kamyon üstyapıları için araç üstü şasi ve gövde montajları yapılmaktadır. Montajda ürün çeşidine göre her bir ürün tipi için bir montaj hattı bulunmaktadır. Aynı ürünün tüm varyantları da bu montaj hattında üretilebilecek şekilde hatlar kurulmuştur. Montaj hatları yan süreçlere (parça imalat ve parça kaynak) kaynak hattına göre daha az bağımlı olmamakla birlikte parça kaynaktan çıkıp boyahaneye giren boyalı parçalar montaj hattının malzemelerinin bir kısmını oluşturmaktadır, aynı zamanda satın alma sürecinden geçen malzemeler de montaj hattı malzemelerinin içerisinde.

3.2. Matematiksel Modellerin Kurulması için Üretim Hattından Veri Toplanması ve Analiz Edilmesi

Yetkinlik yani polivalans çizelgesi ile atanacak operatörler yetkinliklerine göre kategorize edilecektir. Uygulamanın yapıldığı hatta 27 operatör ve 8 farklı yetkinlik bulunmaktadır. Her bir yetkinlik ise yetenek seviyeleri ile ölçülecektir.

3.2.1. Yetkinlik(Polivalans) Çizelgesi ile Atanacak Operatörlerin Yetkinliklerinin Belirlenmesi

3.2.1.1 Yetkinlik (Polivalans) Çizelgesi

Modelin Damper Treyler ürünü için kurulacağı Treyler Kaynak Hattında fabrika genelinde çalışabilecek toplamda 27 operatör bulunmaktadır. Bu operatörlerin yetkinlikleri ise birbirinden farklıdır. Tüm treyler araç varyantlarının üretiminin yapıldığı Treyler Kaynak Hattında çalışacak bir kişide aranacak 8 farklı

teknik özellik için kişilerin yetkinlik çizelgesi oluşturulmuştur.Bu teknik özellikler sırasıyla;

- 1.Yetkinlik (Y1) :Teknik Resim Okuyarak İmalat ve Kaynak Yapma
- 2.Yetkinlik (Y2) :MAG Kaynağı Yapma
- 3.Yetkinlik (Y3) :Boyuna Taşıyıcı Punta ve Kaynağı Yapma
- 4.Yetkinlik (Y4) :Boyuna Taşıyıcı Tamamlama Kaynağı Yapma
- 5.Yetkinlik (Y5) :Soğuk Doğrultma Yapma
- 6.Yetkinlik (Y6) :Pozisyoner Punta ve Kaynağı Yapma
- 7.Yetkinlik (Y7) :Son Tamamlama Kaynağı Yapma
- 8.Yetkinlik (Y8) :Alevle Doğrultma Yapma

Bu teknik özellikler operatörlere göre sorgulanırken 4 yetkinlik seviyesi belirlenmiştir.Belirlenen yetkinlik seviyeleri görsel olarak daire şeklinde gösterilmekte ve dairenin her bir çeyreği bir yetkinlik seviyesi olarak tariflenmektedir.

Çizelge 3.1. Yetkinlik Çizelgesinde Kullanılan Yetenek Seviyeleri Açıklamaları
Çizelgesi

1.Seviye (1S)		İş başı eğitimi almış (gözetimle çalışabilir).Gözetim süresi en az 1 ay olmalıdır.
2.Seviye (2S)		Sadece o istasyonda tek başına çalışabilir. 6 ayın sonunda personel 3. seviyeye geçmeye hak kazanacaktır.
3.Seviye (3S)		Bütün istasyonlarda tek başına çalışabilir. 3 ayın sonunda personel 4. seviyeye geçmeye hak kazanacaktır.
4.Seviye (4S)		Bu seviye eğitmen seviyesidir.4. seviye olan personel hat üzerindeki diğer personellere eğitim verebilir

Yetenek seviyeleri teknik özelliklerine göre belirlenen operatörler aşağıdaki gibi yetkinlik çizelgesinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Treyler Kaynak Hattı Yetkinlik Çizelgesi (Format KOE A.Ş'den uyarlanmıştır.)

Yetkinlikler-Operatörler	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
Operatör								
1.operatör	4S	4S		4S	4S	4S	4S	3S
2.operatör	4S	4S	4S	3S		2S	2S	2S
3.operatör	4S	4S	2S	3S	4S	2S	4S	4S
4.operatör	1S	2S	3S	2S		1S	2S	1S
5.operatör	3S	4S	1S	4S	4S	2S	3S	4S
6.operatör	1S	2S	1S	1S		2S	1S	
7.operatör	2S	4S	1S	3S	3S	1S	4S	4S
8.operatör	2S	4S	1S	3S	3S	1S	4S	4S
9.operatör	3S	4S	1S	3S	4S	4S	3S	3S
10.operatör	1S	2S	1S	2S		3S	2S	
11.operatör	1S	3S	1S	3S		2S	2S	2S
12.operatör	1S	2S	3S	2S		1S	2S	
13.operatör	1S	3S	1S	1S		2S	2S	
14.operatör	1S	3S	1S	1S		2S	1S	
15.operatör	1S	3S	1S	1S		3S	1S	
16.operatör	1S	3S	1S	3S		1S	2S	
17.operatör	2S	3S	3S	2S		1S	1S	
18.operatör	2S	3S	1S	3S	2S	1S	1S	
19.operatör	1S	2S	1S	1S		1S	2S	
20.operatör		2S				1S		
21.operatör		1S					1S	
22.operatör	1S	2S	1S	1S		1S	1S	
23.operatör		1S	1S	1S				
24.operatör		1S		1S		1S		
25.operatör		2S		1S			1S	
26.operatör		2S		1S				
27.operatör		2S		1S				

3.2.1.2. Atanacak İşlerin Gereklerine Göre Yetkinlik Çizelgesinden Yararlanarak İşlerin Minimum İşgücü Seviyelerinin Belirlenmesi

Damper Treyler ürünü üretimi için Treyler Kaynak Hattında 5 istasyon bulunmakta ve toplamda 14 farklı iş yapılmakta bu sebeple de 14 işgücüne ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan işgücünün yapılacak işlerin gereklerine göre seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıdaki çizelgede yetkinlik çizelgesinde bulunan 8 teknik özelliğin; hangi istasyonda hangi yetenek seviyesinde bulunması gerektiği bilgileri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yetkinlik Çizelgesindeki Teknik Özelliklere Göre İstasyonlardaki Minimum Yetkinlik Gerekleri Çizelgesi

Teknik Özellikler	İstasyonlar				
	1.İst	2.İst	3.İst	4.İst	5.İst
1.Teknik Resim Okuyarak İmalat ve Kaynak Yapma	min 3S	min 3S	min 3S	min 3S	min 3S
2.MAG Kaynağı Yapma	min 3S		min 3S	min 3S	min 3S
3.Boyuna Taşıyıcı Punta ve Kaynağı Yapma	min 2S				
4.Boyuna Taşıyıcı Tamamlama Kaynağı Yapma		min 2S			
5.Soğuk Doğrultma Yapma		min 3S			
6.Pozisyoner Punta ve Kaynağı Yapma			min 3S	min 3S	
7.Son Tamamlama Kaynağı Yapma					min 2S
8.Alevle Doğrultma Yapma					min 3S

Yukarıdaki Çizelge 3.2. ve Çizelge 3.3.'de atanacak işlerin gereklerine göre yeniden dizayn edildiğinde operatörlerin hangi istasyon için kaçınıcı seviyede işgücüne sahip olduklarını gösteren aşağıdaki çizelge ortaya çıkmaktadır. Problemin modellenmesine temel oluşturacak çizelgelerden biridir.

Çizelge 3.4. Operatörlerin İstasyonlardaki İşlerin Gereklerine Göre Sahip Oldukları Yetenek Seviyeleri Çizelgesi

		İSTASYONLAR (İST)				
NO	OPERATÖRLER	1.İST	2.İST	3.İST	4.İST	5.İST
1	1.İŞÇİ	4.Seviye	4.Seviye	4.Seviye	4.Seviye	4.Seviye
2	2.İŞÇİ	4.Seviye	3.Seviye	3.Seviye	3.Seviye	3.Seviye
3	3.İŞÇİ	4.Seviye	4.Seviye	3.Seviye	3.Seviye	4.Seviye
4	4.İŞÇİ	2.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	2.Seviye
5	5.İŞÇİ	3.Seviye	4.Seviye	3.Seviye	3.Seviye	4.Seviye
6	6.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	1.Seviye
7	7.İŞÇİ	2.Seviye	3.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	4.Seviye
8	8.İŞÇİ	2.Seviye	3.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	4.Seviye
9	9.İŞÇİ	3.Seviye	2.Seviye	4.Seviye	4.Seviye	3.Seviye
10	10.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	3.Seviye	3.Seviye	1.Seviye
11	11.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	2.Seviye
12	12.İŞÇİ	2.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye
13	13.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	2.Seviye
14	14.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	2.Seviye
15	15.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	3.Seviye	3.Seviye	1.Seviye
16	16.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	2.Seviye
17	17.İŞÇİ	3.Seviye	1.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	1.Seviye
18	18.İŞÇİ	2.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	1.Seviye
19	19.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	2.Seviye	2.Seviye	1.Seviye
20	20.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye
21	21.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye
22	22.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye
23	23.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye
24	24.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye
25	25.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye
26	26.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye
27	27.İŞÇİ	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye	1.Seviye

3.2.2. Atanacak İşlerin Zaman Etüdlerinin Yapılması

Damper Treyler ürünü zaman etüdü çalışmaları yapılırken, 5 istasyonda 14 farklı iş için her bir seviyedeki işçinin zaman etüdü alınarak veri setleri oluşturulmuştur. İstasyonlarda atanacak işlerin ve operatörlerin dağılımı aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.5. Modelde İstasyonlara Atanacak İşlerin ve Op. Dağılım Çizelgesi

İstasyonlara Atanacak İş ve Operatör Sayısı	İstasyonlar					Toplam İş-Operatör
	1.İst	2.İst	3.İst	4.İst	5.İst	
	2 İş	4 İş	3 İş	2 İş	3 İş	14 İş
	2 operatör	4 operatör	3 operatör	2 operatör	3 operatör	14 Operatör

Çizelge 3.4.'deki bilgiler dikkate alınarak atanması gereken işlerin istasyonlara göre dağılımını göstermekte olup atanan 14 işin farklı yetenek seviyelerindeki operatörler çalıştırıldığında alınan zaman etüdleri veri setinde zaman etüdlerinden elde edilen ortalamalar dikkate alınarak işler ve yetenek seviyeleri arasında aşağıdaki çizelge oluşturulmuştur. Zaman etüdleri alınmadan önce ise yapılacak olan gözlem sayıları 3.1 nolu formüle göre hesaplanmıştır. Formülde yapılan gözlem sayısı (N) iken, işin i. gözleminde ölçülen süresi (Xi) olduğunda (N') kadar gözlem alınması gerektiğine ulaşılmaktadır. Çizelge 3.6'da ulaşılan zaman etüdleri ortalamaları aşağıdaki formülüzasyonla elde edilen sonuçlar doğrultusunda gözlem yapılarak veriler sunulmuştur. Çizelgeki veriler oluşturulacak matematiksel modelleme de standart olarak kabul edilecektir.

$$N' = \left[\frac{40\sqrt{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right]^2 \quad (3.1)$$

Çizelge 3.6. Farklı Yeteneklerdeki Operatörlerden Alınan Zaman Etüdlerinden Herbir İş İçin Elde Edilen Maximum-Minimum Süreler Çizelgesi

		SEVİYELERE GÖRE MAX-MİN İŞ SÜRELERİ (DK)				
NO	İŞLER	Max-Min	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye
1	1.İST 1. İŞ	Max	165	155	145	120
		Min	150	140	125	105
2	1.İST 2. İŞ	Max	120	105	90	80
		Min	105	95	80	70
3	2.İST 1. İŞ	Max	115	105	90	80
		Min	100	90	80	70
4	2.İST 2. İŞ	Max	110	100	85	75
		Min	95	80	70	65
5	2.İST 3. İŞ	Max	145	135	120	110
		Min	130	125	105	95
6	2.İST 4. İŞ	Max	165	155	140	130
		Min	140	135	120	105
7	3.İST 1. İŞ	Max	170	155	150	130
		Min	155	135	125	110
8	3.İST 2. İŞ	Max	165	150	140	125
		Min	150	145	130	105
9	3.İST 3. İŞ	Max	145	135	120	110
		Min	140	130	115	105
10	4.İST 1. İŞ	Max	165	155	140	125
		Min	150	145	125	105
11	4.İST 2. İŞ	Max	160	155	140	125
		Min	155	145	130	100
12	5.İST 1. İŞ	Max	130	120	115	110
		Min	120	115	110	100
13	5.İST 2. İŞ	Max	115	105	90	80
		Min	100	90	80	70
14	5.İST 3. İŞ	Max	145	135	120	110
		Min	140	130	115	105

Çizelge 3.6. ile Çizelge 3.4.'ü eşleştirdiğimizde aşağıdaki veri setine ulaşabiliriz. Oluşturulan veri seti problemin modellenmesinde etkin olarak kullanılacaktır.

