



YAN SANAYİ PARÇA GRUPLAMA VE KALIP ATAMA SÜRECİNİN MATEMATİKSEL MODEL VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE PLANLANMASI

Müjgan SAĞIR^{1*}, Pelin ÇELEBİ²

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-2781-658X>

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ORCID No : <http://orcid.org/0009-0006-8364-2771>

Anahtar Kelimeler Öz

*Kademeli yardımcı
sanayi,
Alt montaj parçası,
Kalıp atama problemi,
Yan sanayi gruplama,
Makine öğrenmesi,
Kullanıcı dostu
arayüz.*

Bu çalışma beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin montaj hatlarında kullanılan parçaları üreten yardımcı yan sanayilerin; üretim verimliliğini artıracak şekilde gruplanması ve yan sanayilerin üretecekleri montaj parçası miktarlarının belirlenmesi problemi ele almaktadır. Proje, yıllık pazar hacmi 3.1 milyon adet olan ve dünya genelinde yaklaşık 62 ülkeye ihracat yapan bir buzdolabı üretim şirketinde gerçekleştirilecektir. Şirket, bulunduğu bölgede birçok tedarikçi endüstri ile iş birliği yapmaktadır. Ancak, bu tedarikçilerin birçoğu, ana şirket için alt montaj parçaları üretmekte ve bu parçalar tesiste monte edilerek nihai ürüne entegre edilmektedir. Örneğin, fan pervanesi ve fan çerçevesi, iki farklı tedarikçi tarafından üretilmekte ve tesise gönderilmekte; burada fan motoru ve diğer parçalar gelen bileşenlerle birleştirilerek ön montaj yapılmaktadır. Birçok alt montaj parçası ve her birini üretebilecek alternatif tedarikçiler mevcuttur. Yan sanayilerden üretim hattına gelen çok sayıda parçanın tedariki sırasında yaşanan gecikmeler üretimi aksatmaktadır. Süreci iyileştirmek için yan

*Sorumlu yazar; e-posta : mujgan.sagir@gmail.com

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1514402>

sanayilerin kendi aralarında önce gruplanarak ürettikleri çeşitli montaj parçalarının firmaya geldikten sonra birleştirilmesi yerine; firma dışında, üretici firmalarca birleştirilmesi önerilmektedir. Böylece montaj parçalarının işletmeye, montaja hazır halde getirilmeleri düşünülmüştür. Bu sayede malzeme duruşlarının, süreç içerisindeki lojistik masraflarının azaltılması ve üretim hattının verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Bu yaklaşım ana firma için zaman kazandıracak fakat yan sanayilerce gruplanacak parçaların tüm ambalajlama maliyetleri ve aradaki tüm taşıma maliyetleri gibi ek maliyetler de getirecektir. Ayrıca hangi yan sanayiye hangi işlerin verileceğinin, bu karara bağlı olarak hangi yan sanayiye hangi kalıbın tedarik edileceğinin de belirlenmesi gerekmektedir. Ek olarak yan sanayilerin bir ürünü üretebilmek için bir dizi yetkinliğe sahip olması gerekmektedir. Yardımcı yan sanayilerin üretme yetkinliği olan parça gruplarını kolayca çıkarsamaya yarayacak bir makine öğrenmesi kodu kullanıcı dostu bir arayüz ile tasarlanmıştır. Makine öğrenmesi ile parça gruplarını üretebilecek yetkin yardımcı yan sanayiler ve eniyi eşleşmeleri bulunmakta, ardından geliştirilen matematiksel model bu bilgiyi girdi olarak üretilecek miktarları belirlemektedir. Yaklaşımın, yan sanayisi ve benzer problemi olan pek çok işletmeye ve literatüre katkısı olacağı düşünülmektedir. Erişilebilen literatür incelendiğinde, bu problemin ele alındığı ve çözüm yaklaşımı geliştirildiği görülmemiştir. Çalışma sonuçları işletme ile paylaşılmış ve özellikle yan sanayi yetkinliğinin belirlenmesi konusunun karar sürecine önemli katkı sağlayacağı ve önerilen yaklaşımın uygulanabileceği belirtilmiştir.

MATHEMATICAL MODELING AND MACHINE LEARNING BASED PLANNING OF AUXILIARY SUB-INDUSTRY PART GROUPING AND MOLD ASSIGNMENT PROCESS

Keywords

Tiered auxiliary industry,
Sub-assembly part,
Mold assignment problem,
Sub-industry grouping,

Abstract

This study addresses the problem of optimizing the grouping of intermediate suppliers involved in producing parts used on the assembly lines of a company operating in the white goods sector, specifically focusing on enhancing production efficiency. The project will be conducted at a refrigerator manufacturing company with an annual market volume of 3.1 million units, exporting to approximately 62 countries worldwide. The company collaborates with numerous supplier industries in its

*Machine learning,
User-friendly
interface.*

location. However, many of these suppliers produce sub-assembly parts for the main company, which are then assembled at the facility before being installed into the final product. For example, the fan-blade and fan_frame are manufactured by two different suppliers and sent to the facility, where the fan motor and other parts are combined with the incoming components before pre-assembly. There are numerous sub-parassemblies parts and alternative suppliers capable of producing each. Delays in the supply of many parts coming from suppliers to the production line disrupt production. To improve this process, it is considered that suppliers should be grouped among themselves, and certain sub-assembly parts should be pre-assembled outside the company, and then delivered to the facility in a ready-to-assemble state, thereby increasing the efficiency of the production line. On the other hand, while this approach will save time for the main company, it will also incur additional costs. These additional costs include all packaging expenses for the grouped parts and all transportation costs involved. Moreover, optimizing the part grouping process requires revisiting the decision of which tasks to assign to which suppliers and, based on this decision, improving the process of providing molds to suppliers, which is under the responsibility of the main company. Solving this problem will reduce material downtimes and improve the logistics costs within the process. The company refers to the businesses involved in this scope as "tiered auxiliary industries" and makes some groupings based on experience, but the approach is not very systematic or scientific. The proposed solution involves first developing a mathematical model to address the problem. Following this, a machine learning algorithm, integrated with a user-friendly interface, is designed to easily identify part groups that auxiliary industries are capable of producing. The proposed approaches are expected to contribute both to companies facing similar challenges and to the academic literature. A review of the existing literature reveals that this specific problem has not yet been comprehensively studied, nor has a corresponding solution approach been developed.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 16.07.2024

Submission Date : 16.07.2024

Kabul Tarihi : 07.10.2024

Accepted Date : 07.10.2024

1. Giriş

Günümüzde pek çok işletme üretim sürecinde yan sanayilerden çeşitli malzeme, alt montaj parçası gibi tedarik etmektedir. Ana firmaya bu montaj parçalarının gecikmeli ya da istenen özelliklerde gelmemesi ana firmanın üretim sürecine doğrudan olumsuz etki eder. Ayrıca yan sanayilerin üretim için ihtiyacı olan kalıp gibi bazı ihtiyaçlar da kimi durumda ana sanayi tarafından karşılanır. Böylece hangi yardımcı yan sanayinin hangi parçaları üreteceği problemi, hangi yardımcı yan sanayilere hangi yardımcı ekipmanın tahsis edileceği problemini de beraberinde getirir. Bu süreçteki gecikmeler; üretimde gecikme, duruş ve bağlı olarak maliyet artışı demektir. Bu çalışma kapsamında alt montaj parçalarını üretip, ana işletme yerine yan sanayilerde birleştirilerek işletmeye iletecek şekilde yan sanayileri gruplamak ve üretim planlarını yapmak böylece süreçte verimliliği arttırmak hedeflenmektedir. Bu amaçla bir matematiksel model ve ayrıca makine öğrenmesi yardımı ile tahminleme yapan kullanıcı dostu bir ara yüz önerilmektedir.

