

**HASTANELERDE GERÇEK ZAMANLI KONUM BELİRLEME
SİSTEMLERİNİN ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI**

DUYGU ERSOL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2014

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Necip CAMUŐCU

Müdü

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylarım.

Prof. Dr. Tahir HANALİOĞLU

Anabilim Dalı Başkanı

Duygu ERSOL tarafından hazırlanan HASTANELERDE GERÇEK ZAMANLI KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİNİN ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU ÜNVER

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Salih TEKİN

Üye : Doç. Dr. Tolga GİRİCİ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU ÜNVER

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

.....

Duygu ERSOL

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU ÜNVER
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Nisan 2014

Duygu ERSOL

HASTANELERDE GERÇEK ZAMANLI KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİNİN ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI

ÖZET

Hastanelerde birkaç bölüm tarafından ortaklaşa kullanılan mobil ekipmanların sistematik bir biçimde paylaşılmaması hastane süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Hasta tedavisi gibi kritik olayları yöneten hastanelerde ekipman arama-bulma gibi işlemlerin hızlandırılması, ekipmanların talep edildikleri anda nerede olduklarının gerçek zamanlı olarak takibinin yapılması mümkündür. Bu takibi yapabilmek için Gerçek Zamanlı Konum Belirleme (RTLS) Teknolojisinden faydalanılabilmektedir. Gerçek zamanlı ekipman takibi yapılmayan hastanelerde ekipman arama ve uzak mesafelerden ekipman getirme sebebiyle ekipmanın hastaya ulaşma süresi artmaktadır. Ek olarak hastane bölümleri, ellerinde boş ekipman olsa bile yakın zamanda aynı ekipmana kendi hastalarının ihtiyacı olabileceğini düşünerek ekipmanı talep eden bölüme vermeye çekinmektedirler. Bu çalışma TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Hastanesi sistemi baz alınarak gerçekleştirilmiş, gerçek zamanlı konum belirleme sistemlerine entegre edilecek ekipman seçim kuralları geliştirilerek ekipmanın hastaya ulaşma süresini ve bölümler arası ekipman alışveriş çekincesini azaltmak ve hastanenin bu kurallardan elde edeceği faydanın belirlenmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen kurallar; bölümlerin içinde bulunulan saatte kullanıma ihtiyaç duyacakları ekipmanları tahmin eden, ihtiyaç duyulan ekipmanı elinde en çok bulunduran bölümden almaya çalışan ve en yakındaki ekipmanı alan kurallar olarak kategorize edilebilir. Tahmin yöntemi kullanan ekipman seçim kuralları, bölümlerin belirli ekipman tiplerine olan talep tahminlerini yaparken *sezonsal ARIMA modellerinden* faydalanmaktadır. Hastane mevcut durum modeli ve geliştirilen ekipman seçim kuralları simülasyon ortamında test edilmiş, tüm senaryoların ikili sistem karşılaştırmaları yapılmış ve incelenen performans ölçütleri açısından ne derece iyileşme sağlandığının analizleri yapılmıştır. Önerilen algoritmaların farklı talep hızları ve bölümlere göre değişen farklı talep yapıları gözetilerek yapılan duyarlılık analizlerine gürbüz cevaplar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hastane, Simülasyon, Sezonsal ARIMA Yöntemi, Gerçek Zamanlı Konum Belirleme Sistemi (RTLS).

University : TOBB University of Economics and Technology
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Industrial Engineering
Supervisor : Asst. Prof. Dr. Nilgün FESCİOĞLU ÜNVER
Degree Awarded and Date : M.Sc. – April 2014

Duygu ERSOL

IMPROVING EFFICIENCY OF REAL TIME LOCATING SYSTEMS IN HOSPITALS

ABSTRACT

Mobile assets used jointly by several hospital departments affect hospital processes adversely when they are not shared in a systematic manner. Hospitals manage critical events such as patient care so accelerating operations such as searching-finding an asset and tracking an asset in real time is a necessity to meet the departments' needs immediately. To enable this using Real Time Locating System (RTLS) technology can be a good choice. Hospital systems without RTLS suffer from long asset to patient time due to searching an asset and taking the asset from a long distance point. Additionally, hospital departments are reluctant to share their assets even if they have unused ones, thinking that they may need the asset in the near future. In this study we develop asset selection rules which can be integrated to the RTLS technology. The analysis are based on TOBB University of Economics and Technology Hospital. This study aims decreasing asset to patient time, decreasing departments reluctance about sharing assets with other departments and quantifying the benefit of these rules. In the scope of this thesis, we developed three asset selection rules. These rules consider asset number of assets available in departments, asset distance and departments' asset demands while suggesting the asset to be selected. For the rules that use forecasting to calculate the departments' asset demand, seasonal ARIMA models are evaluated. Hospital's current status model and RTLS-integrated asset selection rules are tested in the simulation environment. All selection rules are compared pairwise and the performance measures are examined. The sensitivity of asset selection rules against different demand rates and different demand patterns varying among departments are analyzed. As a result, we observed that proposed asset selection rules gives robust responses to this sensitivity analysis.

Keywords: Hospital, Simulation, Seasonal ARIMA Method, Real Time Locating Systems (RTLS).

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana her anlamda, her aşamada çok yardımcı olan, beni her durumda destekleyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU ÜNVER'e bütün kalbimle teşekkür eder, şükranlarımı sunarım. Saygıdeğer hocamın kıymetli yönlendirmeleri ile hem tezimde, hem yüksek lisans sürecimde, hem de hayata dair kendisinden öğrendiğim bilgiler doğrultusunda Endüstri Mühendisliği ve hayat adına emek, mücadele ve azim kavramlarının önemini daha da pekiştirdim. Sevgili Nilgün Hocama, gösterdiği emeklerden ötürü ne kadar teşekkür etsem azdır.

Tezimi okuyup değerlendiren saygıdeğer hocalarım Yrd. Doç. Dr. Salih TEKİN, Yrd. Doç. Dr. Sibel Alumur ALEV ve Doç. Dr. Tolga GİRİCİ'ye çok teşekkür ederim. Sadece tez yazma süreci boyunca değil her zaman yanımda olan ve beni her koşulda destekleyen sevgili aileme ömrüm boyunca minnettarım. En ufak bir moral bozukluğuna dahi kapılmama izin vermeyen, olumlu telkinleriyle her zaman yanımda olan değerli dostlarım Barış HACIKERİMOĞLU, Onur ÖZDEMİR, Nilüfer DEMİR, Gülben ÜZÜMCÜ, Uğur ŞAHİN ve diğer bütün arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Ayrıca 2006 yılında lisans eğitimime başlamak amacıyla katıldığım kıymetli TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi ailesi ve saygıdeğer Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışması için sağladığı veriler ve destekten ötürü TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Hastanesi'ne de müteşekkirim.

Tezimin basılması ile beraber kendimi "ilk kitabı basılmış bir yazar" olarak nitelendirebileceğim. Tezimin, hem akademik hem de sosyal alanlarda yazarlık serüvenimin devamı için bana cesaret vermesini diliyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLoların LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Endüstride RFID Kullanımı ile ilgili Çalışmalar.....	3
2.1.1. Endüstride RFID'nin Katkısını Artırıcı Çalışmalar.....	5
2.1.1. Sağlık Sistemlerinde RFID ile Ekipman Takibi.....	7
2.2. Sağlık Sistemlerinde Kullanılan Hasta Yoğunluk Tahmin Yöntemleri.....	10
3. SİSTEM ANALİZİ.....	18
3.1. Mevcut Sistemin İşleyişi ve Problemleri.....	18
3.2. Takibi Yapılacak Ekipman ve Hastane Bölümleri.....	20
4. EKİPMAN SEÇİM KURALLARI.....	22
4.1. Minimum Mesafe Kuralı.....	23
4.2. Minimum Talep Kuralı.....	24
4.3. Maksimum Ekipman Kuralı.....	26
4.4. Maksimum Ekipman ve Minimum Talep Kuralı.....	26
4.5. Geliştirilen Ekipman Seçim Kurallarını Değerlendirmek için Kullanılan Performans Kriterleri.....	28
5. TALEP TAHMİN MODELLERİ.....	30
6. SİMÜLASYON MODELİ.....	48
6.1. Girdiler.....	48
6.1.1. Talep Yoğunluğu.....	48
6.1.2. Diğer Girdiler.....	56
6.2. Doğrulama, Geçerlilik ve Varsayımlar.....	57
6.2.1. Isınma Periyodunun Belirlenmesi.....	58
6.2.2. Koşum Uzunluğunun Belirlenmesi.....	62
6.2.3. Tekrar Sayısının Belirlenmesi.....	62
6.3. Simülasyon Modeli ile Entegre Çalışan Talep Tahmin Modellerinin Oluşturulması.....	63

7. ANALİZ.....	68
7.1. Ekipman Seçim Kurallarının Karşılaştırması.....	68
7.1.1. Ekipman Seçim Kurallarının Performans Kriterlerine Etkisi	68
7.1.1. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının İkili Karşılaştırmaları.....	70
7.2. Duyarlılık Analizleri.....	74
7.2.1. Talep Hızına Karşı Duyarlılık Analizi	74
7.2.2. Değişen Saatlik Ortalama Talep Yapısına Duyarlılık.....	82
7.2.3. Analiz Tartışması	91
8. SONUÇ	95
KAYNAKLAR.....	98
EKLER.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	138

TABLULARIN LİSTESİ

Tablolar	Sayfa
Tablo 2.1. RFID ile Barkod Teknolojisinin Karşılaştırılması.....	4
Tablo 2.2. Tahmin Model Yöntemleri ve Nitelikleri	13
Tablo 3.1. Takibi Yapılacak Ekipmanlar, Öncelikleri ve Takip Etmeye Uygunlukları	21
Tablo 5.1. Zemin Poliklinik için Fark Alma Sayısı Belirlenirken Yapılan Alternatif Model Karşılaştırmasının RMSE Sonuçları.....	41
Tablo 5.2. Zemin Poliklinik $ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modeli Parametre Tahmini ve p-değerleri	44
Tablo 5.3. Zemin Poliklinik $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ modeli Parametre Tahmini ve p-değeri	44
Tablo 5.4. Zemin Poliklinik $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modeli için Doğrulama ve Tahmin Periyodunda Ortaya Çıkan Hata İstatistikleri Değerleri.....	47
Tablo 6.1. Mevcut Günlük Ortalama Talep Verisini Literatürden Elde Edilen Veriler ile Saatlik Yapıya Dönüştürme	53
Tablo 6.2. Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi için Yığın ve Kümülatif Ortalamalar	60
Tablo 6.3. Tekrar Sayısı 10 için Sonuçlar.....	63
Tablo 6.4. Tekrar Sayısının Belirlenmesi	63
Tablo 6.5. Tüm Hastane Bölümleri için ARIMA Tahmin Modelleri ve Eşitlikleri...	66
Tablo 6.6. Tüm Hastane Bölümlerinin Parametre Tahmin ve P-Değerleri.....	67
Tablo 7.1. Temel Durum ve Tüm Kuralların Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi için Sonuçları	69
Tablo 7.2 Tüm Ekipmanların Kullanım Oranı (%).....	70
Tablo 7.3. Temel Durum ve Tüm Kuralların Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi (dakika) Açısından Kıyaslanması	71
Tablo 7.4. Temel Durum ve Tüm Kuralların Bölümler Arası Günlük Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Kıyaslanması	73
Tablo 7.5. Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresinin (dakika) Değişen Talebe Göre Değerleri.....	75
Tablo 7.6. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx1 Senaryosu için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Karşılaştırılması	77
Tablo 7.7. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx2 Senaryosu için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Karşılaştırılması	78
Tablo 7.8. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx3 Senaryosu için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Karşılaştırılması	78
Tablo 7.9. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx4 Senaryosu için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Karşılaştırılması	78
Tablo 7.10. Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısının Değişen Talebe Göre Değerleri.....	79
Tablo 7.11. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx1 Senaryosu için Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Karşılaştırma Sonuçları	80
Tablo 7.12. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx2 Senaryosu için Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Karşılaştırma Sonuçları	81

Tablo 7.13. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx3 Senaryosu için Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Karşılaştırılması.....	81
Tablo 7.14. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx4 Senaryosu için Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Karşılaştırılması.....	81
Tablo 7.15. Değişen Saatlik Talep Yapısına Göre Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresinin (dakika) Talep Yapısının Aynı Olduğu Durumla Kıyaslanması.....	86
Tablo 7.16. Talep Yapısının Aynı Olduğu Senaryo için Tüm Kuralların Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Kıyaslanması.....	87
Tablo 7.17. Değişen Saatlik Talep Yapısı Senaryosu için Tüm Kuralların Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Kıyaslanması.....	87
Tablo 7.18. Değişen Saatlik Talep Yapısına Göre Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlığı Sayısının Talep Yapısının Aynı Olduğu Durumla Kıyaslanması	88
Tablo 7.19. Her polikliniğin Talep Yapısı Aynı iken Tüm Kuralların Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Kıyaslanması	88
Tablo 7.20. Her polikliniğin Talep Yapısı Farklı iken Tüm Kuralların Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Kıyaslanması	89

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekiller	Sayfa
Şekil 3.1. Ekipman Arama Akış Şeması	19
Şekil 4.1. Gerçek Zamanlı Ekipman Takip Sistemi Destekli Ekipman Temin Süreci	23
Şekil 5.1. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,0,0)$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği.....	35
Şekil 5.2. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,0,0)$ Modelinin ACF Grafiği	35
Şekil 5.3. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,0,0)$ Modelinin PACF Grafiği	36
Şekil 5.4. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,0,0)$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği.....	37
Şekil 5.5. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,0,0)$ Modelinin ACF Grafiği	37
Şekil 5.6. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,0,0)$ Modelinin PACF Grafiği	37
Şekil 5.7. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği.....	38
Şekil 5.8. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin ACF Grafiği	38
Şekil 5.9. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin PACF Grafiği	39
Şekil 5.10. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği.....	39
Şekil 5.11. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin ACF Grafiği	40
Şekil 5.12. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin PACF Grafiği	40
Şekil 5.13. Zemin poliklinik için Sabit Terim Eklenmemiş $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin ACF Grafiği.....	42
Şekil 5.14. Sabit Terim Eklenmemiş $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin PACF Grafiği	42
Şekil 5.15. Zemin Poliklinik için Seçilen $ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği.....	43
Şekil 5.16. Zemin Poliklinik için Seçilen $ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin ACF Grafiği	43
Şekil 5.17. Zemin Poliklinik için Seçilen $ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin PACF Grafiği	43
Şekil 5.18. Zemin Poliklinik Nihai $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği.....	45
Şekil 5.19. Zemin Poliklinik Nihai $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin ACF Grafiği	45
Şekil 5.20. Zemin Poliklinik Nihai $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin PACF Grafiği	45

Şekil 6.1. Ayakta Tedavi Gören Hasta Bölümleri için Literatürden Alınan Saatlik Hasta Varış Grafiği	50
Şekil 6.2.Yatarak Tedavi Gören Hasta Bölümleri için Literatürden Alınan Saatlik Hasta Varış Grafiği	51
Şekil 6.3.Acil Polikliniği için Literatürden Alınan Saatlik Hasta Varış Grafiği.....	51
Şekil 6.4. Ayakta Tedavi Gören Hastalar (pediatri hariç) için Uyarlanmış Saatlik Veri Grafiği	54
Şekil 6.5. Pediatri Polikliniği için Uyarlanmış Saatlik Veri Grafiği.....	54
Şekil 6.6. Yatarak Tedavi Gören Hastalar için Uyarlanmış Saatlik Veri Grafiği	55
Şekil 6.7. Acil Polikliniği için Uyarlanmış Saatlik Veri Grafiği	56
Şekil 6.8. Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi için Kümülatif Ortalama Grafiği	61
Şekil 6.9.Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı için Kümülatif Ortalama Grafiği	61
Şekil 6.10. 2. Kat Poliklinik için Poisson Dağılımına Uygun Üretilen Verilerin Grafiği	65
Şekil 7.1 . Değişen Talep Hızına Göre Temel Durum ve Ekipman Seçim Kuralları için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Grafiği.....	75
Şekil 7.2 . Değişen Talep Hızına Göre Temel Durum Hariç Ekipman Seçim Kuralları için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Grafiği.....	76
Şekil 7.3. Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısının Değişen Talebe Göre Grafiği	80
Şekil 7.4. Değişen Talep Yapılarına Göre 1.Kat ve Zemin Polikliniğine Uyarlanmış Yapı Grafiği	83
Şekil 7.5. Değişen Talep Yapılarına Göre Ameliyathane, Anjiyo ve B1 Kardiyoloji Polikliniğine Uyarlanmış Yapı Grafiği	84
Şekil 7.6. Değişen Talep Yapılarına Göre Koroner ve Genel Yoğun Bakıma Uyarlanmış Yapı Grafiği.....	84
Şekil 7.7. Değişen Talep Yapılarına Göre KVC Yoğun Bakım ve 2.Kat Yatan Hasta Polikliniğine Uyarlanmış Yapı Grafiği	85
Şekil 7.8. Değişen Talep Yapılarına Göre Genel Cerrahi ve Kardiyovasküler Cerrahi Polikliniğine Uyarlanmış Yapı Grafiği	85
Şekil 7.9. Ekipman Hastaya Ulaşma Süresinin Değişen Saatlik Talep Yapısına Göre Grafiği	90
Şekil 7.10. Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısının Değişen Saatlik Talep Yapısına Göre Grafiği.....	90

KISALTMALAR

Kisaltmalar	Açıklama
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average (Oto regresif Bütünleşik Hareketli Ortalama)
BAREKAPS	Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı
GYB	Genel Yoğun Bakım
KVC	Kardiyovasküler Cerrahi
MAE	Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)
ME	Mean Error (Ortalama Hata)
RFID	Radio-Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)
RMSE	Root Mean Squared Error (Hata Ortalamalarının Karesi)
RTLS	Real Time Locating Systems (Gerçek Zamanlı Konum Belirleme)
SDP	Sağlık Destek Personeli

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler ve açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
θ_1	SMA(1) terimi
ϕ_1	AR(1) terimi
ε_t	t zamanında hata terimi
y_t	t zamanında tahmin değeri

1. GİRİŞ

Hastaneler, yaşamsal aktivitelerin dakikalar, hatta saniyelere bağlı olduğu kritik süreçleri yönetmektedir. Özellikle acil durumlarda hastane kliniklerinin en büyük sorunlarından birisi personel ve ekipman gibi kaynakların yerlerinin hızlı bir şekilde belirlenememesidir. Bir insana, ekipmana veya bir araca kısa sürede ulaşabilmek için o varlığın yerinin gerçek zamanlı olarak bilinmesi, varlıklara ulaşmak için harcanan gereksiz süreleri kısaltmakta hatta sıfırlayabilmektedir. Örnek olarak, acil polikliniğe gelen bir hastaya acilen kan nakli yapılması gerekirse, o anda kan nakil pompasının yerinin bilinmesi hasta açısından hayati önem taşır. Ekipman arama süresinin uzaması ise can kaybına sebebiyet verebilir. Ekipman yerlerinin gerçek zamanlı olarak hızlı bir şekilde belirlenerek, hastaya gerekli hizmetin sağlanması her hastanenin öncelikli amaçlarından birisidir. Hastaneler bu amaçlarını gerçekleştirirken aynı zamanda maliyetlerinin de düşmesi beklentisini taşımaktadırlar. Bu nedenle tüm bu amaçlara hizmet edebilecek çeşitli teknolojilerden yararlanmaktadırlar. Gerçek zamanlı konum belirleme (RTLS-Real Time Locating System) sistemi bu amaçlara hizmet eden, sağlık alanında gitgide popülerliğini arttıran etkili bir teknolojidir. RTLS teknolojisi ekipmanların yerlerini gerçek zamanlı olarak gösterebilmekte, böylece hastane çalışanlarının ihtiyaç anında kendilerine en yakın ekipmanı kolaylıkla bulmalarına olanak sağlamaktadır. RTLS'nin bu şekilde kullanımı ekipman arama süresini ortadan kaldırmakta ve ekipmanın hastaya ulaşma süresini azaltmaktadır. Ancak RTLS kullanılması durumunda bile bölümlerin ellerindeki boş ekipmanı yakında kendilerinin ihtiyacı olabileceği düşüncesiyle, talep eden diğer bölümlere vermeye çekindikleri gözlemlenmektedir. RTLS teknolojisinden elde edilecek katkı, çeşitli ekipman seçim kurallarının RTLS ile entegre çalışmasının sağlanmasıyla artırılabilir. Bu çalışmada RTLS'nin hastaneye getireceği katkıları artırmayı amaçlayan ekipman seçim kuralları geliştirilmektedir. Ekipman seçim kuralları TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Hastanesi sistemi baz alınarak oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar yine aynı hastane için analiz edilmiştir. Hastanenin mevcut durumu daha önceden yine aynı hastane için yapılmış bir tez çalışması [1] kapsamında analiz edilmiş, mevcut sistem simülasyon ortamında modellenmiş ve test edilmiştir. Aynı çalışmada, gerçek

zamanlı konum belirleme sistemlerinin hastaneye kurulduktan sonra ekipmanların yerinin ve kullanım durumunun tam olarak bilineceği varsayımı altında ekipman kullanım oranlarını dengeleyici ve ekipmanın hastaya ulaşma süresini göz önünde bulunduran ekipman seçim kuralları geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise hastanenin mevcut hali için bahsedilen tez çalışmasında oluşturulan simülasyon modeli kullanılarak bölümlerin ekipman alışverişi çekincelerini ve ekipmanın hastaya ulaşma süresini azaltmayı amaçlayan yeni ekipman seçim kuralları geliştirilmiştir. Bu seçim kuralları hastanedeki bölümlerin yakın zamanda kullanabilecekleri ekipman tiplerine olan ihtiyaçlarını, ekipman mesafelerini ve ekipman sayılarını göz önüne alan kurallardır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen yeni ekipman seçim kuralları *Arena Enterprise Suit Academic 14.00* programı kullanılarak analiz edilmiş, mevcut sistem modeli yeni oluşturulan ekipman seçim algoritmaları için modifiye edilmiştir. Bölümlerin talep tahminlerine göre seçim yapılmasını sağlayan kuralları da barındıran çalışmada sezonsal ARIMA yöntemi kullanılarak her bölüm için talep tahmin modelleri oluşturulmuş ve simülasyon ortamına entegre edilmiştir.

Tez çalışması sekiz bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde literatür araştırması kapsamında RTLS ve RTLS ile sıklıkla kullanılan radyo frekanslı tanımlama sistemlerinin (RFID) kullanım alanlarına, bu alanlara dair yapılan çalışmalara ve talep tahmini yapabilmek için hasta yoğunluk tahmin yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde sistem analizi, dördüncü bölümde ise geliştirilen ekipman seçim kurallarından bahsedilmiştir. Beşinci bölümde sezonsal ARIMA yöntemi ile oluşturulan talep tahmin modelleri oluşturulması sırasında yapılan analizler açıklanmıştır. Altıncı bölümde simülasyon modeli ve doğrulama-geçerlilik analizlerinden bahsedilmiştir. Yedinci bölümde oluşturulan her ekipman seçim kuralı için elde edilen sonuçlar sunulmuş, senaryo olarak nitelendirilen ekipman seçim kurallarının ikili sistem karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca yedinci bölümde duyarlılık analizleri de mevcuttur. Sekizinci ve son bölümde ise çalışma için yapılan çıkarımlar, genel sonuçlar anlatılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tez kapsamında yapılacak analizler göz önünde bulundurulduğunda literatür araştırması 3 ana başlık altında incelenmiştir. Bölüm 2.1'de Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) kullanımı ile ilgili genel olarak endüstride yapılan çalışmalar ve uygulamalardan bahsedilmiştir. Bölüm 2.2'de RFID kullanımı özelleştirilerek sadece sağlık sistemleri alanında gerçekleştirilen çalışmalardan örnekler sunulmuştur. Sağlık sistemlerindeki RFID çalışmaları da spesifikleştirilerek asıl ilgilenilen konu olan gerçek zamanlı konum belirleme (Real Time Locating Systems–RTLS) teknolojisinin ekipman takibi ile ilgili olan makaleleri taranmıştır. Bölüm 2.3'de hasta yoğunluğu tahmini üzerine yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Literatürde araştırılan, okunan her bir makale bu çalışmayı destekleyici yönde fayda sağlamıştır.

2.1. Endüstride RFID Kullanımı ile ilgili Çalışmalar

Endüstride RFID kullanımının bir çok değişik alanda uygulaması mevcuttur. Bu kullanımlar ile alakalı yapılan literatür çalışmasında bir çok alana dair değişik tipte problemleri ele alan çalışmalara rastlanmıştır. Bu bölümde, endüstride RFID kullanımı ile alakalı yapılan değişik çalışmalardan örnekler sunulmaktadır.

Bilgi teknolojileri, organizasyonel değer yaratmak açısından en önemli kaynaklardan birisidir. Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) teknolojisi, bilgi teknolojileri kapsamında ön plana çıkmakta ve bilgi teknolojilerinin yeni nesil devrimlerinden birisi olarak nitelendirilmektedir. RFID teknolojisi tarım, hayvancılık, enerji, sağlık, üretim, güvenlik , turizm ve kamu gibi pek çok alanda kullanılabilir. RFID teknolojisi radyo frekansını kullanarak nesnelere tekil veya otomatik olarak tanımlama yöntemidir. RFID teknolojisi 4 temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler: RFID etiket, RFID yazıcı, RFID okuyucu ve bir programlama aracıdır. RFID etiketleri, tanımlanmak istenen nesnelere üzerine ya da içine yerleştirilir. RFID etiketlerinin içindeki çiplere kaydedilmiş bilgileri okumak için gerekli iletişim, okuyucu ile etiket içerisinde bulunan anten aracılığıyla radyo frekans sinyalleri sayesinde sağlanır. RFID etiket okuma alanına girdiği zaman okuyucu tarafından algılanır ve çipinin kendi koduyla beraber içindeki kayıtlı bilgileri anteni yardımıyla okuyucuya kablosuz ve temassız bir şekilde gönderir [2]. RFID, geleneksel barkod sisteminin yerine uygulanması amacıyla geliştirilen bir teknolojidir. RFID ile barkod

teknolojisi bazı yönleriyle benzerlik gösterebilir de teknik açıdan farklıdır. Barkod ve RFID etiketleri arasındaki farkı Wyld vd. [3] uçak endüstrisi kapsamında güvenlik ve bagaj taşımaya odaklandıkları çalışmalarında belirtmişlerdir. Bu farklar Tablo 2.1'de özetlenmektedir.

Tablo 2.1. RFID ile Barkod Teknolojisinin Karşılaştırılması

Barkod	RFID Etiketleri
Okunabilmek için görüş alanının içerisinde olmalıdır.	Görüş açısı içerisinde olmadan okunabilir ya da güncellenebilir.
Sadece bireysel olarak okunabilir. Toplu okunamaz.	Aynı anda bir çok RFID etiketi okunabilir.
Kirlenirlerse veya zarar görürlerse okunamazlar.	Zorlu koşullara ve kirli ortamlara dayanıklıdır.
Görünebilir olmalıdırlar.	Çok incedirler. Bir nesnenin içerisine gömülse bile okunabilirler.
Yalnızca varlığın tipini tanımlayabilirler. Barkod bilgileri güncellenemez.	Belirli bir varlığı tanımlayabilirler. Elektronik bilgiler durmadan RFID etiketleri üzerine yazılırlar.
Varlık takibinde barkodlar manuel olarak izlenmelidir. Bu durumda insan hataları söz konusu olabilir.	İnsan hatalarına izin vermeden otomatik olarak izlenebilirler.

Bir insana, alete, araca kısacası bir varlığa kısa sürede ulaşılabilmesi için varlıkların yerinin gerçek zamanlı olarak bilinebilmesi gerekmektedir. Gerçek zamanlı konum belirleme (RTLS) teknolojisi çeşitli alanlarda uygulanabilen, iş verimliliğini ve kalitesini artırmak amacıyla tüm dünyada kullanımı yaygınlaşan kablosuz teknolojik çözümlerdir. Gerçek zamanlı konum belirlemek için Bluetooth, İki Değerli Sistem (Bivalent Systems), Radyo Sinyal Vericisi, WLAN ve RFID gibi pek çok teknolojiden faydalanılmaktadır. Endüstride ise takip amaçlı çalışmalarda RFID teknolojisi sıklıkla kullanılmaktadır.

Wismans [4], ulusal tanımlama ve kayıt sistemi gereksinimlerini tanımlayan bir çalışma yapmıştır. Bu bağlamda çiftlik hayvanlarının takip edilmesi, hastalıklarının önceden tespit edilmesi, hayvan ürünlerinin ulusal/uluslararası alışverişinin kalitesinin artırılması ve hayvan ürünlerinin alışverişi esnasında daha rahat denetlenebilmesi için RFID teknolojisinden faydalanılmıştır.

Molnar ve Wagner [5] kütüphanede RFID kullanımına dikkat çeken bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kütüphanedeki materyallerin nasıl düzenlenmesi

gerektiğine ilişkin önerilerde bulunmuşlardır. Kütüphane materyallerinin başlık, yayıncı, lokasyon, veriliş tarihi ve son teslim tarihi gibi bilgilerini RFID etiketlerine yerleştirmişlerdir. Böylece kayıp, çalıntı gibi durumlar daha iyi kontrol altına alınabilmektedir.

2.1.1. Endüstride RFID'nin Katkısını Artırıcı Çalışmalar

RFID kullanımının uygulandığı alanlarda katkısını artırmanın analizi bazı çalışmalarda değerlendirilmiştir.

Kim vd. [6] bir otomobil fabrikasının yükleme-boşaltma alanındaki hareketleri için RFID ile gerçek zamanlı bilgi elde etmenin değerini araştırmıştır. Bu bilginin değerini değerlendiren çeşitli algoritmalar geliştirilmiş, simülasyon yöntemi ile test edilmiştir. Bu nedenle üç adet senaryo oluşturulmuştur. Bunlar; temel durum olan sezgisel seçim, RFID ile mesafeye dayalı seçim ve RFID ile yükleme-boşaltma algoritmalarıdır. Bu üç senaryonun karşılaştırılması amacıyla mevcut araçların üç farklı oranı, günlük üretim miktarının üç farklı seviyesi, fabrikaya geri dönen araç oranının üç seviyesi ve iki farklı işgücü seviyesi için toplamda 270 adet senaryo oluşturulmuş ve bu senaryolar için deney tasarımı yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, RFID ile izleme sisteminin ve RFID'ye algoritmaların eklenmiş halinin mevcut durum modeline uygulandığı zaman, ortalama bekleme süresi ve bekleme süresi varyansını azaltarak müşteri memnuniyetini artırdığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda RFID izleme sistemi ile işçi kullanımları artırılarak işçilik maliyetleri azaltılmış, böylece de kâr artırılmış, RFID'den sağlanan fayda da artmıştır.

Saygın [7], bir üretim fabrikasından elde ettiği gerçek RFID sistem verilerini simülasyon yöntemiyle analiz ederek süreye karşı duyarlı malzemelerin stok kontrolü üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. RFID ile sistemden elde edilen verilere dayalı olarak süreye dayanıklı malzemelerin takibi ve hareketleri ile ilgili üç adet stok yönetimi senaryosu önerilmiştir. Bu senaryolar; RFID entegre edilmesi, RFID eşliğinde stok seviyesinin yarıya indirilmesi ve RFID ile tahmin modelinin entegre çalışması durumlarını incelemektedir. Çalışmada bu senaryolar birbirleriyle ve mevcut durumla karşılaştırılmaktadır. Modellerin karşılaştırılması RFID'nin genel yarar ve verimliliğini gösteren simülasyon ortamında yapılmıştır. Tahmin entegreli stok modeli, üssel düzeltme yöntemi kullanılarak oluşturulmuş, bu yöntemde

sırasıyla ortalama üretim talebini ve trendi gösteren α ve β parametresi kullanılmıştır. Sonuçta, tahmin entegreli stok modelinin performansının α ve β parametrelerinin değişik seviyelerdeki durumlarına bağlı olduğu söylenmiştir. Simülasyonla beraber, genelde otomasyon odaklı avantajlar arasında yer almayan işçilik maliyetlerinin azaltılması gibi faydaların RFID teknolojisi ile sağlanabileceği gösterilmiştir.

RFID kullanımı ile ilgili katkıyı artırıcı yönde yapılmış bir çalışma da Wei vd. [8] tarafından gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel bir tesiste bir çok değişik tipte ürünün hazır olmayan ürünleri beklerken aynı kamyonla yüklenmeye çalışma aşamasında bir takım problemler oluşmaktadır. Ürünlerin kamyonlara yüklenme aşamasında, kamyonlar yükleme alanında çok fazla vakit harcamakta ve diğer kamyonların hareketlerine de engel olmaktadır. Bu probleme dikkat çekmek adına Wei vd., ürünlerin kamyonlara yüklenme çizelgelerini hazırlamak için RFID teknolojisi ile ürünlerin durum bilgilerini elde ettikleri çeşitli alternatif çözümler sunmuşlardır. Sonrasında RFID ile hazırlanan alternatif stratejileri RFID kullanılmadan oluşturulan geleneksel strateji, FIFO kuralı ile karşılaştırmışlardır. Bu stratejilerin denenmesi için simülasyon yönteminden faydalanmışlar ve oluşturdukları stratejileri üç adet performans ölçütü çerçevesinde karşılaştırmışlardır. Bu performans ölçütleri; sistemdeki ortalama işletme süresi, kamyonların ürettiği iş ve geciken kamyonların performanslarının yüzde olarak karşılığıdır. Sonuçta, her stratejinin değişik performans ölçütleri için farklı performanslar sergilediklerini bulmuşlardır.

Hsu vd. [9], uluslararası kargo terminallerinde dışarıdan alınan kargoların gümrük çıkış sürecini incelemek, bir kargoyu analiz etmek için şebeke kurmak, kargo alım sürecindeki insan ve bilgi akışını incelemek için bir çalışma yapmıştır. Çalışmada kargoların gümrük çıkış sürecindeki gecikmeyi modelleyen bir matematiksel model oluşturulmuştur. Üstelik gümrükten çıkış süreci ağı RFID uygulamasına bağlı olarak yeniden şekillendirilmiştir. RFID'nin performansı ise çalışanların işçilik maliyetlerini ve yüklenicilerin stok kontrol maliyetleri azaltmak açısından incelenmiştir. Tayvan Hava Kargo Terminali için önerilen modelin olurluluğu sayısal bir örnek kullanılarak test edilmiştir. Sonuç olarak, RFID'nin, kargo sürecini önemli derecede verimlileştirdiği, işçilik maliyeti ve stok maliyetinden kazanç sağladığı görülmüştür. Bir sevkiyat kuralının ve RFID'nin kombine işlemesi ile beraber sistemin en iyi sonucu elde ettiği görülmüştür.

2.1.1 Sağlık Sistemlerinde RFID ile Ekipman Takibi

RFID teknolojisinin sağlık sistemlerindeki uygulama alanları giderek artmaktadır. Bu uygulama alanları; hasta kimliği tanımlama, stok yönetimi, tıbbi dosya yönetimi, sterilizasyon, gerçek zamanlı ekipman ve personel takibi, hasta tedavisi ve bakımı sırasındaki hataları azaltma gibi bir çok konuyla alakalı olabilir [10]. Özellikle hastanelerde en sık kullanılan, bölümlerin en çok ihtiyaç duydukları kritik olarak nitelendirilebilecek ekipmanların gerçek zamanlı olarak takip edilebilmesi, dikkatleri RFID destekli RTLS teknolojisine üzerine yoğunlaştırmıştır. Sağlık sektöründe ekipman takibi hususunda RTLS uygulamaları merak edilen ve üzerinde çok araştırma yapılan bir alan haline gelmiştir.

Sağlık sistemleri doğası gereği karmaşık ve tahmine müsait olmayan öğeleri barındıran sistemlerdir. Yani sağlık sistemleri, bir fabrika gibi girdilerin ve çıktıların kolaylıkla alınabildiği yerler olmamakla beraber pek çok soyut kavramdan etkilenebilen sistemlerdir. Örneğin, hastaneye gelecek olan hasta sayısı tahmin edilir ve sayısal bir veri olarak nitelendirilebilir ancak doğru ilacın doğru hastaya verilip verilmediği hakkında bir veri tutmaya ihtiyaç duyulmaz. Aynı durum ekipman aramada da geçerlidir. Çünkü ekipmanlar kullanılırken sürekli ve rastgele bir kullanım söz konusudur. Ekipman kullanımlarından sonra da genelde ekipmanların yerleri değişmektedir. Bu gibi durumlarda sağlık sistemlerinde "gerçek zamanlı konum belirleme" kavramının önemi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle de RFID sistemleri, tıbbi ekipman takibi ile ilgili muazzam bir öneme sahiptir. Çoğu hastane sıklıkla kaybettiği ekipmanlar için yüksek paralar harcamakta, aynı zamanda sürekli yeri değişen ve kaybolan ekipmanları ararken de çok kıymetli zamanlar kaybetmektedirler. Herhangi bir ekipman takip sistemi olmadan hastane personeli çoğu zamanını manuel olarak ekipman aramaya harcamaktadır. Halbuki *kayıp zamanlar* sağlık sistemlerinde toleransı en düşük olması gereken konulardan birisi olmalıdır.

Sağlık sistemlerinde RFID ile ekipman takibi konulu çalışmalar kapsamında Öztekin vd. [10], sınırlı sayıda RFID okuyucu ile kısıtlanmış tıbbi ekipman takip sistemini optimize etmek için bir metodoloji sunan çalışma gerçekleştirmişlerdir. Maksimal kaplama problemi formülasyonunu yeni kritik indeks analizi metrikleri

(ekipmanların kullanım sıklığı, ekipmanların önem derecesi ve ekipmanların boşa kalma zamanlarından türetilen) ile geliştiren çalışmada sınırlı sayıdaki RFID okuyucusunun yerleştirilmesi gereken yerlere karar verilmiştir. Bu çalışma, sağlık sistemlerinde ekipman arama ile ilgili bir şebeke oluşturmak üzerinedir. Çalışma, bir sağlık kuruluşunda uygulanmış ve önerilen metotla beraber hali hazırda kullanılan sezgisel ekipman takip stratejisine nazaran %72 iyileşme elde edilmiştir.

