

Sıra Bağımlı Hazırlık Zamanlı Ameliyathane Çizelgeleme için Bir Model Önerisi

Melike Akpınar^{1*}, Talip Kellegöz²

¹ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

² Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

*Sorumlu Yazar: acikgozmelike@gmail.com

*Konuşmacı: acikgozmelike@gmail.com

Sunum / Çalışma Türü: Sözlü / Tam Metin

Özet – Hastaneler yüksek maliyetlere ve belirsizliklere sahip; aynı zamanda sınırlı kaynaklarla mümkün olan en kaliteli hizmeti sağlama amacıyla yönetilen sistemlerdir. Ameliyathaneler de bu sistemin en önemli gelir ve gider kaynağını oluşturmaktadır. Ameliyathane çizelgeleme, hastane kaynaklarını hastalara tahsis ederek operasyonların gerçekleşme zamanlarını belirler. Bu sayede hastane kaynaklarını verimli kullanmayı ve hastalara sunulan hizmet kalitesini artırmayı hedefler.

Bu çalışmada ele alınan problem, cerrahların ve odaların hazırlık zamanları göz önünde bulundurularak, ameliyathanelerin ameliyathane odalarına çizelgelenmesidir. Planlanacak tüm operasyonlar önceden bellidir. Bir ameliyat başlamadan önce ekipman hazırlığı ve sterilizasyonu, oda temizliği gibi bazı hazırlık işlerinin yapılması gerekmektedir. Bu süreler oda hazırlık zamanı olarak tanımlanır ve operasyon sıralamasına bağlıdır. Benzer şekilde cerrahların yeni operasyona hazırlanması için gerekli zaman, cerrah hazırlık zamanı olarak adlandırılır ve sıra bağımlıdır. Hem hazırlık zamanları hem de ameliyat süreleri deterministiktir. Amaç, tüm operasyonların tamamlanma zamanını minimize etmektir. Çalışmada, bahsedilen ameliyathane çizelgeleme probleminin tanımı yapılmış ve karma tamsayı programlama yapısındaki matematiksel modeli kurulmuştur. Modelin performansı çeşitli büyüklüklerdeki test problemleri üzerinde incelenerek sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler – Ameliyathane Çizelgeleme, Sıra Bağımlı Hazırlık Zamanı, Karma Tam sayılı Programlama

I. GİRİŞ

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) önemli bir yüzdesi, sağlık harcamalarına aittir[1]. Çalışmalarında ameliyathane sorunlarını gidermeye odaklanan araştırmacılara göre ameliyathanelerin bir hastanenin tüm işkolları arasında en pahalı kalemlerinden birini oluşturduğu bilinmektedir. Macario [2] tarafından belirtildiği gibi, cerrahi sektörünün giderleri öngörülen hastane bütçesinin neredeyse % 33'ünü oluşturmaktadır, çünkü pahalı işgücü maliyetlerini (cerrahlar, anestezi uzmanları, hemşireler vb.) ve yataklar, cerrahi ekipmanlar gibi malzeme maliyetlerini içermektedir [3]. Ameliyathaneler, hastane faaliyetlerinde, sadece yüksek maliyetleri nedeniyle değil, aynı zamanda hastanın sağlığı ve kalite algısı üzerindeki doğrudan etkileri nedeniyle de kritik süreçlerdir. Bu nedenle ameliyathane planlaması ameliyat odalarının kullanımını en üst düzeye çıkarmak ve hastanın memnuniyetini arttırmak için literatürde geniş çapta incelenmiştir.

Ameliyathane çizelgeleme problemi, mevcut kaynakları hesaba katarak belirli bir zaman dilimi boyunca (genellikle bir hafta) ameliyat planlama operasyonlarından oluşur. Ameliyathaneler, tıbbi ekipmanlara, ameliyathane özelliklerine ve hastanedeki konumuna (merkezi ameliyathane veya ayrılmış ameliyathane) bağlı olarak sınıflandırılabilir[4]. Ameliyathane tipine bağlı olarak, literatürde üç cerrahi planlama stratejisi vardır: Blok Çizelgeleme, Modifiye Blok Çizelgeleme ve Açık Çizelgeleme. Blok çizelgeleme stratejisinde belirli cerrahlar veya cerrah grupları, cerrahi vakalarını ayarlayabilecekleri zaman bloklarına atanırlar.