Literatürde yan sanayilerin seçilmesi, kalıp ataması gibi konularda çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır ancak yan sanayilerin ve belirli montaj parçalarının üretiminin gruplanması, buna bağlı olarak yan sanayilere kalıp atanması gibi konularda çalışmalara rastlanamamaktadır.

Yan sanayilerle ilgili parti büyüklüğü belirleme, çizelgeleme gibi çalışmalar yapılmıştır (Eminoğlu, 2015),

Syam ve Shetty (1996) stok yönetimini kolaylaştırmak aynı zamanda lojistik süreçlerini iyileştirmek amacıyla tedarikçilerin gruplanmalarını sağlayacak sezgisel bir yaklaşım önermektedirler. Öte yandan makinalara bağlanması gereken kalıpları göz önüne alan çalışmalar yapılmıştır. Lin, Wong ve Yeung, (2002) makinaları türlerine göre kümelemek sonra da kalıp türlerini makine türlerine atamak için bir hedef programlama modeli, ardından bir sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir. Sıradaki işe göre kalıbın da değiştirilmesinin gerekliliğini ele alan çalışmalar bulunmaktadır (Chen ve Wu, 2006; Dastidar, 2004).

Boctor, Renaud ve Rapp (2009) spesifik bir işin yapılması için iki tip kalıbın gerektiği ve bu süreçte yine hazırlık zamanlarının gerektiği bir problem için çözüm önermiştir.

Rojas, Mercado, Solis ve Espinosa (2011) parçaların üretildiği makinaların kalıplarının birden fazla makinada kullanıldığı, talebin karşılanamadığı durumlarda dışarıya yaptırım yoluna gidildiği bir parça-kalıp-makine eşleştirme problemiyle ilgilenmişlerdir. Önce uygun kalıpların ilgili makinelere takıldığı ve sonra bir dizi parçanın üretildiği bir süreçte hangi makinada hangi parçanın ve hangi kalıpla üretileceği problemini çözmüşlerdir. Bu problemde üretilecek parçaya bağlı olarak bir kalıbın birden fazla makinada kullanılması da söz konusudur. Bunun için de bir kalıbın bir makinadan sökülüp yeniden başka bir

makinarya takılması nedeni ile ek hazırlık süresi gerekebilmektedir. Problem için bir matematiksel model geliştirilmiş ve iki aşamalı çözülmüştür.

Solis (2020) parçaların farklı kalıplarda ve makinalarda işlenebildiği bir üretim ortamında kalıp makine eşleştirmesi problemi ile ilgilenmiştir. İzci (2022) döküm kalıplarının makinalara atanması problemini çözmüştür.

Yan sanayilerle ilgili parti büyüklüğü belirleme, çizelgeleme, tedarikçi seçimi gibi çalışmalar yapılmıştır (Eminoğlu, 2015; Uluskan, 2022).

Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, yan sanayilerin ana sanayi için parça üreme yetkinliklerini makine öğrenmesi ile bulabilen ve yan sanayileri gruplayarak üretim miktarlarını belirleyen bir yaklaşım önermesidir. Yan sanayilerin ana işletme için üretebilecekleri parçalar konusunda yetkinliği de bir dizi teknik alt yapı gerektirebilmektedir. İşletmelerin yoğun iş temposu içerisinde bu kararları alırken, uygun ve alt yapısı yeterli firmaları belirlemesi de bir başka zaman alan zorluktur ve sektöre yeni firmaların girişi ile bu karmaşa artmaktadır. Böylece ele alınan problem, üretim sektöründe benzeri pek çok farklı işletmede görülebilecek nitelikte olduğundan geliştirilecek yaklaşımın diğer süreçlere ve literatüre de katkısı olacağı düşünülmüştür.

Çalışmanın izleyen bölümünde, problem ayrıntılı olarak tanıtılmış, üçüncü bölümde çözüm yaklaşımları sunulmuş ve geliştirilen matematiksel model ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Daha sonra matematiksel modele girdi teşkil eden ve yan sanayinin yetkinliği ile ilgili bir parametrenin, işletmenin elindeki dağınık veri setinden kolayca türetilmesini sağlayan ve makine öğrenmesi yardımı ile geliştirilen bir kod açıklanmaktadır. Mevcut durumda manuel yapılan bu çıkarsama, iş yükü getirmekte, doğruluğu kişinin o anki dikkatine göre değişebilmektedir. Bu tahminleme Python'da makine öğrenmesi tekniklerinden olan lojistik regresyon yöntemi ile yapılmış, geliştirilen matematiksel model de Phyton ortamına entegre edilerek türetilen parametrenin girdi olarak alınması sağlanmıştır. Çalışmanın son bölümünde tasarlanan bir kullanıcı dostu ara yüz tanıtılmaktadır. Dördüncü bölümde mevcut ve önerilen durum gerçek bir veri seti kullanılarak karşılaştırılmış, son bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

2. Çalışmanın Gerçekleştirildiği İşletme ve Karşılaşılan Problem

Bu çalışma Eskişehir Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren ve dünya çapında yıllık 3.1 milyon adet pazar hacmine sahip, yaklaşık 62 farklı ülkeye ihracat yapan, beyaz eşya sektöründe hizmet veren bir işletmede yürütülmüştür.

İşletme, bulunduğu konumda çok sayıda tedarikçi yan sanayi ile çalışmaktadır. Ancak bu yan sanayilerin ana firma için ürettiği bazı alt montaj parçaları ürüne monte edilmeden önce ana işletmede birleştirilmektedir. Örnek olarak Şekil 1'de gösterilen fan pervanesi ve fan çerçevesi iki ayrı yan sanayide ayrı ayrı üretilip işletmeye gönderilmekte, yurt dışından işletmeye getirilerek tedarik edilen bir fan motoru ile birleştirilmekte, daha sonra bu üç parçalı montaj parçasının (fan

pervanesi, çerçevesi ve motorundan oluşan) ana ürüne montaj işlemi gerçekleştirilmektedir. Fan pervanesi, fan çerçevesi gibi pek çok alt montaj parçası ve bunların her birini ya da birkaçını birden üretebilecek alternatif yan sanayiler bulunmaktadır.



Şekil 1. Örnek Montaj Parçaları

Bu süreçte parçaların farklı yan sanayilerde üretilmiş olması beraberinde pek çok sorunu getirmektedir. Örneğin, işletmelerin kendi aralarında performans farklılıklarının olması, tedarikte yaşanan araç temini-zamanlama-planlama gibi sıkıntılar, bitmiş ürünün termininde sıkıntı yaratabilmektedir. Ana firma lojistik ve ambalajlama sürecini ve maliyetini üstlenmekte, ancak söz konusu sürecin iyi planlanamaması, zaman ve müşteri kaybına ayrıca maliyet artışına sebep olmaktadır. İşletme öncelikle olabildiğince az sayıda yan sanayi ile çalışmayı ve mümkünse bir firmada birden fazla montaj parçasını ürettirmeyi istemektedir.