Østbye vd.'nin [11] çalışmasında Duke Üniversitesi Tıp Merkezi incelenmiş, Hill-Rom Enstitüsü'nün sağladığı radyo frekans ve kızılötesi sinyallerinin kombinasyonu olan bir ekipman takip sistemi kullanılmıştır. Bu takip sisteminin ekipman kullanım oranlarını artıran ve personelin ekipmanı ararken kaybettikleri süreyi azaltan bir sistem olup olmadığının analizi yapılmıştır. Radyo frekans ve kızılötesi sinyalli ekipman takip sistemi ile üç adet ekipman tipi takip edilmiştir. Takip edilen ekipmanlar kapsamında sistemin doğruluğu altı haftalık gözlemden sonra sınanmıştır. Analiz edilen sistemin ekipman kullanımına olan etkisi incelenmiştir. Sistem doğrulama aşamasında hastane çalışanlarına bir anket uygulanmış, sonucunda RFID ile takip sisteminin ekipman bulmada %80'den fazla doğrulukla ve bir ekipmanın belli bir odaya konulmasında ise %60 ila %80 arası bir doğrulukla çalıştığı sonucu elde edilmiştir. Ayrıca incelenen ekipman tiplerinden birisinin artan bir kullanıma sahip olduğu, ancak diğer ekipman tiplerinde herhangi bir artışın olmadığı görülmüştür.

Phoenix Hastanesi'nde RFID tabanlı ekipman takibi ile ilgili etkili bir çalışma gerçekleştiren Efe vd. [12] RFID sensörleri yerleştirilmiş taşınabilir ekipmanları hastanedeki bölümler arasında verimli bir paylaşım oluşturarak takip edebilmek amacıyla simülasyon yöntemini de kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, taşınabilir ekipmanlar iki ana kategori halinde incelenmektedir. Kan, ilaç gibi tüketilebilir ekipmanlar düşük maliyetli pasif RFID etiketleri ile stok kontrol ve başka departmanlarla paylaşım amacıyla kullanılabilir. Yeniden kullanılabilen ekipmanlar olarak tanımlanan ikinci kategorideki ekipmanların paylaşımları için oluşturulacak verimli stratejiler ise işçi etkinliğini artırır ve acil durumda kiralanan ekipman sayısını minimize eder. Yeniden kullanılabilen ekipmanlar da çalışmada ihtiyaç halinde beklenebilen ve beklenemeyen ekipmanlar olarak iki alt kategoriye ayrılmıştır. Ekipmanların bu derece kategorize edilmesinin asıl sebebi simülasyonun

temelini oluşturacak olan kuyruk modelini tanımlamaktır. Simülasyon yardımıyla oluşturulacak ekipman paylaşım modeli, ihtiyaç halinde kuyrukta beklenemeyen aşınabilir ekipmanlar (ihtiyaç anında hemen kullanılması gerekli olan, hastanın kullanım için bekleyemeyeceği ekipmanlar) için uygulanmıştır. Hastanede manuel olarak ekipman takibi yapılırken bazı açıklığa kavuşturulmamış önemli detaylar vardır. Örneğin, kullanılmayan ekipmanı almak için her bir hastane bölümünü personelin ne kadar sıklıkla ziyaret ettiği, ekipman talebi geldiği anda önce hangi bölümlere bakmaları gerektiği, belli bir zaman kullanılmayan ekipmanı aslında çok yoğun olan ve her an o kullanılmayan ekipmana ihtiyaç duyulabilecek bir bölümden alıp almadıkları gibi gözlemler yapılmamıştır. RFID ile ekipman takibi yapılırken hastane personeli ekipmanları hastanenin her yerinde görebilmekte, kullanımda olmayan herhangi bir ekipmanı seçebilmektedirler. Bu nedenle ekipmanların ortak bir alanda bulunması ve ekipmanları herkesin o ortak alandan alması gibi bir zorunluluk ortadan kalkmıştır. Aynı zamanda çalışmada talep ile çalışan bir yaklaşımın uygulandığından bahsedilmiştir. Buna göre ancak ve ancak bir ekipmana yeni bir bölümden talep gelirse ekipman o bölüme taşınmaktadır. Simülasyonda, rastgele ve minimum kullanım olmak üzere iki adet ekipman paylaşım stratejisi geliştirilmiştir. Rastgele stratejide, bir bölümde ekipman ihtiyacı olduğu zaman, ihtiyaç duyulan ekipmanın boşta olduğu bölümlerden biri rastgele seçilir ve ekipman alınır. Minimum kullanımda ise, en düşük kullanıma sahip boşta olan ekipman seçilir. Bu kapsamda iki performans ölçütü değerlendirilmiştir: Ekipmanların bölümler arası geliş-gidiş sayısı ve acil durumlarda ekipmanların kiralanma sayısı. Ekipman seçimi için oluşturulan her iki strateji için değişik kullanım seviyelerindeki ekipman transferleri sayıları incelenmiştir. Hastane simüle edilirken, hastanedeki mevcut yatak sayısı ne ise mevcut diğer ekipman sayıları ile yatak sayısı eşit varsayılmıştır. Mevcut yatak kullanımını dengelemeye çalışan minimum kullanım stratejisinin rastgele seçim stratejisine göre daha kötü sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca kiralanmış ekipman sayılarından da rastgele seçim stratejisinin kısmen daha iyi olduğu sonucu çıkmıştır. Yapılan çalışma ile hastanede manuel olarak gerçekleştirilen ekipman seçiminin RFID teknolojisi kullanan stratejilerle kıyaslanması ile hastaneler için faydalı sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca çalışma, bu konuda araştırma yapacak olan diğer araştırmacılara yol gösterici olması amacıyla

farklı ekipmanın kullanımlarını anlamaya ve RFID verilerine dayalı yazılım uygulamaları geliştirmeye yardımcı olmaktadır.

2.2. Sağlık Sistemlerinde Kullanılan Hasta Yoğunluk Tahmin Yöntemleri

Hastanelerde, hasta yoğunluklarının tahmin edilmesi, hastane kapasitesini zorlayacak kalabalıkların hasta yoğunluk durumlarına göre çeşitli senaryolar geliştirerek önlenmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Hastane polikliniklerinin kendi kaynaklarını ve zamanlarını optimal şekilde kullanma ihtiyaçları, hastanelerin gelecekte sistemlerinde meydana gelecek kaynak talep değişikliklerine bağlı olarak yeniden dizayn edilmesini gerekli kılmaktadır.

Sağlık sistemlerinde tahmin modelleri, genellikle acil polikliniklerinde hasta varışlarını, yoğunluklarını düzenlemek üzerine kurulmuştur. Acil polikliniklerine gelen hasta yoğunluğunun fazlalığı sebebiyle oluşan bekleme sürelerinin fazlalığı, hasta memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Bu durum, çözümlenmesi gereken büyük bir problem haline geldiğinden konu araştırmacılar tarafından ilgi görmektedir.

Sağlık sistemlerinde özellikle hasta yoğunluklarıyla alakalı tahmin modellerinin kurulabilmesi için çeşitli yöntemlerden faydalanmak olasıdır. Hangi yöntemin en uygun olacağına dair literatürde yapılan araştırmalarda birçok tahmin yönteminin birbiriyle kıyaslamalı olarak incelendiği görülmüştür. Bu yöntemler, zaman serisi analizi yöntemlerinden olan sezonsal ARIMA modelleri, üssel düzeltme ve regresyonu kullanan zaman serisi analizi yöntemi olan zaman serisi regresyonu olarak ifade edilebilir. Ayrıca lineer regresyon ve yapay sinir ağları da tahmin yöntemleri olarak kullanılmaktadır [13].

Doğrusal regresyon, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklarken kullanılan bir yöntemdir. Ancak zaman serilerinde otokorelasyon var ise bir takım problemler oluşabilmektedir [14]. Batal vd. [15] lineer regresyon metodunun zaman serisi verileri için uygun bir yöntem olmasa da hafta, ay ve tatilleri ifade eden takvim değişkenlerine bağlı olarak hastane polikliniklerine varışları gelişmiş düzeyde inceleyebilme yetisine sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Zaman serisi regresyonu yöntemi, tatil ve belli bir haftanın günlük ya da belli bir yılın aylık kombinasyonlarının çarpımsal etkilerini doğrusal regresyon modeline dahil eder. Tatil, haftalık ve günlük etkileri modele dahil etmenin yanı sıra zaman serisinin artık değerlerini açıklayan bir parametreyi doğrusal regresyon modeline katmak da zaman serisi regresyonu modellerini geliştirebilmektedir. Bu da artık değerler kullanılarak, klasik ARIMA modeli metodu ile bir ARIMA modeli oluşturulması sayesinde sağlanabilmektedir. Zaman serisi regresyonu modellerine iklim değişkenleri (günlük maksimum ve minimum sıcaklık, günlük yağmur, kar yağışı gibi) de eklenebilir [13]. Zaman serilerinde bir zamandaki değer daha önceki zamandan etkilenebilir. Bu durum bağımlı değişkenin zamanla rastgele dağılmamış olmasından ileri gelmektedir. Başka bir problem de zaman serilerinde doğrusal regresyonun sezonsal, döngüsel ve konjonktüre karşı trendi ifade edememesinden kaynaklanmaktadır. Zaman serisi regresyon modelleri zamanla değişen kısa dönemli etkileri değerlendirmede uygun bir metot olsa da değişen varyans (heteroskedastisite), otokorelasyon ve çoklu bağlantı gibi problemler ortaya çıkabilmektedir [16].

Yapay sinir ağları insan beyninin yapısını taklit ederek oluşturulmuştur. Girdi ve çıktılar arasındaki kompleks lineer olmayan ilişkileri modellemede kullanılabilir. Yapı tanımlama ve sınıflandırma gibi uygulamalarda etkili olduğu gösterilmiştir. Tahmin, gözlemlenmiş verilerden yapıları tanımlayıp gelecekte bunlardan mana çıkarmaktır ve yapay sinir ağları bu açıdan iyi performans gösterir. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda yapay sinir ağlarının doğru tahminler yapmada etkili olduğu bazı çalışmalarda da daha doğru tahmin sonuçlarına ulaşılması için başka metotların kullanılması gerektiğine dikkat çekilmiştir [13].

Zaman serisi analizi ise hasta varışlarını zaman serisi olarak kabul eder ve geçmiş değerleri kullanarak gelecekteki hasta varışlarını tahmin eder [17; 18]

Zaman serisi analizi, üç adet bileşeni göz önüne alarak tahmin yapmaya çalışır;

- Uzun dönemli trendler,
- Kısa ömürlü ve sık döngüsel değişimler (sezon, hava ve haftanın bir günü ile ilgili değişimler),

• Beklenmeyen rastgele değişimlerin etkileri [19]. Otoregresyon, hareketli ortalama regresyonu, üssel düzeltme ve bu yöntemlerin kombinasyonları şeklinde pek çok zaman serisi analizi yöntemi mevcuttur. Var olan verilerle, kısa dönemli tahminlerin en iyi şekilde yapılabilmesi için zaman serisi analizi metotları kullanılabilir. Literatürde zaman serisi analizi yöntemlerinin, hasta akışı vb. faktörlerin hastane kliniklerinde özellikle acil polikliniklerindeki etkisini gözlemleyebilmek için kullanıldığı görülmüştür. Üssel düzeltme yöntemi yakında yapılmış gözlemleri eskiden yapılmış gözlemlere nazaran daha fazla ağırlıklandırarak tahmin yapmaya çalışır. Sezonsal Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA) modelleri en yaygın kullanılan zaman serisi metotlarından biridir. ARIMA modelleri zaman serilerinin modellenmesi ve tahmini konusunda esnek bir yöntemdir. Sezonsal ARIMA modelleri, temel ARIMA modellerinin günlük hasta yoğunluklarında gözlemlenen haftalık tekrarlayan yapılara izin veren genişletilmiş halini ifade etmektedir. Bilinen bir periyotta kendini tekrar eden yapılar sezonsal olarak nitelendirilmektedir. Sezonsallık barındıran bir zaman serisi ile çalışıldığı zaman sadece mevcut gözlemler ile bu gözlemlerin bitişik öncülleri arasındaki korelasyon tanımlanmalı, aynı zamanda mevcut gözlemler ile gözlemlerin önceki sezonları arasında korelasyon olup olmadığını analizinin yapılması gerekmektedir [13].

Bahsedilen tahmin model yöntemleri ve niteliklerine dair bilgiler karşılaştırmalı olarak Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Tahmin Model Yöntemleri ve Nitelikleri [13]

Model	Avantajları	Dezavantajları
Lineer Regresyon	Orta seviyede istatistiksel bilgi.	Lineer olmayan ve otokorelasyonlu verilerde uygulanamaz.
	Trend ve sezonsallığı modelleyebilir.	Tüm gözlemlere verdiği ağırlıklar eşittir.
	Kolaylıkla tahmin edilebilen sonuçlar	Çoklu değişkenlere sahip. Ekstra parametre ve veri ihtiyacı.
	Açıklayıcı modelleme süreci.	
	Günlük hasta yoğunluklarını doğru bir şekilde tahmin edebilir.	
Sezonsal ARIMA	Zaman serilerinde uygulanabilir.	Lineer regresyona göre daha çok uzmanlık gerektiren kompleks bir istatistiksel metottur.
	Sezonsallık, trend, otoregresif ve hareketli ortalama süreçlerini modelleyebilir.	Modelleme süreci lineer regresyona göre daha az açıklayıcıdır.
	Tek değişkenli metot. Ekstra veri gereksizdir.	Hasta yoğunlukları için zaman serisi regresyonu ve lineer regresyona göre doğruluğu daha az olan tahminler.
Üssel Düzeltme	Tamamen otomatik, düşük seviyede deneyim.	İstatistiksel model ve bir teoriye dayanmaz.
	Sezonsallık, trend, otoregresif ve hareketli ortalama süreçlerini modelleyebilir.	Lineer regresyondan daha az açıklayıcılığa sahiptir.
	Zamanla değişen ve modeli açıklayan parametreler olduğunda etkilidir.	Hasta yoğunlukları için zaman serisi regresyonu ve lineer regresyona göre doğruluğu daha az olan tahminler.
Zaman Serisi Regresyonu	Sezonsallık, trend, otoregresif ve hareketli ortalama süreçlerini modelleyebilir.	Lineer regresyona göre daha çok uzmanlık gerektiren kompleks bir istatistiksel metottur.
	Kolaylıkla tahmin edilebilen sonuçlar	Çoklu değişkenlere sahip. Ekstra parametre ve veri ihtiyacı.
	Açıklayıcı modelleme süreci.	
	Hasta yoğunlukları için lineer regresyona göre doğruluğu daha fazla olan tahminler.	
Yapay Sinir Ağları	Kompleks ve lineer olmayan sistemleri modelleyebilir.	Kara kutu modelleme prosedürü son modeli tahmin edilmesi zor hale getirebilir.
	Zaman serilerindeki değişikliklere izin verebilir.	İlgili yazılımlar tahmin konusunda çok başarılı değildir.
		Hasta yoğunlukları için zaman serisi regresyonu ve lineer regresyona göre doğruluğu daha az olan tahminler.

Farklı tahmin yöntemleri birçok makalede kullanılmıştır. Holleman vd. [20] Amerika Birleşik Devletlerinde randevusuz hasta kabul eden bir klinikte çalışma yapmışlardır. Çalışmada, günlük gelen hasta sayısı verisi kullanılarak, varışlara göre personel çizelgesini düzgünleştirmek amaçlanmıştır. 675 günlük takvimsel ve meteorolojik veri seti kullanılarak adimsal regresyon yöntemi ile modelleme yapmışlardır. Holleman vd.'nin çalışmasında aynı zamanda ARIMA modeli de kullanılmıştır. Model performansı regresyon analizi için değişkenlik yüzdesi (R^2) değerleri temel alınarak ölçülmüştür. R^2 modeldeki değişkenliği açıklayan bir terimdir. Yüksek R^2 değerleri daha iyi bir model doğruluğunu temsil etmektedir. Makale sonucuna göre ARIMA modeli ile %37,9 değişkenlik bulunurken; takvimsel veri ve meteorolojik veri seti kullanarak sırasıyla %86 ve %87 değişkenlik bulmuştur.

Champion vd. [18] Victoria bölgesindeki bir acil polikliniği için kısa dönemli aylık hasta varışı tahminlerini istatistiksel yöntemler kullanarak yapmayı amaçlamışlardır. Zaman serisi kullanarak kısa dönemde acil polikliniğine olan taleplerin ne derecede iyi tahmin edilebildiğinin analizini yapmaya çalışmışlardır. Zaman serisi olarak acil polikliniğine gelen aylık hasta varış bilgileri kullanılmıştır. Tahmin yaparken ise zaman serisi analizi yöntemlerinden üssel düzeltme ve Box-Jenkins (ARIMA) metotlarını kullanmışlardır. Model performanslarını kıyaslamak açısından ise RMSE değerlerine bakılmıştır. Sonuçta üssel düzeltme ile kurulan modelde günlük 3,3 hasta, ARIMA modeli ile ise 3,9 hasta sonucuna erişilmiştir. Yani her ne kadar modeller birbirine yakın tahminler yapsa da üssel düzeltme yöntemi ile kurulan model ile biraz daha iyi bir tahmin sonucu elde edilmiştir. Makalede trend ve sezonsallık gibi bileşenleri içeren karmaşık veri setlerinin zaman serisi yöntemleri ile analiz edilebileceğini söylemişlerdir. ARIMA ve üssel düzeltme yöntemlerinin değişen veri yapısına kolaylıkla uyum sağlayabilecek yöntemler olduklarını ifade etmişlerdir.

Milner [21], İngiltere'nin Trent adlı yerleşim birimindeki 12 sağlık bölgesinde yaptığı çalışmada zaman serisi analizi yöntemlerinden olan Box-Jenkins ya da Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA) olarak da adlandırılan metodu kullanarak, acil servise olan yıllık talep tahminini belirlemeye çalışmıştır. Milner'in analizinde 1974-1985 yılları arasındaki verilere dayanan 3 adet zaman serisi

kullanmıştır. Çalışmada kullanılan zaman serileri; t yılında acil polikliniğine gelen kişi sayısı, t yılında acil polikliniğine gelen yeni kişi sayısı ve yerleşim yeri sakinlerinin t zamanındaki popülasyonu olarak ifade edilmektedir. Milner, bu zaman serilerini kullanarak gelecekte acil polikliniğe gelen kişi sayısını 1986 ve 1987 yılları için tahmin etmeye çalışmıştır. Tüm bölgedeki gerçek toplam katılımı 1986 senesi ile kendisinin 1986 senesi için yaptığı tahmin ile karşılaştırdığında ortalama yüzdesel hatanın $\%+0,8$, ortalama mutlak tahmin hatasının ise $\%4,3$ olduğunu görmüştür. Böylece Milner kurduğu model ile doğru kısa dönemli bir tahmin sonucu elde ettiğini ifade etmiştir.

Tanberg ve Qualls [22], zaman serisi analizinin acil tıpta nadiren kullanılan bir metot olduğu yorumunu yapmışlardır. New Mexico’da bir üniversitede hastanesinde, acil polikliniğine haftanın herhangi bir saatinde gelen kişi sayısını kısa dönemli olarak tahmin edecek modellemeler yapmayı amaçlamışlardır. Analizlerinde 1989 yılındaki saatlik veriler kullanılmıştır. Saatlik verilerinin haftadan haftaya çok değişiklik göstermediğini farz etmişlerdir. Uyguladıkları istatistiksel yöntemler: Basit hareketli ortalama, sezonsal ayırıştırma yöntemleri ve ARIMA modelleridir. Kullanılan modellere nazaran daha basit modellerin de acil polikliniğinin saatlik gelişlerini iyi bir şekilde gösterebileceğini ifade etmişlerdir.

Farmer ve Emami [23] bir hastanenin akut gereksinimlerini belirleyebilmek için iki istatistiksel tahmin yöntemini kıyaslamışlardır. Regresyon modelleri ve Box-Jenkins modellerini incelemişlerdir. Box-Jenkins metodunun verilerini modellemek için daha uygun bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Regresyon metodunun, bir hastanenin akut gereksinimlerinde olduğu gibi trendin aniden değiştiği durumlarda etkili olmadığı üzerinde tartışmışlardır.

Rotstein vd. [24] İsrail’de bir acil kliniğinde 3 seneyi kapsayan günlük zaman serisi verisi kullanarak bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Lineer trendli regresyon modeli ve içerisinde gün, ay ve gün tipi (tam/yarı zamanlı çalışma günleri) gibi 3 tip sezonsal faktör barındıran bir model oluşturmuşlardır. Ele aldıkları verinin ilk 3 yılında fark ettikleri trend tahmin yaptıkları yıl için sürdürülebilir olmasa da, kurdukları modelin gelecekteki 12 aylık tahmini yapması açısından etkili sonuçlar

verdiğini bulmuşlardır. Modelin esneklikten yoksun olduğunu gösteren bu durum, regresyon modellerinde genelde rastlanılan bir özellik olarak lanse edilmektedir. Farmer ve Emami [23] de kendi çalışmalarında bu durumdan bahsetmektedirler.

İngiltere’de Bromley hastanesinde, Jones ve Joy [25] tarafından yapılan çalışmada, acil polikliniğine günlük kabul edilen hasta sayısını ve tahsis edilecek yatak sayısını tahmin edebilmek için bir Box-Jenkins (ARIMA) modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen ARIMA modeline sezonsallık faktörü de eklenerek hastanenin acil departmanına atanması gereken yatak sayısı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sezonsal ARIMA modellerinin daha az hata ile tahmin sonucu verdiğini bulmuşlardır. Özellikle hastanede yatak sıkıntısı çekildiği dönemlerde sezonsal ARIMA modelinin bir sonraki periyot için iyi tahminler yaptığını gözlemişlerdir.

Jones vd. [13] topladıkları 2 yıllık günlük hasta varış verisini kullanarak üssel düzeltme, zaman serisi regresyonu, SARIMA ve yapay sinir ağları metotlarını üç farklı hastanenin acil polikliniğinin hasta yoğunluklarını tahmin edebilmek için uygulamışlardır. Uyguladıkları bu yöntemlerden elde edilen tahminlerin doğruluğunu, acil tıp literatüründe temel ölçüt olarak kabul edilen takvim değişkenli çoklu doğrusal regresyon analizinden elde edilen tahmin doğruluğu ile kıyaslamışlardır. Uygulanan tüm zaman serisi analizi yöntemlerinin veri ile uyumlu modeller ortaya çıkardığı görülmüştür. Bu çalışmada, acil polikliniklerine gelen günlük taleplerin sezonsal ve haftalık yapılarla karakterize edilebildiğine dair yaygın inanç doğrulanmıştır. Literatürde önerilen strateji olan takvim değişkenli çoklu doğrusal regresyon modellerinin, acil polikliniklere olan günlük talepleri modellemede mantıklı bir yaklaşım olduğunu ancak takvim değişkenlerini baz alan, tatil ve özel gün etkilerini yansıtan, artık otokorelasyona (residual autocorrelation) izin veren modellerin daha uygun, bilgilendirici ve istikrarlı olarak doğru bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir.

Literatür araştırması kapsamında incelenen çalışmalarda gerçek bir sağlık sisteminde gerçek zamanlı konum belirleme sistemleri ile mobil ekipman takibi yapılmasının, ve RTLS'den alınan bilgiyi değerlendirerek, çeşitli kurallar doğrultusunda ekipman seçiminin yapılmasının getirebileceği katkıyı ölçen çalışma sayısı son derece

kısıtlıdır. İncelenen alışmalar arasında hastanelerin farklı bölümlerinin farklı talep yoğunluklarını göz önüne alarak ekipman seçimi öneren bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışması ile, gerçek zamanlı ekipman takip sisteminin TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Hastanesi'ne uygulanması ile beraber elde edilecek faydanın ölçülmesi amaçlanmış ve RTLS'ye entegre çalışan çeşitli ekipman seçim kurallarının seçilen performans ltleri kapsamında sistemi ne kadar iyileştireceğinin analizi yapılmıştır.

3. SİSTEM ANALİZİ

Bu bölümde, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Hastanesi'nin mobil ekipman paylaşım sisteminin analizi yapılmıştır. Bölüm 3.1'de mevcut ekipman paylaşım sistemi ve bu sisteme dair sorunlar anlatılmıştır. Bölüm 3.2'de bu çalışmada incelenecek ekipman tipleri, hastane bölümleri ve bunların çalışmaya dahil edilme sebepleri açıklanmıştır.

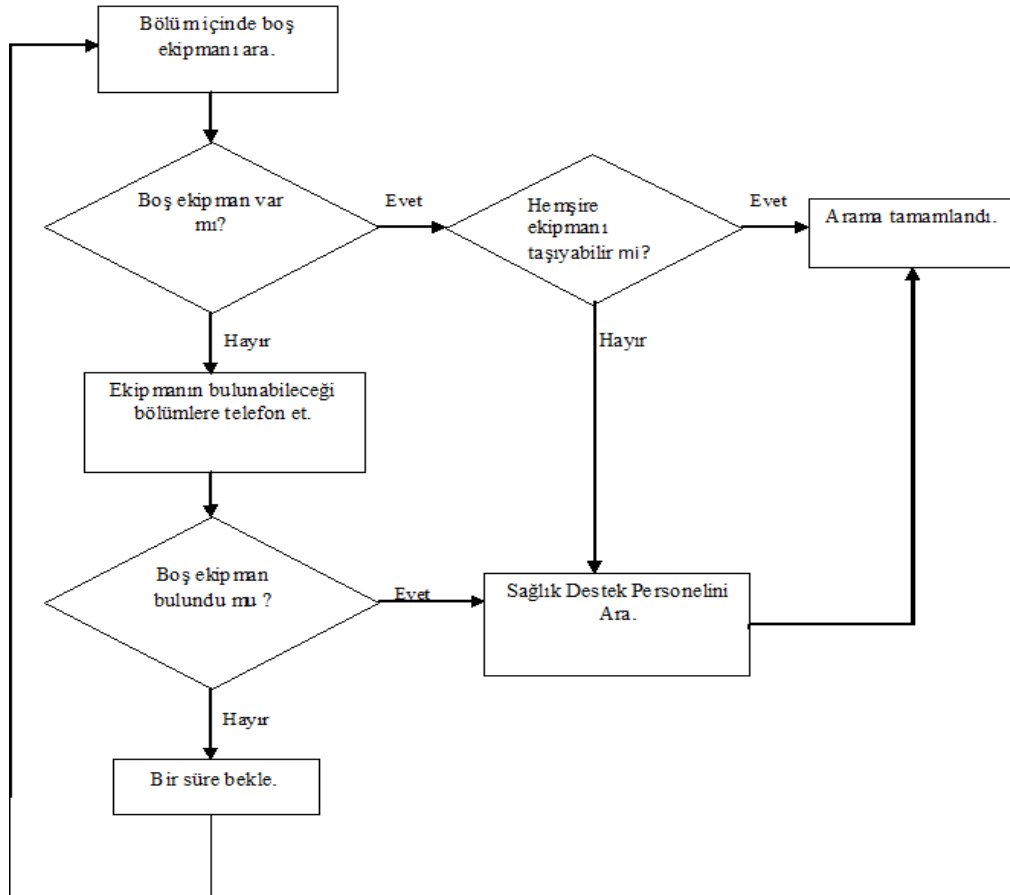
3.1. Mevcut Sistemin İşleyişi ve Problemleri

Hastanede mobil ekipmanlar bölümler tarafından ortak kullanılmaktadır. Mevcut sistem işleyişinde, bir bölüm ihtiyaç duyduğu ekipmanı kendi bölümü içinde ve kullanılmayan durumda bulamazsa, bölümler arasında ekipman alışverişi olabilmektedir. Ancak bölümler kullandıkları ekipmanları aldıkları bölüme iade etmek yerine kullandıkları yerlerde bırakmaktadırlar. Bu durum ekipmanların düzensiz ve verimsiz bir şekilde kullanılmasına sebebiyet vermektedir. Her ekipmanın ait olduğu bölümlerin dışında başka bölümler tarafından da ortak kullanılması ve en son kullandıkları bölümde bırakılması sonucunda ekipmanların yerleri tam olarak bilinmemektedir. Bu durumda ekipman aramaya gereksiz bir şekilde çok vakit harcanmakta, ekipman daha yakın bölümlerde olabildiği halde rastgele bir şekilde hastaya uzak bölümlerden getirilebilmekte ve sonuç olarak, ihtiyaç duyulan ekipmanın hastaya ulaşma süresi uzamaktadır. Bu durum hasta tedavisi gibi kritik süreçlerin aksamasına sebep olmaktadır. Ekipmanın hastaya ulaşma süresinin uzunluğu nedeniyle, bölümler sık kullandıkları boş ekipmanlarını yakın bir zamanda kendilerinin kullanabileceği gerekçesiyle başka bölümlere vermek istememektedirler. Mevcut sistemin işleyişindeki problemler kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1.** Ekipman aramaları ve uzak bölümlerden getirilme sebebiyle artan ekipmanın hastaya ulaşma süresi,
- 2.** Bölümlerin ekipmana yakın zamanda kendilerinin ihtiyacının olabileceği düşüncesiyle başka bölümlerinin talebini karşılamakta isteksiz davranması.

Farklı bölümlerin farklı ekipmanlara olan talepleri farklı büyüklüktedir. Bölümlerdeki talep sıklıkları, içinde bulunulan zaman dilimine göre de farklılaşmaktadır. Örneğin, gündüz hasta kabul eden polikliniklerde sadece gündüz

saatlerinde ekipman talebi olmakta ve her saat talep yoğunluğu farklılaşmakta; acil bölümünde gece saatleri de yoğun olmakta ve bu bölümler yatan hasta bölümlerinden günün her saati saate göre değişen yoğunlukta ekipman talebi yapabilmektedir. Mevcut sistemde hangi ekipmanın hangi zaman aralıklarında hangi sıklıkla kullanıldığı bilinmemektedir. Bölümler kendilerinin ve diğer bölümlerin farklı saatlerdeki talep yoğunluklarını tahmin etmek için özel bir çaba harcamamakta, sadece ihtiyaç anında ekipmanı en hızlı şekilde temin etmeye çalışmaktadır. Hastanede ekipman arama ve bulma ile ilgili mevcut sistem Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Ekipman Arama Akış Şeması [1]

3.2. Takibi Yapılacak Ekipman ve Hastane Bölümleri

Örnek hastane olarak ele alınan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Hastanesi'nin takibi gereken ekipman ve hastane bölümlerinin belirlenmesi ön çalışması Demircan'ın [1] tez çalışmasında tamamlanmıştır. Bu çalışmada, Demircan'ın ön çalışmasından yararlanılmaktadır.

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Hastanesi için takibi yapılacak ekipmanlar hastane yönetimi ve personeli ile yapılan görüşmeler, fikir alışverişleri sonucunda belirlenmiştir [1]. Demircan'ın çalışmasında her hastane bölümünün sorumlu hemşiresinden, sorumlu oldukları bölüm içerisinde çok sık yer değiştirdiği için aranan ekipmanlar ve sorumlu oldukları bölüm ile başka bölümler arasında sık bir şekilde alışverişi yapıldığı için aranan ekipmanların listesini hazırlamaları istenmiştir. Aranan ekipman listesindeki ekipmanların takibe uygunluk ve öncelik analizleri yapılmıştır. Hemşirelerin verdiği bilgiler doğrultusunda oluşturulan "*Aranan Ekipman Listesi*"nde adı geçen 38 ekipman tipinden 26 tanesi elimine edilerek takibinin gerekli olmadığı kanaatine varılmıştır. Sonuç olarak takip edilmesi uygun olan ekipman türleri; ACT cihazı, ambu, EKG, ekokardiyografi, şırınga pompası, infüzyon pompası, nebulizatör, monitör, TEE probu, tekerlekli sandalye ve transcutan bilirubinometre olarak belirlenmiştir. Sonrasında ise takip edilmek istenen ekipmanların RFID etiketi ile takip edilebilirlik ve ekipmanların bölümlerdeki önceliklerini gösteren araştırmalar yapılmıştır. Ekipman önceliği, hangi ekipmanın takibinin hangi bölüm için ne derece önemli olduğunun göstergesidir. Ekipmanların ne kadar sıklıkla yer değiştirdikleri ve personel tarafından aranma sürelerine göre ekipmanların aranma öncelikleri değişmektedir. Buna göre önceliği en yüksek olarak aranması gereken ekipmanlar "1", daha düşük öneme sahip olanlar "2" ve en düşük önceliğe sahip olanlar ise "3" olarak numaralandırılmıştır. Gerçek zamanlı ekipman takibinde sıklıkla kullanılan takip yöntemi RFID olduğu için ekipmanlar RFID ile takibe uygunluk açısından da değerlendirilmişlerdir. RFID etiketi ile takibe uygun olan ekipmanlar "U" , uygun olmayanlar ise "UD" olarak nitelendirilmiştir.

Bu çalışmada, Demircan'ın [1] tez çalışmasında takip edilen ekipman ve bölümler takip edilmektedir. Takip edilen ekipmanların adları, takibe uygunları, öncelikleri ve

ekipman sayıları Tablo 3.1' de özetlenmiştir. Tabloda verilen ekipmanlardan monitör, infüzyon pompası ve perfüzör pompası için verilerin yetersiz olması ayrıca ambu ekipmanının şekil olarak takip edilmeye uygun bulunmaması sebebiyle bahsi geçen ekipmanlar tez kapsamında çıkartılmıştır. Tabloda ekipman sayısı sütunundaki "X" sembolü veri eksikliği nedeniyle incelenmeyen ekipmanları, "-" sembolü ise takibi uygun bulunmayan ekipmanı göstermektedir.

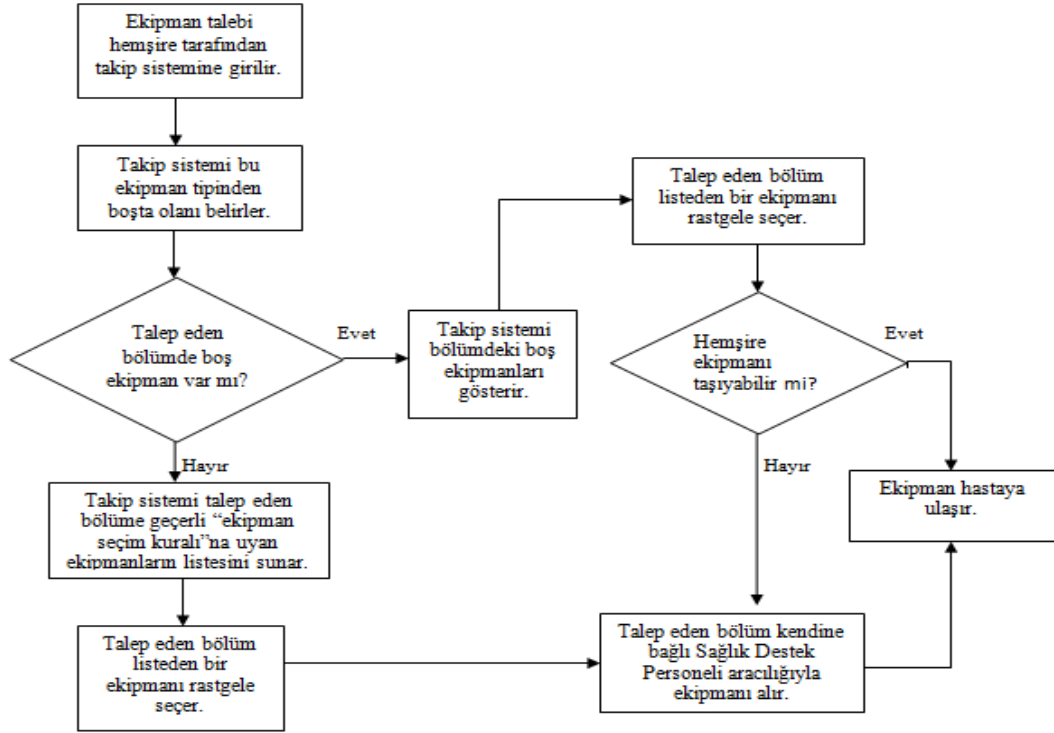
Tablo 3.1. Takibi Yapılacak Ekipmanlar, Öncelikleri ve Takip Etmeye Uygunlukları

Bölüm	Acil	Kardiyoloji	NICU	Yoğun Bakım	1.Kat	2.Kat	1.Kat Poliklinik	Malzeme Bölümü	Ekipman Sayısı
Ekipman									
ACT cihazı		1,U		3,U				1,U	3
Ambu					3,UD	3,UD			-
Nebulizatör	3,U			2,U	3,U	3,U			20
Monitör		2,U		2,U	2,U			2,U	X
EKG					2,U	2,U		1,U	8
Ekokardiyografi		2,U						2,U	2
İnfüzyon Pompası				1,U	1,U	1,U		1,U	X
Perfüzör Pompası	2,U		1,U	1,U	1,U	1,U	1,U	1,U	X
TEE Cihazı		3,U							2
Tekerlekli Sandalye					3,U	3,U		3,U	18
Transcutan			2,U			1,U			2

4. EKİPMAN SEÇİM KURALLARI

Hastanedeki mevcut sistemin iyileştirilmesi RTLS teknolojisinin uygulanması ile mümkün olacaktır. RTLS teknolojisi, talep edilen ekipmanların hangi bölümlerde bulduklarını bir ekran üzerinde gösterme kabiliyetine sahiptir. Bu teknolojinin kullanılması, hastanenin iki önemli probleminden biri olan *ekipman aramaları ve uzak bölümlerden getirilme sebebiyle artan ekipmanın hastaya ulaşma süresi* problemini ortadan kaldırır. Ancak RTLS, hali hazırdaki kullanım şekliyle hastanenin ikinci problemi olan *bölümlerin ekipmana yakın zamanda kendilerinin ihtiyacının olabileceği düşüncesiyle başka bölümlerin talebini karşılamakta isteksiz davranması* sorununa bir çözüm getirmemektedir. Bu çalışma ile amaçlanan, bu iki probleme birden çözüm olacak ekipman seçim kuralları geliştirmek ve bu kuralların etkinliğini, RTLS kullanılmayan mevcut durum ve RTLS'nin olduğu gibi kullanıldığı durum ile karşılaştırmaktır.

Bölüm 4.1'de öncelikle RTLS'nin hali hazırdaki kullanım şekli modellenmektedir. Takip eden bölümlerde, geliştirilen ekipman seçim kuralları anlatılmaktadır. Bu kuralların şekillendirilmesinde, RTLS kurulduktan sonra hastanede ekipmanların tam olarak yerlerinin biliniyor olacak olması temel dayanak oluşturmuştur. Gerçek zamanlı ekipman takip sisteminin hastaneye getirilmesinden sonraki ekipman temin süreci Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Bölüm 4.5'te bu kurallar karşılaştırılmakta, kullanılan performans ölçütleri açıklanmaktadır.