Çizelge 3.7. İstasyonlar, İşler , Operatörler için Zaman Etüdları Veri Setinden Elde Edilen Maximum Minimum Süreler Çizelgesi (1-15.İşçi)

OP.	MIN/ MAX	İSTASYONLAR-İŞLER İÇİN MAX MİN SÜRELER (DK)													
		1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	5-1	5-2	5-3
1.İŞÇİ	max min	120 105	80 70	80 70	75 65	110 95	130 105	130 110	125 105	110 105	125 105	125 100	110 100	80 70	110 105
2.İŞÇİ	max min	120 105	80 70	90 80	85 70	120 105	140 120	150 125	140 130	120 115	140 125	140 130	115 110	90 80	120 115
3.İŞÇİ	max min	120 105	80 70	80 70	75 65	110 95	130 105	150 125	140 130	120 115	140 125	140 130	110 100	80 70	110 105
4.İŞÇİ	max min	155 140	105 95	115 100	105 95	145 130	165 140	170 155	165 150	145 140	165 150	160 155	120 115	105 90	135 130
5.İŞÇİ	max min	145 125	90 80	80 70	75 65	110 95	130 105	150 125	140 130	120 115	140 125	140 130	110 100	80 70	110 105
6.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	155 135	150 145	135 130	155 145	155 145	130 120	115 100	145 140
7.İŞÇİ	max min	155 140	90 80	90 80	85 70	120 105	140 120	155 135	150 145	135 130	155 145	155 145	110 100	80 70	110 105
8.İŞÇİ	max min	155 140	90 80	90 80	85 70	120 105	140 120	155 135	150 145	135 130	155 145	155 145	110 100	80 70	110 105
9.İŞÇİ	max min	145 125	105 95	105 90	100 80	135 125	155 135	130 110	125 105	110 105	125 105	125 100	115 110	90 80	120 115
10.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	150 125	140 130	120 115	140 125	140 130	130 120	115 100	145 140
11.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	155 135	150 145	135 130	155 145	155 145	120 115	105 90	135 130
12.İŞÇİ	max min	155 140	90 80	115 100	105 95	145 130	165 140	170 155	165 150	145 140	165 150	160 155	130 120	115 100	145 140
13.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	155 135	150 145	135 130	155 145	155 145	120 115	105 90	135 130
14.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	155 135	150 145	135 130	155 145	155 145	120 115	105 90	135 130
15.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	150 125	140 130	120 115	140 125	140 130	130 120	115 100	145 140

Çizelge 3.8. İstasyonlar, İşler , Operatörler için Zaman Etüdları Veri Setinden Elde Edilen Maximum Minimum Süreler Çizelgesi (16-27.İşçi)

OP.	MIN/ MAX	İSTASYONLAR-İŞLER İÇİN MAX MİN SÜRELER (DK)													
		1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	5-1	5-2	5-3
16.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	155 135	150 145	135 130	155 145	155 145	120 115	105 90	135 130
17.İŞÇİ	max min	145 125	105 95	115 100	110 95	145 130	165 140	155 135	150 145	135 130	155 145	155 145	130 120	115 100	145 140
18.İŞÇİ	max min	155 140	90 80	105 90	100 80	135 125	155 135	155 135	150 145	135 130	155 145	155 145	130 120	115 100	145 140
19.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	155 135	150 145	135 130	155 145	155 145	130 120	115 100	145 140
20.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	170 155	165 150	145 140	165 150	160 155	130 120	115 100	145 140
21.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	170 155	165 150	145 140	165 150	160 155	130 120	115 100	145 140
22.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	170 155	165 150	145 140	165 150	160 155	130 120	115 100	145 140
23.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	170 155	165 150	145 140	165 150	160 155	130 120	115 100	145 140
24.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	170 155	165 150	145 140	165 150	160 155	130 120	115 100	145 140
25.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	170 155	165 150	145 140	165 150	160 155	130 120	115 100	145 140
26.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	170 155	165 150	145 140	165 150	160 155	130 120	115 100	145 140
27.İŞÇİ	max min	165 150	120 105	115 100	110 95	145 130	165 140	170 155	165 150	145 140	165 150	160 155	130 120	115 100	145 140

Çizelge atama kriterleri olmaksızın her iş için her işçiden alınan gözlemlerin yetenek seviyelerine (1,2,3,4. Seviye) göre belirlenen alt ve üst limitleri dikkate alınarak(Çizelge 3.7) operatörün ilgili istasyonda bulunduğu seviyeye göre standartlaştırılmış sürelerden(dakika) oluşmaktadır.

3.3.Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması

Modelin yazılması toplanan verilerden elde edilen analizler neticesinde oluşturulan çizelgelerden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.

Fabrika'nın aşağıdaki genel bilgileri modelde veri olarak kullanılmıştır.

- 07:45-17:45 Çalışma Saatleri (10 saat)
- 60 dakika Yemek Molası
- 15 dakika Sabah Çay Molası
- 15 dakika Öğleden Sonra Çay Molası
- Günlük Net Çalışma Süresi = $600-60-15-15= 510$ dakika/gün
- Saatlik İşçilik Ücreti = 7 €/saat
- Damper Treyler için Mevcut Takt Time = 150 Dakika
- Damper Treyler Üretiminde Çalışabilecek Operatör Sayısı= 27 Operatör
- Damper Treyler Üretiminde Gerekli İstasyon Sayısı= 5 İstasyon
- Damper Treyler Üretiminde İstasyonlara Atanacak İş Sayısı= 14 İş
- Damper Treyler Üretiminde İstasyonlara Uygun Yetkinlikte Atanması Gereken Operatör Sayısı= 14 Operatör

Damper Treyler üretimi seride olan bir araç olduğu için şirket işçilik birim maliyetini en küçükleyerek takt zamanını minimuma çekmeyi hedeflemektedir. Fakat üretimde bir takım kısıtlar mevcuttur. Bu kısıtlara ait veriler “3.2. Matematiksel Modellerin Kurulması için Üretim Hattından Veri Toplanması ve Analiz Edilmesi” başlığında detaylı olarak aktarıldığı üzere; işin gereklerinin birbirinden farklı olması, işçilerin yetenek seviyelerinin farklılıkları ve doğru işe doğru yetenekteki kişinin atanmasını gibi kısıtlar söz konusudur. Aynı zamanda doğru yetenekteki kişi işe atansa bile bir de o işi sahip olduğu yeteneğe göre gerçekleştirme süresi değişmektedir, bu süre takt zamanını aşmayacak bir süre olmalıdır. Aynı işte tüm seviyelerdeki operatörlerin zaman etüdleri alınmış ve aynı kişiden aynı iş için alınan zaman etüdlerinde her bir çevrimde kişinin işi farklı sürelerde yaptığı gözlemlenmiş bu sebeple işi gerçekleştirme sürelerinde aynı işte ve aynı seviyedeki operatörler arasında standart bir minimum ve maximum süre

belirlenmiştir. Matematiksel Modelleme kurulurken bu sürelerin en yüksekleri alınarak model yazılmıştır. Çünkü operatörlerin her zaman en yüksek zamanda yapma olasılığı da bulunmaktadır, böyle bir durumda doğru verilerle modelin kurulabilmesi için maximum iş yapma süreleri kullanılarak optimizasyon programı üzerinde modelleme yapılmıştır.

1.Model : Çevrim(Takt) Zamanı Belirli

3.3.1.Notasyonlar

X_{ijk} = i.istasyon j.işe k.operatör atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

T_{ijk} = i.istasyon j.iş k.operatörün işi yapma süresi (dk)

C_w = 1 dakikalık işçilik ücreti (€)

CS_i = i.istasyonun çevrim süresi (dk)

D_i = i.işçi 1.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

E_i = i.işçi 2.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

F_i = i.işçi 3.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

G_i = i.işçi 4.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

H_i = i.işçi 5.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

3.3.2.Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonunun; k.operatör j.iş i.istasyona atanırsa birim işçilik ücreti ve k.operatörün işi yapma süresi çarpımlarını toplayarak minimize etmesi amaçlanmıştır.

$$z = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^u \sum_{k=1}^t X_{ijk} \times T_{ijk} \times C_w \quad i=1, \dots, m \quad j=1, \dots, u \quad k=1, \dots, t \quad (3.2)$$

3.3.3.Kısıtlar

1.Kısıt : i.istasyon j.işe toplam operatörden biri atanması gerektiği için (atama yapılmaz ise iş gerçekleştirilemez, hattan ürün çıkarılamaz, eksik operasyon görmüş olur) eklenmektedir.

$$\sum_{k=1}^t X_{ijk} = 1 \quad i=1, \dots, m \quad j=1, \dots, u \quad (3.3)$$

2.Kısıt : i.istasyon j.işe atanan k.işçinin toplam iş süresi çevrim süresini(takt) geçmemesi için eklenmektedir.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^u X_{ijk} \times T_{ijk} \leq CS_i \quad k=1, \dots, t \quad (3.4)$$

3.Kısıt : i.istasyon j.işe yetenek seviyesi uygun k.işçi mutlaka atanması gerektiği için yetkinliklere göre uygun yetkinlikteki operatörler kurulan denklemler ile atamaları gerçekleştirilmesi için eklenmektedir.Örneğin 1.istasyon 1.işe yetenek kümesinde verilen 1,2,3,5,9 veya 17. Operatörden biri mutlaka atanmalı ise;

$$X_{111} + X_{112} + X_{113} + X_{115} + X_{119} + X_{1117} = 1 \quad (3.5)$$

Diğer işler için de aynı formülizasyon uygulanır.

4.Kısıt : k.işçi toplam istasyonlardan birine atanması gerektiği için eklenmiştir.

$$\sum_{k=1}^t D_{ik} + E_{ik} + F_{ik} + G_{ik} + H_{ik} = 1 \quad i=1, \dots, m \quad (3.6)$$

5.Kısıt : k.işçi i.istasyona atanırsa i.istasyondaki diğer işler de k.işçiye atanabilir (Yani her işçi takt saati içerisinde atandığı istasyonda birden fazla iş alabilir)

Örneğin; 1.istasyondaki tüm işleri 1.operatöre atamak için;

$$\begin{aligned} X_{111} &\leq D_{11} \\ X_{121} &\leq D_{11} \\ X_{131} &\leq D_{11} \\ &\vdots \\ X_{1N1} &\leq D_{11} \end{aligned} \quad (3.7)$$

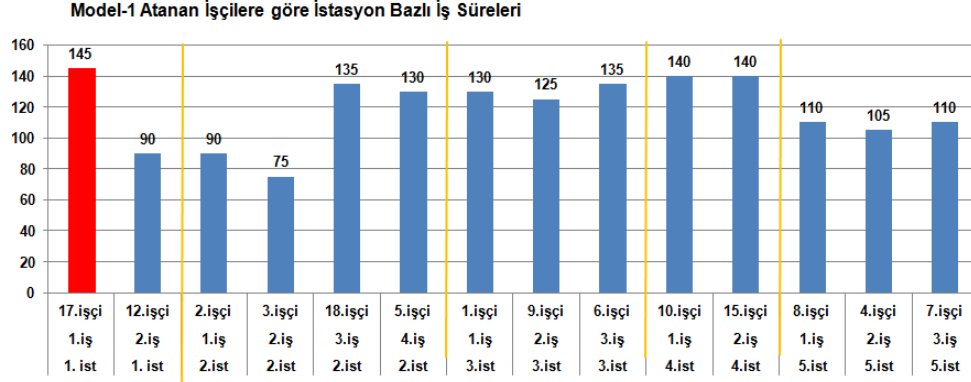
Diğer istasyon ve operatörler için de formülizasyon tekrarlanmalıdır.

3.4. Doğrusal Programlama Modeli ile Farklı İşgücü Atama Probleminin Çözülmesi 1.Model : Çevrim(Takt) Zamanı Belirli

Optimizasyon programında yazılan matematiksel modele ait çözüm raporuna(Ek-1) göre çevrim süresi 145 dakikadır ve atamalar çizelgeye aktarılmıştır, atanan işçinin atandığı işi yapma süresi (T_{ijk}) ve bu işi yaparken ödenen ücretin oluşturduğu maliyet değeri ($T_{ijk} \times C_w$) çizelge üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Model-1 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi

Model-1 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi				
İstasyon (i)	İş (j)	Atanan İşçi (k)	İş Süresi (T_{ijk})	Maliyet ($T_{ijk} \times C_w$)
1. istasyon	1.iş	17.işçi	145	17,40 €
	2.iş	12.işçi	90	10,80 €
2.istasyon	1.iş	2.işçi	90	10,80 €
	2.iş	3.işçi	75	9,00 €
	3.iş	18.işçi	135	16,20 €
	4.iş	5.işçi	130	15,60 €
3.istasyon	1.iş	1.işçi	130	15,60 €
	2.iş	9.işçi	125	15,00 €
	3.iş	6.işçi	135	16,20 €
4.istasyon	1.iş	10.işçi	140	16,80 €
	2.iş	15.işçi	140	16,80 €
5.istasyon	1.iş	8.işçi	110	13,20 €
	2.iş	4.işçi	105	12,60 €
	3.iş	7.işçi	110	13,20 €



Şekil 3.1. Model-1 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri

En yüksek süreli iş = 1.istasyon 1.iş =145 dk olduğu için diğer işlerin süresi daha kısa olmasına rağmen 145dk'lık iş bitene kadar diğer işlerde bekleme olacaktır, bir başka deyişle hattın darboğazını oluşturan iştir. Bu sebeple tüm işçilere 145 dk'nın altında çalışsalar da 145 dk üzerinden işçilik ücreti ödenir ve aracın direk işçilik maliyeti de 145 dk üzerinden yüklenir.

Çizelge 3.10.:Model-1 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar

Model-1 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar							
Gerçek Birim Maliyet (€/Takt):	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk)	X	Birim Maliyet (Cw)	X	Hattın İşçi Sayısı	=	243,60 €
	145		0,12		14		
Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi (Araç/Vardiya):	Vardiya Süresi	/	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk)			=	3,52
	510		145				
Günlük Üretim Maliyeti (€/Gün):	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca)	X	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi			=	857,47 €
	€ 243,60		3,52				
Yıllık Üretim Kapasitesi (Araç/Yıl):	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi	X	Yıllık Çalışılan İş Günü			=	880,00
	3,52		250				
Yıllık Üretim Maliyeti (€/Yıl) :	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca)	X	Yıllık Üretim Kapasitesi			=	214.368,00 €
	€ 243,60		880				

Model-1 üzerinde sağ taraf kısıtı olan takt time değiştirilerek duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Model-1 de sağ taraf kısıtı olan takt time 150 dk iken; amaç fonksiyonu değeri 199.2 atama değerleri 0 veya 1 ve çözüm süresi 0,037 dakika olmak üzere sağ taraf kısıtı üzerinden duyarlılık analizi gerçekleştirildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Sağ taraf kısıtı olan takt time 160 dakika iken; amaç fonksiyonu değeri değişmemiş 199.2 olarak kalmıştır. Fakat işlere atanan operatörlerin

değiştigi gözlemlenmiştir, 14 iş için sadece 2 operatör atamasının aynı kaldığı görülmüş diğer işlere farklı operatör atanmış yani %86 oranında atanan operatörlerin değiştiği gözlemlenmektedir. Atama değerleri 0 veya 1 olmuştur, bu da takt zamanı değişse de elde yeterince kaynak yani operatör olduğunu göstermektedir ve çözüm süresi 0,060 dakika olarak raporlanmıştır.