Bu çalışmada diğer bir durum, ana sanayi için bir yan sanayinin hangi parçayı üretebilme yetkinliği olduğunu belirlemektir. Bu durum bir dizi koşula bağlı olan ve hali hazırda elde bulunan verilerin karmaşıklığı nedeniyle hemen görülemeyen bir konudur. Örneğin, bir firmanın bir parçayı üretebildiğini söyleyebilmek için o parçanın yer aldığı grubun hangi tonajda makinede üretildiğine ve firmanın elinde o tonaja uygun presinin olup olmadığına bakılmaktadır. Ayrıca işletmenin o parça grubunun üretimi için gereken bir dizi işlemi (sıcak baskı, boyama vb.) yapacak alt yapısının olup olmadığına da kontrol edilmesi gerekmektedir. Ek olarak bu özellikler bir firma için zaman içerisinde değişebilmektedir. Yardımcı sanayilere kalıp temini ana firma tarafından da yapılabilir. Bu nedenle bu süreçte hangi yan sanayiye hangi kalıbın tahsis edileceği de önemli bir karar problemidir.

Bu problemi çözebilmek için bazı alt montaj parçalarının firma dışında birleştirilmesi ve montaja hazır halde işletmeye getirilmesi düşünülmüştür. Bu durum ayrıca hangi yan sanayilerin hangi parçaları üretilip birleştireceği gibi önemli kararları beraberinde getirecektir. Gruplama, nihai ürüne entegre edilecek ve montaj öncesi birleştirilmesi gereken bir ya da birden fazla montaj parçasını üretme işi verilecek bazı firmaların, ürettikten sonra birleştirecekleri montaj parçalarına karar vermek anlamına gelmektedir. Ancak gruplamanın da

en az sayıda olması ama zorunlu durumlarda da en iyi gruplama kararlarının verilmesi hedeflenmektedir.

Bu konu işletme için zaman kazandıracak ancak ek maliyetler de getirecektir. Buradaki ek maliyetler gruplanacak parçaların tüm ambalajlama ve aradaki tüm taşıma maliyetleridir. Ancak bu problemin çözülmesiyle malzeme duruşlarının azaltılması ve süreç içerisindeki lojistik masraflarının iyileştirilmesi sağlanacaktır.

Firma yan sanayi işletmelerini “kademeli yardımcı sanayiler” olarak adlandırmakta olup Şekil 2’de gösterildiği gibi gruplanmış parça üretimi için kademeli yardımcı sanayilerin öncelikle yetkinliği varsa, gruplanmış parçaları kendi işletmesi içerisinde üretmesi, aksi durumda 2’şerli, 3’erli ya da daha fazla sayıda olacak şekilde birkaç yan sanayi tarafından birleştirilmeleri düşünülmektedir.



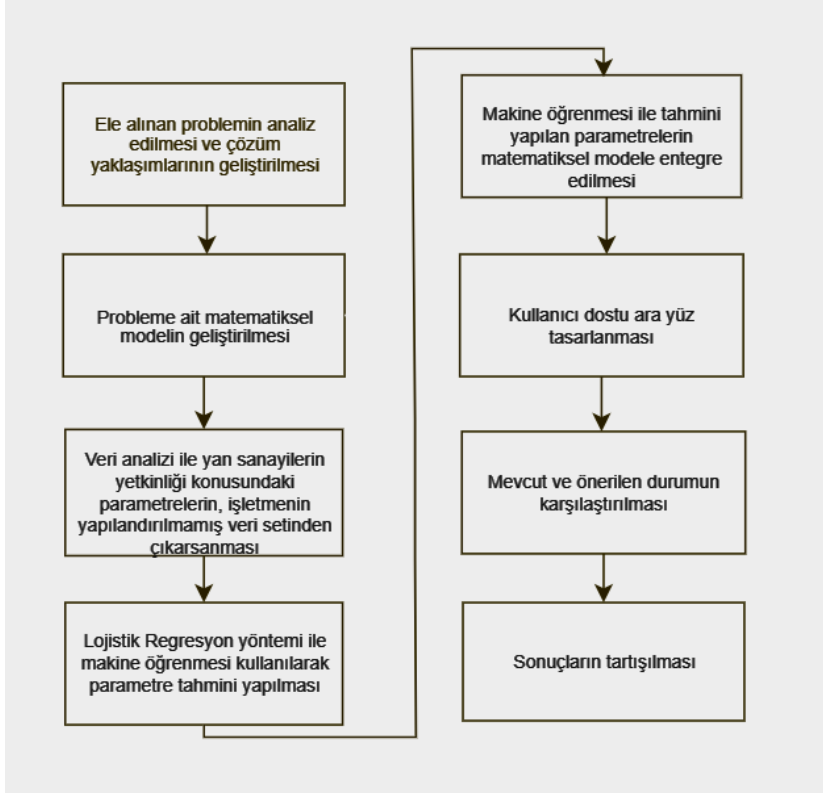
Şekil 2. Yardımcı Sanayi Lojistik Süreci

3. Yöntem

Yardımcı yan sanayilerin ana sanayi için parça ürettiği sistemlerde, en iyi firma gruplamasını ve bu firmalara en iyi kalıp atamasını yapmak ayrıca firmaların parça gruplarından üretecekleri miktarları bulmak için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Erişilebilen literatürde bu problemle karşılaşmadığı için geliştirilen model özgündür. İzleyen bölüm geliştirilen matematiksel modeli açıklamakta ardından çözüm sonuçlarına yer verilmektedir.

Geliştirilen matematiksel modelin girdisi olan parametrelerin bilindiği varsayılmıştır. Fakat gerçek hayatta parametreler kontrol edilemeyip değişkendir. Bu çalışma kapsamında makine öğrenmesi yardımı ile bu parametreler tahmin edilmiş ayrıca geliştirilen kullanıcı dostu bir arayüz de izleyen bölümlerde açıklanmıştır.

Problemin çözümü için geliştirilen yaklaşım Şekil 3 'te verilmiştir.



Şekil 3. Geliştirilen Çözüm Yaklaşımı

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1. Geliştirilen Matematiksel Model

Önerilen matematiksel modelin indis, parametre, karar değişkenleri, kısıt ve amaç fonksiyonu aşağıda verilmektedir.

İndisler

$i = j$: Firmalar $(1, \dots, n)$

k : Parça grubu $(0, \dots, m)$

t : Tonajlar (t_1, \dots, l)

Parametreler

a_k : k . parça grubunun talebi (adet)

d_{ijk} : i ve j firmalarının beraber k . parça grubundan üretebilme kapasiteleri (adet)

e_t : t . tonajdaki kalıbı kullanan makinanın aylık çalışma kapasitesi (dakika)

g : Bir parça grubu aynı işletmede üretildiğinde ana işletmeye sağladığı fayda *

h : Bir parça grubu farklı işletmede üretildiğinde ana işletmeye sağladığı fayda *

l_{kt} : k . parça grubu t . tonajda makinada üretiliyorsa 1; d.d 0

p_k : k parça grubunun birim üretim süresi (dakika)

n_{ik} : i . firmanın k . parça grubundan tek başına üretme kapasitesi

f_{ik} : i . firma k . parça grubunu üretebiliyorsa 1; d.d 0

* Projede amaç bir işletmede olabildiğince çok sayıda parça grubu üretmek bir başka deyişle tüm parça gruplarını olabildiğince az sayıda işletmede üretmektir. Bu nedenle amaç fonksiyonunda, bir parça grubu aynı işletmede üretildi ise bu durumun katkısı daha büyük alınmaktadır.

