Hücresel İmalata Yönelik Karar Destek Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi: Havacılık Sektöründe Bir Uygulama

Kübra Yazar Kurul

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2023

Decision Support System Design and Development for Cellular Manufacturing: An Application in Aviation Industry

Kübra Yazar Kurul

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

January 2023

Hücresel İmalata Yönelik Karar Destek Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi: Havacılık Sektöründe Bir Uygulama

Kübra Yazar Kurul

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim ve Servis Sistemleri Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu

Ocak 2023

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu danışmanlığında hazırlamış olduğum "Hücresel İmalata Yönelik Karar Destek Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi: Havacılık Sektöründe Bir Uygulama" başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.

05/01/2023

Kübra Yazar Kurul

İmza

ÖZET

Günümüzde hücresel üretim sistemleri, sipariş üzerine üretim yapan ve çok sayıda ürün çeşitliliği bulunan firmalar için kaçınılmaz hale gelmiştir. Ancak dalgalı müşteri siparişleri, alternatif rotaların varlığı, darboğaz makinelerin oluşması gibi nedenler ilk etapta oluşturulan hücrelerin etkinliğini düşürmektedir. Bu çalışmada alternatif rotalar, makine kapasiteleri ve müşteri talepleri göz önünde bulundurularak hücrelerarası trafik değeri minimizasyonunu amaçlayan bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu karar destek sistemine HAP (Hücre Atama Problemi) adı verilmiş ve Excel VBA (Visual Basic for Applications) kullanılarak kodlanmıştır. Önerilen bu karar destek sisteminin model yönetim modülü, rotaların seçilmesi ve hücrelerin oluşturulması olmak üzere iki kademeli bir çözüm sunmaktadır. İlk aşamada, rotaların seçimi bir doğrusal programlama problemi olarak formüle edilerek Dal-sınır algoritması ile çözülmektedir. İkinci aşamada ise hücrelerin oluşturulması Hücrelerarası trafik minimizasyonu metodu kullanılarak çözülmektedir. Hücrelerarası trafik minimizasyonu ile hücreler arası taşıma maliyetlerinden ve katma değersiz işlemlerden kaçınılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada kullanılan veriler havacılık ve savunma sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir firmadan alınan gerçek verilerdir. Firmadaki mevcut durum ile HAP kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde global etkinlik değeri, grup teknolojisi etkinliği değeri, hücrelerarası trafik değeri, hücre dışı operasyon sayısı ve başka hücreyi ziyaret eden parça sayısı etkinlik kriteri olarak kullanılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, bahsedilen değerlendirme kriterlerinin tamamında son derece anlamlı iyileştirmeler olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Karar Destek Sistemi, Hücresel Üretim Sistemi, Hücre Oluşturma Yöntemleri, Hücrelerarası Trafik Minimizasyonu,

SUMMARY

Today, cellular production systems have become inevitable for companies that produce on order and have a wide variety of products. However, reasons such as fluctuating customer orders, the existence of alternative routes, and the formation of bottleneck machines reduce the efficiency of the cells created in the first place. In this study, a decision support system has been developed that aims to minimize the traffic value between cells by considering alternative routes, machine capacities and customer demands. The developed decision support system is called HAP (Cell Assignment Problem) and coded using Excel VBA (Visual Basic for Applications). HAP has three modules. Its model management module offers a two-stage solution: selecting routes and creating cells. In the first step, the selection of the routes is formulated as a linear programming problem and solved by the branch-and-bound algorithm. In the second stage, the creation of cells is solved using the intercellular traffic minimization method. By minimizing intercellular traffic, it is aimed to avoid intercellular transportation costs and non-value-added operations. HAP experimented on a company operating in the aerospace and defense industry. The results obtainted before and after HAP used are compared. For comparison the efficiency metrics used are the global efficiency, the group technology efficiency, the inter-cell traffic, the number of out-of-cell operations and the number of parts visiting another cell. Our HAP outperformed the current cell designs for each efficiency metric.

Keywords: Decision Support System, Cellular Manufacturing System, Cell Formation Methods, Intercellular Traffic Minimization Method,

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **v**
SUMMARY ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **ix**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **x**
1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**
2. ÜRETİM SİSTEMLERİ VE HÜCRE OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ **3**
2.1. Atölye Tipi Üretim Sistemi 3
2.2. Parti Tipi Üretim Sistemi 3
2.3. Seri Üretim Sistemi 4
2.4. Hücresel Üretim Sistemi 5
2.4.1. Hücre Oluşturma Yöntemleri 6
2.4.1.1. Görsel metotlar 7
2.4.1.2. Parça kodlama analizi 7
2.4.1.3. Üretim akış analizi 7
2.4.1.4. Matematiksel model yaklaşımları 8
2.4.1.5. Matris formülasyonu 8
2.4.1.6. Sezgisel algoritmalar 12
2.4.1.7. Yapay zekâ metotları 13
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **14**
4. SİSTEM TANITIMI **20**
4.1. Firma Hakkında 20
4.2. Problem Tanımı 20
5. ÖNERİLEN YAKLAŞIM **22**
5.1. Matematiksel Model 24
5.2. Dal-Sınır Algoritması 26
5.3. Hücrelerarası Trafik Minimizasyonu Yöntemi 27
5.4. Değerlendirme Kriterleri 28
6. BULGULAR VE TARTIŞMA **30**
6.1. Mevcut Durum 35
6.2. Önerilen KDS Sonrası Durum ve Mevcut Durum ile Karşılaştırılması 37
7. SONUÇ VE ÖNERİLER **40**
KAYNAKLAR DİZİNİ **42**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2. 1. Üretim miktarlarına ve ürün çeşitliliğine göre üretim sistemleri ve yerleşim şekilleri . 4

2. 2. Temel hücre oluşturma yöntemleri 6

5. 1. Önerilen karar destek sisteminin bileşenleri 22

5. 2. Önerilen yaklaşımın akış şeması 23

5. 3. Dal sınır algoritması ağacı ve dallanma şekli 26

6. 1. HAP_KDS çalışma sayfasının ekran görüntüsü 31

6. 2. Parametreler çalışma sayfasının ekran görüntüsü 32

6. 3. Rotalar çalışma sayfası ekran görüntüsü 33

6. 4. Talepler çalışma sayfasının ekran görüntüsü 33

6. 5. İş merkezlerine yönelik çalışma sayfasının ekran görüntüsü 34

6. 6. Önerilen KDS sonrası sonuç ve değerlendirme kriterleri 37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2. 1. Yerleşim türlerinin karşılaştırılması 5

3. 1. Hücre oluşturma problemini ele alan çalışmalar 17

3. 2. Karar destek sistemi ile hücre oluşturma problemini ele alan çalışmalar 18

6. 1. Mevcut durum hücreleri ve hücrelerde bulunan makine listesi..... 36

6. 2. Önerilen durum hücreleri ve hücrelerde bulunan makine listesi..... 38

6. 3. Mevcut durum ve önerilen durum karşılaştırma tablosu..... 39

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
APU	Auxiliary Power Unit
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BEA	Bond Energy Algorithm
CIA	Cluster Identification Algorithm
CMM	Coordinate Measuring Machine
FPI	Fluid Penetrant Inspection
HAP	Hücre Atama Problemi
HATMY	Hücrelerarası Trafik Minimizasyonu Yöntemi
HERBAL	Heuristic Rules Based Logic
KDS	Karar Destek Sistemi
MPI	Magnetic Particle Inspection
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
ROC	Rank Order Clustering
VBA	Visual Basic for Applications

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde artan rekabet koşulları işletmeleri daha verimli ve esnek çalışmaya zorlamaktadır. Değişen ve gelişen dünyada firmaların teknolojik gelişmelere ayak uydurabilmesi önemli hale gelmiştir. Teknolojinin getirdiği olanakları firmalar bünyelerine entegre etme çabası içine girmişlerdir. Dalgalı talep miktarları, makine kapasite kullanım oranları, katma değersiz işlem maliyetleri gibi üretimi zorlaştıran ve verimsizleştiren etmenlerle başa çıkmak zorunlu hale gelmiştir. Maliyetlerini azaltabilen ve değişen koşullara hızlı adapte olabilen firmalar hem müşteri taleplerini karşılama hızında hem de karlılığında artış sağlayabilmektedirler. Bunu sağlamanın en temel yolu doğru üretim sistemlerini kurmaktır.

Firmalar üretilen ürünlerin cinsine, prosesine ve miktarına bağlı olarak çeşitli üretim sistemlerini benimsemektedirler. Her firmanın üretim faaliyetleri doğrultusunda farklı karakteristik yapısı vardır. Bu yapı doğru analiz edilmeli ve değerlendirilmelidir. Yanlış üretim sisteminin seçilmesi veya seçilen doğru üretim sisteminin etkin kullanılamaması üretimde sorunlara yol açmaktadır. Doğru üretim sisteminin seçilmesi sadece üretim sahasında değil planlama faaliyetlerinde, kalite süreçlerinde, lojistik ve dağıtım faaliyetlerinde de etkin rol oynamaktadır.

Doğru üretim sistemlerini seçmek yeterli değildir. Seçilen üretim sistemi doğru ve etkin kullanıldığı takdirde kazanç sağlamaktadır. Üretim sistemlerine farklı bir bakış açısıyla yaklaşıldığında sistemlerin zaman içerisindeki yıpranma paylarının olduğu görülecektir. Kurulan sistemler zaman içerisinde etkinliğini kaybedebilmektedir. Bu durumda beklenen faydalar sağlanamamakta veya yeterli olmamaktadır. Beraberinde verimlilik oranları düşebilir ve kazanç miktarlarında azalma olabilir. Bu durumda kurulan sistemlerin etkinliği düzenli periyotlar halinde test edilmeli, iyileştirme ihtiyacı olduğu takdirde müdahale edilmelidir. Firmalar bu şekilde çalıştıkları takdirde kazançların sürdürülebilirliğini devam ettirebilmektedirler.

Bu çalışma Eskişehir'de bulunan havacılık ve savunma sanayi sektöründe faaliyet gösteren talaşlı imalat üretimi yapılan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Firmada mevcut

durumda hücresel üretim sistemi vardır ancak üretime konu olan parçalardaki değişiklikler zaman içerisinde hücrelerin tasarım amaçlarına uygunluğunda sapmalara neden olmaktadır. Zamanla değişen koşullar sebebiyle hücresel üretim sisteminin yeniden gözden geçirilmesi ve değişikliklere daha hızlı ayak uydurulabilecek bir sistemin oluşturulması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Ürün çeşitliliğinde ve operasyonlarında ortaya çıkan değişimlerin hücrelerin tasarım amaçlarına uygunluğunu periyodik olarak izlemeye yönelik bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Koşullar değiştikçe veya yeni ürünler sisteme dahil edildiğinde bu karar destek sisteminin çalıştırılması, etkinliğin devam ettiğinden emin olunması, değilse gözden geçirilmesi ve yeniden hücre tasarlanması mümkün olabilecektir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde üretim sistemlerinin genel özellikleri tanıtılmıştır. Hücresel üretim sistemleri ayrıntılı olarak ele alınmış ve hücre oluşturma yöntemlerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde tez kapsamında ele alınan hücresel imalat ve karar destek sistemleri konusundaki literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Dördüncü bölümde çalışmaya konu olan firma hakkında bilgiler verilmiştir. Aynı zamanda firmada bulunan hücresel imalat sistemi tanıtılmıştır. Devam eden beşinci bölümde probleme yönelik olarak geliştirilen karar destek sisteminin içinde yer verilen yöntemlerden bahsedilmiştir. Çalışmadaki altıncı bölümde firmadaki mevcut durum anlatılmış ve önerilen karar destek sistemi uygulanmıştır. Yine bu bölümde mevcut durum ve önerilen durum karşılaştırmaları yapılmıştır. Son olarak yedinci bölümde çalışmanın sonuçlarından bahsedilmiş ve gelecekteki çalışmalara yardımcı olması amacıyla öneriler sunulmuştur.

2. ÜRETİM SİSTEMLERİ VE HÜCRE OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ

Üretim sistemi; insan, makine, malzeme ve destek sistemlerinin bir araya getirilerek bir işletmenin üretim faaliyetini gerçekleştirilmesini sağlayan sistemlerdir. Destek sistemlerine, doğru ürünlerin zamanında üretilebilmesi için kalite kontrol sistemleri, lojistik yönetimi gibi örnekler verilebilir. (Groover, 2015)

Üretim sistemleri literatürde farklı açılardan sınıflara ayrılmıştır. Bunlardan bazıları, ürünün cinsine göre sınıflandırma, üretim miktarlarına göre sınıflandırma ve üretim yönetimine göre sınıflandırma olarak gösterilmektedir. Groover'a (2015) göre üretim sistemleri üretim miktarlarına göre 3'e ayrılmıştır.

2.1. Atölye Tipi Üretim Sistemi

Bu üretim sisteminde genellikle küçük partiler halinde çok çeşitli ürün üretilmektedir. Büyük ürünleri oluşturan alt parçaların üretildiği firmalar genellikle süreç tipi (işlevsel) yerleşime sahiptir. Bu yerleşimde tezgahlar fonksiyonlarına göre gruplandırılmaktadır. Benzer tezgahlar aynı yerde konumlandırılır. Örneğin torna tezgâhları bir bölümde toplanır. Torna operasyonunda işlem görecek parçalar partiler halinde torna bölümüne gelir ve hangi tezgâh müsait ise o tezgâhta işlem görür. Parçalar sistem içinde bölümden bölüme taşınarak rotasına devam eder. Bu yerleşim tipinin dezavantajı atölyedeki ara stok miktarının yüksek olmasıdır.

