

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRONİK KART ÜRETİMİNDE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN
SÜREÇ AKIŞINI DİKKATE ALAN BÜTÜNLEŞİK BİR YAKLAŞIM VE
UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Faruk ÜNAL

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRONİK KART ÜRETİMİNDE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN
SÜREÇ AKIŞINI DİKKATE ALAN BÜTÜNLEŞİK BİR YAKLAŞIM VE
UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ömer Faruk ÜNAL
(507181141)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Şeyda SERDAR ASAN

ŞUBAT 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 507181141 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ömer Faruk ÜNAL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ELEKTRONİK KART ÜRETİMİNDE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN SÜREÇ AKIŞINI DİKKATE ALAN BÜTÜNLEŞİK BİR YAKLAŞIM VE UYGULAMA” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Şeyda SERDAR ASAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Emine YAYLALI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Saliha KARADAYI USTA
İstinye Üniversitesi

Teslim Tarihi : 27 Aralık 2022
Savunma Tarihi : 6 Şubat 2023





Canım eşim ve biricik kızım Ayşe Ela'ya,



ÖNSÖZ

Hayatım boyunca aldığım her kritik kararda benimle olan canım eşime, eğitim hayatım boyunca küçük bir desteği bile bizden esirgemeyen ve vizyoner bakış açısı ile bize yol gösteren sevgili babama, güzel kalbi ile hep daha iyi bir insan olmaya beni teşvik eden canım anneme, hayatımın son iki yılında varlığıyla bile beni mutlu eden canım kızıma göstermiş oldukları destekler için teşekkür eder, minnetlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında fikir aşamasından sonuçlanmasına kadar olan bütün süreçte yardımları ve destekleri için danışmanım Doç. Dr. Şeyda SERDAR ASAN'a teşekkür ederim.

Şubat 2023

Ömer Faruk Ünal
Endüstri Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Motivasyonu.....	3
1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	4
1.3 Çalışmanın Amacı	6
1.4 Yöntem	7
1.5 Özgün Değer.....	9
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	11
2.1 Literatür Özeti	23
2.1.1 SMT hat çizelgeleme problemleri için yapılan çalışmalar.....	23
2.1.2 Simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemleri	23
2.1.3 Genel süreç akışı için çizelgeleme önerileri.....	24
2.1.4 Çizelgeleme problemlerinde kümeleme yaklaşımı	24
3. METODOLOJİ.....	27
3.1 Problem Tanımı	27
3.2 Problem Varsayımları.....	28
3.3 Metodoloji Algoritması	29
3.4 Kümeleme	31
3.5 Çizelgeleme Optimizasyonu için Matematiksel Model	32
3.6 Simülasyon Analizi	34
3.7 Literatüre Katkı	35
4. BİR ELEKTRONİK KART ÜRETİCİSİNDE UYGULAMA.....	37
4.1 Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtımı	38
4.2 Kümeleme Modeli	38
4.3 Çizelgeleme	44
4.4 Simülasyon Modeli.....	47
4.4.1 Mevcut kümeler ile simülasyon analiz sonuçları	50
4.4.2 Öneri 1 kümeleri ile simülasyon analiz sonuçları	52
4.4.3 Öneri 2 kümeleri ile simülasyon analiz sonuçları	54
4.4.4 Öneri 3 kümeleri ile simülasyon analiz sonuçları	55
4.5 Önerilen Metodoloji İçin Uygulama Sonuçları	56
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR	63
EKLER.....	67

ÖZGEÇMİŞ.....	113
----------------------	------------



KISALTMALAR

PCB	: Baskılı Devre Kartı (Printed Circuit Board)
SMT	: Yüzey Montaj Dizgi Teknolojisi (Surface-Mount Technology)
THT	: Delikli Dizgi Teknolojisi (Through-hole Technology)
MD	: Manuel Dizgi (Manual Insertion)
HÖMO	: Hibrit Örümcek Maymun Optimizasyonu
SKU	: Stok Tutma Birimi (Stock Keeping Unit)
ICT	: Kısa Devre Testi (In-circuit test)
FT	: Fonksiyon Testi
BOM	: Malzeme Bileşen Listesi (Bill of materials)
ENB	: Enbüyüklenme
ENK	: Enküçüklenme



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1: Uygulama yapılan üretim sistemi bilgileri	38
Çizelge 4.2: Kümelemede kullanılan bağımsız değişkenler.....	39
Çizelge 4.3: “Binary BOM” kümesi için SPSS çözüm	40
Çizelge 4.4: “Genel BOM” kümesi için SPSS çözüm.....	41
Çizelge 4.5: Sürekli değişkenler arası korelasyon matrisi	42
Çizelge 4.6: “Talep-malzeme miktarı-operasyon süresi” kümesi için SPSS çözüm.	42
Çizelge 4.7: Elektronik kartların süreç akış kategorileri	43
Çizelge 4.8: Oluşturulan kümeler	43
Çizelge 4.9: Mevcut durum şasi üst grubu kümesi ile çizelgeleme aylık üretim	45
Çizelge 4.10: “Öneri 1” kümesi ile çizelgeleme aylık üretim	46
Çizelge 4.11: “Öneri 2” kümesi ile çizelgeleme aylık üretim	46
Çizelge 4.12: “Öneri 3” kümesi ile çizelgeleme aylık üretim	47
Çizelge 4.13: Mevcut küme ile 1. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları	51
Çizelge 4.14: Mevcut küme ile 2. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları	52
Çizelge 4.15: Öneri 1 kümeleri ile 1. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları	53
Çizelge 4.16: Öneri 1 kümeleri ile 2. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları	53
Çizelge 4.17: Öneri 2 kümeleri ile 1. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları	54
Çizelge 4.18: Öneri 2 kümeleri ile 2. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları	54
Çizelge 4.19: Öneri 3 kümeleri ile 1. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları	55
Çizelge 4.20: Öneri 3 kümeleri ile 2. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları	55
Çizelge 4.21: Tüm kümeler için aylık çizelgeleme ve simülasyon adetleri	56
Çizelge 4.22: Tüm kümeler için performans göstergesi	56



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Elektronik kart genel üretim süreç akışı.....	2
Şekil 1.2: SMT hattı genel süreç akışı (Tsai, 2014).	2
Şekil 1.3: Üretim istasyonlarının sektörlere bağlı kapasite atamaları	5
Şekil 1.4: Çalışma yönteminin belirlenme adımları	7
Şekil 2.1: PCB problemleri için planlama hiyerarşisi (Mumtaz ve diğ, 2019).....	11
Şekil 2.2: Sipariş kümeleme süreci (Kuo ve Lin, 2010).	14
Şekil 2.3: Akış tipi çizelgelemede montaj tipleri (Komaki ve diğ, 2019).	15
Şekil 2.4: Literatür matrisi.....	21
Şekil 3.1: Elektronik kartların gruplama avantajı (Yılmaz ve diğ, 2007).	27
Şekil 3.2: Geliştirilen metodoloji algoritması.....	30
Şekil 3.3: Yüzey montaj teknolojisi operasyon adımları (Khader ve Yoon, 2021)...	32
Şekil 4.1: Uygulama adımları	37
Şekil 4.2: Simülasyon modeli algoritması.....	48
Şekil 4.4: Üretim istasyonlarının station modülü ile tanımlanması.....	49
Şekil 4.5: Kümelerin karakteristik özelliklerinin assing modülü ile tanımlanması...	49
Şekil 4.6: Kaynakların resource modülü ile tanımlanması.....	50



ELEKTRONİK KART ÜRETİMİNDE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN SÜREÇ AKIŞINI DİKKATE ALAN BÜTÜNLEŞİK BİR YAKLAŞIM VE UYGULAMA

ÖZET

Elektronik kartlar günlük yaşantımızda kullanılan telefon, televizyon, bilgisayar, otomobil ve akıllı cihazlar gibi birçok üründe bir alt bileşen olarak kullanılmakta ve hayatımızda önemli bir yer tutmaktadır. Bu ürünlerin verimli bir şekilde çalışması elektronik kartların uygun tasarımına, üretimine ve kalitesine bağlıdır.

Teknolojinin gelişimiyle beraber ürün çeşitliliğinde yaşanan artış üretimdeki kapasite kısıtları göz önünde bulundurulduğunda çok fazla model geçişine neden olmakta ve bu geçişler için katma değersiz ara operasyon ve sürelerle katlanılmaktadır. Üretimde verimsizliğe neden olan bu durumlar için yenilikçi yaklaşımlar ile verimlilik artışını sağlayacak çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada elektronik kart üretimi çizelgeme problemleri ele alınmış ve elektronik sektöründe var olan verimlilik arttırma ve maliyet düşürme amaçlı çalışmalara katkı sağlanması motivasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Yapılacak uygulama birbirinden farklı özellikteki elektronik kartların, birbirinden farklı özellikteki üretim ve test hatlarında talebe karşılık verecek ve maksimum faydayı sağlayacak üretim planına odaklanmaktadır. Bu problem yeterli zamanda optimum çözümün bulunamayacağı NP-zor optimizasyon problemi sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle problem çözümü için aynı anda tüm elektronik kartların malzeme kırımını ve ortak malzeme kullanımı, malzeme kullanım miktarları, talepleri, operasyon süreleri, süreç akış haritalarında uğrayacağı istasyonlar ve sıraları göz önünde bulundurularak bir kümeleme analizi yapılmaktadır. Oluşan kümeler otomatik dizgi hatları için en büyük üretim miktarını amaçlayan 0-1 karma tamsayılı matematiksel model içerisine yerleştirilmektedir. Son aşamada tüm üretim istasyonlarının dikkate alınması için simülasyon analizi yapılmaktadır. Çalışmada yenilikçi bütünsel bir yaklaşım ile süreç akışı dikkate alınarak tüm üretim istasyonları aynı anda göz önünde bulundurulmuş, böylece üretim istasyonları arasındaki ilişki incelenerek hem darboğaz istasyonların belirlenmesi sağlanmış hem de alınacak aksiyonların mevcut üretim sistemine olan katkısı ortaya çıkarılmıştır.

Önerilen yaklaşım çok çeşitli az hacimli üretim yapan, yüzlerce farklı ürüne sahip, birden çok yüzey montaj teknolojisi (SMT) özelliğine sahip otomatik dizgi hattı olan, birden çok süreç akışına sahip ve birden çok test ayar istasyonuna sahip bir elektronik kart üreticisinin çizelgelemesi için uygulanmıştır. Uygulama sonucunda her biri birbirinden farklı özellikte olan elektronik kartların, birbirinden farklı özellikteki üretim ve test hatlarında talebe karşılık verecek ve maksimum faydayı sağlayacak üretim planına odaklanılarak üretim miktarında %22 oranında iyileştirilme sağlanmıştır.



AN INTEGRATED APPROACH AND APPLICATION CONSIDERING PROCESS FLOW FOR SCHEDULING PROBLEMS IN ELECTRONIC CARD PRODUCTION

SUMMARY

Electronic cards are used as a subcomponent in many products such as mobile phones, televisions, computers, cars and smart devices used in daily lives and have an important place in our lives. The efficient working of these products depends on the design, manufacturing and quality of electronic cards.

Considering the capacity constraints in production, the increase in product diversity with the development of technology causes many setups and non-value-added operations and times are endured. Innovative approaches and studies that will increase productivity are needed for these situations that cause inefficiency in production.

Technology causes many changes in the design and efficiency criteria of electronic cards. The production operation, which was previously called manual insertion (MD), is gradually being replaced by automatic typesetting methods, which are called through-hole technology (THT) and surface-mount technology (SMT), which provide efficiency advantages in production. SMT enables high-speed insertion machines to automatically place hundreds of materials onto the electronic board in just a few seconds. SMT, which provides much more advantages compared to MD in terms of efficiency and quality, has an important place in the design criteria. Although SMT insertion lines vary depending on their features and technology level, they can reach up to 100 materials per second with the appropriate machine configuration. On the other hand, in MD lines where production is based on manpower, there is variation depending on the number of operators, but in a production line where 5 operators work, less than 1 material can be placed per second on average. The number of materials on an electronic card varies between 10 and 1500 depending on the size, design, function of the card and the product to be used. SMT materials have the largest share in the total number of materials. As it can be understood from the difference between the operations, companies intensify their work for SMT in insertion operations and try to come up with a plan based on SMT materials. SMT is the most important production step for electronic board production. This study was carried out with the motivation of solutions to the scheduling problems in the sector for the purpose of increasing efficiency and reducing costs. This study proposes a scheduling model for SMT insertion lines.

In order to respond to customer demands in the electronic card production sector, production plans with "high variety - low production" feature are needed. This leads to an increase in preparation times and a decrease in productivity. Studies are needed both to increase the capacity utilization rates of the machines and to reduce the preparation times. The application to be made focuses on the production plan that will respond to the demand and provide maximum benefit in the production and test lines of different features of the electronic cards.

Electronic card production stations are designed to differ depending on the main product to be installed. There are two different base stations in production: automatic Insertion, test Adjustment. Electronic cards, whose insertion operations are completed, are subjected to a series of short circuit and function tests at test stations in order to complete the necessary quality control processes. The test to be applied varies depending on the product to which the electronic board will be assembled. For example, an electronic card to be installed in a washing machine is subjected to a simulation that undergoes all the processes that will be required during a washing process in the function test and it is ensured that all its functions work. As the content of the function test changes depending on the product, the capacity determination studies of the relevant production stations also differ. This study proposes an integrated model for automatic insertion and test adjustment lines.

Manufacturers in the sector make capacity assignments of production stations at a strategic level and manage the process with long-term investment and capacity planning. In the tactical plans of the companies, the products to be produced are determined and designs are made in accordance with the production lines. Finally, at the operational level, companies focus on using their existing resources in the most efficient way. The most important decisions taken at the operational level are related to production planning and scheduling.

This study deal with the production of electronic cards for electronic products like television, computer and mobile phone for the proposed model and the application to be made. In the production stations of electronic cards to be mounted on electronic products, there is usually flexible in automatic insertion and full capacity in test adjustment station.

In this study, electronic card production scheduling problems were handled and it was carried out with the motivation to contribute to the efforts to increase efficiency and reduce costs in the electronics sector. The application to be made focuses on the production plan that will respond to the demand and provide maximum benefit in the production and test lines of different types of electronic cards. This problem is in the class of NP-hard optimization problem, where the optimum solution cannot be found in sufficient time. Therefore, for problem solving, a clustering analysis is performed by considering the material usage, material amounts, demands, operation times, stations and process sequences that all electronic cards will visit on the process flow maps at the same time. The resulting clusters are placed into a 0-1 mixed integer mathematical model aimed at the largest production amount for automatic insertion lines. In the final stage, simulation analysis is performed to consider all production stations. In the study, all production stations were taken into account at the same time, taking into account the process flow with an innovative integrated approach.

At the stage of determining the method of the study, first of all, studies suitable for the problem were examined. Afterwards, the similarities about the problem to be applied and the methods that got the best results were analyzed in detail. The application within the scope of this study for electronic board production scheduling is in the NP-hard optimization problem class, where the optimum solution cannot be found in sufficient time. For this reason, in order to reduce the number of electronic cards and make the problem suitable for the solution, the electronic cards will be clustered according to their similarities, which reduces the preparation time on the SMT lines. In the next stage, the clusters formed will be placed in the working 0-1 mixed integer mathematical model of the multidimensional time axis whose objective function is the

maximum production amount. Afterwards, all clusters created to take into account the process flow and the current situation will be analyzed in the simulation model to compare the production numbers of both SMT lines and test setting stations.

When the studies on scheduling problems in electronic card production are examined, it is seen that generally only SMT automatic insertion lines are focused on. This study proposes an approach that takes into account the process flow, considering all production stations, both SMT automatic insertion lines and test adjustment stations. Thanks to the proposed approach, it will be possible to examine the relationship between generation stations and to determine both the bottleneck stations and to reveal the contribution of the actions to be taken to the existing production system. While studies in the literature generally only consider operation times in model proposals, a clustering analysis will be made by considering material diffraction and common material use, material usage amounts, demands, operation times, stations and sequences that all electronic cards will visit in process flow maps at the same time.

In recent years, in studies on scheduling problems in electronic board production, the number of studies that simultaneously perform clustering analysis to reduce preparation times and analyze mathematical model results with simulation in order to test the suitability of proposals for the process flow is quite limited.

The proposed integrated model has been applied for the scheduling of an electronic board manufacturer that produces a wide variety of low-volume products, has hundreds of different products, has multiple surface mount technology (SMT) automatic insertion lines, has multiple process flows, and has multiple test adjustment stations. As a result of the implementation, a 22% improvement was achieved in the production amount by focusing on the production plan that will respond to the demand and provide maximum benefit in the production and test lines, each of which has different characteristics than the other.



1. GİRİŞ

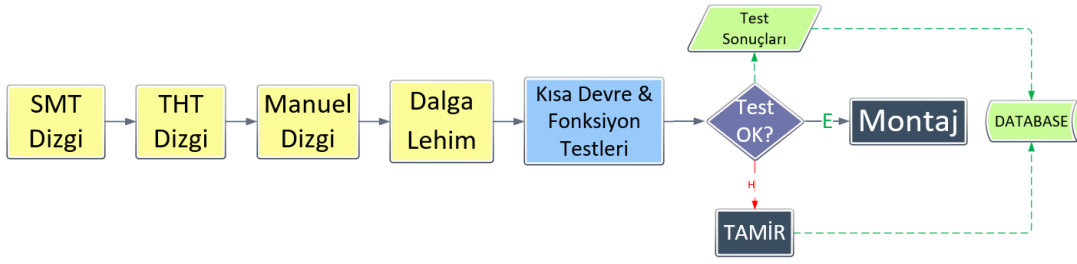
Hayatlarımızda önemli bir yer tutan telefonlar, televizyonlar, elektrikli araçlar, çamaşır makineleri, buzdolapları vd. akıllı cihazlar gibi ürünlerin verimli bir şekilde çalışması elektronik sektöründe üretilen tüm ürünlerde bir alt bileşen olarak kullanılan elektronik kartların uygun tasarımına, üretimine ve kalitesine bağlıdır. Elektronik, inovasyon ve yeni teknolojiler için temel şart olmakla birlikte mobilite ve yenilenebilir enerjiler gibi küresel trendler için de ilk adım olma özelliğine sahiptir. Bu uygulamalar ise elektronik kartların yüksek performansını, kalitesini ve güvenilirliğini gerektirir (Franke ve diğ, 2021).

Elektronik kart üretim süreçlerinin verimli ve etkili yönetimi hem üretim maliyetlerinde azalmaya hem de rekabette avantaj sağlamaya olanak tanımaktadır (Najera ve diğ, 2014). Elektronik kartların tasarımlarına bağlı olarak üretimdeki süreç akış haritaları değişkenlik göstermektedir. Gelişen teknoloji elektronik kartların tasarım ve verimlilik kriterlerinde birçok değişikliğe neden olmaktadır. Daha önce manuel dizgi (MD) olarak tabir edilen üretim operasyonu gün geçtikçe yerini üretimde verimlilik avantajı sağlayan delikli dizgi teknolojisi (THT) ve yüzey montaj teknolojisi (SMT) adını alan otomatik dizgi yöntemlerine bırakmaktadır. SMT, yüksek hızlı dizgi makinelerinin yüzlerce malzemeyi elektronik kart üzerine sadece birkaç saniyede otomatik yerleştirilmesi işlemine olanak sağlamaktadır. Sektör ihtiyaçlarına ve tasarımlara bağlı olarak elektronik kartlar genel olarak aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- i. Üretim operasyonlarında sadece SMT dizgi işlemi gerektiren kartlar,
- ii. Üretim operasyonlarında SMT, THT dizgi işlemi ve dalga lehim operasyonu gerektiren kartlar,
- iii. Üretim operasyonlarında SMT, THT, MD işlemi ve dalga lehim operasyonu gerektiren kartlar,

Elektronik kartların üretim operasyonlarına bağlı olarak gruplanması bazı özel tasarım kartlar dikkate alındığında artış gösterebilir. Fakat sektörde ağırlıklı olarak üretimi gerçekleşen kartlar yukarıdaki gibi özetlenmiştir. SMT, THT, MD işlemi ve dalga

lehim operasyonu gerektiren kartlar için genel üretim süreç akışı ise Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Elektronik kart genel üretim süreç akışı.

Verimlilik ve kalite anlamında MD’ye kıyasla çok daha fazla avantaj sağlayan SMT, tasarım kriterlerinde önemli bir yer almaktadır. Elektronik kart üretiminde binlerce farklı malzemeyi istenen konuma yerleştiren otomatik dizgi makineleri en önemli rolü oynamaktadır (He ve diğ., 2016). Bu nedenle firmalar hem üretim hem de tasarım aşamasındaki stratejik planlarında SMT dizgiyi esas almaktadır. Özellikle uzun vadeli yatırım planlarında yüksek hızlı ve maliyeti oldukça yüksek (300,000 \$ ile 1,000,000 \$) (Ayob ve Kendall, 2008) dizgi makineleri yer almaktadır. Firmalar bu tip yüksek hızlı dizgi makinelerine yatırım yapmakta ve çıktı miktarını artırmak için birçok farklı proje üzerinden çalışmaktadır. Yüksek maliyetli ve yüksek verimliliğe sahip SMT dizgi makineleri aslında üretim hattının sadece bir adımıdır ve bir otomatik dizgi hattı kartın tasarımına bağlı olarak değişkenlik göstermekle beraber genel olarak aşağıdaki süreç akışına sahiptir (Şekil 1.2):

- PCB Yükleme Ünitesi
- Krem Lehim
- Krem Lehim Kalite Kontrol
- SMT – Dizgi Makineleri
- Kurlama Fırını
- SMT montajı tamamlanan PCB Yükleme Ünitesi



Şekil 1.2: SMT hattı genel süreç akışı (Tsai, 2014).

SMT dizgi hatları özelliklerine ve teknoloji seviyesine bağlı olarak değişkenlik göstermekle beraber uygun makine konfigürasyonu ile saniyede 100 malzemeye kadar dizgi seviyesine ulaşabilmektedir. İnsan gücü esas alınarak üretim yapılan MD hatlarında ise çalışan operatör sayısına bağlı olarak değişkenlik olmakta beraber 5 operatörün çalıştığı bir üretim hattında ortalama olarak saniyede 1'in altında malzeme dizgisi yapılabilmektedir. Bir elektronik kart üzerinde olan malzeme sayısı kartın boyutu, tasarımı, işlevi ve kullanılacak ürüne bağlı olarak 10 ile 1500 arasında değişkenlik göstermektedir. Toplam malzeme sayısı içinde en büyük paya SMT malzemeleri sahiptir. Operasyonlar arasında görülen farktan da anlaşılacağı üzere firmalar dizgi operasyonlarında SMT için çalışmalarını yoğunlaştırmakta ve SMT malzemeleri üzerinden bir plan ortaya çıkarmaya çalışmaktadır. SMT, elektronik kart üretimi için en önemli üretim adımıdır ve bir SMT hattı birçok farklı elektronik kartı üretebilecek yetkinlikte kurgulanıp aynı veya farklı tipte birçok fazla makineden oluşabilir (Tsai, 2013). Bu durum bir elektronik kart üreticisinin tüm hatlarının birbirinden farklı özelliklere sahip olmasına ve her hattın birbirinden çok farklı olan dinamiklere sahip olmasına neden olmaktadır. Bahsedilen farklılık ve çeşitlilik ise yönetimi zorlaştıran etmenlerin başında gelmektedir.

