Tamsayılı Programlama ile Akıllı Servis Araçları İçin Personel Planlaması

Kadir Akgöl[1*], Banihan Günay[2], Metin Mutlu Aydın[3]

[1]Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği,
Giresun, Türkiye
[2]Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği,
Antalya, Türkiye
[3]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği,
Samsun, Türkiye
*Sorumlu Yazar: kadirakgol@hotmail.com.tr
0000-0002-1939-6717, 0000-0002-4640-417X, 0000-0001-9470-716X

Özet

Toplu taşımada en iyi çözümlerin geliştirilmesi üzerindeki en önemli engellerden birisi ne yazık ki yüksek yatırım ve işletme maliyetleridir. Bu nedenle birçok toplu taşıma planlayıcı ve işletmecisi alternatif ve daha düşük maliyetli çözümler sunan akıllı toplu taşıma sistemleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Akıllı Servis Araçları (ASA) toplu taşıma içinde mevcut sistemlere bir alternatif olarak geliştirilen ve "geleneksel servis araçları sistemi yerine kapıdan kapıya ulaşım şeklinde çalışan, gelen anlık talebe göre güzergâhını belirleyen, son derece dinamik ve esnek, duraktan durağa ulaşım tarzında yeni bir hizmet" olarak tanımlanabilen güzel bir akıllı toplu taşıma uygulaması olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise ASA için personel maliyetini düşürebilecek ve bu sistemlerin maliyet açısından etkinliğini arttırabilecek bir çizelgeleme modeli önerilmiştir. Bu çalışmada ise önceki çalışmalardan farklı olarak iki aşamalı bir çözüm yerine tek aşamada hem personel sayısını veren hem de personel çizelgelemesi yapan yeni bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni model, değişen ulaşım talebine göre çalışması gereken personel sayısını ve personel planlamasını her seferinde yeni bir model oluşturmadan çözmeye olanak sağlamaktadır. Böylece, geliştirilen bu dinamik yöntem ile birlikte akıllı servis sisteminde çalışan personel sayısının ihtiyaca göre belirlenmesi ile bile daha ekonomik bir sistem elde edilebilecektir.

Anahtar kelimeler: Esnek toplu ulaşım sistemleri; personel çizelgeleme; talebe duyarlı ulaşım; modern servis araçları; bir hizmet olarak mobilite

Personnel Planning for Intelligent Service Vehicles with Integer Programming

Abstract

Unfortunately, one of the most important obstacles to the development of the best solutions in public transportation is high investment and operating costs. For this reason, many public transportation planners and operators aim to develop smart public transportation systems that offer alternative and lower-cost solutions. The concept of Intelligent Subscription Bus Services (ASA) can be identified as "a dynamic and flexible system which can determine a route to follow, based on actual demand and works on a door-to-door basis rather than bus stop-based operation". Within the scope of this study, a scheduling model for ASA is proposed

that can reduce personnel costs and increase the cost-effectiveness of these systems. In the present paper study, unlike previous studies, instead of a two-stage solution, a new model has been developed that provides both the number of personnel and personnel scheduling in a single stage. The new model helps solve the number of personnel required to work according to the changing transportation demand and personnel planning without creating a new model each time. Thus, with this dynamic method developed, a more economical system can be achieved by determining the number of personnel working in the smart service system according to the varying needs.

Keywords: Flexible public transport systems; personnel scheduling; dial-a-ride; modern service vehicles; mobility as a service

1. Giriş

Günümüzdeki mevcut geleneksel toplu taşımacılık sistemlerinin, insanların özel araç kullanımını bırakmasını teşvik ederek onları toplu ulaşımı kullanma konusunda pozitif bir şekilde etkileyemediği görülmektedir. Her geçen yıl giderek artan trafik sorunu, özel araç kullanımının artmasıyla içinden daha da çıkılamaz bir hal almaktadır. Bu soruna çözüm olarak ise yeni yol çalışmaları ya da köprülü kavşak gibi pahalı altyapı çalışmalarına yönelerek geçici çözümler üretilmektedir. Bu durum bugüne kadar plansız olarak büyüyen şehirlerimizin aynı şekilde büyümesinin devam etmesine yol açmakta ve dolayısıyla çarpık kentleşmenin daha da artmasına neden olmaktadır. Oysa günümüzde Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) gibi kalıcı, ekonomik ve verimli çözümlere yönelmek en doğru yaklaşımlar arasında yer almaktadır.

