



# DOĞUŞ ÜNİVERSİTESİ DERGİSİ

## DOGUS UNIVERSITY JOURNAL

e-ISSN: 1308-6979

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/doujournal>

### DİYALİZ MERKEZLERİNDE SEANS ÇİZELGELEMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM ÖNERİSİ VE KARAR DESTEK SİSTEMİ (\*)

#### A SOLUTION APPROACH AND DECISION SUPPORT SYSTEM FOR TREATMENT SESSION SCHEDULING IN DIALYSIS CENTERS

Beyza GÜNESEN AKANSU<sup>(1)</sup>

**Öz:** Sağlık endüstrisi, doğrudan insan hayatına ve yaşam kalitesine müdahalede bulunan hizmetler sunmaktadır öte yandan toplum için önem derecesinden bağımsız olarak ekonomik koşullardan diğer endüstriler kadar etkilenmektedir. Sağlık hizmet sağlayıcıları ve yöneticilerinin, artan maliyetler ile başa çıkılabilmesi için hizmet kalitesini olumsuz etkilemeyecek ekonomik formüllerin geliştirilmesine olanak sağlayan yönetim anlayışına sahip olmaları gerekmektedir. Sağlık hizmet birimlerinde çizelgeleme yaklaşımlarının geliştirilmesi, maliyetlerin düşürülmesi ve kaynakların optimum şekilde kullanılmasının yanı sıra hasta akışının iyileştirilmesi ve tedavi süreçleri için gereken sürenin azaltılması gibi hizmet kalitesi bileşenleri için de kritik rol oynamaktadır.

Bu çalışmada diyaliz merkezi yöneticilerinin hasta-seans çizelgelemesi esnasında nasıl bir anlayış benimsemeleri gerektiğine yardımcı olmak amacıyla bir model yönelimli karar destek sistemi geliştirilmiştir. Diyaliz tedavisi işletmeleri için en önemli iki kaynak, diyaliz makineleri ve sağlık personelidir. Bir kaynağın optimum kullanımı diğer kaynaktan istenen verime ulaşamamasına sebep olmaktadır. Diyaliz merkezleri çizelgeleme faaliyetleri personel deneyimi ve içgörüsüne dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Karar Destek Sistemlerinin (KDS) otomatizasyon yetenekleri, çizelgeleme sürecini manuel yöntemlerden kurtararak zaman ve çaba tasarrufu sağlamaktadır. Bilgisayar tabanlı algoritmalar ve optimizasyon teknikleri kullanılarak, kaynaklar en etkili şekilde planlanmakta ve dağıtılmakta bununla birlikte süreç hızlandırılmakta ve verimlilik iyileştirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Karar Destek Sistemi, Diyaliz Merkezi, Optimizasyon, Sağlık Yönetimi

**Abstract:** Health industry provides services that directly intervene in human life and quality of life, however, it is also affected by economic conditions as much as other industries, regardless of its importance for society. Healthcare service providers and managers must have a management approach that enables the development of economic formulas that will not negatively affect the quality of service to cope with increasing costs. The development of scheduling approaches in healthcare units plays a critical role in service quality components such as reducing costs, using resources

(\*) Yönetim Araştırmaları / Mühendislik Uygulamaları Sempozyumu'nda (2023) bildiri olarak sunulmuştur.

(1) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü; beyza.gunesen@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3709-7558

Geliş/Received: 31-03-2023; Kabul/Accepted: 01-10-2023

*optimally, improving patient flow, and reducing the required time for treatment processes.*

*In this study, a model-oriented decision support system is developed to help dialysis center managers adopt the necessary approach during patient-session scheduling. The two most important resources for dialysis treatment businesses are dialysis machines and healthcare personnel. The optimal use of one resource can lead to failure in achieving the desired efficiency in the other resource. Scheduling activities in dialysis centers are traditionally performed based on staff experience and intuition. However, the automation capabilities of a Decision Support System (DSS) provide time and effort savings by eliminating manual methods. Computer-based algorithms and optimization techniques are used to effectively plan and allocate resources, resulting in accelerated processes and improved efficiency."*

**Keywords:** *Decision Support System, Dialysis Center, Optimization, Healthcare Management*

**JEL:** *C44, C61, M54*

## 1. Giriş

Günümüz ekonomik koşulları ve sağlık hizmeti maliyetleri dikkate alındığında, hastaların uzun ve periyodik tedavi gördüğü sağlık birimlerinde makine, ekipman ve sağlık personeli başta olmak üzere sınırlı kaynakların verimli kullanılması, hasta tedavilerinin ve ilgili sağlık sisteminin sürekliliği için bir zorunluluk haline gelmektedir. Hasta çizelgeleme, operasyonel karar seviyesinde hastaların veya hasta aktivitelerinin zamana bağlı olarak sağlık hizmet birimi kaynaklarına atama sürecidir. Etkin çizelgelerin oluşturulması, hastalara sunulan hizmet ve kısıtlı kaynakların kullanımı süreçlerinde işletmeye getiri sağlamaktadır.

