

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Gizem Gül KOÇ

KAN ÜRÜNLERİ TEDARİK ZİNCİRİ OPTİMİZASYONU

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2022

ÖZ

DOKTORA TEZİ

KAN ÜRÜNLERİ TEDARİK ZİNCİRİ OPTİMİZASYONU

Gizem Gül KOÇ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
Yıl: 2022, Sayfa: 105
Jüri : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
: Doç Dr. Hacire Oya YÜREĞİR
: Doç Dr. Yusuf KUVVETLİ
: Doç. Dr. Cansu DAĞSUYU
: Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE

Bu çalışma bir Üniversite Hastanesi Kan Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Kan Merkezi'ndeki her bir birim faaliyetleri detaylı olarak incelenmiş, Kan Merkezi'ndeki süreçler, simülasyon modeline aktarılıp modellenmiştir. Kan Merkezi'ndeki her birimde çalışan personel sayısına bağlı olarak personel doluluk için deney tasarımı ve haftalık Kızılay siparişlerine ait veriler kullanılarak deney miktarları oluşturulmuştur. Simülasyondan elde edilen deney setlerinden personel sayılarına bağlı personel doluluk formülleri, Kızılay sipariş miktarına bağlı olarak imha, maksimum ve minimum stok formülasyonları regresyon analizi ile elde edilmiştir. Regresyon analizi ile oluşturulan formüller, personel optimizasyonu ve haftalık Kızılay sipariş optimizasyonu matematiksel modellerine dahil edilerek minimum personel doluluk farkları altında personel sayıları ve imha, maksimum ve minimum stok kısıtları altında optimum haftalık Kızılay sipariş verme miktarları bulunmuştur. Haftalık sipariş miktarı modeli sonucu çıkan veriler tekrar simülasyona girilerek sağlama yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kan Merkezi, Simülasyon, Matematiksel Modelleme, Kan Ürünleri

ABSTRACT

PhD. THESIS

BLOOD PRODUCTS SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION

Gizem Gül KOÇ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
Year: 2022, Pages: 105
Jury : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
: Assoc. Prof. Dr. Hacıre Oya YÜREĞİR
: Assoc. Prof. Dr. Yusuf KUVVETLİ
: Assoc. Prof. Dr. Cansu DAĞSUYU
: Assist. Prof. Dr. Fikri EGE

This study was conducted at a University Hospital Blood Center. The activities of each unit in the Blood Center were examined in detail, and the processes in the Blood Center were transferred to the simulation model and modeled. Depending on the number of personnel working in each unit in the Blood Center, the experimental design for personnel occupancy and the data of the weekly Red Crescent orders were used to create the test quantities. From the experimental sets obtained from the simulation, the personnel occupancy formulas depending on the number of personnel, the destruction, maximum and minimum stock formulations depending on the Red Crescent order quantity were obtained by regression analysis. The formulas created by the regression analysis were included in the personnel optimization and weekly Kızılay order optimization mathematical models, and the optimum weekly Kızılay ordering quantities were found under the minimum personnel occupancy differences and the destruction, maximum and minimum stock constraints. The data obtained as a result of the weekly order quantity model were re-entered into the simulation and verified.

Keywords: Blood Center, Simulation, Mathematical Modeling, Blood Products

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Değişik nedenlere bağlı olarak her gün her yaşta insanın kan nakline ihtiyacı olmaktadır. Ancak COVID 19 pandemisinin de etkisiyle dünyada olduğu gibi Türkiye’de de kan bağıışı azalmıştır. Buna dış ülkelerden göçlerde eklenince kanı tedarik etmek, kanı ürünlerine ayrıştırmak, depolamak ve hastalara zamanında ulaştırmak adına kan tedarik zinciri ve stok yönetimi her zamankinden daha da önemli hale gelmiştir. Kan tedarik zinciri, kan ve kan ürünlerinin donörden yani kan bağıışında bulunan kişiden alıcıya yani kan ihtiyacı olan kişiye verilmesi, kan ürününü hastaya verilmeden önce özellikle bulaşıcı hastalıklar yönünden test edilmesi, ürünlerine ayrıştırmak için işlenmesi ve nihayetinde de ilgili hastane, sağlık merkezi, yoğun bakım üniteleri ve servislere dağıtılması süreçlerini içerir.

Günlük hayatta gerek tıbbi tedaviler veya cerrahi ameliyatların bir parçası olarak gerekse acil durumlarda hastalara kan ürünleri nakli yapılmaktadır. Bu durum stok yönetiminin çok önemli olduğunu gösterir, zira ihtiyaç durumunda stokta istenen kan ürün veya ürünleri yoksa hasta kaybedilebilir.

Öte yandan kan toplamak sürekli bir çaba gerektiren bir eylemdir; bağıışın gönüllü olduğu ülkelerde konfor, riskler, kolaylık ve erişilebilirlik gibi birçok faktör bağıış kararını etkileyebilir. Ancak koşullar ne olursa olsun kan talebini karşılamak için yeterli miktarda kan toplanması gerekir. Tedarik zinciri terminolojisinde arz ile talebin eşleştirilmesi, kan ve ürünlerinin toplanması, işlenmesi ve dağıtılması için iyi bir altyapıya ihtiyaç vardır. Kan tedarik zincirinin farklı konfigürasyonları, dünyanın farklı ülkelerindeki hastanelerde uygulanmakla birlikte amaç aynıdır yani kan ürünleri talebini minimum maliyet ve minimum israfla karşılamaktır.

Kan ürünlerinin tedarik zinciri yönteminde kendine has özellikleri de dikkate alınmalıdır. Kan grupları, uyumlulukları ve kan ürünlerinin farklı raf ömürleri gibi faktörler, kan tedarik zinciri sistemlerine ve karar verme sürecine karmaşıklık katmaktadır. Bu durum bizlere ulusal kan toplama politikalarının varlığının, toplanan kanın gerek bir bütün halinde gerekse de ürünlerine

ayrıştırılması sırasında kayıp vermeksizin işlenmesi ve depolanmasının yanı sıra iyi bir stok yönetiminin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Bilim insanları farklı bakış açılarıyla konuyu ele almış bağış aşamasından hastaya nakil aşamasına kadar geçen süredeki her bir süreci iyileştirme adına değişik çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu çalışmalardan en önemlileri sürecin simüle edilmesi ve tedarik zincirine yönelik yapılan araştırmalardır.

Çalışmamızda Üniversite Hastanesi Bölge Kan Merkezi'nin kan bağışçılarının kabul edildiği kayıt masasından kanın stoklandığı depoya, kanın hastanın yattığı birime nakledilmesine kadar olan tüm süreçlerde gözlemsel çalışmalarda bulunulmuş, her bir birimin iş akış şemaları çizilerek, her bir faaliyetin standart süresi kronometre ile belirlenmiştir. Bu gözlemler sırasında personel doluluk oranları kanın daha etkin kullanımı, kan ürünlerinin imha miktarı dikkate alınmıştır. Bu nedenle Kızılay'dan haftalık olarak sipariş verilen kan miktarının optimize edilmesi yanı sıra personel iş yüklerini dengeleme amacıyla personel doluluk oranları farkının minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Tez kapsamında her birimdeki akış şemaları Arena programında uyarlanarak ve simülasyon modeli oluşturulmuştur. Ardından problemin çözümü için gerekli veriler hasta bilgi işlem veri tabanından çekilmiştir.

Elde edilen veriler istatistiksel olarak Ki-kare ve Kolmogorov-Simirnov testleri ile analiz edilmiş, kan gelişleri ve kan talepleri için olasılık dağılımları belirlenmiş ve bu dağılımlar simülasyon modelinde girdi olarak dikkate alınmıştır. Daha sonra personel doluluk için deney tasarımı ve Kızılay sipariş miktarı için denemeler oluşturulmuş ve simülasyondan her bir deneme için veriler çekilmiştir.

Çalışma kapsamında hem kendi ihtiyacı olan kan ve kan ürünlerinin donörden temin edebilen ve isteyebilen sağlık kuruluşları dikkate alınmıştır. Ülkemizde bu özelliklere sahip sağlık kuruluşu sayısı oldukça azıdır. Örnek bir sağlık kuruluşundaki kan ürünleri stok politikaları yerinde ayrıntılı olarak incelenmiş ve çeşitli stok politikaları altında simülasyon ve matematiksel programlama teknikleri kullanılarak en uygun stok politikası belirlenmiştir. Oluşturulan

matematiksel modelin optimum çözümlü bilgisayar paket programı kullanılarak elde edilmiştir.

Tüm dünyada konuyla ilgili ulusal kan politikaları geliştirilmiş, geliştirilmeye de devam edilmektedir. Kan toplama konusu pek çok problem barındırmaktadır. Kızılay'dan kan gelişleri, kanların bozulma oranları ve maliyetleri, kritik hastaların acil kan bekliyor olması, Kan Merkezi'ne rastgele gelen kan miktarları, son 2-3 yıldan bu yana tüm dünyayı dize getiren salgınlar ve buna bağlı yaşanan savaş gibi olağandışı durumlar nedeniyle bağışçı sayılarının azalması bunlardan bir kaçısı olarak sıralanabilir. Tez çalışması böyle bir duruma hizmet için kurgulanmış olup elde edilen veriler diğer kan merkezleri için pilot çalışma olacak niteliktedir.



TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca her konuda yardımcı olan ve tezin geliştirilmesinde yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Ali KOKANGÜL'e tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Doktora Tez İzleme Komitesi üyeleri değerli hocalarım Doç. Dr. Oya Yüreğir ve Doç. Dr. Cansu Dağsuyu'ya destek ve değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez Değerlendirme Jürisi üyeleri, Doç. Dr. Yusuf KUVVETLİ'ye ve Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE'ye değerli katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans ve doktora tezi boyunca sürekli yanımda olan, desteğini hep hissettiğim babam Zafer Koç'a ve annem Filiz Koç'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	3
1.2. Kan Merkezi	4
1.2.1. Transfüzyon Merkezleri	6
1.2.2. Bölge Kan Merkezi'nin Faaliyetleri	7
1.2.3. Kan Bağışı	8
1.2.4. İmmüno-Hematolojik Testler	10
1.2.5. Mikrobiyolojik Testler	10
1.2.6. Acil Durumlar	11
1.2.7. Kan ve Bileşenlerinin Üretimi	12
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	12
1.4. Çalışmanın Adımları	13
1.5. Orjinal Katkıları	14
1.6. Tez Organizasyonu	14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
2.1. Kan Tedarik Zinciri Literatür Taraması	17
2.2. Simülasyon Literatür Taraması	23
2.3. Literatür Değerlendirmesi	27
3. MATERYAL VE METOD	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Araştırmada İşlenen Veriler	29

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar.....	42
3.2. Metod	46
3.2.1. Çalışmada Kullanılan Yöntemler.....	46
3.2.2. Stok Kavramı	47
3.2.2.1. Stok Kontrol Modelleri	47
3.2.2.2. Deterministik (Belirli) Stok Modeli	48
3.2.2.2.(1). Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) Modeli	49
3.2.2.2.(2). Ekonomik Üretim Miktarı (EPQ) Modeli	50
3.2.2.3. Stokastik (Olasılıklı) Modeller.....	51
3.2.2.3.(1). Stokastik Stok Kontrol Modelleri.....	52
3.2.3. Dağılımların İstatistiksel Analizi	52
3.2.3.1. Ki-Kare Dağılımı	52
3.2.3.2. Kolmogorov-Smirnov Testi	54
3.2.4. Simülasyon	56
3.2.4.1. Deterministik Modeller	58
3.2.4.2. Stokastik Modeller	59
3.2.4.3. Dinamik Simülasyon Modelleri	59
3.2.4.4. Kesikli Simülasyon Modelleri.....	59
3.2.4.5. Sürekli Simülasyon	59
3.2.4.6. Simülasyonun Avantaj ve Dezavantajları	60
3.2.5. Simülasyon Çıktıları Analizi.....	60
3.2.5.1. Simülasyonun Uzunluğu.....	60
3.2.5.2. Isınma Periyodu	61
3.2.5.3. Replikasyon Sayısı Belirlenmesi	62
3.2.5.4. Standart Hata	63
3.2.5.5. Simülasyon Modelinin Doğruluğu ve Geçerliliği	63
3.2.6. Regresyon Analizi	64
3.2.7. Matematiksel Modelleme.....	65
3.2.8. Çalışmada Geliştirilen Yaklaşım	65

3.2.8.1. Simülasyon Modeli	65
3.2.8.2. Deney Tasarımı	66
3.2.8.3. Regresyon Analizi	66
3.2.8.4. Matematiksel Modelleme	66
3.2.8.4.(1). Personel Optimizasyonu	66
3.2.8.4.(2). Haftalık Kızılây Sipariş Miktarı Optimizasyonu	68
4. BULGULAR	71
4.1. İstatistiksel Analiz	71
4.2. Simülasyon Modelleme	73
4.2.1. Performans Kriterlerinin Belirlenmesi	73
4.2.2. Simülasyon Çıktılarının Analizi	74
4.3. Simülasyon Geçerliliği	77
4.4. Mevcut Personel Kullanım Oranı	78
4.5. Mevcut Makine Etkinlik Oranı	79
4.6. Deney Tasarımı	79
4.6.1. Personel Optimizasyonu için Deney Tasarımı	79
4.6.2. Haftalık Kızılây Sipariş Verme Miktarı	80
4.7. Matematiksel Modelleme	83
4.7.1. Personel Optimizasyonu Matematiksel Modelleme	83
4.7.2. Haftalık Kızılây Sipariş Miktarı Optimizasyonu Matematiksel Modelleme	85
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
5.1. Sonuçlar	89
5.2. Öneriler	90
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	101
EKLER	103



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Kan Bileşenleri Bozulma Süreleri.....	31
Çizelge 3.2. Kan Merkezi Birimlerdeki Personel Sayıları	31
Çizelge 4.1. Bağışçı Gelişi Olasılık Dağılımı.....	71
Çizelge 4.2. Takasçı Gelişi Olasılık Dağılımı	72
Çizelge 4.3. Hastaya Kan Gelişi Olasılık Dağılımı	72
Çizelge 4.4. Aferez Bağış Kan Gelişi Olasılık Dağılımı	72
Çizelge 4.5. Aferez Hastaya Kan Gelişi Olasılık Dağılımı	72
Çizelge 4.6. Eritrosit Talep Gelişi Olasılık Dağılımı	72
Çizelge 4.7. Plazma Talep Gelişi Olasılık Dağılımı.....	72
Çizelge 4.8. Aferez Talep Gelişi Olasılık Dağılımı.....	73
Çizelge 4.9. Replikasyon Sayısı	75
Çizelge 4.10. Standart Hata	76
Çizelge 4.11. Simülasyon Geçerliliği	78
Çizelge 4.12. Mevcut Durumda Personelin Ortalama Doluluk Oranı	78
Çizelge 4.13. Mevcut Durumda Makinenin Ortalama Doluluk Oranı.....	79
Çizelge 4.14. Regresyon Sonuçları ve Denklemler	80
Çizelge 4.15. Regresyon Sonuçları ve Denklemler	82
Çizelge 4.16. Personel Sayısı Lingo Sonuçları	84
Çizelge 4.17. Sipariş Miktarı Lingo Çıktısı	87
Çizelge 4.18. Lingo Sonucu ile Simülasyon Sonucunun Doğrulanması.....	88



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Orta Akdeniz Bölge Kan Bağış Merkezi.....	6
Şekil 1.2. Kan Merkezi Faaliyetleri.....	8
Şekil 1.3. Kan komponentleri.....	9
Şekil 1.4. Çalışma Adımları	13
Şekil 3.1. Bağışçı Akış Şeması.....	33
Şekil 3.2. Eritrosit Süreci Akış Şeması	35
Şekil 3.3. Trombosit Süreci Akış Şeması.....	37
Şekil 3.4. Plazma Süreci Akış Şeması.....	40
Şekil 3.5. EasyFit programı.....	42
Şekil 3.6. Arena versiyonunda yapılan basit bir model	43
Şekil 3.7. Design–Expert	45
Şekil 3.8. Lingo	46
Şekil 3.9. Deterministik stok modelleri	49
Şekil 3.10. Ekonomik Üretim Miktarı Modeli (EPQ).....	50
Şekil 3.11. Karar Modeli ve Karar -Test İstatistiği.....	54
Şekil 3.12. Simülasyon modelleri	58
Şekil 4.1. Isınma Periyodu.....	74
Şekil 4.2. Personel Optimizasyonu Lingo Çözümü.....	83
Şekil 4.3. Sipariş Miktarı Optimizasyonu Lingo Çözümü.....	86



1. GİRİŞ

Değişik nedenlere bağlı olarak her gün her yaşta insanın kan nakline ihtiyacı olmaktadır. Ancak COVID 19 pandemisinin de etkisiyle dünyada olduğu gibi Türkiye’de de kan bağıışı azalmıştır. Buna dış ülkelerden göçlerde eklenince kanı tedarik etmek, kanı ürünlerine ayrıştırmak, depolamak ve hastalara zamanında ulaştırmak adına kan tedarik zinciri ve stok yönetimi her zamankinden daha da önemli hale gelmiştir. Kan ve kan ürünlerinin donörden yani kan bağıışında bulunan kişiden alıcıya yani kan ihtiyacı olan kişiye verilmesi, kan ürününü hastaya verilmeden önce özellikle bulaşıcı hastalıklar yönünden test edilmesi, ürünlerine ayrıştırmak için işlenmesi ve nihayetinde de ilgili hastane, sağlık merkezi, yoğun bakım üniteleri ve servislere dağıtılması süreçlerini içerir. Günlük hayatta gerek tıbbi tedaviler veya cerrahi ameliyatların bir parçası olarak gerekse acil durumlarda hastalara kan ürünleri nakli yapılmaktadır. Bu durum stok yönetiminin çok önemli olduğunu gösterir, zira ihtiyaç durumunda stokta istenen kan ürün veya ürünleri yoksa hasta kaybedilebilir. Kan bağıışı oranları ülkeden ülkeye değişmektedir. Amerika Birleşik Devletlerindeki Amerikan Kızıl Haçı'na göre 2014 yılı itibariyle kan bağıışlamasında tıbbi açıdan herhangi bir engeli olmayan tüm bireylerin sadece %10'unun kan bağıışında bulunduğu ve Dünya Sağlık Örgütüne (DSÖ) göre orta ve düşük gelirli ülkelerde bu oranın oldukça düşük olduğu bildirilmiştir (WHO 2014). Yine DSÖ’nün 2000 yılında yayınladığı verilere göre 1000 kişilik örneklem bazında kan bağıışı oranını geliri yüksek, üst-orta, alt orta ve düşük ülkelerde sırasıyla %31.5, %15.9, %6.8 ve % 5.0 olarak belirlemişlerdir. Tüm bu oranlar göz önüne alındığında kan tedarik zinciri için karar vermenin oldukça önemli ve zor bir süreç olduğunu göstermektedir. Bu süreçte diğer bir önemli noktada maliyettir. DSÖ kan bağıışçıları gönüllü bağıışçılar, takas ve paralı bağıışçılar olmak üzere üç başlık altında toplamıştır. Her ne kadar kan bağıışının büyük bir oranı gönüllü bağıışı ve takasa dayansa da bağıış noktalarına ulaşım, kan ürünlerinin ayrıştırılması işlemi, depolama ve dağıtım hizmetleri beraberinde maliyeti de getirmektedir. Genel olarak,

verimli bir kan tedarik zinciri talebi karşılamalı ve aynı zamanda israfı ve maliyetleri en aza indirmelidir. Bununla birlikte çoğu kan ürününün sınırlı raf ömrü karmaşık tedarik zinciri üzerinde, stokta yeterli miktarda kan ürününün olmaması ve kullanım süresinin (miyadının) dolması gibi riskler katı kısıtlamalar getirir. Sistemin uygunluğu, özellikleri ve karmaşıklığı göz önüne alındığında, kan tedarik zincirinin tüm aşamalarında karar verme sürecini desteklemek için sağlam metodolojiler geliştirmek gereklidir.

İnsan hayatı tehlikede olduğundan, kan tedarik zincirinin gerçek dünyadaki önemi aşikardır. Katsaliaki ve Brailsford'a (2007) göre, ürünler ve alt ürünler dahil olmak üzere kandan yüzden fazla farklı ürün elde edilebilir, eritrositler (kırmızı kan hücreleri), plazma, trombositler (kan pıhtılarının oluşumunda görev alan kan pulcukları) ve kriyopresipitat (tek ünite taze donmuş plazmanın +4°C eritilmesi ile elde edilen kriyoglobulin fraksiyonu) en önemlileri olarak kabul edilir. Transfüze edilen ürünlerin %63.4'ünü eritrositler, %17.8'ini plazma, %13.6'sını trombositler ve %5'ini kriyopresipitat oluşturur. Ayrıca bu ürünler, özel işlemler için ışınlanmış veya yıkanmış ürünler gibi alt ürünler elde etmek için veya rekombinant ürünler gibi diğer ürünler için hammadde olarak işlenebilir.

Örneğin, anemi (kansızlık) tedavilerinde eritrosit gerekirken kanser hastaları için trombositler ve yanıklı hastaları tedavi etmek için plazma gereklidir. Her bir kan ürünü sağlık hizmetlerinde farklı süreçlerde birçok alanda kullanılabilir.

Kan ve kan ürünlerinin kendine has özellikleri de dikkate alınmalıdır. Kan grupları, uyumlulukları ve kan ürünlerinin farklı raf ömürleri gibi faktörler, kan tedarik zinciri sistemlerine ve karar verme sürecine karmaşıklık katmaktadır. Sekiz ana kan grubu (her biri rhesus pozitif veya negatif olabilen A, B, AB ve O) vardır ve her grubu popülasyonda farklı bir orana sahiptir. Oranlar etnik kökenlere ve coğrafi bölgelere göre değişir; örneğin, Birleşik Krallık'ta, O Rh pozitif ve AB negatif oranları sırasıyla %37 ve %1'dir, Kolombiya'da ise aynı kan grupları oranı sırasıyla %56 ve %0.3'dür. Bu kan grupları dışında bazı çok nadir kan grupları olduğundan,

çoğu zaman ikame ürünlerin kullanılması gerekir. Ancak, bunları kullanmada belirli kısıtlamalar ve tercihler söz konusudur.

Kan ürünlerinin kullanım ömrü de dikkate alınması gereken bir diğer önemli faktördür; trombosit, eritrosit, plazma ve kriyopresipitatın farklı raf ömürleri vardır. Trombositler sadece 5 günlük raf ömrü ile en kritik bileşendir, bunu 42 gün ile eritrosit ve son olarak bir yıl ile plazma ve kriyopresipitat takip eder. Bu, bir kan ürününün raf ömrü sona ermeden önce transfüze edilmemişse imha edilmesi gerektiği anlamına gelir.

Öte yandan kan toplamak sürekli bir çaba gerektiren bir eylemdir; bağışın gönüllü olduğu ülkelerde konfor, riskler, kolaylık ve erişilebilirlik gibi birçok faktör bağış kararını etkileyebilir. Ancak koşullar ne olursa olsun kan talebini karşılamak için yeterli miktarda kan toplanması gerekir. Tedarik zinciri terminolojisinde arz ile talebin eşleştirilmesi, kan ve ürünlerinin toplanması, işlenmesi ve dağıtılması için iyi bir altyapıya ihtiyaç vardır. Kan tedarik zincirinin farklı konfigürasyonları, dünyanın farklı ülkelerindeki hastanelerde uygulanmakla birlikte amaç aynıdır yani kan ürünleri talebini minimum maliyet ve minimum israfta karşılamaktır.

