

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

EVDE SAĞLIK HİZMETİ SUNAN HEMŞİRELERİN
ERGONOMİK KOŞULLAR ALTINDA GÜNLÜK
ÇİZELGELERİNİN BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

ZEHRA DURAK

DENİZLİ, OCAK - 2024

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



EVDE SAĞLIK HİZMETİ SUNAN HEMŞİRELERİN
ERGONOMİK KOŞULLAR ALTINDA GÜNLÜK
ÇİZELGELERİNİN BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

ZEHRA DURAK

DENİZLİ, OCAK - 2024

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Zehra DURAK



ÖZET

EVDE SAĞLIK HİZMETİ SUNAN HEMŞİRELERİN ERGONOMİK KOŞULLAR ALTINDA GÜNLÜK ÇİZELGELERİNİN BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

ZEHRA DURAK

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. ÖZCAN MUTLU)

DENİZLİ, OCAK - 2024

Evde sağlık hizmeti, hastalık, yaralanma ve ameliyat sonrası iyileşme sürecinde hastalara kendi ev ortamlarında muayene, tetkik, tahlil, tedavi, tıbbi bakım ve rehabilitasyon hizmetlerinin sunulmasını kapsamaktadır. Evde sağlık hizmetleri, hastaların tedavi sürecini alışık oldukları ortamda sevdikleri ile rahat bir şekilde geçirmelerini sağlamakta, hastaları hastane ortamlarındaki enfeksiyon risklerinden korumakta, hastane yüklerini azaltarak sağlık hizmetlerinin daha etkin ve düşük maliyetlerle sunulmasına yardımcı olmaktadır. Bu hizmet özellikle, yatağa bağımlı, yaşlı veya kronik hastalar için büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Yaşlı nüfusun giderek artması ve tıbbi cihazlardaki gelişmeler evde sağlık hizmetlerinin giderek yaygınlaşmasına sebep olmaktadır.

Evde sağlık hizmetlerinin kalitesini arttırmak ve maliyetleri düşürmek için operasyonel ve stratejik düzeyde birçok karar alınması gerekmektedir. Operasyonel düzeyde, tedavi gereksinimine uygun hemşirelerin atanması ve ziyaret planlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu problem evde sağlık hizmetleri rotalama ve çizelgeleme problemi (ESHRCP) olarak isimlendirilmektedir. ESHRCP, hastaların özel ihtiyaçları, ziyaret sıklığı, ziyaret aralığı, hemşire becerileri, mola ve hizmet kalitesiyle ilgili pek çok kısıtı içeren çok boyutlu bir problemdir.

ESHRCP’de dikkat edilmesi gereken boyutlardan birisi de iş yükleridir. Hasta ziyaretleri planlanırken iş yüklerinin hemşireler arasında dengeli bir şekilde dağıtılması gerekmektedir. Literatürde, iş yükleri belirlenirken genellikle çalışma süresi, ziyaret edilen hasta sayısı gibi ölçülebilir büyüklükler kullanılmaktadır. Bu çalışmada iş yükü tanımı genişletilerek, ergonomik riskler de iş yükü içine dâhil edilmiştir. Evde sağlık hemşireleri farklı ortamlarda, çok çeşitli sağlık hizmetleri vermekte ve pek çok ergonomik risk ile karşılaşmaktadır. Bu riskler, hemşirelerin sağlıklarını olumsuz etkileyebilmekte ve uzun vadede kas-iskelet sistemi hastalıkları, tükenmişlik sendromu gibi fiziksel ve zihinsel ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Hasta ziyaretleri hemşirelerin sağlıklarını riske atmayacak şekilde planlanmalıdır. Bu amaçla, bu çalışmada, ergonomik risklere bağlı olarak oluşan hemşire iş yüklerini belirli bir düzeyin altında tutacak yeni bir kısıt ESHRCP’ye dâhil edilmiştir.

Evde sağlık hemşireleri, sürekli seyahat ettikleri ve farklı ortamlarda, çok çeşitli sağlık hizmetleri sundukları için ergonomik risklere bağlı olarak oluşan iş yüklerini belirlemek oldukça zordur. Bu nedenle, bu riskleri belirlemek için hemşirelerin kendi değerlendirmelerini ve deneyimlerini yansıtan öznel değerlendirme yöntemleri kullanılabilir. Bu çalışmada, bu sebeple bir öznel değerlendirme yöntemi önerilmektedir. Bu doğrultuda, hemşirelerin hasta ziyaretlerinde algıladıkları ergonomik riskleri dilsel değişkenler ile ifade edecekleri

bir görev sonrası anketi (GSA) ve bu anketi değerlendirmek için bir bulanık çıkarım sistemi (BS) nerilmiştir. Ayrıca, hemşirelerin iş yükü algıları, zaman içinde hastalara ve ortama alışmalarına ya da tedavi sürecinin seyrine bağlı olarak olumlu veya olumsuz yönde değişebilmektedir. Bu nedenle, bir sonraki ziyaretteki iş yüklerinin tahmin edilmesi için çok durumlu Markov (DM) modeli önerilmiştir.

Hasta ziyaret sayısını maksimum yapan ve aynı zamanda hemşire iş yüklerini azaltan karma tamsayılı programlama ve hedef programlama olmak üzere iki matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modellerin performansını test etmek için rassal olarak test problemleri oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlar, önerilen modellerin hizmet kalitesini düşürmeden hemşirelerin iş yükünü azaltabileceğini ve bu sayede daha dengeli iş çizelgelerinin oluşturulabileceğini göstermiştir. Sonuç olarak, teorik düzeyde yapılan bu çalışmanın gerçek hayat problemlerine uygulanması, hemşire sağlığının korunması ve böylece hastalara daha iyi hizmet sunulması için büyük önem taşımaktadır.



ANAHTAR KELİMELELER: Evde Sağlık Hizmetleri, Ergonomi, izelgeleme ve Rotalama, Bulanık ıkarım Sistemi, ok Durumlu Markov Modeli

ABSTRACT

DETERMINATION OF DAILY SCHEDULES OF HOME HEALTH CARE NURSES UNDER ERGONOMIC CONDITIONS

PH.D THESIS

ZEHRA DURAK

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ÖZCAN MUTLU)

DENİZLİ, JANUARY 2024

Home healthcare includes the services for examination, diagnostics, tests, treatment, medical care, and rehabilitation to patients in their own home environments during illness, injury, and recovery processes after an operation. Home healthcare services allow patients to get their treatment at their home with their loved ones, protect them from risk of infections in hospital environments, and contribute to the more efficient and cost-effective delivery of healthcare services by reducing hospital burdens. This service particularly provides significant convenience for bedridden, elderly, or chronic patients. The increasing elderly population and advancements in medical devices are leading to the growing prevalence of home healthcare services.

To enhance the quality and reduce the costs of home healthcare services, numerous decisions need to be made at both operational and strategic levels. At the operational level, it is necessary to assign nurses according to patients' treatment needs and to determine visit schedules. This problem is referred to as the Home Healthcare Services Routing and Scheduling Problem (ESHRCP). ESHRCP is a multidimensional problem that encompasses various constraints related to specific requirements of patients, visit frequency, visit intervals, nurse skills, breaks, and service quality.

One of the important dimensions to be considered in ESHRCP is workload. It is essential to distribute workloads among nurses in a balanced manner when planning patient visits. In the literature, workload is typically determined using quantities such as working hours and the number of patients visited. In this study, the definition of workload has been extended to include ergonomic risks. Home health nurses provide a wide range of health services in various environments and encounter numerous ergonomic risks. These risks can adversely affect their health and lead to serious physical and mental health problems in the long term, such as musculoskeletal disorders and burnout syndrome. Patient visits should be planned in a way that does not jeopardize the health of nurses. For this purpose, in this study, a new constraint has been added to ESHRCP to keep nurse workloads resulting from ergonomic risks below a certain level.

Determining the workload of home health nurses resulting from ergonomic risks is quite challenging, since they constantly travel and provide various services in different environments. Therefore, subjective assessment methods reflecting nurses' own evaluations and experiences can be used to identify these risks. In this study, a subjective assessment method is proposed. For this purpose, a post-task questionnaire that nurses express their perceived ergonomic risks during patient visits using linguistic variables may be conducted, and a Fuzzy Inference System (FIS)

may be proposed to evaluate this survey. Additionally, perceived workloads of nurses may change over time depending on their familiarity with patients and the environment, as well as the level of treatment. Therefore, a Multi-State Markov (MSM) model is proposed to predict workload for the next visit.

A mixed integer programming and a goal programming (GP) model is developed to maximize the number of patient visits while simultaneously reducing nurse workloads. To test the performance of these models, problem instances are generated. Experimental results demonstrate that the proposed models can reduce nurses' workload without degrading service quality, thereby enabling the creation of more balanced work schedules. In conclusion, applying this theoretical study to real-life problems is crucial for nurse health, which, in turn, allows them to offer better services to patients.



KEYWORDS: Home Health Services, Ergonomics, Scheduling and Routing, Fuzzy Inference System, Multi-State Markov Model

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Literatüre Katkısı	2
1.2 Yöntem	3
1.3 Tezin Organizasyonu.....	6
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	7
3. İŞ YÜKÜ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ	12
3.1 Gözleme Dayalı İş Yükü Değerlendirme Yöntemleri	12
3.2 Fizyolojik Ölçümlere Dayalı İş Yükü Değerlendirme Yöntemleri	13
3.3 Öznel Değerlendirmeye Dayalı İş Yükü Değerlendirme Yöntemleri	15
3.4 İş Yükü Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	16
4. EVDE SAĞLIK HEMŞİRELERİNİN İŞ YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ	19
4.1 Görev Sonrası Anket	21
4.2 Bulanık Çıkarım Sistemi	23
4.2.1 Bulanık Mantık ve İş Yükü Değerlendirme Alanındaki Uygulamaları	23
4.2.2 Evde Sağlık Hemşirelerinin İş Yüklerinin Bulanık Çıkarım Sistemi ile Belirlenmesi	25
4.3 Çok Durumlu Markov Modeli.....	34
4.3.1 Çok Durumlu Modelleme Yaklaşımı ve Uygulama Alanları	34
4.3.2 Evde Sağlık Hemşirelerinin İş Yüklerinin Çok Durumlu Markov Modeli ile Tahmin Edilmesi	38
5. EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ ROTALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMİ	42
5.1 Problemin Tanımı ve Varsayımlar	43
5.2 Karma Tamsayı Doğrusal Model	46
5.3 Hedef Programlama Modeli	49
6. UYGULAMA	53
6.1 Veri Setlerinin Oluşturulması.....	53
6.2 Deneysel Sonuçlar	54
6.2.1 Karma Tam Sayılı Doğrusal Model	54
6.2.1.1 Örnek Problem	55
6.2.1.2 Duyarlılık Analizi	57
6.2.1.3 Büyük Boyutlu Problemlerin Çözüm Sonuçları	58
6.2.2 Hedef Programlama Modeli.....	61
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
7.1 Bulgular	63
7.2 Katkıların Özetlenmesi	65

7.3 Sınırlamalar ve Gelecek Araştırma Alanları	67
8. KAYNAKLAR.....	69
9. EKLER.....	85
EK A Veri Setleri	86
EK B Tam Sayılı Doğrusal Molede Ait Örnek Sonuçlar	95
EK C Hedef Programlama Modeline Ait Örnek Sonuçlar	99



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çözüm yönteminin kavramsal çerçevesi.	5
Şekil 4.1: Bulanık çıkarım sistemlerinin genel yapısı.....	25
Şekil 4.2: Önerilen BÇS'nin genel yapısı	26
Şekil 4.3: BÇS modelinin Fuzzy Logic Toolbox görünümü	28
Şekil 4.4: Girdi değişkenlerine ait Fuzzy Logic Toolbox görünümleri	29
Şekil 4.5: Çıktı değişkenine ait Fuzzy Logic Toolbox görünümü	31
Şekil 4.6: Fuzzy Logic Toolbox kural giriş ekranı	33
Şekil 4.7: Fuzzy Logic Toolbox “rule viewer” görünümü.....	34
Şekil 4.8: ÇDM modeli örnekleri.....	36
Şekil 4.9: Geçiş diyagramı örneği.....	37
Şekil 4.10: ÇDM modeline ait geçiş diyagramı	40
Şekil 5.1: ESHRÇP'nin grafik gösterimi	44

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: ESHRÇP’de iş yükünü dikkate alan çalışmalar.....	10
Tablo 3.1: İş yükü değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması	17
Tablo 4.1: Görev sonrası anket	21
Tablo 4.2: Geliştirilen BÇS’ye ait kural yapısı	32
Tablo 4.3: Örnek bir hemşire için geçmiş dönemlere ait iş yükü verileri.....	38
Tablo 4.4: Örnek geçiş olasılığı matrisi	40
Tablo 4.5: Son hasta ziyaretindeki iş yükü durumuna göre tahmin sonuçları ..	41
Tablo 6.1: Örnek problemlerdeki hasta ve hemşire sayıları	54
Tablo 6.2: Örnek problemin parametreleri.....	56
Tablo 6.3: En iyi çözümde hemşirelere atanan hastalar ve iş yükleri.....	57
Tablo 6.4: Duyarlılık analizi sonuçları	58
Tablo 6.5: 2, 4-8 Nolu problemlerin Durum 1 ve Durum 2 ile çözüm sonuçları	60
Tablo 6.6: Hedef programlama modelinin çözümünden elde edilen sonuçlar..	62

KISALTMALAR LİSTESİ

AET	: Arbeitswissenschaftliches Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (Ergonomic Job Analysis Procedure)
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANFIS	: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System Algorithm
ANN	: Artificial Neural Network
BÇS	: Bulanık Çıkarım Sistemi
ÇDM	: Çok Durumlu Markov
ESH	: Evde Sağlık Hizmetleri
ESHRÇP	: Evde Sağlık Hizmetleri Rotalama ve Çizelgeleme Problemi
EWSI	: Ergonomic Workload Stress Index
FLT	: Fuzzy Logic Toolbox
GAMS	: General Algebraic Modelling System
GHQ-12	: 12-item General Health Questionnaire
GSA	: Görev Sonrası Anket
LUBA	: Postural Loading on the Upper Body Assessment
NASA-TLX	: NASA- Task Load Index
OCRA	: Occupational Repetitive Actions
OMS	: Ortalama Mutlak Sapma
OWAS	: Ovako Working Posture Analysis
OWL	: Overall Workload Level
PAQ	: Position Analysis Questionnaire
PATH	: Posture, Activity, Tools and Handling
PLIBEL	: Plan for Identifying av Belastnings faktorer (Method for Identification of Ergonomic Hazards)
REBA	: Rapid Entire Body Assessment
RULA	: Rapid Upper Limb Assessment
SI	: Strain Index
SWAT	: Subjective Workload Assessment Technique

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sürecinde engin birikimi ile bana rehberlik eden değerli danışman hocam Doç. Dr. Özcan Mutlu'ya anlayışlı ve özverili yaklaşımı için teşekkür ediyorum. Tez İzleme Komitesi'nde yer alarak bana yeni perspektifler kazandıran Prof. Dr. Aşkîner Güngör ve Prof. Dr. Velittin Kalınkara'ya akademik katkıları, manevi destekleri ve kıymetli zamanları için teşekkürlerimi sunuyorum.

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde görev yapan kıymetli hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma; akademik tavsiyeleri ve içten dostlukları için teşekkür ediyorum.

Koşulsuz sevgisi ile en büyük destekçim olan annem Gülnur Taşcı ve babam İzzet Edip Taşcı'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Kardeşim Burak Taşcı'ya her zaman yanımda olduğu için teşekkür ediyorum.

Bu yolculukta bana sürekli cesaret, umut ve güç veren sevgili eşim Murat Durak'a ve yolumu aydınlatan oğullarım Yunus Emre Durak ile Umut Eren Durak'a çok teşekkür ediyorum.

Zehra Durak

Denizli, Ocak, 2024

1. GİRİŞ

Hastalara evlerinde uzun süreli tıbbi destek sağlayan evde sağlık hizmetlerine (ESH) olan talep, küresel düzeyde her geçen gün artmaktadır (Di Mascolo ve diğ. 2021). Bu talebin temel nedenlerinden biri, dünya nüfusunun hızla yaşlanmasıdır. 2020 yılında dünya nüfusunun %9,3'ünü 65 yaş ve üstü bireyler oluştururken, bu oranın 2050 yılında %16'ya yükselmesi beklenmektedir (United Nations 2020). Yaşlı nüfustaki bu hızlı artışın yanı sıra son yıllarda hasta-merkezli bakım yaklaşımına olan ilginin artması, karar vericileri ESH'ye yönlendirmektedir (Keebler ve diğ. 2022). Ayrıca, yakın geçmişte yaşadığımız COVID-19 pandemisi sırasında hastanelerde kapasite sorunları ortaya çıkmış, özellikle yaşlı ve kronik hastalık sahibi bireyler için yüksek bulaş riski hayati tehlike oluşturmuştur. Bu durum, evde sağlık hizmetlerinin sağlık sektöründeki kritik rolünü daha belirgin hale getirmiştir.

ESH, hastane doluluk oranlarını düşürme, hasta memnuniyetini artırma ve hizmet kalitesini iyileştirme açısından önemli bir alternatif olarak görülmektedir (Nikzad ve diğ. 2021). Ayrıca, hastaya kendi ev ortamında ESH sunmanın, çoğu durumda hastanın psikolojik durumunu olumlu etkileme ve sağlık harcamalarını azaltma açısından avantajlı olduğu belirtilmektedir (Moscato ve diğ. 2021). Ancak, ESH sistemleri sunduğu avantajların yanı sıra tasarım, finans ve hizmet alanlarında ele alınması gereken karmaşık karar verme süreçleri ve optimizasyon problemleri içermektedir. ESH alanında gerçekleştirilen optimizasyon çalışmalarının çoğunluğu evde sağlık hizmetleri rotalama ve çizelgeleme problemi (ESHRÇP) üzerinde yoğunlaşmaktadır (Grieco ve diğ. 2021).

ESHRÇP, evde sağlık personelinin hastalara atanması, çalışma saatlerinin planlanması ve seyahat rotalarının belirlenmesi gibi faaliyetlerin yönetimsel düzenlemeler ve sektöre özgü kısıtlar altında gerçekleştirilmesini gerektirmektedir (Fikar ve Hirsch 2017). Literatürdeki pek çok çalışmada, zaman pencereli araç rotalama probleminin varyasyonu olarak tanımlanan ESHRÇP çok yönlü ve karmaşık yapısı ile NP-Hard problem sınıfında yer almaktadır (Liu ve diğ. 2021^a). ESHRÇP literatürü incelendiğinde, araştırmacıların ESH sektörüne özgü çok sayıdaki amaç ve

kısıtın farklı kombinasyonlarını probleme dâhil ettiği görülmektedir. Bu tez çalışmasında, klasik ESH kısıtlarının yanı sıra, ergonomi konusunu ESHRÇP'ye dâhil eden özgün bir iş yükü kısıtı dikkate alınmıştır.

İlerleyen bölümlerde, tezin amacı ve ESHRÇP literatürüne katkısı ile tezin metodolojisi ve evde sağlık hemşirelerinin iş yükünü azaltma stratejileri açıklanmıştır.

1.1 Tezin Amacı ve Literatüre Katkısı

ESH planlaması sırasında göz önünde bulundurulması gereken temel noktalardan biri, sistem paydaşlarının konu ile ilgili farklı bakış açılarına sahip olmalarıdır. ESH sağlayan kuruluşlar ile sistemde yer alan hastalar ve sağlık profesyonelleri, sistem performansı ile ilgili farklı beklentilere sahiptir (Burgess 2012). Örneğin, hastalar için zamanında ve talep ettikleri personelden hizmet almak önemliyken, ESH kuruluşları için maliyet ve verimlilik unsurları önem arz etmektedir. Evde sağlık hemşireleri açısından ESH planlamasına dâhil edilmesi gereken en kritik konu ise adil ve dengeli iş yükü dağılımıdır. Aşırı iş yükü, hemşireler arasında kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının ve tükenmişlik sendromu gibi mental sorunların yaygın şekilde görülmesine neden olmaktadır (Amin ve diğ. 2020, Cooper ve diğ. 2016). Ayrıca hemşireler arasındaki adil olmayan iş yükü dağılımı iş yerinde huzursuzluklara ve performans düşüşlerine neden olabilmektedir. Bu tez çalışmasında, hasta ve ESH kuruluşları açısından önemli olan, hizmet kalitesi ve yasal zorunluluklar gibi unsurların yanı sıra, ESH personeli açısından önemli olan iş yükü konusu özgün bir şekilde ele alınmıştır.

ESHRÇP literatüründe, iş yükü genellikle ziyaret edilen hasta sayısı, toplam çalışma saati, seyahat süresi/mesafesi gibi nicel faktörlere dayalı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise evde sağlık hemşirelerinin ESH sistemlerine özgü ergonomik risk faktörleri karşısındaki iş yükü algısını dikkate alan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla ilk kez bu çalışmada, sağlık sektörü için birincil önceliğe sahip olan ergonomi konusu ESHRÇP'ye dâhil edilmiştir. Ancak, evde sağlık hemşireleri için ergonomik faktörleri dikkate alarak iş yüklerini belirlemek oldukça zordur. Bu durumun temel nedeni, evde sağlık hemşirelerin gün içinde farklı ortamlarda çalışması ve genellikle iş yükü algılarına etki edebilecek farklı mesleki ve

kişisel deneyimlere sahip olmasıdır. Bu doğrultuda, ESH alanında iş yükü ve ergonomi konuları ele alınırken, bireysel ihtiyaçların anlaşılması ve spesifik çözümler geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, hemşirelerin en az yüklenmeye maruz kalacakları hastalara atanmasını sağlayacak ve günlük toplam iş yüklerini azaltacak şekilde iş çizelgeleri oluşturmaya yönelik bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, ayrıca, ergonomik risk faktörlerine bağlı olarak oluşan iş yükü algısının zaman içinde değişebileceği dikkate alınmıştır. Bir evde sağlık hemşiresinin, belirli bir hastaya gerçekleştirdiği ziyaretler sırasında karşılaştığı ergonomik riskler karşısındaki iş yükü algısı, zaman içinde olumlu veya olumsuz yönde değişebilmektedir. Zaman içinde meydana gelen bu iş yükü değişkenliğini probleme dâhil etmek için çok durumlu Markov (ÇDM) yaklaşımından faydalanılmıştır. Geliştirilen ÇDM modeli ile her bir hemşire-hasta ikilisi için bir sonraki ziyarete yönelik tahmini iş yükü değerleri belirlenmektedir. Bu tahmin değerlerinin geliştirilen matematiksel modellerde kullanılması ile hemşirelerin belirlenen günlük toplam iş yükünü aşmayacağı şekilde iş çizelgeleri oluşturmak amaçlanmaktadır.

1.2 Yöntem

Tez çalışması kapsamında evde sağlık hemşirelerinin maruz kaldığı ergonomik risk faktörlerini dikkate alarak, fiziksel ve zihinsel sağlıklarını riske atmayacak şekilde hasta ziyaret çizelgelerinin oluşturulmasını amaçlayan bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir.

Çözüm yöntemi geliştirilirken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

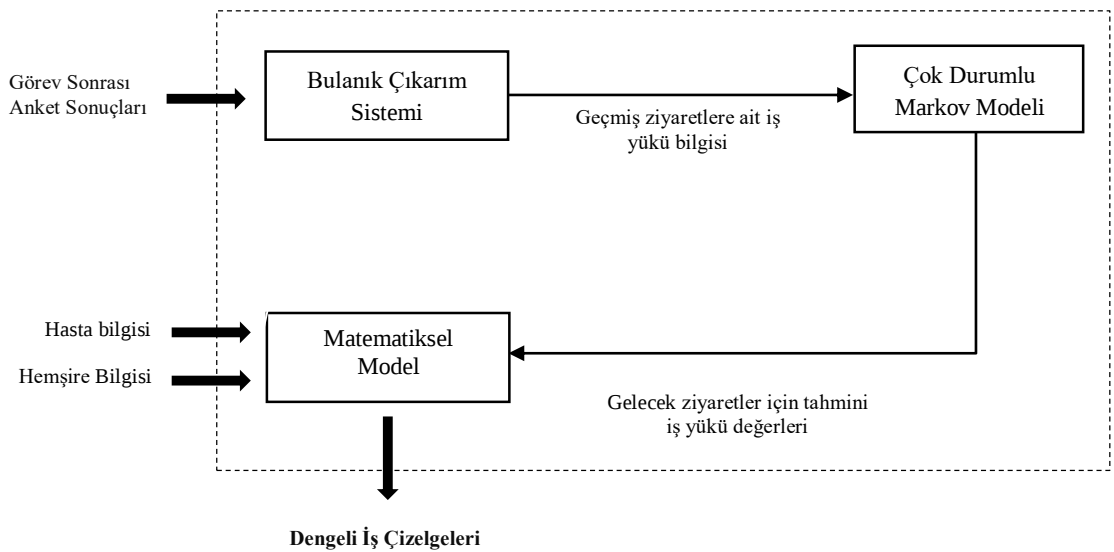
1. Ergonomik Risk Faktörlerinin Belirlenmesi: Evde sağlık hemşirelerinin üzerinde iş yükü oluşturabilecek genel veya sektöre özel pek çok ergonomik risk faktörü bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında bu riskler, fiziksel, zihinsel ve çevresel olmak üzere üç başlık altında ele alınmıştır.
2. İş Yükü Değerlendirme Yönteminin Belirlenmesi: Evde sağlık sistemlerinde çalışan hemşireler hasta ziyaretleri sırasında farklı çalışma ortamları ile karşı karşıya kalmaktadır. Çalışma ortamlarının sürekli olarak

değişkenlik göstermesi, hemşirelerin gün içinde oluşan iş yüklerini belirlemeyi zorlaştırmaktadır. ESH sistemlerinde, ergonomi literatüründeki, genellikle sabit çalışma ortamları için iş yüklerini veya ergonomik riskleri belirlemeye yönelik geliştirilen yöntemleri kullanmak oldukça zordur. Bu nedenle, bu çalışmada subjektif değerlendirme yöntemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu doğrultuda, evde sağlık hemşirelerinin kendi iş yüklerini değerlendirmelerine imkân veren bir görev sonrası anket (GSA) tasarlanmıştır. Teorik bir temele dayanan tez çalışmasında gerçek kişilerle anket uygulaması gerçekleştirilmemiştir. Uygulama aşamasında, rassal olarak üretilen anket sonuçları kullanılmıştır.

3. İş Yüklerinin Belirlenmesi: GSA anketi ziyaret ve seyahat sırasında hemşirelerin karşılaştıkları fiziksel, mental ve çevresel ergonomik risklere yönelik sorular içermektedir. Hemşireler, GSA’da yer alan sorulara “Hiç”, “Düşük düzeyde”, “Orta düzeyde”, “Yüksek düzeyde” şeklindeki sözel seçeneklerden birisini tercih ederek cevap vermektedir. Böylelikle hemşirelerin gerçekleştirdikleri her bir hasta ziyaretine yönelik iş yükü algıları ile ilgili dilsel değişkenler içeren veriler elde edilmektedir. Söz konusu verileri sayısallaştırmak amacıyla bir bulanık çıkarım sistemi (BÇS) geliştirilmiştir.
4. Gelecek Dönem İş Yüklerinin Tahmin Edilmesi: Evde sağlık hemşirelerinin iş yükü algıları hastanın sağlık durumundaki gelişmeler, hasta ve çalışma ortamına uyum vb. pek çok sebebe bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Hemşire-hasta ikilileri için bir sonraki ziyarete ait iş yükünün belirlenmesinde iki farklı yöntem kullanılabilir. Birincisi, bir önceki ziyaret için hesaplanan iş yükü puanını direkt olarak kullanmaktır. İkincisi ise hemşirelerin iş yüklerinin zaman içinde değişebileceğini göz önünde bulundurarak geçmiş ziyaretlerden elde edilen iş yüklerinden bir sonraki ziyaretteki iş yükünü tahmin etmektir. Bu tez çalışmasında, zaman içinde meydana gelen iş yükü değişkenliğini probleme dâhil etmek için çok durumlu Markov (ÇDM) yaklaşımından faydalanılmıştır. ÇDM ile elde edilen tahmin değerleri geliştirilen matematiksel modellerde kullanılmakta ve böylece hemşirelerin belirlenen günlük toplam iş yükünü aşmayacağı şekilde iş çizelgeleri oluşturulmaktadır.

5. Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi: Bu tez çalışmasının amacı, ESH hemşireleri üzerinde ergonomik risklere bağlı olarak oluşan iş yüklerini dikkate alarak günlük ziyaret edilecek hasta sayısını maksimum yapacak şekilde hemşire-hasta atamalarını, rotaları ve günlük iş çizelgelerini belirlemektir. Bu amaçla, karma tam sayılı doğrusal programlama modeli ve hedef programlama modeli olmak üzere iki farklı matematiksel model geliştirilmiştir.

Şekil 1.1’de tezde kullanılan çözüm yöntemi grafik olarak verilmektedir. Evde sağlık hemşirelerinin hasta ziyaretleri sırasında maruz kaldıkları ergonomik riskler karşısındaki iş yükü algıları, GSA’lardaki sözel değişkenler kullanılarak toplanmaktadır. Daha sonra, GSA verileri, tasarlanan BÇS ile sayısallaştırılmakta ve hemşire-hasta ikilileri için iş yükü puanları elde edilmektedir. Geliştirilen ÇDM modeli ile hemşire-hasta ikilileri için sonraki ziyaretlere yönelik tahmini iş yükü değerleri belirlenmektedir. Son olarak, matematiksel model, hasta bilgisini (sağlık hizmeti için gerekli bilgiler, konum, ziyaret aralığı), hemşire bilgisini (beceri, zaman penceresi) ve tahmini iş yükü bilgisini kullanarak günlük ziyaret edilecek hasta sayısını maksimum yapacak ve toplam iş yükü seviyesini minimum yapacak şekilde hemşirelerin günlük ziyaret edecekleri hastaları ve ziyaret rotalarını belirlemektedir. Böylece, hemşireler için dengeli iş çizelgeleri elde edilmektedir.



Şekil 1.1: Çözüm yönteminin kavramsal çerçevesi

Çözüm yöntemi ile ilgili detaylı bilgi ilerleyen bölümlerde sunulmuştur.