Elektronik kart üretimlerinin planlama ve çizelgeleme problemi son yıllarda gelen yüksek kalite standartları dolayısıyla daha da zorlaşmıştır. İlgili standartlar elektronik kart çeşitliliğini artırmakta ve makine sürelerine önemli ölçüde artış bazında etki etmektedir (Noroozi ve Mokhtari, 2015). Son yıllarda müşteri talepleriyle birlikte artan elektronik ürün çeşitliliğine paralel olarak elektronik kart çeşitliliğinde de çarpıcı bir artış bulunmaktadır. Bu çeşitlilik artışı planlama ve çizelgeleme için birtakım problemleri gün yüzüne çıkarmaktadır (Mumtaz ve diğ, 2019).

1.1 Çalışmanın Motivasyonu

Elektronik sektöründe üretim maliyetleri seri üretimler için önemli bir yer tutmaktadır; operasyonlarda yapılacak küçük bir değişiklik firmaların maliyetlerinde büyük bir etki yaratabilir (Emet ve diğ, 2010). Bu çalışma sektörde var olan verimlilik arttırma ve maliyet düşürme amaçlı çizelgeleme problemlerine çözüm araması motivasyonu ile gerçekleştirilmiştir.

Elektronik kart üretim sektöründe müşteri taleplerine karşılık verebilmek için “yüksek çeşit – düşük üretim” özelliğine sahip üretim planları yapılmasına ihtiyaç

duyulmaktadır. Bu durum ise hazırlık sürelerinde artışa ve verimliliklerde azalmaya neden olmaktadır. Hem makinelerin kapasite kullanım oranlarını artırmak hem de hazırlık sürelerinin azalmasını sağlamak amacıyla yapılan çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Kuo ve Lin, 2010).

Yapılacak uygulama ise birbirinden farklı özellikteki elektronik kartların, birbirinden farklı özellikteki üretim ve test hatlarında talebe karşılık verecek ve maksimum faydayı sağlayacak üretim planına odaklanmaktadır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Elektronik kart üretim istasyonları, monte edilecek ana ürüne bağlı olarak farklılık gösterecek şekilde kurgulanmaktadır. Üretimde iki farklı ana istasyon bulunmaktadır: Otomatik Dizgi, Test Ayar. Şekil 1.1’de detayları yer alan süreç akış haritasında malzeme dizgileri tamamlanan elektronik kartlar gerekli kalite kontrol süreçlerini tamamlamak üzere test istasyonlarında bir dizi kısa devre ve fonksiyon testine tabi tutulmaktadır. Uygulanacak test, elektronik kartın monte edileceği ürüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Örneğin, çamaşır makinesine monte edilecek bir elektronik kart fonksiyon testinde bir yıkama süreci boyunca gerekli olacak tüm süreçlerden geçirilen bir simülasyona tabi tutulmakta ve tüm işlevlerinin çalıştığından emin olunmaktadır. Fonksiyon test içeriğinin ürüne bağlı olarak değişmesi gibi ilgili üretim istasyonlarının kapasite belirleme çalışmaları da farklılık göstermektedir. İki ana istasyon ve iki farklı kapasite yaklaşımı ile “Üretim İstasyonlarının Sektörlere Bağlı Kapasite Atamaları” Şekil 1.3’de gösterilmiştir. Tam kapasite maksimum kapasite ile çalışmayı temsil etmekte ve talep edilmesi durumunda kapasite artış yatırımına gidilmesi gerektiğini göstermekte iken esnek kapasite maksimum kapasiteye ulaşmamış ilgili istasyonun talep edilmesi durumunda daha fazla üretim yapabilir durumda olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada önerilen model ve yapılacak uygulama için elektronik ürünler kategorisi baz kabul edilmiştir. Elektronik ürünlere monte edilecek elektronik kart üretim istasyonlarında genellikle otomatik dizgide esnek, test ayarında tam kapasite bulunmaktadır.

		Otomatik Dizgi	
		Tam Kapasite	Esnek Kapasite
Test Ayar	Tam Kapasite	Beyaz Eşya; Çamaşır Makinesi, Bulaşık Makinesi	Elektronik; Televizyon, Bilgisayar, Cep Telefonu
	Esnek Kapasite	-	Savunma Sanayi; Uçak, Helikopter vd. özel projeler

Şekil 1.3: Üretim istasyonlarının sektörlere bağlı kapasite atamaları.

Üreticilerin böyle bir üretim sistemi kurmasında birçok farklı neden vardır. Öncelikle SMT hatları yüksek maliyete sahip olmakla birlikte uzun tedarik sürelerine sahiptir. Müşterilerin olası ani talep artışları durumunda otomatik kapasite hatlarında çok hızlı bir şekilde kapasite artışı sağlamak mümkün değildir. Bu durumda ise üretici pazar payını genişletme fırsatını kaçırmakla beraber elinde bulundurduğu pazarda da kayıplar yaşama riski ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle elektronik ürünler için kullanılan elektronik kartların otomatik dizgi kapasiteleri genellikle esnek kapasiteye sahip olmaktadır. Bunun yanında test ayar istasyonlarında kapasite artışı yatırımı yapmak hem daha düşük maliyete sahip hem de iç kaynaklar ile çözülebilmesi sayesinde kısa sürede devreye alınabilir durumdadır. Bu nedenle genellikle elektronik sektörü talebin üzerinde kapasite imkanını test ayar istasyonları için yaratmamayı tercih etmekte, bu sayede hem maliyet avantajı sağlamakta hem de iç kaynaklarını daha katma değerli işler için kullanmaktadır.

Sektörde yer alan üreticiler üretim istasyonlarının kapasite atamalarını stratejik seviyede yapmakta ve uzun vadeli yatırım ve kapasite planlamaları ile süreci yönetmektedir. Firmaların taktiksel planlarında ise üretim yapılacak ürünler belirlenmekte ve üretim hatları ile uygun olacak şekilde tasarımlar yapılmaktadır. Son olarak operasyonel seviyede ise firmalar var olan kaynaklarını en verimli bir şekilde kullanmaya odaklanmaktadır. Operasyonel seviyede alınan en önemli kararlar ise üretim planlama ve çizelgeleme ile alakalıdır.

Çizelgeleme problemlerinin optimizasyon yöntemleri ile çözümü giderek zorlaşmakta ve önem kazanmaktadır (Klemmt ve diğ., 2009). Literatürde yer alan çalışmaların birçoğundan farklı olarak yapılacak çalışmada sadece SMT hatlarına odaklanılmayacak, paralelde genel süreç akışını da içerisinde barındıracak bir model önerisinde bulunacaktır. Uygulama yapılan problem yeterli zamanda optimum

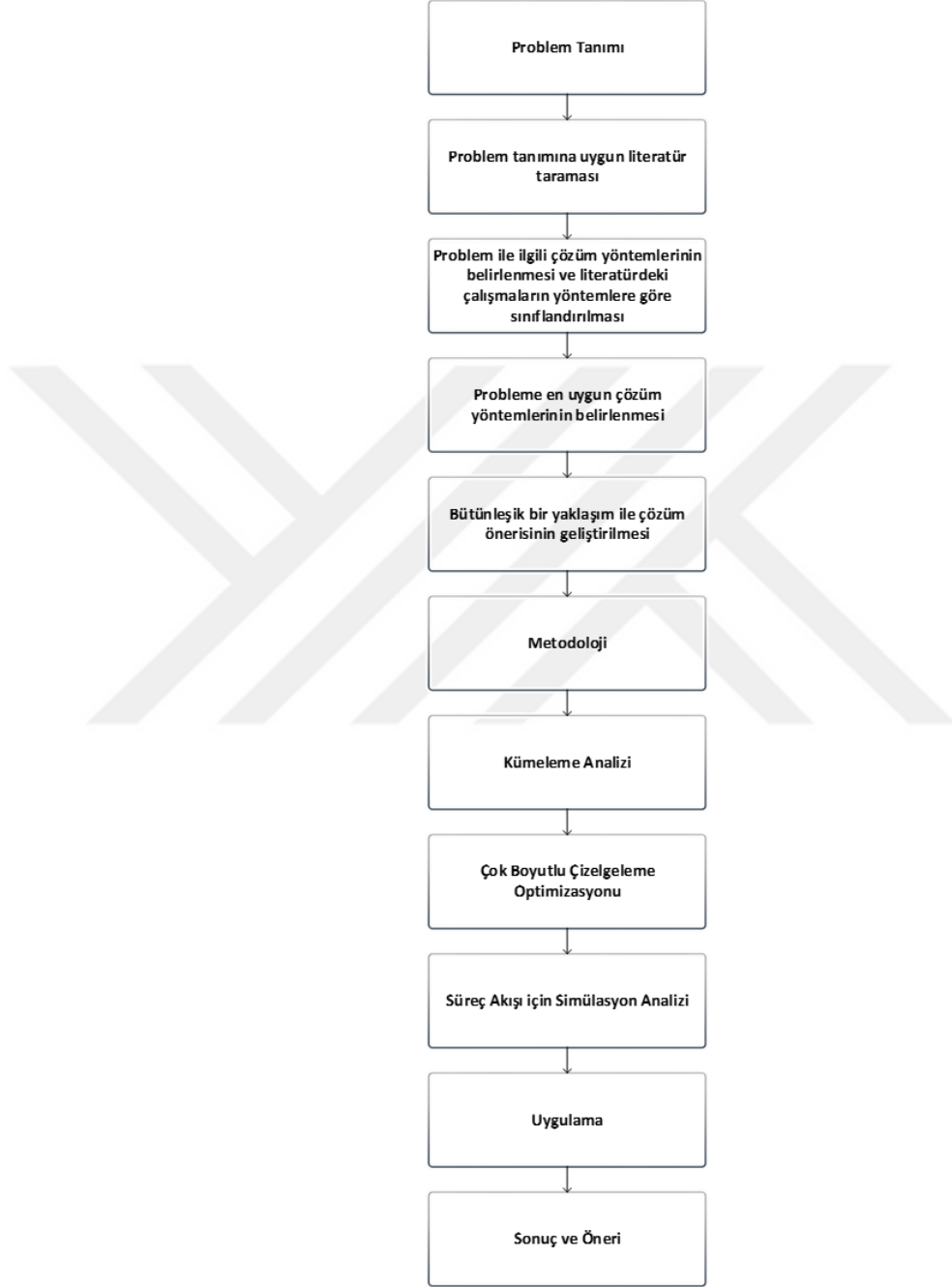
özümün bulunamayacağı NP-zor optimizasyon problemi sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle yapılacak çalışmada öncelikle elektronik kartlar için kümeleme işlemini yapılacak, sonrasında oluşturulan matematiksel modelde çözüm aranacak ve son olarak genel süreç akışı için oluşturulan simülasyon modelinde alternatif öneriler analiz edilecektir.

1.3 Çalışmanın Amacı

Teknolojinin gelişimiyle beraber ürün çeşitliliğinde yaşanan artış üretimdeki kapasite kısıtları göz önünde bulundurulduğunda çok fazla model geçişine neden olmakta ve bu geçişler için katma değersiz ara operasyon ve sürelerle katlanılmaktadır. Üretimde verimsizliğe neden olan bu durumlar için yenilikçi yaklaşımlar ile verimlilik artışını sağlayacak çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada verimlilik artışının sağlanması amacıyla elektronik kart üretimi çizelgeleme problemleri ele alınmaktadır. Farklı istasyonlarda farklı kapasite yaklaşımları olması dolayısıyla çizelgeleme optimizasyonu yaklaşımına yeni bir boyut kazandırılması da amaçlanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar genellikle sadece otomatik dizgi hatlarına odaklanmakta iken sektörel çeşitlilikler dolayısıyla bu çalışma hem otomatik dizgi hatları hem de test ayar istasyonlarını göz önünde bulunduracaktır. Çalışma otomatik dizgi hatlarında yapılan çizelgeleme optimizasyonunun test ayar istasyonundaki üretim sayısı ile olan ilişkisini incelemektedir. Bu nedenle birçok farklı çözüm önerisi geliştirilerek tüm alternatifler için özümlemler karşılaştırılacaktır. Alternatif geliştirme süreçlerinde tüm elektronik kartların malzeme kırımını ve ortak malzeme kullanımı, talepleri, operasyon süreleri, süreç akış haritalarında uğrayacağı istasyonlar ve sıraları göz önünde bulundurularak kümeleme yapılacaktır. Oluşturulan kümeler otomatik dizgi hatlarının çizelgeleme optimizasyonu için oluşturulan model içine yerleştirilecek ve sadece otomatik dizgi üretim sayıları karşılaştırılacaktır. Sonrasında tüm alternatifler test ayar istasyonları için oluşturulmuş olan simülasyon modeli içine yerleştirilerek son istasyondaki toplam üretim adetleri karşılaştırılacaktır. Sonuç olarak otomatik dizgi üretim adetleri ve test ayar üretim adetleri üzerinden alternatiflerin verimlilikleri karşılaştırılarak sektördeki diğer üreticilere önerilerde bulunulacaktır.

1.4 Yöntem

Elektronik kart üretiminde çizelgeleme problemlerine çözüm bulmak için çalışmada süreç akışını dikkate alan entegre bir yaklaşım önerilmiştir.



Şekil 1.4: Çalışma yönteminin belirlenme adımları.

Yöntemin belirlenme aşamasındaki adımlar Şekil 1.4’de detaylı olarak gösterilmiştir. Problemin tanımlanması ve literatür taramasının ardından, yapılacak çalışma ile alakalı daha önceden yapılmış çalışmalar sınıflandırılmıştır:

- SMT Hat Çizelgeleme Problemleri – Çok Hat
- SMT Hat Çizelgeleme Problemleri – 1 Hat
- SMT Dizgi Makineleri Besleyici Ünite ve “Nozzle” Atama Problemleri
- Simülasyon Tabanlı Optimizasyon Yöntemleri
- Sezgisel Algoritma Önerileri
- Genel Süreç Akışı için Çizelgeleme Önerileri
- Çizelgeleme Problemlerinde Sipariş Kümeleme Yaklaşımı

Bu sınıflandırmanın ardından çözüm önerisi geliştirilecek model için en uygun sınıflar kararlaştırılmıştır:

- SMT Hat Çizelgeleme Problemleri – Çok Hat
- SMT Hat Çizelgeleme Problemleri – 1 Hat
- Simülasyon Tabanlı Optimizasyon Yöntemleri
- Genel Süreç Akışı için Çizelgeleme Önerileri
- Çizelgeleme Problemlerinde Sipariş Kümeleme Yaklaşımı

Probleme uygun çalışmaların belirlenmesinin ardından çözüm metodu geliştirilmiştir. Elektronik kart üretim çizelgeleme için bu çalışma kapsamına giren uygulama yeterli zamanda optimum çözümün bulunamayacağı NP-zor optimizasyon problemi sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle SKU sayısının azaltılarak problemin çözüme uygun bir hale getirilmesi için SMT hatlarında hazırlık sürelerinin azalmasını sağlayan elektronik kartların benzerliklerine göre kümelenmesi işlemi yapılacaktır. Bir sonraki aşamada oluşan kümeler amaç fonksiyonu maksimum üretim miktarı olan çok boyutlu zaman eksenin çalışan 0-1 karma tamsayılı matematiksel model içerisine yerleştirilecektir. Sonrasında süreç akışının dikkate alınması amacıyla oluşturulan tüm kümeler ile mevcut durum hem SMT hatları hem de test ayar istasyonları üretim adetlerinin karşılaştırılması için simülasyon modelinde analiz edilecektir. Geliştirilen yaklaşımın çözüm adımları aşağıdaki gibidir:

- i. Kümeleme Analizi
- ii. Çizelgeleme Optimizasyonu için 0-1 karma tamsayılı matematiksel modelleme
- iii. Simülasyon Analizi

1.5 Özgün Değer

Elektronik kart üretiminde çizelgeme problemleri için yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle sadece SMT otomatik dizgi hatlarına odaklanıldığı görülmüştür. Bu çalışma hem SMT otomatik dizgi hatları hem de test ayar istasyonları olmak üzere tüm üretim istasyonlarını göz önünde bulundurarak süreç akışını dikkate alan bir yaklaşım önermektedir. Önerilen yaklaşım sayesinde üretim istasyonları arasındaki ilişki incelenerek hem darboğaz istasyonların belirlenmesini sağlamak hem de alınacak aksiyonların mevcut üretim sistemine olan katkısını ortaya çıkarmak mümkün olacaktır.

Literatürdeki çalışmalar model önerilerinde genellikle sadece operasyon sürelerini göz önünde bulundurmakta iken yapılan çalışmada aynı anda tüm elektronik kartların malzeme kırınımı ve ortak malzeme kullanımı, malzeme kullanım miktarları, talepleri, operasyon süreleri, süreç akış haritalarında uğrayacağı istasyonlar ve sıraları göz önünde bulundurularak bir kümeleme analizi yapılacaktır.

Elektronik kart üretiminde çizelgeleme problemleri için yapılan çalışmalarda son yıllarda aynı anda hazırlık sürelerini azaltma amaçlı kümeleme analizi yapan ve önerilerin süreç akışı için uygunluğu test etmek amacıyla matematiksel model sonuçlarını simülasyon ile analiz eden çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır.

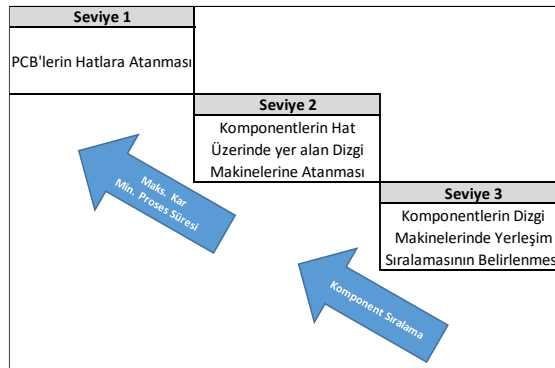


2. LİTERATÜR TARAMASI

Elektronik kart çizelgeleme problemleri için yapılan literatür taramasında yapılan çalışmaların oldukça farklı alanlara odaklandığı görülmüştür. İlgili konu hakkında son yıllarda yapılan çalışmalar aşağıdaki kategorilere ayrılmıştır:

- Elektronik Kart Üretimi Çizelgeleme Problemleri
 - SMT Hat Çizelgeleme Problemleri – Çok Hat
 - SMT Hat Çizelgeleme Problemleri – 1 Hat
 - SMT Dizgi Makineleri Besleyici Ünite ve “Nozzle” Atama Problemleri
 - Simülasyon Tabanlı Optimizasyon Yöntemleri
 - Sezgisel Algoritma Önerileri
 - Genel Süreç Akışı için Çizelgeleme Önerileri
- Çizelgeleme Problemlerinde Sipariş Kümeleme Yaklaşımı

Mumtaz ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışma SMT otomatik dizgi hatlarında çok boyutlu planlama ve çizelgemeye yönelik bir çalışmayı içerisinde barındırmaktadır. Elektronik kart üretiminin birbirleriyle yüksek ilişkili hat atama, malzeme-makine ataması ve malzeme yerleştirme sıralaması olmak üzere 3 farklı planlama ve çizelgeme seviyesi bulunmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: PCB problemleri için planlama hiyerarşisi (Mumtaz ve diğ, 2019).

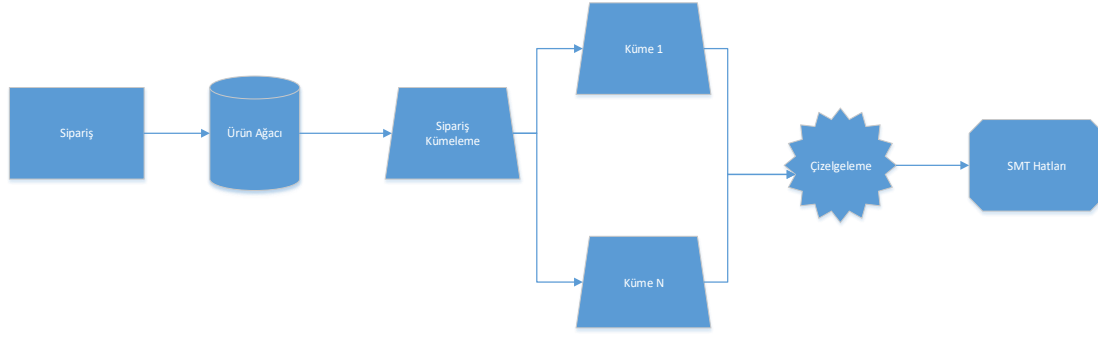
Literatürde yer alan çalışmalar daha önce bu seviyelerden en fazla 2'sini bir arada incelemiştir. Mumtaz ve diğ. (2019) tüm seviyeleri bir arada incelemekte ve problemin çözüm önerisinde seviyeler arası ilişkiler kurularak öncelikle Seviye 3'de yer alan

malzeme sıralaması, sonrasında Seviye 2’de yer alan malzemelerin makinelere atanması ve son olarak Seviye 1’de yer alan elektronik kartların ilgili hatlara atanması minimum operasyon süresi ve maksimum kar elde edecek karma tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Makale her seviye için farklı bir model önermiştir. Seviye 1 hat ataması için önerilen modelde her bir elektronik kart için atanan fayda değeri ve teslimatta gecikmeye bağlı olarak ceza değeri bulunmaktadır. Amaç tüm elektronik kartların atanması sonucunda maksimum fayda değerine ulaşılmasıdır. Seviye 2 malzeme-makine ataması için önerilen modelde hattın darboğaz makinesinin proses süresini minimize eden atamaları yapmak amaçlanmıştır. Model her bir atama opsiyonunu değerlendirerek minimumu seçmeye dayalı şekilde kurgulanmıştır. Gerekli atamaların yapılması için gerekli ve yeterli besleme ünitesi sayısının sağlanması gerekmektedir. Her besleme ünitesi için 1 malzeme yerleşimi yapılmaktadır. Seviye 3 malzeme yerleştirme sıralaması için önerilen model sıralamaya bağlı operasyon süresinin minimize edilmesini amaçlamaktadır. Proses süresi her bir sıralama adımında gidilecek mesafe hesaplanarak yapılmaktadır. Tüm sıralama opsiyonları arasında en uygun olanın yani en kısa süreye sahip olanın seçilmesi istenmektedir. Modelde yüksek sapmaların olmaması için düzgünlük indeksleri kullanılmaktadır. Problemin zorluğu nedeniyle hibrit örümcek maymun optimizasyonu (HÖMO) algoritması çözümde kullanılmak üzere önerilmiştir. Önerilen algoritma performansı daha önce literatürde kullanılmış olan yapay arı kolonisi, genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu ve benzetimli tavlama algoritmaları ile karşılaştırılmaktadır. İlgili kıyaslamalar Çin’de yer alan bir PCB üreticisi firmada 2 hat, 2 PCB modeli ve 4 makine için uygulanarak yapılmaktadır. Deney sonuçları HÖMO için diğer 4 algoritma ile karşılaştırıldığında optimuma yakın sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir.

