

Sağlık sistemlerinde yöneylem araştırması teknikleri: 2007-2017 yılları arası literatür taraması

Operations research in healthcare systems: Literature review of years 2007-2017

Gül Didem BATUR^{1*}, Serpil EROL²

^{1,2}Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
dbatur@gazi.edu.tr, serpiler@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 09.02.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 23.06.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.44389

Derleme Makalesi/Review Article

Öz

Yöneylem Araştırması tekniklerinin sağlık alanındaki problemlerin çözümünde kullanımının son yıllarda dikkat çekici boyutlara ulaştığı görülmektedir. Bu çalışmada, sağlık sistemlerinde karşılaşılan problemler ele alınmış ve planlama, yönetim ve uygulama başlıkları altında sınıflandırılmıştır. Bu konularda çalışma yapacak araştırmacılara yön göstermesi amacıyla, 2007-2017 yılları arasında yayınlanan çalışmalar, konu başlıklarına göre, çözüm yöntemleri ve gerçek hayat problemleri üzerindeki uygulamaları açısından değerlendirilmiş ve Yöneylem Araştırması'nın bu tür problemlerin çözümünde uygulanabilirliği ortaya koyulmuştur.

Anahtar kelimeler: Sağlık sistemleri, Yöneylem araştırması, Optimizasyon, Literatür araştırması

Abstract

The use of Operations Research techniques for problems in healthcare systems is observed to get remarkable attention in recent years. In this study, problems encountered in healthcare systems are taken into consideration and are classified under the headings of planning, management and application. In order to guide the researchers who will work on these issues, studies published between the years 2007-2017 are evaluated according to their headings, solution methods and applications on real life problems, and the applicability of Operation Research over these problems is presented.

Keywords: Healthcare, Operations research, Optimization, Literature survey

1 Giriş

Günümüzde neredeyse bütün gelişmiş ülkelerde yaşanan popülasyonun artması ve doğum oranlarının düşmesi, hastanelerde verilen hizmetin yetersiz kalması, acil durumdaki hastaların zamanında hastanelere ulaştırılamaması gibi daha birçok konunun birbirleriyle ilişkili hale gelmesiyle sağlık alanındaki problemler son yıllarda dikkat çekici boyuta ulaşmıştır. Çok sayıda metot ve çözüm tekniklerinin bulunduğu yöneylem araştırması sağlık alanında karşılaşılan problemlerin çözümü için kullanılması ideal bir yaklaşımdır.

Topluma maksimum düzeyde sağlık hizmeti sağlamak için; poliklinik ve hastanelerin en uygun şekilde konumlandırılması, acil servislerde, travma ve yoğun bakım ünitelerinde hemşirelerin hangi zamanlarda görevli olacağını belirlenmesi, karşılaşılabilecek tüm olumsuz şartların varlığında bile yeterli düzeyde hizmetin sağlanması için nöbet çizelgeleri oluşturulması, kanser hastalarının tedavisi için gerekli olan sürenin planlanması ve tedavi sürecinin oluşturulması, ambulansların hastalara en kısa sürede ulaşacak şekilde konumlandırılması gibi problemler yöneylem araştırma teknikleri ile çözümlenebilmektedir.

Yöneylem araştırması tekniklerinin hastane yönetimi, kaynak-kısıtlı işlemler veya tedavi planlamaları gibi sağlık sistemlerini ilgilendiren konulardaki uygulamaları her geçen gün artarak sürmektedir. Temelde ele alınan konuların bazılarını servis planlama, kaynak çizelgeleme, lojistik, tanılama, önleyici bakım gibi alanlardan gelmektedir. Rais ve Viana [1] tarafından yapılan literatür araştırmasında sağlık alanındaki yöneylem araştırması uygulamaları; 'sağlık sistemleri planlaması', 'sağlık sistemleri yönetimi ve lojistik', 'sağlık sistemleri uygulamaları',

'uzmanlaşmış ve önleyici sağlık sistemleri' başlıkları altında ele alınmıştır. Söz konusu çalışmada, mevcut araştırmalar, çeşitli optimizasyon problemleri ve problem çözümlerinde kullanılan çözüm teknikleri kapsamında incelenmiştir. Kulkarni [2] sağlık sistemleri ile ilgili problemlerde stokastik modellerin kullanımının incelendiği çalışmada; kan bankaları, organ nakli, hastalık ilerlemesi, görüntüleme ve tedavi yöntemleri, salgın hastalıklar, kaynak planlaması gibi başlıklar altında yapılan araştırmaları sınıflandırarak sunmuştur. Brailsford ve Vissers [3], EURO (European Association of Operational Research Societies) bünyesindeki çalışma gruplarından biri olan ORAHS (Operational Research Applied to Health Services) topluluğunun, kurulduğu 1975 yılından 2010 yılına kadar, 35 yıllık dönem boyunca yaptıkları toplantılarda sunulan çalışmaları incelemişlerdir. Mielczarek ve Mydlikowska [4], sağlık sektöründeki karar verme süreçlerinin benzetim kullanılarak modellenmesine yönelik yapılan çalışmaları ele almış, benzetim modellerinin kullanılabilirliği üzerine araştırma yapmışlardır.

Bu çalışmada sağlık sistemlerindeki problemlere uygulanmış olan yöneylem araştırması çalışmaları, son on yılda sıkça dikkate alınan konular açısından incelenmiş ve yapılan çalışmaların temel özelliklerine dikkat çekilerek 'planlama', 'yönetim' ve 'uygulama' konu başlıkları altında sınıflandırılarak ele alınmıştır. İncelenen çalışmalar, mevcut literatür taraması çalışmalarında adı geçmemiş olmasına dikkat edilerek ele alınmış, konuyla ilgili farklı araştırmacılar tarafından yapılan literatür taramaları belirtilerek bu araştırmalarda açıklanan çalışmalardan tekrar bahsedilmemiştir.

Bölüm 2, 3 ve 4'te, sırasıyla, sağlık sistemleri planlaması, sağlık sistemleri yönetimi ve sağlık uygulamaları ile ilgili çalışmalar

verilmiştir. Bölüm 5'te konu ile ilgili genel değerlendirme ve öneriler bulunmaktadır.

2 Sağlık sistemleri planlaması ile ilgili yöneylem araştırması çalışmaları

Sağlık sistemleri planlaması, düzgün ve yeterli sağlık hizmeti sağlanabilmesi açısından oldukça önemli bir konudur. Uzayan ortalama yaşam süreleri, azalan doğum oranları ve yaşlanan nüfusla birlikte, hükümetler sağlık ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak daha fazla bütçe ve kaynak ayırmaları yönünde daha çok baskı görmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmaların çoğunda optimizasyonun sağlanabilmesi için yöneylem araştırması çalışmaları kullanılmaktadır. Bu başlık altında ele alınan konulardan bazıları; yeterli kapasitenin sağlanabilmesi için gelecekteki taleplerin tahmin edilmesi, hedeflenen bir topluluğa yeterli seviyede hizmet verilebilmesi için hastane yer seçiminin yapılması ve hastaların etkin olarak hizmet görmesi için gerekli acil durum tesislerinin tasarlanmasıdır. İncelenen çalışmalar 'talep tahmini ve kapasite planlama', 'yer seçimi' ve 'etkinlik analizi' alt başlıklarında ele alınmıştır.

2.1 Talep tahmini ve kapasite planlama

Talep tahmininin doğru bir şekilde yapılması ve kapasitenin planlanması, elde edilen verilerin optimizasyon problemlerine girdi olarak katılacağından dolayı, oldukça önemli bir konudur. Rais ve Viana [1] tarafından yapılan literatür araştırmasında talep tahmini ve kapasite planlamasına yönelik olarak yapılmış olan bazı çalışmalar ele alınmıştır. Bu bölümde bu konularla

ilgili mevcut literatür araştırmalarında ele alınmamış, 2007-2017 yılları arasında yapılan çalışmalar açıklanmış ve Tablo 1'de toplu olarak sunulmuştur.

Ganguly ve Nandi [5] hastanelerde çeşitli birimlerde görev yapan personelin çizelgelenmesinde kullanılmak üzere istatistiksel tahminlerde buldukları çalışmada Bütünleştirilmiş Otoregresif Hareketli Ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA) ve Varyans Analizi (Analysis of Variance, ANOVA)'nden yararlanarak talebi belirleyen faktörleri belirlemiş ve hasta varış oranlarına bağlı olarak bir tahmin metodu geliştirmişlerdir. Kim ve diğ. [6], hastanelerdeki tahmin edilebilir hasta hacminin belirlenmesinde kullanılan farklı tahmin yöntemlerini incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Çalışmada, ARIMA, mevsimsel ARIMA, Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) metodlarının yanı sıra çok değişkenli zaman serisi hesaplamaları yapılmıştır.

Hastanelerde talep değişimlerine karşı uygulanacak stratejilerin belirlenmesi ve kapasite planlama çalışmaları birçok zor problem içermektedir. Jalalpour ve diğ. [7], hastanelerdeki kaynak ataması kararlarının stokastik belirsizlik altında verilmesi gereğinden yola çıkarak, sağlık sistemlerindeki talebi tahmin etmek üzere bir araç geliştirmişlerdir. Önerilen çözüm yöntemi Genelleştirilmiş Otoregresif Hareketli Ortalama (Generalized Autoregressive Moving Average, GARMA) modeli kullanılarak oluşturulmuş ve gerçek veri üzerinden test edilmiştir.

Tablo 1: Talep tahmini ve kapasite planlama çalışmaları.

Yazar ve Yayın Yılı	Problem	Çözüm Yöntemi	GHP*
Ganguly ve Nandi (2016)	Personel çizelgelemeye yönelik talep tahmini	ARIMA, ANOVA	Var
Afilal ve diğ. (2016)	Acil servis biriminde hasta akış tahmini	Zaman serileri analizi, ARMA	Var
Jalalpour ve diğ. (2015)	Stokastik belirsizlik altında, sağlık sistemlerindeki talebin tahmini	Genelleştirilmiş Otoregresif Hareketli Ortalama	Var
Kadri ve diğ. (2014)	Çocuk acil bölümünde hasta sayısı tahmini	Tek değişkenli zaman serileri, ARIMA	Var
Kim ve diğ. (2014)	Tahmin edilebilir hasta hacminin belirlenmesi	ARIMA, mevsimsel ARIMA, GARCH ve çok değişkenli zaman seri hesaplamaları	Var
Xu ve diğ. (2013)	Acil servis birimlerine gelen hasta sayıları ile doğrudan ilişkili olan değişkenlerin analizi	Yapay sinir ağları, doğrusal olmayan en küçük kare regresyonu ve çoklu doğrusal regresyon	Var
Boutsioli (2011)	Beklenmeyen talebin hastane maliyeti üzerindeki etkisinin incelenmesi	Otoregresif Hareketli Ortalama	Var
Renaud-Théry ve diğ. (2011)	2010 yılından 2012 yılına kadar antiretroviral terapi için gelen hastaların tahmini	Doğrusal izdüşürme (projeksiyon) yaklaşımı	Var
Shan (2011)	Yatan hasta sayısının kısa dönemli tahmini	Monte Carlo destekli karar destek sistemi	Var
Eitel ve diğ. (2010)	Acil servis bölümündeki kalite ve akışın geliştirilmesi	Kritik yol, süreç haritalama, yalın ve altı sigma, istatistiksel tahmin, kuyruk sistemleri, benzetim	Yok
Jones ve diğ. (2009)	Acil servislerde kaynaklara olan talep ile yatan hasta sayısı arasındaki ilişkinin belirlenmesi	Grafik ve çok değişkenli zaman serisi metodları	Yok
Champion ve diğ. (2007)	Acil servis bölümüne her ay gelecek hasta sayısının tahmini	Üssel düzeltme ve Box-Jenkins tahmin yöntemi	Var
Erikson ve diğ. (2007)	Onkoloji bölümlerinde oluşacak doktor ihtiyaçları ve hasta taleplerinin tahmini	Uygulanan anket sonuçları üzerinden istatistiksel tahmin metodları	Var

*: GHP: Gerçek hayat problemi.