Teoride, cerrahlar veya gruplar kendi zaman bloklarına sahip olurlar ve bu zaman dilimi dışında operasyon gerçekleştiremezler. Modifiye blok çizelgeleme stratejisi, blok çizelgeleme stratejisini daha esnek hale getirmek amacıyla ameliyathanelerin bir kısmını bloklar, kalanları ise açık bırakır veya ameliyattan önce kararlaştırılan bir zamanda kullanılmayan zaman bloklarını serbest bırakır. Açık çizelgeleme stratejisinde ise seçilen cerrahi vakaların, cerrahın uygun olduğu durumlarda çizelgeye eklenmesine olanak verir. Bu strateji, cerrahların kesin zaman dilimlerinde operasyon gerçekleştirmesini zorunlu kılmaz[3].

Ameliyathanelerde maliyete ek olarak zaman da önemli bir kısıtlamadır. Uzun süreli operasyonların planlamasını yaparak daha fazla hastanın hizmet görebilmesini sağlamak, aynı zamanda personelin uygunluğunu gözeterek bu sürelerde çalışacak personelleri belirlemek hastane yönetiminin görevlerindedir. Bu nedenle hazırlık zamanları ameliyathane çizelgelemede önemli bir faktördür. Oda hazırlık zamanı odadaki operasyonun bitişinden, bir sonraki operasyonun başlayabileceği ana kadar geçmesi gereken minimum süreyi temsil ederken, doktor hazırlık zamanı ise bir doktorun gerçekleştireceği iki operasyon arasında ihtiyaç duyduğu minimum süreyi temsil eder.

Farklı ameliyat türleri, farklı ekipman ve kaynaklar gerektirir. Bazı ekipman ve kaynaklar ameliyat odaları arasında paylaşılırken, bazıları yalnızca belli bir ameliyat odasına aittir. Bir ameliyat bitışı ile diğer ameliyatın başlaması arasında bazı hazırlıkların tamamlanması gerekmektedir. Bunlar ameliyathaneyi temizleme, ekipman değişikliği,

sterilizasyon ve uygun personelin hazırlığı gibi işlemler olup, her operasyon türünde farklılık gösterebilmektedir.

Hazırlık zamanları iki ameliyatın türüne göre değişir ve bu nedenle sıra bağımlıdır. Genel olarak iki ameliyat farklı türde ise, büyük hazırlıklar ve süreler gerekli iken, iki ameliyat benzer özelliklere sahip ise yalnızca küçük hazırlıklar gerektirebilir [5].

Bu çalışmada açık çizelgeleme yöntemi kullanılarak ameliyathane çizelgeleme üzerinde durulmuştur. Yalnızca randevulu hastalar çizelgenmiştir. Operasyonlar arasında yukarıda bahsedilen hazırlıkların tamamlanması için gerekli hazırlık zamanları mevcuttur. Aynı zamanda cerrahlar için de operasyonlar arası hazırlık zamanları bulunmaktadır. Hazırlık zamanları sıra bağımlı olup, deterministik olarak bilinmektedir. Oda hazırlık ve cerrah hazırlık zamanları göz önünde bulundurularak ameliyat odalarına operasyonların ataması ve çizelgelemesi yapılacaktır. Amaç tüm operasyonların tamamlanma zamanını minimize etmektir. Problemin detaylı tanımı yapılmış, matematiksel formülasyonu geliştirilmiştir. Matematiksel formülasyon, karma tamsayılı programlama formundadır. Matematiksel formülasyonun çeşitli büyüklükteki test problemleri kullanılarak performansı incelenmiş ve sonuçları sunulmuştur.

Çalışmanın devamında konu ile ilgili literatür taraması verilmiştir. Sonrasında problem tanımı yapılmış, kullanılan yöntemden bahsedilmiş, modelin performansına ve test sonuçlarına yer verilmiştir. İlerleyen bölümde çalışmanın geliştirilmesi için değerlendirme ve önerilerde bulunulmuş, çalışmanın ana sonuçları özetlenerek sonlandırılmıştır.

A. Literatür Çalışması

Zhao ve Li [5], çalışmasında, çok sayıda ameliyat odasına acil olmayan operasyonların çizelgenmesini incelemiştir. Günlük çizelgeleme kararlarının üç yönden incelenmesine odaklanmışlardır. Bunlar açılacak ameliyat odasının sayısı, operasyonların ameliyat odalarına tahsisi ve her odadaki operasyonların sıralanmasıdır. Ameliyatlar arasında hazırlık zamanları mevcuttur ve sıra bağımlıdır. Hazırlık zamanları ve operasyon süreleri deterministik olarak bilinmektedir. Problemin çözümü için karma tamsayılı programlama ve kısıt programlama modelleri kurulmuş ve bu iki modelin performansları karşılaştırılmıştır.