Noroozi ve Mokhtari (2015) tarafından yapılan çalışma elektronik kart üretim hatlarının farklı optimizasyon yöntemleri ile çizelgelenmesini içerisinde barındırmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalara farklı bir bakış açısı kazandırılarak elektronik kart üretiminde genel süreç akışı incelenmektedir. Birbirinden farklı kapasitelere sahip heterojen proseslere sahip olan elektronik kart üretimi için karma tam sayılı programlama modeli önerilmiş, hibrit genetik algoritma önerisinde bulunulmuş ve Monte Carlo simülasyonu ile belirsiz proses zamanları altında modelin çalışma performansı test edilmiştir. Model yayılma süresinin minimize edilmesini

amaçlamaktadır. Elektronik kart üretim süreç akışı sırasıyla SMT dizgi hatları, THT dizgi hatları, MD hatları ve test istasyonlarından oluşmaktadır. Bu akışta elektronik kartların çeşitliliği dolayısıyla farklı testlere tabii tutulması gerekebilir. Bunlar nem, kısa devre testleri, fonksiyon testleri ve yaşlandırma testleridir. Bu nedenle çalışma da elektronik kartların tüm ara testleri içinde barındıran gruplama yapılmış test istasyonlarına girişi kurgulanmıştır. Geleneksel problemlerde aynı anda sadece bir işin prosese girmesi söz konusuysa, ilgili makalede yer alan çalışma proses kapasitesini aşmamak kaydıyla birden fazla işi aynı anda işleyebilmektedir. Her iş bir gruba atanmalı, her grubun atamasının yapıldığı proses kapasitesi aşılmamalı gibi kısıtlar ile model çalışmaktadır. Elektronik kart sayısı ve gruplama sayısına bağlı olarak problemin çözümü çok kompleks bir hale gelebilmektedir. Bu nedenle problemin çözümünde bulanık mantık, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, benzetim tavlama ve Monte-Carlo simülasyonu gibi farklı optimizasyon yöntemleri önerilmektedir. Problem çözümünde çeşitli komşu araması tabanlı hibrit genetik algoritma, bölgesel arama yapan hibrit genetik algoritma, benzetim tavlama ve genetik algoritma kullanılarak yapılan çözümler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak geliştirilmiş olan hibrit genetik algoritma yöntemleri diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlara sahip olmuştur.

Kuo ve Lin (2010) tarafından yapılan çalışmada SMT hatlarında hazırlık sürelerinin azaltılmasına odaklanılmıştır. Hem makinelerin kapasite kullanım oranlarını artırmak hem de hazırlık sürelerinin azalmasını sağlamak amacıyla siparişlerin kümelenmesi temel yaklaşımıyla hibrit genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonuna dayalı bir algoritma önerilmektedir. Önerilen algoritma bir bilgisayar üreticisi firma verileri kullanılarak uygulanmıştır. Tüm siparişler kümeleme yapılırken ürün ağaçlarında bulunan malzemeler değerlendirilmiştir. Siparişlerin malzeme benzerlik oranı ile aynı kümede yer alma oranı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Yapılan kümeleme analizinde ilk aşamada temel bileşene analizi yapılmış ve sonrasında ART-2 sinir ağları kullanılarak küme sayısı belirlenmiştir. Oluşturulan popülasyonun çeşitlilik kazanması için mutasyon ve çaprazlama uygulanarak genetik algoritma kullanılmıştır. Oluşan değerlere parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının uygulanması ile popülasyon içindeki değerlerin iyileşmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Son durumda ortaya çıkan popülasyon k-Means Kümeleme yöntemi kullanılarak kümeler oluşturulmuştur (Şekil 2.2).

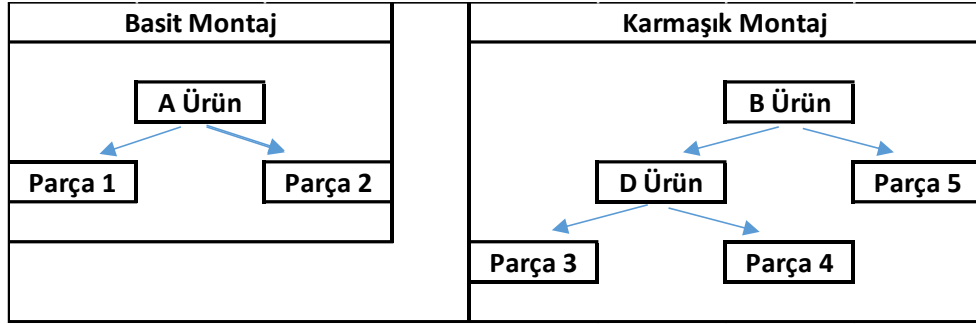


Şekil 2.2: Sipariş kümeleme süreci (Kuo ve Lin, 2010).

Kong ve diğ. (2020) tarafından sürdürülebilir üretim çizelgeleme için yapılan çalışmada paralel makinelerin enerji tüketimi ve enerji maliyetleri üzerinde durulmuştur. Çalışmada sürdürülebilir üretim için bir model önerilmiş, paralel makinelerin proses süresi, kullandıkları güç ve üretim maliyet kriterlerini karar değişkeni ve parametre olarak kullanmış, sonuç olarak çok amaçlı bir amaç fonksiyonu ile çözüm için geliştirilen genetik algoritma önerilmiştir. Çalışmada önerilen model çok boyutlu paralel makine kullanımını içerisinde barındırması dolayısıyla hibrit akış tipi çizelgeleme problem tiplerinde bir örnek olmaktadır. Çok amaçlı fonksiyon yayılma süresi, enerji ve maliyet kriterlerini minimize edecek şekilde modellenmiştir. Paralel makinelerin üretim süresi, kullanılan güç ve üretim maliyeti olmak üzere belirli karakteristikleri bulunmaktadır ve bunlar normalizasyon yöntemi ile değerlendirilerek matrise yani sayısal ifadelerle dönüştürülmektedir. Bu matrislerin öklid mesafeleri eşleşme mesafesi olarak adlandırılmıştır. Eşleşme mesafesi ne kadar azalırsa sürdürülebilir üretim için o kadar uygun bir ortam oluşmaktadır. Eşleşme mesafesine bağlı olarak bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Hibrit akış tipi çizelgeleme prosesinde tüm makine ve işlerin aynı anda işe başlaması, tüm işlerin aynı akışı izlemesi, farklı işlerin operasyonları arasında öncelik sıralamasının olmaması ve makinelerin tüm süreç bitene kadar kapatılamaması gibi varsayımları bulunmaktadır. Sürdürülebilir hibrit akış tipi çizelgeleme için probleme üretim ve bekleme olmak üzere iki farklı açıdan yaklaşılmaktadır. Geliştirilen algoritma hibrit akış tipine sahip problemlerde çözülebilir şekilde tasarlanmıştır.

Komaki ve diğ. (2019) tarafından hazırlanan çalışma akış tipi çizelgeleme problemlerinin bir literatür taraması ve yeni trendlerin incelenmesine yöneliktir. Montaj akış tipi çizelgeleme problemlerinin kısa süreli ve çok çeşitli ürünler için uygun olduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışmalarda montaj seviyeleri basit ve

karmaşık olarak ikiye ayrılmaktadır; basit montajda ilgili ürünün üretimi için gerekli parçaların daha önce montaj uygulanmamış parçalar olması (2 aşama), karmaşık montajda ise ilgili ürünün kendisini oluşturan parçaların farklı montaj süreçlerinden geçmiş olmasından (3’den fazla aşama) söz edilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Akış tipi çizelgelemede montaj tipleri (Komaki ve diğ, 2019).

Problemler için önerilen modellerin önemli bir çoğunluğu tek amaçlı fonksiyonlardan oluşmaktadır. Burada amaçlar ağırlıklı olarak yayılma süresi, toplam tamamlanması zamanı, maksimum geciken ürün minimize etmektir. Bunlara ek olarak elleçleme maliyetinin minimize edilmesi ve teslim süresinin minimize edilmesi gibi çalışmalarda literatürde yer almaktadır. Çok amaçlı fonksiyonlara sahip modeller yayılma süresi, tamamlanma zamanı, hazırlık süreleri, operasyon süreleri, geciken iş sayısı gibi amaçların kombinasyonlarından oluşmaktadır. Literatürde yer alan çalışmaların 2013 yılından itibaren belirgin bir artışa sahip olduğuna vurgu yapılmıştır. İlgili makalenin yayın tarihine kadar montaj akış tipi yayınlarının 100’ün üzerinde olduğundan ve yayınların %76’sının tek amaçlı fonksiyona sahip olduğundan, %60’ının amaç fonksiyonun yayılma süresinin minimize edilmesi olduğundan bahsedilmektedir. Ayrıca çözüm için en çok başvurulan yöntemlerin sezgisel yöntemler ve hibrit yöntemler olduğundan bahsedilmektedir. En çok kullanılan sezgisel algoritmanın genetik algoritmalar ve benzetim tavlama olduğu söylenmiştir. Komaki ve diğ. (2019) yaptıkları literatür taramasının ardından gelecekte yapılacak çalışmalarda yenilikçi olması açısından belirsizlik, bulanık proses süreleri, arıza oranları, makine öğrenmesi, esnek makineler gibi konuların işlenebileceğinden bahsetmektedir. Faydalı çalışmaların e-ticaret, uluslararası tedarik zinciri ve akıllı fabrikalarda uygulama alanı olarak genişletilebileceği düşünülmektedir.

He ve diğ. (2017) tarafından SMT dizgi makinesi üzerine bir çalışma yapılarak malzemelerin makinelerle atanması ve malzemelerin makinelerde yerleşim

sıralamasının oluşturulması için bir model önerisinde bulunulmuştur. Problemi alt başlıklara ayırarak bir deterministik hiyerarşik model ile çözüm aranmıştır. Alt problemler;

- i. “Nozzle” ataması,
- ii. Malzeme ataması,
- iii. Besleyici ünitesi hazırlık ve yerleşim sırasının belirlenmesi,
- iv. Makine kafalarının malzemeleri tutup yerleştirmeleri için çizelgelerinin oluşturulması,

He ve diğ. (2017) tarafından yapılan bir diğer çalışmada yüksek hızlı SMT dizgi hatlarında malzemelerin makinelere atanması ve makinelerde yerleşim sırasının belirlenmesi için operasyon süresini minimize etmek amacıyla bir model önerilmiştir. Entegre optimizasyon probleminin oldukça karmaşık ve çözümünün mümkün olmaması dolayısıyla deterministik bir hibrit algoritma önerisinde bulunulmuştur. Önerilen modelde öncelikle “nozzle” sayısı belirlenmekte ve sonrasında sırası belirlenmektedir. Aynı tip “nozzle” ların yan yana olması istenmektedir. Sıralama için tüm “nozzle” sıra permütasyonları denenerek optimal çözüm bulunur. Tipik bir SMT hattında 7’den daha az “nozzle” bulunması dolayısıyla çözüm süresi kabul edilebilir durumdadır. Modelin bir sonraki aşamasında malzemelerin makine içinde yer alan besleyici ünitelere atanması gerçekleştirilmektedir. Bu atama yapılırken minimum besleyici ünite kullanımı amaçlanmaktadır. Modelin son aşamasında ise malzemelerin hangi sırada dizileceği belirlenmektedir. Önerilen model 6 PCB numunesi üzerinde uygulanmış ve endüstriyel çözümler ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Khader ve Yoon (2021) tarafından yapılan çalışmada SMT otomatik dizgi operasyonları arasında yer alan krem lehim işleminin toplam lehim hatalarının %60’ını temsil etmesi dolayısıyla uygulama yapılacak krem lehim oranının kritik bir parametre olduğu belirtilmektedir. Bu araştırma, lehim miktarını kontrol ederek ve PCB’lerin ilk geçiş verimliliklerini artırarak krem lehim operasyon parametrelerini optimize etmeyi amaçlamaktadır.

Franke ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada elektronik kartların elektronik sektöründeki yeri ve öneminden bahsedilerek gelecekteki teknolojilerde elektronik

kartların kalite, performans ve güvenilirlik parametrelerinin belirleyici olduğundan bahsedilmektedir.

Yılmaz ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada benzer elektronik kartların benzer gruplara atanarak bir planlama yapılması durumunda SMT hatlarında hazırlık sürelerinin azalacağından bahsedilmektedir. Çalışmada hazırlık süreleri ile operasyon süresini göz önünde bulunduran toplam yayılma süresini minimize etme amaçlı bir model önerisinde bulunulmuştur. Ayrıca hazırlık sürelerinin azaltılması amacıyla elektronik kartlara hiyerarşik bir kümeleme algoritması önerilmiştir. Öneriler ise bir SMT dizgi hattı için uygulanmıştır. Çalışmada elektronik kartların gruplanmasının hazırlık süresinde ciddi bir avantaj sağladığı ve standart bir üretim planının toplam yayılma süresini azalttığından bahsedilmektedir.

Hsu (2022) tarafından yapılan çalışmada SMT dizgi makinesi için malzeme sıralama problemi, besleyici ünite atama problemi ve “nozzle” atama problemi için genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonunu kapsayan meta sezgisel ve dinamik programlanabilir bir model önerisinde bulunulmuştur.

Klemmt ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmada çizelgeleme problemleri için optimizasyon çözümünün giderek zorlaşması ve önem kazanması dolayısıyla simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemleri ile matematiksel modellemeyi karşılaştırarak hibrit bir model önerilmiştir. Modelde temelde ilk olarak var olan üretim sistemi simüle edilmekte, sonrasında darboğaz istasyon belirlenmekte, darboğaz istasyon için çizelgeleme optimizasyonu yapılmakta ve tekrar döngü simülasyon modeli ile devam edilmektedir. Simülasyon modelinde sezgisel algoritmalarından genetik algoritma kullanılmaktadır. Bu model önerisinin temel nedeni ise gerçek hayatta var olan problemlerde çok fazla parametre ve karar değişkeni olması dolayısıyla çözüm olanaksız kalmaktadır. Önerilen metod sayesinde daha az parametre ve daha az karar değişkeni için optimizasyon yöntemi çalıştırılabilir duruma getirilmektedir. Optimizasyon sonuçları ise tekrar simülasyona girecek bir döngü oluşturularak her iki aşamanın sonuçları da birbirini besleyebilir hale getirilmiştir.

Emet ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada SMT dizgi hattında yer alan makineler için bir dengeleme yaparak toplam üretim sayısını enbüyüklemek amaçlanmıştır. Çalışmada önerilen model tek hat çok makine ve tek ürün için kullanılabilir durumdadır. Yüksek çeşitlilik ve düşük üretim adetlerine sahip

elektronik kartların hatlara planlanması üretim maliyetleri açısından çok önemlidir. Üretim planlama mühendisinin kartları hatlara atama operasyonunun doğru yapabilmesi için de hangi kartın hangi hatta kaç adet üretilebilir durumda olduğunu bilmesi gerekmektedir. Önerilen deterministik matematiksel model ile öncelikle tek hatta malzemelerin makine atamaları gerçekleştirilmektedir. Bir sonraki aşamada besleyici ünitelerinin malzeme atamaları yapılmaktadır.

Ayob ve Kendall (2008) tarafından yapılan çalışmada bir SMT dizgi hattının darboğaz istasyonunun dizgi makineleri olması dolayısıyla orada yapılacak iyileşmenin tüm hatta yapılacağı belirtilmektedir. Bu nedenle dizgi makinelerinde optimizasyon önerilerinde bulunulmuştur. Dizgi makinesinde bir iyileşme yapmak için de besleyici ünitelerinde ve malzeme yerleşme sıralamasında bir çalışma yapılması gerekmektedir. Yüzlerce farklı tipte ve şekilde malzeme olması dolayısıyla çalışmada problemin zorluğundan bahsedilmektedir.

Kim ve Kim (2020) tarafından yapılan çalışmada birbirinden bağımsız paralel makineler için gerçek hayatta belirlenemeyen arıza süreleri ve operasyon süreleri göz önünde bulundurularak beklenen tamamlanma süresini enküçüklemeyi amaçlayan bir çizelgeleme algoritması önerilmiştir. Çalışmada bağımsız paralel makinelerin bir arıza ile karşılaşılması durumunda yapılacak işi tanımlayan kayda değer bir kural olmadığı belirtilmektedir. Bu nedenle de makine arızalarını da göz önünde bulunduracak şekilde bir iş bölümü yapacak bir çözüm amaçlanmıştır.

Tao ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışmada hibrit akış tipi çizelgeleme problemlerinde yayılma süresini enküçükleme amacıyla bir yapay arı kolonisi algoritması kullanmıştır. Hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin sıralama problemi ve atama probleminin bir kombinasyonu olduğundan bahsedilerek ilgili problemlerin genel akış tipi çizelgeleme problemlerine oranla daha zorlu bir problem olduğundan bahsedilmektedir. Bir elektronik kart üretim süreci için yapılan matematiksel modelleme hem SMT hem de sonrasındaki test ayar istasyonları göz önünde bulundurulmuştur.

Rolf ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmada hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin çözümü için genetik algoritma kullanarak dağıtım ve sevk kuralları önceden belirlenmekte ve elektronik kart üretiminde bir uygulama yapılmaktadır.

Qin ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada elektronik kart üretiminde kaynak kullanımını artışı, tedarik sürelerinin azaltılması ve üretim verimliliğinin artışı amaçlanmıştır. Uygulama yapılacak işletmenin sahip olduğu özellikler hibrit akış tipi çizelgelemeye uygundur. Problemin zorluğu nedeniyle sezgisel algoritmalarda karınca kolonisi algoritması çözüm için kullanılmıştır. Çalışma içerisinde genel süreç akışı dikkate alınmıştır.

Lin ve Huang (2017) tarafından yapılan çalışmada SMT dizgi makinelerinde maksimum üretim, minimum toplam operasyon süresi ve minimum dizgi makine kafa hareketi hedeflenmiştir. Bu nedenle çalışma farklı problem aşamalarına ayrılmakta ve “nozzle” atama problemi ve malzeme yerleşim sıralama problemini içerisinde barındırmaktadır. İlgili problemlerin çözümü için düzenlenmiş yapay arı kolonisi algoritması kullanılmaktadır.

Ashayeri ve Selen (2007) tarafından yapılan çalışmada elektronik kart üretim sırasının oluşması ve malzeme-makine atamalarının yapılması için bir öneride bulunmaktadır. Önerilen modelde minimum operasyon süresi ve minimum hazırlık sayısına odaklanılmıştır.

Neammanee ve Reodecha (2009) tarafından yapılan çalışmada kısıtlı besleyici ünite kapasitesine sahip tek bir makinede hazırlık sürelerini dikkate alan elektronik kart çizelgeleme problemini çözmek için memetik bir algoritma geliştirilmiştir. Amaç toplam gecikmeyi en küçükmektir. Çalışma içerisinde hazırlık süresini minimize edecek şekilde bir iş sıralaması yapılması hedeflenmektedir.

Hoa ve Ji (2009) tarafından yapılan çalışmada besleyici ünite sayısının belirlenmesi, malzemelerin besleyici ünitelerine atanması ve malzeme dizgi sırasının belirlenmesi için matematiksel model önerisinde bulunulmuştur. Dizgi işlemi sırasında makine kafasının en kısa mesafeyi tamamlaması amaçlanmaktadır. Problemin çözümü için CPLEX ve hibrit genetik algoritma kullanılmıştır.

Lin ve Lin (2021) tarafından yapılan çalışmada SMT hatlarında yapılan elektronik kart üretiminde besleyici üniteleri atama problemi, “nozzle” atama problemi ve dizgi işlemi sıralama problemine ek olarak hibrit bir algoritma önerisi ile malzeme yükseklikleri, dizgi operasyonu kısıtları ve eş zamanlı başlama kısıtları ele alınmıştır.

Aurich ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada elektronik kart üretiminde hibrit akış tipi çizelgeleme problemine uygun bir yapıda toplam gecikme süresini ve

tamamlanma süresini enküçüklemeyi amaçlayan bir model önerilmiştir. Çalışmada yazarlar tarafından önerilen simülasyon tabanlı entegre optimizasyon algoritması benzetilmiş tavlama ve tabu arama algoritmaları ile karşılaştırılmaktadır. Önerilen algoritma karşılaştırılan her iki algoritmadan da daha iyi sonuç vermiştir. Uygulama 4 SMT dizgi hattı ve 5 otomatik optik kontrol hattından oluşan bir üretim sistemi için yapılmıştır.

Najera ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada hazırlık sürelerinin enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Bu sayede üretim sistemine verimlilik artışı ve esneklik artışı gibi kazançlar sağlanması hedeflenmiştir. Önerilen modelde genetik algoritma kullanılmıştır. Hazırlık sürelerinde bir azalma olması için çalışmada elektronik kartlarında gruplanmasını önerilmiştir.

Rong ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada tek SMT hattı için besleyici ünite atama ve “nozzle” atama optimizasyonu için bir model önerisinde bulunulmuştur. Kuo ve diğ. (2019) tarafından SMT dizgi işlemi sonrası otomatik optik kontrol ile alakalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Zhu ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada genetik algoritmayı kullanarak SMT dizgi makinelerinde malzeme sıralama optimizasyonu için bir model önerisinde bulunulmuştur. Castellani ve diğ. (2019) tarafından farklı bir arı algoritması önerisi ile yapılan çalışmada SMT dizgi makinelerindeki kafa hareketinin enküçüklenmesi amaçlanmıştır.

Kapsamlı literatür matrisi Şekil 2.4’de gösterilmiştir.

Makale	SMT Hat Çizelgeleme Problemleri – Çok Hat	SMT Hat Çizelgeleme Problemleri – 1 Hat	SMT Dizgi Makineleri Besleyici Ünite ve "Nozzle" Atama Problemleri	Simülasyon Tabanlı Optimizasyon Yöntemleri	Sezgisel Algoritmalar	Genel Süreç Akışı için Çizelgeleme Önerileri	Çizelgeleme Problemlerinde Kümeleme Yaklaşımı
Mumtaz ve diğ. (2019)	✓	✓	✓		✓		
Noroozi ve Mokhtari (2015)	✓			✓	✓	✓	
Kuo ve Lin (2010)	✓				✓		✓
Kong ve diğ. (2020)					✓		
Komaki ve diğ. (2019)							
He ve diğ. (2017)		✓	✓				
He ve diğ. (2017)		✓	✓				
Khader ve Yoon (2021)	✓						
Franke ve diğ. (2021)	✓						
Yılmaz ve diğ. (2007)		✓					✓
Hsu (2022)		✓	✓		✓		
Klemmt ve diğ. (2009)	✓			✓	✓		
Emet ve diğ. (2010)		✓					
Ayob ve Kendall (2008)		✓	✓				
Kim ve Kim (2020)	✓			✓			
Tao ve diğ. (2022)	✓				✓	✓	
Rolf ve diğ. (2020)	✓				✓		
Qin ve diğ. (2019)	✓				✓	✓	
Lin ve Huang (2017)		✓	✓		✓		
Ashayeri ve Selen (2007)		✓	✓				

Şekil 2.4: Literatür matrisi.

Makale	SMT Hat Çizelgeleme Problemleri – Çok Hat	SMT Hat Çizelgeleme Problemleri – 1 Hat	SMT Dizgi Makineleri Besleyici Ünite ve "Nozzle" Atama Problemleri	Simülasyon Tabanlı Optimizasyon Yöntemleri	Sezgisel Algoritmalar	Genel Süreç Akışı için Çizelgeleme Önerileri	Çizelgeleme Problemlerinde Kümeleme Yaklaşımı
Neammanee ve Reodecha (2009)		✓			✓		
Hoa ve Ji (2009)		✓	✓		✓		
Lin ve Lin (2021)		✓	✓		✓		
Aurich ve diğ. (2016)	✓			✓	✓		
Najera ve diğ. (2015)		✓	✓		✓		✓
Tsai (2014)	✓				✓		
Rong ve diğ. (2011)		✓	✓				
Kuo ve diğ. (2019)		✓					
Zhu ve diğ. (2018)		✓	✓		✓		
Castellani ve diğ. (2019)		✓	✓		✓		
Toplam:30	12	17	13	4	18	3	3
Bu çalışma	✓	✓		✓	▪	✓	✓

Şekil 2.4 (devam): Literatür Matrisi.