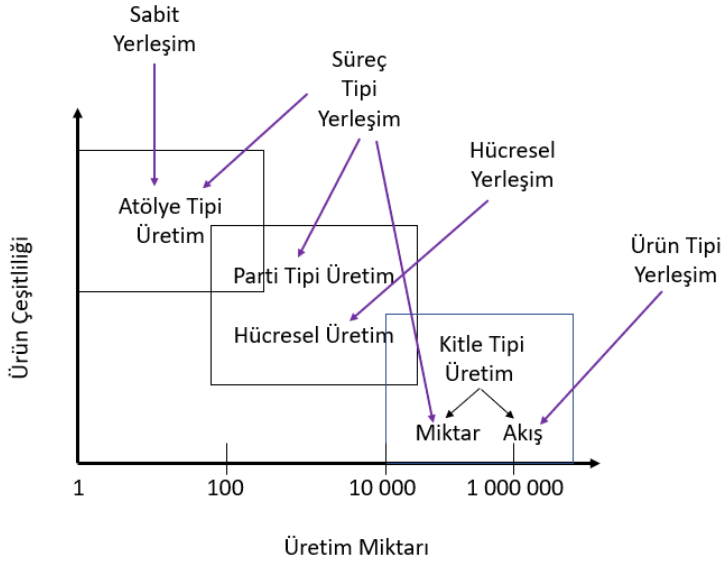
2.2. Parti Tipi Üretim Sistemi

Bu üretim sisteminde ürünler genellikle orta hacimde partiler halinde üretilmektedir. Ürün gruplarında çeşitlilik fazladır. Bu ürünlerden sıklıkla sipariş gelmektedir. Tezgahlar önce bir ürün için ayarlanır, bu ürünün talep miktarı kadar üretim yapılır. Sonrasında diğer bir ürün tipi için tezgâh ayarlaması yapılır ve bu şekilde devam eder. Belli bir ürün tipi için sürekli çalışılmadığından bu üretim sistemi kesiklidir. Genellikle makineler süreç tipi yerleşime göre konumlandırılır. Bu üretim sisteminin dezavantajı ürün geçişlerinde tezgâh ayarlama sürelerinin (setup time) olmasıdır.

2.3. Seri Üretim Sistemi

Bu üretim şekline kitle üretim sistemi de denilmektedir. Seri üretim sisteminde üretilen ürün miktarları yüksektir. Bu üretim sistemi, miktar tipi üretim ve akış tipi üretim olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Miktar tipi üretim şeklinde makineler tek tip ürün üretilecek şekilde ayarlanmıştır. Genellikle yerleşim şekli süreç tipi yerleşimdir. Akış tipi üretim şeklinde ise istasyonlar belirli bir sıraya göre yerleştirilmiştir ve ürün istasyonlarda sırasıyla ilerleyerek üretilmektedir. Akış tipi üretim sisteminin yerleşim şekli ürün tipi yerleşim olarak adlandırılmaktadır. İstasyonlar genellikle hat şeklindedir. (Groover, 2015)

Üretim sistemleri çeşitleri, yerleşim şekli, üretilen ürün miktarları ve ürün çeşitliliği kavramları arasındaki ilişki Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 1. Üretim miktarlarına ve ürün çeşitliliğine göre üretim sistemleri ve yerleşim şekilleri (Groover'dan, 2015)

Anlatılan üretim sistemlerinde kullanılan yerleşim türlerinin üretim süresi ve miktarı, ara stok miktarı, ürün ve talep esnekliği, birim üretim maliyeti gibi kriterler bazında karşılaştırılmasının özeti Çizelge 2.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 1. Yerleşim türlerinin karşılaştırılması (Askin'dan, 1993)

	Ürün Tipi Yerleşim	Süreç Tipi Yerleşim	Sabit Yerleşim	Hücresel Yerleşim
Üretim Süresi	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük
Üretim Miktarı	Yüksek	Orta	Düşük	Orta
Ara Stok Miktarı	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük
Ürün Esnekliği	Düşük	Yüksek	Yüksek	Orta-Yüksek
Talep Esnekliği	Orta	Yüksek	Orta	Orta
Birim Üretim Maliyeti	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük

Yukarıdaki üretim tiplerinde hücresel yerleşimin diğer yerleşim türlerine göre belirli avantajlara sahip olduğu görülmektedir. İzleyen kesimde de hücresel üretim sistemi ana hatlarıyla tanıtılmıştır.

2.4. Hücresel Üretim Sistemi

Hücresel üretim sistemi, üretim sistemini parçalara ayırarak yönetilmesini kolaylaştırma metodolojisine dayanmaktır. Urazel ve Şahin'e (2023) göre hücresel üretim sisteminin başarılı bir şekilde uygulanması için önemli adımlardan biri uygun parça, makine ve işçi gruplarına karar vermek ve ardından bunları hücrelere atamaktır. Hücresel üretim sisteminde bulunan parçalar belirlenen kriterlere göre benzerliklerinden faydalanılarak ürün aile gruplarına bölünür ve bu ürün aile gruplarının bir arada işlenmesi sağlanır. Ürün ailelerinin oluşturulmasının ardından sistemdeki makinalar belirlenen kriterlere göre hücrelere ayrılır. Temel amaç ürün aile gruplarının hücrelere atanmasıdır. Bu şekilde parçalar üretim esnasında bir bölümden diğerine taşınmayacaktır. Bu durumda taşıma ve bekleme gibi maliyet oluşturan işlemlerin süresinin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Bu üretim şekli firmalar için esnek hareket kabiliyeti sunmaktadır. Ek olarak ürün taşıma miktarlarında azalma, üretim sürelerinde azalma, üretim planlamasını kolaylaştırma, etkin kaynak kullanımı, sistem yönetiminin kolaylaşması gibi avantajları beraberinde getirmektedir.

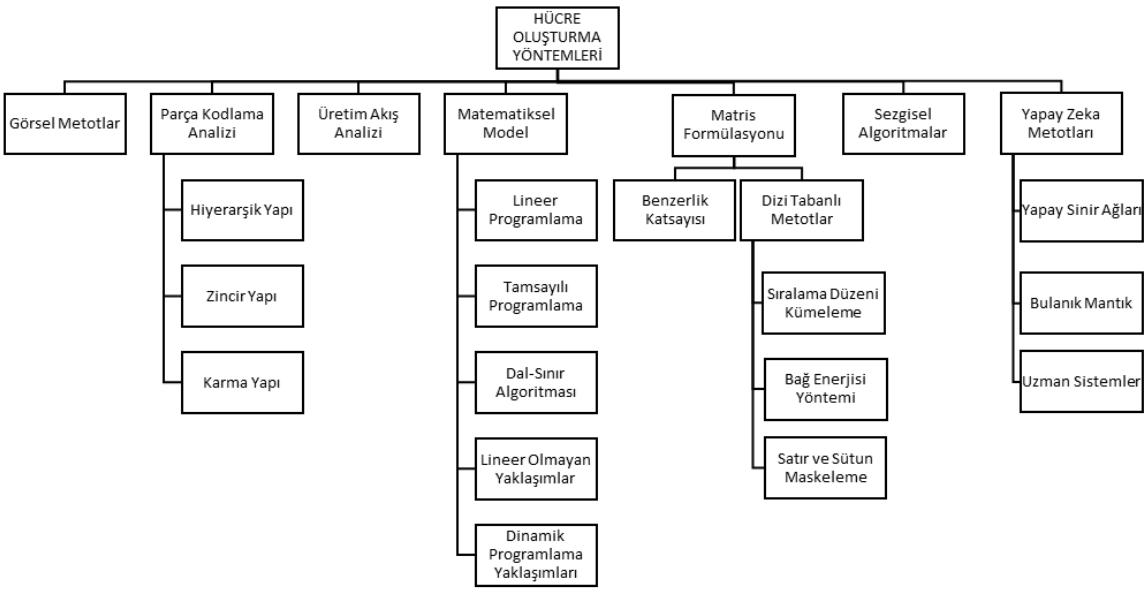
Hücresel üretim sistemlerinde üretilecek ürünün ham malzemesinin hücreye giriş yapmasının ardından rotasındaki tüm operasyonları atandığı hücrede tamamlanıp, bitmiş ürün olarak o hücreden çıkması amaçlanmaktadır. Hatta bazı hücrelerde çapak alma ve kalite

kontrol gibi operasyonlar da hücre içinde tamamlanabilmektedir. İdeal hücrelerde, parça ham malzeme olarak hücreye giriş yapar ve bitmiş ürün olarak hücreden çıkar. Bir firmada tüm parçalar için bunun sağlanması zordur. Bu durumda minimum hücre dışı işlem olması hedeflenir. Aynı zamanda benzer parçaların bir arada bulunması ve benzer tezgahlarda üretime girmesi de üretime büyük fayda sağlamaktadır. Tezgah ayarlama sürelerinden kazanç ve tek seferde kaliteli ürün üretimi oranında artış temel faydalarındandır. Ek olarak bir hücrede sürekli benzer ürünlerin üretilmesi operatör yetkinliğini de arttırmaktadır.

Hücresel üretim sistemlerinin etkin kullanılabilmesi için ürün aile gruplarına uygun hücreler oluşturulması gerekmektedir. Devam eden bölümde bazı hücre oluşturma yöntemlerinden bahsedilmektedir.

2.4.1. Hücre Oluşturma Yöntemleri

Literatürde hücre oluşturma yöntemleriyle ilgili çokça çalışma bulunmaktadır. Sıkça kullanılan temel hücre oluşturma yöntemlerine ek olarak, bu yöntemleri birleştirerek oluşturulan hibrit çalışmalar da yer almaktadır. Günümüzde hücre oluşturma problemlerinin boyutu büyüdükçe elde edilecek çözüm sayısı ve çözüm için harcanan süre artacağı için bilgisayar destekli yöntemlere yönelim artmıştır. Temel hücre oluşturma yöntemleri Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Bu yöntemlerden kısaca bahsedilecektir.



Şekil 2. 2. Temel hücre oluşturma yöntemleri (Parashar'dan, 2008)

2.4.1.1. Görsel metotlar

Temel olarak parça ailelerinin ve hücrelerin görsel yollarla belirlenmesi prensibine dayanır. Görsel olarak birbirine benzeyen parçalar aynı parça ailesine atanmaktadır. Parça aileleri belirlendikten sonra makine atamaları yapılır. Bu yöntemde parça görsellerini inceleyen ve hücreleri oluşturma işlemlerini yapan kişilerde uzmanlık beklenmektedir. Yöntemi kullanan kişi parçalara, üretim sistemine ve makinelere ne kadar hâkim olursa yöntemin doğru sonuç verme olasılığı o derece fazla olacaktır. Parça ve makine sayılarının çok olduğu problemlerde bu yöntemi kullanmak oldukça zordur. Hücre oluşturma problemlerinde, problem boyutu küçükse (makinelerin ve parçaların sayısının az olması durumu) görsel metotlar kullanılabilir.

2.4.1.2. Parça kodlama analizi

Parça kodlama analizi, parçaların veya makinelerin belirli özelliklerine göre tanımlanmış harflerden ve rakamlardan oluşan kodlarla parçaların ve makinelerin isimlendirilmesidir. Bu kodlara konuşan kod denilmektedir. Genelde kodlama şekilleri, hiyerarşik, zincir ve karma olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Parçaların ana boyutu, dış şekilleri (silindirik, dikdörtgen vb.), iç şekilleri (delikler, bulunan delik çapları vb.), boy/çap oranları, malzeme tipleri, toleransları vb. özelliklerine göre kodlamaları yapılmaktadır. Aynı şekilde üretim özelliklerine göre de kodlama yapılmaktadır. Örneğin, işlem sırası ve rotalar, parti büyüklüğü, yıllık üretim miktarı, kullanılan kesici takımlar vb. özelliklere göre de kodlanmaktadır. Bu yöntemde kalıcı bilginin tutulması gerekmektedir. Yöntemin uygulanması hem pahalı hem de uzun zaman harcanan bir süreçtir. Aynı zamanda yöntemi kullanan kişinin her parçanın yapısını, tasarım özelliklerini ve üretim sürecini analiz etmesi gerektiği için yeterli bilgiye ve deneyime sahip olması gerekmektedir.

2.4.1.3. Üretim akış analizi

Bu yöntemde parçaların izledikleri rotaların benzerliklerinden faydalanılarak ürün aileleri oluşturulmaktadır. Makine grupları da bu parça ailelerinin rota bilgilerine göre oluşturulmaktadır. Bu yöntemi görsel metot ve parça kodlama analizi yöntemlerinden ayıran en temel özellik parçaların tasarım ve şekilsel özelliklerini göz ardı ederek hücre oluşturma

işlemlerini gerçekleştirmesidir. Yöntemde makine-parça matrisleri ile çalışılmaktadır. Oluşturulan matrisin satır ve sütunları düzenlenerek atamalar yapılarak hücreler oluşturulmaktadır. Üretim akış analizi adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Fabrika akış analizi; parçaların prosesleri incelenerek makineler arasındaki malzeme akışı tespit edilir. Benzer proseslere sahip parçalar bir araya getirilerek parça aileleri oluşturulur.

Adım 2: Grup analizi; Belirlenen parça ailelerine göre parça-makine matrisleri oluşturulur. Matris düzenlemeleri yapıldıktan sonra atamalar gerçekleşir.

Adım 3: Takım-düzenek analizi; bu aşamada detay bazında incelemeler yapılır. Gerekli takım-düzenek ihtiyacına göre makine gruplarının fiziksel yerleşimine karar verilir.

2.4.1.4. Matematiksel model yaklaşımları

Matematiksel model yaklaşımlarının temelinde maliyetlerin minimizasyonu ve benzerliklerin maksimizasyonu amaçlanmaktadır. Talep kısıtları, makine kapasite kısıtları ve üretim karakteristiklerine göre çeşitli kısıtlar altında amaç fonksiyonu değerinin optimum olması hedeflenir. Tek amaçlı ve çok amaçlı matematiksel modeller kullanılabilir. Matematiksel modeller literatürde yer alan birçok yöntemle çözülebilir. Bunlardan bazıları; lineer programlama, tam sayılı programlama, lineer olmayan yaklaşımlar, dinamik programlama yaklaşımları ve dal-sınır algoritmasıdır. Dal-sınır algoritmasından çalışmanın önerilen yöntem bölümünde detaylıca bahsedilecektir. Bu yöntemde bahsedilen diğer yöntemler gibi problemin boyutuna bağlı olarak zaman alıcı bir yöntemdir. Bu nedenle günümüzde matematiksel modellerin çözülmesi için kullanılan GAMS, LINDO gibi hazır paket programlar vardır. Bunlara ek olarak çeşitli yazılım dillerinde kodlamalar yapılarak yöntemin uygulanabilirliği kolaylaştırılabilmektedir.