1.3 Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde ESH ve ESHRÇP ile ilgili temel açıklamaların yapılmasının ardından tezin amacı, literatüre katkısı ve organizasyonu açıklanmıştır. İkinci bölümde iş yükü konusunu ESHRÇP'ye dâhil eden çalışmalara odaklanan literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, ESH alanında uygulanabilecek en uygun iş yükü değerlendirme yönteminin seçilebilmesi amacıyla gerçekleştirilen araştırma sonuçları sunulmuştur. Dördüncü bölümde, evde sağlık hemşirelerinin iş yükü algılarının belirlenmesi, iş yükü puanlarının elde edilmesi ve gelecek dönem iş yükü değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilen GSA, BÇS ve ÇDM'nin detayları yer almaktadır. Beşinci bölümde, evde sağlık hemşireleri açısından sağlıklı iş çizelgeleri üretmek amacıyla geliştirilen matematiksel modeller açıklanmıştır. Altıncı bölümde, önerilen çözüm yönteminin uygulamasına ve çeşitli senaryolar dâhilinde elde edilen deney sonuçlarına yer verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen bulgular paylaşılarak önerilen çözüm yönteminin katkıları ve kısıtlamaları doğrultusunda gelecek dönem çalışma önerileri sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Evde sağlık hizmetleri (ESH), birçok unsurun aynı anda dikkate alınmasını gerektiren karmaşık planlama problemleri içermektedir. Abdalkareem ve diğ. (2021), Gutiérrez ve Vidal (2013), Sahin ve Matta (2015), Grieco ve diğ. (2021) tarafından ortaya konulan literatür çalışmalarında, ESH tasarım ve planlama aşamasında karşılaşılan karar problemleri geniş çerçevede ele alınmaktadır. İlgili literatür incelendiğinde, ESH planlaması alanındaki optimizasyon çalışmalarının büyük çoğunluğunun rotalama ve çizelgeleme konularına odaklandığı görülmektedir.

Fernandez ve diğ. (1974) tarafından, İngiltere'deki hemşirelerin günlük çalışma planları ile ilgili geliştirilen model, evde sağlık hizmetleri rotalama ve çizelgeleme problemi (ESHRÇP) alanındaki ilk çalışma olarak kabul edilmektedir (Fikar ve Hirsch 2017). 2000'li yılların başlarından itibaren ESHRÇP büyük bir ilgi görmüş, problemi farklı açılardan ele alan pek çok çalışma yapılmıştır (detaylı literatür bilgisi için bkz: Fikar ve Hirsch 2017, Cissé ve diğ. 2017, Di Mascolo ve diğ. 2021).

Genel olarak, ESHRÇP, ESH sistemlerine özgü kısıtların entegre edildiği zaman pencereli araç rotalama probleminin genişletilmiş bir versiyonu olarak tanımlanabilir (Akjiratikarl ve diğ. 2007). ESHRÇP'de araç rotalama probleminden farklı olarak hizmet sürekliliği, senkronizasyon, hasta öncelikleri, hasta tercihleri, öğle molası, hemşire becerileri vb. kısıtlar yer alabilmektedir.

ESH sistemlerinde, bir hastayı sürekli olarak aynı hemşirenin ziyaret etmesi veya hastaların hemşire tercihinde bulunabilmesi hizmet kalitesi açısından önemli olabilmektedir. Bu koşulları sağlamak için, geliştirilen matematiksel modellere, hastalara tedavi sürecinde aynı hemşirenin atanmasını sağlayan süreklilik kısıtları ve hastaların istedikleri hemşireden hizmet almasına olanak tanıyan tercih kısıtları ilave edilmektedir (Bowers ve diğ. 2015, Bertels ve Fahle 2006).

Bazı hastaların tedavi ihtiyaçlarına bağlı olarak aynı anda birden fazla sağlık profesyoneli tarafından ziyaret edilmesi gerekebilmektedir. Bunun için matematiksel modellere senkronizasyon kısıtları ilave edilmektedir (Eveborn ve diğ. 2006). Bazı durumlarda ise hastaların bakım ihtiyaçlarına göre ziyaret önceliklerinin tanımlanması

gerekmektedir. Tanımlanan önceliklerin matematiksel modellere aktarılması amacıyla öncelik kısıtlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Bredström ve Rönnqvist 2008).

Evde sağlık hemşirelerinin, yasal zorunluluklar gereği belirli saatlerde öğle molası vermesi gerekmektedir. Bu zorunluluğu, ESHRÇP'nin çözümüne dâhil etmek amacıyla mola kısıtları tanımlanmaktadır (Bachouch ve diğ. 2011). Gerçek hayat uygulamalarında evde sağlık hemşireleri farklı özelliklere ve beceri düzeylerine sahiptir. Bu doğrultuda, bir ESH sisteminde çalışan hemşireler, kendi beceri düzeylerine göre belirli hastalara hizmet verebilmektedir. Bu durumun matematiksel modellere yansıtılması amacıyla beceri kısıtlarından faydalanılmaktadır (Dohn ve diğ. 2009).

Evde sağlık hemşireleri için ziyaret planlaması yapılırken hizmet kalitesi ve maliyetlerle ilgili pek çok amacın göz önünde bulundurulması gerekmektedir. ESHRÇP literatüründe genellikle seyahat sürelerinin (Hindle ve diğ. 2000), seyahat maliyetlerinin (Rasmussen ve diğ. 2012), fazla mesai sürelerinin (Trautsamwieser ve Hirsch 2011), bekleme sürelerinin (Redjem ve Marcon 2016) ve iş yüklerinin (Hertz ve Lahrichi 2009) minimum yapıldığı çalışmalar yer almaktadır.

Di Mascolo ve diğ. (2021), ESHRÇP konusunda ele alınan amaçları, maliyet kriterlerinin optimizasyonu ve hizmet kalitesi/iş yerinde refah ile ilgili kriterlerin optimizasyonu şeklinde iki ana gruba ayırmıştır. Maliyet kriterleri, seyahat ve personel giderleri ile ilgilidir. Hizmet kalitesi ile ilgili kriterler, hastaların zaman penceresi dâhilinde ziyaret edilmesi, bakım sürekliliğinin sağlanması, hasta tercihlerinin karşılanması ve karşılanamayan talebin en küçüklenmesi ile ilgilidir. İş yerinde refah kriteri ise iş yükü dengeleme konusunu kapsamaktadır. Araştırmacıların inceledikleri çalışmaların %90'ında en az bir maliyet kriteri dikkate alınırken, hizmet kalitesi ve iş yerinde refahın optimizasyonu ile ilgili en az bir kriteri dikkate alan çalışmaların oranı %58'de kalmıştır. Diğer yandan, hizmet kalitesi ve iş yerinde refahın optimizasyonu ile ilgili çalışmaların sadece %19'unda iş yükü dengeleme konusuna yer verilmiştir. Bu bulgular, ESHRÇP literatüründe maliyet unsurları vurgulanırken, hastaların ve özellikle hemşirelerin refahı ile ilgili kriterlerin geri planda kaldığını göstermektedir.

ESH sistemlerinde istenen hizmet kalitesinin sağlanabilmesi için, hemşirelerin iş yoğunluklarının ve stres düzeylerinin dikkate alınması gerekmektedir. Yoğun ve

stresli çalışma ortamı, hemşirelerin fiziksel ve zihinsel sağlığını olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu nedenle hemşirelerin gün içinde karşılaştıkları iş yükleri dikkate alınarak hasta ziyaretlerinin planlanması gerekmektedir. Bu tez çalışmasının temel amacı bu konuya vurgu yapmaktır.

ESHRÇP literatüründe, hemşire iş yüklerini ele alan sınırlı sayıda çalışma yer almaktadır. Tablo 2.1’de bu çalışmalardan bazılarına yer verilmiştir. Hemşire iş yükleri belirlenirken genellikle seyahat süresi/mesafe, ziyaret edilen hasta sayısı, fazla mesai süresi, çalışma süresi gibi ölçülebilir kriterler kullanılmaktadır.

Bredström ve Rönnqvist (2008) öncelik ve senkronizasyon kısıtlarını dikkate alarak, hemşirelerin ziyaretler sırasında kat ettikleri mesafeleri ve hemşireler arasında oluşan iş yükleri arasındaki maksimum farkı enküçüklemeye çalışmıştır. Çalışmada, çalışanların seyahat süreleri iş yüküne dâhil edilmemiş sadece tedavi süreleri arasındaki ikili farklar dikkate alınmıştır.

Barrera ve diğ. (2012) en az kaynak kullanımı ile sağlık hizmeti taleplerinin karşılanmasını ve iş yükünün dengelenmesini sağlayacak şekilde ziyaret rotalarını belirlemeyi amaçlamıştır. Araştırmacılar, hemşirelerin iş yükünü dengelemek amacıyla, atanan hasta sayıları arasındaki maksimum farkı enküçüklemeye çalışmıştır.

Lanzarone ve Matta (2014), hizmet sürekliliği kısıtını ve yeni hasta taleplerindeki değişkenliği dikkate alarak hemşirelerin maksimum fazla mesai saatlerini minimum yapmak için bir hedef programlama modeli geliştirmiştir. Araştırmacılar geliştirdikleri yaklaşım ile fazla mesai sürelerinin düşürülmesi sonucunda iş yüklerinin daha dengeli olacağını belirtmiştir.

Alves ve diğ. (2022), seyahat mesafesini, seyahat süresini ve ziyaret için gerekli araç sayısını en aza indirmek için çok amaçlı programlama yaklaşımını kullanarak bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Araştırmacılar geliştirdikleri karar destek sistemi ile seyahat süresi ve mesafesi açısından dengeli rotalar oluşturduklarını belirtmiştir.

Tablo 2.1 ESHRÇP’de iş yükünü dikkate alan çalışmalar

Kaynaklar	ÇS/HS	SS/SM	ZHS	FM	ER	HİY
Alves ve diğ. (2022)		+				
Bahadori-Chinibelagh ve diğ. (2022)		+				
Barrera ve diğ. (2012)			+			
Bredström ve Rönnqvist (2008)	+					
Cappanera ve Scutellà (2015)	+					
Cappanera ve diğ. (2018)	+	+				
Carello ve diğ. (2018)	+			+		
Chaieb ve diğ. (2020)	+		+			
Decerle ve diğ. (2018)	+					
Decerle ve diğ. (2019)	+					
Fathollahi-Fard ve diğ. (2018 ^a)		+				
Fathollahi-Fard ve diğ. (2018 ^b)		+				
Fathollahi-Fard ve diğ. (2019)		+				
Gomes ve Ramos (2019)	+	+				
Grenouilleau ve diğ. (2019)	+					
Hertz ve Lahrichi (2009)		+	+			+
Kordi ve diğ. (2023)	+					
Lanzarone ve Matta (2014)				+		
Liu ve diğ. (2013)		+				
Liu ve diğ. (2014)		+				
Liu ve diğ. (2021 ^b)	+					
Ma ve diğ. (2023)			+			
Masmoudi ve diğ. (2023)	+					
Milburn ve Spicer (2013)			+			
Mutingi ve Mbohwa (2014)	+	+				
Nasir ve Dang (2018)	+					
Rodriguez ve diğ. (2015)	+					
Shao ve diğ. (2012)			+			
Yalçındag ve diğ. (2016 ^a)	+	+				
Yalçındag ve diğ. (2016 ^b)			+			
Yang ve diğ. (2021)			+			
Durak ve Mutlu (2024)					+	+
Toplam	16	12	8	2	1	2
ÇS: Çalışma süresi, HS: Hizmet süresi, SS: Seyahat süresi, SM: Seyahat mesafesi, ZHS: Ziyaret edilen hasta sayısı, FM: Fazla mesai, ER: Ergonomik riskler, HİY: Hesaplanan iş yükü						

Literatürdeki çalışmalarda, iş yükü olarak genellikle çalışma süresi/hizmet süresi esas alınmıştır. Bazı çalışmalarda, çalışma süresi/hizmet süresine ilave olarak seyahat süresi/mesafe (Mutingi ve Mbohwa 2014, Yalçındağ diğ. 2016, Cappanera diğ. 2018, Gomes ve Ramos 2019), fazla mesai ve ziyaret edilen hasta sayısı gibi faktörler de (Carello ve diğ. 2018, Chaieb ve diğ. 2020) iş yükü içinde değerlendirilmiştir.

Hertz ve Lahrichi (2009) diğer çalışmalardan farklı olarak, iş yükünün, ziyaret yükü, vaka yükü ve seyahat yükü şeklinde tanımladıkları üç faktörün ortak etkisi sonucunda oluştuğunu savunmuşlardır. Çalışmada ilk olarak, iş yüklerini dengelemeye yönelik doğrusal olmayan kısıtlar ve amaç fonksiyonu içeren bir karma tamsayılı model önerilmiştir. Daha sonra, iş yükü ölçümü basitleştirilerek yeni bir doğrusal karma tamsayılı model önerilmiştir.

Bu çalışmada, evde sağlık hemşirelerinin iş yükleri belirlenirken ergonomik riskler göz önünde bulundurulmuştur. Literatürde, evde sağlık hizmetleri (ESH) için ergonomik risklerin önemi üzerine vurgu yapan bazı çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, bu çalışmalarda genellikle sadece ergonomik değerlendirme yöntemlerine, ergonomik riskler ile sağlık sorunları arasındaki ilişkilere ve ergonomik risklerin azaltılması için alınması gereken önlemlere odaklanılmıştır (bkz. Cheung ve diğ. 2006, Suni ve diğ. 2018).

Bu tez çalışmasında ise ergonomik riskler göz önünde bulundurularak hemşirelerin günlük hasta ziyaretleri planlanmaktadır. Bu bağlamda, evde sağlık hemşirelerinin karşılaştıkları ergonomik risk faktörleri nedeniyle oluşan iş yükünü belirlemeye yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel modeller ile hemşirelerin belirlenen iş yükü seviyelerini aşmadan daha dengeli günlük ziyaret çizelgeleri oluşturulmuştur. Bu çalışma, bilimsel bir dergide yayımlanarak literatüre yeni bir bakış açısı sunulmuştur (Durak ve Mutlu, 2024).

3. İŞ YÜKÜ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

İş yerlerinde çalışanlar, mental ve fiziksel açıdan belirli ölçülerde iş yüküne maruz kalmaktadır. Aşırı iş yükleri çalışan sağlığı ve performansı üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Dolayısıyla, çalışanlar üzerindeki zihinsel ve bedensel iş yüklerinin etkilerini azaltmak, dengelemek veya ortadan kaldırmak için iş yüklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Çalışanların maruz kaldıkları iş yüklerini belirlemek için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Genel olarak bu yöntemleri gözleme, fizyolojik ölçümlere ve öznel değerlendirmeye dayalı yöntemler olarak üç sınıfta toplayabiliriz. İş yükü kavramı ilk çalışmalarda genellikle fiziksel iş yükü olarak ele alınmıştır. Bu nedenle çalışma sırasında eller, ayaklar ve gövdenin çalışma pozisyonlarını ve tekrar sayılarını dikkate alan gözleme dayalı yöntemler ön plana çıkmıştır. Ayrıca, işin zorluğuna bağlı olarak solunum hızı, nabız ve göz hareketleri gibi fizyolojik tepkiler de iş yükünün değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Teknolojik ilerlemeler ve otomasyonun artmasıyla birlikte, iş yükü araştırmalarının odak noktası daha çok psikomotor, algısal ve iletişimsel iş yükü gibi farklı türlere kaymıştır (Wierwille ve diğ. 1985). Bu bağlamda, fiziksel iş yükünün yanı sıra mental iş yükü ve toplam iş yükünü belirleme imkânı sunan fizyolojik ve öznel değerlendirmeye dayalı yöntemler önem kazanmıştır.

İş yükü değerlendirme yöntemi seçiminde, işe ve iş ortamına özgü risk faktörlerine uygun olanların tercih edilmesi çalışmaların etkinliği açısından önemlidir. İlerleyen bölümlerde, çeşitli iş ve iş ortamlarına uyarlanabilecek başlıca iş yükü değerlendirme yöntemleri hakkında bilgi sunulmuştur.

3.1 Gözleme Dayalı İş Yükü Değerlendirme Yöntemleri

İş sistemlerinin analizinde, organizasyonel çevre, fiziksel çevre, sosyal çevre, mental iş analizi ve fiziksel iş analizi unsurları ile ilgilenilmektedir (Shoaf ve diğ. 1998, Genaidy ve diğ. 2007). Söz konusu unsurları mikro ve makro boyutta ele alan gözleme dayalı iş yükü değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır. OWAS (Ovako Workig Posture Analysis) (Karhu ve diğ. 1977), REBA (Rapid Entire Body Assessment) (Hignett ve McAtamney 2000), RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

(McAtamney ve Corlett 1993), SI (Strain Index) (Garg ve diğ. 2017), PATH (Posture, Activity, Tools and Handling) (Buchholz ve diğ. 1996), LUBA (Loading on the Upper Body Assessment) (Kee ve Karwowski 2001), OCRA (Occupational Repetitive Actions) (Occhipinti ve Colombini 2005) gibi mikro seviye yöntemler, daha çok fiziksel çevre ve fiziksel iş yükü konularına odaklanmaktadır. PLIBEL (Plan for Identifying av Belastnings faktorer) (Kemmlert, 1995), AET (Abeitswissenschaftliches Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse) (Rohmert ve Landau 1983), PAQ (Position Analysis Questionnaire) (McCormick ve diğ. 1969) gibi makro seviye yöntemler ise sahip oldukları bütünsel yaklaşımla, fiziksel unsurların beraberinde organizasyonel ve sosyal çevre ile mental iş yükünü de dikkate almaktadır.

Gözleme dayalı iş yükü değerlendirme yöntemleri arasında en yaygın kullanılanlar OWAS, RULA ve REBA yöntemleridir (Kee 2022). Bunun nedeni, bu yöntemlerin kullanım kolaylığı ve esneklik sunması, ayrıca uygulama esnasında çalışanlara müdahale etmeye veya işi durdurmaya gerek duyulmamasıdır. Bu yöntemler, çalışanların bedensel pozisyonlarının, hareketlerinin ve iş sırasında aldıkları duruşların gözlemlenmesinin ardından kas iskelet sistemi bozuklukları ile ilişkili risk faktörlerinin analiz edilmesine dayanmaktadır.

RULA ve REBA, McAtamney ve Hignett (McAtamney ve Corlett 1993, Hignett ve McAtamney 2000) tarafından geliştirilmiş risk değerlendirme araçlarıdır. Benzer mekanizmalara sahip olan yöntemler, uygulandıkları vücut bölgeleri noktasında birbirinden ayrılmaktadır. RULA, üst ekstremitelerin (kol, omuz, boyun) REBA ise hem üst hem de alt ekstremitelerin (bacaklar, dizler, ayaklar) hızlı ve kolay bir şekilde değerlendirilmesine imkân sunmaktadır (Hita-Gutiérrez ve diğ. 2020). OWAS, Ovako Steel şirketi tarafından çalışanların postürlerini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş bir risk analiz yöntemidir. Yöntem, postürleri belirli kodlarla sınıflandırarak riskli durumları belirleme ve ergonomik iyileştirmeler önerme konusunda pratik bir yaklaşım sunmaktadır (Karhu ve diğ. 1977).

3.2 Fizyolojik Ölçümlere Dayalı İş Yükü Değerlendirme Yöntemleri

Fizyolojik ölçümlere dayalı yöntemler, çalışanların yüklenme karşısındaki bedensel tepkilerini izleyerek iş yükünü belirlemeyi amaçlamaktadır. Daha teknik ve

doğrudan ölçümlere dayanan bu yöntemler, fizyolojik kriterler ile iş yükü arasında bağlantı kurmaktadır (Charles ve Nixon 2019). Literatürde iş yükünü belirlemeye yönelik fizyolojik ölçüme dayalı pek çok yöntem bulunmakla birlikte, çoğu çalışmada kalp, solunum, göz ve beyin aktivitelerine odaklanılmıştır (Miller 2001).

Kalp aktivitesi, kalp atış hızı, kalp atış hızı değişkenliği ve kan basıncı gibi parametreler kullanılarak ölçülmektedir. En yaygın kullanılan fizyolojik iş yükü değerlendirme yöntemi, kalp aktivitelerinin izlenmesidir. Bunun ilk nedeni, kalp aktivitesi ölçümlerinin gerçek hayat için uygulama kolaylığı sunmasıdır. Ölçümler sırasında çalışanlara rahatsızlık vermeden sürekli zamanlı sonuçlar almak mümkündür. İkinci neden ise, kardiyak ölçümlerin iş yükü için güvenilir bir gösterge olarak kabul edilmesidir (Wilson 1992).

Solunum aktivitesi, kişinin soluduğu hava miktarı ve belirli bir süre içindeki nefes sayısı parametreleri kullanılarak ölçülmektedir. Akciğerlere giren ve çıkan hava hacminin izlenmesi için laboratuvar ortamına ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer yandan, solunum hızı ölçümü, taşınabilir cihazlar ile çeşitli ortamlarda pratik şekilde uygulanabilmesi nedeniyle daha sık tercih edilmektedir (Roscoe 1992).

İş yükü belirlenirken, göz aktiviteleri ölçüm aracı olarak kullanılabilir. En yaygın kullanılan göz aktivitesi ölçüm parametreleri, göz kırpma hızı ve kapanma aralığıdır. Göz kırpma hızı, belirli bir süre içindeki göz kırpma sayısını ifade etmektedir. Göz kırpma hızı, özellikle göz yorgunluğu, dikkat düzeyi ve stres gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Daha hızlı göz kırpma durumu, genellikle artan görsel veya mental iş yüküyle ilişkilendirilmektedir. Kapanma aralığı ise, iki ardışık göz kırpma arasındaki süreyi ifade etmektedir. Kapanma aralığı, göz kırpmaları arasındaki dinlenme veya odaklanma durumlarını göstermektedir. Kısa kapanma aralıkları, genellikle artan dikkat veya zihinsel çaba ile ilişkilendirilmektedir (Van Orden ve diğ. 1999). Göz aktivitesi ölçüm yöntemleri doğrudan ve hızlı bilgi sunma avantajına sahiptir. Diğer yandan, göz aktivitelerinin dış faktörlerden etkilenmesi ve bireyler arasında değişkenlik göstermesi yöntem güvenilirliğini düşürmektedir.

Kalp, solunum ve göz aktivitelerinin izlenmesi sırasında, beynin farklı yüklenme değerleri altında gönderdiği sinyallere göre fizyolojik aktivitelerde oluşan değişimler incelenmektedir. Diğer bir deyişle, bu yöntemler iş yükünü belirlemeye

yönelik beyin aktiviteleri ile ilgili veri toplamak amacıyla kullanılan dolaylı araçlardır. Bu nedenle, doğrudan beyin aktivitelerinin ölçülmesiyle elde edilen sonuçların iş yükü ile ilgili en kesin bilgiyi verdiği kabul edilmektedir. Ancak, beyin aktivitesi ölçümünde özel ekipmanlara duyulan ihtiyaç sistem maliyetini artırmaktadır. Ayrıca, ekipman kullanımı ve verilerin yorumlaması için eğitilmiş personele ihtiyaç duyulabilmektedir (Gevins ve diğ.1995).

3.3 Öznel Değerlendirmeye Dayalı İş Yükü Değerlendirme Yöntemleri

Öznel yöntemlerde, iş yükü çalışanların subjektif algılarına dayalı olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntemler, çalışanların iş ve iş sistemleri ile etkileşimleri hakkındaki geri bildirimlerinin anket ve soru formu gibi araçlar aracılığı ile elde edilmesine dayanmaktadır (Moustafa ve diğ. 2017). Öznel iş yükü değerlendirme yöntemleri tek boyutlu ve çok boyutlu şeklinde iki kategoriye ayrılmaktadır. Tek boyutlu yöntemler genellikle iş yükünü genel bir perspektiften değerlendirmek için kullanılırken, çok boyutlu yöntemler, iş yükünü daha ayrıntılı bir şekilde analiz etmek ve farklı etmenleri anlamak için kullanılmaktadır.

İş yükünün tek bir boyutta değerlendirildiği ve genel bir ölçüyle ifade edildiği yöntemlerin en iyi bilinenleri Modified Cooper-Harper ve Overall Workload ölçekleridir (Miller 2001). Modified Cooper-Harper ölçeğinde, mental iş yükü 0-10 aralığında, Overall Workload ölçeğinde ise genel iş yükü 0-100 aralığında puanlanmaktadır (Hill ve diğ. 1992).

Tek boyutlu yöntemler hızlı ve kolay uygulama avantajına sahiptir. Diğer yandan, bazı çalışmalarda bu yöntemlerin iş yükünün karmaşıklığını ölçmede yetersiz olabileceği belirtilmiştir. Ancak, daha ileri analizlerin ardından tek boyutlu yöntemler geçerlilik kazanmış, hatta bazı durumlarda çok boyutlu yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği kanıtlanmıştır (Vidulich ve Wickens 1986).

İş yükünün, birden fazla faktör veya boyut altında değerlendirildiği çok boyutlu iş yükü değerlendirme yöntemleri arasında en sık kullanılanların ise NASA-TLX (NASA- Task Load Index) ve SWAT (Subjective Workload Assessment Technique) yöntemleri olduğu bilinmektedir (Maldonado-Macías ve diğ. 2020). Bu yöntemlerde

tanımlanan boyutlar, farklı zihinsel süreçleri veya yüklenmeye katkıda bulunan farklı unsurları temsil etmektedir. Örneğin NASA-TLX yönteminde, zorluk, zaman baskısı, mental çaba, fiziksel çaba, performans ve stres şeklinde tanımlanan altı farklı boyutun her biri, iş yükünün belirli bir yönünü ölçmektedir.

Çok boyutlu ölçüm için hazırlanan formların katılımcılar tarafından tamamlanması zor ve zaman alıcıdır. Ayrıca, formların uygulanması, sonuçların toplanması ve analiz edilmesi noktasında uzman personel ihtiyacı oluşabilmektedir. Ancak bu yöntemlerin çok boyutlu doğası, iş yükünün farklı yönlerinin derinlemesine analizini sağlamaktadır. Bu nedenle, bahsedilen dezavantajlarına rağmen iş yükünün çok boyutlu ölçümü, iş yükünü öznel araçlarla değerlendirmenin en yaygın kullanılan ve kabul gören yoludur (Miller 2001).

3.4 İş Yükü Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Önceki bölümlerde bahsedilen iş yükü değerlendirme yöntemlerinin farklı açılardan karşılaştırma sonuçları Tablo 3.1’de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, gün içinde değişken çalışma ortamlarında bulunan ve seyahat halinde olan evde sağlık hemşireleri için gözleme ve fizyolojik ölçümlere dayalı değerlendirme yöntemlerini uygulamanın oldukça güç olduğu görülmektedir. Diğer yandan, öznel değerlendirme yöntemleri sunduğu avantajlar ile evde sağlık hizmetleri (ESH) için oldukça uygundur. Tez çalışması kapsamında, evde sağlık hemşirelerinin iş yükünü belirlemeye yönelik geliştirilen öznel değerlendirme yönteminin detayları bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

Tablo 3.1: İş yükü değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması

	Gözleme dayalı yöntemler	Fizyolojik ölçüme dayalı yöntemler	Öznel değerlendirmeye dayalı yöntemler
Temel Prensi	İş yükü, gözlemciler tarafından doğrudan gözlemlenerek belirlenir.	İş yükü, bireyin fizyolojik tepkileri (kalp hızı, deri iletkenliği vb.) üzerinden ölçülerek belirlenir.	İş yükü, bireyin kendi deneyim ve değerlendirmeleri yoluyla belirlenir.
Yöntem	Gözlemciler, bireyin davranışlarını gözlemleyerek iş yükünü değerlendirir.	Fizyolojik parametreler (kalp hızı, EEG, göz izleme) ölçülerek iş yükü belirlenir.	Bireyler, anketler veya formlar aracılığıyla kendi iş yüklerini değerlendirir.
Objektiflik derecesi	Objektiftir, ancak gözlemcinin öznel yargılarına dayanabilir.	Daha objektiftir, biyolojik verilere dayanır, ancak yorumlama göreceli olabilir.	Subjektiftir, bireyin kendi algılamasına ve yargısına dayanır.
Zamansal özellik	Anlık gözlemlere dayanır.	Anlık fizyolojik değişimlere dayanır.	Bireylerin uzun vadeli deneyimlerine dayalıdır, belirli bir anın ötesine geçebilir.
Uygulanabilirlik	Uygulaması nispeten kolaydır, ancak gözlemcilere bağımlıdır.	Daha teknik ve uzmanlık gerektirebilir, ancak ölçümler genellikle standarttır.	Hızlı ve kolay uygulanabilirliğe sahiptir.

Tablo 3.2 (Devam): İş yükü değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması

	Gözleme dayalı yöntemler	Fizyolojik ölçüme dayalı yöntemler	Öznel değerlendirmeye dayalı yöntemler
Ekipman teknoloji gereksinimi	Gözlemcilerin eğitime dayanır, teknoloji gereksinimi genellikle düşüktür.	Biyolojik ölçümler, özel ekipman (EEG, EKG vb.) ve uzmanlık gerektirebilir.	Teknoloji gereksinimi düşüktür, anketler veya formlar genellikle kolayca uygulanabilir.
Kontrol edilebilirlik	Gözlemci öznelliklerine bağlı olduğundan kontrol edilebilirlik düşüktür.	Standart uygulamalara dayalı ölçümler gerçekleştirildiğinden kontrol edilebilir yapıdadır.	Kontrol edilebilir yapıdadır, ancak bireyin öznel deneyimlerini kontrol etmek zordur.
Kullanım alanları	Genellikle davranışsal çalışmalarda kullanılır.	Hem laboratuvar hem de saha çalışmalarında kullanılabilir.	Özellikle bireyin deneyimlerinin anlaşılmasının gerektiği pek çok farklı alanda kullanılabilir.
İnsan davranışını etkileme riski	Gözlemlendiğinin farkında olması durumunda bireyin normal davranışları etkilenebilir.	Fizyolojik ölçümler kişinin stres seviyesini artırabilir.	Bireyler kendilerinden beklenen veya avantajlarına olabilecek yanıtları vermeye eğilimli olabilir.

4. EVDE SAĞLIK HEMŞİRELERİNİN İŞ YÜKLERİNİN BELİRLEMESİ

Evde sağlık hemşirelerinin seyahat sırasında ve hastaların evlerinde karşılaşabilecekleri sektöre özgü pek çok ergonomik risk faktörü bulunmaktadır (Bien ve diğ. 2020, Haiduven ve Ferrol 2004, Merryweather ve diğ. 2018, Markkanen ve diğ. 2017, Suarez ve diğ. 2017, Weerdts ve Baratta 2015). Bu riskler hemşirelerin sağlığını olumsuz olarak etkilemekte, iş memnuniyetleri azaltmakta ve sonuçta hasta tedavilerine olumsuz bir şekilde yansıyabilmektedir. Bu nedenle, hasta ziyaretleri planlanırken ergonomik risklere bağlı olarak oluşacak iş yükleri tespit edilmeli ve bu iş yüklerinin belli bir seviyeyi aşmadan dengeli bir şekilde dağıtılması gerekmektedir.