Ogulata ve Erol [6], ameliyathane kapasitesinden maksimum fayda alınmasını, ameliyat günleri ve sürelerini cerrahi gruplar arasında dengeli dağılımını, hasta bekleme sürelerinin minimizasyonunu sağlamak amacıyla bir çizelgeleme yaklaşımı önermiştir. Bu çizelgeleme probleminin hesaplama zorluğu nedeniyle, genel sorun yönetilebilir hiyerarşik aşamalara ayrılmıştır. Bu aşamalar hastaların seçimi, operasyonların cerrah gruplarına atanması ve operasyon tarihlerinin ve odalarının belirlenmesi şeklinde özetlenebilir. Geliştirilen modeller Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Araştırma Hastanesi'nde toplanan verilerin yanı sıra simülasyonla üretilen veri kümeleri üzerinde test edilmiştir.

Guinet ve Chaabane [7], birkaç ameliyat odası ve iyileşme yatakları bulunan hastanede, her hastanın cerrah, ekipman ve operasyon sürelerine ihtiyaç duyduğu bir model üzerine çalışmıştır. Hastaneye yatış masrafları yani hastanın kalış süresi ve fazla mesai masrafları yani kaynak aşırı yüklemeleri dikkate alınarak modellenmiştir. Problemi iki safhada çözmeyi önermişlerdir. İlk safhada hastaların operasyon odalarına atanması sağlanmıştır. İkinci safhada ise odalara atanan operasyonlar kaynak senkronizasyonu yapılarak

çizelgenmektedir. Problemin çözümünde sezgisel bir yöntem kullanılmış, yöntemin performansı çeşitli test problemleri kullanılarak incelenmiştir.

Fei, Chu ve Meskens [8], açık çizelgeleme yöntemini kullanarak hastane için verimli bir çalışma programı oluşturmayı amaçlamışlardır. İlk olarak bir hafta içerisindeki cerrahi operasyonları ameliyat odalarına atamak için matematiksel model geliştirilmiştir. Bu model ameliyathanelerin ve cerrahların müsaitliğini dikkate alır ve amacı yalnızca ameliyathanelerin verimli kullanımını maksimize etmek değil, aynı zamanda fazla mesai maliyetlerini de en aza indirmektir. Ardından, en iyi performansa sahip çözümü bulmak için dört farklı kriterin birbiriyle karşılaştırıldığı bir kolon üretme tabanlı sezgisel bir yöntem kullanılmaktadır.

Riise and Burke [9], çalışmasında, ameliyat kabul problemi ve bu problemi çözmek için bir metasezgisel yöntem sunmuşlardır. Problem randevulu ameliyatların, ameliyat odasına ve gününe atanmasını kapsamakta olup her günün ve odanın ameliyatlarını planlamayı hedeflemektedir. Çift atamaların olmasını engellemek için her cerraha bir çizelge oluşturulmaktadır.

Khambhammettu ve Persson [10] ise, ameliyathane kaynak çizelgeleme ve sıra bağımlı ameliyat odası çizelgeleme için karar destek temelli optimizasyon modeli önermektedir. Elde edilen sonuçlar hastanenin gerçek verileri ile karşılaştırılmıştır. Deneyler, önerilen modelle elde edilen çizelgelerin önemli bir farkla iyi olduğunu göstermektedir. Ameliyatlar arası toplam devir süresinin azaltılması, odalardan alınan faydanın artırılması ve tamamlanma zamanını minimize edilmesi değerlendirme kriterleridir.

Arnaout ve Kulbashian [11] çalışmasında ameliyat odası çizelgeleme problemini sıra bağımlı hazırlık zamanlarına sahip özdeş paralel makine çizelgeleme problemi şeklinde modellemiştir. Amaç fonksiyonu maksimum tamamlanma zamanını minimize etmektir. Çözüm için geliştirilen sezgisel yöntemler, varolan sistem ve simülasyon yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Acil olmayan hastaların çizelgenmesi yapılmıştır. Bu çalışmada cerrahlar blok zamanlara atanmıştır. Blok zamanların ataması ilk gelen ilk hizmet alır prensibine dayalıdır. Günlük çizelgeleme yapılmaktadır. Her operasyon stokastik operasyon sürelerine sahiptir ve sıra bağımlı hazırlık zamanları mevcuttur.

Arnaout [12], diğer bir çalışmasında, amacı tamamlanma zamanını minimize etmek olan, sıra bağımlı hazırlık zamanına sahip paralel makine çizelgeleme problemi gibi modellenen ameliyathane çizelgeleme problemini incelemiştir. Gerçek hayata daha uyumlu olabilmesi için operasyon süreleri ve hazırlık zamanları stokastiktir. Yeni bir sezgisel geliştirilmiş ve simülasyon ve optimizasyon kullanılarak var olan sistem ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen algoritmanın daha üstün olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada acil olmayan durumlar günlük olarak çizelgenmiş ve planlanmıştır. Bu makalede ele alınan problemi modellemek için üç sezgisel ve test etmek için ayrıntı simülasyonu kullanılmıştır.