1.1. Problemin Tanımı

Günlük hayatta kullandığımız tüketim ürünlerinin belirli bir raf ömrü bulunmaktadır. Bu raf ömrünün tamamlanması sonucunda ürün bozulmakta ve kullanılamaz hale gelmektedir. Raf ömrü olarak tanımladığımız bozulma süresi kan ve kan ürünlerinde etkisini çok fazla göstermektedir. Sağlık açısından da bozulan bir ürün tüketilemeyeceği için raf ömrü tamamlanan ürünler herhangi bir başka yerde değerlendirilememekte ve imha edilmektedir.

Bu durumda ürünün Kızılay'dan temin edilmesi sırasında pek çok maliyete ek olarak bozulma maliyeti yanı sıra bu ürünün işlenerek nakil aşamasına getirilmesi sürecindeki personel doluluk oranlarının önemi de ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma ile;

- Deney tasarımının yapılması ve simülasyon modeline kurgulanarak simülasyon çıktılarının alınması
- Personel sayıları ile personel doluluk oranları arasındaki matematiksel ilişkinin belirlenmesi
- Personel doluluk oranları farkının optimize edilmesi,
- Haftalık Kızılay sipariş miktarları ile maksimum ve minimum stok, imha sayıları arasındaki matematiksel ilişkinin belirlenmesi

Kızılay sipariş verme miktarını optimize edilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Kan Merkezi

Cerrahi girişimler, hastalıklar ya da çeşitli kazalara bağlı olarak insanların süregen kan ve kan ürünlerine ihtiyaçları olmaktadır. Bu insanların yaşamları yapılan kan nakli olayının başarısı ile ilişkilidir.

- Kan bankacılığının temel faaliyetleri (Ulusal Kan ve Kan Bileşenleri Hazırlama, Kullanım ve Kalite Güvencesi Rehberi 2016);
 - Gönüllü bağışlar yoluyla kan toplamak,
 - Bu ürünlerin bulaşıcı hastalık içerip içermediklerini analiz etmek
 - Kanı değişik ürünlere ayırmak
 - Depolamak ve
 - İhtiyacı olan hastaların bulunduğu sağlık kurumlarına ulaştırmaktır.

İşlemin sağlıklı olarak ilerlemesi için bütün bu aşamaların titizlikle yapılması gerekir.

Kan Bağışı; alınan kanın tüm bileşenleri veya içerisinde bulunan ürünlerin en az birinin ihtiyacı olan bireye bağışlanması işlemidir.

Kan ve kan ürünleri, her ülkede olduğu gibi ülkemizde de en önemli hastane stok kalemlerinden biridir.

Bağış işlemi sırasında

1. Kan bağışı yapan bireyi, gerek işlem gerekse de işlem sonrası ortaya çıkabilecek olası komplikasyonlardan korumak
2. Kanın nakledileceği hastalarda kandan bulaşabilecek olası enfeksiyonların veya bağışçının kullanmakta olduğu ilaç/madde gibi ajanların yaratacağı medikal problemlerin ortaya çıkmasını önlemek en önemli amaçlardır.

Gönüllü bireylerden kan ve kan ürünlerinin alınması yasal mevzuata uygun olarak yapılmaktadır. 2016'da tüm dünyada yaklaşık 107 milyon kan transfüzyonu yapılmıştır. Bağışçıdan kan/kan ürünlerinin alım süreci aşağıda sıralanmıştır.

1. Bağışçının bilgilendirilmesi,
2. Bağışçı tarafından "Bağışçısı Kayıt Formu ve Sorgulama Formlarının" doldurulması,
3. Bağışçı kimlik kontrolü ve kayıt işlemleri,
4. Bağışçının hekim tarafından değerlendirilmesi,
5. Fiziksel özelliklerinin ve ateş, tansiyon, nabız gibi vital bulgularının ölçülüp kayıt altına alınması,
6. Bağışın gerçekleşmesi,

Yukarıda verilen kan alma ve işleme süreci ülkemizde ilk defa 1983'te 2857, 2007'de ise 5624 sayılı kanunla ve yine 2007'de sayılı kan ve kan ürünleri yönetmeliğiyle belirlenmiş ve güvence altına alınmıştır.

Türk Kızılayı, Türkiye’de kan hizmetlerinin verilmesindeki yetkili tek kuruluştur. Türk Kızılayı’nın sorumluluğundaki bu eylemler bu kuruma bağlı olarak görev yapan Şekil 1.1’de verilen belli bölgelerde kurulmuş Bölge Kan Bağış Merkezleri tarafından yürütülmektedir. Bu merkezlerden biri Orta Akdeniz Bölge Kan Bağış Merkezi (Adana) olup 13.08.2014 tarihinden bu yana 12 Gönüllü Verici Merkezden biridir. Çalışmanın yürütüldüğü Üniversitesi Hastanesi ise 1975 yılından bu yana Kan Merkezi olarak görevine devam etmektedir.



Şekil 1.1. Orta Akdeniz Bölge Kan Bağış Merkezi (Ulusal Kan ve Kan Bileşenleri Hazırlama, Kullanım ve Kalite Güvencesi Rehberi 2016)

1.2.1. Transfüzyon Merkezleri

Transfüzyon merkezleri (TM), kan bağışı kabul etme izni olmaksızın hastalara yalnızca kan naklinin yapıldığı yerler olup kan ve ürünleri Bölgesel Kan merkezlerinden temin edilir. Ancak acil durumlarda tam kan bağışı alıp hastaya verebilme yetkileri de bulunmaktadır.

Kızılay’ın merkezlerinden alınan kan ve işlenen kan ürünleri ülkemizin her yerinde faaliyet göstermekte olan sağlık kuruluşlarının taleplerini karşılamak üzere özel araçlarla sevk edilmektedir. Kızılay’a bağımlı bu merkezler ülkemizdeki tüm sağlık kuruluşlarının ihtiyaçlarını karşılamaya çalışırken Bölgesel Kan Merkezleri sadece kendi ihtiyaçlarına yönelik kan ürünlerini işlemekte ve kullanmaktadırlar. Bu

merkezlerin de üretim ve stok kapasiteleri sınırlı olup kendi merkezlerindeki talepleri karşılayamadıkları durumlarda yine Kızılay'dan gerekli kan ürünlerini talep etmektedirler. Talep edilen kan ürünleri Kızılay'dan belli bir ücret karşılığında alınmakta ve gerekli yerlere özel araçlarla sevk edilmektedir. Genellikle BKM'lerin kendi kurumlarının ihtiyaçlarını kendi bünyelerinde karşılamaları maliyet açısından daha uygun olmaktadır. Bu ise, her bir BKM'nin ne zaman hangi kan grubundan ne kadar işlemesi gerektiği ve her bir kan ürününden stoklarda ne kadar bulundurmaları gerektiği problemiyle yüz yüze bırakmaktadır.

Kan donörlerinin gelişleri arasındaki süresinin, her bir donörden alınan kan miktarının ve alınan kanın uygunluk oranının rassal olması ve özellikle kan ve kan ürünlerine zamanla olan talebin de rassal değişmesi bu problemi çözümü zor bir problem haline getirmektedir. Bu tür problemler Deterministik yöntemler yerine stokastik yöntemlerin veya simülasyon yaklaşımının kullanımını gerektirmektedir.

Tez kapsamında Bölge Kan Merkezleri için Kızılay'dan kan ve kan ürünleri sipariş miktarı optimizasyonu ve Bölge Kan Merkezleri'ndeki personel sayısı optimizasyonu problemlerinin çözümüne yönelik simülasyona dayalı matematiksel modelleme yaklaşımı önerilmiştir. Yaklaşımın geliştirilmesinde bölgemizde faaliyet göstermekte olan büyük ölçekli bir Bölge Kan Merkezi dikkate alınmıştır.

1.2.2. Bölge Kan Merkezi'nin Faaliyetleri

Çalışma kapsamında büyük bir araştırma hastanesinde Bölge Kan Merkezi dikkate alınmıştır. Dikkate alınan Bölge Kan Merkezi'nde yıllık ortalama 60224 hasta ve 38241 kan bağışçısına hizmet sunan bir bölge Kan Merkezi'dir.

Birimin faaliyetleri Şekil 1.2'de sunulmuştur.

BİRİMİN FAALİYETLERİ	
Bağışçı uygunluğunun değerlendirilmesi	
Bağışçı sorgulama	
Bağışçı örneklerinin test edilmesi	
Bağışçı muayenesi	
Kanın toplanması	
Tam kan toplama	
Aferez	
Otolog kan toplama	
Mobil kan toplama	
Bağışçı organizasyonu	
Kanın test edilmesi	
İmmunohematolojik testler	
Mikrobiyolojik tarama testleri	
Doğrulama testleri	
Kanın bileşenlerine ayrıştırılması	
Ürün hazırlanması	
Eritrosit süspansiyonu	
Taze donmuş plazma	
Trombosit süspansiyonu	
Kriyopresipitat	
Kriyopresipitatu alınmış plazma	
Granülosit	
Buffy coat	
Sitaferez	
Plazmaferez	
Multi-komponent aferez	

İşlemler	
Filtrasyon	
İşılama	
Yıkama	
Küçük volümlere ayırma	
Havuzlama	
Viral inaktivasyon	
Bakteriyel inaktivasyon	
Kan ve kan bileşenlerinin depolanması	
20–22°C	
2–8°C	
-18– -25°C	
-25 altı°C	
Kan bileşenlerinin dağıtımı	
Kanın kullanımı	

Şekil 1.2. Kan Merkezi Faaliyetleri

1.2.3. Kan Bağışı

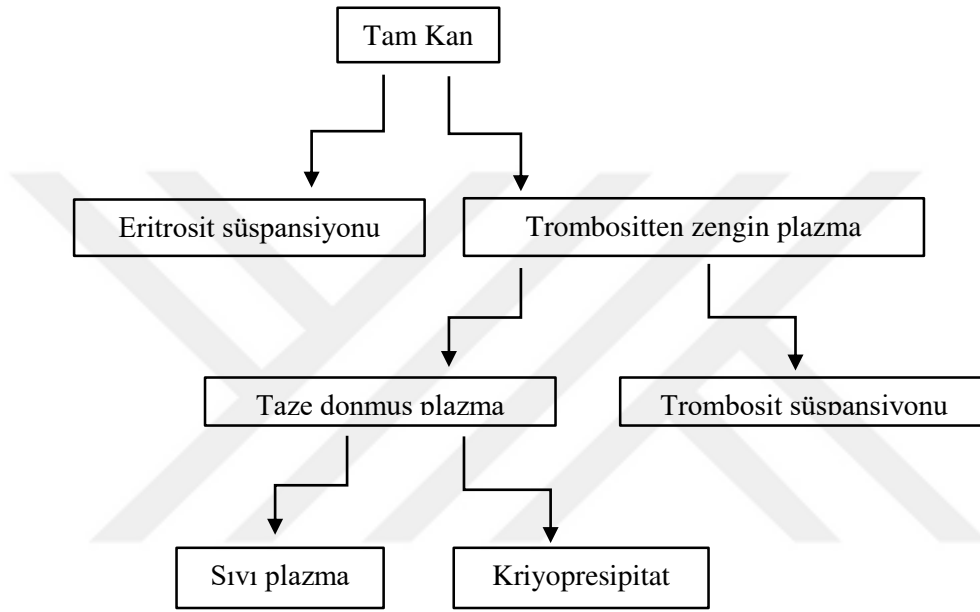
Kan transfüzyonu bir çeşit doku nakli olarak kabul edilebilir. Bu uygulama 20. yüzyılın başında kan gruplarının antijen tiplerinin ve tiplendirme yöntemlerinin ve verici-alıcı kan uyumluluklarının belirlenmesinden sonra kan bağışı yapılır.

Kanın bileşimlerine ayrılabilmesi, uygun plastik torbalara konulması, kan ve kan ürünlerinden bulaşabilecek hastalıkların tespit edilmesi bugün kan alma sürecindeki uygulamaların temelini oluşturmuştur.

Kan Bağışı; tam kan veya eritrosit (alyuvar), lökosit (akyuvar) gibi kan bileşenlerinden birinin bağışlanması işlemidir. Bağış işlemi karşılıksız olup gönüllülük esastır.

Kan ürünleri, kandan hazırlanan materyallerdir. Kan transfüzyonları, eksik olan kan veya kan ürünlerini yerine koymak (eritrosit, trombosit, lökosit, plazma

vb.), kanın değiştirilmesi (plazmaferez/aferez), kanama ve pıhtılaşma bozukluklarını düzeltmek için kullanılır. Hem kan komponentlerini hem de plazmayı içerir. Kan komponentleri, eritrosit, lökosit, trombosit, plazma ve kriyopresipitatdan oluşur (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Kan komponentleri(Ulusal Kan ve Kan Bileşenleri Hazırlama, Kullanım ve Kalite Güvencesi Rehberi 2016)

Alyuvar olarak da adlandırılan eritrositlerin başlıca görevi hemoglobin taşımaktır. Sağlıklı bir insanda kanda bulunan eritrosit sayısı ± 300.000 olmak koşulu ile erkek cinsiyette $5.200.000/\text{mm}^3$, kadın cinsiyette ise $4.700.000/\text{mm}^3$ 'dür.

Beyaz küre olarak isimlendirdiğimiz lökositler ise vücudun savunma sisteminde aktif rol oynarlar. Platelet olarak da isimlendirilen trombositler, kanın pıhtılaşmasında rol alırlar.

Kanın sıvı kısmını oluşturan plazma ağırlıklı olarak su yanı sıra glukoz ve %7 oranında albümin, globülinler ve fibrinojen gibi proteinlerden oluşur. Albuminin ana görevi kapiller membranlarda osmotik basınç oluşturmaktır. Globulinler ise

kanda bazı maddeler taşımak veya diğer maddelerin oluşumunu sağlamak yanı sıra vücudun bir yerinden diğer yerine protein taşımaktır. Ayrıca vücudu enfeksiyonlardan korurlar. Plazmada bulunan fibrinojen kanın pıhtılaşmasında önemli rol oynar.

1.2.4. İmmüno-Hematolojik Testler

Kan bağışları akabinde kan/kan ürünleri yanı sıra bunlara ait örneklere barkod veya gözle okunabilen numaralar verilir. Bu sayede kan bağışında bulunan sağlıklı gönüllü ile bağışladığı kan izlenebilir hale gelir. Gönüllüye ait herhangi bir problemin ortaya çıkması durumunda ürün kolaylıkla tespit edilebilir ve daha sonraki bağışlarında bu durum gözden kaçmaz hale gelir. Ayrıca kan naklinden önce her kana ABO ve RhD tiplendirilmesi yapılır. İlk kez kan/kan ürünü bağışında bulunanlar yanı sıra son kan bağışından sonra gebelik veya kendisine kan nakli yapılması öyküsü olan her bir bireye eritrosit antikor testleri yapılır.

1.2.5. Mikrobiyolojik Testler

Kan ve ürünleri, alıcılar açısından bakteriyel, viral ve parazitik hastalıklar gibi bulaş riski taşırlar. Kanın komponentlerine ayrılarak alıcıya verilmeye kadar ki süreçte gerçekleşen aksaklıklar ve sterilizasyon sistemindeki hatalar bulaşıcı hastalığın alıcıya aktarılmasına neden olabilir. Kan ve kan ürünleri; hepatit B ve C, sifiliz, HIV gibi enfeksiyonları varlığı açısından analiz edilir. Bu enfeksiyonların varlığını ortaya koyabilen mikrobiyolojik tarama testleri transfüzyon amacı ile hazırlanan her kan ve ürününe uygulanır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, yılda yaklaşık 21 milyon ünite kan bileşeni transfüze edilmektedir ve bu işlemin güvenli olmasını sağlamak için adımlar atılsa da, bulaşıcı ve enfeksiyöz olmayan transfüzyonla ilgili advers olaylar vardır. 2015 yılında, Gıda ve İlaç İdaresi transfüzyonla ilgili 42 mortalite bildirmiştir. Kan kaynaklı patojenleri (HIV, Hepatit B ve Hepatit C) taramak ve yüksek riskli geçmişe veya davranışlara sahip donörleri hariç tutmak için nükleik asit testi (NAT), akut pencere periyodunu ve gizli

enfeksiyonları tespit ederek transfüzyonla ilişkili hastalık bulaşma riskini önemli ölçüde azaltabilir. Fakat bu testler maliyeti artırır. Gelişmiş ülkelerde yüksek transfüzyon güvenliği, az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere sağlanamamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) 2013 Küresel Veri Tabanı anketine göre, ülkelerin% 95'inden fazlası HIV, Hepatit B ve Hepatit C gibi hastalıkların bulaşmasını önleme adına tetkikler yaparken Afrika'daki 46 ülkeden sadece ikisinin NAT kullandığını bildirmiştir. Dolayısıyla transfüzyonların %5-10'unun transfüzyonla bulaşan bir enfeksiyona yol açtığı tahmin edilmektedir.

Vericiden alınan kanda bakteriyel tarama hala trombositlerde büyük bir endişe kaynağıdır, çünkü oda sıcaklığında ve koruyucu olmadan saklanırlar. Bu kan komponentinin 1:1000 ile 1:4000 oranında bakteriyel ajanlar ile kontamine olduğu tahmin edilmektedir. Bu tablo bu kan komponentinin raf ömrünü kısaltmaktadır. Nitekim ABD'de trombosit katkı çözeltileri ve patojen azaltma sistemleri mevcut olsa da trombosit raf ömrü hala 5 günle sınırlıdır. Bu durumda kan merkezlerindeki tedarik optimizasyonun neden gerekli olduğunu gözler önüne sermektedir.

1.2.6. Acil Durumlar

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), acil durumları çok acil, acil ve öncelikli olarak tanımlamıştır.

Çok acil: bu durumda kan ve/veya kan ürünü en geç 10-15 dakika içinde temin edilmelidir. Ancak bu koşullarda dahi yukarıda anlatılan mikrobiyolojik testler yapılmadan hastaya kan nakli yapılamaz. Eğer bu enfeksiyöz ajanların varlığını dışlamak adına gerekli hızlı testler ile sonuç alınamayacak ise hastaya daha önceden testleri yapılmış O RhD negatif eritrosit süspansiyonu ve/veya AB grubu taze donmuş plazma verilir.

Acil: kan ve/veya kan ürünü bir saat içinde temin edilmeli, burada da hızlı testler bulşıcı hastalıklar dışlandıktan sonra hastaya kan nakli yapılır.

Öncelikli: kan ve/veya kan ürünü 3 saat içinde temin edilmelidir. Burada hızlı testler yerine rutinde kullanılan testler uygulanır ve sonuca göre kullanıma sunulur.

Tarama testleri sonucunda kan bağışçısı olması uygun görülmeyen bireyler, kayıt altına alınarak konu hakkında detaylı olarak bilgilendirilir ve bir sağlık kurumuna yönlendirilir.

1.2.7. Kan ve Bileşenlerinin Üretimi

Gerekli koşulları sağlayan bağışçıdan kan alındıktan sonra işlemi tamamlanıp alıcıya sunuluncaya kadar ki süreçte karantinaya alınır. Karantinaya alınan kan ve bileşenleri ile sunuma hazır hale getirilmiş ürünler ve imha edilecek ürünler tamamen ayrı alanlarda tutulur.

Kan ve kan ürünlerinin bakteriyel güvenliği aseptik koşullarının kalite kontrolü yapıldıktan sonra ürünlerin bilgisi kaydedilerek etiketleme yapılır.

Kan ya da kan ürünü, bilgi işlem sistemi kullanmaya yetkili personel tarafından serbest bırakılarak kullanıma sunulur.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

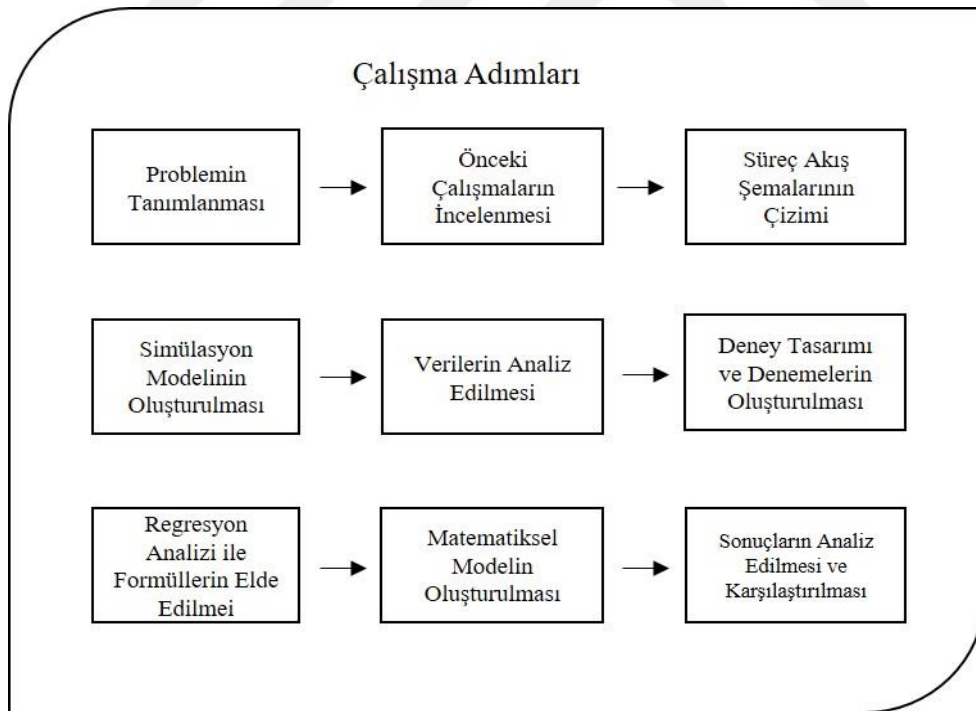
Her bir bölgesel Kan Merkezi'nde olduğu gibi Üniversite Hastanesi Bölge Kan Merkezi'nde de kan (0+, 0-, A+, A-, B+, B-, AB+, AB-) ve kan ürünlerinin tedarik zincirinin yönetimindeki başlıca zorlukları, kan bağışlarının zamanla rassal olması, alınan her birim kandan çıkan kan ürün miktarlarının rassal olması ve her bir kan ve kan ürünü çeşidine olan taleplerin yine zamanla rassal olmasıdır. Bu rassallık yanında her bir kan ürününün raf ömrünün sınırlı olması beraberinde ürün bozulmalarını da getirmektedir. Dolayısıyla tüm kan merkezleri için temel problem sahip oldukları alet-ekipman ve işgücünü etkin kullanarak hangi kan grubundan ne zaman alınması, işlenmesi ve stoklanması gerektiğinin optimum seviyelerde tespit edilmesidir. Ayrıca, Bölge Kan Merkez'lerinin işleme kapasitelerinin yetmediği veya bağıştan fazla uygun kan ve kan ürünün talep edildiği durumlarda Kızılay'dan

her seferinde kan ürünü talep edilmesi gerektiği yine optimize edilmesi gereken başka problemi oluşturmaktadır. Tez kapsamında her bir kan ve kan ürününden her seferinde Kızılay'dan alınması gereken miktarlar ve Kan Merkezi'nin her bir biriminde çalışması gereken personel sayısı (hemşire ve biyolog vb.) optimize edilmiştir.

Sunulan araştırmanın genel amacı, kıt kan kaynağını daha verimli kullanmak için kan tedarik zinciri yönetimini iyileştirmektir. Bilgisayar simülasyonu, kan tedarik zincirlerinde verimliliği artırmak için bir araç olarak kullanılmaktadır.

1.4. Çalışmanın Adımları

Optimizasyonda simülasyon modeli ve optimizasyonda simülasyona dayalı matematiksel modelleme yaklaşımları kullanılmıştır. Optimum stok politikasının uygulama adımları Şekil 1.4'de verilmiştir.