Genel olarak ergonomik riskler aşağıdaki gibi üç grupta toplanabilir.

- Çevresel Faktörler
 - Yetersiz iklimlendirme, aydınlatma, hava kalitesi ve hijyen koşulları
 - Yüksek gürültü
 - Toz ve kimyasal maruziyeti
 - Evcil hayvanlardan kaynaklanan riskler (Saldırı, alerji vb.)
- Mental Faktörler
 - Karar alma, düşünme, hatırlama, arama gibi gereklilikleri olan işlemler
 - Hasta ve/veya hasta yakınlarına bilgilendirmede bulunma
 - Olumsuz hasta ve/veya hasta yakını davranışları
 - Olumsuz trafik koşulları
- Fiziksel Faktörler
 - Eğilme, çömelme, uzun süre ayakta kalma gibi gereklilikleri olan işlemler
 - Hastayı kaldırma, döndürme gibi gereklilikleri olan işlemler
 - Seyahat esnasında yürüme, merdiven kullanma gerekliliği
 - Tedaviye özel ekipman/malzeme taşıma gerekliliği

Ergonomik risklere bağlı olarak oluşan iş yükünü belirlemek için, iş ve iş ortamı için uygun bir yöntem seçilmelidir. Genel olarak, iş yükü değerlendirme

yöntemi belirlenirken yöntemin uygulama kolaylığına ve performans üzerine etkisine bakılmalıdır (Tattersall ve Foord 1996). Bu açıdan, öznel değerlendirme yöntemleri, en az müdahaleci, en esnek, en az zaman alıcı ve en az masraflı yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır (Yeh ve Wickens 1988). Öznel değerlendirme yöntemlerinde, bireylerin kendi yetenek ve tercihlerinin dikkate alınması ile iş yükü yönetiminde esnek ve kişiselleştirilmiş stratejiler geliştirmek mümkün olmaktadır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında ESH hemşirelerinin iş yüklerinin belirlenmesinde öznel değerlendirme yöntemleri tercih edilmiştir. Öznel değerlendirme yöntemleri, hastaların evlerinde ve seyahat sırasında ortaya çıkan özel durumların ve koşulların evde sağlık hemşireleri tarafından değerlendirilmesine imkân sunmaktadır. Ayrıca hasta çeşitliliği içeren ESH alanında esneklik ve uygulama kolaylığı sunacağı söylenebilir.

Öznel iş yükü değerlendirme yöntemlerini sağlık alanında uygulayan çalışmaların çoğunda NASA-TLX yönteminden faydalanılmıştır (Hoonakker ve diğ. 2011, Huggins ve Claudio 2018, Malekpour ve diğ. 2014, Shoja ve diğ. 2020). Hoonakker ve diğ. (2011), NASA-TLX yöntemini yoğun bakım hemşirelerinin iş yüklerinin değerlendirilmesi amacıyla kullanmıştır. Huggins ve Claudio (2018), kanser kliniğinde görev yapan hemşireler üzerinde gerçekleştirdikleri uygulamada NASA-TLX ve SWAT yöntemlerinin performansını karşılaştırmıştır. Shoja ve diğ. (2020) ise, GHQ-12 (12-item General Health Questionnaire) ve NASA-TLX yöntemlerini kullanarak, COVID-19 salgınının sağlık personelinin iş yükü ve ruh sağlığı üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamıştır.

Genel iş yükü değerlendirme araçları, belirli sektörlerdeki özel gereksinimleri tam olarak karşılamada yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, literatürde daha hassas ve etkili sonuçlar elde etmek amacıyla, farklı alanlara özel olarak geliştirilmiş yöntemlere başvurulmaktadır. Örneğin, hava trafik kontrol sistemlerinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş olan ATM (Ergonomic Assessment Tool for Air Traffic Management) ve cerrahi operasyonlardaki iş yükünü değerlendirmek için özel olarak tasarlanmış olan SURG-TLX (Surgery Task Load Index) gibi yöntemler, belirli sektörlerin benzersiz gereksinimlerini daha iyi karşılamak üzere tasarlanmıştır.

Benzer gerekçelerle, bu çalışmada ESH sistemlerine özgü bir öznel değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Bu amaçla evde sağlık hemşirelerinin,

bahsedilen ergonomik risk faktörleri karşısındaki iş yükü algısını belirlemek amacıyla bir görev sonrası anket (GSA) tasarlanmıştır. GSA ile toplanan verileri değerlendirmek için bir bulanık çıkarım sistemi (BÇS) geliştirilmiştir. İzleyen bölümlerde GSA ve BÇS detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

4.1 Görev Sonrası Anket

Evde sağlık hemşirelerinin, ergonomik risk faktörleri karşısındaki iş yükü algısını belirlemek amacıyla, Tablo 4.1’de verilen görev sonrası anket (GSA) tasarlanmıştır. Ankette, 7 çevresel, 6 mental ve 4 fiziksel risk faktörünü kapsayacak şekilde toplam 17 soru yer almaktadır. Hemşireler her soruya “Hiç”, “Düşük düzeyde”, “Orta düzeyde”, “Yüksek düzeyde” şeklindeki sözel ifadelerden birisini tercih ederek cevap vermektedir. Hemşire tarafından seçilen sözel ifadeye göre her bir sorudan [0-3] aralığında puan elde edilmektedir. Böylece, çevresel risk faktörleri için [0-21] aralığında, mental risk faktörleri için [0-18] aralığında, fiziksel risk faktörleri için [0-12] aralığında puan elde edilmektedir. Daha sonra bu puanlardan, bir sonraki bölümde açıklanan BÇS yöntemi kullanılarak [0-100] aralığından genel iş yükü değeri elde edilmektedir.

Tablo 4.1: Görev sonrası anket

Fiziksel faktörler
F1: Hastayı kaldırma, döndürme gibi işlemlerden kaynaklanan zorlanma düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
F2: Eğilme, çömelme, ayakta durma gibi nedenlerden kaynaklanan zorlanma düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
F3: Uzun süre yürümekten ve/veya merdiven kullanmaktan kaynaklanan zorlanma düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
F4: Tedaviye özel ekipman/malzeme taşımaktan kaynaklanan zorlanma düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐

Tablo 4.1 (Devam): Görev sonrası anket

Çevresel faktörler
Ç1: Ziyaretiniz esnasında, nem ve sıcaklık koşullarından kaynaklanan rahatsızlık düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
Ç2: Ziyaretiniz esnasında, gürültüden kaynaklanan rahatsızlık düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
Ç3: Ziyaretiniz esnasında, aydınlatma koşullarından kaynaklanan rahatsızlık düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
Ç4: Ziyaretiniz esnasında, evcil hayvanlardan kaynaklanan rahatsızlık düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
Ç5: Ziyaretiniz esnasında, kimyasal maruziyetinden kaynaklanan rahatsızlık düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
Ç6: Ziyaretiniz esnasında, hava koşullarından (yetersiz hava kalitesi, yetersiz havalandırma, kötü kokular, sigara dumanı, vb.) kaynaklanan rahatsızlık düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
Ç7: Ziyaretiniz esnasında, hijyen koşullarından kaynaklanan rahatsızlık düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
Mental faktörler
M1: Tedavi sırasında verdiğiniz kararların kritiklik düzeyini belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
M2: Tedavi sırasında düşünme, hatırlama, arama gibi faaliyetler karşısındaki zorlanma düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
M3: Ziyaretiniz sırasında hasta ve/veya hasta yakınına bilgilendirme yaparken yaşadığınız zorlanma düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
M4: Ziyaretiniz sırasında zor hasta davranışları karşısındaki rahatsızlık düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
M5: Ziyaretiniz sırasında hasta yakını tarafından gerçekleştirilen olumsuz davranışlar karşısındaki rahatsızlık düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐
M6: Ulaşım sırasındaki trafik koşullarından kaynaklanan rahatsızlık düzeyinizi belirtiniz. Hiç ☐ Düşük düzeyde ☐ Orta düzeyde ☐ Yüksek düzeyde ☐

4.2 Bulanık Çıkarım Sistemi

Bu bölümde öncelikle, bulanık mantık yaklaşımının genel tanımı, iş yükü belirleme alanındaki avantajları ve bu alandaki bazı çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra, tez çalışması kapsamında geliştirilen bulanık çıkarım sistemi açıklanmıştır.

4.2.1 Bulanık Mantık ve İş Yükü Değerlendirme Alanındaki Uygulamaları

Bulanık mantık yaklaşımı Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında geliştirilmiştir. Bulanık mantık, esnek yapısı sayesinde kişisel değerlendirmeye dayalı ve karmaşık yapıdaki gerçek hayat sistemlerini modelleme kolaylığı sunmaktadır (Zadeh 1965). Bu nedenle, bulanık mantık belirsizliğin yer aldığı pek çok süreçte başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Bir çalışanın maruz kaldığı iş yükü, yalnızca işin fiziksel taleplerini değil aynı zamanda zihinsel ve çevresel faktörleri de içeren karmaşık bir kavramdır. Bu faktörlerin çoğu belirli ölçülerde belirsizlik içermektedir. Bu nedenle, bulanık mantık yaklaşımı iş yükünün belirlenmesinde uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu doğrultuda, literatürdeki farklı alanlarında çalışanların iş yüklerini belirlemek amacıyla bulanık mantık yaklaşımından faydalanılmıştır (Chen ve diğ. 1994, Liou ve Wang 1994, Jung 1998, Jung 2000, Jung ve Jung 2001, Nadimi ve diğ. 2010, Azadeh ve diğ. 2013).

Chen ve diğ. (1994) personel stres düzeyini belirlemek için bulanık küme teorisinden faydalanarak Ergonomik İş Yükü Stres Endeksi (EWSI - Ergonomic Workload Stress Index) isminde bir model geliştirmiştir. Çalışmada, stres düzeyi üzerinde en fazla etkiye sahip olan değişkenler (çevresel, postüral bozukluklar, mental ve fiziksel talep) için dilsel değerler (ağır, sıcak, yüksek mental talep, vb.) tanımlanmıştır. Her değişken için üyelik fonksiyonları belirlenerek geliştirilen matematiksel formülasyon yardımı ile S1 (fiziksel iş talebi kaynaklı stres), S2 (vücut hareketi ve postüral unsurlardan kaynaklanan stres), S3 (çevresel stres unsurlarından kaynaklanan stres), S4 (mental iş talebi kaynaklı stres) değerleri elde edilmiştir. Ayrıca

kişilerin strese yönelik bireysel algı ve tepkileri farklılık gösterdiğinden değişkenlerin ağırlıklandırılması amacıyla Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yönteminden faydalanılmıştır. AHP yöntemi ile elde edilen ağırlıklar ve hesaplanan S1, S2, S3, S4 değerleri kullanılarak nihai Ergonomik İş Yükü Stres Endeksi değerleri elde edilmiştir.

Jung ve Jung (2001) toplam iş yükü seviyesini değerlendirmek için dilsel değişkenler ve AHP uygulaması içeren bir model geliştirmiştir. Çalışmada EWSI modeline oldukça benzer bir yaklaşım ile hesaplanan toplam iş yükü seviyesi değerleri NASA-TLX yöntemi ile elde edilen toplam iş yükü değerleri ile karşılaştırılmış ve yöntemin uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

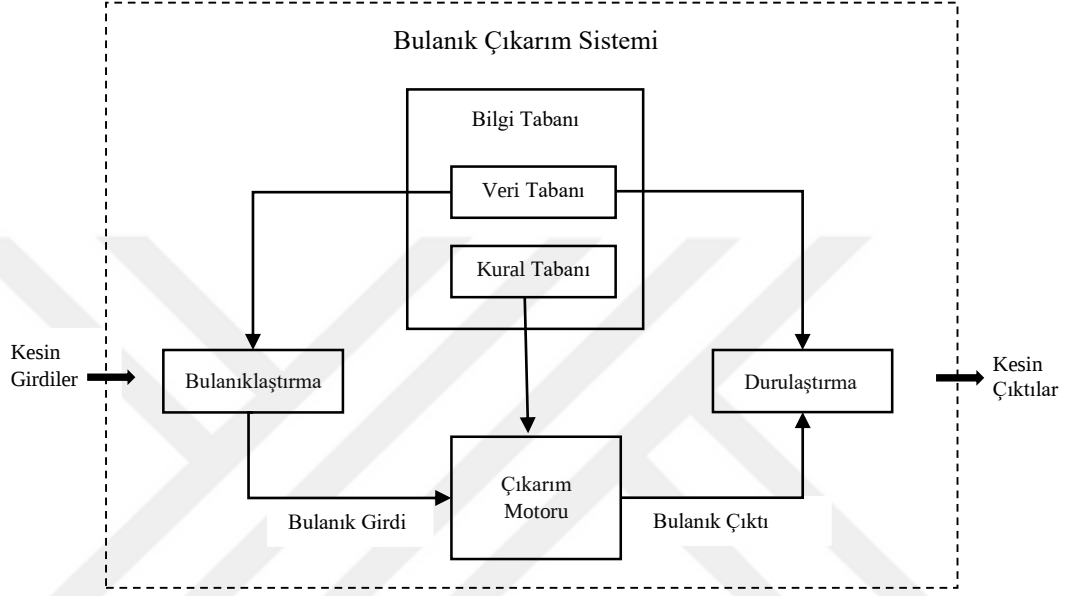
Azadeh ve diğ. (2013) bir gaz arıtma tesisinin çalışanları üzerinde oluşan mental iş yükünü tahmin etmek amacıyla bir akıllı algoritma geliştirmiştir. Çalışma kapsamında sağlık, güvenlik, çevre ve ergonomi ile ilgili faktörler karşısında personelin öznel algısını değerlendirmek için bir dizi soru belirlenmiştir. Personelin sorulara verdikleri cevaplar kullanılarak mental iş yükü değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network, ANN) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System Algorithm, ANFIS) yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Literatürde, ESHRÇP üzerine yapılan bazı çalışmalarda bulanık mantık yaklaşımından faydalanılmıştır. Ancak, bu çalışmalarda, bulanık mantık genellikle hasta sayısı, seyahat süresi ve hizmet süresi gibi büyüklükleri modellemek için kullanılmıştır (Shi ve diğ. 2017, Tohidifard ve diğ. 2018, Fathollahi-Fard ve diğ. 2020, Ziya-Gorabi ve diğ. 2022).

Bu çalışmada, evde sağlık hemşirelerinin gün içinde maruz kaldıkları ergonomik risk faktörleri karşısında algıladıkları iş yükü değerlerini belirlemek amacıyla bir bulanık çıkarım sistemi (BÇS) geliştirilmiştir.

BÇS, bulanık mantık prensiplerine dayalı bir tür yapay zekâ sistemi olarak tanımlanabilir. Şekil 4.1'de BÇS şematik olarak gösterilmektedir. Bir BÇS bulanıklaştırma, bilgi tabanı, çıkarım motoru ve durulaştırma olmak üzere dört ana bileşenden oluşmaktadır. Bulanıklaştırma sürecinde, kesin girdiler üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanık değerlere dönüştürülmektedir. Bilgi tabanı “Eğer-

Öyleyse” şeklindeki kurallardan oluşmaktadır. Kurallar genellikle birden fazla mantıksal operatör (VE / VEYA) içermektedir. Çıkarım motoru, bulanık küme teorisini kullanarak girdi verilerine kural tabanını uygulamakta ve çıkarımlar yapmaktadır. Bu adım, bulanıklaştırılan girdilerin ve kuralların birleştirilmesini içermektedir. Son olarak, bulanık çıkarım sonuçları durulaştırma işlemi ile kesin değerlere dönüştürülmektedir (Hussain ve diğ. 2022).



Şekil 4.1: Bulanık çıkarım sistemlerinin genel yapısı

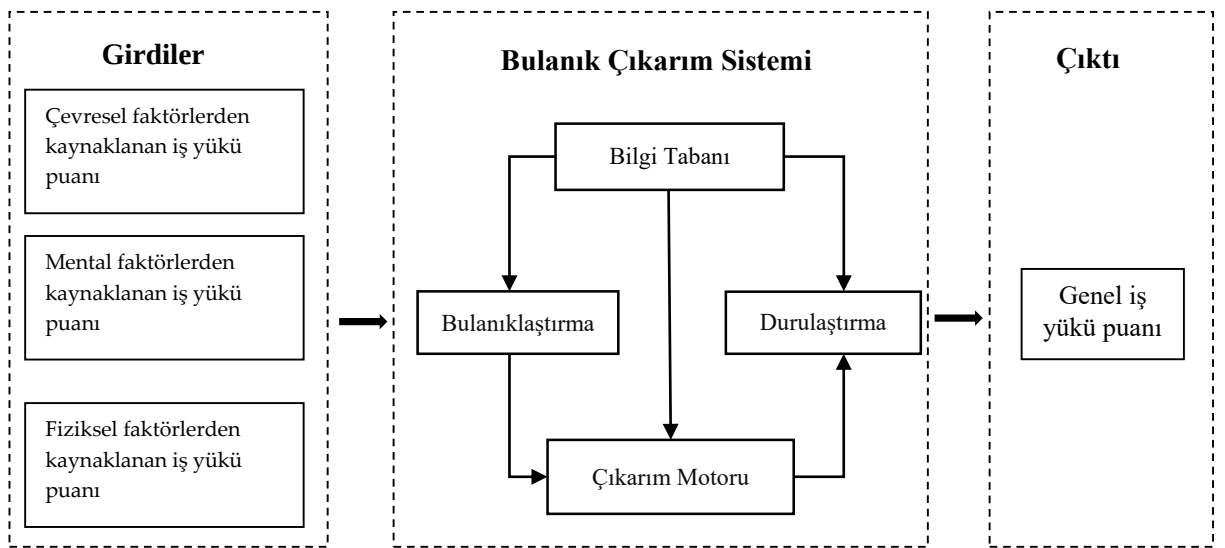
Tez çalışmasında geliştirilen BÇS ile çevresel, mental ve fiziksel risk faktörlerinden kaynaklanan iş yükleri birlikte değerlendirilerek genel bir iş yükü değeri belirlenmektedir.

4.2.2 Evde Sağlık Hemşirelerinin İş Yüklerinin Bulanık Çıkarım Sistemi ile Belirlenmesi

Evde sağlık hizmetleri (ESH), birçok açıdan belirsizlikler içermektedir. Bu belirsizlikleri görev belirsizliği, girdi belirsizliği, çevresel belirsizlikler olarak sınıflandırabiliriz. Görev belirsizliği, ESH personeli tarafından gerçekleştirilen işlemlerin değişkenliği ile ilgilidir. Girdi belirsizliği, hasta taleplerinin önceden tahmin edilmesindeki zorlukları kapsamaktadır. Çevresel belirsizlik, ESH alanında alınması gereken kararlar üzerinde etkisi olan çeşitli fiziksel ve sosyal faktörleri kapsamaktadır.

Bu faktörler, hastanın ev ortamını, sosyal destek durumunu ve sunulan hizmeti etkileyebilecek diğer dışsal faktörleri içerebilmektedir (Möckli ve diğ. 2023). ESHRÇP alanındaki çalışmaların çoğunda bahsedilen belirsizlik unsurları göz ardı edilerek, statik veriler kullanılmıştır. Gerçek dünyada olaylar stokastik olarak gerçekleştiğinden, kesin bilgiye tam olarak sahip olmak mümkün değildir. Verilerdeki belirsizliğin probleme dâhil edilmesi ile gerçek hayat uygulamaları için daha gerçekçi sonuçlar elde etmek mümkün olmaktadır. ESHRÇP'yi stokastik olarak ele alan çalışmaların çoğunda talep belirsizliği dikkate alınmıştır (Rodriguez ve diğ. 2015, Bowers ve diğ. 2015, Bennett ve Erera 2011, Carello ve Lanzarone 2014, Koeleman ve diğ. 2012). Ayrıca, ESHRÇP'yi stokastik ve dinamik şekilde ele alan çalışmaların çoğunluğunu çok dönemli çalışmalar oluşturmaktadır. Bunun nedeni, uzun planlama ufkuna bağlı olarak belirsizliğin artmasıdır (Fikar ve Hirsch 2017).

Bu çalışmada, evde sağlık hemşirelerinin hasta ziyaretleri ve seyahatler sırasında karşılaştıkları ergonomik faktörlerdeki belirsizlikler bulanık mantık yaklaşımı ile ele alınarak, ergonomik açıdan oluşan iş yükleri belirlenmektedir. Bu amaçla Şekil 4.2'de gösterilen BÇS tasarlanmıştır. GSA'lar ile hasta ziyareti sonrasında çevresel, mental ve fiziksel faktörler açısından hemşirelerin yaptıkları değerlendirmeler BÇS'nin girdilerini oluşturmaktadır. Bu girdilerin BÇS ile değerlendirilmesi sonucunda her hemşire-hasta ikilisi için genel iş yükü puanı elde edilmektedir.

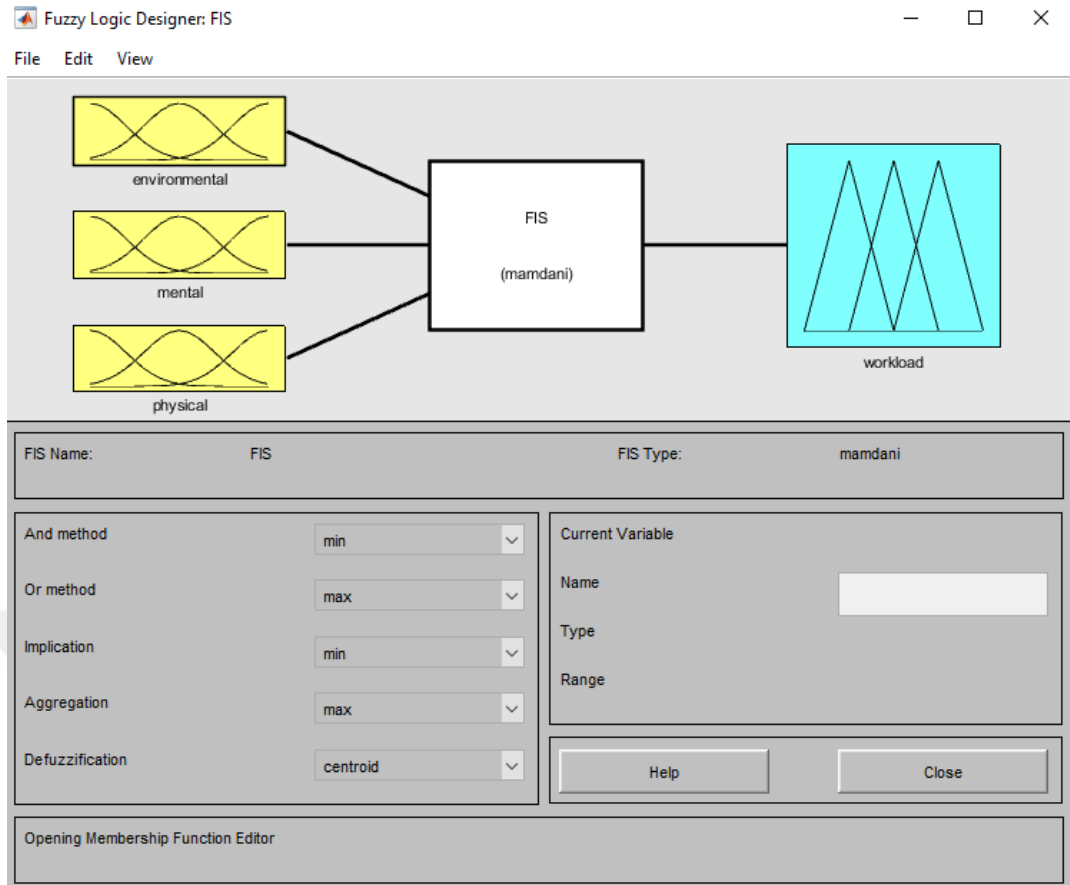


Şekil 4.2: Önerilen BÇS'nin genel yapısı

Bulanık çıkarım sisteminin oluşturulmasında Matlab programındaki Fuzzy Logic Toolbox (FLT) kullanılmıştır. FLT, sezgisel modelleme, sağlamlık, esneklik ve hız gibi avantajlar sunan güçlü bir modelleme aracıdır. FLT ile BÇS tasarlanırken aşağıdaki adımlar takip edilmektedir

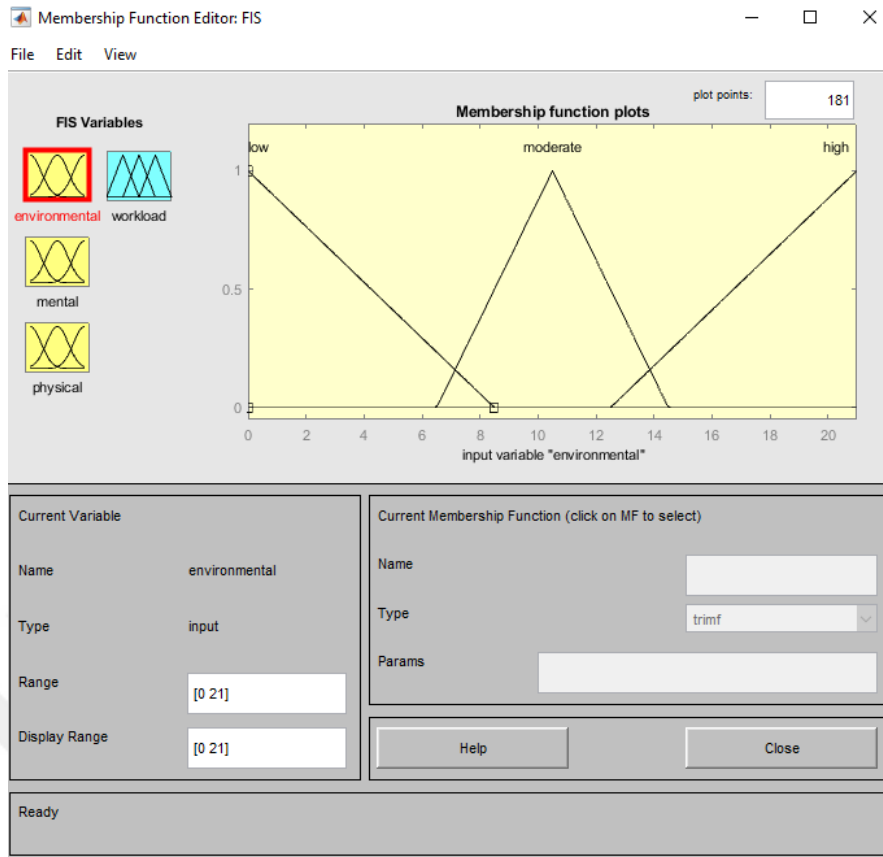
- BÇS türünün ve özelliklerinin belirlenmesi,
- Girdi (input) ve çıktı (output) değişkenlerinin tanımlanması
- Kural tabanının oluşturulması

FLT, Mamdani tipi (Mamdani ve Assilian, 1975) ve Sugeno tipi (Takagi ve Sugeno 1985) olmak üzere iki farklı çıkarım mekanizması sunmaktadır. Mamdani tipi BÇS’de çıktı değişkeni, bulanık kümelerin ağırlıklı ortalamasına dayalı olarak hesaplanırken, Sugeno tipinde genellikle belirli bir matematiksel işlem veya kısıtla ifade edilmektedir (Mazloumzadeh ve diğ. 2008). BÇS türü, uygulamanın gereksinimlerine ve problem yapısına bağlı olarak belirlenmelidir. Çalışma kapsamında, karmaşık ve belirsiz problemleri ele almak için sıklıkla tercih edilen Mamdani tipi çıkarım yöntemi tercih edilmiştir. Şekil 4.3’te geliştirilen Mamdani tipi BÇS verilmektedir.

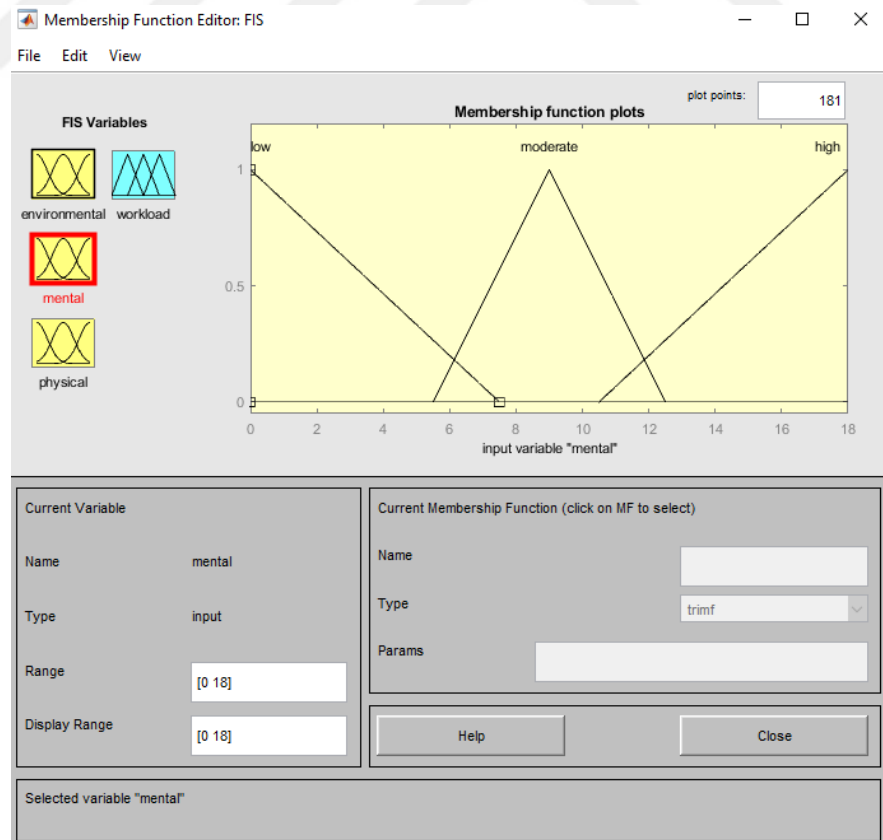


Şekil 4.3: BÇS modelinin Fuzzy Logic Toolbox görünümü

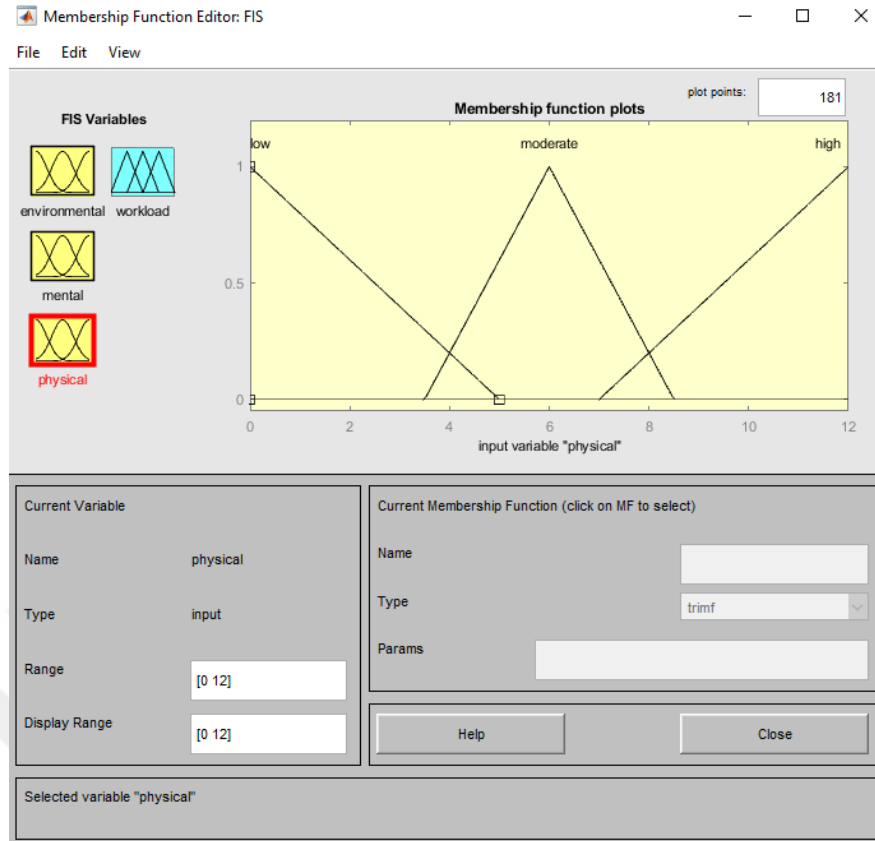
FLT ile modelleme yaparken BÇS tipinin ve özelliklerinin belirlenmesinin ardından girdi ve çıktı değişkenlerinin tanımlanması gerekmektedir. Şekil 4.4'te BÇS girdileri ve üyelik fonksiyonlarına ait parametreler grafik olarak verilmektedir. Tüm girdiler için üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Her ergonomik risk faktörü için “Düşük”, “Orta” ve “Yüksek” olmak üzere üç üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Çevresel risk faktörleri [0, 21], mental risk faktörleri [0, 18] ve fiziksel risk faktörleri [0, 12] puan aralığında değişmektedir.