Lahijanian, Zarandi ve Farahani [1], randevulu hastalarla ameliyat odası çizelgeleme için karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Bu model, toplam ağırlıklı başlangıç zamanlarını en aza indirmeyi hedeflemektedir. Ağırlıklandırma hesaplaması için üç farklı yaş grubu kullanılmıştır. Bu hasta grupları için hazırlık zamanları sıra bağımlıdır ve cerrahi operasyon süreleri bulanık sayılar olarak dikkate alınmaktadır. İncelenen problemin çözümünde, hibrid

bir algoritma kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında operasyon sürelerinin bulanık sayı olarak modellenmesinin daha gerçekçi olduğu ifade edilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEMLER

A. Problem Tanımı

Bu çalışmada yalnızca randevulu hastalar göz önünde bulundurularak çoklu ameliyathane çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Operasyonlar arası odanın temizliği, ekipman hazırlığı ve sterilizasyonu için gerekli süre oda hazırlık zamanı olarak; operasyonlar arasında cerrahların hazırlığı için gerekli süreler de cerrah hazırlık zamanı olarak tanımlanmıştır. Günün ilk operasyonu için de hazırlık zamanı gereklidir. Operasyonlar arası hazırlık zamanları sıra bağımlı olup, operasyon süreleri ve tüm hazırlık zamanları deterministik olarak bilinmektedir. Ameliyathanelere açık çizelgeleme sistemi ile operasyon ve cerrah atamaları gerçekleştirilecektir.

Çalışmanın birincil katkısı hem odaların hem de cerrahların hazırlık zamanlarının kendinden önceki operasyona bağlı olması yani sıra bağımlı olmasıdır. İlave olarak cerrahların eşzamanlı şekilde operasyonlara ataması gerekliliğidir.

Çizelgenmesi istenen $\Omega = \{1,2, \dots, n\}$ kümesine ait ameliyathanelerin her birisi $\rho = \{1,2, \dots, o\}$ setindeki ameliyathanelerden birisinde gerçekleştirilecektir. Aynı r ameliyathanesinde herhangi bir zaman noktasında tek bir ameliyat yapılabilir. Başlanan bir ameliyat yarım bırakılamaz ve bölünemez. Ameliyat p 'nin gerektirdiği süre t_p olup, yapılacağı ameliyathaneden bağımsızdır. Ameliyat odası r 'de ardı ardına yapılan p ve q ameliyatları için StO_{pq} süresini gerektiren oda hazırlık işlemi söz konusudur. Benzer şekilde, ardı ardına p ve q operasyonlarını gerçekleştirecek d doktoruna ait StD_{pq} süresini gerektiren doktor hazırlık zamanı mevcuttur. Ameliyat p 'yi gerçekleştirebilecek doktorların seti Gd_p olup, tüm doktorların seti $\delta = \{1,2, \dots, h\}$ dir. Bir d doktoru eşzamanlı olarak tek bir ameliyatı gerçekleştirebilir. Amaç tüm operasyonların tamamlanma süresini (makespan) minimize etmektir.

Varsayımlar;

- Tüm operasyonlar $t = 0$ anında işlem görmeye hazırdır.
- Tüm doktorlar $t = 0$ anında hizmet vermeye hazırdır.
- Çizelgeleme periyodu boyunca, tüm ameliyathanelere tüm operasyonlar atanabilir. Ameliyat odaları özdeşdir. Tüm operasyonlar aynı önceliğe sahiptir.
- Tüm operasyonların işlem süreleri belli olup, gerçekleştiren doktordan bağımsızdır.
- Oda hazırlık zamanları, operasyon sırasına bağımlı olup, deterministik olarak bilinmektedir.
- Doktor hazırlık zamanları, operasyon sırasına bağımlı olup, deterministik olarak bilinmektedir.
- Her doktorun gerçekleştirebileceği operasyonlar bellidir.