Şekil 1.4. Çalışma Adımları

1.5. Orjinal Katkılar

Kan ürünleri sistemini iyileştirmek adına kan ürünleri tedarik zinciri optimizasyonu yapılmıştır. Kan Merkezi'nde,

- Simülasyon modeli gerçek verilerle ve süreçlerle kurulmuştur.
- Personel optimizasyonu ve
- Kan ürünleri Kızılay sipariş miktarı optimizasyonu yapılmıştır.
- Kan/kan ürünlerinde bozulmayı dolayısı ile maliyeti minimize eden pek çok çalışma bulunmaktadır. Fakat bu çalışmalar ya yalnızca kendi bağışçısının olduğu ya da başka bir merkezden kan akışının bulunduğu merkezlerde yürütölmüştür. İki kaynaktan kan girdisinin bulunduğu bir merkezde yapılan ilk çalışma olması sebebiyle literatürdeki çalışmalardan farklılık göstermektedir.
- Literatürden farklı olarak ilk defa deney tasarımı ve matematiksel model birlikte kullanılmış; personel doluluk oranları, imha miktarı, kan ürünlerine ait minimum ve maksimum stok ve sipariş miktarları dikkate alınmıştır.
- Geliştirilen yaklaşımın uygulaması gerçek veriler kullanılarak ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

1.6. Tez Organizasyonu

Tez organizasyonu sırasıyla aşağıdaki şekilde planlanmıştır:

- 1) İkinci bölümde, yapılacak çalışmaları içine alan kapsamlı literatür taraması akabinde genel bir değerlendirme yapılmıştır.
- 2) Üçüncü bölümde, çalışmanın materyali, materyalde uygulanan matematiksel modelleme ve simülasyon yöntemleri detaylı olarak sunulmaktadır.

- 3) Dördüncü bölümde metotlar probleme uygulanmış, elde edilen sonuçlar detaylandırılmıştır.
- 4) Beşinci bölümde ise, çalışmanın sonuçlarına yer verilmiş, elde edilen veriler ışığında konu ile ilgili gelecekte yapılması olası araştırmalara yönelik öneriler sunulmuştur.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önceki çalışmalara dair literatür taraması çalışma konumuzla ilgili olmaları nedeniyle “kan tedarik zinciri, simülasyon, deney tasarımı ve personel optimizasyonu” olmak üzere dört ana başlığı içerecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.1. Kan Tedarik Zinciri Literatür Taraması

Kan temini ile ilgili olarak bozulabilir envanter hakkında kapsamlı bir literatür vardır. Kan tedarik zinciri, 1960'dan beri araştırmacılar tarafından çok fazla araştırılmıştır. Gerçekten de, bu alandaki araştırmalar, bozulabilir envanter yönetimi için etkili yöntemlerin geliştirilmesine büyük ölçüde katkıda bulunmuştur (Nahmias, 1982). İlgili literatürün önemli bir kısmı 1970'ler ve 1980'lerde geliştirilmiştir. Kan tedarik zincirinin farklı yönlerini irdeleyen çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır.

Veinott (1965), durağan talep varsayımı altında bir periyodik gözden geçirme politikası tanımlamıştır. Sonuçlar, bozulabilir envanter için optimal sipariş politikalarının, bozulmayan duruma yakından karşılık geldiğini göstermektedir. Optimal sipariş miktarları aşağıdaki formülle belirlenmiştir.

$$\min(Q^*, \lambda m) \quad (1)$$

Q^* ekonomik sipariş miktarı (EOQ), λ talep oranı ve m ömürdür.

Rasgele arz ve rasgele talep karşısında etkin bir şekilde çalışabilmek için büyük miktarda kan tampon stoklarının sağlanması gerektiği aşıkardır. Jennings'e göre (1973), ortaya çıkan envanter kontrol problemi, birkaç nedenden dolayı son derece karmaşık bir problemdir:

1. Arz ve talep rastgeledir.
2. Belirli bir hasta için talep edilen, "cross-match" yapılan ve hastanın kullanımı için tutulan tüm kanların yaklaşık yüzde 50'sinin sonuçta o hasta için gerekli olmadığı gösterilmiştir.
3. Kan bozulabilir, mevcut yasal ömrü çoğu bölgede 21 gündür
4. Her kan bankası tipik olarak bir dizi başka banka ile etkileşime ve iletişime girer.

Çalışmada, bölgesel düzeyde olduğu kadar tek tek hastanelerde de tam kan tedarik sorunu için bir çerçeve sunulmaktadır. Bölgesel ve bireysel vakalar için gerçekçi bir kan envanteri modeli geliştirilmiş ve çeşitli alternatif envanter politikalarının etkileri detaylı olarak analiz edilmiştir.

Pierskalla ve Roach (1972), çabuk bozulan envanter problemlerinde FIFO politikalarının optimal olduğunu göstermek için bir dinamik programlama (DP) formülasyonu kullanmıştır. Birinci amaç fonksiyonunu sistemin verimliliğinin maksimize edilmesi, ikinci amaç fonksiyonunu karşılanamayan sipariş miktarının azaltılması ve üçüncü amaç fonksiyonunu ise kullanılamayan çok eski tarihli kan/kan ürününün miktarının azaltılması olarak belirlemişlerdir. Tüm amaç fonksiyonlarının FIFO kuralında en iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Brodheim ve ark. (1975), Markov zincir yaklaşımı kullanarak ortalama ömür süresi ve ortalama kan birimleri israfına dayalı bir envanter modeli geliştirmiştir.

Pierskalla ve ark. (1980), kan bankacılığı tedarik zincirini stratejik yönden ele almışlardır. Kitapta;

1. Kan bankacılığı fonksiyonları hangi lokalizasyonlarda yapılmalı,
2. Hangi bağış bölgeleri ve kan nakli hizmetleri, hangi kan merkezlerine verilmeli,
3. Bir bölgede kaç tane Kan Merkezi olmalı,
4. Kan merkezleri nerede olmalı ve

5. Talep ve arz nasıl koordine edilmeli sorularına açıklık getirmiştir.

Kan toplama, birden fazla ürün üretme, envanter seviyelerini belirleme ve kontrol etme, kanın hastanelere tahsisi, birden fazla bölgeye teslimat ve kan ve kan ürünleri verme, cross-match ve cross-match bırakma konusunda optimal kararlar alma ile ilgili birçok taktiksel operasyonel konu hakkında bilgiler verilmiştir.

Kendall ve Lee (1980), bölgesel Kan Merkezi'nde kanların bozulmasını azaltmak, verilen kanların kalitesini artırmak, aynı zamanda işletme maliyetlerini ve yok satma maliyetini kabul edilebilir seviyede tutabilmek için hedef programlama yöntemini kullanmıştır. Stok seviyeleri, ulaşılabilir taze kan, kanın bozulması, üretim tarihi ve kan toplama maliyeti programlamanın hedef kısıtlarıdır. Çalışma sonucunda, fazla stoklamanın önüne geçilmiş, yeterli sayıda taze kan talepleri karşılanmış ve sonuçta toplanması gereken kan miktarı azaltılmıştır.

Prastacos ve Brodheim (1980), Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan Programlanmış Kan Dağıtım Sistemi (PBDS) adı verilen bir prototip bilgisayar tabanlı bölgesel dağıtım modelini geliştirmişlerdir. Sistem, politika kısıtlamalarını gözlemlerken, birincil amacı bölgesel kan kaynaklarının tahsisini optimize etmek olan matematiksel programlama modeline dayanmaktadır. Sistemde,

- Bölge için belirlenebilecek minimum ulaşılabilir tarihi geçmiş kan ve kan ürünleri, eksik durumundaki hedefler,
- Bu hedeflere ulaşmak için gerekli dağıtım politikası,
- Alternatif hedeflere ulaşmak için bölgesel arz düzeyi belirlenmiştir.

Nahmias (1982), bozulabilir envanterdeki teorik modellere tam bir genel bakış sağlamıştır. Makalede sunulan modeller, farklı türdeki bozulabilir envantere uygulanabilir; bununla birlikte, çeşitli örnekler kan stoklarına uygulanmaktadır. Modeller, talep tipi, ömür tipi ve kuyruk modelleme yaklaşımları gibi özelliklere

göre sunulmaktadır. Nahmias (2011) bu konunun güncellenmiş bir incelemesini sunmuştur. Kitabında aynı zamanda kan envanteri sorununa uygulanan farklı modelleri ve yaklaşımları tartışan özel bir bölüm de bulunmaktadır.

Prastacos (1984), kan envanteri yönetimi teorisine ve uygulamasına yönelik son Yöneylem Araştırması katkılarını gözden geçirmiştir. ABD'deki kan tedarik zinciri konfigürasyonlarının ayrıntılı bir analizini yapmıştır. Bu makale ayrıca her bir düzeyin işlevlerini ve yetki derecesini açıklamıştır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalardaki birkaç önemli konuyu birleşik bir teori ve uygulama perspektifinden ele almıştır ve daha fazla araştırma için yeni alanlara işaret etmiştir.

Omosigbo (2002), bozulabilir ürünlerin kullanım olasılığını hesaplamak için genel bir formül sunmuştur. Bir ürünün sabit ömürlü bozulabilir envanter sisteminde satılma olasılığı için bir tahmin edici önermiş ve bu tahmin ediciyi sistemin önemli çalışma özelliklerini belirlemek için kullanmışlardır. Kan tedarik zincirinin özel durumunda, bu olasılığın cross-match oranı olduğunu varsaymışlardır. Sabit bozulabilir envanter sisteminde, en önemli performans ölçütlerinden bazıları olan sipariş karşılayamama ve bozulma ölçütlerini matematiksel ifadelerle ortaya koymuşlardır. Çalışma sonucunda optimal ihraç politikasını FIFO olarak bulmuşlardır.

Pereira (2005), hastane Kan Merkez'inin rutin işleyişini simüle eden stokastik model kullanarak envanterini değerlendirmiştir. Transfüzyonun ortalaması ve varyansı, kan tedarikçisinden sevk edilen kan ünitelerinin kalan raf ömrü ve ardışık sevkiyatlar arasındaki gün sayısı gibi faktörlerin sipariş karşılayamama ve bozulmaya etkisi üzerinde durmuştur.

Rytila ve Spens (2006), kan tedarik zincirinin daha etkili yönetilebilmesi için eksiklik oranları ve üretim süresi eski ürünleri azaltarak, farklı senaryolar üzerinden simülasyonlar uygulamışlardır. Çalışmalarında farklı kan gruplarına ait bozulmaları ve sıfır stok maliyetini minimize etmeyi amaçlamışlardır.

Erickson (2008), bir hastane Kan Merkezi'nde, taktiksel, sınırlı donmuş kan tedarikinin sürdürülmesini içeren kapsamlı bir acil durum kan yönetim planı

geliştirmişlerdir. Çeşitli acil durum senaryolarını oluşturup uygulayarak, kan stokunun kullanımına rehberlik etmek amacıyla bilgisayar tabanlı bir felaket tahmin modeli tasarlanmışlardır.

Ghandforoush ve Sen (2010), mobil kan merkezlerinde trombosit üretimi ve bu ürünün kan merkezlerine etkin dağıtılmasında karar destek sistemini kullanmışlar, talep ve tedariğin çok hızlı karşılanmasını sağlamış, fazla stoğun önüne geçerek maliyeti minimize etmişlerdir.

Blake (2010), trombosit envanter politikaları için maliyet dikkate almışlardır. Ayrıca hizmet seviyelerine dayalı olarak trombosit siparişi için basitleştirilmiş bir metodoloji sunulmaktadır. Bu metodoloji, farklı büyüklükteki hastanelere uygulanmış ve talebin daha istikrarlı olduğu hastanelerde daha iyi çalıştığı gözlemlenmiştir.

Zhou, Leung ve Pierskalla (2011), çalışmalarında hızlandırılmış yenilemeleri olan bozulabilir bir ürünün envanter sisteminin analizini yapmışlardır. Problemi önce tek periyotlu bir model, sonra da çok çevrimli bir model olarak formüle etmişlerdir. Her iki durumda da, optimal çözüm elde etmiş ve optimal politika için gerekli ve yeterli koşulları belirtmişlerdir. Optimallik koşullarına göre bir algoritma tasarlanmış ve sonra kapsamlı bir duyarlılık analizi yapmışlardır. Simülasyon deneylerinde, küçük hastanelerin gün aşırı, yoğun hastanelerin günlük sipariş vermesi gerektiğini göstermişlerdir.

Stanger ve ark. (2012), en iyi uygulama ilkelerini belirlemek için hastane transfüzyon laboratuvarlarındaki eritrositlerin envanter yönetimine odaklanmış ve zaman aşımından kaynaklanan kayıpların minimumda tutulmasını sağlayacak önerilerde bulunmuşlardır. Bozulabilir envanter yönetiminde mevcut modelleri belirlemek için literatür taraması yapmışlardır. Seçilen hastanelerdeki transfüzyon laboratuvarı yöneticileriyle, düşük israf ve iyi envanter yönetimi uygulamalarının etkenlerini belirlemek amacıyla 7 vaka çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür verileri ile karşılaştırılmıştır. Literatür, iyi envanter yönetimi için karmaşık envanter modelleri ve algoritmalarının kullanılması gerektiğini söylerken, vaka sonuçları

yetenekli, hizmet içi düzenli eğitim alan, deneyimli transfüzyon laboratuvarı personeli, elektronik cross-match, envanterin şeffaflığı ve basit yönetim prosedürlerinin performansı iyileştirdiğini göstermiştir.

Li ve Liao (2012), bir kan tedarik zincirindeki optimal parametreleri tahmin etmek için sinir ağları ve genetik algoritmalarla birleştirilmiş Taguchi yöntemini kullanarak bir model geliştirmiştir. Bu metodoloji, optimal minimum ve maksimum envanterlerin yanı sıra optimal donörlerin kan toplama merkezlerine ulaşım oranlarının bulunmasını sağlamaktadır. Bu yaklaşım, birçok farklı konfigürasyonu makul sürelerde değerlendirebildiği için umut verici görünmektedir. Ancak modelde cross-match gibi önemli özellikler yer almamaktadır.

Günpınar (2013), kan maliyetini (satın alma, elde tutma, israf maliyeti, raf ömrünün dolmasına ilişkin maliyet ve güncel olmayan maliyet) minimuma indirmeyi amaçlayan optimizasyon modeli oluşturmuştur. Kan birimlerini uzak bölgelerde oturan bağışçılardan toplamada Kan Merkezi'ne olan mesafeyi en aza indirmeyi hedeflemiştir. Modelde kapasite ve teslim süresi gibi faktörleri de göz önünde bulundurarak bir envanter planı oluşturmuştur. Bu bağlamda oluşturduğu model, diğer kan toplama stratejilerinin geliştirilmesi için bir temel olarak kullanılabilir.

Duan ve Liao (2013), eklenen siparişleri karşılayamama oranını en aza indirmeyi amaçlayan bir optimizasyon modelinde belirsizliği dahil ederek örnek ortalama yaklaşımı gerçekleştirmiştir. Bozulabilir ürünlerin tedarik zinciri envanter yönetimi için bir simülasyon optimizasyon çerçevesi önermişlerdir. Yeni politikanın etkinliği, tek satıcılı çok alıcılı bir trombosit (5 günlük sınırlı raf ömrüne sahip) tedarik zinciri için ayrıntılı olarak değerlendirmişlerdir. Önceden belirlenmiş bir maksimum izin verilen bozulma seviyesi koşullarında beklenen sistem bozulma oranını en aza indirmektir. Modelde, maksimum bozulma kısıtlamalarının yanı sıra merkezi ve merkezi olmayan stoklar da dikkate alınmıştır.

Blake ve Hardy (2014), Kanada'daki bölgesel kan dağıtım bölgelerinde ağ envanter politikalarını değerlendirmek için bir metodoloji geliştirmişlerdir.

Modelleme yaklaşımı doğrulandıktan sonra on örnek üzerinden uygulanabilirliği test etmişlerdir. Her model örneği için, yanıt yüzeylerinin oluşturulduğu bir dizi deney yapmışlar, optimal tedarikçi/tüketici envanter politikalarını belirlemek için doğrusal olmayan optimizasyon yöntemleri uygulamışlardır. Sonuçta kullandıkları modellemenin bölgesel kan tedarik zincirleri için faydalı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Günpınar ve Centeno (2015), bir hastanede kan ürünlerinin toplam maliyetini, stok azlığını ve imha düzeylerini en aza indirmek için tam sayılı programlama modelleri geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, imha oranlarının %19.9'dan %2.57'ye düştüğü, belirli bir kapasite artışı için stok azlığı ve toplam maliyetin sırasıyla %91.43 ve %20.7 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

2.2. Simülasyon Literatür Taraması

Elston ve Pickrel (1963), bir hastane Kan Merkezi'nde kan sipariş ve kullanım politikalarını belirlemek için simülasyon çalışması yapmışlardır. Çalışmada en uygun stok seviyelerinin son kullanma tarihi en eski olan kan veya ürününün ilk önce kullanılmasıyla gerçekleşmediğini ve bu uygulamanın en iyi politika olmadığını tespit etmişlerdir. Kan merkezi'ne girişlerin tamamen düzenlendiği ve sipariş edilen kan veya kan ürününün son kullanım tarihinin dikkate alınmadığı durumlarda bozulmaların en az olacağını belirlemişlerdir. Bunun aksine sipariş edilen kanın son kullanım tarihleri dikkate alınarak yeni hazırlanan ürünlerin öncelikli olarak kullanıldığı durumlarda bozulmaların biraz daha yüksek olacağını ortaya koymuşlardır.

Tam kan envanteri problemini sınıflandıran ilk çalışma Jennings (1973) tarafından sunulmuştur. Jennings, hastane Kan Merkezi'nin performansını değerlendirmek için simülasyon kullanmıştır. Envanter seviyesinin fonksiyonları olarak eski ve eksikleri gösteren takas eğrilerini türeten ilk araştırmacıdır. Jennings, kan tedarik zincirinin nasıl işlediğinin temellerini açıklamıştır ve performansın 3

temel ölçüsünün eksiklik, modası geçmiş/israf ve nakliye ve bilgi maliyeti olduğunu ileri sürmüştür.

Cohen ve Pierskalla (1979), muhtemel yeterli kan bulamama yüzdesine ait problemleri göz önünde tutarak yeterli eritrosit teminini sağlamak için basit bir karar kuralı önermişlerdir. Regresyon teknikleri ile simülasyon yöntemlerini birlikte kullanarak, günlük talebe, ortalama aktarım, cross-match oranına ve cross-match serbest bırakma süresine bağlı olan bir hedef stok düzeyi geliştirmişlerdir. Modelleme tekniklerini, mevcut envanterden minimum toplam maliyetle maksimum düzeyde yararlanmaya hizmet edecek birkaç kritik alanda karar vermeye izin verecek şekilde genişletmişlerdir.

Friedman ve ark. (1982), çeşitli kan siparişi seçeneklerini ayrıntılı olarak araştırmak ve kan seviyelerindeki düşüşlerin Kan Merkezi performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir hastane kan envanterinin bilgisayar simülasyonunu geliştirmişlerdir. Çalışmada, ampirik olarak bir hastane için optimal hedef envanter seviyelerini belirlemek için strateji geliştirmişlerdir. Sonrasında, kan stok kontrol programını analiz etmek için kan siparişi stratejisi geliştirmiş ve bir eylem planı önermişlerdir. Bu plan düşük bozulma oranları, gereksiz crossmatch sayısında azalma ve ihtiyacı olan hastalar için daha fazla kan bulunabilirliği ile sonuçlanmıştır.

Sirelson ve Brodheim (1991), bir bölgesel Kan Merkezi'nde ortalama günlük trombosit talebine bağlı olarak, temel stok politikalarından kaynaklanan stok kesme ve imha oranlarını tahmin eden trombosit envanter yönetime ilişkin bir model geliştirmişlerdir. Modelde yalnızca ortalama talep değerlerinin tahminlerini dikkate almışlardır.

Brennan ve ark (1992), bir Kan Merkezi'nde üç farklı senaryo üzerinden simülasyon modeli geliştirerek, donörlerin kuyrukta bekleme oranlarını ve birimler arası transfer sürelerini minimuma indirmeyi hedeflemişlerdir. İki, üç birimdeki süreçleri birleştirerek, servis sürelerini, kuyrukta bekleme sürelerini, transfer sürelerini azaltmışlardır.

Micheals ve ark. (1993), kan bağışçılarının Kızılhaç kan nakline varışını programlayarak, çeşitli stratejileri değerlendirmek için simülasyon geliştirmişlerdir. Mevcut kan bağış sürecinin bir modelini oluşturup onayladıktan sonra, bağışçıların gerçek varış profillerini kullanarak değişik stratejileri test etmişlerdir. Hangisinin en etkili olduğunu belirleyebilmek adına farklı stratejiler için bağışçıların ortalama geçiş sürelerini karşılaştırmışlardır.

Custer ve ark. (2005), Kızıl Haç'da bir çizelgeleme sistemi uygulandığında bağışçı işlemlerinin iyileştirileceği ve memnuniyetin artırabileceğini göstermişlerdir. Kızıl Haç bağışçıların gelişi üzerinde ne kadar fazla kontrol uygulayabilirse, kan dolaşımı o kadar verimli çalışacağını düşünmüşlerdir. Bunu bilerek, kapalı kurumsal sürücüler için tüm bağışçıların önceden programlandığı ve kasıtlı olarak girişler için boş yer bırakılmadığı tam programlı bir sistem uygulanması önermişlerdir. Geliştirdikleri model, bağış öncesi ertelemelerin etkisini önceden var olandan daha titiz bir şekilde değerlendirme fırsatı sağlamaktadır.

Rytila ve Karen Spens (2006), az olan kan kaynağını daha verimli kullanmak için kan tedarik zinciri yönetimini iyileştirmeye çalışmışlardır. Simülasyonu, kan tedarik zincirlerinde verimliliği artırmak için bir araç olarak kullanmışlardır. Belirlenen 11 farklı senaryo ile kan ürünlerinin kullanım oranlarını, stok kesme miktarlarını, imha oranlarını ve imha maliyetlerini karşılaştırmışlardır.

Katsaliaki (2008), İngiltere Ulusal Kan Bankası (UKB) verilerinden yararlanarak kan maliyetini belirlemeyi amaçlamıştır. UKB'nin kanları tedarik ettiği üç hastanenin değişken taleplerini simülasyon modeline aktararak incelemiştir.

Fontaine ve ark. (2010), bir Kan Merkezi'nde transfüze edilen ışınlanmamış eritrosit veri setini analiz ederek stoktaki torbalanmış eritrositlerin ortalama yaşını belirlemişlerdir. Raf ömürleri farklı olan kanlar için geliştirdikleri simülasyon modelinde altı senaryo tanımlamışlardır. Daha kısıtlayıcı raf ömür kuralları uyguladıklarında eritrositlerin hazır bulunma oranlarında artış ve bozulma oranlarında ise düşüş gözlemlemişlerdir.

Lowalekar and Ravichandran (2011), bir kan bankasında kandan üretilecek bileşenlerin optimum düzeyini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bunun için simülasyon tabanlı bir model geliştirmişlerdir. Gerçek bir kan bankasının sanal bir temsili olan simülasyon modelinde bileşen üretim düzeyinin değiştirilmesinin genel kan bankası performansı üzerindeki etkilerini test etmek istemişlerdir. Sonuçta yüksek işletme maliyetlerine ve sistemde büyük israfa yol açtığı için büyük miktarlarda taze kanı bileşenlerine ayırmanın optimal olmayacağını belirlemişlerdir.