(a) Çevresel risk puanı



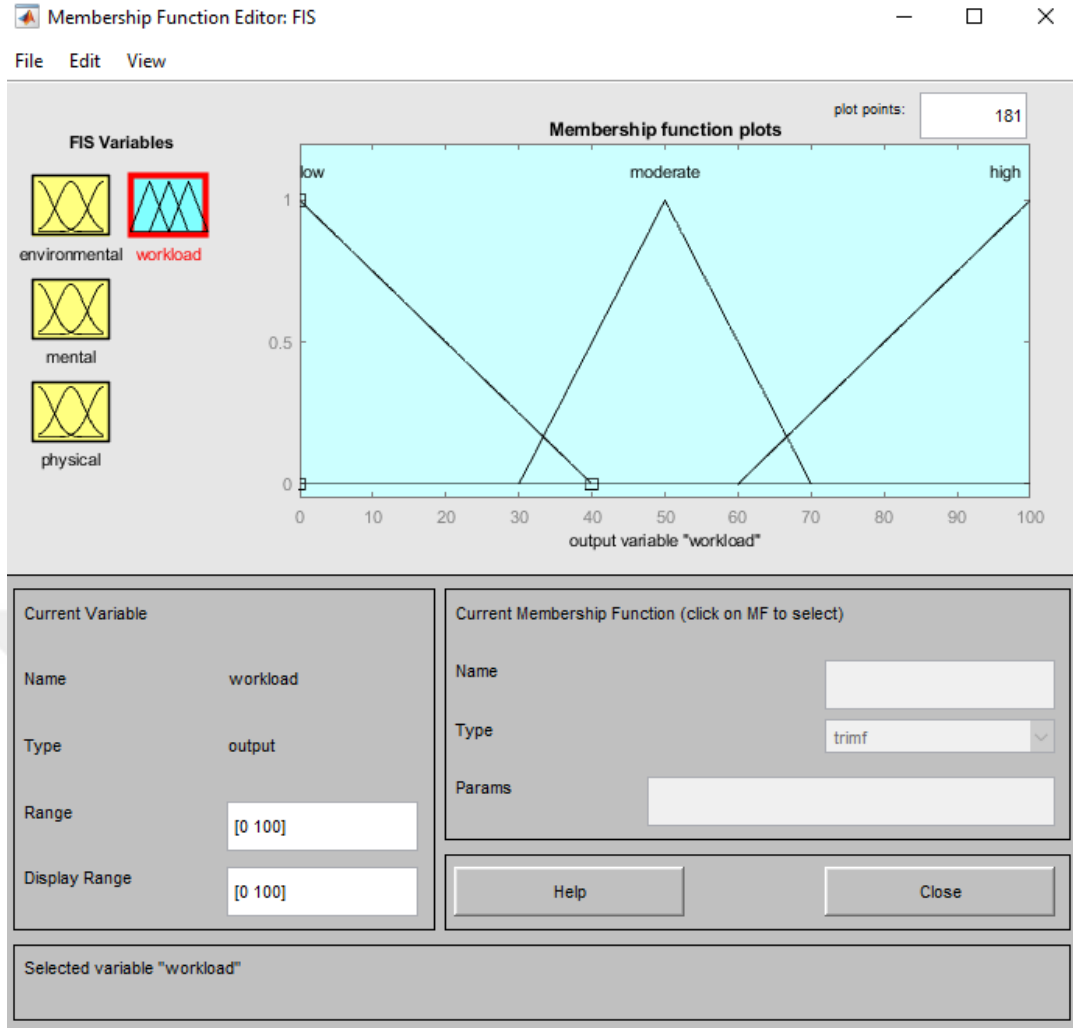
(b) Mental risk puanı



(c) Fiziksel risk puanı

Şekil 4.4: Girdi değişkenlerine ait Fuzzy Logic Toolbox görünümleri

Şekil 4.5'te, çıktı değişkeni olan iş yüküne ait üyelik fonksiyonu grafik olarak verilmektedir. İş yükü için de “Düşük”, “Orta” ve “Yüksek” olmak üzere üç seviyeli üçgensel üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. İş yükü $[0, 100]$ aralığında değer almaktadır.



Şekil 4.5: Çıktı değişkenine ait Fuzzy Logic Toolbox görünümü

BÇS modeli geliştirilirken son aşamada, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkileri tanımlayan kural yapıları oluşturulmaktadır. BÇS’de kural yapısı oluşturulurken en sık başvurulan yöntem, uzman görüşüne dayalı olarak tek bir kural yapısı oluşturmaktır (Ng 2011). Ancak bu çalışmada, hemşirelerin ergonomik risklere karşı iş yükü algısı değişkenlik göstereceğinden her hemşire için farklı kural yapısı oluşturulması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışma kuramsal boyutta olduğu için kural yapıları varsayımsal olarak oluşturulmuştur. Ancak, uygulamada her bir hemşirenin deneyimine ve algısına bağlı olarak özgün bir kural yapısına ihtiyaç duyulabileceği unutulmamalıdır.

Üç ergonomik risk faktörünün üç farklı seviyesi (düşük, orta ve yüksek) dikkate alınarak toplamda 27 kural geliştirilmiştir. Tablo 4.2’de, belirli bir hemşireye ait örnek bir kural yapısı verilmektedir. Kural yapısı hemşirelerin ziyaret sırasında

karşılaştıkları ergonomik risk seviyelerine bağlı iş yükü algılarını yansıtmaktadır. Örneğin Tablo 4.2'de çevresel faktörün “orta”, zihinsel faktörün “düşük” ve fiziksel faktörün “orta” olması durumunda (Kural 5) iş yükü algısı “orta” olarak belirlenmiştir.

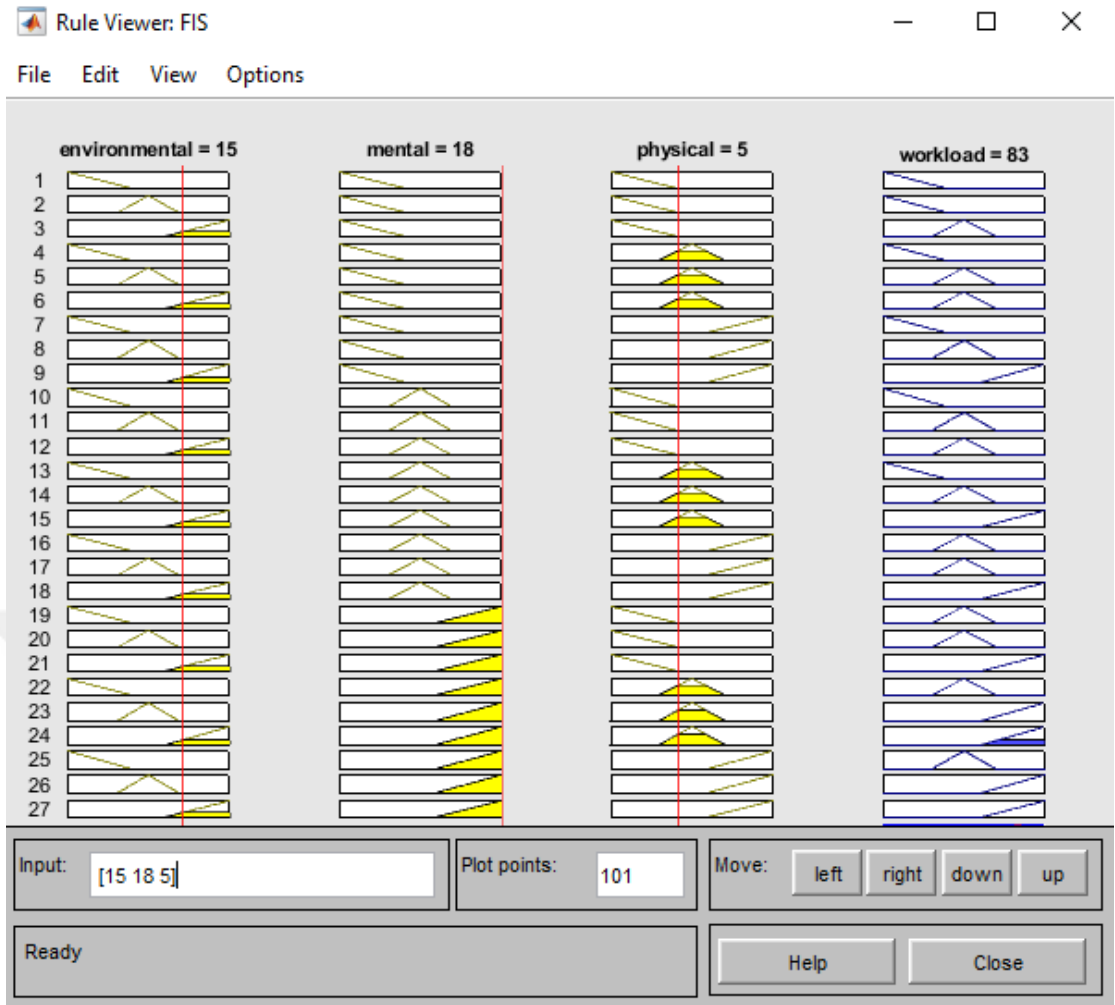
Tablo 4.2: Geliştirilen BÇS'ye ait kural yapısı

Kural No	Eğer ise			O halde
	Çevresel	Mental	Fiziksel	Genel İş yükü
1	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
2	Orta	Düşük	Düşük	Düşük
3	Yüksek	Düşük	Düşük	Orta
4	Düşük	Düşük	Orta	Düşük
5	Orta	Düşük	Orta	Orta
6	Yüksek	Düşük	Orta	Orta
7	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük
8	Orta	Düşük	Yüksek	Orta
9	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
10	Düşük	Orta	Düşük	Düşük
11	Orta	Orta	Düşük	Orta
12	Yüksek	Orta	Düşük	Orta
13	Düşük	Orta	Orta	Düşük
14	Orta	Orta	Orta	Orta
15	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
16	Düşük	Orta	Yüksek	Orta
17	Orta	Orta	Yüksek	Orta
18	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
19	Düşük	Yüksek	Düşük	Orta
20	Orta	Yüksek	Düşük	Orta
21	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek
22	Düşük	Yüksek	Orta	Orta
23	Orta	Yüksek	Orta	Yüksek
24	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
25	Düşük	Yüksek	Yüksek	Orta
26	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek
27	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek

Şekil 4.6’da FLT kural giriş ekranı verilmektedir. Her kural, bir IF (eğer) koşulu ve bir THEN (ise) sonucu içermektedir ve girdiler arasındaki bağlantı için AND bağlacı seçilmiştir.

Şekil 4.6: Fuzzy Logic Toolbox kural giriş ekranı

Şekil 4.7’de, bir hemşirenin hasta ziyareti sonrasında doldurduğu GSA ile elde edilen çevresel, fiziksel ve mental iş yükü puanlarının, BÇS ile değerlendirilmesine bir örnek verilmiştir. Şekil 4.7’de, çevresel, mental ve fiziksel girdi değerleri sırası ile 15, 18 ve 5 olduğunda iş yükü puanının 83 değerini aldığı görülmektedir. Bu iş yükü puanı bir sonraki bölümde açıklanan ÇDM için geçiş olasılıklarının hesaplanmasında kullanılacaktır.



Şekil 4.7: Fuzzy Logic Toolbox “rule viewer” görünümü

4.3 Çok Durumlu Markov Modeli

Bu bölümde, ilk olarak, çok durumlu modelleme yaklaşımının genel tanımına ve literatürde sık kullanılan çok durumlu model yapılarına yer verilmiştir. Daha sonra, tez çalışması kapsamında geliştirilen çok durumlu Markov modelinin detayları açıklanmıştır.

4.3.1 Çok Durumlu Modelleme Yaklaşımı ve Uygulama Alanları

Çok durumlu Markov (ÇDM) modelleri, zaman içinde farklı durumlar arasında geçiş yapan sistemleri analiz etmek için kullanılmaktadır. ÇDM modelleri, bir sistemin

gelecekteki durumunun sadece mevcut duruma bağılı olduğu Markov varsayımına dayanmaktadır (Jackson, 2011).

Çok durumlu modeller, tıbbi araştırmalar, finansal tahminler gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan sürekli zamanlı stokastik süreçlerdir (Matsena Zingoni 2021). Bu modeller, özellikle hastalık aşamalarının farklı bir durum olarak kolayca temsil edilebildiği tıbbi uygulamalar için oldukça kullanışlıdır (Argiento ve diğerleri, 2017). Literatürde, akciğer kanseri (Pérez-Ocón ve diğ. 2001), kalp nakli sonrası kardiyak allograft vaskülopatisi (Sharples ve diğ. 2003), papilloma virüsü enfeksiyonu (Kang ve Lagakos 2007), kalp nakli sonrası koroner rahatsızlık (Sharples 1993), akciğer nakli sonrası bronşiyolit obliterans sendromu (Jackson ve Sharples 2002), AIDS (Gentleman diğ. 1994, Satten ve Longini 1996) ve alzheimer (Commenges ve diğ. 2004) hastalıklarının seyrini modellemek için çok durumlu modelleme yaklaşımından faydalanılmıştır. Ayrıca, Blanco-Encomienda (2013) yaşlı bakım maliyetini tahmin etmek, Gardiner ve diğ. (2006) ise kanser hastalarının toplam tedavi maliyetlerini tahmin etmek için çok durumlu modeller geliştirmiştir.

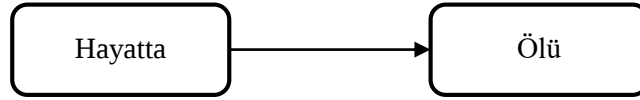
ESHRCp alanında çok durumlu modelleme konusu araştırıldığında, yalnızca Argiento ve diğ. (2017) tarafından ortaya konulan çalışma ile karşılaşılmıştır. Söz konusu çalışmada, ESH talebinin niteliği ve niceliğindeki dalgalanmalar nedeniyle personel çizelgeleri üzerinde yapılacak değişikliklerin hizmet kalitesine olumsuz etkilerini azaltmak için gelecek dönemlerdeki hasta talebi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Araştırmacılar, Markov zinciri, Monte Carlo algoritması kullanarak hastaların hizmet profilindeki ve gerekli haftalık ziyaret sayısındaki değişimi tahmin etmişlerdir.

Şekil 4.8’de, uygulamada karşılaşılabilecek çok durumlu model yapılarına ait bazı örnekler verilmektedir. Şekil 4.8-a’da görülen, sadece iki durumdan oluşan sağkalım (survival) modeli, tıp, epidemiyoloji, biyoistatistik, mühendislik gibi uygulama alanlarına sahiptir. Modelde yer alan “ölü” durumu yutan durum (başka bir duruma geçişin mümkün olmadığı durumlar) olarak nitelendirilmektedir.

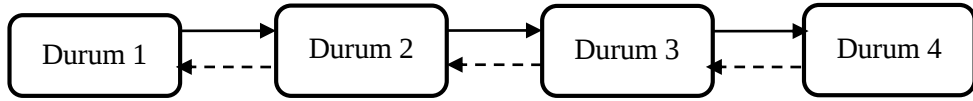
Şekil 4.8-b’de verilen sıralı olaylar modeli, olayların birbirine olan bağımlılıklarını ve bir olayın gerçekleşme olasılığının diğer olaylara bağılı olarak nasıl değişebileceğini anlama imkânı sunmaktadır. Örneğin, bir hastanın belirli bir tedaviye

başlaması, ardından iyileşme ve komplikasyon gibi bazı olaylar ile karşılaşması sıralı olaylar şeklinde modellenebilmektedir.

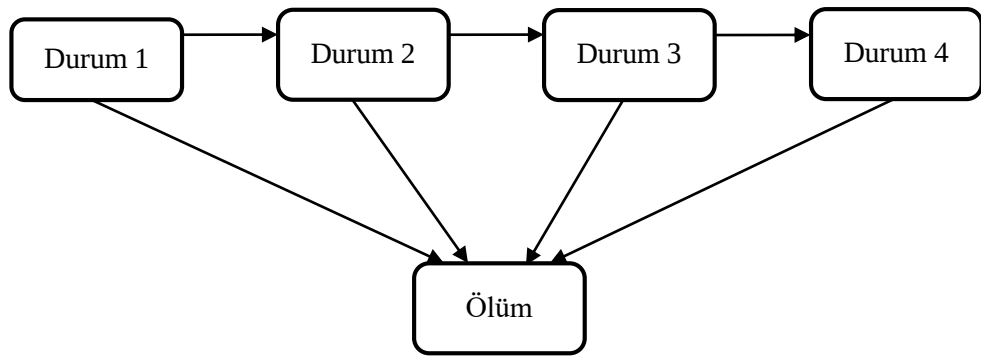
Şekil 4.8-c’de verilen hastalık ilerleme modeli, çok durumlu modelleme yaklaşımının en yaygın kullanılan türlerinden birisidir. Bunun nedeni, kronik hastalıkların çoğunun doğası gereği aşamalı şekilde ilerlemesi ve hastalık seviyeleri ile bu seviyeler arasındaki geçişlerin çok durumlu modelleme ile kolaylıkla temsil edilebilmesidir. Hastalık ilerleme modeli, şiddeti giderek artan bir dizi hastalık aşamasını temsil eden durumları ve ölüm olayını temsil eden yutan durumu içermektedir. Hasta sadece mevcut durumuna ardışık hastalık evrelerine hareket edebilmekte veya direkt olarak yutan duruma geçebilmektedir.



(a) Sağlık model



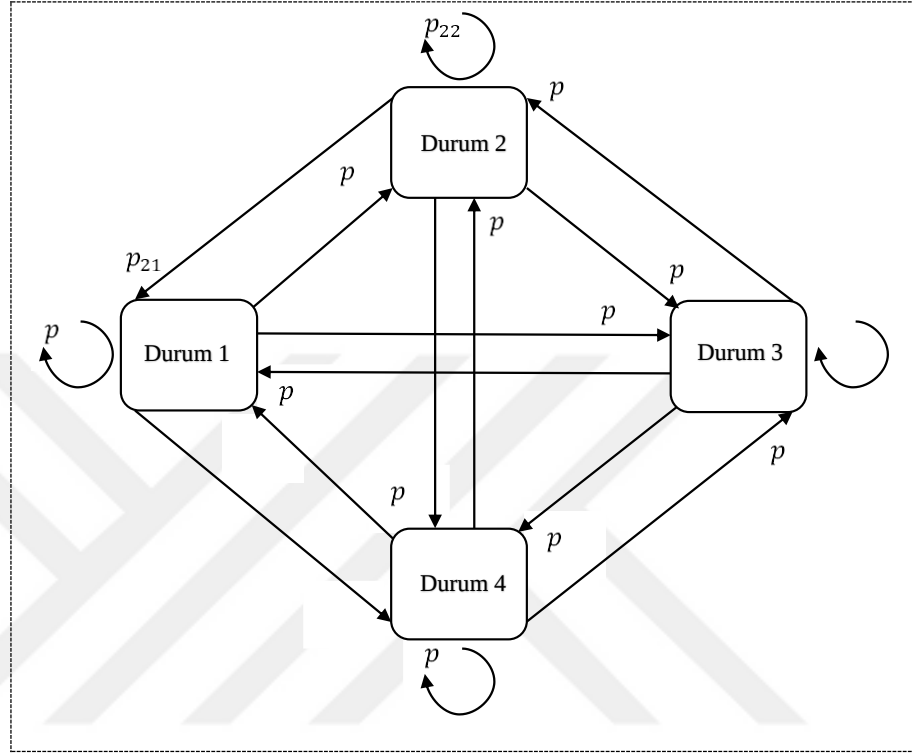
(b) Sıralı olaylar modeli



(c) Hastalık ilerleme modeli

Şekil 4.8: ÇDM modeli örnekleri

ÇDM modellerinde sürecin gelecekteki durumunu belirlemek için geçiş olasılıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Geçiş olasılıkları geçmiş dönem verilerinden (durumlar arasındaki geçiş frekanslarından) hesaplanmaktadır. Şekil 4.9'da çok durumlu modellerin genel yapısını gösteren örnek bir geçiş diyagramı sunulmuştur.



Şekil 4.9: Geçiş diyagramı örneği

Örnekte tanımlanan 4 farklı durum arasındaki mümkün geçişler oklar ile gösterilmekte ve durumlar arasındaki geçiş olasılıkları oklar üzerinde gösterilmektedir. Örneğin, Durum 1'den Durum 2'ye geçiş olasılığı p_{12} olarak gösterilmektedir. Tüm geçiş olasılıkları, aşağıda görülen $P(t)$ geçiş olasılığı matrisi ile ifade edilmektedir.

$$P(t) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

4.3.2 Evde Sağlık Hemşirelerinin İş Yüklerinin Çok Durumlu Markov Modeli ile Tahmin Edilmesi

Tez çalışmasında, evde sağlık hemşirelerinin iş yüklerini belirlemek için ergonomik risk faktörleri dikkate alınmıştır. Evde sağlık hemşirelerinin gün içinde farklı ortamlarda, farklı hastalara hizmet vermesi nedeniyle, karşılaştıkları ergonomik riskler değişkenlik göstermektedir. Bununla birlikte, hastaların mental ve fiziksel durumları ile tedavi ihtiyaçları da zaman içinde değişmektedir. Ayrıca, hemşirelerin sürekli hizmet sundukları hastalara karşı iş yükü algıları olumlu veya olumsuz yönde değişebilmektedir. Zaman içinde iş yüklerinde meydana gelen değişimleri çözüme dâhil etmek amacıyla, çok durumlu modelleme yaklaşımından faydalanılmıştır.

Çok durumlu Markov modellerinde geçiş olasılıklarının hesaplanması için boylamsal (longitudinal) verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Boylamsal veriler aynı birimler üzerinde belirli bir zaman diliminde yapılan tekrarlı gözlemlerden oluşmaktadır (Sousa 2011).

Bu çalışmada, GSA ile toplanan verilerin BÇS ile değerlendirilmesi sonucunda her hemşire-hasta ikilisi için iş yükü değerleri elde edilmektedir. Her ziyaret sonrasında hesaplanan bu veriler hemşirenin iş yükü algısındaki zaman içindeki değişimi göstermektedir. Tablo 4.3’de bir hemşirenin, 6 hastaya gerçekleştirdiği son 5 ziyarete ait iş yüklerini gösteren bir örnek verilmektedir.

Tablo 4.3: Örnek bir hemşire için geçmiş dönemlere ait iş yükü verileri

Hastalar	İş yükü değeri				
	1. ziyaret	2. ziyaret	3. ziyaret	4. ziyaret	5. ziyaret
1. hasta	30	40	35	50	50
2. hasta	50	60	65	60	55
3. hasta	40	60	50	45	50
4. hasta	25	20	25	30	30
5. hasta	20	30	40	35	30
6. hasta	45	40	50	55	40

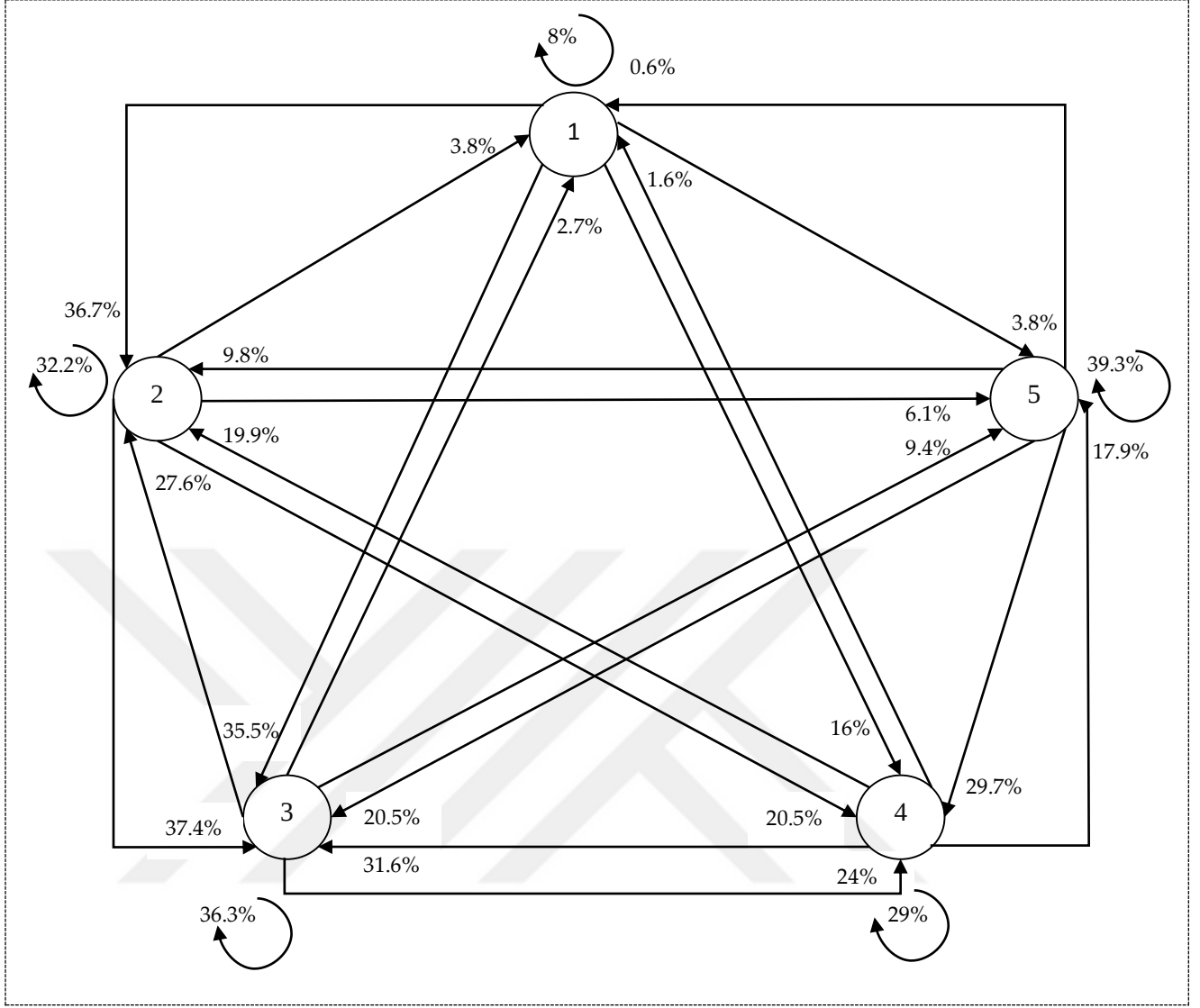
Boylamsal verilerin analizinde, zaman serisi analizi ya da klasik regresyon analizi gibi geleneksel yöntemler çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, bu

veri türünün tekrarlı yapısını dikkate alan istatistiksel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Fitzmaurice ve diğ. 2012). Bu tez çalışmasında, boylamsal iş yükü verisini kullanarak tahmin çalışması gerçekleştirmek amacıyla çok durumlu modelleme ÇDM yaklaşımından faydalanılmıştır.

Geliştirilen ÇDM modeli için 5 farklı durum tanımlanmıştır: Durum 1, çok düşük iş yükü seviyesini (iş yükü puanı 0-19 aralığında); Durum 2, düşük iş yükü seviyesini (iş yükü puanı 20-39 aralığında); Durum 3, normal iş yükü seviyesini (iş yükü puanı 40-59 aralığında); Durum 4, yüksek iş yükü seviyesini (iş yükü puanı 60-79 aralığında); Durum 5 ise çok yüksek iş yükü seviyesini (iş yükü puanı 80-100 aralığında) temsil etmektedir. Şekil 4.10'da geliştirilen ÇDM modeline ait geçiş diyagramı verilmektedir. Evde sağlık hemşirelerinin sunduğu çok çeşitli sağlık hizmetleri göz önünde bulundurulduğunda geçiş diyagramında tüm durumlar arasında geçişlere izin verilerek esnek bir model önerilmiştir.