B. Problemin Matematiksel Formülasyonu

Kümeler:

$\Omega = \{1,2, \dots, n\}$	Operasyon kümesi
$\rho = \{1,2, \dots, o\}$	Ameliyat odası kümesi
$\delta = \{1,2, \dots, h\}$	Doktor kümesi
GD_p	Operasyon p 'yi gerçekleştirebilen doktorlar kümesi

İndisler:

p ve $q \in \Omega$	Operasyon indisleri
$r \in \rho$	Ameliyat odası indisleri
$k \in \Omega$	Operasyon sırası indisleri
$d \in \delta$	Doktor indisleri

Parametreler:

n	Operasyon sayısı
o	Ameliyat odası sayısı
h	Doktor sayısı
M	Yeterince büyük pozitif sayı
t_p	Operasyon p 'nin işlem süresi
$First_p$	Operasyon p , odaya ilk sırada atanır ise oda hazırlık zamanı
StO_{pq}	Aynı odada operasyon p 'den hemen sonra operasyon q başlıyorsa, oda hazırlık zamanı
StD_{pq}	Aynı doktor operasyon p 'den hemen sonra operasyon q 'yu gerçekleştiriyorsa, doktor hazırlık zamanı

Karar Değişkenleri:

C_{max}	Maksimum tamamlanma zamanı, makespan
S_p	Operasyon p 'nin başlama zamanı
X_{pkr}	Eğer p operasyonu, k . sırada, r odasına atanmışsa 1, değilse 0
Y_{pkd}	Eğer p operasyonu, k . sırada, d doktoruna atanırsa 1, değilse 0

Amaç Fonksiyonu:

$$\min C_{max} \quad (1)$$

Kısıtlar;

Atama Kısıtları

$$\sum_k \sum_r X_{pkr} = 1; \quad \forall p \quad (2)$$

$$\sum_k \sum_{d \in GD_p} Y_{pkd} = 1; \quad \forall p \quad (3)$$

$$\sum_p X_{pkr} \leq 1; \quad \forall k, r \quad (4)$$

$$\sum_p Y_{pkd} \leq 1; \quad \forall k, d; d \in GD_p \quad (5)$$

Ardıl operasyon başlama zamanı ayarlama kısıtları

$$S_q \geq S_p + t_p + StO_{pq} - M(1 - X_{pkr}) - M(1 - X_{q(k+1)r}); \quad \forall p, q, k, r; k < n; p \neq q \quad (6)$$

$$S_q \geq S_p + t_p + StD_{pq} - M(1 - Y_{pkd}) - M(1 - Y_{q(k+1)d}); \quad \forall p, q, k, d; d \in GD_p; k < n; p \neq q \quad (7)$$

İlk operasyon başlama zamanı ayarlama kısıtları

$$S_p \geq First_p - M(1 - X_{p1r}); \quad \forall p, r \quad (8)$$

Ardışıklık kısıtları

$$\sum_p X_{pkr} \geq \sum_p X_{p(k+1)r}; \quad \forall r, k; k < n \quad (9)$$

$$\sum_p Y_{pkd} \geq \sum_p Y_{p(k+1)d}; \quad \forall d, k; k < n \quad (10)$$

Maksimum tamamlanma zamanı (makespan) hesaplama kısıtı

$$C_{max} \geq S_p + t_p; \quad \forall p \quad (11)$$

İşaret kısıtları

$$X_{pkr} \in \{0,1\}; \quad \forall p, k, r \quad (12)$$

$$Y_{pkd} \in \{0,1\}; \quad \forall p, k, d \quad (13)$$

$$S_p \geq 0; \quad \forall p \quad (14)$$

Amaç (1) tüm operasyonların tamamlanması için gereken zamanı minimize etmektir. Kısıt (2) her operasyonun bir oda ve sıraya atanmasını sağlar. Benzer şekilde, kısıt (3) her operasyonun bir doktora ve sıraya atanmasını sağlar. Kısıt (4) bir odanın, kısıt (5) ise bir doktorun bir sırasına en fazla bir operasyon atanmasını sağlamak için tanımlanmıştır. Kısıt (6) ve (7) ardıl operasyonların başlama zamanlarını ayarlar. Kısıt (8), kendinden önce operasyon atanmamış, yani odanın ilk sırasına atanan operasyonların başlama zamanını ayarlamak için kullanılır. Kısıt (9) ve (10) ardışıklık kısıtlarıdır. Hem oda hem de doktor için, $(k + 1)$ 'inci operasyonun yalnızca k operasyonu çizelgelendiğinde planlanabileceğini garanti eder.

Kısıt (11) maksimum tamamlanma zamanını hesaplar. Kısıt (12) ve (13) X_{pkr} ve Y_{pkd} 'nin ikili karar değişkenleri, kısıt (14) ise S_p pozitif karar değişkeni olduğunu ifade eder.

Problemin matematiksel formülasyonunun geliştirilmesinde Akyol ve Saraç [13] 'ın çalışmasındaki matematiksel modelden faydalanılmıştır.