Son dönem böbrek yetmezliği (SDBY) prevalansı ülkemizde ve küresel ölçekte artma eğilimindedir (Hill vd.,2016). SDBY hastaları yaşamlarını devam ettirebilmek adına diyaliz tedavi yöntemlerinden birini mutlaka almalıdırlar. Hemodiyaliz (HD) ise diyaliz tedavi türlerinden en yaygın kullanıma sahip olan türüdür. HD evde veya bir sağlık merkezinde uygulanabilir bir tekniktir. Ancak cihaz maliyetinin her vatandaşın karşılayabileceği uygunlukta olmaması ve bir sağlık personeli tarafından işlem öncesi ve sonrası gereken ölçüm ve takiplerin yapılması ihtiyacı nedeni ile tedavi için sıklıkla sağlık birimleri tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, karar vericilere ışık tutması amacıyla, diyaliz merkezlerinde kritik öneme sahip iki kaynaktan her birinin optimum kullanımının diğer kaynak üzerindeki etkisini gösteren bir karar destek sistemi tasarlanmıştır.

## 2. Literatür Taraması

Sağlık sistemleri için optimizasyon problemleri, ekipman, tıbbi malzeme, doktor, personel gibi yüksek maliyetli kaynakların sınırlılığı nedeni ile sağlık hizmetlerinin en verimli hali ile sunulmasını gerektirdiğinden araştırmacılar tarafından ilgi odağı haline gelmiştir (Abdalkareem vd., 2021). Sağlık sistemleri için yapılan araştırmalar hasta kabul planlaması, ameliyathane çizelgeleme ve hemşire yönlendirme problemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Hasta Kabul Çizelgeleme (HKP) problemi hem tıbbi tedavi etkinliğini hem de hastaların konforunu en üst düzeye çıkaracak şekilde hastaların yataklara atanmasını içerir (Ceschia ve Schaerf, 2011).

Hastane bünyesinde bulunan farklı servis birimlerinde, hasta türleri ve geliş sıklıkları zaman dilimleri bazında değişkenlik gösterebilmektedir. Diyaliz merkezleri alışlagelmiş sağlık birimlerinden farklı bir dinamiğe sahiptir. Merkezler hastalara periyodik ve sürekli olarak bir hizmet sunmaktadırlar. Hasta sayıları ve ziyaret dilimleri değişkenlik gösterebilmektedir ancak bu durum saatlik ve günlük değişen bir seyirde meydana gelmediğinden randevular genellikle haftalık veya iki haftalık dönemleri kapsayacak şekilde planlanmaktadır. İşlem süreçlerinin belirtilen farklılıklarından dolayı hastane servis birimleri için geliştirilen yöntem ve yaklaşımlar diyaliz merkezleri için uygulanabilir değildir. Diyaliz merkezleri, hizmet ekonomisi ve hizmet kalitesinin geliştirmek üzere farklı yaklaşımların üzerinde durulması gerekmektedir. Literatür incelendiğinde diyaliz birimleri özelinde geliştirilen optimizasyon yönelimli çalışmalar taranmış olup karşılaşılanlar izleyen bölümde sunulmuştur.

Holland J. (1994), diyaliz merkezlerinin hasta randevu planlama stratejileri üzerine yaptığı çalışmada, hasta randevularının tüm güne yayılacak şekilde planlanması belirli saatlerde yığın şeklinde planlaması durumuna göre daha kısa sürede daha çok hizmet sağlanmasına ve merkez kapasitesinin daha etkili kullanıldığı sonucuna ulaşmıştır.

Fleming vd. (2020), tarafından diyaliz servisleri üzerine yapılan çalışmada hemşire ve diyaliz istasyonu kapasiteleri dikkate alınarak hastaların tedavi öncesi beklemleri ve maksimum tamamlanma zamanını en aza indirecek bir KDS geliştirilmiştir. Çizelge, hastaların gün boyunca hangi istasyona hangi sırayla yerleştirilmesi gerektiğine karar vermektedir. Hemşire çalışma planları, bir sonraki hastaya geçiş için gerekli olan istasyon hazırlama süreleri modele dâhil edilmiştir.

Diyaliz hizmet birimlerini konu alan bir diğer çalışmada ise hasta çizelgeleme problemi sentetik amaçlı bir optimizasyon problemi haline getirilerek formülize edilmiştir (Liu vd.,2017). Diyaliz ekipman kullanım maliyetleri, hemşireler için gece vardiyası sayısı, hasta tercihlerinin karşılanması ve cihazların dengeli dağıtımı amaç fonksiyonu bileşenlerini oluşturmaktadır. Problemin çözümü için bir sezgisel yöntem ve rollout algoritması geliştirilmiş ve iki yöntem sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlar gerçek veriler üzerinden elde edilmiştir. Rollout algoritması diğer sezgisel yöntemlere göre hasta tercihlerinin karşılanması ve gece vardiyalarının azaltılması kriterlerinde daha iyi performans sergilemiştir.