2.4.1.5. Matris formülasyonu

Matris formülasyonları yöntemleri dizi tabanlı metotlar ve benzerlik katsayısı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Benzerlik katsayısı yöntemi

Benzerlik katsayısı yönteminde parça- makine matrisleri oluşturulmaktadır. Oluşturulan matriste seçilen benzerlik katsayısı formülü kullanılarak benzerlik değerleri bulunmaktadır. Literatürde, Ochiai, Yule, Sorenson, Phi, Kulczynski, Hamman, Sokal and Sneath ve Jaccard gibi çok fazla benzerlik katsayısı bulma metodu bulunmaktadır. Hücre oluşturma yöntemlerinde en bilinen ve en sık kullanılan Jaccard benzerlik katsayısıdır.

i ve j sistemde bulunan makineler olmak üzere;

J : Jaccard benzerlik katsayısı

a : i ve j makinelerinde işlenen parça sayısı

b : i makinesinde işlenen, j makinesinde işlenmeyen parça sayısı

c : j makinesinde işlenen, i makinesinde işlenmeyen parça sayısı

$$J = \frac{a}{a + b + c} \tag{2.1}$$

Benzerlik katsayıları bulunduktan sonra makine-parça matrisinde bulunan değerlerle çarpılmaktadır. En büyük değere sahip iki makine bir araya getirilerek tek makine gibi davranılarak matris yeniden düzenlenir. Bu şekilde benzerlik katsayısı büyük değerlere sahip makineler aynı hücreye atanmış olur. Bu yöntemin dezavantajı yine diğer metotlarda olduğu gibi problem boyutu artınca hesaplamaların zorlaşmasıdır.

Dizi tabanlı metotlar

Dizi tabanlı metotlar oluşturulan parça-makine matrislerinde satır ve sütunları düzenleyerek blok-köşegen yapının oluşmasını amaçlamaktadırlar. Blok-köşegen yapı parça-makine matrislerinde 1 değerine sahip hücrelerin matrisin sol üst ve sağ alt köşeleri arasında köşegen şeklinde olan hücrelerde toplanmasıdır. Literatürde en sık kullanılan ve bilinen dizi tabanlı metotlar aşağıdaki gibidir:

1. Sıralama Düzeni Kümeleme (ROC, Rank Order Clustering)
2. Bağ Enerjisi Yöntemi (BEA, Bond Energy Algorithm)
3. Satır ve Sütun Maskeleme (CIA, Cluster Identification Algorithm)

Sıralama Düzeni Kümeleme (ROC):

Bu yöntem hesaplama kolaylığı ile bilinen bir yöntemdir. 1980 yılında King J.R. tarafından ROC (Rank Order Clustering) adıyla geliştirilmiştir. İlk etapta parça-makine ilişki matrisleri (0-1 matrisi) oluşturulur. Oluşturulan bu matrislerin satır ve sütunlarına 2'nin sıralı kuvvetleri (2^n) olacak şekilde ağırlık değerleri verilir. Amaç blok-köşegen yapının oluşmasını sağlamaktır. İlk iterasyon sonunda eğer blok-köşegen yapı oluşmamışsa algoritma adımları tekrarlanır. Yapılan iterasyonlar sonunda sonuç bir önceki sonuç ile aynı çıkması durumunda ROC algoritmasına göre en iyi çözüme ulaşılmış demektir. Özyörük ve Gürü'nün (2010) yaptıkları çalışmada ROC algoritması kullanılmıştır ve algoritma adımlarını aşağıdaki gibi göstermişlerdir.

Adım 1: Parçaların rota bilgileri yardımıyla parça-makine ilişki matrisi elde edilir. Makinelerin satırlara, parçaların sütunlara yazıldığı K(i,j) matrisleri oluşturulur. Matris 0 ve 1 değerlerinden oluşur. Eğer i. makinede j. parça işleniyorsa K(i,j) değeri 1, işlenmiyorsa K(i,j) değeri 0 olur.

Adım 2: Parça-makine ilişki matrisinde, satırlar için son sütundan ilk sütuna doğru, her sütuna ise son satırdan ilk satıra doğru 2'nin sıralı kuvvetleri (2^n) şeklinde ağırlık değeri atanır.

Adım 3: Her satır elemanı için, sütunların pozisyon ağırlıkları ile satırın atanan değeri (0-1) çarpılarak, satır ağırlık dereceleri elde edilir.

Adım 4: Elde edilen ağırlık derecelerine göre satırlar en yüksek değer ilk sırada olacak şekilde sıralanırlar.

Adım 5: Oluşan matris, bir önceki matris ile aynı ise adım 9'a geçilir, değilse adım 6'ya geçilir.

Adım 6: Her sütun elemanı için, satırların pozisyon ağırlıkları ile sütunun atanan değerleri (0-1) çarpılarak sütunun ağırlık dereceleri elde edilir.

Adım 7: En büyük ağrılık derecesine sahip sütun ilk sırada olacak şekilde sütunlar sıralanırlar.

Adım 8: Elde edilen matris, bir önceki matris ile aynı ise adım 9'dan devam edilir, değilse adım 3'e tekrar dönülür.

Adım 9: Elde edilen matriste makine hücreleri ve parça aileleri oluşmuş olur.

Bağ Enerjisi Yöntemi (BEA):

Bağ enerjisi yöntemi (Bond Energy Algorithm) parça-makine matrisleriyle çalışır. Parçaların rota bilgisinden yararlanılarak 0-1 matrisleri oluşturulur. Temelinde bağ enerjisi değerlerinden büyük olanları bir araya getirerek blok-köşegen yapıyı oluşturmayı amaçlar. İşlemler hem satırlar için hem de sütunlar için tekrar edilir.

Adım 1: Eğer i. makinede j. parça işleniyorsa K(i,j) değeri 1, işlenmiyorsa K(i,j) değeri 0 olur. Bu şekilde parça-makine matrisleri oluşturulur.

Adım 2: Rassal olarak bir sütun seçilir. Seçilen sütun ile kalan tüm sütunların permütasyonu elde edilir. Elde edilen ikili matris değerlerinde 0-0 veya 1-1 değerleri yan yana gelmişse her bir yan yana gelen değer için 1 değeri bağ enerjisi değeri olarak hesaplanır. Satırlar veya sütunlar için toplam bağ enerjisi değeri o satırın veya sütunun toplam değerine eşittir.

Adım 3: En büyük bağ enerjisi değerine sahip iki sütun yan yana yazılarak bir araya getirilir.

Adım 4: Bir araya getirilen iki sütun haricinde kalan sütunlardan biri rassal olarak seçilir. Seçilen sütunu diğer sütunların sağına, soluna ve ortasına gelecek şekilde permütasyonları ele alınarak yeniden bağ enerjisi değeri hesaplanır.

Adım 5: En büyük bağ enerjisi değerine sahip sütun diğer iki sütun ile bir araya getirilir.

Adım 6: İşlemlere tüm sütunlar ve satırlar yerleştirilene ve bağ enerjisi değeri değişmeyene kadar devam edilir.

Satır ve Sütun Maskeleme (CIA):

Satır ve sütun maskeleme (Cluster Identification Algorithm) yöntemi 1968 yılında Iri M. tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin kolaylıklarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Yöntem küçük problemler için etkilidir ayrıca darboğaz makinelerin ve parçaların bulunduğu durumlarda yöntem tek hücre oluşturabilmektedir. Bu gibi durumlarda geliştirilmiş yöntemleri kullanmak daha uygun olacaktır. Yöntemin adımları aşağıdaki gibidir. (Özçelik, 2020)

Adım 1: Eğer i. makinede j. parça işleniyorsa K(i,j) değeri 1, işlenmiyorsa K(i,j) değeri 0 olur. Bu şekilde parça-makine matrisleri oluşturulur.

Adım 2: Rassal olarak bir satır seçilir. Seçilen satıra çizgi atılır.

Adım 3: Çizilen çizgi üzerinde 1 değeri bulunan tüm sütunlara çizgiler atılır. Üzerinden çizgi atılan her 1 değerinde hem yatay hem de dikey olacak şekilde iki çizgi olmalıdır.

Adım 4: Çizgi atılabilecek değer kalmayana kadar devam edilir.

Adım 5: Üzerinde çizgi bulunan satırlardaki makineler ve sütunlardaki parçalar aynı hücreye atanır.

Adım 6: Ataması yapılan makine parçalar matristen çıkarılır. Kalan makine ve parçalar için yeni bir matris oluşturulur. Adım 2'ye tekrar dönülür.

Adım 7: Üzerinde çizgiler olan makine ve parçalar da iki numaralı hücreye atanır. Tekrar Adım 2'ye dönülür.

Adım 8: Matriste ataması yapılmamış makine ve parça kalmayınca durulur.

2.4.1.6. Sezgisel algoritmalar

Çalışmada bu bölüme kadar anlatılan hücre oluşturma yöntemlerinin sahip olduğu dezavantajlar sebebiyle literatürde bazı algoritmalar geliştirilmiştir. Problem boyutunun büyük olması, işlem sıralarının ve kapasite kısıtlarının dikkate alınması ihtiyacı gibi sebepler diğer bahsedilen yöntemlerin dezavantajları arasındadır. Sezgisel algoritmaların diğer yöntemlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmasının yanında, sağladığı sonuçların kesinliği garanti edilememektedir. Bir diğer deyişle, optimum sonucun bulunacağı garanti edilmemektedir ancak makul sürelerde optimum çözüme yakın denilebilecek sonuçlar vermektedir. Genellikle optimum çözüme yakın olan sonuca kolay ve kısa sürelerde ulaşırlar.

Akyol ve Alataş'a (2012) göre genel amaçlı sezgisel algoritmalar altı gruba ayrılabilirler. Bunlar; biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı ve kimya tabanlıdır. Ek olarak bunların melez olarak birleştirilmesinden doğan yöntemlerde vardır.

Biyoloji tabanlılara genetik algoritma, karınca koloni algoritmaları, yapay sinir ağları ve arı koloni algoritmaları örnek verilebilir. Sosyal tabanlı algoritmalardan en bilineni tabu arama algoritmasıdır. Müzik tabanlılara armoni arama algoritması; kimya tabanlılara kimyasal reaksiyon algoritması; fizik tabanlılara su damlacıkları algoritması ve merkez kuvvet optimizasyonu örnek verilebilir. Parçacık sürü optimizasyonu ve kedi sürüsü optimizasyonu ise sürü tabanlı algoritmalardandır. (Alataş, 2007)

Bu algoritmaları kullanırken problem seçimine göre yöntem seçmek çok önemlidir. Bir problem tipi için iyi sonuç veren sezgisel yöntem başka bir problem tipi içinde iyi sonuç vermeyebilir. Bu nedenle problem tipine göre yöntem seçmek sonucu etkilemektedir.

2.4.1.7. Yapay zekâ metotları

Yapay zekâ metotları, büyük boyutlu gerçek hayat problemlerini uygun sürelerde çözmek amacıyla geliştirilen yöntemlerdir. Hücre oluşturma problemleri için problem zorluğu ve problemin boyutu göz önüne alındığında yapay zekâ metotları uygun metotlardır. (Xing vd., 2009).

Yapay zekâ algoritmalarının kullanımı çeşitli alanlarındaki modelleme ve optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler arasından sıklıkla seçilen yöntemler haline gelmiştir. Uzundurukan ve Saplıoğlu (2019) yapay zekâ uygulamalarının ve trendlerinin incelenmesi konusunda çalışmalar yapmışlardır. İncelemeler sonucunda yapay zekâ metotları arasında en çok çalışma yapılan uygulamanın yapay sinir ağları olduğu görülmüştür.

Teknolojik gelişmelerle birlikte büyük boyuttaki problemlerin çözümü için hem zamandan tasarruf sağlamak hem de sonuca ulaşabilmek için yapay zekâ metotları tercih edilmektedir. Yapay sinir ağları, bulanık mantık, uzman sistemler, adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi en sık kullanılan yapay zekâ metotları arasındadır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hücre oluşturma problemlerinde alternatif rotaların varlığı konusunda ilk kez çalışmalar yapmış olan Kusiak (1987) genelleştirilmiş p-medyan modeli kullanarak tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir.

Nagi vd.ne (1990) göre hücresel üretim, üretimi kolaylaştırmayı amaçlamakta ve taşıma, bekleme ve stok maliyetlerini azaltarak katma değersiz işlemleri minimuma indirmektedir. Bu araştırmacılar, parçaların rotalarının seçilmesini, parçaların tüm taleplerinin karşılanmasını ve makinelerin kapasite kısıtlamalarını göz önünde bulundurarak hücreler arası trafiği minimize edecek şekilde üretim sisteminin üretim hücrelerine ayrıştırılması üzerine çalışmışlardır.

Kasilingam ve Lashkari (1991) doğrusal olmayan bir 0-1 tam sayılı programlama modelini, makine hücrelerini ve parça gruplarını alternatif rotalar varlığında geliştirmişlerdir. Doğrusal olmayan modeli iki doğrusal tam sayılı probleme bölerek yinelemeli şekilde çözmektedir.

Onwubolu ve Songore (2000) makineleri ve parça ailelerini hücrelere atamak ve hücreler arası hareket sayısını minimize etmek için meta sezgisel tabanlı tabu arama algoritması geliştirmiştir.

Erol (2000) hücresel üretim sistemi konusunda çalışmalar yapmıştır. Bir kalıp üretim tesisinde mevcut makine ve parçalar için gruplamalar yapıp, belli parça gruplarını belirlenen hücrelere hücrelerarası trafik minimizasyonu yaklaşımını kullanarak atamıştır. Yaptığı çalışmanın amacı üretim maliyetlerini düşürmek, üretim planlama çalışmalarını kolaylaştırmak ve en önemlisi kendini değişen koşullara uyarlama gücü yüksek bir üretim sistemi oluşturmaktır.

Durmuşoğlu vd. (2003) hücresel üretim yönteminin etkinliğini ölçmek için Türkiye'de bulunan çeşitli büyüklükteki 44 firma ve toplam 207 üretim hücresini sahada inceleyerek değerlendirmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda oluşturulan hücrelere

atanan parçaların %32'si hücre içinde tamamlanamayıp, diğer hücreleri ziyaret etmek zorunda kaldığı görülmüştür. Parçaların başka hücreleri ziyaret etmesi işletmeler için istenmeyen bir durumdur ve birçok noktada maliyet oluşturmaktır. Bu bilgiler ışığında, çalışmamızın temel aldığı hücrelerarası trafik minimizasyonu metodunun önemi ortaya çıkmaktadır.

Adil vd.ne (2010) göre parçaların hücrelere ve makinelere atanması, diğer hücrelerle ilişkisinin minimum seviyede tutulmasını temel almalıdır. Amaç bir parçanın atandığı hücre dışında işlem görmemesidir. Ancak bu durumda ideal hücreler elde edilebilir.