C. Test Problemleri

Önerilen modelin performansını değerlendirmek için rastsal olarak üretilmiş test problem örnekleri kullanılmıştır. Test problemlerine ilişkin detaylı bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir. Operasyon sayısı için $\{5,8,10,12,15,20,25,30,35,40,50,60,75,90,120\}$ değerlerinden, oda sayısı için 19 farklı değerden ve doktor sayısı için de 26 farklı değerden faydalanılarak toplamda farklı boyutlarda 342 problem örneği üretilmiştir. Hazırlık zamanlarının çözüme etkisini daha iyi analiz edebilmek amacıyla farklı önem faktörleri $\{0,1 \text{ ve } 0,25\}$ kullanılmıştır. Önem faktörünün test problemi üretiminde kullanılmasında Lee ve Pinedo [14] ile aynı yöntem kullanılmış olup sıra bağımlı hazırlık zamanlarını belirlemek için hazırlık zamanı önem faktörü (η) , $\eta = \bar{s}/\bar{p}$ formülasyonu kullanılmıştır. Bu formülasyonda \bar{s} ortalama hazırlık zamanını, \bar{p} ise ortalama operasyon süresini göstermektedir. Hazırlık zamanları $[0,2\bar{s}]$ aralığında uniform dağılım kullanılarak oluşturulmuştur. Önem faktörü (η) , 0,1 ve 0,25 olarak iki farklı değer kullanılmıştır. Cerrahi işlem operasyon sürelerini oluşturmak için, Jebali,Alouane ve Ladet [15]'in

önerisine uygun şekilde ortalaması 180 dakika, standart sapması 60 dakika olan lognormal dağılım kullanılmıştır.

Problemler 8 GB RAM ve Intel I5 CPU bulunan kişisel bilgisayarda kurulu Gams 24.1 yazılımında (Cplex çözücüsü) 3600 saniye çalıştırılarak, sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 1: Problem Parametreleri

n	h	o	Önem Faktörü
5	1,2,3	1,2	0,1 ve 0,25
8	2,3,4	1,2,3,4	0,1 ve 0,25
10	2,3,4,5	1,2,3,4	0,1 ve 0,25
12	2,3,5,6	2,3,4,5	0,1 ve 0,25
15	3,4,6,8	2,3,5,6	0,1 ve 0,25
20	3,5,7,10	2,4,6,8	0,1 ve 0,25
25	4,7,9,13	3,5,8,10	0,1 ve 0,25
30	5,8,11,15	3,6,9,12	0,1 ve 0,25
35	6,9,13,18	4,7,11,14	0,1 ve 0,25
40	6,10,14,20	4,8,12,16	0,1 ve 0,25
50	8,13,18,25	5,10,15,20	0,1 ve 0,25
60	9,15,21,30	6,12,18,24	0,1 ve 0,25
75	12,19,27,38	8,15,23,30	0,1 ve 0,25
90	14,23,32,45	9,18,27,36	0,1 ve 0,25
120	18	12	0,1 ve 0,25

III. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde sıra bağımlı hazırlık zamanları bulunan ameliyathane çizelgeleme probleminde karma tamsayılı programlama yöntemi ile bulunan sonuçlar tablolar halinde gösterilmiş ve bulunan sonuçlar özetlenmiştir.

Tablo 2 ve Tablo 3'te küçük boyutlu problem örneği sonuçları görülmektedir. Karma tamsayılı programlama küçük boyutlu problemlerden operasyon sayısı 5 ve 8 olanların tümünde optimal çözümlere çok kısa sürelerde ulaşmıştır. Operasyon sayısı 10 ve daha büyük olan problemlere ise optimal çözümlerin bulunmadığı ancak tamsayılı çözümlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Mümkün olan en iyi çözüme çok yaklaşan problemler olmakla birlikte, ortalama açıklık %45 oranındadır. Tablo 4 ve Tablo 5'te orta boyutlu problem örneklerine ait sonuçlar görülmektedir. Önerilen matematiksel model orta boyutlu problemlerin tümünde tamsayılı çözümlere ulaşmıştır. Alt sınırlar ile ulaşılan tam sayılı çözümler arasındaki ortalama açıklık %65'dir. Tablo 6 ve Tablo 7'de büyük boyutlu problemlere ait sonuçlar sunulmuştur. Önerilen modelin büyük boyutlu problemlerin bir kısmı için tamsayılı çözümler bulunurken, diğerlerinde izin verilen zaman içerisinde tam sayılı çözüm bulunamamıştır. Büyük boyutlu problemlerde alt sınır ile bulunan tam sayılı çözüm değerleri arasındaki ortalama açıklık %76 oranındadır.