Pena vd. 2013, hastane diyaliz birimleri için bir optimizasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Hastane diyaliz üniteleri yalnızca SDBY hastaları için değil farklı bir sağlık problemi olduğu halde hemodiyaliz tedavisi de almak durumundan kalan hastalara da hizmet sağlamaktadır. Bu birimlerde talepler günlük olarak değişmekte ve tedavilerde gecikmeler yaşanabilmektedir. İncelenen çalışmada, diyaliz ünitesi hastaları ve farklı birimlerden gelen hastaların tedavisinin en az aksama ile çizelgelenmesi ve ekipmanların maksimum verimle kullanılabilmesi amacıyla optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Diyaliz tedavisinin önceliklendirilmesi, diyaliz tedavisi haricindeki tedavilerin önceliklendirilmesi ve dengeli bir önceliklendirmenin yapılması olarak 3 farklı senaryo için çizelgeleri oluşturan bir KDS tasarlanmıştır.

Schimmelpfeng vd. (2012), optimizasyon modelleri ve algoritmalar kullanılarak hastane kaynaklarının (yataklar, personel, ekipmanlar) etkili bir şekilde planlanması ve kullanılması için bir yaklaşım önerilmiştir. Ayrıca, hastaların tedavi süreçlerinin

ve programlarının düzenlenmesinde karar verme sürecine destek sağlamak için bir karar destek sistemi tasarlanmıştır.

İncelenen çalışmalar çoğunlukla hasta ve hemşire tercihleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada ise diyaliz merkezi maliyetlerinin düşürülmesi ve devamlılığın sağlanabilmesi için diyaliz merkezlerinde seans çizelgelerinin daha az maliyetle yapılabilmesi konusunda merkez yöneticilerine yardımcı olacak bir optimizasyon yönelimli KDS üzerinde çalışılmıştır. Merkeze gelişler için gün seans bilgileri hasta tercihlerine göre şekillendirildikten sonraki aşama olan seans çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Seans çizelgeleme için makine iş yüklerinin dengeli dağıtımı ve hemşire ihtiyacının belirlenmesi olmak üzere iki farklı senaryonun değerlendirilebilmesi adına matematiksel modeller geliştirilmiş ve örnek problem üzerinde karşı gelen çizelgeler kullanıcıya sunulmuştur.

### 3. Materyal ve Yöntem

Merkez, hasta randevularını seans başı kullanılabilir makine sayısı ve kabul edilen hasta sayısı eşitlenecek şekilde ve genellikle iki haftalık periyotlar boyunca planlamaktadır. Planlama aşamasında öncelikle hastanın merkeze geliş sayısı, geleceği gün aralıklarını içeren hasta reçetesi dikkate alınmaktadır. Tedavi gün ve seansları ise hasta tercihlerinin mümkün olduğunca karşılanmasına yönelik olarak belirlenmektedir.

Tedavi gün ve seansları belirli olan hastalar için atandığı seansın hangi zaman diliminde hizmet birimine gelmesi gerektiğine ilişkin bir karar problemi çizelgelemenin son aşamasında ortaya çıkmaktadır. Bu aşamada en önemli maliyet kalemi olan kaynaklara ait kullanımların, işletme ekonomisi üzerinde faydalı etkiye sahip olacak şekilde optimize edilmesi gerekmektedir.

Çözüm yaklaşımı, bir seansa gelen tüm hastalar için maksimum tamamlanma zamanını ve bir seansta gerekli hemşire ihtiyacını minimize edecek iki farklı amaca sahip doğrusal programlama modelini içermektedir.

Tamamlanma zamanının minimize edilmesi ile diyaliz cihazı iş yüklerinin mümkün olduğunca dengeli dağıtılması hedeflenmektedir. Dengeli dağıtım ile toplam cihaz kapasitesinin mümkün olan en verimli şekilde kullanılması sağlanacaktır. Hemşire sayısının minimize edildiği bir diğer amaç ile cihaz zaman dilimi atamaları, tamamlanma zamanlarına bakılmaksızın gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşım ise sistemin en az hemşire sayısı ile yürütülmesine odaklanarak maliyet gözetimli bir fayda getirecektir.

#### 3.1. Matematiksel Model

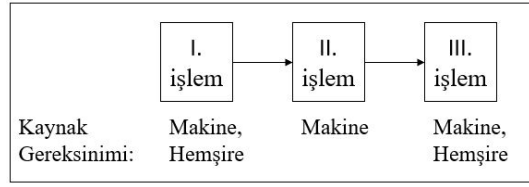
Matematiksel modelin inşa edilebilmesi için öncelikle bir hastanın bir seanstaki tedavi süreci yol haritasının analiz edilmesi gerekmektedir. Bir hastanın klinik yolu, Fleming vd. (2020) tarafından klinik aktivitelerin düğümler üzerinde gösterildiği bir çizge olarak modellenmiş olup bu çalışmada matematiksel modelin geliştirilmesinde tanımlanmış çizge modeli esas alınmıştır. İzlenen yolun temsili gösterimi ve her bir işlemde kullanılan kaynak ve sürelerine ait bilgiler Şekil 1'de verilmiştir.