Saraç ve Özçelik'e (2012) göre başarılı bir hücresel imalat kurulumun ön koşulu etkili bir gruplamadır. Çalışmalarında gruplama etkinliğini en üst düzeye çıkarmak amacıyla genetik algoritma kullanarak makine hücreleri ve parça aileleri oluşturulması sorununu ele almışlardır.

Şahin ve Alpay (2016) yaptıkları çalışama da makine ve işçiyi birlikte ele alan çok boyutlu hücre oluşturma problemini çözmek amacıyla bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Bu genetik algoritmanın performansını küçük ve büyük boyutlu problemler üzerinde test etmişlerdir.

Sudtachad (2020) yaptığı çalışmada üretim hatları için parça hareket akışının beklenen toplam hareket sürelerini minimize etmeyi amaçlamıştır. Değişken talepleri karşılayabilmek için rassal talep değerleriyle çalışarak dinamik programlama modeli tasarlamıştır.

Adinarayanan vd.ne (2021) göre ekipmanların sistematik şekilde yerleştirilmediği durumlarda, parçaların kat ettiği mesafe artar ve bu durum üretim süresini arttırır. Dolayısıyla üretkenlik azalır ve katma değersiz maliyetler artar. Araştırmacılar bu sorunu çözmek amacıyla firmalar için hücresel üretim sistemini önermiştir. Yaptıkları çalışmada parçaların hareket mesafesinin minimize edilmesi amacıyla matrislerden yardım alarak PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) yaklaşımını önermişlerdir.

Saraçoğlu vd. (2021) bir ayakkabı üretim tesisinde üretim süresini ve parça akış süresini minimize etmek amacıyla hücresel üretim sistemi problemini çözmek için üç aşamalı çözüm metodolojisi geliştirmişlerdir. Çeşitli ürünler arasında benzerlik matrisini kullanarak hücrelerdeki ürünlerin benzerliklerini maksimize edecek şekilde ürün aile gruplarında atama yapmışlardır. Hücre yüklemelerini genetik algoritma kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Model ve çözüm tekniğinin, hücresel üretim sistemlerinde karşılaşılan hücre yükleme ve çizelgeleme problemlerinin çözümünde etkili bir yaklaşım olduğunu göstermişlerdir.

Hücresel üretim sisteminin yararlarıyla ilgili bir diğer çalışma Sharma ve Gidwani (2022) tarafından yapılmıştır. Hint endüstrilerinde hücresel üretim yöntemlerinin uygulama oranının halen düşük olduğu görülmüştür. Günümüzün rekabet çağında bu durumun Hint endüstrisi için verimsizlik ve beraberinde maliyet artışı getirdiği görülmektedir. Yaptıkları çalışmada bu sistemin Hint endüstrilerinde uygulandığı takdirde faydalı olabileceğini göstermişlerdir.

Soltysova vd. (2022) hücresel üretim sistemlerindeki hücrelerin performansı üzerinde çalışmışlardır. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemini kullanarak çok kriterli bir değerlendirme çalışması yapmışlardır. Belirlenen beş kritere göre hücreler değerlendirilmiş ve farklı alternatifler arasından en iyi sonucun seçilmesine dayalı bir yöntem sunmuşlardır.

Literatürde hücre oluşturma problemlerini karar destek sistemi yaklaşımıyla çözen çalışmalar da bulunmaktadır. Devam eden bölümde karar destek sistemi geliştirerek hücresel üretim sistemi oluşturmayı hedefleyen çalışmalara yer verilmiştir.

Hücre oluşturma problemini karar destek sistemleri yardımıyla çözen Chu (1997) yapay sinir ağlarını kullanarak aynı anda parça ailelerini ve makine hücrelerini oluşturabilen bir çalışma sunmuştur. Çalışmalarında alternatif rotaların varlığı göz ardı edilmiştir.

David S.A. (2002) yaptığı çalışmada makine hücreleri için makine benzerlik yaklaşımı ve parça aileleri oluşturmak için kendi yönetimini birleştirerek bir karar destek sistemi önermiştir. Bu karar destek sistemini C++ ile kodlamıştır.

Literatürde yer alan hücre oluşturma yöntemleriyle ilgili çalışmaların özet tablosu Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. Hücre oluşturma problemini ele alan çalışmalar

Makale No	***Makale Adı***	***Konu***	***Yıl***	***Yazar***
1	A multi-criteria assessment of manufacturing cell performance using the AHP method	AHP yöntemi kullanarak çok kriterli programlama ile elde edilen hücre alternatifleri arasından en iyisini seçme	2022	Soltysova, Z., Modrak, V., Nazarejova, J.
2	Minimizing makespan and flowtime in a parallel multi-stage cellular manufacturing company	Üretim ve parça akış süresini minimize etmek amacıyla benzerlik matrisi ve genetik algoritma kullanan bir yaklaşım önerilmesi	2021	Saraçoğlu, İ., Süer, G.A., Gannon, P.
3	Design of machine cell in cellular manufacturing systems using PSO approach	Parçaların hareket mesafesinin minizmize edilmesi amacıyla PSO(Parçacık sürü optimizayonu) kullanılarak hücrelerin oluşturulması	2021	Adinarayanan, A., Dinesh, S., Balaji, D.S., Umanath, K.
4	Dynamic programming model for cellular manufacturing layout under demand uncertainty	Parça hareket akışının minimize edilerek hücrelerin oluşturulmasına yönelik dinamik programlama modelinin tasarlanması	2020	Sudtachad, K.
5	A metaheuristic approach for a cubic cell formation problem	Çok boyutlu hücre oluşturma problemini çözmek amacıyla genetik algoritma geliştirilmesi	2016	Şahin, Y.B., Alpay, Ş.
6	A genetic algorithm with proper parameters for manufacturing cell formation problems	Genetik algortima kullanılarak makine hücrelerinin ve parça ailelerinin oluşturulması	2012	Saraç, T., Ozçelik,F.
7	Sipariş üzerine üretim yapan bir sistemde hücresel üretim uygulaması	Hücrelerarası trafik minimizasyonu ile hücrelerin ve parça ailelelerinin belirlenmesi	2000	Erol, S.
8	A tabu search approach to cellular manufacturing systems	Meta sezgisel tabanlı tabu arama algortiması kullanarak hücreler arası trafik değerinin minimize edilmesi	2000	Onwubolu, G.C., Songore, V.
9	Cell formation in the presence of alternate process plans in Flexible Manufacturing Systems	Alternatif rotalar varlığında hücreleri oluşturmak amacıyla doğrusal olmayan 0-1 tamsayılı programlama modelinin geliştirilmesi	1991	Kasilingam, R.G., Lashkari, R.S.
10	Multiple routings and capacity considerations in group technology applications	Parça ailelerini ve makine gruplarını oluşturmak amacıyla hücreler arası trafik minizmizasyonu yönteminin kullanılması	1990	Nagi, R., Harhalakis, G., Proth, JM.
11	The generalized group technology concept	Alternatif rotaların varlığında genelleştirilmiş p-medyan modeli kullanılarak tamsayılı programlama modeli ile hücre oluşturulması	1987	Kusiak, A.

Mahadevan ve Srınıvasan (2003) hücre oluşturma problemi için MASCOT adında karar destek sistemi geliştirmişlerdir. MASCOT Windows tabanlı bir yazılımdır. Bu karar destek sistemi hücre oluşturma problemi için dokuz algoritma seçeneği sunmaktadır. Aynı zamanda bu çalışma yazılımcılar ve hücresel imalatla ilgili yazılım geliştirmek isteyenler için iyi bir referans çalışma niteliğindedir.

Yine benzer konuda çalışma yapmış olan Öztürk ve Öztürk (2005) tek rotalı parçaların var olduğu hücre oluşturma probleminde hücreler arası taşıma mesafesini minimize edecek, rekabetçi yapay sinir ağları yaklaşımını kullanarak bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir.

Vitanov vd. (2007) gerçek hayat problemlerindeki hücreleri elde etmek için HERBAL (Heuristic Rules Based Logic) sezgisel algoritmasına dayanan bir karar destek sistemi önermişlerdir. Literatürdeki verilerle karşılaştırmalar yapılmış ve yöntemin başarısı gösterilmiştir.

Çizelge 3. 2. Karar destek sistemi ile hücre oluşturma problemini ele alan çalışmalar

Makale No	***Makale Adı***	***Konu***	***Yıl***	***Yazar***
1	Artificial neural network-based decision support systems in manufacturing processes: A systematic literature review	İmalat sektöründe kullanılan karar destek sistemlerinin incelenmesi	2022	Mumali, F.
2	Proposal for a decision support software for the design of cellular manufacturing systems with multiple routes	Alternatif rotalı parçaların bulunduğu hücre oluşturma problemini çözmek amacıyla operasyonel karar destek yazılımı geliştirilmesi	2015	Erozan, İ., Torkul, O., Üstün, Ö
3	Alternatif Rotalı Hücre Oluşturma Problemlerinin Çözümü için Yeni bir Melez Yaklaşım	Alternatif rotaların varlığında parçacık sürü yaklaşımı ve yapay sinir ağları kullanılarak hibrit bir karar destek sisteminin oluşturulması	2011	Sönmez, M.
4	Development of a Web-Based Decision Support System for Cell Formation Problems Considering Alternative Process Routings and Machine Sequences	Hücre oluşturma problemi için tabu arama tekniği kullanılarak bir web tabanlı karar destek sistemi geliştirilmesi	2010	Chang, C.C.
5	A decision support tool to facilitate the design of cellular manufacturing layouts	Hücre oluşturma problemi için HERBAL (Heuristic Rules Based Logic) algortiması kullanılarak bir karar destek sistemi geliştirilmesi	2007	Vitanov, V., Tjahjono, B., Marghalany, I.
6	A Competitive neural network approach to manufacturing cell formation	Rekabetçi sinir ağı yaklaşımı ile tek rotalı hücre oluşturma problemlerini hücreler arası taşıma mesafesini minimize eden karar destek sisteminin geliştirilmesi	2005	Ozturk, G., Ozturk, Z.K.
7	Software for manufacturing cell formation: issues and experiences	Hücre oluşturma problemi için windows tabanlı MASCOT adında karar destek sistemi geliştirilmesi	2003	Mahadevan, B., Srınıvasan, G.
8	Decision Support Systems In Cell Manufacturing	Hücre oluşturma problemi için makine benzerlik yaklaşımı kullanılarak bir karar destek sisteminin önerilmesi	2002	David, S.A.
9	An improved neural network for manufacturing cell formation	Yapay sinir ağlarını kullanarak tek rotalı hücre oluşturma problemini çözmek için karar destek sistemi geliştirilmesi	1997	Chu, C.H.

Literatürde karar destek sistemleriyle hücre oluşturma konularında bulunan çalışmaların özet tablosu Çizelge 3.2'de paylaşılmıştır.

Chang (2010) hücre oluşturma problemi için tabu arama tekniği kullanarak web tabanlı bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Bu çalışma da alternatif rotalar göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma, literatürde bulunan çalışmalarla karşılaştırılmış ve sonuçlarda iyileştirme sağlandığı gösterilmiştir.

Gerçek hayat problemlerinde var olan alternatif rotaların göz önüne alınmasıyla problem karmaşıklığının artmasına karşın elde edilen hücrelerin etkinliği çok daha iyi olmaktadır. Hücre oluşturma problemlerinde alternatif rotaları göz önünde bulunduran Sönmez (2011) parçacık sürü optimizasyonu ve yapay sinir ağlarını kullanarak melez bir karar destek sistemi geliştiriştir.

Erozan vd. (2015) hücresel imalat sistemlerinde alternatif rotalı parçaların bulunduğu hücre oluşturma problemini çözmek amacıyla operasyonel karar destek yazılımı geliştirmişlerdir. Bu yazılım genetik algoritmalar ile birlikte karar vericilerin seçenekler arasından en iyiyi seçmesine yardımcı olmaktadır.

Mumali (2022) yaptığı çalışmada imalat sektöründe karar destek sistemleriyle ilgili yapılmış literatür incelmesini paylaşmıştır. İmalat sektöründe karar destek sistemlerinin analitik ve tahmin yeteneklerini zenginleştirmek amacıyla yapay sinir ağı modellerinin kullanımının arttığını göstermiştir.

4. SİSTEM TANITIMI

Bu bölümde firma hakkında ve firmada ele alınan problem hakkında bilgiler verilecektir.

4.1. Firma Hakkında

Firma havacılık ve uzay sanayi için dünyanın değişik bölgelerindeki müşterilerine uçuş kritik parçaları, döner komponent, alt sistem ve sistem imalatı yapmak üzere Eskişehir'de kurulmuştur. Firmada helikopter dinamik parçaları ve alt sistemleri, motor ve pervane parçaları, iniş takımı parçaları ve asambleleri, dinamik ve statik motor sistem bileşenleri, uçak yapısal parçaları üretilen ürün gruplarından bazılarıdır.

Bünyesinde yaklaşık 1300 personel bulunmaktadır ve 50.000 m² kapalı alana sahiptir. 200'ün üzerinde tezgâh, yaklaşık 2000 çeşit parça, CMM (Coordinate Measuring Machine) kalite kontrol ekipmanları, geniş çaplı laboratuvar kabiliyetleri, kaplama ve özel proses ekipmanları bulundurmaktadır. Tezgahların çoğunluğu 4 eksen ve 5 eksen torna ve freze tezgâhları oluşturmaktadır ve titanyum, alüminyum, çelik, paslanmaz çelik, bakır alaşımları ve süper alaşımların işlenmesinde kullanılmaktadır. Parçalarda tezgâh operasyonları dışında çapak alma, özel prosesler, boyama, markalama, kalite, montaj, paketleme operasyonları da bulunmaktadır.

