

DİNAMİK ORTAMDA EKSİK OPERASYONLAR HİBRİT AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN SEZGİSEL YAKLAŞIMLAR^{*,**}

Fatma Selen Madenoğlu^{***}

ÖZ

Bu çalışmada, dinamik üretim ortamında toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amacıyla hibrit akış tipi çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Daha spesifik olarak, çalışmada taşıma zamanı, sıraya bağlı hazırlık süreleri, eksik operasyonların olması ve dinamik olarak yeni siparişlerin gelişi durumları da ele alınmıştır. Ele alınan problemin çözümüne sezgisel yaklaşımlar önerilmiştir. Deneysel çalışmalar, sezgisel yaklaşımların performanslarının eksik operasyon seviyesi değişimine bağlı olarak incelemek için gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kavramlar: Kombinatoriyal Optimizasyon, Dinamik Çizelgeleme, Sezgiseller, Hibrit Akış Tipi Üretim

* Bu çalışma 23-25 Eylül 2020 tarihlerinde Erciyes Üniversitesi'nde düzenlenen 19. Uluslararası İşletmecilik Kongresi'nde sunulan bildirinin geliştirilmiş ve genişletilmiş halidir.

** Bu makale, araştırma ve yayın etiğine uygun hazırlanmış ve Ithenticate intihal taramasından geçirilmiştir.

*** Dr. Öğr. Üyesi, Abdullah Gül Üniversitesi, Yönetim Bilimleri Fakültesi, İşletme Bölümü, selen.madenoglu@agu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-5577-4471>.

HEURISTIC APPROACHES FOR HYBRID FLOW TYPE SCHEDULING PROBLEM WITH MISSING OPERATIONS IN DYNAMIC ENVIRONMENT

ABSTRACT

In this study, hybrid flow type scheduling problem is discussed in order to minimize the total completion time in dynamic production environment. More specifically, this study also handled transportation time, sequence dependent setup times, missing operations and new order arrivals. Heuristic approaches are proposed to solve the presented problem. Computational experiments are carried out to examine the change in the performance of heuristic approaches due to missing operations.

Keywords: Combinatorial Optimization, Dynamic Scheduling, Heuristics, Hybrid Flow Shop

GİRİŞ

Üretim sistemleri, üretim sisteminde kullanılan girdilerin (malzeme, işgücü, bilgi, enerji, sermaye gibi) belirli işlemlerden geçirilmesiyle sistemin çıktıları olan mal/ hizmete dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Üretim sistemlerinde amaç müşteri istekleri, müşteri beklentilerine uygun olan mal veya hizmetin gerçekleştirilmesidir. Uygun kaynakların, uygun üretim sisteminde, kaliteli olarak üretilmesiyle müşteri memnuniyet düzeyi hedefine ulaşılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda ürün yapısı ve müşteri talep düzeyine göre üretim sisteminin seçilmesi önem arz etmektedir.

Üretilen ürün çeşitliliğinin az olduğu, ürünlerin birbirini takip eden sırada konumlandırıldığı süreçlerde işlendiği ve ürünlere olan talep düzeyinin yüksek olduğu durumlarda akış tipi üretim sistemi tercih edilmektedir. Akış tipi üretim çizelgeleme problemleri literatürde yaygın olan çizelgeleme problemlerinden biridir. Ürünlerin farklı çeşitlerine olan talebin artması ve aynı zamanda sipariş hacminin de artmasıyla işletmeler artan bu talebi karşılayabilmek adına hem fiziksel hem de insan gücü olarak yeni kaynakları üretim sistemlerine dahil ederek kapasitelerini artırmaya çalışmaktadırlar. Bunun sonucunda, üretimin bazı aşamalarında birden fazla makine yer alması durumu oluşmaktadır. Bu yeni sistem, hibrit akış tipi üretim sistemi olarak adlandırılıp, günümüzde oldukça önem kazanmıştır (Ruiz ve Vazquez-Rodriguez, 2010). Literatürde aynı problem esnek akış tipi üretim sistemi olarak da adlandırılmaktadır. Her bir aşamadaki makinelerin karakteristiklerine göre hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin varyasyonları literatürde ele alınmıştır: *Özdeş makine*; bir aşamada yer alan tüm makinelerin işlem sürelerinin aynı olduğu üretim ortamı; *Bir örnek (üniform) makine*; bir üretim aşamasında yer alan her makinenin işlem süresini kontrol eden hız kontrol parametresinin olduğu üretim ortamı; *İlgisiz makine*, bir aşamada yer alan farklı makinelerin işlem sürelerinin farklı olduğu üretim ortamıdır.