Karar değişkenleri

X_{ijk} : i ve j . firma k . parça grubunu birlikte üretiyorsa 1; d.d 0

Y_{ijk} : i ve j . firmanın k . parça grubundan ürettikleri miktar

Kısıtlar

Eğer k . parça grubu t . tonajdaki kalıp makinesinde üretiliyorsa o zaman i . firmanın t . tonajda kalıp makinesinin ve i . firmanın k . parça grubunu üretebilme yetkinliğinin olması gerekir, özetle i . firmanın, k . parça grubunu üretebilme yetkinliği varsa i . firmaya kalıp ataması yapılabilmektedir.

$$X_{ijk} \leq f_{ik} \quad \forall i, j, k \quad (1)$$

i ve j . firmalar ancak gruplandı ise birlikte k . parçayı üretebilirler.

$$Y_{ijk} \leq M * X_{ijk} \quad \forall k \quad (2)$$

$$X_{ijk} \leq Y_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

i ve j firmaların eşleşip k . parça grubundan ürettikleri miktar, i ve j firmaların beraber k . parça grubundan üretebilme kapasitelerini aşamaz.

$$Y_{ijk} \leq d_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (4)$$

Her parça grubunun talebi karşılanmalıdır.

$$\sum_{i,j} Y_{ijk} \geq a_k \quad \forall k \quad (5)$$

Stok politikası gereği, her parça grubunun toplam üretim miktarı talebinin en fazla yüzde onu kadar fazla olabilir.

$$\sum_{i,j} Y_{ijk} \leq 1.1 * a_k \quad \forall k \quad (6)$$

Bir firmanın kendi başına ya da diğer firmalarla birlikte bir parça grubundan ürettiği toplam miktar, o firmanın ve birlikte o parçayı ürettiği varsa diğer firmaların o parçayı tek başına üretme kapasiteleri toplamını aşamaz.

$$\sum_j Y_{ijk} \leq n_{ik} + \sum_j X_{ijk} * n_{jk} \quad \forall i, k \quad (7)$$

Bir parça grubunun üretim süresi makine kapasitesini aşamaz.

$$\sum_i \sum_j \sum_k Y_{ijk} * l_{kt} * p_k \leq e_t \quad \forall t^{**} \quad (8)$$

**Aynı parça grubundaki parçaların aynı tonajdaki kalıp makinalarında üretildiği varsayılmıştır.

Amaç Fonksiyonu

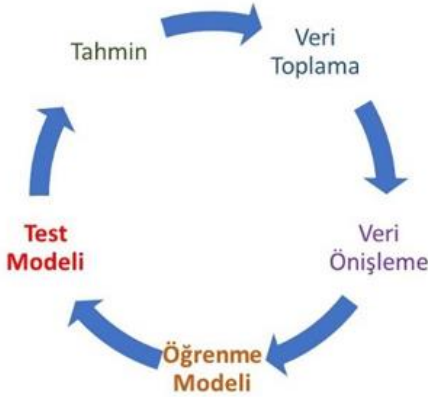
$$EnbZ = \sum_k \cdot \sum_{i=j} g * Xijk + \sum_k \cdot \sum_{i \neq j} h * Xijk \quad (9)$$

Parça gruplarının olabildiğince aynı firmada üretilmesini sağlamaktır.

3.2. Makine Öğrenmesi ile Parametre Tahmini ve Matematiksel Modelin Çözdürülmesi

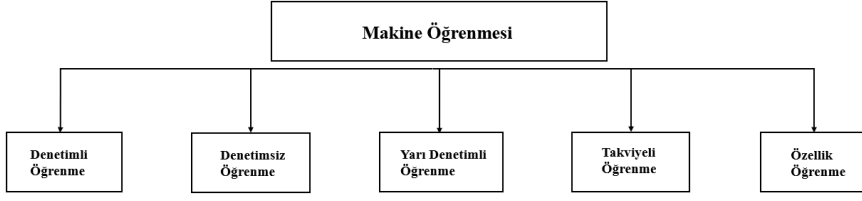
Makine Öğrenmesi, veri setlerinin istatistiksel yöntemler ve algoritmalarla analiz edilerek, belirli bir problemle ilgili tahminler yapabilen matematiksel modellerin oluşturulmasına olanak verir. Makine öğrenmesi algoritmaları, veri setlerindeki desenleri ve ilişkileri tanımlayarak gelecekteki verileri tahmin etme veya kararlar alma yeteneği kazanır (Alpaydın, 2014).

Şekil 4'de görüldüğü gibi bir makine öğrenmesi döngüsü, veri toplama, ön işleme, model uygulama ve sonuçların test edilmesi adımlarını içerir. Bu döngü, sürekli olarak veri setlerini analiz ederek modellerin geliştirilmesini sağlar.



Şekil 4. Makine Öğrenmesi Döngüsü

Makine öğrenmesi yöntemleri; Şekil 5 'teki gibi beş ana kategoriye ayrılır. Kısaca açıklamak gerekirse denetimli öğrenme, etiketlenmiş veri kullanarak model eğitimi yapar. Etiketlenmiş veri, her veri noktasının doğru cevabının bulunduğu bir veri setidir. Model, bu etiketlenmiş verilerle eğitilerek, verilerdeki özelliklerle doğru cevaplar arasındaki ilişkiyi öğrenir. Denetimsiz öğrenme, etiketlenmemiş veri kullanarak model eğitimi yapar. Etiketlenmemiş veri, veri noktalarının doğru cevaplarının bilinmediği bir veri setidir. Bu yöntem ile, verilerdeki gizli kalıpların bulunmasına çalışılır. Yarı denetimli öğrenme, eğitim sırasında az miktarda etiketlenmiş veri ile büyük miktarda etiketlenmemiş veriyi birleştirir. Takviyeli öğrenme, bir algoritmanın belirli bir çevrede hareket ederek ve bu hareketlerin sonuçlarını değerlendirerek öğrenmesini içerir. Özellik öğrenme ise, ham verilerden anlamlı ve yararlı özelliklerin otomatik olarak çıkarılmasını içerir. Bu hem denetimli hem de denetimsiz öğrenme yöntemlerinde kullanılabilir (Alpaydin, 2014).



Şekil 5. Makine Öğrenmesi Yöntemleri

Makine öğrenmesi pek çok amaçla kullanıldığı gibi parametre tahmini yapılması, belirli bir modelin veya sistemin parametrelerinin eniyilenerek daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini de sağlamaktadır. Bu süreç, genellikle regresyon analizi, sınıflandırma algoritmaları ve diğer modelleme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Bakdemir, 2024).