Yapılan mevcut araştırmalar ve çalışmalar, ulaşım kaynaklarını verimli kullanmada toplu taşıma sistemini en verimli sistem olarak göstermektedir [1-2]. Örneğin, Kutlu [3] toplu taşımanın faydalarını, trafik sıkışıklığının azalması, daha güvenli bir trafik elde edilmesi, yakıt ve enerji tasarrufu sağlanması, egzoz gazından kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılması, otopark sorununun azalması olarak sıralamakta ve önemine dikkat çekmektedir. Özsoy [4] ise çalışmasında toplu taşımada hizmet kalitesinin yükseltilemediğini dile getirmiş, hız, konfor, güvenilirlik ve güvenlik açısından uygun, çevresel, kentsel ve tarihi değerleri koruyan, mevcut altyapı ve tesislerin kapasitesini en üst düzeyde kullanan sistemlerin işletilmesinin yaygınlaştırılamamış olduğunu vurgulayarak toplu taşımanın yaygınlaştırılması gerektiğine dikkat çekmiştir. Bir başka çalışmada ise de Oña ve de Oña [5] toplu taşıma sistemlerine erişimde fırsat eşitsizliğine değinmiş ve iyileştirmeler yapılması durumunda daha fazla kişinin toplu taşıma kullanmaya başlayabileceğine dikkat çekmiştir. Dell'Olio vd. [6] ise toplu taşıma biletleme ücretleri üzerine bir araştırma yapmış ve kişilerin toplu taşıma kullanma eğilimi ile maliyet arasında önemli bir bağlantı olduğunu tespit etmiştir. Toplu taşıma ücretlerinin yüksek olması durumunda başka parametrelerin de devreye girmesi ile başka ulaşım modlarına talep eğiliminin arttığı belirlenmiştir. Bir başka ve önemli çalışmada ise van Lierop ve El-Geneidy [7], yolcuların toplu taşıma seçme ve kullanma isteği üzerinde yolcu memnuniyetinin oldukça etkili olduğunu belirterek memnuniyetin sadece bir parametreye bağlı olmadığını, parametreler arasında birbirini etkileyen bir anlamlı bağlantı olduğunu belirtmişlerdir. Toplu ulaşımda talebin arttırılması için farklı çözüm ve önerilerle geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Toplu taşımada en iyi çözümlerin geliştirilmesi üzerindeki en önemli bariyer ne yazık ki yüksek yatırım ve işletme maliyetleridir. Bu kapsamda birçok toplu taşıma planlayıcı ve işletmecisi alternatif ve daha düşük maliyetli çözümler sunan akıllı toplu taşıma sistemleri geliştirmeyi

amaçlamaktadır. Bu çalışma kapsamında bu duruma örnek olarak farklı bir toplu taşıma hizmeti sunabilen ASA (ASA) için personel maliyetini düşürebilecek ve bu sistemlerin maliyet açısından etkinliğini arttırabilecek bir çizelgeleme modeli önerilmiştir. Mevcut çalışmalar incelendiğinde, önerilen iş çizelgeleme problemlerinin genellikle iki aşamalı olarak yapıldığı görülmektedir. Örnekler incelendiğinde birinci aşamada çalışması gereken minimum personel sayısı tespit edilirken, ikinci aşamada ise çizelgeleme için tekrar modelleme yapılmıştır. Bu çalışmada ise önceki çalışmalardan farklı olarak iki aşamalı bir çözüm yerine tek aşamada hem personel sayısını veren hem de personel çizelgelemesi yapan yeni bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni model, değişen ulaşım talebine göre çalışması gereken personel sayısını ve personel planlamasını her seferinde yeni bir model oluşturmadan çözmeye olanak sağlamaktadır. Böylece, geliştirilen bu dinamik yöntem ile birlikte akıllı servis sisteminde çalışan personel sayısının ihtiyaca göre belirlenmesi ile bile daha ekonomik bir sistem elde edilebilecektir.

2. Literatür Taraması

Toplu taşıma sistemlerinin etkinliğini artırmaya yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle yolculuk talebi ve yönetimi ile çizelgeleme yöntemleri incelenmiştir. Aşağıda, bu iki ana konu başlığı altında literatürdeki önemli bulgular özetlenmiştir.

2.1. Yolculuk Talebi ve Yönetimi

Son yıllarda şehir içinde yaşanan ulaşım problemlerine çözüm olarak "Yolculuk Talep Yönetimi" kavramı altında çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [8-9]. Bu kavram, vatandaşların, mevcut ulaşım altyapısını daha verimli bir şekilde kullanacağı ve yolculukların daha yüksek kapasiteli araçlara kaymasını sağlayacak, az yatırımlı önlemlerle çözümler geliştirilmesi olarak tanımlanabilmektedir. Temel olarak yolculuk talep yönetimiyle toplu taşımayı geliştirerek ve bireysel ulaşımı sınırlandırarak mevcut ulaşım altyapısından daha çok yolcu geçirmek hedeflenmektedir [4]. Bu hedefler doğrultusunda son 20 yılda sabit güzergâhlı ulaşım sistemleri yerine esnek ulaşım hizmetlerine yönelmek, toplu taşıma kullanımını daha verimli hale getirecek önemli konular olarak düşünülmektedir [10-11]. Bu amaçla yürütülen mevcut çalışmalara göre esnek ulaşım hizmetleri, sabit güzergahı olmayan, binme / inme nokta ve zamanları, yolcuların talebi üzerine önceden belirlenmiş 4-20 kişilik araçlar kullanarak yapılan toplu taşıma hizmeti olarak tanımlanmaktadır [12]. Hatipoğlu vd. [13]'e göre ise yolculuk taleplerinin dinamik olarak yönetmek için önerilen bu ulaşım hizmeti, birim maliyet ile hizmet kalitesinin dengesini en iyi sağlayan hizmet verme sistemini uygulamak olarak ifade edilmektedir. Finn [14]'e göre ise bu sistem özel araç kullanımıyla rekabet edecek kentsel esnek bir ulaşım modu gerekliliği olarak açıklanmaktadır. Bir başka çalışmada ise Petit ve Ouyang [11] ulaşımda talebin düşük olması durumunda esnek ve heterojen rotalama ile toplu taşıma işletme performansının arttırılıp artırılamayacağını araştırmıştır. Çalışma sonuçlarından bu şekilde esnek ve heterojen rotalar ile hem yolcu memnuniyetinin artacağı hem de işletme süresi ve maliyetinin önemli ölçüde azalacağını belirlemiştir. Yine benzer bir çalışmada Wang vd. [10], bölgeler arası talep farklılığını göz önüne alan iki bölgeli bir esnek taşıma sistemi önerisi getirmişlerdir. Çalışmada iki bölgeli bir ulaşım ağı için hem işletmeci hem de kullanıcı için minimum maliyet oluşturabilecek bir tasarım önermişlerdir. Önerilen bu yeni sistem talebin düşük olduğu bölgelerde esnek bir rota izlemek üzerine odaklanmış olup analiz sonuçlarından işletme sürecinde hem kapasitenin arttığı hem de toplam işletme maliyet maliyetinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Bu şekilde toplu taşımanın cazibesini