2.1 Literatür Özeti

2.1.1 SMT hat çizelgeleme problemleri için yapılan çalışmalar

Mumtaz ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada çok boyutlu planlama ve çizelgeleme ile birlikte besleyici ünite ve “nozzle” atama problemleri incelenmiştir. Kuo ve Lin (2010) tarafından yapılan çalışmada SMT hatlarında hazırlık sürelerinin azaltılmasına odaklanılmıştır. Khader ve Yoon (2021) tarafından otomatik dizgi hattında yer alan krem lehim hatalarının azalmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Noroozi ve Mokhtari (2015) tarafından yapılan çalışmada birbirinden farklı kapasitelere sahip heterojen prosesleri olan elektronik kart üretimi için karma tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Klemmt ve diğ. (2009) tarafından çizelgeleme problemlerini optimize etmek için simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemleri ile matematiksel modelleme karşılaştırılarak hibrit bir model önerilmiştir. Kim ve Kim (2020) tarafından yapılan çalışmada bağımsız paralel makinelerin bir arıza ile karşılaşılması durumunda yapılacak işi tanımlayan bir çözüm önerisinde bulunulmuştur. Rolf ve diğ. (2020) tarafından hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin çözümü için yapılan uygulamalı çalışmada genetik algoritma kullanılarak dağıtım ve sevk kuralları önceden belirlenmiştir. Qin ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada elektronik kart üretiminde kaynak kullanımının artışı, tedarik sürelerinin azaltılması ve üretim verimliliğinin artışı amaçlanmıştır. Aurich ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada ise elektronik kart üretiminde hibrit akış tipi çizelgeleme problemlerinde toplam gecikme süresi ve tamamlanma süresi enküçüklemeyi amaçlayan bir model önerilmiştir.

Bu çalışmada SMT hat çizelgeleme problemleri için birden fazla hat göz önünde bulundurulmuştur. Önerilen bütünleşik yaklaşım ile hazırlık sürelerinde azalma sağlanacaktır. Üretimde kaynak kullanımının artışı sağlanarak üretim verimliliğinde artış amaçlanmıştır. Matematiksel modelin amaç fonksiyonu maksimum üretim adetine ulaşmaktadır.

2.1.2 Simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemleri

Noroozi ve Mokhtari (2015) tarafından yapılan çalışmada birbirinden farklı kapasitelere sahip heterojen proseslere sahip olan elektronik kart üretimi için karma tam sayılı programlama modeli önerilmiş ve Monte Carlo simülasyonu ile belirsiz

proses zamanları altında modelin çalışma performansı test edilmiştir. Klemmt ve diğ. (2009) simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemleri ile matematiksel modellemeyi karşılaştırarak çizelgeleme problemlerini optimize etmek için hibrit bir model önermiştir. Modelde temelde ilk olarak var olan üretim sistemi simüle edilmekte, sonrasında darboğaz istasyon belirlenmekte, darboğaz istasyon için çizelgeleme optimizasyonu yapılmakta ve tekrar döngü simülasyon modeli ile devam etmektedir. Aurich ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada simülasyon tabanlı entegre optimizasyon algoritması önermiştir.

Bu çalışmada simülasyon analizi son adımda önerilen alternatiflerin performans ve uygunluk testleri için kullanılacaktır. Simülasyon sayesinde darboğaz istasyonlar ve en uygun alternatifler belirlenmektedir.

2.1.3 Genel süreç akışı için çizelgeleme önerileri

Tao ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada bir elektronik kart üretim süreci için yapılan matematiksel modelleme ile hem SMT hem de sonrasındaki test ayar istasyonlarını da göz önünde bulundurmıştır. Noroozi ve Mokhtari (2015) tarafından yapılan çalışma süreç akışını incelemiştir. Geleneksel problemlerde aynı anda sadece bir işin prosese girmesi söz konusuysa, ilgili makalede yer alan çalışma proses kapasitesini aşmamak kaydıyla birden fazla işi aynı anda işleyebilmektedir. Qin ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada elektronik kart üretiminde kaynak kullanımını artırmayı, tedarik sürelerini azaltmayı ve üretim verimliliğini artırmayı amaçlamışlardır. Uygulama yapılacak işletmenin sahip olduğu özellikler hibrit akış tipi çizelgelemeye uygundur. Problemin zorluğu nedeniyle sezgisel algoritmalarda karınca kolonisi algoritması çözüm için kullanılmıştır. Çalışma içerisinde genel süreç akışı dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada hem SMT otomatik dizgi hatları hem de test ayar istasyonlarını aynı anda göz önünde bulunduracak şekilde bir bütünleşik yaklaşım önerisinde bulunulmuştur. Böylece üretimin son istasyonu olan test ayar istasyonlarından talebe uygun olacak en verimli üretim planının oluşması sağlanacaktır.

2.1.4 Çizelgeleme problemlerinde kümeleme yaklaşımı

Kuo ve Lin (2010) elektronik kart üretim sektöründe müşteri taleplerine karşılık verebilmek için “yüksek çeşit – düşük üretim” özelliğine sahip üretim planları yapılmasına ihtiyaç duyulduğunu belirterek SMT hatlarında hazırlık sürelerinin azaltılmasına odaklanarak bir algoritma önerisinde bulunmuştur. Hazırlık sürelerinin

azalmasını sağlamak amacıyla siparişlerin kümelenmesi yöntemini kullanmıştır. Tüm siparişler kümeleme yapılırken ürün ağaçlarında bulunan malzemeler değerlendirilmiştir. Siparişlerin malzeme benzerlik oranı ile aynı kümede yer alma oranı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Yapılan kümeleme analizinde ilk aşamada temel bileşene analizi yapılmış ve son durumda k-Means Kümeleme yöntemi kullanılarak kümeler oluşturulmuştur. Yilmaz ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada hazırlık sürelerinin azaltılması amacıyla elektronik kartlara hiyerarşik bir kümeleme algoritması önerilmiş ve elektronik kartların gruplanmasının hazırlık süresinde ciddi bir avantaj sağladığı ve standart bir üretim planının toplam yayılma süresini azalttığı tespit edilmiştir. Najera ve diğ. (2015) hazırlık sürelerinde bir azalma olması için çalışma elektronik kartlarında gruplanmasını önermiştir.

Bu çalışmada hazırlık sürelerinin azalmasına yönelik olarak elektronik kartın kümelenmesinde ürün ağacının yanı sıra malzemelerin (komponent) sayısı, talep miktarı, operasyon süresi ve süreç akış haritası dikkate alınmıştır. İlgili özellikler dikkate alınarak kümeleme yapmak için hem ikili kategorik (0-1) hem de sürekli veriyi işleyebilen iki adımlı kümeleme analizi kullanılmıştır.



3. METODOLOJİ

3.1 Problem Tanımı

Bu çalışmada ele alınacak problem, elektronik kart üretim hatlarında çok zamanlı sıralama ve çizelgeme problemlerini konu almaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak elektronik kart üretimi çizelgeme probleminin çözümüne genel süreç akışı göz önünde bulundurularak bir öneri sunulması hedeflenmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalara ilk olarak tüm üretim istasyonlarını içerisinde barındıracak şekilde genel süreç akışı için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Oluşturulan modelin çözümünde IBM ILOG CPLEX Optimization Studio kullanılmıştır. Fakat model çalıştırılmış olsa da kabul edilebilir bir zamanda çözüme kavuşmamıştır. Bu nedenle genel süreç akışını göz önünde bulunduracak şekilde alternatif metotlar üzerinde durularak değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan literatür taramasında Kuo ve Lin (2010), Yılmaz ve diğ. (2007), Najera ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmalarda elektronik kart otomatik dizgi hatları çizelgemesi için sipariş kümeleme kullanıldığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde incelendiğinde elektronik kart çizelgeme problemlerinde kümeleme metotlarının kullanılmasının birtakım avantajlar doğurduğu gözlenmiştir. Elektronik kart üretiminde, besleme ünitelerinde değişiklik sayısını en aza indirmek için kartların gruplandırılması, toplam operasyon süresinin en aza indirilmesi ile doğrudan ilişkilidir (Najera ve diğ, 2014). Elektronik kartların gruplanmasının doğurduğu avantajlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Setup 1	PCB 1	Setup 2	PCB 2	Setup 3	PCB 3		Tek Setup
Setup 1-2-3		PCB 1	PCB 2	PCB 3			Grup Setup

Şekil 3.1: Elektronik kartların gruplama avantajı (Yılmaz ve diğ, 2007).

Fakat yapılan çalışmalar genellikle sadece otomatik dizgi hatlarının çizelgeleme problemi ile ilgilenmiştir. Bu çalışmada ise elektronik kart çizelgeme problemlerine yeni bir boyut kazandırılarak genel süreç akışı göz önünde bulundurulacak şekilde bir yöntem önerisinde bulunulacaktır.

Öncelikle elektronik kartlar için kümeleme yapılacak, sonrasında ise ortaya çıkan kümeleme verileri çizelgeme optimizasyonu için oluşturulan matematiksel model içine yerleştirilecek ve çıkan sonuçlar tüm alternatifler ile birlikte mevcut durum ile karşılaştırılacaktır. Son aşamada ise otomatik dizgi hatları için yapılan çizelgeleme optimizasyonu sonuçları oluşturulan simülasyon modeline girdi olarak verilecek ve son istasyondan çıkan üretim sayısı analiz edilerek tüm kümeleme yöntemleri birbiriyle karşılaştırılarak önerilerde bulunulacaktır. Buradaki temel amaç, toplam üretim sayısını enbüyükleyecek olan üretim sırasını oluşturmaktır.

3.2 Problem Varsayımları

Uygulamalar esnasında yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır:

- Her elektronik kart farklı dizgi ve test süresine sahip olabilir.
- Dizgi ve test süreleri önceden bilinmektedir.
- Farklı bir elektronik kart üretimi için gerekli olan hazırlık süreleri önceden bilinmektedir.
- Üretim planı ve sırasına bağılı hazırlık süresi, hat üzerinde bir karttan farklı bir karta geçiş yapılırken gerekli olan makinenin hazırlık sresidir.
- Her kartın belli bir makine üzerindeki işlem süresi ve üretim aşaması bellidir ve sabittir.
- Her kart her otomatik dizgi hattında retiler.
- Her kart her otomatik dizgi hattında farklı proses sürelerine sahiptir.
- Her otomatik dizgi hattı birbirinden farklı özelliklere sahiptir.
- Her kart kendisi için daha önceden belirlenmiş özel test istasyonunda test edilebilir.
- Her kartın aylık talebi bilinmektedir.

- Her otomatik dizgi hattının kullanılabilirlik ve performans oranları % cinsinden takip edilmekte ve bilinmektedir.
- Kartlar süreç içerisinde farklı proses akış şemalarına sahip olabilir.

3.3 Metodoloji Algoritması

Elektronik kart üretiminde çizelgeleme problemlerine bir çözüm önerisi çalışması için geliştirilen metodoloji adımlarına ait akış Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

İlk olarak probleme dahil edilecek elektronik kartların belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü bir sonraki adımlarda yapılacak işlemler ilgili kartların özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

İkinci adımda, belirlenen kartların özellikleri ve benzerlikleri göz önünde bulundurularak kümeleme kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu özellikler değişkenlik göstermekle beraber kullanılan malzeme, süreç akış haritaları, talep ve operasyon süresi gibi karta özgü özellikler kümeleme kriterleri arasında yer alabilir.

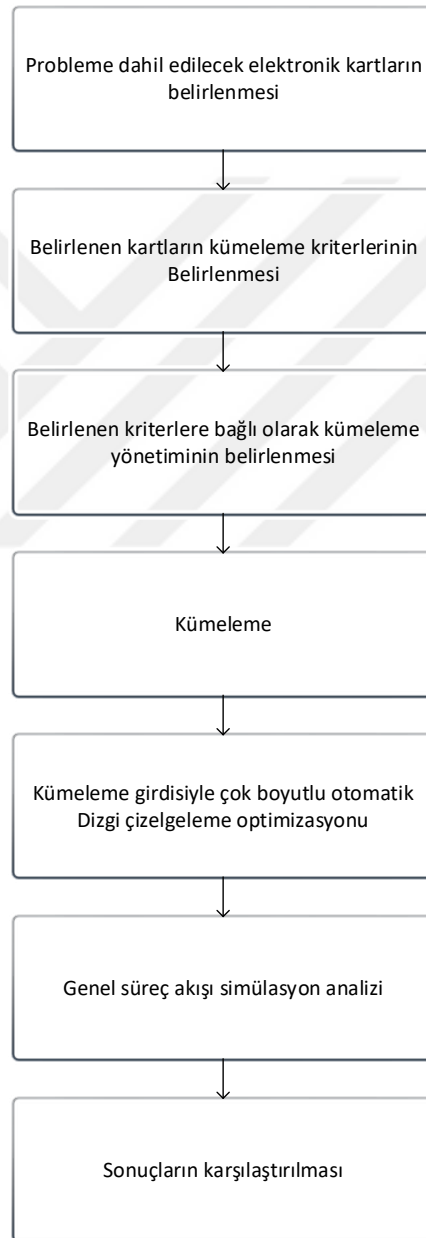
Bir sonraki adım ise belirlenen kümeleme kriterleri göz önünde bulundurularak kümeleme yönteminin belirlenmesi işlemidir. Bu adımda kriterlere bağlı olarak en uygun kümeleme yönteminin seçilmesi büyük önem arz etmektedir.

Belirlenen kümeleme yönteminin ardından kartların malzeme tipi ve malzeme sayısı, ortak malzeme kullanımı ve hazırlık sürelerine olan etkisi, talep miktarı, operasyon süresi ve süreç akış haritası gibi girdileri değerlendirilerek kümeler oluşturulmaktadır.

Oluşan kümelerin ardından otomatik dizgi hatlarında çizelgeleme optimizasyonu için matematiksel model oluşturulmaktadır. Oluşturulan matematiksel modelde ilk olarak zaman boyutuna karar verilmektedir. Çok boyutlu zaman, aylık üretimin vardiyalar bazında kırımını temsil ederek kart üretim geçişlerinde bir önceki zaman dilimi ile bir sonraki dilimini kontrol edip hazırlık sürelerini göz önünde bulundurarak karar vermeye olanak sağlamaktadır. Tek boyutlu zaman dilimi ise sadece belirli bir zaman için çalışmaya olanak sağlamakta, önceki ve sonraki zaman dilimleri arasında bağlantı kurmamaktadır. Zaman boyutunun belirlenmesinin ardından modelin amaç fonksiyonuna karar verilmesi gerekmektedir. Tek amaçlı veya çok amaçlı fonksiyon olarak çalıştırılabilecek modelde en büyük üretim adeti, en küçük duruş zamanı, en küçük maliyet, en büyük enerji tasarrufu gibi amaçlar değerlendirilebilir.

Bir sonraki aşamada bir önceki adımda oluşan sıralı plan simülasyon modeline girdi olarak verilmekte ve bu sayede çıktılar analiz edilmektedir. Simülasyon analizi aşamasında darboğaz istasyonlar, üretim miktarı, istasyonların kullanım oranları, istasyonlarda çalışan operatörlerin doluluk oranları gibi kriterler analiz edilebilir.

Son adımda ise simülasyon analizinin yapılmasıyla belirlenen analiz kriterlerinin farklı kümeler ve planlar için sonuçları incelenmekte ve verimlilik oranları karşılaştırılmaktadır.



Şekil 3.2: Geliştirilen metodoloji algoritması.

3.4 Kümeleme

Kümeleme analizi, bir veri setini birbirine benzeyen ve birbirinden farklı olan gözlem gruplarına (kümelere) bölmek için kullanılan bir tekniktir. Kümelemenin amacı, verilerdeki hemen fark edilmeyebilecek kalıpları ve ilişkileri belirlemek ve verileri anlamlı ve tutarlı kümeler halinde gruplandırmaktır (Kaufman ve Rosseeuw, 2005). Kümeleme analizi için iki temel yaklaşım kullanılmaktadır; hiyerarşik kümeleme ve bölümleyici kümeleme. Hiyerarşik kümeleme yaklaşımlarının temel çalışma prensibi yakınlık matrisinin oluşturulması ve buna bağlı olarak kümeleme işleminin yapılmasıdır. Küme sayısında ve küme merkezlerinin belirlenmesinde bir sınırlama yoktur. Bölümleyici kümeleme yaklaşımlarında ise oluşturulan kümelerin sayısı ve her kümenin merkezi optimize edilmeye çalışılmaktadır (Kuo ve Lin, 2010).

Kümeleme algoritmasının seçimi, verilerin özelliklerine ve analizin amaçlarına bağlıdır (Kaufman ve Rosseeuw, 2005). Sipariş kümeleme için uygun kümeleme yaklaşımının seçimi elektronik kartların sahip olduğu birçok özellik dikkate alınarak yapılmalıdır. Literatürde sıklıkla elektronik kartların ürün ağacını dikkate alarak k-means algoritması kullanılmaktadır (Kuo ve Lin, 2010; Hadavandi ve diğ, 2011; Huang ve diğ, 2015; Fung ve Yung, 2020).

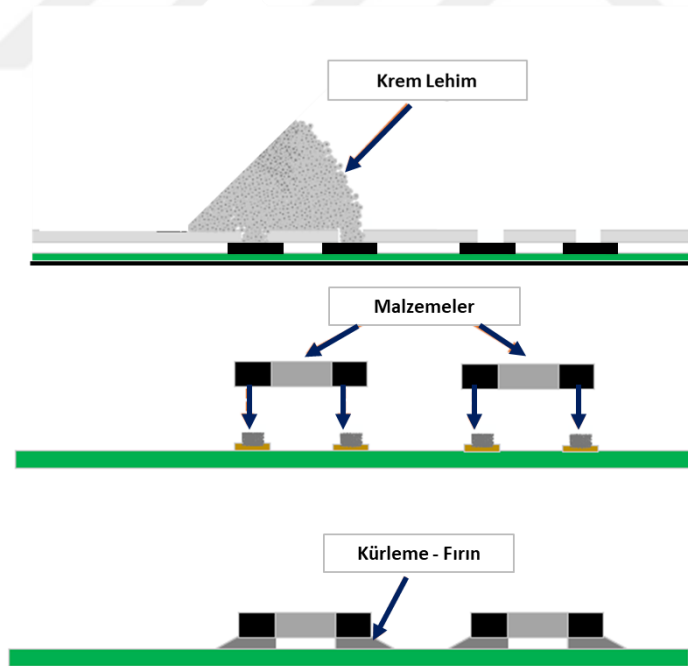
Elektronik kartın kümelenmesinde ürün ağacının yanı sıra malzemelerin (komponent) sayısı, talep miktarı, operasyon süresi ve süreç akış haritası da çizelgeleme yapılırken dikkate alınması uygun özelliklerdir. Bu özelliklerin tamamını dikkate alarak kartların benzerliklerine göre kümelenmesi hem hazırlık sürelerine hem de akıştaki darboğazların yönetilmesine olumlu katkı sağlayacaktır. Söz konusu özellikleri dikkate alarak kümeleme yapmak için hem ikili kategorik (0-1) hem de sürekli veriyi işleyebilen k-means ve iki adımlı kümeleme analizi kullanılmıştır.

K-means kümeleme, bir veri kümesini önceden tanımlanmış k sayıda kümeye bölmek için yaygın olarak kullanılan bir algoritmadır. Algoritma, veri kümesindeki her noktayı en yakın merkezin bulunduğu kümeye yinelemeli olarak yeniden atar ve merkezlerin konumunu kendilerine atanan noktalara göre ayarlar. K-means kümelemenin avantajı, uygulanmasının kolay olması ve büyük veri setlerindeki kümeleri verimli bir şekilde tanımlamak için kullanılabilmesidir. Bununla birlikte, küme sayısının önceden belirtilmesi gerekliliği ve kümelerin küresel olduğu varsayımı vardır, Öklid uzaklığı esaslı hesaplama yaptığı için sürekli değişkenler için daha anlamlı sonuç üretir

(Norusis, 2012). İki adımlı kümeleme, elde edilen kümelerin kalitesini artırmak amacıyla aynı veri kümesi üzerinde iki farklı kümeleme algoritmasının çalıştırılmasını içeren bir kümeleme yöntemidir. İlk adım tipik olarak ilk kümeleri tanımlamak için k-means veya hiyerarşik kümeleme gibi hızlı ve verimli bir algoritma çalıştırmayı içerir. İkinci adım, ilk kümeler üzerinde hesaplama açısından daha yoğun bir algoritma çalıştırarak onları iyileştirmeyi ve potansiyel olarak ek kümeleri tanımlamayı içerir. İki adımlı kümeleme, verilerin karmaşık ve tek bir algoritma kullanılarak kümelenmesinin zor olduğu durumlarda tercih edilir (Norusis, 2012). Uygun kümeleme algoritması seçiminde son kümelerin anlamlı olması ve verilerin altında yatan yapıyı yansıtması da önemlidir (Jain ve Dubes, 1988).

3.5 Çizelgeleme Optimizasyonu için Matematiksel Model

İlgili çalışmada önerilecek matematiksel model otomatik dizgi hatlarını dikkate alacak şekilde oluşturulmuştur. Şekil 3.3’de otomatik dizgi hatlarında SMT üretim sürecinin detayları gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Yüzey montaj teknolojisi operasyon adımları (Khader ve Yoon, 2021).

3.5.1.1 İndisler

i, j : elektronik kart sayısı, $i: 1, 2, \dots, C$

l : otomatik dizgi hat sayısı, $l: 1, 2, \dots, L$

n : aylık vardiya sayısı, $n: 1, 2, \dots, N$

3.5.1.2 Parametreler

M : çok büyük bir sayı,

PN : Ceza katsayısı,

D_i : i . kartın üretim talebi,

S_{ij} : i karttan j . karta geçerken hazırlık süresi,

P_{il} : i . kartın l . hatta performans katsayısı,

A_l : l . hat uygunluk katsayısı,

WT_{ln} : l . hattın n . günde çalışma süresi (saat),

$MaxS_{ln}$: l . hattın n . günde yapabileceği maksimum setup sayısı,

R_{il} : i . kartın l . hatta teorik saatlik üretim adeti,

3.5.1.3 Karar değişkenleri

TP_{iln} : i . kartın l . hatta n . gün sonunda toplam çalışma süresi (saat),

NP_i : i . kartın kapasite kısıtı dolayısıyla üretilmemesi adedi,

Z_{ijln} : i . karttan sonra j . kart l . hatta n . gün üretilirse 1, diğer durumlarda 0,

3.5.1.4 Amaç fonksiyonu

$$Enb \sum_i \sum_l \sum_n TP_{iln} \cdot R_{il} \cdot P_{il} \cdot A_l - \sum_i NP_i PN \quad (1)$$

Amaç fonksiyonu (1) üretimdeki çıktı miktarını enbüyüklemeye çalışır.