Durumlar arasındaki geçiş olasılıklarını hesaplamak için geçmiş ziyaretlerden elde edilen iş yükü puanları kullanılmaktadır. Bunun için ilk olarak iş yükü puanları tanımlanan aralıklara göre durumlara dönüştürülmektedir. Daha sonra, her bir durumdan diğer durumlara geçiş frekansları veri setindeki toplam geçiş sayısına bölünerek, geçiş olasılıkları hesaplanmaktadır. Geçiş olasılıklarının hesaplanması için gözlem sayısının yeterince büyük olması gerekmektedir. Literatürde ÇDM modelleri için geçiş olasılıklarının hesaplanması için örneklem büyüklüğü konusunda bir tanımlama bulunmamakla birlikte genel olarak örneklem büyüklüğünün en az 10 olması önerilmektedir (Smith ve diğ., 2019).

ÇDM modellerinin uygulanmasında, Python, SAS, SPSS, R, MATLAB gibi birçok istatistiksel yazılım ve programlama dili yaygın olarak kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında, ÇDM modelinin uygulaması, Jackson ve diğ. (2011) tarafından R programı bünyesinde geliştirilen *msm* paketi üzerinde gerçekleştirilmiştir. *msm* paketi pratik bir uygulamaya sahip olması nedeniyle genel olarak çok durumlu modellerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Aspinall ve diğ. 2006, Gautrais ve diğ. 2007, Rummel 2009).



Şekil 4.10: ÇDM Modeline ait geçiş diyagramı

Geliştirilen görev sonrası anket (GSA) ve bulanık çıkarım sistemi (BÇS) aracılığıyla elde edilen geçmiş dönem iş yükü verileri *msm* paketine aktarılmış ve her bir hemşire için geçiş olasılığı matrisi üretilmiştir. Tablo 4.4'te *msm* paketi ile elde edilen örnek geçiş olasılığı matrisi verilmektedir.

Tablo 4.4: Örnek geçiş olasılığı matrisi

	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5
Durum 1	0.079896105	0.36680904	0.3550851	0.1601616	0.03804815
Durum 2	0.038337083	0.32150074	0.3740494	0.2048908	0.06122203
Durum 3	0.027363395	0.27579569	0.3627197	0.2401368	0.09398444
Durum 4	0.016230737	0.19866581	0.3157918	0.2899629	0.17934877
Durum 5	0.006389656	0.09837224	0.2048153	0.2972094	0.39321343

Bir sonraki ziyaretteki iş yükünü tahmin etmek için en büyük geçiş olasılığına sahip durum dikkate alınmaktadır. Tablo 4.4'teki geçiş olasılıkları dikkate alınarak tahmini iş yükleri Tablo 4.5'te verilmiştir. Örneğin, son ziyarette iş yükü Durum 1 (çok düşük) ise bir sonraki ziyaretteki tahmini iş yükü, en büyük olasılığa sahip olan Durum 2 (düşük) olacaktır. Benzer şekilde, son ziyaretteki iş yükünün Durum 2, 3 veya 4 olması halinde, gelecek ziyarette tahmini iş yükü en büyük olasılığa sahip olan Durum 3 ve son ziyaretteki iş yükü Durum 5 ise bir sonraki ziyarette tahmini iş yükü yine Durum 5 olacaktır. Bir sonraki ziyaretlerdeki iş yüklerine ait durumlar tespit edildikten sonra iş yüklerini sayısallaştırmak için her bir durum için tanımlanan aralıkların orta değeri kullanılmıştır.

Table 4.5: Son hasta ziyaretindeki iş yükü durumuna göre tahmin sonuçları

Son ziyaretteki iş yükü durumu	Gelecek ziyaret için tahmin edilen iş yükü durumu	Gelecek ziyaret için tahmin edilen iş yükü değeri
Durum 1	Durum 2	30
Durum 2	Durum 3	50
Durum 3	Durum 3	50
Durum 4	Durum 3	50
Durum 5	Durum 5	90

5. EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ ROTALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Evde sağlık hizmetleri rotalama ve çizelgeleme problemi (ESHRÇP), hastalara hemşire atamalarını, ziyaret sıralarının belirlenmesini ve rotaların oluşturulmasını içeren karmaşık ve çok boyutlu bir problemdir. ESH sistemlerinin üç temel bileşeni olan hastalar, hemşireler ve sağlık kuruluşları farklı talep ve kısıtlara sahiptir. Örneğin, hastalar tedavilerini zamanında ve etkili bir şekilde almayı isterken; hemşireler, sağlıklarını riske atmayacak çalışma koşullarının oluşmasını beklemekte; sağlık kuruluşları ise mümkün olduğunca fazla sayıda hastaya, en az maliyetle hizmet sunmayı amaçlamaktadır.

Di Mascolo ve diğ. (2021), ESHRÇP amaçlarının, maliyet, hizmet kalitesi ve iş yerinde refah ile ilgili kriterler içerdiğini belirtmiştir. Araştırmacıların inceledikleri çalışmaların tamamına yakını, konuya sağlık kuruluşları açısından yaklaşarak maliyet kriterlerinden en az bir tanesini dikkate almıştır. Hizmet kalitesi ile ilgili kriterlerin en az bir tanesini dikkate alan çalışmalar ise toplam çalışmaların yaklaşık yarısını oluşturmuştur. İş yerinde refahın optimizasyonuna yönelik, iş yükü dengeleme konusunu ele alan çalışmaların oranı ise %19'da kalmıştır. Hemşirelerin iş çizelgeleri oluşturulurken iş yüklerinin dengeli bir şekilde dağıtılması hemşire sağlığı ve memnuniyeti açısından oldukça önemli olmasına rağmen iş yükü dengeleme konusunun ESHRÇP literatüründe geri planda kaldığı görülmektedir.

ESHRÇP kapsamında iş yükü dengeleme konusunu ele alan sınırlı sayıdaki çalışmada, iş yükleri belirlenirken genellikle seyahat süresi/mesafe, ziyaret edilen hasta sayısı, fazla mesai süresi, çalışma süresi gibi ölçülebilir kriterler dikkate alınmıştır. Bu çalışmada ise iş yükü dengeleme konusuna farklı bir bakış açısıyla yaklaşılmış ve evde sağlık hemşirelerinin ESH sistemlerine özgü ergonomik risk faktörleri karşısındaki iş yükü algısını dikkate alan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu doğrultuda, ergonomik risklere bağlı olarak oluşan iş yüklerini, evde sağlık hemşireleri arasında dengeli bir şekilde dağıtmak amacıyla probleme iş yükü kısıtları eklenmiştir. İş yükü kısıtları ile hemşirelerin gün içinde ergonomik riskler sebebiyle maruz kaldıkları iş yüklerinin belirli bir eşik değerin altında kalması sağlanmaktadır.

İlerleyen bölümlerde, tez çalışması kapsamında ele alınan problem tanımlanmış ve çalışmanın sınırları belirtilmiştir. Ayrıca, problemin çözümüne yönelik olarak geliştirilen tam sayılı doğrusal programlama ve hedef programlama modellerinin detaylarına yer verilmiştir.

5.1 Problemin Tanımı ve Varsayımlar

Tez çalışması kapsamında tanımlanan ESHRÇP'nin amacı, belirli zaman penceresi, öğle molası ve iş yükü kısıtları altında; ziyaret edilen hasta sayısı maksimum yapılırken hemşirelerin günlük toplam iş yükünü minimize eden iş çizelgeleri üretmektir. Şekil 5.1'de, söz konusu hemşire rotalama ve çizelgeleme problemi grafik olarak verilmektedir. Hemşireler hasta ziyaretlerine ESH merkezinde başlamakta, belirli sayıda hastayı ziyaret ederek ve gerektiğinde öğle molası vererek ESH merkezine geri gelmektedir. Hemşirelerin günlük ziyaret planlarının oluşturulması için öncelikle mevcut hastalara, sisteme dâhil olacak potansiyel hastalara ve hemşirelere ait bilgilerin toplanması gerekmektedir. Hasta bilgileri ev adreslerini, tedavi gereksinimlerini, tahmini tedavi süresini ve hastanın ihtiyaçlarına ve/veya tercihlerine bağlı olarak belirlenen ziyaret aralığını (zaman penceresi) içermektedir. Hemşire bilgisi, hemşirelerin sahip olduğu beceriler ve hizmet verebileceği zaman pencereleri ile ilgilidir.

ESH sistemlerinde, sisteme giren ve çıkan hasta sayısı ve bu hastaların tedavi gereksinimleri günlük olarak değişmektedir. Bu nedenle hemşirelerin hasta ziyaretleri genel olarak günlük bazda planlanmaktadır. Bir sonraki günün ziyaret planları, bir gün önce yapılmakta, böylece, evde sağlık hizmetinden faydalanmak isteyen yeni hastaların sisteme alınıp alınmayacağına da karar verilmektedir. Tez çalışmasında ele alınan problemde, sistemdeki hemşire sayısı değişmediği ve fazla mesaiye izin verilmediği için kapasite sabittir.

Çalışmada evde sağlık hemşirelerinin farklı beceri düzeylerine sahip olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle hastalara, o hastanın ihtiyaçlarını karşılayacak beceri düzeyine sahip hemşirelerin atanması gerekmektedir.



Hemşireler yasal mevzuat gereği 1 saatlik öğle molası vermek zorundadır. Mola başlangıcı olarak saat 11:00-13:00 arası belirlenmiştir. Mola için hemşirelerin ESH merkezine gelmelerine gerek bulunmamaktadır. Bu nedenle mola yeri olarak en son ziyaret edilen düğüm kabul edilmiştir. Ayrıca modelin doğrusallığını bozmamak için 1 saatlik süre sonunda bir sonraki düğüme ulaşırları kabul edilmiştir.

44

Geliştirilen modellerde hemşirelerin gün içinde maruz kaldıkları iş yükü miktarının, sağlıklarına zarar verecek bir eşik değerin altında kalması için iş yükü kısıtı modele eklenmiştir.

Yukarıda açıklanan kısıtlar dikkate alınarak iki farklı matematiksel model önerilmiştir. Birinci modelde günlük ziyaret edilecek hasta sayısını maksimum yapacak ve aynı zamanda iş yükü seviyesini azaltacak şekilde bir karma tamsayılı bir model geliştirilmiştir. İkinci modelde ise günlük iş yükü için belirlenen hedef değerden pozitif sapmalar toplamı ile ziyaret edilmesi istenen hasta sayısı için belirlenen hedef değerden negatif sapmanın ağırlıklı toplamalarını minimize etmeye yönelik bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir.

Problemde aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır.

- Her hastaya en fazla bir hemşire atanacaktır,
- ESH sistemindeki hemşireler farklı beceri düzeylerine sahiptir, her hastaya tedavi için gerekli becerilere sahip hemşireler atanmalıdır,
- Hemşire sayısı sabittir,
- Her hemşire mesaiye evde sağlık merkezinden başlayacak ve günlük ziyaretlerin sonunda evde sağlık merkezine dönecektir. Fazla mesaiye izin verilmemektedir,
- Her hastanın belirlenen zaman aralığında (zaman penceresi) ziyaret edilmesi gerekmektedir,
- Hemşireler 11:00-13:00 aralığında 1 saat öğle molası verecektir,
- Hastalar arasında herhangi bir öncelik bulunmamaktadır,
- Hastalar, hemşire tercihinde bulunamamaktadır,
- Her hasta için hizmet süresi bilinmektedir ve sabittir. Hizmet süreleri hemşireden bağımsızdır,
- İki düğüm arasındaki Öklid mesafesi aynı zamanda seyahat süresine eşittir,
- İş yükü seviyesi ergonomik risklere göre öznel bir şekilde değişmektedir,
- Hemşireler tarafından algılanan iş yükleri, hastaların iyileşme durumu, hemşire-hasta uyumu vb. faktörlere göre zaman içinde değişebilir,
- Sisteme dâhil olan yeni hastaların veya bir hemşire tarafından ilk kez ziyaret edilecek hastaların iş yükü orta seviye (50 puan) olarak belirlenmiştir,

- Hemşirelerin, iş yüklerini değerlendirirken objektif ve etik davrandığı kabul edilmektedir.

Tanımlanan problemin çözümüne yönelik olarak geliştirilen karma tam sayılı doğrusal programlama ve hedef programlama modelleri ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

5.2 Karma Tam Sayılı Doğrusal Model

Karma tamsayılı doğrusal programlama yöntemi, ESHRÇP literatüründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, ESHRÇP'yi ele alan bazı çalışmalarda tek başına (Chahed ve diğ. 2009, Bachouch ve diğ. 2011, Bard ve diğ. 2013, Cappanera ve Scutella 2013, Szander ve diğ. 2018) bazılarında ise farklı çözüm yöntemleri ile birlikte (Trautsamwieser ve Hirsch 2011, Allaoua ve diğ. 2013, Mutingi ve Mbohwa 2013, Nasir ve Dang 2020, Riazi ve diğ. 2018) uygulanmıştır. Bu tez çalışmasında, klasik ESHRÇP kısıtlarının yanı sıra, ergonomi konusunu probleme dâhil eden özgün bir iş yükü kısıtı içeren tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen karma tam sayılı doğrusal programlama modelinin detayları aşağıda sunulmuştur

Kümeler

V : Düğüm kümesi $\{0,1,2, \dots, n+2\}$

0 başlangıç düğümünü, $n+1$ mola düğümünü, $n+2$ bitiş düğümünü ve hastaları temsil eden n adet düğümü içermektedir. 0 ve $n+2$ düğümlerinin her ikisi evde sağlık merkezi için tanımlanmıştır.

P : Hastalar kümesi $\{1, \dots, n\}$, $P \subset V$

H : Hemşireler kümesi $\{1,2, \dots, s\}$

İndisler

i, j, k : Düğüm indisleri

s : Hemşire indisi

Parametreler

t_i	: i düğümünde geçirilmesi gereken süre (hasta düğümleri için hizmet süresi, mola düğümü için mola süresi)
d_{ij}	: i, j düğümleri arasındaki seyahat süresi
$[e_i, l_i]$	: i . hasta için zaman penceresi
$[lt_1, lt_2]$	: Öğle molası için zaman penceresi (yasal zorunluluk gereği 60 dakika)
wl_i^s	: s . hemşirenin, i . hastayı ziyareti sırasında maruz kaldığı iş yükü değeri
Q	: Bir hemşirenin bir günde maruz kalabileceği maksimum iş yükü değeri
b	: Bir hemşirenin bir günde ziyaret edebileceği maksimum hasta sayısı
g_j^s	: s . hemşirenin j . hasta için gerekli niteliklere sahip olması durumunda, 1; diğer durumda, 0
M	: Çok büyük bir sayı
ε	: Çok küçük bir sayı

Karar değişkenleri

$$x_{i,j}^s = \begin{cases} 1, & s. \text{ hemşire } i. \text{ düğümden sonra } j. \text{ düğüme giderse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$y^s = \begin{cases} 1, & s. \text{ hemşire en az bir hastaya atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

q^s : s . hemşirenin gün içinde maruz kaldığı toplam iş yükü ile izin verilen iş yükü arasındaki fark

a_i^s : s . hemşirenin i . düğüme varış zamanı

w_i^s : s . hemşirenin i . düğüme zaman penceresinden önce varması durumunda bekleme süresi

Model

$$\text{Max} \sum_{i \in V} \sum_{j \in P} \sum_{s \in H} x_{i,j}^s + \varepsilon \sum_{s \in H} q^s \quad (5.1)$$

$$x_{i,j}^s \leq g_j^s \quad \forall i \in V; \forall j \in P; \forall s \in H \quad (5.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0,j}^s = y_s \quad \forall s \in H \quad (5.3)$$

$$\sum_{i=1}^{n+1} x_{i,n+2}^s = y_s \quad \forall s \in H \quad (5.4)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n x_{i,j}^s \leq b y_s \quad \forall s \in H \quad (5.5)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{s=1}^m x_{i,j}^s \leq 1 \quad \forall j \in P \quad (5.6)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{i,n+1}^s = y^s \quad \forall s \in H \quad (5.7)$$

$$\sum_{j=1}^{n+2} x_{n+1,j}^s = y^s \quad \forall s \in H \quad (5.8)$$

$$\sum_{i=0}^{n+1} x_{i,k}^s = \sum_{j=1}^{n+2} x_{k,j}^s \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, n+1\}; \forall s \in H \quad (5.9)$$

$$a_i^s + w_i^s + t_i + d_{ij} \leq a_j^s + M(1 - x_{i,j}^s) \quad \forall s \in H; i, j \in V - \{n+1\} \quad (5.10)$$

$$a_{n+1}^s + w_{n+1}^s + t_{n+1} + \sum_{k=0}^n x_{k,n+1}^s d_{kj} \leq a_j^s + M(1 - x_{n+1,j}^s)$$

$$\forall s \in H; j = \{1, 2, \dots, n+2\} \quad (5.11)$$

$$a_i^s + w_i^s \geq e_i y^s \quad \forall s \in H; i \in P \quad (5.12)$$

$$a_i^s \leq l_i \quad \forall s \in H; i \in P \quad (5.13)$$

$$a_{n+1}^s + w_{n+1}^s \geq l t_1 y_s \quad \forall s \in H \quad (5.14)$$

$$a_{n+1}^s \leq l t_2 \quad \forall s \in H \quad (5.15)$$

$$a_{n+2}^s \leq 540 \quad \forall s \in H \quad (5.16)$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{j \in N} w l_i^s x_{i,j}^s + q^s = Q \quad \forall s \in H \quad (5.17)$$

$$x_{i,j}^s, y^s \in \{0, 1\}; \forall i, j \in V; s \in H; q^s, a_i^s, w_i^s \geq 0; \forall i \in P; \forall s \in H \quad (5.18)$$

Amaç fonksiyonunda (5.1) iki farklı amaç yer almaktadır. İlk amaç, hizmet verilen hasta sayısını maksimize etmektir. İkinci amaç ise mümkünse hemşirelerin toplam iş yükünün azaltılmasıdır. Öncelikli hedefimiz hasta sayısını maksimize etmek olduğundan öncelikle bu amaç için en uygun çözüm aranmaktadır. İkinci hedef, birinci hedef için alternatif çözümler varsa dikkate alınmaktadır. Bunu sağlamak için amaç fonksiyonundaki ikinci terim ε katsayısı ile çarpılmaktadır. İkinci hedefin birinci hedefin önüne geçmesini engellemek için ε yeterince küçük bir sayı olmalıdır. Bu problem için ε değerinin $\varepsilon < 1/(sQ)$ eşitsizliğini sağlaması yeterlidir; burada s hemşire sayısı, Q ise izin verilen iş yükü düzeyidir. Kısıt (5.2), hastalara gerekli becerilere sahip hemşirelerin atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (5.3) ve (5.4), hemşirelerin evde sağlık merkezinde (düğüm 0) çalışmaya başlamasını ve 8 saatlik çalışma sonrasında evde sağlık merkezine (düğüm $n+2$) dönmesini sağlamaktadır. Kısıt (5.5), gün içinde ziyaret edilebilecek maksimum hasta sayısının aşılmasını engellemektedir. Kısıt (5.6), hastaların günde en fazla bir kez ziyaret edilmesini sağlamaktadır. Kısıt (5.7) ve (5.8) gün içinde görevlendirilen her hemşirenin mutlaka öğle molası vermesini sağlamaktadır. Kısıt (5.9), bir düğüme gelen hemşirenin başka bir düğüme gitmesini sağlamaktadır. Kısıt (5.10) ve (5.11), i düğümünden j düğüme varış zamanını elde etmek için kullanılmaktadır. Kısıt (5.12), hemşirelerin hastaların evlerine, zaman penceresinden önce gelmesi durumunda bekleme sürelerini hesaplamaktadır. Kısıt (5.13), hemşirelerin hastaların evlerine, zaman penceresinden sonra gelmesini engellemektedir. Kısıt (5.14) ve (5.15) her hemşirenin gün içerisinde bir saat öğle molası vermesini sağlamaktadır. Kısıtlar (5.16), hemşirelerin 8 saatten (540 dakika) fazla çalışmasına izin vermemektedir. Son olarak Kısıt (5.17), bir hemşirenin bir günde maruz kaldığı toplam iş yükünün izin verilen iş yükünü aşmamasını sağlamakta ve izin verilen iş yükü ile hemşirelerin fiili iş yükleri arasındaki farkları hesaplamaktadır.

5.3 Hedef Programlama Modeli

ESH sağlayıcıları, sınırlı kaynakları (personel, araçlar, zaman vb.) kullanarak hasta taleplerini (zaman, sıklık, öncelik vb.) en iyi şekilde karşılamayı, maliyetleri en aza indirmeyi ve en yüksek kalitede hizmet sunmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle, ESHRÇP literatüründeki çoğu çalışmada birden fazla amaç dikkate alınmaktadır.

Birden fazla amacın olduğu problemlerde genellikle, ağırlıklandırma yöntemi veya çok amaçlı programlama tercih edilmektedir. 2010'ların ortalarından itibaren çok amaçlı programlama yaklaşımını kullanan çalışmalarda bir artış gözlemlenmektedir (Di Mascolo ve diğ. 2021). Bu çalışmaların çoğunda, Pareto optimal çözümler kümesini belirlemeye yönelik çözüm yöntemleri önerilmektedir (Braekers ve diğ. 2016, Decerle ve diğ. 2018, Goodarzian ve diğ. 2021, Oladzad-Abbasabady ve diğ. 2023, Xiang ve diğ. 2023). Farklı çalışma alanlarında (Xavier ve diğ. 2018, Ho 2019, Arik ve diğ. 2020, García ve diğ. 2021) yaygın şekilde kullanılan hedef programlama yaklaşımına, ESHRÇP literatüründeki sınırlı sayıda çalışmada (Hosseinpour-Sarkarizi ve diğ. 2022, Shiri ve diğ. 2023) rastlanmaktadır.

Hedef programlamada, leksikografik ve ağırlıklı olmak üzere iki temel yaklaşım bulunmaktadır (Tamiz ve diğ. 1995). Leksikografik yaklaşımda hedefler öncelik sırasına göre karşılanarak en iyi çözümler bulunurken, ağırlıklı hedef programlamada belirlenen ağırlıklar dikkate alınarak bir amaç fonksiyonu oluşturulmaktadır. Birden fazla amaç kriteri içeren karmaşık karar verme problemlerinde kullanılan bir matematiksel modelleme yaklaşımı olan hedef programlamanın uygulanması için, hedeflerin tanımlanması, hedeflere ağırlıkların atanması ve her hedef için bir hedef aralığının belirlenmesi gerekmektedir.

ESH'ye olan talep sürekli olarak değişmektedir ve özellikle yoğun talep dönemlerinde ESH hemşireleri aşırı iş yükleri ile karşılaşabilmektedir. Bu nedenle yeni hastaların ESH programına dâhil edilip edilmeyeceği gibi önemli kararlar alınırken hemşirelerin iş yükleri dikkate alınmalıdır. Bu karar sürecinde, ziyaret edilecek hasta sayısının mümkün olduğunca maksimum düzeyde olması ve aynı zamanda hemşirelerin yüklerinin mümkün olduğunca minimum düzeyde olması şeklinde iki ana hedef belirlenerek hedef programlama yaklaşımı ile karar vericilere bu hedefleri belirli ölçülerde gerçekleştiren alternatif çözümler sunulabilir. Bu tez çalışması kapsamında, bu iki hedefi göz önünde bulunduran bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir.

Geliştirilen hedef programlama modelinde, birinci modelden farklı olarak aşağıdaki parametreler ve karar değişkenleri tanımlanmıştır.

Parametreler

TWL	:	Toplam iş yükü
P	:	Sağlık hizmeti almak isteyen hasta sayısı
w_1	:	Birinci hedeften pozitif sapmanın ağırlığı
w_2	:	İkinci hedeften negatif sapmanın ağırlığı

Karar değişkenleri

dwl_s^+ : s. hemşirenin gün içinde maruz kaldığı toplam iş yükü değerinin izin verilen maksimum iş yükü değerinden pozitif sapması

dwl_s^- : s. hemşirenin gün içinde maruz kaldığı toplam iş yükü değerinin izin verilen maksimum iş yükü değerinden negatif sapması

drv^+ : Ziyaret edilmesi gereken hasta sayısından pozitif sapma

drv^- : Ziyaret edilmesi gereken hasta sayısından negatif sapma

Model

$$\text{Min } w_1 \left(\frac{\sum_{s=1}^m dwl_s^+}{TWL} \right) + w_2 \left(\frac{drv^-}{P} \right) \quad (5.19)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in P} (x_{i,j}^s w_j^s) + dwl_s^- - dwl_s^+ = Q \quad \forall s \in H \quad (5.20)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in P} \sum_{s \in H} x_{i,j}^s + drv^- - drv^+ = P \quad (5.21)$$

$$(5.2) - (5.18)$$

$$dwl_s^-, dwl_s^+ \geq 0 \quad \forall s \in H; \quad drv^-, drv^+ \geq 0 \quad (5.22)$$

Amaç fonksiyonunda (5.19), hedeflerden sapmaların normalleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış değerleri toplamı en aza indirilmektedir. Tanımlanan hedeften sapma ağırlıklarının $[0,1]$ aralığında değerler alabilmesi için, $\sum_{s=1}^m dwl_s^+$ değeri, toplam iş yükü değerine; drv^- değeri ise toplam hasta sayısına bölünerek normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kısıt (5.20) ve Kısıt (5.21), sırasıyla iş yükü ve ziyaret edilen hasta sayısı ile ilişkili hedef kısıtlarıdır. (5.2)-(5.18) daha önce açıklandığı gibidir. Kısıt (5.22) sapma değişkenlerinin negatif olamayacağına ilişkin kısıtlardır.

Geliştirilen matematiksel modeller kullanılarak gerçekleştirilen uygulama çalışmalarına ilerleyen bölümlerde yer verilmiştir.



6. UYGULAMA

Bu bölümde, ilk olarak, uygulama çalışmalarında kullanılacak veri setleri ile ilgili bilgi verilmiştir. Daha sonra, geliştirilen tam sayılı doğrusal programlama ve hedef programlama modelleri kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlar sunulmuştur.

6.1 Veri Setlerinin Oluşturulması

Bu çalışmada önerilen çözüm yöntemi teorik niteliktedir. Bu nedenle önerilen yöntemin etkinliği rassal olarak türetilen örnek problemler üzerinde gösterilmiştir. ESHRÇP literatüründeki çalışmalarda problemin farklı açılardan ele alınması nedeniyle yaygın olarak kullanılan veri setleri bulunmamaktadır (Cissé ve diğ. 2017). Birçok çalışma, incelediği problem için kendi test verilerini kullanmıştır (Braekers ve diğ. 2016, Decerle diğ. 2018, Fathollahi Fard ve diğ. 2019, Fikar ve Hirsch 2015, Fikar ve Hirsch 2018, Frifita ve Masmoudi 2020, Hiermann diğ. 2015, Liu ve diğ. 2019, Mankowska ve diğ. 2014). Bu çalışmada da problemde yer alan parametreler için veriler rassal olarak üretilmiştir. Veri setleri oluşturulurken aşağıdaki kurallar takip edilmiştir.

- Hastaların evlerinin bulunduğu X ve Y koordinatları $[0, 100]$ aralığında rassal olarak üretilmiştir, evde sağlık merkezi ise $[50, 50]$ koordinatında yer almaktadır.
- Düşümler arasındaki seyahat süreleri Öklid mesafesine eşittir.
- Hastaların hizmet süreleri $[1, 30]$ dakika aralığında rassal olarak üretilmiştir.
- Hastaların iş yükleri $[0, 100]$ aralığında rassal olarak üretilmiştir.
- Hastaların ziyaret edileceği zaman penceresi $[0, 540]$ aralığında rassal olarak belirlenmiştir.

Ayrıca, hemşirelerin 11.00-13.00 saat aralığında 1 saatlik öğle molası vermesi gerekmektedir. Bu nedenle öğle molası için zaman penceresi $[180, 300]$ olarak belirlenmiştir.

Yukarıdaki kurallar kullanılarak Tablo 6.1’de verilen hasta ve hemşire sayısı için 8 farklı problem oluşturulmuştur.

Tablo 6.1: Örnek problemlerdeki hasta ve hemşire sayıları

Problem No	Hasta Sayısı	Hemşire Sayısı
1	15	3
2	20	3
3	25	4
4	30	5
5	40	7
6	50	9
7	60	11
8	70	13

1 nolu örnek probleme ait veriler Bölüm 6.2.1.1'de diğer örnek problemlere ait veriler ise Ek A'da sunulmuştur.

6.2 Deneyisel Sonuçlar

Bu bölümde, önerilen çözüm yönteminin performansını değerlendirmeye ve karar vericilere farklı senaryolar ile ilgili fikir vermeye yönelik gerçekleştirilen deneyisel çalışmalara yer verilmiştir. Bu bağlamda matematiksel modellerin çözümünde, Intel i5-4460 işlemcili, 8 GB RAM'li ve 3,20 GHz çekirdek hızına sahip bir bilgisayar, CPLEX Versiyon 12.2.0.0 çözücüsü ve Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (GAMS) Versiyon 23.5.1 kullanılmıştır.

6.2.1 Karma Tamsayılı Model

Bu bölümde, geliştirilen veri setlerinin ve karma tamsayılı doğrusal modelin detayları 1 nolu örnek problem üzerinde açıklanmıştır. Bu noktada elde edilen olumlu sonuçları doğrulamak amacıyla daha büyük boyutlu problemler çözülerek önerilen çözüm yönteminin performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca, izin verilen günlük toplam iş yükü değeri parametresinin sonuçlar üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonuçları sunulmuştur.

6.2.1.1 Örnek Problem

Tablo 6.2’de 15 hasta ve 3 hemşirenin bulunduğu 1 nolu örnek probleme ait parametreler verilmektedir. Tabloda hastaların konumları, hizmet süreleri, hemşire ziyaretlerinin yapılabileceği zaman pencereleri, hastaların tedavi ihtiyaçlarına göre atanabilecek hemşireler (hasta-hemşire uyumu sütunu) ve her bir hasta-hemşire çifti için bir sonraki ziyarette beklenen tahmini iş yükleri verilmektedir.