Tüm süreç, tedavinin başlatılması, tedavinin sürdürülmesi ve tedavinin sonlandırılması olmak üzere üç işlemten meydana gelmektedir.

**Tedavinin Başlatılması (Birinci İşlem):** Hemodiyaliz makinesinin hazırlanması, vital bulguların alınması, hastanın genel değerlendirilmesi, makine bağlantılarının sağlanması gibi bir dizi faaliyeti içerir ve süreç, diyaliz hemşiresi tarafından yürütülür.

**Tedavinin Sürdürülmesi (İkinci İşlem):** Kan transfüzyonu makine tarafından sağlanır. Bu aşamada ek olarak komplikasyon takibinin yapılması gerekir. Ancak ikinci aşamada hasta başına hemşire takibi gerekli değildir. Bir hemşire o anda makine tarafından tedavi süreci devam eden tüm hastaların komplikasyon takibini gerçekleştirebilir.

**Tedavinin Sonlandırılması (Üçüncü İşlem):** Makine ekran verilerinin kaydedilmesi, ilaç tedavisinin uygulanması, bağlantının sonlandırılması, hastanın son durum kontrolünün sağlanması faaliyetleri ise tedavi bitiş işlemi oluşturur. Birinci aşamada olduğu gibi hemşire ve makinenin birlikte kullanımını gerektirir.



Şekil 1. Seans Tedavi Süreci Yol Haritası

Tedavi sürecinin her bir işlemi her hasta için benzerlik göstermektedir. Hastaların birinci ve üçüncü işlemleri genel olarak 15'er dakikalık bir süreyi kapsamaktadır. Tedavinin makine ile sürdürüldüğü ikinci aşama ise hasta fiziksel karakteristiğine bağlı olarak 2 saat ile 4 saat arasında devam etmektedir. HD hasta popülasyonunun yarısından fazlası 4 saat civarında tedavi almaktadır (Saran vd., 2006).

Matematiksel modele ait parametreler Tablo 1'de tanımlanmıştır.

Tablo 1. Parametre Bilgileri

Parametre	Açıklama
$i \in \{1,2,3,\dots,H\}$	Hasta kümesi
$j \in \{1,3\}$	İşlem kümesi; başlatma ve sonlandırma
$k \in \{1,2,\dots,K\}$	15'er dakikalık slotlar kümesi
$T_i$	i. Hastanın ikinci işlemine ait süresi (işlem göreceği slot sayısı)

Tamamlanma zamanının en küçüklendiği bu yaklaşım ile makine işgüçlerinin dengeli dağıtımının sağlanması üzerine kurulmuş matematiksel model izleyen bölümde tanımlanmıştır.

$x_{ijk}$ , i. hastanın j. işleminin k. slota atanması durumunda 1, diğer durumlarda 0 değerini alan ikil karar değişkenleridir.

S: Son sıraya atanan 3. İşlemin bitiş slotu (Tamamlanma)

$$EnkZ \quad S \quad (1)$$

$$\sum_j x_{ijk} = 1 \quad \forall_{i,k} \quad (2)$$

$$x_{i1k} + T_i = x_{i3k} \quad \forall_i \quad (3)$$

$$x_{i3k} \leq S \quad \forall_i \quad (4)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad (5)$$

Amaç fonksiyonu (1) en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesidir. Kısıt (2), her hastanın her işleminin yalnızca bir slota atanmasını garantiler. Hastanın birinci ve üçüncü işlemleri arasındaki zaman farkı tedavi sürelerine yani ikinci işlem süresine eşit olmalıdır, öncelikle birinci işlem bir slota atanmakta ikinci işlem slot sayısı (Ti) eklenerek üçüncü işlem slotunun bu sürenin bitişinden hemen sonraki slota atanması sağlanmaktadır (3).

Kısıt (4) ise her hastanın tamamlanma zamanını bir S değişkenine atar. Bu durumda S tüm seanstaki maksimum tamamlanma zamanına eşitlenmektedir. S değişkeninin amaç fonksiyonunda minimize edilmesi ile tamamlanma zamanının minimize edilmesi sağlanmaktadır. Son kısıt ise işaret kısıtlarını temsil etmektedir. Bir seansta gereken hemşire sayısının minimize edildiği diğer modelde amaç fonksiyonu ilk modelden farklı kurgulanmıştır. Eşitlik (6)'da verilen fonksiyona göre her bir slot için gereken hemşire sayısı hesaplanmakta ve maksimum hemşire sayısı gerektiren slot için gerekli hemşire sayısının minimize edilmesi sağlanmaktadır.

$$Enk Z \quad Maks \left\{ \sum_k x_{ijk} \quad \forall_{i,j} \right\} \quad (6)$$

### 3.2. Karar Destek Sistemi

Diyaliz merkezi yöneticilerine, merkez ekonomisine etki edecek kararların verilmesi aşamasında yardımcı olmak üzere bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Değişken hasta tedavi süreleri dikkate alınarak göre matematiksel modeller ayrı ayrı çözülmekte ve optimum sonuçlar bir seansta hizmet veren her bir diyaliz makinesinin dolu olduğu slotlar üzerinde görselleştirilmektedir. MS Excel ortamında tasarlanan KDS, üç temel adımı içermektedir.