Bu çalışmada, özdeş makinelerin ve eksik operasyonların olduğu hibrit akış tipi çizelgeleme problemi incelenmiştir. Literatürde hibrit akış tipi çizelgeleme

probleminde toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amaç fonksiyonu yaygın olarak ele alınmıştır. Bu çalışmada toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Makinelerde işlenen operasyonlar arası geçişlerde makinelerin operasyona hazırlanması için hazırlık operasyonu gerçekleştirilir. Bu sraya bağlı hazırlık operasyon süreleri operasyon süresinden ayrı olarak çalışmada ele alınmıştır. Ayrıca üretim aşamaları arası geçişte ürünlerin bir aşamadan bir aşamaya taşınması için gereken taşıma süresi de operasyon sürecinden ayrı değerlendirilmiştir. Eksik operasyonların olduğu hibrit akış tipi çizelgeleme probleminde, ürünlerin bazıları üretim aşamalarının hepsini geçmeden bazı aşamaları sıfır operasyon süresinde işlenmektedir. Dinamik üretim ortamında olana dinamik olaylardan biri olan yeni sipariş gelmesi durumu çalışmaya dahil edilerek yeni sipariş gelişlerinde üretim çizelgesi güncellenmektedir. Bu çalışmada ele alınan eksik operasyonların, hazırlık süresi, taşıma süresi ve yeni iş gelişlerinin olduğu hibrit akış tipi üretim çizelgeleme probleminin çözümüne sezgisel yaklaşımlar önerilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarla parametrelerin farklı seviyelerdeki sonuçları detaylı olarak araştırılmıştır.

I. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gupta (1988) çalışmasında iki aşamalı akış tipi çizelgeleme probleminin en az bir aşamasında birden fazla makine olduğu toplam tamamlanma zamanının en küçüklendiği problemin NP-zor sınıfında olduğunu kanıtlamıştır. Çalışmada ele alınan hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin komplekslik düzeyi göz önüne alındığından problem NP-zor sınıfında yer almaktadır. Problemin kompleksliğinin artmasıyla çözüm yaklaşımı olarak sezgisel ve metasezgisel yaklaşımlar literatürde yer almaktadır. Ruiz ve Vazquez-Rodriguez (2010) ve Ribas vd. (2010) çalışmalarında hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin çözümünde kullanılan tekniklerle ilgili detaylı literatür taramasını sunmuşlardır. Leisten and Kolbe (1998) klasik m-makinalı akış tipi üretim ortamını incelemişlerdir. Akış tipi çizelgeleme problemleri, genellikle permütasyon akış merkezleri olarak ele alınmaktadır. Bununla birlikte, çizelgeleme sırasında, eksik operasyonlar genellikle herhangi bir işin geçmesine izin vermeyen sıfır işlem süreli işlemler olarak ele alınmaktadır. Permütasyon kısıtını korurken eksik operasyonlar için iş geçişine izin vermenin bile, sadece oldukça özel koşullar altında toplam tamamlanma süresini iyileştirdiği göstermişlerdir. "Kısmi permütasyon akış sıralaması" önermişlerdir. Kurz ve Askin (2003) eksik operasyonlu ve sıra bağımlı hazırlık sürelerinin dikkate alındığı k-aşamalı hibrit akış tipi üretim çizelgeleme probleminin çözümüne sezgisel yaklaşımlar önermişlerdir. Önerilen sezgisel yaklaşımların performansı test problemleri üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, her sezgisel yöntemin iyi performans gösterdiği parametre aralığı belirlenmiştir. Tseng, Liao, ve Liao (2008), iki aşamalı hibrit akış tipi üretim ortamının ilk aşamasında eksik operasyonların olduğu çizelgeleme probleminin, permütasyonel ve permütasyonel olmayan çizelgeleme durumlarını incelemişlerdir. Problemin toplam tamamlanma süresini en

aza indirmek amacıyla, permütasyonel çizelgeden permütasyonel olmayan çizelge oluşturmak için sezgisel yaklaşım önermişlerdir. Gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarda önerdikleri sezgisel yaklaşımın permütasyonel olmayan çizelgeleme çözümünde iyi sonuç verdiğini elde etmişlerdir. Naderi, Ruiz, ve Zandieh (2010) akış tipi çizelgeleme probleminin gerçekçi bir varyasyonu olan hibrit akış tipi çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmalarında tüm işlerin tüm aşamalardan geçmesinin gerekmediği, bazı aşamaların atlandığı esnek durum ve aşamalar arasındaki sıra bağımlı hazırlık süreleri ele alınmıştır. Dinamik yönlendirme kuralları sezgiseli ve yinelenen yerel arama algoritmasını çözüm yaklaşımı olarak önermişlerdir. Önerilen yaklaşımların performansı, literatürde yer alan performansı oldukça iyi olan algoritmalarla karşılaştırılmıştır. İstatiksel olarak da önerilen yaklaşımların daha rekabetçi olduğunu doğrulamışlardır. Marichelvam ve Prabakaran, (2014) eksik operasyonların olduğu k-aşamalı hibrit akış tipi üretim ortamının toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amacını gerçekleştirecek çizelgenin oluşturulması için dağılım araması ve genetik algoritmanın birleştirilerek oluşturulduğu geliştirilmiş hibrit genetik dağılım araması algoritmasını önermişlerdir. Saravanan, Sridhar ve Harikannan (2014) eksik operasyonların olduğu k-aşamalı hibrit akış tipi üretim çizelgeleme probleminin toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amacıyla çözüm oluşturması için benzetilmiş tavlama ve parçacık sürüsü optimizasyonu algoritmalarını önermiştir. Dios vd. (2018) toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesini amacıyla eksik operasyonların olduğu hibrit akış tipi çizelgeleme problemini incelemişler. Problemin çözümü için yönlendirme kuralları ve sezgisel yaklaşımlar önermişlerdir. Kullandıkları elli altı sezgisel yaklaşımın sonuçlarını iş sayısı, aşama sayısı gibi farklı faktörlerin etkilerini de değerlendirerek incelemişler. Önerdikleri sezgisel yaklaşımların literatürde yer alan sezgisellerden bu problem için daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. Madenoğlu (2019) çalışmasında hibrit akış tipi çizelgeleme problemini ele almıştır. Ele aldığı problemde eksik operasyonlar, taşıma süreleri, hazırlık süreleri dikkate alıp toplam tamamlanma zamanının en azlanması amacını gerçekleştirecek çözümlerin oluşturulması için sezgisel yaklaşımları kullanmışlardır. Kullanılan sezgisel yaklaşımların performansları farklı eksik operasyon seviyelerinde değerlendirilerek ortaya konmuştur.