3.5.1.5 Kısıtlar

$$\sum_{l,n} TP_{iln} \cdot R_{il} \cdot P_{il} \cdot A_l + NP_i \cdot D_i \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_i TP_{iln} + \sum_i \sum_j S_{ij} \cdot Z_{ijln} \leq WT_{ln} \quad \forall l, n \quad (3)$$

$$TP_{iln} \leq M \cdot Z_{ijln} \quad \forall i, l, n \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_j Z_{ijln} \leq MaxS_{ln} \quad \forall l, n \quad (5)$$

$$Z_{ijln} \in \{0, 1\} \quad (6)$$

$$TP_{iln} \geq 0 \quad \forall i, l, n \quad (7)$$

Modelde yer alan kısıtlardan ilki talebin karşılanmasına yöneliktir (2). Üretim miktarı her ürün için en az talep kadar olmalıdır. (3) çalışma süresi ile sınırlandırılmış olan kapasite kısıtıdır. Her hat belirlenen çalışma süresini aşamaz. (4) Z karar değişkeni ile hangi kart, hangi gün, hangi hatta üretilecek sorusuna cevap arayan atama kısıtıdır. Toplam hazırlık süresini sınırlayan kısıt ise (5) ile oluşturulmuştur. (6) Z karar değişkeninin sadece 0 veya 1 değeri alabileceğini gösterir. (7), TP karar değişkeninin 0'dan büyük bir değer alması gerektiğini göstermektedir.

3.6 Simülasyon Analizi

Simülasyon ile analiz yöntemi kullanılarak önerilen modelin gerçek hayata uyarlanmadan önce sonuçları hakkında yorum yapılacaktır. Bu nedenle gerçek hayatta var olan belirsizlik durumları simülasyon modeli içine yerleştirilmeye çalışılarak gerçeğe yakın bir veri toplanmak istenmiştir. Simülasyon modelleme ile analiz, gerçek dünyadaki uygulamalar ile karşılaştırıldığında hem daha etkin hem de daha düşük maliyete sahiptir. Bu nedenler ile çalışmada sonuçların karşılaştırılması için simülasyon ile analiz yöntemi kullanılmıştır.

Yapılacak çalışmada sistem analizi için kullanılacak olan simülasyon, daha önceden belirlenen kümeler ile otomatik dizgi hatlarında oluşmuş çizelgenin test ayar istasyonuna olan etkisini tespit etme amaçlı kullanılacaktır. Her bir alternatif öneri kümesi için çizelgeleme optimizasyonunda ulaşılan otomatik dizgi üretim sayısı ve simülasyon ile ulaşılan test ayar son istasyon üretim sayısı karşılaştırılacaktır.

İlgili çalışmada kullanılacak olan simülasyon modeli Arena programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Kullanılacak program üretimdeki tüm istasyonları, kullanılan operatör sayıları ile birlikte simüle edebilecek esnekliğe sahiptir. Ayrıca simülasyon modelleme çalışmalarında literatürdeki geniş kullanım alanı göz önünde bulundurulmuştur. Arena, birçok simülasyon çalışması için kesikli olay metodunu kullanarak oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir. İçerisinde barındırdığı modeller ile hem statik hem de dinamik özellikleri kullanmaya elverişlidir. Bununla beraber program senaryo ve gelecek durum analizleri, performans ölçümleri ve darboğaz analizleri için uygun olacak esnekliğe sahiptir. Bu nedenler dolayısıyla çalışmada yapılacak simülasyon analizinde Arena programı tercih edilmiştir.

3.7 Literatüre Katkı

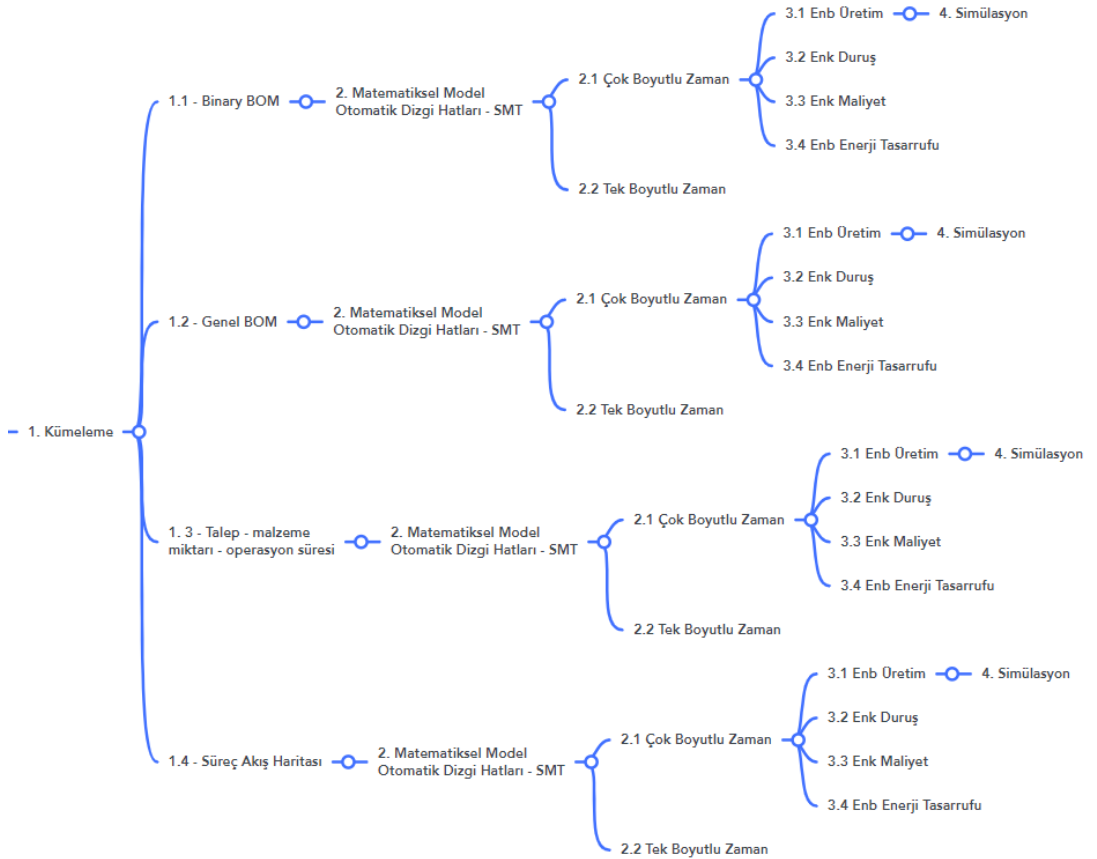
Elektronik kart üretimi çizelgeleme problemleri için yapılan çalışmalara yönelik literatür incelendiğinde genellikle otomatik dizgi hatlarındaki çalışmalara odaklanıldığı görülmüş olup genel süreç akışını istasyon bazında inceleyen çok fazla çalışma olmaması dolayısıyla bu alanda bir ihtiyacın olduğu değerlendirilerek çalışma bu kapsamda ele alınmıştır. Bu çalışma ise tüm üretim istasyonlarını aynı anda göz önünde bulunduracak şekilde yenilikçi bir yaklaşım ile metod önerisinde bulunmuştur. Böylece üretim istasyonları arasındaki ilişki incelenerek hem darboğaz istasyonların belirlenmesini sağlamak hem de alınacak aksiyonların mevcut üretim sistemine olan katkısını ortaya çıkarmak mümkün olacaktır. Literatürdeki çalışmalar model önerilerinde genellikle sadece operasyon sürelerini göz önünde bulundurmakta iken ilgili çalışmada aynı anda tüm elektronik kartların malzeme kırımını ve ortak malzeme kullanımı, talepleri, operasyon süreleri, süreç akış haritalarında uğrayacağı istasyonlar ve sıraları göz önünde bulundurulmuştur. Elektronik kart üretiminde son yıllarda genel süreç akışını inceleme amaçlı kümeleme yapan ve sonuçları simülasyon ile analiz eden çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır.



4. BİR ELEKTRONİK KART ÜRETİCİSİNDE UYGULAMA

Bu bölümde, önerilen modelin gerçek bir üretim tesisinde yapılan uygulaması ve uygulama sonucunda elde edilen bulgular aktarılacaktır.

Uygulama yapılacak olan üretim tesisinin elektronik ürünler için elektronik kart üretim faaliyetlerine devam etmesi dolayısıyla sektörel birtakım özel koşullar ile karşılaşmıştır. Bu nedenle sıralama ve çizelgeme optimizasyonu yaklaşımına çalışma içerisinde yeni bir boyut kazandırılarak matematiksel modele çıktı sağlayan kümeleme yaklaşımı kullanılacak ve model çıktıları oluşturulan simülasyon modelinde değerlendirilecektir.



Şekil 4.1: Uygulama adımları.

4.1 Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtımı

Uygulama yapılacak ABC şirketinde elektronik kart üretimi yapılmaktadır. Çalışma kapsamında otomatik dizgi hatları ve test ayar istasyonları ele alınacaktır. Veri gizliliği dolayısıyla işletmenin özel bilgileri gizli tutulmaktadır.

Çalışmaya konu olan üretim istasyonlarında 5 SMT dizgi hattı, 1 THT hattı, 2 MD hattı, 2 kısa devre test hattı ve 5 fonksiyon test hattı, 34 fonksiyon test istasyonu (Çizelge 4.1) bulunmaktadır. Bu istasyonlarda üretilecek elektronik kartların toplamda 8 farklı süreç akış haritası ve uygulamaya konu olacak üretim planında 146 stok tutma birimi (SKU) bulunmaktadır.

Çizelge 4.1: Uygulama yapılan üretim sistemi bilgileri.

SKU	SMT Dizgi Hat Sayısı	THT Dizgi Hat Sayısı	MD Hat Sayısı	ICT Hat Sayısı	FT Hat Sayısı	FT İstasyon Sayısı	Süreç Akış Sayısı
146	5	1	2	2	5	34	8

Kümelemede kullanılan “Öneri 1-Binary BOM”, “Öneri 2-Talep-malzeme miktarı-operasyon süresi”, “Öneri 3-Süreç akış haritası” verileri EK-B’de yer almaktadır.

4.2 Kümeleme Modeli

Literatürde elektronik kart üretimi çizelgeme problemlerinde çeşitli kümeleme algoritmaları kullanımına rastlanmaktadır. Bu çalışmada da ele alınan 146 SKU’nun çizelgeleme için oluşturulan matematiksel modele ayrı ayrı tanımlanması yerine SKU kümelerinin ele alınarak modelin olurlu zamanda kesin çözüme kavuşması amaçlanmıştır.

Uygulama yapılan üretim tesisinde mevcut durumda benzer ürün, müşteri ve yazılıma sahip kartlar belirli gruplar altında toplanarak “Şasi” olarak anılmaktadır. Taleplere bağlı olarak değişkenlik göstermekle beraber firmanın kullandığı 24 şasi grubu bulunmaktadır. Bu şasi grupları mevcut küme olarak kabul edilmiştir. Uygulamanın bulgularında mevcut küme ile önerilen alternatif kümelerin sonuçları karşılaştırılacaktır.

Uygulamada kullanılan kümeleme yaklaşımında SKU’ların birçok özelliği göz önünde bulundurulmuştur (Çizelge 4.2) ve küme sayısı önceden belirlenmiştir. Küme sayısının

belirlenmesi aşamasında mevcut 146 SKU ve 24 şasi yıllık üretim miktarları açısından incelenmiştir. İncelemeler sonucunda yıllık üretimin %81,7'sini toplam 12 şasinin oluşturduğu görülmüştür. Bu çerçevede, Pareto prensibi gereği küme sayısı 12 olarak kabul edilmiştir. Analizler k-means ve iki adımlı kümeleme algoritmaları ile yapılmış ve anlamlı kümeler seçilerek bir sonraki modelleme adımına girdi sağlamıştır.

Çizelge 4.2: Kümelemede kullanılan bağımsız değişkenler.

Değişken adı	Açıklama	Veri tipi
Binary BOM	SKU*malzeme matrisinde 0-1 ikili kategorik veri kullanılır. Matriste malzeme ilgili SKU'da kullanılıyorsa 1, kullanılmıyorsa 0 değeri verilmiştir.	0-1 kategorik
Genel BOM	SKU*malzeme matrisinde SKU'ya karşılık gelen malzemeler için kullanım miktarları adet cinsinden matrise yerleştirilmiştir.	Sürekli
Talep	Elektronik kartların belirlenen zaman periyodundaki talep miktarını ifade etmektedir.	Sürekli
Komponent sayısı	Her bir elektronik kartın sahip olduğu toplam malzeme sayısını ifade etmektedir.	Sürekli
Operasyon süresi	Her bir kartın SMT hattındaki operasyon süresini ifade etmektedir.	Sürekli
Süreç akışı	Her bir kartın sahip olduğu süreç akış kategorisini ifade etmektedir.	Kategorik

Kümelerin oluşturulmasında ilk olarak sadece “Binary BOM” ve “Genel BOM” değişkenleri ele alınarak analiz yapılmıştır. Bu analizin nedeni otomatik dizgi hatlarında ortak malzeme kullanımlarının hazırlık süreleri için doğurduğu çarpıcı avantajdır. Mevcut kümede yer alan 24 şasi üst grubu altında yer alan SKU'lar

incelendiğinde aynı şasi üst grubunda yer alan SKU’lar arası geçişlerde hazırlık süresinin ortalama 15 dakika olduğu, şasi üst grubu arasındaki geçişler için ise hazırlık sürelerinin ortalama 240 dakika olduğu gözlenmiştir. Her iki analizde de 146 SKU için malzeme bileşen listesinde kullanılan 1952 farklı malzemenin ilgili SKU’da kullanım durumu analiz edilmiştir. Kümeleme işleminin yapılması için SKU-Malzeme matrisi oluşturulmuştur. “Binary BOM” yönteminde matriste 0-1 ikili kategorik veri kullanılmış olup, matriste malzeme ilgili SKU’da kullanılıyorsa 1, diğer durumlarda 0 değeri verilmiştir. “Genel BOM” yönteminde ise matriste SKU’ya karşılık gelen malzemeler için kullanım miktarları adet cinsinden matrise yerleştirilmiştir. Veriler IBM SPSS k-means ve iki adımlı kümeleme ile analiz edilmiş ve Çizelge 4.3 ve 4.4’deki gibi sonuçlar alınmıştır. Kümeler incelendiğinde son kümelerin anlamlı olması ve verilerin altında yatan yapıyı yansıtması açısından iki adımlı kümeleme sonuçlarının daha kullanışlı ve anlamlı kümeler oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3: “Binary BOM” kümesi için SPSS çözüm.

Kümeler	k-means SKU Sayısı	İki adımlı Kümeleme SKU Sayısı
1	62	36
2	24	20
3	15	19
4	10	15
5	8	12
6	8	11
7	7	8
8	5	8
9	3	6
10	2	5
11	1	3
12	1	3

Verilerin kategorik olarak yer aldığı küme olan “Binary BOM” kümesine ek olarak sürekli veri tipine sahip “Genel BOM” kümesi karşılaştırma yapmak üzere analiz kapsamına alınmıştır.

Çizelge 4.4: “Genel BOM” kümesi için SPSS çözüm.

Kümeler	k-means SKU Sayısı	İki adımlı Kümeleme SKU Sayısı
1	62	34
2	23	24
3	11	20
4	11	15
5	8	11
6	8	8
7	7	8
8	5	8
9	4	7
10	3	5
11	3	3
12	1	3

Çözümler analiz edildiğinde “Binary BOM” hem kategorik veriyi içermesi hem de daha anlamlı kümelerin oluşmuş olması dolayısıyla tercih sebebi olmuş ve 1. küme alternatifi olarak “Binary BOM” kabul edilmiştir. Kümeleme yöntemlerinin sonuçları karşılaştırıldığında ise iki adımlı kümeleme analizinde oluşan kümelerin daha anlamlı olması dolayısıyla bu yöntem ile devam edilmiştir.

İkinci olarak elektronik kartların çizelgelenmesinde etkili olan müşteri talebinin karşılanmasına, operasyon süresine bağlı olarak kapasite kısıtlarına ve malzeme ortak kullanımları göz önünde bulundurularak toplam hazırlık süresinde azalmaya odaklanan dolayısıyla hem kapasite kısıtı hem müşteri talebi hem de toplam hazırlık sürelerini göz önünde bulunduran bir kümeleme yapılmıştır. İlk olarak değişkenlerin iki adımlı kümeleme analizinin varsayımlarını karşılayıp karşılamadıklarına bakılmıştır. Değişkenler iki adımlı kümeleme analizinin normallik ve multinomiallik varsayımlarını tam olarak karşılamamasına rağmen (talep değişkeni normallik varsayımını karşılamamıştır), yöntem varsayımların ihlaline karşı duyarsız (robust) olduğu için (Norusis, 2012) analize devam edilmiştir. Bağımsızlık varsayımını test etmek için korelasyon matrisine başvurulmuştur. Sarstedt ve Mooi (2019, s.334)

yüksek korelasyonlu ($r \geq .9$) değişkenleri ortadan kaldırmayı veya değiştirmeyi önermişlerdir. Sürekli değişkenler arası korelasyon Çizelge 4.5’de görülmektedir. Tablodaki değerler eşik değerin altında olduğu için analize devam edilmiştir.

Çizelge 4.5: Sürekli değişkenler arası korelasyon matrisi.

		Komponent Sayısı	Talep	Operasyon Süresi
Komponent Sayısı	Pearson Correlation	1	-,081	1,000**
	Sig. (2-tailed)		,331	0,000
	N	146	146	146
Talep	Pearson Correlation	-,081	1	-,081
	Sig. (2-tailed)	,331		,331
	N	146	146	146
Operasyon Süresi	Pearson Correlation	1,000**	-,081	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	,331	
	N	146	146	146

K-means ve iki Adımlı Kümeleme analizi sonuçları Çizelge 4.6’da görülmektedir.

Çizelge 4.6: “Talep-malzeme miktarı-operasyon süresi” kümesi için SPSS çözüm.

Kümeler	k-means SKU Sayısı	İki adımlı Kümeleme SKU Sayısı
1	111	51
2	11	22
3	5	17
4	5	15
5	5	12
6	3	9
7	1	8
8	1	5
9	1	4
10	1	1
11	1	1
12	1	1

Kümeleme yöntemlerinin sonuçları karşılaştırıldığında iki adımlı kümeleme analizinde oluşan kümelerin daha anlamlı olduğu görülmüş ve bu yöntemle oluşan kümeler kullanılmıştır.

Son kümeleme alternatifi olarak uygulama yapılacak firmanın sahip olduğu Çizelge 4.7’de gösterilen 8 farklı süreç akışı kümeler olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeni ise her bir süreç akışında bulunan SKU’nun kendi kümeleri içinde aynı üretim aşamalarını izleyecek olması sebebiyle bir arada üretimler yapılarak hazırlık sürelerinde bir avantaj yakalama öngörüsüdür. Aynı süreç akışında bulunan SKU’ların aynı kümede yer almasıyla özellikle test ayar istasyonlarında farklı kaynakların aynı anda kullanımı bir avantaj doğurabilir. Aksi takdirde sadece aynı süreç akışında olan kartlar herhangi bir zaman diliminde otomatik dizgi hatlarında üretilse bile kapasite kısıtları dolayısıyla test ayar istasyonlarında darboğaz oluşacak ve son test istasyondaki üretim miktarının otomatik dizgi üretim miktarından oldukça düşük olma riski ile karşılaşılacaktır. Bu durum üretimde var olan kaynakların etkin kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 4.7: Elektronik kartların süreç akış kategorileri.

Sınıf No.	Süreç Akış				
1	SMD				IP_FT
2	SMD	THT	MD	ICT	TS_FT
3	SMD				LK_FT
4	SMD				TS_FT
5	SMD	THT	MD	ICT	AL_FT
6	SMD				TL_FT
7	SMD	THT	MD		TL_FT
8	SMD	THT	MD	ICT	AL_FT

Oluşan kümeler Çizelge 4.8’de özetlenmiştir:

Çizelge 4.8: Oluşturulan kümeler.

No.	Kümeleme Alternatifleri
1	Mevcut Durum-Şasi üst grubu
2	Öneri 1-Binary BOM
3	Öneri 2-Talep-malzeme miktarı-operasyon süresi
4	Öneri 3-Süreç akış haritası

4.3 Çizelgeleme

Uygulama aşamasında “Otomatik Dizgi Hatları için Oluşturulan Matematiksel Model” kullanılacaktır. “Genel Süreç Akışı için Oluşturulan Matematiksel Model” veri uygunsuzluğu dolayısıyla bu uygulama için yeterli sürede çözüme kavuşamamıştır.

Elektronik kartların geçişleri esnasında otomatik dizgi hatlarında gerekli olan hazırlık sürelerinin önemi ve çalışmanın elektronik kart sıralama ve çizelgeme optimizasyonu sağlaması istenmesi dolayısıyla çok boyutlu zaman dilimi için modelleme yapılmıştır. İlgili çalışmada sektördeki en önemli performans göstergelerinden biri olarak kabul edilen en yüksek üretim adeti amaç fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. Çok boyutlu zaman ekseninde aylık zaman planında çizelgeme uygulamaları yapılmıştır. SKU sayısının fazla olması nedeniyle matematiksel model ilk etapta çözüme kavuşmamıştır. Bu nedenle bir önceki bölümde aktarıldığı gibi kümeleme yapılmıştır. Tüm kümeleme alternatifleri değişkenliği analiz edebilmek adına 2 farklı ayın taleplerini ve dinamiklerini içerecek şekilde model içerisine yerleştirilmiş ve çözüm alınmıştır. Uygulamaya sokulacak 4 kümeleme alternatifinde her 2 ay içinde kapasite kısıtı olmaksızın otomatik dizgi hatlarında aylık talep miktarı karşılanmıştır. Fakat çok boyutlu zaman eksenindeki aylık üretimde hangi kartın veya grubun hangi sıra ile hangi vardiya ve günde üretildiği değişkenlik göstermektedir.

İlk olarak 2 farklı ay için matematiksel modele mevcut durum – şasi üst grubu kümesi girdi olarak verilmiştir. Mevcut durumda üretimde küme olarak ifade edebileceğimiz 24 farklı alt grup bulunmaktadır. Her bir küme için test yapılacak aylara ait talep ve kümelerle ait karakteristik özellikler çizelgeleme modeline girdi olarak verilmiştir. Modelden çıkan sonuçlara bağlı olarak testlerin yapıldığı aylarda otomatik dizgi hatlarında kapasite kısıtı bulunmamakta ve tüm talep karşılanmaktadır. Her ne kadar kapasite kısıtı olmadan talep karşılanabilir durumda olsa da bu üretimlerin verimli bir şekilde yapılması üretim maliyetleri açısından kritik öneme sahiptir. Alınan sonuçlar Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Aylık talep miktarının tamamı üretilerek karşılanmıştır. Fakat burada önemli olan bilgi oluşan sıralama ve çizelgedir. EK-D’de ay boyunca oluşan vardiya bazlı çizelge paylaşılmıştır.

Çizelge 4.9: Mevcut durum şasi üst grubu kümesi ile çizelgeleme aylık üretim.