Alfonso ve ark. (2011), tam kan, plazma ve trombosit bağışçılarını ele alarak, hem sabit bölge hem de mobil kan alımına yönelik olarak Fransa'daki kan toplama sistemlerinin modellenmesini ve simülasyonunu ele almışlardır. Kan alma sisteminin karşılaştığı artan talep ve sınırlı bütçe durumunda, simülasyon modeli ile tıbbi personelin (doktorlar ve hemşireler) efektif çalışması ve donör randevularının planlamasına yönelik etkili stratejiler belirlemeyi amaçlamışlardır. Arena'nın Proses Analiz aracıyla kan alma sistemlerinin farklı alternatif konfigürasyonlarını karşılaştırmış, insan kaynaklarının farklı planlama ve zamanlama ve donör atama stratejilerini değerlendirmişlerdir.

Baesler ve ark. (2013), optimal envanter, yeniden sipariş noktası ve ekstra bağış düzeyinden oluşan farklı envanter politikalarını temsil eden on iki farklı senaryoyu geliştirdikleri simülasyon modeli ile analiz etmişlerdir. En iyi senaryoda mevcut uygulamalara kıyasla karşılanmayan eritrosit talebini ve israfını sırasıyla %2,5 ve %3 oranında azaltmanın mümkün olduğunu göstermişlerdir. Geliştirdikleri simülasyon modelinin, kan merkezlerinde envanter bileşenlerini modellemek için kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Yüzgeç ve ark. (2013), bölgeselleştirilmiş kan bankacılığı sistemine (RBC) sahip bir bölgenin envanter seviyelerini ve dağıtım planını belirleyip gerekli düzenlemeleri yapma adına bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Modelde, tüm merkezlerin bir ağ topolojisini simüle etmiş ve merkezler arasındaki etkileşimleri gözlemlemişlerdir. Stok azlığı, memnuniyet oranları ve ortalama envanter seviyeleri sistem performans parametreleri olarak kabul edilip, her kan grubu için en iyi

envanter seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca talep noktalarının iş birliği yaptığı alternatif bir senaryoyu araştırmış ve bazı önerilerde bulunmuşlardır.

Simonetti ve ark. (2014), transfüzyon için farklı kan yönetimi uygulamalarının kullanılmasının arz üzerindeki potansiyel etkisini Monte Carlo simülasyon modeli üzerinden incelemişlerdir. Üç farklı FIFO senaryoları üzerinden farklı kan yönetimi uygulamaları yaparak ABD’de kan tedarikinde günlük kan bulunabilirliği ve dağıtımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kanın transfüze edilmeden önceki depoda ortalama saklama süresi, kanın elde edilme tarihi ve belirli kan ürünlerinin öncelikli kullanılma durumunun sürecin yönetimini etkilediğini bildirmişlerdir.

2.3. Literatür Değerlendirmesi

Literatürde ve kan tedarik zinciri ile ilgili yapılan ve simülasyon uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmalarda sıklıkla kan ve kan ürünlerinin bozulma oranlarını düşürmek için yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Kan tedarik zinciri çalışmalarında sıklıkla bir sağlık kuruluşu için optimum stok politikaları ve stratejileri belirlenmiştir. Kan tedarik zinciri optimizasyonu çalışmalarında, bozulma oranlarını, kan maliyetlerini (satın alma, elde tutma, israf maliyeti, raf ömrünün dolmasına ilişkin maliyet ve güncel olmayan maliyet) , cross-match oranını ve sipariş miktarını minimuma indirilmesini, stok azlığını giderilmesini ve verimliliğin artırılmasını amaçlayan optimizasyon modelleri bulunmaktadır.

Simülasyon uygulamalarında sürecin performansını iyileştirmek adına hedef stok değerlerinin belirlenmesi, kuyrukta bekleme sürelerinin ve transfer sürelerinin düşürülmesi, taleplerin azalımı, hedef envanter seviyelerini belirlenmesi, günlük kan bulunabilirliği ve dağıtımı üzerindeki etkileri ve imha maliyetlerinin azaltılması vb. konularda çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca literatürde daha çok bir sağlık kuruluşunda uygulanan kan politikası simülasyona aktarılmış, stratejiler ve senaryolar geliştirilerek incelenmiştir (Micheals ve ark. (1993), Katsaliaki (2008), Fontaine ve ark. (2010)).

Literatürde, sadece Cohen ve Pierskalla (1979), regresyon teknikleri ile simülasyon yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Günlük talebe, ortalama transfer edilen miktar, cross-match oranına ve cross-match serbest bırakma süresine bağlı olan bir hedef stok düzeyi geliştirmişlerdir.

Yapılan çalışmalarda bir sağlık kuruluşundaki süreçlerin sadece belli bir kısmında veya birkaç süreç üzerinde çalışmışlardır. Tez kapsamında bir üniversite hastanesi Kan Merkezi tüm olarak ele alınmış tüm süreçler simülasyona dahil edilmiştir.

Literatürde, kan tedarik zinciri optimizasyonu konusunda personellerin planlanmasını sadece Alfonso ve ark. (2011) Fransa'daki kan toplama sistemleri üzerinde çalışılmıştır. Arena proses analizi aracılığıyla insan kaynaklarının planlanması ve zamanlanması üzerinde durulmuştur.

Kan/kan ürünlerinde bozulmayı dolayısı ile maliyeti minimize eden pek çok çalışma bulunmaktadır. Fakat bu çalışmalar ya yalnızca kendi bağışçısının olduğu ya da başka bir merkezden kan akışının bulunduğu merkezlerde yürütülmüştür. İki kaynaktan kan girdisinin bulunduğu bir merkezde yapılan ilk çalışma olması sebebiyle literatürdeki çalışmalardan farklılık göstermektedir.

Literatürden farklı olarak ilk defa deney tasarımı ve matematiksel model birlikte kullanılmış; personel doluluk oranları, imha miktarı, kan ürünlerine ait minimum ve maksimum stok ve sipariş miktarları dikkate alınmıştır.

Literatür gözden geçirildiğinde tez çalışmasında bu konuda çalışmanın olmadığı ve kullanılan yöntemlere yer verilmediği dikkat çekmiştir. Çalışmada, simülasyon modeli sonrası deney miktarlarının belirlenmesiyle ve regresyon analizi ile formülasyonlar elde edilmiş ve personel doluluk ve haftalık Kızılay sipariş miktarları için optimum değerler belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

Kan merkezlerinde yapılan çalışmaların yer aldığı literatür gözden geçirildiğinde bu konuda tez kullanılan yöntemlere yer verilmediği dikkat çekmiştir. Bu çalışmada, gerek gönüllü kan bağışları, takaslar ve hasta adına yapılan kan bağışı gelişlerinin ve talebinin rassal değiştiği durumlarda deterministik ve stokastik yöntemlerin birleşiminden oluşan yeni bir yaklaşım Üniversite Hastanesi Kan Merkezi'nden alınan gerçek veriler ile test edilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırmada İşlenen Veriler

Bu çalışma bir Üniversite Hastanesi Kan Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Çalışma için Klinik Araştırmalar Etik Kurul onayı (90/1599) alınmıştır ve EK-1'de verilmiştir. Kan Merkezi'nden 2018 yılı verileri alınmıştır.

Yukarıda da belirtildiği gibi gönüllü kan bağışları yanı sıra üniversite hastanesinde yatan hastalar adına olan bağışlar rassal olmaktadır. Her iki yoldan edinilen kanlar, Kan Merkezi'ndeki birimler arası geçiş yapmakta ve transfüzyon koşullarına uygun olanlar stoka girmektedir. Ayrıca stok miktarına göre Kızılay'dan haftalık kan siparişi yapılmaktadır. Kan nakli ihtiyacı durumunda zorunlu yapılması gerekli testler akabinde kan ve/veya kan ürünü hastanın yattığı servise gönderilmek üzere stoktan düşülmektedir. Bütün bu süreçlerin sağlıklı yürüyebilmesi için etkin personel kullanımı ve Kızılay'a verilen siparişler doğru yönetimi oldukça önemlidir.

Bu süreci doğru ve efektif yürütme adına personel doluluk ve Kızılay'a yapılan haftalık kan/kan ürünü siparişlerinin optimize edilmesi hedeflenmiştir. Personel doluluk oranı optimizasyonu ve Kızılay haftalık kan sipariş miktarı optimizasyonu bağışçıların ve taleplerin gelişine, personel sayısına, haftalık olarak Kızılay'dan kan siparişlerinin gelişine ve proses sürelerine bağlıdır. Bu parametrelerin zamanla değişimini belirlemek için aşağıda sıralanan veriler kullanılmıştır.

- i. Tam kanın ve kan ürünlerinin özellikleri (raf ömrü, stok koşulları, vs.),
- ii. Bağışçılar ve takascılar yanı sıra hasta adına yapılan kan bağışlarının geliş sıklığı bilgileri,
- iii. Her bir kan ürünü için gelen taleplerin geliş sıklık bilgileri,
- iv. Her birimde reddedilen kan bilgileri,
- v. Her birimdeki kanın prosesleri ve süre bilgileri,
- vi. Kan Merkezi'ndeki her bir birimde çalışan personel sayısı,
- vii. Kanın Kızılay'dan sipariş maliyeti ve elde bulundurma maliyeti,

Bütün bu sorulara cevap alma adına en az üç ay süre ile ilgili Kan Merkezi'nin değişik bölümlerinde gözlemsel çalışmalarda bulunulmuş, kan bağışçısı (donörün) ve kan talep eden bireylerin danışmaya başvuru süresinden başlayıp ürünün hizmete dönüştüğü nihai sürece kadar her bir aşama incelenmiştir. Bu süreçte Kan Merkezi'nde aşağıdaki başlıklar halinde sunulan birim ve laboratuvarların yer aldığı ve her birinin çoksal görevlerinin olduğu belirlenmiş olup sırasıyla

- her bir bölümün işleyici bu süreçteki amaç ve hedefleri ortaya konmuştur.
- her bir göreve ait iş akış şemaları çizilmiştir (Şekil 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).
- iş akış şemalarındaki geçiş süreleri saniye cinsinden kronometre ile belirlenmiştir.
- her bir akış şemasındaki eylemlerin olabilir olasılıkları evet / hayır ifadeleri ile tanımlanmış ve olabilme olasılıkları yüzde cinsinden belirlenmiştir.

Kan Ürünleri

Kan bileşenlerinin bozulma süreleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kan Bileşenleri Bozulma Süreleri

	Bozulma Süresi
Trombosit	5 gün
Plazma	1 yıl
Eritrosit	42 gün

Personel Sayıları

Kan Merkezi'nde toplam 9 biyolog, 9 sağlık teknisyeni ve 9 hemşire bulunmaktadır. İHL'de minimum 3 kişi, TTL'de minimum 2 kişi, ÜHB'de minimum 2 kişi bulunmaktadır. Biyologlar ve sağlık teknisyenleri İHL, TTL ve ÜHB birimlerinde çalışmaktadır. Hemşireler DHB, Kan Alma ve Aferez birimlerinde çalışmaktadır. Danışmada 3 kayıt görevlisi vardır. Biyologlar ve sağlık teknisyenleri İHL, TTL ve ÜHB'de sırasıyla karışık olarak 3,2 ve 2 olarak bulunmaktadır.

Çizelge 3.2. Kan Merkezi Birimlerindeki Personel Sayıları

	Danışma	DHB	İHL	TTL	Kan Alma	ÜHB	Aferez
Kayıt Görevlisi	3						
Biyolog	-	-			-		-
Hemşire		2			3		2
Sağlık Teknisyeni	-	-			-		-

Varsayımlar

Yukarıda sıralanan her bir başlıkta yer alan eylemler yerine getirilirken aşağıda yer alan bilgiler göz önünde tutulmuştur.

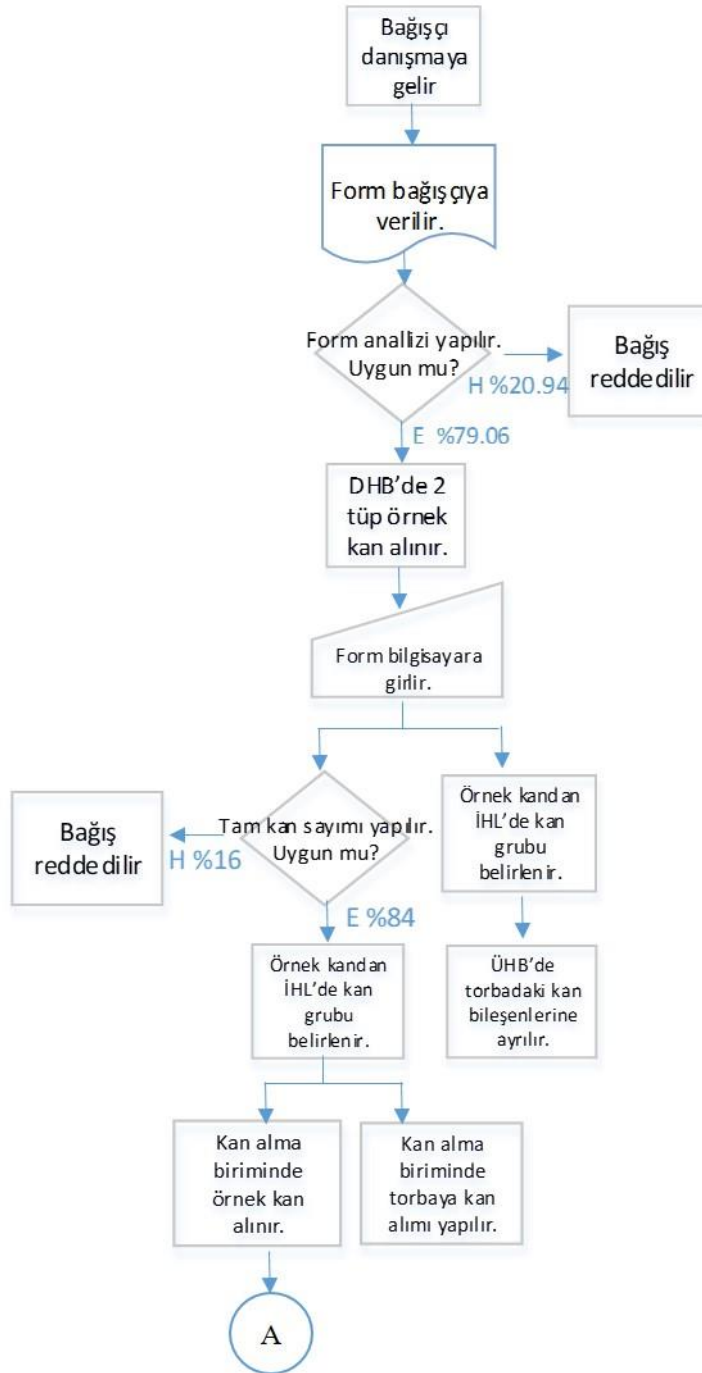
1. Aynı anda birden fazla hasta gelebilir.
2. Kan verecek kişi 1 ünite verir.
3. Her bir torba kan 450 mldir.
4. Her bir eritrosit 250-350 ml hacim/ünite'dir.
5. Her bir trombosit 20-30 ml hacim/ünite'dir.
6. Her bir afarez trombosit 250 ml hacim/ünite'dir.
7. Her bir plazma 200-250 ml hacim/ünite'dir.

Kan Alma Birimi

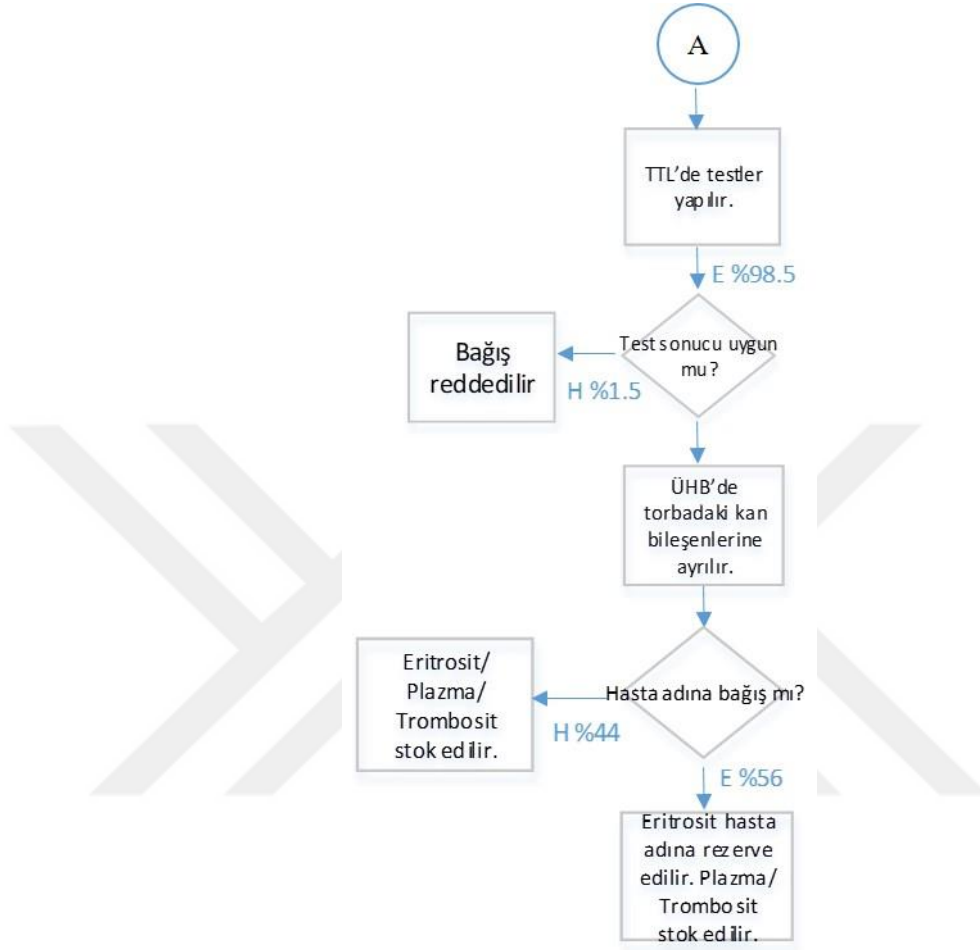
- Bağışçının Değerlendirilmesi

Kan Merkezi'ne kan bağışı için başvuran gönüllü bağışçıların bağışçı kabul masasına (danışma) başvurusundan bağışçıdan kan alınmasına kadar geçen süreci kapsar. Danışmada toplam 3 kişi çalışmaktadır.

Genel olarak Kan Merkez'lerinde, danışmada verilerin kaydedilmesiyle form analizi gerçekleştirilir. Gerek görülürse başvuru reddedilebilir. Buradan bağışçı farklı sıralamalarla kan alma birimine geçer ve büyük torbaya kan verir. Aynı zamanda bağışçının kan grubu belirlenir. Alınan kandan bir örnek ile gerekli testler yapılarak, kanın bağış için uygun olup olmadığına karar verilir ve eğer uygun değilse reddedilir.



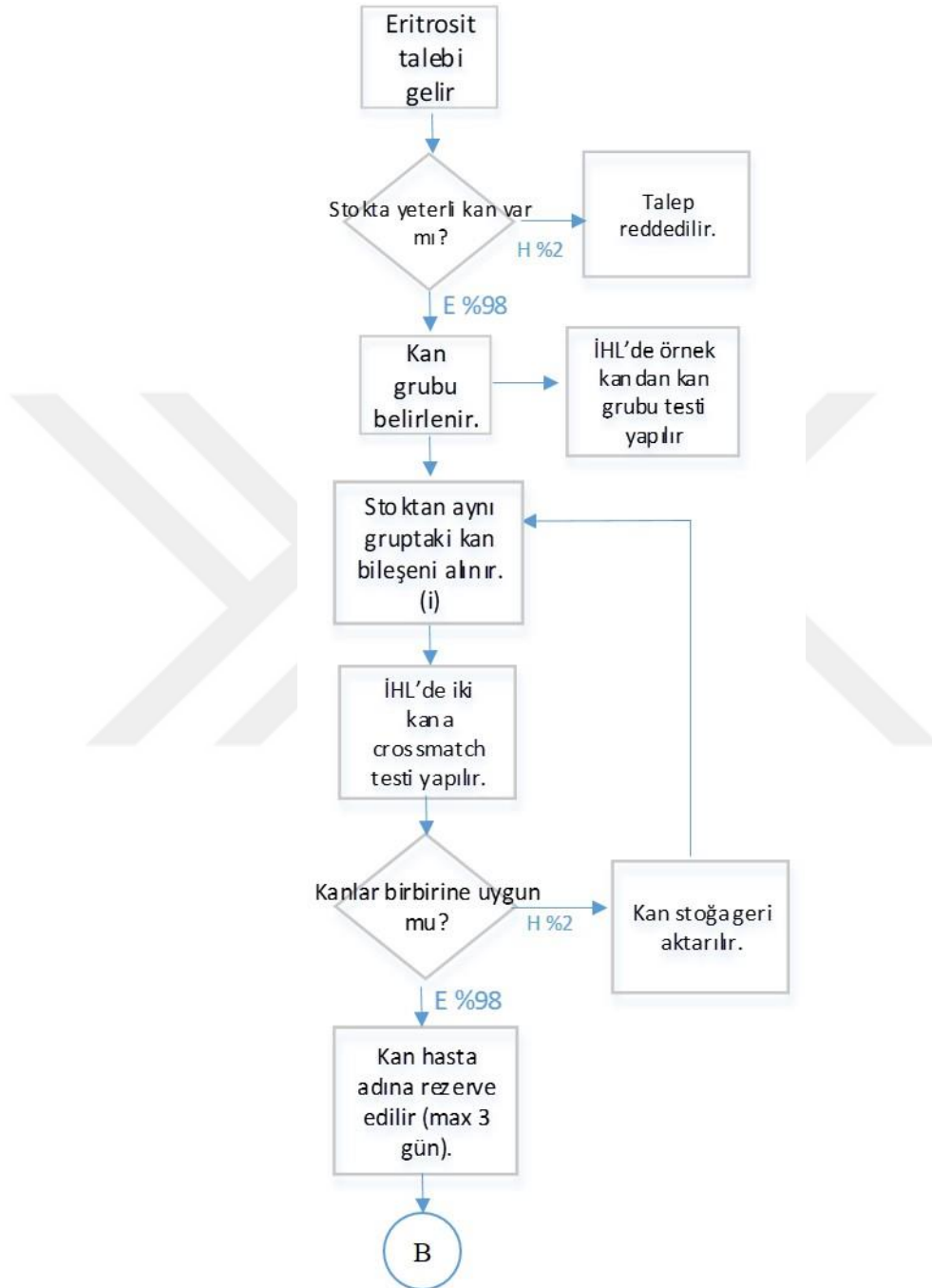
Şekil 3.1. Bağışçı Akış Şeması



Şekil 3.1. Bağışçı Akış Şeması (devam)

Kan Bileşenleri Hazırlama Birimi

Bu birimde torbalanan tam kan, taze plazma, eritrosit suspansiyonu, trombosit, taze donmuş plazma ve kriyopresipitat gibi bileşenlerine ayrılır. Bu bileşenler için gerekli olan filtrasyon, yıkama, bölme, havuzlama gibi ek işlemler gerçekleştirilir. Akabinde kullanıma hazır hale gelen kan/kan ürünleri ilgili görevli tarafından etiketlenir ve stoklanmak üzere uygun yerlere transfer edilir. Bu birimde toplam 3 kişi çalışmaktadır.