daha da arttıracağı beklenmektedir. Türkiye için yürütülen örnek bir çalışmada Günay vd. [15], Akdeniz Üniversitesini pilot bölge olarak seçerek ASA konseptini geliştirmişler ve "rezervasyon sistemi ile çalışan ve minimum yolculuk süresi ile ulaşım sağlama prensibine dayalı olarak hizmet verecek, esnek ve dinamik bir toplu taşıma hizmeti" olarak tanımlamışlardır. Yapılan çalışmada, üniversiteye düzenli olarak gelip giden kişilerin mevcut ulaşım karakteristiklerini ve kampüse nerelerden hangi saatlerde ulaşım talebi olduğunun tespiti amacıyla bir anket çalışması yapılmıştır. Ankete katılan her katılımcının bu hizmeti kullanması durumu modellenerek hizmetin hayata geçmesi durumunda 64 araca ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Bu hizmet için yapılacak seferlerde görev alacak şoförlerin günde 8 saatten fazla çalışmaması durumu için 81 şoför gerektiği ve 478 saatlik bir çalışma performansına ihtiyaç duyulduğu hesaplanmıştır. Elde edilen bu çalışma sonuçlarına göre ise herhangi bir sayısal analiz gerçekleştirilmeden sezgisel olarak çizelgeleme yapılmasının sistemin başarımını önemli ölçüde arttırabileceği sonucu elde edilmiştir.

2.2. Çizelgeleme Yöntemi

Günümüzde yapılan birçok çalışmaya göre optimal çözüme ulaşabilmek için sezgisel yöntemlerin yerine sayısal yöntemlerin kullanılması daha etkin sonuçlar doğuracağı sonucuna ulaşılmıştır [16]. Mal veya hizmet üretiminde kullanılan işgücü girdisi önemli bir maliyet unsuru olduğundan, bu maliyetlerin minimizasyonu ile toplam üretim maliyetinde önemli ölçüde tasarruf sağlanabilmekte ve işletmenin kârı önemli ölçüde arttırılabilmektedir [17]. Örneğin Çevik [18] çalışmasında, günümüz rekabet şartlarında işletmelerin karşılaştıkları sorunlara, yeni şartlara uyum problemlerine vb. klasik usuller ile çözüm arama işleminin artık yavaş yavaş terk edildiğini ve bu tür durumlarda yöneticilerin karar vermelerine yardımcı olan sayısal yeni yöntemlerin yaygın olarak kullanılmaya başlandığını belirtmiştir. Günümüzün rekabetçi iş ortamında birçok işletmenin doğru zamanda doğru çalışanı işe alması ve yüksek iş tatminine ulaşması için doğru ücretlerin belirlenmesi gibi pek çok problemde karar destek sistemlerine ihtiyaç duyduğu ve bunu etkin şekilde kullandığı görülmektedir. [19]. Bu kapsamda literatürde farklı endüstri ve işletmelere özgü personel çizelgeleme için özel matematiksel modeller ve algoritmalar geliştirilmektedir [20-21]. Mevcut çalışmalara göre personel çizelgeleme ve personel atama, işletmelerin mal ve hizmetlerini sağlayabilmek için çalışan personelinin çalışma zamanlaması süreci olarak ifade edilmektedir [16]. Bu sürecin ilk aşaması talep edilen hizmeti sağlayacak şekilde belirli özellikteki çalışan sayısının belirlenmesini içermektedir. Çizelgeleme problemi, bir personel çizelgesinde her personelin çalıştığı ya da çalışmadığı günleri göstermekte ve günlük personel ihtiyacını karşılayacak gerekli işgücü miktarını sağlamaktadır. Burada amaç, uygun sayıda personeli minimum işgücü maliyeti ile tespit ederek çalıştırabilmektir [20-24]. Günümüzde personel çizelgeleme ve atama yöntemleri birçok alanda etkin olarak kullanılmaktadır. Bunlara örnek olan bazı alanlar ulaştırma sistemleri (havayolu ve demiryolu gibi), sağlık sistemleri, acil sistemler (polis, ambulans ve itfaiye hizmetleri gibi), arama merkezleri ve oteller, restoranlar ve perakende gibi hizmet organizasyonlarıdır. Çalışan çizelgeleme ve atama problemi havayolu, demiryolu ve karayollarında "ekip çizelgeleme" veya "ekip atama" olarak da adlandırılmakta ve etkin şekilde kullanılmaktadır. Ekip çizelgelemeyle ilgili uygulamaların her biri kendine özgü özellikler ve araştırma özelliklerine sahiptir. Bütün bu problemler için ortak bileşenler minimum işgücü, güvenlik kuralları ve personel anlaşmalarıdır [25]. Özellikle havayolu şirketleri ekip elemanlarının yönetimine ekonomik ilişkisinden dolayı oldukça özen göstermekte ve bu duruma özenle dikkat etmektedir. Bu kapsamda uzun yıllardır ekip