Bu bilgiler ışığında, çalışma kapsamında; denetimli öğrenme yöntemi kullanılarak, mevcut veri seti üzerinde firma yetkinlikleri, tonaj kapasiteleri ve parça gruplarına uygunluk durumları arasındaki ilişki öğrenilerek yeni firmalar için bir parçayı üretebilme durumu tahmin edilmektedir. Burada tahmin edilen parametre, geliştirilen matematiksel modelde yer alan f_{ik} parametresidir. Bu yapının Python ortamında geliştirilen kullanıcı dostu bir arayüz ile matematiksel modele entegrasyonu sağlanmıştır. Burada “uygunluk” kavramı; hangi firmaların hangi parça gruplarını hem tek başlarına hem de birbirleri ile üretebilecekleri anlamına gelmekte olup, uygunluğu sistematik bir şekilde makine öğrenmesi yardımı ile doğru ve hızlı çıkarsamak amaçlanmıştır. Mevcut durumda işletmede bu sonuca ulaşmayı sağlayacak verilerin çok karmaşık bir düzende ve ayrı veri setleri halinde bulunduğu ve ihtiyaç olduğunda doğru kararı

vermenin zorluğu görülmektedir. Uygunluk bilgileri ise üretim miktarlarına ve firma eşleştirmelerine karar verecek matematiksel modele girdi olacaktır. Uygunluk çıkarsamasını makine öğrenmesi ile yapabilmeyen ilk adımı olarak, giriş verileri (x) kapsamında firma yetkinlikleri ve tonaj kapasitelerinin birleştirilmiş hali kullanılmış, etiketler (y) olarak da her firmanın parça gruplarına uygunluk etiketleri belirlenmiştir. Probleme en uygun model olan lojistik regresyon algoritması seçilmiş ve her parça grubu için ayrı bir lojistik regresyon modeli eğitilmiştir. Bu eğitim sürecinde %80 eğitim ve % 20 test olacak şekilde setlere ayrılmıştır. Bu oran, makine öğrenmesi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan orandır. Pek çok projede, %80 eğitim ve %20 test oranı, dengeli bir öğrenme ve değerlendirme sağlamakta olup ayrıca elimizdeki veri seti göreceli olarak küçük olduğundan daha fazla veri eğitime ayrılmış durumdadır. Ardından veriler standartlaştırılmış ve lojistik regresyon modelleri bir kez daha eğitilmiştir. Son olarak, eğitilen modeller kullanılarak test seti üzerinde tahminler yapılmış ve doğruluk oranları hesaplanmıştır. Ayrıca, yeni veriler üzerinde tahmin yapılırken, eğitim aşamasında öğrenilen modeller kullanılmıştır. Bu şekilde, denetimli öğrenme yöntemiyle, mevcut verilere dayalı olarak parça gruplarına uygunluk durumlarının tahmin edilmesi ve yeni firmalar için uygunluk tahminlerinin yapılması sağlanmıştır. Bu işlemler sonucunda matematiksel modele girdi teşkil edecek fik (i . firmanın k . parça grubunu üretebilme durumu) parametresi tahmin edilmiştir.

Örnek olarak alınan belirli sayıda parça grubu için ihtiyaç duyulan pres tonajı ve yetkinlikleri Tablo 1'deki gibi olup firmalara ait veriler lojistik regresyon ile filtrelenmiş ve istenen tüm şartları sağlayan firmalar gösterilmiştir.

Tablo 1

Örnek Bazı Parça Grupları için Gerekli Pres Tonajları ve Yetkinlikleri

Parça Grubu	İhtiyaç Duyduğu Pres Ağırlığı (Ton)	Parça Grubunu Üretmek için Gereken Yetkinlikler
k_0	500	Sıcak baskı (roll on 3d), sıcak baskı (up&down),boya, kablolu gruplama, sıcak baskı (roll on 2d), gruplama (kompleks),gruplama (standart)
k_1	600	Boya, gruplama (standart)
k_2	750	Gruplama (standart), ultrasonik kaynak
k_3	600	Gruplama (standart), ultrasonik kaynak
k_4	700	Gruplama (standart), sıcak baskı (up&down)
k_5	550	Ultrasonik kaynak, gruplama (kompleks)
k_6	200	Gruplama (kompleks), sıcak baskı (up &down)

Parça gruplarının ihtiyaç duyduğu Tablo 1’de verilen gereklilikler dikkate alınarak, lojistik regresyon ile yapılan tahmin sonucu, önerilen *parça grubu-firma* eşleştirmeleri ve bu eşleştirmelerin doğruluk dereceleri Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2

Regresyon Analizi ile Elde Edilen ve ilgili Parça Gruplarını Üretebilecek Firmalar

Parça Grubu	Uygun Firmalar	Doğruluk Oranı
k_0	F5	1.0
k_1	F5, F6, F7, F8	1.0
k_2	F4, F6	1.0
k_3	F5, F7	1.0
k_4	F4, F5, F6, F7, F11, F14	0.6
k_5	F4, F5, F8	1.0
k_6	F4, F5, F7, F4	1.0

Tablo 2 ’de görüldüğü üzere örnek olarak k_1 grubunda yer alan alt montaj parçalarını altı, yedi ve sekiz nolu firmaların her biri üretmeye yetkin bulunmuştur. İlgili parça grubunun Tablo 1’de istenen özellikleri sağlayacak teknik donanım, söz konusu yardımcı yan sanayilerde mevcuttur, ayrıca ilgili parça grubunun ihtiyaç duyduğu kalıbı sağlayabilecek nitelikte makine ve pres de bu işletmelerde bulunmaktadır. Bu atamalarda sadece k_4 parça grubu 0.6 doğrulukla diğerleri ise daha yüksek bir doğrulukla eşleştirilmiştir. Bunun nedeni veri setinin küçük olması olabilmektedir ve aslında k_4 parça grubunu üretebilen F12 işletmesinin de yetkin olduğunun yakalanamamasıdır. Ancak geliştirilen tahminleyicinin genel olarak yüksek doğrulukta çalıştığı görülmektedir.

3.4. Önerilen Kullanıcı Dostu Arayüz

Makine öğrenmesi ile elde edilen ve önceki bölümde açıklanan firma yetkinlik parametreleri matematiksel modelde kullanılarak hangi firmaların tek başına ya da başka firmalarla birlikte ve hangi parça gruplarını hangi miktarlarda üretecekleri tanımlanan yaklaşımlarla bulunabilmektedir. Öte yandan bu işlemlerin uzmanlık, modelleme, programlama bilgisi gerektirmeden yapılıp, ana sanayinin hangi parça gruplarını hangi yardımcı yan sanayilere ürettireceği ve gruplama yapacağı sorusunu kolayca yanıtlayabileceği kullanıcı dostu bir arayüz

geliştirilmiştir. Arayüz; Tablo 1’de örneklenen ve parça gruplarının hangi tür yetkinliklere ve prese ihtiyaç duyacakları gibi bilgileri, firmaların sahip oldukları teknik alt yapı ve özellikleri de göz önünde bulundurarak arka planda regresyon işlemleri ile analiz etmekte ve kullanıcıların kolayca parça ve firma gruplaması yapabilmelerini sağlamaktadır. Ayrıca, veri setinde olmayan durumlarla karşılaşıldığında da makine öğrenmesi sayesinde kullanıcıya yardımcı olabilecek kararlar üretilebilmesi sağlanmıştır. İzleyen kısımda arayüzün geliştirilme aşamaları, kullanılan veriler ve Python kapsamındaki teknik detaylar açıklanmaktadır.

Python’da bir arayüz geliştirmek, kullanıcıların programla etkileşim kurmasını sağlayan görsel bir platform oluşturma sürecidir. Bu süreçte genellikle Tkinter, PyQt veya Kivy gibi Python kütüphaneleri kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında Tkinter-kütüphanesi kullanılmıştır. Arayüzde parça grupları ve tonaj bilgileri açılır menü olarak kullanıcılar tarafından birer tane seçilecek şekilde tasarlanmıştır. Gerekli yetkinlikler kısmında ise her bir yetkinliğe ait numaralar verilmiş olup buradan istenilen sayıda yetkinlik girilebilmektedir. Böylece tüm şartlara uygun üretim yapabilecek firma veya firmalar listelenmektedir. Arayüze ait kullanıcı ekranı ve bir örnek kullanım Şekil 5 ve 6’da açıklanmaktadır.