#### *Adım 1: Hasta verilerinin türetilmesi*

KDS'nin ilk adımında kullanıcı girişine göre bir seansta hizmet alacak hasta sayısı belirlenmektedir. Girilen sayıya göre her bir hastaya hasta numarası ve diyaliz hastalarının gerçek tedavi sürelerine paralel olarak 2 ile 4 saat arasında değişen süreler rassal olarak atanmaktadır. Tedavi işlem sürelerinden hareketle bir hastanın kaç slot boyunca tedavi göreceği bu aşamada hesaplanır.

**Adım 2: Model sayfasının oluşturulması**

Matematiksel modelin işlem tablosuna uygun şekilde aktarılması aşamasıdır. Model sayfasına yerleştirilen model bileşenleri Çözücü'ye tanımlanır. Bu aşamada Excel OpenSolver eklentisi kullanılmaktadır.

**Adım 3: Sonuçların görselleştirilmesi**

Her iki model sonuçlarına göre ilgili seans için makinelerin hangi zaman dilimlerinde meşgul olduğunu dolayısı ile hastaların atandığı slot bilgileri Gantt şeması yardımı ile görselleştirilmektedir. Son aşamada bir amaç fonksiyonun en iyi değerini ve diğer amaca ait değer sayfaya yazdırılmaktadır.

**3.3. Örnek Problem**

Bu bölümde geliştirilen KDS bir örnek problem üzerinden tanıtılmaktadır. İlk adımda bir seansta hizmet verilecek hasta sayısı, açılan diyalog penceresine girilmelidir. Bu aşamada gerçek veriler ile çalışılmadığından hasta sayısının manuel olarak kullanıcı tarafından girilmesi istenmektedir. İlgili veri alanına gerçek hasta verilerinin girilmesi ile de sonuçlar elde edilebilmektedir.

Örnek problemde 15 hastalık bir veri seti oluşturulmuştur. Hasta bilgileri Tablo 2'de paylaşılmıştır.

**Tablo 2. Örnek Problem Verileri**

Hasta Numarası	İşlem Süresi	Slot Adedi
1	2	8
2	4	16
3	3	12
4	3	12
5	2	8
6	4	16
7	4	16
8	3	12
9	2	8
10	4	16
11	3	12
12	3	12
13	3	12
14	2	8
15	2	8

15 adet hastaya ait veriler temel alınarak tamamlanma zamanının en küçüklendiği model çözdürülmüş ve seans çizelgesi Şekil 2'de verilmiştir. Örnek problemde 07:00 – 12:45 zaman aralığı içerisinde hizmet verilen sabah seansında 15'er dakikalık toplam 24 adet slot bulunmaktadır. 15 hasta 15 makineye atanmıştır. Mor renkli alanlar her bir hasta için işlem göreceği slot aralığını ifade etmektedir. Örneğin 1. Hasta 1. Makinede işlem görmektedir ve 1. ve 10. Slotlar aralığında tedavisi

gerçekleştirilmektedir. Seans başına 18 adet hemşireye ihtiyaç duyulacağı belirlenmiştir. İlgili seans için son işlem 18. slotun karşılık geldiği saat 11:15'te sonlanmaktadır. Seans başına 7 adet hemşireye ihtiyaç duyulacağı belirlenmiştir.

Hastaların 1. İşlemini temsil eden hazırlık işlemi bir adet slota ihtiyaç duymaktadır. Aynı şekilde 3. İşlem makineden ayrılma süreci olup bir slotluk dilimi kapsamaktadır. Problemden hasta sayısı makine sayısına eşit olduğundan ve bir hasta yalnız bir makine tarafından işlem görebildiğinden çizelge sayfasında hasta ve makine terimleri birbirini temsil etmektedir. Örneğin Mak6, diyaliz merkezindeki 6.makineyi aynı zamanda 6.hastayı temsil etmektedir. Şekil 2'de paylaşılan çizelgeye göre Mak2'ye atanan hastanın başlama – tedavi – bitiş olmak üzere 3 işlemi bulunmaktadır. Parametre değerlerine göre tedavi süreci 16 slotluk bir dilimi kapsamaktadır. Yalnızca makinenin kullanıldığı tedavi süresine ek olarak hemşire gereksinimi duyulan başlangıç (1. İşlem) ve bitiş (3. işlem) olmak üzere toplam 2 slot eklendiğinde 1. slotta işlemlerine başlanan hastanın bitiş slotu 18. slottur.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1																															
2	Makineler	Bits	Başlangıç	07:00	07:15	07:30	07:45	08:00	08:15	08:30	08:45	09:00	09:15	09:30	09:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45				
3	Mak1	9	1																												
4	Mak2	17	1																												
5	Mak3	15	3																												
6	Mak4	15	3																												
7	Mak5	10	2																												
8	Mak6	17	1																												
9	Mak7	17	1																												
10	Mak8	16	4																												
11	Mak9	15	7																												
12	Mak10	17	1																												
13	Mak11	13	1																												
14	Mak12	17	5																												
15	Mak13	16	4																												
16	Mak14	16	8																												
17	Mak15	9	1																												
18																															