Şekil 4.1. Gerçek Zamanlı Ekipman Takip Sistemi Destekli Ekipman Temin Süreci

4.1. Minimum Mesafe Kuralı

Minimum mesafe kuralı, ekipmana ihtiyacı olan bölümün boşa olan en yakındaki ekipmanı seçmesi mantığına dayanmaktadır. Bu kural, RTLS'nin hali hazırdaki kullanım şeklini modellemektedir. Minimum mesafe kuralı ve modeli Demircan'ın [1] tez çalışmasında temellendirilmiş, bu çalışmada ise önerilecek olan diğer ekipman seçim kurallarıyla beraber düzenlenerek analiz edilmiştir. Kural algoritması aşağıdaki gibidir:

Minimum Mesafe Kuralı Algoritması

1. Talep edilen ekipman tipi belirlenir.
2. Ekipmanı talep eden bölüm belirlenir.
3. Talep edilen ekipman tipinden kaç adet olduğu belirlenir.
4. Ekipman tipi için boşa olan cihaz numaraları belirlenir.
5. Boşa olan ekipmanların buldukları bölümler belirlenir.

6. Talep eden bölüm ile ekipmanların bulunduğu bölümler arasındaki uzaklıklar belirlenir.
7. Belirlenen bilgiler “ekipman numarası - uzaklık matris”ine yazılır.
8. Matristeki ekipmanlar uzaklık değerlerine göre küçükten büyüğe (en yakından en uzağa) doğru sıralanır.
9. En yakındaki ekipman(lar) belirlenir.
10. En yakın olarak belirlenen tek ekipman varsa bu ekipman, en yakın mesafede aynı birden fazla ekipman varsa tüm liste talep eden bölüme önerilir.
11. Talep eden bölüm listeden bir ekipmanı rastgele seçer.

Böylece bir ekipmana talep olduğu zaman bu algoritma, ekipmanı talep eden bölümün en yakınındaki ekipmanı almasını sağlayacaktır. Minimum mesafe kuralı uygulandığında talep eden bölüme en yakın mesafedeki bölüm kendisi olduğu için talep eden bölümde boşta ekipman olup olmadığının kontrol edilmesine gerek yoktur. Bölümde boşta ekipman varsa minimum mesafe kuralı algoritması otomatik olarak bu ekipmanı seçer.

4.2. Minimum Talep Kuralı

Minimum talep kuralı, hastane bölümlerinin talebin yapıldığı saat içinde talep edilen ekipman tipine olan ihtiyacını tahmin yöntemleriyle hesaplayarak, bu ekipmana en az ihtiyaç duyacağı düşünülen bölümden ekipman seçiminin yapılmasını sağlar. Bu kuralın uygulanmasında, bir bölümün bir ekipmana saatlik talep sayısı tahmininin yapılması için ARIMA yöntemi kullanılmıştır. ARIMA tahmin yönteminin detayları ve uygulandığı Bölüm 5'te anlatılmaktadır. ARIMA modellerinin oluşturulabilmesi için RTLS tabanlı sistemin birkaç hafta gözlem amaçlı olarak çalıştırılması gerekir. Bu gözlem sürecinde modeli oluşturabilmek amacıyla gerekli veriler toplanmalıdır. Talep tahmin modellerinin zaman içinde sistem tarafından revize edilmesi de gerekebilir.

Minimum Talep Kuralı Algoritması

Her saat başında, tüm bölümler ve tüm ekipman tipleri için, içinde bulunulan saatte her bölümün her ekipman tipinden kaç adet talep edeceği tahmin yöntemleri kullanılarak belirlenir ve kaydedilir.

Her ekipman talebinde:

1. Talep edilen ekipman tipi belirlenir.
2. Ekipmanı talep eden bölüm belirlenir.
3. Talep edilen ekipman tipinden kaç adet olduğu belirlenir.
4. Ekipman tipi için boşta olan cihaz numaraları belirlenir.
5. Boşta olan ekipmanların buldukları bölümler belirlenir.
6. Talep edilen ekipman tipine ait boş ekipmanın talep eden bölümde bulunup bulunmadığı kontrol edilir. Bulunuyorsa bölüm içindeki ekipman önerilir, algoritma sonlandırılır. Talep edilen ekipmandan talep eden bölümde birden fazla varsa aralarından biri rastgele seçilerek önerilir ve algoritma sonlandırılır. Ekipman talep eden bölümde bulunmuyorsa algoritma adım 7 ile devam eder.
7. Belirlenen ekipman tipinden boşta olan her ekipman için ekipmanın numarası, bulunduğu bölüm ve ekipmanın bulunduğu bölümün bu ekipman tipine bu saat içinde olan tahmini talebi “ekipman numarası-bölüm-talep” matrisine eklenir.
8. Ekipman-bölüm-talep matrisi, talep değerlerine göre küçükten büyüğe (en az talepten en yoğun talebe) doğru sıralanır.
9. Ekipmanlar arasında buldukları bölümün talep tahmin değerleri aynı minimum değere sahip birden fazla ekipman var ise önerilecek ekipman bu ekipmanlar arasından rastgele seçilir.

Sonuç olarak, bir bölüm tarafından bir ekipmana talep olduğu zaman, elinde boş ekipman bulunan bölümler arasından, içerisinde bulunulan saatte bu ekipmanı en az kullanacağı tahmin edilen bölümdeki ekipman seçilmiş olur.

4.3. Maksimum Ekipman Kuralı

Maksimum ekipman kuralı, talep edilen ekipman tipini boş olarak en fazla elinde bulunduran bölümden alma mantığı ile çalışmaktadır. Talep tahmini bu kuralın içerisinde yer almamaktadır.

Maksimum Ekipman Kuralı Algoritması

1. Talep edilen ekipman tipi belirlenir.
2. Ekipmanı talep eden bölüm belirlenir.
3. Talep edilen ekipman tipinden toplamda kaç adet olduğu belirlenir.
4. Ekipman tipi için boşta olan cihaz numaraları belirlenir.
5. Boşta olan ekipmanların buldukları bölümler belirlenir.
6. Talep edilen ekipman tipine ait boş ekipmanın talep eden bölümde bulunup bulunmadığı kontrol edilir. Bulunuyorsa bölüm içindeki ekipman önerilir, algoritma sonlandırılır. Talep edilen ekipmandan talep eden bölümde birden fazla varsa aralarından biri rastgele seçilerek önerilir ve algoritma sonlandırılır. Ekipman, talep eden bölümde bulunmuyorsa algoritma adım 7 ile devam eder.
7. Belirlenen ekipman tipinden boşta olan her ekipman için ekipmanın numarası, bulunduğu bölüm ve ekipmanın bulunduğu departmanda boşta olan ekstra ekipman sayısı, “ekipman numarası-bölüm-adet” matrisine kaydedilir.
8. “Ekipman numarası-bölüm-adet” matrisi “adet” sütununa göre büyükten küçüğe sıralanır.
9. Aynı sayıda boş ekipman sayısına sahip birden fazla bölüm var ise ekipman bu bölümlerdeki ekipmanlar arasından rastgele seçilir.

Bu algoritmayla beraber, bir bölüm bir ekipman talep ettiğinde, hangi bölümün elinde talep edilen ekipmandan en fazla varsa o bölümden ekipmanı alması sağlanmıştır.

4.4. Maksimum Ekipman ve Minimum Talep Kuralı

Maksimum ekipman ve minimum talep kuralı, ihtiyaç duyulan ekipman tipi belirlendikten sonra, o ekipmandan bünyesinde en fazla sayıda bulunduran bölümler arasından, o ekipmana içinde bulunulan saat içinde ihtiyacı en az olacağı tahmin edilen bölümden ekipmanı seçim mantığına dayalı olarak oluşturulmuştur. Böylece

bölümler arasında ekipman alışverişlerinin daha hakkaniyetli ve dengeli bir şekilde yapılması amaçlanmıştır. Bu kuralın uygulanması için (minimum talep kuralında olduğu gibi) RTLS sisteminin ilk birkaç hafta boyunca gözlem amaçlı veri toplaması gerekmektedir.

Maksimum Ekipman-Minimum Talep Kuralı Algoritması

Her saat başında, tüm bölümler ve tüm ekipman tipleri için, içerisinde bulunulan saatte her bölümün her ekipman tipinden kaç adet talep edeceği tahmin yöntemleri kullanılarak belirlenir ve kaydedilir.

Her ekipman talebinde:

1. Talep edilen ekipman tipi belirlenir.
2. Ekipmanı talep eden bölüm belirlenir.
3. Talep edilen ekipman tipinden kaç adet olduğu belirlenir.
4. Ekipman tipi için boşta olan cihaz numaraları belirlenir.
5. Boşta olan ekipmanların buldukları bölümler belirlenir.
6. Talep edilen ekipman tipine ait boş ekipmanın talep eden bölümde bulunup bulunmadığı kontrol edilir. Bulunuyorsa bölüm içindeki ekipman önerilir, algoritma sonlandırılır. Talep edilen ekipmandan talep eden bölümde birden fazla varsa aralarından biri rastgele seçilerek önerilir ve algoritma sonlandırılır. Ekipman, talep eden bölümde bulunmuyorsa algoritma adım 7 ile devam eder.
7. Belirlenen ekipman tipinden boşta olan her ekipman için ekipmanın numarası, bulunduğu bölüm, ekipmanın bulunduğu bölümün bu ekipman tipine bu saat içinde olan tahmin talebi ve bu bölümde boşta olan ekstra ekipman sayısı “ekipman numarası-bölüm-talep-adet” matrisine eklenir.
8. Ekipman-bölüm-talep-adet matrisi, öncelikle adet değerlerine göre büyükten küçüğe sıralanır. Sıralı matris, aynı adet değerine sahip satırlar talep değerine göre küçükten büyüğe doğru olacak şekilde tekrar sıralanır.
9. Ekipmanlar arasında bölümdeki adet değerleri aynı maksimum değere ve buldukları bölüm için talep tahmin değerleri aynı minimum değere sahip birden fazla ekipman var ise önerilecek ekipman bu liste içinden rastgele seçilir.

Sonuç olarak, bir bölüm tarafından bir ekipmana talep olduğu zaman, elinde bu ekipman tipinden en fazla sayıda boş ekipman bulunan bölümler arasından, içerisinde bulunulan saatte bu ekipmanı en az kullanacağı tahmin edilen bölümdeki ekipman seçilmiş olur.

4.5. Geliştirilen Ekipman Seçim Kurallarını Değerlendirmek için Kullanılan Performans Kriterleri

Ekipmanların seçiminde önerilen kuralların RTLS sistemine yaptıkları katkıyı ölçebilmek için iki adet performans kriteri belirlenmiştir. Bu performans kriterleri, geliştirilen ekipman seçimi kurallarının hastanenin belirttiği problemlerin çözümüne getireceği katkıları ölçebilecek şekilde oluşturulmuştur. Kurallar için belirlenen performans kriterleri; *ekipmanın hastaya ulaşma süresi* ve *bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlığı sayısı (BAREKAPS)* olarak adlandırılmıştır.

Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi: Hastane bölümlerinde, ekipman talebinin yapılmasından ekipmanın hastaya ulaştırılmasına kadar olan süreyi içerir.

Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlığı Sayısı (BAREKAPS): Bu performans ölçütü, bölümler arasında meydana gelen ekipman alışverişinin, ekipmanı veren bölüm üzerinde yarattığı pişmanlık etkisini ölçmek adına oluşturulmuştur. Bir bölümde ekipman ihtiyacı olduğunda, talep edilen ekipman tipinden boş olan bir ekipman bölümünün elinde yoksa ve bu bölüm yakın geçmişte bu tipten bir ekipmanı talep eden başka bir bölüme veriyse, bu ekipman alışverişi sebebiyle pişmanlık duyacaktır.

Bu performans ölçütünün incelenmesi için şu an ihtiyaç duyulan fakat elde olmayan ekipmanın geçmişte başka bir bölüme verildiyse ne kadar süre önce verildiği bilgisine gereksinim vardır. Bir ekipmana talep olduğu zaman, talep edilen ekipmana sahip olan bölümler arasından Bölüm 4'te anlatılan ekipman seçim kurallarına göre seçim yapılır. Ekipmanı talep eden bölümün elinde şu an o ekipmandan varsa boş durumda olup olmadığı kontrolü ve ekipman yoksa, bu ekipmanın *yakın zaman* içerisinde başka bir bölüme verilip verilmediği kontrolü yapılır. Eğer ekipmanı talep eden bölümün elinde bu istediği ekipmandan yok ise ve yakın zamanda başka bir bölüme şimdi ihtiyaç duyduğu ekipmanı vermişse bu durumdan pişman olur. *Yakın*

zaman bu çalışmada ekipmanların ortalama kullanım süreleri göz önüne alınarak 15 dakika olarak belirlenmiştir. Farklı yakın zaman uzunluklarıyla (10 dakika ve 20 dakika) yapılan denemeler de yakın zamanın farklı belirlenmesinin ekipman seçim kurallarının performans sırasını değiştirmediğini göstermiştir. Denemelerin örnek sonuçları EK A-Tablo A.1'de verilmekte ve ilgili grafik de EK A-Şekil A.1'de gösterilmektedir.

Bu performans ölçütünün hesaplanmasındaki adımlar aşağıdaki gibidir:

Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlığı Sayısı

1. Ekipman seçim kurallarında oluşturulan algoritmalar sonucunda seçilecek olan ekipman belirlenir. Seçilen ekipmanı veren bölüm bulunur.
2. Eğer talep eden bölüm ile ekipmanı verecek olan bölüm aynı bölüm ise bölümün elinde bu ekipman tipinden boşta ekipman var demektir. Bu durumda *bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlığı sayısı* değiştirilmez.
3. Eğer talep eden bölüm ile ekipmanı verecek olan bölüm farklı bölümler ise ekipmanı veren bölümün ekipmanı veriş zamanı kayıt altına alınır.
4. Eğer talep eden bölüm ile ekipmanı verecek olan bölüm farklı bölümlerse ve ekipmanı talep eden bölüm bu ekipmanı geçen 15 dakika içerisinde başka bir bölüme vermişse *bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlığı sayısı* istatistiğinin değeri bir adet artırılır.

Açıklanan adımlar eşliğinde kodlanan *bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlığı sayısı* istatistiğinin günlük ortalaması performans ölçütü olarak kullanılmaktadır.

5. TALEP TAHMİN MODELLERİ

Bölüm 4'te geliştirilmiş olan ekipman seçim kurallarından *minimum talep kuralı* ve *maksimum ekipman-minimum talep kuralı*, bir bölümün bir ekipman tipine olan saatlik ihtiyacının tahmin edilmesini gerektirmektedir. Sağlık sistemlerinde sıklıkla kullanılan talep tahmin yöntemlerinden birisi ARIMA metodudur. Bu çalışmada, bölümlerin ekipmanlara saatlik ihtiyaçlarının belirlenebilmesi için ARIMA metodundan yararlanılmaktadır. Bu bölümde ARIMA yöntemi ile tahmin modeli oluşturma yöntemi anlatılmaktadır.

Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average) ya da kısaca ARIMA yöntemi, zaman serilerinin kendi geçmiş değerlerini ve geçmiş hatalarını kullanarak tahmin yapan bir metottur [26]. ARIMA modelleri aynı zamanda Box-Jenkins metodu olarak da adlandırılmaktadır. Box-Jenkins tarafından geliştirilen ARIMA yöntemi, tek değişkenli zaman serisi modellerini tanımlama, öngörü-doğrulama ve tahmin konularında kapsamlı yaklaşımlar sunan esnek bir yöntemdir.

ARIMA yöntemi ile modelleme süreci 3 aşamadan oluşmaktadır: Tanımlama, modelin parametrelerini tahmin (estimate) ve ileriye yönelik tahmin-öngörü (forecast). Tanımlama aşamasında incelenen zaman serisinin durağan olup olmadığı, serilerin trend barındırıp barındırmadığı gibi özellikleri incelendikten sonra bu seriye en uygun olan ARIMA modelleri belirlenmeye çalışılır. Seriler istatistiksel olarak incelendikten sonra bir çok alternatif ARIMA modeli analiz edilen seri için önerilebilir. Modelin parametrelerini tahmin aşamasında ise seçilen ARIMA modelinin seri için ne derece yeterli olup olmadığı sorgulanır. Uyum derecesi testleri (goodness of fit) seçilen modelin ne derece yeterli olup olmadığı hakkında ipuçları vermektedir. İleriye yönelik tahmin aşamasında ise, modelin parametrelerini tahmin aşamasında seçilen ARIMA modeli ve parametreleri kullanılarak tahmin gerçekleştirilir, bu tahminler için güven aralıkları belirlenir.

ARIMA modelleri, sezonsal ve sezonsal olmayan ARIMA modelleri olarak ayrılmaktadır. Analiz edilen zaman serisi eğer güçlü bir sezonsal yapı barındırıyorsa bu seriler için kullanılacak ARIMA yöntemi, sezonsal ARIMA yöntemi olmalıdır.

Çalışma kapsamında incelenen seriler, 24 saatte bir değişen belirgin ve istikrarlı bir sezonsal yapıya sahip olduğundan sezonsal ARIMA modellerinin oluşturulmasına karar verilmiştir.

Sezonsal bir ARIMA modeli , $ARIMA(p, d, q)x(P, D, Q)_s$ olarak ifade edilir. $AR(p)$; otokorelasyon derecesini yani geçmiş gözlemlerin ağırlıklandırılmış hareketli ortalamasını gösterir. $I(d)$; fark alma derecesini, lineer veya polinomial bir trendi gösterir. $MA(q)$; hareketli ortalamanın derecesi yani geçmiş hataların ağırlıklandırılmış hareketli ortalamasını ifade eder. Modelde p parametresi AR terimlerinin sayısını; q ise MA terimlerinin sayısını gösterirken, sezonsal kısmı oluşturan P parametresi SAR ve Q parametresi de SMA terimlerinin sayısını ifade eder. Sezonsal fark alma sayısı ise D ile gösterilmiştir [27].

ARIMA yöntemi ile tahmin modelleri oluşturulmadan önce incelenen veri setlerinde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bunlardan ilki verilerin bir trende sahip olup olmadığının belirlenmesidir. Eğer incelenen veri setlerinde trend var ise, veri setleri trend faktöründen arındırılmalıdır. ARIMA modelleri trendi olmayan sezonsal modellere de uygulanabilmektedir. Trendi olmayan bir serinin sezonsal olabilmesi için, beklenen değerinin sabit olması, fakat bunun yanında döngüsel bir yapı altında çeşitlilik göstermesi gerekmektedir. Örneğin, aynı yılın farklı aylarında beklenen değerleri birbirinden farklı olan ancak farklı yıllardaki aynı aylara denk gelen beklenen değerleri aynı olan trendsiz aylık serilerin sezonsallığa sahip oldukları söylenebilir. Yani, $E(z_t)=E(z_{t+s})$ ise incelenen seriler “s” periyodunun sezonsallığına sahiptir denebilir. Sezonsal periyot olarak ifade edilen “s” sezonsal bir döngüyü oluşturan gözlem sayısıdır. Diğer bir deyişle, sezonlar arasındaki periyot sayısıdır [28].

Hastane sistemleri kapsamında incelenen varlıklarda sezonsal değişimler önemli derecede göze çarpmaktadır. Hastanelerdeki sezonsallıklar dar ve geniş periyotlar için gözlemlenebilmektedir. Dar periyotlar için saatlik, günlük, aylık gibi süreler baz alınabilmektedir. Örneğin bir polikliniğe gelen hasta sayılarında saatlik değişimler olabilmekte, 24 saatte bir değişen hasta geliş yapıları ortaya çıkabilmektedir. Yani hasta gelişleri günün farklı saatlerinde farklılaşabilmektedir. Ayrıca farklı haftaların

aynı günlerinde yapısal benzerlikler de görülebilir. Örneğin her Pazartesi ve Cuma günü yüksek trendler mevcut olabilir. Geniş periyotlar için de sezonsallık kavramından bahsetmek mümkündür. Mevsimsel dalgalanmalar buna örnek olarak verilebilir. Örneğin, Hare ve Walter [29] çalışmasında bir akıl hastanesine gelen hastalarda yaz aylarında artış olduğunu, kışın ise hasta gelişlerinde düşüş olduğunu belirtmiştir. Jones vd. [13] ise kış aylarında acil polikliniğine gelen hastaların maksimum seviyede olduğunu, yaz aylarında ise gelen hasta seviyesinde düşüş yaşandığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda çalışmalarında haftalık sezonsal değişimler de göze çarpmaktadır. Pazartesi günleri kullanılan yatak sayısı en fazla olmakla beraber, perşembe gününe kadar yatak kullanım oranları azalmaktadır. Çarşamba günü bu azalma bir nebze olsun artsa da hafta sonu tekrar azalmaktadır. Bunun gibi literatürde hastanelerdeki sezonsallığı anlatan pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada bölümler arası ekipman alışverişinde 24 saatlik zaman dilimi içerisinde bölümlerin farklılaşan saatlik talep yoğunlukları dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla 24 saatlik sezonsal periyotların kullanılması gerekmektedir.

ARIMA modellerinde, sezonsal ve sezonsal olmayan kısımlar ayrı ayrı incelenmeli ve bahsedilen parametreler dikkatle seçilmelidir. Sezonsal olmayan ve sezonsal olan ARIMA sürecindeki p, d, q ve P, D, Q parametreleri seçilirken, öncelikle fark alma işleminin yapılıp yapılmamasına karar verilmelidir. Çünkü eğer bir seri durağan değilse, farkını alarak durağan bir seri haline dönüştürmek gerekmektedir [14].

Sezonsal olmayan fark alma işleminin yanı sıra veya bunun yerine, sezonsal fark alma işleminin yapılması da gerekebilir. Bunun için 0 ve 1 kombinasyonlarından oluşan tüm sezonsal olan/olmayan farklar denenmeli ve otokorelasyon fonksiyon (ACF) ile kısmi otokorelasyon fonksiyon (PACF) grafiklerine bakılmalıdır. ACF grafiği, bir zaman serisi ve o zaman serisinin gecikmeleri (lag) arasındaki korelasyonun katsayılarını gösteren grafikdir. PACF grafiği ise bir zaman serisi ve o zaman serisinin gecikmeleri arasındaki kısmi korelasyonun katsayılarını gösteren grafikdir. Durağanlığın anlaşılması için otokorelasyon seviyelerine bakılmalıdır. ACF eğer çok yüksek bir değerden başlayıp çok yavaş küçülüyorsa bu durum serinin durağan olmadığını bir göstergesidir. ACF grafiklerini daha detaylı incelerken dikkat edilmesi gereken fark alma kuralları şöyle özetlenebilir:

- Yüksek gecikme seviyelerine kadar otokorelasyonlar pozitif bir değerde seyrediyorsa serilerin yüksek dereceli fark alma işleminin yapılması gerekmektedir.
- Fark alma işlemi negatif korelasyonun oluşmasını sağlar. Eğer seriler başlangıçta yüksek pozitif otokorelasyon gösteriyorlarsa, sezonsal olmayan fark alma işlemi otokorelasyonu azaltır ve hatta 1.gecikme otokorelasyonunu negatif bir değere çekebilir. Eğer 2.kez sezonsal olmayan fark alma işlemi uygulanırsa -ki çoğu zaman hiç gerek olmaz- 1.gecikme otokorelasyonunun negatif bir yönde daha çok artmasına neden olabilir.
- Eğer 1.gecikme otokorelasyonu sıfır veya negatif ise daha fazla fark alma işlemi yapılmamalıdır.
- 1.gecikme otokorelasyonu sıfır veya negatif ise veya otokorelasyonlar küçük ve biçimsiz ise serilerin daha fazla farkının alınması gereksizdir. Eğer 1.gecikme otokorelasyonları $-0,5$ 'in altında veya daha negatif ise serilerin çok fazla farkı alınmış olabilir.
- Optimal fark alma sayısı standart sapmanın en az olduğu fark alma sayısıdır.

Hiçbir farkın alınmadığı modeller kendiliğinden durağan modeller olarak varsayılır. Birinci farkı alınan modellerde, orijinal serilerin sabit ortalama trendinin olduğu varsayılır. Toplamda iki kez farkı alınan modelde orijinal serilerin zamanla değişen bir trendinin olduğu varsayılır [27].

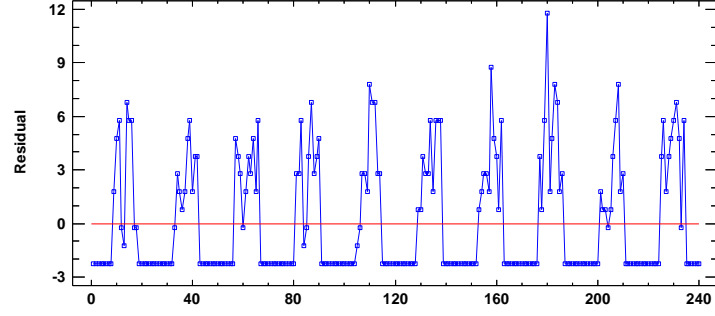
Fark alma işleminin uygulanmadığı modellere normalde serilerin ortalamasını temsil eden sabit terim eklenir. Toplamda iki kez farkı alınmış modellerde ise normalde sabit terimin eklenmemesi gerekir. Toplamda bir kez farkı alınmış bir modelde eğer seri ortalaması sıfır olmayan, ortalama bir trend gösteriyorsa sabit terim o modele eklenmelidir [27].

Fark alınıp alınmayacağına kararının verilmesinden sonra AR ve MA terimlerinin sayısını anlamak için ACF (autocorrelation function) ve PACF (partial autocorrelation function) grafiklerine bakılmalıdır. Verilere uygun AR, MA, SAR ve SMA terimleri seçilirken aşağıda belirtilen noktalara dikkat edilmiştir:

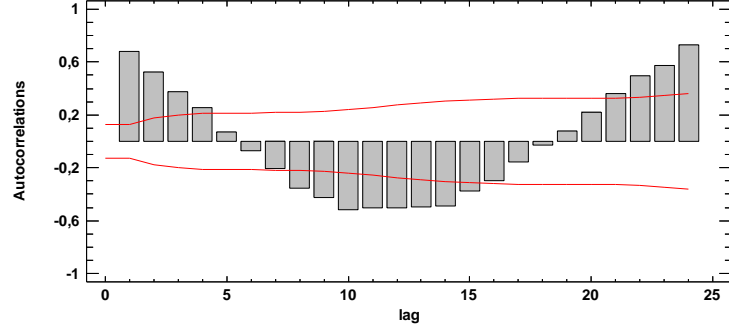
- ACF grafiği yavaşça azalan bir yapı gösterirken PACF grafiği ani bir kesinti yaşıyorsa incelenen seriler AR terimi taşıyordur. PACF grafiğinin kesinti yaşadığı gecikme (lag) ise AR terimi sayısını, yani p'yi verir. Eğer ACF birden, keskince kesiliyorsa ve/veya 1. gecikmenin otokorelasyonu negatif ise modele MA terimi eklenmesi dşnlmelidir. ACF'nin kesinti yaşadığı nokta MA terimleri sayısını verir. Bu koşullar göz önüne alınarak sezonsal olmayan kısmın parametreleri belirlenmiştir.
- Model $ARIMA(0,0,0) \times (P, 0, 0)_s$ için sezonsal kısım P parametresinin (SAR) eklenmesi, PACF grafiğinde $s, 2s, \dots, Ps$ gecikmelerinde önemli artışların olmasına bağlıdır. ACF grafiğinde ise $s, 2s, \dots, Ps, \dots$ gecikmelerinde katsayılar üssel olarak azalan veya snml sinüs dalgası formunda olan bir yapı gösterebilir. $ARIMA(0,0,0) \times (0, 0, Q)_s$ modelinde ise, Q parametresinin (SMA) varlığı, ACF grafiğinin $s, 2s, \dots, Qs$ gecikmelerindeki önemli artışların varlığına bağlıdır. PACF grafiğinde ise $s, 2s, \dots, Qs$ gecikmelerinde katsayılar üssel olarak azalan veya snml sinüs dalgası formunda olan bir yapı gösterebilir. SMA ve SAR terimleri bu kurallara dikkat ederek sezonsal ARIMA modellerine eklenmelidir.
- Sezonsal periyottaki otokorelasyon pozitif ise modele SAR teriminin eklenmesi, eğer sezonsal periyottaki otokorelasyon negatif ise modele SMA teriminin eklenmesi dşnlmelidir. SMA ve SAR terimlerinin aynı modelin içerisinde bulunmasından ve her bir çeşitten birden fazla bulunmasından kaçınılmalıdır. Bu nedenle SAR ve SMA parametreleri, aynı modelin içerisinde olmayacak ve her birinden 1 taneden fazla olmayacak şekilde seçilmiştir [14; 27].

Bu çalışmadaki tahmin modelleri yukarıda dikkat edilmesi gereken noktalar göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. rnek olarak zemin polikliniğin ekipman taleplerinin tahmin modelinin oluşturulma aşamaları, ACF ve PACF grafikleri üzerinden detaylandırılarak anlatılmıştır. Öncelikle zemin poliklinik için bir buçuk haftalık veriler (240 adet) *Statgraphics Centrunion XVI* istatistik programında ham olarak incelenerek zaman serisi grafiği, ACF ve PACF grafikleri çizdirilmiştir. İncelenen verilerin 70 tanesi doğrulama periyodunda kullanılmak üzere ayrılmıştır. İlk olarak sabit terim barındıran $ARIMA(0,0,0) \times (0,0,0)$ modelinin tahmin işleminde, orijinal serinin artık değerleri (residuals) için zaman serisi grafiği, ACF ve PACF

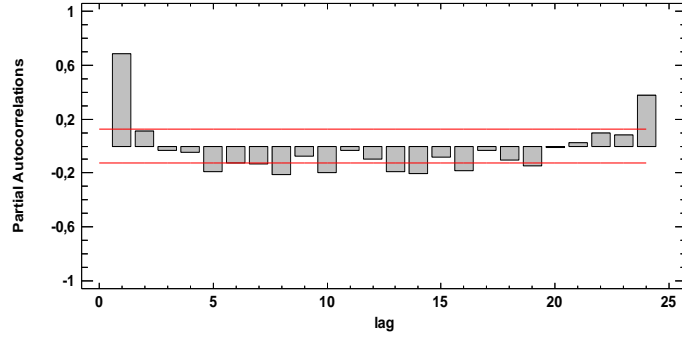
grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler sırasıyla Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,0,0)$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği



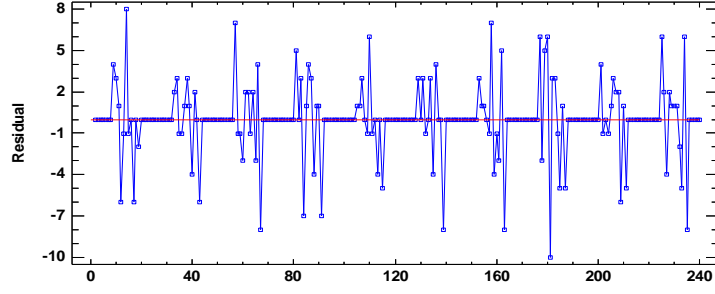
Şekil 5.2. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,0,0)$ Modelinin ACF Grafiği



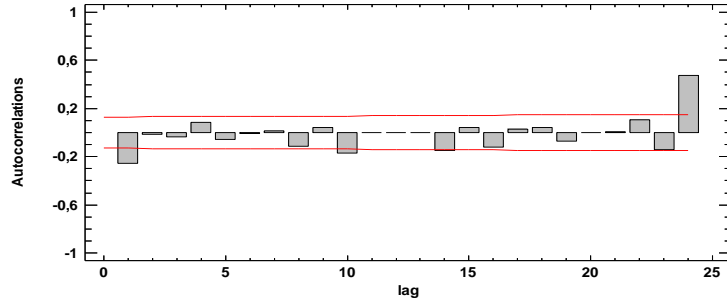
Şekil 5.3. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,0,0)$ Modelinin PACF Grafiği

Şekil 5.1'deki zaman serisi grafiğine bakıldığında incelenen serilerde herhangi bir trend faktörüne rastlanmamıştır. Bu nedenle serilerden trend faktörünün ayrıştırılmasına gerek kalmamıştır. Şekil 5.2'deki ACF grafiğine bakıldığında “asma köprü” yapısının varlığı görülmektedir. Bu durum ACF grafiği çizdirilen serilerin hem durağan olmayan hem de kuvvetli sezonsallık gösteren bir seri olduğu izlenimini vermektedir. Bu nedenle en az bir adet fark alma işleminin yapılması gerekmektedir. Fark alma işlemi sezonsal kısma ya da sezonsal olmayan kısma uygulanabilir. Bunun kararı sezonsal ve sezonsal olmayan farklar alındığında ortaya çıkan grafikler incelenerek verilmelidir. Çalışmada sezonsal ve sezonsal olmayan farklar alınırken serilerin maksimum birinci farklarına kadar alınmasına izin verilmiştir. Çünkü sezonsal fark olarak birden fazla, toplamda ise (sezonsal ve sezonsal olmayan) ikiden fazla fark alma işleminin yapılmaması tavsiye edilmektedir [27].

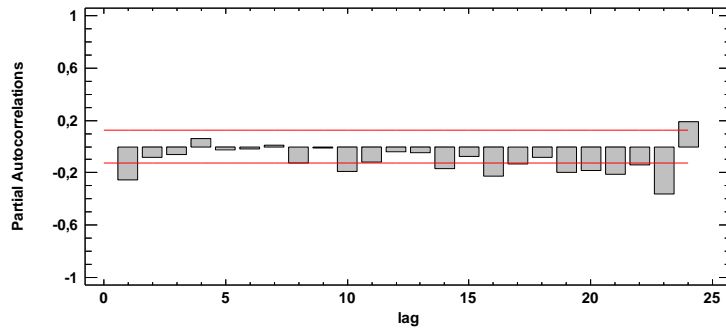
Sezonsal olmayan fark alındığında elde edilen ilgili grafikler Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,0,0)$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği

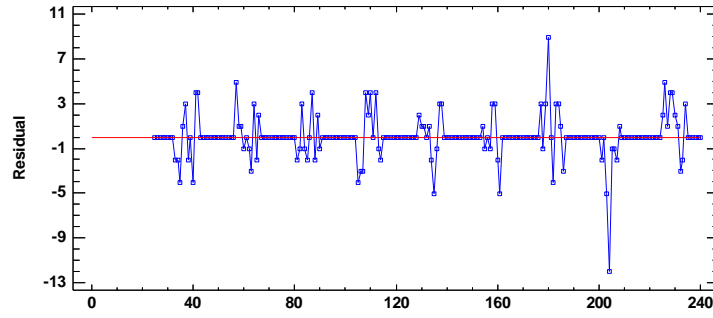


Şekil 5.5. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,0,0)$ Modelinin ACF Grafiği

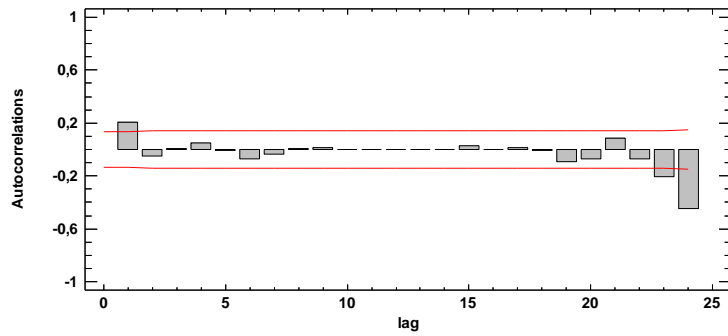


Şekil 5.6. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,0,0)$ Modelinin PACF Grafiği

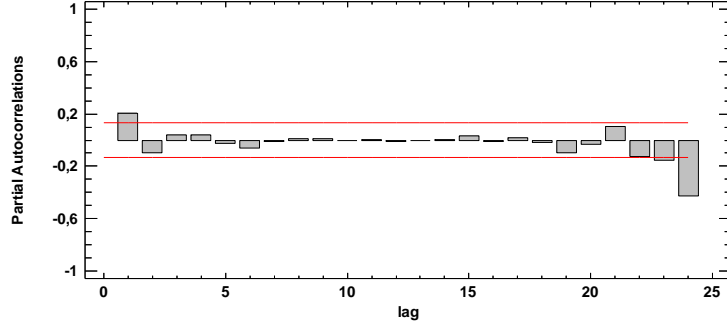
Sezonsal olmayan kısmın birinci farkının alındığı seriler, zaman serisi grafiğinden görüldüğü üzere daha durağan (belirli bir ortalama etrafında dengeli yayılım gösteren) gözükmektedir. Ancak ACF grafiğinde 24. gecikmede halen yüksek bir otokorelasyon mevcuttur. Fark alınmasına rağmen sezonsal yapı halen güçlü ve istikrarlı olduğundan, 24.gecikmedeki yüksek otokorelasyonu azaltabilmek için sadece sezonsal kısmın farkı alınmış ve ilgili grafikler Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da sunulmuştur.