Veri girişi için k_4 parça grubu ele alınmıştır. Bu parça grubu Tablo 1’e göre 700 ton ağırlığında bir pres makinesine ve üretimi için gerekli yetkinlik açısından da üç nolu yetkinlik olan “gruplu plastik (standart)” ve 13 nolu yetkinlik olan “sıcak baskı (up& down)” işlemlerine ihtiyaç duymaktadır. İstenen şartlar Şekil 6’da gösterildiği gibi arayüze girilmekte, “ uygun firmaları bul “ butonuna basılarak Şekil 7’de gösterilen sonuç elde edilmektedir.

Parça Grubu:
k4

Gerekli Pres (ton):
700

Gerekli Yetkinlikler (virgülle ayırarak):
3,12

Uygun Firmaları Bul

1	PLASTİK ENJEKSİYON
2	GAZ ENJEKSİYON
3	GRUPLU PLASTİK (STANDART)
4	GRUPLU PLASTİK (KOMPLEKS)
5	DISPLAY GRUPLAMA
6	BOYAHANE
7	KABLO ÜRETİMİ
8	KABLOLU GRUPLAMA
9	ESD(ELEKTROSTATIC DISCHARGE)
10	SICAK BASKI (ROLL ON 2D)
11	SICAK BASKI (ROLL ON 3D)
12	SICAK BASKI (UP&DOWN)
13	SERİGRAFİ
14	ULTRASONİK KAYNAK
15	ALINLIK VE BOYDAN SAPLAR
16	EVA VE SUNİ DERİ ÜRÜNLERİ
17	E-MARKING
18	PVD KAPLAMA
19	MAKİNE MONTAJ

Şekil 6. İstenen Yetkinliklerin (örnekte 3 ve 12 nolu yetkinlikler) Girilmesi

Şekil 7'de görüldüğü gibi ara yüz, firma 4, 5, 6, 7, 11, 12 ve 14'ü bu yetkinlikte olarak göstermiştir.

Parça Grubu:
k4

Gerekli Pres (ton):
700

Gerekli Yetkinlikler (virgülle ayırarak):
3,12

Uygun Firmaları Bul

Gerekli pres 700 ve yetkinlikler [3, 12] için uygun firmalar: Firma 4, Firma 5, Firma 6, Firma 7, Firma 11, Firma 12, Firma 14

Şekil 7. Uygun Firmaların Bulunması (örnekte F4, F5, F6, F7, F11, F12 ve F14 nolu firmalar)

4. Örnek Problemin Çözümü, Mevcut ve Önerilen Durumların Karşılaştırılması

Bu bölümde bu yaklaşımın katkısını görmek için bir gerçek veri seti için mevcut durum ve önerilen yaklaşım ile elde edilen sonuç karşılaştırılmaktadır. Problem ile literatürde karşılaşılmadığından test verisine erişmek mümkün değildir. İşletmenin Haziran 2024 ayına ait bir kesit için paylaştığı üretim ve firma bilgileri örnek problem için kullanılmıştır.

Mevcut durumda işletmede 14 yardımcı yan sanayi firması, yedi parça grubu, bu parça grupları içerisinde de sırayla 20, 2, 2, 3, 5, 4, 6 adet parça ve 24 tane farklı tonajlarda pres makinası bulunmaktadır. Örnek çözüm için beş firma, dört parça grubu ($k1$, $k2$, $k3$ ve $k5$) ve bu parça grupları için gereken dört tane ve her biri farklı tonajlarda (600, 750, 550 ve 650) pres makinasına ait Tablo 3 ve Tablo 4'teki veriler kullanılmıştır. Bu veriler matematiksel modelin parametreleri olan; talep, firmaların beraber üretebilme kapasiteleri, bir parça grubunun ihtiyaç duyduğu tonaj, birim üretim süreleri ve makine kapasiteleri gibi bilgileri içermektedir.

Tablo 3

Parça Grupları için Kullanılan Veriler

Parça Grubu (k_i)	İçerdiği Parça Sayısı (Adet)	İhtiyaç Duyduğu Pres Ağırlığı (Ton)	Parça Grubu Talebi (Adet)	Birim Üretim Süresi (dk)
$k1$	20	600	5750	3
$k2$	2	750	700	1
$k3$	2	550	700	1
$k5$	5	650	1410	2

Firmaların parça gruplarını üretme kapasiteleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4

Firmaların Parça Gruplarını Üretebilme Kapasiteleri (aylık)

Firma/parça grupları	$k1$.parça grubu	$k2$.parça grubu	$k3$.parça grubu	$k5$.parça grubu
F4	-	700	-	1.000
F5	2.950	-	900	820
F6	630	1100	-	-
F7	990	-	840	-
F8	790	-	-	840

Makinelerin aylık üretim süresi kapasitesi 14.400 dakika olarak verilmiş olup ana firma bir parça grubunun mümkün olduğunca aynı işletmede üretilmesini istemektedir. Buna karşın, gruplama yani birkaç firmanın bir parça grubunu birlikte üretmeleri, firma kapasiteleri nedeniyle zorunlu olmakta, ana firma bu durumda bunu en aza indirmeyi hedeflemektedir. Bu nedenle, parça gruplarının aynı firmada üretilmesinin katkısının farklı firmada üretilmesine göre daha fazla olduğu öngörülmüştür.

Önerilen çözümün elde edilmesinde iki aşamalı işlem söz konusudur. İlk aşamada üretilmesine ihtiyaç duyulan parça gruplarını üretebilecek firmalar (f_{ik} parametresi) makine öğrenmesi ile belirlenmektedir. Sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir. Tablo aynı zamanda mevcut durumda ilgili parça grubunu hangi firma ya da firmaların üretmekte olduğu bilgisini de göstermektedir. Tablo 5'e göre mevcut durumda örneğin $k1$ parça grubu beşinci firma tarafından üretilmekte iken önerilen durumda bu parça grubunu aslında beşinci firmaya ek olarak altı, yedi ve sekizinci firmaların da üretebileceği ortaya çıkmıştır. Bu durum matematiksel modele daha fazla uygun firma seçeneği vermeyi, f_{ik} parametresini ayrıca türetebilmiş olma sayesinde vermektedir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Gerçekte firma karmaşık veri setinden, istenen parça grubunu teknik olarak üretme yetkinliğine sahip olan uygun firmaları her zaman belirleyememektedir, bu nedenle bir yan sanayinin teknik alt yapısı ve kapasitesi olduğu halde iş verebileceği alternatif firmaları hızlıca görememektedir. Firmaların teknik özelliklerinin değişebilmesi, yeni yatırımlar, büyüme gibi nedeniyle de bu durum dinamiktir. Yoğun iş temposu esnasında, ihtiyaç ortaya çıktığında firmalara işler kısa sürede karar vererek ve bazen düşük verimde verilebilmekte, herhangi bir olurlu çözümlerle yetinilmekte, daha uzak mesafede, daha düşük verimle çalışan ya da termine uyma yüzdesi düşük olan firmalarla çalışılabilmektedir.