Boutsoli [8], Yunanistan'daki on hastane üzerinde, 5 yıllık veri kullanılarak yapılan çalışmada, beklenmeyen talebin hastane maliyeti üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Hastane çıktısı yatan hasta kabul sayısı ile derecelendirilirken, beklenmeyen talebin belirlenmesinde Otoregresif Hareketli Ortalama (Autoregressive Moving Average, ARMA) modeli kullanmıştır. Renaud-Théry ve diğ. [9], doğrusal izdüşürme (projeksiyon) yaklaşımını kullanarak 2010 yılından 2012 yılına kadar antiretroviral terapi için gelen hastaların tahminini içeren bir çalışma yapmışlardır.

Talep tahmin çalışmaları arasında acil servislere yönelik araştırmalara sıkça rastlanmaktadır. Afılal ve diğ. [10], Fransa'da bulunan bir hastanenin acil servis birimindeki günlük giriş sayısının tahmini üzerinde durdukları çalışmada, acil servis hastalarına yönelik olarak literatürde kullanılan iki farklı sınıflandırmadan yararlanarak yeni bir sınıflandırma sistemi geliştirmiş ve zaman serileri analizi ile uzun ve kısa dönemli tahminlerde bulunmuşlardır. Kadri ve diğ. [11], Fransa'da bir hastanenin çocuk acil bölümünde yaptıkları çalışma ile bölüme gelen günlük hasta sayısının tahmini üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada, tek değişkenli zaman serileri analizi yapılmış olup, ARIMA modeli kullanılmıştır. Xu ve diğ. [12], gelen hasta sayısındaki artışın servis kalitesinde önemli etkileri olduğunu ve ciddi durumdaki hastaların riske girdiğini belirttikleri çalışmalarında; acil servis birimlerine gelen hasta sayıları ile doğrudan ilişkili olan değişkenleri belirlemiş ve bu değişkenler üzerinden analizler yapmışlardır. Çalışmada, yapay sinir ağları, doğrusal olmayan en küçük kareler regresyonu ve çoklu doğrusal regresyon kullanılmış olup, yerel bir hastaneden alınan veriler ile denemeler yapılmıştır. Shan ve diğ. [13], hastane kaynaklarının etkin olarak kullanılması için, gerçek zamanlı, yatan hasta sayılarının doğru olarak tahmin edilmesi gereğinin altını çizerek; buna yönelik olarak, acil servis birimlerinde kısa dönemli hasta tahminlerini yapabilecek bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Önerilen sistemde Monte Carlo benzetimi

kavramları kullanılmış ve New Jersey'de bulunan bir hastanede denemeler yapılmıştır. Eitel ve diğ. [14], acil servis bölümündeki kaliteyi ve akışı geliştirmek amacıyla kullanılan, talep yönetimi, kritik yol metodu, süreç haritalama, yalın ve altı sigma yönetimi, istatistiksel tahmin, kuyruk sistemleri ve kesikli olay benzetimi gibi metodları değerlendirmişlerdir. Jones ve diğ. [15] tarafından yapılan bir başka çalışmada acil servislerdeki ana kaynaklara olan talep ile yatan hasta sayısı arasındaki ilişki üzerinde durularak, çok değişkenli tahmin modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Üç farklı hastaneden alınan verilere göre değerlendirme yapılan çalışmada, grafik ve çok değişkenli zaman serisi metodları kullanılmıştır. Champion ve diğ. [16], Melbourne'de bir hastanenin acil servis bölümüne her ay gelecek hasta sayısını, istatistiksel bir tahmin metodu olan üssel düzeltme ve Box-Jenkins tahmin yöntemi ile hesaplamışlardır. Bu konudaki bir başka çalışma Erikson ve diğ. [17] tarafından yapılmıştır. Çalışmada, yaş, cinsiyet ve teşhis zamanlarından oluşan bilgiler ile bu alanda uzmanlaşmış kişilerin tecrübeleri ışığında; hastanelerin onkoloji bölümlerinde oluşacak doktor ihtiyaçları ve hasta talepleri, mevcut durum ve oluşturulan çeşitli alternatiflere göre karşılaştırılmıştır.

2.2 Yer seçimi

Sağlık sistemleri alanında yapılmış çalışmalar arasında gerek servis hizmetleri gerekse tıbbi malzemeler ile ilgili yer seçimi problemleri sıklıkla ele alınmaktadır. Rais ve Viana [1] tarafından yapılan literatür araştırmasında, yer seçimi problemine yönelik olarak yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Ahmadi-Javid ve diğ. [18] sağlık sistemlerinde yer seçimi problemlerine yönelik yaptıkları literatür araştırmasında, problemi acil ve acil olmayan tesislere yönelik olarak 2 ana başlık altında incelemişlerdir. Bu bölümde yer seçimi problemlerine yönelik olarak mevcut literatür araştırmalarında ele alınmamış çalışmalar arasından 2007 ve sonrasında yapılanlar incelenmiştir. Adı geçen çalışmalar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Yer seçimi çalışmaları.

Yazar ve Yayın Yılı	Problem	Çözüm Yöntemi	GHP
Dehe ve Bamford (2015)	Hastane alt yapısı yer seçimi	Kanıtsal mantık ve AHP	Var
Du ve Sun (2015)	Evde bakım hizmetlerinde yer seçimi	Tamsayılı doğrusal programlama	Var
Kim ve diğ. (2015)	Şehir hastanelerinin yer seçimi	GIS destekli karar destek sistemi	Var
Song ve diğ. (2015)	Hastane yer seçimi	Tamsayılı doğrusal programlama ve Lagrange gevşetmesi	Var
Vafaei ve Ostaysi (2014)	Acil durum hastanelerinin yer seçimi	Coğrafi bilgi sistemi ile desteklenmiş AHP	Var
Chatterjee ve Mukherjee (2013)	Hastane yer seçimi	Bulanık AHP	Var
Chiu ve Tsai (2013)	Hastane yer seçiminde genişleme politikasının belirlenmesi	AHP	Var
Schmid (2012)	Ambulans yer seçimi	Benzetimsel dinamik programlama	Var
Soltani ve Marandi (2011)	Hastane bölge seçimi	Coğrafi bilgi sistemi ile desteklenmiş bulanık ANP	Var
Syam ve Côté (2010)	Uzmanlaşmış hastane servislerinin yer seçimi ve ataması	Tamsayılı doğrusal programlama ve Tavlama Benzetimi	Var
Vahidnia ve diğ. (2009)	Hastane ağ yapısının oluşturulması	Coğrafi bilgi sistemi destekli bulanık AHP	Var
Paul (2009)	Diş hastanelerinin yer seçimi	Yok	Yok
Wu ve diğ. (2009)	Hastane yer seçimi	Bulanık ANP	Var
Rajagopalan ve diğ. (2008)	Talep dalgalanmalarında gereken minimum ambulans sayısı ve yerlerinin belirlenmesi	Tamsayılı doğrusal programlama ve sezgisel arama algoritması	Var
Wu ve diğ. (2007)	Hastane yer seçimi	AHP	Var

Bu başlık altındaki çalışmalarda en sık karşılaşılan konu, ulaşılabilirliği arttıracak şekilde hastane yer seçiminin sağlanması olmaktadır. Song ve diğ. [19], optimal hastane yer seçimi için bir tamsayılı doğrusal programlama modeli kurmuş ve modele Lagrange gevşetme algoritması uygulayarak, Pekin'in Huilongguan bölgesinde bir vaka çalışması yapmışlardır. Dehe ve Bamford [20], hastane altyapısının kurulacağı yerin belirlenmesi probleminde iki farklı çok kriterli karar analizi modelini; Kanıtsal Mantık (Evidential Reasoning) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytical Hierarchy Process, AHP) modellerini karşılaştırmışlardır. Du ve Sun [21], son yıllarda sağlık hizmeti alanında büyüyen bir sektör olan ve gittikçe daha fazla özel şirketin yer aldığı evde sağlık hizmetini ele almışlardır. Evde bakım hizmetlerinin sürdürülebilir gelişimi açısından etkili olan faktörlerin başında yer seçimi planlaması olduğunu belirttikleri çalışmalarında, gerçekçi kısıtlar altında en iyi yer seçiminin yapılmasına yönelik bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Modelde toplam maliyet minimizasyonu amaçlanmış ve Şanghay'da bir bölgede uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Kim ve diğ. [22], yaşlanan nüfusun daha önemli ve karmaşık sağlık ihtiyaçları olması ve bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için çeşitli kaynaklar, teknolojik değişimler, yer seçimleri gibi farklı kriterlerin daha kritik hale gelmesini de göz önünde bulundurarak, şehir hastanelerinin yer seçimine karar verilmesi süreci üzerine çalışmışlardır. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographical Information System, GIS) destekli bir karar destek sistemi geliştirilmiş ve Teksas'ta hastane yer seçimi için uygulanmıştır. Vafaei ve Ostaysi [23], volkanik patlama, kasırga, deprem, heyelan, savaş gibi felaketlerde ihtiyaç duyulacak tıbbi bakımdaki eksikliğin çok büyük bir problem olduğunun altını çizmişlerdir. Acil durumlara karşı hazırlıklı olmanın öneminden yola çıkılan çalışmada, acil durum hastanelerinin yer seçimi üzerinde durulmuş ve probleme yönelik olarak GIS ile AHP'nin birlikte kullanıldığı bir Çok Kriterli Karar Verme süreci oluşturularak İstanbul ili için uygulanmıştır. Chiu ve Tsai [24], ihtiyaçlardaki değişimlerin sonucu olarak ortaya çıkan farklı olası avantajların araştırılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Tayvan'da bulunan yerel bir eğitim hastanesi için hastane yerinde uygulanabilecek en uygun genişleme politikasının belirlenmesi amacıyla bir AHP modeli kurulmuş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Chatterjee ve Mukherjee [25], Hindistan'ın kırsal bölgelerinde hastane yer seçimi için bir bulanık AHP modeli geliştirmişlerdir. Soltani ve Marandi [26], hastane bölge seçimi yapılırken şehre ve çevreye olan tüm etkileri göz önünde bulundurarak GIS ile desteklenmiş bulanık Analitik Ağ Prosesi (Analytical Network Process, ANP) kullanmışlardır. Syam ve Côté [27], travmatik beyin yaralanmaları tedavi servisi gibi uzmanlaşmış hastane servislerinin yer seçimi ve ataması için 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak kurulmuş bir maliyet minimizasyon modeli geliştirmiş ve tavlama benzetimi kullanarak çözüm elde etmişlerdir. Vahidnia ve diğ. [28], hastane yer seçimi için hedef hasta popülasyonuna minimum zaman, kirlilik ve maliyetle hizmet sunabilecek bir hastane ağ yapısının oluşturması problemini ele almış, bulanık AHP ile GIS'i birlikte kullanarak çok kriterli karar analizi yapmışlardır. Önerilen yöntem Tahran'da yeni kurulacak bir hastanenin yer seçiminde kullanılmıştır. Paul [29], diş hastanelerinin yer seçiminin de önemli olduğunu vurgulayan bir çalışma yapmıştır. Wu ve diğ. [30], Tayvan'da kurulacak hastanelerin optimal yer seçimi için AHP tabanlı bir yöntem kullanmışlardır. Wu ve diğ. [31] daha sonra, önceki çalışmalarını geliştirerek,

hastane yer seçimi kriterlerini standardize etmek için kullandıkları yönteme ek olarak bulanık ANP kullanmışlardır.