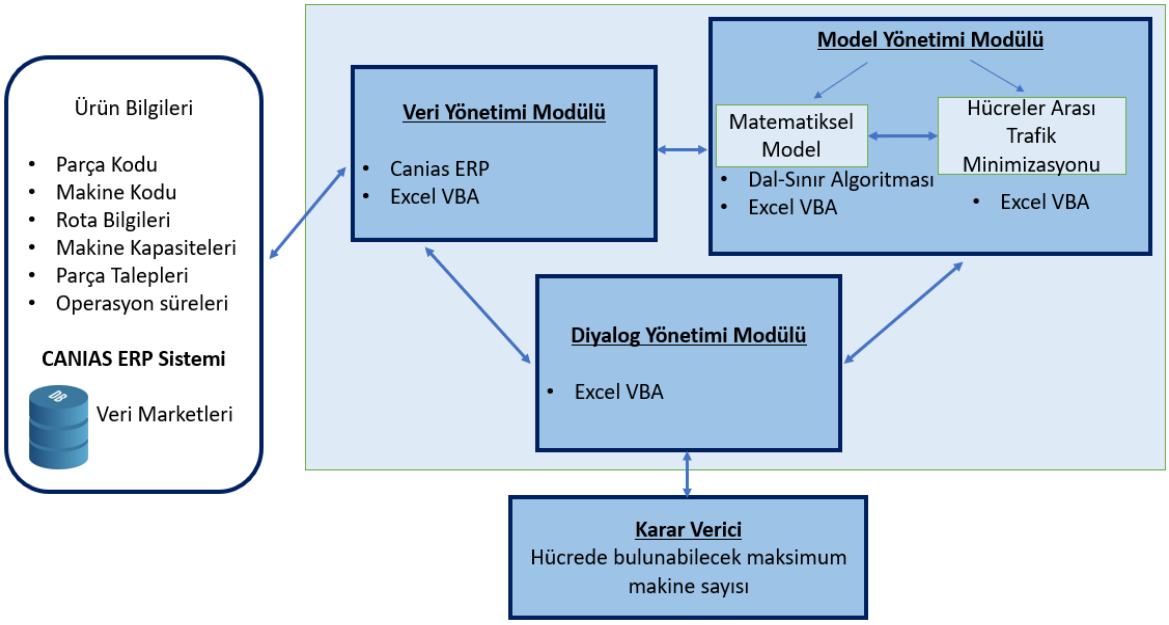
4.2. Problem Tanımı

Bu çalışma Eskişehir'de bulunan havacılık ve savunma sanayi sektöründe faaliyet gösteren talaşlı imalat üretimi yapan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Firmada mevcut durumda oluşturulmuş hücreler ve ürün aile grupları vardır ancak hücrelerin oluşturulmasının üzerinden yıllar geçmesi sebebiyle hücreler etkili ve verimli kullanılamamaktadır. Ürün aile gruplarına atanan parçaların rotaları ve talepleri değişmiştir. Değişen teknoloji koşulları sebebiyle bazı parçaların üretim şekilleri ve üretim rotaları da değişmiştir. Hemen hemen tüm parçalar kendi hücreleri dışında başka hücrelerde işlem görmektedir. Hücrelerarası trafik değeri artmıştır. Bu da firma için gereksiz taşıma ve

bekleme maliyetlerine yol açmaktadır. Beraberinde parça üretim süreleri de artmıştır. Aynı zamanda üretim sisteminin yönetilmesi ve parçaların takibi zorlaşmıştır. Değişen talep miktarları, alternatif rotaların oluşması, kapasite kısıtlarının oluşması gibi sorunlar sebebiyle hücresel üretim sisteminin yeniden gözden geçirilmesi ve değişikliklere daha hızlı ayak uydurulabilecek bir sistemin oluşturulması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Firmadaki problemi çözmek amacıyla rotaların seçilmesi ve hücre atamalarının yapılması için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

5. ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Bu çalışmada alternatif rotalar, makine kapasiteleri ve müşteri talepleri göz önünde bulundurularak hücrelerarası trafik değeri minimizasyonunu amaçlayan bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu karar destek sisteminin bileşenleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 1. Önerilen karar destek sisteminin bileşenleri (Kapanoğlu vd.'den, 2019)

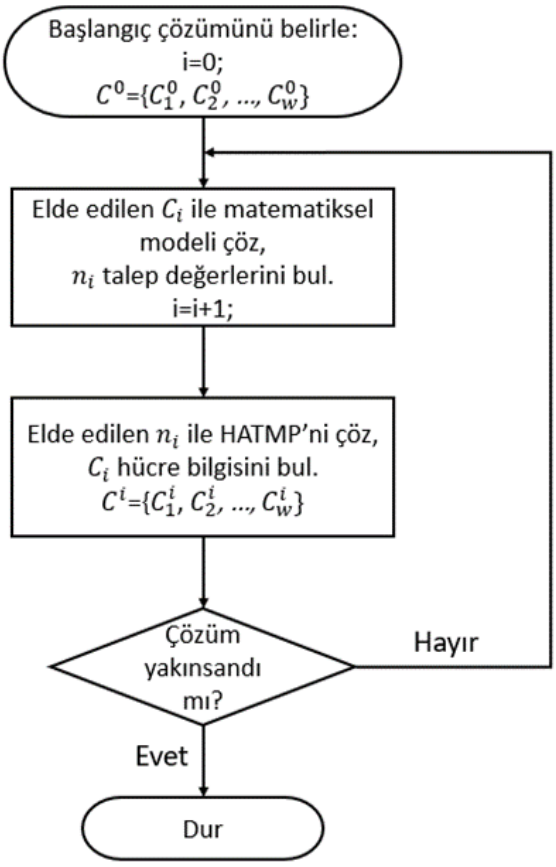
Şekil 5.1'de model yönetimi modülünde görüldüğü gibi önerilen algoritma rotaların seçilmesi ve hücrelerin oluşturulması olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamadaki matematiksel model dal-sınır algoritması kullanılarak çözülürken, ikinci aşama hücrelerarası trafik minimizasyonu metodu kullanılarak çözülmüştür. Birinci ve ikinci aşamalar iterasyonlar halinde birinin çıktısı diğerinin girdisi olarak kullanılacaktır. Önerilen karar destek sistemi Excel VBA'da kodlanmıştır. Geliştirilen bu karar destek sisteminin adı HAP olarak belirlenmiştir. Hücrelerarası trafik minimizasyonu ile hücreler arası gereksiz taşıma maliyetlerinden kaçınılması hedeflenmiştir. Önerilen karar destek sistemi, ilerleyen dönemlerde parçaların rotalarında ve müşteri taleplerinde değişikliklerin olması durumda, sisteme yeni ürün dahil edilmesi durumunda tekrar kullanılabilmektedir.

Karar destek sisteminin model yönetimi modülünün içinde aşağıdaki bileşenler yer almaktadır:

- Rotaların belirlenmesi (Matematiksel Model)
- Hücrelerin oluşturulması (Hücrelerarası Trafik Minimizasyonu)

Hücrelerin oluşturulması aşamasından elde edilen hücre bilgisi, rotaların seçileceği matematiksel modele girdi olacaktır. Aynı şekilde rotaların seçilmesi aşamasının sonucu olarak hangi rotadan kaç adet üretileceği bilgisi, hücrelerin oluşturulması problemi için girdi olacaktır. Bu şekilde sistemde bulunan trafik değeri azalmayıncaya kadar iterasyonlar devam edecektir. Önerilen yaklaşımın daha anlaşılır olması için akış şeması Şekil 5.2'de verilmiştir.

C hücreler ve n talepler olmak üzere akış şeması;



Şekil 5. 2. Önerilen yaklaşımın akış şeması

Yöntem aşağıdaki durumları göz önünde bulundurmaktadır:

- Alternatif rotaların varlığı
- Her makine için kapasite kısıtlarının göz önünde bulundurulması
- Her parçanın talebinin karşılanması
- Hücrelerarası trafik değerinin minimizasyonu
- Bir makinedeki ardışık olmayan işlemler
- Operasyon sıraları
- Operasyon süreleri

Devam eden bölümlerde matematiksel model, dal-sınır algoritması ve hücrelerarası trafik minimizasyonu yöntemlerine detaylıca değinilecektir.

5.1. Matematiksel Model

Matematiksel model bu çalışmada ilk aşamada kullanılmaktadır. İlk aşama önceki bölümlerde bahsedildiği gibi rotaların belirlenmesi adımıdır. Belirlenen kısıtlar altında matematiksel model çözülür ve sonuçları seçilen rotalardaki talep değerlerini verir. Aşağıda matematiksel modelde kullanılan kümeler, parametreler, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlara yer verilmiştir.

Kümeler;

$M = \{m_1, m_2, \dots., m_m\}$ Makineler kümesi

$P = \{p_1, p_2, \dots., p_n\}$ Parçalar kümesi

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_w\}$ Hücreler kümesi

$R_i = \{r_1^1, r_1^2, \dots., r_n^{q(i)}\}$ p_i parçasının alternatif rotaları, q(i) (i=1,2,3…,n)

Parametreler;

t_{ab} : c_a ve c_b hücreleri arasındaki trafik değeri

$x_{ik}(a,b)$: c_a hücresindeki bir makinenin ardından c_b hücresindeki herhangi bir makinenin yer almasının sayısı (k=1,2,…,q(i))

$d_{ik}(j)$: p_i parçasının k. alternatif rotasında j makinesindeki işleme süresi

N_i : p_i parçasının üretim talebi (i=1,2,…,n)

e_j : Makineler için kullanılabilir kapasite (j=1,2,…,m)

g_a : c_a hücresinde bulunan makine sayısı

G : Bir hücrede kullanılabilecek maksimum makine sayısı

Karar değişkeni;

n_{ik} : p_i parçasının k. alternatif rotasındaki üretilecek talep miktarı

Yöntemin matematiksel modelini Nagi vd. 1990 yılında aşağıdaki gibi tanımlanmışlardır. Bu amaç fonksiyonunda yer alan u_i değeri p_i parçasının önem derecesini belirtmektedir.

$$\min Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{q(i)} \left(x_{ik}(a,b) + x_{ik}(b,a)\right) n_{ik}\ u_i \qquad (5.1)$$

Bu çalışmada önem derecesi kullanılmayacaktır. Bu nedenle amaç fonksiyonun düzenlenmiş hali aşağıdaki gibidir:

$$\min Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{q(i)} \left(x_{ik}(a,b) + x_{ik}(b,a)\right) n_{ik} \qquad (5.2)$$

Matematiksel modelin kısıtları;

$g_a \leq G$ a=1,2,…,w (5.3)

$\sum_{k=1}^{q(i)} n_{ik} = N_i$ i=1,2,…,n k=1,2,…,q(i) (5.4)

$\sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{q(i)} n_{ik}\, d_{ik}(j) \leq e_j$ j=1,2,…,m (5.5)

$n_{ik} \geq 0\ ve\ tamsayı$

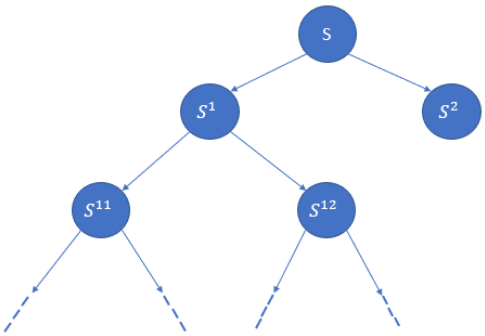
$M = \{m_1, m_2, \ldots, m_m\}$ olmak üzere önerilen algoritmada alternatif rotalar göz önünde bulundurulacağı için sistemde var olan aynı makineler farklı kodlarla belirtilecektir.

İşleme süreleri ile çalışılırken, m_j makinesi r_i^k rotasında kullanılmıyorsa $d_{ik}(j)$=0, m_j makinesi r_i^k rotasında iki ya da daha fazla operasyonda kullanılıyorsa o makinedeki toplam operasyon süresi şeklinde alınmalıdır.

Denklem (5.2) ile gösterilen denklem amaç fonksiyonudur, hücrelerarası trafik değerini göstermektedir. Kısıtlarda yer alan (5.3) nolu kısıt, hücre büyüklüğü kısıtını; (5.4) nolu kısıt, her bir parça için talep kısıtını; (5.5) nolu kısıt ise her bir makine için kapasite kısıtını ifade etmektedir.

5.2. Dal-Sınır Algoritması

Dal sınır algoritması literatürde ilk kez Land ve Doig (1960) tarafından tam sayılı problemleri çözmek için geliştirilmiştir. Dal sınır algoritmasının temelinde tüm olurlu çözüm seçeneklerinin bulunması yatmaktadır. Amaç çözüm alanını küçük kümelere bölerek, çözümün içinde bulunmadığı düşünülen bölgeleri eleyerek çözüme ulaşmaktır. Dal sınır algoritması en uygun çözümü içermediği bilinen alt grupları silerek, dallanma ve sınırlanma işlemlerinin yinelemeli olarak yapılmasıdır. (Mitten, 1970) Bu yöntemde üç işlem yapılarak ilerlenir: Dallandırma, sınırlama ve bağlama.



Şekil 5. 3. Dal sınır algoritması ağacı ve dallanma şekli (Land ve Doig'den, 1960)

Çözülmek istenen tam sayılı programlama modeli, tam sayılı olma şartı aranmadan çözülür. Optimal çözümler arasından kesirli değerlere sahip olanlar için dallandırma değişkeni seçilir ve alt problemler oluşturulur. Dallandırma değişkeni en büyük ekonomik önemi olan değişkendir. Dallandırma işlemi yapılırken seçilen kesirli değerin iki tam sayı arasında olduğu düşünülür ve kısıtlara eklenir. Eklenen kısıtlarla birlikte alt problemler

oluşturulur. Alt problemlerin her biri ayrı ayrı çözülür. Çözülen alt problemler daha fazla dallanmaya gidilip gidilmeyeceği belirlenmek üzere değerlendirilir. Çözüm değerleri tam sayılı olmayan alt problemlerden amaç fonksiyonu değeri optimale yakın olan tekrar dallandırma için seçilir. Alt problemler arasında uygun çözümü olmayan alt problem varsa dallandırma için dikkate alınmaz yani alt problem bağlanır. Bu şekilde dallandırma işlemlerine devam edilir. Optimal çözüm olmaya aday tam sayılı çözümler arasından maksimizasyon problemi ise en büyük olan, minimizasyon problemi ise en küçük olan seçilir. Land ve Doig (1960) tarafından geliştirilen dal-sınır algoritmasının dallanma yapısı Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

5.3. Hücrelerarası Trafik Minimizasyonu Yöntemi

Hücrelerarası trafik minimizasyonu yönteminin esası aralarında yoğun hareket bulunan tezgâhları bir araya toplamaya dayanmaktadır. Parçaların rota bilgilerinden elde edilen verilerle makineler arasındaki trafik değerleri bulunur. En büyük trafik değerine sahip makineleri bir araya toplayarak sistemin genel trafik değerinden kazanç sağlama amacına dayanır. (Nagi vd., 1990)

Hücrelerarası trafik minimizasyonu yöntemi, üretim sistemi içinde malzeme ve ürün hareketlerini minimuma indirecek bir yaklaşımdır. Bu sayede firmalar hem bekleme, taşıma maliyetlerinden kar sağlayacak hem de ürünlerin üretim sürelerinde azalma sağlanacaktır. Hücresel imalat sisteminde, hücre içinde bulunan makinelerin kullanımını maksimize edebilmek için en önemli unsurlar, parçaların hücrelerarası hareket sayısını veya maliyetini ve istisnai eleman sayısını minimize etmektir. (Şahin vd., 2019)

Yöntem alternatif rotaları da göz önünde bulundurmaktadır. Gerçek hayat problemlerinde alternatif rotalar kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu durum hücresel üretim sistemlerinde oldukça önemlidir. Örneğin süreç tipi yerleşimde bir parça freze tezgahında işleneceği zaman, freze tezgahlarının tamamının bir arada olduğu freze bölümüne gidecektir. Hangi freze tezgâhı iş yükü bakımından uygunsa parça o tezgâhta işlenecektir. Ancak hücresel üretim sistemlerinde, elde bulunan freze tezgâhları hücrelere dağıtılmış haldedir. Bir hücrede birden fazla freze tezgâhı da bulunabilir. Bu gibi durumlarda bir ürün için birden fazla alternatif rota oluşmaktadır. Literatürde bulunan yöntemlerin büyük bölümünde

alternatif rotalar göz ardı edilmektedir. Bu durum gerçek hayat problemlerinin çözümünü zorlaştırmıştır.