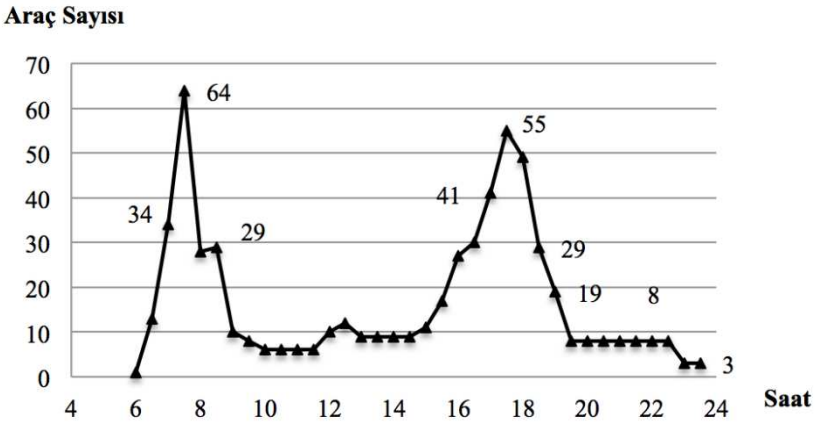
planlaması ve çizelgelemesi ile ilgili şirketler ile yöneylem araştırması ve matematik toplulukları tarafından birçok çalışma yapılmakta ve maksimum fayda elde edilmeye çalışılmaktadır [16, 24, 26-33].

Literatürde işgücü maliyetlerinin minimizasyonu ile ilgili çalışmalar iki başlık altında toplanabilir. Bunlar; 1-İnsan gücü planlaması ile ilgili çalışmalar ve 2- Optimum vardiya planlaması ve tur planlaması ile ilgili çalışmalardır. İnsan gücü planlaması ile ilgili çalışmalarda, işyerlerinde bir hafta veya bir aylık süre içindeki günlerin belli bölümlerinde ihtiyaç duyulan minimum insan gücü miktarlarının nasıl belirleneceği araştırılmaktadır. Optimum vardiya planlaması ve tur planlaması ile ilgili çalışmalarda ise belirlenen insan gücü gereksinimlerini yerine getirmek için bu işçilere bir dönem boyunca (genellikle 1 hafta) uygulanacak çalışma çizelgesinin nasıl belirleneceğini araştırmaktadır. Genellikle deneme yanılma yoluyla yapılan bu çalışmalarda (ve bazen çok basit olan problemlerde) optimum çözümü bulmak oldukça zor olabilmektedir. Bulunan ve uygulanan çözüm planlarının optimum plandan uzak olması durumunda işgücü maliyetlerinde fazlalıklar ortaya çıkabilmektedir [17]. Tam sayılı programlama ekip çizelgeleme problemleri için literatürde oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Gershkoff [34], ekip çizelgelemesini ayrıntılarıyla anlattığı çalışmasında American Airlines'ın tamsayılı doğrusal programlama yöntemini kullanarak yılda 18 milyon dolarlık tasarruf sağladığını belirtmiştir. Ryan [32], yaptığı çalışmasında ekip çizelgeleme problemi üzerinde küme bölme modeliyle çözüm üzerinde durmuş ve büyük değişken sayılarının olduğu problemlerin çözümü için öncelikle LP gevşetme yöntemi için Simplex algoritmasından, daha sonra ise tamsayılı çözümler için dal ve sınır tekniğinden faydalanmıştır. Bir başka çalışmada ise Yan vd. [35] bir aracın yönlendirilmesi ve zamanlama sorununun çözümünde, Fatnassi vd. [36] esnek toplu ulaşım araçlarının yönlendirilmesinde, Demir ve Kürşat İşleyen [37] ise esnek iş çizelgesi problemlerinde tamsayılı programlamayı kullanmıştır. Gamache vd. [29]'un çalışmasında ekip atama probleminin üzerinde durulmuştur. Bu problem ekip üyelerinin ekip eşleşmeleri, boş günleri ve diğer faaliyetleri göz önüne alınarak çizelgelenmesini kapsamaktadır. Çalışmada genelleştirilmiş küme bölme yöntemi ve sütun türetme yöntemi kullanılarak şirkette kullanılan mevcut yöntemle karşılaştırma yapılmıştır. Toplamda %6,2'lik iyileştirme sağlanmıştır. Çevik [18] yaptığı çalışmasında aile işletmesi olarak faaliyet gösteren bir işletmenin, minimum maliyeti sağlayacak şekilde işgücü planlamasını yapmıştır. Karar değişkenleri ilgili vardiyalarda çalıştırılacak olan personel sayısını (yani kesikli değerleri) gösterdiği için programlamada tam sayılı doğrusal programlama yöntemini kullanmıştır. Atmaca vd. [38], personel çizelgeleme problemini hem işletme hem de personel isteklerini göz önüne alan, personelin belirli bir süre için tekrarlı çalışma zamanlarını düzenleyen çizelgelerin üretilmesi şeklinde tanımlamaktadır. Güngör [39], çalışması gereken minimum hemşire sayısı ve bu personelin çalışma planlaması üzerine hemşire çizelgeleme ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir.

3. Yöntem

Bu çalışmada Günay vd. [15] tarafından gerçekleştirilen personel çizelgelemesinin tam sayılı programlama ile tekrar yapılarak ASA konsepti kapsamında ulaşım talebini karşılayacak gerekli şoför sayısının ve çalışma performansının hesaplanması amaçlanmıştır. Şoförlerin çalışma saatleriyle ilgili farklı düzenlemelere gidilerek yeni senaryolar üretilmiş ve alternatif sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu kapsamda Günay vd. [15]'in ASA konseptini modellenmesi sonucunda elde ettiği gün içinde çalışması gereken araç sayısı verileri

kullanılmıştır. Akdeniz Üniversitesi ana Kampüs yolculukları için düzenlenmesi gereken sefer sayıları Şekil 1'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 1. Gün İçinde Yapılması Gereken Sefer Sayısı Değişimi [15].