Mevcut Durum - Şasi Üst Grubu	1. Ay		2. Ay	
	Aylık Talep	Aylık Üretim Model Sonuç	Aylık Talep	Aylık Üretim Model Sonuç
1	-	-	-	-
2	41.963	41.963	78.432	78.432
3	-	-	-	-
4	2.062	2.062	10.000	10.000
5	658	658	10.539	10.539
6	666	666	1.446	1.446
7	876	876	6.753	6.753
8	38.399	38.399	3.417	3.417
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	408	408	-	-
13	99	99	1.134	1.134
14	439	439	873	873
15	4.280	4.280	2.337	2.337
16	441	441	54	54
17	441	441	54	54
18	962	962	1.058	1.058
19	30.435	30.435	-	-
20	1.824	1.824	170	170
21	142	142	1.163	1.163
22	-	-	-	-
23	2.365	2.365	2.216	2.216
24	510	510	1.125	1.125
Toplam	126.970	126.970	120.771	120.771

Bir sonraki aşamada 2 farklı ay için matematiksel modele “Öneri 1 – Binary BOM” kümesi girdi olarak verilmiştir. Alınan sonuçlar Çizelge 4.10’da gösterilmiştir.

Öneri 1’de oluşturulan küme ile aylık talepler karşılanmıştır. EK-D’de ay boyunca oluşan vardiya bazlı çizelge paylaşılmıştır.

Çizelge 4.10: “Öneri 1” kümesi ile çizelgeleme aylık üretim.

Öneri 1-Binary BOM	1. Ay		2. Ay	
	Aylık Talep	Aylık Üretim Model Sonuç	Aylık Talep	Aylık Üretim Model Sonuç
1	-	-	-	-
2	63	63	-	-
3	38.336	38.336	2.100	2.100
4	10.142	10.142	-	-
5	7.389	7.389	-	-
6	11.404	11.404	-	-
7	-	-	1.317	1.317
8	-	-	-	-
9	1.500	1.500	-	-
10	4.841	4.841	4.674	4.674
11	5.762	5.762	31.803	31.803
12	47.533	47.533	80.877	80.877
Toplam	126.970	126.970	120.771	120.771

Bir sonraki aşamada 2 farklı ay için matematiksel modele “Öneri 2” kümesi girdi olarak verilmiştir. Öneri 2 ile oluşan kümeler literatür incelendiğinde özgün bir değere sahiptir. Daha önce konu hakkında yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak kullanılan malzemeye odaklanmıştır. İlgili çalışmada malzeme, operasyon süresi ve talep aynı anda göz önünde bulundurulmuştur. Alınan sonuçlar Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11: “Öneri 2” kümesi ile çizelgeleme aylık üretim.

Öneri 2- Talep*malzeme miktarı-operasyon süresi	1. Ay		2. Ay	
	Aylık Talep	Aylık Üretim Model Sonuç	Aylık Talep	Aylık Üretim Model Sonuç
Kümeler				
1	4.280	4.280	17.225	17.225
2	41.963	41.963	35.179	35.179
3	-	-	43.253	43.253
4	-	-	1.317	1.317
5	4.812	4.812	4.078	4.078
6	481	481	529	529
7	5.059	5.059	5.029	5.029
8	2.125	2.125	10.000	10.000
9	29.887	29.887	550	550
10	616	616	54	54
11	15.926	15.926	1.550	1.550
12	21.821	21.821	2.007	2.007
Toplam	126.970	126.970	120.771	120.771

Öneri 2’de oluşturulan küme ile aylık taleplerin tamamı üretilerek karşılanmıştır.

Son aşamada ise 2 farklı ay için matematiksel modele “Öneri 3” kümesi girdi olarak verilmiştir. Alınan sonuçlar Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12: “Öneri 3” kümesi ile çizelgeleme aylık üretim.

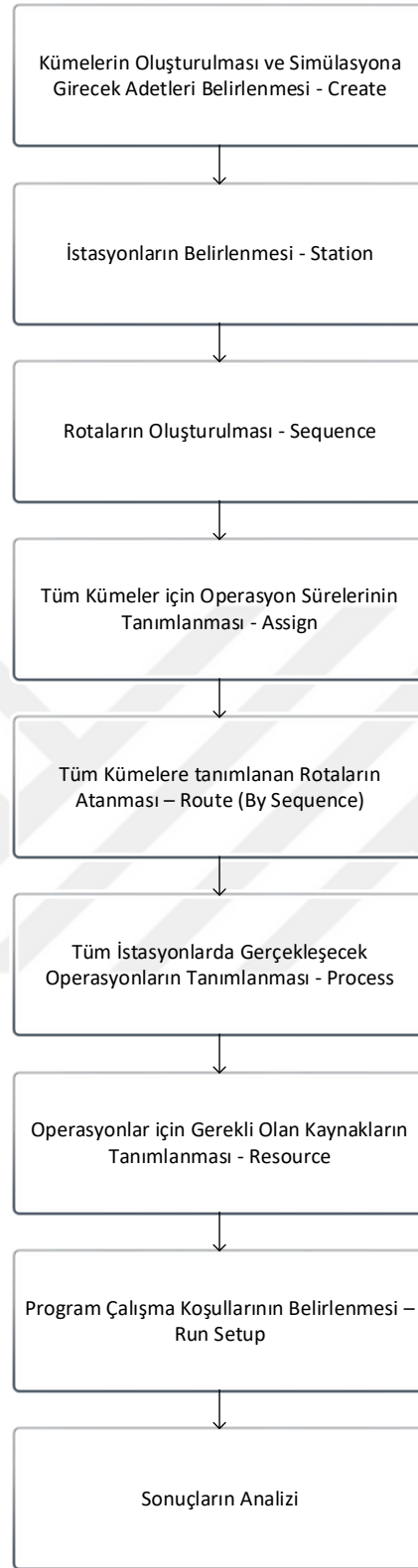
Öneri 3-Süreç Akış Haritası	1. Ay		2. Ay	
Kümeler	Aylık Talep	Aylık Üretim Model Sonuç	Aylık Talep	Aylık Üretim Model Sonuç
1	46.243	46.243	80.769	80.769
2	2.738	2.738	5.857	5.857
3	38.399	38.399	3.417	3.417
4	4.314	4.314	26.054	26.054
5	4.841	4.841	4.674	4.674
6	21.619	21.619	-	-
7	8.816	8.816	-	-
8	-	-	-	-
Toplam	126.970	126.970	120.771	120.771

Öneri 3’de oluşturulan küme ile aylık talepler karşılanmıştır. EK-D’de ay boyunca oluşan vardiya bazlı çizelge paylaşılmıştır.

Tüm kümeleme alternatifleri için otomatik dizgi hat kapasitesinin talebi karşılamaya yetecek olduğu görülmektedir. Fakat bu plan oluşturulurken yapılan sıralama ve çizelgeme hem hatların kullanım oranlarını belirlemekte hem de sonraki istasyonlara giriş zamanlarına bağlı olarak son istasyondaki üretim miktarı etkilenmektedir. Bu nedenle çalışmanın devam eden bölümlerinde otomatik dizgi üretimi sonrası üretim akışı incelenecek, her kart için üretimin son bulacağı son istasyondaki üretim sayılarına odaklanılacaktır. Bu analiz için tüm kümeleme alternatifleri için tanımlanan matematiksel modele bağlı olarak IBM ILOG CPLEX Optimization Studio’da oluşan çizelgeler Arena simülasyonuna zaman planına uygun şekilde aktarılacaktır.

4.4 Simülasyon Modeli

Simülasyon modeli Arena programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde izlenen yol Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Simülasyon modeli algoritması.

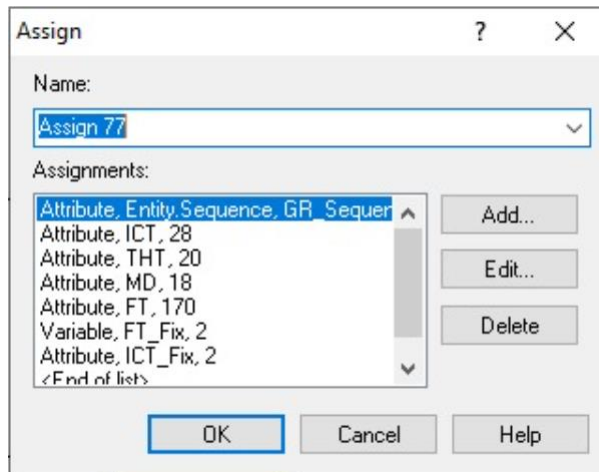
İlk olarak simülasyon modeli içerisinde kümelerin oluşturulması gerekmektedir. Kümelerin oluşturulmasından sonra ise çizelgelemesi tamamlanmış kümelerin simülasyon içerisine girecek üretim adetleri girişleri yapılmaktadır. Bir sonraki

aşamada üretimde yer alan tüm istasyonların tanımlanması gerekmektedir. Şekilde 4.3’de istasyon tanımlamaları gösterilmiştir.

Station - Advanced Transfer		
	Name	Station Type
1 ▶	MD1_Station	Station
2	MD2_Station	Station
3	MD_Station	Station
4	ITE_Station	Station
5	Final_Station	Station
6	THT_Station	Station
7	Alpha_FT	Station
8	TL_FT	Station
9	Testar_FT	Station
10	IPTE_FT	Station
11	LG_FT	Station
12	Basla Station	Station

Şekil 4.3: Üretim istasyonlarının station modülü ile tanımlanması.

İstasyonların oluşturulmasının ardından elektronik kartların farklı süreç akışlarına sahip olmaları dolayısıyla programın “sequence” modülü ile rotalar oluşturulması gerekmektedir. Oluşturulan her bir rota için ise istasyon adımlarının girilmesi gerekmektedir. Sonrasında ise tüm kartlar için ilgili istasyonlardaki operasyon süreleri ve kullanılan ekipman adetleri “assign” modülü yardımıyla karta ve operasyona özel olarak atanmıştır. Üretimin karakteristik özelliklerinden olan test istasyonlarındaki toplam fikstür sayısı birim süredeki üretim sayısını belirlemektedir. Her kartın her test istasyonunda sahip olduğu fikstür sayısı simülasyon modeline girdi olarak verilmiştir. Şekil 4.4’de kümelerin gerekli özellik tanımlamalarının yapılması gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Kümelerin karakteristik özelliklerinin assing modülü ile tanımlanması.

Bir sonraki aşamada tüm kümelere daha önce atanmış rotaların model içerisinde aktifleşmesi için “route” modülü kullanılmalıdır. Route modülü ile ayrıca istasyonlar arası transfer süresi tanımlanmıştır. Bir sonraki aşamada ise tüm üretim istasyonlarında gerçekleşecek operasyonların tanımlanması gerekmektedir. Üretim operasyonlarının tanımlanmasının ardından gerekli olan kaynakların tanımlanması ve adetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 4.5’de üretim sistemi içinde tanımlanan kaynaklar gösterilmiştir.

Resource - Basic Process			
	Name	Type	Capacity
1 ▶	THT1_Personel	Fixed Capacity	1
2	THT1_Machine	Fixed Capacity	1
3	MD1_Personel	Fixed Capacity	5
4	MD2_Personel	Fixed Capacity	5
5	Alpha_Fixture	Fixed Capacity	3
6	TL_Fixture	Fixed Capacity	3
7	Testar_Fixture	Fixed Capacity	16
8	IPTE_Fixture	Fixed Capacity	12

Şekil 4.5: Kaynakların resource modülü ile tanımlanması.

Son aşamada ise program çalışma koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma için model 31 gün 3 vardiya çalışma düzenine bağlı olarak toplam 93 vardiya için çalıştırılarak sonuçlar alınmıştır.

Bu aşamadan sonra oluşturulan simülasyon modelinden alınan sonuçlar analiz edilecektir. Simülasyon modeline girdi olarak çizelgeme sonuçları verilecektir. Sonuçlar hem otomatik dizgi hatları hem de test ayar hatlarının kapasitelerinin incelenmesi adına vardiyalık ve günlük bazda analiz edilecektir.

4.4.1 Mevcut kümeler ile simülasyon analiz sonuçları

Mevcut üretim sisteminde devam eden şasi kümeleriyle oluşan 1.ay verisi için çizelgeme modeli ve simülasyon modeli sonuçları Çizelge 4.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.13: Mevcut küme ile 1. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları.

Kümeler	Çizelgeleme Model Sonuç	Simülasyon Model Sonuç
1	-	-
2	41.963	41.380
3	-	-
4	2.062	2.058
5	658	658
6	666	666
7	876	876
8	38.399	27.943
9	-	-
10	-	-
11	-	-
12	408	396
13	99	99
14	439	439
15	4.280	4.280
16	441	441
17	441	441
18	962	862
19	30.435	17.685
20	1.824	1.824
21	142	46
22	-	-
23	2.365	2.365
24	510	473
Toplam	126.970	102.932

Mevcut üretim sisteminde devam eden şasi kümeleriyle oluşan 2. ay verisi için çizelgeme modeli ve simülasyon modeli sonuçları Çizelge 4.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14: Mevcut küme ile 2. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları.

Kümeler	Çizelgeleme Model Sonuç	Simülasyon Model Sonuç
1	-	-
2	78.432	78.182
3	-	-
4	10.000	9.928
5	10.539	8.533
6	1.446	1.314
7	6.753	5.812
8	3.417	3.333
9	-	-
10	-	-
11	-	-
12	-	-
13	1.134	1.002
14	873	685
15	2.337	2.314
16	54	54
17	54	54
18	1.058	1.058
19	-	-
20	170	169
21	1.163	1.134
22	-	-
23	2.216	2.215
24	1.125	1.120
Toplam	120.771	116.907

4.4.2 Öneri 1 kümeleri ile simülasyon analiz sonuçları

“Öneri 1-Binary BOM” kümeleriyle oluşan 1.ay verisi için çizelgeme modeli ve simülasyon modeli sonuçları Çizelge 4.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.15: Öneri 1 kümeleri ile 1. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları.

Kümeler	Çizelgeleme Model Sonuç	Simülasyon Model Sonuç
1	-	-
2	63	63
3	38.336	38.089
4	10.142	9.969
5	7.389	7.389
6	11.404	11.404
7	-	-
8	-	-
9	1.500	1.500
10	4.841	4.748
11	5.762	5.679
12	47.533	46.838
Toplam	126.970	125.679

“Öneri 1-Binary BOM” kümeleriyle oluşan 2.ay verisi için çizelgeme modeli ve simülasyon modeli sonuçları Çizelge 4.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.16: Öneri 1 kümeleri ile 2. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları.

Kümeler	Çizelgeleme Model Sonuç	Simülasyon Model Sonuç
1	-	-
2	-	-
3	2.100	1.866
4	-	-
5	-	-
6	-	-
7	1.317	1.027
8	-	-
9	-	-
10	4.674	4.539
11	31.803	31.550
12	80.877	80.443
	120.771	119.425

4.4.3 Öneri 2 kümeleri ile simülasyon analiz sonuçları

“Öneri 2-Talep*malzeme miktarı-operasyon süresi” kümeleriyle oluşan 1.ay verisi için çizelgeme modeli ve simülasyon modeli sonuçları Çizelge 4.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17: Öneri 2 kümeleri ile 1. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları.

Kümeler	Çizelgeleme Model Sonuç	Simülasyon Model Sonuç
1	4.280	4.257
2	41.963	41.606
3	-	-
4	-	-
5	4.812	4.750
6	481	474
7	5.059	4.756
8	2.125	2.067
9	29.887	29.673
10	616	614
11	15.926	15.872
12	21.821	21.714
	126.970	125.783

“Öneri 2” kümeleriyle oluşan 2.ay verisi için sonuçlar Çizelge 4.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18: Öneri 2 kümeleri ile 2. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları.

Kümeler	Çizelgeleme Model Sonuç	Simülasyon Model Sonuç
1	17.225	17.208
2	35.179	34.927
3	43.253	43.128
4	1.317	1.199
5	4.078	3.930
6	529	511
7	5.029	5.005
8	10.000	9.779
9	550	408
10	54	53
11	1.550	1.414
12	2.007	2.007
	120.771	119.569

4.4.4 Öneri 3 kümeleri ile simülasyon analiz sonuçları

“Öneri 3 – Süreç Akış Haritası” kümeleriyle oluşan 1.ay verisi için çizelgeme modeli ve simülasyon modeli sonuçları Çizelge 4.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.19: Öneri 3 kümeleri ile 1. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları.

Kümeler	Çizelgeleme Model Sonuç	Simülasyon Model Sonuç
1	46.243	45.648
2	2.738	2.738
3	38.399	38.124
4	4.314	3.942
5	4.841	4.763
6	21.619	21.461
7	8.816	8.816
8	-	-
	126.970	125.492

“Öneri 3 – Süreç Akış Haritası” kümeleriyle oluşan 2.ay verisi için çizelgeme modeli ve simülasyon modeli sonuçları Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20: Öneri 3 kümeleri ile 2. ay çizelgeleme ve simülasyon sonuçları.

Kümeler	Çizelgeleme Model Sonuç	Simülasyon Model Sonuç
1	80.769	80.130
2	5.857	5.857
3	3.417	3.164
4	26.054	25.640
5	4.674	4.532
6	-	-
7	-	-
8	-	-
	120.771	119.323

4.5 Önerilen Metodoloji İçin Uygulama Sonuçları

Önerilen metodolojinin uygulama aşamasında veri setine sırasıyla kümeleme yapılmış, oluşan kümeler önerilen matematiksel model içerisine yerleştirilerek bir çizelge oluşturulmuş ve sonuç olarak tüm sonuçlar simülasyonda test edilmiştir. Yapılan testler üretim yapılan tesisin 2 aylık talepleri baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Her 2 ay içinde mevcut durumda yer alan kümeler ve önerilen 3 küme sonuçları Çizelge 4.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.21: Tüm kümeler için aylık çizelgeleme ve simülasyon adetleri.

		Simülasyon Adet			
Ay	Çizelgeleme- Aylık Adet	Mevcut Durum- Şasi Üst Grubu	Öneri 1-Binary BOM	Öneri 2- Talep*malzeme miktarı- operasyon süresi	Öneri 3- Süreç akış haritası
1	126.970	102.932	125.679	125.783	125.492
2	120.771	116.907	119.425	119.569	119.323

Çalışma içerisinde performans göstergesi olarak belirlenen üretim adetlerinin % cinsinden simülasyon adet / çizelgeleme adet karşılıkları Çizelge 4.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.22: Tüm kümeler için performans göstergesi.

		Simülasyon Adet / Çizelgeleme Adet (%)			
Ay	Çizelgeleme- Aylık Adet	Mevcut Durum- Şasi üst grubu	Öneri 1-Binary BOM	Öneri 2-Talep * malzeme miktarı- operasyon süresi	Öneri 3- Süreç akış haritası
1	126.970	81,07%	98,98%	99,07%	98,84%
2	120.771	96,80%	98,89%	99,00%	98,80%

Veri setinde yapılan deneyler sonucunda her iki ayda da “Öneri 2-Talep*malzeme miktarı-operasyon süresi” için gerçekleşen üretim adetleri en iyi sonucu vermiştir.

Ayrıca her iki durumda da mevcut durumda yapılmış olan kümeleme en kötü sonucu vermektedir. Her 3 öneri kümesinin birbirine yakın sonuçlar vermesi dolayısıyla uygulanacak probleme bağlı olarak bu değerlerin ve sıraların değişkenlik gösterebileceği ön görüldüğü için en uygun çözümün veri setine bağlı olarak değişkenlik göstereceği düşünülmektedir.





5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada elektronik kart üretim çizelgeleme problemleri için yeni bir metodoloji geliştirilmiştir. İlgili çalışmada otomatik dizgi hatlarının çizelgeleme optimizasyonu için 0-1 karma tamsayılı programla modeli oluşturulmuş, kümeleme yaklaşımı kullanılmış ve sonuçlar simülasyon ile yorumlanmıştır. Böylece tüm proses akışı incelenmektedir. Elektronik kart üretiminde son yıllarda genel süreç akışını inceleme amaçlı kümeleme yapan ve sonuçları simülasyon ile analiz eden çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır.

Yapılan çalışmada sektörde var olan problemlere odaklanılarak önerilerde bulunulmuştur. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak ürün çeşitliliğinde yaşanan artışlar nedeniyle kapasite kısıtları ile göz önünde bulundurulduğunda sektörde üretim esnasında fazla sayıda model geçişi olmakta, hazırlık süreleri için ayrılan katma değersiz zaman artmakta ve verimsiz üretim modelleri riski ortaya çıkarmaktadır. Verimsizliğin konu olduğu bu üretim ortamlarında yenilikçi yaklaşımlar ile israfı ortadan kaldırmak ve kapasite kullanım oranlarının artışı gibi verimli çözüm metotları önererek uygulama yapmak büyük önem arz etmektedir. Uygulama yapılan elektronik kart çizelgeleme problemi yeterli zamanda optimum çözümün bulunamayacağı NP-zor optimizasyon problemi sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle problem çözümü için hibrit bir model önerisinde bulunulmuştur. Yapılan uygulama her biri birbirinden farklı özellikte olan elektronik kartların, birbirinden farklı özellikteki üretim ve test hatlarında talebe karşılık verecek ve maksimum faydayı sağlayacak üretim planına odaklanmıştır.

Literatürde elektronik kart üretimi ile ilgili yer alan çalışmalar genellikle sadece otomatik dizgi hatlarına odaklanmışken bu çalışma hem otomatik dizgi hatları hem de test ayar istasyonlarını göz önünde bulundurmıştır. Çalışma otomatik dizgi hatlarında oluşturulan üretim planlarının test ayar istasyonundaki üretim sayısı ile olan ilişkisini incelemiştir. Bu inceleme sürecinde birçok farklı çözüm önerisi geliştirilmiş ve tüm alternatifler için çözümler karşılaştırılmıştır. Çözüm önerisi geliştirme süreçlerinde

literatürde yer alan çalışmaların çoğundan farklı olarak sadece operasyon süresi incelenmemiş, aynı zamanda tüm elektronik kartların malzeme kırımımı ve ortak malzeme kullanımı, talepleri, süreç akış haritalarında uğrayacağı istasyonlar ve sıraları göz önünde bulundurularak kümeleme yapılmıştır. Oluşturulan kümeler otomatik dizgi hatlarının çizelgeleme optimizasyonu için oluşturulan model içine yerleştirilmiş ve otomatik dizgi üretim sayıları ve sonrasında oluşan test ayar son istasyon üretim sayıları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada yenilikçi bir yaklaşım ile tüm üretim istasyonlarını aynı anda göz önünde bulundurulmuş, böylece üretim istasyonları arasındaki ilişki incelenerek hem darboğaz istasyonların belirlenmesini sağlanmış hem de alınacak aksiyonların mevcut üretim sistemine olan katkısı ortaya çıkarılmıştır.

Sonuç olarak otomatik dizgi üretim adetleri ve test ayar üretim adetleri üzerinden alternatiflerin verimlilikleri raporlanmıştır. Çıkan sonuçlar eşliğinde uygulama yapılan firmada en verimli yöntem 1. Ay için %22'lik üretim miktarı artışı sağlayan “Öneri 2-Talep-malzeme miktarı-operasyon süresi” olsa da sektörel değişiklikler nedeniyle kart özelliklerinde ve talep miktarlarında yaşanan değişiklikler ile farklı parametreler altında “Öneri-1” ve “Öneri-3” en verimli yöntem haline gelebilir. Bu nedenle metodu uygulamak isteyen tüm araştırmacılar için tüm yöntemlerin analiz edilmesi tavsiye edilmektedir.

Gelecek çalışmalarda simülasyon modeli, matematiksel model ve kümeleme analizlerinin entegrasyonu sağlanarak tüm problemlerin tek model içerisinde çözülmesi sağlanabilir. Böylece problemin çözümü daha kısa bir hale gelebilir.