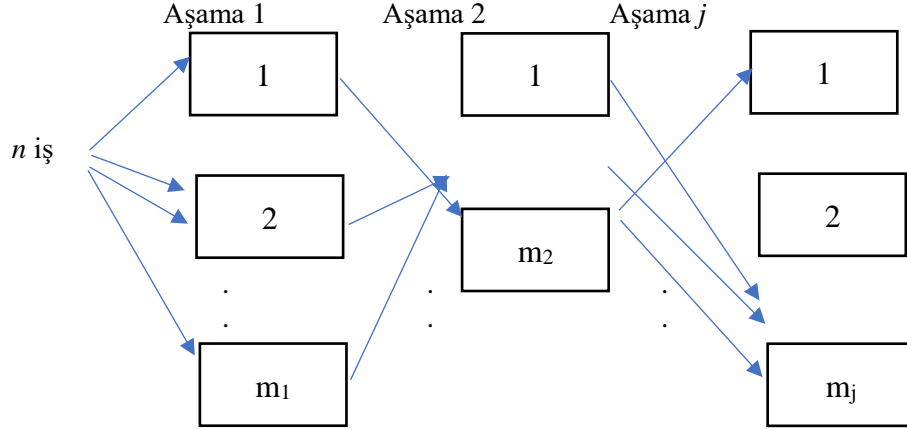
Tang, Liu ve Liu (2005), dinamik ve stokastik üretim ortamında hibrit akış tipi çizelgeleme problemini çözmek için bir sinir ağı yaklaşımı önermişlerdir. Yaygın olarak kullanılan yönlendirme kuralları, karşılaştırma seti olarak kullanılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyon sonucunda, önerilen sinir ağı yaklaşımı performansının geleneksel yönlendirme kuralları performansından daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Gholami, Zandieh ve Alem-Tabriz (2009), sıraya bağlı hazırlık süreleri ve rastgele arızaları olan makinelerin dikkate alındığı hibrit akış tipi çizelgeleme probleminde tamamlanma zamanının en küçüklenmesi için bir sezgisel yöntem önermişlerdir. Bu yöntem, optimum çözüm bulmak için rasgele anahtarlar genetik algoritma yaklaşımlarının bir uygulamasını ve rasgele makine arıza

koşullarını elde etmek ve bu koşul altında beklenen çözümü bulmak için bir simülasyon yöntemini içermektedir. Yao, Zhao ve Zhang (2012) çalışmalarında iki aşamalı hibrit akış tipi çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Dinamik iş gelişleri içeren iki makine problem sınıfının karmaşıklığını analiz etmişler. NP-tam problemler için, sezgiseller önermişler ve deneysel çalışmalarda geliştirdikleri sezgisellerin daha iyi performanslı olduğu görülmüştür. Mirabi, Ghomi ve Jolai, (2013) iki aşamalı hibrit akış tipi çizelgeleme probleminde ilk aşamada tek makine, ikinci aşamada m paralel aynı tip makinenin yer aldığı versiyonunda makine arızalarının gerçekleşmesi durumunu incelemişlerdir. Makine arızalarında çizelgeleme sürecinde belirli süre makinenin kullanılmayacağı anlaşılmaktadır. Amaç fonksiyonu olan toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesi gerçekleştiren optimum çizelgeyi bulmak esas amaçtır. Bu amacı gerçekleştirerek problemi çözmek için sezgisel yaklaşımlar önermişler ve deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Zabihzadeh ve J. Rezaeian (2016), çalışmalarında esnek akış tipi çizelgeleme probleminde robotların taşıma süresinin ve işlerin gönderim zamanlarının olduğu versiyonunu ele almışlardır. Problemin amaç fonksiyonu toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesidir. Problem için karmaşık tamsayılı lineer programlama modeli önerilmiştir. Karınca kolonisi optimizasyon algoritması ve genetik algoritma probleme çözüm elde etmek için sunulmuştur. İki algoritmanın sonuçları karşılaştırıldığında genetik algoritmanın karınca kolonisi optimizasyonundan daha iyi sonuç verdiği sonuçlarda görülmüştür. Qin, Zhang ve Song (2018) belirsiz işlem sürelerinin olduğu hibrit akış tipi çizelgeleme problemini çalışmalarında incelemişlerdir. Problemin çözümü için karınca kolonisi algoritmasına dayanan yeniden çizelgeleme yaklaşımını çözüm yaklaşımı olarak önermişlerdir. Önerdikleri yaklaşımın performansını bir örnek üzerinde göstermişlerdir. Modern endüstride hibrit akış tipi yeniden çizelgeleme probleminin çok sayıda uygulamaları bulunurken literatürde genellikle yeniden çizelgeleme problemlerinde sadece tek bir dinamik olay olması durumu dikkate alınmaktadır. Fakat, gerçek hayatta birden fazla dinamik olayla, aynı anda karşılaşılabilmektedir. Peng vd. (2019), çalışmalarında gerçek hayatta karşılaşılan üç dinamik olay olan makine arızalanması, yeni iş gelişleri, işlerin gönderilme varyasyonunu hibrit akış tipi üretim ortamı için incelemişlerdir. Toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesi ve sistem değişkenliğinin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. İncelenen problemin çözümü için çoklu başlangıçlı değişken komşulu iniş algoritması sunmuşlardır. Yaptıkları kapsamlı deneysel çalışma neticesinde, önerilen çözüm yaklaşımının etkinliğini yaptıkları deneysel çalışmalarla ortaya koymuşlardır. Oldukça etkili yedi algoritmayla, önerilen algoritmanın sonuçları karşılaştırılarak önerilen yaklaşımın üstünlüğü açıkça sunulmuştur. Yapılan literatür çalışmasında, hazırlık süreleri ve taşıma sürelerinin olduğu eksik operasyonlu hibrit akış tipi çizelgeleme probleminde dinamik olayların ele alınmasının çalışılmaya açık bir alan olduğu tespit edilmiştir.

II. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada birden fazla aşamanın ($j \geq 2$) olduğu ve en az bir aşamada birden fazla paralel makinenin yer aldığı üretim sisteminin çizelgenmesi için, aşamalarda birden fazla aynı makinenin olduğu akış tipi çizelgeleme problemi veya hibrit akış tipi çizelgeleme problemi olarak da bilinen problem ele alınmıştır. Şekil 1'de incelenen üretim ortamı sunulmuştur. Ele alınan hibrit akış tipi çizelgeleme problemi şu şekildedir: n adet iş ($N = \{1, \dots, n\}$) ve her iş, birden fazla farklı aşamayı ($J = \{1, \dots, j\}$) tamamlayarak üretim sürecini tamamlamaktadır. İşlerden bazıları tüm aşamalardan geçmeyerek bazı aşamaları atladığından eksik operasyon durumu karşımıza çıkmaktadır. Eksik operasyon olma durumunun sonuca etkisini inceleyebilmek adına çalışmada, eksik operasyon yüzdesi (m_o) parametresi farklı seviyelerde değerlendirilmiştir. Her bir aşama m_j ($M_j = \{1, \dots, m_j\}$) özdeş makineden oluşmaktadır. İşlerin her bir aşamadaki işlem süreleri (p_{ij}) aşamadaki tüm makinalarda aynıdır. p_{ij} , i işinin j aşamadaki işlem süresini göstermektedir. Her bir aşamadaki işler arası geçişlerde işler farklı olduğunda makine ayarlarının yapılabilmesi için sıraya bağlı makine hazırlık süreleri işlem süresinden ayrı olarak ele alınmıştır. t aşamasında i işinden j işine geçiş sıra bağımlı hazırlık süresi s_{ij}^t şeklinde gösterilmektedir. Sıra bağımlı hazırlık sürelerinin uygulanmasında ya işin gelmesi beklenerek iş geldikten sonra hazırlık operasyonu gerçekleştirilmekte ya da işin gelmesi beklenmeden üretim çizelgesinde belirtilen sıradaki işe göre makinenin hazırlık operasyonu gerçekleştirilmektedir (Allahverdi vd., 2006; Naderi vd. 2009). Makine işlemini tamamlayıp yeniden başka bir iş için kullanılabilir olduğunda, sıradaki işin hazırlık süresini beklemesini önlemek amacıyla sıradaki işin gelmesini beklenmeden makinenin hazırlık işlemi gerçekleştirilmektedir. Bir aşamadaki işlemi tamamlayan iş, işin işlem sıralamasında yer alan takip eden üretim aşamasına taşınmaktadır. Aşamalar arasında taşıma yapılırken harcanan taşıma süresi de işlem süresinden ayrı olarak değerlendirilmiştir. $t_{(t+1)}$, t aşamasından $t+1$ aşamasına taşıma süresini ifade etmektedir. Problemde her bir işin bir aşamadaki operasyonu sadece bir makineye atanmakta ve bir makine belli bir zamanda sadece bir işin operasyonu işleyebilmektedir. İşlerin çeşitli nedenlerle yarıda kesilmesi durumu söz konusu değildir. Aşamalarda işlem yapmaya uygun makine olmaması durumunda ara stok alanları kullanılmaktadır. Ara stok alanlarının kapasite kısıtı bulunmamaktadır. Tüm aşamalarda yer alan makineler sıfır anında hazır durumdadır. Üretime alınacak olan işlerin hepsi sıfır anında hazır durumda değildir. Üretim zamanı içerisinde yeni iş (sipariş) gelişi olabilmektedir. Bu durumda yeni gelen iş (sipariş) de dikkate alınarak mevcut olan üretim çizelgesi yeniden oluşturulmaktadır. Üretim çizelgesi işlerin toplam tamamlanma zamanını en küçüklemeye amacına ulaşacak şekilde oluşturulmaktadır.