- Sağ taraf kısıtı olan takt time 140 dakika iken; amaç fonksiyonu değeri değişmiş 204,6134 olmuştur. 14 iş içerisinde yapılan atamalarda 6 işe uygun işçilerin atanmadığı görülmüştür, yani kaynak eksikliği bulunmaktadır ve takt 140 dakikaya çekilirse %57 oranında verimle doğru işe doğru operatörün atanabileceği gözlemlenmektedir, %100'e ulaşabilmek için sisteme yetkin personel eklenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Atama değerleri 0 veya 1 olmuştur ve çözüm süresi 0,032 dakika olarak raporlanmıştır.
- Sağ taraf kısıtı olan takt time 130 dakika iken; amaç fonksiyonu değeri değişmiş 192,74 olmuştur. 14 iş içerisinde yapılan atamalarda 9 işe uygun işçilerin atanmadığı görülmüştür, yani kaynak eksikliği bulunmaktadır ve takt 130 dakikaya çekilirse %36 oranında verimle doğru işe doğru operatörün atanabileceği gözlemlenmektedir, %100'e ulaşabilmek için sisteme yetkin personel eklenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Atama değerleri 0 veya 1 arasında olmuştur ve çözüm süresi 0,032 dakika olarak raporlanmıştır.
- Sağ taraf kısıtı olan takt time 120 dakika iken; amaç fonksiyonu değeri değişmiş 192,73 olmuştur. 14 iş içerisinde yapılan atamalarda 10 işe uygun işçilerin atanmadığı görülmüştür, yani kaynak eksikliği bulunmaktadır ve takt 120 dakikaya çekilirse %29 oranında verimle doğru işe doğru operatörün atanabileceği gözlemlenmektedir, %100'e ulaşabilmek için sisteme yetkin personel eklenmesi gerekliliği ortaya

çıkılmaktadır. Atama değerleri 0 veya 1 arasında olmuştur ve çözüm süresi 0,022 dakika olarak raporlanmıştır.

3.5.II.Model : Çevrim(Takt) Zamanı Belirsiz

3.5.1.Notasyonlar

S_{ij} = i.istasyonda j.işçiye atanan işlerin süreleri toplamı (dk)

J_i = {i.istasyonda çalışacak işçilerin kümesi}

$C_i = \text{Max} \{S_{iji}\}$ i.istasyonun çevrim süresi (dk)

X_{ijk} = i.istasyon j.işe k.operatör atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

T_{ijk} = i.istasyon j.iş k.operatörün işi yapma süresi (dk)

C_w = 1 dakikalık işçilik ücreti (€)

D_i = i.işçi 1.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

E_i = i.işçi 2.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

F_i = i.işçi 3.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

G_i = i.işçi 4.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

H_i = i.işçi 5.istasyona atanırsa 1,aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

3.5.2.Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu istasyonlar arası çevrim süresi farkını minimum yapacak şekilde eklenmiştir.

$$Z = \min \sum_{i=1}^n |C_n - C_{n-1}| \quad i=1, \dots, n \quad (3.8)$$

3.5.3.Kısıtlar

1.Kısıt : i.istasyon j.işe toplam operatörden biri atanması gerektiği için eklenmiştir.

$$\sum_{k=1}^t X_{ijk} = 1 \quad i=1, \dots, m \quad j=1, \dots, u \quad (3.9)$$

2.Kısıt : i.istasyon j.işe yetenek seviyesi uygun k.işçi mutlaka atanması için eklenmiştir.Örneğin 1.istasyon 1.işe yetenek kümesinde verilen 1,2,3,5,9 veya 17. Operatörden biri mutlaka atanmalı ise;

$$X_{111} + X_{112} + X_{113} + X_{115} + X_{119} + X_{1117} = 1 \quad (3.10)$$

Diğer işler için de aynı formülizasyonu uygulanır.

3.Kısıt : k.işçi işler eş zamanlı yapıldığı için aynı zamanda birden fazla işe atanmaması gerektiği için eklenmiştir.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^u X_{ijk} \leq 1 \quad k= 1, \dots, t \quad (3.11)$$

4.Kısıt : i.istasyon j.işçiye atanan işlerin süreleri toplamı S_{ij} 'yi oluşturmaktadır.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^u X_{ijk} \times T_{ijk} = S_{ij} \quad i= 1, \dots, m \quad j=1, \dots, u \quad (3.12)$$

5.Kısıt : i.istasyondaki S_{ij} 'lerim maximumu çevrim süresini oluşturulması için eklenmiştir.

$$C_i = \max(S_{ij}) \text{ ise}; \quad (3.13)$$

$$C_i = \max \sum_{j=1}^u |S_{ij} - S_{ij+1}| \quad j= 1, \dots, u \quad (3.14)$$

3.6.Doğrusal Programlama Modeli ile Farklı İşgücü Atama Probleminin Çözülmesi II.Model : Çevrim(Takt) Zamanı Belirsiz

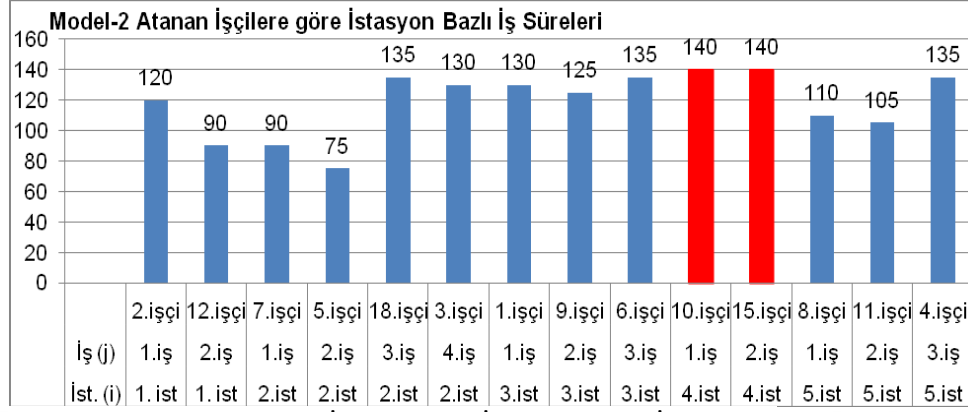
Optimizasyon programında yazılan matematiksel modele ait çözüm raporuna (Ek-2) göre çevrim süresi değeri 140 dakika olarak bulunmuştur.

Model çözüm sonuçları incelendiğinde 0-1 karar değişkeni olan X_{ijk} 'nin yaklaşık değerler aldığı görülmektedir. Çözümde yaklaşık değerleri 1'e yakın olan işçi atamaları 1 olarak kabul edilerek işçiler istasyonlardaki işlere atanmalıdır. Aşağıdaki atamalar problem çözümüne ilişkin X_{ijk} karar değişkenine atanmış işçileri göstermektedir.

Optimizasyon programında yapılan atamalar aşağıdaki gibi çizelgeye aktarılmıştır, karar değişkenlerinin atama değerleri, işçiye atanan toplam iş süresi (S_{ij}) ve istasyona atanan S_{ij} 'lerin max değerini alan istasyon çevrim süresi (C_i) çizelge üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. Model-2 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi

Model-2 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi							
İstasyon (i)	İş (j)	Atanan İşçi (k)	Atama Değeri	İş Süresi (S_{ij})		Çevrim Süresi (C_i)	
1. ist	1. iş	2. işçi	0,7	S11	120	C1	120
	2. iş	12. işçi	1,0	S12	90		
2. ist	1. iş	7. işçi	0,8	S21	90	C2	135
	2. iş	5. işçi	0,5	S22	75		
	3. iş	18. işçi	0,5	S23	135		
	4. iş	3. işçi	0,7	S24	130		
3. ist	1. iş	1. işçi	0,6	S31	130	C3	135
	2. iş	9. işçi	1,0	S32	125		
	3. iş	6. işçi	0,9	S33	135		
4. ist	1. iş	10. işçi	0,6	S41	140	C4	140
	2. iş	15. işçi	0,7	S42	140		
5. ist	1. iş	8. işçi	1,0	S51	110	C5	135
	2. iş	11. işçi	1,0	S52	105		
	3. iş	4. işçi	1,0	S53	135		



Şekil 3.2. Model-2 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri

En yüksek süreli iş 4.istasyon 1. ve 2. iş ; 140 dk olduğu için diğer işlerin süresi daha kısa olmasına rağmen 140dk'lık iş bitene kadar diğer işlerde bekleme olacaktır, bir başka deyişle hattın darboğazını oluşturan iştir. Bu sebeple tüm işçilere 140 dk'nın altında çalışsalar da 140 dk üzerinden işçilik ücreti ödenir ve aracın direk işçilik maliyeti de 140 dk üzerinden yüklenir.

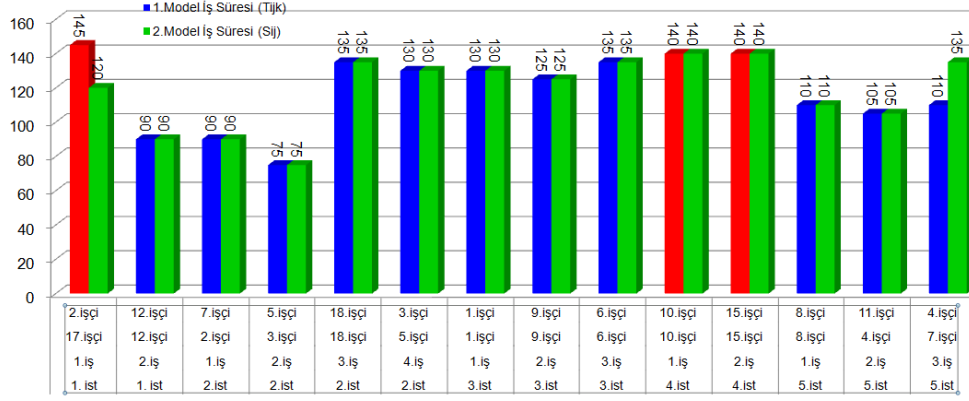
Çizelge 3.12.:Model-2 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar

Model-2 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar							
Gerçek Birim Maliyet (€/Takt):	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk)	X	Birim Maliyet (Cw)	X	Hattın İşçi Sayısı	=	235,20 €
	140		0,12		14		
Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi (Araç/Vardiya):	Vardiya Süresi	/	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk)			=	3,64
	510		140				
Günlük Üretim Maliyeti (€/Gün):	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca)	X	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi			=	856,13 €
	€ 235,20		3,64				
Yıllık Üretim Kapasitesi (Araç/Yıl):	Vardiyada ki Araç Üretim Kapasitesi	X	Yıllık Çalışılan İş Günü			=	910,00
	3,64		250				
Yıllık Üretim Maliyeti (€/Yıl) :	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca)	X	Yıllık Üretim Kapasitesi			=	214.032,00 €
	€ 235,20		910				

3.7.Karşılaştırma,Sonuç ve Öneriler

Model-1 ve Model-2'ye ait sunulan çözümlerde hattın farklı çevrim zamanlarına sahip olduğu görülmüştür. Model-1'e ait çevrim süresi 145 dakika olurken Model-2 atamaları daha iyi sonuç vermiş ve çevrim süresinin 140 dakika olduğu görülmüştür. Hattın çevrim süresinin Model-2 'de düşmesi ile beraber gerçekleştirilecek karşılaştırma ve sonuçlar aşağıdaki başlıklarda incelenmiştir.

3.7.1 Model-1 ve Model-2’de Atanan İşçilerin Karşılaştırılması



Şekil 3.3. Model-1 ve Model-2 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri Karşılaştırması (Kırmızı renklendirilmiş sütunlar modellerde çevrim süresini belirleyen istasyonlardır)

Grafiğe bakıldığında 14 işten 8 işin her iki modelde de aynı işçiye atandığı görülmektedir. Geriye kalan 6 işe yapılan atamalarda modeller farklı amaç fonksiyonlarına sahip olduğu için atamaların da farklı olduğunu ve bunun sonucunda Kırmızı ile işaretli sütunlarda Model-1 ve Model-2’ de hat için geçerli olan farklı çevrim süreleri görülmektedir.

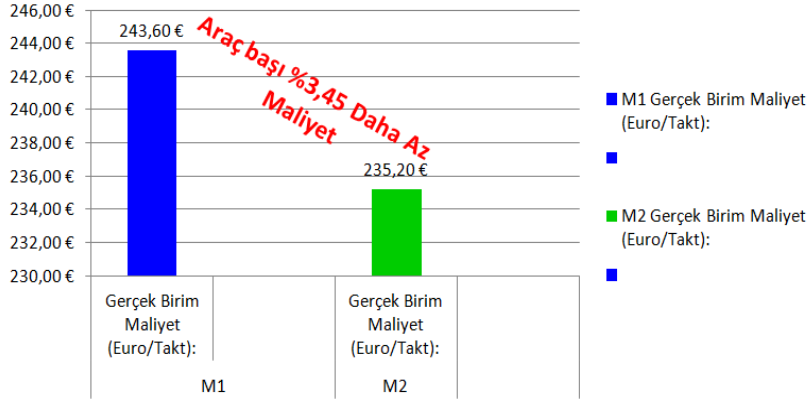
Model-1 ve Model-2 referans alındığında gerçekleşen atama sonuçlarının finansal durum ve kapasite durumu olarak karşılaştırdığımızda aşağıdaki genel çizelge elde edilmektedir. İlerleyen grafiklerde ise ayrı başlıklar altında karşılaştırma yapılacaktır.