Önerilen yöntemin performansını karşılaştırmak için 5. Bölümde verilen karma tamsayılı model iş yükü kısıtı ile (Durum 1) ve iş yükü kısıtı çıkarılarak (Durum 2) çözülmüştür. Durum 1’de, iş yükü kısıtlarının oluşturulması için maksimum iş yükü düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla hemşirilerin ziyaret edecekleri maksimum hasta sayısı (b) baz alınmıştır. Hastaların iş yüklerinin orta düzeyde (50) olduğu kabul edilmiş ve günlük maksimum iş yükü düzeyi $50 * b$ olarak belirlenmiştir. Örnek problemde 15 hasta 3 hemşireden hizmet alacağından, hasta sayısı açısından denge sağlamak için günlük ziyaret edilecek maksimum hasta sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle her hemşire için maksimum iş yükü düzeyi 250 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.3’te, her iki durum için örnek problemin en iyi çözümünde hemşirelerin ziyaret edecekleri hastalar ve bu ziyaretler sonrasında oluşan iş yükleri verilmektedir. Her iki durumda da tüm hastalar ziyaret edilmiş; problemin birincil amacı olan ziyaret edilecek hasta sayısını maksimum yapma amacı kaşılanmıştır. Ancak, hemşirelerin ergonomik riskler açısından maruz kaldıkları iş yükleri karşılaştırıldığında iki durum arasında önemli farklar bulunmaktadır. Durum 1’de hemşirilerin maruz kaldığı maksimum iş yükü düzeyi 188 olarak belirlenen düzeyin çok altında kalmıştır. Durum 2’de 2 hemşire günlük izin verilen iş yükü düzeyini aşmış ve maksimum iş yükü düzeyi 314 olarak bulunmuştur. Ayrıca, iki durumun ortalama iş yükleri (162.33, 242) ve iş yüklerinin ortalama mutlak sapmaları (OMS) (17.11, 56) karşılaştırıldığında Durum 1 için hemşirelerin ortalama iş yüklerinin hem azaldığı hem de daha dengeli bir şekilde dağıldığı görülmektedir.

Tablo 6.2: Örnek problemin parametreleri

Hasta No	Hastaların ev koordinatları	Hizmet süresi (dk.)	Zaman penceresi (dk.)	Hasta-Hemşire uyumu			Tahmini iş yükü değeri		
				Hemşire 1	Hemşire 2	Hemşire 3	Hemşire 1	Hemşire 2	Hemşire 3
1	(21, 19)	20	[120, 540]	1	1	1	60	73	50
2	(83, 30)	21	[0, 540]	1	1	1	74	43	14
3	(19, 45)	22	[0, 360]	1	0	1	50	—	38
4	(43, 20)	22	[0, 540]	1	1	1	28	50	76
5	(27, 71)	30	[0, 540]	1	1	1	91	31	12
6	(21, 82)	28	[120, 540]	1	1	1	29	42	24
7	(53, 39)	23	[0, 540]	1	1	1	70	82	50
8	(89, 71)	28	[0, 540]	0	1	1	—	50	55
9	(77, 32)	24	[0, 540]	1	1	1	50	53	97
10	(94, 30)	29	[0, 540]	1	0	1	55	—	25
11	(84, 19)	23	[0, 540]	1	1	1	83	56	20
12	(89, 21)	15	[300, 540]	1	0	1	30	—	39
13	(9, 83)	24	[0, 540]	1	1	1	5	50	32
14	(98, 37)	26	[0, 540]	1	1	1	74	33	26
15	(21, 20)	24	[0, 540]	1	1	1	91	21	90

Gerçek hayat problemlerinde hemşireler hasta ziyaretleri sırasında aşırı iş yükü veya dengesiz iş yükü dağılımı ile karşılaşabilmektedir. Tablo 6.3’de yer alan sonuçlar, hasta ziyaretlerinin planlanmasında iş yüklerinin dikkate alınması durumunda hizmet kalitesini düşürmeden hem hemşirelerin günlük iş yüklerinin azaltılabileceğini, hem de iş yüklerinin hemşireler arasında daha dengeli bir şekilde dağıtılabileceğini göstermektedir.

Tablo 6.3: En iyi çözümde hemşirelere atanan hastalar ve iş yükleri

Durum 1			Durum 2		
Hemşire No	Hasta sıralaması	İş yükü	Hemşire No	Hasta sıralaması	İş yükü
1	1-12-13-6-4	152	1	14, 13, 6, 10, 15	254
2	5-8-9-14-15	188	2	1, 11, 4, 7, 9	314
3	7-10-11-2-3	147	3	5, 8, 3, 2, 12	158
Ortalama iş yükü		162.33	Ortalama iş yükü		242
İş yükü için OMS		17.11	İş yükü için OMS		56

6.2.1.2 Duyarlılık Analizi

Önerilen iş yükü kısıtının problem üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bunun için 1 nolu problemde izin verilen günlük maksimum iş yükü düzeyinin (Q) 100 ile 250 arasında değiştiği 8 senaryo oluşturulmuştur (bkz. Tablo 6.4). İzin verilen iş yükü düzeyi azaldıkça ziyaret edilen hasta sayısı ve hasta atamaları 1, 2 ve 3 nolu senaryolar için değişmemiştir. 4. ve 5. senaryolarda 14 hasta ziyaret edilmekte fakat iş yükleri açısından değerlendirildiğinde 5. senaryoda hem maksimum iş yükü değeri düşmekte hem de iş yükleri daha dengeli bir şekilde dağılmaktadır. Bu nedenle 5. senaryo tercih edilmelidir. Bu sonuç problemin alternatif çözümleri olduğunda iş yükü açısından değerlendirmede bulunmanın faydalı olabileceğini göstermektedir.

Önerilen model hemşirelerin maruz kaldıkları iş yüklerinin günlük izin verilen iş yükünü aşmamasını sağlamakta, iş yüklerinin dengelenmesini dikkate almamaktadır. Tablo 6.4’te izin verilen iş yükü düzeyi düştükçe, iş yükü dağılımlarının daha dengeli hale geldiği gözlemlenmektedir. Bu nedenle, alternatif çözümler olduğu

göz önünde bulundurularak izin verilen iş yükü düzeyi kademeli bir şekilde düşürülerek daha dengeli çözümler elde edilebilir.

Tablo 6.4: Duyarlılık analizi sonuçları

Senaryo No	İzin verilen iş yükü seviyesi	Ziyaret edilen hasta sayısı	İş yükü değeri			Ortalama iş yükü
			Hemşire 1	Hemşire 2	Hemşire 3	
1	250	15	152	188	147	162.33
2	225	15	152	188	147	162.33
3	200	15	152	188	147	162.33
4	175	14	152	157	109	139.33
5	150	14	142	135	147	141.33
6	125	12	92	104	109	101.66
7	100	11	92	71	97	86.66

6.2.1.3 Büyük Boyutlu Problemlerin Çözüm Sonuçları

Bu bölümde, 1 nolu problem için Durum 1 ve Durum 2'nin karşılaştırılması ile elde edilen olumlu sonuçların daha büyük boyuttaki 2, 4-8 nolu problemlerle yapılan değerlendirmelerle doğrulanması amaçlanmıştır. Tablo 6.5'te, ele alınan problemlerin Durum 1 ve Durum 2 için elde edilen çözüm sonuçları sunulmuştur. Durum 1'de 2 ve 4 nolu problemler için en iyi çözümler elde edilirken, 5-8 nolu örnekler için en iyi çözümlerin %1,25'i dahilindeki çözümlere ulaşılmıştır. Durum 2'de ise tüm problemler için en iyi çözüme ulaşılmıştır.

Tablo 6.5'te, her iki Durum için elde edilen tüm sonuçlarda, hastaların tamamına evde sağlık hizmeti sunulduğu, yani temel hedefimizin gerçekleştiği görülmektedir. Durum 1 ve Durum 2 ile elde edilen sonuçlar iş yükü açısından karşılaştırıldığında ise, iş yükü kısıtlarının modele dâhil edilmesi ile birlikte ortalama iş yükü, iş yükü için ortalama mutlak sapma (OMS) ve izin verilen iş yükünü aşan hemşire sayısının önemli oranda azaldığı görülmektedir. Örneğin, 8 nolu problemin Durum 1 ile çözülmesi sonucunda, ortalama iş yükü 48.61, iş yükü için OMS 15.76 olurken, hiçbir hemşire izin verilen iş yükünü aşmamıştır. Aynı problemin Durum 2 ile çözülmesi sonucunda ise ortalama iş yükü 293.54, iş yükü için OMS 65.26 düzeyine çıkarken 13 hemşireden 9'u izin verilen iş yükünü aşmıştır.

Sonuç olarak, Tablo 6.5'teki bulgular, bir önceki bölümde elde edilen sonuçları doğrulayarak, önerilen çözüm yönteminin hemşirelerin iş yüklerini azaltırken daha dengeli bir iş yükü dağılımı sağladığını göstermektedir.



Tablo 6.5: 2, 4-8 Nolu problemlerin Durum 1 ve Durum 2 ile çözüm sonuçları

Problem No	Problem Boyutu	Durum 1				Durum 2			
		Ziyaret edilen hasta sayısı	Ortalama iş yükü	İş yükü OMS	İzin verilen iş yükünü aşan hemşire sayısı	Ziyaret edilen hasta sayısı	Ortalama iş yükü	İş yükü OMS	İzin verilen iş yükünü aşan hemşire sayısı
2	(20x3)	20	219.00	5.33	0	20	302.00	48.00	2
4	(30x5)	30	212.66	28.32	0	30	313.20	55.84	5
5	(40x7)	40	72.71	33.18	0	40	244.71	68.16	2
6	(50x9)	50	52.44	14.37	0	50	295.33	62.26	6
7	(60x11)	60	67.72	35.70	0	60	263.82	84.56	6
8	(70x13)	70	48.61	15.76	0	70	293.54	65.26	9

6.2.2 Hedef Programlama Modeli

Birden fazla amaç kriteri içeren karmaşık karar verme problemlerini çözmek için kullanılan ağırlıklı hedef programlama yaklaşımı, hedeflere öncelik atama ve farklı senaryoları değerlendirme olanağı sunarak karar vericilere esneklik sağlamaktadır. Bu bölümde, örnek bir değerlendirme sunmak amacıyla 2, 3 ve 4 numaralı problemler iş yükü seviyelerine ve ağırlıklara farklı değerler verilerek çözülmüştür. Tablo 6.6'da problem boyutları, günlük izin verilen maksimum iş yükleri, hedeflerin ağırlıkları, toplam iş yükü, hedeflenen ziyaret sayısı ve hedeften sapma değerleri verilmektedir.

Tablo 6.6'daki sonuçların ne anlama geldiğini ilk satırdaki senaryo için elde edilen sonuçlar üzerinde açıklayalım. Bu senaryoda 20 hasta ve 3 hemşire bulunmaktadır. Her hemşire için günlük izin verilen maksimum iş yükü değeri 100'dür. Bu senaryoda hedeflenen hasta ziyaretlerinin gerçekleşmesine daha fazla önem verildiği için ağırlık katsayısı 0.7 olarak belirlenmiştir. Ağırlıklar toplamının 1 olması gerektiğinden iş yükü için ağırlık katsayısı 0.3 olarak belirlenmiştir. Problemin bu parametreler dikkate alınarak çözülmesi sonucunda, izin verilen maksimum iş yükü toplamda 20 puan aşılmış ve 20 hastadan 6'sına ziyaret gerçekleştirilmemiştir.

Tablo 6.6'daki sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde izin verilen iş yükü düzeyi arttıkça hem daha fazla hastaya hizmet sunulmakta hem de belirlenen iş yükü düzeyini aşan toplam hemşire yükleri azalmaktadır. Ancak, iş yükü düzeyinin arttırılması hemşilerin sağlığına zarar vereceğinden karar vericiler uygun bir iş yükü düzeyi belirleyerek günlük ziyaret planlarını oluşturmalıdır. Sonuçlar incelendiğinde, problem boyutu büyüdükçe talep hedefinin daha kolay sağlanabildiğini söylemek mümkündür. Gerçekleştirilen sayısal analiz karar vericilere, hemşirelere yönelik farklı iş yükü alternatiflerini değerlendirme ve talebin karşılanması ile hemşirelerin konfor düzeyi arasındaki ödünleşmeyi sağlama imkânı sunmaktadır.

Tablo 6.6: Hedef programlama modelinin çözümünden elde edilen sonuçlar

Problem	Q	w_1	w_2	TWL	P	TPS	NS
(20x3)	100	0.3	0.7	300	20	20	6
		0.4	0.6	300	20	20	6
		0.5	0.5	300	20	0	7
		0.6	0.4	300	20	0	7
		0.7	0.3	300	20	0	7
	150	0.3	0.7	450	20	170	0
		0.4	0.6	450	20	20	3
		0.5	0.5	450	20	20	3
		0.6	0.4	450	20	0	4
		0.7	0.3	450	20	0	4
	200	0.3	0.7	600	20	20	0
		0.4	0.6	600	20	20	0
		0.5	0.5	600	20	20	0
		0.6	0.4	600	20	20	0
		0.7	0.3	600	20	0	1
(25x4)	100	0.3	0.7	400	25	10	3
		0.4	0.6	400	25	10	3
		0.5	0.5	400	25	10	3
		0.6	0.4	400	25	10	3
		0.7	0.3	400	25	0	4
	150	0.3	0.7	600	25	10	0
		0.4	0.6	600	25	10	0
		0.5	0.5	600	25	10	0
		0.6	0.4	600	25	10	0
		0.7	0.3	600	25	10	0
	200	0.3	0.7	800	25	10	0
		0.4	0.6	800	25	0	0
		0.5	0.5	800	25	0	0
		0.6	0.4	800	25	0	0
		0.7	0.3	800	25	0	0
(30x5)	100	0.3	0.7	500	30	40	2
		0.4	0.6	500	30	10	3
		0.5	0.5	500	30	10	3
		0.6	0.4	500	30	10	3
		0.7	0.3	500	30	0	4
	150	0.3	0.7	750	30	10	0
		0.4	0.6	750	30	20	0
		0.5	0.5	750	30	20	0
		0.6	0.4	750	30	0	1
		0.7	0.3	750	30	0	1
	200	0.3	0.7	1000	30	0	0
		0.4	0.6	1000	30	0	1
		0.5	0.5	1000	30	0	0
		0.6	0.4	1000	30	0	0
		0.7	0.3	1000	30	0	1

Q: İzin verilen maksimum iş yükü, w_1 : İş yükünden sapmaları ağırlıklandırmak için kullanılan katsayı; w_2 : Hedeflenen hasta sayısından sapmaları ağırlıklandırmak için kullanılan katsayı; TWL : Tüm hemşireler için toplam iş yükü; P : Günlük hedeflenen hasta sayısı; TPS : Belirlenen iş yükünün üzerindeki toplam pozitif sapma; NS : Ziyaret edilemeyen hasta sayısı (hedeften negatif sapma)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hasta memnuniyeti ve maliyet açısından sunduğu avantajlar ile hastaneye yatışlara karşı etkin bir alternatif olan evde sağlık hizmetleri (ESH) tüm dünyada hızla yaygınlaşmaktadır. ESH hemşireleri, zor hasta olarak tanımlanabilecek pek çok hasta grubuna (terminal hastalar, ileri yaşta hastalar, engelli hastalar, madde bağımlılığı olan hastalar, zihinsel sağlık sorunlarına sahip hastalar vb.) kendi yaşam alanlarında hizmet sunmaktadır. Bu bağlamda, pek çok mesleki tehlike ve fiziksel güç gerektiren görevle karşı karşıya kalan ESH personeli için planlama çalışması yapılırken risk faktörlerinin dikkate alınması oldukça önemlidir.

Evde sağlık hemşireleri, hizmet ve seyahat süreçleri sırasında kas-iskelet sistemi hastalıkları ve tükenmişlik sendromu gibi mental rahatsızlıklara neden olan ergonomik risk faktörlerine maruz kalmaktadır. Gün içinde değişen ortamlarda hizmet veren hemşireler için, söz konusu fiziksel, zihinsel ve çevresel risk faktörlerini ergonomik önlemlerle ortadan kaldırmak pratikte oldukça zordur. Bu noktada, en etkili yaklaşım, ergonomik risk faktörlerine bağlı olarak oluşan iş yükünün hemşireler arasında belirli sınırlar doğrultusunda dağıtılmasıdır. Bu tez çalışmasında bahsedilen yaklaşımın uygulamasına yönelik bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen çözüm yöntemi, hemşirelerin karşılaştıkları ergonomik risk faktörleriyle ilgili öznel algıları temel alınarak belirlenen iş yükü değerlerini dikkate alarak iş çizelgeleri oluşturmaktadır. Bu sayede, hemşirelerin günlük çalışma planları, kendi deneyimleri ve algılarına uygun bir şekilde düzenlenerek, genel iyi oluşları desteklenmektedir.

7.1 Bulgular

Tez çalışması kapsamında tam sayılı doğrusal programlama ve hedef programlama yapısında iki adet matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel modellerin çözülmesi amacıyla, literatürde yer alan bazı veri setlerinden yararlanarak probleme özgü veri setleri oluşturulmuştur. Önerilen çözüm yönteminin ve geliştirilen veri setinin yapısını açıklamak amacıyla, küçük boyutlu bir örnek problemin karma tamsayılı doğrusal model ile çözüm sonuçları sunulmuştur. Tez çalışmasında önerilen çözüm yaklaşımının performansını değerlendirmek amacıyla, geliştirilen karma

tamsayılı doğrusal modele ait iki durum tanımlanmıştır. Durum 1'de iş yükü kısıtları probleme dâhil edilirken, Durum 2'de bu kısıtlar dikkate alınmamıştır. Her iki durumda; GAMS paket programı kullanılarak elde edilen çözüm sonuçlarına göre, tüm hastalar ziyaret edilmiştir. Ancak, iki durum arasında iş yükü dağılımında önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Durum 1'de bulunan iş yükü kısıtı sayesinde 3 hemşireden hiçbirine ait iş yükü değeri, günlük izin verilen iş yükü seviyesini aşmamıştır. Öte yandan, Durum 2'de, 3 hemşireden 2'sinin iş yükü değeri izin verilen iş yükü seviyesini aşmıştır. Ayrıca, Durum 2'de iş yükü için ortalama ve ortalama mutlak sapma (OMS) değerlerinin Durum 1'e göre belirgin şekilde yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, iş yükü kısıtlarının modele dâhil edilmesinin, hemşirelerin iş yükünü düşürdüğünü ve daha dengeli hale getirdiğini göstermiştir.

Küçük boyutlu örnek problemin çözülmesi ile elde edilen olumlu sonuçları doğrulamak amacıyla, daha büyük boyuttaki 6 adet problem, tam sayılı programlama modelinin her iki durumu ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, küçük boyutlu örnek probleme ait sonuçları doğrulayarak, önerilen çözüm yönteminin hemşirelerin iş yüklerini azaltırken daha dengeli bir iş yükü dağılımı sağladığını göstermiştir.

Tez çalışması kapsamında, izin verilen günlük maksimum iş yükü düzeyi (Q) parametresinin çözüm üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Q parametresinin azaltılmasıyla, iş yükü dağılımlarının daha dengeli hale geldiği gözlemlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ile karar vericilere daha dengeli iş dağılımı sunan alternatifleri değerlendirme imkânı sunulmuştur.

Son olarak, geliştirilen hedef programlama modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar ışığında, karar vericilere farklı senaryolar ile ilgili fikir vermek amaçlanmıştır. Geliştirilen iki amaçlı hedef programlama modeli mümkün olduğu kadar çok sayıda hastayı ziyaret ederek talebi karşılarken, hemşirelerin iş yükünü olabildiğince düzgün dağıtmayı amaçlamaktadır. Karar vericiler kendi öncelikleri doğrultusunda amaçlara farklı ağırlık değerleri atayabilmektedir. Elde edilen sonuçlar ile karar vericilere, talebin karşılanması ile hemşirelerin konfor düzeyi arasındaki ödünleşmeyi değerlendirme imkânı sunulmuştur.

7.2 Katkıların Özetlenmesi

Etkili personel planlaması, ESH operasyonlarını başarılı bir şekilde yönetmenin temel unsurudur. Planlama çalışmalarının, evde sağlık personelinin becerilerine ve iş yükü dağılımına odaklanarak gerçekleştirilmesi, hizmet kalitesini ve personel memnuniyetini sağlamak açısından büyük öneme sahiptir. Bu tez çalışması, ESH alanında personel planlaması konusuna teorik anlamda katkıda bulunmanın ötesinde, genel hizmet kalitesini artırabilecek pratik ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Bu doğrultuda, geliştirilen yenilikçi yaklaşıma ait unsurlar aşağıda listelenmiştir.

- ESH paydaşlarının farklı bakış açılarının birlikte ele alınması

ESH planlamasında kritik olan unsurlardan biri, sistemi oluşturan paydaşların farklı beklentilerini dengeleyebilmektir. Bu tez çalışmasında, hastaların/hizmet sağlayıcı kuruluşların ve sağlık profesyonellerinin beklentileri arasındaki ödünleşme ele alınmaktadır. ESH sağlayıcı kuruluşların maliyet ve verimlilik unsurları doğrultusunda belirleyecekleri öncelikler doğrultusunda, hastaların talep ettiği hizmetleri zamanında alması ve hemşirelerin konfor düzeyi arasında bir denge kurulmaktadır.

- Ergonomik faktörlerin evde sağlık hizmetleri rotalama ve çizelgeleme problemine (ESHRÇP) dâhil edilmesi

ESHRÇP literatüründe genellikle nicel faktörlere dayalı olarak değerlendirilen iş yükü konusu, bu çalışmada evde sağlık hemşirelerinin ESH sistemlerine özgü ergonomik risk faktörleri karşısındaki iş yükü algısını dikkate alan bir yaklaşımla ele alınmıştır. Böylelikle, bildiğimiz kadarı ile ilk kez bu çalışmada sağlık sektörü için birincil önceliğe sahip olan ergonomi konusu ESHRÇP'ye dâhil edilmiştir.

- Entegre bir iş yükü değerlendirme yönteminin geliştirilmesi

Çalışmanın literatüre başlıca katkısı, geliştirilen entegre iş yükü değerlendirme yaklaşımıdır. Bu yaklaşım kapsamında hemşirelerin iş yükü konusundaki subjektif algısını belirlemeye yönelik, ESH sunulan dinamik ortamlarda

kolaylıkla uygulanabilir yapıda bir GSA tasarlanmıştır. GSA ile elde edilen dilsel değişken şeklindeki verilerin sayısal iş yükü değerlerine dönüştürülmesi amacıyla bir bulanık çıkarım sistemi (BÇS) geliştirilmiştir.

Hemşirelerin farklı ortamlarda çalışmaları ve mesleki deneyimlerinin farklı olması göz önüne alındığında, geliştirilen yöntem bireysel ihtiyaçları anlamak ve spesifik çözümler geliştirmek anlamında oldukça faydalıdır.

- Çok durumlu Markov modeli ile zamansal değişkenlik

Çalışmada, ergonomik risk faktörlerindeki değişkenlik sadece mekânsal değil, aynı zamanda zamansal boyutta da ele alınmıştır. Hemşirelerin algıları zaman içinde değişebildiği için, çok durumlu Markov (ÇDM) modeli kullanılarak gelecek dönem iş yükü tahmini gerçekleştirilmiştir.

- Tahmin sonuçlarına dayalı iş çizelgesi tasarımı

Çalışma kapsamında tam sayılı doğrusal programlama ve hedef programlama yapısında iki adet matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel modeller, tahmini iş yükü verisini girdi olarak kullanarak, hemşireleri hastalara becerilerine göre atayan, kabul edilebilir bir iş yükü düzeyini sürdüren ve her hemşire için uygun bir öğle molası sağlayan iş çizelgeleri üretmektedir.

- Karar vericilere esneklik sunulması

Tez çalışması kapsamında faydalanılan ağırlıklı hedef programlama yaklaşımı, hedeflere ağırlık atama ve farklı senaryoları değerlendirme olanağı sunarak karar vericilere esneklik sağlamaktadır. Geliştirilen hedef programlama modeli üzerinde gerçekleştirilen deneysel analizler ile karar vericilere, hemşirelere yönelik farklı iş yükü alternatiflerini değerlendirme ve talebin karşılanması ile hemşirelerin konfor düzeyi arasındaki ödünleşmeyi sağlama imkânı sunulmuştur. Ayrıca, geliştirilen tam sayılı doğrusal programlama modeli üzerinde gerçekleştirilen duyarlılık analizi ile karar vericilere daha dengeli iş dağılımı sunan alternatiflere yönelme imkânı sunulmuştur.

- Pratik ve uygulanabilir çözümler sunulması

Bu çalışma ile ESHRÇP literatürüne teorik katkıda bulunmanın yanı sıra, evde sağlık hemşirelerinin çalışma şartlarını iyileştirmeye, hizmet kalitesini artırmaya ve iş yükü dağılımını adil bir şekilde gerçekleştirmeye yönelik pratik ve uygulanabilir çözümler sunmak amaçlanmıştır.

7.3 Sınırlamalar ve Gelecek Araştırma Alanları

Tez çalışmasının sınırlamaları ve bu doğrultuda gelecekte daha fazla araştırma gerektiren konular aşağıda listelenmiştir;

- Önerilen çözüm yöntemi, evde sağlık hemşireleri için günlük iş çizelgeleri oluşturmayı amaçlamaktadır. Geliştirilen tam sayısal doğrusal model hemşirelerin günlük iş yükünü belirlenen sınırlar dâhilinde tutmakta, hedef programlama modeli ise belirlenen günlük iş yükü değerinden sapmaları minimize etmektedir. Bu doğrultuda, geliştirilen matematiksel modellerin, iş yükünün dikkate alınmadığı duruma göre hemşirelerin iş yüklerini daha düşük ve dengeli hale getirdiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, matematiksel modeller dengeli bir iş yükü dağılımını garanti etmemektedir. Gelecekteki araştırmalar, özellikle iş yükü dengeleme amacıyla tasarlanmış yeni modellerin geliştirilmesine odaklanabilir, bu doğrultuda doğrusal olmayan kısıtlar içeren matematiksel modellerin geliştirilmesi gerekebilir.
- Gelecek dönem araştırmalarında, evde sağlık hemşireleri için uzun dönemli iş çizelgeleri (haftalık, aylık vb.) üreten modeller üzerinde çalışılabilir. Bu noktada gelecekteki talepleri tahmin etme konusu daha da önemli hale gelecektir.
- Bu tez çalışmasında zaman pencereleri, hemşirelerin beceri seviyeleri, iş yükü ve öğle molası gibi yaygın kısıtlar dikkate alınmış olmakla birlikte, ESH süreklilik ve senkronizasyon gibi sektöre özgü ek kısıtlamalar içermektedir. Gelecek dönemde matematiksel modellerin bu kısıtlamaları kapsayacak şekilde genişletilmesi, pratik uygulanabilirliğini artırabilir.
- Gelecek dönem çalışmalarında, geliştirilen öznel iş yükü değerlendirme yöntemi, objektif yaklaşımlarla desteklenebilir.

- Tez çalışmasında ele alınan problem NP-zor olduğundan sezgisel yöntemlerin kullanılması faydalı olacaktır.



8. KAYNAKLAR

Abdalkareem, Z. A., Amir, A., Al-Betar, M. A., Ekhan, P., Hammouri, A. I., “Healthcare scheduling in optimization context: a review”, *Health and Technology*, 1-25, (2021).

Akjiratikarl, C., Yenradee, P., Drake, P. R., “PSO-based algorithm for home care worker scheduling in the UK”, *Computers & Industrial Engineering*, 53(4), 559-583, (2007).

Allaoua, H., Borne, S., Létocart, L., Calvo, R. W., “A matheuristic approach for solving a home health care problem.” *Electronic notes in discrete mathematics*, 41, 471-478, (2013).

Alves, F., Costa, L. A., Rocha, A. M. A., Pereira, A. I., Leitão, P., “The Sustainable Home Health Care Process Based on Multi-Criteria Decision-Support”, *Mathematics*, 11(1), 6, (2022).

Amin, N. A., Noah, R. M., Quek, K. F., Oxley, J. A., Rusli, B. N., “Perceived physical demands in relation to work-related musculoskeletal disorders among nurses”, *Materials Today: Proceedings*, 31, 79–82, (2020).

Argiento, R., Guglielmi, A., Lanzarone, E., Nawajah, I., “Bayesian joint modelling of the health profile and demand of home care patients.” *IMA Journal of Management Mathematics*, 28(4), 531-552 (2017).

Arik, O. A., Köse, E., Canbulut, G., “Goal programming approach for carrying people with physical disabilities.” *Promet-Traffic&Transportation*, 32(4), 585-594, (2020).

Aspinall, W. P., Carniel, R., Jaquet, O., Woo, G., Hincks, T., “Using hidden multi-state Markov models with multi-parameter volcanic data to provide empirical evidence for alert level decision-support.” *Journal of volcanology and geothermal research*, 153(1-2), 112-124, (2006).

Azadeh, A., Rouzbahman, M., Saberi, M., Valianpour, F., Keramati, A., “Improved prediction of mental workload versus HSE and ergonomics factors by an adaptive intelligent algorithm”, *Safety Science*, 58, 59-75, (2013).

Bachouch, R. B., Guinet, A., Hajri-Gabouj, S., “A decision-making tool for home health care nurses’ planning”, *In Supply Chain Forum: An International Journal* (Vol. 12, No. 1, pp. 14-20), (2011).

Bahadori-Chinibelagh, S., Fathollahi-Fard, A. M., Hajiaghaei-Keshteli, M., “Two constructive algorithms to address a multi-depot home healthcare routing problem”, *IETE Journal of Research*, 68(2), 1108-1114, (2022).

Bard, J. F., Shao, Y., Wang, H., “Weekly scheduling models for traveling therapists.” *Socio-Economic Planning Sciences*, 47(3), 191-204, . (2013)

Barrera, D., Velasco, N., Amaya, C. A., “A network-based approach to the multi-activity combined timetabling and crew scheduling problem: Workforce scheduling for public health policy implementation”, *Computers & Industrial Engineering*, 63(4), 802-812, (2012).

Bennett, A. R., Erera, A. L., “Dynamic periodic fixed appointment scheduling for home health.” *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 1(1), 6-19, (2011).

Bertels, S., Fahle, T., “A hybrid setup for a hybrid scenario: combining heuristics for the home health care problem”, *Computers & operations research*, 33(10), 2866-2890, (2006).

Bien, E., Davis, K., Gillespie, G., “Home healthcare workers' occupational exposures”, *Home Healthcare Now*, 38(5), 247-253, (2020).

Blanco-Encomienda, F. J., “A multi-state Markov model for projecting health care spending.” *European Scientific Journal*, 9(21), (2013).

Bowers, J., Cheyne, H., Mould, G., Page, M., “Continuity of care in community midwifery”, *Health care management science*, 18, 195-204, (2015).

Bredström, D., Rönnqvist, M., “Combined vehicle routing and scheduling with temporal precedence and synchronization constraints”, *European journal of operational research*, 191(1), 19-3, (2008).

Braekers, K., Hartl, R. F., Parragh, S. N., Tricoire, F., “A bi-objective home care scheduling problem: Analyzing the trade-off between costs and client inconvenience.” *European journal of operational research*, 248(2), 428-443, (2016).

