

Bu makaleye atıfta bulunmak için/To cite this article:

KESKİN, M.E. KILIÇ DELİCE, E. AKKAYA, G. (2020). Birden Fazla Bölüm İçin Adil Hemşire Çizelgeleme. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 24 (4), 1705-1720.

Çoklu Bölüm İçin Adil Hemşire Çizelgeleme

Muhammed Emre KESKİN^(*)

Elif KILIÇ DELİCE^(**)


Gökay AKKAYA^(***)

Öz: Hemşire çizelgeleme tüm dünyada hastane personelini etkileyen oldukça karmaşık bir sorundur. Bu problem, hem hastanenin ihtiyaç duyduğu personel sayısını hem de hemşirelerin iş yüklerini azaltmak için belirli kısıtlar altında vardiyalardaki görevlere hemşirelerin aylık olarak nasıl dağıtılacağı sorusu ile ilgilenir. Hastanelerde uygulanmakta olan yedi gün yirmi dört saatlik sürekli çalışma modeli sebebiyle hemşireler fiziksel ve zihinsel iş yükü açısından zor koşullar altında çalışmaktadır. Bununla birlikte, sağlık çalışanlarının konsantrasyonlarının ve performanslarının kaliteli sağlık hizmeti vermeleri için hayati önemi bulunmaktadır. Dikkat dağılması, yorgunluk, zaman baskısı ve stres gibi faktörlerin etkisi ile sağlık personeli tarafından yapılan hatalar telafisi mümkün olmayan sonuçlara sebep olabilmektedir. Bu bağlamda, hemşire nöbet çizelgelemede dikkate alınması gereken hususların en önemlisi yeterli sayıda hemşirenin hazır bulundurulması ve her bir hemşireye eşit miktarda gündüz, gece ve hafta sonu nöbeti yazılmasıdır. Bu nedenle çalışma kapsamında Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama modeli geliştirilmiştir. Literatürde toplam nöbet saatinin eşitlenmesine yönelik çizelgeleme yapılırken bu çalışmada literatürden farklı olarak hemşirelerin hafta içi gündüz-gece ve hafta sonu gündüz-gece nöbet saatleri ayrı ayrı eşitlenmiştir. Böylece hemşirelerin çalışma saatlerine bağlı olarak oluşan iş yükleri daha doğru bir şekilde dengelenerek daha adil bir nöbet çizelgesi oluşturulmuştur. Uygulama çalışması Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde acil ve yoğun bakım servislerinde yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.


Anahtar Kelimeler: Hemşire çizelgeleme, karma tamsayılı doğrusal programlama, iş yükü, ergonomi


Fair Nurse Scheduling for Multiple Departments

Abstract: Nurse scheduling is a highly complex problem affecting hospital staff around the world. This problem deals with the question of how to allocate nurses monthly to tasks in shifts under certain constraints, taking into account the number of staff required by the hospital to reduce the nurses' workload. Nurses work under difficult conditions in terms of physical and mental workload due to the 24-hour, seven-day continuous working model applied in hospitals. However, the concentration and performance of healthcare professionals are vital to their provision of quality healthcare. Mistakes made by healthcare personnel due to factors such as distraction, fatigue, time pressure and stress can cause irreparable consequences. In this context, the most important issues to be taken into account

^{*}) Doç.Dr., Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü (e-posta: emre.keskin@atauni.edu.tr)  ORCID ID. <https://orcid.org/0000-0001-9381-123X>

^{**}) Doç.Dr., Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü (e-posta: elif.kdelice@atauni.edu.tr)  ORCID ID. <https://orcid.org/0000-0002-3051-0496>

^{***}) Doç.Dr., Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü (e-posta: gakkaya@atauni.edu.tr)  ORCID ID. <https://orcid.org/0000-0001-5161-7228>

Bu makale araştırma ve yayın etiğine uygun hazırlanmıştır  iThenticate[®] intihal incelemesinden geçirilmiştir.

in scheduling nurse shifts are keeping a sufficient number of nurses available and writing an equal amount of day, night and weekend shifts for each nurse. Therefore, the scope of work of the Mixed Integer Linear Programming model was developed. While scheduling to equalize the total shift hours in the literature, in this study, different from the literature, the nurses' day-night shift hours on weekdays and day-night shift hours on weekends were equalized separately. Thus, a fairer shift schedule was created by balancing the workloads of nurses based on working hours more accurately. The application study was carried out in the Erzurum Regional Training and Research Hospital, in the emergency and intensive care units and the results were discussed.

Keywords: Nurse scheduling, Mixed integer linear program, nurse workload, ergonomoy