Çizelge 3.13. Model-1(M1-Mavi), Model-2(M2-Yeşil) Çözümüne göre Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçların Karşılaştırılması- Genel Çizelge

M1	Gerçek Birim Maliyet (€/Takt):	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk) 145	X	Birim Maliyet (Cw) 0,12	X	Hattın İşçi Sayısı 14	=	243,60 €
M2	Gerçek Birim Maliyet (€/Takt):	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk) 140	X	Birim Maliyet (Cw) 0,12	X	Hattın İşçi Sayısı 14	=	235,20 €
M1	Vardiyadaki Araç Üretim Kap.(Araç/Var diya):	Vardiya Süresi 510	/	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk) 145			=	3,52
M2	Vardiyadaki Araç Üretim Kap.(Araç/Var diya):	Vardiya Süresi 510	/	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk) 140			=	3,64
M1	Günlük Üretim Maliyeti (€/Gün):	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca) € 243,60	X	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi 3,52			=	857,47 €
M2	Günlük Üretim Maliyeti (€/Gün):	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca) € 235,20	X	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi 3,64			=	856,13 €
M1	Yıllık Üretim Kapasitesi (Araç/Yıl):	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi 3,52	X	Yıllık Çalışılan İş Günü 250			=	880,00
M2	Yıllık Üretim Kapasitesi (Araç/Yıl):	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi 3,64	X	Yıllık Çalışılan İş Günü 250			=	910,00
M1	Yıllık Üretim Maliyeti(€/Yıl):	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca) € 243,60	X	Yıllık Üretim Kapasitesi 880			=	214.368,00 €
M2	Yıllık Üretim Maliyeti(€/Yıl):	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca) € 235,20	X	Yıllık Üretim Kapasitesi 910			=	214.032,00 €

3.7.2 Model-1 ve Model-2’de Maliyet Karşılaştırması

Genel çizelgeden hareketle, modeller arası maliyet karşılaştırması;

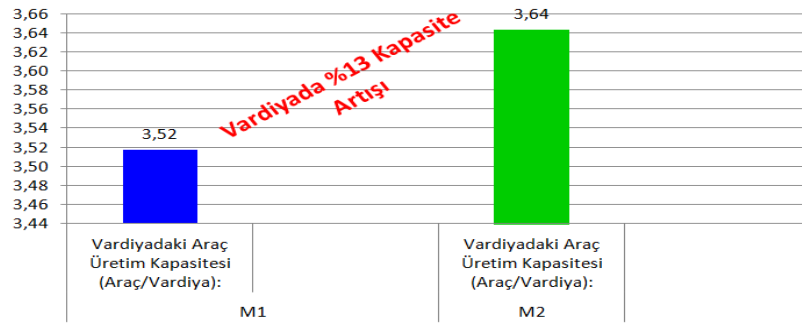


Şekil 3.4. Model-1, Model-2 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firma için Araç Birim Maliyetine İlişkin Sonuçların Karşılaştırılması

Grafığe bakıldığında Model-1 ve Model-2 arasında 5 dakika olan hattın çevrim süresi farklılığı araç başı 243,6 Euro-235,2 Euro = 8,4 Euro kazanç sağlamıştır. Model-2 çözümü araç başı maliyeti %3,45 azaltmıştır.

3.7.3 Model-1 ve Model-2’de Kapasite Karşılaştırması

Genel çizelgeden hareketle, modeller arası kapasite karşılaştırması ;

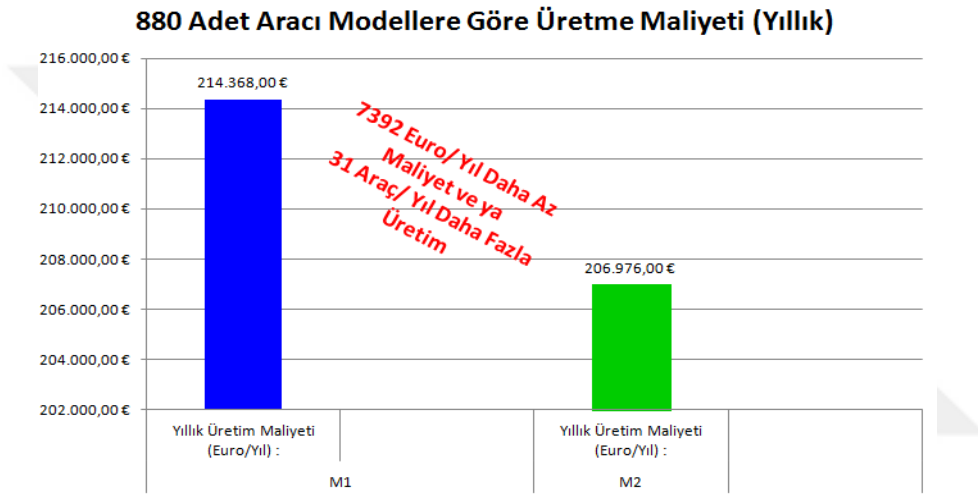


Şekil 3.5. Model-1, Model-2 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firma için Vardiyada Üretim Kapasitesi Durumuna İlişkin Sonuçların Karşılaştırılması

Grafiğe bakıldığında Model-1 ve Model-2 arasında 5 dakika olan hattın çevrim süresi farklılığı vardiyada $3,64 - 3,52 = 0,12$ Araç üretim kapasitesi artımı sağlamıştır. Model-2 çözümü vardiyada kapasiteyi %13 arttırmıştır.

3.7.4 Model-1 ve Model-2’de Yıllık Rasyoların Karşılaştırması

Genel çizelgeden hareketle, modeller arası yıllık üretim karşılaştırması ;



Şekil 3.6. Model-1, Model-2 Çözümüne göre 880 Araç Üretiminde Yıllık Maliyet Durumuna İlişkin Sonuçların Karşılaştırılması

Grafiğe bakıldığında Model-1 ve Model-2 arasında 5 dakika olan hattın çevrim süresi farklılığı yılda $214.368 \text{ Euro} - 206.976 \text{ Euro} = 7392 \text{ Euro/Yıl}$ kazanç sağlanmasına sebep olmuştur, kazanç sağlanan 7392 Euro 31 aracın üretim maliyetine denktir.



4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Model-1 ve Model-2 karşılaştırmalarından elde edilen tüm sonuçlar Model-2'nin daha verimli sonuçlar elde ettiği üzerinedir, bu sebeple analizler Model-2 üzerinden yazılacaktır, modellerin yazımı ve çözümleri optimizasyon programı üzerinden yapılacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır. Burada yapılan analiz model genişletilerek elde edilen sonuçların karşılaştırılması şeklindedir. Analizlerin kapsamı Model-2'yi temel alarak istasyon sayılarını, iş sayılarını ve operatör sayılarını her bir modelde bir öncekine göre artırıp modeli genişletmek üzerinedir.

Yapılacak model genişletmelere dayalı analizlerde aşağıdaki çizelgede aktarıldığı gibi;

- Yeni kurulacak Model-2.1'de operatör sayısı (insan kaynağı) 27 operatörden 35 operatöre çıkarılacaktır, istasyon sayısı 5 istasyondan 6 istasyona ve 6. İstasyonun eklenmesi ile birlikte iş sayısı da 16'ya çıkacaktır, bu sebeple atanması gereken operatör sayısı da 16 olacaktır.
- Yeni kurulacak Model-2.2'de operatör sayısı (insan kaynağı) 35 operatörden 40 operatöre çıkarılacaktır, istasyon sayısı 6 istasyondan 8 istasyona ve 7 ve 8. İstasyonun eklenmesi ile birlikte iş sayısı da 20'ye çıkacaktır, bu sebeple atanması gereken operatör sayısı da 20 olacaktır.
- Yeni kurulacak Model-2.3'de operatör sayısı (insan kaynağı) 40 operatörden 50 operatöre çıkarılacaktır, istasyon sayısı 8 istasyondan 10 istasyona ve 9 ve 10. İstasyonun eklenmesi ile birlikte iş sayısı da 25'e çıkacaktır, bu sebeple atanması gereken operatör sayısı da 25 olacaktır.

Çizelge 4.1. Mevcut Modeller ve Model Genişletme 1-2-3 için Kurulacak Modellere İlişkin Bilgiler

Model-2 Genişletme ile Kurulacak Yeni Modeller				
Modeller / Model Bilgileri	Toplam Operatör Sayısı	İstasyon Sayısı	İstasyonda ki İşlerin Sayısı	Atanması Gereken Operatör Sayısı
Normal Model (Model-1)	27	5	14	14
Normal Model (Model-2)	27	5	14	14
Model Genişletme 1 (Yeni Model-2.1)	35	6	16	16
Model Genişletme 2 (Yeni Model-2.2)	40	8	20	20
Model Genişletme 3 (Yeni Model-2.3)	50	10	25	25
Açıklama: Kademeli olarak; -İstasyon sayısı; 5'den 10'a -Operatör sayısı; 27'den 50'ye çıkarılmıştır.				

4.1. Model Genişletme 1 (Yeni Model 2.1)

Model 2'nin amaç fonksiyonu ve kısıtları eklenecek 6.istasyon, bu istasyona bağlı yapılan 2 iş ve 27 operatore eklenen yeni 8 operatöre göre model genişletilerek yeni model ; **Model 2.1** kurulacaktır, bilgiler aşağıdaki çizelgelerde aktarıldığı gibidir.

Çizelge 4.2. Yetkinlik Çizelgesindeki Teknik Özelliklere Göre İstasyonlardaki Minimum Yetkinlik Gereklere Çizelgesi (6.İstasyon Yeni)

	İstasyonlar					
Teknik Özellikler	1.İst	2.İst	3.İst	4.İst	5.İst	6.İst (Yeni)
Y1	min 3S	min 3S	min 3S	min 3S	min 3S	min 2S
Y2	min 3S		min 3S	min 3S	min 3S	min 2S
Y3	min 2S					
Y4		min 2S				
Y5		min 3S				
Y6			min 3S	min 3S		
Y7					min 2S	
Y8					min 3S	

Operatörlerin istasyonlardaki işlerin gereklerine göre sahip oldukları yetenek seviyelerine model genişletmede eklenen 6.İstasyon ve 28,29,30,31,32,33,34,35.operatörler için Ek-3'den ulaşabilirsiniz.

Çizelge 4.3. Farklı Yeteneklerdeki Operatörlerden Alınan Zaman Etüdlerinden Herbir İş İçin Elde Edilen Maximum-Minimum Süreler Çizelgesi (6.İstasyon Yeni)

		SEVİYELERE GÖRE MAX-MİN İŞ SÜRELERİ (DK)				
NO	YENİ İŞLER	Max-Min	1S	2S	3S	4S
1	6.İST 1. İŞ	Max	145	135	130	110
		Min	140	130	120	100
2	6.İST 2. İŞ	Max	145	135	130	90
		Min	140	130	120	80

Optimizasyon programında yazılan matematiksel yeni modele ait çözüm raporuna göre amaç fonksiyonu değer 140 dakika olarak bulunmuştur.

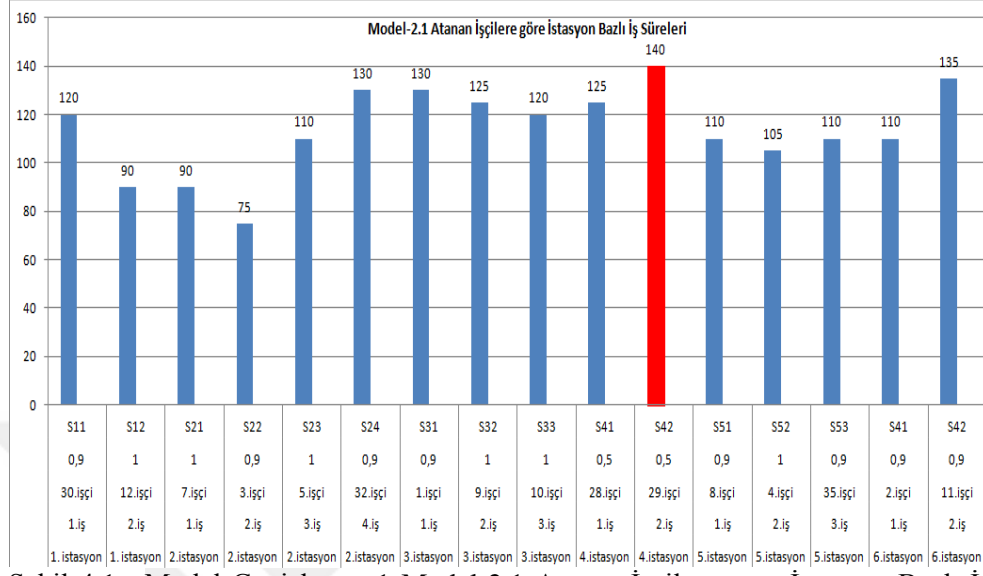
Model çözüm sonuçları incelendiğinde 0-1 karar değişkeni olan X_{ijk} 'nın yaklaşık değerler aldığı görülmektedir. Çözümde yaklaşık değerleri 0,5 ve üzeri olan işçi atamaları 1 olarak kabul edilerek işçiler istasyonlardaki işlere atanmalıdır.

Aşağıdaki atamalar problem çözümüne ilişkin Xijk karar değişkenine atanmış işçileri göstermektedir.

Optimizasyon programında yapılan atamalar aşağıdaki gibi çizelgeye aktarılmıştır, karar değişkenlerinin atama değerleri, işçiye atanan toplam iş süresi (Sij) ve istasyona atanan Sij'lerin max değerini alan istasyon çevrim süresi (Ci) çizelge üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Model Genişletme 1 Model-2.1 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi

Model-2.1 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi							
İst (i)	İş (j)	Atanan İşçi (k)	Atama Değeri	İş Süresi (Sij)		Çevrim Süresi (Ci)	
1. ist	1.iş	30.işçi	0,9	S11	120	C 1	120
	2.iş	12.işçi	1	S12	90		
2.ist	1.iş	7.işçi	1	S21	90	C 2	130
	2.iş	3.işçi	0,9	S22	75		
	3.iş	5.işçi	1	S23	110		
	4.iş	32.işçi	0,9	S24	130		
3.ist	1.iş	1.işçi	0,9	S31	130	C 3	130
	2.iş	9.işçi	1	S32	125		
	3.iş	10.işçi	1	S33	120		
4.ist	1.iş	28.işçi	0,5	S41	125	C 4	140
	2.iş	29.işçi	0,5	S42	140		
5.ist	1.iş	8.işçi	0,9	S51	110	C 5	110
	2.iş	4.işçi	1	S52	105		
	3.iş	35.işçi	0,9	S53	110		
6.ist	1.iş	2.işçi	0,9	S41	110	C 6	135
	2.iş	11.işçi	0,9	S42	135		



Şekil 4.1. Model Genişletme 1 Model-2.1 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri

En yüksek süreli iş 4.istasyon 2. iş ; 140 dk olduğu için diğer işlerin süresi daha kısa olmasına rağmen 140dk'lık iş bitene kadar diğer işlerde bekleme olacaktır, bir başka deyişle hattın darboğazını oluşturan iştir. Bu sebeple tüm işçilere 140 dk'nın altında çalışsalar da 140 dk üzerinden işçilik ücreti ödenir ve aracın direk işçilik maliyeti de 140 dk üzerinden yüklenir.

Çizelge 4.5. Model Genişletme 1 Model-2.1 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar

Model-2.1 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar						
Gerçek Birim Maliyet (€/Takt):	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk)	X	Birim Maliyet (Cw)	X	Hattın İşçi Sayısı	=
	140		0,12		16	
Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi (Araç/Vardiya):	Vardiya Süresi	/	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk)			
	510		140			= 3,64
Günlük Üretim Maliyeti (€/Gün):	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca)	X	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi			
	€ 268,80		3,64			= 978,43 €
Yıllık Üretim Kapasitesi (Araç/Yıl):	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi	X	Yıllık Çalışılan İş Günü			
	3,64		250			= 910,00
Yıllık Üretim Maliyeti (€/Yıl) :	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca)	X	Yıllık Üretim Kapasitesi			
	€ 268,80		910			= 244.608,00 €

Model-2 ile aynı çevrim süresine (140dk) rağmen, 2 işçi daha fazla çalıştığından Gerçek Birim Maliyet ve Yıllık Üretim Maliyeti yükselmiştir, çevrim süresi değişmediğinden kapasite de değişmemiştir.