Şekil 5.7. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği

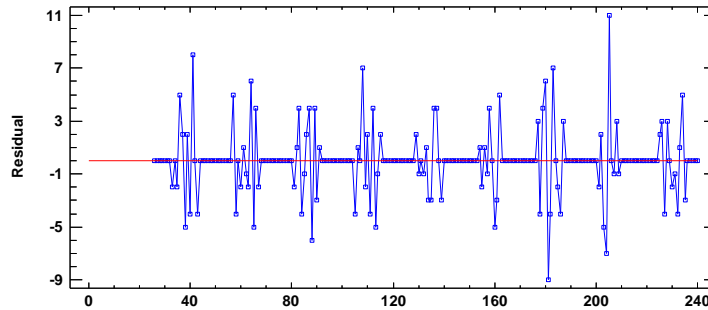


Şekil 5.8. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin ACF Grafiği

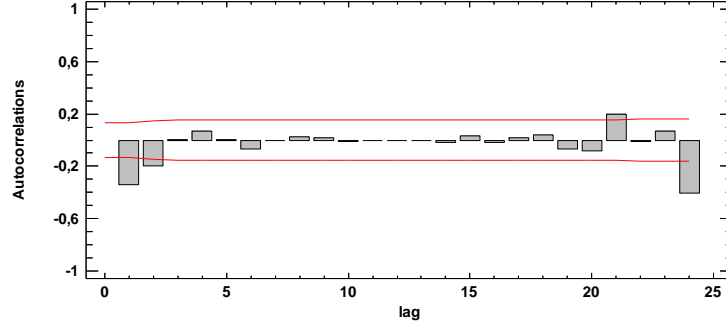


Şekil 5.9. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin PACF Grafiği

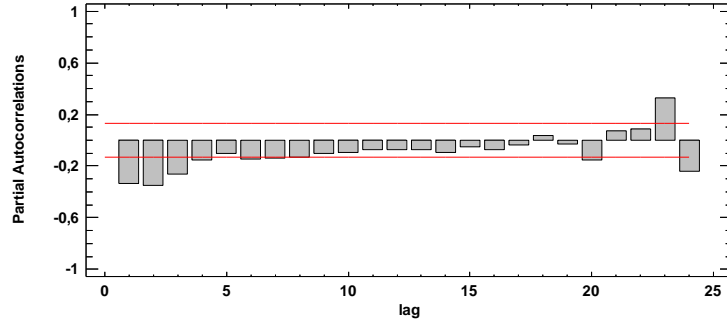
Sezonsal kısmın birinci farkının alındığı seriler, zaman serisi grafiğinden görüldüğü üzere durağan (belirli bir ortalama etrafında dengeli yayılım gösteren) gözükmemektedir. ACF grafiğinde 24. gecikmedeki yüksek otokorelasyon değeri de azaltılmıştır. Ancak 24. gecikmedeki otokorelasyon bu defa da negatif kısma doğru bir ilerleme göstermiştir. Bu sorun fark alma işleminden sonra modele eklenecek parametrelerin (AR, MA, SAR, SMA vb.) kararından sonra çözülebilecektir. Ancak sezonsal ve sezonsal olmayan kısımların birinci farkları alındığında ortaya çıkan modelleri de gözlemlemek gerekmektedir. Bu nedenle hem sezonsal hem de sezonsal olmayan kısımların birinci farkları alındığında ortaya çıkan zaman serisi, ACF ve PACF grafikleri de incelenmiş, sırasıyla Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği



Şekil 5.11. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin ACF Grafiği



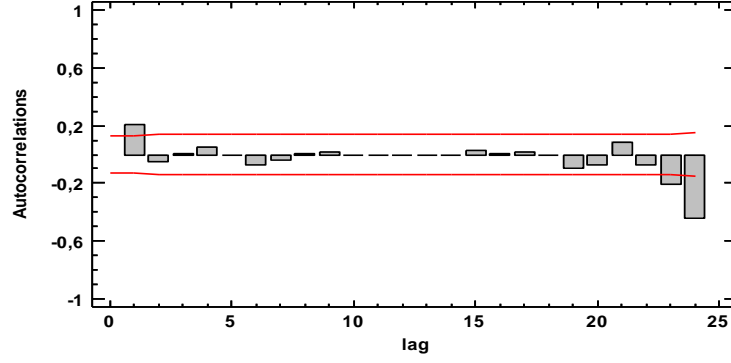
Şekil 5.12. Zemin Poliklinik için Sabit Terimli $ARIMA(0,1,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin PACF Grafiği

Her iki kısmın da farkı alındığı zaman ACF grafiğinin 1. gecikmesindeki otokorelasyon seviyesi negatif bir değer almıştır. Bu durumda incelenen seriye gereğinden fazla fark alma işlemi uygulanmıştır denebilir. Tüm bu analizler sonucunda doğru fark alma derecesine karar verebilmek için sezonsal ARIMA modellerinin “hata karelerinin ortalaması hatası (RMSE)” istatistiğine bakılmıştır. Sonuçlar Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

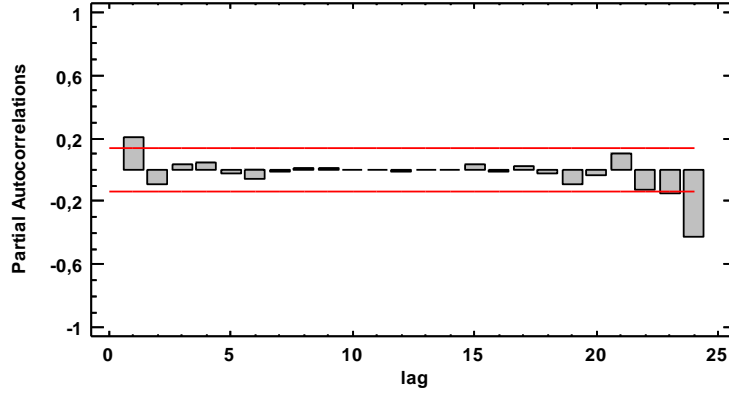
Tablo 5.1. Zemin Poliklinik için Fark Alma Sayısı Belirlenirken Yapılan Alternatif Model Karşılaştırmasının RMSE Sonuçları

Model	RMSE
$ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$	1,61542
$ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ +sabit terim	1,62065
$ARIMA(0,1,0)x(0,1,0)_{24}$	2,19404
$ARIMA(0,1,0)x(0,1,0)_{24}$ +sabit terim	2,20164

Model karşılaştırmalarından da görüldüğü gibi en küçük RMSE değerine sahip, seçilmeye aday model sezonsal farkın alındığı $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ modelidir. Seçilen bu modelde sabit terim de mevcut değildir. Sabit terimin eklenmediği yeni modelin ACF ve PACF grafikleri Şekil 5.13 ve Şekil 5.14 'de gösterilmiştir. Bu modelin ACF grafiğinden görüldüğü gibi, sezonsal periyot olan 24. gecikmesinde negatif tarafa doğru bir çıkış söz konusudur. Aynı şekilde PACF grafiğinde de negatif tarafa doğru bir artış mevcuttur. 1.gecikme otokorelasyon değeri pozitif olduğundan modele AR terimi eklenmesi düşünülebilir. PACF grafiğinin kesinti yaşadığı nokta, yani kısmi otokorelasyon seviyesinin kırmızı çizgilerle gösterilen %95 güven aralıklarının içerisine girdiği yer 1. gecikme seviyesinden sonra olduğundan modele AR(1) terimi eklenmiştir. Sezonsal kısım için ise, sezonsal periyot olan 24.gecikmedeki otokorelasyon negatif olduğundan modele SMA(1) terimi eklenmiştir.

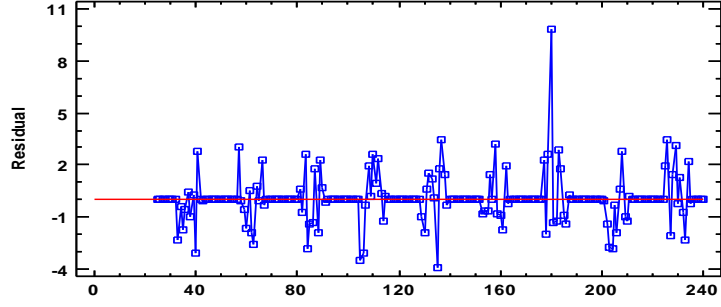


Şekil 5.13. Zemin poliklinik için sabit terim eklenmemiş $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin ACF Grafiği

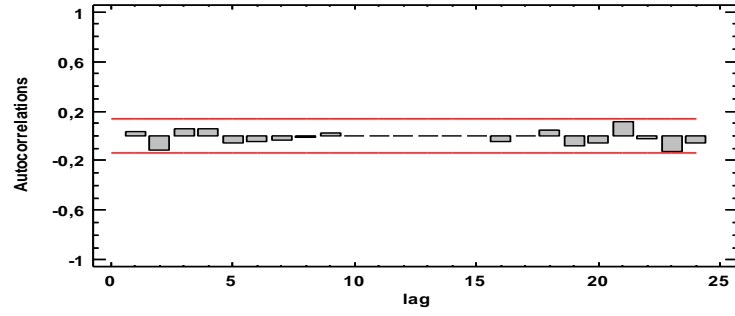


Şekil 5.14. Sabit Terim Eklenmemiş $ARIMA(0,0,0)x(0,1,0)_{24}$ Modelinin PACF Grafiği

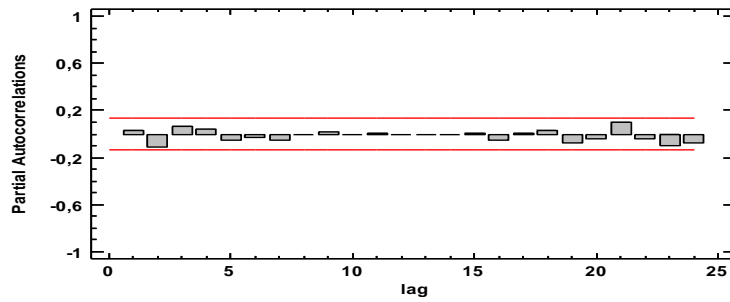
Sonuçta zemin poliklinik için oluşan model; $ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$ modelidir. Bu modelin zaman serisi grafiği, ACF ve PACF grafiği ise Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 5.15. Zemin Poliklinik için Seçilen $ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği



Şekil 5.16. Zemin Poliklinik için Seçilen $ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin ACF Grafiği



Şekil 5.17. Zemin Poliklinik için Seçilen $ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin PACF Grafiği

Hangi tahmin modelinin kullanılacağına karar verildikten sonra, AR ve SMA parametrelerinin değerleri (katsayıları) belirlenmelidir. Parametre değerleri belirlenirken bu parametrelerin modelde istatistiksel açıdan önemli olup olmadığı parametrelerin p-değerlerine bakılarak anlaşılmıştır. Bahsedilen parametre değerleri ve parametrelerin p-değerleri Tablo 5.2'de sunulmaktadır.

Tablo 5.2. Zemin Poliklinik $ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modeli Parametre Tahmini ve P-Değerleri

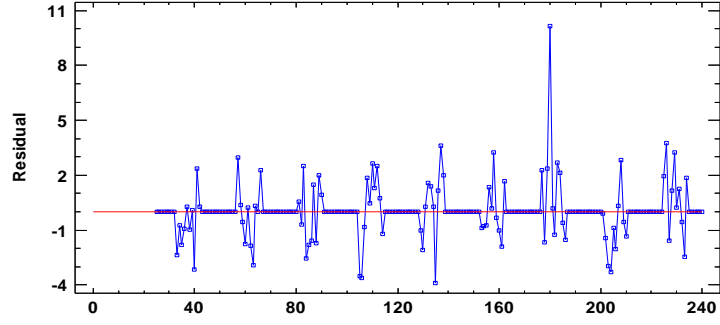
Parametre	Tahmin	Standart Hata	t	P-Değeri
AR(1)	0,1474	0,0825	1,7868	0,0754
SMA(1)	0,8557	0,0310	27,5715	0,0000

%95 güven aralığında 0,05'ten küçük p-değerine sahip parametreler istatistiksel olarak önemli ölçüde 0'dan farklı kabul edilebilmektedir. Tablo 5.2 'den görüldüğü üzere AR(1) parametresinin p-değeri 0,05'ten büyük çıktığı için AR(1) parametresi istatistiksel açıdan önemsizdir ve modelden elimine edilebilir. Bu nedenle AR(1) terimi modelden çıkartılmıştır. Sonuç olarak elde edilen model; $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ olarak şekillendirilmiştir. Bu modelin parametre tahmini ve p-değeri ise Tablo 5.3'te gösterilmektedir.

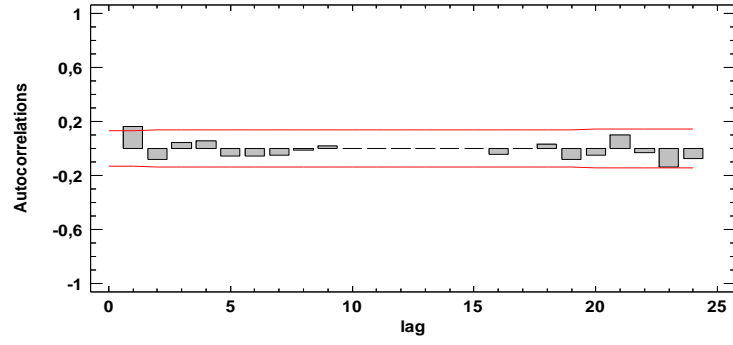
Tablo 5.3. Zemin Poliklinik $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modeli Parametre Tahmini ve P-Değeri

Parametre	Tahmin	Standart Hata	t	P-Değeri
SMA(1)	0,8579	0,0296	28,953	0,0000

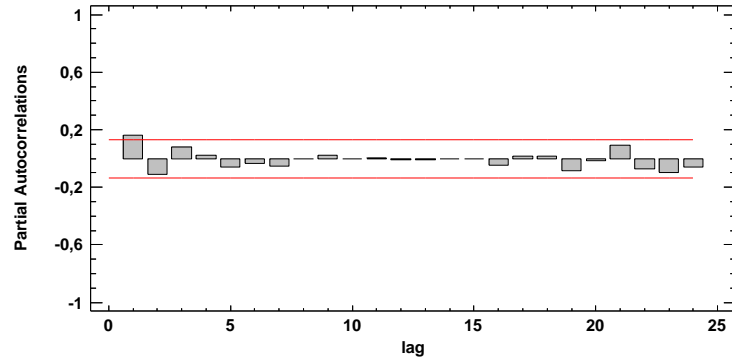
Zemin poliklinik için nihai tahmin modeli; $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ olarak bulunmuştur. Bu modelin zaman serisi analizi, ACF ve PACF grafikleri de sırasıyla Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de sunulmuştur.



Şekil 5.18. Zemin Poliklinik Nihai $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin Zaman Serisi Grafiği



Şekil 5.19. Zemin Poliklinik Nihai $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin ACF Grafiği



Şekil 5.20. Zemin Poliklinik Nihai $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modelinin PACF Grafiği

Zemin poliklinik için seçilen $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ modelini bir eşitlik gösterimi halinde ifade edebilmek, tanımlamak mümkündür. Sezonsal ARIMA modelleri genel olarak Denklem 5.1'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned}
& (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - \beta_1 B^s - \beta_2 B^{2s} \\
& \quad - \beta_p B^{Ps})(1 - \beta)^d (1 - \beta^s)^D y_t \\
& = c \\
& \quad + (1 - \psi_1 B - \psi_2 B^2 - \dots - \psi_q B^q)(1 - \theta_1 B^s - \theta_2 B^{2s} \\
& \quad - \theta_Q B^{Qs}) \varepsilon_t
\end{aligned} \tag{5.1}$$

Denklemin açıklaması şöyle yapılmaktadır:

- $(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$: $AR(p)$, p dereceli otoregresif kısmı,
- $(1 - \psi_1 B - \psi_2 B^2 - \dots - \psi_q B^q)$: $MA(q)$, q dereceli hareketli ortama kısmı,
- $I(d)$: d dereceli fark almayı,
- $(1 - \beta_1 B^s - \beta_2 B^{2s} - \beta_p B^{Ps})$: $AR_s(P)$, P dereceli sezonsal otoregresif kısmı,
- $(1 - \theta_1 B^s - \theta_2 B^{2s} - \theta_Q B^{Qs})$: $MA_s(Q)$, Q dereceli sezonsal hareketli ortalama kısmı,
- $I(D)$: D dereceli sezonsal fark almayı,
- s: Sezonsal periyodu,
- c: Sabit terimi,
- B: Gecikme operatörünü (Lag Operator), yani zaman serilerinin bir önceki terimini açıklayan operatörü ifade eder.
- ϕ_p : $AR(p)$, ψ_q : $MA(q)$, β_p : $SAR(P)$, θ_Q : $SMA(Q)$ terimlerini (katsayılarını) ve ε_t ise t zamanındaki tahmin hatasını göstermektedir [30].

Anlatılanlar ışığında zemin poliklinik için $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ modelinin Denklem 5.1'e göre oluşturulmuş açık hali;

$$(1 - B^{24})^1 * y_t = c + (1 - \theta_1 B^{24}) \tag{5.2}$$

eşitliği ile ifade edilebilmektedir. Zemin poliklinik için oluşturulan ARIMA modeli eşitliğinin son hali;

$$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24} \quad (5.3)$$

olarak ifade edilmektedir. Denklem 5.2'den Denklem 5.3'e geçerken ele alınan zaman serisinin 24 periyot önceki terimini açıklayan (B^{24}) gecikme operatörü Denklem 5.2'de görüldüğü gibi y_t ile çarpıldığı zaman t zamanının tahmin değeri olan y_t , t zaman gerideki tahmin değerine dönüşmüş olur. Yani $y_t * B^{24} = y_{t-24}$ olarak Denklem 5.3'te ifade edilebilir.

Eşitlikteki θ_1 ifadesi SMA(1) terimini göstermektedir. y_{t-24} ifadesi t zamanından 24 periyot önceki tahmin değerini göstermektedir. ε_{t-24} ifadesi t zamanından 24 periyot önceki tahmin hatasını açıklamaktadır. Yani Denklem 5.3'e göre y_t , yani t zamanındaki tahmin değerini bulabilmek için, t zamanındaki tahmin hatası ve t'den 24 periyot önceki tahmin değeri kullanılmalıdır.

Zemin poliklinik için son olarak oluşturulan modelin doğrulama ve tahmin aşamalarında ortaya çıkan hata istatistikleri değerleri Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Zemin Poliklinik $ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$ Modeli için Doğrulama ve Tahmin Periyodunda Ortaya Çıkan Hata İstatistikleri Değerleri

İstatistik	Tahmin Periyodu	Doğrulama Periyodu
RMSE	1,56611	2,00814
MAE	1,2125	1,40589
ME	-0,089945	0,101103

6. SİMÜLASYON MODELİ

Hastane sistemi *Arena Enterprise Suite Academic 14.00* programı kullanılarak modellenmiş, tüm ekipman seçim kuralları ise yine aynı programın Visual Basic eklentisi kullanılarak yazılmış ve modele entegre edilmiştir.

Bu çalışmadaki simülasyon modeli kurulurken Demircan'ın [1] çalışmasında geliştirilen modelden yararlanılmıştır. Demircan'ın tez çalışmasında TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Hastanesi için oluşturan mevcut durum modeli ve akabinde RTLS'ye entegre çalışması kapsamında önerilen ekipman seçim kuralları mevcuttur. Demircan'ın tez çalışmasında geliştirilen kurallar, ekipmanların kullanım oranını dengelemeye ve ihtiyacın aciliyetine göre ekipman kullanım oranını ve ekipmanın hastaya ulaşma süresini dengelemeye yöneliktir. Bu tez çalışmasında, hastanenin mevcut durum modeli, geliştirilen yeni ekipman seçim algoritmalarını deneyecek şekilde yeniden düzenlenmiştir. Geliştirilen yeni ekipman seçim algoritmaları "Ekipman Seçim Kuralları" başlıklı Bölüm 4'te detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

6.1. Girdiler

6.1.1. Talep Yoğunluğu

Bu çalışma kapsamında geliştirilen ekipman seçim kurallarının uygulanabilmesi için saatlik ekipman talep verilerine ihtiyaç vardır. Ancak hastane her bir poliklinik için saatlik ekipman talep verisi istatistiği tutmamaktadır. Daha önceden de ifade edildiği gibi hastaneden yalnızca günlük ortalama ekipman talep verisi elde edilebilmiştir. Ancak, talep tahmin modelleri kurulurken incelenen sistemden elde edilecek saatlik ekipman talep verilerine mutlak surette ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, hastaneden elde edilen günlük ortalama ekipman talep verileri kullanılarak, hastanelerin farklı bölümlerinin farklı saatlerdeki farklı yoğunluklarını yansıtan saatlik bazda ortalama ekipman talep verileri üretilmiş ve simülasyon modelinde üretilen bu talep verileri kullanılmıştır. Saatlik verilerin üretilme yöntemi bu bölüm içerisinde detaylı olarak anlatılmaktadır.

Hastane bölümleri; yatarak tedavi gören hasta, ayakta tedavi gören hasta ve de acil poliklinik bölümü olmak üzere üç ana kategori halinde incelenmektedir. İncelenen

yatan hasta bölümleri; ameliyathane, B1 kardiyojoloji, anjiyo, koroner yoğun bakım, genel yoğun bakım, kardiyovasküler cerrahi yoğun bakım, kat 2 yatan hasta, genel cerrahi ve kardiyovasküler cerrahidir (KVC). Ayakta tedavi gören hasta bölümleri ise; 2.kat poliklinik, 1.kat poliklinik, zemin poliklinik ve pediatri polikliniğidir.

Tüm bölümler için günlük ortalama ekipman talep verileri Demircan'ın [1] tez çalışmasından elde edilmiş, EK B'de sunulmuştur. Bu çalışma için günlük ortalama talep verilerinin gerçeğe yakın bir şekilde saatlik talep verilerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüştürme işlemi kısaca iki adımda yapılmıştır:

1. Literatür Araştırması: Farklı kategorilere ait hastane bölümleri için (yatarak tedavi gören hasta, ayakta tedavi gören hasta, pediatri (pediatri ayakta tedavi gören hasta kategorisine ait bir bölümdür ancak çalışma saatlerinden dolayı ayrı değerlendirilmiştir), acil poliklinik) saatlik talep yoğunluğu kalıplarının (pattern) bulunması.

2. Talep Kalıbı-Veri Uyarlaması: TOBB ETÜ Hastanesi'nden alınan günlük talep miktarı verilerinin, literatürden alınan talep yoğunluğu kalıplarına uyarlanması.

Adım 1: Literatür Araştırması

Talep yoğunluğu araştırması farklı kategorilere ait hastane bölümlerini (yatarak tedavi gören hasta, ayakta tedavi gören hasta, acil poliklinik, pediatri) ayrı ayrı değerlendirecek şekilde yapılmıştır.

Ayakta tedavi gören hasta kategorisinde incelenen bölümler için Rising, Baron ve Averill'in [31] ayakta tedavi gören bir hasta kliniğinde yaptığı çalışma incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan günlük-saatlik gelen toplam hasta sayısı verisi, kendi çalışmamızda kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Makalede ayakta tedavi gören hasta varışlarının saatlik veri yapısını (talep kalıbı) gösteren grafiği Şekil 6.1'de verilmiştir.



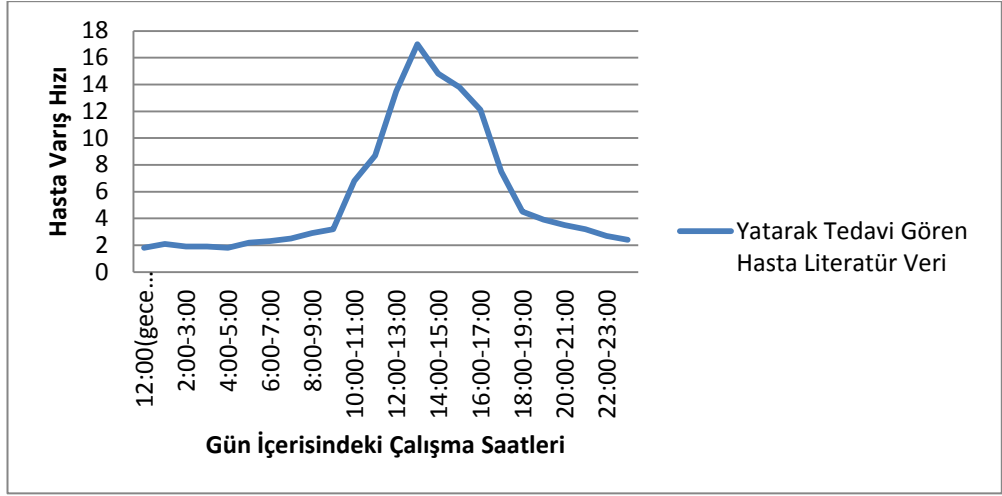
Şekil 6.1. Ayakta Tedavi Gören Hasta Bölümleri için Literatürden Alınan Saatlik Hasta Varış Grafiği

Literatürde farklı bölümlerin talep yoğunluk kalıpları araştırılırken, incelenen bölümlerin çalışma saati aralıkları ile literatürden bulunan aynı kategoriye ait hastane bölümlerinin çalışma saati aralıklarının birbiri ile tutarlı olmasına özen gösterilmiştir. Hastanede, pediatri polikliniği haricindeki ayakta tedavi gören hasta bölümlerine varışlar 10 saatlik bir süreyi kapsamaktadır. Yani, pediatri dışı polikliniklere hasta gelişleri saat 8:00 ile 18:00 arasındadır. Pediatri polikliniğine ise gelişler sabah saat 8:00'den akşam saat 23:00'e kadar olan 16 saatlik bir süreyi içermektedir. Bu farklılık sebebiyle pediatri bölümüne geliş verisi sunan başka bir makale, ayakta tedavi gören hastalar için incelenen makaleden ayrı incelenmiştir. Fakat bu durum pediatri kliniğinin ayakta tedavi gören hasta kategorisinde değerlendirilmesini değiştirmemiştir.

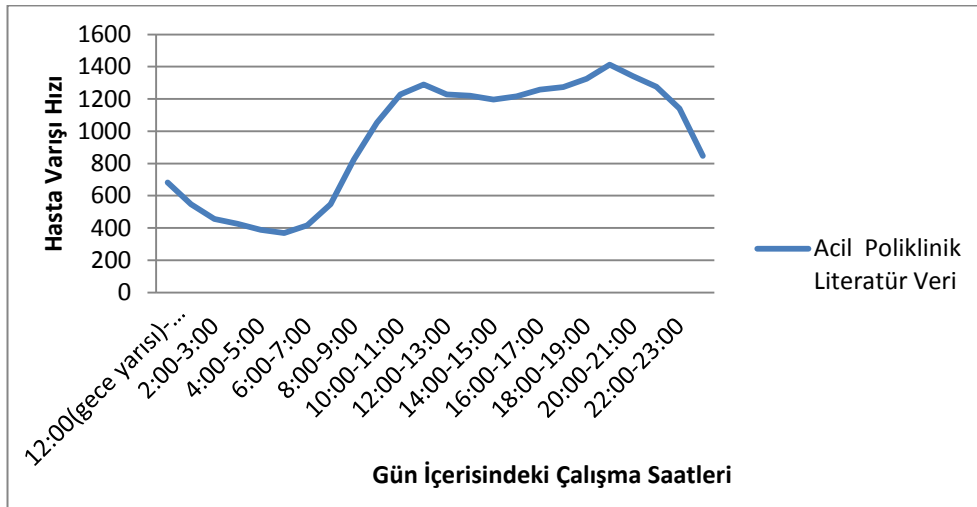
Yatarak tedavi gören hasta bölümleri ve acil polikliniği ise 24 saat çalışmaktadırlar. Yatarak tedavi gören hasta bölümleri için ise Côte vd.'nin [32] çalışması incelenmiştir. Makalede belirtilen saatlik ortalama yatak talepleri, yatarak tedavi gören hasta varışları olarak kullanılmıştır. Yatarak tedavi gören hasta bölümleri için örnek talep yoğunluk modeli Şekil 6.2 de gösterilmektedir.

Acil bölümündeki ortalama günlük-saatlik veriler için ise Morzuch ve Allen'in [33] bir acil polikliniğindeki talep tahminini gerçekleştirebilmek için yaptıkları ve varış hızlarını saatlik bazda ele aldıkları makale incelenmiştir. Makalede, ele alınan zaman

diliminde haftanın her bir günü için toplam saatlik geliş verileri gösterilmiştir. Bu verileri tez çalışmasına katarken, haftanın tüm günleri için verilen saatlik toplam geliş verilerinin ortalaması alınarak acil polikliniği için ortalama günlük-saatlik talep verisi elde edilmiştir. Acil polikliniği için elde edilen talep kalıbının grafiği Şekil 6.3'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2.Yatarak Tedavi Gören Hasta Bölümleri için Literatürden Alınan Saatlik Hasta Varış Grafiği



Şekil 6.3.Acil Polikliniği için Literatürden Alınan Saatlik Hasta Varış Grafiği

Literatürden, her bir bölüm için elde edilen günlük-saatlik ortalama talep verilerinin gösterdiği yapılar grafiklerle gösterilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi, üç ana kategori halinde incelenen hastane bölümlerinde aynı saatlerde farklı hasta yoğunlukları olabilmektedir. Ayrıca bir bölüme gelen talep sıklığı gün içerisinde zamana göre farklılık gösterebilmektedir.

Adım 2: Talep Kalıbı-Veri Uyarlanması

Bu çalışmada her bir bölümün her bir ekipman tipine olan saatlik talep sayısına ihtiyaç vardır. Literatürden alınan bilgi ise bölümlere farklı saatlerde gelen hasta yoğunlukları ile ilgilidir. Bu çalışmada bir hasta işlem göreceği bölüme geldiği zaman o hasta için gerekli ekipmanların hemen talep edilip tedavi işleminin başlatılacağı, dolayısıyla hasta varış yoğunluğu kalıplarının ekipman talep yoğunluğu için de geçerli olduğu varsayılmaktadır. Ekipman talep yoğunluğu kalıpları olarak literatürden bulunan kalıplar kabul edildikten sonra, TOBB ETÜ Hastanesi'nin günlük talep sayısının, kabul edilen bu kalıplara uyacak şekilde saatlik olarak dağıtılması gerekmektedir.

Her bir bölüm için eldeki günlük ortalama talep verisi kullanılarak, literatürden elde edilen yapılara uygun olacak şekilde bir gün için ortalama saatlik talep verileri dağıtılmıştır. Bunun için bir polikliniğe ait eldeki mevcut günlük ortalama talep verisi, literatürden elde edilen kalıptaki bir günün saatlik ortalama talep verisi ile oranlanarak TOBB ETÜ Hastanesi bölümleri için her bir saate dair ortalama talep verisi bulunmuştur. Bu işlem her bir poliklinik için yapılmıştır. Bu hesaplama daha iyi anlaşılması açısından zemin poliklinik verileri üzerinden anlatılmıştır. Tablo 6.1'de ayakta tedavi gören hastalar için kullanılan literatürden elde edilen veriler (pediatri hariç) ile TOBB ETÜ zemin poliklinik için yapılan saatlik veri hesabı gösterilmiştir.

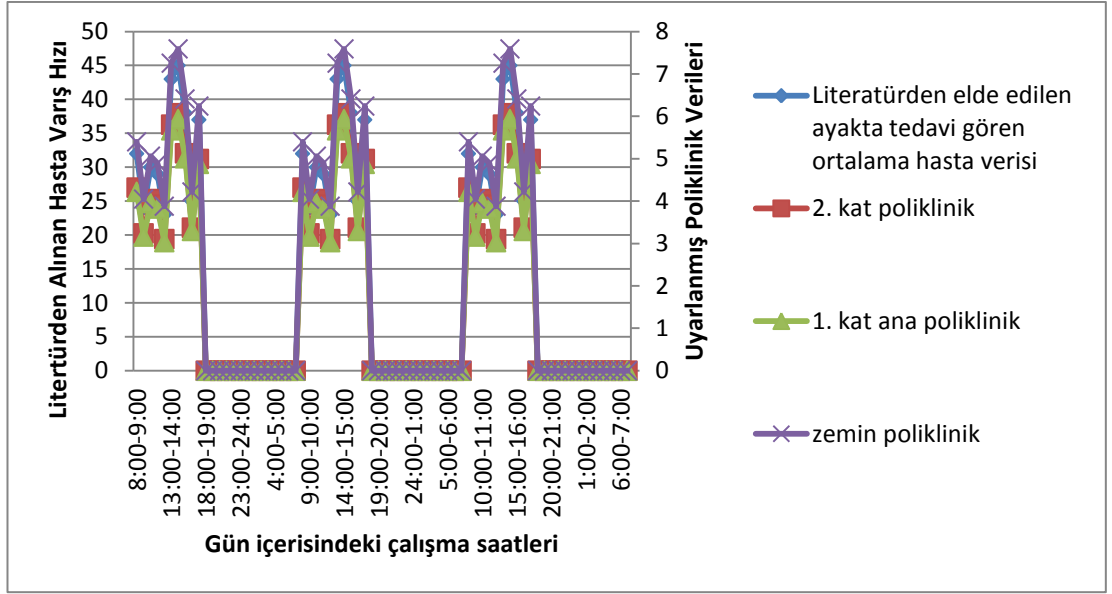
Tablo 6.1'de literatürden alınan hasta geliş hızı saatliktir. Daha önceden de ifade edildiği gibi pediatri haricindeki ayakta tedavi gören kategorisine giren hastane bölümleri 10 saat çalışmaktadırlar. Yani akşam saat 18:00'den sabah saat 8:00'e kadar bu bölümlere hasta gelmediği kabul edilmekte, bu nedenle gelen hasta hızı *sıfır* değerini almaktadır. Literatürden alınan kalıpta hasta geliş verilerinin bir günlük

ortalaması 13,58 olarak bulunmuştur. Zemin polikliniğe ait hali hazırda TOBB ETÜ Hastanesi'nden elde edilen günlük ortalama talep verileri zaten mevcuttur. Bu değer Tablo 6.1'de ifade edildiği gibi 2,29'dur. Amaç, mevcut günlük ortalama talep verisini saatlik bir şekle sokmaktır. Bu nedenle, zemin polikliniğin bir gün içerisindeki saatlik geliş verilerini bulabilmek için, literatürden alınan saatlik veri ile hastaneden elde edilen mevcut günlük ortalama talep bilgisi çarpılacak ve literatürden alınan bir günlük ortalama geliş verisine bölünecektir. Yani, zemin polikliniğin saat 8:00-9:00 arasında aldığı değer, $(32 * 2,29)/13,58 = 5,4$ olarak bulunmuştur. Geri kalan saatler de aynı şekilde hesaplanarak doldurulmuştur. Diğer poliklinikler için de aynı yöntem uygulanmıştır.

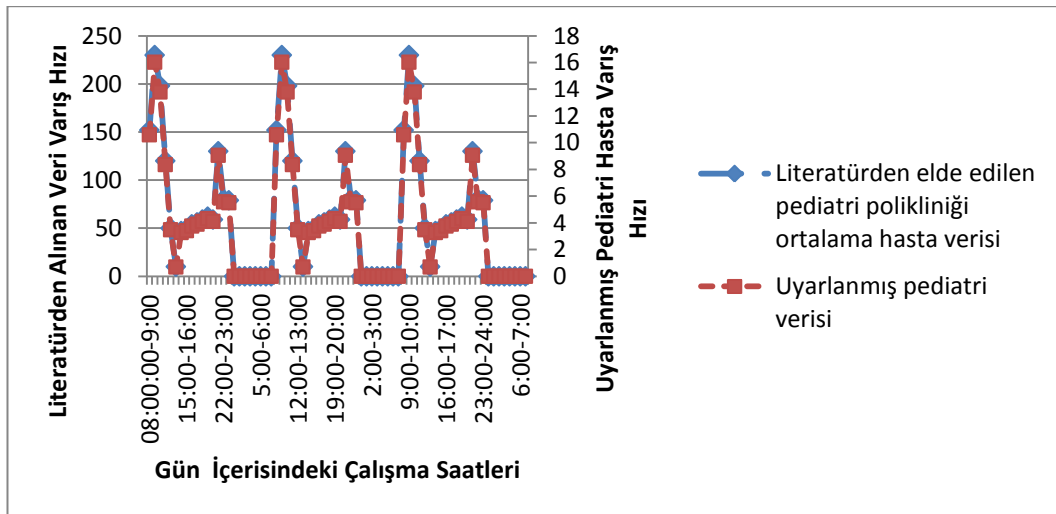
Tablo 6.1. Mevcut Günlük Ortalama Talep Verisini Literatürden Elde Edilen Veriler ile Saatlik Yapıya Dönüştürme

Saatler	Literatürden Alınan Hasta Geliş Hızı	TOBB ETÜ Zemin Poliklinik
8:00-9:00	32	5,4
9:00-10:00	24	4,0
10:00-11:00	30	5,1
11:00-12:00	29	4,9
12:00-13:00	23	3,9
13:00-14:00	43	7,3
14:00-15:00	45	7,6
15:00-16:00	38	6,4
16:00-17:00	25	4,2
17:00-18:00	37	6,2
18:00-19:00	0	0
19:00-20:00	0	0
20:00-21:00	0	0
21:00-22:00	0	0
22:00-23:00	0	0
23:00-24:00	0	0
24:00-1:00	0	0
1:00-2:00	0	0
2:00-3:00	0	0
3:00-4:00	0	0
4:00-5:00	0	0
5:00-6:00	0	0
6:00-7:00	0	0
7:00-8:00	0	0
Ortalama	13,58	2,29

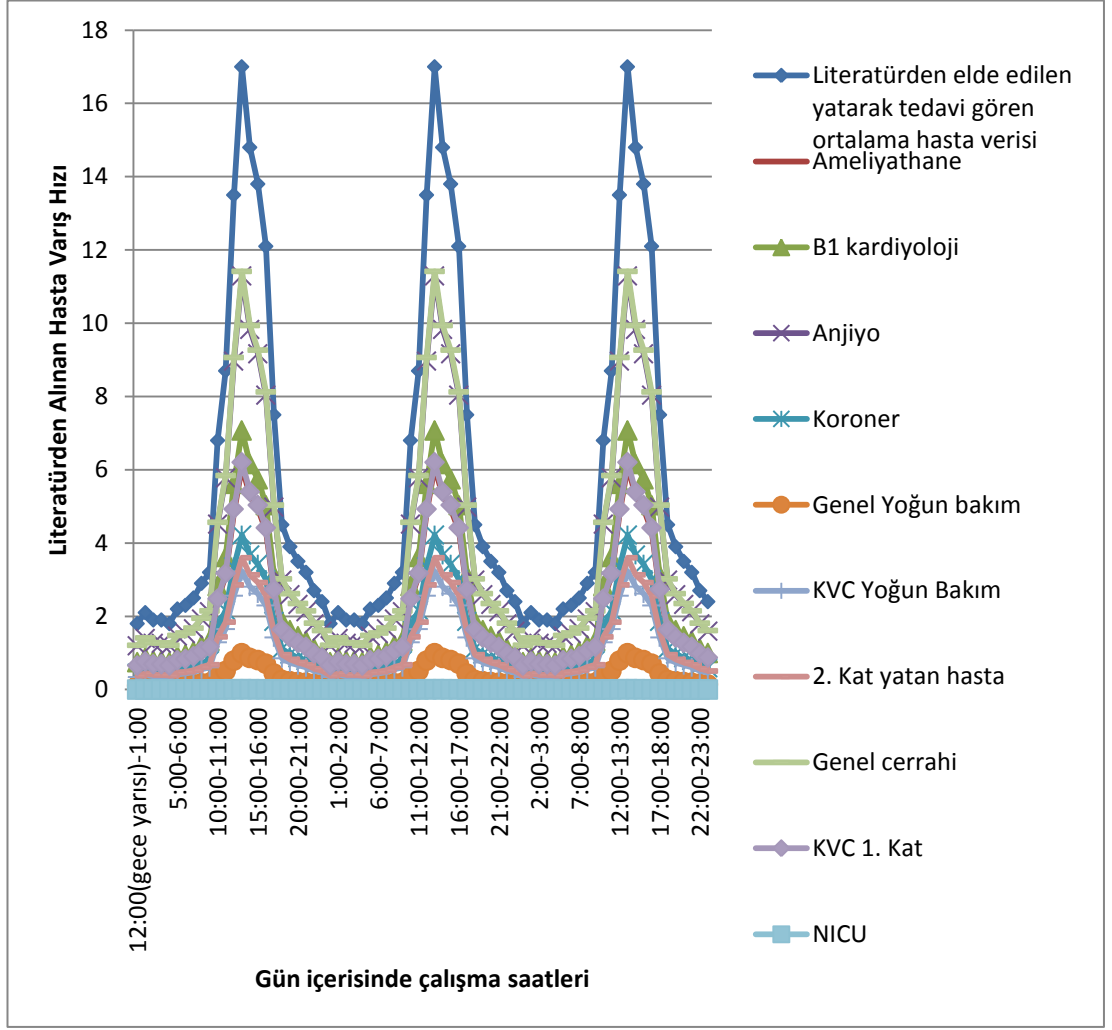
Ayakta tedavi gören hastalar, pediatri hastaları, yatarak tedavi gören hastalar ve acil polikliniği için literatürden elde edilen verilerin grafiklerinde gösterdiği yapılar uygun olacak şekilde hesaplanan verilerin saatlik dağılım yapılarını gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 de gösterilmiştir.