Makale Geliş Tarihi: 01.12.2019

Makale Kabul Tarihi: 10.08.2020

I. Giriş

Hastanelerin temel amacı, hastalara kaliteli sağlık hizmetini zamanında ve mümkün olan en düşük maliyetle sunmaktır. Bununla birlikte; hastanelerde vardiya sistemi ile çalışılmaktadır. Bu sistemin en önemli sorunları arasında çalışma saatlerinin devamlı değişmesi ve bu nedenle sağlık personeli arasında iş yükü dengesizliklerinin oluşmasıdır. Bu durum sağlık personeli özellikle hemşireleri olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle her vardiyada kaliteli sağlık hizmetinin verilmesi ve iş yükü dengesizliğinin önlenmesi için çalışması gereken en az sayıda hemşirenin görevlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca hemşirelerin performanslarının artırılması ve daha istekli çalışmaları için nöbet çizelgelerin oluşturulması sırasında ergonomik prensiplerin ve hemşirelerin isteklerinin göz önünde bulundurulması son derece önemlidir. Bununla birlikte, vardiya çizelgelerinin hazırlanması genellikle bu işten sorumlu baş hemşireler tarafından yapılmakta ve çok zaman almaktadır. Elle yapılan çizelgelerde hemşirelere dinlenme günlerinin atanması bazen gözden kaçırılabilen ya da dinlenme günleri atanabilen derken olurlu bir çizelge bulmak çok zor hale gelebilmektedir. Bu nedenle hem bu iş için harcanan zamanın ciddi oranda azaltılması, hem de çizelgelerin kolay bir şekilde hazırlanması her hastane için acil bir ihtiyaçtır. Bu nedenlerden dolayı hastanelerde hızlı ve adil hemşire çizelgeleri üretecek bir yöntemin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Literatüre bakıldığında hemşire çizelgeleme probleminin genellikle matematiksel modelleme yöntemleri ile çözüldüğü görülmektedir. Hemşire nöbet çizelgelemede dikkate alınması gereken konulardan en önemlisi gerekli sayıda hemşirenin hazır bulundurulması mecburiyettir. Ayrıca her bir hemşireye eşit miktarda gündüz, gece ve hafta sonu nöbeti yazılması ve dinlenme saatlerinin eşitlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, hemşire çizelgeleme problemini çözmek için yeni bir Karma Tamsayı Doğru Programlama (KTDP) gösterimi geliştirilmiştir. Bu gösterim ile hemşireler için adil bir nöbet çizelgesinin oluşturulmasına imkân sağlanmış ve hemşirelerin iş yükleri dengelenmiştir. Birden fazla hastane departmanı için uygulanabilen bu model ile hemşire çizelgeleme için harcanan vakit ciddi derecede azaltılmıştır. Geliştirilen KTDP modeli Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nin acil ve yoğun bakım servislerinde uygulanarak hemşire nöbet çizelgelerinin daha kolay ve hızlı tespiti sağlanmıştır.

Makalenin içeriği şu şekilde tanzim edilmiştir: İkinci bölümde kaynak özetleri yer alırken, bölüm 3'te önerilen matematiksel model yer almaktadır. Bölüm 4 'te modelin bir uygulaması neticesinde elde edilen çizelgelere yer verilmekte iken, 5. bölümde makale sonuçlandırılarak gelecekteki muhtemel çalışmaların ne olabileceğine dair fikir paylaşılmaktadır.

II. Kaynak Özetleri

Hemşire Çizelgeleme problemi literatürde çok geniş kapsamlı olarak çalışılmış bir problemdir. Burada hemşire çizelgeleme problem için bir matematiksel programlama modeli geliştiren çalışmalara değinilmiştir.

Literatüre bakıldığında matematiksel programlama kullanılarak yapılan hemşire çizelgeleme çalışmalarının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Özellikle tam sayılı, doğrusal programlama ve hedef programlama yöntemlerine rastlanılmaktadır. Wolfe ve Young, 1965 tarafından hemşire çizelgelemesinde matematiksel programlama ile yapılan çalışmada hemşirelerin görevlere atanma maliyetleri en aza indirilmeye çalışılmıştır. Daha sonra yapılan çalışmalarda ise günümüzde de yaygın olarak kullanılan tur modeli ile ilgili ilk çalışmalar yapılmıştır (Howell, J. P.,1966; Morrish, A. R.ve O'Connor, A. R., 1970; Maier-Rothe, C. ve Wolfe, H. B., 1973; Baker, K.,1974).

1970'li yıllardaki çalışmalarda hemşire istekleri daha çok dikkate alınmaya başlanmıştır. Warner 1976, iki aşamalı bir algoritma geliştirerek ilk kısmında hafta sonu tatilleri, rotasyon ön planda tutulurken, ikinci kısmında hastane ve hemşire istekleri göz önüne alınmıştır. Miller, Pierskalla ve Rath 1976, 4 haftalık çizelgeleme boyunca hemşirelerin istekleri ile hastane idaresinin istekleri arasındaki farkı minimize etmeye çalışmışlardır. Burns 1978, hem tatil hem çalışma kısıtlarının bulunduğu ilk modeli kurmuştur. Meglino 1979, hemşire memnuniyeti yanı sıra hastane yönetiminin tatminine önem vermiştir. Hemşirelerin hastane bütçesine olan yükünü hafifletmek için bir sistem geliştirerek her hemşireden maksimum düzeyde verim elde etmeye çalışmıştır. Baker ve ekibi 1980, hafta içi sabit hafta sonu ise değişken sayıda hemşirenin görev alması esasına dayanan bir model oluşturmuşlar ve hafta sonu izinlerini bu belirsizliğe göre düzenlemeye çalışmışlardır. Trivedis 1981, karma tam sayılı hedef programlama modeli ile bir hastanede verilecek hemşirelik hizmet kalitesini belirli bir düzeyde tutmayı amaçlamıştır. Bailey 1985, 8 saatlik bir vardiyayı göz önüne alarak mola sürelerini kapsam dışı bırakmıştır. Burns ve Carter 1985, hem hafta içi hem de hafta sonu hemşire sayısında talebin değişken olduğu bir model oluşturmuşlardır. Ayrıca, ardışık çalışma günleri konusunu da dikkate alarak ergonomik açıdan bir hafta boyunca bir hemşirenin ardışık olarak en fazla 6 gün çalışabileceğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, birçok kısıt göz ardı edildiğinden gerçek hayatta uygulanılabilecek esneklik ortaya konulmamıştır. Baker 1985, yaptığı çalışmada günün saatleri veya haftanın günleri için ayrı ayrı hemşire çizelgesi hazırlamış ama bu çizelgeleri birleştirmemiştir.