4.2. Model Genişletme 2 (Yeni Model 2.2)

Model 2.1'in amaç fonksiyonu ve kısıtları eklenecek 7. ve 8.istasyon, bu istasyonlara bağlı yapılan 4 iş ve 35 operatore eklenen yeni 5 operatöre göre model

genişletilerek yeni model ; **Model 2.2** kurulacaktır. Model genişletilmeden önce 7. ve 8. istasyon ve yeni eklenen 5 operatöre ait bilgiler aşağıdaki çizelgelerde aktarıldığı gibidir.

Çizelge 4.6. Yetkinlik Çizelgesindeki Teknik Özelliklere Göre İstasyonlardaki Minimum Yetkinlik Gereklere Çizelgesi (7. Ve 8. İstasyon Yeni)

Teknik Öz.	İstasyonlar							
	1.İst	2.İst	3.İst	4.İst	5.İst	6.İst	7.İst (Yeni)	8.İst (Yeni)
Y1	min 3S	min 3S	min 3S	min 3S	min 3S	min 2S		
Y2	min 3S		min 3S	min 3S	min 3S	min 2S		
Y3	min 2S							
Y4		min 2S						
Y5		min 3S					min 1S	
Y6			min 3S	min 3S				
Y7					min 2S			min2S
Y8					min 3S			

Operatörlerin istasyonlardaki işlerin gereklerine göre sahip oldukları yetenek seviyelerine model genişletme için eklenen 7.ve 8. İstasyon ve 35,36,37,38,39,40. operatörler için Ek-3'den ulaşabilirsiniz.

Çizelge 4.7. Farklı Yeteneklerdeki Operatörlerden Alınan Zaman Etüdlerinden Herbir İş İçin Elde Edilen Maximum-Minimum Süreler Çizelgesi (7. Ve 8. İstasyon Yeni)

		SEVİYELERE GÖRE MAX-MİN İŞ SÜRELERİ (DK)				
NO	YENİ İŞLER	Max-Min	1S	2S	3S	4S
1	7.İST 1. İŞ	Max	130	120	100	90
		Min	125	110	95	70
2	7.İST 2. İŞ	Max	130	120	100	90
		Min	125	110	95	70
3	8.İST 1. İŞ	Max	120	110	100	90
		Min	115	105	95	70
4	8.İST 2. İŞ	Max	120	110	100	90
		Min	115	105	95	70

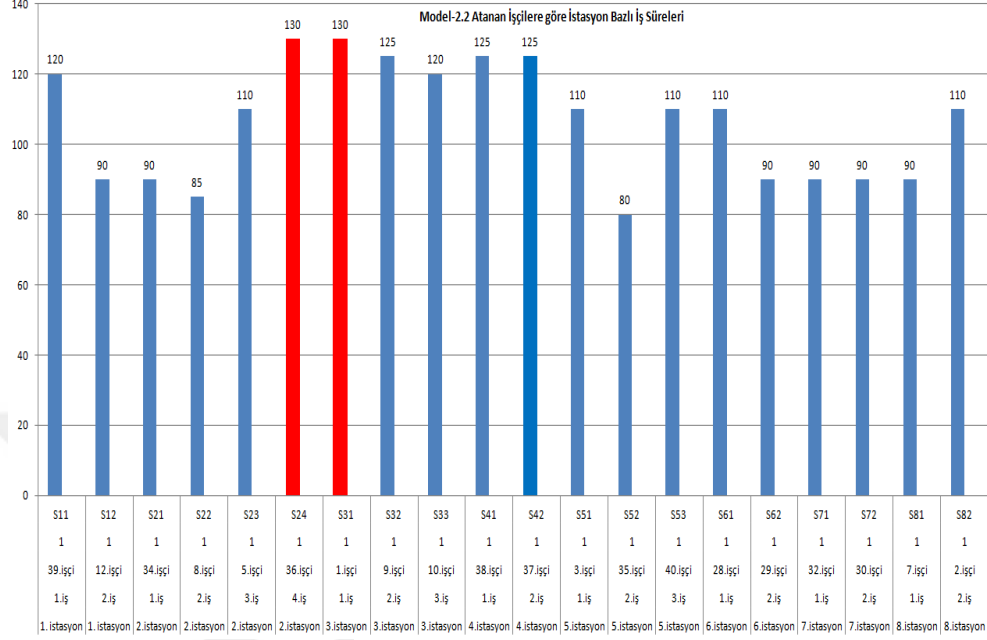
Optimizasyon programında yazılan matematiksel yeni modele ait çözüm raporuna göre amaç fonksiyonu değeri 130 dakika olarak bulunmuştur.

Model çözüm sonuçları incelendiğinde 0-1 karar değişkeni olan X_{ijk} 'nın Model-2 ve Model-2.1'in aksine yaklaşık değerler değil istendiği gibi tam değerler aldığı görülmektedir. Sisteme Model-2.2'de eklenen operatörler tüm istasyon ve işlerde tam yetkin (4.Seviye) olarak seçilmiştir, bu sebeple model sonucuna bakıldığında işlerin istenen yetkinliklerine uygun sayıda operatör bulunduğundan tam değerli atama yapıldığını görüyoruz.

Optimizasyon programında yapılan atamalar aşağıdaki gibi çizelgeye aktarılmıştır, karar değişkenlerinin atama değerleri, işçiye atanan toplam iş süresi (S_{ij}) ve istasyona atanan S_{ij} 'lerin max değerini alan istasyon çevrim süresi (C_i) çizelge üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Model Genişletme 2 Model-2.2 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi

Model-2.2 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi							
İst (i)	İş (j)	Atanan İşçi (k)	Atama Değeri	İş Süresi (Sij)		Çevrim Süresi (Ci)	
1. ist	1.iş	39.işçi	1	S11	120	C1	120
	2.iş	12.işçi	1	S12	90		
2.ist	1.iş	34.işçi	1	S21	90	C2	130
	2.iş	8.işçi	1	S22	85		
	3.iş	5.işçi	1	S23	110		
	4.iş	36.işçi	1	S24	130		
3.ist	1.iş	1.işçi	1	S31	130	C3	130
	2.iş	9.işçi	1	S32	125		
	3.iş	10.işçi	1	S33	120		
4.ist	1.iş	38.işçi	1	S41	125	C4	125
	2.iş	37.işçi	1	S42	125		
5.ist	1.iş	3.işçi	1	S51	110	C5	110
	2.iş	35.işçi	1	S52	80		
	3.iş	40.işçi	1	S53	110		
6.ist	1.iş	28.işçi	1	S61	110	C6	110
	2.iş	29.işçi	1	S62	90		
7.ist	1.iş	32.işçi	1	S71	90	C7	90
	2.iş	30.işçi	1	S72	90		
8.ist	1.iş	7.işçi	1	S81	90	C8	110
	2.iş	2.işçi	1	S82	110		



Şekil 4.2. Model Genişletme 2 Model-2.2 Atanan İşçilere göre İst. Bazlı İş Süreleri

En yüksek süreli iş 2.istasyon 4. İş ve 3.istasyon 1.iş ; 130 dk olduğu için diğer işlerin süresi daha kısa olmasına rağmen 130dk'lık iş bitene kadar diğer işlerde bekleme olacaktır, bir başka deyişle hattın darboğazını oluşturan iştir. Bu sebeple tüm işçilere 130 dk'nın altında çalışsalar da 130 dk üzerinden işçilik ücreti ödenir ve aracın direk işçilik maliyeti de 130 dk üzerinden yüklenir.

Çizelge 4.9. Model Genişletme 2 Model-2.2 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar

Model-2.2 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar						
Gerçek Birim Maliyet (€/Takt):	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk)	X	Birim Maliyet (Cw)	X	Hattın İşçi Sayısı	=
	130		0,12		20	
Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi (Araç/Vardiya):	Vardiya Süresi	/	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk)			
	510		130			
Günlük Üretim Maliyeti (€/Gün):	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca)	X	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi			
	€ 312,00		3,92			
Yıllık Üretim Kapasitesi (Araç/Yıl):	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi	X	Yıllık Çalışılan İş Günü			
	3,92		250			
Yıllık Üretim Maliyeti (€/Yıl) :	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca)	X	Yıllık Üretim Kapasitesi			
	€ 312,00		980			

Model-2'ye göre çevrim süresi 130 dakikaya düşmesine rağmen, 6 işçi daha fazla çalıştığından Gerçek Birim Maliyet ve Yıllık Üretim Maliyeti azalan bir yükselme göstermiştir, çevrim süresi düştüğünden üretim kapasitesi yükselmiştir.

4.3. Model Genişletme 3 (Yeni Model 2.3)

Model 2.2'in amaç fonksiyonu ve kısıtları eklenecek 9. ve 10.istasyon, bu istasyonlara bağlı yapılan 5 iş ve 40 operatöre eklenen yeni 10 operatöre göre

model genişletilerek yeni model ; **Model 2.3** kurulacaktır, bilgiler aşağıdaki çizelgelerde aktarıldığı gibidir.

Çizelge 4.10. Yetkinlik Çizelgesindeki Teknik Özelliklere Göre İstasyonlardaki Minimum Yetkinlik Gerekleri Çizelgesi (9. Ve 10. İstasyon Yeni)

Teknik Öz.	İstasyonlar									
	1.İst	2.İst	3.İst	4.İst	5.İst	6.İst	7.İst	8.İst	9.İst (Yeni)	10.İst (Yeni)
Y1	min 3S	min 3S	min 3S	min 3S	min 3S	min 2S				
Y2	min 3S		min 3S	min 3S	min 3S	min 2S				min 3S
Y3	min 2S									
Y4		min 2S								
Y5		min 3S					min 1S			
Y6			min 3S	min 3S					min 3S	
Y7					min 2S			min 2S		
Y8					min 3S					

Operatörlerin istasyonlardaki işlerin gereklerine göre sahip oldukları yetenek seviyelerine model genişletme için eklenen 9.ve 10. İstasyon ve 41,42,43,44,45,46,47,48,49,50. operatörler için Ek-3'den ulaşabilirsiniz.

Çizelge 4.11. Farklı Yeteneklerdeki Operatörlerden Alınan Zaman Etüdlerinden Herbir İş İçin Elde Edilen Maximum-Minimum Süreler Çizelgesi (9. Ve 10. İstasyon Yeni)

		SEVİYELERE GÖRE MAX-MİN İŞ SÜRELERİ (DK)				
NO	YENİ İŞLER	Max-Min	1S	2S	2S	4S
1	9.İST 1. İŞ	Max	130	120	100	90
		Min	125	110	95	70
2	9.İST 2. İŞ	Max	130	120	100	90
		Min	125	110	95	70
3	9.İST 3. İŞ	Max	130	120	100	90
		Min	125	110	95	70
4	10.İST 1. İŞ	Max	120	110	100	90
		Min	115	105	95	70
5	10.İST 2. İŞ	Max	120	110	100	90
		Min	115	105	95	70

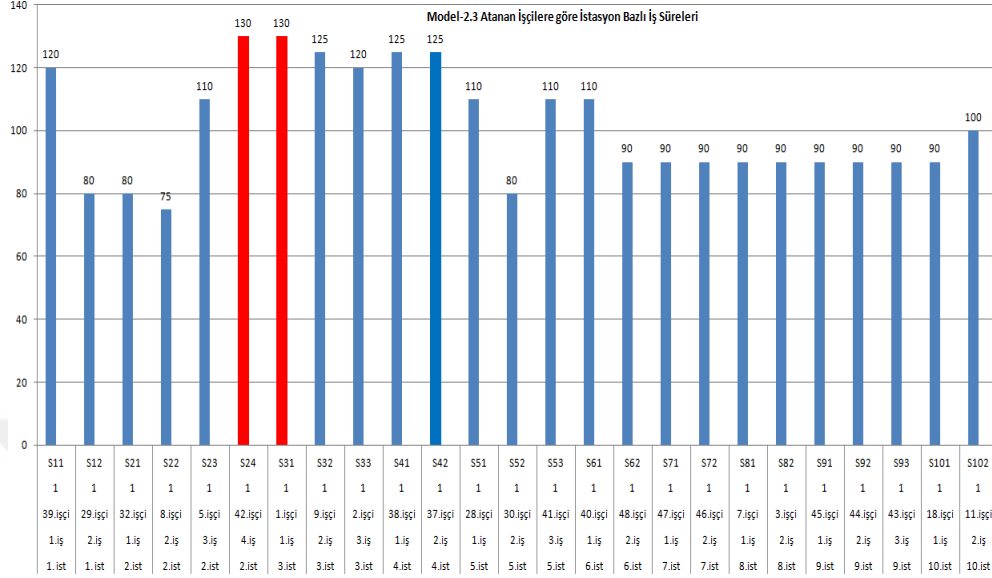
Optimizasyon programında yazılan matematiksel yeni modele ait çözüm raporuna göre amaç fonksiyonu değeri 130 dakika olarak bulunmaktadır.

Model çözüm sonuçları incelendiğinde 0-1 karar değişkeni olan X_{ijk} 'nın Model-2 ve Model-2.1'in aksine yaklaşık değerler değil istendiği gibi Model 2.2 ile benzer şekilde tam değerler aldığı görülmektedir. Sisteme Model-2.3'de eklenen operatörler tüm istasyon ve işlerde tam yetkin (4.Seviye) olarak seçilmiştir, bu sebeple model sonucuna bakıldığında işlerin istenen yetkinliklerine uygun sayıda operatör bulunduğundan tam değerli atama yapıldığını görüyoruz.