Acil tıbbi durumlarla karşılaşıldığında verilecek hizmetlerin planlanması da literatürde sıklıkla ele alınmaktadır. Aboueljinnane ve diğ. [32], ilk yardım ve hastaların acil servis birimlerine transferi gibi acil tıbbi servislere yönelik çalışmalar üzerine yaptıkları literatür araştırmasında; performans değerlendirme, kaynak atama, personel çizelgeleme, hastane seçimi gibi problemlerin yanı sıra ambulans planlaması ile ilgili problemleri (dağıtım politikasının belirlenmesi gibi operasyonel kararlar, ambulansların bekletileceği bölgelerin ve hangi zamanlarda kullanılacağı belirlenmesi gibi stratejik kararlar ve ambulans istasyonlarının yer seçiminin yapılması gibi taktik kararlar) de detaylı olarak incelemişlerdir. Schmid [33], hasta talebi geldiğinde uygun acil servis aracının atanması ile servisin tamamlanmasının ardından bir sonraki bekleme pozisyonuna alınması şeklinde iki karar içeren ambulans problemi için benzetimsel dinamik programlama kullanarak çözüm aramışlar ve önerilen yaklaşımı Viyana şehri için uygulamışlardır. Rajagopalan ve diğ. [34], ambulans taleplerinin hafta süresince güne bağlı, hatta gün içerisinde saate bağlı olarak gösterdiği dalgalanmalardan yola çıkarak, bu dalgalı talebe cevap verebilecek şekilde dinamik yapıyı düzenleme ile sistem performansının artırılabilirliğini öne sürmüşlerdir. Çalışmada, talepte önemli değişiklikler olduğunda gerekli olan minimum ambulans sayısı ve ambulans yerlerinin belirlenmesi için çok dönemli bir tamsayılı doğrusal programlama modeli kurulmuş ve sezgisel bir arama algoritması ile çözüm sağlanarak bir acil tıbbi servis sağlayıcısından alınan veriler üzerinden deneysel analizler gerçekleştirilmiştir.

2.3 Etkinlik analizi

Sağlık sistemlerinde etkinliğin ölçümü ile yapılmış olan çalışmaların sayısı her geçen gün daha da artmaktadır. Konuyla ilgili çalışan birçok araştırmacı, gerek hastane içerisinde bulunan farklı birimlere gerekse ülke çapındaki hastanelere yönelik olarak etkinlik analizi çalışmaları yapmışlardır. Etkinlik analizi çalışmalarında en sık tercih edilen yöntem olan Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanımına yönelik olarak, Pelone ve diğ. [35] birinci basamak sağlık hizmetlerinin etkinliğinin ölçülmesinde VZA kullanımı hakkında bir literatür araştırması yapmışlardır. Bu bölümde yine mevcut literatür çalışmaları dışındaki araştırmalar ele alınmış ve Tablo 3'te verilmiştir.

Ülke çapındaki sağlık sistemleri veya hastanelere yönelik yapılan etkinlik analizi çalışmaları literatürde sıkça yer almaktadır. Mitrović ve diğ. [36] Sırbistan'da; Wang ve diğ. [37] Çin'de; Siew ve diğ. [38] Malezya'da; Shen [39] Tayvan'da; Helal ve Elimam [40] Suudi Arabistan'da; Temür [41] ve Aytakin [42] Türkiye'de hizmet veren sağlık sistemlerinin etkinliğini Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanarak değerlendirmişlerdir. Tekin [43] tarafından yapılmış olan, hastaların poliklinik sistemlerinde geçirdikleri sürelerin temel alındığı bir başka çalışmada; bir kamu hastanesi ile bir özel hastane, kuyruk teorisi performans ölçekleri ile analiz edilmiştir.

3 Sağlık sistemleri yönetimi ile ilgili yöneylem araştırması çalışmaları

Sağlık sistemleri yönetimi alanında yapılan çalışmalar arasında çizelgeleme ve lojistik konulu çalışmalar en sık çalışılan konular olarak ortaya çıkmaktadır.

3.1 Çizelgeleme

Çizelgeleme çalışmaları sağlık alanında yapılan tüm çalışmalar arasında en yoğun olarak ele alınan çalışma grubunu oluşturmaktadır. Bu konu altında en sık karşılaşılan problem tipi hemşire çizelgelemesi olmakla birlikte, ameliyathane ve doktor çizelgeleri ile performansla yönelik çizelgeleme çalışmalarına da sıkça rastlanmaktadır. Rais ve Viana [1] tarafından yapılan literatür araştırmasında çizelgeleme konusunda yapılmış olan bazı çalışmalar incelenmiştir. Fikar ve Hirsch [44] evde sağlık bakım hizmetlerinin rotalama ve çizelgelemesine yönelik olarak yapılmış çalışmalarını inceledikleri bir literatür araştırması sunmuşlardır. Ahmadi-Javid ve diğ. [45] ayakta tedavi edilen hastaların randevu sisteminin çizelgenmesine yönelik olarak 2003-2016 yılları arasında yapılmış optimizasyon çalışmalarını inceledikleri bir literatür araştırması sunmuşlardır. Mielczarek ve Mydlkowska [4] tarafından benzetim modelleri üzerine yapılan literatür çalışmasında, çizelgeleme problemine yönelik olarak yapılmış bazı çalışmalar ele alınmıştır. Bu bölümde adı geçen, mevcut literatür araştırmalarında ele alınmamış olan çalışmalar Tablo 4'te özet olarak verilmiştir.

Hemşire nöbet listelerinin oluşturulması problemi, literatürde sıklıkla ele alınan NP-zor bir problemdir. Problemden amaç, sağlık birimlerindeki ihtiyaçlara ve çalışanların tercihlerine dikkat edilerek, mevcut hemşirelere iş yükü atamasının

yapılmasıdır. Probleme yönelik tanımlamalar Birinci Uluslararası Hemşire Listeleme Yarışması (First International Nurse Rostering Competition)'nda yapılmış; yine bu organizasyonda, geliştirilecek olan yöntemlerde kullanılmak üzere test problemleri oluşturularak araştırmacılara sunulmuştur. Chen ve diğ. [46], hastanelerde karşılaşılabilecek belirsiz durumlar karşısında personel sayısının bölüm yöneticileri tarafından, farklı bölümler arası geçişlerle ayarlanabileceği bir çerçeveyi kullanarak, personel atama ve personel çizelgeleme problemlerini ele almışlardır. Probleme yönelik iki aşamalı bir çözüm yönteminin önerildiği çalışmada amaç programlama kullanılmış, çizelgeleme sırasında oluşacak sapmaların ağırlıkları AHP ile belirlenmiştir. Tassopoulos ve diğ. [47], hemşire çizelgeleme problemine yönelik olarak iki aşamalı bir Değişken Komşu Arama (Variable Neighborhood Search) algoritması kullanmışlardır. Burke ve Curtois [48], probleme, dal-fiyat algoritması ve Çıkartma Zinciri Yöntemi (Ejection Chain Method) kullanarak çözüm aramışlardır. Her iki algoritma içerisinde de dinamik programlama ve sezgisel yöntemlerden yararlanmışlardır. Wong ve diğ. [49], hastanelerin tümünü ele almak yerine, acil servis birimlerindeki hemşire çizelgeleme problemi üzerinde durdukları çalışmada, çok az bilgisayar ve doğrusal programlama bilgisine sahip kişilerin bile kolaylıkla kullanabileceği bir yöntem geliştirmişlerdir.

Tablo 3: Etkinlik analizi çalışmaları.

Yazar ve Yayın Yılı	Problem	Çözüm Yöntemi	GHP
Temür (2010)	İllere göre hastane performans ölçümü	VZA	Var
Aytekin (2011)	Performansı düşük hastaneler için performans ölçümü	VZA	Var
Tekin (2015)	Kamu hastanesi ve özel hastane karşılaştırması	Kuyruk Teorisi	Var
Mitrović ve diğ. (2016)	Ülke sağlık sistemi performans ölçümü	VZA	Var
Wang ve diğ. (2016)	Ülke hastaneleri genelinde performans ölçümü	VZA	Var
Siew ve diğ. (2016)	Ülke sağlık işletmeleri performans ölçümü	VZA	Var
Shen (2017)	Ülke sağlık sistemi performans ölçümü	VZA	Var
Helal ve Elimam (2017)	Ülke sağlık servisleri performans ölçümü	VZA	Var

Tablo 4: Çizelgeleme çalışmaları.

Yazar ve Yayın Yılı	Problem	Çözüm Yöntemi	GHP
Chen ve diğ. (2016)	Belirsizlik altında personel atama ve çizelgeleme	Amaç programlama, AHP	Var
Tassopoulos ve diğ. (2015)	Hemşire çizelgeleme	Değişken komşu arama	Yok
Çekiç (2015)	Ameliyathane çizelgeleme	Karma tamsayılı doğrusal programlama	Var
Bruni ve Detti (2014)	Doktor çizelgeleme	Karma tamsayılı doğrusal programlama	Var
Burke ve Curtois (2014)	Hemşire çizelgeleme	Dal-fiyat algoritması, çıkartma zinciri yöntemi	Yok
Wong ve diğ. (2014)	Acil servis biriminde hemşire çizelgeleme	Sezgisel yöntem, yerel arama algoritması	Var
Hadwan ve diğ. (2013)	Hemşire çizelgeleme	Harmoni arama algoritması	Var
Burke ve diğ. (2012)	Hemşire çizelgeleme	Sezgisel yöntem, doğrusal programlama, Tavlama Benzetimi	Var
He ve Qu (2012)	Hemşire çizelgeleme	Tamsayılı doğrusal programlama ve sütun oluşturma	Yok
Jerić ve Figueira (2012)	Tedavi planı çizelgeleme	0-1 tamsayılı doğrusal programlama, değişken komşu arama, dağınık arama, genetik algoritma	Yok
Lü ve Hao (2012)	Hemşire çizelgeleme	Tam sayılı programlama, yerel arama algoritması, sezgisel yöntem	Yok
Valouxis ve diğ. (2012)	Hemşire çizelgeleme	Tamsayılı doğrusal programlama	Yok
Fei ve diğ. (2010)	Haftalık ameliyat çizelgesinin oluşturulması	0-1 tamsayılı doğrusal programlama, sütun oluşturma ve Genetik Algoritma	Var
Wang ve diğ. (2009)	Hemşire çizelgeleme performansı	Tamsayılı doğrusal programlama	Var
Coelli ve diğ. (2007)	Mamografi kliniklerinde performans değerlendirme	Kesikli olay benzetimi	Var