Özkarahan ve Bailey 1988, daha esnek bir model kurarak hem hastane hem de hemşire isteklerini yerine getirmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada haftanın günleri ile günün saatleri arasında bir esneklik getirilmiş ve birçok hastanede uygulanmaya

çalışılmıştır. Sowalter ve Mabert 1988, hemşire çizelgelemesinde esnekliğe farklı bir bakış açısı getirerek vardiya uzunluğu ve vardiya başlama zamanlarını esneterek hemşire maliyetini minimize etmeye çalışmışlardır. Ancak vardiya sürelerinin farklı olması hemşirelerin dinlenme zamanlarında problemler yaşamalarına sebep olmuştur. Özkarahan 1989, yaptığı çalışmada hastane bütçelerinin en büyük kısmını hemşirelere yapılan ödemeler olduğunu ifade etmiş ve maliyeti minimize etmeye çalışmıştır. İhtiyaç altında çalıştırılan hemşirelerin bakım kalitesinin istenen düzeyde olmamasına ve hasta memnuniyetsizliğine yol açacağından bunun yaratacağı kayıpları ve çalışanların maliyetini minimize eden bir model geliştirmişlerdir.

Hemşire çizelgeleme problemlerinde yapılan çalışmalarda zaman geçtikçe vardiyalara veya görevlere hemşire atama için maliyet minimizasyonundan farklı yaklaşımlar kullanılmaya başlanmıştır. Caron ve ekibi 1997, hemşire çizelgeleme konusunda kıdem yaklaşımını getirmişlerdir. Buna göre kıdemsiz birinin atanabilmesinin ancak daha yüksek kıdemli atama yapılmamışsa mümkün olduğu şekilde bir çizelgeleme yapılmıştır. Huarng 1999, çalışmasında, esnek, adil, eşit görev dağılımı, hemşire tercihleri ve ergonomi kriterleri dikkate alarak vardiya atamalarını doğrusal tam sayılı hedef programlama ile çözmüştür.

Hastanelerde yeterli ve güvenli hasta bakımının sunulması için hemşire-hasta oranlarını belli bir seviyede olması gerekmektedir. Hasta talepleri yüksek değişkenliğe sahip olduğu için, hemşire-hasta oranı, yüksek hasta talep dönemlerinde geçici veya fazla mesai ile sağlamaya çalışılmaktadır. Fazla mesai olarak çalışan hemşireler hem yüksek maliyete ve genellikle daha verimsiz çalışmaya neden olmaktadır. Bu nedenle yapılan bazı çalışmalarda bu konu dikkate alınarak hemşire çizelgelemesi gerçekleştirilmiştir. Dowland ve Thompson 2000, sezgisel ve iki klasik tam sayılı programlama modellerini birleştirerek İngiltere'deki büyük bir hastanede hemşire çizelgeleme problemini çözmüşlerdir. Hemşire çizelgeleme problemini birbirinden bağımsız 3 bölüme ayırarak: birinci aşamada genel ihtiyacı karşılayacak hemşire sayısının tespiti, ikinci aşamada: hemşireleri doğru sayıda gece ve gündüz vardiyasına atanması ve sonra günün erken saatlerinde ve geç saatlerinde vardiyalara eşit şekilde atamanın yapılması sağlanmıştır.

Belien, J., ve Demeulemeester 2002, hemşirelere olan talebin ameliyathane oda sayısına bağımlı olarak değiştiğini dikkate almıştır. 3 vardiya şeklinde çizelgeleme yapılmış, tam sayılı programlama ve karışık tam sayılı programlama kullanılmıştır. Güngör 2002, hemşire görevlendirme ve çizelgeleme problemini ele alan tam sayılı bir doğrusal model önermiştir. Model iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada hemşirelik hizmetlerinin yerine getirilebilmesi için gerekli hemşire sayısı, ikinci aşamada ise birinci aşamada belirlenen hemşireler için çalışma çizelgesi oluşturulmuştur. Green ve ekibi 2013, tarafından yapılan bir çalışmada ise, değişken hasta sayısı ve iş gelmeyen hemşirenin yol açtığı belirsiz servis kapasitesi nedeniyle sürekli devamsızlığın olduğu tek peryot hemşire çizelgeleme problemi, gazeteci çocuk modeli ile bir kent hastanesinin acil servis verileri kullanarak analiz edilmiştir. Davis ve ekibi 2014, gazeteci çocuk modeli ile belirsiz hasta talebi altında sabit hemşire personel seviyesi belirlemeye çalışılmıştır. Bu yeni çizelgeleme şekli ile kalıcı hemşirelerin vardiyalarda