Şekil 2. Minimum makine tamamlanma zamanı çizelgesi

Aynı problemin bir seans için gereksinim duyulacak hemşire ihtiyacının minimize eden matematiksel model ile tekrar çözümü ile elde edilen çizelge Şekil 3'te verilmiştir. Pembe renkli alanlar Şekil 2. ile benzer şekilde hasta işlemlerinin kapsadığı süreci ifade etmektedir. Her hastanın birinci veya üçüncü aşamasında hemşire gereksinimi mevcuttur. Bir slota atanan toplam birinci ve üçüncü işlem sayısı o slottaki hemşire ihtiyacıdır. Şekil 3'te minimum hemşire amacı ile çözülen model sonucunda elde edilen çizelge yer verilmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1																															
2	Makineler	Bits	Başlangıç	07:00	07:15	07:30	07:45	08:00	08:15	08:30	08:45	09:00	09:15	09:30	09:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45				
3	Mak1	15	6																												
4	Mak2	23	6																												
5	Mak3	22	9																												
6	Mak4	23	10																												
7	Mak5	11	2																												
8	Mak6	22	5																												
9	Mak7	21	4																												
10	Mak8	20	7																												
11	Mak9	18	9																												
12	Mak10	24	7																												
13	Mak11	15	2																												
14	Mak12	18	5																												
15	Mak13	17	4																												
16	Mak14	17	8																												
17	Mak15	10	1																												

Şekil 3. Minimum hemşire sayısı çizelgesi

Şekil 3'te verilen seans çizelgesine göre ilgili seans için 2 hemşire ile hizmet verilebilmektedir. Bu amaçta ise maksimum makine tamamlanma zamanı slot 24'te sonlanmaktadır.

Her iki çizelge karşılaştırıldığında makine tamamlanmaları arasında 90 dakikalık bir fark meydana gelmektedir. Diyaliz merkezi işletme yönetimi seans çizelgelemesi için ilk modeli tercih ederse makineler arası iş yüklerinin dengeli dağıtımı sağlanacak ve



makine boş kalma süreleri azaltılmış olacaktır. Seans daha kısa sürede tamamlandığından, hizmet verilen seans süreleri yönetim tarafından azaltılarak daha çok seans ile hizmet sunabilme fırsatı ortaya çıkmaktadır. Hasta seans tercihlerinin daha duyarlı dikkate alınması ile hizmet kalitesinin iyileştirilmesine katkı getirecek yeni bir yönetim stratejisi geliştirmenin önü açılmış olacaktır. Diyaliz merkezi kritik maliyet kalemlerinden olan diyaliz makinelerinin atıl süreleri minimize edilerek merkezin makine kapasitesinin verimli kullanımı sağlanmış olacaktır. İkinci model sonuçlarına göre 2 hemşire ile seans boyunca hizmet sağlanabilmektedir. Makine kullanımlarında bir dengesizlik açığa çıkmaktadır ancak bir diğer kritik maliyet kaleminde önemli bir düşüş gözlemlenmektedir. Yöneticilerin kullanımına sunulan KDS ile bu iki amaç arasındaki ödünleşmeler net bir şekilde ortaya koyulmaktadır. Birim maliyet hesaplamaları yapılarak hangi amacın, işletmenin geleceği için daha baskın olduğu belirlenerek gerekli kararlar bu yönde alınmalıdır.

Şekil 4 ve Şekil 5, 50 hastanın kabul edildiği bir sistemde ortaya çıkan seans çizelgelerini içermektedir. Makine sayısının ve buna bağlı olarak hizmet verilen hasta sayısı arttıkça verilecek kararların etkisi de doğru orantılı olarak artmaktadır.

Şekil 4'te verilen makine tamamlanma zamanlarının minimum değeri ilk örnekteki gibi 18. Slot olarak elde edilmiştir. Bunun sebebi tüm hastalar incelendiğinde maksimum tedavi süreci 4 saat olup 16 slotluk bir süreçtir. Başlama ve bitiş işlemleri eklendiğinde en uzun tedaviye sahip olan hastanın toplam süresi 18 slot boyunca devam etmektedir. Model tamamlanma zamanını mümkün olduğunca azaltmak istediğinde bu tür hastaların tamamının işlemlerini birinci slotta atamaktadır. Bu durumda birinci slotta atanan işlem sayısı artmakta ve buna bağlı olarak o slotta gerekli hemşire sayısı artmaktadır.