Buchholz, B., Paquet, V., Punnett, L., Lee, D., Moir, S., “PATH: A work sampling-based approach to ergonomic job analysis for construction and other non-repetitive work.” *Applied ergonomics*, 27(3), 177-187, (1996).

Burgess, J. F., “Innovation and efficiency in health care: does anyone really know what they mean?.” *Health Systems*, 1, 7-12, (2012).

Cappanera, P., Scutellà, M. G., “Home Care optimization: impact of pattern generation policies on scheduling and routing decisions”, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 41, 53-60, (2013).

Cappanera, P., Scutellà, M. G., “Joint assignment, scheduling, and routing models to home care optimization: A pattern-based approach”, *Transportation Science*, 49(4), 830-852, (2015).

Cappanera, P., Scutellà, M. G., Nervi, F., Galli, L., “Demand uncertainty in robust home care optimization”, *Omega*, 80, 95-110, (2018).

Carello, G., Lanzarone, E., “A cardinality-constrained robust model for the assignment problem in home care services.” *European Journal of Operational Research*, 236(2), 748-762, (2014).

Carello, G., Lanzarone, E., Mattia, S., “Trade-off between stakeholders’ goals in the home care nurse-to-patient assignment problem”, *Operations research for health care*, 16, 29-40, (2018).

Chahed, S., Marcon, E., Sahin, E., Feillet, D., Dallery, Y., “Exploring new operational research opportunities within the Home Care context: the chemotherapy at home.” *Health care management science*, 12, 179-191, (2009).

Chaieb, M., Jemai, J., Mellouli, K., “A decomposition-construction approach for solving the home health care scheduling problem”, *Health care management science*, 23(2), 264-286, (2020).

Charles, R. L., Nixon, J., “Measuring mental workload using physiological measures: a systematic review”, *Applied Ergonomics*, 74, 221-232, (2019).

Chen, J.G., Jung, H.S., Peacock, B. J., “A fuzzy sets modelling approach for ergonomic workload stress analysis”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 13(3), 189-216, (1994).

Cheung, K., Gillen, M., Faucett, J., Krause, N., “The prevalence of and risk factors for back pain among home care nursing personnel in Hong Kong”, *American journal of industrial medicine*, 49(1), 14-22, (2006).

Cissé, M., Yalçındağ, S., Kergosien, Y., Şahin, E., Lenté, C., Matta, A., “OR problems related to Home Health Care: A review of relevant routing and scheduling problems.” *Operations research for health care*, 13, 1-22, (2017).

Commenges, D., Joly, P., Letenneur, L., Dartigues, J. F., “Incidence and mortality of Alzheimer's disease or dementia using an illness-death model.” *Statistics in medicine*, 23(2), 199-210, (2004).

Cooper, S.L., Carleton, H. L., Chamberlain, S.A., Cummings, G.G., Bambrick, W., Estabrooks, C.A., “Burnout in the nursing home health care aide: A systematic review”, *Burnout Research*, 3(3), 76-87, (2016).

Decerle, J., Grunder, O., El Hassani, A. H., Barakat, O., “A hybrid memetic-ant colony optimization algorithm for the home health care problem with time window, synchronization and working time balancing”, *Swarm and Evolutionary Computation*, 46, 171–183, (2019).

Decerle, J., Grunder, O., Hajjam El Hassani, A., Barakat, O.A., “Memetic algorithm for a home health care routing and scheduling problem”, *Operations Research for Health Care* 16, 59–71, (2018).

Di Mascolo, M., Martinez, C., Espinouse, M. L., “Routing and scheduling in home health care: A literature survey and bibliometric analysis”, *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107255, (2021).

Dohn, A., Kolind, E., Clausen, J., “The manpower allocation problem with time windows and job-teaming constraints: A branch-and-price approach”, *Computers & Operations Research*, 36(4), 1145-1157, (2009).

Durak, Z., Mutlu, O. “Home health care nurse routing and scheduling problem considering ergonomic risk factors.” *Heliyon*, 10(1), (2024).

Eveborn, P., Flisberg, P., Rönnqvist, M., “Laps Care—an operational system for staff planning of home care”, *European journal of operational research*, 171(3), 962-976, (2006).

Fathollahi-Fard, A. M., Ahmadi, A., Goodarzian, F., Cheikhrouhou, N., “A bi-objective home healthcare routing and scheduling problem considering patients' satisfaction in a fuzzy environment”, *Applied soft computing*, 93, 106385, (2020).

Fathollahi-Fard, A. M., Govindan, K., Hajiaghaei-Keshteli, M., Ahmadi, A., “A green home health care supply chain: New modified simulated annealing algorithms”, *Journal of Cleaner Production*, 214, 118200, (2019).

Fathollahi-Fard, A. M., Hajiaghaei-Keshteli, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., “A Lagrangian relaxation-based algorithm to solve a home health care routing problem”, *International Journal of Engineering*, 31(10), 1734–1740, (2018^a).

Fathollahi-Fard, A. M., Hajiaghaei-Keshteli, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., “A Bi-objective green home health care routing problem”, *Journal of Cleaner Production*, 200, 423–443, (2018^b).

Fernandez, A., Gregory, G., Hindle, A., Lee, A. C., “A model for community nursing in a rural county” *Journal of the Operational Research Society*, 25(2), 231-239, (1974).

Fikar, C., Hirsch, P., “A matheuristic for routing real-world home service transport systems facilitating walking.” *Journal of Cleaner Production*, 105, 300-310, (2015).

Fikar, C., Hirsch, P., “Home health care routing and scheduling: A review”, *Computers & Operations Research*, 77, 86-95, (2017).

Fikar, C., Hirsch, P., “Evaluation of trip and car sharing concepts for home health care services”, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 30, 78–97, (2018).

Fitzmaurice, G. M., Laird, N. M., Ware, J. H., “Applied longitudinal analysis.” *John Wiley & Sons*, (2012).

Frifita, S., Masmoudi, M., “VNS methods for home care routing and scheduling problem with temporal dependencies, and multiple structures and specialties.” *International transactions in operational research*, 27(1), 291-313, (2020).

Gardiner, J. C., Luo, Z., Bradley, C. J., Sirbu, C. M., Given, C. W., “A dynamic model for estimating changes in health status and costs.” *Statistics in medicine*, 25(21), 3648-3667, (2006).

Garg, A., Moore, J. S., Kapellusch, J. M., “The Revised Strain Index: an improved upper extremity exposure assessment model.” *Ergonomics*, 60(7), 912-922, (2017).

García, F., Guijarro, F., Oliver, J., “A multicriteria goal programming model for ranking universities.” *Mathematics*, 9(5), 459, (2021).

Gautrais, J., Michelena, P., Sibbald, A., Bon, R., Deneubourg, J. L., “Allelomimetic synchronization in Merino sheep.” *Animal Behaviour*, 74(5), 1443-1454, (2007).

Genaidy, A., Salem, S., Karwowski, W., Paez, O., Tuncel, S., “The work compatibility improvement framework: an integrated perspective of the human-at-work system.” *Ergonomics*, 50(1), 3-25, (2007).

Gentleman, R. C., Lawless, J. F., Lindsey, J. C., Yan, P., “Multi-State Markov Models for Analysing Incomplete Disease History Data with Illustrations for HIV Disease.” *Statistics in Medicine*, 13(3), 805–821, (1994).

Gevens, A., Leong, H., Du, R., Smith, M. E., Le, J., DuRousseau, D., ... & Libove, J., “Towards measurement of brain function in operational environments.” *Biological Psychology*, 40(1-2), 169-186, (1995).

Gomes, M. I., Ramos, T. R. P., “Modelling and (re-) planning periodic home social care services with loyalty and non-loyalty features”, *European Journal of Operational Research*, 277(1), 284-299, (2019).

Goodarzian, F., Abraham, A., Ghasemi, P., Mascolo, M. D., Nasser, H., “Designing a green home healthcare network using grey flexible linear programming: Heuristic approaches.” *Journal of Computational Design and Engineering*, 8(6), 1468-1498, (2021).

Grenouilleau, F., Legrain, A., Lahrichi, N., Rousseau, L. M., “A set partitioning heuristic for the home health care routing and scheduling problem”, *European Journal of Operational Research*, 275(1), 295–303, (2019).

Grieco, L., Utley, M., Crowe, S., “Operational research applied to decisions in home health care: A systematic literature review”, *Journal of the Operational Research Society*, 72(9), 1960-1991, (2021).

Gutiérrez, E. V., Vidal, C. J., “Home health care logistics management problems: A critical review of models and methods”, *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (68), 160-175, (2013).

Haiduvan, D., Ferrol, S., “Sharps injuries in the home health care setting: risks for home health care workers”, *AAOHN Journal*, 52(3), 102-108, (2004).

Hertz, A., Lahrichi, N., “A patient assignment algorithm for home care services”, *Journal of the Operational Research Society*, 60(4), 481-495, (2009).

Hiermann, G., Prandtstetter, M., Rendl, A., Puchinger, J., Raidl, G. R., “Metaheuristics for solving a multimodal home-healthcare scheduling problem”, *Central European Journal of Operations Research*, 23, 89-113, (2015).

Hignett, S., McAtamney, L., “Rapid entire body assessment (REBA).” *Applied ergonomics*, 31(2), 201-205, (2000).

Hill, S. G., Iavecchia, H. P., Byers, J. C., Bittner Jr, A. C., Zaklade, A. L., Christ, R. E., “Comparison of four subjective workload rating scales.” *Human factors*, 34(4), 429-439, (1992).

Hindle, T., Hindle, A., Spollen, M., “Resource allocation modelling for home-based health and social care services in areas having differential population density levels: a case study in Northern Ireland”, *Health services management research*, 13(3), 164-169, (2000).

Hita-Gutiérrez, M., Gómez-Galán, M., Díaz-Pérez, M., Callejón-Ferre, Á. J., “An overview of REBA method applications in the world.” *International journal of environmental research and public health*, 17(8), 2635, (2020).

Ho, H. P., “The supplier selection problem of a manufacturing company using the weighted multi-choice goal programming and MINMAX multi-choice goal programming.” *Applied Mathematical Modelling*, 75, 819-836, (2019).

Hoonakker, P., Carayon, P., Gurses, A. P., Brown, R., Khunlertkit, A., McGuire, K., Walker, J. M., “Measuring workload of ICU nurses with a questionnaire survey: the NASA Task Load Index (TLX).” *IIE transactions on healthcare systems engineering*, 1(2), 131-143, (2011).

Hosseinpour-Sarkarizi, A., Davari-Ardakani, H., Izadbakhsh, H., “Home healthcare routing and scheduling problem under uncertainty considering patients' preferences and service desirability.” *Scientia Iranica*, 29(5), 2647-2669, (2022).

Huggins, A., Claudio, D., “A performance comparison between the subjective workload analysis technique and the NASA-TLX in a healthcare setting.” *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 8(1), 59-71, (2018).

Hussain, S., Kim, Y. S., Thakur, S., Breslin, J. G., “Optimization of waiting time for electric vehicles using a fuzzy inference system.” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(9), 15396-15407, (2022).

Jackson, C., “Multi-state models for panel data: the msm package for R.” *Journal of statistical software*, 38, 1-28, (2011).

Jackson C, Sharples L., “Hidden Markov models for the onset and progression of bronchiolitis obliterans syndrome in lung transplant recipients.” *Statistics in Medicine*, 21(1):113-128, (2002).

Jung, H.S., “Application of Fuzzy Theory and Analytic Hierarchy Process (AHP) for Developing Occupational Stress Index”, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 17(2), 33-48, (1998).

Jung, H. S., “A Study of the Determination of External Workload Imposed on a Human Operator in Man-machine Systems”, *대한안전경영과학회지*, 2(1), 41-57, (2000).

Jung, H. S., Jung, H. S., “Establishment of overall workload assessment technique for various tasks and workplaces”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28(6), 341-353, (2001).

Kang, M., Lagakos, S. W., “Statistical methods for panel data from a semi-Markov process, with application to HPV.” *Biostatistics*, 8(2), 252-264, (2007).

Karhu, O., Kansi, P., Kuorinka, I., “Correcting working postures in industry: A practical method for analysis.” *Applied ergonomics*, 8(4), 199-201, (1977).

Kee, D., “Systematic comparison of OWAS, RULA, and REBA based on a literature review.” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 595, (2022).

Kee, D., Karwowski, W., “LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time.” *Applied ergonomics*, 32(4), 357-366, (2001).

Keebler, J. R., Rosen, M. A., Sittig, D. F., Thomas, E., Salas, E., “Human factors and ergonomics in healthcare: Industry demands and a path forward”, *Human Factors*, 64(1), 250-258, (2022).

Kemmlert, K., “A method assigned for the identification of ergonomic hazards—PLIBEL.” *Applied ergonomics*, 26(3), 199-211, (1995).

Koeleman, P. M., Bhulai, S., van Meersbergen, M., “Optimal patient and personnel scheduling policies for care-at-home service facilities.” *European Journal of Operational Research*, 219(3), 557-563, (2012).

Kordi, G., Divsalar, A., Emami, S., “Multi-objective home health care routing: a variable neighborhood search method.” *Optimization Letters*, 1-42, (2023).

Lanzarone, E., Matta, A., “Robust nurse-to-patient assignment in home care services to minimize overtimes under continuity of care”, *Operations Research for Health Care*, 3(2), 48-58, (2014).

Liou, T. S., Wang, M. J. J., “Subjective assessment of mental workload—A fuzzy linguistic multi-criteria approach”, *Fuzzy Sets and Systems*, 62(2), 155-165, (1994).

Liu, R., Xie, X., Garaix, T., “Weekly home health care logistics”, In *2013 10th IEEE international conference on networking, sensing and control (ICNSC)* (pp. 282-287). IEEE, (2013).

Liu, R., Xie, X., Garaix, T., “Hybridization of tabu search with feasible and infeasible local searches for periodic home health care logistics”, *Omega*, 47, 17-32, (2014).

Liu, R., Yuan, B., Jiang, Z., “A branch-and-price algorithm for the home-caregiver scheduling and routing problem with stochastic travel and service times”, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 31, 989-1011, (2019).

Liu, W., Dridi, M., Fei, H., El Hassani, A. H., “Hybrid metaheuristics for solving a home health care routing and scheduling problem with time windows, synchronized visits and lunch breaks”, *Expert Systems with Applications*, 183 (June), 115307, (2021^a).

Liu, W., Dridi, M., Fei, H., El Hassani, A. H., “Solving a multi-period home health care routing and scheduling problem using an efficient matheuristic”, *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107721, (2021^b).

Ma, X., Fu, Y., Gao, K., Zhang, H., Mou, J., “A knowledge-based multi-objective evolutionary algorithm for solving home health care routing and scheduling problems with multiple centers”, *Applied Soft Computing*, 110491, (2023).

Maldonado-Macías, A. A., Hernandez Arellano, J. L., Morales, C., Fabián, Á., González Muñoz, E. L., “Development of the NASA-TLX Multi Equation Tool to Assess Workload.” *Instituto de Arquitectura Diseño y Arte*, (2020).

Malekpour, F., Mohammadian, Y., Malekpour, A. R., Mohammadpour, Y., Sheikh Ahmadi, A., Shakarami, A., “Assessment of mental workload in nursing by using NASA-TLX.” *Nursing And Midwifery Journal*, 11(11), 0-0, (2014).

Mamdani, E. H., Assilian, S., “An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller”, *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13, (1975).

Mankowska, D. S., Meisel, F., Bierwirth, C., “The home health care routing and scheduling problem with interdependent services”, *Health care management science*, 17(1), 15-30, (2014).

Markkanen, P., Galligan, C., Quinn, M., “Safety risks among home infusion nurses and other home health care providers”, *Journal of Infusion Nursing*, 40(4), 215, (2017).

Masmoudi, M., Jarboui, B., Borchani, R., “Efficient metaheuristics for the home (health)-care routing and scheduling problem with time windows and synchronized visits”, *Optimization Letters*, 1-33, (2023).

Matsena Zingoni, Z., Chirwa, T. F., Todd, J., Musenge, E., “A review of multistate modelling approaches in monitoring disease progression: Bayesian estimation using the Kolmogorov-Chapman forward equations.” *Statistical methods in medical research*, 30(5), 1373-1392, (2021).

Mazlounzadeh, S. M., Shamsi, M., Nezamabadi-Pour, H., “Evaluation of general-purpose lifters for the date harvest industry based on a fuzzy inference system”, *Computers and Electronics In Agriculture*, 60 (1), 60-66, (2008).

McAtamney, L., Corlett, E. N., “RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders.” *Applied ergonomics*, 24(2), 91-99, (1993).

McCormick, E. J., Jeanneret, P. R., Mecham, R. C., “The development and background of the Position Analysis Questionnaire” (p. 0068). *Lafayette, Ind.: Occupational Research Center, Purdue University*, (1969).

Merryweather, A. S., Thiese, M. S., Kapellusch, J. M., Garg, A., Fix, D. J., Hegmann, K. T., “Occupational factors related to slips, trips and falls among home healthcare workers”, *Safety Science*, 107, 155-160, (2018).

Milburn, A. B., Spicer, J., “Multi-objective home health nurse routing with remote monitoring devices”, *International Journal of Planning and Scheduling*, 1(4), 242-263, (2013).

Miller, S., “Workload measures.” *National Advanced Driving Simulator*. Iowa City, United States, (2001).

Moscato, S., Sichi, V., Giannelli, A., Palumbo, P., Ostan, R., Varani, S., ... & Chiari, L., “Virtual reality in home palliative care: brief report on the effect on cancer-related symptomatology.” *Frontiers in Psychology*, 12, 709154, (2021).

Moustafa, K., Luz, S., Longo, L., “Assessment of mental workload: a comparison of machine learning methods and subjective assessment techniques”, *Human Mental Workload: Models and Applications: First International Symposium, H-WORKLOAD 2017, Dublin, Ireland, June 28-30, 2017, Revised Selected Papers 1*. Springer International Publishing, (2017).

Möckli, N., Espinosa, J. A., Simon, M., Meyer-Masseti, C., Zúñiga, F., “Clarifying the muddy concept of home healthcare coordination: A comprehensive theoretical framework”, *Heliyon*, (2023).

Mutingi, M., Mbohwa, C., “Home healthcare staff scheduling: a taxonomic state-of-the-art review.” *In 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 1107-1111). IEEE, (2013).

Mutingi, M., Mbohwa, C., “Multi-objective homecare worker scheduling: A fuzzy simulated evolution algorithm approach”, *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 4(4), 209-216, (2014).

Nadimi, V., Azadeh, A., Rouzbahman, M., Saberi, M., Shabibi, S. A., “An Adaptive Network Based Fuzzy Inference System algorithm for assessment and improvement of job security among operators with respect to HSE-Ergonomics program”, *In 2010 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications* (pp. 7-12). IEEE, (2010).

Nasir, J. A., Dang, C., “Solving a more flexible home health care scheduling and routing problem with joint patient and nursing staff selection”, *Sustainability*, 10(1), 0148, (2018).

Nasir, J. A., Dang, C., “Quantitative thresholds based decision support approach for the home health care scheduling and routing problem.” *Health care management science*, 23, 215-238, (2020).

Ng, R., "Garment modelling by fuzzy logic. In *Soft Computing in Textile Engineering*", Woodhead Publishing, pp. 271-293, (2011).

Nikzad, E., Bashiri, M., Abbasi, B., "A matheuristic algorithm for stochastic home health care planning", *European Journal of Operational Research*, 288(3), 753-774, (2021).

Occhipinti, E., Colombini, D. "The occupational repetitive action (OCRA) methods: OCRA index and OCRA checklist." *Handbook of human factors and ergonomics methods*, 1-14, (2005).

Oladzad-Abbasabady, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Mohammadi, M., ahedi-Nouri, B., "A bi-objective home care routing and scheduling problem considering patient preference and soft temporal dependency constraints." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 119, 105829, (2023).

Pérez-Ocón, R., Ruiz-Castro, J. E., Gámiz-Pérez, M. L. "Non-homogeneous Markov models in the analysis of survival after breast cancer." *Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics*, 50(1), 111-124, (2001).

Rasmussen, M. S., Justesen, T., Dohn, A., Larsen, J., "The home care crew scheduling problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies", *European Journal of Operational Research*, 219(3), 598-610, (2012).

Redjem, R., Marcon, E., "Operations management in the home care services: a heuristic for the caregivers' routing problem", *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 28(1-2), 280-303, (2016).

Riazi, S., Wigström, O., Bengtsson, K., Lennartson, B., "A column generation-based gossip algorithm for home healthcare routing and scheduling problems." *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 16(1), 127-137, (2018).

Rodriguez, C., Garaix, T., Xie, X., Augusto, V., "Staff dimensioning in homecare services with uncertain demands", *International Journal of Production Research*, 53(24), 7396-7410, (2015).

Rohmert, W., Landau, K., "A new technique for job analysis." *London: Taylor & Francis*, (1983).

Roscoe, A. H., "Assessing pilot workload. Why measure heart rate, HRV and respiration?" *Biological psychology*, 34(2-3), 259-287, (1992).

Rummel, O., “Distribution dynamics and measurement error. In Measurement error: Consequences, applications and solutions.” *Emerald Group Publishing Limited*. (pp. 251-279), (2009).

Sahin, E., Matta, A., “A contribution to operations management-related issues and models for home care structures”, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18(4), 355-385, (2015).

Satten G. A., Longini I. M., “Markov Chains with Measurement Error: Estimating the ‘True’ Course of a Marker of the Progression of Human Immunodeficiency Virus Disease.” *Applied Statistics*, 45(3), 275–309, (1996).

Shao, Y., Bard, J. F., Jarrah, A. I., “The therapist routing and scheduling problem”, *IIE Transactions*, 44(10), 868-893, (2012).

Sharples L. D., “Use of the Gibbs Sampler to Estimate Transition Rates Between Grades of Coronary Disease Following Cardiac Transplantation.” *Statistics in Medicine*, 12, 1155– 1169, (1993).

Sharples, L. D., Jackson, C. H., Parameshwar, J., Wallwork, J., Large, S. R., “Diagnostic accuracy of coronary angiography and risk factors for post-heart-transplant cardiac allograft vasculopathy.” *Transplantation*, 76(4), 679-682, (2003).

Shi, Y., Boudouh, T., Grunder, O., “A hybrid genetic algorithm for a home health care routing problem with time window and fuzzy demand”, *Expert Systems with Applications*, 72, 160-176, (2017).

Shiri, M., Ahmadizar, F., Thiruvady, D., Farvaresh, H., “A sustainable and efficient home health care network design model under uncertainty.” *Expert Systems with Applications*, 211, 118185, (2023).

Shoaf, C., Genaidy, A., Shell, R., “A perspective on work system analysis: classification and evaluation of methods.” *Ergonomics*, 41(6), 881-898, (1998).

Shoja, E., Aghamohammadi, V., Bazayr, H., Moghaddam, H. R., Nasiri, K., Dashti, M., Asgari, A., “Covid-19 effects on the workload of Iranian healthcare workers.” *BMC Public Health*, 20(1), 1-7, (2020).

Smith, E. M. D., Eleuteri, A., Goilav, B., Lewandowski, L., Phuti, A., Rubinstein, T., ... & Beresford, M. W. “A Markov Multi-State model of lupus nephritis urine biomarker panel dynamics in children: Predicting changes in disease activity.” *Clinical Immunology*, 198, 71-78, (2019).

Sousa, I., “A Review on Joint Modelling of Longitudinal Measurements and Time-To-Even.” *REVSTAT-Statistical Journal*, 9(1), 57-81, (2011).

Suarez, R., Agbonifo, N., Hittle, B., Davis, K., Freeman, A., “Frequency and risk of occupational health and safety hazards for home healthcare workers”, *Home Health Care Management & Practice*, 29(4), 207-215, (2017).

Suni, J. H., Kolu, P., Tokola, K., Raitanen, J., Rinne, M., Taulaniemi, A., Kankaanpää, M., “Effectiveness and cost-effectiveness of neuromuscular exercise and back care counseling in female healthcare workers with recurrent non-specific low back pain: a blinded four-arm randomized controlled trial”, *BMC Public Health*, 18(1), 1-13, (2018).

Szander, N., Ros-McDonnell, L. B., Bogataj, M., “A feasible nurse routing plan for the elderly: Quality and spatial trade-offs.” *In Closing the Gap Between Practice and Research in Industrial Engineering* (pp. 201-209). Springer International Publishing, (2018).

Takagi, T., Sugeno, M., “Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, (1), 116-132, (1985).

Tamiz, M., Jones, D. F., El-Darzi, E., “A review of goal programming and its applications.” *Annals of operations Research*, 58, 39-53, (1995).

Tattersall, A. J., Foord, P. S., “An experimental evaluation of instantaneous self-assessment as a measure of workload.” *Ergonomics*, 39(5), 740-748, (1996).

Tohidifard, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Navazi, F., Partovi, M., “A multi-depot home care routing problem with time windows and fuzzy demands solving by particle swarm optimization and genetic algorithm.” *IFAC-papersonline*, 51(11), 358-363, (2018).

Trautsmawieser, A., Hirsch, P., “Optimization of daily scheduling for home health care services”, *Journal of applied operational research*, 3(3), 124-136, (2011).

United Nations., “World Population Ageing 2020 Highlights: Living Arrangements of Older Persons”,
https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesapd-2020_world_population_ageing_highlights.pdf, (2020).

Van Orden, K. F., Limbert, W., Makeig, S., Jung, T. P., “Eye activity correlates of workload during a visuospatial memory task.” *Human factors*, 43(1), 111-121, (2001).

Vidulich, M. A., Wickens, C. D., “Causes of dissociation between subjective workload measures and performance: Caveats for the use of subjective assessments.” *Applied Ergonomics*, 17(4), 291-296, (1986).

Weerd, C. V. D., Baratta, R., “Changes in working conditions for home healthcare workers and impacts on their work activity and on their emotions”, *Production*, 25, 344-353, (2015).

Wierwille, W. W., Rahimi, M., Casali, J. G., “Evaluation of 16 measures of mental workload using a simulated flight task emphasizing mediational activity.” *Human factors*, 27(5), 489-502, (1985).

Wilson, G. F., “Applied use of cardiac and respiration measures: Practical considerations and precautions.” *Biological psychology*, 34(2-3), 163-178, (1992).

Xavier, A., Freitas, M. D. B. C., Frago, R., do Socorro Rosário, M., “A regional composite indicator for analysing agricultural sustainability in Portugal: A goal programming approach.” *Ecological Indicators*, 89, 84-100, (2018).

Xiang, T., Li, Y., Szeto, W. Y., “The daily routing and scheduling problem of home health care: based on costs and participants’ preference satisfaction.” *International Transactions in Operational Research*, 30(1), 39-69, (2023).

Yalçındag, S., Cappanera, P., Scutell’a, M., Sahin, E., Matta, A., “Pattern-based decompositions for human resource planning in home health care services”, *Computers & Operations Research* 73, 12 – 26, (2016^a).

Yalçındag, S., Matta, A., Sahin, E., Shanthikumar, J. G., “The patient assignment problem in home health care: using a data-driven method to estimate the travel times of care givers”, *Flexible Services and Manufacturing Journal* 28, 304–335, (2016^b).

Yang, M., Ni, Y., Yang, L., “A multi-objective consistent home healthcare routing and scheduling problem in an uncertain environment”, *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107560, (2021).

Yeh, Y. Y., Wickens, C. D., “Dissociation of performance and subjective measures of workload.” *Human factors*, 30(1), 111-120, (1988).

Zadeh, L. A., “Information and control”, *Fuzzy sets*, 8(3), 338-353, (1965).

Ziya-Gorabi, F., Ghodratnama, A., Tavakkoli-Moghaddam, R., Asadi-Lari, M. S., “A new fuzzy tri-objective model for a home health care problem with green ambulance routing and congestion under uncertainty”, *Expert Systems with Applications*, 201, 117093, (2022).