çalıştırılması ile hasta hizmet ve güvenliği iyileştirilmiştir. Wright ve Mahar 2013, tarafından yapılan çalışmada, hemşire yöneticilerinin giderek artan iş hacmi ve eksik nitelikli hemşire personeli sıkıntısı ile maliyetleri düşürürken hasta memnuniyetini artırmak için giderek artan bir baskı altında oldukları vurgulanmıştır. Bu nedenle, birden fazla birimden gelen hemşirelerin birlikte düşünüldüğü merkezi bir modelleme ile hastanelerdeki çizelgelerin %34 oranında iyileştirebileceğini, maliyetlerin %11 oranında düşürülebileceğini, fazla mesailerin %80 oranında azaltılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Carter ve Lapierre 2001, Ikegami 2003, ise hastane ihtiyaçlarını ön plana çıkaran modeller oluşturmuşlardır. Valouxis ve Housos 2000, hemşire çizelgelemesinde sezgisel yöntemlere başvurmuşlar ve bu yöntemler ile tam sayılı programlamayı birleştirerek hibrid algoritmalara dayanan bir çalışma yapmışlardır. Burke vd. 2004, temel kısıtların yanında bazı varsayımları da ekleyerek hemşire ihtiyaçlarını belli bir dereceye kadar yansıtabilen modeller oluşturmuşlardır. Topaloğlu ve Özkarahan 2004, ise mola saatlerine esneklik getirerek hemşire isteklerine dayanan çok amaçlı bir model oluşturmuşlardır. Azaiez ve Sharif 2005, yaptıkları tam sayılı hedef programlama modelinde, ilk kez hem hastane hem de hemşire isteklerini bir anket sonucu belirlemiş ve bu istekleri sadece amaç fonksiyonuna yansıtılmışlardır. Geliştirilen model hemşire yetenek ve yeterlilikleri ile servis devamlılığını ve aynı zamanda oluşacak gereksiz fazla mesainin getireceği ek maliyetleri içermektedir. Fakat yapılan bu çalışmada da birçok kısıt göz ardı edilmiştir ve bu nedenle uygulanabilirliği tartışılmaktadır. Narlı ve Oğulata 2008, geliştirdikleri tam sayılı doğrusal programlama modeli ile her bir vardiya için atanacak hemşire sayısının yetersiz olması durumunda başka birimlerden minimum süre ile hemşire çalıştırılmasını amaçlamışlardır. Aickelin ve White 2004, Tsai ve Li 2009, Jlassi ve ekibi 2011, tam sayılı programlama ile diğer algoritma yöntemlerini kıyaslayarak çizelgeleme sonuçlarını değerlendirmişler. Bunu yaparken hemşirelerin bakış açılarının göz önünde bulundurmışlardır. De Grano ve ekibi 2009, York Hastanesi acil serviste yapılan bir çalışmada, matematiksel programlama kullanılarak hem hemşire tercihleri hem de hastane kısıtlamalarını içeren iki aşamalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak optimizasyon modeli, hastane gereksinimlerini korurken, mümkün olan en yüksek ölçüde hemşire isteklerini yerine getirmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada ise, hemşire çizelgeleme modelinin oluşturulmasında, Azaiez ve Sharif 2005, tarafından hazırlanan tam sayılı hedef programlama modeli temel alınmıştır. Model, Ankara Güven Hastanesi' nde uygulanmış ve bu hastanenin yapısına bağlı olarak değişen zorunlu ve değişken kısıtlarla ilgili gerekli düzenlemeler yapılarak hazırlanmıştır. Atmaca ve ekibi 2012, Ramli ve ekibi 2013, çalışma saatlerinin planlanması konusunda optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Simüle veriler ışığında elde edilen sonuçlar çalışma sürelerinin çizelgelenmesinde düzenin sağlandığını göstermiştir. Yapılan bazı çalışmalarda hemşire çizelgeleri çalışma saatleri ve çalışma bölümleri açısından esnetilmeye çalışılmıştır. Öztürkoğlu ve Çalışkan 2014, hemşire çizelgeleme problemi için tam sayılı matematiksel bir model ile klasik çizelgeleme modellerinin aksine hemşirelerin işe başlama saatlerine esneklik getirilmişlerdir. Modelin başlıca amacı, hemşirelerin kendi tercihlerine göre haftalık çizelgelerinin oluşturulmasıdır. Oluşturulan model, gerçek

veriler kullanılarak bir üniversite hastanesinin genel cerrahi bölümünde denenmiştir. Modelin, %99,6 oranında hemşire tercihlerini yerine getirdiği görülmüştür.

Schoenfelder vd. 2020, hastanelerin hemşire programlamasında iki sınıf hızlı yanıt kararını içeren bir model sunmuşlardır: (i) çapraz eğitilmiş float hemşirelerin (birimler arasında geçişken çalışma düzenine sahip hemşireler) ünite atamalarında ayarlamalar ve (ii) üniteler ve ünite dışı hasta transfer kabulleri. Hasta-hemşire oranları açısından farklı düzenlemelere tabi olan üç hastane analiz edilerek, bu hararetle tartışılan oranların hastane performansını, hemşire iş yükünü ve hasta deneyimini nasıl etkilediğine dair sonuçlara varılmaya çalışılmıştır. Çapraz eğitilmiş hemşireler aracılığıyla hızlı yanıtın, hasta-hemşire oranlarında üst sınırın uygulandığı ortamlarda daha yüksek toplam maliyetlere yol açabileceği bulunmuştur. Bu sonucun, Kaliforniya gibi yerlerde önemli yönetsel ve politik faktörlerle ilgisi olduğu görülmüştür. Diğer bir çıkarım, sadece az sayıda hasta transferinin veya ünite dışı yatışların, tam potansiyel faydaya yakın bir şekilde sağlanması ve böylece hasta memnuniyeti ve bakım kalitesi üzerindeki olumsuz etkiyi en aza indirmesi olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, önerilen çizelgeleme yaklaşımı, istenmeyen atanmış vardiyaların sayısını azaltmıştır. Son olarak, hızlı yanıt yöntemlerinin nasıl olduğu ve kullanılıp kullanılmayacağını belirlerken yatak ve hemşire kapasitesi kullanımının önemli hususlar olduğu gösterilmiştir.

Ahmed Ali El Adoly vd. 2018, tarafından bir menkul ticari mal (multi-commodity) şebeke akış modeli fikrine dayanan hemşire çizelgeleme problemi için matematiksel bir model sunulmuştur. Önerilen model varsayımsal örnekler ve kıyaslama örnekleri kullanılarak doğrulanmıştır. Daha sonra bir Mısır hastanesinde gerçek bir vaka çalışması yapılmıştır. Sonuçlar, problemi çözmek ve gerekli çizelgelemeyi oluşturmak için önerilen modeli kullanmanın avantajını göstermiştir. Elde edilen çizelgelemenin manuel olarak oluşturulan çizelgelemeye göre daha üstün olduğu gösterilmiş, adil bir çizelgeleme oluşturulmuş ve hemşirelerin memnuniyet düzeyini arttırmıştır., Ayrıca hemşirelerin fazla mesai maliyetini de % 36 oranında düşürmüştür.

Gecici E. ve Güler MG.,2020, çalışmalarında problem için bir karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Daha sonra sınırlı teknik becerilere sahip kullanıcılar için bir karar destek sistemi hazırlamışlardır. Bu sistem, kullanıcıların çok kısa sürede adil ve dengeli vardiya programları hazırlamasına olanak tanımıştır.