Hadwan ve diğ. [50], problemin çözümünde Harmoni Arama Algoritmasının kullanımını incelemiş, yöntemin parametre ayarlamaları ve hemşire çizelgeleme problemine uygulanması üzerinde araştırma yapmışlardır. Oluşturulan çözüm yöntemi bir gerçek hayat problemi ile birlikte literatürde kullanılan test problemleri üzerinde denenmiştir. Valouxis ve diğ. [51], problemin çözümünde kalite ile birlikte çözüm süresinin de önemli olması nedeniyle, problem örneklerini alt-problemlere ayırmış ve bu alt-problemleri tam sayılı doğrusal programlama ile ardışık olarak çözmüşlerdir. Önerilen algoritma içerisinde hemşire çizelgelerinde kısmi değişikliklerin yapılmasına izin verecek yerel arama teknikleri de kullanılmıştır. Lü ve Hao [52], hemşire çizelgelemede, Uyarlanabilir Komşu Arama (Adaptive Neighborhood Search) yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmada, literatürdeki mevcut test problemleri üzerinden denemeler yapılmıştır. Burke ve diğ. [53], hemşire çizelgeleme problemini çok amaçlı olarak ele aldıkları çalışmalarında; ilk aşamada kesin olarak sağlanması gereken kısıtları dikkate alarak oluşturdukları çözümlere, sonraki aşamalarda esnek kısıtları da entegre ederek iyi çözümler elde etmeye çalışmışlardır. He ve Qu [54], problemdeki karmaşık mantıksal kısıtların tümünün formüle edilmesini sağlamak üzere, tamsayılı doğrusal programlama ve sütun oluşturma yaklaşımını kullanmışlardır. Wang ve diğ. [55], hemşire çizelgeleme performansını arttıran değerlendirmelerin geçmiş verileri kullanarak nasıl yapıldığını anlattıkları çalışmalarında, tamsayılı doğrusal programlama tabanlı bir çözüm yaklaşımı sunmuş ve bu yaklaşımın hemşireler 2 gruba ayrılarak çizelgeleme bu 2 grup için yapıldığında sunduğu yararları da açıklamışlardır.

Hemşire çizelgelemesine benzer olmakla birlikte bazı noktalarda farklılıklar gösteren doktor çizelgeleme problemleri de literatürde sıkça yer almaktadır. Doktor çizelgelemede genel olarak kabul gören ortak kısıtların belirlenmesi - sözleşmeler yapılırken dikkate alınan uzmanlık alanı, uzmanlık seviyesi gibi farklılıklardan dolayı- hemşire çizelgelemede olduğu kadar kolay olamadığından, problem yapısı daha karmaşık olmaktadır. Bruni ve Detti [56] tarafından yapılan çalışmada, probleme yönelik olarak bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli kurulmuş ve önerilen model İtalya'da bir hastaneden alınan veriler kullanılarak test edilmiştir.

Mevcut doktor/hemşire atamaları ile birlikte hastanelerdeki tıbbi kısıtlar da dikkate alınarak oluşturulan hastaların tedavi planları da çizelgeleme problemleri kapsamında ele alınmaktadır. Bu probleme yönelik olarak çalışan Jerić ve Figueira [57], bir 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli oluşturmuş ve VNS tabanlı bir metot, dağınık arama (Scatter Search) tabanlı metotlar ve Genetik Algoritma tabanlı bir metotla çözüm aramışlardır.

Ameliyathaneler, hastanelerdeki en yüksek maliyetle birlikte en yüksek getiriye sahip olan birimler olduğundan hastane performansı üzerindeki etkisi oldukça yüksek olmaktadır. Ameliyathane çizelgelemesine yönelik çalışmalarda, birbiriyle çelişen öncelikler ve tercihler ile yüksek maliyetli kaynakların kıtlığı en önemli noktalar olarak görülmektedir. Cardoen ve diğ. [58], ameliyathane çizelgeleme ve planlama ile ilgili geçmiş yıl araştırmalarından oluşmuş bir literatür araştırması yapmışlardır. Çalışmada mevcut literatür, probleme ilişkin performans ölçütleri veya hasta sınıfları gibi özelliklerin yanı sıra, çözüm tekniği veya elde edilen verinin belirsizliği gibi teknik

özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Çekiç [59] ameliyathanelerin cerrahi servislere atanması üzerine yaptığı çalışmada, karma tamsayılı programlama kullanarak hazırlık maliyetlerini minimize edecek bir çizelgeleme modeli geliştirmiştir. Fei ve diğ. [60], ameliyathane kullanımını maksimize etmek, ameliyathane fazla mesai maliyeti ile ameliyathane arası beklemedik boş zamanı minimize etmek amacıyla haftalık ameliyathane çizelgesinin oluşturulması üzerinde durmuşlardır. Ele alınan problemde ilk aşamada yapılacak olan cerrahi işleme gün verilmesinin ardından, ikinci aşamada günlük çizelge oluşturularak işlemlerin sırası belirlenmektedir. Planlama problemi, 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak kurulmuş ve sütun oluşturma tabanlı bir sezgisel yaklaşım ile çözülmüş; günlük çizelge problemi için ise Genetik Algoritma tabanlı bir çözüm yöntemi oluşturulmuştur. Yöntem Belçika'da bulunan bir üniversite hastanesinde denenmiştir. Hastanelerdeki performansı izlemeye ve arttırmaya yönelik çizelgeleme çalışmalarına örnek olarak, Coelli ve diğ. [61], mamografi kliniklerinde performansı değerlendirmek amacıyla kesikli olay benzetimi ile iki ayrı klinik için oluşturulan iki ayrı modeli kullanarak hasta akışının analizini yapmışlardır.

3.2 Lojistik

Sağlık alanındaki lojistik konulu çalışmalarda sıkça, ilaç tedarik zincirlerinin yönetilmesi, ilaçların depolanması, acil servisler veya diğer birimler arasındaki lojistik problemleri gibi problemler ele alınmaktadır. Rais ve Viana [1] tarafından sağlık sistemlerine yönelik olarak yapılan literatür araştırmasında lojistik problemi başlığı altında yapılmış olan bazı çalışmalar incelenmiştir. Lojistik problemlerine yönelik bir literatür araştırmasında, Volland ve diğ. [62], 1998-2014 yılları arasında, hastanelerdeki malzeme lojistik yönetimi hakkında yapılan çalışmaları toparlamış, uygulanabilir ve olası çalışma konuları incelemişlerdir. Beliën ve Forcé [63], kan ürünlerine yönelik stok ve tedarik zinciri yönetimi çalışmalarını ele aldıkları bir literatür araştırması yapmışlardır. Bu bölümde, daha önce yapılmış literatür araştırmalarında yer almayan çalışmalar sunulmuş, söz konusu çalışmalar Tablo 5'te verilmiştir.

Sağlık sistemlerinde lojistik konulu araştırmalara bakıldığında ilaçlara yönelik çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır. İlaç tedarik servisleri ve stok kontrol politikaları etkin şekilde oluşturulması, sağlık sistemleri için oldukça büyük önem taşımaktadır. İlaç yokluğu veya ilaçların uygun olmayan kullanımının, maliyet yükü getirmenin yanı sıra hastalar üzerinde de çok yüksek etkileri olabilmektedir. Sousa ve diğ. [64], bir ilaç şirketinin üretimden dağıtım, dünya çapındaki tedarik zinciri ağının planlanmasına yönelik, dinamik yapılı bir atama/planlama problemini ele almışlardır. Şirket kârını arttırmaya yönelik oluşturulan karma tamsayılı doğrusal programlama modelinde farklı yerlerde karşılaşılan farklı üretim ve dağıtım maliyetleri ile farklı vergi oranları da dikkate alınmıştır. Geliştirilen matematiksel modelin büyük boyutlu problemlerde yetersiz kalmasından dolayı, probleme yönelik olarak iki farklı ayrıştırma algoritması önerilmiş ve kullanılmıştır. Pedroso ve Nakano [65], ilaç şirketleri ile hastaneler arasındaki tedarik zinciri içerisinde oluşan teknik bilgi akışına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Hastalar ilaç şirketlerinin nihai müşterisi olarak görülseler de aslında doktorlar tarafından yazılan reçetelere göre ilaç alımı yapmaktadırlar.

Tablo 5: Lojistik çalışmaları.

Yazar ve yayın yılı	Problem	Çözüm yöntemi	GHP
Rais ve diğ. (2017)	Hastane içi lojistik yönetimi	Tamsayılı programlama, sezgisel teknikler	Var
Longaray ve diğ. (2017)	Hastane içi lojistik süreçlerinin performans analizi	Çok kriterli karar analizi	Var
Zahiri ve Pishvae (2017)	Kan tedarik zinciri ağı tasarımı	Karma tamsayılı doğrusal programlama	Var
Ştefko ve diğ. (2012)	Sağlık kurumlarındaki lojistik ve tedarik zinciri uygulamalarının incelenmesi	Regresyon analizi	Var
Sousa ve diğ. (2011)	Bir ilaç şirketinin dünya çapındaki tedarik zinciri ağının planlanması	Karma tamsayılı doğrusal programlama ve ayrıştırma algoritması	Var
Randa ve diğ. [2011]	Kan ürünleri tedarik zinciri yönetimi	Doğrusal programlama	Var
Pedroso ve Nakano (2009)	İlaç şirketleri ile hastaneler arasındaki teknik bilgi akışının incelenmesi	Yok	Yok
Villa ve diğ. (2009)	Hasta akış sürecinin yeniden tasarlanması	Sistem analizi	Var

Bu durum, ilaç şirketlerinin dikkate alması gereken iki farklı zincirin oluşmasına neden olmaktadır; bu zincirlerin ilki malzeme ve talep bilgilerinin oluşturduğu ana yol, diğeri ise talebi oluşturacak teknik bilginin doktorlara ulaştırıldığı ikincil yoldur. Yapılan çalışmada, farklı ilaç şirketlerinden alınan veriler ışığında, tedarik zinciri içerisindeki bilgi kanallarının yönetimi, oluşturulması ve genel yapısı hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Hastanelere yönelik tedarik zinciri çalışmalarına bakıldığında, Rais ve diğ. [66], hastaneler için önemli maliyetlere sebep olan çeşitli lojistik konularını ele aldıkları çalışmalarında, özelden Portekiz'de bulunan bir hastaneyi incelemiştir. Çalışmada, söz konusu hastanede kullanılan hastane-içi kurye servisinin lojistik yönetimi üzerinde durulmuş, optimizasyon tabanlı çeşitli teknikler ile etkinlik ve verimliliğin nasıl arttırılacağı üzerinde denemeler yapılmıştır. Longaray ve diğ. [67] Brezilya'da bulunan bir eğitim hastanesinin hastane içi lojistik sürecindeki ana faaliyetlerin performansını değerlendirdikleri bir çalışmada, çok kriterli karar analizi ile öncelik verilmesi gereken başlıca hususları belirleyebilen bir karar destek sistemi oluşturmuşlardır. Ştefko ve diğ. [68], Doğu Slovakya'da bulunan sağlık kurumlarındaki lojistik ve tedarik zinciri uygulamalarını inceledikleri çalışmalarında, anketlerle elde ettikleri veri üzerinde regresyon analizi yapmışlardır. Çalışmada ayrıca, e-Sağlık hizmetleri de dikkate alınmıştır. Villa ve diğ. [69] hastanelerin hasta-merkezli hale gelmesi için hasta akışlarının müdahale edilmesi gerektiğini belirtmiş ve üç İtalyan hastanesinde yeniden tasarım projeleri uygulayarak analizlerini yapmışlardır. Söz konusu yeniden yapılanmalar süresince, bu üç hastanede, servislerin organizasyonunda, fiziksel yerleşimlerde, kapasite planlama sistemlerinde ve hasta akış yönetimindeki görevlerde değişiklikler yapılmış; hasta akış lojistikleri yeniden düzenlenmiştir.