Hücrelerarası trafik minimizasyonu metodunun adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Sistemde oluşturulacak hücrede bulunması istenen maksimum makine sayısı belirlenir. G değeri bir hücrede izin verilen maksimum makine sayısıdır.

Adım 2: Sistemde bulunan tüm makineler ayrı birer hücre gibi ele alınır. Makine-makine matrisi oluşturulur.

Adım 3: Makineler arasındaki trafik değeri denklem (5.2) de verilen formül ile bulunur. Formülasyonda bulunan tanımlamalar matematiksel model bölümünde detaylıca açıklanmıştır.

Adım 4: Sistemin toplam trafik değeri hesaplanır.

Adım 5: Sistemde yer alan en büyük trafik değeri olan iki makine bir araya getirilerek bir hücre oluşturulur.

Adım 6: Birleştirilen bu iki makine tek hücre olarak değerlendirilir, diğer makinelerle olan trafik değeri hesaplanırken ayrı ayrı değerleri toplanarak hesaplanır.

Adım 7: Adım 3'e tekrar gidilir. En büyük trafik değeri olan makineler birleştirilir.

Adım 8: Hücrelerden biri G değerine ulaşmışsa o hücre kapatılır ve yeni makine ataması bu hücreye yapılmaz.

Adım 9: Kalan makine ve hücrelerle işlemlere devam edilir.

Adım 10: Her iterasyon sonrası sistemdeki toplam trafik değeri hesaplanır.

Adım 11: Toplam trafik değeri 0 olduğunda veya sistemde atanacak makine kalmadığında durulur.

5.4. Değerlendirme Kriterleri

Uygun metotlar seçildikten sonra oluşturulan hücrelerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Mevcut durum ve önerilen durumun karşılaştırılması için değerlendirme kriterlerinden yararlanılmaktadır. Literatürde birçok değerlendirme ve karşılaştırma kriterleri kullanılmıştır. Bu çalışmada mevcut durum ve önerilen durum kümelerini karşılaştırabilmek için aşağıdaki değerlendirme kriterleri kullanılacaktır.

Global Etkinlik: İlgili hücrelerde gerçekleştirilen operasyon sayısının, sistemin tamamında bulunan operasyon sayısına oranını ifade eder. Parçaların operasyonlarını ilgili hücre içinde sınırlandırılmasının etkinliğini yansıtır.

$$Global\ etkinlik = \frac{hücre\ içi\ operasyon\ sayısı}{sistemdeki\ toplam\ operasyon\ sayısı} \tag{5.6}$$

Grup Teknolojisi Etkinliği: Sistemdeki hücreler arası trafiğin mümkün olan maksimum hücreler arası trafiğe oranı üzerinden hesaplanır.

$$Grup\ teknolojisi\ etkinliği = 1 - \frac{mevcut\ trafik}{oluşabilecek\ maksimum\ trafik} \tag{5.7}$$

Yukarıdaki değerlendirme kriterlerine ek olarak hücrelerarası trafik değeri, hücre dışı operasyon sayısı, başka hücreyi ziyaret eden parça sayısı da karşılaştırılacaktır.

Değerlendirme kriterleri hesaplanırken veri kümesinin büyüklüğü sebebiyle manuel olarak hesaplamak zordur. Kullanıcıya kolaylık olması amacıyla tüm değerlendirme kriterleri geliştirilen karar destek sisteminin (HAP) çıktısı olarak otomatik hesaplanmaktadır. Yani program her çalıştığında bu veriler HAP'ın "Parametreler" çalışma sayfasında görüntülenecektir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

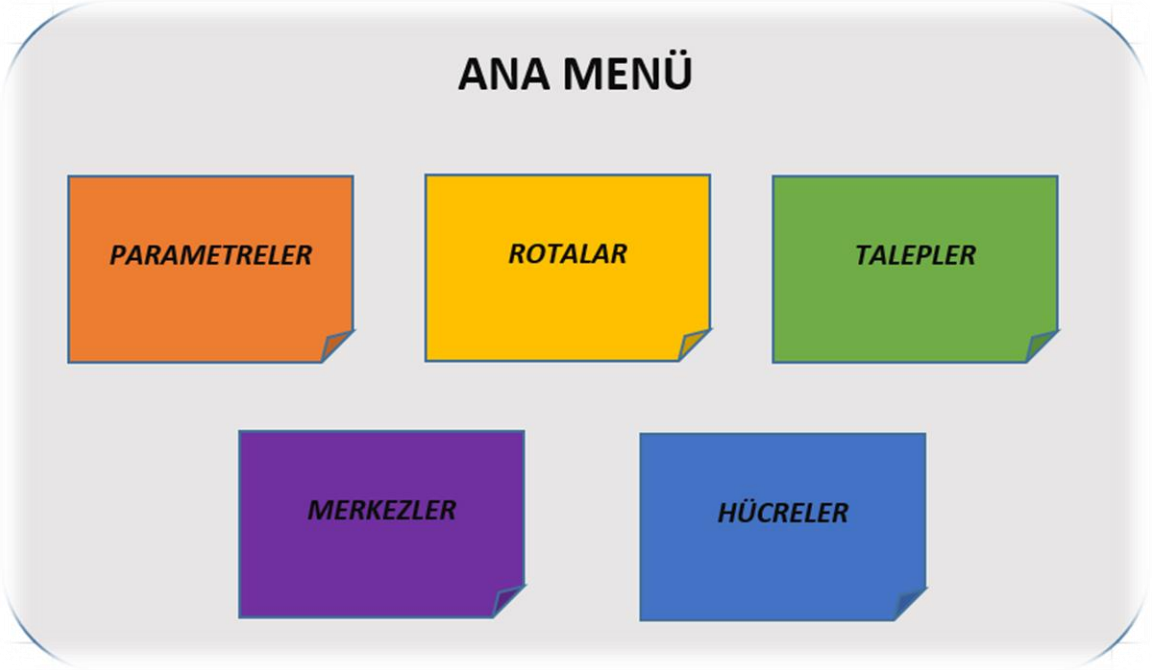
Yukarıda önerilen karar destek sistemi geliştirilmeden önerilen hücre oluşturma metodolojisinin gerçek imalat kararlarına yansıtılması imkansızdır. Bu nedenle hem kullanım kolaylığı hem de önerilen akademik yöntemlerin uygulamada kullanımını arttırabilmek amacıyla karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu karar destek sistemine HAP adı verilmiştir. HAP işletmede de kullanımı çok yaygın olan Excel VBA platformunda geliştirilmiştir.

Bu karar destek sistemi firmada bulunan parça numaraları, operasyon numaraları, rota bilgileri, makine kodları, makine kapasiteleri, operasyon süreleri girildiğinde belirli kriterlere göre hesaplamalar yapıp elde edilebilecek en iyi hücre bölünmesini göstermektedir. Bu bölünmeyi sağlarken karar destek sisteminin model yönetim modülünde yer alan matematiksel model üzerinden makine kapasite kısıtları, talep kısıtları, hücre büyüklüğü kısıtı altında hücrelerarası trafik değerini minimize eder.

Yöntemde bulunan iki aşama, rotaların belirlenmesi ve hücrelerin oluşturulması, dışarıdan herhangi bir müdahale gerekmeksizin karar destek sistemi içerisinde entegre şekilde çalışabilmektedir. HAP'da veriler girilip 'Hücre Oluştur' butonuna basıldıktan sonra başka işlem yapmaya gerek yoktur. Bu bölümde HAP'ın modülleri, bu modüllerin geliştirildiği çalışma sayfaları ve girilmesi gereken veriler detaylıca anlatılacaktır.

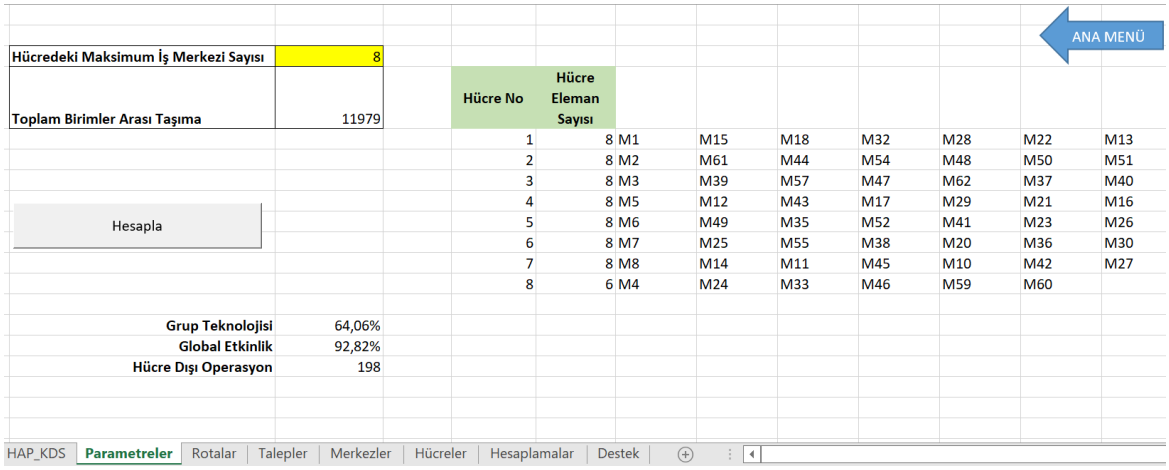
HAP'ın diyalog yönetim modülü, model yönetim modülü ve veri yönetim modülü olmak üzere üç alt modülü mevcuttur. Diyalog yönetim modülü ağırlıklı olarak kullanıcıların alışık olduğu Excel arayüzü ve programlama özellikleriyle zenginleştirilmiştir. İlk olarak HAP'ı açtığımızda HAP_KDS çalışma sayfasında ANA MENÜ kullanıcıyı karşılamaktadır. HAP_KDS hücre atama problemi ve karar destek sistemi kelimelerinin kısaltmasıdır. HAP_KDS sayfasının ekran görüntüsü Şekil 6.1'de verilmiştir. Bu sayfada HAP içerisinde bulunan tüm çalışma sayfalarına erişim bulunmaktadır. Örneğin turuncu kutu ile gösterilen parametreler sayfasına ulaşmak için bu kutucuğa basılması yeterlidir. Aynı durum diğer tüm sayfalar içinde geçerlidir. Aynı şekilde ilgili sayfalardan ana menüye dönmek için de her

sayfada ANA MENÜ yazılı ok şeklinde butonlar yer almaktadır. Bu butonlar KDS sisteminin kullanım kolaylığı için eklenmiştir.



Şekil 6. 1. HAP_KDS çalışma sayfasının ekran görüntüsü

İlk olarak kullanıcıdan veri girilmesinin istendiği sayfa "Parametreler" sayfasıdır. Bu sayfa KDS'nin çalışması için bulunan "Hücre Oluştur" butonun bulunduğu sayfadır ve veriler girildikten sonra bu butona basılarak programın çalışması sağlanmaktadır. Karar destek sisteminin model yönetim modülü yaklaşık 1200 parça ve 62 makinenin bulunduğu bir örnek için 5 dakikada sonuç vermektedir. 5 makine ve 6 parçanın bulunduğu başka bir örnek için 4 saniyede sonuç vermektedir. Bu sayfada bir hücrede bulunması istenen maksimum makine sayısı (G) kullanıcı tarafından tanımlanacaktır. "Hücredeki maksimum iş merkezi sayısı" da kullanıcı tarafından girilmektedir. Bu veriye karar destek sistemini kullanan uzman mühendislerin firmada hücre için ayrılabilecek alana, makine sayılarının çokluğuna göre karar vermeleri beklenmektedir. Şekil 6.2'de parametreler sayfasının ekran görüntüsüne yer verilmiştir.



Şekil 6.2. Parametreler çalışma sayfasının ekran görüntüsü

Hücredeki maksimum makine sayısı verisi parametreler sayfasına girildikten sonra "Rotalar" çalışma sayfasına geçilmelidir. Rotalar çalışma sayfası parçaların rota bilgilerinin bulunduğu sayfadır. Bu sayfada sarı boyalı sütunlara veriler girilecektir. "Parça No" sütununa firmada bulunan tüm parça numaraları girilmelidir. "Alternatif Rota No" sütununa belirtilen parçaların tüm rotaları girilmelidir. Örneğin bir parçanın asıl rotası 00 olarak belirtilirken ilgili parçanın alternatif rotaları bulunuyorsa 01, 02 vb. şeklinde alternatif rotalarına bu sayfada yer verilmelidir. İlgili parçanın ilgili rotasında ilgili operasyonu hangi makinede işlem görecekse "İş Merkezi" sütununda bu makine bilgisine yer verilmelidir. "Operasyon No" sütununda parçanın her operasyonu için tanımlanan operasyon numaralarına yer verilmelidir. Son olarak ilgili rota, operasyon ve makinede gerekli olan birim işlem süresi yani operasyon süreleri "Tezgâh Süresi (dk)" sütununda belirtilmelidir. HAP'da bulunan tüm süreler dakika cinsindendir. Bu nedenle operasyon süreleri de dakika cinsinden yazılmalıdır. Bu sayfada bulunan yeşil boyalı sütunlara kullanıcı herhangi bir müdahalede bulunmamaktadır. Bu sütunlar KDS'nin çalışması sonucu otomatik yazdırılmaktadır. Bu veriler hesaplamalar için gerekli olan bilgilerdir. Aşağıda şekil 6.3'de rotalar çalışma sayfasının ekran görüntüsüne yer verilmiştir.