Şekil 1. Hibrit akış tipi üretim ortamı



III. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bu bölümünde önerilen problemin çözümü için uygun çözüm yaklaşımları sunulmuştur. Çalışmada ele alınan problem zor problem sınıfında olduğundan problemin çözümünde sezgisel yaklaşımlar kullanılmaktadır (Gupta, 1988). Sezgisel yaklaşımlar kısa sürede olurlu çözüm oluşturmaktadırlar. En kısa işlem süresi (SPT) ve en uzun işlem süresi (LPT) literatürde yaygın olarak kullanılan yönlendirme kurallarıdır. Pinedo (2008), en kısa işlem süresi kuralının klasik tek makine çizelgeleme probleminde ortalama akış zamanının en azlanması ve en uzun işlem süresi kuralının geleneksel paralel makine çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanının en azlanması amacını gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir. En kısa işlem süresi yönlendirme kuralında işlerin tüm aşamalarındaki işlem sürelerinin toplamı hesaplanmakta ve elde edilen toplam işlem sürelerine göre işler artan toplam işlem süresine göre sıralanarak kullanılacak olan iş sıralaması oluşturulmaktadır. En uzun işlem süresi yönlendirme kuralında, işlerin geçmesi gereken tüm aşamalarının işlem süreleri toplanarak işlerin toplam işlem süresi elde edilmekte ve işler toplam işlem sürelerine göre azalan sırada sıralanarak iş sıralaması gerçekleştirilmektedir. Literatürde kullanılan diğer kurallardan biri de ilk aşamada en kısa işlem süresi (SPTF)'dir. Bu kuralda işler ilk aşamadaki işlem sürelerine göre artan sırada sıralanarak nihai iş sırası ortaya çıkmaktadır. Diğer bir kuralda ilk aşamada en uzun işlem süresi (LPTF)'dir. Burada işlerin ilk aşamadaki işlem süreleri göz önüne alınarak işlem sürelerine göre azalan sırada sıralanmalarıyla iş sıralaması elde edilir. Çalışmada kullanılan sezgisel yaklaşım NEH sezgiselidir. Nawaz, Ensore ve Ham (1983) tarafından geliştirilen sezgisel tamamlanma zamanının en azlanması amacıyla iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur (Taillard, 1990). NEH sezgiselinde işlerin toplam işlem süreleri dikkate alınarak daha uzun toplam işlem süresine sahip olan işin önceliği daha yüksek hale getirilmektedir. NEH sezgiseli iki aşama ile

sonuç iş sıralamasını oluşturmaktadır. Sezgiselin ilk aşamasında işlerin toplam işlem süreleri hesaplanarak toplam işlem sürelerinin azalan sıralamasına göre iş sıralaması oluşturulmaktadır. İlk aşamada oluşturulan sıralamadaki ilk iki işe ait kombinasyonun en kısa tamamlanma zamanına sahip olan ikili, kısmi çizelgeye eklenmektedir. Her seferinde ilk aşamada oluşturulan iş sıralamasından sıradaki iş, kısmi çizelgedeki mümkün olan tüm kombinasyonlarına göre değerlendirilerek en az tamamlanma zamanlı olan sıralama, kısmi çizelge olarak güncellenmektedir. İlk aşamadaki tüm işler kısmi çizelgeye eklenerek nihai çizelge (çözüm) elde edilmiş olmaktadır.

Tablo 1. Makine İşlem Süreleri

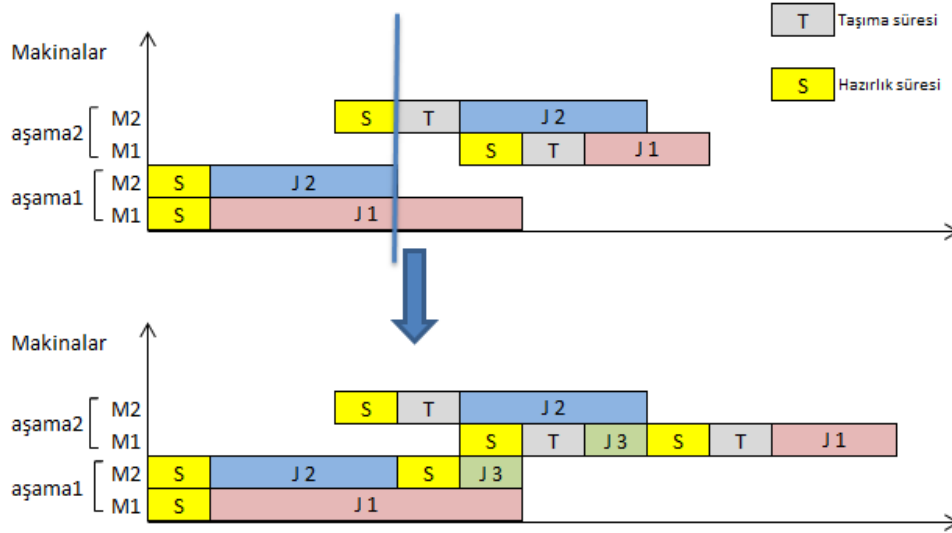
İş	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Toplam
İş 3	5	10	3	18
İş 2	12	7	9	28
İş 1	8	9	18	35
İş 4	11	14	24	49