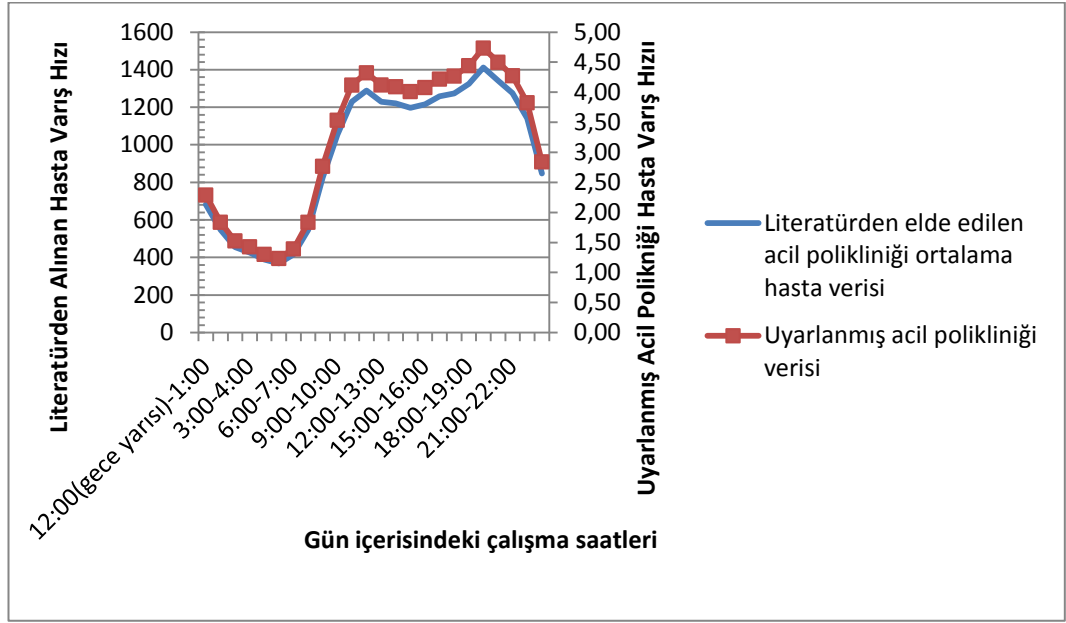
Şekil 6.4. Ayakta Tedavi Gören Hastalar (pediatri hariç) için Uyarlanmış Saatlik Veri Grafiği



Şekil 6.5. Pediatri Polikliniği için Uyarlanmış Saatlik Veri Grafiği



Şekil 6.6. Yatarak Tedavi Gören Hastalar için Uyarlanmış Saatlik Veri Grafiği



Şekil 6.7. Acil Polikliniği için Uyarlanmış Saatlik Veri Grafiği

Literatürden elde edilen verilere uyarlanarak üretilmiş saatlik ortalama veriler ile çizilen grafiklerin, literatürden alınan ortalama saatlik veri grafiklerinin oluşturduğu yapıya benzerlik gösterdiği görülmektedir. Sonuç olarak analizlerde kullanılacak saatlik verilerin, aynı poliklinikler için gerçek veriler kullanılarak yapılan çalışmalarda oluşturulmuş yapılarla benzerlik taşıması sağlanmıştır.

6.1.2. Diğer Girdiler

Çalışmada, ekipmanların bir hastada kullanım süreleri, bölümlerdeki ekipman arama süresi, bölümlere gelen hasta sayısı ve bölümler arası uzaklık-ihtiyaç matrisi modelin kurulabilmesi için ihtiyaç duyulan diğer verilerdir. Bu verilerin elde edilmesinde ilgili hastane personeliyle görüşülmüş ve onay alınmıştır.

Sistemin simülasyon modelini kurabilmek için elde edilen veriler için *girdi analizleri* yapılmış ve gerekli yerlerde kullanılmak üzere verilerin hangi dağılımdan geldikleri *Arena Input Analyzer* yardımı ile Demircan'ın tez çalışmasında bulunmuştur [1]. Ayrıca modelin kurulması aşamasında bir takım varsayımlar yapılmıştır. Varsayımlardan Bölüm 6.2'de bahsedilmektedir. Hastane simülasyon modelinin içeriği ve oluşturulma aşamalarının detayları Demircan'ın [1] tez çalışmasında mevcuttur.

6.2. Doğrulama, Geçerlilik ve Varsayımlar

Hastanenin simülasyon modeli oluşturulurken bir takım varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımlar yapısal varsayımlar ve veri varsayımları olarak ikiye ayrılmıştır [1].

Yapısal varsayımlar sistemin işleyişi ile alakalı basitleştirmeler yaparak gerçek sistemin simülasyon ortamına aktarılmasını kolaylaştırmaktadır. Model kurmak için yapılan yapısal varsayımlar şu şekilde özetlenebilir:

- Ekipmanlar kullanıldıkları yerde bırakılırlar.
- Sağlık Destek Personeli (SDP) sadece ekipman taşımakla görevlidir.
- SDP'lere birden fazla ekipman talebi aynı anda geldiğinde SDP'ler FIFO kuralına göre talepleri karşılar [1].
- Bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlığı, ekipmanı veren bölüm verdiği ekipmana 15 dakika içinde ihtiyaç duyar ve kendi bölümünde boşta bulamazsa oluşur. Buradaki 15 dakika varsayımının, farklı ekipman seçim kurallarının, bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlığı sayısı performans ölçütüne göre sıralamalarını etkileyip etkilemediği test edilmiş ve sonuçları etkilemediği görülmüştür. Test sonuçları EK B'de gösterilmiştir.

Veri varsayımları ise model kurmak için gerekli olan veriler için yapılır. Modelde kullanılacak güvenilir veri oluşturmak için bir takım istatistiksel testler yapılmalıdır. Veriler için yapılan varsayımlarının geçerliliği, uygunluk testleri (goodness of fit tests) ile kontrol edilmelidir. Arena simülasyon programının girdi analizcisi (input analyzer) kullanılarak da veriler için kullanılacak uygun dağılımlar bulunabilir. Veri varsayımları ise şöyle özetlenmiştir:

Veri varsayımları:

- Ekipman talepleri, sorumlu hemşireler tarafından verilen oranlarla günlük taleplerden yola çıkılarak hesaplanmıştır.

- Saatlik olarak dağıtılan günlük ekipman taleplerinin poisson dağılıma uygun olduğu varsayılmıştır. Bir bölüm içerisinde talep edilen tüm farklı ekipmanların saatlik talep dağılımlarının aynı talep kalıbına uygun olduğu varsayılmıştır.
- EKG ve ekokardiyografi dışındaki ekipmanlar için her bir bölümde kullanım süreleri, ekipmanları kullanan hemşirelere danışılarak üçgensel dağılıma uygun olarak belirlenmiştir.
- Katlar arası ekipman taşınırken asansör beklerken geçen süre ihmal edilmiştir.
- SDP'nin yürüme hızı 0,5 m/sn olarak kabul edilmiştir[1].

Simülasyon modeli bahsedilen varsayımlar altında oluşturulduktan sonra doğrulama ve geçerlilik testlerinin yapılması gerekmektedir. Kurulan modelin gerçek sistemi ne kadar yansıttığının kontrolü yapılmalıdır. Bu bağlamda *model doğru kuruldu mu?* Sorusunun inceleneceği yer doğrulama; *doğru model kuruldu mu?* Sorusunun inceleneceği yer ise geçerlilik analizi kısmıdır. Doğrulama kısmında, talep miktarı, ekipman kullanım süreleri ve ekipman sayısı gibi girdi değişkenlerinin değiştirilmesi ile modeldeki ortalama kuyruk uzunlukları, ortalama kuyrukta bekleme süreleri, ortalama süreç içi envanter gibi çıktılar analiz edilmiş, akabinde modelin tutarlılığı test edilmiştir. Geçerlilik kısmında ise, yüzeysel geçerlilik, model varsayımları geçerliliği, girdi-çıkıtı değişimleri geçerliliği kontrolü olarak üç aşamalı test uygulanmıştır. Doğrulama ve geçerlilik analizi testlerinin nasıl yapıldığı ve detaylı içeriği hakkında bilgi Demircan'ın [1] tez çalışmasında kapsamlı bir şekilde mevcuttur.

6.2.1. Isınma Periyodunun Belirlenmesi

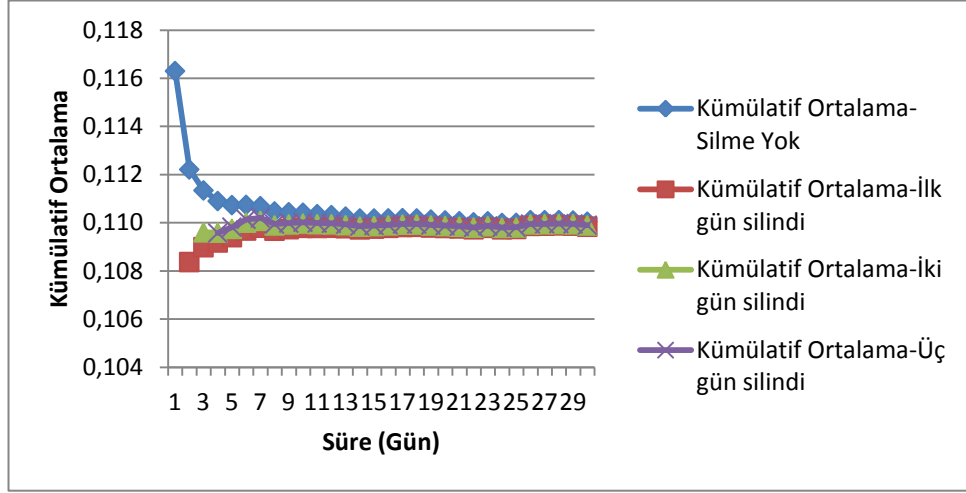
Sistemin kararlı bir hale gelebilmesi için ısınma periyodunun belirlenmesi gerekmektedir. Isınma periyodu, modelin başlangıç koşullarında (tekrarlarında) elde edilen gözlemlerden bazılarının silinerek kalan gözlemlerle kararlı durum ortalamasının tahmin edilmesi mantığına dayanmaktadır. Bu şekilde, yapılan tahminin yanlılığı azalmaktadır. Isınma periyodunun belirlenmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi Yineleme-Silme Metodudur. Bu metodun kullanılma sebepleri şöyledir:

1. Eğer usulünce uygulanırsa, bu yaklaşım istatistiksel açıdan iyi performans sergiler.
2. Anlaması ve uygulaması en kolay yöntemlerden birisidir.
3. Her türlü çıktı parametresine uygulanabilir.
4. Aynı simülasyon modelinde bir çok parametrenin tahmin edilmesinde kullanılabilir.
5. Farklı sistem konfigürasyonlarını karşılaştırmak için kullanılabilir [34].

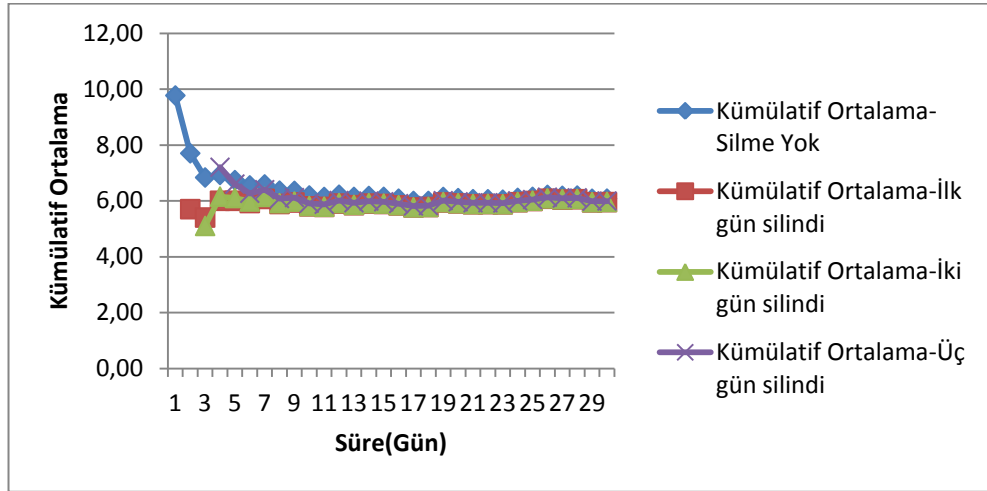
Isınma periyodu belirlenirken ekipmanın hastaya gelme süresi ve bölümler arası günlük ekipman alışverişi pişmanlık sayısı baz alınarak, temel durum modeli için çeşitli modifikasyonlar yapılmıştır. Normalde ortalama bir değer olarak elde edilen ekipmanın hastaya ulaşma süresi günlük bazda tutulmuştur. Ekipman alışverişi pişmanlık sayısı ise eskisi gibi yine günlük bazda hesaplanmıştır. Sistemin temel durumu dikkate alınarak sistem 30 günlük 10 tekrar ile çalıştırılmış ve her gün için ekipmanın hastaya geliş süresi ile bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlığı sayısı incelenmiştir. Her bir tekrar için bahsedilen bu değerler kaydedilmiş, sistemin çalıştırıldığı her bir gün için ağırlıklı ortalamalar bulunmuştur. Bu ortalamalar *yığın ortalaması* olarak nitelendirilmiştir. Her bir çalıştırılan güne dair elde edilen ortalama değerlerin bir kısmı silinerek hesaplanan kümülatif ortalamalar kullanılarak ısınma periyodunun belirlenebilmesi için bir grafik oluşturulmuştur. Hesaplanan ortalamalar, ekipmanın hastaya ulaşma süresi için örnek olarak Tablo 6.2'de sunulmuş, her iki performans ölçütü için sistemin kararlı hal seyrini gösteren grafikler ise Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi için Yığın ve Kümülatif Ortalamalar

Gün	Yığın Ortalama	Kümülatif Ortalama-Silme Yok	Kümülatif Ortalama-İlk gün silindi	Kümülatif Ortalama-İki gün silindi	Kümülatif Ortalama-Üç gün silindi
1	0,1161	0,1163			
2	0,1084	0,1122	0,1084		
3	0,1096	0,1113	0,1090	0,1096	
4	0,1096	0,1109	0,1092	0,1096	0,1096
5	0,1101	0,1107	0,1094	0,1097	0,1098
6	0,1108	0,1107	0,1097	0,1100	0,1101
7	0,1104	0,1107	0,1098	0,1101	0,1102
8	0,1089	0,1105	0,1097	0,1099	0,1099
9	0,1102	0,1104	0,1097	0,1099	0,1100
10	0,1102	0,1104	0,1098	0,1100	0,1100
11	0,1098	0,1104	0,1098	0,1099	0,1100
12	0,1099	0,1103	0,1098	0,1099	0,1100
13	0,1095	0,1103	0,1098	0,1099	0,1099
14	0,1092	0,1102	0,1097	0,1098	0,1099
15	0,1102	0,1102	0,1098	0,1099	0,1099
16	0,1102	0,1102	0,1098	0,1099	0,1099
17	0,1104	0,1102	0,1098	0,1099	0,1099
18	0,1100	0,1102	0,1098	0,1099	0,1099
19	0,1093	0,1101	0,1098	0,1099	0,1099
20	0,1095	0,1101	0,1098	0,1099	0,1099
21	0,1094	0,1101	0,1098	0,1098	0,1099
22	0,1091	0,1100	0,1097	0,1098	0,1098
23	0,1110	0,1101	0,1098	0,1099	0,1099
24	0,1084	0,1100	0,1097	0,1098	0,1098
25	0,1101	0,1100	0,1097	0,1098	0,1098
26	0,1129	0,1101	0,1099	0,1099	0,1099
27	0,1101	0,1101	0,1099	0,1099	0,1100
28	0,1102	0,1101	0,1099	0,1100	0,1100
29	0,1096	0,1101	0,1099	0,1099	0,1100
30	0,1086	0,1100	0,1098	0,1099	0,1099



Şekil 6.8. Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi için Kümülatif Ortalama Grafiği



Şekil 6.9. Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı için Kümülatif Ortalama Grafiği

Her iki performans ölçütü açısından incelenen bu grafiklere bakıldığında sistemin 2 günlük bir süreden sonra kararlı hale geldiği gözlenmektedir. Ayrıca verilerin ilk iki günü silinerek hesaplanan kümülatif ortalama ile ilk üç günü silinerek hesaplanan kümülatif ortalamasının 30.günleri birbirleriyle neredeyse aynı değerlere sahiptir. Bu nedenle ısınma periyodunun 2 gün olarak belirlenmesine karar verilmiştir.

6.2.2. Koşum Uzunluğunun Belirlenmesi

Simülasyonun koşum uzunluğundan ısınma periyodu silindikten sonra kalan koşum uzunluğu ısınma periyodunun en az 10 katı olmalıdır. Buna göre 2 günlük belirlenen ısınma periyoduna göre ısınma periyodu silindikten sonra kalan koşum uzunluğu 20 gün olmalıdır. Toplam koşum uzunluğu ise en az 22 gün (2 gün ısınma periyodu+ 20 gün kalan koşum uzunluğu) olarak belirlenmelidir. Hastane için kurulan simülasyon modelinde kullanılmasına karar verilen koşum uzunluğu ise 32 gündür.

6.2.3. Tekrar Sayısının Belirlenmesi

Hastane sisteminin kaç gün boyunca çalıştırılacağına (koşum uzunluğuna) karar verdikten sonra kaç adet tekrar sayısı ile çalıştırılacağı da bulunmalıdır. Bunu yapabilmek için Görece Hata (Relative Error) metodu kullanılmıştır.

Göreceli hata metodu:

Görece kesinlik (γ) Denklem 6.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\frac{|\bar{X}(n) - \mu|}{|\mu|} \leq \gamma \quad (6.1)$$

Tekrar sayısı ise Denklem 6.2'deki gibi belirlenir .

$$n_r^*(\gamma) = \min \left\{ i \geq n : \frac{t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{S^2/i}}{|\bar{X}(n)|} \leq \frac{\gamma}{1+\gamma} \right\} \quad (6.2)$$

Tekrar sayısı, Denklem 6.2 kullanılarak ortalamayı %90 olasılıkla maksimum %10 görece hatalı olarak tahmin edebilecek şekilde günlük bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlık sayısı üzerinden hesaplanmıştır. İlk olarak 10 tekrar sayısı ile 30 gün boyunca sistem çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kaç adet tekrarın yapılması gerektiği belirlenmiştir.

Bölümler arası günlük ekipman alışveriş pişmanlığı sayısı performans ölçütü ele alındığında, $\frac{t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{S^2/i}}{|\bar{X}(n)|} \leq \frac{\gamma}{1+\gamma}$ olması için Denklem 6.2 kullanılarak aslında 10 tekrarın yeterli olduğu görülmüş ve ilgili sonuçlar Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Tekrar Sayısı 10 için Sonuçlar

Performans Ölçütü	Ortalama	Varyans	Tekrar Sayısı (i)	$\frac{t_{i-1,1-\alpha/2}\sqrt{S^2/i}}{ \bar{X}(n) }$	$\frac{\gamma}{1+\gamma}$
Bölümler Arası Günlük Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı	6,08	0,62	10	0,07	0,09

Bölümler arası ekipman pişmanlığı sayısı her tekrar için o tekrarda gerçekleşen 30 günlük tüm pişmanlık sayılarının ortalaması alınarak hesaplandığından pişmanlık süreleri ortalamalarının dağılımı normal dağılıma uygundur.

Sistem çıktıları bir bütün halinde düşünüldüğünde, her bir tekrarda tek bir sayı olarak hesaplanıp daha sonradan ortalamaları alınan çıktılar da mevcuttur. Bu nedenle, genel olarak analizlerde güven aralıklarının daha sağlıklı bir şekilde kurulabilmesi amacıyla toplamda 30 tekrarın yapılmasına karar verilmiştir. Tablo 6.4'de 30 tekrarın yeterli olduğunu gösteren sonuçlar mevcuttur.

Tablo 6.4. Tekrar Sayısının Belirlenmesi

Performans Ölçütü	Ortalama	Varyans	Tekrar Sayısı (i)	$\frac{t_{i-1,1-\alpha/2}\sqrt{S^2/i}}{ \bar{X}(n) }$	$\frac{\gamma}{1+\gamma}$
Bölümler Arası Günlük Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı	6,5	0,45	30	0,03	0,09

6.3. Simülasyon Modeli ile Entegre Çalışan Talep Tahmin Modellerinin Oluşturulması

Bu çalışmada geliştirilen minimum talep ve maksimum ekipman-minimum talep ekipman seçim kurallarının RTLS sistemi ile beraber çalışabilmesi için aşağıdaki adımlar kullanılmalıdır:

1. RTLS den alınan saatlik ekipman talep verilerinin birkaç hafta boyunca gözlemlenmesi,

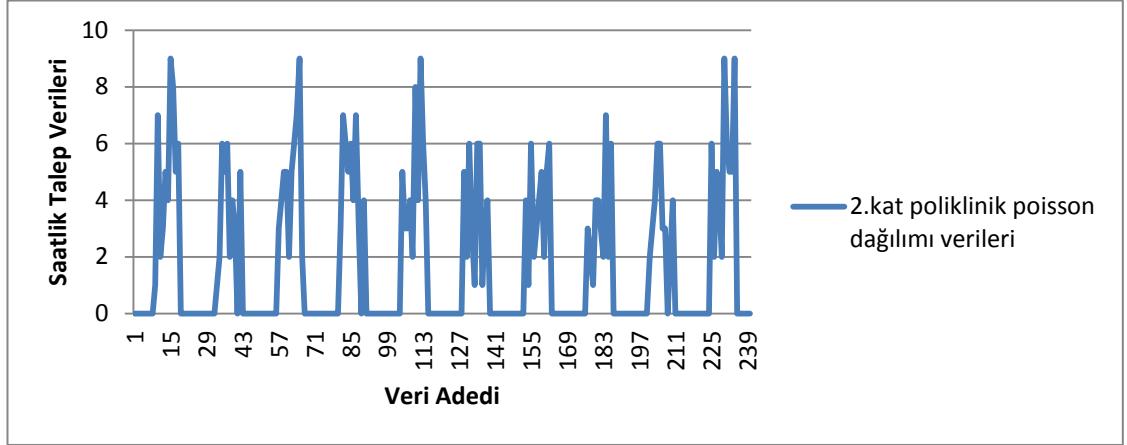
2. Gözlem periyodunun sonunda bu veriler kullanılarak ARIMA tahmin modellerinin oluşturulması,
3. Tahmin modellerinin ve ekipman seçim kurallarının bir yazılım aracılığıyla RTLS'e entegre edilmesi.

Geliştirilen simülasyon modelinin gerçek sistemi tam olarak yansıtması için gözlem periyodunda toplanan verilerin Arena ve Visual Basic eklentisi tarafından otomatik olarak ARIMA modellerine dönüştürülmesi düşünülmüştür. Ancak bu tür bir işlem Arena simülasyon programı ve ARIMA modellerini üreten istatistik programının entegre çalışmasının sağlanamaması sebebiyle mümkün olmamıştır. Bunun yerine birkaç haftalık gözlem periyodunda toplanması beklenen veriler bir poisson sayı üretici aracılığıyla üretilmiş ve bu veriler Statgraphics istatistik programı ile değerlendirilerek ARIMA modelleri oluşturulmuştur. Geliştirilen ARIMA modelleri ve ekipman seçim kuralları Visual Basic dilinde kodlanarak Arena programına entegre edilmiştir

Poisson Dağılımına uygun veri üretirken Eclipse Java Programında Poisson Dağılıma uygun veri üretme kodu yazılmıştır. Poisson sayı üretici olarak nitelendirilen kodun çalışma mantığı şöyledir:

- 1) Literatür verilerine uyarlanmış olarak üretilen ortalama saatlik geliş verileri 24 saatlik olacak şekilde girdi olarak alınır. 24 saat çalışmayan poliklinikler için, polikliniklerin çalışmadığı saatlerin hasta geliş verisi *sıfır* alınır.
- 2) 24 saat olarak girilen seriden 10 adet üretilir (tekrar sayısı) (toplam 10 günlük gözlem periyoduna denk gelecek şekilde 240 adet veri).

Örnek olması amacıyla 2. kat poliklinik için birkaç haftalık üretilen poisson sayıların grafiği Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. 2. Kat Poliklinik için Poisson Dağılımına Uygun Üretilen Verilerin Grafiği

Tüm hastane bölümleri için benzer şekilde yapay veri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veriler kullanılarak Bölüm 5'te anlatıldığı şekilde ARIMA metoduyla her bölüm için talep tahmin modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan tahmin modelleri tahmin eşitlikleri ile beraber Tablo 6.5'te gösterilmiştir. Ayrıca zemin poliklinik haricindeki poliklinikler için *Statgraphics Programı* yardımıyla elde edilen modellerin doğrulama ve tahmin periyodundaki hata istatistik değerleri EK C-Tablo C.1'de verilmiştir.

Varsayım bölümünde de belirtildiği gibi bu çalışmada her ekipman tipi için ayrı bir tahmin modeli kullanılmamaktadır. Talebin yüzde kaçının hangi ekipman tipine ait olduğu girdi olarak alındığından, bir bölümün bir ekipman tipine içinde bulunan saatteki ihtiyacının belirlenmesi için, bu tahmin modellerinden elde edilen saatlik talep sayısı, ilgili bölümün ilgili ekipmana talep yüzdesi ile çarpılarak ekipman talep tahmin bilgisi elde edilmektedir. Ekipman tiplerine göre talebin yüzdelik bilgisi, günlük ortalama talep bilgisi ve kullanılan çizelge tipleri EK D-Tablo D.1'de gösterilmektedir.

Tablo 6.5. Tüm Hastane Bölümleri için ARIMA Tahmin Modelleri ve Eşitlikleri

Hastane Bölümleri	Sezonsal ARIMA Modelleri	ARIMA Model Eşitlikleri ¹
Kat 2 Ana poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kat 1 Ana poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Acil poliklinik	$ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = y_{t-24} + \phi_1 * [y_{t-1} - y_{t-25}] + \varepsilon_t - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Zemin poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Pediyatri poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Ameliyathane	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
B1 Kardiyoloji	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
GYB	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
KVC Yoğun bakım	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kat 2 yatan hasta	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Genel Cerrahi	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kardiyovasküler cerrahi	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Koroner	$ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = y_{t-24} + \phi_1 * [y_{t-1} - y_{t-25}] + \varepsilon_t - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Anjiyo	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$

Ayrıca tüm hastane bölümlerine ait parametre tahmin değerleri , diğer istatistikler ve p-değerleri de toplu bir şekilde Tablo 6.6'da sıralanmıştır.

¹ θ_1 : SMA(1) terimi, ϕ_1 : AR(1) terimi, ε_t : t zamanında hata terimi, y_t : t zamanında tahmin değeri

Tablo 6.6. Tüm Hastane Bölümlerinin Parametre Tahmin ve P-Değerleri

Bölüm/Parametre	Parametre	Tahmin	Standart Hata	t-İstatistiği	P-Değeri
Kat 2 Ana Poliklinik	SMA(1)	0,864947	0,0290208	29,8044	0
Kat 1 Ana Poliklinik	SMA(1)	0,860187	0,0298104	28,8552	0
Acil Poliklinik	AR(1)	0,181137	0,82184	2,20404	0,028588
	SMA(1)	0,841662	0,030091	27,9702	0
Zemin Poliklinik	SMA(1)	0,857945	0,0296323	28,953	0
Pediyatri Poliklinik	SMA(1)	0,831746	0,0370232	22,4655	0
Ameliyathane	SMA(1)	0,835381	0,026763	31,2142	0
B1 Kardiyoloji	SMA(1)	0,820709	0,032015	25,6351	0
GYB	SMA(1)	0,867056	0,0301391	28,7685	0
KVC Yoğun bakım	SMA(1)	0,697719	0,0427365	16,3261	0
Kat 2 Yatan Hasta	SMA(1)	0,752844	0,0417105	18,0493	0
Genel Cerrahi	SMA(1)	0,836237	0,027626	30,2704	0
Kardiyovasküler Cerrahi	SMA(1)	0,59299	0,0455425	13,0206	0
Koroner	AR(1)	0,201421	0,081808	2,46212	0,014602
	SMA(1)	0,845435	0,027344	30,9185	0
Anjiyo	SMA(1)	0,854667	0,028167	30,3431	0

7. ANALİZ

Bu bölümde, geliştirilen ekipman seçim kuralların birbiri ile karşılaştırılması ve duyarlılık analizleri yapılmıştır. Ekipman seçim kurallarının karşılaştırılması aşamasında, bu kuralların belirlenen performans kriterlerine etkisi analiz edilmiştir. Ekipman seçim kurallarının belirlenen performans kriterleri üzerindeki etkisi ayrı ayrı bulunduktan sonra bu kuralların ikili sistem karşılaştırmaları t-testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece seçim kuralları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı ve sisteme getirdiği fayda ya da zarar daha kolaylıkla gözler önüne serilebilmiştir. Sistem karşılaştırmalarının yapılmasından sonra duyarlılık analizleri yapılmış ve sistemde meydana gelecek değişikliklerin her bir ekipman seçim kuralı için performans ölçütlerini ne derece etkilediği analiz edilmiştir.

7.1. Ekipman Seçim Kurallarının Karşılaştırması

7.1.1. Ekipman Seçim Kurallarının Performans Kriterlerine Etkisi

Bu bölümde, hastanenin RTLS bulunmayan mevcut durumunda, RTLS' in olduğu gibi kullanıldığı durumunda ve geliştirilen ekipman seçim kurallarının RTLS ile entegrasyonu durumunda gerçekleşecek işleyişin belirlenen performans kriterlerine etkisi incelenmektedir. Bu sonuçlar hastanenin mevcut talebi, mevcut ekipman sayısı ve mevcut sağlık destek personeli sayısı kullanılarak elde edilmiştir. Mevcut durum (temel durum), minimum mesafe (RTLS'in halihazırdaki kullanım şekli) kuralı ve geliştirilen minimum talep, maksimum ekipman, maksimum ekipman-minimum talep ekipman seçim kurallarının RTLS 'ye entegre edilmesiyle elde edilen performans kriter değerleri ve ekipmanların kullanım oranı değerleri Tablo 7.1 ve Tablo 7.2'de sırasıyla gösterilmektedir. İfade edilen değerler ortalama değerlerdir.

Tablo 7.1. Temel Durum ve Tüm Kuralların Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi için Sonuçları

Kural-Durum /Performans Ölçütü	Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi (dk)	Bölümler Arası Günlük Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı
Temel Durum	7,66 ± 0,04	6,01±0,23
Minimum Mesafe Kuralı	1,86±0,03	9,96±0,24
Minimum Talep Kuralı	2,25±0,04	6,97±0,21
Maksimum Ekipman Kuralı	2,17±0,03	3,69±0,18
Maksimum Ekipman-Minimum Talep Kuralı	2,02±0,03	2,59±0,13

Tablo 7.1'deki sonuçlara göre, *ekipmanın hastaya ulaşma süresi* performans kriteri değeri en düşük olarak ortalama 1,86±0,03 dakika ile minimum mesafe kuralına aittir. Hemşirelerin ekipmanı aradıkları ve ekipmanı bulmak için diğer bölümlere telefon ettikleri temel durumda bu değer ortalama 7,66±0,04 dakikadır. Yani, minimum mesafe kuralı (RTLS'nin olduğu durum) ekipmanın hastaya ulaşma süresi açısından en iyi sonucu vermektedir. Temel durum ile kıyaslandığında minimum mesafe kuralında bu performans kriterinde yaklaşık %76'lık bir iyileştirme elde edilmiş, ekipmanların hastalara daha kısa sürede ulaştırılması sağlanmıştır. Geliştirilen ekipman seçim kurallarında ise ekipmanın hastaya ulaşma ortalama süresi birbirine yakın çıkmakla beraber temel durumdan düşüktür. Minimum talep kuralı ve maksimum ekipman kuralı ile temel duruma nazaran yaklaşık %72'lik bir iyileştirme elde edilirken; maksimum ekipman-minimum talep kombinasyonu olan kural ile ise yaklaşık %74'lük bir iyileşme sağlanabilmektedir. Yani sistem için önerilen her kural bu performans kriteri açısından temel durumdan daha iyi sonuçlar vermektedir.

Bölümler arası günlük ekipman alışverişi pişmanlık sayısı (BAREKAPS) performans kriterine bakıldığında ise, maksimum ekipman-minimum talep kuralının en düşük

değere sahip olduğu görülmektedir. Çünkü kuraldaki ekipman seçimi, talep edilen ekipmanların boş olarak en çok bulunduğu bölümler arasından, içinde bulunulan saatteki ekipman ihtiyacı en düşük olan bölümdeki ekipmanın seçilmesi şeklinde yapılmaktadır. Seçimin bu şekilde yapılması, BAREKAPS değerini etkin bir şekilde düşürmektedir.

Tablo 7.2 Tüm Ekipmanların Kullanım Oranı (%)

Ekipman Kullanım Oranı (%) / Kural-Durum	Temel Durum	Minimum Mesafe Kuralı	Minimum Talep Kuralı	Maksimum Ekipman Kuralı	Maksimum Ekipman-Minimum Talep Kuralı
Ekokardiyografi Kullanım Oranı (%)	10,29+0,15	10,18+0,14	10,25+0,14	10,22+0,18	10,16+0,14
ACT Kullanım Oranı (%)	2,02+0,04	2,01+0,03	1,98+0,03	2,00+0,03	2,04+0,03
Transcutan Kullanım Oranı (%)	0,97+0,02	0,97+0,02	0,98+0,01	0,97+0,02	0,97+0,02
TEE Kullanım Oranı (%)	3,50+0,15	3,40+0,13	3,36+0,1	3,45+0,12	3,43+0,14
EKG Kullanım Oranı (%)	3,13+0,02	3,14+0,02	3,15+0,02	3,15+0,02	3,14+0,02
Nebulizatör Kullanım Oranı (%)	6,82+0,04	6,83+0,05	6,83+0,04	6,85+0,04	6,83+0,05
Tekerlekli Sandalye Kullanım Oranı (%)	4,86+0,05	4,83+0,06	4,83+0,04	4,81+0,06	4,86+0,06

Kullanım oranları tablosu hastanedeki ekipman yeterliliğinin bir göstergesi olarak konulmuştur. Tüm ekipman seçim kurallarında aynı tipteki ekipmanların kullanım oranlarının birbirinden farksız olduğu gözükmektedir. Ekipman sayısı ve ekipman talebinin temel durum, minimum mesafe kuralı ve geliştirilen tüm ekipman seçim kurallarında aynı olması sebebiyle kullanım oranlarının eşit olması da beklenen bir sonuçtur.

7.1.1. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının İkili Karşılaştırmaları

Geliştirilen ekipman seçim kurallarının direkt olarak kıyaslanabilmesi; performans ölçütleri olan ekipmanın hastaya ulaşma ortalama süresi ve bölümler arası günlük ekipman alışverişi pişmanlık sayısının kuraldan kurala gösterdiği farklılıkların daha açık sunulabilmesi için tüm kuralların toplam %95 güven seviyesinde ikili sistem karşılaştırmaları paired t-test yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Tablo 7.3,

ekipmanların hastaya ulaşma süresi (dk) için elde edilen güven aralıklarını göstermektedir. Negatif aralıklar, tablonun sol kısmında belirtilen ekipman seçim kurallarının tablonun yukarı kısmında belirtilen kurallardan daha düşük ekipmanın hastaya ulaşma süresine sahip olduğunu belirtmektedir. Pozitif aralıklar sol sütundaki ekipman seçim kuralı ile elde edilen ekipmanın hastaya ulaşma süresinin yukarıdaki kural ile elde edilen süreden daha uzun olduğunu göstermektedir. Karşılaştırma yaparken geliştirilen üç adet kural, temel durum ve minimum mesafe kuralı ile kıyaslanacağı gibi birbiri ile de karşılaştırılması yapılacak; yani toplamda beş adet oluşumun (kurallar ve temel durum) uygulandığı sistemler göze alınacaktır. Bu nedenle belirlenen toplam %95 güven aralığının sağlanabilmesi, Bonferroni eşitsizliğinin yakalanabilmesi için karşılaştırma başına %99,5'lik güven aralığının oluşturulması gerekir [34].

Tablo 7.3. Temel Durum ve Tüm Kuralların Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi (dakika) Açısından Kıyaslanması

Kural-Durum/Kural-Durum	Temel Durum	Minimum Mesafe Kuralı	Minimum Talep Kuralı	Maksimum Ekipman Kuralı	Maksimum Ekipman-Minimum Talep Kuralı
Temel Durum		[5,72 5,88]	[5,32 5,5]	[5,41 5,57]	[5,57 5,73]
Minimum Mesafe Kuralı	[-5,88 -5,72]		[-0,46 -0,32]	[-0,37 -0,25]	[-0,21 -0,09]
Minimum Talep Kuralı	[-5,5 -5,32]	[0,32 0,46]		[0,01 0,15]	[0,16 0,32]
Maksimum Ekipman Kuralı	[-5,57 -5,41]	[0,25 0,37]	[-0,15 -0,01]		[0,09 0,23]
Maksimum Ekipman-Minimum Talep Kuralı	[-5,73 -5,57]	[0,09 0,21]	[-0,32 -0,16]	[-0,23 -0,09]	

Tablo 7.3'e bakıldığında, güven aralıklarının sıfırı içermediği, dolayısıyla hesaplanan farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlemlenmektedir. Sonuçlardan minimum mesafe kuralının temel duruma ve diğer kurallara göre daha düşük ekipmanın hastaya ulaşma süresine sahip olduğu görülebilir. Minimum talep kuralının ise temel duruma göre daha düşük; minimum mesafe kuralı, maksimum

ekipman kuralı ve maksimum ekipman-minimum talep kuralına göre ise daha yüksek ekipmanın hastaya ulaşma süresine sahip olduğu görülmektedir. Maksimum ekipman kuralı temel durum ve minimum talep kuralından daha düşük; minimum mesafe ve maksimum ekipman-minimum talep kuralından ise yüksek bir ekipmanın hastaya ulaşma süresine sahiptir. Maksimum ekipman-minimum talep kuralının ise sadece minimum mesafe kuralından daha yüksek bir ekipman ulaşma süresi sonucu verdiği görülebilir. Sonuç olarak bu performans ölçütü açısından en iyi sonucu minimum mesafe kuralı, ikinci olarak da maksimum ekipman-minimum talep kuralı vermektedir. Ayrıca tüm kurallar temel duruma göre daha iyi sonuçlar vermişlerdir.