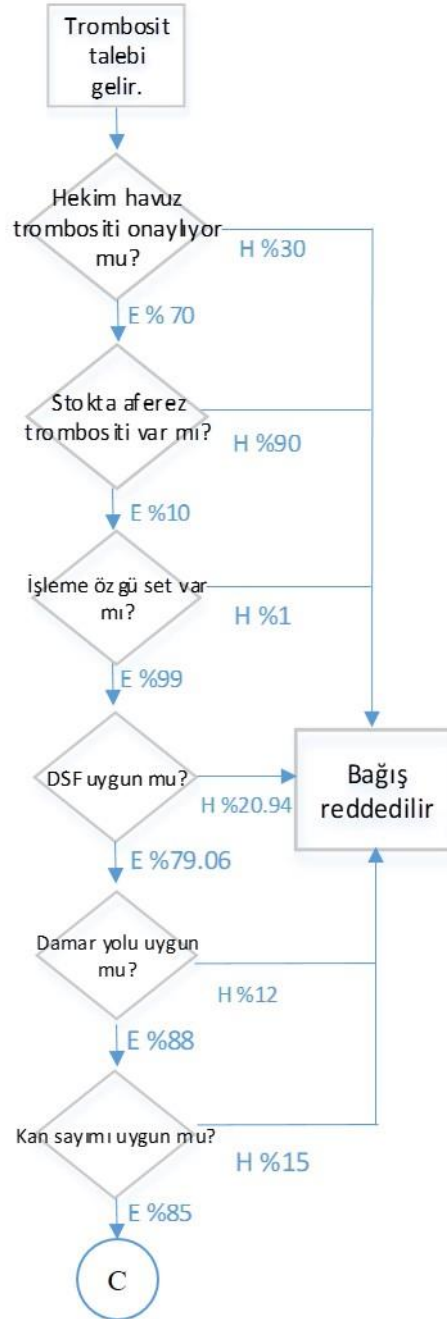


Şekil 3.2. Eritrosit Süreci Akış Şeması

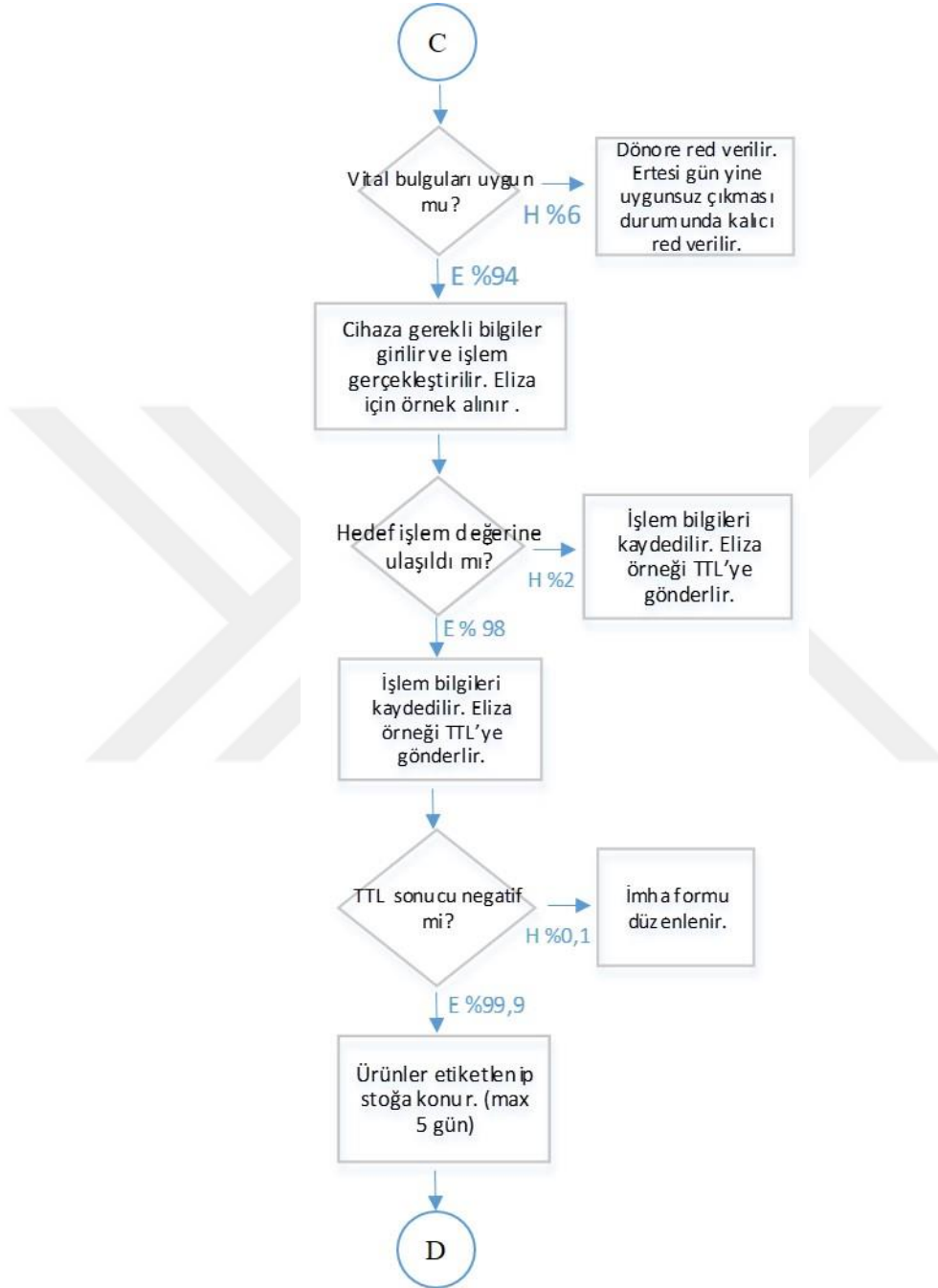


Şekil 3.2. Eritrosit Süreci Akış Şeması (devam)

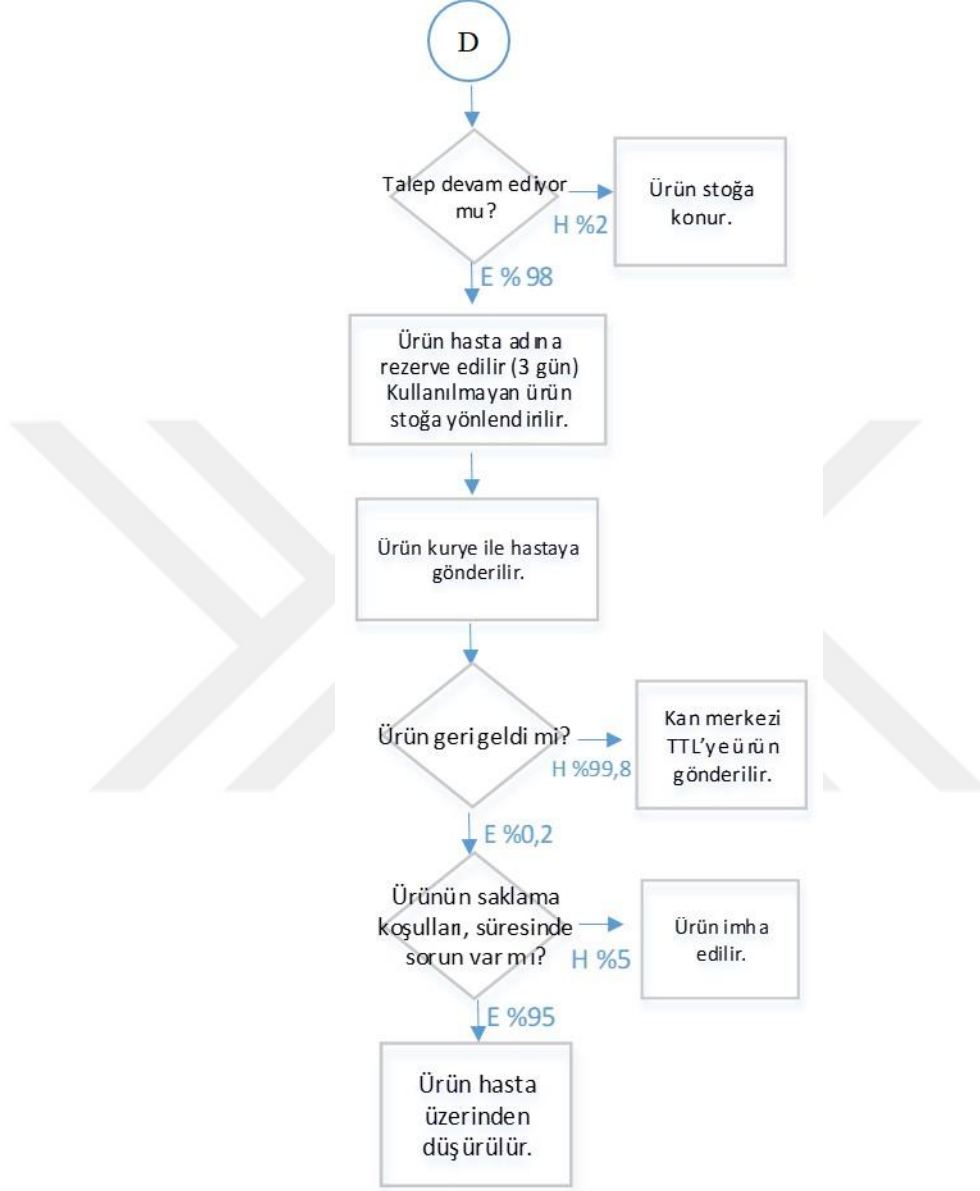
Bir eritrosit talebi geldiğinde, stoktan herhangi bir kan alınır ve İHL’de cross-match işlemi yapılarak, talep için kanın uygun olup olmadığına karar verilir. Eğer yapılan işlem sonucu uygun ise kan hasta üzerine stok edilir ve gerektiğinde gönderilir. Ürün stoktan düşülür. Uygun değil ise, uygun kan bulununcaya kadar bu döngü devam eder. Verilen kan yeterli olmadığı takdirde döngü işlemi yeniden gerçekleştirilir.



Şekil 3.3. Trombosit Süreci Akış Şeması



Şekil 3.3. Trombosit Süreci Akış Şeması (devam)



Şekil 3.3. Trombosit Süreci Akış Şeması (devam)

Trombosit talebi geldiğinde birtakım sorular sorularak işlemin ne istediği tam olarak belirlenmeye çalışılır. Donör formu uygunluğu, havuz trombosit uygunluğu, damar yolu uygunluğu, kan sayımı uygunluğu, damar yapısı uygunluğu

ve vital bulgu uygunluğu belirlenir. Daha sonra cihaz ile işlem başlatılır. İşlemden sonra cihaz sayesinde üç kan ürünü de ayrıştırılır. Trombosit ayrı bir torbaya alınarak, işlem bittiğinde diğer kan ürünleri hastaya geri verilir. Bir örnek kan TTL'ye gönderilerek kanın bağış için uygun olup olmadığını belirlemek için gerekli testler yapılır. Test sonucu uygun ve cihazdan gerekli hedef değerlerine ulaşıldığı bilgi alınırsa ürün stoğa konur. Ürün hastaya kurye ile gönderilir. Ürün talebi devam ediyorsa yine aynı işlemlerden geçirilerek ürün verilir. Ürün stoktan düşülür.



Şekil 3.4. Plazma Süreci Akış Şeması

Plazma talebi sürecinde, stoktan herhangi bir plazma eritilerek verilir. Eritrosit ve trombositte yapıldığı gibi herhangi bir test işlemine gerek yoktur. Ürünün hastaya verilmesi ile ürün stoktan düşülür.

İmmüno-Hematoloji Laboratuvarı

İmmüno-Hematoloji laboratuvarı'nda, hem hasta hem de bağışçının kan örneklerinde immüno-hematolojik incelemeler yapılır ve sonuçlar değerlendirilerek ve kaydedilir. Ayrıca hastaya nakledilecek eritrosit içeren kan ürünlerinin kan grubu, antikor tarama, cross-match gibi transfüzyon öncesi uygunluk testleri çalışılarak, uygun bulunan kan örnekleri üzerine uygunluk etiketi yazılarak ve hastanın olduğu birime transferi sağlanır.

Bu laboratuvarda ayrıca Rh subgrupları, direkt ve indirekt coombs testleri, anti-A, anti-B titrajı, antikor titresi ve minör eritrosit antijenleri gibi testler de yapılmaktadır. Bu birimde 2 kişi çalışmaktadır.

Tarama Testi Laboratuvarı

Bu laboratuvarda ülkemizde yasal mevzuatlarla belirlenmiş ve nakledilecek her türlü kan ürününde çalışılması zorunlu olan hepatit, HIV ve sifiliz gibi bulaşıcı hastalıklara yönelik incelemeler yapılır. Anormal çıkan test sonuçları yine bu laboratuvarda örneğin tekrar çalışılması ile kontrol edilerek doğrulanır. Bu birimde 2 kişi çalışmaktadır.

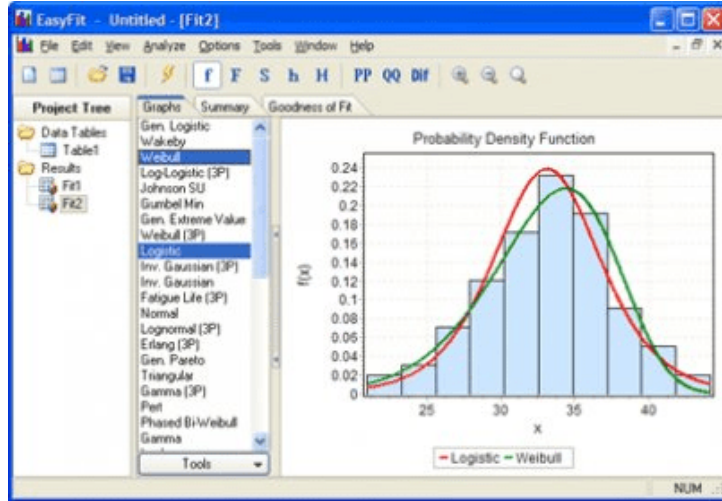
Kalite Kontrol Laboratuvarı

Kalite Kontrol Laboratuvarı'nda mevzuatlar gereği yapılması zorunlu tarama testlerinde herhangi bir problem saptanmışsa örnekler tekrar test edilerek daha önce elde edilen sonuçların doğrulaması yapılır. Aynı örneklerde olası viral ajanların olup olmadığına bakılır. Ayrıca bu laboratuvarda kan/kan ürünlerinin Ulusal Kan ve Kan Bileşenleri Hazırlama, Kullanım ve Kalite Güvence Rehberinde tanımlanan standarda uygun olup olmadıkları kontrol edilir. (<https://www.kanver.org/>).

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar

Kan Merkezi'ne kan bağışları yanı sıra kan/kan ürünlerine yönelik ihtiyaç talep gelişleri rassaldır. Bu çalışmada verilere ait olasılık dağılımlarının hesaplanabilmesi için SPSS, lingoArena programının Input Analyzer aracı ve EasyFit yazılımları kullanılmıştır. Hastane bilgi işlem veri tabanından çekilen kan bağışçı gelişleri, Kızılay sipariş miktarları, hasta retleri yanı sıra iş akış şemaları ve ilgili Kan Merkezi'nin her bir biriminde yapılan gözlemler ve çalışma çizelgelemeleri ışığında personel doluluk oranlarının dağılımları belirlenmiş, elde edilen veriler geliştirilen modeli Arena programında yapılmıştır.

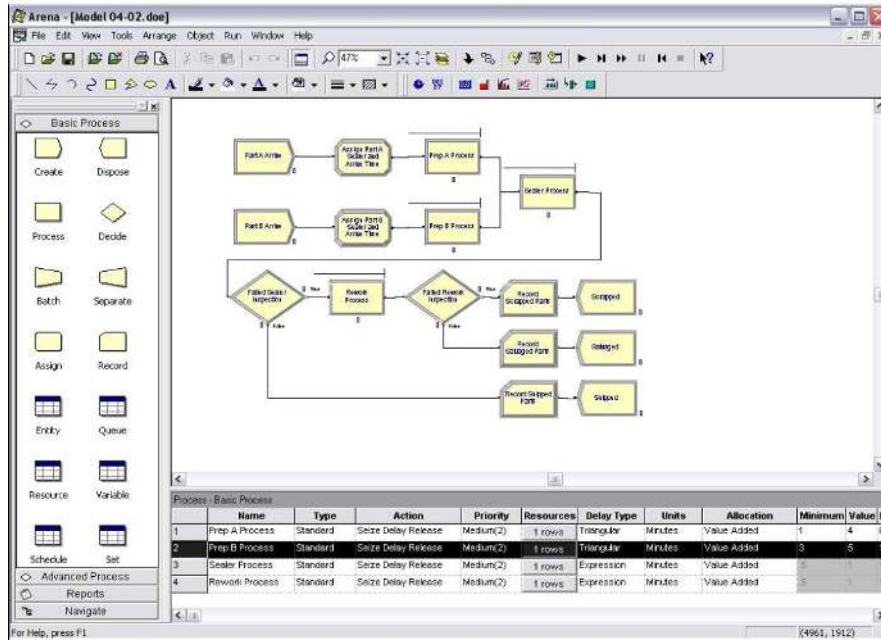
EasyFit; esnek kullanım menüleri sayesinde otomatik veya kullanıcı tarafından yapılan tanımlamalara göre çalıştırılabilen ve farklı elektronik tabloları programlarından veri aktarım özelliğine sahip bir MathWave ürünüdür. Ayrıca, Visual Basic Ortamında yazılacak makro veya kodlar sayesinde veri girişi başka programlarla bütünleşik hale getirilebilmektedir. Tek başına veya Microsoft Excel ile kullanılabilen program kırkın üzerinde kesikli ve sürekli dağılımı destekler (Şekil 3.5.) (www.mathwave.com).



Şekil 3.5. EasyFit programı (www.mathwave.com).

Rockwell Arena; bir simülasyon ve otomasyon yazılımı olup Systems Modeling tarafından geliştirilmiş, 2000 yılında Rockwell Automation tarafından satın alınmıştır. SIMAN işlemci ve simülasyon dilini kullanır (Arena User's Guide, 2004, Pegden 1995).

Arena'da kullanıcı, süreçleri veya mantığı temsil eden modüller (farklı şekillerdeki kutular) yerleştirerek bir deney modeli oluşturur. Bu modülleri birleştirmek ve varlıkların akışını belirtmek için bağlayıcı çizgiler kullanılır. Bağlayıcı hatlar modülleri birleştirir ve varlıkların (entity) akış yolunu belirler. Modüllerin varlıklara, akışa ve zamanlamaya göre belirli eylemleri olsa da, her modülün ve varlığın gerçek hayattaki nesnelere göre kesin temsili modelleyiciye tabidir. Döngü süresi ve WIP (iş sürecindeki çalışma) seviyeleri gibi istatistiksel veriler kaydedilebilir ve rapor olarak çıktısı alınabilir (Kelton 2014, Altıok 2007).

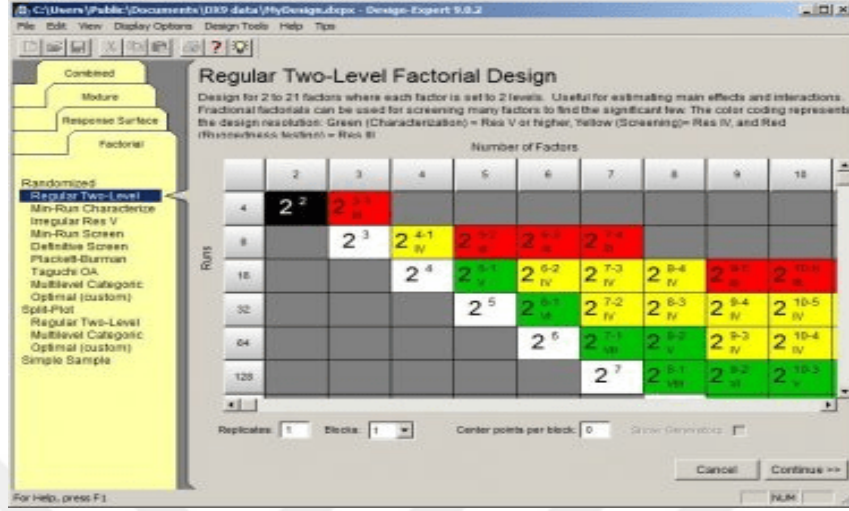


Şekil 3.6. Arena versiyonunda yapılan basit bir model (https://tr.wikipedia.org/wiki/Rockwell_Arena)

Arena, Microsoft teknolojileri ile entegre edilebilir. Belirli algoritmalara ihtiyaç duyulduğunda modellerin daha da otomatikleştirilebilmesi için Visual Basic for Applications içerir. Ayrıca, Microsoft Visio akış çizelgelerini içe aktarmanın yanı sıra Excel elektronik tablolarından ve Access veritabanlarından okuma veya çıktı göndermeyi de destekler. ActiveX denetimlerinin barındırılması da desteklenir (Arena User's Guide 2004). Bu program, iş süreçlerini simüle eder.

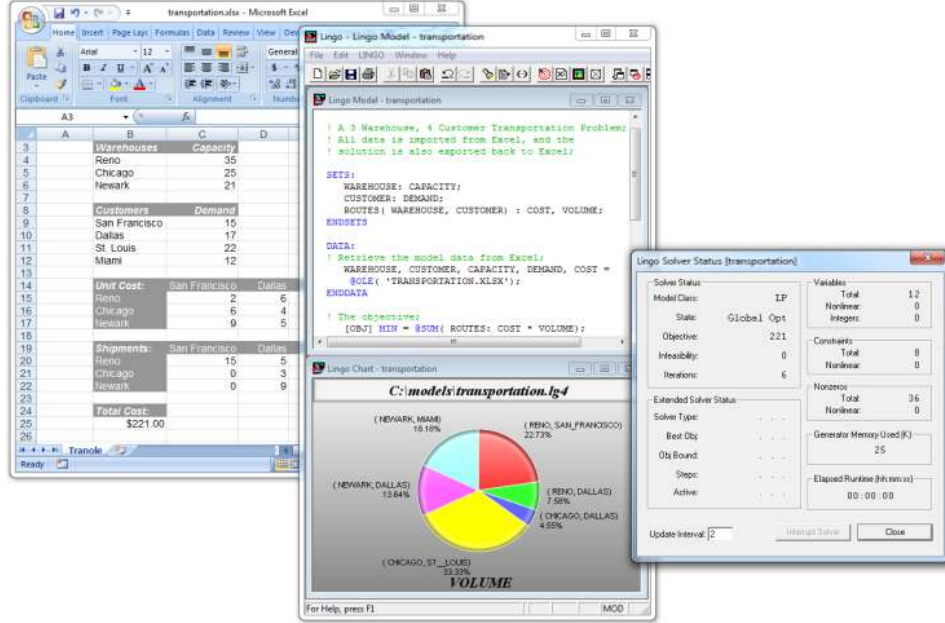
Çalışmamızda simülasyon modelinde elde ettiğimiz verilere SPSS programı kullanılarak regresyon analizleri yapılmıştır. Böylece ortalama personel doluluk oranları ve Kızılay haftalık sipariş miktarlarını belirlemeye yönelik gerekli formüller elde edilmiştir.

Design-Expert, Stat-Ease Inc.'in özel olarak deney tasarımı (DOE) gerçekleştirmeye adanmış istatistiksel bir yazılım paketidir. *Design-Expert*, karşılaştırmalı testler, tarama, karakterizasyon, optimizasyon, sağlam parametre tasarımı, karışım tasarımları ve birleşik tasarımlar sunar. *Design-Expert*, 50 faktöre kadar tarama için test matrisleri sağlar. Bu faktörlerin istatistiksel önemi, varyans analizi (ANOVA) ile belirlenir. Grafik araçlar, her bir faktörün istenen sonuçlar üzerindeki etkisini belirlemeye yardımcı olur ve verilerdeki anormallikleri ortaya çıkarır (Şekil 3.7.) (*Design Expert User's Guide*, 2000).