Guler MG., 2013, bu çalışmada, bir fizik tedavi ve rehabilitasyon (PMR) departmanındaki polikliniklere asistanların ve kıdemli akademik personelin görevlerinin planlanmasını ele almıştır. Mevcut programlar manuel olarak hazırlanmaktadır. Hastaların tercihlerini yerine getirmedeki sık değişiklikler ve yetersizlikler nedeniyle programlardan memnun değildiler. Bu sorunları ele almak için bir hiyerarşik hedef programlama (HHP) modeli önerilmiştir. Önerilen model, aylık programlarda sık görülen değişiklikleri azaltacak, tercihleri karşılayacaktır. Model, gerçek büyüklükteki problemleri makul bir süre içinde optimal bir şekilde çözmüştür.

III. Materyal ve Yöntem

A. Hemşire Çizelgeleme

Adil bir görev dağılımının gerçekleşmesi için hemşirelere saat bazında eşit miktarlarda gece ve hafta sonu nöbeti yazmak mümkün olmazsa bir sonraki çizelgede dengeleme yapılacak şekilde hareket edilmesi beklenir. Gündüz nöbetleri 08:00-16:00 saatleri arasında, gece nöbetleri ise 16:00-08:00 saatleri arasında yapılmaktadır. Gece nöbeti yazılan bir hemşire en az 24 saat dinlendirilmeli, yani takip eden gün içerisinde yeni bir nöbet yazılmamalıdır. Hemşireler arasında huzursuzluk çıkmaması için nöbet görevlerinin hafta içi gündüz, hafta içi gece, hafta sonu gündüz, hafta sonu gece ve toplam nöbet yükleri açısından mümkün olduğunca eşit dağılması gerekir. Ayrıca, hemşirelerin tercihlerine de dikkat edilmelidir. Bir sonraki bölümde anlatılacak olan KTDP gösteriminde bu hususlar sert ve yumuşak kısıtlarla ifade edilmiştir.

B. KTDP Modeli

Çizelge tespiti için bir en iyileme yaklaşımı ve bu kapsamda bir Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama gösterimi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem acil ve yoğun bakım servisleri incelenerek, her bir servis için servise özel şartlar tespit edilerek uygulanmıştır. Hemşirelerin nöbet günleriyle ilgili tercihleri var mı, varsa bu taleplere çizelgeler hazırlanılırken dikkat ediliyor mu, hemşirelerin izinli ya da hastalık gibi sebeplerle mazeretli olduğu günler için özel uygulamalar var mı gibi sorular incelenerek KTDP gösterimi içine entegre edilmiştir. Gösterimin her saati için ilgili servise ait lazım olan hemşire sayısını temin etmesi bir sert kısıt kullanılarak belirlenmiştir. Nöbetlerin adaletli dağıtımını yumuşak kısıtlarla idare edilmiş, her bir hemşire için gündüz, gece ve hafta sonu nöbet miktarlarının hemşire başına düşen ortalama nöbetten farkları amaç fonksiyonunda cezalandırılmıştır. Belirtilen bu genel prensiplere göre KTDP'nin yapısı genel hatları itibarıyla şu şekilde yazılmıştır:

C. Parametreler

i/I	Hemşire indisi ve kümesi
t/T	Gün indisi ve kümesi
λ	Adil nöbet dağılımın amaç fonksiyonundaki ağırlığı
μ	Hemşire tercihlerinin amaç fonksiyonundaki ağırlığı
K_{it}^1	i hemşiresinin t gündüz nöbetine verdiği puan
K_{it}^2	i hemşiresinin t gece nöbetine verdiği puan
T_s	Çizelgenin son günü
n	Birimdeki toplam hemşire sayısı
α_i	i hemşiresi bir önceki çizelgenin son gününde gece nöbetine atanmışsa "1", yoksa "0" olur.
δ_t	t gündüz nöbetinde ihtiyaç duyulan hemşire sayısı
Δ_t	t gece nöbetinde ihtiyaç duyulan hemşire sayısı
p_t	t hafta içine denk geliyorsa "1" değerini alır, aksi takdirde "0" olur.

θ_1	Hemşire başına düşen hafta içi gündüz nöbet ortalaması ($\theta_1 = \frac{\sum_{t \in T} \delta_t p_t}{n}$)
θ_2	Hemşire başına düşen hafta içi gece nöbet ortalaması ($\theta_2 = \frac{\sum_{t \in T} \Delta_t p_t}{n}$)
θ_3	Hemşire başına düşen hafta sonu gündüz nöbet ortalaması ($\theta_3 = \frac{\sum_{t \in T} \delta_t (1-p_t)}{n}$)
θ_4	Hemşire başına düşen hafta sonu gece nöbet ortalaması ($\theta_4 = \frac{\sum_{t \in T} \Delta_t (1-p_t)}{n}$)
k_1, \dots, k_8	Sapma değişkenlerinin ceza katsayıları
E_i^+, E_i^-	i hemşiresinin bir önceki çizelgedeki θ_1 'den pozitif ve negatif sapma miktarları
F_i^+, F_i^-	i hemşiresinin bir önceki çizelgedeki θ_2 'den pozitif ve negatif sapma miktarları
G_i^+, G_i^-	i hemşiresinin bir önceki çizelgedeki θ_3 'den pozitif ve negatif sapma miktarları
H_i^+, H_i^-	i hemşiresinin bir önceki çizelgedeki θ_4 'den pozitif ve negatif sapma miktarları