Minimum mesafe kuralı ve maksimum ekipman-minimum talep kuralı uygulandığında ekipmanı hastaya ulaştırma süreleri arasındaki farkın 5,4 ve 12,6 saniye arasında olduğu görülmektedir. Bu uygulamalar arasında son derece düşük bir süre farkı olmasının sebebi şu şekilde açıklanabilir: Minimum mesafe kuralı ekipmanı aldığı bölümün sadece yakınlığını incelemekte ancak bölümlerin durum ve ihtiyaçlarını göz ardı etmektedir. Bu durumda minimum mesafe kuralıyla hareket edildiğinde ekipmanı veren bölüm kendi ihtiyacını daha uzaktaki bir bölümden karşılamak zorunda kalabilir. Bu da ortalamada ekipmanın hastaya ulaşma süresinin uzamasına yol açar. Maksimum ekipman-minimum talep kuralı seçimini mesafeyi hesaba katmadan, sadece ekipmanı verecek bölümün durumunu inceleyerek yapmaktadır. Böylelikle bölümler daha sık bir şekilde kendi bölümlerinde aradıkları ekipmanı bulabilmekte ve başka bölümlerden getirmek zorunda kalmamaktadır. Bu durum da ekipmanın hastaya ulaşma sürelerini kısaltmaktadır.

Tablo 7.4'de ekipman seçim kuralları, bölümler arası günlük ekipman alışverişi pişmanlığı sayısı (BAREKAPS) performans kriteri açısından karşılaştırılmışlardır. Negatif aralık, sol sütunda sıralanmış ekipman seçim kurallarının yukarıda sıralanmış kurallardan daha düşük bölümler arası günlük ekipman alışveriş pişmanlığı sayısına sahip olduğunu göstermektedir. Pozitif aralık için ise tersi bir durum söz konusudur.

Tablo 7.4. Temel Durum ve Tüm Kuralların Bölümler Arası Günlük Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Kıyaslanması

Kural-Durum/ Kural-Durum	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman- Minimum Talep
Temel Durum		[-4,44 -3,46]	[-1,43 -0,51]	[1,88 2,74]	[3,02 3,8]
Minimum Mesafe	[2,9 0,47]		[2,52 3,46]	[5,82 6,7]	[6,96 7,76]
Minimum Talep	[0,51 1,43]	[-3,46 -2,52]		[2,87 3,69]	[4 4,74]
Maksimum Ekipman	[-2,74 -1,88]	[-6,7 -5,82]	[-3,69 -2,87]		[0,77 1,43]
Maksimum Ekipman -Minimum Talep	[-3,8 -3,02]	[-7,76 -6,96]	[-4,74 -4]	[-1,43 -0,77]	

Tablo 7.4'teki sonuçlardan görülmektedir ki, maksimum ekipman-minimum talep kuralı diğer tüm kurallardan daha iyi bir BAREKAPS değeri sonucuna sahiptir. Elinde en fazla boş ekipman olan ve içinde bulunulan saatte talep edilen ekipman için tahmin değeri en küçük olan bölümden ekipman seçimi yapıldığında ekipman alışverişi pişmanlığı sayısının diğerlerine nazaran düşük çıkması beklenen bir sonuçtur. Minimum mesafe kuralının ise temel durumdan daha yüksek BAREKAPS değerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, minimum mesafe kuralında, ekipman seçimi yapılırken ekipmanı veren departmanın durumunun ve ihtiyaçlarının göz ardı edilmesidir. Ekipman talebi yüksek olan bölümlerin sürekli en yakınlarındaki bölümün ekipmanını almaları, ekipmanı veren bölümlerin düzenli olarak ekipmansız kalmasına ve kendi ihtiyaçları olduğunda başka bölümlerden talep yaparak BAREKAPS değerinin yükselmesine sebep olmaktadır. Temel durumda da bölümlerin ekipman ihtiyaçları göz ardı edilmesine rağmen ekipman seçimi bölümlerden rastgele yapıldığı için BAREKAPS değerleri minimum mesafe modeline göre daha düşük çıkmaktadır. Bu karşılaştırma bu çalışmada geliştirilen ekipman seçim kurallarının etkinliğini göstermektedir. Minimum talep ile maksimum ekipman-minimum talep kurallarının karşılaştırması ise ekipmanı veren bölümün o alete olan talep tahmini düşük olsa bile elinde mevcut ekipman azlığından dolayı bir sıkıntı çekebileceğini göstermektedir.

Minimum mesafe, maksimum talep ve maksimum ekipman-minimum talep kurallarının uygulandığı sistemler ekipmanın hastaya ulaşma süresi ve BAREKAPS performans kriterleri açısından beraber incelendiğinde görülmektedir ki bölümlerin sadece ekipman ihtiyaçlarını veya sadece ellerindeki boşta ekipman sayısını değerlendirerek seçim yapılması yerine bu bilgiler birlikte değerlendirilerek seçim yapıldığında hem ekipmanın hastaya ulaşma süresi hem de ekipman alışverişi pişmanlık sayısı düşmektedir.

7.2. Duyarlılık Analizleri

Duyarlılık analizi bölümünde, oluşturulan ekipman seçim kuralları talep hızı değişimi ve ortalama saatlik talep yapısı değişimi senaryoları için incelenmiştir. Talep hızı değişiminin ve saatlik talep yapısı değişiminin performans ölçütlerine olan etkisini daha açık bir şekilde görebilmek için sağlık destek personelinin (SDP) sınırsız olduğu varsayımı yapılmıştır. Sağlık destek personelinin sınırsız olduğu varsayımı ile ekipmanın hastaya ulaşma süresinin, talebi yapan bölümün boşta olan sağlık destek personelini ararken kaybettiği zamanı içermemesi sağlanmaktadır.

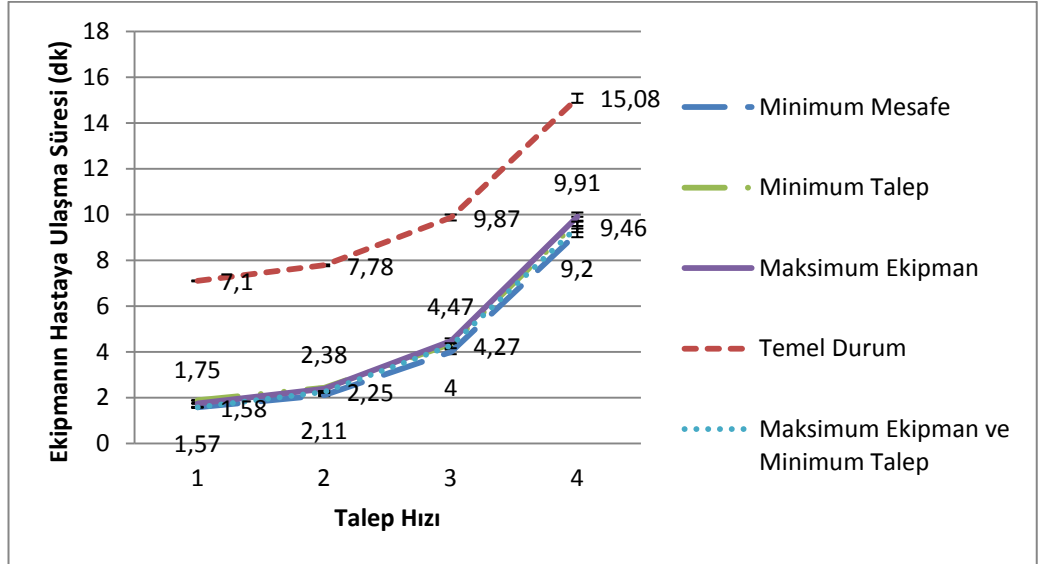
7.2.1. Talep Hızına Karşı Duyarlılık Analizi

Önerilen ekipman seçim kuralları, değişen taleplerin denendiği senaryolar için gözlemlenmiş, ekipman seçim kurallarının duyarlılıkları artan talep ile beraber test edilmiş, talep artışının ekipman seçim kuralları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Mevcut talepler, her bir hastane bölümü ve her bir ekipman tipi için 2, 3 ve 4 katına çıkartılmıştır. Talepler artırılırken tahminle alakalı ekipman seçim kuralları olan minimum talep ile maksimum ekipman-minimum talep kurallarının sezonsal ARIMA metodu ile oluşturulan tahmin modelleri yeniden kurularak güncellenmiş ve ilgili tablolar EK E'de gösterilmiştir. Tablo 7.5'te ekipman seçim kuralları, artan talebe göre değişen ekipmanların hastaya ulaşma süresi için kıyaslanmıştır.

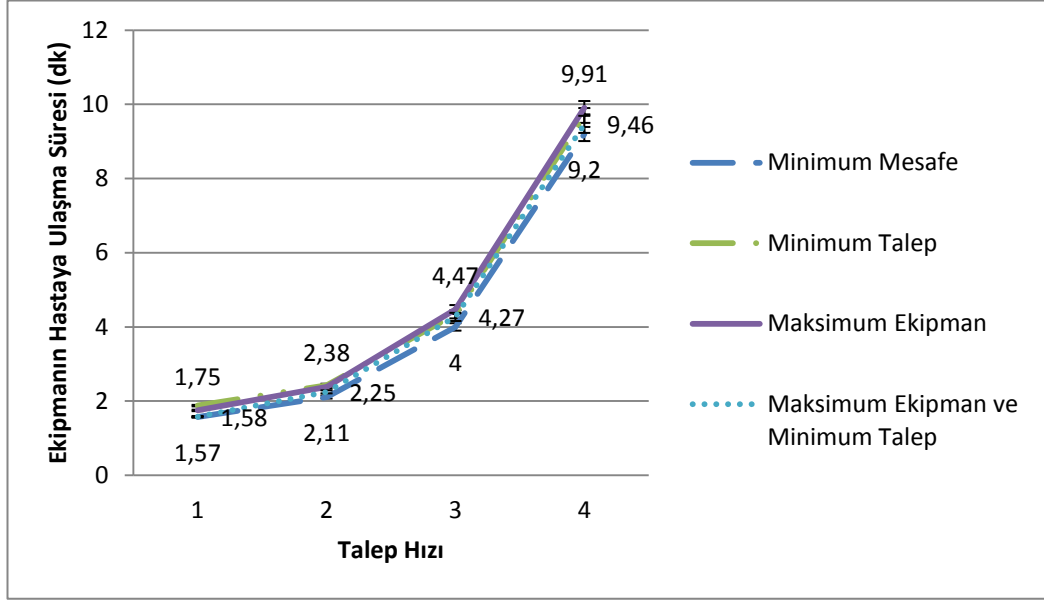
Tablo 7.5. Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresinin (dakika) Değişen Talebe Göre Değerleri

Senaryo(Talep Hızı)/Kural-Durum	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman-Minimum Talep
Talep x 1	7,1±0,02	1,57±0,01	1,88±0,02	1,75±0,02	1,58±0,02
Talep x 2	7,78±0,04	2,11±0,04	2,43±0,04	2,38±0,04	2,25±0,04
Talep x 3	9,87±0,13	4,00±0,1	4,34±0,11	4,47±0,12	4,27±0,11
Talep x 4	15,08±0,2	9,2±0,19	9,7±0,2	9,91±0,18	9,46±0,23

Tabloda gösterilen sayısal değerlerin daha iyi anlaşılması açısından ekipmanların değişen talep hızlarına göre gösterdikleri yapının grafiği Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Ayrıca temel durumun haricinde sadece ekipman seçim kurallarının değişen talep hızı senaryolarına göre gösterildiği grafik de Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Şekil 7.2, ekipman seçim kuralları sonuçlarının, güven aralıkları gösterimlerinin daha net algılanabilmesi için sunulmuştur.



Şekil 7.1 . Değişen Talep Hızına Göre Temel Durum ve Ekipman Seçim Kuralları için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Grafiği



Şekil 7.2 . Değişen Talep Hızına Göre Temel Durum Hariç Ekipman Seçim Kuralları için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Grafiği

Değişen talep hızlarına göre sistem karşılaştırmaları yapılırken, tüm ekipman seçim kuralları ve temel durum için talep hızının 2,3 ve 4 katına çıkarıldığı senaryolar incelenmiş, güven aralıkları oluşturulmuş ve performans kriterleri açısından sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığına bakılmıştır. Mevcut durum (talepx1) için senaryoların karşılaştırılması sonuçları Tablo 7.6'da gösterilmektedir.

Tablo 7.6. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx1 Senaryosu için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Karşılaştırılması

Senaryo Talepx1 / Senaryo Talepx1	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman-Minimum Talep
Temel Durum		[5,50 5,57]	[5,19 5,27]	[5,31 5,40]	[5,48 5,57]
Minimum Mesafe	[-5,57 -5,50]		[-0,34 -0,27]	[-0,21 -0,14]	[-0,05 0,03]
Minimum Talep	[-5,27 -5,19]	[0,27 0,34]		[0,09 0,16]	[0,26 0,34]
Maksimum Ekipman	[-5,40 -5,31]	[0,14 0,21]	[-0,16 -0,09]		[0,13 0,21]
Maksimum Ekipman-Minimum Talep	[-5,57 -5,48]	[-0,03 0,05]	[-0,34 -0,26]	[-0,21 -0,13]	

Talep hızı mevcut sistemdeki ile aynı (talepx1) ancak SDP sayısı sonsuz olduğunda minimum mesafe ve maksimum ekipman-minimum talep senaryoları arasında ekipmanın hastaya ulaşma performans kriteri açısından anlamlı bir fark gözükmemektedir. Bu durum, düşük talep durumunda bu iki kural arasındaki farkın daha çok maksimum ekipman-minimum talep kuralıyla uzak mesafeye gönderilen SDP'lerin doluluk oranlarının artması ve ihtiyaç anında SDP'lerin daha fazla beklenmek zorunda kalması ile açıklanabilir.

Tablo 7.7'de ise talep hızının 2 katına çıktığı durumdaki ekipmanın hastaya ulaşma süresinin senaryo karşılaştırması sonuçları mevcuttur. Talep hızının 3 ve 4 katına çıkartıldığı durumlardaki ekipmanın hastaya ulaşma süresi açısından senaryo karşılaştırması sonuçları ise sırasıyla Tablo 7.8 ve Tablo 7.9'da sunulmuştur.

Tablo 7.7. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx2 Senaryosu için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Karşılaştırılması

Senaryo Talepx2 /Senaryo Talepx2	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman- Minimum Talep
Temel Durum		[5,59 5,75]	[5,26 5,43]	[5,32 5,49]	[5,44 5,62]
Minimum Mesafe	[-5,75 -5,59]		[-0,41 -0,24]	[-0,35 -0,19]	[-0,23 -0,06]
Minimum Talep	[-5,43 -5,26]	[0,24 0,41]		[-0,04 0,14]	[0,09 0,27]
Maksimum Ekipman	[-5,49 -5,32]	[0,19 0,35]	[-0,14 0,04]		[0,04 0,22]
Maksimum Ekipman - Minimum Talep	[-5,62 -5,44]	[0,06 0,23]	[-0,27 -0,09]	[-0,22 -0,04]	

Tablo 7.8. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx3 Senaryosu için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Karşılaştırılması

Senaryo Talepx3 /Senaryo Talepx3	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman- Minimum Talep
Temel Durum		[5,52 5,94]	[5,16 5,62]	[5,03 5,50]	[5,27 5,71]
Minimum Mesafe	[-5,94 -5,52]		[-0,56 -0,12]	[-0,70 -0,24]	[-0,45 -0,03]
Minimum Talep	[-5,62 -5,16]	[0,12 0,56]		[-0,38 0,11]	[-0,13 0,33]
Maksimum Ekipman	[-5,50 -5,03]	[0,24 0,70]	[-0,11 0,38]		[-0,01 0,47]
Maksimum Ekipman - Minimum Talep	[-5,27 -5,71]	[0,03 0,45]	[-0,33 0,13]	[-0,47 0,01]	

Tablo 7.9. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx4 Senaryosu için Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Karşılaştırılması

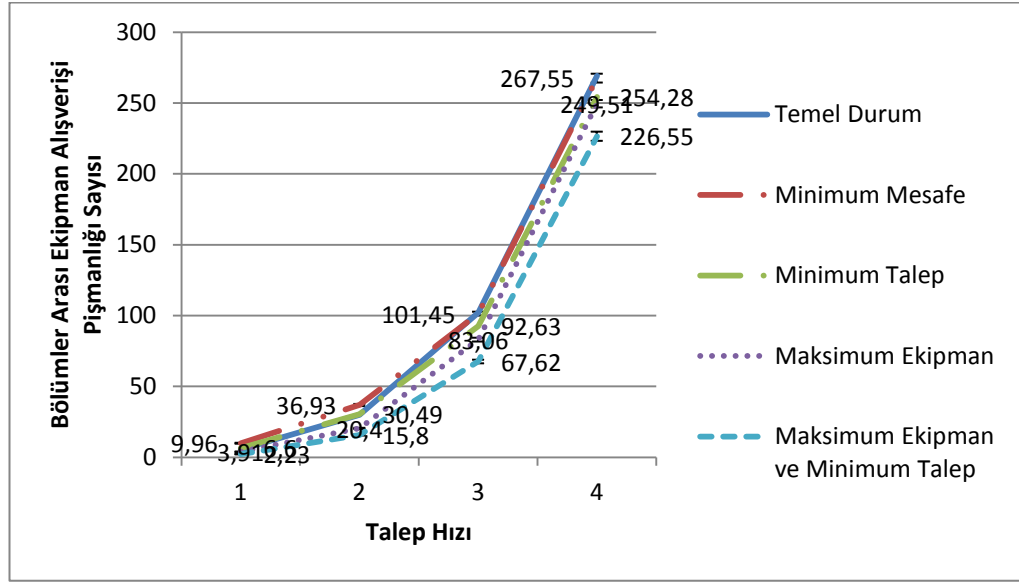
Senaryo Talepx4 /Senaryo Talepx4	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman- Minimum Talep
Temel Durum		[5,47 6,28]	[4,97 5,80]	[4,77 5,57]	[5,18 6,07]
Minimum Mesafe	[-6,28 -5,47]		[-0,90 -0,08]	[-1,10 -0,32]	[-0,69 0,19]
Minimum Talep	[-5,80 -4,97]	[0,08 0,90]		[-0,62 0,19]	[-0,21 0,69]
Maksimum Ekipman	[-5,57 -4,77]	[0,32 1,10]	[-0,19 0,62]		[0,02 0,89]
Maksimum Ekipman - Minimum Talep	[-6,07 -5,18]	[-0,19 0,69]	[-0,69 0,21]	[-0,89 -0,02]	

Tablo 7.6'da minimum mesafe ile maksimum ekipman-minimum talep kurallarının uygulandığı talep x 1 senaryoları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Ancak talep hızı 2 katına çıktığı zaman (Tablo 7.7) minimum mesafe kuralının maksimum ekipman-minimum talep kuralına göre daha düşük ekipmanın hastaya ulaştırılma süresine sahip olduğu görülmektedir. Talep 3 ve 4 katına çıkartıldığında ele alınan senaryolarda maksimum ekipman-minimum talep kuralı ile diğer ekipman seçim kuralları arasındaki fark aralığı sıfırı içermekte ya da sıfıra sağdan veya soldan çok yaklaşmaktadır, dolayısıyla sistemler arasında belirgin bir fark olduğu söylenemez. Ekipmanın hastaya ulaşma süresi açısından ekipman seçim kurallarının performansı artan talep hızıyla birlikte birbirlerine yaklaşmaktadır.

Tablo 7.10. Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısının Değişen Talebe Göre Değerleri

Senaryo(Talep Hızı)/Kural-Durum	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman - Minimum Talep
Talep x 1	5,60±0,22	9,96±0,33	6,60±0,2	3,91±0,24	2,23±0,16
Talep x 2	29,94±0,63	36,93±0,76	30,49±0,57	20,40±0,45	15,80±0,41
Talep x 3	102,06±1,44	101,45±1,31	92,63±1,5	83,06±1,35	67,62±1,28
Talep x 4	269,23±2,21	267,55±3,11	254,28±2,18	249,51±2,62	226,55±3,24

Tablo 7.10'da bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlığı sayısının farklılaşan taleplerle beraber değişimi sayısal olarak ifade edilmiştir. Bu değişimin grafiksel gösterimi ise Şekil 7.3'da verilmiştir.



Şekil 7.3. Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısının Değişen Talebe Göre Grafiği

Beklendiği gibi talep hızı arttıkça bölümlerin ekipmanlara olan ihtiyacı daha çok olacaktır. Talepteki artış nedeniyle başka bölümlere ekipmanları vermek zorunda olma durumları da artacaktır. Bölümler arası ekipman alışverişi trafiği hızlanacaktır. Bu istatistiğin oluşturulan ekipman seçim kuralları açısından farklarını görebilmek için artan talep hızlarına göre ikili sistem karşılaştırmaları yapılmış, Tablo 7.11, Tablo 7.12, Tablo 7.13, Tablo 7.14'te gösterilmiştir.

Tablo 7.11. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx1 Senaryosu için Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Karşılaştırma Sonuçları

Senaryo Talepx1/ Senaryo Talepx1	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman- Minimum Talep
Temel Durum		[-4,93 -3,76]	[-1,42 -0,54]	[1,22 2,19]	[2,99 3,79]
Minimum Mesafe	[3,76 4,93]		[2,80 3,94]	[5,45 6,65]	[7,20 8,27]
Minimum Talep	[0,54 1,42]	[-3,94 -2,80]		[2,22 3,15]	[3,99 4,75]
Maksimum Ekipman	[-2,19 -1,22]	[-6,65 -5,45]	[-3,15 -2,22]		[1,26 2,11]
Maksimum Ekipman- Minimum Talep	[-3,79 -2,99]	[-8,27 -7,20]	[-4,75 -3,99]	[-2,11 -1,26]	

Tablo 7.12. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx2 Senaryosu için Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Karşılaştırma Sonuçları

Senaryo Talepx2/ Senaryo Talepx2	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman- Minimum Talep
Temel Durum		[-8,37 -5,44]	[-1,72 0,80]	[8,55 10,85]	[13,11 15,34]
Minimum Mesafe	[5,44 8,37]		[5,03 7,86]	[15,29 17,92]	[19,84 22,42]
Minimum Talep	[-0,80 1,72]	[-7,86 -5,03]		[15,29 17,92]	[19,84 22,42]
Maksimum Ekipman	[-10,85 -8,55]	[-17,92 -15,29]	[-17,92 -15,29]		[9,08 11,24]
Maksimum Ekipman- Minimum Talep	[-15,34 -13,11]	[-22,42 -19,84]	[-22,42 -19,84]	[-11,24 -9,08]	

Tablo 7.13. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx3 Senaryosu için Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Karşılaştırılması

Senaryo Talepx3/ Senaryo Talepx3	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman- Minimum Talep
Temel Durum		[-2,89 3,12]	[5,74 12,12]	[15,46 21,55]	[30,96 36,92]
Minimum Mesafe	[-3,12 2,89]		[5,87 11,77]	[15,61 21,18]	[31,11 36,55]
Minimum Talep	[-12,12 -5,74]	[-11,87 -5,87]		[6,59 12,56]	[22,09 27,94]
Maksimum Ekipman	[-21,55 -15,46]	[-21,18 -15,61]	[-12,56 -6,59]		[12,67 18,20]
Maksimum Ekipman -Minimum Talep	[-36,92 -30,96]	[-36,55 -31,11]	[-27,94 -22,09]	[-18,20 -12,67]	

Tablo 7.14. Tüm Ekipman Seçim Kurallarının Talepx4 Senaryosu için Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Karşılaştırılması

Senaryo Talepx4/Senaryo Talepx4	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman- Minimum Talep
Temel Durum		[-3,99 7,34]	[10,34 19,56]	[14,63 24,81]	[36,85 48,51]
Minimum Mesafe	[-7,34 3,99]		[7,63 18,91]	[12,00 24,08]	[34,33 47,68]
Minimum Talep	[-19,56 -10,34]	[-18,91 -7,63]		[-0,29 9,83]	[21,93 33,53]
Maksimum Ekipman	[-14,63 -24,81]	[-24,08 -12,00]	[-9,83 0,29]		[16,76 29,15]
Maksimum Ekipman ve Minimum Talep	[-48,51 -36,85]	[-47,68 -34,33]	[-33,53 -21,93]	[-29,15 -16,76]	

Minimum talep kuralının uygulanması, beklendiği gibi tüm talep oranlarında minimum mesafe kuralına göre daha düşük BAREKAPS değerleri elde edilmesini sağlamıştır. Bu durum bölümlerin talep tahminleri sonucu elde edilen bilginin değerini göstermektedir. Minimum talep kuralının uygulandığı senaryolar, maksimum ekipman ve maksimum ekipman-minimum talep kuralının uygulandığı senaryolar ile karşılaştırıldığında BAREKAPS değerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu farkın sebebi şu şekilde açıklanabilir: Minimum talep kuralının uygulandığı senaryoda talep edilen ekipmanın tüm bölümler tarafından bu ekipmana en az ihtiyacı olduğu düşünülen bölümden alınması, o bölümün BAREKAPS ölçütü değerinin artırmaktadır. Maksimum ekipman kuralı, bölümlerin elindeki maksimum ekipman miktarını dikkate aldığından bu problem bu kuralda yaşanmamaktadır. Tüm kurallar arasında tüm talep hızlarında en etkin kuralın, hem ekipman sayısını hem de kullanım miktarını göz önüne alan maksimum ekipman-minimum talep kuralı olduğu gözlemlenmektedir.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde maksimum ekipman-minimum talep kuralının ekipmanın hastaya ulaşma süresini belirgin bir şekilde artırmadığı ancak bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlığı sayısını etkin bir şekilde düşürdüğü görülmektedir.

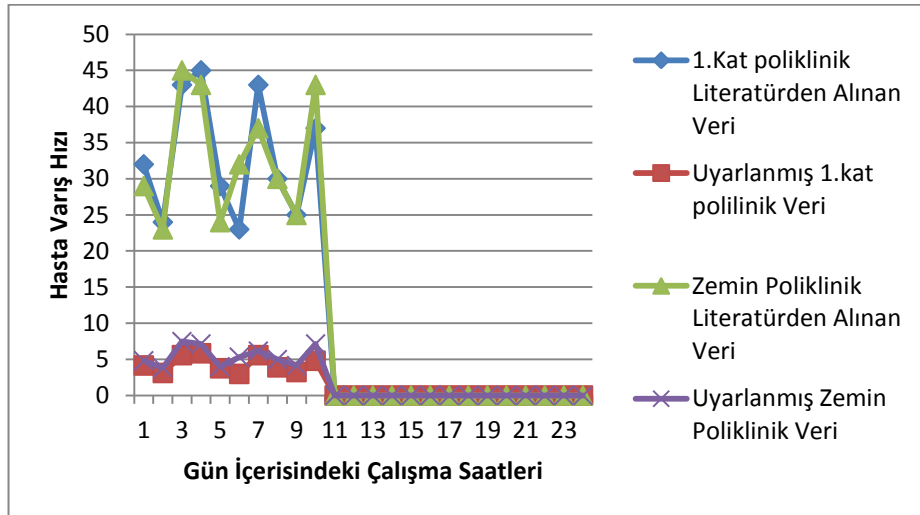
7.2.2. Değişen Saatlik Ortalama Talep Yapısına Duyarlılık

Ekipman seçim kurallarında kullanılacak olan tahmin modelleri oluşturulurken, Bölüm 6'da belirtildiği üzere, literatürde benzer hastane bölümleri için yapılmış çalışmalardan elde edilen yapılara uyarlanmış saatlik veriler (talep kalıbı uyarlaması) kullanılmıştır. Bunun nedeni TOBB ETÜ Hastanesi'nden elde edilebilen mevcut verilerin ortalama günlük talep verisi olması ancak tahminler saatlik olarak yapılacağından, bu ortalama günlük talep verilerinin saatlik talep verilerine dönüştürülmesindeki gerekliliktir. Bölüm 6'da ifade edildiği gibi 3 ana kategoride incelenen hastane bölümleri için literatürden saatlik talep verileri elde edilmiştir. Ancak, aynı kategoriye dahil olan her bir hastane bölümü için literatürden alınan ortalama saatlik talep verisi kalıbı aynı olmakta, aynı kategoriye dahil olan hastane bölümleri aynı saatlik verilerin dağılım kalıbına benzetilmeye çalışılmaktadır.

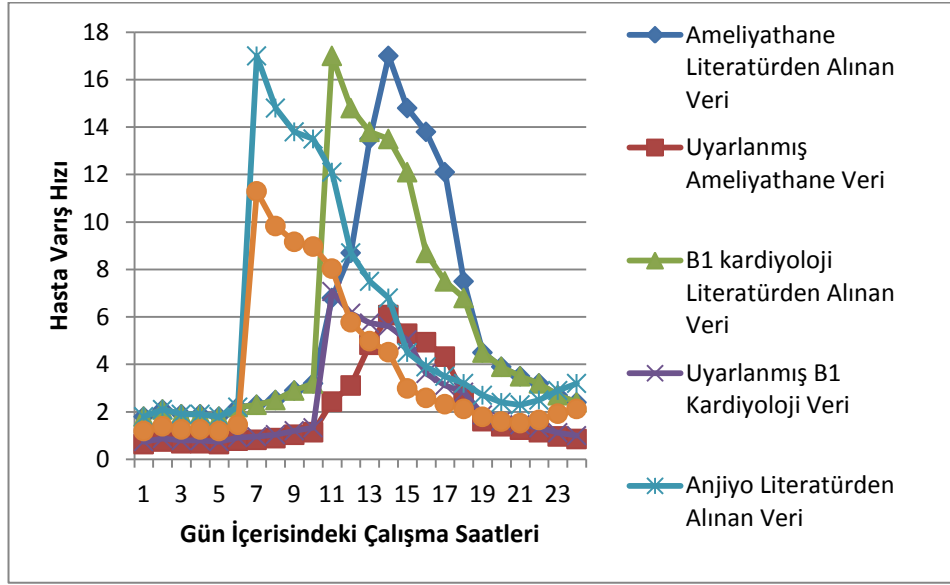
Örneğin ayakta tedavi gören hasta kategorisine ait olan 2. kat poliklinik, 1.kat ana poliklinik ve zemin polikliniğinin her birinin kendine has günlük ortalama talepleri kullanılarak, literatürden elde edilen ayakta tedavi gören hasta bölümleri kalıplarına benzer saatlik talep yapıları elde edilmektedir. Ancak gerçekte olması gereken her bir hastane bölümü için ayrı ayrı saatlik ortalama talep verisinin elde edilebilmesidir. Fakat gerçek veri bulmadaki ve literatürden daha kapsamlı veri elde etmedeki sıkıntılardan dolayı bu düşünce gerçekleştirilememiştir.

Bu kısımda, “her bir hastane bölümü için, saatlik ortalama talep dağılım yapısı farklı olsa idi oluşturulan ekipman seçim kuralları dahilinde incelenen performans ölçütlerinin duyarlılığı nasıl olurdu?” Sorusunun cevabı yanıtlanmaya çalışılmıştır.

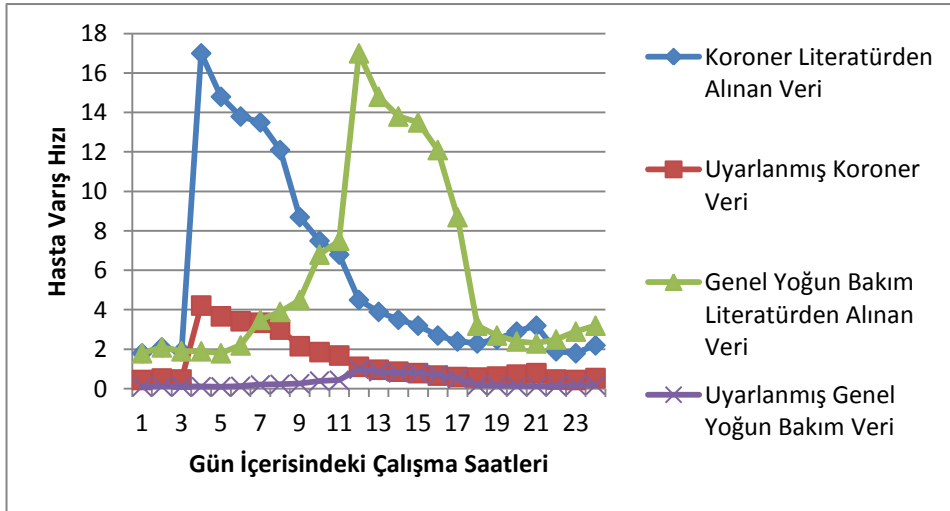
Üç ana kategori için literatürden elde edilen saatlik talep verilerinin ortalaması korunmuştur. Fakat, her bir hastane bölümünün literatürden elde edilen bu verileri farklı yapılarla kullanmaları sağlanmıştır. Değişen talep yapılarına göre her poliklinik için oluşturulan grafikler Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de gösterilmiştir.



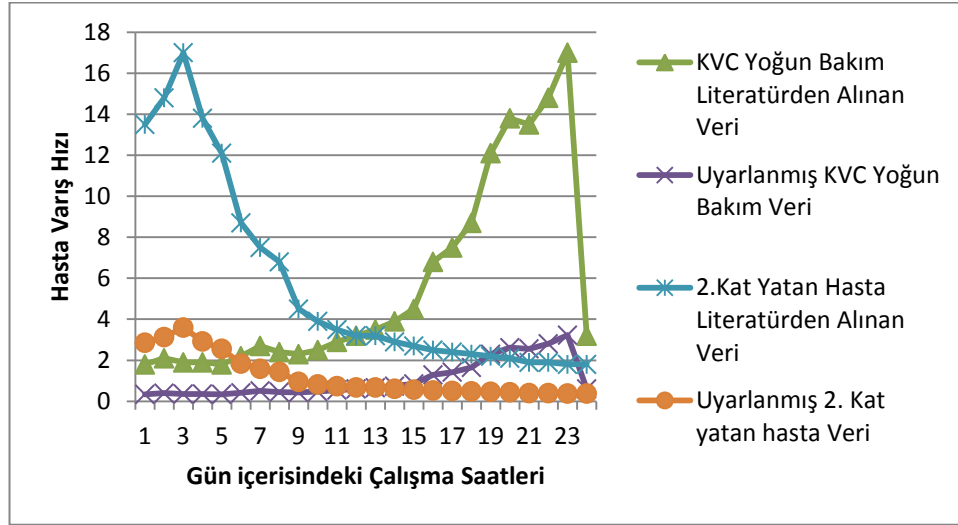
Şekil 7.4. Değişen Talep Yapılarına Göre 1.Kat ve Zemin Polikliniğine Uyarlanmış Yapı Grafiği



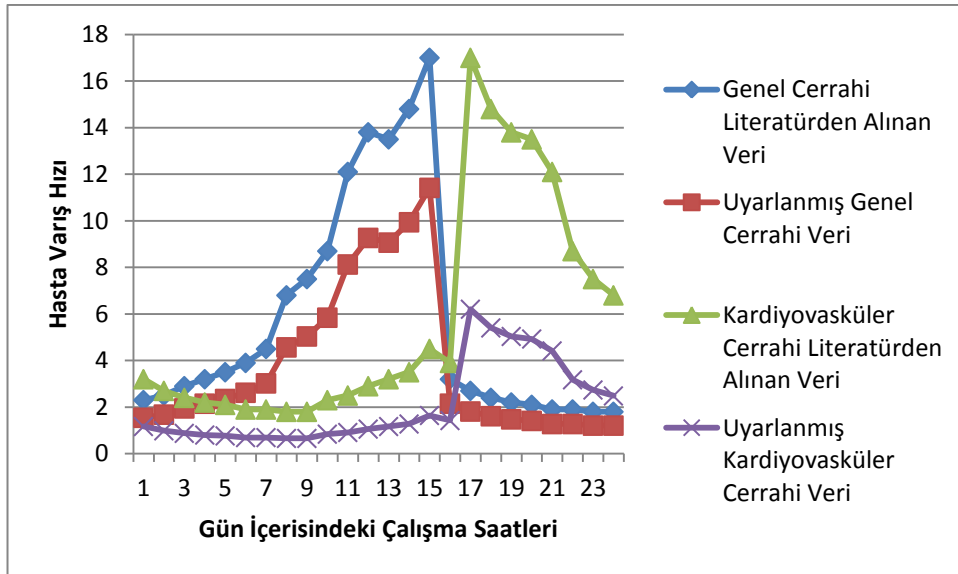
Şekil 7.5. Değişen Talep Yapılarına Göre Ameliyathane, Anjiyo ve B1 Kardiyoloji Polikliniğine Uyarlanmış Yapı Grafığı



Şekil 7.6. Değişen Talep Yapılarına Göre Koroner ve Genel Yoğun Bakıma Uyarlanmış Yapı Grafığı



Şekil 7.7. Değişen Talep Yapılarına Göre KVC Yoğun Bakım ve 2.Kat Yatan Hasta Polikliniğine Uyarlanmış Yapı Grafiği



Şekil 7.8. Değişen Talep Yapılarına Göre Genel Cerrahi ve Kardiyovasküler Cerrahi Polikliniğine Uyarlanmış Yapı Grafiği

Böylece günün farklı saatlerinde her bölüm için gerçekleşen farklı talep yoğunluklarına modelin nasıl bir tepki verdiği analiz edilebilecektir. Bu prosedür uygulanırken yeni sezonsal ARIMA modelleri oluşturulmuş akabinde yeni tahmin eşitlikleri hazırlanmıştır. Her bir bölüm için oluşturulan bu yeni tahmin modelleri

Arena'ya entegre edilmiştir. Her bir ekipman seçim kuralı için SDP'nin sonsuz olduğu mevcut sistem (talepx1) durumunda incelenen performans ölçütlerine dair sonuçlar alınmıştır. Yeni tahmin modelleri ile beraber elde edilen performans ölçütlerinin sonuçları Tablo 7.15 'de gösterilmektedir. İfade edilen değerler ortalama değerlerdir.