NEH sezgiselinin uygulanması için örnek vermek gerekirse; Tablo 1 'de işler, işlem süreleri ve işlerin toplam işlem süreleri görülmektedir. İlk aşamada işler azalan toplam işlem süresine göre 3 – 2 – 1 – 4 olarak sıralanmıştır. En fazla toplam işlem süresine sahip olan iki iş İş 3 ve İş 2 'dir. Bu iki işe ait kombinasyonu 3 - 2 ve 2 – 3 'tür. 3 – 2 kombinasyonunun tamamlanma zamanı 33, 2 – 3 kombinasyonunun tamamlanma zamanı 32 olarak hesaplanmaktadır. En kısa tamamlanma zamanı 2 – 3'de olduğundan kısmi çizelgeye bu sıralama alınıp bir sonraki aşamaya geçilmektedir. Bir sonraki aşamada üçüncü sıradaki iş olan İş 1 kısmi çizelgeye eklenerek olurlu kombinasyonlarının tamamlanma zamanı hesaplanmalıdır. Üç iş elde edilen sıralama 47 tamamlanma zamanı ile 1 – 2 – 3 sıralamasıdır. Dördüncü iş olan İş 4 kısmi çizelgeye eklenerek kombinasyonların toplam tamamlanma zamanları hesaplandığında 1 – 4 – 2 – 3 sıralaması yetmiş bir toplam tamamlanma zamanı ile en iyi sıralamadır. Eklenecek iş kalmadığı için son sıralama olan 1 – 4 – 2 – 3 sıralaması NEH sezgiselinin çözümüdür.

Dinamik üretim ortamlarında zamanla sisteme gelen bilgiler mevcut üretim çizelgesinin yenilenmesini gerektirmektedir. Her yeni bilgi akışı olduğunda mevcut çizelge de düzenlemeler yapılmalıdır. Yeni bir iş bilgisi geldiğinde mevcut çizelge güncellenmesi bu çalışmada ele alınmıştır. Dinamik iş gelişi durumu iki şekilde

üretim çizelgesine dahil edilmektedir. Gelen bilgiler belli süre toplanarak belirli aralıklarla toplanan bilgilere göre periyodik olarak üretim çizelgesi yeniden oluşturulmaktadır. Diğer bir yaklaşım ise her yeni bilgi akışı olduğunda üretim çizelgesinin yeniden oluşturulmasıdır (Baykasoğlu ve Karaslan, 2017). Bu çalışmada yeni bir iş bilgisi sisteme geldiğinden mevcut olan üretim çizelgesi yenilenecektir. Dinamik durumda çizelgenin yeniden oluşturulması durumunun örneği Şekil 2’de görülmektedir (Madenoğlu, 2020). Yeni bir iş gelişinde, sistemde işlenmemiş olan işlerin operasyonları ve yeni gelen iş bilgisi kullanılan çözüm yaklaşımına göre değerlendirilerek nihai çizelge oluşturulmaktadır. Yeni iş gelişinde işlemi devam eden işler yarıda kesilmemektedir. İşleme başlanmayan işlerin operasyonları dikkate alınarak yeni çizelge ele edilmektedir.

Şekil 2. Örnek Olurlu Çözüm



Çalışmada sunulan yönlendirme kuralları ile NEH sezgiseli birleştirilmiştir. NEH sezgiselinin başlangıç çözümü oluşturma aşamasında bahsedilen SPT, LPT, SPTF ve LPTF yönlendirme kuralları yardımıyla başlangıç sıralaması oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile klasik yönlendirme kurallarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

IV. DENEYSEL TASARIM

Bu bölümde, ele alınan hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin çözümüne önerilen sezgisel yaklaşımların performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla deneysel çalışma yapılmıştır. Sezgisel yaklaşım ve yönlendirme kuralları Matlab programlama dili kullanılarak yazılmıştır. Deneysel çalışmalar Intel Core i7 2.40- GHz özellikli bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, Pan vd. (2014) ve Naderi vd. (2010) kullandıkları basit permütasyon kodlama uygulanmıştır. Çeşitli parametreler ve bu parametrelerin farklı seviyelerdeki sonuçları analiz edilerek sonuca etkisinin yorumlanabilmesi için parametre seviyeleri de dikkate alınmıştır. İş sayısı, aşama sayısı, her bir aşamadaki paralel özdeş makine sayısı, eksik operasyon yüzdesi, hazırlık süreleri, taşıma süreleri ve işlem süreleri deneysel çalışmalarda kullanılan parametrelerdir.

Literatürde yaygın olarak kullanılan ve Ruiz vd. (2008) ve Naderi vd. (2009)'de çalışmalarında kullandığı bir ve doksan dokuz aralığında uniform dağılımına uygun olarak işlem süreleri üretilmiştir. Naderi vd. (2009) çalışmasında kullanılan aşamalar arası taşıma süreleri, iş sayısı, aşama sayısı ve makinalarda işler arası geçişte yapılan hazırlık operasyonun işlem süresi dikkate alınarak bu çalışmada aynı veri seti ele alınmıştır. Taşıma süreleri, bir ve otuz aralığında uniform dağılıma ve sıra bağımlı hazırlık süreleri bir ve elli aralığında uniform dağılıma uygun olarak üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda iş sayıları 20, 50, 80, 120 olan problem verileri ele alınmıştır. Aşamalar üç seviyeli olarak iki, dört ve sekiz aşama durumlarında incelenmiştir. Problemin spesifik olan durumu olan her aşamada birden fazla makine yer almasıdır. Bu çalışmada üç makine ve beş makine olmak üzere iki seviye ile bu durum ele alınmıştır. Parametrelerin değerleri ve seviye sayıları Tablo 2'de sunulmuştur. Tseng vd. (2008), Saravana vd. (2014) ve Dias vd. (2018) 'nın çalışmalarında ele aldığı eksik operasyon yüzdeleri üç seviyeli yüzde sıfır, yüzde yirmi ve yüzde kırk olarak kullanılmıştır.