Tablo 2: Küçük Boyutlu Problem Örneği Sonuçları (Önem Faktörü = 0,1)

n	h	o	Toplam Problem Sayısı	Optimal Çözüm	Tam Sayılı Çözüm	Çözüm Bulunamadı	Ortalama CPU	Ortalama Açıklık (gap) %
5	{1,2,3}	{1,2}	12	12	-	-	0,47	0,00
8	{2,3,4}	{1,2,3,4}	12	12	-	-	133,04	0,00
10	{2,3,4,5}	{1,2,3,4}	12	-	12	-	-	36,59
12	{2,3,5,6}	{2,3,4,5}	12	-	12	-	-	33,04
15	{3,4,6,8}	{2,3,5,6}	12	-	12	-	-	55,65

Tablo 3: Küçük Boyutlu Problem Örneği Sonuçları (Önem Faktörü = 0,25)

<i>n</i>	<i>h</i>	<i>o</i>	Toplam Problem Sayısı	Optimal Çözüm	Tam Sayılı Çözüm	Çözüm Bulunamadı	Ortalama CPU	Ortalama Açıklık (gap) %
5	{1,2,3}	{1,2}	12	12	-	-	0,37	0,00
8	{2,3,4}	{1,2,3,4}	12	12	-	-	116,13	0,00
10	{2,3,4,5}	{1,2,3,4}	12	-	12	-	-	38,47
12	{2,3,5,6}	{2,3,4,5}	12	-	12	-	-	49,01
15	{3,4,6,8}	{2,3,5,6}	12	-	12	-	-	57,45

Tablo 4: Orta Boyutlu Problem Örneği Sonuçları (Önem Faktörü = 0,1)

<i>n</i>	<i>h</i>	<i>o</i>	Toplam Problem Sayısı	Optimal Çözüm	Tam Sayılı Çözüm	Çözüm Bulunamadı	Ortalama CPU	Ortalama Açıklık (gap) %
20	{3,5,7,10}	{2,4,6,8}	12	-	12	-	-	61,90
25	{4,7,9,13}	{3,5,8,10}	12	-	12	-	-	58,45
30	{5,8,11,15}	{3,6,9,12}	12	-	12	-	-	58,05
35	{6,9,13,18}	{4,7,11,14}	12	-	12	-	-	62,45
40	{6,10,14,20}	{4,8,12,16}	12	-	12	-	-	66,49
50	{8,13,18,25}	{5,10,15,20}	12	-	12	-	-	68,82

Tablo 5: Orta Boyutlu Problem Örneği Sonuçları (Önem Faktörü = 0,25)

<i>n</i>	<i>h</i>	<i>o</i>	Toplam Problem Sayısı	Optimal Çözüm	Tam Sayılı Çözüm	Çözüm Bulunamadı	Ortalama CPU	Ortalama Açıklık (gap) %
20	{3,5,7,10}	{2,4,6,8}	12	-	12	-	-	62,49
25	{4,7,9,13}	{3,5,8,10}	12	-	12	-	-	64,10
30	{5,8,11,15}	{3,6,9,12}	12	-	12	-	-	66,28
35	{6,9,13,18}	{4,7,11,14}	12	-	12	-	-	67,82
40	{6,10,14,20}	{4,8,12,16}	12	-	12	-	-	71,36
50	{8,13,18,25}	{5,10,15,20}	12	-	12	-	-	73,11

Tablo 6: Büyük Boyutlu Problem Örneği Sonuçları (Önem Faktörü = 0,1)

<i>n</i>	<i>h</i>	<i>o</i>	Toplam Problem Sayısı	Optimal Çözüm	Tam Sayılı Çözüm	Çözüm Bulunamadı	Ortalama CPU	Ortalama Açıklık (gap) %
60	{9,15,21,30}	{6,12,18,24}	12	-	12	-	-	68,43
75	{12,19,27,38}	{8,15,23,30}	12	-	6	6	-	80,50
90	{14,23,32,45}	{9,18,27,36}	12	-	3	9	-	85,55
120	18	12	3	-	-	3	-	-

Tablo 7: Büyük Boyutlu Problem Örneği Sonuçları (Önem Faktörü = 0,25)

<i>n</i>	<i>h</i>	<i>o</i>	Toplam Problem Sayısı	Optimal Çözüm	Tam Sayılı Çözüm	Çözüm Bulunamadı	Ortalama CPU	Ortalama Açıklık (gap) %
60	{9,15,21,30}	{6,12,18,24}	12	-	12	-	-	73,84
75	{12,19,27,38}	{8,15,23,30}	12	-	6	6	-	81,62
90	{14,23,32,45}	{9,18,27,36}	12	-	3	9	-	86,65
120	18	12	3	-	-	3	-	-