D. Değişkenler

X_{it}	i hemşiresi t hafta içi gününde gündüz nöbetine atanıyorsa 1, aksi durumda 0 olur.
Y_{it}	i hemşiresi t hafta içi gününde gece nöbetine atanıyorsa 1, aksi durumda 0 olur.
Z_{it}	i hemşiresi t hafta sonu gününde gündüz nöbetine atanıyorsa 1, aksi durumda 0 olur.
S_{it}	i hemşiresi t hafta sonu gününde gece nöbetine atanıyorsa 1, aksi durumda 0 olur.
A_i^+, A_i^-	i hemşiresinin θ_1 'den pozitif ve negatif sapma miktarları
B_i^+, B_i^-	i hemşiresinin θ_2 'den pozitif ve negatif sapma miktarları
C_i^+, C_i^-	i hemşiresinin θ_3 'den pozitif ve negatif sapma miktarları
D_i^+, D_i^-	i hemşiresinin θ_4 'den pozitif ve negatif sapma miktarları

KTDP Gösterimi:
 en küçük

$$\lambda \sum_{i \in I} (k_1 A_i^+ + k_2 A_i^- + k_3 B_i^+ + k_4 B_i^- + k_5 C_i^+ + k_6 C_i^- + k_7 D_i^+ + k_8 D_i^-) - \mu \sum_{i \in I} (K_{it}^1 (X_{it} + Z_{it}) + K_{it}^2 (Y_{it} + S_{it})) \quad (1)$$

Öyle ki:

$\sum_{i \in I} (X_{it}p_t + Z_{it}(1 - p_t)) \geq \delta_t$	$t \in T$	(2)
$\sum_{i \in I} (Y_{it}p_t + S_{it}(1 - p_t)) \geq \Delta_t$	$t \in T$	(3)
$\sum_{i \in I} (X_{it} + Y_{it}) \leq (\delta_t + \Delta_t)p_t$	$t \in T$	(4)
$\sum_{i \in I} (Z_{it} + S_{it}) \leq (\delta_t + \Delta_t)(1 - p_t)$	$t \in T$	(5)
$\sum_{t \in T} X_{it} + A_i^+ - A_i^- + E_i^+ - E_i^- = \Theta_1$	$i \in I$	(6)
$\sum_{t \in T} Y_{it} + B_i^+ - B_i^- + F_i^+ - F_i^- = \Theta_2$	$i \in I$	(7)
$\sum_{t \in T} Z_{it} + C_i^+ - C_i^- + G_i^+ - G_i^- = \Theta_3$	$i \in I$	(8)
$\sum_{t \in T} S_{it} + D_i^+ - D_i^- + H_i^+ - H_i^- = \Theta_4$	$i \in I$	(9)
$X_{it} + Y_{it} + Z_{it} + S_{it} \leq 1$	$i \in I, t \in T$	(10)
$X_{i(t+1)} + Y_{i(t+1)} + Z_{i(t+1)} + S_{i(t+1)} \leq 1 - (Y_{it} + S_{it})$	$i \in I, t \in T/\{T_s\}$	(11)
$X_{i1} + Y_{i1} + Z_{i1} + S_{i1} \leq 1 - \alpha_i$	$i \in I$	(12)
$X_{it}, Y_{it}, Z_{it}, S_{it} \in \{0,1\}$	$i \in I, t \in T$	(13)
$A_i^+, A_i^-, B_i^+, B_i^-, C_i^+, C_i^-, D_i^+, D_i^- \geq 0$	$i \in I$	(14)

Amaç fonksiyonunun ilk teriminde hemşire başına düşen ortalamalardan sapmalar cezalandırılmakta, ikinci terimde hemşire tercihleri dikkate alınmaktadır. Bu iki farklı hedefin amaç fonksiyonundaki ağırlığına birimler içerisindeki görece önem seviyelerine bakılarak karar verilmektedir. Gösterimdeki kısıtlar da şu şekilde açıklanabilir. (2) numaralı kısıt her t günü için gündüz nöbetine en az lazım olan hemşire sayısı kadar hemşire atanmasını temin eder. Benzer şekilde (3) numaralı kısıt da her t günü için gece nöbetine en az lazım olan hemşire sayısı kadar hemşire atanmasını mecbur kılar. (4) ve (5) numaralı kısıtlar t gününün hafta içine dâhil olup olmadığını gösteren p_t değişkenleriyle hafta içi, hafta sonu, gündüz ve gece nöbet değişkenleri olan X_{it} , Y_{it} , Z_{it} , S_{it} ile ilişkisini kurar. Mesela p_t değeri 0 ise o zaman hafta içi toplam nöbet sayısı kısıt (4) tarafından sıfırlanır. Benzer şekilde p_t değeri bir ise o zaman (5) numaralı kısıt o gün için toplam hafta sonu nöbet sayısını sıfırlar. (6), (7), (8) ve (9) numaralı kısıtlar hemşire başına düşen ortalama nöbet miktarlarından sapma miktarlarını tanımlar. Bu kısıtlarda bir önceki çizelgeden gelen sapmaların da birer parametre olarak hesaba katıldığına dikkat edilmelidir. (10) numaralı kısıt bir hemşirenin her hangi bir günde gece ve gündüz nöbetlerinden yalnız birine atanabilmesini icbar eder. (11) numaralı kısıt her hangi bir t gününde gece nöbetine atanan hemşirenin bir sonraki gün içerisinde gece ya da gündüz her hangi bir nöbete atanmamasını temin eder. (12) numaralı kısıt (11) numaralı kısıtın

herhangi bir gün için yaptığı işi bir önceki çizelgenin son gününde hemşirenin gece nöbetine atanıp atanmadığına bakarak ilk nöbet günü için hayata geçirir. (13) ve (14) numaralı eşitsizlikler değişkenlerin ikili ve sıfırdan büyük eşit olması kısıtlarıdır.