EKLER

9. EKLER

EK A. Veri setleri



Tablo A.1. 20x3 boyutundaki veri seti

					S e r v i s	T a h m i n i	İ ŝ Y ü		H e m ŝ i r e	B e c e r	
	Koordinatlar	Zaman Pencereleeri			M o l a S	H e m ŝ i	H e m ŝ i	H e m ŝ i	H e m ŝ i	H e m ŝ i	H e m ŝ i
Hasta 1	21	19	0	540	20	6	9	37	1	1	1
Hasta 2	83	30	0	540	21	60	53	65	1	1	1
Hasta 3	19	45	0	540	23	38	41	50	1	1	1
Hasta 4	43	20	0	540	22	55	82	57	1	1	1
Hasta 5	27	71	0	540	30	27	Inf	26	1	0	1
Hasta 6	21	82	0	540	28	80	85	53	1	1	1
Hasta 7	53	39	0	540	23	16	54	35	1	1	1
Hasta 8	89	71	0	540	28	84	100	59	1	1	1
Hasta 9	77	32	0	540	24	95	54	85	1	1	1
Hasta 10	94	30	0	540	29	99	10	55	1	1	1
Hasta 11	84	19	0	540	23	46	36	36	1	1	1
Hasta 12	89	21	0	540	15	77	68	58	1	1	1
Hasta 13	9	83	0	540	24	40	79	10	1	1	1
Hasta 14	98	37	0	540	26	52	49	Inf	1	1	0
Hasta 15	21	20	0	540	24	91	2	57	1	1	1
Hasta 16	19	11	0	540	16	100	53	75	1	1	1
Hasta 17	37	89	0	540	30	Inf	86	40	0	1	1
Hasta 18	23	41	0	540	25	23	64	50	1	1	1
Hasta 19	24	86	0	540	19	100	54	7	1	1	1
Hasta 20	88	38	0	540	20	87	5	19	1	1	1
Öğle Molası	0	0	180	300	60						
EB Merkezi	50	50									

Tablo A.2. 30x5 boyutundaki veri seti

					S e r v i s	T a h m i n i İ Ő Y ũ k ũ D					H e m ũ i r e B e c e r i D				
	Koordinatlar		Zaman Penceresi		M o l a s	H e m ũ	H r e e m ũ 1	H r e e m ũ 2	H r e e m ũ 3	H r e e m ũ 4	H r e e m ũ 5	H r e e m ũ 1	H e m ũ	H r e e m ũ 3	H r e e m ũ 4
Hasta 1	21	19	0	540	20	56	59	74	96	72	1	1	1	1	1
Hasta 2	83	30	0	540	21	71	62	27	47	85	1	1	1	1	1
Hasta 3	19	45	0	540	23	63	44	48	25	67	1	1	1	1	1
Hasta 4	43	20	0	540	22	68	82	80	86	87	1	1	1	1	1
Hasta 5	27	71	0	540	30	64	88	34	83	70	1	1	1	1	1
Hasta 6	21	82	0	540	28	4	11	26	58	91	1	1	1	1	1
Hasta 7	53	39	0	540	23	49	9	49	50	75	1	1	1	1	1
Hasta 8	89	71	0	540	28	19	24	12	11	57	1	1	1	1	1
Hasta 9	77	32	0	540	24	55	Inf	16	32	17	1	0	1	1	1
Hasta 10	94	30	0	540	29	57	65	51	16	72	1	1	1	1	1
Hasta 11	84	19	0	540	23	100	42	13	68	66	1	1	1	1	1
Hasta 12	89	21	0	540	15	59	31	98	97	90	1	1	1	1	1
Hasta 13	9	83	0	540	24	14	38	57	52	0	1	1	1	1	1
Hasta 14	98	37	0	540	26	6	52	95	92	62	1	1	1	1	1
Hasta 15	21	20	0	540	24	69	42	55	96	79	1	1	1	1	1
Hasta 16	19	11	0	540	16	80	45	86	84	17	1	1	1	1	1
Hasta 17	37	89	0	540	30	15	76	14	71	79	1	1	1	1	1
Hasta 18	23	41	0	540	25	94	1	37	33	20	1	1	1	1	1
Hasta 19	24	86	0	540	19	94	33	23	79	39	1	1	1	1	1
Hasta 20	88	38	0	540	20	61	19	95	39	42	1	1	1	1	1
Hasta 21	86	32	0	540	27	56	74	Inf	5	66	1	1	0	1	1
Hasta 22	58	4	0	540	28	90	40	93	8	45	1	1	1	1	1
Hasta 23	59	39	0	540	25	7	6	24	21	9	1	1	1	1	1
Hasta 24	79	22	0	540	15	14	56	69	50	87	1	1	1	1	1
Hasta 25	38	85	0	540	15	82	36	91	72	13	1	1	1	1	1
Hasta 26	98	85	0	540	20	73	61	65	61	74	1	1	1	1	1
Hasta 27	36	97	0	540	25	100	56	18	82	24	1	1	1	1	1
Hasta 28	92	3	0	540	17	29	13	5	67	29	1	1	1	1	1
Hasta 29	40	84	0	540	25	96	83	47	31	92	1	1	1	1	1
Hasta 30	83	10	0	540	30	97	71	94	65	49	1	1	1	1	1
Öğle Molası	0	0	180	300	60										
EB Merkezi	50	50													

Tablo A.3. 40x7 boyutundaki veri seti

					Servis	Tahmini İş Yükü Değer								Hemşire Beceri Durumu					
	Koordinatlar	Zaman	Pencereleri	Mola	Hemş	Hreem \$1	Hreem \$2	Hreem \$3	Hreem \$4	Hreem \$5	Hreem \$6	Hreem \$7	Hreem \$8	Hreem \$9	Hreem \$10	Hreem \$11	Hreem \$12	Hreem \$13	Hreem \$14
Hasta 1	21	19	0	540	20	92	64	92	83	72	47	12	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 2	83	30	0	540	21	60	3	37	35	98	71	86	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 3	19	45	0	540	23	15	20	64	70	57	65	74	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 4	43	20	0	540	22	86	5	6	63	40	24	63	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 5	27	71	0	540	30	21	2	44	17	100	77	58	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 6	21	82	0	540	28	71	75	69	21	85	70	2	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 7	53	39	0	540	23	51	88	11	87	31	55	8	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 8	89	71	0	540	28	80	49	73	27	21	48	58	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 9	77	32	0	540	24	76	68	63	47	56	62	97	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 10	94	30	0	540	29	7	74	31	19	84	45	64	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 11	84	19	0	540	23	49	30	30	10	1	84	44	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 12	89	21	0	540	15	28	3	25	93	87	42	14	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 13	9	83	0	540	24	79	38	0	44	30	1	42	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 14	98	37	0	540	26	8	4	59	93	12	9	44	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 15	21	20	0	540	24	16	3	27	42	77	18	44	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 16	19	11	0	540	16	38	55	4	23	93	0	25	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 17	37	89	0	540	30	14	5	22	46	98	71	50	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 18	23	41	0	540	25	4	45	72	16	10	99	18	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 19	24	86	0	540	19	69	0	98	82	26	38	11	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 20	88	38	0	540	20	59	71	96	83	78	94	20	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 21	86	32	0	540	27	26	77	46	37	68	86	40	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 22	58	4	0	540	28	6	21	62	6	1	23	30	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 23	59	39	0	540	25	82	78	74	31	31	65	86	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 24	79	22	0	540	15	94	34	97	51	2	13	86	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 25	38	85	0	540	15	15	59	91	9	92	71	13	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 26	98	85	0	540	20	52	51	18	91	66	31	10	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 27	36	97	0	540	25	11	42	67	92	19	55	2	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 28	92	3	0	540	17	59	12	40	96	72	16	99	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 29	40	84	0	540	25	15	37	11	33	98	97	77	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 30	83	10	0	540	30	80	0	62	28	63	74	34	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 31	27	14	0	540	22	49	39	82	73	35	2	31	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 32	10	59	0	540	23	70	65	75	66	24	70	27	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 33	44	98	0	540	16	71	45	13	32	70	80	4	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 34	73	84	0	540	20	81	41	18	72	61	3	31	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 35	47	59	0	540	20	2	4	31	49	38	21	31	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 36	61	50	0	540	21	53	97	61	6	80	29	25	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 37	78	94	0	540	29	3	68	2	95	100	57	69	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 38	56	84	0	540	27	64	73	48	22	41	4	28	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 39	26	72	0	540	18	93	81	10	93	39	58	18	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 40	60	87	0	540	16	8	74	64	41	83	21	66	1	1	1	1	1	1	1
Öğle Molası	0	0	180	300	60														
EB Merkezi	50	50																	

Tablo A.4. 50x9 boyutundaki veri seti

	Koordinatlar	Zaman	Pencereleri	Servis		Tahmini İş Yükü Değerleri										Hemşire Beceri Durumu												
				Mola	Hemş	Hreem \$1	Hreem \$2	Hreem \$3	Hreem \$4	Hreem \$5	Hreem \$6	Hreem \$7	Hreem \$8	Hreem \$9	Hreem \$10	Hreem \$11	Hreem \$12	Hreem \$13	Hreem \$14	Hreem \$15	Hreem \$16	Hreem \$17	Hreem \$18	Hreem \$19	Hreem \$20			
Hasta 1	21 19	0	540	20	12	97	26	48	74	63	84	65	26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 2	83 30	0	540	21	98	1	90	27	50	81	79	16	55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 3	19 45	0	540	23	30	86	64	95	82	58	85	65	99	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 4	43 20	0	540	22	100	2	34	50	23	25	71	39	73	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 5	27 71	0	540	30	51	50	9	31	73	78	23	13	78	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 6	21 82	0	540	28	86	40	3	43	50	25	88	61	46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 7	53 39	0	540	23	27	85	99	5	22	69	27	74	73	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 8	89 71	0	540	28	0	53	75	33	75	81	11	1	32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 9	77 32	0	540	24	65	87	17	4	47	93	67	34	88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 10	94 30	0	540	29	83	55	23	40	29	85	26	23	78	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 11	84 19	0	540	23	6	93	96	34	49	93	37	34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 12	89 21	0	540	15	12	82	49	84	7	51	90	15	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 13	9 83	0	540	24	61	42	65	79	68	55	57	46	21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 14	98 37	0	540	26	62	54	91	28	96	22	46	34	19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 15	21 20	0	540	24	56	52	75	12	63	32	68	25	40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 16	19 11	0	540	16	81	61	32	72	91	10	77	80	87	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 17	37 89	0	540	30	91	53	35	49	76	9	11	36	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 18	23 41	0	540	25	88	86	49	79	1	29	74	60	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 19	24 86	0	540	19	84	95	50	41	34	88	72	26	63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 20	88 38	0	540	20	72	19	96	88	25	63	32	42	68	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 21	86 32	0	540	27	73	40	6	48	15	11	20	67	84	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 22	58 4	0	540	28	74	83	88	17	22	75	98	23	58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 23	59 39	0	540	25	22	78	28	44	3	75	44	5	21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 24	79 22	0	540	15	5	95	3	39	83	45	93	52	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 25	38 85	0	540	15	29	96	56	70	10	90	53	19	95	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 26	98 85	0	540	20	47	19	75	15	57	31	97	45	95	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 27	36 97	0	540	25	70	24	65	90	86	64	31	72	97	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 28	92 3	0	540	17	65	49	30	79	16	5	85	2	60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 29	40 84	0	540	25	48	8	43	61	60	32	100	0	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 30	83 10	0	540	30	89	54	19	64	16	58	96	34	17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 31	27 14	0	540	22	62	9	38	52	46	75	56	92	46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 32	10 59	0	540	23	6	57	3	34	80	92	40	51	51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 33	44 98	0	540	16	49	32	30	70	32	40	30	43	64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 34	73 84	0	540	20	98	35	91	49	40	5	64	66	41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 35	47 59	0	540	20	72	80	38	34	66	30	95	45	100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 36	61 50	0	540	21	63	19	3	89	14	97	53	67	77	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 37	78 94	0	540	29	11	91	69	67	10	17	62	58	77	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 38	56 84	0	540	27	68	28	14	82	37	14	52	56	29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 39	26 72	0	540	18	93	7	8	79	58	96	46	92	68	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 40	60 87	0	540	16	26	79	30	12	19	4	44	46	31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 41	17 7	0	540	17	86	62	38	1	55	99	94	45	29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 42	47 20	0	540	25	82	57	31	19	40	36	61	29	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 43	56 85	0	540	21	76	70	32	1	52	7	47	11	49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 44	87 49	0	540	29	68	72	49	100	21	67	9	19	77	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 45	49 90	0	540	30	89	91	36	34	13	29	31	85	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 46	20 19	0	540	28	9	32	50	75	8	6	93	6	72	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 47	73 13	0	540	21	5	9	100	69	48	22	26	82	34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 48	56 21	0	540	28	97	6	82	32	23	76	56	42	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 49	93 75	0	540	22	11	1	75	70	79	46	7	97	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 50	97 0	0	540	27	1	50	79	63	3	85	68	12	92	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Öğle Molası	0 0	180	300	60																								
EB Merkezi	50 50																											

Tablo A.5. 60x11 boyutundaki veri seti

	Koordinatlar			Zaman Pencereleeri			Servis		Tahmini İş Yükü Değerleri									
							Mola	Şemş	Hemş	iHemş	iHemş	iHemş	iHemş	iHemş	iHemş	iHemş	iHemş	iHemş
Hasta 1	21	19	0	540	20	16	100	83	11	89	57	60	6	58	67	74		
Hasta 2	83	30	0	540	21	92	13	59	90	10	92	55	91	6	54	78		
Hasta 3	19	45	0	540	23	5	89	12	22	75	90	70	36	56	71	66		
Hasta 4	43	20	0	540	22	89	31	45	12	52	20	64	2	87	19	8		
Hasta 5	27	71	0	540	30	16	98	44	93	29	81	34	95	23	94	63		
Hasta 6	21	82	0	540	28	27	100	19	8	72	42	11	11	21	100	95		
Hasta 7	53	39	0	540	23	56	88	61	28	34	49	99	10	40	95	90		
Hasta 8	89	71	0	540	28	81	92	20	88	34	80	46	91	65	32	13		
Hasta 9	77	32	0	540	24	28	13	54	79	92	96	42	28	11	67	76		
Hasta 10	94	30	0	540	29	96	70	99	18	67	50	5	96	50	83	16		
Hasta 11	84	19	0	540	23	35	63	86	95	89	70	92	19	36	72	0		
Hasta 12	89	21	0	540	15	60	9	46	86	83	22	3	54	58	28	27		
Hasta 13	9	83	0	540	24	71	13	33	3	67	91	43	21	94	29	51		
Hasta 14	98	37	0	540	26	69	76	37	35	60	67	23	89	73	68	38		
Hasta 15	21	20	0	540	24	50	2	47	36	19	95	55	74	23	81	41		
Hasta 16	19	11	0	540	16	76	38	7	63	86	48	29	30	19	1	98		
Hasta 17	37	89	0	540	30	23	61	57	80	94	13	40	58	49	27	85		
Hasta 18	23	41	0	540	25	33	6	1	46	45	58	63	47	70	17	27		
Hasta 19	24	86	0	540	19	9	78	0	55	33	53	7	72	35	96	68		
Hasta 20	88	38	0	540	20	55	68	30	50	2	93	9	84	55	81	49		
Hasta 21	86	32	0	540	27	99	70	71	95	25	69	33	95	14	44	90		
Hasta 22	58	4	0	540	28	70	88	64	36	63	83	63	53	22	73	62		
Hasta 23	59	39	0	540	25	81	69	77	17	92	37	22	58	79	20	37		
Hasta 24	79	22	0	540	15	15	73	92	69	97	74	79	96	44	64	43		
Hasta 25	38	85	0	540	15	29	62	64	50	17	59	44	35	7	30	17		
Hasta 26	98	85	0	540	20	36	31	42	40	95	23	20	5	26	63	99		
Hasta 27	36	97	0	540	25	43	61	62	55	65	19	8	9	47	96	29		
Hasta 28	92	3	0	540	17	26	48	21	20	58	81	95	39	41	12	47		
Hasta 29	40	84	0	540	25	23	73	82	15	80	80	38	37	18	1	27		
Hasta 30	83	10	0	540	30	88	81	29	96	81	61	55	15	17	35	5		
Hasta 31	27	14	0	540	22	90	64	92	68	27	38	71	92	29	69	78		
Hasta 32	10	59	0	540	23	42	8	25	87	82	7	96	63	65	24	88		
Hasta 33	44	98	0	540	16	21	83	80	28	82	34	70	31	44	17	6		
Hasta 34	73	84	0	540	20	13	38	88	31	82	39	63	73	27	93	42		
Hasta 35	47	59	0	540	20	45	92	42	32	21	21	19	27	0	45	23		
Hasta 36	61	50	0	540	21	66	52	93	10	33	15	87	65	9	15	43		
Hasta 37	78	94	0	540	29	1	48	9	60	76	13	43	80	33	8	98		
Hasta 38	56	84	0	540	27	98	0	98	8	16	45	48	35	13	24	43		
Hasta 39	26	72	0	540	18	97	63	19	18	89	86	21	16	68	23	23		
Hasta 40	60	87	0	540	16	62	9	41	54	14	71	50	50	1	78	23		
Hasta 41	17	7	0	540	17	45	42	86	96	63	6	91	8	58	37	22		
Hasta 42	47	20	0	540	25	92	99	57	53	0	35	87	21	69	92	65		
Hasta 43	56	85	0	540	21	28	73	48	0	14	65	78	23	72	62	66		
Hasta 44	87	49	0	540	29	37	36	2	51	52	37	67	92	43	52	9		
Hasta 45	49	90	0	540	30	86	62	23	49	78	8	11	40	30	3	64		
Hasta 46	20	19	0	540	28	7	74	4	92	2	15	38	94	96	22	1		
Hasta 47	73	13	0	540	21	80	46	54	68	48	10	8	62	95	19	62		
Hasta 48	56	21	0	540	28	48	21	90	27	40	27	84	7	1	97	67		
Hasta 49	93	75	0	540	22	80	4	81	51	14	44	2	92	59	27	40		
Hasta 50	97	0	0	540	27	21	36	7	40	72	7	43	51	11	31	0		
Hasta 51	6	61	0	540	19	31	91	7	47	2	49	59	47	51	88	68		
Hasta 52	39	56	0	540	24	61	46	59	49	44	55	90	44	10	62	63		
Hasta 53	87	80	0	540	16	47	42	31	3	77	88	60	5	95	66	67		
Hasta 54	34	2	0	540	15	92	20	99	48	32	23	58	1	35	98	26		
Hasta 55	1	68	0	540	28	13	67	88	98	87	31	93	81	57	16	90		
Hasta 56	87	67	0	540	24	1	45	92	40	79	75	63	98	34	57	6		
Hasta 57	71	13	0	540	22	42	78	29	93	37	38	23	71	47	34	95		
Hasta 58	1	92	0	540	22	55	6	86	78	74	39	56	8	85	83	49		
Hasta 59	100	93	0	540	27	32	90	98	45	64	70	67	34	58	52	79		
Hasta 60	22	61	0	540	17	81	26	76	61	1	8	10	58	10	53	47		
Öğle Molası	0	0	180	300	60													
EB Merkezi	50	50																

Tablo A.5 (Devam): 60x11 boyutundaki veri seti

	Hemşire Beceri Durumu											
	Hemş	i	Hemş	İ	Hemş	İ	Hemş	İ	Hemş	İ	Hemş	İ
Hasta 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tablo A.6. 70x13 boyutundaki veri seti

					Servis													Tahmini İş Yükü Değerleri						
	Koordinatlar		Zaman Pencerele		M o l a	S	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş	H e m ş
Hasta 1	21	19	0	540	20		84	52	21	14	44	69	9	43	51	1	66	62	22					
Hasta 2	83	30	0	540	21	20	78	90	54	40	80	30	93	37	61	16	13	33						
Hasta 3	19	45	0	540	23	47	62	69	30	53	8	31	29	11	59	67	51	11						
Hasta 4	43	20	0	540	22	64	40	60	92	35	40	69	95	1	27	13	77	38						
Hasta 5	27	71	0	540	30	27	88	53	42	93	26	59	37	83	0	86	35	6						
Hasta 6	21	82	0	540	28	73	60	37	76	55	15	53	97	85	29	1	45	43						
Hasta 7	53	39	0	540	23	60	82	18	75	64	43	22	3	34	57	63	16	29						
Hasta 8	89	71	0	540	28	43	42	44	19	9	80	56	37	65	12	90	96	84						
Hasta 9	77	32	0	540	24	97	67	66	24	98	18	96	8	99	29	49	86	6						
Hasta 10	94	30	0	540	29	52	14	23	30	51	49	55	63	5	80	42	40	46						
Hasta 11	84	19	0	540	23	40	94	52	56	96	3	77	6	54	97	40	88	73						
Hasta 12	89	21	0	540	15	8	50	15	15	4	12	51	88	65	100	100	90	77						
Hasta 13	9	83	0	540	24	51	79	34	22	54	16	29	71	24	10	92	58	79						
Hasta 14	98	37	0	540	26	91	87	89	93	19	94	16	73	39	93	24	36	82						
Hasta 15	21	20	0	540	24	56	37	92	33	71	78	31	23	80	45	100	41	44						
Hasta 16	19	11	0	540	16	40	12	61	31	100	35	100	14	85	17	37	85	95						
Hasta 17	37	89	0	540	30	52	59	16	0	96	97	35	76	30	69	52	5	66						
Hasta 18	23	41	0	540	25	33	77	75	97	98	63	92	17	75	5	75	30	99						
Hasta 19	24	86	0	540	19	23	46	96	9	45	80	6	29	35	61	28	33	86						
Hasta 20	88	38	0	540	20	19	61	83	71	46	33	15	95	60	42	56	50	18						
Hasta 21	86	32	0	540	27	6	76	16	36	37	7	47	33	37	31	18	15	22						
Hasta 22	58	4	0	540	28	88	37	15	39	53	22	68	93	22	64	93	12	49						
Hasta 23	59	39	0	540	25	15	70	34	80	82	5	77	82	4	2	29	28	66						
Hasta 24	79	22	0	540	15	41	67	88	28	99	24	60	58	56	67	22	73	5						
Hasta 25	38	85	0	540	15	33	63	2	82	51	28	87	85	72	87	10	44	68						
Hasta 26	98	85	0	540	20	78	63	84	95	26	27	93	62	78	83	54	86	32						
Hasta 27	36	97	0	540	25	73	16	97	34	62	76	33	71	13	53	1	23	44						
Hasta 28	92	3	0	540	17	14	61	84	8	65	78	21	71	14	32	24	89	76						
Hasta 29	40	84	0	540	25	38	21	99	76	46	53	10	62	50	3	83	45	23						
Hasta 30	83	10	0	540	30	43	4	40	19	69	8	96	31	34	90	99	99	100						
Hasta 31	27	14	0	540	22	38	92	4	50	20	58	26	63	14	48	8	27	85						
Hasta 32	10	59	0	540	23	43	6	72	83	92	14	15	33	50	72	24	22	71						
Hasta 33	44	98	0	540	16	73	65	88	68	77	62	19	100	89	52	20	22	51						
Hasta 34	73	84	0	540	20	34	57	49	28	52	2	90	40	82	90	31	76	97						
Hasta 35	47	59	0	540	20	71	75	18	29	67	82	26	20	60	69	81	77	7						
Hasta 36	61	50	0	540	21	31	16	31	58	98	97	42	57	80	60	14	28	72						
Hasta 37	78	94	0	540	29	91	80	32	38	33	66	9	71	10	32	79	85	13						
Hasta 38	56	84	0	540	27	94	88	60	84	61	5	24	21	91	64	57	97	98						
Hasta 39	26	72	0	540	18	87	39	89	19	64	81	69	69	78	65	84	26	22						
Hasta 40	60	87	0	540	16	74	70	51	16	58	20	23	12	55	86	39	86	15						
Hasta 41	17	7	0	540	17	41	16	32	44	11	46	11	93	71	88	23	66	46						
Hasta 42	47	20	0	540	25	44	68	100	90	96	61	31	22	82	27	83	53	43						
Hasta 43	56	85	0	540	21	67	12	47	100	40	52	64	4	35	83	29	50	1						
Hasta 44	87	49	0	540	29	72	34	71	46	44	95	90	93	95	1	67	44	51						
Hasta 45	49	90	0	540	30	26	58	7	72	6	59	88	5	88	74	64	89	49						
Hasta 46	20	19	0	540	28	59	3	17	72	98	32	73	63	26	71	25	55	10						
Hasta 47	73	13	0	540	21	75	28	85	50	58	62	34	44	51	88	63	82	19						
Hasta 48	56	21	0	540	28	95	65	6	78	52	35	46	88	5	84	38	90	44						
Hasta 49	93	75	0	540	22	11	100	88	17	99	32	2	3	80	29	29	60	48						
Hasta 50	97	0	0	540	27	3	14	32	6	53	27	69	22	47	9	87	66	98						
Hasta 51	6	61	0	540	19	44	17	50	59	35	52	50	59	28	13	72	95	75						
Hasta 52	39	56	0	540	24	13	5	59	39	94	84	81	34	20	70	45	58	65						
Hasta 53	87	80	0	540	16	79	82	94	1	79	42	85	37	21	85	93	87	47						
Hasta 54	34	2	0	540	15	39	46	78	47	99	36	17	9	95	3	92	53	44						
Hasta 55	1	68	0	540	28	1	58	92	37	58	42	52	56	7	1	98	32	87						
Hasta 56	87	67	0	540	24	48	36	75	9	6	75	75	17	17	7	66	51	81						
Hasta 57	71	13	0	540	22	45	17	17	62	0	44	59	71	98	34	6	32	58						
Hasta 58	1	92	0	540	22	75	19	1	87	3	23	83	9	8	55	23	56	73						
Hasta 59	100	93	0	540	27	31	21	45	87	31	8	14	39	5	29	72	33	44						
Hasta 60	22	61	0	540	17	70	63	44	6	90	87	26	52	73	13	86	61	6						
Hasta 61	30	2	0	540	28	69	49	31	82	21	47	36	49	17	90	56	39	85						
Hasta 62	22	49	0	540	30	64	15	69	52	53	65	87	47	15	22	18	85	51						
Hasta 63	84	30	0	540	26	13	95	41	37	16	34	0	55	90	24	21	6	8						
Hasta 64	38	72	0	540	29	20	86	24	31	64	56	42	74	12	52	12	75	30						
Hasta 65	0	79	0	540	21	80	12	68	54	68	15	24	2	62	73	26	16	94						
Hasta 66	7	37	0	540	25	65	74	16	85	27	68	7	40	19	74	29	29	5						
Hasta 67	48	1	0	540	27	43	44	22	61	69	5	17	15	0	62	27	14	31						
Hasta 68	52	28	0	540	16	15	57	71	24	20	75	98	18	67	75	68	26	64						
Hasta 69	25	87	0	540	23	25	80	95	94	98	29	66	53	54	62	38	58	65						
Hasta 70	22	37	0	540	24	68	20	93	41	14	55	89	44	32	26	7	92	10						
Öğle Molası	0	0	180	300	60																			
EB Merkezi	50	50																						

Tablo A.6 (Devam): 70x13 boyutundaki veri seti

	Hemşire Beceri Durumu												
	Hemş1	Hemş2	Hemş3	Hemş4	Hemş5	Hemş6	Hemş7	Hemş8	Hemş9	Hemş10	Hemş11	Hemş12	Hemş13
Hasta 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 62	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 65	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 67	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 68	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 69	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasta 70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

EK B. Tam sayılı doğrusal modele ait örnek sonuçlar

Örnek 1 özellikleri;

- Hemşire sayısı: 3
- Hasta sayısı: 20
- İş yükü kısıtı içermiyor

```

              S O L V E      S U M M A R Y

MODEL      aa                OBJECTIVE  z
TYPE       MIP              DIRECTION MAXIMIZE
SOLVER     CPLEX            FROM LINE  71

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE                20.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT      6.894      1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    62716      2000000000

IBM ILOG CPLEX   Jul  4, 2010 23.5.1 WIN 18414.18495 VS8 x86/MS Windows
Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34
GAMS/Cplex licensed for continuous and discrete problems.

Cplex MIP uses 1 of 4 parallel threads. Change default with option THREADS.
MIP status(101): integer optimal solution
Fixed MIP status(1): optimal
Proven optimal solution.

MIP Solution:                20.000000      (62716 iterations, 2105 nodes)
Final Solve:                 20.000000      (0 iterations)

Best possible:               20.000000
Absolute gap:                 0.000000
Relative gap:                 0.000000
```

----	73 VARIABLE x.L 1 eğer m. hemşire i.düğümünden sonra j. düğüme gider ise					
	2	3	4	5	6	7
1.1					1.000	
1.6		1.000				
1.12			1.000			
3.5	1.000					
3.13				1.000		
3.22						1.000
+	8	9	10	11	12	13
1.22					1.000	
2.11	1.000					
2.14				1.000		
2.21		1.000				
3.2			1.000			
3.16						1.000
+	14	15	16	17	18	19
1.3		1.000				
1.4					1.000	
2.20	1.000					
2.22						1.000
3.7				1.000		
3.17			1.000			
+	20	21	22	23		
1.15			1.000			
1.18				1.000		
2.1		1.000				
2.8				1.000		
2.9			1.000			
2.19	1.000					
3.1			1.000			
3.10				1.000		

Örnek 2 özellikleri;

- Hemşire sayısı: 3
- Hasta sayısı: 20
- İş yükü kısıtı içeriyor

```

              S O L V E      S U M M A R Y

MODEL      aa                OBJECTIVE   z
TYPE       MIP              DIRECTION  MAXIMIZE
SOLVER     CPLEX            FROM LINE   87

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS       1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE                20.0093

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.305 10000000000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    1475   2147483647
--- GAMS/Cplex Link licensed for continuous and discrete problems.
--- GMO setup time: 0.00s
--- Space for names approximately 0.10 Mb
--- Use option 'names no' to turn use of names off
--- GMO memory 1.52 Mb (peak 1.53 Mb)
--- Dictionary memory 0.00 Mb
--- Cplex 22.1.1.0 link memory 0.06 Mb (peak 0.35 Mb)
--- Starting Cplex

--- MIP status (101): integer optimal solution.
--- Cplex Time: 0.30sec (det. 249.82 ticks)

--- Fixing integer variables and solving final LP...

--- Fixed MIP status (1): optimal.
--- Cplex Time: 0.00sec (det. 2.41 ticks)

Proven optimal solution
MIP Solution:                20.009300      (1475 iterations, 0 nodes)
Final Solve:                 20.009300      (0 iterations)

Best possible:               20.009300
Absolute gap:                 0.000000
Relative gap:                 0.000000
```

----	89	VARIABLE	x.L	1	eğer m. hempire i.düğümden sonra j. düğüme gider ise						
				2	3	4	5	6	7		
1.5						1.000					
1.8								1.000			
1.19							1.000				
1.22			1.000								
2.21					1.000						
3.20										1.000	
+				8	9	10	11	12	13		
1.2			1.000								
2.1							1.000				
2.3						1.000					
2.16								1.000			
3.14										1.000	
3.22					1.000						
+				14	15	16	17	18	19		
1.4					1.000						
1.6										1.000	
2.10							1.000				
2.22						1.000					
3.9			1.000								
3.13								1.000			
+				20	21	22	23				
1.1						1.000					
1.15							1.000				
2.11					1.000						
2.12							1.000				
2.17						1.000					
3.1						1.000					
3.7							1.000				
3.18			1.000								

EK C. Hedef programlama modeline ait örnek sonuçlar

Örnek özellikleri;

- Hemşire sayısı: 3
- Hasta sayısı: 20
- İzin verilen maksimum iş yükü değeri:100
- $w_1:70$
- $w_2:30$





```

      S O L V E      S U M M A R Y

MODEL    aa                OBJECTIVE  z
TYPE     MIP              DIRECTION  MINIMIZE
SOLVER   CPLEX            FROM LINE  87

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE          0.1050

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.218      1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    438      2000000000

IBM ILOG CPLEX   Jul  4, 2010 23.5.1 WIN 18414.18495 VS8 x86/MS Windows
Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34
GAMS/Cplex licensed for continuous and discrete problems.

Cplex MIP uses 1 of 4 parallel threads. Change default with option THREADS.
MIP status(101): integer optimal solution
Fixed MIP status(1): optimal
Proven optimal solution.

MIP Solution:          0.105000      (438 iterations, 0 nodes)
Final Solve:          0.105000      (0 iterations)

Best possible:        0.105000
Absolute gap:         0.000000
Relative gap:         0.000000

```

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	0.105	+INF	.

---- VAR sp

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	.	+INF	0.002
2	.	.	+INF	0.002
3	.	.	+INF	0.002

---- VAR sn

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	20.000	+INF	.
2	.	.	+INF	.
3	.	10.000	+INF	.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR np	.	.	+INF	0.015
---- VAR nn	.	7.000	+INF	.

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 235 WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 06/02/23 10:36:02 Page 6
 General Algebraic Modeling System
 Execution

89 VARIABLE x.L 1 eğer m. hemşire i.düğümünden sonra j. düğüme gider ise						
	2	4	6	8	11	12
1.8	1.000					
1.19		1.000				
1.22				1.000		
2.16					1.000	
2.22						1.000
3.20			1.000			
+	14	16	17	18	19	20
1.2					1.000	
2.12			1.000			
2.17		1.000				
3.18	1.000					
3.21						1.000
3.22				1.000		
+	21	22	23			
1.1		1.000				
1.4			1.000			
2.1		1.000				
2.11			1.000			
3.1	1.000					
3.6		1.000				
3.14			1.000			