Sonuçların değerlendirilmesinde performans göstergesi olarak bağıl yüzde sapma (RPD) kullanılmıştır. Bağıl yüzde sapma şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$RPD_h = \frac{C_{maxh} - C_{max}^{best}}{C_{max}^{best}} \cdot 100$$

Burada RPD_h bir örnek için h sezgiselinin bağıl yüzde sapmasını, C_{max}^{best} bir örneğin en iyi tamamlanma zamanını, C_{maxh} bir örnek için tamamlanma zamanını ifade etmektedir. Bu veriler kullanılarak her sezgisel yaklaşımın ortalama bağıl yüzde sapma değeri hesaplanarak sezgisel yaklaşımlar arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 2. Hesaplama Deneylelerinde Kullanılan Parametreler.

Parametreler	Seviye sayısı	Değerler
İş sayısı	4	20, 50, 80, 120
Aşama sayısı	3	2, 4, 8
Her bir aşamadaki paralel		
Özdeş makine sayısı	2	3, 5
Eksik operasyon yüzdesi	3	%0, %20, %40
Hazırlık süreleri	1	U[1,50]
Taşıma süreleri	1	U[1,30]
İşlem süreleri	1	U[1,99]

V. TARTIŞMA

Çalışmada Tablo 2’de sunulan parametre seviyeleri değerlerine göre önerilen çözüm yaklaşımlarının ve yönlendirme kurallarının sonuçları elde edilmiştir. Esas amaç olan incelenen problemin tüm veri setleri için farklı eksik operasyon seviyelerinde sonucun değişimini analiz etmektir. Bu nedenle Tablo 3’de kullanılan çözüm yaklaşımlarının eksik operasyon olmama durumunda (0%), yüzde yirmi eksik operasyon, yüzde kırk eksik operasyon ve tüm durumlarda ortalama bağıl yüzde sapma değerlerinin durumu verilmiştir. Tablo 3’de her bir durum için kullanılan yaklaşımların en iyi olandan en kötü olana doğru sıralamaları görülmektedir. Sonuçlara göre eksik operasyon olmama durumunda yani işlerin tüm aşamalardan geçtiği durumda NEH sezgiseli SPT kuralı ile birlikte kullanımı ,yüzde yirmi eksik operasyon durumunda NEH sezgiseli SPT kuralı ile birlikte kullanımı ,yüzde kırk eksik operasyon durumunda NEH sezgiseli SPT kuralı ile birlikte kullanımı, tüm örnekler durumunda NEH sezgiseli SPT kuralı ile birlikte kullanımı ile en iyi sonuç elde edildiği anlaşılmaktadır.

Tablo 3. Yönlendirme Kurallarının Performanslarının Karşılaştırılması

Sıralama	% 0 Eksik operasyon		% 20 Eksik operasyon		% 40 Eksik operasyon		Tüm Örnekler	
	Kural	ARPD	Kural	ARPD	Kural	ARPD	Kural	ARPD
1	NEH_SPT	0.61	NEH_SPT	0.57	NEH_SPT	0.42	NEH_SPT	0.53
2	NEH_LPT	1.89	NEH_LPT	1.74	NEH_LPT	1.54	NEH_LPT	1.72
3	NEH_SPTF	2.96	NEH_SPTF	2.38	NEH_SPTF	2.24	NEH_SPTF	2.52
4	NEH_LPTF	3.14	NEH_LPTF	2.86	NEH_LPTF	2.74	NEH_LPTF	2.91
5	SPTF	3.56	SPTF	4.52	LPTF	5.68	LPTF	4.92
6	LPTF	3.85	LPTF	5.24	SPT	5.70	SPTF	4.93
7	SPT	4.58	SPT	5.67	LPT	6.42	SPT	5.31
8	LPT	5.64	LPT	6.35	SPTF	6.7	LPT	6.14

SONUÇ

Dinamik hibrit akış tipi çizelgeleme probleminde sıraya bağlı hazırlık süreleri, taşıma süreleri ve zaman içerisinde yeni iş gelişlerinin olduğu problem çalışmada ele alınmıştır. Önerilen problemde tamamlanma zamanının en azlanması amaçlanmıştır. Yönlendirme kuralları ve sezgisel yaklaşımların performansı gerçekleştirilen

deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Önerilen çözüm yaklaşımlarının farklı eksik operasyon seviyelerindeki sonucunu incelemek için literatürde kullanılan üç parametre seviyesi kullanılmıştır. Kullanılan çözüm yaklaşımlarından NEH sezgiselinin en erken işlem süresi yönlendirme kuralı ile kullanıldığı çözüm yaklaşımının performansı incelenen problemde diğer ele alınan çözüm yaklaşımlarından daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. İlerleyen çalışmalarda ele alınan problem için kısa sürede daha iyi sonuç verebilecek metasezgisel yaklaşımların önerilmesi planlanmaktadır. Ayrıca dinamik olay olarak birden fazla dinamik olayında aynı problemde ele alınması planlanan çalışmalar arasındadır.