Şekil 1 gün içinde her yarım saatlik dilimdeki çalışması gereken minimum araç sayısını, yani şoför sayısını vermektedir. Bu verilerden yola çıkarak öncelikle her bir saatlik dilimde çalışması gereken personel sayısı belirlenmiştir. Her iki yarım saatlik dilim (30 dk+30 dk) birleştirilirken büyük olan sayı, o saatte çalışan kişi sayısını belirlemiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Farklı Saat Dilimlerine Göre Çalışan Personel Sayısı

Veri	**Saat Aralığı**																	
	06:00 – 06:59	**07:00 – 07:59**	**08:00 – 08:59**	**09:00 – 09:59**	**10:00 – 10:59**	**11:00 – 11:59**	**12:00 – 12:59**	**13:00 – 13:59**	**14:00 – 14:59**	**15:00 – 15:59**	**16:00 – 16:59**	**17:00 – 17:59**	**18:00 – 18:59**	**19:00 – 19:59**	**20:00 – 20:59**	**21:00 – 21:59**	**22:00 – 22:59**	**23:00 – 23:59**
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Şoför sayısı	13	64	29	10	6	6	12	9	9	17	30	55	49	19	8	8	8	3

Her saat diliminde çalışacak minimum personel sayısı belirlendikten sonra Tablo 2'de görülen personel çizelgesi şablonu oluşturulmuştur. Bu şablona göre bir personelin günde maksimum 7, 8, 9, 10 ve 11 saat çalışma durumlarına göre ayrı ayrı çözümlemeler yapılmıştır.

Tablo 2. Şoför Çizelgesi Şablonu

	Saat Aralığı													
	06:00 – 06:59	**07:00 – 07:59**	**08:00 – 08:59**	**09:00 – 09:59**	**10:00 – 10:59**	**11:00 – 11:59**	…	**18:00 – 18:59**	**19:00 – 19:59**	**20:00 – 20:59**	**21:00 – 21:59**	**22:00 – 22:59**	**23:00 – 23:59**	
i	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	…	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**Toplam**
1	X_{11}	X_{21}	X_{31}	X_{41}	X_{51}	X_{61}	…	X_{131}	X_{141}	X_{151}	X_{161}	X_{171}	X_{181}	A_1
2	X_{12}	X_{22}	X_{32}	X_{42}	X_{52}	X_{62}	…	X_{132}	X_{142}	X_{152}	X_{162}	X_{172}	X_{182}	A_2
3	X_{13}	X_{23}	X_{33}	X_{43}	X_{53}	X_{63}	…	X_{133}	X_{143}	X_{153}	X_{163}	X_{173}	X_{183}	A_3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	…	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	X_{1n}	X_{2n}	X_{3n}	X_{4n}	X_{5n}	X_{6n}	…	X_{13n}	X_{14n}	X_{15n}	X_{16n}	X_{17n}	X_{18n}	A_n
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	…	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{16}	Y_{17}	Y_{18}	$\sum A_j$

Çalışması gereken toplam personel sayısı verilen model çözülerek farklı çalışma saatlerine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çizelgeler 0-1 tam sayılı programlama ile Excel'in Solver eklentisi kullanılarak oluşturulmuştur. Çizelgeleme işlemi yapılmadan önce çalışması gereken minimum şoför sayısının belirlenmesi için ayrı bir model kurularak iki aşamalı çözüme gitmek yerine n=81 kişi için ayrı ve yeni model çözümlemesi yapılmıştır. Çözümleme sonrası elde edilen beş çizelgede de şartlar sağlanmıştır. Oluşturulan çizelgelerde belli bir satırdan sonra tüm değerler "0" çıkmaya başlamaktadır. Bu da o model için yeterli şoför sayısına ulaşıldığını göstermektedir (Denklem 1). Model özellikleri ve kullanılan parametreler aşağıda verilmektedir. X_{ij}: i. saatte j. inci personel çalışıyorsa 1; çalışmıyorsa 0

Y_i: i. saatte ihtiyaç duyulan minimum personel sayısı

A_j: j. inci personelin toplam çalışma saati

$$A_j = \sum X_{ij} \quad (1)$$

$$A_1 = \sum X_{i1} = X_{11} + X_{21} + X_{31} + \cdots + X_{181}$$
$$A_2 = \sum X_{i2} = X_{12} + X_{22} + X_{32} + \cdots + X_{182}$$
$$A_3 = \sum X_{i3} = X_{13} + X_{23} + X_{33} + \cdots + X_{183}$$
$$\vdots$$
$$A_{n-1} = \sum X_{i,n-1} = X_{1,n-1} + X_{2,n-1} + X_{3,n-1} + \cdots + X_{18,n-1}$$
$$A_n = \sum X_{in} = X_{1n} + X_{2n} + X_{3n} + \cdots + X_{18n}$$
$$Y_i = \sum X_{ij}$$
$$Y_1 = \sum X_{1j} = X_{11} + X_{12} + X_{13} + \cdots + X_{1n}$$
$$Y_2 = \sum X_{2j} = X_{21} + X_{22} + X_{23} + \cdots + X_{2n}$$
$$Y_3 = \sum X_{3j} = X_{31} + X_{32} + X_{33} + \cdots + X_{3n}$$
$$\vdots$$
$$Y_{17} = \sum X_{17j} = X_{171} + X_{172} + X_{173} + \cdots + X_{17n}$$
$$Y_{18} = \sum X_{18j} = X_{181} + X_{182} + X_{183} + \cdots + X_{18n}$$

Personel çalışma saatine ait kısıtlar:

$A_j \leq$ 7, 8, 9, 10 ve 11 (her biri için ayrı ayrı model çözülmüştür)

Gün içindeki farklı saatlerde çalışması gereken personel sayısı kısıtları:

$Y_1 \geq 13$, $Y_2 \geq 64$, $Y_3 \geq 29$, $Y_4 \geq 10$, $Y_5 \geq 6$, $Y_6 \geq 6$,

$Y_7 \geq 12$, $Y_8 \geq 9$, $Y_9 \geq 9$, $Y_{10} \geq 17$, $Y_{11} \geq 30$, $Y_{12} \geq 55$,

$Y_{13} \geq 49$, $Y_{14} \geq 19$, $Y_{15} \geq 8$, $Y_{16} \geq 8$, $Y_{17} \geq 8$, $Y_{18} \geq 3$

Tam sayı kısıtı: X_{ij} = 0 ya da 1

Amaç fonksiyonu (Denklem 2): (2)

$min\ Z = \sum A_j$

4. Analiz ve Bulgular

Çalışma kapsamında seçilen örneklem büyüklüğüne göre model n=81 ve kişi başı en fazla 7 saat çalışılması durumu için çözüldüğünde elde edilen çizelgede 69. satırdan itibaren tüm sütunların "0" sonucunu verdiği belirlenmiştir. Yani elde edilen bu sonuca göre çalışması gereken minimum şoför sayısı 68 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Bu sonuçlar Tablo 2'nin oluşturulan modelle çözülmesi sonucu elde edilmiştir. Tablo 3'te satırlar kişileri, sütunlar ise gün içindeki çalışma saatlerini göstermektedir. Örneğin, 1. satır 1 numaralı personelin gün içindeki ilk 7 saat boyunca çalıştığını göstermektedir. Tabloda aynı satırın tekrar etmesi durumunda sayfada yer kazanılması açısından üç nokta işareti kullanılmıştır.

Tablo 3. Yedi Saat Çalışılması Durumundaki Oluşacak Çizelge

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
6	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
7	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
8	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
9	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
10	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
11	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7
12	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	7
13	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	7
14	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	7
15	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	7
16	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
17	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	7
18	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
26	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
27	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	7
28	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
29	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	7

Tablo 3. Yedi Saat Çalışılması Durumundaki Oluşacak Çizelge (devamı)

30	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	7
31	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	7
32	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	7
33	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	7
34	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	7
35	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	7
36	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	7
37	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	7
38	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	6
39	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	5
40	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	5
41	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	5
42	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	4
43	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	4
44	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
64	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	64	29	10	6	6	12	9	9	17	30	55	49	19	8	8	8	3	355

Çalışma kapsamında kullanılan modelde kişilerin çalışma saatleri zorunlu tutulmamıştır. Dolayısıyla bir kişi maksimum 7 saat çalışırken, bazı kişiler daha az saat çalışmaktadır. Yapılan çözümde 37 kişi tam performans (7 saat) çalışırken, 1 kişi 6 saat, 3 kişi 5 saat çalışmakta, kalan 27 kişi ise 4 saat veya daha az çalışmaktadır. Model sonuçlarına göre gün içinde 4 saat veya daha az çalışanlar 4 saatlik, daha fazla çalışanlar ise 7 saatlik çalışma ücreti alacaktır. Bu kabullere göre de toplamda 395 saat çalışma ücreti ödenecektir. Bunun 40 saati ise çalışılmadan ödenen ücrettir. Bu sonuç %10'luk bir kayıp anlamına gelmektedir. Bu kaybın önüne geçmek için çalışanların gün içinde çalışma saatleri bölünerek toplam 7 saat çalışması yerine mümkün olduğunca tek parça halinde 7 saat çalışması sağlanması önerilmemektedir. Fakat, gün içindeki ihtiyaç duyulan personel sayısı dağılımı bu durumu pek mümkün kılamamaktadır. Dolayısıyla bazı personeller hiç ara vermeden tek zaman diliminde çalışırken bazıları gün içinde 2 ya da 3 farklı zaman diliminde çalışmaktadır. Personellerin çalıştığı zaman dilimleri toplamı hesaplandığında bu sayı 135 olarak bulunmuştur. Bu sayının küçük çıkması personel için daha iyi bir durum oluşturacaktır.

Son olarak, gün içinde kişilerin ilk çalışmaya başlama saatleri ve son bitiş saatleri arasında kalan süreler hesaplanmış ve 68 kişi için toplam 792 saat olarak bulunmuştur (Tablo 4). Maksimum çalışma saatleri arttırılarak farklı çalışma saatleri için yine aynı model çözüldüğünde Tablo 4 elde edilmiştir. Burada 4 saatten az çalışılması durumunda 4, 4 ila 8 saat arasındaki çalışma saatleri için 8, 8 saatten fazla çalışılması durumunda ise çalışılan saat kadar ücret ödemesi yapıldığı kabul edilmiştir.