Şekil 3.7. Design-Expert (<https://design-expert2.software.informer.com>)

Geçerlilik lingo ile test edilmedi. Oluşturulan matematiksel model Lingo paket programı ile çözülmüştür. *Lingo*, optimizasyon problemlerini formüle etmek ve çözmek için Lindo Sistem Inc. şirketi tarafından tasarlanmıştır. Daha önce DOS ortamında kullanılırken Lindo ve Gino yazılımlarının birlikteliği ile yeni özellikler kazandırılmıştır.



Şekil 3.8. Lingo (<https://www.lindo.com/index.php/products>)

3.2. Metod

3.2.1. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Öncelikli olarak Kan Merkezi'ndeki problem tanımlanmış, akabinde problemin çözümü için gerekli veriler toplanmıştır.

Elde edilen veriler istatistiksel olarak Ki - Kare ve Kolmogorov - Simirnov testleri ile analiz edilmiş, kan gelişleri ve kan talepleri için olasılık dağılımları belirlenmiş ve bu dağılımlar simülasyon modeline eklenmiştir.

Kan Merkezi'nin genel akışı, her birimdeki süreçler simülasyon modeline aktarılmıştır. Personel doluluk ve Kızılay sipariş miktarı için deney tasarımı oluşturulmuş ve simülasyondan her bir deney için veriler çekilmiştir. Simülasyon çıktılarına daha sonra regresyon analizi uygulanarak matematiksel modellemeye kullanılacak olan kısıt denklemleri oluşturulmuştur. Personel ve Kızılay'a kan sipariş etme maliyetlerini minimuma indirebilmek adına matematiksel model kurulmuştur.

3.2.2. Stok Kavramı

Hizmet sağlayan ve ürün sunan şirketlerin bu eylemlerde kesinti yaşamaması için envanter tutması gerekir. Bu, özellikle son kullanma tarihi olan ürünler için dinamik bir süreci içerir. Genel olarak kan ürünleri üzerinden konuşacak olursak, stok miktarının az olması gelen kan talebinin karşılanamaması ve dolayısı ile hasta kaybı gibi hayati öneme sahip bir tabloya neden olur. Bunun aksine stokun fazla olması ise raf ömrü olan bu ürünlerde imha oranını artıracak bu durum hem hizmetin aksamasına hem de stok maliyetlerinin artmasına yol açacaktır. İyi bir stok yönetiminin işe yaradığı nokta burasıdır. Stok yönetimi, bu iki çelişkili noktayı dengeleyen optimal stok seviyesini belirlemeyi amaçlar (Taha, 2007). Bu dengeyi sağlamak için

- 1) Ne kadar sipariş vermem gerekiyor?
- 2) Ne zaman sipariş vermeliyim? Soruları cevaplanmalıdır.

Kan ürünleri ile ilgili olarak,

- 1) Ne kadar kan bağıışı almam gerekiyor?
- 2) Hangi kan ürününe ne kadar ve ne zaman ihtiyacımız var,?

Miktar ve zaman, doğru stok yönetimine cevaplanması gereken en önemli sorulardır. Çünkü talebi doğru tespit edip stok miktarını ve dolayısıyla depolama maliyetlerini en aza indirerek mevcut talebi karşılamak önemlidir.

3.2.2.1. Stok Kontrol Modelleri

Tüm depo yönetimi konularının temel amacı her ürünün sipariş miktarını ve zamanlamasını belirleyerek toplam maliyeti en aza indirmektir. Stok kontrol modelleri Deterministik ve Stokastik olarak iki başlıkta incelenir.

1. Deterministik stok modelleri
2. Stokastik (Olasılıksal - rastgele) stok modelleri

Deterministik modelde talep ve teslim süreleri bilinmektedir ve bu değerler değişmez. Deterministik bir stok yönetimi modelinde en önemli şey, bunun olasılıksız olmasıdır. Bu ise talep, sipariş süresi ve sipariş sayısı gibi parametreleri tam olarak bildiğiniz anlamına gelir. Bu modelde tam belirlilik vardır. Deterministik model, Wilson (1934) tarafından formüle edilen ve "Wilson formülü" olarak adlandırılan klasik Ekonomik Sipariş Miktarı - Economic Order Quantity (EOQ)" modeli kullanılır (Yin ve ark. 2002).

EOQ stok modelinde Q sipariş miktarını ifade eder ve sabittir. Stok önceden belirlenen kritik stok seviyesine düştüğünde ki buna sipariş verme noktası '(R)' denir ve sipariş verilir.

Stokastik Stok Modeli, gerçek piyasa koşullarında talep, sipariş sayısı ve sipariş süresi gibi parametrelerde problemleri önceden görüp çözebilmek adına ilk kez Arrow ve ark. tarafından geliştirilmiştir (Arrow ve ark. 1951).

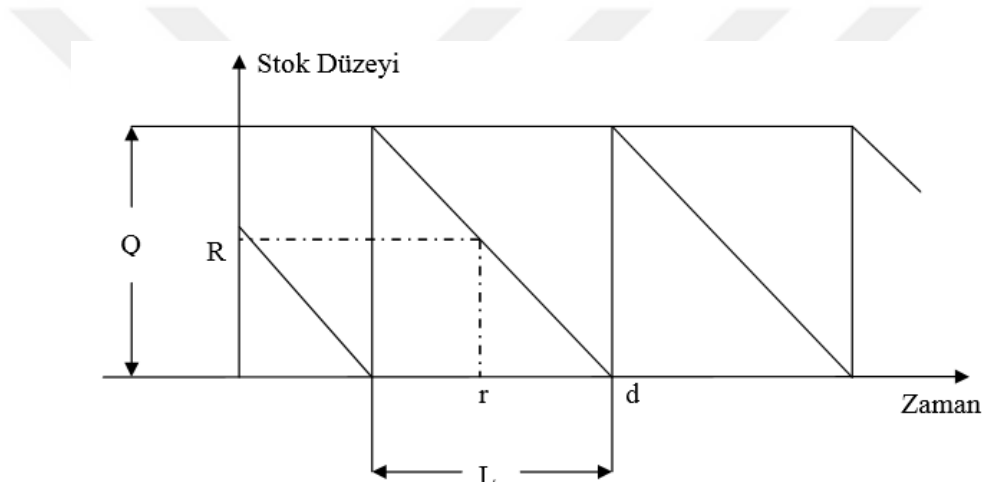
3.2.2.2. Deterministik (Belirli) Stok Modeli

Deterministik bir modelde, bir sistemi tanımlayan tüm değişkenler benzersiz ve sabittir. Bu tür modellerin çözümünde sistem parametreleri veya karar değişkenleri matematiksel modeller oluşturularak veya optimizasyon teknikleri kullanılarak hesaplanabilir. Deterministik kavramında mutlak belirlilik vardır.

Deterministik model, sistemin gelecekteki durumunu rastgele belirlemeyen bir sistemdir. Deterministik model, ilgili tüm girdi verilerinin doğru ve tamamen bilindiğini varsayar. Karar verme sürecine konu olan problemin modellenmesine yönelik tüm bilgiler sabit ve bilinen değerler şeklindedir. Sonuçta, iyi modellenmiş bir deterministik sistemde, sistem aynı koşullar altında aynı başlangıç durumu için her zaman aynı sonuçları üretecektir. Kullanılan tüm modellerin temel amacı.

Toplam yıllık maliyeti düşük tutmak ve aynı zamanda Bir seferde ne kadar, ne zaman ve ne sıklıkta sipariş verileceği gibi tüm soruların cevaplarını bulmaktır (Taş, 2007).

Burada stok modelleri dinamik ve statik olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. Modellemeler, iskonto miktarlarını, hazırlık maliyetleri gibi çeşitli kısıtlamaları hesaba katar. Talep ve teslim tarihleri sabittir. Stok yeniden sipariş noktasına (R) düştüğünde, sipariş vererek ve d anında sipariş alarak stok düzeyi artırılır (Şekil 3.10.). Bu deterministik modellemede stokun bitmesine izin verilmez (Taş, 2007).



Şekil 3.9. Deterministik stok modelleri (Q : sipariş miktarı; R : yeniden sipariş noktası; T = Sipariş periyodu (iki sipariş arasında geçen zaman); d = Tüketim hızı (adet/gün); (Sipper ve Bulfin, 1998)

3.2.2.2.(1). Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) Modeli

Ekonomik sipariş miktarı (EOQ) modeli, basit ve iyi bilinen envanter modellerinden biridir. EOQ, sürekli stok kontrol sistemi dahilindedir (Doğruer, 2005; Lee, Nahmias, 1993). Sayısal yöntemler bağlamında, bu model toplam stok maliyetini minimize eden optimal sipariş miktarının tespit edilmesini sağlar (Doğruer, 2005).

Toplam maliyet, depolama ve sipariş verme maliyetinden etkilenir. Buradaki amaç, toplam maliyeti en aza indirebilecek bir sipariş miktarı (Q) bulmaktır. Toplam

$$\text{Yıllık toplam sipariş maliyeti: } K + \frac{P}{Q} + c * D + \frac{h}{2} * (q * (1 - \frac{D}{p})) \quad (3.2)$$

$$\text{Ekonomik sipariş miktarı: } Q^* = \sqrt{\frac{2 * D * K}{h}} * \sqrt{\frac{P}{P-D}} \quad (3.3)$$

$$\text{Yeniden sipariş noktası : } ROP = d * L \quad (3.4)$$

- D: Yıllık talep (adet/yıl)
- Q: Sipariş miktarı (adet)
- P: Yıllık üretim (adet/yıl)
- K: Sipariş maliyeti (TL/sipariş)
- h: Stok maliyeti (TL/adet/yıl)
- d: Tüketim oranı (adet/gün)
- L: Tedarik süresi (siparişten teslimatı kadar geçen süre)
- ROP: Yeniden sipariş noktası (adet olarak stok düzeyi) (Aslan, 2015)

3.2.2.3. Stokastik (Olasılıklı) Modeller

Stokastik veya rastgele model, zaman veya mekan içinde değişen/gelişen durumları tanımlamak için kullanılan bir olasılık modelidir (Lindsey, 2004). Stokastik model, belirleyici anlamına gelen deterministik modelin olasılıklı eşdeğeridir. Sadece bir yönde değişen bir süreçten farklı olarak burada bazı belirsizlikler var. Başlangıç durumunu ve başlangıç noktasını bilseniz bile, sürecin gelişebilecek/değişebilecek bazı yönleri vardır. Birçok stokastik süreçte, bir sonraki duruma veya konuma geçiş, sürecin önceki durumu veya değerinden bağımsız olarak yalnızca mevcut duruma bağlıdır. Stokastik süreçlerin zaman içinde farklı noktalarda olasılık değerleri bağımsız rastgele değişkenler olabilir, ancak genellikle karmaşık istatistiksel bağımlılıklar gösterir (Allen, 2010).

3.2.2.3.(1). Stokastik Stok Kontrol Modelleri

Stokastik stok kontrol modellerinde deterministik modellerden daha çok rastsal modeller kullanılır. Bu model stok kontrolü dikkate alınarak sürekli gözden geçirmeli modeller ve periyodik gözden geçirmeli modeller olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılır.

Bu formülde aşağıda sıralanan varsayımların mevcut olduğu öngörülmektedir.

- Talep belirli, sabit ve sürekli.
- Sürekli gözden geçirme yöntemi ile stok kontrolü yapılır.
- Maliyet sabittir.
- Tedarik süresi belirli ve sabittir.
- Stokun tükenmesine izin verilmez.
- Sipariş anlık yenilenir.

3.2.3. Dağılımların İstatistiksel Analizi

Çalışmada simülasyon modelinin kurulabilmesi için bağışçaların gelişi, takasların gelişi ve hasta adına kanların gelişlerine yönelik veriler incelenmiş, istatistiksel analizler için SPSS programı kullanılmıştır. Ki-Kare veya Kolmogorov-Smirnov testlerinden elde edilen veriler değerlendirilerek en uygun olasılık dağılımı belirlenmiştir.

3.2.3.1. Ki-Kare Dağılımı

Pearson (1900) tarafından ortaya konan Ki – Kare testi istatistik biliminde pek çok amaç için oldukça yaygın kullanılan bir dağılımdır (Aytaç, 1999). Örneğin araştırmacılar, belirli yanıt türlerinin diğerlerinden daha sık olup olmadığını belirlemek isteyebilir. Bu durumda öncelikli olarak Ki - kare testi kullanılmaktadır. Ki-kare dağılımı; genellikle uygunluk, varyans, homojenlik, bağımsızlık ve bağımlı grupları test etmek için kullanılır (Kartal, 1998). Ki – kare ; matematik ortalaması 0

ve varyansı 1 olan, her biri normal bölmeli bir popülasyondan bağımsız olarak seçilen n birim örneğinin değerlerinin karelerinin toplamını temsil eder. (Aytaç 1998). Yani, Z_i $n = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere; n tane bağımsız standart normal dağılım için $Z_1^2, Z_2^2, \dots, Z_n^2$ toplamı ile; n serbestlik dereceli Ki - Kare dağılımı elde edilir. Yani;

$$\chi_n^2 \approx \sum_{i=1}^n Z_i^2 \quad (3.5)$$

olur (Hasgür 2000). Ki - kare; iki ya da daha fazla veri seti arasında anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir analiz yöntemidir (Tokol. 1996).

Ki-Kare Uygunluk Testi

Hipotez için uygunluk testi ve olasılık dağılımı için uygunluk testleri olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılabilir. Çalışmamızda, hipoteze uygunluk testi kullanılmıştır. Hipoteze uygunluk testi; gözlemlenen o_i , frekansının, belirli bir hipotez altında elde edilen beklenen frekans e_i ile uyuşup uyuşmadığını araştırır. N birimlik veri; r kategoriden oluşan bu testin aşamaları aşağıdaki gibidir.

Hipotezler:

$H_0: o_i = e_i, i = 1, 2, \dots, r$ Gözlenen frekanslar beklenen frekanslara uygun.
 $H_1: o_i \neq e_i, i = 1, 2, \dots, r$ Gözlenen frekanslar beklenen frekanslara uygun değildir. Fark önemlidir.

Test İstatistiği:

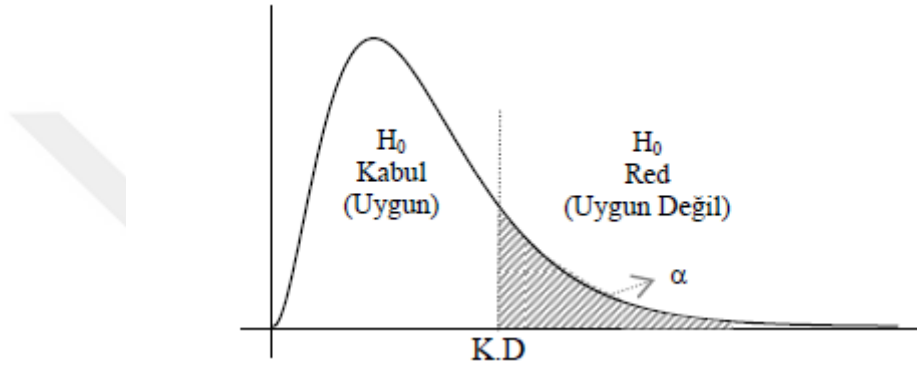
Test istatistiği aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\chi_n^2 \approx \sum_{i=1}^r \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (3.6)$$

o_i ' lerin e_i ' lere yaklaşması durumunda χ^2 istatistiği sıfıra yaklaşacaktır.

Karar Modeli ve Karar

χ^2 test istatistiği, $o_i - e_i$ farkının karesi alınarak hesaplandığı için Ki-kare uyum testi, sağ kuyruklu bir testtir. Fark büyüdükçe, farkın karesi pozitif yönde sonsuza doğru büyür. Bu nedenle, red bölgesi her zaman dağılımın sağ kuyruğunda yer alır. Karar modeli Şekil 3.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Karar Modeli ve Karar -Test İstatistiği

Kritik değer (K.D), α önem seviyesi ve $s.d. = r - 1 - m$ serbestlik derecesine göre hazırlanmış χ^2 kritik değerler tablosundan belirlenir (r = sınıf sayısı, m = teorik frekans). m burada tahmin edilen parametre sayısıdır.

$K.D. = \chi^2_{\alpha, r-1-m}$ şeklinde hesaplanır (Kartal 1998).

3.2.3.2. Kolmogorov-Smirnov Testi

χ^2 uygunluk testlerine alternatif olarak kullanılan Kolmogorov-Smirnov testi; Kolmogorov (1933) tarafından tek örnek uyum iyiliği testini önermiş, Smirnov (1939) ise iki bağımsız örnek için uyum iyiliği testini gerçekleştirmiş, her iki test mantığı ve uygulamasının da benzer olması nedeniyle Kolmogorov-Smirnov testi olarak adlandırılmıştır. χ^2 testinin uygulanabilmesi için beklenen frekansların 5'ten büyük olması gerekir. Oysa Kolmogorov - Smirnov testinde böyle bir koşul gerekmediği için kolayca uygulanabilmektedir. Ki-Kare testinde beklenen

frekansların 5'ten büyük olması için ya örneklerin büyük hacimli olması ya da sınıfların birleştirilmesi gereklidir ve bu durumda bilgi kaybı olacaktır. Oysa Kolmogorov-Simirnov testinde beklenen frekanslar için böyle bir alt limit yoktur (Kartal, 1998).

Temel olarak, bu test, örnek verilerin kümülatif dağılım fonksiyonunun önerilen kümülatif dağılım fonksiyonu ile karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu test, örneklerden toplanan verilerin normal dağılıp dağılmadığını belirlemek için kullanılabilir. Bu test, dağılımın sürekli olduğunu ve ana kütle ortalamasının ve varyansının bilindiğini varsayar. Kolmogorov-Simirnov testinde hipotezler aşağıdaki gibi kurulur.

Hipotezler

$H_0: o_i = e_i, i = 1, 2, \dots, r$ Gözlenen frekanslar beklenen frekanslara uygun

$H_1: o_i \neq e_i, i = 1, 2, \dots, r$ Gözlenen frekanslar beklenen frekanslara uygun değil

Test İstatistiği

Test istatistiği D ile gösterilir. D; gözlenen ve beklenen değerlerin kümülatif nisbi frekansları arasındaki en büyük mutlak farktır (Kartal 1998, 149).

$$D = \max |F_o - F_e|$$

F_o = Gözlenen kümülatif nisbi frekans

F_e = Beklenen kümülatif nisbi frekans

Karar Modeli ve Karar

$$KD = D\alpha; n$$

$D > K$. D ise gözlenen frekansların α önem seviyesinde beklenen frekanslara uygun olmadığına karar verilir

H_0 hipotezi kabul edilirse gözlenen frekansların beklenen frekanslara uygun olduğuna karar verilir.

3.2.4. Simülasyon

Simülasyon, günümüzde herhangi bir iş yerinde bir Endüstri Mühendisinin karşılaşılabileceği bir şirket için ofis, üretim veya depo bölümünde ortaya çıkan kalite, güvenlik ve üretkenlik gibi problemlerin çözümünde kullanılacak yöntemlerden biridir.

Bilgisayar simülasyonunun tarihçesi, iki matematikçi Jon Von Neumann ve Stanislaw Ulam'ın, nötronların saçıcı davranış problemiyle karşı karşıya kaldıkları II. Dünya Savaşı'na kadar uzanır. İsabet ve deneme deneyleri çok maliyetli ve problem analizi çok karmaşık olduğu için bu iki matematikçi tarafından rulet çarkı tekniği önerilmiştir. Tüm olay dizisinin sonucunu tahmin etmek için adım adım yapılan analizde ayrı olayların olasılıklarının birleştirildiği, çeşitli olayların meydana gelmesiyle ilgili temel veriler içeren bu yöntem nötron problemi üzerindeki dikkat çekici başarısı ile kısa sürede popüler hale geldi ve iş ve endüstri alanında kendine birçok uygulama alanı buldu.

İkinci dünya savaşı sonrası dönem, savaş sırasında askeri amaçlarla geliştirilen yeni teknolojilerin, dünya genelinde yeni problem çözme araçları olarak ortaya çıkmaya başladığı bir zaman dilimiydi. Bu dönemde bilgi işlem alanı: analog ve dijital olmak üzere iki yaklaşıma ayrıldı. Analog bilgisayarlar özellikle diferansiyel denklemlerin çözümünü gerektiren problemler için uygundu. 1940'ların sonlarında ve 50'lerin başlarında, ticari olarak tasarlanmış hem analog hem de dijital bilgisayarlar günlük hayatta kullanılmaya başlandı. Harry Markowitz, Bernard Hausner ve Herbert Karr, Rand Corporation'da envanter problemlerini simüle etmek için 1962'de SIMSCRIPT'in bir versiyonunu üretmişlerdir. İngiltere'de J. Buxton ve J. Laski, Kontrol ve Simülasyon Dili olan CSL'yi geliştirdi. SIMULA'nın erken bir versiyonu Norveç'te O. Dahl ve K. Nygaard tarafından geliştirilmiş ve Don Knuth

ve J. McNeley SOL- Genel Amaçlı Sistem Simülasyonu için Sembolik Bir Dil üretmiştir.

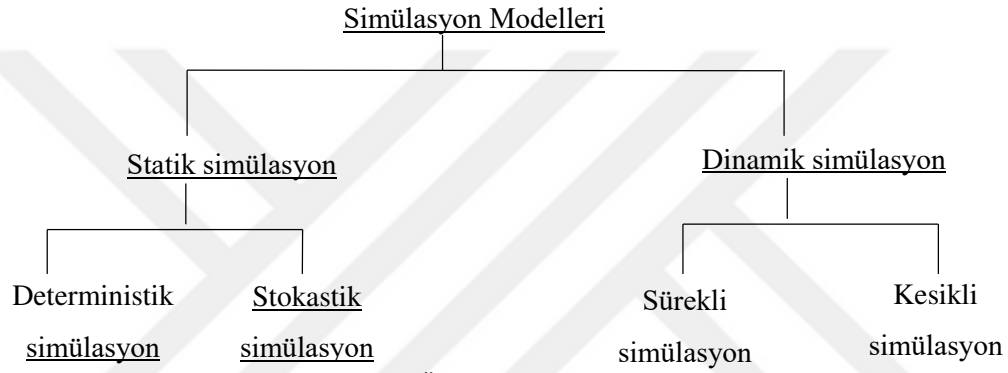
Simülasyon yazılımının günümüzdeki gelişmiş sürümleri aşağıdaki özellikleri destekler (Öztürk, 2004):

- Benzersiz bir şekilde yapılandırılmış ortam, kullanıcının bir modelin geometrisini ve üretim gereksinimlerini hızlı bir şekilde girmesine olanak tanır.
- Uzman sistem teknolojisi, ayrıntıları otomatik olarak üretirken, pencereler ve açılır menüler kullanıcıyı modelleme sürecinde yönlendirir.
- Değişiklikler, çok daha az hata olasılığıyla hızlı ve kolay bir şekilde yapılabilir.
- Yerleşik malzeme işleme şablonları, kullanıcıyı daha üretken kılar, böylece zaman programlamayla boşa gitmez.
- Kullanıcı, uygulamadan önce tasarımları doğrulayabilir ve test edebilir, "eğer" sorularını yanıtlayabilir, daha fazla alternatif keşfedebilir ve sistem hatalarını ve 3 boyutlu animasyonu yakalayabilir.
- Kullanıcı verileri girerken 3 boyutlu grafikler otomatik olarak oluşturulur.
- Sonuçlar gerçek zamanlı animasyon ile iletilebilir.