Zahiri ve Pishvae [70], kan grubu uyumluluğunu göz önüne alarak kan tedarikine yönelik bir tedarik zinciri ağının tasarımını ele aldıkları çalışmalarında; toplam maliyet ile birlikte, karşılanamayan talebin minimize edilmesinin amaçlandığı bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Randa ve diğ. [71] Türkiye'de yaptıkları çalışmada kan ürünlerinin tedarik sürecini ele almışlardır. Orta Anadolu Bölgesi'nde talep karşılama sürelerini azaltıp kan bileşenleri taleplerinin karşılanma oranının artırılması amacıyla çeşitli noktalarda dağıtım merkezlerinin açılması, uygulanacak envanter politikasının belirlenmesi için bir

matematiksel model önermiş ve önerilen sistemin benzetimini yaparak elde edilen sonuçları yorumlamışlardır.

4 Sağlık uygulamaları ile ilgili yöneylem araştırması çalışmaları

Bu çalışmada, sağlık uygulamaları alanında yapılan çalışmalar hastalıkların önlenmesi, organ bağıışı ve nakli, tanı ve tedavi olmak üzere 3 başlık altında incelenmiştir.

4.1 Hastalıkların önlenmesi

Bu başlık altındaki çalışmalar genellikle hastalıklara karşı bağışıklık kazanmak ve hastalıkların önlenmesinde kullanılan aşılardan ilgili iyileştirme çalışmaları üzerinde durmaktadır. Rais ve Viana [1] tarafından yapılan literatür araştırmasında söz konusu problemlere yönelik olarak yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bu bölümde son 10 yılda yapılmış ve mevcut literatür araştırmalarında ele alınmamış çalışmalar incelenmiş, adı geçen çalışmalar Tablo 6'da özet olarak verilmiştir.

Silva ve diğ. [72], grip aşısına yönelik politikaların belirlenmesinde etkili olan faktörlerin tanımlanması üzerinde durulan çalışmaları inceledikleri araştırmalarında, 2009 yılındaki grip salgınından sonra yapılan çalışmalarda matematiksel modellemenin üzerinde daha çok durulduğunu belirlemişlerdir. Yarmand ve diğ. [73], bazı coğrafi bölgelerde ortaya çıkan bulaşıcı bir hastalığın kontrol altına alınmasına yönelik olarak iki aşamalı bir aşılama tedavisi planı geliştirmişlerdir. Tedavinin birinci aşamasında tüm bölgelere belirli sayıda aşı gönderimi yapılmakta, ikinci aşamada ise hastalığın kontrol altına alınmadığı bölgelere aşı takviyesi sağlanmaktadır. Farklı aşı seviyelerindeki hareketlerin gözlenebilmesi adına bir benzetim modeli kurulmuş, ele alınan aşı atama problemine yönelik olarak iki aşamalı, stokastik yapıda bir doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Çalışmada ayrıca bir Gazete Satıcısı Problemi (Newsvendor Problem) modeli sunulmuş ve bu modelin sonuçları, çözümün ilk aşamasına yönelik veri olarak kullanılmıştır. Mamani ve diğ. [74], bir ülkede uygulanan aşı politikasının, çeşitli etkileşimler sonucu, başka ülkelerdeki salgın boyutlarını etkileyebilecek olmasından yola çıktıkları çalışmalarında; sınır ötesi etkileşimlerden kaynaklanan, grip aşısı atamalarındaki etkin olmayan uygulamalara yönelik bir çözüm önerisi sunmuşlardır.

Tablo 6: Hastalıkların önlenmesi çalışmaları.

Yazar ve yayın yılı	Problem	Çözüm yöntemi	GHP
Yarmand ve diğ. (2014)	Aşı atama problemi	Stokastik doğrusal programlama, benzetim ve Gazete Satıcısı modeli	Var
Mamani ve diğ. (2013)	Sınır ötesi etkileşimlerin dikkate alındığı grip aşısı atama problemi	Oyun teorisi, Sözleşme oluşturma	Yok
Tang (2013)	Grip mikrobunun mutasyon sonucunun değerlendirilmesi	Yapay sinir ağları, regresyon ve karma tamsayılı programlama	Yok
Araz ve diğ. (2013)	Grip salgını durumunda okulların geçici olarak kapatılması karar	Benzetim	Var
Teytelman ve Larson (2012)	Farklı kişisel özelliklerin varlığında grip hastalığının gelişiminin incelenmesi	Kesikli zamanlı model	Yok
Araz ve diğ. (2009)	Grip salgını durumunda okulların geçici olarak kapatılması kararı	Benzetim	Var
Larson (2007)	Grip salgınlarında, popülasyondaki heterojen yapının hastalığın ilerlemesindeki etkisinin incelenmesi ve ilgili literatür araştırması	Kesikli zamanlı model	Yok

Oluşturulan yöntemde, oyun teorisi yaklaşımı kullanılarak, hastalığın kaynak ülkesine diğer ülkeler tarafından maddi yardım yapılmasını öneren sözleşme mekanizmaları önerilmiştir. Bu uygulama ile bütün ülkelerdeki enfeksiyon kaynaklı finansal yüklerde azalma ve mevsimsel grip salgınlarında iyileşme olduğu görülmüştür. Tang [75], grip mikrobunun sürekli mutasyon geçirerek kendisini yenileyebilmesinden dolayı aşısının da sürekli güncellenmesi gerektiğinin belirttiği tez çalışmasında, bu güncelleme işlemlerinin çok zaman alıcı olduğunu ve makine öğrenme metotları ile gerçekleştirilebileceğini vurgulamışlardır. Araştırmada, yapay sinir ağları, regresyon ve karma tamsayılı programlama modeli kullanılarak antijen değişiminin tahmin edilmesine çalışılmıştır. Araz ve diğ. [76], grip salgını ile karşılaşıldığında okulların geçici olarak kapatılmasını ele aldıkları çalışmalarında, bu kararın olası olumlu ve olumsuz etkilerini değerlendirmek üzere bir benzetim modeli kurmuşlardır. Teytelman ve Larson [77], grip salgınlarının yayılmasında kişilerin üç özelliğinin önem taşıdığını vurgulamışlardır. Bu özellikler, sosyal aktivite, enfeksiyona yatkınlık ve virüsü yaymaya yatkınlık olarak tanımlanmış; bunların sonucu olarak heterojen yapıda popülasyonların var olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, bu özelliklerin varlığında hastalığın gelişiminin incelenmesine yönelik kesikli zamanlı bir model oluşturulmuştur. Araz ve diğ. [78] grip salgınına yönelik bir benzetim modeli geliştirdikleri çalışmada, salgın durumunda okulların kapatılmasını incelemiş ve söz konusu karar verilirken ortaya çıkan ne zaman, ne kadar süre için ve ne zamana kadar kapatılmalı gibi sorulara yanıt aramışlardır. Larson [79], grip salgınlarında, popülasyondaki heterojen yapıların hastalığın ilerlemesi üzerindeki etkilerini araştırmaya yönelik olarak ilgili literatürü incelemiş ve böyle bir popülasyondaki sosyal ilişkileri tanımlayacak bir model sunarak yorumlamışlardır.

4.2 Organ bağıışı ve nakli

Sağlık uygulamaları alanında çalışmaların yapıldığı bir başka konu organ bağıışı ve nakli için süreç iyileştirmeleri kapsamında olmaktadır. Rais ve Viana [1] tarafından yapılan literatür araştırmasında organ bağıışı ve organ nakli problemlerine yönelik olarak yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bu

bölümde konuyla ilgili güncel çalışmalar ele alınmış olup, mevcut literatür araştırmalarında ele alınmamış çalışmalar Tablo 7'de özet olarak verilmiştir.

Kim ve diğ. [80], organ ataması ile ilgili politikaların etkinliğinin, bekleme listesi istatistiklerinin ve nakil sonrası çıktılarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan atama benzetimi modelinin (simulated allocation model) iyileştirilmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, çeşitli makina öğrenme yöntemleri kullanılarak organ naklindeki kabul/red kararlarına yönelik testler yapılmıştır. Davis ve diğ. [81], böbrek nakillerinde hastaların coğrafi kısıtlarından kaynaklanan eşitlikçi olmayan atamaların önüne geçilmesi amacıyla, çok dönemli bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada önerilen model, 2000-2009 yılları arasındaki gerçek nakil verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bertsimas ve diğ. [82], böbrek nakli için bekleme listesindeki hastalar arasında adil ve etkin bir seçim yapılmasını amaçladıkları çalışmada; bekleme zamanı, tıbbi aciliyet vb. kriterleri dikkate alan ve bu kriterlerin hangilerinin ön plana çıkarılacağına karar vericinin elinde olduğu bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Akan ve diğ. [83], karaciğer nakli için bekleyen hastalarda ölüm oranını azaltmak ve kaliteli yaşam süresini uzatmak amacıyla bir doğrusal programlama modeli kurmuş ve modelin benzetimini yaparak gerçek uygulamalar ile karşılaştırmalar elde etmişlerdir. Kong ve diğ. [84], farklı bölgelerdeki hasta/donör çiftleri arası karaciğer nakillerinde atama etkinliğinin artırılması amacıyla, söz konusu bölge tanımlarının yeniden yapılmasına yönelik bir çalışma sunmuşlardır. Problem, bir küme bölme problemi olarak ele alınmış ve karma tamsayılı programlama ile yerel aramadan yararlanılan dal-fiyat algoritması kullanılarak çözüm aranmıştır. Alagoz ve diğ. [85], son aşama karaciğer hastalığına sahip kişilerin organ nakli kararının verilmesini ele aldıkları çalışmada, kadaverik nakil üzerinde durarak önerilen organın kabul edilme/edilmeme kararına yönelik bir Markov karar prosesi modeli sunmuşlardır. Alagoz ve diğ. [86], yine son aşama karaciğer hastalığında canlı donör ile kadaverik donör arasında yapılacak seçimi incelemişlerdir. Probleme, Markov karar prosesi modeli kullanılarak gerçek veriler ile çözüm aranmıştır.

Tablo 7: Organ bağıışı ve nakli çalışmaları.