Tablo 4. Farklı Çalışma Saatleri için Elde Sonuçlar

	Çalışan Şoför Sayısı	Toplam Çalışılan Saat	Toplam Ücret Ödenen Saat	Fazla Ücret Ödenen Saat	Toplam Zaman Dilimi	Toplam Zaman Aralığı
7 saat	68	355	395	40	135	792
8 saat	65	355	388	33	136	792
9 saat	65	355	395	40	134	804
10 saat	65	355	410	55	126	777
11 saat	64	355	423	68	124	770

Tablo 4 incelendiğinde çıkan sonuçların çalışma saatiyle orantılı olarak doğrusal bir şekilde artıp ya da azalmadığı görülmektedir. Burada isteğe bağlı olarak farklı tercihlerde bulunulabilecek bir tablo elde edilmiştir. Çıkan sonuçlara göre günde en fazla 7 saat çalışılan durum hem fazla personel sayısına hem de fazla ücret ödenen çalışma saatinin artmasına neden olmaktadır. Eğer ekonomik açıdan düşünülecek olunursa en ideali günde 8 saat çalışılan durumdur. Çünkü, toplam ücret ödenen saat en küçük bu seçenekte çıkmıştır. Çalışan sayısı bu problemde minimum 64'e düşürülebilmektedir. Eğer çalışan kişilerin menfaati düşünülürse 11 saatlik çalışma durumu en ideal seçenektir. Bu durumda çalışma saati artsa da hem toplam çalışılan zaman aralığı azalmakta hem de toplam çalışılan saat sayısı değişmediği halde toplam ücret ödenen saat sayısı artmaktadır. Bir kişinin her gün 11 saat çalışması durumunu engellemek için, çalışma çizelgesindeki her satırın sabit bir kişiyi temsil etmesi yerine her gün başka kişiyi temsil etmesi sağlanmalıdır. Böylece personellerin çalışma saatleri arasında bir denge sağlanabilecektir.

5. Sonuç ve Öneriler

Giderek büyüyen trafik sorunlarına karşı en ekonomik ve verimli yöntem akıllı ulaşım sistemlerine yönelmek ve toplu taşımayı teşvik etmektir. Günay vd. [15]'in geliştirdiği konsept geleneksel toplu taşıma gibi sabit güzergahlarla duraktan durağa değil rezervasyon sistemiyle çalışan, gelen anlık talebe göre esnek ve dinamik bir şekilde güzergahını belirleyen, kapıdan kapıya ulaşım sağlayan bir hizmettir. Bu durum servis araçlarının farklı günlerdeki ve gün içindeki çalışma zamanlarının sürekli değişkenlik göstermesine yol açmaktadır. Çalışan personel sayısının ihtiyaca göre belirlenmesi daha ekonomik sonuçlar verecektir. Bu nedenle insan gücü kullanarak personel çizelgelemesi yapmak oldukça zorlaşacaktır. Bunun yerine değişen şartlara uyum sağlayabilen bir model oluşturarak yapılacak personel çizelgelemesi hem daha kısa sürede hem de daha verimli sonuçlar üretecektir. Bu çalışma ile oluşturulan ASA konsepti için tam sayılı programlama kullanılarak, değişen şartlara göre çalışması gereken personel sayısını belirleyecek ve çizelgelemesini yapacak bir model oluşturulmuştur.

Personel çizelgeleme problemi için önce minimum personel sayısının belirlenmesi, sonra ise personel çizelgeleme modelinin kurulması şeklinde iki aşamalı bir çözüme gitmek yerine farklı bir çözüm yöntemi geliştirilerek tek bir modelle her iki aşamaya da çözüm getirilmiştir. Yapılan çalışma ile ASA konsepti için oluşturulan modelde belirlenen 81 kişilik personel sayısı 64'e, 478 saatlik çalışma ücreti 388 saate kadar düşürülebilmiştir. Çalışma saatinde ortaya çıkan 90 saatlik fark, %19'luk bir tasarruf yapıldığını göstermektedir. Ayrıca personel sayısına bağlı olarak oluşacak diğer (sigorta vb.) giderler de azalacaktır. Bu da personel çizelgelemesinde önerilen modelin kullanılmasının etkisini göstermektedir. Oluşturulan model ile daha

ekonomik ve verimli sonuçlara ulaşılmış ve farklı önceliklere göre alternatif çözümler üretilmiştir.

Kaynaklar

[1] Al Suleiman, S., Cortez, A., Monzón, A., & Lara, A. (2023). How to improve public transport usage in a medium-sized city: key factors for a successful bus system. European Transport Research Review, 15(1), 47.
[2] Chiou, Y. C., Jou, R. C., & Yang, C. H. (2015). Factors affecting public transportation usage rate: Geographically weighted regression. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 78, 161-177.
[3] Kutlu, K. (2010). Kent İçi Toplu Ulaşımda Akıllı Sistemler. Paper presented at the Transist 2010: Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul, Türkiye.
[4] Özsoy, M. (2005). Ankara'da minibüs (dolmuş) taşımacılığı için yeni bir işletme modeli Çayyolu örneği. (Yüksek Lisans Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Ankara. (911.1.134)
[5] de Oña, J., & de Oña, R. (2015). Quality of service in public transport based on customer satisfaction surveys: A review and assessment of methodological approaches. *Transportation Science*, 49(3), 605–622. https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0544.
[6] dell'Olio, L., Ibeas, A., de Oña, J., & de Oña, R. (2018). Public transport quality of service. Amsterdam: Elsevier.
[7] van Lierop, D., & El-Geneidy, A. M. (2018). Is having a positive image of public transit associated with travel satisfaction and continued transit usage? An exploratory study of bus transit. Public Transportation, 10(2), 241–256. https://doi.org/10.1007/s12469-018-0175-5.
[8] Toan, T. D., Lam, S. H., Meng, M., & Wong, Y. D. (2023). Travel demand management policies: A case study of Singapore and transferability potentials for Hanoi. Case Studies on Transport Policy, 11, 100934.
[9] Baghestani, A., Tayarani, M., Mamdoohi, A. R., Habibian, M., & Gao, O. (2023). Travel Demand Management Implications during the COVID-19 Pandemic: The Case Study of Tehran. Sustainability, 15(2), 1209.
[10] Wang, S., Wang, J., Song, L., Niu, Z., & Hu, X. (2022). Design of two-regional flexible-route bus systems considering interregional demands. Journal of Advanced Transportation, 2022.
[11] Petit, A., & Ouyang, Y. (2022). Design of heterogeneous flexible-route public transportation networks under low demand. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 138, 103612.
[12] Josselin, D., Lang, C., & Marilleau, N. (2009). Modelling dynamic demand responsive transport using an agent based spatial representation. Paper presented at the In ECCS'09, European Conference on Complex Systems, University of Warwick, United Kingdom.
[13] Hatipoğlu, S., Özturk, E. A., & Çubuk, M. K. (2007). Demand Responsive Transit System in Urban Transportation: An Information System Design. JESTECH Engineering Science and Technology an International Journal, 10(4), 239-248.
[14] Finn, B. (2012). Towards large-scale flexible transport services: A practical perspective from the domain of paratransit. Research in Transportation Business & Management, 3, 39-49.