Optimizasyon programında yapılan atamalar aşağıdaki gibi çizelgeye aktarılmıştır, karar değişkenlerinin atama değerleri, işçiye atanan toplam iş süresi (S_{ij}) ve istasyona atanan S_{ij} 'lerin max değerini alan istasyon çevrim süresi (C_i) çizelge üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Model Genişletme 3 Model-2.3 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi

Model-2.3 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi							
İst. (i)	İş (j)	Atanan İşçi (k)	Atama Değeri	İş Süresi (Sij)			Çevrim Süresi (Ci)
1. ist	1.iş	39.işçi	1	S11	120	C1	120
	2.iş	29.işçi	1	S12	80		
2.ist	1.iş	32.işçi	1	S21	80	C2	130
	2.iş	8.işçi	1	S22	75		
	3.iş	5.işçi	1	S23	110		
	4.iş	42.işçi	1	S24	130		
3.ist	1.iş	1.işçi	1	S31	130	C3	130
	2.iş	9.işçi	1	S32	125		
	3.iş	2.işçi	1	S33	120		
4.ist	1.iş	38.işçi	1	S41	125	C4	125
	2.iş	37.işçi	1	S42	125		
5.ist	1.iş	28.işçi	1	S51	110	C5	110
	2.iş	30.işçi	1	S52	80		
	3.iş	41.işçi	1	S53	110		
6.ist	1.iş	40.işçi	1	S61	110	C6	110
	2.iş	48.işçi	1	S62	90		
7.ist	1.iş	47.işçi	1	S71	90	C7	90
	2.iş	46.işçi	1	S72	90		
8.ist	1.iş	7.işçi	1	S81	90	C8	90
	2.iş	3.işçi	1	S82	90		
9.ist	1.iş	45.işçi	1	S91	90	C9	90
	2.iş	44.işçi	1	S92	90		
	3.iş	43.işçi	1	S93	90		
10.ist	1.iş	18.işçi	1	S101	90	C10	100
	2.iş	11.işçi	1	S102	100		



Şekil 4.3. Model Genişletme 3 Model-2.3 Atanan İşçilere göre İst.Bazlı İş Süreleri

En yüksek süreli iş 2.istasyon 4. İş ve 3.istasyon 1.iş ; 130 dk olduğu için diğer işlerin süresi daha kısa olmasına rağmen 130dk'lık iş bitene kadar diğer işlerde bekleme olacaktır, bir başka deyişle hattın darboğazını oluşturan iştir. Bu sebeple tüm işçilere 130 dk'nın altında çalışsalar da 130 dk üzerinden işçilik ücreti ödenir ve aracın direk işçilik maliyeti de 130 dk üzerinden yüklenir.

Çizelge 4.13. Model Genişletme 3 Model-2.3 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar

Model-2.3 Çözümüne göre Atamalar Yapıldığında Firmanın Kapasite ve Finans Durumuna İlişkin Sonuçlar						
Gerçek Birim Maliyet (€/Takt):	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk)	X	Birim Maliyet (Cw)	X	Hattın İşçi Sayısı	=
	130		0,12		25	
Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi (Araç/Vardiya):	Vardiya Süresi	/	Hattın Çevrim Süresi (max Tijk)			
	510		130			
Günlük Üretim Maliyeti (€/Gün):	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca)	X	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi			
	€ 390,00		3,92			
Yıllık Üretim Kapasitesi (Araç/Yıl):	Vardiyadaki Araç Üretim Kapasitesi	X	Yıllık Çalışılan İş Günü			
	3,92		250			
Yıllık Üretim Maliyeti (€/Yıl) :	Gerçek Birim Maliyet (Takt Boyunca)	X	Yıllık Üretim Kapasitesi			
	€ 390,00		980			

Model-2'ye göre çevrim süresi 130 dakikaya düşmesine rağmen, 11 işçi daha fazla çalıştığından Gerçek Birim Maliyet ve Yıllık Üretim Maliyeti azalan bir yükselme göstermiştir, çevrim süresi düştüğünden üretim kapasitesi yükselmiştir.

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Model-2 üzerinde gerçekleştirilen model genişletme analizleri ile modele her bir adımda belirlenen sayılarda iş, istasyon ve operatör eklenmiştir. Yapılan bu model genişletme analizleri bazı nicel ve nitel sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

5.1.Doğru İşe Doğru Yetkinlikte Operatör Atanması, Eğitim Planlama, İnsan Kaynağı Planlama ve Verimlilik Üzerine Elde Edilen Sonuçlar ve Öneriler

Model-2 ve Model-2.1’de Xijk karar değişkeninin 0-1 arasında bir ondalık değer aldığını, Model-2.2 ve Model-2.3’de ise istenildiği gibi 0 veya 1 değeri aldığı görülmüştür. Sebebi incelendiğinde Model-2 ve Model-2.1’de işlere uygun yetkinlikte insan kaynağı (operatör) olmadığı için bazı yetkin operatörleri ondalık değerlerde atama yapmıştır. Model-2.2’de bu duruma müdahale edilmiş ve 35,36,37,38,39 ve 40.operatörler tüm işlerde en üst seviye yetkinlikte modele dahil edilmiş ve atamaların 0 veya 1 şekline dönüşmesi sağlanmıştır.Aynı duruma Model-2.3’de de 41,42,43,44,45,46,47,48,49,50.operatörlerinde tam yetkinlikte modele dahil edilmesiyle devam edilmiştir. Bu durum bir işletmede şu anlama gelir modeli çalıştırdığınızda 0 veya 1 değeri haricinde bir atama varsa bu atamanın olduğu istasyon ve işte eksik işgücü bulunmaktadır. Planlama departmanına bu durum bildirilmeli ve uygun yetkinlikte operatörün çalışması sağlanmalıdır, öyle bir operatör bulunmuyor ise konu İnsan Kaynakları’na iletmeli mevcut operatörlere eğitim planlama yapılması veya yeni insan kaynağı arayışı kararına varılmalıdır.Böylece eğitim planları ve insan kaynağı ihtiyaçları objektif bir şekilde ortaya koyulabilecektir. Bir başka açıdan operatörlerin yetkinliklerini arttırmaları arz yaratacağı için yetkinlik artırma bireysel rekabetin de tetikleyicisi olacaktır. Bu etkilerin tamamı firma için büyüme öğrenme perspektifinde orta vadede gayrimaddi varlıkların (entellektüel sermaye) artmasını sağlarken kazan-kazan ilişkisini doğuracaktır.Orta ve uzun vadede ise operasyonların gelişmesi, çevrim sürelerinin düşmesi,kapasite artışı gibi pek çok verimlilik getirisi olacaktır.

Gayrimaddi varlıkların (entellektüel sermaye) verimlilik çıktıları ile beraber firma için maddi varlıklara dönüştüğü gözlemlenebilecektir. Kurulan model doğru operasyonda doğru yetkinlikte kişinin çalışması gerektiğine işaret etmiş ve bunun getireceği kazançlar orta ve uzun vadede değerlendirilmiştir.

5.2.Darboğaz İşleri Bulma ve Sürekli İyileştirme Döngüsü ile Sağlanan Verimlilik Üzerine Elde Edilen Sonuçlar ve Öneriler

Model-2 ve Model-2.1’de atamalar neticesinde çevrim süresinin 140 dakikada kaldığı, Model-2.2’de eklenen yetkin personeller ile birlikte atamalar neticesinde 130 dakikaya düştüğü gözlemlenmektedir. Model-2.3’de de yetkin personeller modele dahil edilmeye devam edilmesine karşın çevrim süresinin iyileşmediğini atamalar neticesinde 130 dakikada kaldığını görüyoruz. Sebebi incelendiğinde Model-2.2 ve Model-2.3 olmak üzere her ikisine de bakıldığında “2.istasyon 4.iş” ve “3.istasyon 1.iş” için en yetkin operatör (4.Seviye) atansa dahi işin yapılma süresinin 130 dakika olduğunu görüyoruz. Bu durum ise bir işletmede şu anlama gelmelidir modeli çalıştırdığınızda çevrim süresine etki eden iş veya işlerde eğer çevrim süresini iyileştirme, hat dengeleme, kapasite artışı sağlama gibi verimlilik çalışmaları yapmak istiyorsanız çevrim süresine etkiyen iş veya işlerde iyileştirme yapmak gereklidir. Modeli çalıştırdığınızda çevrim süresine etki eden iş veya işlerin yani operasyonların darboğaz yaratan noktaları işaret edilmektedir, bu da bir işletmeye hangi üründe hangi istasyonda ve ilgili istasyonun hangi işinde iyileştirmeye ihtiyaç duyulduğunu gösterir. İyileştirme sonrasında ise direk sonuç alınabilecek ve öncesi sonrası durum karşılaştırılabilir objektiflikte verilerin sunulmasını sağlayan bir model geliştirilmiştir. Aynı zamanda yalın üretim tekniklerinin kullanılması gerekliliğini de ön plana çıkarmaktadır, yapılacak iyileştirmelerde kaizen öncesinde operasyondaki katma değersiz faaliyetlere odaklanılmalı, onları ortadan kaldıracak iyileştirmeler tasarlanmalı katma değerli faaliyetlerin ise daha verimli nasıl yapılabilceği üzerine takım çalışmaları yürütülmelidir, kaizen sonrasında ölçümler tekrarlanarak aradaki fark iyileştirme

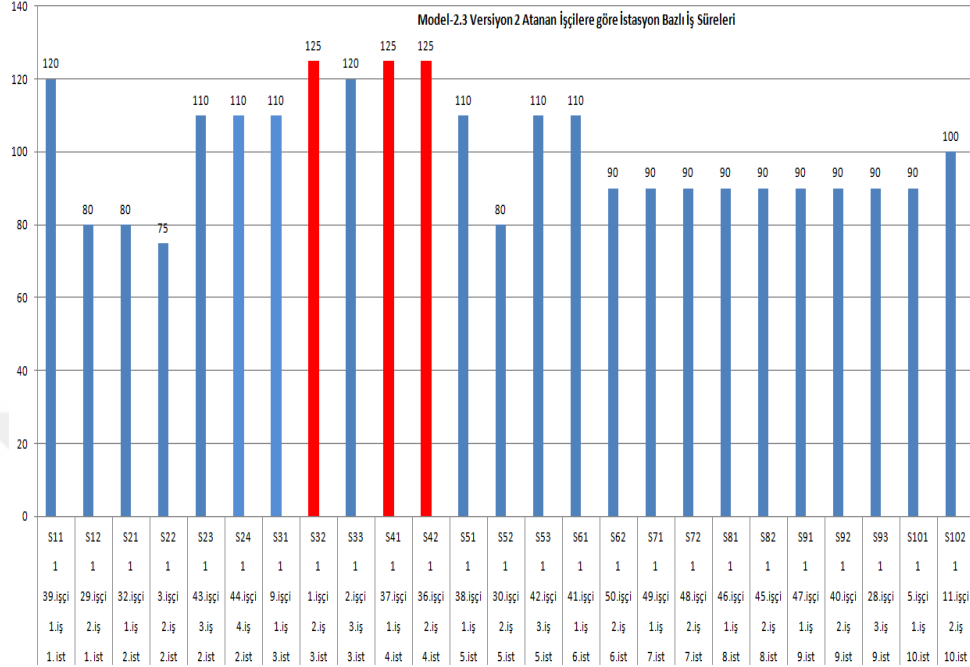
sonucu olarak modele yansıtılmalıdır. Yalın üretim metodları yürütülecek operasyon iyileştirme çalışmalarında rehber alınabilir.

İyileştirme yapmanın gerekliliği ve önemini vurgulamak adına “Model-2.3” üzerinde çevrim süresine etkiyen 130 dakikalık “2.istasyon 4.iş” ve “3.istasyon 1.iş” üzerinde bir iyileştirme yapıldığı varsayılmış ve bu sürenin 130 dakikadan 110 dakikaya düşürüldüğü kabul edilerek aynı model “Model-2.3 Versiyon 2” olarak tekrar çalıştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Optimizasyon programında yazılan matematiksel yeni modele ait çözüm raporuna göre amaç fonksiyonu değeri 125 dakika olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.1. Model Genişletme 3 Model-2.3 Versiyon 2 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi

Model-2.3 Versiyon 2 Çözümüne göre Yapılan Atamaların Özet Çizelgesi							
İst (i)	İş (j)	Atanan İşçi (k)	Atama Değeri	İş Süresi (Sij)			Çevrim Süresi (Ci)
1. ist	1.iş	39.işçi	1	S11	120	C1	120
	2.iş	29.işçi	1	S12	80		
2.ist	1.iş	32.işçi	1	S21	80	C2	110
	2.iş	3.işçi	1	S22	75		
	3.iş	43.işçi	1	S23	110		
	4.iş	44.işçi	1	S24	110		
3.ist	1.iş	9.işçi	1	S31	110	C3	125
	2.iş	1.işçi	1	S32	125		
	3.iş	2.işçi	1	S33	120		
4.ist	1.iş	37.işçi	1	S41	125	C4	125
	2.iş	36.işçi	1	S42	125		
5.ist	1.iş	38.işçi	1	S51	110	C5	110
	2.iş	30.işçi	1	S52	80		
	3.iş	42.işçi	1	S53	110		
6.ist	1.iş	41.işçi	1	S61	110	C6	110
	2.iş	50.işçi	1	S62	90		
7.ist	1.iş	49.işçi	1	S71	90	C7	90
	2.iş	48.işçi	1	S72	90		
8.ist	1.iş	46.işçi	1	S81	90	C8	90
	2.iş	45.işçi	1	S82	90		
9.ist	1.iş	47.işçi	1	S91	90	C9	90
	2.iş	40.işçi	1	S92	90		
	3.iş	28.işçi	1	S93	90		
10.ist	1.iş	5.işçi	1	S101	90	C10	100
	2.iş	11.işçi	1	S102	100		

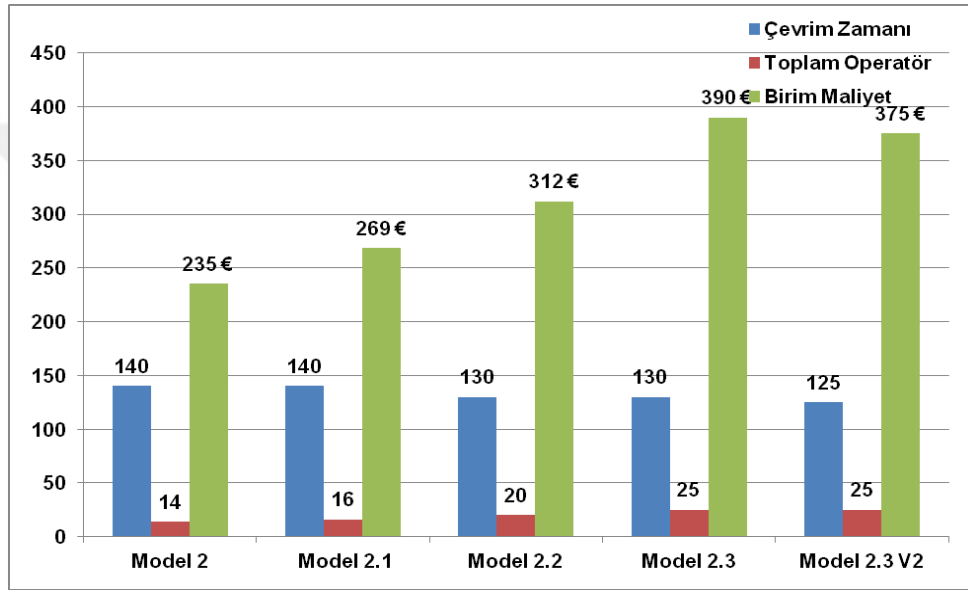


Şekil 5.1. Model Genişletme 3 Model-2.3 Versiyon 2 Atanan İşçilere göre İstasyon Bazlı İş Süreleri

Model-2.3 Versiyon 2 atamalarında görüldüğü gibi 130 dakikalık “2.istasyon 4.iş” ve “3.istasyon 1.iş” üzerinde bir iyileştirme yapıldığı varsayıldığında ve bu sürenin 130 dakikadan 110 dakikaya düşürüldüğü kabul edildiğinde atamalar neticesinde model çevrim süresine etki eden diğer işlerden dolayı ancak 125 dakika çevrim süresine düşebilmiştir. Modeli çalıştırdığınızda çevrim süresine etki eden iş veya işlerin yani operasyonların darboğaz yaratan noktaları işaret ettiği, bu da bir işletmeye hangi üründe hangi istasyonda ve ilgili istasyonun hangi işinde iyileştirmeye ihtiyaç duyulduğunu göstereceği söylenmiştir. Model-2.3 Versiyon 2 atamalarına bakıldığında yeni iyileştirme noktalarının “3.istasyon 2.iş”, “4.istasyon 1.iş” ve “4.istasyon 2.iş” olduğunu işaret etmektedir, yeni kaizenler yapılarak bu operasyonlar da iyileştirilmeli öncesi sonrası ölçümleri yapılmalı ve model her defasında yeni verilere göre çalıştırılarak sürekli iyileştirme döngüsü kurulmalıdır.