Eldeki teorik KTDP gösterimi ilgili birimlerin verileri üzerinden çalıştırmak ve adil hemşire çizelgeleri elde etmek amacıyla C# programlama dili ile kodlanmıştır. Modelin çözümü için C# üzerinden Gurobi çözücüsü çağrılmış ve çözüm Gurobi ile elde edilmiştir.

IV. Uygulama

KTDP gösteriminin ve parametrelerin detaylarının daha net bir şekilde belirlenmesi için ilgili hastane servislerinin çizelge belirleme aşamaları incelenmiş ve neticenin matematik formatında ele alınabilecek şekilde özetlenmesi ile uygulama çalışması yapılmıştır. Bahsi geçen servislerde hemşire nöbet çizelgelerinin hangi şartlara dayanılarak yapıldığı incelenerek durum matematik formatında ele alınacak bir özete kavuşturulmuştur.

Çalışma kapsamında Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesinin acil ve yoğun bakım bölümlerinin bir aylık çizelgeleri elde edilmiştir. Acil bölümünde 26 hemşire ve yoğun bakım bölümünde 30 hemşire bulunmaktadır. Hemşirelerin 30 ayın her günü için gece ve gündüz nöbet tercihleri (0, 3) aralığından bir tamsayı olarak alınmış ve tercih parametreleri

K_{it}^1 ve K_{it}^2 değerleri elde edilmiştir. Sapma katsayılarının tamamı, λ ve μ değerleri 1 olarak alınmıştır. Üretilen çizelgeler aşağıda Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Tablolarda G günün kısaltması, ve H hemşirenin kısaltması olarak kullanılmıştır.

Tablolarda tire işareti ile gösterilen kısımlar hemşirenin ilgili günde görev almadığına, 08-16 yazan kısımlar hemşirenin ilgili günün gündüz nöbetine ve 16-08 yazan kısımlar hemşirenin ilgili günün gece nöbetine atandığına işaret etmektedir. Tablolar incelenirse hemşirelerin hafta içi ve hafta sonu gündüz ve gece nöbet sayıları bakımından olabildiğince adil görev aldıkları görülebilir. Üstelik bu görev dağılımları oluşturulurken hemşirelerin tercihlerine de dikkat edilmiştir.

• Tasarladığımız KTDP gösterimi özgündür. Hem gündüz, gece ve hafta sonu nöbetlerinin tamamının adil dağılımını, hem hemşirelerin tercihlerini hedef programlama yöntemiyle ele alan ve uygulayan bu çalışmamız hem teoride hem pratikte yenilikler içermektedir. Literatürde toplam nöbet saatinin eşitlenmesine yönelik çizelgeleme yapılırken bu çalışmada literatürden farklı olarak hemşirelerin hafta içi gündüz-gece ve hafta sonu gündüz-gece nöbet saatleri ayrı ayrı eşitlenmiştir.

• Literatürde hemşire çizelgeleme çalışmaları oldukça fazla sayıda olmalarına rağmen hemen hemen hiçbirinde hastanenin birden fazla farklı servisinde optimal çizelge bulunmamıştır. Birden fazla servisi ele alan uygulamalı bu yaklaşımımızın sahasında bir ilk olacağı kanaatindeyiz.

• Çalışmamız Erzurum'daki hastaneler açısından da bir ilktir. Erzurum hastanelerinin bütün servislerinde hemşire nöbet çizelgeleri elle yapılmakta olduğundan, geliştireceğimiz program emsal teşkil edecektir.

• Çalışmamız üniversite hastane işbirliğini gerektiren başka çalışmaların da önünü açacak niteliktedir.

Çalışmanın ilerleyen safhalarında önerilen modelin diğer hastane servislerinde hemşire çizelgelerinin oluşturulması için uygulanması planlanmaktadır. Bununla birlikte, bu model hemşire çizelgeleme probleminde belirsizlik durumlarının da dikkate alınması ile geliştirilebilir ve bir karar destek sistemi içerisinde kullanılarak sağlık personelinin kolay bir şekilde modeli kullanması sağlanabilir.

Teşekkür

Bu makale Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen PRJ2016/198 kodlu Temel Araştırma Projesi kapsamında yapılmıştır.

Kaynaklar

Ahmed Ali El Adoly, Mohamed Gheith, M. Nashat Fors (2018), "A new formulation and solution for the nurse scheduling problem: A case study in Egypt", *Alexandria Engineering Journal*, 2018, 57, 2289-2298.

Aickelin, U. and White, P..(2004). "Building better nurse scheduling algorithms," *Ann. Oper. Res.*, 128, 159-177.

Atmaca, E., YakıcıI, M. Aydoğdu, B., Pehlivan, C.(2012).Hemşire çizelgeleme problemi ve uygulaması", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(4), 351-358.

Azaiez, M. N. ve Sharif, S. S. (2005). "A 0-1 goal programming model for nurse scheduling", *Computers & Operations Research*, 32 (3); 491-507.

Bailey, J. (1985). "Integrated days off and shift personnel scheduling *Computers and Industrial Engineering*", 9(4), 395-404.