[15] Günay, B., Akgöl, K., Aydın, M. M., & Terzi, S. (2013). Akıllı Servis Araçları Konseptindeki Türel Değişim Potansiyelinin Belirlenmesi. 6. Uluslarası Ulaşım Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul.
[16] Shiau, J. Y., Huang, M. K., & Huang, C. Y. (2020). A hybrid personnel scheduling model for staff rostering problems. Mathematics, 8(10), 1702.
[17] Güngör, İ. (2005). İşgücü Maliyetlerinin Minimizasyonu, Vardiya Planlaması, Modeller, Algoritmalar ve Uygulamalar. Ankara: Asil Yayın Dağıtım.
[18] Çevik, O. (2006). Tam Sayılı Doğrusal Programlama İle İşgücü Planlaması Ve Bir Uygulama. Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi, 8(1), 157-171.
[19] Ocalir-Akunal, E. V. (2016). Decision support systems in transport planning. Procedia Engineering, 161, 1119-1126.
[20] Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. European journal of operational research, 153(1), 3-27.
[21] Gökşen, Y., Aşan, H., Damar, & Muhammet. (2015). İşgücü Planlamasında Bir Karar Destek Sistemi Uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17(1), 53-66.
[22] İpekçi Çetin, E., Kuruüzüm, A., & Irmak, S. (2008). Ekip Çizelgeleme Probleminin Küme Bölme Modeli ile Çözümü. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 3(4), 47-54.
[23] Sarucan, A. (1999). Bir Raylı Ulaşım Sisteminde Personel Çizelgeleme Problemine Bütünleşik Yaklaşım. (Yüksek Lisans Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Konya.
[24] İnan, H. E. (2023). Goal Programming Approach For Service Staff Scheduling Problem In A Restaurant. International Journal of Engineering Research and Development, 15(3), 130-139.
[25] Barnhart, C., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L., Savelsbergh, M. W., & Vance, P. H. (1998). Branch-and-price: Column generation for solving huge integer programs. Operations research, 46(3), 316-329.
[26] Andersson, E., Housos, E., Kohl, N., & Wedelin, D. (1998). Crew pairing optimization. In Operations Research in the Airline Industry (pp. 228-258). US: Springer.
[27] Butchers, E. R., Day, P. R., Goldie, A. P., Miller, S., Meyer, J. A., Ryan, D. M., . . . Wallace, C. A. (2001). Optimized crew scheduling at Air New Zealand. Interfaces, 31(1), 30-56.
[28] El Moudani, W., Cosenza, C. A. N., & Mora-Camino, F. (2001, Haziran 2001). An Intelligent Approach For Solving The Airline Crew Rostering Problem. Paper presented at the Computer Systems and Applications, ACS/IEEE International Conference.
[29] Gamache, M., Soumis, F., Marquis, G., & Desrosiers, J. (1999). A column generation approach for large-scale aircrew rostering problems. Operations research, 47(2), 247-263.
[30] Guo, Y., Mellouli, T., Suhl, L., & Thiel, M. P. (2006). A partially integrated airline crew scheduling approach with time-dependent crew capacities and multiple home bases. European journal of operational research, 171(3), 1169-1181.
[31] Kohl, N., & Karisch, S. E. (2004). Airline crew rostering: Problem types, modeling, and optimization. Annals of Operations Research, 127(1-4), 223-257.
[32] Ryan, D. M. (1992). The solution of massive generalized set partitioning problems in aircrew rostering. Journal of the operational research society, 43(5), 459-467.
[33] Sohoni, M. G., Johnson, E. L., & Bailey, T. G. (2006). Operational airline reserve crew planning. Journal of Scheduling, 9(3), 203-221.
[34] Gershkoff, I. (1989). Optimizing flight crew schedules. Interfaces, 19(4), 29-43.

[35] Yan, S., Wang, S.-S., & Wu, M.-W. (2012). A model with a solution algorithm for the cash transportation vehicle routing and scheduling problem. Computers & Industrial Engineering, 63(2), 464-473. doi:10.1016/j.cie.2012.04.004
[36] Fatnassi, E., Chebbi, O., & Siala, J. C. (2014, 2-5 September 2014). Comparison of two mathematical formulations for the offline routing of Personal Rapid Transit system vehicles. Paper presented at the Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2014 19th International Conference On, Miedzyzdroje.
[37] Demir, Y., & Kürşat İşleyen, S. (2013). Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems. Applied Mathematical Modelling, 37(3), 977-988. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.03.020
[38] Atmaca, E., Pehlivan, C., Aydoğdu, C. B., & Yakıcı, M. (2012). Hemşire çizelgeleme problemi ve uygulaması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(4), 351-358.
[39] Güngör, İ. (2002). Hemşire görevlendirme ve çizelgeleme sorununa bir model önerisi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7(2), 77-94.