5.3.Çevrim Süresi, Operatör Sayısı ve Birim Maliyet Üzerine Elde Edilen Sonuçlar ve Öneriler

Kurulan modellerde çevrim süresi, bu çevrim süresinde üretimi gerçekleştirebilmek için ihtiyaç duyulan operatör sayısı ve modellerin kısıtları sağlandığında ortaya çıkan araç başı üretim maliyeti aşağıdaki grafikte özetlenmiştir.



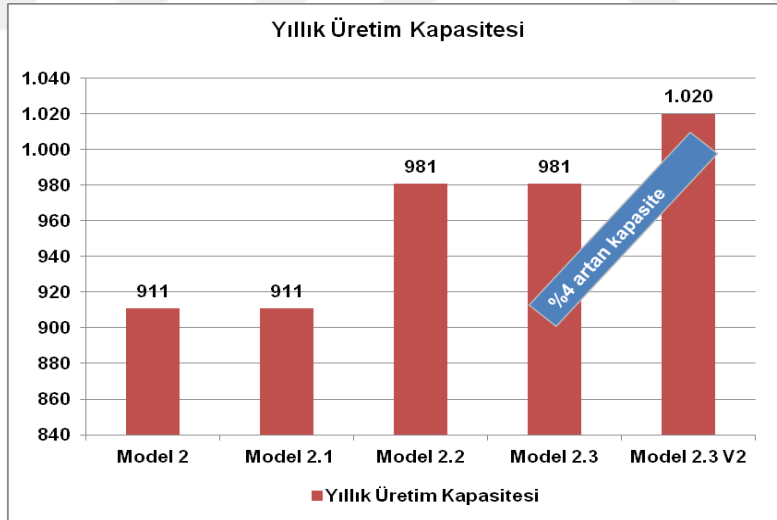
Şekil 5.2. Çevrim Süresi, Operatör (İşçi) Sayısı ve Birim Maliyet Üzerine Elde Edilen Sonuçlar

- Model-2.1’de Model-2’ye “6.istasyon 1. ve 2.iş” eklenmesi ile operatör sayısı 14 operatörden 16 operatöre çıkmış ve çevrim süresi değişmediği için araç başı birim maliyet yükselmiştir.
- Model-2.2’de Model-2.1’e “7.istasyon 1. ve 2.iş”, “8.istasyon 1. ve 2.iş” eklenmesi ile operatör sayısı 16 operatörden 20 operatöre çıkmış ve çevrim süresi değişmesine rağmen araç başı birim
-

- maliyet yükselmiştir. Eğer çevrim süresi aynı kalsa idi birim maliyet 337 Euro olacaktı fakat şuanda 312 Euro'dur. Çevrim süresinin düşmesi araç başı maliyette %8 maliyet iyileşmesi sağlamıştır.
- Model-2.3'de Model-2.2'ye "9.istasyon 1. 2. ve 3.iş", "10.istasyon 1. ve 2.iş" eklenmesi ile operatör sayısı 20 operatörden 25 operatöre çıkmış ve çevrim süresi değişmediği için araç başı birim maliyet yükselmiştir.
- Model-2.3 Versiyon 2'de Model-2.3'e göre çevrim süresinin yapıldığı varsayılan iyileştirme ile aynı kaynak ve kısıtlarda birim maliyet 390 Euro yerine 375 Euro olduğu görülmektedir. Çevrim süresinin düşmesi araç başı maliyette %4 maliyet iyileşmesi sağlamıştır.

5.4.Yıllık Üretim Kapasitesi ve Yıllık Üretim Maliyeti Üzerine Elde Edilen Sonuçlar ve Öneriler

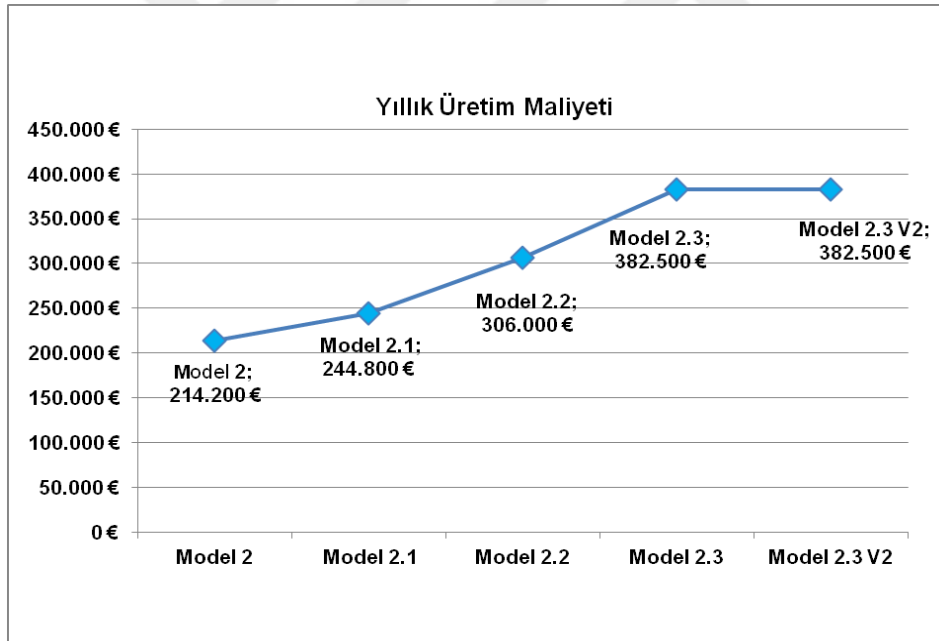
Kurulan modellerde yıllık üretim kapasitesi ve buna bağlı olarak yıllık üretim maliyeti aşağıdaki grafiklerde özetlenmiştir.



Şekil 5.3. Yıllık Üretim Kapasitesi Üzerine Elde Edilen Sonuçlar

- Model-2 ve Model 2.1 'de çevrim süresi aynı olduğu için işletme yıllık 911 araç üretebilme kapasitesindedir.

- Model 2.2 ve Model 2.3 'de çevrim süresi 140 dakikadan 130 dakikaya düştüğü için işletme yıllık 981 araç üretebilme kapasitesine çıkmıştır. Burada %8 kapasite artışı gözlemlenmiştir.
- Model 2.3 Versiyon 2'de operasyonda iyileştirme yapıldığı varsayımına göre model çalıştırıldığında çevrim süresi 130 dakikadan 125 dakikaya düştüğü için işletme yıllık 1020 araç üretebilme kapasitesine çıkmıştır. Burada %4 kapasite artışı gözlemlenmiştir. Çevrim süresinde 5 dakikalık bir iyileştirme yılda 39 araç daha fazla üretebilmeye fırsat oluşturmuş ve %4 kapasite iyileştirmesi sağlanmıştır, bu sonuç varsayım üzerine olsa dahi modelin sürekli iyileştirme ihtiyaçlarını belirleme yeteneğini ve bunun getireceği sonuçları ortaya koymaktadır.



Şekil 5.4. Yıllık Üretim Maliyeti Üzerine Elde Edilen Sonuçlar

Modellerde yıllık üretim kapasiteleri doğrultusunda işletmenin katlanması gereken yıllık üretim maliyetleri grafikteki gibidir. Yıllı bütçe içerisindeki sabit

giderler ve araç satış rakamları da veri olarak bu analizlere eklenerek, değişken maliyetlerde yıllık üretim maliyetinden model verilerine göre alındığında işletmenin başabaş analizi gerçekleştirilebilir ve modelin sağladığı sonuçlar ile birleştirilerek işletmenin stratejik planlamasına ve projelerine katkılarda bulunabilir.





KAYNAKLAR

- Ammar,A.,Pierreval,H., Elkosentini,S.,2013.Worker Assignment Problems in Manufacturing Systems: a Literature Analysis, Rabat-Morocco IESM Conference
- Brilon,S.,2010. Job Assignment with Multivariate Skills, Preprints of the Max Planck Institute for Research on Collective Goods
- Brusco, M. J., & Johns, T. R. (1998). Staffing a multiskilled workforce with varying levels of productivity: An analysis of cross-training policies. *Decision Sciences*, 29(2): 499–515.
- Cesani,V.,and . Steudel,H.,2005. A study of labor assignment flexibility in cellular manufacturing systems, *Computers & Industrial Engineering* 48:571–591.
- Ferjani,A.,Ammar,A.,Pierreval,H., Elkosantini,S.,2017.A simulation-optimization based heuristic for the online assignment of multi-skilled workers subjected to fatigue in manufacturing systems, *Computers & Industrial Engineering* : 663–674.
- Heimerl,C., Kolisch, R.,2009.Work assignment to and qualification of multiskilledhuman resources under knowledge depreciation and company skill level targets, *International Journal of Production Research* ISSN: 0020-7543
- Hillier,F.S., Lieberman, G.J., 2010,Introduction to Operations Research, McGraw-Hill, Inc, New York.
- Hitchcock, F.,1941. The Distribution of a Product from Several Sources to Numerous Localities.Studies in Applied Mathematics: 224-230.
- Koopmans,C., and Beckmann,M.,1957.Assignment Problems and the Location of Economic Activities,*Econometrica*, 25(1): 53-76
- Kotwal,J.,and Dhope,T.,2015.Solving Task Allocation to the Worker Using Genetic Algorithm, *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 6 (4) :3736-3741

- Kuhn, H. W., 1955. The Hungarian Method for the Assignment Problem. *Naval Research Logistics Quarterly*, 2: 1-2.
- Li,Q., Gong ,J., Tang ,J.,Song,J., 2008.Simulation of The Model of Workers Assignment in Cellular Manufacturing based on the Multifunctional Workers, Chinese Control and Decision Conference.
- Mahdavi I., Aalaei A., Paydar M.M., Solimanpur M.,(2010).Designing a mathematical model for dynamic cellular manufacturing systems considering production planning and worker assignment. *Computers and Mathematics with Applications*, (60): 1014–1025.
- Molleman E., Slomp J., (1999). Functional flexibility and team performance. *International Journal of Production Research*,37(8), 1837–1858.
- Moreira,M., and Costa,A.2009.A minimalist yet efficient tabu search algorithm for balancing assembly lines with disabled workers ,XLI SBPO Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento: 660-6
- Nakade, K., & Ohno, K. (1999). An optimal worker allocation problem for a U-shaped production line, *Int. J. Production Economics* 60-61: 353-358.
- Nash,J.,2000. The Dantzig simplex method for linear programming. *Computing in Science & Engineering*: 29-31.
- Nilakantan J.M, Ponnambalam S.G. (2016).Robotic U-shaped assembly line balancing using particle swarm optimization. *Engineerin Optimization*, (48), Issue 2.
- Nizami,S.,Khan,F.,Khan,N.,Inayatullah,S.,Inayatullah,S.,2011.A New Method for Finding the Cost of Assignment Problem Using Genetic Algorithm of Artificial Intelligence, *International Journal of Latest Trends in Computing* ,E-ISSN: 2045-5364,135 Volume 2 :Issue 1
- Norman,B.,Tharmmaphornphilas,V.,Needy,K.,Bidanda,B.,and Warner,R., 2002. Worker assignment in cellular manufacturing considering technical and human skills, *International Journal of Production Research*, 40(6): 1479-1492

- Rabbani M.,Mousavi Z.,Farrokhi-Asl H.(2012). Multi-objective metaheuristics for solving a type II robotic mixed-model assembly line balancing problem.Journal of Industrial and Production Engineering,(33), Issue 7.
- Rafiei F.M., Dehghan A.,(2012).Flexible Labor Assignment in Cellular Manufacturing System (A Simulation and DEA Approach). Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management,Istanbul,Turkey.
- Singh S., Dubey G.C., Shrivastava R.(2012). A Comparative Analysis of Assignment Problem. Journal of Engineering, 8(2): 01-15.
- Supian,S.,Wahyuni S.,Nahar J. (2005). Optimization of Personnel Assignment Problem Based on Traveling Time by Using Hungarian Methods: Case Study on the Central Post Office Bandung.IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 300.



ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Adana’da doğdu. İlk, orta öğrenimini Adana’da tamamladı.Lise öğrenimini Çeş Anadolu Lisesinde tamamladıktan sonra 2009 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden 2014 yılında mezun oldu aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Endüstri Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.Lisans öğrenimi esnasında başlayan mobilya sektörü deneyimi ve ardından kurumsal kaynak planlama üzerine kısa süreli edinilen çalışma deneyiminden sonra 2015 yılında otomotiv sektöründe yalın üretim/yönetim sistemleri ve kalite yönetim sistemleri üzerine başlayan çalışma hayatına halen devam etmektedir.