Şekil 5'te verilen sonuçlara göre model hastaların hemşire gerektiren birinci ve üçün işlemlerini mümkün olduğunca farklı slotlara atayarak gerekli hemşire sayısını düşürmeye çalışmaktadır. Bunu yaparken ise makineler arasında dengesiz bir iş yükü meydana gelmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	
1																																
2	Makine	Min	Max	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
3	Ma01	16	8																													
4	Ma02	14	2																													
5	Ma03	16	8																													
6	Ma04	17	1																													
7	Ma05	10	2																													
8	Ma06	14	2																													
9	Ma07	9	1																													
10	Ma08	17	1																													
11	Ma09	17	1																													
12	Ma10	9	1																													
13	Ma11	17	1																													
14	Ma12	9	1																													
15	Ma13	13	5																													
16	Ma14	10	2																													
17	Ma15	13	5																													
18	Ma16	17	1																													
19	Ma17	13	5																													
20	Ma18	15	7																													
21	Ma19	15	3																													
22	Ma20	10	2																													
23	Ma21	13	1																													
24	Ma22	13	5																													
25	Ma23	13	1																													
26	Ma24	9	1																													
27	Ma25	17	1																													
28	Ma26	13	1																													
29	Ma27	17	1																													
30	Ma28	17	1																													
31	Ma29	10	2																													
32	Ma30	13	1																													
33	Ma31	9	1																													
34	Ma32	15	3																													
35	Ma33	13	1																													
36	Ma34	17	1																													
37	Ma35	10	2																													
38	Ma36	17	1																													
39	Ma37	15	3																													
40	Ma38	15	3																													
41	Ma39	16	8																													
42	Ma40	16	4																													
43	Ma41	10	2																													
44	Ma42	17	1																													
45	Ma43	11	3																													
46	Ma44	9	1																													
47	Ma45	16	4																													
48	Ma46	14	2																													
49	Ma47	17	1																													
50	Ma48	15	3																													
51	Ma49	16	4																													
52	Ma50	17	1																													

Şekil 4. 50 boyutlu problem: minimum makine tamamlanma zamanı çizelgesi

	J	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE		
1	Makine	Bir	Bir		07:00	07:15	07:30	07:45	08:00	08:15	08:30	08:45	09:00	09:15	09:30	09:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45						
2	Mak1	13	4																															
3	Mak2	24	11																															
4	Mak3	13	4																															
5	Mak4	24	7																															
6	Mak5	15	6																															
7	Mak6	22	9																															
8	Mak7	21	12																															
9	Mak8	23	6																															
10	Mak9	20	3																															
11	Mak10	14	5																															
12	Mak11	19	2																															
13	Mak12	17	8																															
14	Mak13	16	7																															
15	Mak14	18	9																															
16	Mak15	17	8																															
17	Mak16	24	7																															
18	Mak17	12	3																															
19	Mak18	15	6																															
20	Mak19	23	10																															
21	Mak20	13	4																															
22	Mak21	16	3																															
23	Mak22	19	10																															
24	Mak23	22	9																															
25	Mak24	16	7																															
26	Mak25	18	1																															
27	Mak26	15	2																															
28	Mak27	18	1																															
29	Mak28	22	5																															
30	Mak29	20	11																															
31	Mak30	14	1																															
32	Mak31	20	11																															
33	Mak32	23	10																															
34	Mak33	24	11																															
35	Mak34	20	3																															
36	Mak35	21	12																															
37	Mak36	23	6																															
38	Mak37	15	2																															
39	Mak38	15	2																															
40	Mak39	17	8																															
41	Mak40	22	9																															
42	Mak41	19	10																															
43	Mak42	19	2																															
44	Mak43	21	12																															
45	Mak44	16	5																															
46	Mak45	24	11																															
47	Mak46	21	8																															
48	Mak47	20	3																															
49	Mak48	19	1																															
50	Mak49	17	4																															
51	Mak50	18	1																															
52	Mak50	18	1																															

Şekil 5. 50 boyutlu problem: minimum hemşire sayısı çizelgesi

#### 4. Sonuç

Diyaliz merkezleri, hemodiyaliz tedavisi almak durumunda olan bireyler için tedavi hizmetleri sunmaktadır. Tedavi hizmet bir kereye mahsus olmayıp böbrek nakli gerçekleşmezse yaşam boyu devam etmektedir. Merkezler hastalara sürekli olarak diyaliz cihazları ile hizmet sunmaktadır. Sürekli tedavinin olmasından kaynaklı hasta randevuları gün bazında fazla değişkenlik göstermemekle birlikte merkez hasta kapasitesi bünyesindeki diyaliz cihazı ile sınırlı olduğundan seans başına gelecek hasta sayısı belirli olmalıdır. Randevular açıklanan sebepler doğrultusunda genellikle iki haftalık dönemler şeklinde planlanmaktadır. Hastaların haftada kaç gün tedavi alması gerektiği doktor tarafından belirlenmektedir. Gün ve seans tercihleri ise hastalara bırakılmaktadır. Seansların belirlenmesi ile seansın hangi zaman dilimine atanması gerektiğine karar verilmesi gerekmektedir. Bu noktada hastaların tedavi sürelerinin farklı olması kararın verilmesinde sorun teşkil etmektedir. İlgili problem için seans başına makine tamamlanma zamanlarının ve hemşire ihtiyacının en küçüklenmesine ilişkin matematiksel modeller geliştirilmiştir. KDS ile manuel olarak yapılan çizelgeleme işlemlerinin belirli hedefler doğrultusunda geliştiren optimizasyon modelleri ile gerçekleştirilmesi sağlanarak, işlemlerin hızlandırılması ve etkinliğin artırılması sağlanmaktadır. Matematiksel modellerin farklı hasta grupları olduğunda da hızlı ve kolayca çözümlere ulaşmada kullanılması ve çizelgelerin belirlenmesi için probleme özgü bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. KDS, MS Excel ortamında tasarlanmış olup modeller OpenSolver eklentisi ile çözdürülmektedir.