Gelecek çalışmalar için bir başka öneri ise kümeleme analizi performansının önerilen veya önerilecek bir sezgisel algoritma ile hem çözüm süresi hem üretim adetleri açısından karşılaştırılması olabilir. Buna ek olarak oluşturulacak bir sezgisel algoritma ile kümeleme yapılabilir ve tek bir model içerisinde çizelgeleme yapılarak sonuçlar daha hızlı yorumlanabilir.

Çalışmada geliştirilebilecek noktalar arasında problemin çözülmesi istenen her periyot için kümeleme analizinin yeniden yapılması ihtiyacıdır. Her ne kadar bu sayede dinamik bir planlama sağlanıyor olsa da uygulama aşamasında zorluklar doğurabilir.

Diğer bir geliştirilebilecek nokta ise yapılan kümeleme analizinin sonuçlarının doğrudan matematiksel modele yerleştirildiğinde çıktıları hakkında doğrudan fikir sahibi olunamamasıdır. Çünkü matematiksel model sadece otomatik dizgi üretim

izelgelemesini sağlıyor iken çalışma tüm üretim istasyonlarını göz önünde bulundurarak test ayar istasyonundaki üretim adetini değerlendirmektedir. Çalışma mevcut durumda kümeleme analizi için SPSS, izelgeleme optimizasyonu için CPLEX ve simülasyon analizi için Arena programlarını kullanmaktadır. Matematiksel modelin tüm üretim istasyonlarını kapsayacak ve yeterli zamanda çözüme kavuşabilecek şekilde tek program üzerinden tasarlanması uygulama için kolaylık sağlayacaktır.





KAYNAKLAR

- Ashayeri, J., & Selen, W.** (2007). A planning and scheduling model for onsertion in printed circuit board assembly. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 909-925.
- Aurich, P., Nahhas, A., Reggelin, T., & Tolujew, J.** (2016). Simulation-based optimization for solving a hybrid flow shop scheduling problem. In *2016 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 2809-2819). IEEE.
- Ayob, M., & Kendall, G.** (2008). A survey of surface mount device placement machine optimisation: Machine classification. *European Journal of Operational Research*, 186(3), 893-914.
- Castellani, M., Otri, S., & Pham, D. T.** (2019). Printed circuit board assembly time minimisation using a novel Bees Algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 133, 186-194.
- Emet, S., Knuutila, T., Alhoniemi, E., Maier, M., Johnsson, M., & Nevalainen, O. S.** (2010). Workload balancing in printed circuit board assembly. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(9), 1175-1182.
- Franke, J., Wang, L., Bock, K., & Wilde, J.** (2021). Electronic module assembly. *CIRP annals*, 70(2), 471-493.
- Fung, V. W., & Yung, K. C.** (2020). An intelligent approach for improving printed circuit board assembly process performance in smart manufacturing. *International Journal of Engineering Business Management*, 12, 1847979020946189.
- García-Nájera, A., Brizuela, C. A., & Martínez-Pérez, I. M.** (2015). An efficient genetic algorithm for setup time minimization in PCB assembly. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(5), 973-989.
- Hadavandi, E., Shavandi, H., & Ghanbari, A.** (2011). An improved sales forecasting approach by the integration of genetic fuzzy systems and data clustering: Case study of printed circuit board. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9392-9399.
- He, T., Li, D., & Yoon, S. W.** (2017). A heuristic algorithm to balance workloads of high-speed SMT machines in a PCB assembly line. *Procedia Manufacturing*, 11, 1790-1797.
- He, T., Li, D., & Yoon, S. W.** (2017). A multi-phase planning heuristic for a dual-delivery SMT placement machine optimization. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 47, 85-94.

- Ho, W., & Ji, P.** (2009). An integrated scheduling problem of PCB components on sequential pick-and-place machines: Mathematical models and heuristic solutions. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 7002-7010.
- Hsu, H. P.** (2022). Solving the feeder assignment, component sequencing, and nozzle assignment problems for a multi-head gantry SMT machine using improved firefly algorithm and dynamic programming. *Advanced Engineering Informatics*, 52, 101583.
- Huang, C. Y., Lin, Y. H., & Tsai, P. F.** (2015). Developing a rework process for underfilled electronics components via integration of TRIZ and cluster analysis. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 5(3), 422-438.
- IBM ILOG CPLEX Optimization Studio** (Versiyon 12.6.1) [Bilgisayar yazılımı]. Armonk, New York : IBM.
- Jain, A. K., & Dubes, R. C.** (1988). Algorithms for clustering data. Prentice-Hall, Inc..
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J.** (2005). 11990. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis, 344.
- Khader, N., & Yoon, S. W.** (2021). Adaptive optimal control of stencil printing process using reinforcement learning. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 71, 102132.
- Kim, Y. H., & Kim, R. S.** (2020). Insertion of new idle time for unrelated parallel machine scheduling with job splitting and machine breakdowns. *Computers & Industrial Engineering*, 147, 106630.
- Klemmt, A., Horn, S., Weigert, G., & Wolter, K. J.** (2009). Simulation-based optimization vs. mathematical programming: A hybrid approach for optimizing scheduling problems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(6), 917-925.
- Komaki, G. M., Sheikh, S., & Malakooti, B.** (2019). Flow shop scheduling problems with assembly operations: a review and new trends. *International Journal of Production Research*, 57(10), 2926-2955.
- Kong, L., Wang, L., Li, F., Wang, G., Fu, Y., & Liu, J.** (2020). A new sustainable scheduling method for hybrid flow-shop subject to the characteristics of parallel machines. *IEEE Access*, 8, 79998-80009.
- Kuo, R. J., & Lin, L. M.** (2010). Application of a hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization algorithm for order clustering. *Decision Support Systems*, 49(4), 451-462.
- Kuo, C. F. J., Fang, T. Y., Lee, C. L., & Wu, H. C.** (2019). Automated optical inspection system for surface mount device light emitting diodes. *Journal of intelligent manufacturing*, 30(2), 641-655.
- Lin, C. J., & Huang, M. L.** (2017). Modified artificial bee colony algorithm for scheduling optimization for printed circuit board production. *Journal of Manufacturing Systems*, 44, 1-11.

- Lin, C. J., & Lin, C. H.** (2021). Component Placement Process Optimization for Multi-head Surface Mounting Machine Using a Hybrid Algorithm. *Sensors and Materials*, 33(10), 3529-3545.
- Mumtaz, J., Guan, Z., Yue, L., Wang, Z., Ullah, S., & Rauf, M.** (2019). Multi-level planning and scheduling for parallel PCB assembly lines using hybrid spider monkey optimization approach. *Ieee Access*, 7, 18685-18700.
- Neammanee, P., & Reodecha, M.** (2009). A memetic algorithm-based heuristic for a scheduling problem in printed circuit board assembly. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 294-305.
- Noroozi, A., & Mokhtari, H.** (2015). Scheduling of printed circuit board (PCB) assembly systems with heterogeneous processors using simulation-based intelligent optimization methods. *Neural Computing and Applications*, 26(4), 857-873.
- Norusis, M. J.** (2012). IBM SPSS statistics 19 advanced statistical procedures companion, Chapter 17. Cluster Analysis. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Qin, W., Zhuang, Z., Liu, Y., & Tang, O.** (2019). A two-stage ant colony algorithm for hybrid flow shop scheduling with lot sizing and calendar constraints in printed circuit board assembly. *Computers & Industrial Engineering*, 138, 106115.
- Rolf, B., Reggelin, T., Nahhas, A., Lang, S., & Müller, M.** (2020). Assigning dispatching rules using a genetic algorithm to solve a hybrid flow shop scheduling problem. *Procedia Manufacturing*, 42, 442-449.
- Rong, A., Toth, A., Nevalainen, O. S., Knuutila, T., & Lahdelma, R.** (2011). Modeling the machine configuration and line-balancing problem of a PCB assembly line with modular placement machines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(1), 349-360.
- Sarstedt, M., & Mooi, E.** (2019) A Concise Guide to Market Research: The Process, Data, and Methods Using IBM SPSS Statistics. 3rd ed. Springer.
- Tao, X. R., Pan, Q. K., & Gao, L.** (2022). An efficient self-adaptive artificial bee colony algorithm for the distributed resource-constrained hybrid flowshop problem. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108200.
- Tsai, T. N.** (2014). Selection of the optimal configuration for a flexible surface mount assembly system based on the interrelationships among the flexibility elements. *Computers & Industrial Engineering*, 67, 146-159.
- Yilmaz, I. O., Grunow, M., Günther, H. O., & Yapan, C.** (2007). Development of group setup strategies for makespan minimisation in PCB assembly. *International Journal of Production Research*, 45(4), 871-897.
- Zhu, G. Y., Ju, X. W., & Zhang, W. B.** (2018). Multi-objective sequence optimization of PCB component assembly with GA based on the discrete Fréchet distance. *International Journal of Production Research*, 56(11), 4017-4034.



EKLER

EK A : IBM Ilog Cplex model ve veri dosyası

EK B : Kümeleme için kullanılan veriler

EK C : Simülasyon için kullanılan veriler

EK D : IBM Ilog Cplex çizelgeme vardiya bazlı aylık üretim Sonuçları



EK A

IBM Ilog Cplex model dosyası

```
int nb_cards = ...;

int nb_lines = ...;

int nb_days = ...;

int max_setup = ...;

int M=100000;

range lines=1..nb_lines;
range cards=1..nb_cards;
range an_cards=1..nb_cards;
range days=1..nb_days;

float rate[cards][lines]=...; /* teorik saatlik üretim adetleri */
float performance [cards][lines]=...; /* performans oranı */
float availability [lines]=...; /* uygunluk oranı */

float demands[cards]=...;

float setup [cards][an_cards]=...;

float WT[lines][days]=...; /* çalışma günü (saat) */
float MaxS[lines][days]=...; /* maksimum Setup sayısı--> Max 1 Pazar günleri, diğer
günler 2 */

float Penalty_Cost=...;

dvar float+ Time_Prod [cards][lines][days];// ,. Kartın j. Hatta k. Gün çalışma
süresi(saati)

dvar float+ Cumulative_Time_Prod [cards][lines][days];//kümülatif çalışma süresi
```

```
dvar float+ Non_Cap [cards]; // Kapasiteyi aşan talep adeti
```

```
dvar boolean Z [cards][an_cards][lines][days]; // 0-1
```

```
dvar float+ Prod_Qty[cards][days];
```

```
dvar float+ Prod_Qty_Lines[cards][lines][days];
```

```
maximize
```

```
sum( i in cards , l in lines, n in days )
```

```
Time_Prod[i][l][n]*rate[i][l]*performance[i][l]*availability[l]
```

```
-
```

```
sum( i in cards )
```

```
Non_Cap [i] * Penalty_Cost
```

```
;
```

```
subject to
```

```
{
```

```
forall( i in cards )
```

```
sum (l in lines , n in days )
```

```
Time_Prod[i][l][n]*rate[i][l]*performance[i][l]*availability[l]+
```

```
Non_Cap [i]
```

```
==demands[i]; // Talep Kısıtı
```

```
forall( i in cards, l in lines)
```

```
Cumulative_Time_Prod[i][l][1]== Time_Prod[i][l][1];
```

```
forall( i in cards, l in lines, n in days:n!=1)
```

```

Cumulative_Time_Prod[i][l][n]== Cumulative_Time_Prod[i][l][n-
1]+Time_Prod[i][l][n]; // Çok boyutlu zaman için gerekli kısıt

```

```

forall( l in lines, n in days )
    sum (i in cards)
        Time_Prod[i][l][n]+
            sum (i in cards, j in an_cards)
                setup[i][j]*Z[i][j][l][n]
            <=WT[l][n]; // Kapasite Kısıtı

```

```

forall( l in lines, n in days )
    sum (i,j in cards)
        Z[i][j][l][n]<=1; // 1 vardiyada maksimum 1 kart üretilir

```

```

forall(i in cards, l in lines, n in days)
    Time_Prod[i][l][n]<=M*sum(j in cards)Z[i][j][l][n]; // Hat Atama

```

```

forall( l in lines, n in days)
    sum (i,j in cards)
        Z[i][j][l][n] <= MaxS[l][n]; // Max Setup Kısıtı
*/

```

// 1. gün kartlar arası geçiş yok, i ve j aynı kartlar olmalıdır

```

forall( i in cards,l in lines,j in cards: j==i )
    Z[i][j][l][1]== Z[j][i][l][1];

```

```

forall( l in lines, n in days)

sum ( i in cards)Z[i][i][l][1]== 1; // Z ilk gün ataması yapılmış olmalıdır


//Günler Arası İlişkiyi kuran kısıtlar

forall( i in cards,l in lines, n in days)

sum(j in cards)Z[i][j][l][n]== sum(e in cards)Z[e][i][l][n]<=1;


forall( i,j in cards,l in lines, n in days:n>1)

sum(e in cards)Z[e][i][l][n]==sum(j in cards)Z[i][j][l][n-1]==1;


//Üretim adetlerinin gün ve hat bazında kümülatif olarak değişkenlere atanması

forall( i in cards, k in days)

sum (l in lines)

Time_Prod[i][l][k]*rate[i][l]*performance[i][l]*availability[l]

== Prod_Qty[i][k];


forall( i in cards, l in lines, k in days)

Time_Prod[i][l][k]*rate[i][l]*performance[i][l]*availability[l]

==Prod_Qty_Lines[i][l][k];

}

```

IBM Ilog Cplex Örnek veri dosyası

```

nb_lines=5;
nb_cards = 24;
nb_days = 93;
max_setup=2;

```

Penalty_Cost=1.2;

rate= [

[143	64	57	92	138	]
[143	64	57	79	131	]
[285	43	38	72	217	]
[228	24	20	40	174	]
[161	64	57	105	122	]
[142	71	63	105	108	]
[145	71	63	105	106	]
[100	61	48	100	76	]
[988	149	84	245	753	]
[477	72	64	118	363	]
[372	56	50	92	283	]
[315	64	57	79	240	]
[100	49	43	80	116	]
[101	51	46	77	115	]
[144	65	133	91	140	]
[332	50	44	71	252	]
[492	74	66	122	375	]
[97	56	50	82	112	]
[408	61	51	101	310	]
[236	108	92	177	179	]
[237	108	92	178	180	]
[642	97	86	159	489	]
[426	64	82	106	324	]
[492	74	66	122	375	]

];

performance = [

[	0.69	0.71	0.70	0.70	0.70	]
[	0.64	0.85	0.78	0.93	0.72	]
[	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	]

```

[    0.70  0.70  0.70  0.70  0.70  ]
[    0.78  0.78  0.78  0.78  0.78  ]
[    0.83  0.83  0.83  0.80  0.86  ]
[    0.87  0.87  0.87  0.82  0.92  ]
[    0.80  0.82  0.81  0.81  0.81  ]
[    0.91  0.91  0.91  0.91  0.91  ]
[    0.70  0.70  0.70  0.70  0.70  ]
[    0.70  0.70  0.70  0.70  0.70  ]
[    0.84  0.88  0.84  0.80  0.84  ]
[    0.74  0.75  0.75  0.75  0.77  ]
[    0.62  0.71  0.71  0.71  0.81  ]
[    0.71  0.85  0.75  0.75  0.68  ]
[    0.79  0.79  0.79  0.79  0.79  ]
[    0.70  0.70  0.70  0.70  0.70  ]
[    0.70  0.70  0.70  0.70  0.70  ]
[    0.75  0.75  0.75  0.75  0.75  ]
[    0.62  0.55  0.69  0.62  0.62  ]
[    0.67  0.59  0.75  0.67  0.67  ]
[    0.70  0.70  0.70  0.70  0.70  ]
[    0.77  0.85  0.69  0.77  0.77  ]
[    0.81  0.81  0.81  0.81  0.81  ]
];

```

```
availability= [
```

```
0.76
```

```
0.67
```

```
0.61
```

```
0.60
```

```
0.71
```

```
];
```

```
setup=[
```

[	0.00	0.37	0.41	3.28	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.52	4.52	2.88	0.49	4.52	4.52	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	0.55	0.00	0.41	3.28	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	0.37	4.52	2.88	0.48	4.52	4.52	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	0.41	0.41	0.00	3.28	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	1.59	4.52	2.88	0.48	4.52	4.52	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	2.36	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	3.84	4.00	4.00	4.00	0.00	0.82	0.82	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	0.82	0.00	1.04	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.53	4.00	4.00	4.00	4.00	7.26	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	0.82	0.82	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	4.00	5.19	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	2.94	4.00	4.00	0.00	4.00	4.00	4.00
	0.08	4.00	4.00	3.97	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.19	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	4.00
	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	2.65	0.00	2.79	4.00	4.06	4.00	2.72	4.00	4.00	4.00
	0.00	0.40	0.40	4.52	0.40	0.40	4.00	4.00	4.00	1.28	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	2.79	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	0.40	0.00	0.66	5.99	0.34	0.34	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	2.79	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	0.40	0.63	0.00	2.88	0.63	0.63	4.00	4.00	0.13	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								

[	0.53	1.06	0.20	2.79	1.48	4.00	4.21	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.52	4.52	2.88	0.00	4.52	4.52	4.00	4.00	4.00	0.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	2.79	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	0.40	0.34	0.63	4.52	0.00	0.35	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	2.79	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	0.40	0.34	0.63	4.52	0.35	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	0.09	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	0.45	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	1.45	4.00
	2.95	4.00	]								
[	3.11	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	3.39	4.00	4.00	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	1.21	0.00	4.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00
	4.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	0.00	4.00	]								
[	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	0.39	0.00	]								

];

demands =

```
[0
41963
0
2062
658
666
```

876
 38399
 0
 0
 0
 408
 99
 439
 4280
 441
 441
 962
 30435
 1824
 142
 0
 2365
 510]
 ;

WT = [

[8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8
	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8
	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8
	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8
	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4
	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8
	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8
	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8
	8	4	8	8]							
[8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8
	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8
	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8
	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8
	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4
	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8
	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8

	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8
	8	4	8	8]							
[8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8
	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8
	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8
	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8
	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4
	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8
	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8
	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8
	8	4	8	8]							
[8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8
	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8
	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8
	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8
	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4
	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8
	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8
	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8
	8	4	8	8]							
[8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8
	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8
	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8
	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8
	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4
	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8
	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8
	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	8
	8	4	8	8]							

];

EK B

SKU/Malzeme	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
SKU1	1	1	1	3	1	1	4	1	2	1	2	2	1	4	1	1	1
SKU2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	2	0	4	1	0	1
SKU3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	2	0	4	1	0	1
SKU4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0
SKU5	0	0	0	0	0	1	4	0	2	1	0	2	0	4	1	0	1
SKU6	0	0	0	0	0	1	4	0	2	1	0	2	0	4	1	0	1
SKU7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU9	0	0	0	4	0	1	4	0	2	0	0	1	0	4	1	1	0
SKU10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU13	0	0	1	0	0	0	4	0	1	0	0	1	0	4	1	1	0
SKU14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil B.1: Öneri 1 kümeleme verisi malzeme kullanım miktarları matrisi.

Matris 146 SKU ve 1952 malzemedan oluşmaktadır. Temsili olarak 17 SKU ve malzeme için veriler gösterilmektedir.



SKU/Malzeme	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
SKU1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SKU2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
SKU3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
SKU4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
SKU5	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
SKU6	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
SKU7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU9	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0
SKU10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU13	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0
SKU14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKU17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil B.2: Öneri 1 kümeleme verisi malzeme kullanım durumları matrisi.

Matris 146 SKU ve 1952 malzemedan oluşmaktadır. Temsili olarak 17 SKU ve malzeme için veriler gösterilmektedir.

SKU	Talep * Malzeme	Süre	SKU	Talep * Malzeme	Süre	SKU	Talep * Malzeme	Süre	SKU	Talep * Malzeme	Süre	SKU	Talep * Malzeme	Süre
SKU1	431.648	50	SKU31	417.627	64	SKU61	-	51	SKU91	2.940	75	SKU121	587.200	54
SKU2	520.344	45	SKU32	274.743	58	SKU62	35.784	46	SKU92	11.565	43	SKU122	220.200	56
SKU3	391.608	45	SKU33	120.250	46	SKU63	-	56	SKU93	-	58	SKU123	-	56
SKU4	22.176	94	SKU34	214.045	58	SKU64	-	42	SKU94	1.286.688	58	SKU124	63.750	54
SKU5	77.319	60	SKU35	-	43	SKU65	-	54	SKU95	-	43	SKU125	148.750	65
SKU6	346.371	60	SKU36	-	46	SKU66	-	58	SKU96	-	42	SKU126	-	60
SKU7	808.032	34	SKU37	-	60	SKU67	-	59	SKU97	-	34	SKU127	-	65
SKU8	62.480	34	SKU38	-	58	SKU68	-	42	SKU98	-	41	SKU128	-	57
SKU9	2.799.120	50	SKU39	-	34	SKU69	5.728.000	55	SKU99	-	55	SKU129	-	57
SKU10	463.701	38	SKU40	-	87	SKU70	-	58	SKU100	-	60	SKU130	4.240.338	56
SKU11	311.610	47	SKU41	28.031.284	72	SKU71	-	58	SKU101	-	65	SKU131	8.904	56
SKU12	710.272	38	SKU42	-	47	SKU72	-	59	SKU102	-	59	SKU132	-	59
SKU13	265.200	50	SKU43	-	19	SKU73	-	55	SKU103	-	57	SKU133	-	43
SKU14	-	58	SKU44	-	34	SKU74	-	55	SKU104	-	65	SKU134	-	48
SKU15	-	64	SKU45	-	59	SKU75	-	57	SKU105	-	57	SKU135	-	57
SKU16	-	43	SKU46	1.989.396	60	SKU76	-	58	SKU106	-	60	SKU136	-	55
SKU17	-	60	SKU47	-	58	SKU77	-	55	SKU107	-	42	SKU137	-	59

Şekil B.3: Öneri 2 kümeleme verisi 1.

SKU	Talep * Malzeme	Süre	SKU	Talep * Malzeme	Süre	SKU	Talep * Malzeme	Süre	SKU	Talep * Malzeme	Süre	SKU	Talep * Malzeme	Süre
SKU18	-	58	SKU48	-	47	SKU78	-	55	SKU108	-	55	SKU138	-	87
SKU19	-	58	SKU49	1.449.448	60	SKU79	-	58	SKU109	-	55	SKU139	248.820	59
SKU20	-	46	SKU50	-	60	SKU80	18.875.520	43	SKU110	-	49	SKU140	-	57
SKU21	-	64	SKU51	1.437.168		SKU81	-		SKU111	6.954.200		SKU141	1.100.350	57
SKU22	-	58	SKU52	11.595		SKU82	-		SKU112	-		SKU142	1.851.300	57
SKU23	-	46	SKU53	-		SKU83	-		SKU113	-		SKU143	1.929.583	59
SKU24	-	58	SKU54	1.591.668		SKU84	-		SKU114	866.600		SKU144	954.275	59
SKU25	-	43	SKU55	44.940		SKU85	-		SKU115	614.000		SKU145	-	34
SKU26	-	46	SKU56	-		SKU86	-		SKU116	316.500		SKU146	-	56
SKU27	-	60	SKU57	-		SKU87	-		SKU117	-				
SKU28	-	58	SKU58	-		SKU88	-		SKU118	1.609.438				
SKU29	-	34	SKU59	-		SKU89	-		SKU119	794.000				
SKU30	-	87	SKU60	-		SKU90	-		SKU120	-				

Şekil B.4: Öneri 2 kümeleme verisi 2.