Sonuç olarak simülasyon modelleme, kullanıcılara alternatif çözümler sunabilen bir modelleme tekniği olup, sistem içindeki nedensel ilişkileri bilgisayara aktararak, bilgisayar modelindeki gerçek sistemin davranışını çeşitli koşullar altında izlemek mümkündür. Probleme simülasyon yaklaşımı, sistemin yapısına ve bu yapı için oluşturulan modele bağlıdır.

a. Simülasyon Çeşitleri

Simülasyon modelleri, “Statik ve Dinamik Simülasyon” olmak üzere ikiye ayrılır. Statik simülasyon modelleri, değişkenlerin olasılıklı olup olmamasına göre; “Deterministik ve Stokastik Simülasyon”, dinamik simülasyon modelleri ise sistem değişkenleri değişimi zaman içinde gözlenmesine göre, “Kesikli ve Sürekli Simülasyon” olarak kategorize edilir (Öztürk, 2004).



Şekil 3.12. Simülasyon modelleri (Öztürk, 2004)

b. Statik Simülasyon Modelleri

Bir sistemde zaman boyutunu içermeyen şekilde kurulan modele statik simülasyon modeli denir. Statik simülasyon modelleri genellikle Monte Carlo simülasyonları olarak adlandırılır. Statik model zamandan bağımsız olduğu için simülasyon saati bulunmaz; gün, saat, dakika, saniye gibi zaman birimleri bu modeli etkilemez. Yani bu model zamanla değişmez (Öztürk, 2004).

3.2.4.1. Deterministik Modeller

Rastgele değişken barındırmayan yani dışsal (eksojen) ve içsel (endojen) değişkenlerin rastsal olmadığı simülasyon modellerine “deterministik” modeller denir. Bu modelin belirli bir girdisi ve tek bir çıktısı bulunmaktadır. Sistemin mekanizması iyi tanımlanmıştır (Öztürk, 2004).

3.2.4.2. Stokastik Modeller

Girdi olarak davranışları tamamen tahmin edilemez olan bir veya daha fazla rastgele değişkene sahip modele stokastik model denir. Böyle bir modelde girdi değerleri ve süreçler bir olasılık dağılımı ile temsil edilir. Başka bir deyişle, belirli bir olayın meydana gelme olasılığı hakkında farklı yorumlar yapılabilir.

Bu model, deterministik modelden daha karmaşıktır. Bu nedenle bu modellere çözüm bulmak oldukça zordur, bulunan çözümler analitik olarak yeterlidir ve simülasyon yöntemleri stokastik model analizi ve çözümlerinde kullanılan en temel yaklaşımlardan biridir (Kuş, 2010).

3.2.4.3. Dinamik Simülasyon Modelleri

Dinamik modeller, zaman içeren modeller olup simülasyon yapılma zamanı, gün, saat, dakika, saniye olarak simülasyon zamanını bildirir. Bu modellerdeki değişkenler veya varlıklar zaman içerisinde değişim ve etkileşimler gösterirler. Sipariş sistemleri, kuyruk sistemleri, stok sistemleri dinamik simülasyon modelleriyle çözümlenebilir. Modeldeki değişkenin sürekli veya kesikli olmasına göre “Kesikli veya Sürekli” simülasyon modeli olarak sınıflandırılır (Kuş, 2010).

3.2.4.4. Kesikli Simülasyon Modelleri

Zaman içerisinde kesintili veya sayılabilir noktalarda sistemin temel değişkenlerinin değerleri değişiyorsa bu sistemler kesikli sistemler olarak tanımlanırlar.

3.2.4.5. Sürekli Simülasyon

Modelin bağımlı değişkenlerinin değerleri simülasyon süresince sürekli değişebilir. Sürekli bir model, bağımlı değişkenlerin değerlerinin simülasyon zamanında herhangi bir noktada veya sadece belirli noktalarda elde olunma durumuna bağlı olarak zaman içinde kesintili ya da sürekli olabilir.

3.2.4.6. Simülasyonun Avantaj ve Dezavantajları

Simülasyon Modelinin Avantajları (Öztürk, 2004).

- Simulasyon modeli üzerinde daha sonra yapılacak analiz için veri, çoğu zaman gerçek hayatta olduğundan daha güvenli ve daha hesaplı olabilir.
- Bir ürünü veya sistemi kurmadan önce test edebilme olanağı sağlar.
- Beklenmeyen sorunları bulmak için kullanabilir.
- 'Ya eğer...' sorularını gündeme getirir.
- Uzun veya kısa zaman dilimlerindeki değişiklikleri görmek için işleri hızlandırabilir veya yavaşlatabilir.

Simülasyon Modelinin Dezavantajları (Öztürk, 2004).

- Simülasyon modelle sırasında hatalar yapılabilir
- Bir simülasyon modeli kurmak ve geçerli olduğunu ispatlamanın maliyeti yüksek olabilir.
- Birkaç farklı simülasyon çalıştırmanın maliyeti yüksek olabilir.
- Sonuçları anlamlandırmak için zamana ihtiyaç olabilir.
- Araştırmacılar simulasyon tekniğini öğrendikten sonra simülasyonu analitik yöntemlerin daha uygun olduğu durumlarda da kullanma eğilimi gösterebilir.

3.2.5. Simülasyon Çıktıları Analizi**3.2.5.1. Simülasyonun Uzunluğu**

Simülasyon uzunluğu, performans kriterlerinin hesaplanabilmesi için simülasyon modelinin çalıştığı süredir. Simülasyon uzunluğu ile replikasyon sayısı arasında ödünleşme olduğu için çalışmada replikasyon sayısının yeterliliği test edilmiştir (Tsiantos ve ark.).

3.2.5.2. Isınma Periyodu

Isınma periyodu, sistemin durağan duruma ulaşana kadar geçen zaman olup ısınma periyodunun hesaplanmasında ‘Welch Grafik Yöntemi’ kullanılmış ve yönteminin adımları aşağıda sıralanmıştır (Law ve Kelton, 1991) :

-Simülasyon uzunluğu ‘m’ olan ‘n’ replikasyon çalıştırılır. m, yeterince büyük ve $n > 5$ olmalıdır.

- Y_{ji} : j. replikasyondaki i. gözlem($j = 1, 2, \dots, n$; $i = 1, 2, \dots, m$) için her bir replikasyonda oluşan gözlemlerin ortalamaları (Y_{ji}) hesaplanır.

Daha sonra replikasyon ortalamaları ($\bar{Y}_i$) ;

$$\bar{Y}_i = \sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.7)$$

formülü ile hesaplanır.

- Replikasyon ortalamaları bulunduktan sonra, bunun hareketli ortalamaları $\bar{Y}_i(w)$ bulunur. w değerleri ağırlık değerleridir. Ağırlık değerleri $w \leq [m/4]$ olarak veya $w \leq [m/2]$ olarak hareketli ortalamaları hesaplanır (Mahajan ve Ingalls, 2004; Law ve Kelton, 1991).

$$\bar{Y}_i(w) = \frac{\sum_{s=-w}^w \bar{Y}_{i+s}}{2w+1}, \quad i = w+1, w+2, \dots, m-w \quad (3.8)$$

$$\bar{Y}_i(w) = \frac{\sum_{s=-(i-1)}^{i-1} \bar{Y}_{i+s}}{2i-1}, \quad i = 1, 2, \dots, w \quad (3.9)$$

- Hesaplamalardan elde edilen değerler grafikte yerine konarak sistemin durağan duruma ulaşma zamanı anlaşılır. Durağanlaşmanın başladığı nokta, ısınma periyodu olarak kabul edilir.

3.2.5.3. Replikasyon Sayısı Belirlenmesi

Çalışmada replikasyon sayısını belirlemek için ‘Sabit Örneklem Büyüklüğü Yöntemi’ yanı sıra ‘Bağıl Hata (γ) Formülü’ kullanılmıştır (Law ve Kelton, 1991):

$$n^*_r(\gamma) = \min \left\{ i \geq n: \frac{t_{t-1,1-\alpha/2}\sqrt{S^2(n)/i}}{|\bar{X}(n)|} \leq \gamma' \right\} \quad (3.10)$$

Burada $\gamma' = \frac{\gamma}{(1+\gamma)}$ düzeltilmiş bağıl hatadır.

Yukarıdaki formülde;

n : Başlangıçta yapılan replikasyon sayısı,

i : Gerekli replikasyon sayısı,

$\bar{X}(n)$: Başlangıçta yapılan n replikasyonun ortalaması,

$S(n)$: Başlangıçta yapılan n replikasyonun standart sapması,

α : Önem düzeyi

γ : Bağıl hata değerlerini gösterir.

Replikasyon sayısının belirlenmesi için başlangıçta en az 10 replikasyon yapılmalıdır (Chung, 2004).

Daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için hem önem düzeyi (α) değerinin hem de bağıl hata (γ) değerinin %1-%5 arasında olması tercih edilir (Law ve Kelton, 1991).

$i = n$ için değerleri yukarıdaki formülde yerine koyulduğunda bulunan değer γ değeri küçüğü veya eşit ise başlangıç replikasyon sayısı yeterlidir. Aksi halde i değeri artırılarak formülde yeni değerler hesaplanır, böylece gerekli replikasyon sayısı bulunmuş olur.

3.2.5.4. Standart Hata

Standart hata, bir popülasyondan seçilen örneklemelerin popülasyonu ne kadar iyi temsil ettiğini gösterir. Örneklem ortalamalarının standart sapması, ortalamanın standart hatası olarak bilinir. Standart hata; örneklem standart sapmasının örneklem sayısının kareköküne bölünmesi $\sigma_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$ ile hesaplanır.

Standart hatanın küçük olması çoğu örneklem ortalamalarının popülasyon ortalamaları ile aynı olduğunu ve seçilen örneklem popülasyonu doğru temsil ettiğini gösterir (Field, 2005). Çalışmamızda replikasyon sayısının güvenilirliğini ölçülmek için standart hata hesaplanmıştır.

3.2.5.5. Simülasyon Modelinin Doğruluğu ve Geçerliliği

Simülasyon modeli geliştirildikten sonra, modelin çalışıp çalışmadığı sorusuna doğruluk ve geçerlilik araştırması yapılarak cevap verilir. Doğruluk, bilgisayar programının beklenildiği ve amaçlandığı gibi çalışması, geçerlilik ise modelin gerçek sistemi doğru bir şekilde temsil edip-etmediğinin ölçülmesidir.

Çalışmamızda simülasyon modelinin doğruluğu, kurulan modelde her bir alt modellerinin doğru olup olmadığının adım adım test edilmesi ile sağlanmıştır. Alt modellerin doğru olarak çalıştığı belirlenmiş, akabinde tüm modelin doğruluğu kontrol edilmiştir.

Simülasyon modelinin geçerliliği, hasta veri tabanından çekilen talep verilerinin ortalamasına yönelik güvenlik aralığı hesaplanarak test edilmiştir. Güvenlik aralığının hesaplanmasında çift taraflı test formülü kullanılmıştır;

$$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.11)$$

$\bar{x}$ örneklem ortalamasını ve s örneklem standart sapmasını ifade etmektedir. n örneklem büyüklüğünü $t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$, $n - 1$ serbestlik düzeyi ile t-tablosu değerini ifade etmektedir.

3.2.6. Regresyon Analizi

Regresyon analizi istatistiğin en önemli konularından biri olup fen bilimleri, sosyal bilimler, sağlık bilimleri alanında yürütülen araştırmalarda sıkça kullanılmış, kullanılmaya da devam etmektedir. Regresyon analizi temel olarak gözlenen bir olayı değerlendirirken hangi süreçlerden etkilendiği ortaya koyar. Bu olaylar bir veya birden çok süreçten direkt ya da dolaylı olarak etkilenebilir. Regresyon analizinde gözlenen ve etkilenen süreçler yani bir fonksiyon yardımıyla ifadesi edilir. Bunun için kurulan modele de regresyon modeli denir (<http://analiz.ibsyazilim.com/egitim/regresyon.html>).

Regresyon analizi yapılacak matematiksel model bir bağımlı değişken, bir veya birden çok bağımsız değişkenden oluşmaktadır. Bağımsız değişkenler, bir değişkenli ise basit doğrusal regresyon, birden fazla değişkenli ise çoklu regresyon modeli olarak tanımlanır.

Basit Doğrusal Regresyon Modeli: $Y = a + bc + e_i$

Çoklu Regresyon Modeli: $Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + \dots + e_i$

Y : Bağımlı değişken

$X_1, X_2, X_3, \dots$: Bağımsız değişkenler

$a, b, c, d, \dots$: Katsayılar

e_i : Hata terimi

Regresyon modelleri, kurulan matematiksel modellerde amaç fonksiyon ve/veya kısıtlayıcı denklemler şeklinde kullanılır. r.

3.2.7. Matematiksel Modelleme

Optimizasyon ya da matematiksel modelleme; izin verilen bir set içerisinde reel ya da tamsayılı değişkenlerin değerlerinin sistematik bir biçimde seçilmesiyle reel bir fonksiyonu minimize ya da maksimize etmek için araştırılan problemleri çözmeye çalışır. Başlıca alt alanları:

- Doğrusal programlama,
- Tamsayılı doğrusal programlama,
- Dinamik programlama,
- Quadratik programlama,
- Doğrusal olmayan programlama,
- Konveks programlama ve
- Stokastik programlama olarak sıralanabilir (<http://tr.wikipedia.org>).

Tez çalışmamızda tamsayılı doğrusal programlama kullanılmıştır (Taha, 2000).

3.2.8. Çalışmada Geliştirilen Yaklaşım

3.2.8.1. Simülasyon Modeli

Değişkenlerin kan bağışçı gelişleri ve kan taleplerinin dağılım parametreleri için Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov testleri kullanılmıştır. Kan Merkezi'nin tüm süreçleri simülasyonda oluşturulmuştur.

Simülasyon modelinin doğruluğu her bir alt modelin (kan ürünlerinin sipariş miktarının arttırılmasıyla imha edilen ürün sayısının artması gibi) tek tek kontrol edilmesi ile test edilmiştir. Simülasyon modelinin geçerliliği ise kullanılan kan ürün miktarı mutlak fark, bağıl hata ve uygunluk yüzdeleri hesaplanarak gösterilmiştir.

3.2.8.2. Deney Tasarımı

Kan Merkezi'ndeki her birimde çalışan personel sayısına bağlı olarak personel doluluk ve haftalık Kızılay sipariş miktarlarına bağlı olarak imha sayısı, maksimum ve minimum stok çıktı değerlerinin matematiksel fonksiyonları Design Expert ile oluşturulmuştur. Personel sayılarına bağlı personel doluluk oranları ve her kan grubu için eritrosit haftalık Kızılay sipariş miktarları girdi parametrelerine bağlı imha sayısı, maksimum ve minimum stok çıktı faktörlerinin matematiksel formülleri Design Expert yazılımında User Define ile simülasyonda çalıştırılarak elde edilmiştir. Oluşturulan deney tasarımları, sırasıyla simülasyon modeline girilmiş ve deney sonuçları elde edilmiştir.

3.2.8.3. Regresyon Analizi

Fonksiyonel ilişkinin belirlenmesi amacıyla kurulmuş olan simülasyon modeli mevcut durumda her bir birimde çalışmakta olan personel sayısından 3 ya da 4 fazla olacak şekilde artırılarak simülasyon modeli çalıştırılmıştır. Simülasyondan elde edilen deney tasarım sonuçları SPSS programında girilerek, regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizi sonucu çıktılarından formüller oluşturulmuştur.

3.2.8.4. Matematiksel Modelleme

Regresyon analizi ile oluşturulan formüller, personel optimizasyonu ve haftalık Kızılay sipariş optimizasyonu matematiksel modellerine dahil edilmiştir.

3.2.8.4.(1). Personel Optimizasyonu

Regresyon modelinden elde edilen fonksiyonlar ($f(z_{ij})$) matematiksel modele eklenmiş ve personel optimizasyon modeli aşağıda verilmiştir.

Notasyonlar

z_{ij} j. birimde i. tür personel sayısı

c_{ij} j. birimde çalışan i. tür personelin aylık maaşı

m Birim sayısı

n Personel sayısı

$f(z_{ij})$ Simülasyon modelinden elde edilen j. birimde i. tür personelin doluluk fonksiyonu

MPS_{ij} j. birimdeki i. tür personel sayısının minimum değeri

PDF_{ij} Birimler arası personel maksimum doluluk farkı

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Minimum Maliyet (Toplam Personel Maliyeti)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} * z_{ij} \quad (3.12)$$

Kısıtlar

$$z_{ij} \geq MPS_{ij} \quad \forall i, j \quad (3.13)$$

$$|f(z_{ij}) - f(z_{ij-1})| \leq PDF_{ij} \quad \forall i, j \quad (3.14)$$

$$z_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (3.15)$$

$$z_{ij} \text{ integer} \quad \forall i, j \quad (3.16)$$

Yukardaki matematiksel modelde değişken x_{ij} her bir birimdeki personel sayısını göstermektedir. Personel optimizasyonunda amaç fonksiyonu çalışan personelin Kan Merkezi'ne olan maliyeti olarak (maaş) alınmıştır (3.12).

Kan Merkezi'nde her birimde belli bir sayıda personel bulunması gerektiği kısıtı denklem 3.13 ile sağlanmıştır. Her birimdeki personellerin kendi aralarında (birimlerdeki hemşireler kendi aralarında, biyologlar kendi aralarında) personel maksimum doluluk oranını geçmeme kısıtı denklem 3.14'de verilmiştir.

Deney tasarımı ve regresyon analizi sonucu elde edilen fonksiyonlar (f_{ij}) olarak kısıtta yerine konmuştur.

Matematiksel modelde değişkenler (personel sayısının) sıfırdan büyük ve tamsayı olmalıdır (3.15, 3.16).

3.2.8.4.(2). Haftalık Kızılay Sipariş Miktarı Optimizasyonu

Her kan grubundan haftalık Kızılay sipariş verme miktarı regresyon modelinden elde edilen fonksiyonlar ($y(x_{ij})$, $q(x_{ij})$ ve $p(x_{ij})$) matematiksel modele eklenerek personel optimizasyon modeli aşağıda verilmiştir.

Notasyonlar

- x_{ij} i. kan grubundan j. kan ürününün haftalık Kızılay'dan sipariş verilen miktar
 $y(x_{ij})$ Simülasyon modelinden elde edilen Kızılay'dan alınan haftalık sipariş miktarına göre (x_{ij}) i. kan grubundan j. kan ürününün imha miktarı (yıllık miktar)
 C_j j. kan ürününün bozulma maliyeti (TL/torba)
 T_j j. kan ürününden Kızılay'dan birim (torba) satın alma maliyeti (TL/torba)
 B_j j. kan ürününü imha etme maliyeti (TL/torba)
 $q(x_{ij})$ Simülasyon modelinden elde edilen i. kan grubundan j. kan ürününün minimum stok miktarı
 $p(x_{ij})$ Simülasyon modelinden elde edilen i. kan grubundan j. kan ürününün maksimum stok miktarı
 M_{ij} i. kan grubundan j. kan ürününün minimum stok seviyesi

KK_{ij} i. kan grubundan j. kan ürününün Kızılay kotası

K_{ij} i. kan grubundan j. kan ürününün depo kapasitesi

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Minimum Maliyet} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m 52 * T_j * x_{ij} + (C_j + B_j) * y(x_{ij}) \quad (3.17)$$

Kısıtlar

$$p(x_{ij}) \leq K_{ij} \quad \forall i, j \quad (3.18)$$

$$q(x_{ij}) \geq M_{ij} \quad \forall i, j \quad (3.19)$$

$$x_{ij} \leq KK_{ij} \quad \forall i, j \quad (3.20)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (3.21)$$

Simülasyona dayalı matematiksel modelleme yaklaşımıyla Kızılay'dan en uygun parti sipariş miktarı optimizasyon modeli oluşturulmuştur.

Haftalık Kızılay'dan sipariş verilen miktar maliyeti ve mevcut stok sipariş seviyesinde imha edilecek kan ürün miktarından dolayı ortaya çıkacak bozulma ve imha maliyeti 3.17'de amaç fonksiyonunda verilmiştir. T_j , C_j ve B_j maliyeti kan grubuna göre değişmemektedir. Bozulan kan ürününün üretim kaybindan vb. (soğuk hava koşullarından, işleme, çalışanlardan, enerji vb.) kaynaklı oluşan maliyettir. Berteraf maliyeti ise bozulan kan ürünün imha maliyetidir.

Kan ürünleri özel bozulabilecek bir ürün olduğu için hastaneler kanları özel geniş soğuk hava depolarında saklamaktadır. Bu soğuk hava depolarının işletilmesi maliyetli olup, sağlık kuruluşlarında sınırlı kapasiteye sahiptir. Dolayısıyla herhangi

bir sağlık kuruluşunun kan ürünleri ile ilgili uygulayacağı stok politikasının oluşturabileceği maksimum stok seviyesi p_{ij} soğuk hava deposu kapasitesini aşmamalıdır. Bu durum denklem 3.18’de verilmiştir.

Birçok hastane minimum seviyede stok seviyesini tercih eder. Genellikle sağlık kuruluşları her kan ürünü ve kan grubu için bir emniyet stoğu bulundururlar. Bu durum denklem 3.19’da verilmiştir.

Bir sağlık kuruluşunun ihtiyaç duyabileceği kan ürünü miktarı sınırsız gibi görünse de aslında uzun dönemde belli bir stok be işleme kapasitesi vardır. Dolayısıyla herhangi bir noktadaki veya bölgedeki Kızılay ya da Kan Merkezi belli bir kan ürününden talep edeceği miktar, o kurumun stok ve r kapasitesini aşmamalıdır. Bu durum denklem 3.20’de verilmiştir.

Denklem 3.21, modeldeki karar değişkeni; kan ürününün haftalık Kızılay’dan sipariş verilen miktarının negatif olmama kısıtıdır.

4. BULGULAR

4.1. İstatistiksel Analiz

Olasılık Dağılımlarının Seçimi:

N hastanesi Kan Merkezi'ne kayıtlı 3 yıllık bağışçı - hasta giriş ve çıkışlarına ait bilgiler hastane bilgi işlem veri tabanından elde edilmiştir.

Elde edilen verilerin dağılımı Statistica ve EasyFit kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara Ki-Kare veya Kolmogorov-Smirnov testleri uygulanmış ve en uygun olasılık dağılımı belirlenmiştir.

- **Bağışçı, Takasçı ve Hastaya Kan gelişlerini olasılık dağılımı seçimi**

Elde edilen data setinden bir yıllık hasta verileri dökümanite edilerek Ki-Kare veya Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri uygulanmış, istatistiksel olarak %95 güven aralığında üstel dağılımına uyduğu sonucuna varılmıştır. Çizelge 4.1-4.5'de her türlü kan bağışçı gelişlerine ait olasılık dağılımları ve dağılım parametreleri sunulmuştur. Tabloda gösterildiği gibi p değerine göre dağılımlar seçilmiştir.

Çizelge 4.1. Bağışçı Gelişi Olasılık Dağılımı

Dağılım (kan/dakika)	P değeri
<i>Exponential(404)*</i>	0.34

Çizelge 4.2. Takasçı Gelişi Olasılık Dağılımı

Dağılım (kan/dakika)	P değeri
<i>Exponential</i> (43.5)	0.182

Çizelge 4.3. Hastaya Kan Gelişi Olasılık Dağılımı

Dağılım (kan/dakika)	P değeri
<i>Exponential</i> (93.7)	0.141

Çizelge 4.4. Aferez Bağış Kan Gelişi Olasılık Dağılımı

Dağılım (kan/dakika)	P değeri
<i>Exponential</i> (2.52e + 004)	0.155

Çizelge 4.5. Aferez Hastaya Kan Gelişi Olasılık Dağılımı

Dağılım (kan/dakika)	P değeri
<i>(Exponential</i> (2.52e + 004)	0.428

- Kan Ürünleri Talep gelişlerini olasılık dağılımı seçimi**

Kan ürünleri talep gelişlerine ait olasılık dağılımı, bir yıllık hasta datasına Ki-Kare veya Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri ile hesaplanmış, elde edilen sonuçların %95 güven aralığında üstel dağılımına uyduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.6 – 4.8’de kan ürünleri talep gelişlerine ait olasılık dağılımları ve dağılım parametreleri yer almaktadır.