Yazar ve Yayın Yılı	Problem	Çözüm Yöntemi	GHP
Kim ve diğ. (2015)	Atama benzetimi modelinin iyileştirilmesi	Makina öğrenme yöntemleri	Var
Davis ve diğ. (2014)	Böbrek nakillerinde coğrafi kısıtlar kaynaklı, eşitlikçi olmayan atamaların önlenmesi	Karma tamsayı doğrusal programlama	Yok
Bertsimas ve diğ. (2013)	Böbrek nakli bekleme listesindeki hastalara uygun atamanın yapılması	Doğrusal programlama	Var
Akan ve diğ. (2012)	Karaciğer naklinde ölüm oranının azaltılması ve kaliteli yaşam süresinin uzatılması için uygun atama yapılması	Doğrusal programlama	Var
Kong ve diğ. (2010)	Farklı bölgelerdeki hasta/donör çiftleri arası karaciğer naklinde etkinliğin artırılması	Karma tamsayı doğrusal programlama, yerel arama algoritması	Yok
Alagoz ve diğ. (2007)	Kadaverik karaciğer naklinde organın kabul edilme/edilmeme kararı	Markov karar prosesi	Var
Alagoz ve diğ. (2007)	Karaciğer naklinde canlı donör ile kadaverik donör arasındaki seçim kararı	Markov karar prosesi	Var

4.3 Tanı ve tedavi

Bu bölümde AIDS, kanser, böbrek yetmezliğı gibi hastalıkların tanı ve tedavisine yer verilmiştir. Literatürde son yıllarda hastalıkların tanı ve tedavi süreçlerinde kullanılan radyoterapi, kemoterapi, diyaliz gibi tedavi yöntemlerindeki iyileştirme çalışmaları sıklıkla yapılmakta olup konuyla ilgili literatür araştırmaları da bulunmaktadır. Rais ve Viana [1] tarafından yapılan literatür araştırmasında tanı ve tedavi problemlerine yönelik olarak yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Mielczarek ve Mydlikowska [4] tarafından yapılmış olan literatür çalışmasında da konuyla ilgili olarak yapılmış olan çalışmalar ele alınmıştır. Vieira ve diğ. [87] radyoterapi tedavisi ile ilgili kararlarda yöneylem araştırması tekniklerinin kullanımına yönelik olarak 200-2015 yılları arasında yapılmış olan çalışmaları inceledikleri bir literatür araştırması sunmuşlardır. Hastalık tanısı ile ilgili olarak matematiksel programlama tabanlı optimizasyon yöntemlerinin kullanımı, Lee ve Wu [88] tarafından detaylı olarak incelenmiştir. Liberatore ve Nydick [89] tıptaki önemli problemlerde ve sağlık kararlarının verilmesinde AHP uygulamalarının literatürünü sunmuşlardır. Araştırmada; tanı, hasta katılımı, tedavi, organ nakli, proje, teknoloji değerlendirme ve seçimi başlıkları altında incelemeler yapılmıştır. Hong ve diğ. [90] ayakta tedavi kliniklerinde karşılaşılan problemlerin çözümünde benzetim tekniğı kullanımına yönelik bir literatür araştırması yapmış, 2013 yılına kadar 50 yıllık süreçte yayınlanan çalışmaları ele almışlardır. Bu bölümde tanı ve tedavi problemlerine yönelik olarak mevcut literatür araştırmalarında ele alınmamış çalışmalar arasından 2007 ve sonrasında yapılanlar incelenmiş, adı geçen çalışmalar Tablo 8'de verilmiştir.

Tanı ve tedavi konu başlığı altında birbirinden çok farklı tanımlar ve özellikler içeren birçok problem ile karşılaşılmaktadır. Sağlık alanında yapılan tanı ve tedaviye yönelik çalışmalar arasında en çok rastlanılan konu kanser hastalığı ve kanser hastalığının tedavi süreçleri olarak görülmektedir. Bu nedenle öncelikle kemoterapi ve radyoterapi kararlarını içeren çalışmalar, daha sonra ise diğere hastalıklara yönelik tanı ve tedavi çalışmaları sunulmuştur.

Kanser tedavisinde uygulanan yöntemin etkinliğı ilaca karşı vücudun gösterdiği dirence bağılı olarak değışebilmektedir. Kemoterapi, radyoterapi veya ikisinin birleşiminden oluşan kemoradyoterapi gibi tedaviler ile hastalıklı hücreler yok

edilmeye çalışılsa da sağlıklı hücrelerin de etkilenmesi sonucu doğabilmektedir. Bortfeld ve diğ.[91], radyasyon tedavisinin son aşamalarına doğru tümörlü hücrelerin yeniden üremesiyle birlikte oluşan artışın bazı tümör bölgelerinde tedavide başarısızlığına sebep olması üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada, uzun bir zaman dilimi içerisinde uygulanan tedavi planının ve günlük uygulanması gereken doz miktarının belirlenmesi için doğrusal-karesel model ve çeşitli modeller ile birlikte dinamik programlama kullanılarak çözüm ve öneriler geliştirilmiştir. Salari ve diğ. [92], kemoradyoterapide sağlıklı dokularda oluşabilecek komplikasyonları da dikkate alarak, tedavinin iyileştirici kazanımlarını maksimize edecek ilaç ve radyasyon uygulamalarının çizelgelemesini veren matematiksel bir bakış açısı geliştirmişlerdir. Çalışmada, radyasyon tedavisinin tek başına uygulanmasının yanı sıra kemoradyoterapiyle birlikte tanımlanan bazı tedavi mekanizmalarının kullanımına yönelik olarak, optimal tedavi planını belirlemek üzere doğrusal olmayan programlama modeli ve dinamik programlama kullanmışlardır. Shi ve diğ. [93], kanserli hücre sayısını minimize ederken toplam toksik madde maruziyetini de kabul edilebilir seviyelerde tutacak optimal tedavi planının belirlenmesi probleminde yola çıkarak, optimal kemoterapi tedavisi tasarımına yönelik literatürün incelendiğı bir çalışma yapmışlardır. Werker ve diğ. [94], kesikli olay benzetimi kullanarak radyoterapi planlama sürecini tanımlamışlar ve sistemin karmaşık yanlarını göstererek nelerde iyileştirmeler yapılabileceğini açıklamışlardır. Esen ve Çetin [95], kanser tedavisinde yöneylem araştırması tekniklerinin kullanımı üzerine bir literatür araştırması yapmışlardır. Lim ve diğ. [96], kanser tedavisinde kullanılan üç boyutlu konformal radyoterapide en uygun doz ve açının belirlenmesine yönelik bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturmuş ve problem çözümüne yönelik çözüm önerileri sunmuşlardır. Kurt [97], şeker hastalığındaki komplikasyonları inceleyerek olası iki probleme yönelik çözüm aramıştır. Bu problemlerin ilki böbrek değışimi yapılması için nakil operasyonunun zamanının belirlenmesi, ikincisi ise lipit düşürücü bir ilaç grubu olan statin tedavisine başlanacak zamanın belirlenmesidir. Birinci probleme yönelik olarak stokastik bir oyun modeli geliştirilmiş, karma tamsayı doğrusal programlama ile çözüm aranmıştır. İkinci problem Markov karar prosesi kullanılarak formüle edilmiştir. Geng ve diğ. [98], felçli hastalarda hayati öneme sahip olan Manyetik Rezonans (MR) görüntüleme için bir rezervasyon süreci geliştirmişlerdir.

Tablo 8: Tanı ve tedavi çalışmaları.

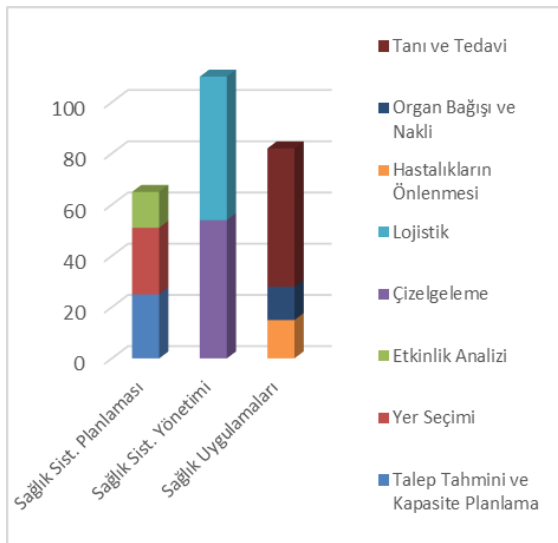
Yazar ve yayın yılı	Problem	Çözüm yöntemi	GHP
Bortfeld ve diğ. (2015)	Radyasyon tedavisi planının ve günlük gereken doz miktarının belirlenmesi	Dinamik programlama	Yok
Salari ve diğ. (2015)	Kemoradyoterapide farklı tedavi mekanizmalarının kullanımıyla birlikte optimal tedavi planının belirlenmesi	Doğrusal olmayan programlama ve dinamik programlama	Yok
Kurt (2012)	Şeker hastalığında böbrek nakli zamanının ve statin tedavisine başlanacak zamanın belirlenmesi	Karma tamsayı doğrusal programlama, Markov karar prosesi	Var
Geng ve diğ. (2011)	Felçli hastalarda MR görüntüleme için rezervasyon süreci geliştirilmesi	Markov karar prosesi, doğrusal programlama, Monte Carlo yaklaşımı, yerel arama algoritması	Var
Werker ve diğ. (2009)	Radyoterapi sürecinin planlanması	Kesikli olay benzetimi	Var
Lim ve diğ. (2007)	Üç boyutlu konformal radyoterapide en uygun doz ve açının belirlenmesi	Karma tam sayılı doğrusal programlama	Yok

Çalışmada, Markov karar prosesi ve doğrusal programlama ile optimal kontrol politikaları belirlenmiş, felçli hastalara ayrılacak zamanların belirlenmesine yönelik ayarlamalar için ise Monte Carlo yaklaşımı ve yerel arama algoritması kullanılmıştır. Zhang ve diğ. [99], matematiksel programlama, dinamik programlama, benzetim gibi çeşitli yöneylem araştırması teknikleri kullanılarak hastalıkların önlenmesi, teşhisi ve tedavi si ile ilgili çeşitli örnekleri içeren bir araştırma yapmışlardır.

5 Değerlendirme ve sınıflandırma

Bölüm 2, 3 ve 4'te son 10 yılda sağlık alanında yapılmış olan çalışmalar 3 ana başlık ve 7 alt başlık altında sunulmuştur.

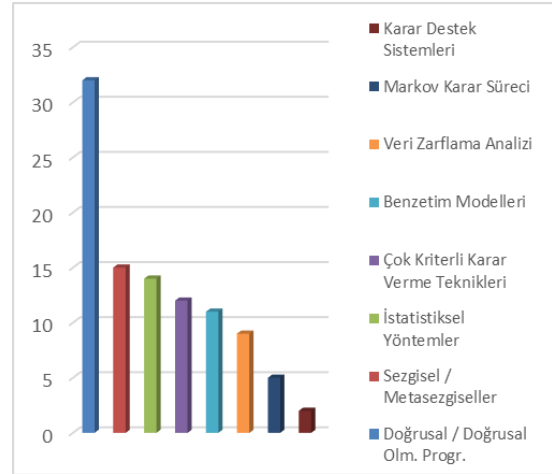
Şekil 1'de, ele alınan çalışmaların başlıklara göre dağılımları verilmektedir. "Sağlık Sistemleri Planlaması" başlığı altında ele alınan çalışmaların başlıklara göre dağılımına bakıldığında, talep tahmini ve kapasite planlama ile yer seçimi alt başlıklarında yaklaşık olarak eşit sayıda çalışma olduğu görülmektedir. "Sağlık Sistemleri Yönetimi" başlığı altında çizelgeleme ve lojistik alt başlıklarında birbirine yakın sayıda çalışmaya ulaşılmıştır. "Sağlık Uygulamaları" başlığında ise yapılan çalışmaların büyük kısmının tanı ve tedavi alanında olduğu, nispeten daha az çalışmanın ise organ bağışi ve nakli ile hastalıkların önlenmesi konularında yapıldığı görülmektedir.