- Baker, K. (1974). "Scheduling a full time workforce to meet cyclic staffing requirements", *Management science*, 20 (12), 1561-1569.
- Baker, K. R. (1985). "Workforce allocation in cyclical scheduling problems: A survey", *Operation Research*, 5(3), 327-337.
- Baker, K. R. , Burns, R. N. ve Carter, M. W. (1980). "Staff scheduling with day-off and workstretch constraints." *AIIE Transaction*, 11 (4), 286-292.
- Belien, J., and Demeulemeester. (2002). "Integrating Nurse and Surgery Scheduling," *Katholieke Universiteit Leuven, Department of Applied Economics, Naamsstraat 69, B-3000 Leuven, Belgium.*
- Burke, E. K, De-Causmaecker, P., Vanden, B. G. ve Van, L. H. (2004). "The state of the art of nurse rostering", *Journal of Scheduling*, 7 (6),441–449.
- Burns, R. N. (1978). "Manpower scheduling with variable demands and alternate weekends off", *Inform*, 16 (2), 101-112.
- Burns, R. N. ve Carter, M. W. (1985). "Work force size and single shift schedules with variable demands", *Management Science*, 31 (5), 599-607.
- Caron, G., Hansen, P., Jaumard, B. (1997). *The Assignment Problem With Seniority And Job Priority Constraints*, *Operation Research*, Vol. 47, No.3
- Carter, M. W. ve Lapierre, S. D.(2001). "Scheduling emergency room Physicians", *Health Care Management Science*, 4 (4), 347-360.
- Davis, A., Mehrotra, S., Holl, J., Daskin, MS.(2014). "Nurse Staffing Under Demand Uncertainty to Reduce Coast and Enhance Patient Safety", *Asia-Pacific Journal of Operational Research*,31(1).
- De Grano, ML., Medeiros, DJ., Eitel, D. (2009). "Accommodating individual preferences in nurse scheduling via auctions and optimization", *Health Care Management Science*,12(3), 228-242.
- Dowland, K. and Thompson, J. (2000). "Nurse Scheduling With Knapsacks, Networks and Tabu Search", *Journal of the operational research society*, 825-833.
- Gecici, E. and Guler, MG. (2020). "A decision support system for nurse scheduling problem", *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences-Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 749-757.
- Green, LV, Savin, S., Savva, N. (2013). "Nurse vendor Problem": Personnel Staffing in the Presence of Endogenous Absenteeism", *Management science*, 59(10), 2237-2256.
- Guler, MG. (2013), "A hierarchical goal programming model for scheduling the outpatient clinics", *Expert Systems With Applications*, Volume: 40 Issue: 12 Pages: 4906-4914.

- Güngör, İ.(2002). “Hemşire görevlendirme ve çizelgeleme sorununa bir model önerisi “SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7 (2), 77-94,
- Howell, J. P. (1966). “Cyclical scheduling of nursing personnel.”, *Hospital J.A.H.A.*, 40 (2), 77-85.
- Huarng, F. (1999). “A Primary Shift Rotation Nurse Scheduling Using Zero-One Linear Goal Programming, *Computers in Nursing*”, 17(3), 135-144.
- Ikegami, A. N.(2003). “A sub-problem centric model and approach to the nurse scheduling problem”,*Mathematical Programming Series B*, 97, 517–541.
- Schoenfelder, J., Kurt, M. Bretthauer, P.Daniel Wright, Edwin Coe (2020), “Nurse scheduling with quick-response methods: Improving hospital performance, nurse workload, and patient experience”, *European Journal of Operational Research*, 283 (2020), 390-403.
- Jlassi, J., Chabchoub, H. ve El-Mhamedi, A. (2011). “A Combined AHPGP Model for Nurse Scheduling” 4 th International Conference on Logistics,
- Maier-Rothe, C. ve Wolfe, H. B. (1973). “Cycle scheduling and allocation of nursing staff. ”, *Socio-Economic Planning Sciences*, 7(5), 471-487.
- Meglino, B. M. (1979). “A methodology for nurse staffing ”, *Abi/Inform Global*, 21 (3), 82-93.
- Miller, H. E. , Pierskalla, W. P. ve Rath, G. J. (1976). “Nurse scheduling using mathematical programming”, *Operations Research*, 24 (5), 857-870.
- Morrish, A. R.ve O’Connor, A. R. (1970). “Cyclic scheduling.”, *The Journal of Nursing Administration*, 1(5), 49-54.
- Narlı, M., Oğulata, S.N.(2008).“ Hemşirelerin Çalışma Vardiyalarının Değerlendirilmesi ve Çizelgelendirilmesi”,*Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, 19(1).
- Özkarahan, İ. ve Bailey, J. E. (1988). “Goal programming model subsystem of a flexible nurse scheduling support system”, *IIE Transactions*, 20 (3), 306-316.
- Özkarahan, İ., (1989). “A Flexible Nurse Scheduling Support System”,*Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 145-153, U.S.A.
- Öztürkoğlu, Y., Çalışkan F. (2014). “Hemşire Çizelgelemede Esnek Vardiya Planlaması ve Hastane Uygulaması”, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 115-133.
- Ramli, M.R., Hussin, B., Ibrahim, N.K. (2013). “Utilizing particle swarm optimisation techniques in solving unfair nurse scheduling problem”, *International Review on Computers and Software*, 8(9), 2205-2212.

- Sowalter, M. J. ve Mabert, V. A. (1988). "An evaluation of a full/part time tour scheduling methodology", *International Operation and Production Management*, 8(7), 54-71.
- Topaloğlu, Ş. ve Özkarahan, İ. (2004). "An implicit goal programming model for the tour scheduling problem considering the employee work preferences", *Annals of Operations Research*, 128 (1-4), 135-158.
- Trivedis, M., V. (1981). "A Mixed-Integer Goal Programming Model For Nursing Service Budgeting.", *Operations Research*, 29(5).
- Tsai, C. C. ve Li, S. H. A. (2009). "A two stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem", *Expert Sytems with Applications*, 36(5), 9506-9512.
- Valouxis, C. ve Housos, E. (2000). "Hybrid optimization techniques for the work shift and rest assignment of nursing personnel", *Artificial Intelligence*, 20 (2), 155-175.
- Warner, D. M. (1976). "Scheduling nursing personnel according to nursing preference: A mathematical programming approach", *Operations. Ressearch* ,24(5), 842-856.
- Wolfe, H. ve Young, J. P. (1965). "Staffing the nursing unit: Part II.", *Nursing Research*, 4 (14), 299-303.
- Wright, P.D., Mahar, S.(2013). "Centralized nurse scheduling to simultaneously improve schedule cost and nurse satisfaction", *Omega-International Journal of Management*, 41(6),1042-1052.