SKU	Kategori	SKU	Kategori	SKU	Kategori	SKU	Kategori	SKU	Kategori	SKU	Kategori	SKU	Kategori	SKU	Kategori
SKU1	2	SKU21	3	SKU41	1	SKU61	3	SKU81	3	SKU101	7	SKU121	6	SKU141	6
SKU2	2	SKU22	3	SKU42	3	SKU62	3	SKU82	3	SKU102	7	SKU122	7	SKU142	6
SKU3	2	SKU23	3	SKU43	3	SKU63	3	SKU83	3	SKU103	7	SKU123	7	SKU143	6
SKU4	2	SKU24	3	SKU44	3	SKU64	3	SKU84	3	SKU104	7	SKU124	6	SKU144	6
SKU5	2	SKU25	3	SKU45	3	SKU65	3	SKU85	7	SKU105	7	SKU125	7	SKU145	5
SKU6	2	SKU26	3	SKU46	3	SKU66	3	SKU86	7	SKU106	7	SKU126	3	SKU146	3
SKU7	5	SKU27	3	SKU47	3	SKU67	5	SKU87	7	SKU107	7	SKU127	3		
SKU8	5	SKU28	3	SKU48	3	SKU68	4	SKU88	7	SKU108	7	SKU128	3		
SKU9	1	SKU29	5	SKU49	3	SKU69	8	SKU89	7	SKU109	6	SKU129	7		
SKU10	5	SKU30	3	SKU50	3	SKU70	6	SKU90	3	SKU110	6	SKU130	4		
SKU11	5	SKU31	4	SKU51	3	SKU71	6	SKU91	3	SKU111	4	SKU131	3		
SKU12	5	SKU32	4	SKU52	3	SKU72	6	SKU92	3	SKU112	6	SKU132	4		
SKU13	4	SKU33	4	SKU53	3	SKU73	6	SKU93	4	SKU113	6	SKU133	7		
SKU14	3	SKU34	4	SKU54	3	SKU74	6	SKU94	4	SKU114	6	SKU134	7		
SKU15	3	SKU35	7	SKU55	3	SKU75	6	SKU95	3	SKU115	6	SKU135	7		
SKU16	3	SKU36	3	SKU56	3	SKU76	7	SKU96	3	SKU116	7	SKU136	7		
SKU17	3	SKU37	3	SKU57	3	SKU77	3	SKU97	3	SKU117	7	SKU137	3		
SKU18	3	SKU38	3	SKU58	3	SKU78	3	SKU98	3	SKU118	6	SKU138	1		
SKU19	3	SKU39	3	SKU59	3	SKU79	3	SKU99	7	SKU119	6	SKU139	3		
SKU20	3	SKU40	3	SKU60	3	SKU80	1	SKU100	7	SKU120	7	SKU140	6		

Şekil B.5: Öneri 3 kümeleme verisi.

EK C

Kümeler	THT	MD	ICT	FT-1	FT-2	FT-3	FT-4	FT-5
1								164,00
2								164,00
3								164,00
4					135,00			
5	18,62	32,62			135,00			
6	18,62	32,62			135,00			
7								164,00
8								
9	18,62	32,62			135,00			
10	21,30	29,15	46,16	135,00				
11	23,12	19,87	31,77			200,10		
12						184,07	199,79	

Şekil C.1: Öneri 1 simülasyon verisi

Kümeler	THT	MD	ICT	FT-1	FT-2	FT-3	FT-4	FT-5
1							129,08	
2							207,00	
3							222,00	
4								164,00
5	22,00	29,15	46,30	135,00				
6						153,07		
7	18,62	29,15	46,60	135,00	135,00	182,17		
8						269,00		
9								164,00
10						187,34		
11					135,00			164,00
12	26,77	17,81	31,08		135,00	152,40		

Şekil C.2: Öneri 2 simülasyon verisi

Kümeler	THT	MD	ICT	FT-1	FT-2	FT-3	FT-4	FT-5
1							199,79	
2	20,91	17,96	28,73			164,73		
3								164,00
4						217,75		
5	19,99	29,15	46,37	135,00				
6					135,00			
7	18,62	32,62			135,00			
8				135,00				

Şekil C.3: Öneri 3 simülasyon verisi

EK D

Kümeler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	247	247	247	515	247	704	302	605	605	247	783	783	-	109	526	804	247	247	515	783	124	564	783	783	783
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	269	269	-	-	134	269	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	463	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	755	268	533	268	511	268	134	268	511	755	268	268	268	393	797	529	663	750	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	124	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	-	-	-	-	-	-	-	-	133
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	220	164	-	-	213	328	328	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	441	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	63	449	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	765	248	248	-	-	-	-	517	-	-	314	628	628	314	-	-	-	258	439	878	-	249	498	498	249
23	-	338	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	338	176	-
24	-	-	-	-	143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.1: Mevcut durum, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 1

Kümeler	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	783	783	392	247	526	804	804	804	247	124	247	583	605	515	526	1.340	402	804	804	247	564	-	211	179	357
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	134	269	-	692	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	286	-	-	-	-	-	-	-	-	134	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	413	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	377	377	755	755	486	486	-	-	-	251	268	243	486	751	1.150	508	1.150
12	-	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	267	328	328	164	328	-	-	-	164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	378	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	249	249	125	314	766	766	766	249	-	-	258	517	642	373	-	-	-	-	-	125	249	95	190	95	190
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	315	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	676	-	-	-	-	-	-	-	418	418	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.2: Mevcut durum, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 2.

Kümeler	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	278	824	746	278	556	897	625	542	357	357	414	893	893	893	893	893	357	414	772	247	247	426	357
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	402
8	1.380	1.075	446	446	194	97	328	462	462	705	948	194	-	170	268	608	948	948	755	377	268	776	1.284	268	365
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	176	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	146	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	469	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	124	258	517	-	383	258	-	517	314	-	-	-	-	819	819	-	-	-	-	-	124	248	248	258	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	485	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	367	-	-	-	-

Şekil D.3: Mevcut durum, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 3.

Kümeler	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	357	179	357	590	605	247	341	357	-	-	-	-	-	179	625	268	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	239	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	264	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	726	265	795	797	797	797	797	529	265	253	265	529	529	529	-	-	253	253
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	490	-	-	-	-	-	-	490	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	449
19	314	314	628	628	628	628	628	753	439	628	1.002	1.126	1.126	878	878	439	878	680
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	254	-	306	310	155	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	142	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.4: Mevcut durum, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 4.

Kümeler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1.065	1.569	1.418	1.921	1.601	1.601	800	1.601	1.601	1.601	1.601	1.065	1.065	532	1.065	1.065	1.065	1.065	1.065	1.065	532	1.065	1.065	1.065	1.065
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	346	-	-	-	-	692	692
5	-	-	-	-	-	-	-	393	393	393	393	-	-	-	197	393	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	371	413	-	413	207	413	413	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350	-	-	-	175	-	-	-	194	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	541	-	178	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	276	138	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.5: Mevcut durum, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 1.

Kümeler	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1.065	1.065	532	848	1.054	773	900	1.065	773	387	773	1.423	1.601	1.601	1.601	1.065	532	1.534	773	773	919	556	556	278	556
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	692	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	67	346
5	-	-	-	-	-	-	-	353	393	-	-	-	-	-	393	393	197	393	393	393	393	393	-	-	-
6	-	-	-	202	-	401	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	264	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	166	-	-	-	-	-	538
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	212	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	-	-
18	138	276	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	159	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	1.417	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	709	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	863	-	-	-	-	-	-	132	-	-

Şekil D.6: Mevcut durum, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 2.

Kümeler	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	556	556	909	556	556	278	824	556	556	556	556	556	278	556	556	556	835	556	1.092	278	556	556	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	346	-	45	-	-	45	-	-	-	-	346	692	-	-	-	-	-	-	692	410	771	692	692
5	-	-	-	-	-	108	217	-	-	-	-	-	-	240	353	393	-	-	-	-	-	134	-	134	108
6	-	-	-	-	-	-	316	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	331	331	331	-	277	277	-	-	-	207	166	271	-	134	297	-	-	-	-	-	164	413	-	-	-
8	-	-	-	194	389	-	389	-	270	539	190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	157	157	157	-	-	-	-	-	65	-	-	-	-	-	-	-	-	98	197	-	-	-	-	-	-
14	-	487	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	-	-	-	-	-	-	-	-	97
15	-	-	-	140	-	-	-	397	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	478	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130	-	-	-	-	-	-

Şekil D.7: Mevcut durum, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 3.

Kümeler	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	187	146	292	233	187	733	909	909	455	909	1.186	848	848	848	848	424	1.201	1.201
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	692	413	-	-	346	737	90	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	217	108	217	217	217	217	217	217	108	217	217	217	174	217	217	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	264	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	207	413	-	-	-
8	243	-	194	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	541	-	-	270	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	685	-	-	-	-

Şekil D.8: Mevcut durum, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 4.

Kümeler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	725	1.239	1.239	1.239	1.239	725	362	237	237	237	237	494	652	-	-	-	-	79
4	136	-	-	-	-	68	68	-	-	-	-	-	-	148	650	426	426	-	-	-	-	-	-	193	193
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	429	45	429	-	-	-	429	652	429	429
6	235	235	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	223	-	-	-	118	235	235	235	-	98	197	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	146	292	-	292	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	199	398	199	398	-	-	-	-	-	-	-	-	-	199
11	-	-	-	-	169	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1.140	1.230	1.462	1.605	1.427	1.427	372	286	443	465	465	179	179	89	179	179	179	396	613	613	307	613	613	613	434

Şekil D.9: Öneri 1, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 1.

Kümeler	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	159	159	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	136	516	380	760	760	760	879	725	725	244	488
4	307	193	96	193	193	630	630	420	193	-	193	193	193	420	193	193	-	-	-	-	-	-	-	-	193
5	-	652	-	429	-	-	-	-	-	309	-	-	-	-	-	-	94	-	-	-	-	-	-	-	-
6	446	-	223	70	139	-	118	446	446	118	235	235	235	-	-	-	-	197	-	-	-	118	235	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	555	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125	250	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	266	284	-	-	-	-	-	-	-	-	-	530	282	565	565	565	565	565	565	282	-
12	434	434	217	685	434	524	613	613	613	307	613	842	1.070	1.070	1.070	179	89	179	179	179	179	179	179	89	865

Şekil D.10: Öneri 1, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 2.

Kümeler	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	488	488	488	907	919	380	879	1.017	786	786	272	514	257	514	514	633	751	244	744	257	514	633	751	751	751
4	193	193	-	-	-	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96	-	-	426	-	-
5	-	-	189	189	189	-	-	-	94	189	189	189	-	189	189	-	-	-	-	-	417	417	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98	-	-	-	-	98	197	-	-	-	-	392	440
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	145	606	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	266	-	-	-	-	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	-	-	-	-
12	922	636	212	457	457	229	457	157	396	613	613	756	450	899	899	465	465	694	465	233	465	465	465	465	465

Şekil D.11: Öneri 1, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 3.

Kümeler	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	751	119	751	751	237	237	237	237	119	237	704	725	725	725	237	119	237	237
4	-	-	426	-	-	-	-	-	-	-	-	-	437	437	437	219	437	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	208	-	417
6	440	220	-	440	-	446	446	446	223	446	446	446	-	-	220	-	440	446
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	215	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	606	606	606	303	-	-	-	-	-	-	-	-	199
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	465	233	465	465	465	465	465	465	233	465	465	465	465	465	465	233	465	179

Şekil D.12: Öneri 1, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 4.

Kümeler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89	178	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	199	398
11	180	-	-	-	-	-	-	-	266	-	284	284	284	142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	235	251
12	1.140	1.583	1.319	862	1.148	862	803	1.605	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	660	1.570	1.605	1.605	1.319	1.319	1.462	803	1.605	1.319	1.070	1.070

Şekil D.13: Öneri 1, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 1.

Kümeler	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	136	272	136	270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	199	-	-	199	-	-	199	-	-	-	-	-	-	-	125	250	250	-	-	-	-
11	251	251	125	251	673	701	701	701	843	351	701	843	985	985	1.266	701	475	985	-	-	-	125	517	-	125
12	1.070	1.070	535	1.070	636	636	922	636	636	197	179	636	636	179	429	465	318	636	1.266	1.207	1.357	1.357	1.070	535	613

Şekil D.14: Öneri 1, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 2.

Kümeler	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	257	514	-	514	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	154	-	-	77	-	-	-	304	412	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	70	250	-	-	125	250	250	-	254	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	565	422	451	451	-	-	422	717	453	464	464	566	-	956	284	284	1.049	816	816	125	251	251	673	517	284
12	613	465	179	179	559	307	465	179	380	434	434	591	414	613	613	1.070	613	613	613	307	756	1.357	922	1.016	1.288

Şekil D.15: Öneri 1, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 3.

Kümeler	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	254	509	254	509	-
11	453	110	-	800	-	-	235	251	125	780	521	816	816	251	251	125	251	251
12	1.140	324	1.028	899	1.117	1.148	1.299	1.357	678	899	899	899	899	899	899	450	720	720

Şekil D.16: Öneri 1, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 4.

Kümeler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	858	317	858	820	497	497	276	677	427	427	427	744	879	366	858	858	858	994	677	1.039	-	568	744	-	373
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	246	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	634	-	-	-
6	-	-	-	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	265	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	227	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	598	325	-	-	-	-	-	-	-	-	-	552	-
9	-	483	-	483	-	483	-	-	265	873	265	-	-	-	-	-	-	159	159	159	194	159	389	389	389
10	-	-	-	-	-	-	-	182	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	182	-	-	-	-	42	-
11	473	686	-	-	686	-	118	473	473	-	354	473	-	124	721	473	659	473	-	248	236	473	473	473	248
12	-	-	348	-	-	348	-	142	142	142	351	351	209	-	-	-	-	-	348	-	-	-	-	-	-

Şekil D.17: Öneri 2, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 1.

Kümeler	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	-	257	-	-	-	220	294	16	294	147	294	294	294	294	294	-	-	220	-	-	-	-	-	-	-
2	-	251	246	251	431	180	180	607	180	121	-	-	909	483	618	-	125	-	320	677	677	858	677	213	677
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	549	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	443	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	76	303	303	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	227	152	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	651	-	-	-	-
9	389	159	-	159	483	483	713	230	713	436	1.216	713	230	713	713	872	79	389	654	676	159	702	424	212	159
10	209	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	473	473	473	473	473	-	-	-	354	-	-	-	-	-	-	-	-	186	-	-	343	326
12	463	463	297	452	-	-	-	-	348	-	142	-	142	142	-	348	458	916	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.18: Öneri 2, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 2.

Kümeler	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	440	-	-	-	-	324	-	-	-
2	427	189	427	483	427	213	427	677	733	914	663	914	215	431	431	431	431	431	1.230	400	568	317	990	800	800
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	261	261	261	261	261	130	261	-	-	-	261	-	-	-	-	634	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	97	-	-	-	-	-	546	-	-	-	571
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	503	483	199	-	503	503	907	483	483	483	241	-	265	265	642	768	483	-	-	230	483	483	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	357	393	393	248	-	98	146	-	-	-	-	-	-	-	-	354	-	-	-	107	-	-	-	213	213
12	348	463	-	107	490	232	185	354	-	247	247	247	239	1.163	463	-	-	339	-	226	480	594	142	142	142

Şekil D.19: Öneri 2, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 3.

Kümeler	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
1	379	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	220	-	-	-	-	-
2	-	45	400	431	-	483	483	251	284	739	663	180	-	-	317	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	1	261	-	-	-	123	-	-	-	408	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	97	-	-	-	-	-	546	312	-	-	765	571	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	748	-	-	-	-	265	115	265	-	230	230	-	-	503	894	241	483	986
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	354	-	-	-	-	-	-	-	-	269	213	118	186	357
12	299	466	710	1.163	806	594	841	594	226	-	638	557	779	-	-	185	351	209

Şekil D.20: Öneri 2, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 4.

Kümeler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	-	433	211	241	241	241	121	462	294	-	211	241	241	121	499	294	726	294	535	688	88	241	241	241	535
2	-	317	317	585	1.090	663	90	483	-	483	180	180	663	90	483	219	251	607	180	-	-	158	180	607	180
3	787	787	841	-	-	545	-	718	930	960	803	1.398	545	420	718	173	718	489	-	545	272	545	545	-	489
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	204	408	408	408	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	206	206	206	-	307	-	-	-	-	307	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	651	651	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	247	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.21: Öneri 2, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 1.

Kümeler	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	-	-	66	469	175	554	386	500	386	208	241	241	499	241	-	257	66	175	175	175	-	324	433	-	-
2	400	180	-	483	251	251	-	646	849	241	483	607	-	180	826	677	339	677	483	760	475	497	505	-	431
3	-	242	331	242	1.036	545	545	-	-	272	696	173	718	545	295	173	210	559	545	545	545	545	545	541	1.398
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	408	-	-	-	-	408	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	571	286	571	-	-	771	-	265	152	303	-	-	-	-	624	-	-	-	-	546	-	-	-	-
8	-	-	-	-	307	-	-	-	-	-	-	-	-	514	-	-	132	351	351	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	247	-	-	-	-	-	216	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157	209	209	209	-	-	-

Şekil D.22: Öneri 2, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 2.

Kümeler	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	-	-	-	-	257	147	294	-	-	-	-	433	-	-	216	-	-	-	379	216	129	586	-	-	-
2	251	251	-	744	607	339	-	180	607	744	-	-	-	-	-	-	251	733	251	-	180	568	673	458	-
3	840	840	840	242	242	-	545	1.292	559	975	711	1.013	295	711	1.013	1.013	468	1.013	468	234	840	545	-	-	295
4	-	-	145	-	-	-	145	145	145	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	307	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	651	-	-	651	-	651	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	114	-	-	307	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230	230	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	473	-	-	-	-	-	-	-	-	-	329	213
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157	-	-	-	348	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.23: Öneri 2, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 3.

Kümeler	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
1	379	-	644	-	-	-	153	-	-	379	-	-	-	-	-	-	-	-
2	871	462	924	427	646	909	427	1.318	580	677	251	853	497	373	427	455	-	-
3	-	121	-	173	295	711	537	295	-	-	258	295	-	-	-	-	559	545
4	-	-	-	321	321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	275	-	-	-	-	-	-	-	-	51	-	-	-	549	-	-	958
6	-	-	-	-	-	-	-	-	222	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	571	180	-	-	154	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	351	-	-	569	954	303	152	654	458
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	213	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	213	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.24: Öneri 2, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 4.

Kümeler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1.116	639	639	639	639	639	319	639	766	894	639	639	639	558	184	407	412	862	894	894	220	1.140	1.116	1.339	639
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	201	-	159	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	252	233	233	497	233	116	504	-	504	-	-	233	-	-	478	504	504	504	504	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	301	-	-	-	-
5	-	-	-	210	420	-	-	-	420	-	420	420	420	-	606	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	436	436	681	235	-	458	341	436	235	235	336	235	235	218	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	429
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	202	231	231	231	231	231	116	231	231	231	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.25: Öneri 3, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 1.

Kümeler	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	862	639	415	639	862	639	825	184	407	92	407	661	407	439	439	678	458	439	916	439	184	-	-	-	-
2	-	-	-	-	709	492	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	504	504	-	-	-	-	109	478	982	491	478	478	478	478	982	478	-	-	478	478	478	1.293	1.370	569	1.370
4	165	330	165	330	-	-	-	353	-	-	598	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	326	-	-	-	-	-	364	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	390	-	-	-	-	206	-	-	-	223	652	235	235	335	670	235	235	681	235	235	218	235
7	-	-	221	-	-	231	231	231	-	87	231	-	231	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.26: Öneri 3, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 2.

Kümeler	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	-	-	227	455	693	466	932	932	477	640	326	326	163	326	326	803	326	326	326	163	326	326	326	564	326
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	866	866	893	652	388	326	652	652	627	866	640	866	355	233	-	711	711	1.215	1.215	355	711	233	233	233	233
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	283	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	235	235	235	446	235	-	-	-	235	-	435	446	293	585	575	139	139	139	139	293	585	585	139	139	362
7	442	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	221	-	-	-	-	435	822	435	435
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.27: Öneri 3, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 3.

Kümeler	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
1	326	163	-	-	-	640	326	326	163	581	581	820	581	####	581	291	581	581
2	-	-	-	492	-	-	-	-	-	492	-	-	-	-	-	-	-	-
3	233	-	365	497	497	233	485	233	-	478	633	-	155	155	730	239	478	478
4	-	142	-	301	602	602	-	-	142	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	420	-	-	-	-	-	-	606	-	-	-	-	-	-
6	585	70	139	139	139	139	318	####	293	139	446	-	-	-	139	293	585	585
7	-	345	877	-	-	-	-	-	163	-	-	136	435	435	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.28: Öneri 3, 1. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 4.

Kümeler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	894	894	710	894	894	894	686	1.371	1.371	1.371	1.371	1.371	894	686	1.187	1.371	894	1.371	1.371	1.371	594	1.371	1.371	1.371	894
2	-	-	-	-	-	-	-	216	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	264	264	264	264
4	-	330	533	-	330	330	165	-	-	-	-	-	928	-	533	330	928	-	-	-	267	-	-	-	-
5	-	420	420	420	420	420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.29: Öneri 3, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 1.

Kümeler	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	894	1.371	355	1.371	1.116	1.116	1.116	1.116	1.371	686	894	1.179	894	894	894	439	92	439	894	1.127	894	1.187	1.371	-	710
2	-	-	-	-	-	124	247	247	247	-	216	-	-	216	247	247	124	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	264	132	264	264	233	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	102	-	-	-	283	283	-	124	-	-	330	-	-	602	442	602	-	-	-	-	-	608	330
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210	-	326	-	326	-	-	210	202
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.30: Öneri 3, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 2.

Kümeler	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	710	710	455	455	455	227	455	455	455	932	455	932	227	678	710	710	710	710	710	594	710	710	710	1.036	781
2	-	-	176	201	201	100	201	201	201	201	-	176	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	176
3	264	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	504	-	155	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	330	533	533	533	267	533	1.131	533	533	781	533	267	533	330	330	330	928	203	267	203	801	203	801	801
5	-	420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.31: Öneri 3, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 3.

Kümeler	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
1	781	390	781	781	781	1.481	1.036	1.036	355	1.036	1.036	1.036	1.036	1.036	1.036	390	710	455
2	201	100	201	201	201	-	-	-	-	390	-	-	431	-	-	-	-	71
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	155	116
4	203	102	801	203	203	203	203	801	102	203	203	753	203	203	801	243	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	420	420
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil D.32: Öneri 3, 2. ay vardiya bazlı çizelgeleme sonuçları 4.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ömer Faruk ÜNAL



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2017, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği

YAYINLAR / KİTAP BÖLÜMLERİ:

- Polat, O., Ünal, Ö.F., Özgür Polat, L., Güngör, A. (2019) “*Integrated Forward-Reverse Logistics Network Design: An Application on the Electrolytic Copper Conductor Reel Distribution*”, In A.Y. Alqahtani, & E. Kongar, & K.K Pochampally, & S.M. Gupta (Eds.), Responsible Manufacturing: Issues Pertaining to Sustainability (pp. 85-100). PA: CRC Press, ISBN: 978-081-537-507-4, <[DOI](#)>.

SUNUM & KONGRELER:

- “An Integrated Forward-Reverse Logistics Network Design for Electrolytic Copper Conductor Reel Distribution”, *The 15th International Logistics and Supply Chain Congress (LMSCM – 2017)*