KAYNAKÇA

- Allahverdi, A., Ng, C. T., Cheng, T. E., & Kovalyov, M. Y. (2008). A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European journal of operational research*, 187(3), 985-1032.
- Baykasoğlu, A., & Karaslan, F. S. (2017). Solving comprehensive dynamic job shop scheduling problem by using a GRASP-based approach. *International Journal of Production Research*, 55(11), 3308-3325.
- Dios, M., Fernandez-Viagas, V., & Framinan, J. M. (2018). Efficient heuristics for the hybrid flow shop scheduling problem with missing operations. *Computers & Industrial Engineering*, 115, 88-99.
- Gholami, M., Zandieh, M., & Alem-Tabriz, A. (2009). Scheduling hybrid flow shop with sequence-dependent setup times and machines with random breakdowns. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(1-2), 189-201.
- Gupta, J. N. (1988). Two-stage, hybrid flowshop scheduling problem. *Journal of the operational Research Society*, 39(4), 359-364.
- Kurz, M. E., & Askin, R. G. (2003). Comparing scheduling rules for flexible flow lines. *International Journal of Production Economics*, 85(3): 371-388.
- Leisten, R., & Kolbe, M. (1998). A note on scheduling jobs with missing operations in permutation flow shops. *International journal of production research*, 36(9): 2627-2630.
- Madençođlu, F. S. (2019). Solving The Hybrid Flow Shop Scheduling Problem Using Heuristic Algorithms. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(3), 14-25.
- Madençođlu, F. S. (2020). Dinamik hibrit Akış Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Sezgisel Algoritmalar. 19. Uluslararası İşletmecilik Kongresi Bildiriler Kitabı, 1216-1223.
- Marichelvam, M., & Prabaharan, T. (2014). Performance evaluation of an improved hybrid genetic scatter search (IHGSS) algorithm for multistage hybrid flow shop scheduling problems with missing operations. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 16(1): 120-141.
- Mirabi, M., Ghomi, S. F., & Jolai, F. (2013). A two-stage hybrid flowshop scheduling problem in machine breakdown condition. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24(1), 193-199.
- Naderi, B., Zandieh, M., Balagh, A. K. G., & Roshanaei, V. (2009). An improved simulated annealing for hybrid flowshops with sequence-dependent setup

- and transportation times to minimize total completion time and total tardiness. *Expert systems with Applications*, 36(6), 9625-9633.
- Naderi, B., Ruiz, R., & Zandieh, M. (2010). Algorithms for a realistic variant of flowshop scheduling. *Computers & Operations Research*, 37(2): 236-246.
- Qin, W., Zhang, J., & Song, D. (2018). An improved ant colony algorithm for dynamic hybrid flow shop scheduling with uncertain processing time. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(4), 891-904.
- Peng, K., Pan, Q. K., Gao, L., Li, X., Das, S., & Zhang, B. (2019). A multi-start variable neighbourhood descent algorithm for hybrid flowshop rescheduling. *Swarm and Evolutionary Computation*, 45, 92-112.
- Pan, Q. K., Wang, L., Li, J. Q., & Duan, J. H. (2014). A novel discrete artificial bee colony algorithm for the hybrid flowshop scheduling problem with makespan minimisation. *Omega*, 45, 42-56.
- Pinedo ML (2008). *Scheduling: theory, algorithms and systems*, 3rd edn. Springer, New York.
- Ribas, I., Leisten, R., & Framiñan, J. M. (2010). Review and classification of hybrid flow shop scheduling problems from a production system and a solutions procedure perspective. *Computers & Operations Research*, 37(8), 1439-1454.
- Ruiz, R., Şerifoğlu, F. S., & Urlings, T. (2008). Modeling realistic hybrid flexible flowshop scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 35(4), 1151-1175.
- Ruiz, R., & Vázquez-Rodríguez, J. A. (2010). The hybrid flow shop scheduling problem. *European journal of operational research*, 205(1), 1-18.
- Saravanan, M., Sridhar, S., & Harikannan, N. (2014). Optimization of realistic multi-stage hybrid flow shop scheduling problems with missing operations using meta-heuristics, *International Journal of Engineering and Technology*, 6(1): 484-496.
- Taillard, E. (1990). Some efficient heuristic methods for the flow shop sequencing problem. *European journal of Operational research*, 47(1), 65-74.
- Tang, L., Liu, W., & Liu, J. (2005). A neural network model and algorithm for the hybrid flow shop scheduling problem in a dynamic environment. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 16(3), 361-370.
- Tseng, C. T., Liao, C. J., & Liao, T. X. (2008). A note on two-stage hybrid flowshop scheduling with missing operations, *Computers & Industrial Engineering*, 54(3), 695-704.

- Yao, F. S., Zhao, M., & Zhang, H. (2012). Two-stage hybrid flow shop scheduling with dynamic job arrivals. *Computers & Operations Research*, 39(7), 1701-1712.
- Zabihzadeh, S. S., & Rezaeian, J. (2016). Two meta-heuristic algorithms for flexible flow shop scheduling problem with robotic transportation and release time. *Applied Soft Computing*, 40, 319-330.