Parça No	Alternatif Rota No	İş Merkezi	Operasyon No	Tezgah Süresi (dk)		Alternatif Rota Sayısı	Rota Adım Sayısı	Toplam Talep	Rotalanan Adet	Hücre No	Hücre Eleman Sayısı	Rota Maliyeti	Birim Adım Maliyet	Durum
1	00	M44	200	45		1	1	163	163	2	6	0	0	0
2	00	M5	300	25		1	1	14	14	5	8	0	0	0
3	00	M5	200	60		1	1	29	29	5	8	0	0	0
4	00	M6	5	90		1	4	119	119	6	8	119	0	0
4	00	M6	10	35		1	4	119	119	6	8	119	0	0
4	00	M35	30	200		1	4	119	119	6	8	119	119	0
4	00	M44	40	160		1	4	119	119	2	6	119	0	0
5	00	M5	300	44		1	1	80	80	5	8	0	0	0
6	00	M11	200	30		1	1	216	216	8	4	0	0	0
7	00	M5	200	61		1	1	32	32	5	8	0	0	0
8	00	M5	200	142		1	1	32	32	5	8	0	0	0
9	00	M5	300	70		1	1	50	50	5	8	0	0	0
10	00	M14	750	60		1	2	94	94	8	4	0	0	0
10	00	M14	800	60		1	2	94	94	8	4	0	0	0
11	00	M5	200	69		1	1	85	85	5	8	0	0	0
12	00	M3	200	20		1	2	98	98	3	5	0	0	0
12	00	M3	300	25		1	2	98	98	3	5	0	0	0
13	00	M3	200	20		1	2	56	56	3	5	0	0	0

HAP_KDS | Parametreler | Rotalar | Talepler | Merkezler | Hücreler | Hesaplamalar | Destek

Şekil 6. 3. Rotalar çalışma sayfası ekran görüntüsü

Bir sonraki adım “Talepler” çalışma sayfasıdır. Bu sayfada sistemde bulunan tüm parçaların taleplerine yer verilmektedir. Önemli olan nokta talepler her bir parça için yıllık toplam talep miktarıdır. Bu sayfada yer alan tüm parçaların rotalar çalışma sayfasında da ilgili bilgilerine yer verilmiş olması gerekmektedir. Talepler çalışma sayfasının ekran görüntüsü Şekil 6.4’de verilmiştir.

Parça No	Talep
1	163
2	14
3	29
4	119
5	80
6	216
7	32
8	32
9	50
10	94
11	85
12	98
13	56
14	150
15	84
16	23
17	190
18	65
19	51
20	96

HAP_KDS | Pa

Şekil 6. 4. Talepler çalışma sayfasının ekran görüntüsü

Parçaların rota ve talep bilgileri tanımlandıktan sonra makine bilgilerinin tanımlandığı “Merkezler” sayfasına geçilmelidir. Şekil 6.5’de gösterilen bu sayfada yine sarı boyalı sütunlar kullanıcı tarafından girilmesi istenen sütunlardır. Daha önce rotalar sayfasında tanımladığımız tüm makinelerin kodlarının “İş Merkezi” sütununda yer alması gerekmektedir. Belirtilen iş merkezlerinin yani makinelerin yıllık toplam kapasite bilgileri “Kapasite(dk)” sütununda belirtilmelidir. Daha önce bahsedildiği gibi KDS’de kullanılan tüm süreler dakika cinsinden olduğu için yıllık makine kapasite bilgileri de dakika cinsinden tanımlanmalıdır. Yeşil boyalı sütunlar yine KDS’nin hesaplamalar yaparken kullandığı bilgileri içermektedir. Bu sütunlara herhangi bir veri girişi yapılmayacaktır.

İş Merkezi	Kapasite (dk)		Teorik Maksimum Kapasite Taleb	Kullanılan Kapasite	Durum
M1	378000		360935	360935	0
M2	378000		360857	360857	0
M3	378000		359314	359314	0
M4	378000		357198	357198	0
M5	378000		356100	356100	0
M6	378000		354094	354094	0
M7	378000		343006	343006	0
M8	378000		338041	338041	0
M9	378000		337424	337424	0
M10	378000		333945	333945	0
M11	378000		329159	329159	0
M12	378000		323298	323298	0
M13	378000		309010	309010	0
M14	378000		305629	305629	0
M15	378000		292940	292940	0
M16	378000		290934	290934	0
M17	378000		287864	287864	0
M18	378000		268292	268292	0

HAP_KDS | Parametreler | Rotalar | Talepler | Merkezler | Hücreler

Şekil 6. 5. İş merkezlerine yönelik çalışma sayfasının ekran görüntüsü

HAP’a veri girilirken rotalar ve talepler sayfalarında parça numaralarının küçükten büyüğe doğru sıralı şekilde olması HAP’ın daha kısa sürede sonuç vermesini sağlamaktadır. Parça numarası ve makine kodları için herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır. Harflerden ve rakamlardan oluşan parça ve makine kodları olabilir.

Model yönetim modülü işlemleri tamamladıktan sonra 2 farklı uyarı türü karşımıza çıkabilir. Eğer girilen verilere göre uygun çözüme ulaşılabilmişse “olurlu çözüm bulundu!” şeklinde bilgilendirme mesajı çıkmaktadır ve sonuçlar parametreler sayfasına yazdırılmaktadır. Girilen verilere göre uygun çözüm bulunamamışsa “olurlu çözüm yok!” uyarı mesajı çıkmaktadır. Makinelerin girilen kapasitelerinin taleplerden düşük olduğu durumlarda HAP çözüm bulamamaktadır. Parça numaraları veya makine numaralarında bulunan tutarsızlıklar, rota bilgisinde bulunan bir makinenin kapasite bilgisinin olmaması gibi durumlar çözümsüzlükle sonuçlanabilmektedir. İstenilen bilgiler eksiksiz ve tutarlı olarak çalışma sayfalarına girildiği takdirde uygun çözüm “Hücreler” sayfasına yazdırılmaktadır. Aynı zamanda parametreler sayfasında da elde edilen hücre bilgilerine yer verilmektedir. (Bkz. Şekil 6.2.) Buradan kaç hücre elde edildiği, her bir hücrede hangi makinelerin yer aldığı bilgilerine ulaşılabilir. Ek olarak daha önce bahsedilen değerlendirme kriterleri de HAP tarafından hesaplanıp parametreler sayfasında gösterilmektedir. (Bkz. Şekil 6.2.) Parametreler sayfasında bulunan “Toplam birimler arası taşıma” etiketli gösterge, hesaplanan hücrelerarası trafik değeridir. Diğer değerlendirme kriterleri ile birlikte hücrelerarası trafik değeri de diyalog yönetim modülünü oluşturan çalışma sayfasında yer almaktadır.

6.1. Mevcut Durum

Çalışmanın yapıldığı firmada mevcut durumda kullanılmakta olan 10’a yakın imalat hücresi vardır. Hücrelerde aktif olarak üretilen 1000’in üzerinde parça çeşidi vardır. Bu parçaların alternatif rotaları dahil olmak üzere sistemde 3000’e yakın operasyon bulunmaktadır. Hücrelere atanmış aktif faaliyet gösteren 62 adet makine vardır. Makineler günde 1, 2 ve 3 vardiya olmak üzere farklı kapasite değerleriyle çalışmaktadır. 1 vardiya makineler yıllık maksimum 126000 dakika, 2 vardiya makineler 252000 dakika ve 3 vardiya makineler 378000 dakika çalışabilmektedir. (1 yıl 300 gün; 1 vardiya 7 saat olarak alınmıştır.)

Mevcut durumda hücreler ve hücrelerde bulunan makineler Çizelge 6.1’de verilmiştir. Hücre eleman sayısı o hücrede bulunan toplam makine sayısını ifade etmektedir. 1 numaralı hücrede 5, 2 numaralı hücrede 8, 3 numaralı hücrede 7, 4 numaralı hücrede 5, 5

numaralı hücrede 8, 6 numaralı hücrede 6, 7 numaralı hücrede 8, 8 numaralı hücrede 6 ve 9 numaralı hücrede 9 adet makine faaliyet göstermektedir.

Çizelge 6. 1. Mevcut durum hücreleri ve hücrelerde bulunan makine listesi

Hücre No	**Hücre Eleman Sayısı**	**Makineler**								
1	5	M62	M59	M61	M60	M25				
2	8	M5	M38	M36	M42	M31	M34	M30	M55	
3	7	M9	M43	M39	M49	M12	M47	M3		
4	5	M7	M2	M20	M16	M14				
5	8	M6	M54	M24	M40	M50	M53	M37	M48	
6	6	M17	M23	M29	M21	M27	M51			
7	8	M44	M58	M57	M52	M56	M33	M41	M46	
8	6	M13	M8	M1	M22	M10	M4			
9	9	M15	M35	M45	M18	M26	M28	M32	M19	M11

Çizelge 6.1'de belirtilen makinelerde üretilen 1000'in üzerinde çeşitliliğe sahip parçanın yıllık toplam 120.000'e yakın talebi bulunmaktadır. Talepler parçalara göre değişkenlik göstermektedir. Bazı parçaların yıllık 200 adet talebi bulunurken bazı parçaların 5 adet talebi bulunmaktadır. Parçaların talepleri sabit aralıklı değildir, tamamen müşterinin ihtiyaç duyduğu tarihlere ihtiyaç miktarı kadar sipariş gelmektedir. Bu durum üretim sürecinde özellikle planlama ve malzeme tedariği bölümlerinde problemler oluşturmaktadır. Ham malzemelerin yurtdışından temin ediliyor olması sebebiyle termin sürelerinin uzun olması, siparişlerin belirli süreli olarak donmuş olmaması (kısa vadede siparişlerin tarihlerinde ve miktarlarında müşteri tarafından değişiklik yapılabiliyor olması) gibi durumlar sebebiyle üretimin iyi planlanması ve ürünler için taşıma ve bekleme gibi süre kayıpları yaşatacak işlemlerden kaçınılması mecburidir.

Mevcut durumda sistemde bulunan 200'ün üzerinde çeşit parça ait oldukları hücre dışında başka hücrelerde de işlem görmektedir. Hücrelerarası trafik değeri hesaplanırken parça çeşidiyle birlikte talepleri de önem arz etmektedir. Aynı zamanda sistemde bulunan 3000'e yakın operasyonun yaklaşık %10'u hücre dışında gerçekleşmektedir. Sistemde bulunan hücre dışı operasyon sayısı yüksek seviyededir. Bu durum hücreler arasında parça geçişlerinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Mevcut durum için hesaplanan hücrelerarası trafik değeri ele alınan dönem için 23.000'in üzerindedir. Bu durum gereksiz taşıma ve bekleme maliyetlerine yol açmaktadır. Aynı zamanda birim üretim karlılığını da düşürmektedir. Bunun yanı sıra sistemdeki parça hareketlerini takip etmeyi zorlaştırmakta ve teslimatları geciktirmektedir. Grup teknolojisi etkinliği %31,37 olarak hesaplanmıştır. Parça ve makine sayısı göz önüne alındığında bu değerin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu gösterge sistemde iyileştirme ihtiyacının olduğunu açıkça gözler önüne sermektedir. Global etkinlik değeri ise %74,01 olarak hesaplanmıştır. Parçaların operasyonlarını atandığı hücre içinde tamamlayamaması global etkinlik değerinin düşüklüğünü açıklamaktadır.

6.2. Önerilen KDS Sonrası Durum ve Mevcut Durum ile Karşılaştırılması

Mevcut durumun analizi bir önceki bölümde sunulmuştur. Geliştirilen HAP karar destek sistemini kullanarak elde edilen sonuçlar bu bölümde paylaşılmaktadır. Hücredeki maksimum makine sayısı 8 olarak belirlenmiştir. HAP'a veriler kaydedilmiş ve elde edilen sonuçlar ve değerlendirme kriteri değerleri Şekil 6.6'da gösterilmiştir.

Hücredeki Maksimum İş Merkezi Sayısı	8
Toplam Birimler Arası Taşıma	11979

Hesapla

Grup Teknolojisi	64,06%
Global Etkinlik	92,82%
Hücre Dışı Operasyon	198

Hücre No	Hücre Eleman Sayısı	Makineler							
1	8	M1	M15	M18	M32	M28	M22	M13	M19
2	8	M2	M61	M44	M54	M48	M50	M51	M58
3	8	M3	M39	M57	M47	M62	M37	M40	M53
4	8	M5	M12	M43	M17	M29	M21	M16	M34
5	8	M6	M49	M35	M52	M41	M23	M26	M9
6	8	M7	M25	M55	M38	M20	M36	M30	M31
7	8	M8	M14	M11	M45	M10	M42	M27	M56
8	6	M4	M24	M33	M46	M59	M60		

Şekil 6. 6. Önerilen KDS sonrası sonuç ve değerlendirme kriterleri ekran görüntüsü

1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 numaralı hücreler 8 adet makineye ve 8 numaralı hücre 6 adet makineye sahiptir. Mevcut durum ve önerilen durumdaki makineler karşılaştırıldığında makinelerin bulunduğu hücrelerin değiştiği görülmektedir. Örneğin mevcut durumda M57 numaralı makine 7 numaralı hücrede bulunurken, önerilen durumda 3 numaralı hücrede yer almaktadır. Hücrelerde bulunan toplam makine sayısının da değiştiği görülmektedir. Hücre-makine atama sonuçları Çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 6. 2. Önerilen durum hücreleri ve hücrelerde bulunan makine listesi

Hücre No	**Makineler**							
1	M1	M15	M18	M32	M28	M22	M13	M19
2	M2	M61	M44	M54	M48	M50	M51	M58
3	M3	M39	M57	M47	M62	M37	M40	M53
4	M5	M12	M43	M17	M29	M21	M16	M34
5	M6	M49	M35	M52	M41	M23	M26	M9
6	M7	M25	M55	M38	M20	M36	M30	M31
7	M8	M14	M11	M45	M10	M42	M27	M56
8	M4	M24	M33	M46	M59	M60		

Önerilen durumda yeni hücrelerle elde edilen hücrelerarası trafik değeri 11.979'dur. Grup teknolojisi etkinliği %64,06 hesaplanırken, global etkinlik değeri %92,82 olarak hesaplanmıştır. Önerilen yeni sistemde hücre dışı operasyon sayısı 198'dir. Sistemde atandığı hücre dışında başka hücreyi ziyaret eden parça sayısı 142'dir.