Tablo 7.15. Değişen Saatlik Talep Yapısına Göre Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresinin (dakika) Talep Yapısının Aynı Olduğu Durumla Kıyaslanması

Senaryo(Talep Yapısı Durumu)/Kural-Durum	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman-Minimum Talep
Her Polikliniğin Saatlik Talep Yapısı Farklı	6,98±0,02	1,5±0,01	1,74±0,02	1,63±0,02	1,52±0,01
Her Polikliniğin Saatlik Talep Yapısı Aynı	7,1±0,22	1,57±0,33	1,88±0,2	1,75±0,24	1,58±0,16

Tüm bölümlerin talep yapısı aynı olduğunda ortaya çıkan ikili karşılaştırma sonuçları Tablo 7.16'da mevcuttur. Değişen talep yapısına göre ekipman seçim kuralları arasındaki farkın daha iyi anlaşılabilmesi için ekipman seçim kurallarının uygulandığı değişen saatlik talep yapısına göre elde edilen senaryoların ekipmanın hastaya ulaşma süresi açısından ikili sistem karşılaştırmaları yapılmış, Tablo 7.17' de gösterilmiştir.

Tablo 7.16. Talep Yapısının Aynı Olduğu Senaryo için Tüm Kuralların Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Kıyaslanması

Kural-Durum/ Kural-Durum	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman- Minimum Talep
Temel Durum		[5,50 5,57]	[5,19 5,27]	[5,31 5,40]	[5,48 5,57]
Minimum Mesafe	[-5,57 -5,50]		[-0,34 -0,27]	[-0,21 -0,14]	[-0,05 0,03]
Minimum Talep	[-5,27 -5,19]	[0,27 0,34]		[0,09 0,16]	[0,26 0,34]
Maksimum Ekipman	[-5,40 -5,31]	[0,14 0,21]	[-0,16 -0,09]		[0,13 0,21]
Maksimum Ekipman - Minimum Talep	[-5,57 -5,48]	[-0,03 0,05]	[-0,34 -0,26]	[-0,21 -0,13]	

Tablo 7.17. Değişen Saatlik Talep Yapısı Senaryosu için Tüm Kuralların Ekipmanın Hastaya Ulaşma Süresi Açısından Kıyaslanması

Kural-Durum/ Kural-Durum	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman ve Minimum Talep
Temel Durum		[5,47 5,55]	[5,25 5,33]	[5,34 5,42]	[5,45 5,53]
Minimum Mesafe	[-5,55 -5,47]		[-0,25 -0,19]	[-0,16 -0,10]	[-0,04 0,01]
Minimum Talep	[-5,33 -5,25]	[0,19 0,25]		[0,06 0,13]	[0,17 0,24]
Maksimum Ekipman	[-5,42 -5,34]	[0,10 0,16]	[-0,13 -0,06]		[0,08 0,15]
Maksimum Ekipman ve Minimum Talep	[-5,53 -5,45]	[-0,01 0,04]	[-0,24 -0,17]	[-0,15 -0,08]	

Her polikliniğe dair ekipmanın hastaya ulaşma süresinde incelenen iki senaryo arasında belirgin bir fark görünmemektedir. Talep yapıları değiştiğinde de ekipmanın hastaya ulaşma süresi açısından ekipman seçim kuralları talep yapısının aynı olduğu zamanki performans sıralamasını korumaktadırlar.

Bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlık sayısının değişen talep yapısı aynı ve farklı iken her ekipman seçim kuralı için sonuçları Tablo 7.18'de gösterilmiştir.

Tablo 7.18. Değişen Saatlik Talep Yapısına Göre Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlığı Sayısının Talep Yapısının Aynı Olduğu Durumla Kıyaslanması

Senaryo(Talep Yapısı Durumu)/Kural-Durum	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman-Minimum Talep
Her Polikliniğin Saatlik Talep Yapısı Farklı	3,07±0,12	5,97±0,24	2,7±0,12	2,07±0,17	1,32±0,11
Her Polikliniğin Saatlik Talep Yapısı Aynı	5,6±0,22	9,96±0,33	6,6±0,20	3,91±0,24	2,23±0,16

Talep yapısının aynı olduğu durumdaki senaryo için bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlık sayısının her ekipman seçim kuralı için ikili karşılaştırma sonuçları Tablo 7.19'da gösterilmiştir. Değişen talep yapısına göre ekipman seçim kurallarının arasındaki farkın daha iyi anlaşılabilmesi için kuralların değişen saatlik talep yapısına göre bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlık sayısı açısından ikili sistem karşılaştırmaları yapılmış, Tablo 7.20'de gösterilmiştir.

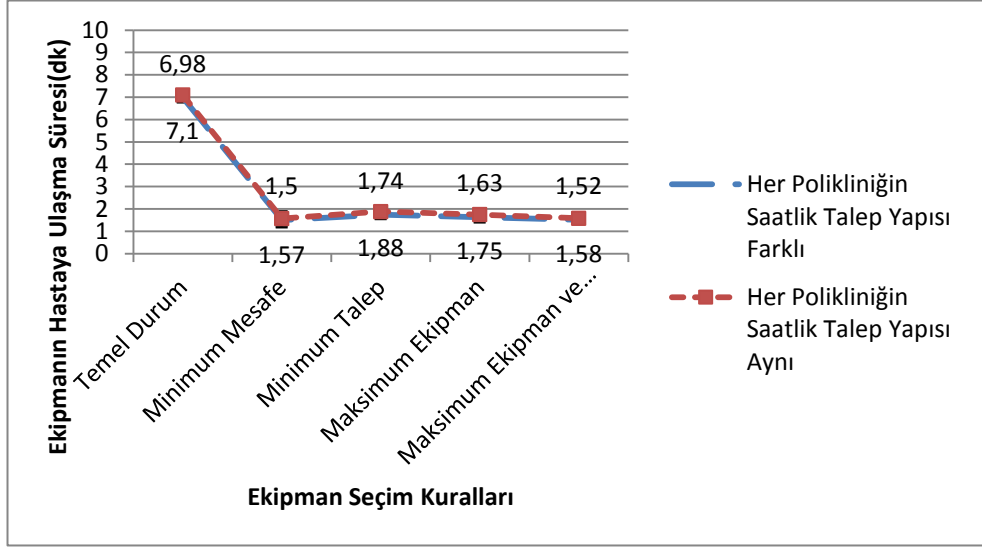
Tablo 7.19. Her polikliniğin Talep Yapısı Aynı iken Tüm Kuralların Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Kıyaslanması

Senaryo(Talep Yapısı Aynı) Kural/Kural	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman ve Minimum Talep
Temel Durum		[-4,93 -3,76]	[-1,42 -0,54]	[1,22 2,19]	[2,99 3,79]
Minimum Mesafe	[3,76 4,93]		[2,80 3,94]	[5,45 6,65]	[7,20 8,27]
Minimum Talep	[0,54 1,42]	[-3,94 -2,80]		[2,22 3,15]	[3,99 4,75]
Maksimum Ekipman	[-2,19 -1,22]	[-6,65 -5,45]	[-3,15 -2,22]		[1,26 2,11]
Maksimum Ekipman ve Minimum Talep	[-3,79 -2,99]	[-8,27 -7,20]	[-4,75 -3,99]	[-2,11 -1,26]	

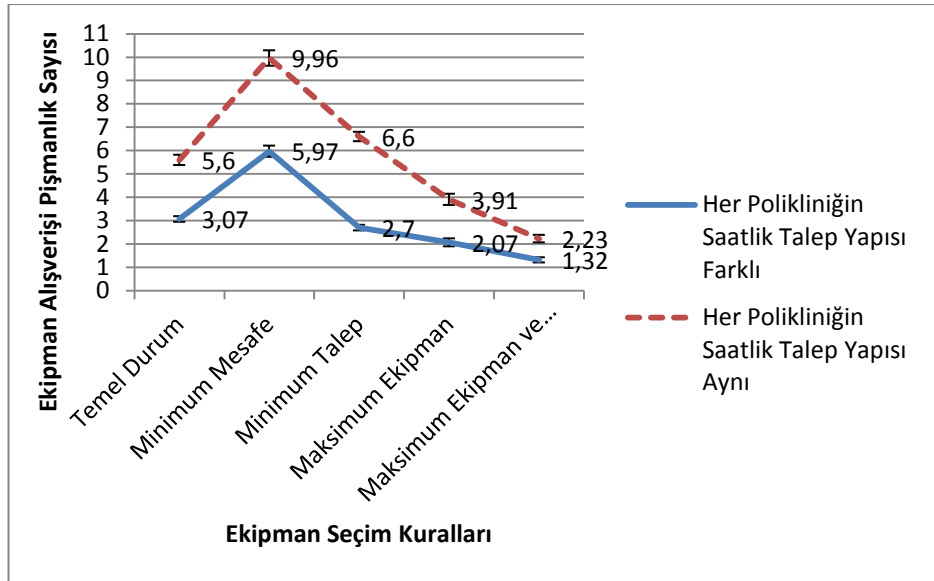
Tablo 7.20. Her polikliniğin Talep Yapısı Farklı iken Tüm Kuralların Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısı Açısından Kıyaslanması

Senaryo(Talep Yapısı Farklı) Kural/Kural	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman- Minimum Talep
Temel Durum		[-3,26 -2,39]	[0,1 0,69]	[0,73 1,37]	[1,43 2,00]
Minimum Mesafe	[2,39 3,26]		[2,81 3,63]	[3,45 4,30]	[4,14 4,94]
Minimum Talep	[-0,69 -0,1]	[-3,63 -2,81]		[0,37 0,94]	[1,08 1,56]
Maksimum Ekipman	[-1,37 -0,73]	[-4,30 -3,45]	[-0,94 -0,37]		[0,39 0,93]
Maksimum Ekipman - Minimum Talep	[-2,00 -1,43]	[-4,14 -4,94]	[-1,56 -1,08]	[-0,93 -0,39]	

Tüm tablolarda da görülebileceği gibi, aslında her bölümün saatlik talep yapısı farklılaştığında tüm kuralların *bölümler arası günlük ekipman alışverişi pişmanlık sayısı* performans ölçütü açısından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Tüm ekipman seçim kuralları için bu performans ölçütünde her bölümün saatlik talep yapısı farklı iken, her bölümün saatlik talep yapısı aynı olduğu zamankinden daha az bir değer elde edilmektedir. Bu sonuç, bölümlerin talep yoğunluklarının farklı saatlerde artıp azalması durumunda daha az ekipman alışverişi pişmanlığı yaşayacaklarını göstermektedir. Ancak bu durumda bile ekipman sayısı ve talep tahmini göz önüne alınarak yapılan seçimlerin pişmanlık sayısını daha da düşürebildiği görülmektedir. Bu farkı belirgin şekilde göstermek için duyarlılık analizi sonucunda ortaya çıkan grafikler, Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da verilmiştir.



Şekil 7.9. Ekipman Hastaya Ulaşma Süresinin Değişen Saatlik Talep Yapısına Göre Grafiği



Şekil 7.10. Bölümler Arası Ekipman Alışverişi Pişmanlık Sayısının Değişen Saatlik Talep Yapısına Göre Grafiği

7.2.3. Analiz Tartışması

Bu kısımda Bölüm 7'de yapılmış olan analizlerin ve alınmış sonuçların bir özeti sunulmaktadır.

İncelenen hastane sistemi orta ölçekli olarak tabir edilen TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Hastanesidir. Hastane kendine yetebilecek derecede kaynağa sahiptir. Hastanenin en çok şikayet ettiği durumlar, ekipman ararken kaybedilen zamanlar, kayıp ekipmanlar ve bilinçsiz, öngörüsüz biçimde ekipman kullanımından kaynaklanan bölümler arasında gerçekleşen ekipman alışveriş trafiğidir. Çalışma ile amaçlanan, hastaneye RTLS teknolojisi geldiğinde hastanenin şikayet ettiği bu problemlerde ne derece iyileşme olacağının tespit edilmesi ve bu iyileşmeyi artıracak kurallar geliştirilmesidir. Eğer hastane RTLS uygulamasına başlarsa, ekipman arama zamanları ortadan kalkacak ve ekipmanların hastaya ulaşma zamanlarında da tatmin edici derecede bir iyileşme sağlanabilecektir. Analiz sonuçları da iyileşmenin sağlanacağına işaret etmektedir. Ekipmanın hastaya ulaşma süresine bakıldığında ortalama 5,59 dakikalık bir azalma gözlemlenmiştir. RTLS sayesinde ekipmanların nerelerde oldukları bilineceğinden çalınma ve kaybolma gibi durumların yaşanması da önlenmiş olacaktır.

Hastanede, mevcut ekipmanlar tüm bölümler tarafından ortak olarak kullanılmaktadır. Ekipmanların ortak olarak kullanılması zaman zaman ekipmanların bulunduğu bölümlerden uzaklaştırılmasını gerektirmektedir. Ekipman alışverişi esnasında, ekipmanı talep eden bölüm ile ekipmanı veren bölüm aynı bölümler değilse ve ekipmanı talep eden bölüm bu ekipmanı yakın zaman içerisinde başka bir bölüme vermişse bu durumdan pişmanlık duymaktadır. Hatta bu pişmanlığı önlemek için bölümlerin ellerinde boş ekipman olmasına rağmen başka bölümlere vermedikleri sorunu da hastanenin şikayetleri arasındadır. Bu çalışmada geliştirilen ekipman seçim kuralları, ekipmanın hastaya ulaşma süresini önemli boyutta artırmadan bu pişmanlığı azaltmayı hedeflemektedir. Bu amaçla üç farklı ekipman seçim kuralı geliştirilmiştir: Minimum talep, maksimum ekipman, maksimum ekipman-minimum talep kuralları. Bu kurallar kendi arasında, RTLS'nin olmadığı

temel durum ve RTLS'nin olduğu gibi kullanıldığı minimum mesafe kuralıyla karşılaştırılmıştır.

RTLS'nin olduğu gibi kullanıldığı minimum mesafe kuralında bölümler arası ekipman alışverişı pişmanlık sayısı en yüksek değere sahiptir. Bunun nedeni ekipmanların diğer bölümlerin talepleri gözetilmeksizin sadece en yakın ekipmana odaklanılarak seçilmesidir. Geliştirilen talep kuralları bölümlerin talebin oluştđu saatte talep edilen ekipmana olan ihtiyaçlarını tahmin edebilmektedir. Maksimum ekipman-minimum talep kuralı ile bölümlerin talep edilen ekipmana olan ihtiyacı tahmin edilebildiğinden ve hangi bölümlerin elinde bu ekipmandan fazla sayıda boş olduğu bilgisi değerlendirilerek seçim yapıldığından pişmanlık sayısı azalmaktadır. Maksimum ekipman-minimum talep kuralında bölümler arası ekipman alışverişı pişmanlık sayısı istatistiği açısından temel duruma göre %57, minimum mesafe kuralına göre %74 ve minimum talep kuralına göre ise %62 oranında bir iyileşme sağlanmış, bölümler arası ekipman alışverişı pişmanlık sayısı maksimum ekipman-minimum talep kuralı kullanılarak önemli derecede azaltılabilmıştır. Bölümler arası ekipman alışverişı pişmanlık sayısı maksimum ekipman-minimum talep kuralı ile minimum mesafe kuralına nazaran azalırken, ekipmanın hastaya ulaşma süresinde minimum mesafe kuralına nazaran 10 saniyelik (%8'lik) bir artış gözlenmektedir. Maksimum ekipman-minimum talep kuralının temel duruma göre ise daha düşük ekipmanın hastaya ulaşma süresine sahip olduğu görülmektedir.

Maksimum ekipman-minimum talep kuralı ile ekipmanı verecek olan bölümün ihtiyaçları ve anlık durumu göz önüne alındığından, ekipman alışverişlerinde ekipmanı veren bölümün yaşadığı pişmanlık sayısı temel duruma nazaran günlük ortalama 6, aylık ise ortalama 120 ekipman kadar azaltılabilmiş, günlük ortalama 6 ekipmanın ekipmanı veren bölüm tarafından ihtiyacı olduğu anda kullanılabilmesini sağlamıştır. Maksimum ekipman-minimum talep kuralı, ekipman alışverişı pişmanlık sayısını minimum mesafe kuralına nazaran günlük ortalama 7, aylık ortalama 210 ekipman kadar azaltılabilmıştır. Bu iyileşme ile hastanenin verdiği hizmetin kalitesi artacak, ekipmanların verimsiz kullanımı azalacak, hasta yoğunluklarına çabuk cevap verilmesi sağlanacak ve hastalar için hayati tedbir alabilme süreçleri hızlanmış olacaktır. Maksimum ekipman-minimum talep kuralını kullanmak tek başına

minimum talep ve tek başına maksimum ekipman kuralını kullanmaktan daha iyi sonuçlar vermektedir. Maksimum ekipman-minimum talep kuralı ile bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlık sayısında minimum talep kuralına göre %63'lük, maksimum ekipman kuralına göre ise % 30'luk bir azalma sağlanabilmektedir. Minimum talep ve maksimum ekipman kurallarını kombine eden bu kural ile ekipmanın hastaya ulaşma süresinde ise maksimum ekipman kuralına nazaran 9 saniye (% 7'lik) ve minimum talep kuralına nazaran ise 14 saniyelik (%10'luk) bir iyileşme sağlanmıştır. Yani maksimum ekipman ve minimum talep kurallarından elde edilen bilginin beraber kullanıldığı maksimum ekipman-minimum talep kuralı ile beraber daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Duyarlılık analizlerinde, talep hızının değişkenliğine (senaryolar) bağlı olarak sistemin duyarlılığı ve bu değişikliklere ne şekilde cevap verdiği yine performans ölçütleri çerçevesinde analiz edilmiştir. Gelen hasta sayısının artması neticesinde bölümlerin ekipmanlara olan talepleri artmakta, böylece bölümler arasındaki ekipman alışverişi de artmaktadır. Ekipmanlara olan talep ve ekipman hareketliliği arttıkça, tüm ekipman seçim kurallarında ekipmanın hastaya ulaşma süresi de artmaktadır. Minimum mesafe ve maksimum ekipman-minimum talep kuralının her talep hızı için denendiği senaryolarda, her iki kuralın aynı talep hızlarına denk gelen ekipmanın hastaya ulaşma süresi için birbirine çok yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Ekipman alışveriş sayısı arttıkça bir bölümün ihtiyaç anında ekipmanı yakın zaman içinde başka bölüme vermiş olma ihtimali de artmaktadır. Minimum mesafe ve maksimum ekipman-minimum talep kuralları BAREKAPS değerleri arasındaki fark talep hızının artması durumunda da devam etmektedir.

Duyarlılık analizlerinin ikinci adımında bölümlerin saatlik talep yapıları değiştirilerek (senaryolar) geliştirilen kuralların performansı incelenmiştir. Bu şekilde elde edilen sonuçlara bakıldığında bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlık sayısının azalma gösterdiği ancak ekipmanların hastaya ulaşma sürelerinde eskiye nazaran bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Maksimum ekipman-minimum talep kuralı için bölümler arası ekipman alışverişi pişmanlık sayısı bölümlerin saatlik talep yapısının aynı olduğu senaryoda günlük ortalama 2,23 iken; bölümlerin saatlik talep yapısının farklı olduğu senaryoda ise günlük ortalama 1,32

olmaktadır. Ekipmanın hastaya ulaşma süresi saatlik talep yapıları aynı olduğunda 1,58 dakika iken; saatlik talep yapıları farklı olduğunda 1,52 dakika olmakta, sürelerde çok da fazla bir azalma gözlenmemektedir. Minimum mesafe kuralında ekipmanın hastaya ulaşma süresi her bölümün saatlik talep yapısı aynı iken ortalama 1,57 dakika, her bölümün saatlik talep yapısı farklı iken ise ortalama 1,50 dakika olmaktadır. Yani bu kuralda da eski duruma nazaran çok fazla bir süre azaltılması mevcut değildir. Maksimum ekipman-minimum talep kuralı, ekipmanın hastaya ulaşma süresinin en düşük çıkması beklenen minimum mesafe kuralına göre ekipmanın hastaya ulaşma süresi açısından yakın olduğundan çok da fazla bir şey kaybettirmemiştir. Maksimum ekipman-minimum talep kuralı bu durumda da en düşük BAREKAPS değerini sağlayan kural olmuştur.

8. SONUÇ

Hastanelerde farklı bölümler tarafından paylaşılan mobil ekipmanların çalınma, kaybolma ve ihtiyaç anında aranma sebebiyle vakit harcanması hem hasta güvenliğini tehdit etmekte hem de maddi kayıplara yol açmaktadır. Buna ek olarak hastane bölümleri, ekipmanlara kendi ihtiyaçları olduğunda ellerinde hazır bulamayacakları düşüncesiyle ekipmanları başka bölümlerle paylaşmaktan çekinmektedirler. Gerçek zamanlı konum belirleme sistemlerinin (RTLS) hastanelerde ekipman takibi için kullanılması, ekipman çalınma ve aranma süresi kayıplarını azaltabilmekte ancak bölümlerin ekipman alışverişi çekincesine bir çözüm getirememektedir.

Bu çalışmada, RTLS aracılığıyla mobil ekipmanların takibinin sağlık sistemlerine getireceği katkıyı artırmak amacıyla RTLS ile entegre çalışacak ekipman seçim kuralları geliştirilmiştir. Geliştirilen kurallar TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Hastanesi örnek alınarak oluşturulan bir simülasyon modeliyle test edilmiş ve hastaneye getirecekleri katkı analiz edilmiştir.

Çalışmada RTLS ile entegre çalışacak üç adet ekipman seçim kuralı geliştirilmiştir. Bu kurallar; hastanenin mevcut RTLS kullanılmayan durumu, ve ekipman seçimini yalnızca mesafeyi gözeterek yapan ve ihtiyaç duyulan ekipmanı en yakından seçen RTLS in normal kullanım şekli (*minimum mesafe* kuralı olarak adlandırılmıştır) ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen kurallar; ihtiyaç duyulan ekipmanı elinde en fazla bulunduran bölümden alan *maksimum ekipman*; ihtiyaç duyulan ekipmanı talep tahmin modelleri kullanarak ve içerisinde bulunulan saatteki talep tahmini en düşük olan ekipmanı seçerek yapan *minimum talep* kuralı ve son olarak ihtiyaç duyulan ekipmanı elinde en çok bulunduran bölümler arasından en düşük talep tahmin değerine sahip olan bölümden seçen *maksimum ekipman-minimum talep* kuralı olarak sıralanabilmektedir. Geliştirilen ekipman seçim kurallarının uygulandığı senaryoları kıyaslarken iki adet performans ölçütünden yararlanılmıştır. Bu performans ölçütleri; seçilen ekipmanın hastaya ulaştırılma süresi ve bölümler arası ekipman alışveriş pişmanlığı sayısı olarak ifade edilebilir. Ekipman alışverişi pişmanlığı, ekipmanı veren bölümün, ekipmanı verdikten sonra kısa süre içinde

verdiği ekipmana ihtiyaç duyması ve elinde verdiği ekipmanın boş halde bulunmaması sebebiyle başka bölümlerden ekipmanı almak zorunda kalarak ekipmanı verdiğine pişman olması olarak açıklanabilir. Hastanenin RTLS'siz hali (temel durum) , RTLS'nin olduğu gibi kullanıldığı hali (minimum mesafe) ve geliştirilen kurallar, belirtilen performans ölçütleri kullanılarak simülasyon yöntemi aracılığıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için paired t-testinden yararlanılmıştır. Sezonal ARIMA modelleri kullanılarak oluşturulan talep tahmin modelleri ile bölümlerin ekipmanlara olan talebi belirlenmiş ve buna göre ekipman seçimleri gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen ekipman seçim kurallarının analizleri sonucunda, RTLS'nin hastaneye getirilmesi durumunda ekipman arama süresinin tamamen ortadan kalkacağı, ekipmanın hastaya ulaşma süresinin kısılacağı görülmektedir, RTLS'nin geliştirilen kurallarla entegre çalışması durumunda bölümler arası ekipman alışveriş çekincesinin de azaltılabileceği ortaya çıkmıştır. Tüm bu iyileşmeler sonucunda hastanede alınan operasyonel kararlar iyileşecek ve hastalara sunulan hizmetin kalitesi artacak, akabinde müşteri memnuniyeti de artmış olacaktır. Bölümlerin ekipman taleplerini takip etmek ve ekipman seçimini bu bilgiyi kullanarak yapmak sisteme katkı sağlamış olacaktır. Sadece ekipman sayısına ya da sadece tahmin bilgisine bakılarak yapılan ekipman seçimi yerine hem ekipman sayısının hem de bölümlerin ekipmanlara olan tahmin talep bilgisinin beraber kullanılarak ekipman seçiminin yapılması seçim kurallarının kalitesini bir adım daha öteye taşıyacak, sistemin elde ettiği faydayı daha da arttıracaktır.

Literatürde gerçek zamanlı konum belirleme teknolojisi ile ilgili sağlık sistemlerinde çalışmalar yapılmış bulunmakta beraber bu sistemlerin katkısını artırıcı kurallar geliştiren ve etkilerini analiz eden çalışmalar mevcut değildir. Sağlık sistemlerinde gerçek zamanlı konum belirleme (RTLS) gibi sistemlerin kullanılması, bilgiye sahip olmanın değerini ön plana çıkartmaktadır. Sağlık süreçlerine katkı sağlayacak bilgiyi temel olarak kullanan sistemler üzerine daha çok araştırma ve uygulama yapılmalıdır. Çünkü bu tarz teknolojiler sağlık maliyetlerinin azaltılması, hasta güvenliğinin ve servis kalitesinin artırılmasını sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalara ek olarak gelecekte bir çok çalışma gerçekleştirilebilir:

- Bu çalışmada orta ölçekli bir hastaneye RTLS'nin getireceği fayda analiz edilmiştir. Geliştirilen ekipman seçim kurallarının RTLS teknolojisi kullanılarak daha büyük hastanelerde uygulanması ile beraber RTLS'nin entegre edildiği sisteme yaptėı fayda büyük çaplı hastaneler için de analiz edilebilir. Bu tez çalışmasının yürütülmesi esnasında karşılaşılan en önemli zorluk veri problemidir. Veri elde etmedeki sıkıntıdan dolayı çalışmada gerçek saatlik talep verisi kullanılamamıştır. Gelecek çalışmalarda büyük ölçekli hastanelerden saatlik veri tutularak tahmin modellerinin literatürden alınan talep kalıpları üzerine değil, gerçek veri üzerine kurulması sağlanabilir. Sezonal ARIMA modelleri kullanılarak oluşturulan tahmin modelleri yerine, regresyon, üssel düzeltme gibi daha başka tahmin yöntemleri ile oluşturulan tahmin modelleri, belirlenen istatistiksel parametreler çerçevesinde karşılaştırılabilir.
- Hastanelerde RTLS'nin kullanılmadığı mevcut durumda, kullanılan ekipmanın kullanıldığı yerde bırakıldığı varsayılmaktadır. İleriki alışmalarda, RTLS kullanmayan hastanelerde çalışanların ekipmanları belli depolardan alıp tekrar ekipmanı aldıkları depoya bırakmalarını sağlayan çeşitli iş kuralları tanımlanabilir, ve yeni kuralların performans ölçütlerine etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Demircan, E.A, 2013, Hastanelerde Gerçek Zamanlı Ekipman Takibinin Katkı Analizi ve Ekipman Seçim Algoritması, Yüksek Lisans Tezi, TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [2] "RFID Türkiye" erişim adresi: <http://www.rfid-turkiye.com/>, erişim tarihi: 21 Mart 2014.
- [3] Wyld, D. C., Jones, M. A., Totten, J. W. ,Where is my suitcase? RFID and airline customer service, *Marketing Intelligence & Planning*, 23(4), 382-394, 2005.
- [4] Wismans, W. M. G., Identification and registration of animals in the European Union, *Computers and electronics in agriculture*, 24(1), 99-108, 1999.
- [5] Molnar, D., Wagner, D., Privacy and security in library RFID: issues, practices, and architectures, In *Proceedings of the 11th ACM conference on Computer and communications security (ACM'05)*, 210-219, Ekim 2004.
- [6] Kim, J., Tang, K., Kumara, S., Yee, S. T., Tew, J., Value analysis of location-enabled radio-frequency identification information on delivery chain performance., *International Journal of Production Economics*, 112(1), 403-415, 2008.
- [7] Saygin, C., Adaptive inventory management using RFID data, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(9-10), 1045-1051, 2007.
- [8] Wei, J., Leung, S. C., A simulation modeling and analysis for RFID-enabled mixed-product loading strategy for outbound logistics: A case study, *Computers & Industrial Engineering*, 61(1), 209-215, 2011.
- [9]. Hsu, C. I., Shih, H. H., Wang, W. C., Applying RFID to reduce delay in import cargo customs clearance process, *Computers & Industrial Engineering*, 57(2), 506-519, 2009.
- [10] Oztekin, A., Pajouh, F. M., Delen, D., Swim, L. K., An RFID network design methodology for asset tracking in healthcare, *Decision Support Systems*, 49(1), 100-109, 2010.
- [11] Østbye, T., Lobach, D. F., Cheesborough, D., Lee, A. M. M., Krause, K. M., Hasselblad, V., Bright, D., Evaluation of an infrared/radiofrequency equipment-tracking system in a tertiary care hospital, *Journal of medical systems*, 27(4), 367-380, 2003.
- [12] Efe, K., Raghavan, V., Choubey, S., Simulation modeling movable hospital assets managed with rfid sensors, *Winter Simulation Conference*, 2054-2064, Aralık 2009.
- [13] Jones, S. S., Thomas, A., Evans, R. S., Welch, S. J., Haug, P. J., Snow, G. L., Forecasting daily patient volumes in the emergency department, *Academic Emergency Medicine*, 15(2), 159-170, 2008.

- [14] Ziegel, E. R., *Applied Econometric Time Series Technometrics*, 37(4), 469-470, 1995.
- [15] Batal, H., Tench, J., McMillan, S., Adams, J., Mehler, P. S., Predicting patient visits to an urgent care clinic using calendar variables, *Academic Emergency Medicine*, 8(1), 48-53, 2001.
- [16] Ao, Sio-Iong, *Applied Time Series Analysis and Innovative Computing*, Vol. 59, Springer, 2010.
- [17] Wiler, J. L., Griffey, R. T., Olsen, T., Review of modeling approaches for emergency department patient flow and crowding research, *Academic Emergency Medicine*, 18(12), 1371-1379, 2001.
- [18] Champion, R., Kinsman, L. D., Lee, G. A., Masman, K. A., May, E. A., Mills, T. M., Williams, R. J., Forecasting emergency department presentations, *Australian Health Review*, 31(1), 83-90, 2007.
- [19] Wargon, M., Guidet, B., Hoang, T. D., Hejblum, G., A systematic review of models for forecasting the number of emergency department visits. *Emergency Medicine Journal*, 26(6), 395-399, 2009.
- [20] Holleman, D. R., Bowling, R. L., Gathy, C., Predicting daily visits to a walk-in clinic and emergency department using calendar and weather data, *Journal of General Internal Medicine*, 11(4), 237-239, 1996.
- [21] Milner, P. C., Ten-year follow-up of ARIMA forecasts of attendances at accident and emergency departments in the Trent region, *Statistics in medicine*, 16(18), 2117-2125, 1997.
- [22] Tandberg, D., Qualls, C., Time series forecasts of emergency department patient volume, length of stay, and acuity, *Annals of emergency medicine*, 23(2), 299-306, 1994.
- [23] Farmer, R. D., Emami, J., Models for forecasting hospital bed requirements in the acute sector, *Journal of epidemiology and community health*, 44(4), 307-312, 1990.
- [24] Rotstein, Z., Wilf-Miron, R., Lavi, B., Shahar, A., Gabbay, U., Noy, S., The dynamics of patient visits to a public hospital ED: a statistical model, *The American journal of emergency medicine*, 15(6), 596-599, 1997.
- [25] Jones, S. A., Joy, M. P., & Pearson, J., Forecasting demand of emergency care, *Health Care Management Science*, 5(4), 297-305, 2002.
- [26] "Okstate University" erişim adresi : <http://www.okstate.edu/sas/v8/saspdf/ets/chap7.pdf>, erişim tarihi: 19 Şubat 2014.
- [27] "Duke University" erişim adresi: <http://people.duke.edu/~rnau/seasarim.htm>, erişim tarihi: 21 Aralık 2013.

- [28] Alonso, Andres M., Time Series Analysis-Seasonal ARIMA Processes, Universidad Carlos III de Madrid, June-July 2012.
- [29] Hare, E. H., & Walter, S. D., Seasonal variation in admissions of psychiatric patients and its relation to seasonal variation in their births, *Journal of Epidemiology and community Health*, 32(1), 47-52, 1978.
- [30] Dahnor, R., Seasonal ARIMA, School of Computer Science and Statistics, 2012.
- [31] Rising, E. J., Baron, R., & Averill, B., A systems analysis of a university-health-service outpatient clinic, *Operations Research*, 21(5), 1030-1047, 1973.
- [32] Cote, M., Robison, Z., Pham, J., Leeret, R., Decreasing Environmental Services Responce Times.
- [33] Morzuch, B. J., Allen, P. G., Forecasting hospital emergency department arrivals, 26th Annual Symposium on Forecasting, Santander, Spain, Haziran 2006.
- [34] Law, A. M., Kelton, W. D., & Kelton, W. D., Simulation modeling and analysis (Vol. 2), New York: McGraw-Hill, 1990.

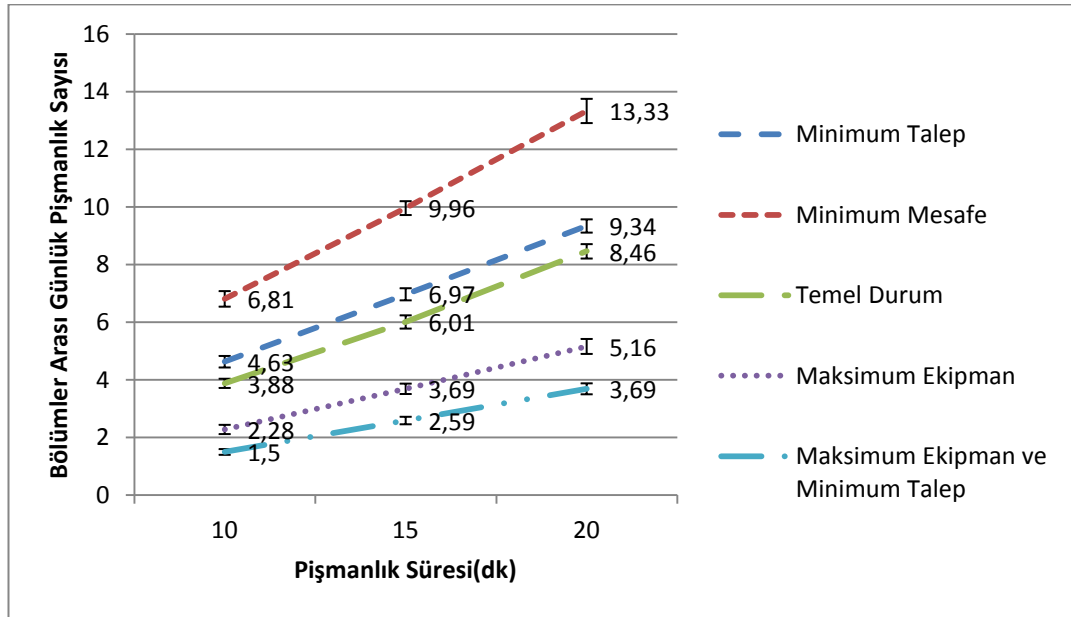
EKLER

EK A. FARKLI PIŞMANLIK SÜRELERİNİN DENENMESİ

Bölümlerin talep ettikleri ekipmanların ellerinde boş olarak bulunmaması ve bu ekipmanları geçen 15 dakika içerisinde başka bir bölüme vermiş olmasından dolayı şu an pişmanlık duyacağı belirtilmişti. Buradaki 15 dakikalık süre bir varsayımdır. Bu nedenle farklı pişmanlık süreleri için bölümler arası ekipman pişmanlık sayısı 10 dakika ve 20 dakika alınarak her bir senaryo için tekrar değerlendirilmiştir.

Tablo A.1. Farklı Pişmanlık Süreleri (dakika) Denendiğinde Ortaya Çıkan Bölümler Arası Ekipman Pişmanlık Sayısı

Pişmanlık Süresi (dk)/Kurallar	Temel Durum	Minimum Mesafe	Minimum Talep	Maksimum Ekipman	Maksimum Ekipman ve Minimum Talep
10	3,88±0,16	6,81±0,27	4,63±0,20	2,28±0,16	1,5±0,10
15	6,01±0,23	9,96±0,24	6,97±0,21	3,69±0,18	2,59±0,13
20	8,46±0,25	13,33±0,42	9,34±0,23	5,16±0,26	3,69±0,19



Şekil A.1. Farklı Pişmanlık Süreleri (dakika) Denendiğinde Ortaya Çıkan Bölümler Arası Ekipman Pişmanlık Sayısı Grafiği

EK B. HASTANE EKİPMAN TALEP VERİLERİ

Hastaneden elde edilen ekipman talep sayıları günlük ortalama değerlerdir. Bölümlerde kullanılmayan ekipmanlar "X" ile işaretlenmiştir.