Matematiksel model sonuçlarında göre slot atamaları gerçekleştirilir. Her bir makine için hangi zaman aralığında meşgul vaziyette olduğu çizelge sayfasında görüntülenebilmektedir. Kullanıcıya makine işlemlerinin ne zaman sonlanacağı, makineler arasında iş yükü dağılımı ve o dağılımın kaç hemşire ile sağlanabileceği bilgileri sunulmaktadır. Bu bilgilerin, diyaliz merkezi faaliyetlerinin iyileştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir. Diyaliz cihazı satın alma ve bakım maliyetlerinin

yüksek miktarlarda olması cihazların mümkün olan en verimli şekilde kullanılması gerektiği sonucunu doğurmaktadır. Cihaz birim maliyetleri ve sağlık personeli birim maliyetleri dikkate alınarak merkez kapasitesi ve politikalarına göre bir tercih yapılması gerekmektedir.

Problem, birbirinden bağımsız iki model yerine çok amaçlı optimizasyon problemi olarak sonraki çalışmalarda ele alınacaktır. Çizelgelerin seans başı ve daha bütüncül olarak iki haftalık periyotlarda birlikte planlamasına yönelik bir KDS geliştirilmesi ve daha etkin çözüm yaklaşımların benimsenmesi sıradaki hedefler içerisinde yer almaktadır.

## Referanslar

- Abdalkareem, Z. A., Amir, A., Al-Betar, M. A., Ekhan, P., & Hammouri, A. I. (2021). Healthcare scheduling in optimization context: a review. *Health and Technology, 11*, 445-469.
- Al Saran, K., & Sabry, A. (2012). The cost of hemodialysis in a large hemodialysis center. *Saudi Journal of Kidney Diseases and Transplantation, 23*(1), 78.
- Ceschia, S., & Schaerf, A. (2011). Local search and lower bounds for the patient admission scheduling problem. *Computers & Operations Research, 38*(10), 1452-1463.
- Choi, J. W., Lee, H., Lee, J. C., Lee, S., Kim, Y. S., Yoon, H. J., & Kim, H. C. (2017). Application of genetic algorithm for hemodialysis schedule optimization. *Computer Methods and Programs in biomedicine, 145*, 35-43.
- Fleming, R., Gartner, D., Padman, R., & James, D. (2019). An analytical approach for improving patient-centric delivery of dialysis services. In Amia annual symposium proceedings , *American Medical Informatics Association*, 418-427.
- Hill, N. R., Fatoba, S. T., Oke, J. L., Hirst, J. A., O'Callaghan, C. A., Lasserson, D. S., & Hobbs, F. R. (2016). Global prevalence of chronic kidney disease—a systematic review and meta-analysis. *PloS One, 11*(7), e0158765.
- Holland, J. (1994). Scheduling patients in hemodialysis centers. *Production and Inventory Management Journal, 35*(2), 76.
- Liu, Z., Lu, J., Liu, Z., Liao, G., Zhang, H. H., & Dong, J. (2019). Patient scheduling in hemodialysis service. *Journal of Combinatorial Optimization, 37*, 337-362.
- Ogulata, S. N., Cetik, M. O., Koyuncu, E., & Koyuncu, M. (2009). A simulation approach for scheduling patients in the department of radiation oncology. *Journal of Medical Systems, 33*, 233-239.
- Peña, M. T., Proaño, R.,A., & Kuhl, M. E. (2013). Optimization of inpatient hemodialysis scheduling considering efficiency and treatment delays. *IIE Annual Conference.Proceedings*, (ss. 1349-1357).
- Saran, R., Bragg-Gresham, J. L., Levin, N. W., Twardowski, Z. J., Wizemann, V., Saito, A., & Port, F. K. (2006). Longer treatment time and slower ultrafiltration in hemodialysis: associations with reduced mortality in the DOPPS. *Kidney International, 69*(7), 1222-1228.
- Schimmelpfeng, K., Helber, S., & Kasper, S. (2012). Decision support for rehabilitation hospital scheduling. *OR Spectrum, 34*, 461-489.