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada sıra bağımlı hazırlık zamanları içeren ameliyathane çizelgeleme probleminin karma tam sayılı doğrusal programlama formunda matematiksel formülasyonu geliştirilmiş ve bu formülasyonun etkinliği araştırılmıştır. GAMS çözücüsü 3600 saniyede küçük boyutlu problemlerin bir kısmında çok kısa sürelerde optimal çözümler, izin verilen maksimum sürede kalan problemler içinse uygun (olurlu,feasible) çözümler elde etmiştir. Yine izin verilen

maksimum sürede orta boyutlu problemlerin tamamı için uygun çözümler vermiştir. Büyük boyutlu problemlerin bir kısmında uygun çözümler verirken, bir kısmında uygun bir çözüm bulamamıştır. Önem faktörü 0,1'den 0,25'e çıktığında çözüm süresi ortalamaları azalmıştır ancak önemli bir fark oluşturmadığı gözlemlenmiştir.

Literatürde hem oda hem de doktorların hazırlık zamanlarının sıra bağımlı olarak göz önünde bulundurulduğu bir çalışma mevcut olmadığı için sonuçlar bir çalışma ile karşılaştırılmamıştır.

V. SONUÇ

Bu çalışmada reel ameliyathane çizelgelemede karşılaşılan ve daha önce literatürde çalışılmamış, doktorların da hazırlık zamanlarının gözönünde bulundurulduğu bir problem incelenmiştir. Çalışmada test edilen problemlere büyük ölçüde uygun çözümler bulunmuştur ancak karma tamsayılı programlama problemlerin çoğu için 3600 saniyede optimal çözümü bulamamıştır. Çözüm sonuçlarının iyileştirilmesi için sezgisel çözüm yaklaşımları kullanılarak çalışma devam ettirilecektir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve çalışmalarım süresince bana her adımda yol gösteren; emeğini, zamanını ve ilgisini esirgemeyen, karşılaştığım zorluklarda sabırla beni doğruya yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Talip Kellegöz'e katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

- [1] B. Lahijanian, M.H.F. Zarandi and F.V. Farahani, "Proposing a model for operating room scheduling based on fuzzy surgical duration," *2016 Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS)*, IEEE, 2016.
- [2] A. Macario, "Are your hospital operating rooms "efficient"? A scoring system with eight performance indicators," *Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 105.2, 2006.
- [3] A.Hanset, N. Meskens, and D. Duvivier, "Using constraint programming to schedule an operating theatre," *2010 IEEE workshop on health care management (WHCM)*, IEEE, 2010.
- [4] V. Augusto, X. Xie, and V. Perdomo, "Operating theatre scheduling with patient recovery in both operating rooms and recovery beds," *Computers & Industrial Engineering*, 58.2, 2010.
- [5] Z. Zhao and X. Li, "Scheduling elective surgeries with sequence-dependent setup times to multiple operating rooms using constraint programming," *Operations Research for health care*, 3.3, 2014.
- [6] S.N. Ogulata and R. Erol, "A hierarchical multiple criteria mathematical programming approach for scheduling general surgery operations in large hospitals," *Journal of Medical Systems*, 2003, vol.27, no.3.
- [7] A. Guinet and S. Chaabane. "Operating theatre planning," *International Journal of Production Economics*, 85, 2003.
- [8] H.Fei, C. Chu and N. Meskens, "Solving a tactical operating room planning problem by a column-generation-based heuristic procedure with four criteria," *Annals of Operations Research*, 166, 2009.
- [9] A.Riise and E.K. Burke, "Local search for the surgery admission planning problem," *Journal of Heuristics*, 17, 2011.
- [10] M.Khambhammettu and M.Persson, "Analyzing a Decision Support System for Resource Planning and Surgery Scheduling," *Procedia Computer Science*, 100, 2016.
- [11] J.P.Arnaout and S.Kulbashian, "Maximizing the utilization of operating rooms with stochastic times using simulation," *Proceedings of the 40th conference on winter simulation. Winter Simulation Conference*, 2008.
- [12] J.P.Arnaout, "Heuristics for the maximization of operating rooms utilization using simulation," *Simulation*, 2010, vol.86, No.8-9 (2010).
- [13] E.Akyol and T. Saraç. "Paralel Makina Çizelgeleme Problemi için bir Karma Tamsayılı Programlama Modeli: Ortak Kaynak Kullanımı," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5.3, 2017.
- [14] Y.H.Lee and M.Pinedo. "Scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times," *European Journal of Operational Research*, 100, 1997.
- [15] A.Jebali, Aida, A.B.H. Alouane and P. Ladet. "Operating rooms scheduling," *International Journal of Production Economics*, 99, 2006.