Şekil 1: Sağlık sistemleri çalışmalarının sayısal dağılımı.

Yapılan çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemlerine bakıldığında matematiksel programlama, sezgisel yaklaşımlar, istatistiksel teknikler, çok kriterli karar verme teknikleri gibi çok çeşitli teknikleri kullanıldığı görülmüştür. Kullanılan yöntemlere dayalı karşılaştırma yapıldığında istatistiksel teknikler ve çok kriterli karar verme tekniklerinin özellikle planlama problemlerinde; sezgisel yaklaşımların yönetim alanındaki problemlerde; matematiksel programlamanın ise hemen her alanda tercih edildiğinin söylenmesi mümkündür.

Şekil 2'de, incelenen çalışmaların çözüm yöntemlerine göre dağılımları verilmektedir.



Şekil 2: Sağlık sistemleri çalışmalarında kullanılan çözüm yöntemlerinin oransal dağılımı.

6 Sonuç ve Öneriler

Yaşam kalitesinin düşmesi, yaşam sürelerinin uzaması gibi durumlar karşısında sürekli artan sağlık harcamaları dünyamızın temel problemlerinden biri haline gelmekte ve bu durum, toplumların sağlık harcamaları konusunda daha fazla inceleme yapmasını gerekli kılmaktadır. Yöneylem araştırması ise çok yönlü kullanım olanağı sayesinde karşılaşılan problemlerin çözümü için kullanılması ideal bir yaklaşımdır.

Literatürde sağlık alanında yapılan yöneylem araştırması çalışmalarını ele alan pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, son on yılda bu alana yönelik farklı başlıklar altında yapılmış olan çalışmalar, konu başlıkları, uygulanan çözüm yöntemleri, gerçek hayat problemleri üzerindeki uygulamaları gibi özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Ele alınan problemler; talep tahmini ve kapasite planlama ile yer seçimi

alt başlıkları altında planlama problemleri; çizelgeleme ve lojistik alt başlıkları ile yönetim problemleri; hastalıkların önlenmesi, organ bağışi ve nakli ile tanı ve tedavi alt başlıkları altında uygulama problemleri olarak sınıflandırılarak açıklanmıştır.

İncelenen çalışmalarda ele alınan konulara bakıldığında, yönetim alanında daha fazla çalışma bulunduğu, sırasıyla, sağlık uygulamaları ve sağlık sistemleri alanındaki çalışmalara nispeten daha az yer verildiği görülmektedir. Özellikle uygulama alanında daha az çalışma yapılabilmesinin, gerçek veriye ulaşma zorluğundan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Kullanılan çözüm yöntemlerine bakıldığında ise; planlama problemlerinde istatistiksel teknikler, çok kriterli karar verme teknikleri ve matematiksel programlama; yönetim alanındaki problemlerde matematiksel programlama ve sezgisel yaklaşımlar; uygulamaya yönelik problemlerde ise yine matematiksel programlama modelleri gibi Yöneylem Araştırması tekniklerinin sıkça kullanıldığı görülmüştür.

Son yıllarda oldukça gündemde olan bir konuda son 10 yılda yapılan çalışmaları ele alan bu çalışmada, incelenen ve varsa gözden kaçan tüm çalışmaların, asıl olarak, yeni optimizasyon yöntemlerinin keşfedilmesine ve çok sayıda yeni yaklaşımların geliştirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Bu nedenlerle, sağlık çalışanları ile Yöneylem Araştırmacılarının birlikte çalışması önerilmektedir.

7 Kaynaklar

- [1] Rais A, Viana A. "Operations research in healthcare: a survey". *International Transactions in Operational Research*, 18(1), 1-31, 2011.
- [2] Kulkarni VG. "Stochastic Models in Health Care". <http://www.unc.edu/~vkulkarn/HealthCare.pdf> (01.10.2012).
- [3] Brailsford S, Vissers, J. "OR in healthcare: a european perspective". *European Journal of Operational Research*, 212(2), 223-234, 2011.
- [4] Mielczarek B, Uziako-Mydlikowska J. "Application of computer simulation modeling in the health care sector: a survey". *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 88(2), 197-216, 2010.
- [5] Ganguly A, Nandi S. "Using statistical forecasting to optimize staff scheduling in healthcare organizations". *Journal of Health Management*, 18(1), 172-181, 2016.
- [6] Kim K, Lee C, O'Leary K, Rosenauer S, Mehrotra S. "Predicting Patient Volumes in Hospital Medicine: A Comparative Study of Different Time Series Forecasting Methods". Northwestern University, Illinois, USA, Scientific Report, 2014.
- [7] Jalalpour M, Gel Y, Levin S. "Forecasting demand for health services: development of a publicly available toolbox". *Operations Research for Health Care*, 5, 1-9, 2015.
- [8] Boutsoli Z. "Hospital costs and unexpected demand: The case of greece". *The Open Economics Journal*, 4, 49-58, 2011.
- [9] Renaud-Théry F, Avila-Figueroa C, Stover J, Thierry S, Vitoria M, Habiymbere V, Souteyrand Y. "Utilization patterns and projected demand of antiretroviral drugs in low- and middle-income countries". *AIDS Research and Treatment*, 1-8, 2011.
- [10] Afilal M, Yalaoui F, Dugardin F, Amodeo L, Laplanche D, Blua P. "Forecasting the emergency department patients flows". *Journal of Medical Systems*, 40, 1-18, 2016.
- [11] Kadri F, Harrou F, Chaabane S, Tahon C. "Time series modelling and forecasting of emergency department overcrowding". *Journal of Medical Systems*, 38(9), 1-20, 2014.
- [12] Xu M, Wong TC, Chin KS. "Modeling daily patient arrivals at emergency department and quantifying the relative importance of contributing variables using artificial neural network". *Decision Support Systems*, 54, 1488-1498, 2013.
- [13] Shan S, Yoon SW, Khasawneh MT, Gandhi T. "A decision support system for estimating short-term hospital inpatient demands". *8th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, Tianjin, China, 1-4 June 2011.
- [14] Eitel DR, Rudkin S, Malvey MA, Killeen JP, Pines J. "Improving service quality by understanding emergency department flow: a white paper and position statement prepared for the american academy of emergency medicine". *The Journal of Emergency Medicine*, 38(1), 70-79, 2010.
- [15] Jones S, Evans RS, Allen T, Thomas A, Haug P, Welch S, Snow G. "A multivariate time series approach to modeling and forecasting demand in the emergency department". *Journal of Biomedical Informatics*, 42, 123-139, 2009.
- [16] Champion R, Kinsman L, Lee G, Masman K, May E, Mills T, Taylor M, Thomas P, Williams R. "Forecasting emergency department presentations". *Exploring Nosokinetics*, 31(1), 83-90, 2007.
- [17] Erikson C, Salsberg E, Forte G, Bruinooge S, Goldstein M. "future supply and demand for oncologists: challenges to assuring access to oncology services". *Journal of Oncology Practice*, 3(2), 79-86, 2007.
- [18] Ahmadi-Javid A, Seyedi P, Syam SS. "A survey of healthcare facility location". *Computers and Operations Research*, 79, 223-263, 2017.
- [19] Song L, Liu C, Li B. "Optimal selection of location for community hospitals: a case of huilongguan region in beijing". *International Conference on Information and Automation*, Lijiang, China, 08-10 August 2015.
- [20] Dehe B, Bamford D. "Development, test and comparison of two multiple criteria decision analysis (MCDA) models: A case of healthcare infrastructure location". *Expert Systems with Applications*, 42, 6717-6727, 2015.
- [21] Du G, Sun C. "Location planning problem of service centers for sustainable home healthcare: Evidence from the Empirical Analysis of Shanghai". *Sustainability*, 7(12), 15812-15832, 2015.
- [22] Kim JI, Senaratna DM, Ruza J, Kam C, Sandy N. "Feasibility study on an evidence-based decision-support system for hospital site selection for an aging population". *Sustainability*, 7, 2730-2744, 2015.
- [23] Vafaei N, Oztaysi B. "Selecting the field hospital place for disasters: A case study in Istanbul". *Joint International Conference of the INFORMS GDN Section and the EURO Working Group on DSS*, Toulouse, France, 04-07 June 2014.
- [24] Chiu JE, Tsai HH. "Applying analytic hierarchy process to select optimal expansion of hospital location: The case of a regional teaching hospital in yunlin". *International Conference on Service Systems and Service Management*, Hong Kong, China, 12-14 July 2013.