Tablo B1. 2.Kat Poliklinik ve Zemin Poliklinik için Talep Verileri

Bölüm Adı	2.kat Poliklinik		Zemin Poliklinik	
	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	X	X	X	X
EKG (8)	X	X	X	X
Ekokardiyografi (2)	X	X	X	X
Nebulizatör (20)	X	X	X	X
TEE (2)	X	X	X	X
Tekerlekli Sandalye (18)	3,96	UNIF(20,30)	9,9	UNIF(20,30)
Transcutan (2)	X	X	X	X

Tablo B2. Ameliyathane için Talep Verileri

Bölüm Adı	Ameliyathane	
	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	X	X
EKG (8)	X	X
Ekokardiyografi (2)	1,08(TEE)	UNIF(30,40)(TEE)
Nebulizatör (20)	X	X
TEE (2)	1,08	UNIF(30,40)
Tekerlekli Sandalye (18)	X	X
Transcutan (2)	X	X

Tablo B3. Acil Poliklinik için Talep Verileri

Bölüm Adı	Acil Poliklinik	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	X	
EKG (8)	0,35*TRIA(40,70,110)	1.1 + ERLA(0.294, 6)
Ekokardiyografi (2)	(0,24)*TRIA(40,70,110)	2 + GAMM(1.41, 2.97)
Nebulizatör (20)	(0,432)*TRIA(40,70,110)	UNIF(10,30)
TEE (2)	X	X
Tekerlekli Sandalye (18)	X	X
Transcutan (2)	X	X

Tablo B4. 1.Kat Poliklinik ve Pediatri için Talep Verileri

Bölüm Adı	1.kat Ana Poliklinik		Pediatri	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	X	X	X	X
EKG (8)	X	X	X	X
Ekokardiyografi (2)	X	X	X	X
Nebulizatör (20)	X	X	20	15
TEE (2)	X	X	X	X
Tekerlekli Sandalye (18)	19,99	TRANSFER OLUR	2	TRANSFER OLUR
Transcutan (2)	X	X	13,3	1

Tablo B5. B1 Kardiyoloji için Talep Verileri

Bölüm Adı	B1 Kardiyoloji	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	3,42	UNIF(4,6)
EKG (8)	32,49	1.1 + ERLA(0.294, 6)
Ekokardiyografi (2)	0,741+0,228 (TEE)	2 + GAMM(1.41, 2.97) ya da TEE ile 20 dk
Nebulizatör (20)	X	X
TEE (2)	0,23	20
Tekerlekli Sandalye (18)	19,38	UNIF(10,15)
Transcutan (2)	X	X

Tablo B6. Anjiyo Polikliniği için Talep Verileri

Bölüm Adı	Anjiyo	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	6,37	UNIF(4,6)
EKG (8)	50,05	1.1 + ERLA(0.294, 6)
Ekokardiyografi (2)	15,47+2,73 (TEE)	2 + GAMM(1.41, 2.97) ya da TEE ile 20 dk
Nebulizatör (20)	X	X
TEE (2)	2,73	20
Tekerlekli Sandalye (18)	10,01	UNIF(10,15)
Transcutan (2)	X	X

Tablo B7. Koroner Yoğun Bakım için Talep Verileri

Bölüm Adı	Koroner Yoğun Bakım	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	2,38	UNIF(4,6)
EKG (8)	18,7	1.1 + ERLA(0.294, 6)
Ekokardiyografi (2)	5,78+1,02 (TEE)	2 + GAMM(1.41, 2.97) ya da TEE ile 20 dk
Nebulizatör (20)	X	X
TEE (2)	1,02	20
Tekerlekli Sandalye (18)	3,74	UNIF(10,15)
Transcutan (2)	X	X

Tablo B8. Genel Yoğun Bakım için Talep Verileri

Bölüm Adı	Genel Yoğun Bakım	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	0,94	UNIF(4,6)
EKG (8)	0,94	1.1 + ERLA(0.294, 6)
Ekokardiyografi (2)	0,47	2 + GAMM(1.41, 2.97)
Nebulizatör (20)	1,89	15
TEE (2)	X	X
Tekerlekli Sandalye (18)	2,5	%20 5 DK, %80 UNIF(120,180)
Transcutan (2)	X	X

Tablo B9. KVC Yoğun Bakım için Talep Verileri

Bölüm Adı	KVC Yoğun Bakım	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	3,97	UNIF(4,6)
EKG (8)	5,95	1.1 + ERLA(0.294, 6)
Ekokardiyografi (2)	0,2(TEE)	10 (TEE)
Nebulizatör (20)	1,98	15
TEE (2)	0,2	10
Tekerlekli Sandalye (18)	5,95	5
Transcutan (2)	X	X

Tablo B10. 2. Kat Yatan Poliklinik için Talep Verileri

Bölüm Adı	2.kat Yatan	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	X	X
EKG (8)	5,22	1.1 + ERLA(0.294, 6)
Ekokardiyografi (2)	X	X
Nebulizatör (20)	4,06	15
TEE (2)	X	X
Tekerlekli Sandalye (18)	8,40	UNIF(5,10)
Transcutan (2)	7,25	2

Tablo B11. Genel Cerrahi için Talep Verileri

Bölüm Adı	1.kat Yatan Genel Cerrahi	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	X	X
EKG (8)	0,86	1.1 + ERLA(0.294, 6)
Ekokardiyografi (2)	0,06	2 + GAMM(1.41, 2.97)
Nebulizatör (20)	80,32	UNIF(5,10)
TEE (2)	X	X
Tekerlekli Sandalye (18)	10,04	UNIF(5,10)
Transcutan (2)	X	X

Tablo B12. KVC için Talep Verileri

Bölüm Adı	1.kat KVC	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	0,85	UNIF(4,6)
EKG (8)	20,34	1.1 + ERLA(0.294, 6)
Ekokardiyografi (2)	0,85	2 + GAMM(1.41, 2.97)
Nebulizatör (20)	30	15
TEE (2)	X	X
Tekerlekli Sandalye (18)	10,17	5
Transcutan (2)	X	X

Tablo B13. 1. Yeni Doğan Polikliniği (NICU) için Talep Verileri

Bölüm Adı	NICU	
Ekipman Adı (adet)	Talep Sayısı/Gün	Kullanım Süresi (Dk)
ACT (3)	X	X
EKG (8)	X	X
Ekokardiyografi (2)	0,033	2 + GAMM(1,41, 2,97)
Nebulizatör (20)	X	X
TEE (2)	X	X
Tekerlekli Sandalye (18)	X	X
Transcutan (2)	0,05	TRIA(1,3,5)

EK C. ARIMA MODELLERİ HATA İSTATİSTİK DEĞERLERİ

Her poliklinik için seçilen ARIMA modellerinin tahmin ve doğrulama periyodunda açığa çıkan hata istatistik değerleri Tablo C.1'de gösterilmiştir.

Tablo C.1. Tüm Bölümler için Seçilen ARIMA Modellerinin Hata İstatistikleri

Bölüm/ Hata İstatistikleri	Tahmin Periyodu			Doğrulama Periyodu		
	RMSE	MAE	ME	RMSE	MAE	ME
Kat 2 Ana poliklinik	1,377	0,726	-0,128	1,460	0,783	-0,087
Kat 1 Ana poliklinik	1,265	0,668	-0,083	1,547	0,844	0,147
Acil Poliklinik	1,566	1,213	-0,090	2,008	1,406	0,101
Pediyatri Poliklinik	2,105	1,242	-0,003	2,064	1,350	0,220
Ameliyathane	1,620	1,174	-0,027	1,415	1,012	0,390
B1 Kardiyoloji	1,715	1,236	-0,160	1,451	1,115	0,169
GYB	0,546	0,359	0,012	0,485	0,335	-0,081
KVC Yoğun bakım	0,992	0,715	-0,041	1,129	0,819	0,023
Kat 2 yatan hasta	0,977	0,719	0,003	1,307	0,955	0,081
Genel Cerrahi	1,800	1,392	0,153	1,705	1,273	-0,287
Kardiyovasküler cerrahi	1,516	1,117	-0,149	1,424	1,018	-0,129
Koroner	1,226	0,901	-0,104	1,492	0,994	0,230
Anjiyo	1,948	1,399	0,061	1,801	1,451	-0,017

EK D. EKİPMAN TALEP ORANLARI VE GÜNLÜK ORTALAMA TALEP DEĞERLERİ

Tablo D.1. Ekipman Talep Oranları ve Günlük Ortalama Talep Değerleri, Çizelge Tipleri

Bölüm	Kullanılan Ekipman Numarası ²	Ekipman Numarası-Oran (Ekipman numarası sırasına göre sıralı)	Günlük Ortalama Talep	Çizelge Tipi
Anjiyo	3,2,8,1,7,9	0.17,0.55,0.03,0.07,0.07,0.11	3,79	Yatarak Tedavi olan
1.Kat Ana Poliklinik	2,9,3	0.465,0.465,0.07	1,79	Ayakta tedavi olan
KVC Yoğun Bakım	7,9,8,6,5,2,1	0.115,0.229,0.007,0.076,0.191,0.229,0.153	1,08	Yatarak Tedavi olan
2.Kat Yatan Hasta	10,2,6,9,4,7	0.25,0.18,0.14,0.2895,0.14,0.0005	1,21	Yatarak Tedavi olan
Ameliyathane	1,4,7,8	0.217,0.326,0.435,0.022	2,04	Yatarak Tedavi olan
Pediyatri	9,10,6,5,4	0.002,0.133,0.2,0.658,0.007	4,17	Ayakta tedavi olan-Pediyatri
Acil Polikliniği	2,6,3,11,12,13	0.346,0.36,0.11,0.002,0.11,0.072	3,21	Acil
B1 Kardiyo	3,7,1,2,8,9	0.013,0.013,0.06,0.57,0.004,0.34	2,38	Yatarak Tedavi olan
2.Kat Poliklinik	2,9	0.91,0.9	1,83	Ayakta tedavi olan
Koroner Yoğun Bakım	3,2,8,1,7,9	0.17,0.55,0.03,0.07,0.07,0.11	1,42	Yatarak Tedavi olan
Zemin Poliklinik	2,3,9	0.55,0.27,0.18	2,29	Ayakta tedavi olan
1.Kat yatan Genel Cerrahi	1,2,3,9,7,6	0.0047,0.0093,0.001,0.109,0.003,0.873	3,83	Yatarak Tedavi olan
KVC 1.Kat yatan	5,1,2,3,4,9,6	0.03,0.01125,0.25,0.0125,0.19,0.125,0.38125	2,08	Yatarak Tedavi olan
Genel Yoğun Bakım	7,3,2,1,6,5,9	0.18,0.05,0.09,0.09,0.17,0.18,0.24	0,33	Yatarak Tedavi olan

² Ekipman numarasına göre isimler: 1-ACT, 2-EKG, 3- Ekokardiyografi, 4-İnfizyon P., 5-Monitör, 6- Nebülizator, 7-Şırınga P., 8-TEE, 9-Tekerlekli Sandalye, 10- Transcutan.

EK E. TALEP HIZI ARTIŞINA UYGUN OLARAK OLUŞTURULAN ARIMA MODELLERİ, EŞİTLİKLERİ ve İSTATİSTİKLERİ

Tablo E.1. Tüm Bölümlerin Talepx2 Durumunda ARIMA Modelleri

Hastane Bölümleri	Sezonsal ARIMA modelleri	ARIMA Model Eşitlikleri
Kat 2 Ana poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kat 1 Ana poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Acil poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Zemin poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Pediyatri poliklinik	$ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = y_{t-24} + \phi_1 * [y_{t-1} - y_{t-25}] + \varepsilon_t - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Ameliyathane	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
B1 Kardiyoloji	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
GYB	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
KVC Yoğun bakım	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kat 2 yatan hasta	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Genel Cerrahi	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kardiyovasküler cerrahi	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Koroner	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Anjiyo	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$

Tablo E.2. Tüm Bölümlerin Talepx2 Durumunda ARIMA Modeli İstatistikleri

Bölüm/Parametre	Parametre	Tahmin	Standart Hata	t-İstatistiği	P-Değeri
Kat 2 Ana poliklinik	SMA(1)	0,853123	0,0310641	274.633	0,000000
Kat 1 Ana poliklinik	SMA(1)	0,82108	0,035853	22,9011	0,000000
Acil Poliklinik	SMA(1)	0,82607	0,032786	25,1959	0,000000
Zemin poliklinik	SMA(1)	0,875248	0,029129	30,047	0,000000
Pediatri poliklinik	AR(1)	0,059228	0,083378	0,710352	0,478259
	SMA(1)	0,846179	0,031846	26,5709	0,000000
Ameliyathane	SMA(1)	0,853212	0,027951	30,5252	0,000000
B1 Kardiyoloji	SMA(1)	0,882611	0,029499	29,92	0,000000
GYB	SMA(1)	0,839873	0,027244	30,8273	0,000000
KVC Yoğun bakım	SMA(1)	0,841989	0,027155	31,0068	0,000000
Kat 2 yatan hasta	SMA(1)	0,82914	0,028434	29,1606	0,000000
Genel Cerrahi	SMA(1)	0,833954	0,033466	24,9197	0,000000
Kardiyovasküler cerrahi	SMA(1)	0,868753	0,029576	29,3738	0,000000
Koroner	SMA(1)	0,838758	0,029685	28,255	0,000000
Anjiyo	SMA(1)	0,871803	0,032227	27,0521	0,000000

Tablo E.3. Tüm Bölümlerin Talepx3 Durumunda ARIMA Modelleri

Hastane Bölümleri	Sezonsal ARIMA Modelleri	ARIMA Model Eşitlikleri
Kat 2 Ana poliklinik	$ARIMA(0,0,0)(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kat 1 Ana poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Acil poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Zemin poliklinik	$ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = y_{t-24} + \phi_1 * [y_{t-1} - y_{t-25}] + \varepsilon_t - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Pediyatri poliklinik	$ARIMA(1,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = y_{t-24} + \phi_1 * [y_{t-1} - y_{t-25}] + \varepsilon_t - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Ameliyathane	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
B1 Kardiyoloji	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
GYB	$ARIMA(1,0,0)x(0,0,0)_{24}$ + sabit terim	$y_t = \phi_1 * y_{t-1} + \text{sabit terim}$
KVC Yoğun bakım	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kat 2 yatan hasta	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Genel Cerrahi	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kardiyovasküler cerrahi	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Koroner	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Anjiyo	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$

Tablo E.4. Tüm Bölümlerin Talepx3 Durumunda ARIMA Modeli İstatistikleri

Bölüm/Parametre	Parametre	Tahmin	Standart Hata	t-İstatistiği	P-Değeri
Kat 2 Ana poliklinik	SMA(1)	0,834527	0,0300472	27,7738	0
Kat 1 Ana poliklinik	SMA(1)	0,854819	0,027327	31,2807	0
Acil Poliklinik	SMA(1)	0,83664	0,031889	26,2358	0
Zemin Poliklinik	AR(1)	0,250468	0,080822	3,099	0,002202
	SMA(1)	0,867194	0,030538	28,3973	0
Pediyatri Polikliniği	SMA(1)	0,800731	0,03436	23,3042	0
Ameliyathane	SMA(1)	0,852638	0,0313178	272.254	0,000000
B1 Kardiyoloji	SMA(1)	0,802785	0,0329951	243.304	0,000000
GYB	AR(1)	0,332498	0,0729274	45.593	0,000008
	Ortalama	0,997071	0,152385	654.312	0,000000
	Sabit terim	0,665548			
KVC Yoğun bakım	SMA(1)	0,844952	0,0294108	287.293	0,000000
Kat 2 yatan hasta	SMA(1)	0,876853	0,0289358	303.034	0,000000
Genel Cerrahi	SMA(1)	0,82769	0,0299243	276.594	0,000000
Kardiyovasküler cerrahi	SMA(1)	0,84133	0,0313606	268.276	0,000000
Koroner	SMA(1)	0,858242	0,0312714	274.449	0,000000
Anjiyo	SMA(1)	0,843911	0,0313522	269.171	0,000000

Tablo E.5. Tüm Bölümlerin Talepx4 Durumunda ARIMA Modelleri

Hastane Bölümleri	Sezonsal ARIMA Modelleri	ARIMA Model Eşitlikleri
Kat 2 Ana poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kat 1 Ana poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Acil poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Zemin poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Pediyatri poliklinik	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Ameliyathane	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
B1 Kardiyoloji	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
GYB	$ARIMA(0,1,1)x(0,0,0)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-1} - \psi_1 * \varepsilon_{t-1}$
KVC Yoğun bakım	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kat 2 yatan hasta	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Genel Cerrahi	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Kardiyovasküler cerrahi	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Koroner	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$
Anjiyo	$ARIMA(0,0,0)x(0,1,1)_{24}$	$y_t = \varepsilon_t + y_{t-24} - \theta_1 * \varepsilon_{t-24}$

Tablo E.6.Tüm Bölümlerin Talepx4 Durumunda ARIMA Modeli İstatistikleri

Bölüm/Parametre	Parametre	Tahmin	Standart Hata	t-İstatistiği	P-Değeri
Kat 2 Ana poliklinik	SMA(1)	0,853549	0,028249	30	0
Kat 1 Ana poliklinik	SMA(1)	0,838108	0,031112	26,9383	0
Acil Poliklinik	SMA(1)	0,890891	0,02724	32,7047	0
Zemin poliklinik	SMA(1)	0,80693	0,030843	26,1624	0
Pediyatri Poliklinik	SMA(1)	0,842575	0,029342	28,7159	0
Ameliyathane	SMA(1)	SMA(1)	0,84473	0,030459	27,7332
B1 Kardiyoloji	SMA(1)	0,83797	0,028803	29,0931	0
GYB	MA(1)	0,455955	0,069644	6,54697	0
KVC Yoğun bakım	SMA(1)	0,888582	0,02993	29,689	0
Kat 2 yatan hasta	SMA(1)	0,843085	0,028969	29,1026	0
Genel Cerrahi	SMA(1)	0,845902	0,030594	27,6489	0
Kardiyovasküler cerrahi	SMA(1)	0,817572	0,032514	25,1452	0
Koroner	SMA(1)	0,830263	0,027941	29,715	0
Anjiyo	SMA(1)	0,841157	0,029359	28,651	0

EK F. ARENA VISUAL BASIC KODLARI

Örnek olması amacı ile ekipman seçim algoritmalarının Arena simülasyon programındaki kodlarının bir kısmı gösterilmiştir.

-----KOD BAŞLANGICI-----

```
Private Function ModelLogic_UserFunction(ByVal entityID As Long, ByVal  
functionID As Long) As Double
```

```
Dim m As Model
```

```
Dim s As SIMAN
```

```
Set m = ThisDocument.Model
```

```
Set s = m.SIMAN
```

```
Dim aciliyetdurumu As Integer
```

```
Dim alettipi As Integer
```

```
Dim ekipmansayisi As Long
```

```
Dim hepsi(20, 3) As Long
```

```
Dim kullanimmiktari(9, 20) As Double ' alettipi x ekipmansayisi
```

```
Dim aletIndex As Integer
```

```
Dim kullanimzamani(9, 20) As Long ' alettipi x ekipmansayisi
```

```
Dim sembolnumarasi(9, 20) As Long
```

```
Dim transporterNumber As Long
```

```
Dim aletadi As String
```

```
Dim paretoFrontier(20) As Integer
```

```
Dim secilen As Integer
```

```
Dim availableTransporterNumber As Integer
```

```
Dim randomAta As Integer
```

```
Dim secebildimmi As Boolean
```

```
Dim transporterStationNumber As Long
```

Dim entityStationNumber As Long

Dim distanceNumber As Long

Dim aradakiMesafe As Long

Dim g As Integer

Dim z As Integer

Dim y As Integer

Dim transporterStatus As Long

Dim j As Variant

Dim n As Integer

Dim maxEkipmanSayisi As Integer

Dim oncekendinden As Boolean

Dim secilen1 As Integer

Dim secilen2 As Integer

Dim secilen3 As Integer

Dim test1, test2 As Integer

Dim testStr As String

Dim secilenmodelsembolno As Long

Dim basecasesembolno As Long

Dim secilenmodel As Long

secilenmodelsembolno = s.SymbolNumber("hangiModel")

secilenmodel = s.VariableArrayValue(secilenmodelsembolno)

basecasesembolno = s.SymbolNumber("basecase")

If s.VariableArrayValue(secilenmodelsembolno) = 0 And
s.VariableArrayValue(basecasesembolno) = 0 Then

```
MsgBox ("hatali giris")
ElseIf s.VariableArrayValue(secilenmodelsembolno) > 0 And
s.VariableArrayValue(basecasesembolno) = 1 Then
MsgBox ("hatali giris")
End If
```

maxEkipmanSayisi = 21 ' bir ekipmandan maksimum elde olan sayı.

```
aletIndex = 0
alettipi = s.AttributeValue(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("aletTipi"), 0, 0)
'MsgBox " alet tipi:" & alettipi '--- Alet tipi numarası ne. Alet tipi 1 ise daha
sonradan alet adını ACT olarak alacak.
aciliyetdurumu = s.AttributeValue(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("aciliyet"), 0, 0)
distanceNumber = s.SymbolNumber("uzaklik")
entityStationNumber = s.EntityCurrentStation(s.ActiveEntity)
```

Select Case alettipi ' 7 adet alet tipi tanımlanmış.

Case 1

```
aletadi = "ACT"
```

Case 2

```
aletadi = "EKG"
```

Case 3

```
aletadi = "Ekokardiyografi"
```

Case 6

```
aletadi = "Nebulizator"
```

Case 8

```
aletadi = "TEE"
```

Case 9

For f = 0 To maxEkipmanSayisi - 1 'ekipmansayisi - 1

hepsi(f, 0) = 999

paretoFrontier(f) = 999

Next f

'bos olan transporter NUMARALARINI hepsinin ilk sütununa yazalim

availableTransporterNumber = 0 ' boşta olan transporter sayısı başta sıfır olsun. Hiç bir ekipman kullanılmıyor.

For z = 0 To ekipmansayisi - 1 ' seçilen ekipman tipindeki toplam transporter sayısına bakıyor. Örneğin nebülizatörden toplamda 20 tane var.

'0 dan 19 a kadar tüm nebülizatörlere tek tek bakıyor.

transporterStatus = s.TransporterUnitStatus(transporternumber, z + 1) 'örneğin nebülizatörün 1.si dolu mu boş mu?

If transporterStatus = 0 Then ' transporter boş ise;

hepsi(z, 0) = z + 1

'MsgBox "alet tipi:" & alettipi

'MsgBox "boş trnsp:" & hepsi(z, 0)

availableTransporterNumber = availableTransporterNumber + 1 'kac tane available transporter var sayalim

hepsi(z, 1) = kullanimmiktari(aletIndex, z)

'available transporterlarin mesafelerini hepsinin üçüncü sütununa yazalim

transporterStationNumber = s.TransporterLocation(transporternumber, z + 1)

hepsi(z, 2) = s.DistanceSetValue(distanceNumber, transporterStationNumber, entityStationNumber)

hepsi(z, 3) = kullanimzamani(aletIndex, z) 'en son nezaman kullanimi bitti

End If

Next z

If availableTransporterNumber = 0 Then ' boşta olmayan ekipmanlar

MsgBox (alettipi)

End If

Dim temp As Long

temp = 0

Dim tempSira As Integer

tempSira = 0

'indexleri sırala 999 en alta insin diye yapıyoruz

For i = 0 To ekipmansayisi - 1

 For j = 1 To ekipmansayisi - i - 1

 ' indexleri

 If hepsi(j - 1, 0) > hepsi(j, 0) Then

 'swap the elements

 temp = hepsi(j - 1, 1)

 hepsi(j - 1, 1) = hepsi(j, 1)

 hepsi(j, 1) = temp

 temp = hepsi(j - 1, 2)

 hepsi(j - 1, 2) = hepsi(j, 2)

 hepsi(j, 2) = temp

 temp = hepsi(j - 1, 3)

 hepsi(j - 1, 3) = hepsi(j, 3)

 hepsi(j, 3) = temp

 tempSira = hepsi(j - 1, 0)


```
        hepsi(j - 1, 0) = hepsi(j, 0)
        hepsi(j, 0) = tempSira
    End If
Next j
Next i
```

' Burada Case 4-8 de kullanılacak olan dhepsi arrayini dolduruyoruz.

'dhepsi sadece case 4-8 de gerekli olduğu için diğer caselerin computation süresini artırmamak için if-then-else blok içinde ayrı dolduralım

```
Dim aletKullanimYuzdesi(18) As Double
```

```
Dim forecastArray(48, 18) As Double ' 19 departman için. index x departman
```

```
Dim gelisSaati As Integer ' kişilerin saat kaçta geldikleri bilgisi.
```

```
Dim gindex As Integer
```

```
Dim dep As Integer
```

```
Dim d As Integer
```

```
Dim dhepsi(20, 5) As Long ' maksimum 21 tane ekipman var demiştik.
```

```
Dim dforecast(18) As Double
```

```
Dim secilen5 As Integer
```

```
Dim depAletAdet(19) As Integer
```

```
If secilenmodel = 4 Or secilenmodel = 5 Or secilenmodel = 6 Or secilenmodel = 7 Or  
secilenmodel = 8 Then
```

```
    'gelisSaati 1'den baslar, icinde bulundugumuz saati gosterir
```

```
    'saat=51 ise 51.saatin icindeyiz demektir. 51.saat daha bitmemistir.
```

```
    '51.saat bittigi anda önce 52.saatin forecast degeri hesaplanır (VBA-fireblock1 de,  
    zaman ilerlemeden), sonra saat=52 olur
```

gelisSaati = s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("saat", 0, 0))

gindex = (gelisSaati - 1) Mod 49

'Icinde bulundugumuz saat icin yapilmis forecast degerini cek

For dep = 1 To 19

If gelisSaati > 49 Then

 dforecast(dep - 1) = s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("forecast", gindex + 1, dep)) 'forecast degeri icinde bulundugumuz saat icin yapilan tahmin

Else

 If gelisSaati = 1 Then

 dforecast(dep - 1) = 0

 Else

 dforecast(dep - 1) = s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("say", gindex, dep)) 'forecast değeri hesaplanamadigi icin yaklasik bir deger olmasi icin bir önceki saatin gelen kişi değerini aliyoruz

 End If

End If

Next dep

' Her bir departmanın kullandığı aletlerin oranlarını arenadan çekiyoruz.

For dep = 1 To 19

 aletKullanimYuzdesi(dep - 1) = s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("oran", dep, alettipi))

 'departmanların aletleri ne kadar kullandığını anlıyoruz.

 'MsgBox dep & ". departman " & alettipi & ". alet tipi kullanım oranı:" & ":" & (aletKullanimYuzdesi(dep - 1))

Next dep

For f = 0 To maxEkipmanSayisi - 1 'ekipmansayisi - 1

dhepsi(f, 0) = 777

Next f

'MsgBox " alet tipi:" & alettipi & "hangi dep istedi:" & entityStationNumber

' End If

'case 6 icin bosta aletin bulunduğu departmanda baska kac bosta alet var?

For i = 0 To availableTransporterNumber - 1

depAletAdet(s.TransporterLocation(transporternumber, hepsi(i, 0))) =
depAletAdet(s.TransporterLocation(transporternumber, hepsi(i, 0))) + 1

Next i

'hepsi arrayinde zaten available trasporterlarin indexleri, distance ve kullanim miktari yazili olduğu için bilgileri ordan cekiyoruz

For i = 0 To availableTransporterNumber - 1

dhepsi(i, 0) = hepsi(i, 0) 'available trasporterlar belirleniyor.

dhepsi(i, 1) = s.TransporterLocation(transporternumber, dhepsi(i, 0)) 'alet hangi departmanda(alet adı x ekipman numarası

dhepsi(i, 2) = dforecast(dhepsi(i, 1) - 1) * aletKullanimYuzdesi(dhepsi(i, 1) - 1)

dhepsi(i, 3) = hepsi(i, 2) 'aletin bulunduğu departmanın talep eden departmana uzakligi

dhepsi(i, 4) = hepsi(i, 1) 'aletin su ana kadarki kullanim miktari

dhepsi(i, 5) = depAletAdet(s.TransporterLocation(transporternumber, dhepsi(i, 0))) ' bu aletin bulunduğu departmanda bosta kac adet daha bu alet tipinden var

Next i

End If 'Case 4-8 icin dhepsi doldurma blogunu kapatir

secilen = 888

If availableTransporterNumber = 1 Then

secilen = hepsi(0, 0)

Else

n = availableTransporterNumber ' kaç tane transporterın boшта olduğunu biliyoruz.

Case 4 ' yaris modeli--Forecast değerleri sıralanacak.

'sıralama algoritmasını dhepsi 2. sutuna yani forecaste göre yapacağız.

For i = 0 To n - 1

For j = 1 To n - i - 1

' forecastlari kiyasla

If dhepsi(j - 1, 2) > dhepsi(j, 2) Then

'swap the elements

temp = dhepsi(j - 1, 1)

dhepsi(j - 1, 1) = dhepsi(j, 1)

dhepsi(j, 1) = temp

temp = dhepsi(j - 1, 2)

dhepsi(j - 1, 2) = dhepsi(j, 2)

dhepsi(j, 2) = temp

tempSira = dhepsi(j - 1, 0)

dhepsi(j - 1, 0) = dhepsi(j, 0)

dhepsi(j, 0) = tempSira

temp = dhepsi(j - 1, 3)

dhepsi(j - 1, 3) = dhepsi(j, 3)

dhepsi(j, 3) = temp

temp = dhepsi(j - 1, 4)

```

        dhepsi(j - 1, 4) = dhepsi(j, 4)
        dhepsi(j, 4) = temp
    End If
Next j
Next i
secilen = dhepsi(0, 0)

```

' Forecast değeri birden fazla minimum olan ekipman varsa onları seçebilir. Rastgele seçtirmeliyiz.

```

Dim secilenForecastValue As Long
Dim countSameForecastValue As Integer
secilenForecastValue = dhepsi(0, 2)
countSameForecastValue = 0
For i = 0 To availableTransporterNumber - 1
    If dhepsi(i, 2) = secilenForecastValue Then
        countSameForecastValue = countSameForecastValue + 1
    End If
Next i
If (countSameForecastValue > 1) Then
    'Int((upperbound - lowerbound + 1) * Rnd + lowerbound)
    rasgelesecelim = Int((countSameForecastValue - 1 - 0 + 1) * Rnd + 0)
    secilen5 = dhepsi(rasgelesecelim, 0)
Else
    secilen5 = dhepsi(0, 0)
End If

```

secilen = secilen5 'ayni forecast degerine sahip olanlar arasindan rastgele seçim

' Eger bu ekipmandan bolumde varsa oncelikle onu secmeliyiz. dhepsi arrayi aranarak ekipmandan talep eden departmanda var mi kontrol edilmeli.

' Ekipmandan talep eden departmanda birkac tane varsa aralarından biri rasgele secilmeli

' oncekendinden = true ise forecaste bakmadan once kendi departmanından alir

oncekendinden = True

If oncekendinden = True Then

sectimmi = False

rasgele = Int((availableTransporterNumber - 1 - 0 + 1) * Rnd + 0)

rasgeleindex = rasgele

While sectimmi = False

i = rasgeleindex Mod availableTransporterNumber

transporterStationNumber = s.TransporterLocation(transporternumber, dhepsi(i, 0))

entityStationNumber = s.EntityCurrentStation(s.ActiveEntity)

If entityStationNumber = transporterStationNumber Then

secilen = dhepsi(i, 0)

sectimmi = True

Else

rasgeleindex = rasgeleindex + 1

i = rasgeleindex Mod n

If i = rasgele Then 'bolumde bu ekipmandan olmadığı için tam tur donmus.
Bu durumda daha önce forecaste göre secilene kullanabiliriz

secilen = secilen5

sectimmi = True

```
End If
End If
Wend
End If 'oncekendinden alsin mi biter
```

```
'__Case 4 biter _____
```

```
Private Sub VBA_Block_1_Fire()
```

```
Dim m As Model
```

```
Dim s As SIMAN
```

```
Set m = ThisDocument.Model
```

```
Set s = m.SIMAN
```

'Tahmin kodu. Son 49 bilgiyi tutan sistemde forecast yapar.

'49 luk dataArrayı (gelenKisiler) verilmiş. ilk 49 saat içinde forecast yapılmadığından

'forecast Array ve dataArray başlangıçta aynıdır.

'dataArray bilgisi Arenadan çekilmelidir.

```
Dim dataArray(48, 18) As Double ' 19 departman için. index x departman
```

```
Dim forecastArray(48, 18) As Double ' 19 departman için. index x departman
```

```
Dim gelisSaati As Integer ' kişilerin saat kaçta geldikleri bilgisi.
```

```
Dim dataSayisi As Integer
```

```
Dim sorteddataArray(48, 18) As Double
```

```
Dim sortedForecastArray(48, 18) As Double
```

```
Dim index As Integer ' index kod dünyasında 0 dan başlıyor.
```

```
Dim forecastSaati As Integer
```

```
Dim sortIndex As Integer
```

Dim i As Integer

Dim dep As Integer

Dim d As Integer

Dim sortDep As Integer

gelisSaati = s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("saat", 0, 0)) 'gelisSaati 1'den....

'MsgBox "gelis Saati" & (gelisSaati)

'MsgBox (saatIndex)

'For gelisSaati = 50 To limit 'ilk 48 saat için forecastArray VBA ya girmiyor.

'49.saat için önce o saatin gelen kisisini 49.saat tahmini gibi kaydediyor sonra 50.saat tahminini yapmak için VBA e giriyor

forecastSaati = gelisSaati + 1 'onumuzdeki saat için forecast yapıyoruz

index = (forecastSaati - 1) Mod 49 ' forecastValuenun yazilacagi index.

dep = s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("dep", 0, 0))

d = dep

'Burada geçen 49 saatte kaç kişi geldiğini Yani dataArrayı ARENAdan çekiyoruz:

For i = 0 To 48

dataArray(i, d - 1) = s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("say", i + 1, d))
'50.saat boyunca gelen kişi sayısı dataArray(0)'a yazılır.gelisSaati 1 olur.

forecastArray(i, d - 1) = s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("forecast", i + 1, d)) 'forecastArray(0)=50.saat için yaptığımız tahmin.

'forecast array değerini ve geliş saatini yukarıya case 4 e kopyalayacağım.Böylece value değerlerini alacak.

Next i


```
'*****
```

```
**** Forecast icin arrayi forecast koduna hazir hale getir:
```

```
** BEGIN sortArray
```

```
sortIndex = 0
```

```
For i = index To 48 ' burdaki index 0 dan başlar.
```

```
    sortedDataArray(sortIndex, d - 1) = dataArray(i, d - 1)
```

```
    sortedForecastArray(sortIndex, d - 1) = forecastArray(i, d - 1)
```

```
    sortIndex = sortIndex + 1
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To index - 1
```

```
    sortedDataArray(sortIndex, d - 1) = dataArray(i, d - 1)
```

```
    sortedForecastArray(sortIndex, d - 1) = forecastArray(i, d - 1)
```

```
    sortIndex = sortIndex + 1
```

```
Next i
```

```
***begin forecast
```

```
Dim value As Double
```

```
value = 0
```

```
Dim t As Integer
```

```
t = 49
```

```
Dim AR1 As Double
```

```
Dim SAR1 As Double
```

```
Dim SMA1 As Double
```

Dim constant As Double

Dim forecastValue

'departman 1: anjiyo

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1 *E(t-24)

If dep = 1 Then

SMA1 = 0.855

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 3: 1. kat ana poliklinik

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1 *E(t-24)

ElseIf dep = 3 Then

SMA1 = 0.860187

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 4: KVC yoğun bakım

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1 *E(t-24)

ElseIf dep = 4 Then

SMA1 = 0.845

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 5: 2. kat yatan poliklinik

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1 *E(t-24)

ElseIf dep = 5 Then

SMA1 = 0.843

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 6: 1. kat genel cerrahi-2-- buranın gelişleri 0 alınıyor sadece istasyon niteliğinde.

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1 *E(t-24)

ElseIf dep = 6 Then

SMA1 = 0.836

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 7: ameliyathane

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1 *E(t-24)

ElseIf dep = 7 Then

SMA1 = 0.835

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 8: pediatri

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1 *E(t-24)

ElseIf dep = 8 Then

SMA1 = 0.831746

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 9: Acil polikliniği

'y(t)=y(t-24)+AR1*[y(t-1)-y(t-25)]+E(t)-SMA1*E(t-24)

ElseIf dep = 9 Then

AR1 = 0.181137

SMA1 = 0.841662

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) + AR1 * (sortedDataArray(t - 1, dep - 1) - sortedDataArray(t - 25, dep - 1)) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 10: B1 kardiyo

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1*E(t-24)

ElseIf dep = 10 Then

SMA1 = 0.820709

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 11: 2. kat poliklinik

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1*E(t-24)

ElseIf dep = 11 Then

SMA1 = 0.864947

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 12: koroner

$$y(t)=y(t-24)+AR1*[y(t-1)-y(t-25)]+E(t)-SMA1*E(t-24)$$

ElseIf dep = 12 Then

$$AR1 = 0.201$$

$$SMA1 = 0.845$$

$$\text{constant} = 0$$

$$\text{value} = \text{sortedDataArray}(t - 24, \text{dep} - 1) + AR1 * (\text{sortedDataArray}(t - 1, \text{dep} - 1) - \text{sortedDataArray}(t - 25, \text{dep} - 1)) - SMA1 * (\text{sortedDataArray}(t - 24, \text{dep} - 1) - \text{sortedForecastArray}(t - 24, \text{dep} - 1)) + \text{constant}$$

'departman 13: zemin poliklinik

$$y(t)= E(t)+y(t-24)-q1*E(t-24)$$

ElseIf dep = 13 Then

$$SMA1 = 0.857945$$

$$\text{constant} = 0$$

$$\text{value} = \text{sortedDataArray}(t - 24, \text{dep} - 1) - SMA1 * (\text{sortedDataArray}(t - 24, \text{dep} - 1) - \text{sortedForecastArray}(t - 24, \text{dep} - 1)) + \text{constant}$$

'departman 14: acil polikliniği2 --- gelişler 0 alınıyor tahmin modeli yok.Acil polikliniği ile aynı talep tahmin modelini yazacağız.

$$y(t)=y(t-24)+AR1*[y(t-1)-y(t-25)]+E(t)-SMA1*E(t-24)$$

ElseIf dep = 14 Then

$$AR1 = 0.181137$$

$$SMA1 = 0.841662$$

$$\text{constant} = 0$$

$$\text{value} = \text{sortedDataArray}(t - 24, \text{dep} - 1) + AR1 * (\text{sortedDataArray}(t - 1, \text{dep} - 1) - \text{sortedDataArray}(t - 25, \text{dep} - 1)) - SMA1 * (\text{sortedDataArray}(t - 24, \text{dep} - 1) - \text{sortedForecastArray}(t - 24, \text{dep} - 1)) + \text{constant}$$

'departman 16: 1. kat yatan cerrahi

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1 *E(t-24)

ElseIf dep = 16 Then

SMA1 = 0.836

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 17: KVC 1.kat yatan hasta

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1 *E(t-24)

ElseIf dep = 17 Then

SMA1 = 0.817526

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

'departman 18: NICU-2

'departman 19: Genel yoğun bakım

'y(t)= E(t)+y(t-24)-q1 *E(t-24)

ElseIf dep = 19 Then

SMA1 = 0.867

constant = 0

value = sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - SMA1 * (sortedDataArray(t - 24, dep - 1) - sortedForecastArray(t - 24, dep - 1)) + constant

End If

'If value < 0 Then

```
'value = 0
```

```
'End If
```

```
forecastArray(index, d - 1) = value
```

```
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("forecast", index + 1, d)) = value
```

```
End Sub
```

ÖZGEÇMİŞ

Soyadı, adı : ERSOL, Duygu
Uyuğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 11.07.1987 / Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (505) 945 43 72
E – mail : ersol.duygu@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi/ Endüstri Mühendisliği	2011
Yüksek Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği	2014

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Konum
2012-2014	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Öğretim Asistanı

Yabancı Diller

İngilizce , İspanyolca.

Yayınlar

[1] Ersol, D., Serper, E.Z., Gungor, G., Fescioglu-Unver, N., The 10th Global Conference on Sustainable Manufacturing (GCSM'2012), İstanbul, Turkey, Ekim 2012.

[2] Ersol, D., Fescioğlu-Unver, N., Improving Efficiency of Real Time Locating Systems in Hospitals, 20th Conference of International Federation of Operational Research Societies (IFORS'2014), is submitted and accepted, Barcelona, Spain, Temmuz 2014.