Tablo 5

Mevcut ve Önerilen Durumdaki Firma Eşleşmeleri

Parça grupları (k_i)	İhtiyaç Duyduğu Pres Ağırlığı (Ton)	Mevcut Durumda Üreten Firmalar	Makine Öğrenmesi İle Bulunan Üretebilecek Firmalar
k_1	600	F5	F5, F6, F7, F8
k_2	750	F6	F4, F6
k_3	550	F5, F7	F5, F7
k_5	650	F5, F8	F4, F5, F8

İkinci aşamada ise bu firmaların üretim miktarları bulunmaktadır. Geliştirilen matematiksel model öncelikle GAMS 46.5.0 ile (Python kodunda da çözdürülebilmekte ve aynı sürede çözüm elde edilmektedir) yaklaşık 0,02 sn. de çözdürülmüş olup firma eşleşmeleri ve üretilecek parça miktarları Tablo 6’ da verilmiştir.

Tablo 6

Önerilen Firma Grupları ve Üretim Miktarları

Eşleşen Firma - Parça Grubu	Üretim Miktarları (adet)
F4.F4.k2	700
F4.F5.k5	580
F5.F5.k3	770
F5.F5.k5	820
F6.F6.k1	630
F6.F7.k1	140
F6.F8.k1	1420
F7.F7.k1	990
F7.F8.k1	1780
F8.F8.k1	790

Örnek olarak F4.F4.k2 ifadesi dördüncü firmanın kendi başına ikinci parça grubundan 700 tane üreteceği anlamına gelirken, F6.F8.k1 ifadesi altı ve sekizinci firmaların birlikte birinci parça grubunu 1420 adet üreteceği anlamına gelmektedir. Aslında bu parça grubunu F6 ve F8 firmalarının birlikte üretmeleri, üretim bitince montajını da yaparak işletmeye gönderecek olmaları anlamına gelmektedir. Parça grubunu belirli bir miktarda ya da tümüyle kendi işletmesinde üreten yardımcı yan sanayi ise (örneğin F4F4k2- k2 parça grubunun tüm alt bileşenlerinin F2 de birleştirilmesi) montajını da kendi işletmesinde yapmaktadır, ancak başka bir firma ile birlikte de ürettiğinde bu montaj işlemini birlikte koordine etmeleri gerekmekte bu sürecin lojistik giderlerini (araç temini, ambalajlama gibi) ana firma karşılamaktadır.

Aynı talep verileri ve firma bilgileri için mevcut durumdaki firma eşleşmeleri ve üretim miktarları ise Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 7

Mevcut Durum Üretim Miktarları

Firmalar ve Ürettikleri Parça Grupları (<i>Fijk</i>)	Üretim Miktarı (adet)
F5.F5.k1	2950
F6.F6.k2	700
F5.F7.k3	860
F5.F5.k5	820
F8.F8.k5	840

Mevcut durumda örnek olarak *k1* parça grubunun talebi Tablo 6'ya göre 5750 adet olduğu halde, Tablo 7'ye bakıldığında *k1*'i sadece F5'in üretmesine karar verilmiştir (2950 adet). Bu firma da bu parça grubunu ancak kapasitesi kadar üretebilmiştir, bu nedenle karşılanamayan talep olmuş ve izleyen dönemde ya da gecikmeli olarak talep karşılanmıştır. Oysa önerilen durumda Tablo 5'e göre bu parça grubunu üretme yetkinliği olan F6, F7 ve F8 firmalarına da Tablo 6'da görüldüğü gibi *k1* parça grubunun üretim işi dağıtılmış ve talep tam olarak karşılanmıştır. Ayrıca *k5* parça grubu mevcut durumda 1400 birim olan talebinin üzerinde (1660 adet) üretilerek fazla stoğa ve stok maliyetine yol açılmıştır. Belirli bir oranda stok fazlasına izin verilse de bu farkın belirli bir oranın üzerine (yaklaşık %10) çıkması istenmemekte fakat üretim planında çok sayıda parça grubu ve yardımcı yan sanayi olması, sistematik bir yaklaşımın olmaması gibi nedenlerle bu durum etkin bir şekilde kontrol edilememektedir. Buradan hareketle mevcut durumda bazı parça gruplarında (*k1*) talep %51 oranında karşılanmış iken bazı parça gruplarında (*k5*) %17 fazla üretilmiş, önerilen durumda ise talepler tam olarak karşılanmıştır. Üretim olabildiğince aynı firmada gerçekleşmiş, sadece *k3* parça grubunda talep, %10 fazla (talep 700 iken 770 adet) ama izin verilen sınır içinde fazla üretilmiştir. Ayrıca eşleşmeler sonucu, seçilen parça gruplarına uygun olarak firmalara atanması gereken kalıplar da Tablo 8 'de gösterilmiştir.

Özetle, mevcut durumda alt montaj parçalarını üretim hatlarında kendi birleştiren ve seçilen parça grupları için yetkin olduğu halde daha az yardımcı yan sanayi ile çalışan işletmeye daha verimli bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşıma göre, ana firma, hem alt montaj parçalarını yardımcı yan sanayilerden birleştirilmiş şekilde alabilecek hem de seçilen parça grupları için daha fazla sayıda alternatif firma ile çalışacaktır. Öte yandan bir yardımcı yan sanayinin yetkin ise, olabildiğince bir parça grubunu tümüyle kendisinin üretmesi de sağlanmaktadır. "Mevcut durumda *k1* parça grubunu sadece tek bir firma üretiyorken, önerilen durumda bu parça grubunu üretmeye yetkin diğer firmalara da iş verilerek daha fazla firma ile çalışılmıştır. Bu firmalar ise altıncı, yedinci ve sekizinci firmalardır. Ardından ilgili firmalarla da üretim yapılmış ve

talep karşılanmıştır. Bu parça grubu için talep yüksek olduğundan zorunlu olarak birden fazla firma üretmiştir.

Tablo 8

Parça Grubuna Göre Kalıp Ataması Yapılacak Firmalar

Parça grubu (<i>ki</i>)	Kalıp ataması yapılacak firma
<i>k1</i>	F6, F7, F8
<i>k2</i>	F4
<i>k3</i>	F5
<i>k5</i>	F4, F5

5. Sonuçlar

Bu çalışmada ele alınan problem, beyaz eşya sektöründe hizmet veren bir firmanın montaj hatları için kendisine parça üreten yan sanayilerde, bu parçaların birleştirilerek işletmeye gelmesi ve üretim sürecinde aksamaların azaltılmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda en iyi firma gruplamasını ve bu firmalara en iyi kalıp atamasını yapmak ayrıca firmaların parça gruplarından üretecekleri miktarları bulmak için bir yaklaşım önermek istenmiştir.