- [25] Chatterjee D, Mukherjee B. "Potential hospital location selection using fuzzy-AHP: An empirical study in rural India". *International Journal of Innovative Technology and Research*, 1(4), 304-314, 2013.
- [26] Soltani A, Marandi EZ. "Hospital site selection using two-stage fuzzy multi-criteria decision making process". *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 5(1), 32-43, 2011.
- [27] Syam SS, Côté MJ. "A location-allocation model for service providers with application to not-for-profit health care organizations". *Omega*, 38, 157-166, 2010.
- [28] Vahidnia MH, Alesheikh AA, Alimohammadi A. "Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives". *Journal of Environmental Management*, 90(10), 3048-3056, 2009.
- [29] Paul DP. "Dental practice location: Some aspects of the importance of selection of place". *Health Marketing Quarterly*, 14(4), 55-69, 2009.
- [30] Wu CR, Lin CT, Chen HC. "Optimal selection of location for taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis". *Building and Environment*, 42, 1431-1444, 2007.
- [31] Wu CR, Lin CT, Chen HC. "Integrated environmental assessment of the location selection with fuzzy analytical network process". *Quality and Quantity*, 43, 351-380, 2009.
- [32] Aboueljineane L, Sahin E, Jemai Z. "A review on simulation models applied to emergency medical service operations". *Computers and Industrial Engineering*, 66, 734-750, 2013.
- [33] Schmid V. "Solving the dynamic ambulance relocation and dispatching problem using approximate dynamic programming". *European Journal of Operational Research*, 219, 611-621, 2012.
- [34] Rajagopalan HK, Saydam C, Xiao J. "A multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances". *Computers and Operations Research*, 35(3), 814-826, 2008.
- [35] Pelone F, Kringos DS, Romaniello A, Archibugi M, Salsiri C, Ricciardi W. "Primary care efficiency measurement using data envelopment analysis: a systematic review". *Journal of Medical Systems*, 39, 156, 2015.
- [36] Mitrović Z, Vujošević M, Savić G. "Data envelopment analysis for evaluating serbia's health care system". *Management*, 75, 39-46, 2015.
- [37] Wang C, Wang X, Su Q, Du J. "How can hospitals perform more efficiently? A case study in China based on data envelopment analysis". *12th International Conference on Service Systems and Service Management*, Guangzhou, China, 1-4 June 2015.
- [38] Siew LW, Fai LK, Hoe LW. "Evaluation on the efficiency of healthcare companies in malaysia with data envelopment analysis model". *SCIREA Journal of Mathematics*, 1(1), 95-106, 2016.
- [39] Shen SL. "Efficiency of the healthcare system in Taiwan: an illustration with multidimensional scaling and data envelopment analysis". *International Journal of Organizational Innovation* (Online), 9(3), 48A, 2017.
- [40] Helal SMA, Elimam HA. "Measuring the efficiency of health services areas in Kingdom of Saudi Arabia using data envelopment analysis (DEA): A comparative study between the Years 2014 and 2006". *International Journal of Economics and Finance*, 9(4), 172-184, 2017.
- [41] Temür Y. "İllerin gelişmişlik derecelerine göre hastanelerin etkinlik analizi". *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 29(2), 1-22, 2010.
- [42] Aytekin S. "Yatak işgal oranı düşük olan sağlık bakanlığı hastanelerinin performans ölçümü: bir veri zarflama analizi uygulaması". *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(30), 113-138, 2011.
- [43] Tekin B. "Sağlık hizmeti sistemlerinin etkinliği: bir kamu hastanesi ve özel hastane karşılaştırması". *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 483-506, 2015.
- [44] Fikar C, Hirsch P. "Home health care routing and scheduling: a review". *Computers and Operations Research*, 77, 86-95, 2017.
- [45] Ahmadi-Javid A, Jalali Z, Klassen KJ. "Outpatient appointment systems in healthcare: a review of optimization studies". *European Journal of Operational Research*, 258(1), 3-34, 2017.
- [46] Chen PS, Lin YJ, Peng NC. "A two-stage method to determine the allocation and scheduling of medical staff in uncertain environments". *Computers and Industrial Engineering*, 99, 174-188, 2016.
- [47] Tassopoulos IX, Solos IP, Beligiannis GN. "A two-phase adaptive variable neighborhood approach for nurse rostering". *Computers and Operations Research*, 60, 150-169, 2015.
- [48] Burke EK, Curtois T. "New approaches to nurse rostering benchmark instances". *European Journal of Operational Research*, 237(1), 71-81, 2014.
- [49] Wong TC, Xu M, Chin KS. "A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: a case study in an emergency department". *Computers and Operations Research*, 51, 99-110, 2014.
- [50] Hadwan M, Ayob M, Sabar NR, Qu R. "A harmony search algorithm for nurse rostering problems". *Information Sciences*, 233, 126-140, 2013.
- [51] Valouxis C, Gogos C, Goulas G, Alefragis P, Housos E. "A systematic two phase approach for the nurse rostering problem". *European Journal of Operational Research*, 219, 2, 425-433, 2012.
- [52] Lü Z, Hao JK. "Adaptive neighborhood search for nurse rostering". *European Journal of Operational Research*, 218(3), 865-876, 2012.
- [53] Burke EK, Li J, Qu R. "A pareto-based search methodology for multi-objective nurse scheduling". *Annals of Operations Research*, 196(1), 91-109, 2012.
- [54] He F, Qu R. "A constraint programming based column generation approach to nurse rostering problems". *Computers and Operations Research*, 39, 3331-3343, 2012.
- [55] Wang W, Gupta D, Potthoff S. "On evaluating the impact of flexibility enhancing strategies on the performance of nurse schedules". *Health Policy*, 93, 188-200, 2009.
- [56] Bruni R, Detti P. "A Flexible discrete optimization approach to the physician scheduling problem". *Operations Research for Health Care*, 3, 191-199, 2014.
- [57] Jerić SV, Figueira JR. "Multi-Objective scheduling and a resource allocation problem in hospitals". *Journal of Scheduling*, 15(5), 513-535, 2012.
- [58] Cardoen B, Demeulemeester E, Beliën J. "Operating room planning and scheduling: a literature review". *European Journal of Operational Research*, 201(3), 921-932, 2010.
- [59] Çekiç B. "Ameliyathanelerin çizelgenmesi, bir karışık tamsayili programlama yaklaşımı". *Verimlilik Dergisi*, 2, 7-28, 2015.

- [60] Fei H, Meskens N, Chu C. "A Planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy". *Computers and Industrial Engineering*, 58(2), 221-230, 2010.
- [61] Coelli F, Ferreira R, Almeida RM, Pereira WC. "Computer simulation and discrete-event models in the analysis of a mammography clinic patient flow". *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 87(3), 201-207, 2007.
- [62] Volland J, Fügener A, Schoenfelder J, Brunner JO. "Material logistics in hospitals: a literature review". *Omega*, 69, 82-101, 2017.
- [63] Beliën J, Forcé H. "Supply chain management of blood products: A literature review". *European Journal of Operational Research*, 217(1), 1-16, 2012.
- [64] Sousa RT, Liu S, Papageorgiou LG, Shah N. "Global supply chain planning for pharmaceuticals". *Chemical Engineering Research and Design*, 89(11), 2396-2409, 2011.
- [65] Pedroso MC, Nakano D. "Knowledge and information flows in supply chains: a study on pharmaceutical companies". *International Journal of Production Economics*, 122(1), 376-384, 2009.
- [66] Rais A, Alvelos F, Figueiredo J, Nobre A. "Optimization of logistics services in hospitals". *International Transactions in Operational Research*, 25(1), 111-132, 2017.
- [67] Longaray A, Ensslin L, Ensslin S, Alves G, Dutra A, Munhoz P. "Using MCDA to evaluate the performance of the logistics process in public hospitals: the case of a Brazilian teaching hospital". *International Transactions in Operational Research*, 25(1), 133-136, 2017.
- [68] Štefko R, Nemeč J, Kubák M. "The analysis of logistics in selected healthcare facilities and the e-health perspectives in the slovak republic". *The International Journal of Transport and Logistics*, 24, 1-8, 2012.
- [69] Villa S, Barbieri M, Lega F. "Restructuring patient flow logistics around patient care needs: Implications and practicalities from three critical cases". *Health Care Management Science*, 12(2), 155-165, 2009.
- [70] Zahiri B, Pishvae MS. "Blood supply chain network design considering blood group compatibility". *International Journal of Production Research*, 55(7), 2013-2033, 2017.
- [71] Randa AC, Cömert A, Adigüzel B, Balıkçioğlu C, Örnekol C, Bayindir P, Bakal İS. "Türk Kızılayı Orta Anadolu Bölgesi kan ürünleri tedarik zinciri yönetimi projesi". *Journal of Industrial Engineering (Turkish Chamber of Mechanical Engineers)*, 22(3), 22-70, 2011.
- [72] Silva ML, Perrier L, Cohen JM, Paget WJ, Mosnier A, Späth HM. "A literature review to identify factors that determine policies for influenza vaccination". *Health Policy*, 119(6), 697-708, 2015.
- [73] Yarmand H, Ivy JS, Denton B, Lloyd AL. "Optimal two-phase vaccine allocation to geographically different regions under uncertainty". *European Journal of Operational Research*, 233(1), 208-219, 2014.
- [74] Mamani H, Chick SE, Simchi-Levi D. "A game-theoretic model of international influenza vaccination coordination". *Management Science*, 59(7), 1650-1670, 2013.
- [75] Tang L. Machine Learning Methods for Annual Influenza Vaccine Update. MSc Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada, 2013.
- [76] Araz OM, Lant T, Fowler JW, Jehn M. "Simulation modeling for pandemic decision making: A case study with bi-criteria analysis on school closures". *Decision Support Systems*, 55(2), 564-575, 2013.
- [77] Teytelman A, Larson RC. "Modeling influenza progression within a continuous-attribute heterogeneous population". *European Journal of Operational Research*, 220(1), 238-250, 2012.
- [78] Araz OM, Fowler JW, Lant TW, Jehn M. "A pandemic influenza simulation model for preparedness planning". *Winter Simulation Conference*, Austin, Texas, 05-07 December 2009.
- [79] Larson RC. "Simple models of influenza progression within a heterogeneous population". *Operations Research*, 55(3), 399-412, 2007.
- [80] Kim SP, Gupta D, Israni AK, Kasiske BL. "Accept/Decline decision module for the liver simulated allocation model". *Health Care Management Science*, 18(1), 35-57, 2015.
- [81] Davis AE, Mehrotra S, Friedewald JJ, Daskin MS, Skaro AI, Abecassis MM, Ladner DP. "Improving geographic equity in kidney transplantation using alternative kidney sharing and optimization modeling". *Medical Decision Making*, 35(6)797-807, 2015.
- [82] Bertsimas D, Farias VF, Trichakis N. "Fairness, efficiency, and flexibility in organ allocation for kidney transplantation". *Operations Research*, 61(1), 73-87, 2013.
- [83] Akan M, Alagoz O, Ata B, Erenay FS, Said A. "A broader view of designing the liver allocation system" *Operations Research*, 60(4), 757-770, 2012.
- [84] Kong N, Schaefer AJ, Hunsaker B, Roberts MS. "Maximizing the efficiency of the US liver allocation system through region design". *Management Science*, 56(12), 2111-2122, 2010.
- [85] Alagoz O, Maillart LM, Schaefer AJ, Roberts MS. "Determining the acceptance of cadaveric livers using an implicit model of the waiting list". *Operations Research*, 55(1), 24-36, 2007.
- [86] Alagoz O, Maillart LM, Schaefer AJ, Roberts MS. "Choosing among living-donor and cadaveric livers". *Management Science*, 53(11), 1702-1715, 2007.
- [87] Vieira B, Hans EW, van Vliet-Vroegindewij C, van de Kamer J, van Harten W. "Operations research for resource planning and -use in radiotherapy: A literature review". *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 16(1), 149, 2016.
- [88] Lee EK, Wu TL. *Encyclopedia of Optimization*, Editors: Floudas CA, Pardalos PM. Disease Diagnosis: Optimization-Based Methods, 753-784, Springer, Berlin, 2008.
- [89] Liberatore MJ, Nydick RL. "The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: a literature review". *European Journal of Operational Research*, 189(1), 194-207, 2008.
- [90] Hong TS, Shang PP, Arumugam M, Yusuff RM. "Use of simulation to solve outpatient clinic problems: a review of the literature". *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(3), 27-42, 2013.
- [91] Bortfeld T, Ramakrishnan J, Tsitsiklis JN, Unkelbach J. "Optimization of radiation therapy fractionation schedules in the presence of tumor repopulation". *INFORMS Journal on Computing*, 27(4), 788-803, 2015.

- [92] Salari E, Unkelbach G, Bortfeld T. "A mathematical programming approach to the fractionation problem in chemoradiotherapy". *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 5(2), 55-73, 2015.
- [93] Shi J, Alagoz O, Erenay FS, Su Q. "A survey of optimization models on cancer chemotherapy treatment planning". *Annals of Operations Research*, 221(1), 331-356, 2014.
- [94] Werker G, Sauré A, French J, Shechter S. "The use of discrete-event simulation modelling to improve radiation therapy planning processes". *Radiotherapy and Oncology*, 92(1), 76-82, 2009.
- [95] Esen S, Çetin E. "Operation research techniques in cancer therapy". *Yönetim*, 18(58), 23-27, 2007.
- [96] Lim GJ, Ferris MC, Wright SJ, Shepard DM, Earl MA. "An optimization framework for conformal radiation treatment planning". *INFORMS Journal on Computing*, 19(3), 366-380, 2007.
- [97] Kurt M. Dynamic Decision Models for Managing the Major Complications of Diabetes. Phd Thesis, University of Pittsburgh, Pittsburgh, USA, 2012.
- [98] Geng N, Xie X, Augusto V, Jiang Z. "A monte carlo optimization and dynamic programming approach for managing MRI examinations of stroke patients". *IEEE Transactions on Automatic Control*, 56(11), 2515-2529, 2011.
- [99] Zhang J, Mason JE, Denton BT, Pierskalla WP. *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. Editors: Gass SI, Fu MC. Applications of Operations Research to the Prevention, Detection and Treatment of Disease, 437-447, New York, USA, Springer, 2013.