Mevcut durum verileri önceki bölümlerde paylaşılmıştı. Bu bölümde geliştirilen KDS sonrası durum ile mevcut durumun karşılaştırılması yapılacaktır. Karşılaştırma yapılırken değerlendirme kriterleri (global etkinlik değeri ve grup teknolojisi etkinliği), hücrelerarası trafik değeri, başka hücreyi ziyaret eden parça sayısı, hücre dışı operasyon sayısı kullanılacaktır.

Hücrelerarası trafik değerine bakıldığında mevcut durumda 23.259 iken önerilen durumda bu değer 11.979'a düşürülmüştür. Çalışmada minimize edilmesi amaçlanan hücrelerarası trafik değerinde %48 kazanç sağlanması çalışmanın sonuçlarını tatmin edici hale getirmiştir. 1197 çeşit parça, toplam 117.407 talep, 62 adet makine ve 2921 adet operasyon bulunduğu bu büyük veri grubunda hücrelerarası trafik değerindeki bu azalma firma için ciddi kazanç sağlamaktadır.

Global etkinlik değeri mevcut durumda %74,01 idi. Önerilen duruma bakıldığında bu değer %92,82'dir. Bu değer önerilen durumda parçaların atandığı hücrelerde daha çok sayıda operasyon tamamladığını göstermektedir. Aynı zamanda mevcut durumda %31,37 olan grup teknolojisi etkinliği %64,06'ya yükselmiştir. Grup teknolojisi etkinliğinin, hücrelerarası trafik değerine bağlı olarak hesaplandığı değerlendirme kriterleri bölümünde bahsedilmişti.

Diğer bir değerlendirme kriteri olan atandığı hücre dışında başka hücreyi ziyaret eden parça sayısı mevcut durumda 213 iken önerilen durumda bu değer 143'e düşürülmüştür. Aynı şekilde parça sayısına bağlı olarak mevcut durumda atandığı hücre dışında başka hücrelerde gerçekleştirilen operasyon sayısı 303 iken önerilen durumda 198'e düşürülmüştür. Bu iki iyileştirme üretim ve üretim sahasını yönetebilmek için önemli bir iyileştirmedir.

Çizelge 6. 3. Mevcut durum ve önerilen durum karşılaştırma tablosu

	Mevcut Durum	**Önerilen Durum**	**İyileştirme Oranı**
Hücrelerarası trafik değeri	23.259	11.979	48%
Hücre dışı operasyon sayısı	303	198	35%
Global etkinlik değeri	74,01%	92,82%	25%
Grup teknolojisi etkinliği	31,37%	64,06%	104%
Başka hücreyi ziyaret eden parça sayısı	213	143	33%

Karşılaştırma tablosu ve iyileştirme oranları Çizelge 6.3'de verilmiştir. Değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmasına bakıldığında geliştirilen karar destek sistemi kullanılarak elde edilen durumda tüm değerlendirme kriterlerinde iyileştirme sağlandığı görülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek teknoloji gerektiren havacılık sektörüne yönelik imalat yapılan sanayilerde hücresel imalat önemli bir yer tutmaktadır. Ancak ürün çeşitliliği ve üretim miktarlarındaki değişiklikler hücresel imalat içindeki hücrelerin etkinliğini zaman içinde değiştirmekte ve verimliliği azaltmakta, buna bağlı olarak beklenen faydaların sağlanamamasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada Eskişehir'de bulunan havacılık ve savunma sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın hücresel üretim sisteminin yeniden gözden geçirilmesi ihtiyacına yönelik olarak hücrelerarası trafik değerini minimize eden hücre atama problemi için karar destek sistemini geliştirilmiştir. Önerilen karar destek sistemi geliştirilmeden önerilen hücre oluşturma metodolojisinin gerçek imalat kararlarına dinamik olarak yansıtılması beklenemez. Bu nedenle hem kullanım kolaylığı hem de önerilen akademik yöntemlerin uygulamada kullanımını arttırabilmek amacıyla karar destek sistemine başvurulmuştur. Geliştirilen bu karar destek sisteminin diyalog yönetim modülü ağırlıklı olarak kullanıcıların alışık olduğu Excel arayüzü ve programlama özellikleriyle zenginleştirilmiştir. Geliştirilen karar destek sistemi periyodik olarak mevcut sistemin hücresel yapısının geçerliliğini sınamaya ve yeniden düzenlemeye yöneliktir. Ürünlerde değişiklik oldukça ve yeni ürün sisteme dahil edildiğinde bu karar destek sisteminin çalıştırılması, etkinliğin devam ettiğinden emin olunması, değilse gözden geçirilmesi önerilmektedir.

Çalışmada mevcut durum ve önerilen durum karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırma işlemi için global etkinlik değeri, grup teknolojisi etkinliği, hücrelerarası trafik değeri, hücre dışı operasyon sayısı ve başka hücreyi ziyaret eden parça sayısı kriterleri ele alınmıştır. Karşılaştırma sonucu, tüm değerlendirme kriterlerinde kayda değer iyileştirme sağlanmıştır. Hücrelerarası trafik değerinde %48, hücre dışı operasyon sayısında %35, global etkinlik değerinde %25, grup teknolojisi etkinliğinde %104 ve başka hücreyi ziyaret eden parça sayısında %33 iyileşme görülmüştür.

Hücresel imalata yönelik birçok akademik çalışma ve hücre oluşturmaya yönelik pek çok yöntem bulunmaktadır. Önerilen karar destek sisteminin sahip olduğu yaklaşımın

dışındaki yöntemlerde karar destek sistemine dahil edilerek karar vericilerin probleme farklı bakış açıları getirmeleri sağlanabilir. Yanı sıra personel vardiyası planlama ve tezgahlar için takım planlamaları karar destek sistemine entegre edilebilir. 21. yüzyılda üretim sektörlerinin hedeflediği Endüstri 4.0 düzeyinin yakalanması ancak gelişmiş karar destek sistemlerinin olanaklı olması ile gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Adil, G.K., Rajamani, D., Strong, D. (2010). *Cell formation considering alternate routings*. International Journal of Production Research, 5(34), 1361-1380. https://doi.org/10.1080/00207549608904970

Adinarayanan, A., Dinesh, S., Balaji, D.S., Umanath, K. (2021). *Design of machine cell in cellular manufacturing systems using PSO approach*. Materials Today: Proceedings, 9(46), 3951-3955. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.472

Akyol, S., Alataş, B. (2012). *Güncel sürü zekâsı optimizasyon algoritmaları*. Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi, 1, 36-50. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/279407

Alataş, B. (2007). *Kaotik haritalı parçacık sürü optimizasyon algoritmaları geliştirme* [Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. https://www.researchgate.net/publication/330703197_Kaotik_Haritali_Parcacik_Suru_Optimizasyon_Algoritmalari

Askin, R.G., Standridge, C.R. (1993). *Modeling and analysis of manufacturing systems*, ISBN: 978-0-471-51418-3. John Wiley and Sons Incorporation.

Chang, C.C. (2010). *Development of a web-based decision support system for cell formation problems considering alternative process routings and machine sequences*. Journal of Software Engineering and Applications, 2(3), 160-166. DOI: 10.4236/jsea.2010.32020

Chu, C.H. (1997). *An improved neural network for manufacturing cell formation*. Decision Support Systems, 4(20), 279-295. https://doi.org/10.1016/S0167-9236(97)00015-8

David, S.A. (2002). *Decision support systems in cell manufacturing*. Asia Pacific Decision Sciences Institute. http://gebrc.nccu.edu.tw/proceedings/APDSI/2002/papers/paper146.pdf

Durmuşoğlu, M.B., Kulak, O., Balcı, H.H. (2003). *Türkiye'de hücresel üretim uygulamalarının analizi ve değerlendirilmesi*. Endüstri Mühendisliği, 2(14), 2-20. https://search.trdizin.gov.tr/yayin/detay/30935/

Erol, S. (2000). *Sipariş üzerine üretim yapan bir sistemde hücresel üretim uygulaması* [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. http://localhost:6060/xmlui/handle/1/6237

Erozan, İ., Torkul, O., Üstün, Ö. (2015). *Proposal for a decision support software for the design of cellular manufacturing systems with multiple routes.* Int J Adv Manuf Technol, 76, 2027-2041. https://doi.org/10.1007/s00170-014-6397-z

Groover, M.P. (2015). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*, Pearson Higher Education Incorporation.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Iri, M. (1968). *On the synthesis of loop and cut set matrices and related problems*, Research Association of Applied Geometry, 376-410.

Kapanoğlu, M., Orhan, İ., Saraç, T. (2019). *Karar Destek Sistemleri*, Anadolu Üniversitesi. E-ISBN: 978-975-06-3340-9

Kasilingam, R.G., Lashkari, R.S. (1991). *Cell formation in the presence of alternate process plans in flexible manufacturing systems*. Production Planning & Control, 2 (2), 135-141. https://doi.org/10.1080/09537289108919340

King, J.R. (1980). *Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm*. International Journal of Production Research, 2 (18), 213-232. https://doi.org/10.1080/00207548008919662

Kusiak, A. (1987). *The generalized group technology concept*. International Journal of Production Research, 4 (25), 561-569. https://doi.org/10.1080/00207548708919861

Land, A.H., Doig, A.G. (1960). *An automatic method of solving discrete programming problems*. Econometrica, 3 (28), 497-520. https://doi.org/10.2307/1910129

Mahadevan, B., Srınıvasan, G. (2003). *Software for manufacturing cell formation: issues and experiences*. https://www.researchgate.net/publication/229040352_Software_for_manufacturing_cell_formation_issues_and_experiences

Mumali, F. (2022). *Artificial neural network-based decision support systems in manufacturing processes: A systematic literature review*. Computers & Industrial Engineering, 165. https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.107964

Nagi, R., Harhalakis, G., Proth, JM. (1990). *Multiple routings and capacity considerations in group technology applications*. International Journal of Production Research, 28(12), 1243-1257. DOI:10.1080/00207549008942864

Onwubolu, G.C., Songore, V. (2000). *A tabu search approach to cellular manufacturing systems*, Production Planning & Control, 2(11), 153-164. https://doi.org/10.1080/095372800232351

Özçelik, F. (2020). Grup Teknolojisi Ders Notları. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

Öztürk, G., Öztürk, Z.K. (2005, June 19-22). *A Competitive neural network approach to manufacturing cell formation*, 35th International Conference on Computers & Industrial Engineering, 2, 1549-1554. ISBN: 975-561-265-3

Özyörük, B., Gürü, G. (2010). *Uçak gövdesi montaj alanı için hücre tasarımı ve hücre etkinliğinin belirlenmesi*. Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi, 4(3), 306-314. https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/issue/21519/230925#article_cite

KAYNAKLAR DİZİNİ

Parashar, B.S.N. (2008). *Cellular manufacturing systems: an integrated approach*, Eastern Economy Edition, PHI Learning Private Limited.

Saraç, T., Özçelik, F. (2012). *A genetic algorithm with proper parameters for manufacturing cell formation problems*. Journal of Intelligent Manufacturing, 23, 1047-1061. https://doi.org/10.1007/s10845-010-0446-8

Saraçoğlu, İ., Süer, G.A., Gannon, P. (2021). *Minimizing makespan and flowtime in a parallel multi-stage cellular manufacturing company*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 72. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102182

Sharma, V., Gidwani, B.D. (2022). *Cellular manufacturing system practices in manufacturing industries: a pilot study*. International Journal of Indian Culture and Business Management, 4(25), 550-569. https://doi.org/10.1504/IJICBM.2022.122763

Soltysova, Z., Modrak, V., Nazarejova, J. (2022). *A multi-criteria assessment of manufacturing cell performance using the AHP method*. Applied Sciences, 12 (2). https://doi.org/10.3390/app12020854

Sönmez, M., Öztürk, G. (2013). *Alternatif rotalı hücre oluşturma problemlerinin çözümü için yeni bir melez yaklaşım*. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A, 2(14), 105-118. https://earsiv.anadolu.edu.tr/xmlui/handle/11421/80

Sudtachad, K. (2020). *Dynamic programming model for cellular manufacturing layout under demand uncertainty*. 9th International Conference on Industrial Technology and Management, 279-284. DOI:10.1109/ICITM48982.2020.9080361

Şahin, Y.B., Alpay, Ş., (2016). *A metaheuristic approach for a cubic cell formation problem.* Expert Systems with Applications, 65, 40-51. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.034

Şahin, Y.B., Alpay, Ş., (2019). *A new mathematical model for the integrated solution of cell formation and part scheduling problem*. Journal of Science, 32 (4), 1196-1210. DOI: 10.35378/gujs.471637

Urazel, B., Şahin, Y.B., (2023). *Solving a cubic cell formation problem with quality index using a hybrid meta-heuristic approach*. Gazi University Journal of Science, 36 (2), 752-771. https://doi.org/10.35378/gujs.1003331

Uzundurukan, S., Saplıoğlu, K. (2019). *Bilimsel çalışmalarda kullanılan yapay zekâ uygulamalarının ve trendlerinin incelenmesi*. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 1(10), 249-262. DOI:10.24012/dumf.394591

KAYNAKLAR DİZİNİ

Vitanov, V., Tjahjono, B., Marghalany, I. (2007). *A decision support tool to facilitate the design of cellular manufacturing layouts*. Computers & Industrial Engineering, 4(52), 380-403. https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.01.003

Xing, B., Nelwamondo, F.V., Battle, K., Gao, W., Marwala, T. (2009). *Application of artificial ıntelligence methods for designing and analysis of reconfigurable cellular manufacturing system*. 2nd International Conference on Adaptive Science & Technology, 402-409. DOI: 10.1109/ICASTECH.2009.5409694