Problemin çözümü için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bir firmanın bir parça grubunu üretebilme yetkinliğini ifade eden parametrenin makine öğrenmesi yardımıyla karmaşık bir veri setinden türetilebilmesi için kullanıcı dostu bir arayüz geliştirilmiştir. Mevcut durumda ancak birkaç farklı veri setinden yararlanılarak, manuel bir biçimde ve hata yapmaya açık bir süreçle elde edilebilen bu parametrenin makine öğrenmesi ile parametre tahmini yaparak çıkarsama yapmak tüm sürecin etkinliğini arttırmıştır. Sonuçlar işletme ile paylaşılmış ve doğrulanarak süreçte kullanılacağı ve verimi arttıracığı belirtilmiştir. Bu tahminleme Python'da makine öğrenmesi tekniklerinden denetimli öğrenme ile ve lojistik regresyon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek bir veri seti için mevcut ve önerilen durum karşılaştırılmıştır. Mevcut durumda bazı parçalarda % 51 oranında karşılanmayan talep varken, bazı parça gruplarında ise talebin %17 oranında üzerinde üretim gerçekleşmiştir. Önerilen durumda talepler %100 oranında karşılanmış, tek bir parça grubunda stok oluşmuştur. Ancak işletme %10 oranında stok oluşmasına izin verdiği için stok maliyetinin de bu oranla sınırlanması sağlanmaktadır. İşletme yan sanayilerin bu süreçteki lojistik maliyetlerini üstlenmektedir, öte yandan önerilen sürecin lojistik maliyeti olarak getireceği ek yük bu aşamada veri elde edilememesi sebebiyle ortaya konamamıştır. Ancak sözkonusu işletmelerin büyük çoğunluğu aynı organize sanayi bölgesinde konumlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında ana firma ve çok sayıda yan sanayi firması bulunmaktadır. Burada önerilen yaklaşım hem ana firma hem yardımcı sanayi firmalarına katkı sağlayacak bir yapıda

olduğundan tümü tarafından benimsenen bir bakış açısı önerilmiştir. Makine öğrenmesi ile parametre tahmini sisteminin kullanıcı dostu yapısı, arka planda çalışan kodları bilmeden ve modele ya da sistemi geliştiren kişiye bağlı kalmadan son kullanıcının kolayca karar verebilmesine olanak vermektedir. Ayrıca geliştirilen arayüz öğrenen yapıya da sahip olup veri setinde olmayan durumlarla karşılaşıldığında da kullanıcıya yardımcı olabilecek kararlar üretilebilmektedir.

Özetle, işletmelerin üretim süreçlerinde yardımcı yan sanayi kullanımı stratejik olarak bazı karmaşıklıklar getirmekte, bu süreçleri yönetmek büyük işletmeler için çok sayıda yardımcı sanayi olması sebebiyle zor olmaktadır. Bu çalışmada önerilen yaklaşım, benzeri durumda, yardımcı yan sanayi kullanan pek çok işletme için uygulanabilir nitelikte olup, üretim sektörü ile ilgili literatüre ve uygulamalara önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışma sonuçları işletme ile paylaşılmış ve özellikle yan sanayi yetkinliğinin belirlenmesi konusunun karar sürecine önemli katkı sağlayacağı ve önerilen yaklaşımın uygulanabileceği belirtilmiştir.

Öte yandan çalışma bazı sınırlılıklara da sahiptir. Yan sanayisi olan ana işletmelerde, yan sanayi ürünlerinin montajının gerektiği ve dayanıklı tüketim grubunda ürünler kapsamında olup, diğer ürün grupları için geçerli olmayabilir. Ayrıca kullanılan makine öğrenmesi algoritmasının belirli bir doğruluk seviyesi olup gelecek çalışmalar için veri zenginleştirilmesi yapılması önerilebilir. Böylece sürekli güncellenen veri setleri kullanılarak makine öğrenmesi modelinin doğruluğu artırılabilir. Özellikle dış faktörler (örneğin küresel lojistik sıkıntıları, tedarik zinciri kesintileri) ya da derin öğrenme ve benzeri algoritmalar modele dahil edilebilir. Ek olarak geliştirilen model ve yaklaşımlar, diğer beyaz eşya ürünlerinin (çamaşır makinesi, fırın gibi) montaj hatları için de test edilerek genelleştirilebilir. İleriki çalışmalarda yan sanayilerde oluşan lojistik ve ambalajlama maliyetlerini de ele alan ve veri zenginleştirilmesi ile daha iyi tahminler yapan bir sistem geliştirme ayrıca benzer sektörlere bu yaklaşımı uyarlama konularında çalışılması düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma ESOĞU BAP (FLO-2024-3035) ve TÜBİTAK (2209 B) kapsamında iki ayrı proje ile desteklenmiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Müjgan SAĞIR problemin belirlenmesi, literatür araştırması, matematiksel modelinin kurulması, geliştirilmesi, çözdürülmesi, makalenin yazımı; Pelin ÇELEBİ; matematiksel modelin kurulması, çözdürülmesi, makine öğrenmesi kodunun geliştirilmesi, makale taslağının yazılması konularında katkı

sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Alpaydin, E. (2020). *Adaptive Computation and Machine Learning Series: Introduction to machine learning*. Cambridge, MIT press, ISBN: 9780262043793. Erişim adresi : <https://mitpress.mit.edu/9780262043793/introduction-to-machine-learning/>
- Bakdemir, M. (2024). *Python ile Makine Öğrenmesi Algoritmalarını Kullanarak Rüzgar Santralinin Elektrik Üretim Tahmini* (Yüksek lisans tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü
- Boctor, F. F., Renaud, J., ve Rapp, J. E. (2009). *Sequencing and scheduling multi-mold injection molding machines*. Québec, Canada: Centre Interuniversitaire de Recherche sur les Réseaux d'Entreprises, la Logistique et le Transport (CIRRELT), Faculté des Sciences de l'administration, Université Laval. Erişim adresi : https://www.academia.edu/53026186/Sequencing_and_Scheduling_Multi_mold_Injection_Molding_Machines?uc-sb-sw=38689761
- Chen, J. F., ve Wu, T. H. (2006). Total tardiness minimization on unrelated parallel machine scheduling with auxiliary equipment constraints. *Omega*, 34(1), 81-89. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.07.023>
- Dastidar, S. G., ve Nagi, R. (2004). Scheduling injection molding operations with multiple resource constraints and sequence dependent setup times and costs. *Computers & Operations Research*, 32(11), 2987-3005. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.04.012>
- Eminoğlu, S., Gezer, N., Kadı, F., İnkaya, T., ve Yağmahan, B. (2015). Bir otomotiv yan sanayi firması için parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme sisteminin geliştirilmesi. *Endüstri Mühendisliği*, 26(4), 5-20. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi/issue/46768/586140>
- Ibarra-Rojas, O. J., Ríos-Mercado, R. Z., Rios-Solis, Y. A., ve Saucedo-Espinosa, M. A. (2011). A decomposition approach for the piece-mold-machine manufacturing problem. *International Journal of Production Economics*, 134(1), 255-261. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.07.006>
- İzci, E., Karabulut, N., ve Saraç, T. (2022). Döküm Kalıplarının Döküm Tezgâhlarına Atanması Problemi İçin Bir Genetik Algoritma. *Eskişehir*

Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1), 7-2)
Doi: <https://doi.org/10.31796/ogummf.909262>

- Lin, C. K. Y., Wong, C. L., ve Yeung, Y. C. (2002). Heuristic approaches for a scheduling problem in the plastic molding department of an audio company. *Journal of Heuristics*, 8515-540. Erişim adresi : <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1016588608032>
- Ríos-Solís, Y. Á., Ibarra-Rojas, O. J., Cabo, M., ve Possani, E. (2020). A heuristic based on mathematical programming for a lot-sizing and scheduling problem in mold-injection production. *European Journal of Operational Research*, 284(3), 861-873. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.01.016>
- Syam, S. S. ve Shetty, B. (1996). A Heuristic Algorithm for the Capacitated Multiple Supplier Inventory Grouping Problem. *Decision Sciences*, 27(4), 711-733. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1996.tb01832.x>
- Uluskan, M. ve Akın, Ş. (2022). Tedârikçi Seçiminin Nihai Ürün Kalitesi Üzerinde Etkilerinin Yapısal Eşitlik Modeli İle Analizi. *Endüstri Mühendisliği*, 33(3), 452-468. Doi: <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1076970>.