EKLER



EK1:

Optimizasyon programında yazılan matematiksel modele (I.Model: Çevrim Zamanı Belirli) ait çözüm raporu aşağıdaki gibidir.

```

                S O L V E      S U M M A R Y

MODEL    deneme                OBJECTIVE    z
TYPE      MIP                  DIRECTION  MINIMIZE
SOLVER    CPLEX                FROM LINE  1613

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE          199.2000
```

Amaç fonksiyonu değerine ulaşmasını sağlayan karar değişkeni atamaları ve bu değişkenlerinin tuttuğu anlamlı değerler ile süreleri aşağıdaki gibidir.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL	
---- VAR z	-INF	199.200	+INF	.	TIME
---- VAR X1117	.	1.000	1.000	17.400	145
---- VAR X1212	.	1.000	1.000	10.800	90
---- VAR X212	.	1.000	1.000	10.800	90
---- VAR X223	.	1.000	1.000	9.000	75
---- VAR X2318	.	1.000	1.000	16.200	135
---- VAR X245	.	1.000	1.000	15.600	130
---- VAR X311	.	1.000	1.000	15.600	130
---- VAR X329	.	1.000	1.000	15.000	125
---- VAR X336	.	1.000	1.000	16.200	135
---- VAR X4110	.	1.000	1.000	16.800	140
---- VAR X4215	.	1.000	1.000	16.800	140
---- VAR X518	.	1.000	1.000	13.200	110
---- VAR X524	.	1.000	1.000	12.600	105
---- VAR X537	.	1.000	1.000	13.200	110

EK2:

Optimizasyon programında yazılan matematiksel modele (II.Model: Çevrim Zamanı Belirsiz) ait çözüm raporu aşağıdaki gibidir.

```

          S O L V E      S U M M A R Y

MODEL    deneme          OBJECTIVE  z
TYPE     RMINLP          DIRECTION  MINIMIZE
SOLVER   SNOPT           FROM LINE  493

**** SOLVER STATUS      4 TERMINATED BY SOLVER
**** MODEL STATUS       7 INTERMEDIATE NONOPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE     137.2727

```

Amaç fonksiyonu değerine ulaşmasını sağlayan karar değişkeni atamaları ve bu değişkenlerinin tuttuğu anlamlı değerler aşağıdaki gibidir.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	137.273	+INF	.
---- VAR C1	.	126.706	+INF	.
---- VAR C2	.	136.772	+INF	.
---- VAR Z1	.	137.273	+INF	.
---- VAR s31	.	137.273	+INF	-0.023 NOPT
---- VAR s32	.	125.000	+INF	.
---- VAR s33	.	133.695	+INF	.
---- VAR s41	.	137.273	+INF	-0.033 NOPT
---- VAR s42	.	137.273	+INF	0.087 NOPT
---- VAR S51	.	110.000	+INF	.
---- VAR S52	.	105.000	+INF	.
---- VAR S53	.	135.000	+INF	.
---- VAR C4	.	137.273	+INF	0.503 NOPT

---- VAR C5	.	135.000	+INF	.
---- VAR C3	.	137.273	+INF	-0.284 NOPT
---- VAR S21	.	90.000	+INF	.
---- VAR S22	.	77.386	+INF	.
---- VAR s23	.	124.366	+INF	.
---- VAR s24	.	136.772	+INF	.
---- VAR S11	.	126.706	+INF	.
---- VAR S12	.	90.000	+INF	.
---- VAR X111	.	.	1.000	6.149
---- VAR X112	.	0.732	1.000	EPS
---- VAR X113	.	.	1.000	EPS
---- VAR X115	.	.	1.000	EPS
---- VAR X119	.	.	1.000	6.149
---- VAR X1117	.	0.268	1.000	.
---- VAR X121	.	.	1.000	6.149
---- VAR X122	.	.	1.000	EPS
---- VAR X123	.	.	1.000	EPS
---- VAR X124	.	.	1.000	EPS
---- VAR X125	.	.	1.000	EPS
---- VAR X127	.	.	1.000	EPS
---- VAR X128	.	.	1.000	EPS
---- VAR X129	.	.	1.000	6.149
---- VAR X1212	.	1.000	1.000	.
---- VAR X1218	.	.	1.000	.
---- VAR X211	.	.	1.000	6.149
---- VAR X212	.	.	1.000	EPS
---- VAR X213	.	.	1.000	.
---- VAR X215	.	.	1.000	EPS
---- VAR X217	.	.	1.000	EPS

---- VAR X218	.	.	1.000	EPS
---- VAR X221	.	.	1.000	6.149
---- VAR X222	.	0.239	1.000	.
---- VAR X223	.	0.187	1.000	.
---- VAR X225	.	0.575	1.000	.
---- VAR X227	.	.	1.000	.
---- VAR X228	.	.	1.000	.
---- VAR X231	.	.	1.000	6.149
---- VAR X232	.	.	1.000	EPS
---- VAR X233	.	.	1.000	EPS
---- VAR X235	.	0.425	1.000	.
---- VAR X237	.	.	1.000	EPS
---- VAR X238	.	.	1.000	EPS
---- VAR X239	.	.	1.000	6.149
---- VAR X2318	.	0.575	1.000	.
---- VAR X241	.	.	1.000	6.149
---- VAR X242	.	.	1.000	EPS
---- VAR X243	.	0.729	1.000	.
---- VAR X244	.	.	1.000	EPS
---- VAR X245	.	.	1.000	EPS
---- VAR X246	.	.	1.000	EPS
---- VAR X247	.	.	1.000	EPS
---- VAR X248	.	.	1.000	EPS
---- VAR X249	.	.	1.000	6.149
---- VAR X2410	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2411	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2412	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2413	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2414	.	.	1.000	EPS

---- VAR X2415	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2416	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2417	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2418	.	0.271	1.000	EPS
---- VAR X2419	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2420	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2421	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2422	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2423	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2424	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2425	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2426	.	.	1.000	EPS
---- VAR X2427	.	.	1.000	EPS
---- VAR X311	.	0.636	1.000	.
---- VAR X312	.	.	1.000	EPS
---- VAR X313	.	.	1.000	EPS
---- VAR X315	.	.	1.000	EPS
---- VAR X317	.	.	1.000	1.537
---- VAR X319	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3110	.	0.364	1.000	EPS
---- VAR X3115	.	.	1.000	EPS
---- VAR X321	.	.	1.000	.
---- VAR X329	.	1.000	1.000	EPS
---- VAR X331	.	.	1.000	6.149
---- VAR X332	.	.	1.000	EPS
---- VAR X333	.	.	1.000	EPS
---- VAR X334	.	.	1.000	EPS
---- VAR X335	.	.	1.000	EPS
---- VAR X336	.	0.913	1.000	.

---- VAR X337	.	.	1.000	EPS
---- VAR X338	.	.	1.000	EPS
---- VAR X339	.	.	1.000	6.149
---- VAR X3310	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3311	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3312	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3313	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3314	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3315	.	0.087	1.000	.
---- VAR X3316	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3317	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3318	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3319	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3320	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3321	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3322	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3323	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3324	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3325	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3326	.	.	1.000	EPS
---- VAR X3327	.	.	1.000	EPS
---- VAR X411	.	0.182	1.000	5.658
---- VAR X412	.	0.030	1.000	EPS
---- VAR X413	.	.	1.000	.
---- VAR X414	.	.	1.000	0.819
---- VAR X415	.	.	1.000	EPS
---- VAR X416	.	.	1.000	0.491
---- VAR X417	.	.	1.000	0.491
---- VAR X418	.	.	1.000	0.491

---- VAR X419	.	.	1.000	5.658
---- VAR X4110	.	0.636	1.000	.
---- VAR X4111	.	.	1.000	0.491
---- VAR X4112	.	.	1.000	0.819
---- VAR X4113	.	.	1.000	0.491
---- VAR X4114	.	.	1.000	0.491
---- VAR X4115	.	0.152	1.000	EPS
---- VAR X4116	.	.	1.000	0.491
---- VAR X4117	.	.	1.000	0.491
---- VAR X4118	.	.	1.000	0.491
---- VAR X4119	.	.	1.000	0.491
---- VAR X4120	.	.	1.000	0.491
---- VAR X4121	.	.	1.000	0.819
---- VAR X4122	.	.	1.000	0.819
---- VAR X421	.	0.182	1.000	.
---- VAR X422	.	.	1.000	EPS
---- VAR X423	.	0.057	1.000	EPS
---- VAR X424	.	.	1.000	8.199
---- VAR X425	.	.	1.000	EPS
---- VAR X426	.	.	1.000	6.149
---- VAR X427	.	.	1.000	6.149
---- VAR X428	.	.	1.000	6.149
---- VAR X429	.	.	1.000	.
---- VAR X4210	.	.	1.000	EPS
---- VAR X4211	.	.	1.000	6.149
---- VAR X4212	.	.	1.000	8.199
---- VAR X4213	.	.	1.000	6.149
---- VAR X4214	.	.	1.000	6.149
---- VAR X4215	.	0.761	1.000	.

---- VAR X4216	.	.	1.000	6.149
---- VAR X4217	.	.	1.000	6.149
---- VAR X4218	.	.	1.000	6.149
---- VAR X4219	.	.	1.000	6.149
---- VAR X4220	.	.	1.000	8.199
---- VAR X4221	.	.	1.000	8.199
---- VAR X4222	.	.	1.000	8.199
---- VAR X511	.	.	1.000	6.149
---- VAR X512	.	.	1.000	EPS
---- VAR X513	.	.	1.000	EPS
---- VAR X515	.	.	1.000	.
---- VAR X517	.	.	1.000	.
---- VAR X518	.	1.000	1.000	.
---- VAR X519	.	.	1.000	6.149
---- VAR X521	.	.	1.000	6.149
---- VAR X522	.	.	1.000	EPS
---- VAR X523	.	.	1.000	EPS
---- VAR X524	.	.	1.000	EPS
---- VAR X525	.	.	1.000	EPS
---- VAR X526	.	.	1.000	EPS
---- VAR X527	.	.	1.000	EPS
---- VAR X528	.	.	1.000	EPS
---- VAR X529	.	.	1.000	6.149
---- VAR X5210	.	.	1.000	EPS
---- VAR X5211	.	1.000	1.000	.
---- VAR X5212	.	.	1.000	EPS
---- VAR X5213	.	.	1.000	EPS
---- VAR X5214	.	.	1.000	EPS
---- VAR X5215	.	.	1.000	.

----	VAR X5216	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5217	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5218	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5219	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5220	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5221	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5222	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5223	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5224	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5225	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5226	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5227	.	.	1.000	EPS
----	VAR X531	.	.	1.000	6.149
----	VAR X532	.	.	1.000	EPS
----	VAR X533	.	.	1.000	EPS
----	VAR X534	.	1.000	1.000	.
----	VAR X535	.	.	1.000	EPS
----	VAR X537	.	.	1.000	EPS
----	VAR X538	.	.	1.000	EPS
----	VAR X539	.	.	1.000	6.149
----	VAR X5311	.	.	1.000	.
----	VAR X5313	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5314	.	.	1.000	EPS
----	VAR X5316	.	.	1.000	EPS

EK3:

		İSTASYONLAR									
NO	OP.	1.İST	2.İST	3.İST	4.İST	5.İST	6.İST	7.İST	8.İST	9.İST	10.İST
1	1.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
2	2.işçi	4S	3S	3S	3S	3S	4S	1S	2S	2S	4S
3	3.işçi	4S	4S	3S	3S	4S	4S	4S	4S	2S	4S
4	4.işçi	2S	1S	1S	1S	2S	1S	1S	2S	1S	2S
5	5.işçi	3S	4S	3S	3S	4S	4S	4S	3S	2S	4S
6	6.işçi	1S	1S	2S	2S	1S	1S	1S	1S	2S	2S
7	7.işçi	2S	3S	2S	2S	4S	3S	3S	4S	1S	4S
8	8.işçi	2S	3S	2S	2S	4S	3S	3S	4S	1S	4S
9	9.işçi	3S	2S	4S	4S	3S	4S	4S	3S	4S	4S
10	10.işçi	1S	1S	3S	3S	1S	1S	1S	2S	3S	2S
11	11.işçi	1S	1S	2S	2S	2S	2S	1S	2S	2S	3S
12	12.işçi	2S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	2S	1S	2S
13	13.işçi	1S	1S	2S	2S	2S	2S	1S	2S	2S	3S
14	14.işçi	1S	1S	2S	2S	2S	2S	1S	1S	2S	3S
15	15.işçi	1S	1S	3S	3S	1S	2S	1S	1S	3S	3S

16	16.işçi	1S	1S	2S	2S	2S	2S	1S	2S	1S	3S
17	17.işçi	3S	1S	2S	2S	1S	2S	1S	1S	1S	3S
18	18.işçi	2S	2S	2S	2S	1S	2S	2S	1S	1S	3S
19	19.işçi	1S	1S	2S	2S	1S	1S	1S	2S	1S	2S
20	20.işçi	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	2S
21	21.işçi	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S
22	22.işçi	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	2S
23	23.işçi	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S
24	24.işçi	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S
25	25.işçi	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	2S
26	26.işçi	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	2S
27	27.işçi	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S	2S
28	28.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
29	29.işçi	4S	3S	3S	3S	3S	4S	1S	2S	2S	4S
30	30.işçi	4S	4S	3S	3S	4S	4S	4S	4S	2S	4S
31	31.işçi	2S	1S	1S	1S	2S	1S	1S	2S	1S	2S

32	32.işçi	3S	4S	3S	3S	4S	4S	4S	3S	2S	4S
33	33.işçi	1S	1S	2S	2S	1S	1S	1S	1S	2S	2S
34	34.işçi	2S	3S	2S	2S	4S	3S	3S	4S	1S	4S
35	35.işçi	2S	3S	2S	2S	4S	3S	3S	4S	1S	4S
36	36.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
37	37.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
38	38.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
39	39.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
40	40.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
41	41.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
42	42.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
43	43.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
44	44.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
45	45.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
46	46.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
47	47.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S

48	48.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
49	49.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S
50	50.işçi	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S	4S

Çizelge : Operatörlerin İstasyonlardaki İşlerin Gereklerine Göre Sahip Oldukları Yetenek Seviyeleri Çizelgesi(9. Ve 10. İstasyon ve 41,42,43,44,45,46,47,48,49,50.Operatörler Yeni)