Çizelge 4.6. Eritrosit Talep Gelişi Olasılık Dağılımı

Dağılım (kan/dakika)	P değeri
<i>Exponential</i> (21.1)	0.209

Çizelge 4.7. Plazma Talep Gelişi Olasılık Dağılımı

Dağılım (kan/dakika)	P değeri
<i>Exponential</i> (30.9)	0.132

Çizelge 4.8. Aferez Talep Gelişi Olasılık Dağılımı

Dağılım (kan/dakika)	P değeri
<i>Exponential</i> (13.1)	0.186

4.2. Simülasyon Modelleme

Kan Merkezi süreçleri ve yapısı gereği karmaşık bir sistemdir. Sistemde birçok farklı kan ve bileşenlerine ait giriş ve çıkışı bulunmaktadır. Ayrıca sistemdeki her bir ürünün kendine özel raf ömrü vardır. Bu tablo araştırmalarda genelleştirilmiş analitik çözümlerin kullanılmasını zorlaştırdığı için çalışmamızda simülasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Simülasyon yaklaşımı kullanımının bir diğer gerekçesi ise gerek gönüllü gerekse hasta adına yapılan kan bağışları ve kan takasının stokastik bir değişim göstermesidir.

Simülasyonda kan/kan ürünlerinin stok seviyeleri, imhası, talepleri ve karşılanma miktarları performans kriterleri olarak belirlenmiştir.

Bu simülasyon modellerinin kurulabilmesi için öncelikle kan gelişlerine ait istatistiksel analiz yapılmıştır. Simülasyon modelinde girdi olarak alınan tüm verilerin olasılık dağılımları Çizelge 4.1 - 4.8’de verilmiştir.

4.2.1. Performans Kriterlerinin Belirlenmesi

Toplam imha maliyetinin minimizasyonunu amaçlayan bu çalışmada performans kriterleri olarak kan ürünlerinin bozulma miktarının kullanılan yıllık kan ürünleri miktarına oranı performans kriteri olarak alınmıştır.

$$Y_1 = \frac{\text{Bozulan Eritrosit Miktarı}}{\text{Yıllık Kullanılan Eritrosit Miktarı}} \quad (4.1)$$

$$Y_2 = \frac{\text{Bozulan Plazma Miktarı}}{\text{Yıllık Kullanılan Plazma Miktarı}} \quad (4.2)$$

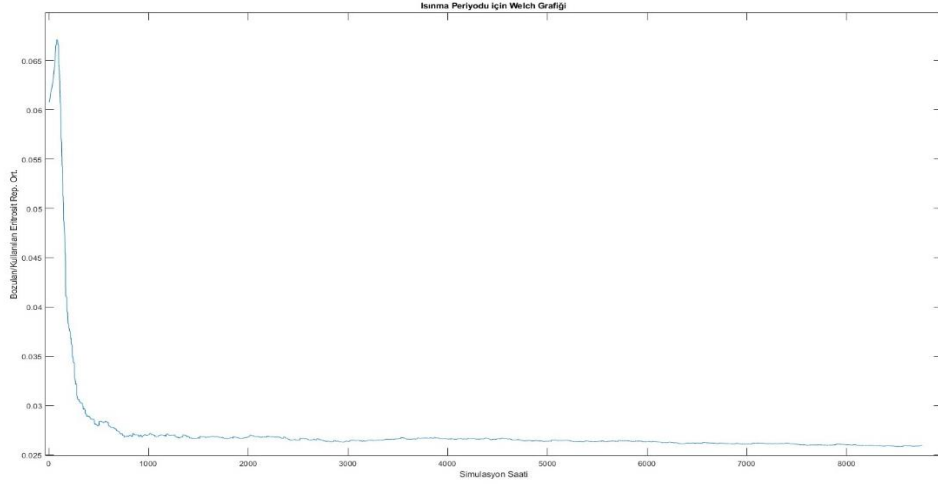
$$Y_3 = \frac{\text{Bozulan Trombosit Miktarı}}{\text{Yıllık Kullanılan Trombosit Miktarı}} \quad (4.3)$$

4.2.2. Simülasyon Çıktılarının Analizi

Kurulan bir simülasyon modeline ait sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için öncelikle simülasyon çıktılarının analiz edilmesi gerekir. .

- **Simülasyon Uzunluğu:** Bilinen istatistiksel programlarla kan bağış, takas, hastaya kan ve kan ürünlerinin talep gelişleri olasılık dağılımları simülasyon modellerine yansıtılmıştır. Hastane kayıtlarında veriler yıllık bazda incelenmektedir. Bu nedenle, ilk simülasyon modelinde simülasyon uzunluğu 365 gün alınarak sistemi en iyi şekilde temsil edeceği düşünülmüştür.

- **Isınma Periyodu:** Sistemin durağan duruma ulaşmasında bir diğer ölçüt ısınma süresinin yeterliliğidir. Isınma periyodunun hesaplanmasında ‘Welch Grafik Yöntemi’ kullanılmıştır. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sistemin durağan duruma ulaşması için ısınma periyodunun 800. saat yani 33. gün alınması yeterlidir.



Şekil 4.1. Isınma Periyodu

Isınma periyodunu büyük seçmek küçük seçmekten daha iyidir (Law ve Kelton, 1991).

- **Replikasyon Sayısının Belirlenmesi:** Tsiantos ve ark. yaptıkları çalışmada simülasyon uzunluğu ile replikasyon sayısı arasında ödünleşim olduğu belirtilmişlerdir. Bu görüşten hareketle replikasyon sayısının yeterliliği test edilmiştir. Replikasyon sayısının belirlenmesi için başlangıçta en az 10 replikasyon yapılmalıdır (Chung, 2004) ki çalışmamızda başlangıçta 30 replikasyon yapılmış ve performans kriteri olarak $\frac{\text{Bozulan Eritrosit Miktarı}}{\text{Yıllık Kullanılan Eritrosit Miktarı}}$ ele alınmıştır. Replikasyon sayısının belirlenmesi için ‘Sabit Örneklem Büyüklüğü Yöntemi’ ve ‘Bağıl Hata (γ) Formülü’ kullanılmıştır. Daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için hem önem düzeyi (α) değerinin hem de bağıl hata (γ) değerinin %1- %5 arasında olması tercih edilmelidir (Law ve Kelton, 1991). Düzeltilmiş bağıl hata değeri değeri (γ') 0.025 ve önem düzeyi değeri (α) 0.01 alınarak her bir düzey için gerekli replikasyon sayıları hesaplanmıştır. Çizelge 4.9’da görüldüğü gibi sistemin durağan duruma ulaşması için 90 replikasyonun yeterli olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.9. Replikasyon Sayısı

Replikasyon No	
1	0,02164
2	0,02369
3	0,02644
4	0,02239
5	0,02686
6	0,02686
7	0,02985
8	0,02724
9	0,02470
10	0,03234
11	0,02583
12	0,02431
13	0,02431
14	0,02890
15	0,02653
16	0,02607

17	0,03009
18	0,02878
19	0,03235
20	0,02627
21	0,02495
22	0,02747
23	0,03681
24	0,03168
25	0,02547
26	0,02844
27	0,02843
28	0,02659
29	0,02468
30	0,02805
Ortalama	0,02733
Standart Sapma	0,00332
Gerekli Replikasyon Sayısı	90

- **Standart Hata:** bir popülasyonda seçilen örneklemelerin popülasyonu ne kadar iyi temsil ettiğini gösterir. Simülasyon modelinde 90 replikasyon için $\frac{\text{Bozulan Eritrosit Miktarı}}{\text{Yıllık Kullanılan Eritrosit Miktarı}}$ standart hatası Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Ortalama değer hesaplanmış ve her değer için ortalama değerden sapmaları bulunmuştur (σ). Sapmalar replikasyon sayısının kare köküne bölünerek standart sapma hesaplanmıştır

Çizelge 4.10. Standart Hata

Standart Hata	$\frac{\text{Bozulan Eritrosit Miktarı}}{\text{Yıllık Kullanılan Eritrosit Miktarı}}$
$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{x}}$	0,000349

- **Güven Aralığı:** Çalışmada ele alınan yıllık kullanılan eritrosit miktarı 14828'dir.

$$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (4.4)$$

$\bar{x}$ ve S değerleri sırasıyla ortalama ve standart sapma değerleridir. n örneklem büyüklüğü ve $t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}, n-1$ serbestlik derecesi düzeyi ile t-tablo değerini ifade etmektedir. Simülasyon modelinin çalıştırılması sonucu elde edilen eritrosit kullanım miktarı ortalama $\bar{x} = 13930,96$ ve $S = 65,46$ olarak bulunmuştur. $\alpha = 0,05$ için $t_{0,025,90} = 1,987$. Güven aralığının alt ve üst sınırı sırası ile 13917,23 ve 13944,69 olarak elde edilmiştir. $13917,23 \leq 13930,96 \leq 13944,69$ olduğu için model geçerlidir.

4.3. Simülasyon Geçerliliği

Simülasyon geçerliliğini elde edebilmek için gerçek verilerden ortalama eritrosit, aferez trombosit, plazma tüketim oranları kullanılmıştır. Aşağıdaki tabloda, bu parametrelere ait olan hem gerçek veri değerleri hem de simülasyon çıktı değerleri, mutlak fark, bağıl hata ve uygunluk yüzdeleri yer almaktadır. Bu üç parametre için uygunluk yüzdeleri %89-%98 aralığında elde edilmiştir. Bu sonuçlar, simülasyon modelinin gerçek verilerle uyumlu olduğu kabul edilmiştir (Çizelge 4.11)

$$\epsilon_{Mutlak Hata} = |Y_{gerçek\ değer} - Y_{gözlemlenen\ değer}| \quad (4.5)$$

$$\epsilon_{Bağıl Hata} = \frac{|Y_{gerçek\ değer} - Y_{gözlemlenen\ değer}|}{Y_{gerçek\ değer}} \times 100 \quad (4.6)$$

$$Uygunluk\ Yüzdesi = 100 - Bağıl\ Hata \quad (4.7)$$

Çizelge 4.11. Simülasyon Geçerliliği

	Gerçek Değer	Simülasyon Çıktı Değeri	Mutlak Hata	Bağıl Hata	Uygunluk Yüzdesi
Yıllık Toplam Tüketilen Ortalama Eritrosit Miktarı	69,30 ünite/yıl	61,84 ünite/yıl	7,46	10,75	89,25
Yıllık Toplam Tüketilen Ortalama Plazma Miktarı	45,43 ünite/yıl	46,55 ünite/yıl	1,12	2,46	97,54
Yıllık Toplam Tüketilen Ortalama Aferez Trombosit Miktarı	13,47 ünite/yıl	12,45 ünite/yıl	1,02	7,57	92,42

4.4. Mevcut Personel Kullanım Oranı

Kan Merkezi; Danışma, Donör Hazırlama Birimi (DHB), Kan Alma Birimi, İmmüno Hematoloji Laboratuvarı (İHL), Tarama Test Laboratuvarı (TTL), Ürün Hazırlama Birimi (ÜHB) ve Aferez Birimi'nden oluşmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 4.12'de her birimdeki personel sayısı ve simülasyon modeli sonuçlarından elde edilen personel ortalama doluluk oranları verilmiştir.

Çizelge 4.12. Mevcut Durumda Personelin Ortalama Doluluk Oranı

	Personel Sayısı	Mevcut Durumda Personelin Ortalama Doluluk Oranı
Danışma	3	0,1020
Donör Hazırlama Birimi (DHB)	2	0,1159
Kan Alma Birimi	3	0,1019
İmmüno Hematoloji Laboratuvarı (İHL)	3	0,4052
Tarama Test Laboratuvarı (TTL)	2	0,3854
Ürün Hazırlama Birimi (ÜHB)	2	0,6757
Aferez Kan Alma Birimi	2	0,2879

4.5. Mevcut Makine Etkinlik Oranı

Kan Merkezi'ndeki her bir birimde bulunan makine- ekipman sayıları ve makinelerin ortalama doluluk oranları aşağıda Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Mevcut Durumda Makinenin Ortalama Doluluk Oranı

	Makine Sayısı	Mevcut Durumda Makinenin Ortalama Doluluk Oranı
Donör Hazırlama Birimi Kan Test Makinesi	1	0,0771
Kan Alma Birimi Sedye	5	0,0951
İmmüno Hematoloji Laboratuvarı Makinesi	2	0,8418
Cross-match Makinesi (İHL)	1	0,4488
Tarama Test Laboratuvarı Makinesi	2	1,15585
Ürün Hazırlama Birimi Makinesi	2	0,6756
Aferez Kan Alma Birimi	5	0,07806
Aferez Birimi Sedye	5	0,07806
Plazma Dondurma Makinesi	2	0,6698
Plazma Eritme Makinesi	2	0,32195

4.6. Deney Tasarımı

4.6.1. Personel Optimizasyonu için Deney Tasarımı

Personel sayıları için deney tasarımı geliştirilmiştir. Matematiksel formülasyon elde edebilmek için her bağımsız x_{ij} ; birimlerdeki personel sayıları için Danışmada 3-6, Donör Hazırlama Birimi (DHB) 3-6, İmmüno Hematoloji Laboratuvarı (İHL) 3-6, Tarama Test Laboratuvarı (TTL) 2-4, Kan Alma Birimi (KAB) 3-6, Ürün Hazırlama Birimi (ÜHB) 2-4 ve Aferez Kan Alma biriminde 2-4 arasında değiştiği varsayılarak simülasyon çıktı değişkenleri elde edilmiştir.

SPSS ile simülasyondan elde edilen değerler dikkate alınarak regresyon modeli oluşturulmuş ve fonksiyonel ilişkiler Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Fonksiyonların R^2 değerleri minimum 0.841 olup, kabul edilebilir güvenilir seviyededir. Bu fonksiyonel ilişkiler mevcut metodta anlatılan matematiksel modelin yerine konmuştur. Kurulan model çok sayıda değişken ve kısıt içerdiği için Lingo, Gams, Matlab gibi paket programları ile çözümü türetilebilir.

SPSS ile deney tasarımından elde edilen verilerle regresyon modeli oluşturulmuş ve bulunan doluluk denklemleri Çizelge 4.14’de verilmiştir. Elde edilen tüm denklem R^2 değerleri kabul edilebilir seviyededir.

Çizelge 4.14. Regresyon Sonuçları ve Denklemler

	R^2	Denklem
Danışma	0,959	$0,356 - 0,040 \times x_{11}$
Donör Hazırlama Birimi (DHB)	0,841	$0,119 - 0,02 \times x_{22}$
İmmüno Hematoloji Laboratuvarı (İHL)	0,958	$0,477 - 0,054 \times x_{34}$
Tarama Test Laboratuvarı (TTL)	0,965	$0,421 - 0,071 \times x_{35}$
Kan Alma Birimi (KAB)	0,956	$0,106 - 0,012 \times x_{23}$
Ürün Hazırlama Birimi (ÜHB)	0,964	$0,587 - 0,1 \times x_{36}$
Aferez Kan Alma Birimi	0,962	$0,419 - 0,071 \times x_{27}$

4.6.2. Haftalık Kızılay Sipariş Verme Miktarı

Matematiksel formülasyon elde edebilmek için her bağımsız x_{ij} ; her kan grubu için eritrosit sipariş miktarı minimum 10 maksimum 200 arasında değiştiği varsayılarak (Kan Merkezi’nde bu değerler alınmaktadır) ve sipariş miktarları rastgele 10’ar birim değiştirilerek, simülasyon çıktı değişkenleri elde edilmiştir.

SPSS ile simülasyondan elde edilen değerler dikkate alınarak regresyon modeli oluşturulmuş ve fonksiyonel ilişkiler Çizelge 4.15’de verilmiştir. Fonksiyonların R^2 değerleri minimum 0.830 olup, kabul edilebilir güvenilir seviyededir. Bu fonksiyonel ilişkiler mevcut metodta anlatılan matematiksel

modelin yerine konmuştur. Kurulan model çok sayıda değişken ve kısıt içerdiği için Lingo, Gams, Matlab gibi paket programları ile çözümü türetilebilir.

En çok A Rh⁺ ve O Rh⁺ kanlarına talep olmaktadır. En az talep edilen kanlar AB Rh⁻ ve B Rh⁻ kanlarıdır.



Çizelge 4.15. Regresyon Sonuçları ve Denklemler

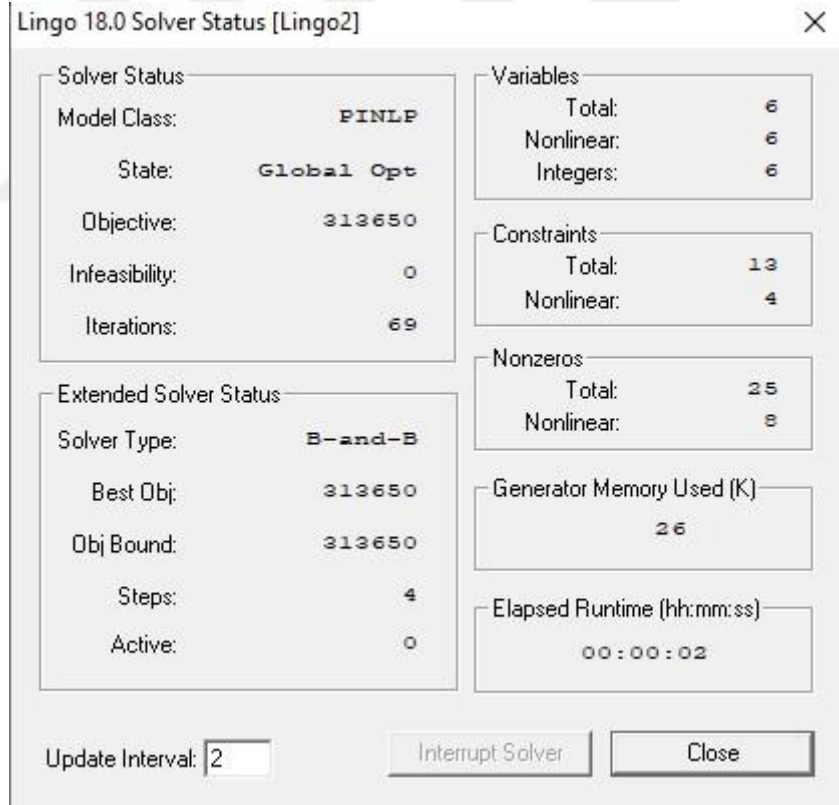
	R^2	Denklem
A Rh+ İmha	0,992	$37,769 + 2,076 * x_{11} - 0,008 * x_{11}^2$
A Rh - İmha	0,999	$-502,837 + 27,980 * x_{21} + 0,211 * x_{21}^2 - 0,001 * x_{21}^3$
B Rh+ İmha	0,996	$622,172 - 40,816 * x_{31} + 0,588 * x_{31}^2 - 0,001 * x_{31}^3$
B Rh- İmha	0,998	$-729,158 + 50,627 * x_{41}$
AB Rh+ İmha	0,998	$-112,379 - 6,117 * x_{51} + 0,496 * x_{51}^2 - 0,001 * x_{51}^3$
AB Rh- imha	0,830	$-701,037 + 50,659 * x_{61}$
0 Rh+ İmha	0,881	$-31,060 + 6,442 * x_{71} - 0,074 * x_{71}^2$
0 Rh- İmha	0,997	$-1089,016 + 49,407 * x_{81}$
A Rh+ Minimum Stok	0,920	$-17,605 + 1,506 * x_{11} - 0,026 * x_{11}^2$
A Rh+ Maksimum Stok	0,889	$-100,086 + 7,988 * x_{11} - 0,104 * x_{11}^2$
A Rh- Minimum Stok	0,999	$-76,200 + 4,824 * x_{21}$
A Rh- Maksimum Stok	0,999	$-92,941 + 10,569 * x_{21} - 0,033 * x_{21}^2$
B Rh+ Minimum Stok	0,988	$35,755 - 3,947 * x_{31} + 0,08 * x_{31}^2$
B Rh+ Maksimum Stok	0,974	$-39,999 - 0,747 * x_{31} + 0,112 * x_{31}^2$
B Rh- Minimum Stok	0,864	$-79,509 + 7,068 * x_{41} - 0,04 * x_{41}^2$
B Rh -Maksimum Stok	0,998	$7,537 + 6,941 * x_{41}$
AB Rh+ Minimum Stok	0,996	$-41,589 + 1,327 * x_{51} + 0,032 * x_{51}^2$
AB Rh+ Maksimum Stok	0,994	$-169,208 + 11,365 * x_{51} - 0,03 * x_{51}^2$
AB Rh- Minimum Stok	0,998	$-39,416 + 4,936 * x_{61}$
AB Rh- Maksimum Stok	0,999	$9,505 + 6,935 * x_{61}$
0 Rh+ Minimum Stok	0,865	$-56,863 + 3,883 * x_{71} - 0,060 * x_{71}^2$
0 Rh+ Maksimum Stok	0,977	$-182,075 + 14,014 * x_{71} - 0,206 * x_{71}^2 + 0,001 * x_{71}^3$
0 Rh- Minimum Stok	0,998	$-85,200 + 4,841 * x_{81}$
0 Rh- Maksimum Stok	0,994	$-12,884 + 7,151 * x_{81}$

4.7. Matematiksel Modelleme

Tez çalışması kapsamında, dikkate alınan kan ürünleri optimizasyonu çalışması bölgemizde bulunan bir hastanenin Kan Merkezi'nde uygulanmıştır. Uygulamada tez kapsamında haftalık Kızılay sipariş miktarı optimizasyonu ve personel optimizasyonu ayrı ayrı modellenmiştir.

4.7.1. Personel Optimizasyonu Matematiksel Modelleme

Metodda matematiksel model başlığı altında anlatılan model yerine uygulamadaki veriler konulmuştur. Personel sayılarının minimum ve maksimum sayı kısıtları, toplam biyolog, hemşire sayı kısıtı ve her birimdeki personel doluluk oran fark kısıtında maksimum fark 0.1 alınarak model çözülmüştür.



Şekil 4.2. Personel Optimizasyonu Lingo Çözümü

Çizelge 4.16’da matematiksel model çözümü verilmiştir. Amaç fonksiyon değeri 313650 olarak bulunmuştur. İndirgenmiş maliyet sütunu eğer o değişken modelde yok ise modele girdiği halde amaç fonksiyonu değerini kaç artacağını gösterir. Gerçek matematiksel modelde kısıtlara ilave edilen artık ya da aylak değişkenlerin en iyi çözümde aldıkları değerleri gösterir. Tabloya bakıldığında dual fiyat sütunun hep sıfır çıktığı görülmüştür. Bu da, sağ taraf sabitlerinde birim azalış veya artışın kısıtı ne kadar etkileyeceğini gösterir. Tabloda görüldüğü gibi dual fiyat sıfır olduğundan, modeldeki kısıtlarda bir birimlik azalış veya artış amaç fonksiyonu etkilememektedir.

DHB’de mevcut personel sayısına göre 4 kişi daha fazla, İHL’de 1 kişi fazla, TTL’de 1 kişi fazla ve Aferez’de 1 kişi fazla çalışması gerektiği bulunmuştur. Kan Alma’da ve ÜHB’de ise mevcut personel sayısı ile aynı sayıda kişi çalışması yeterli olacağı bulunmuştur.

Çizelge 4.16. Personel Sayısı Lingo Sonuçları

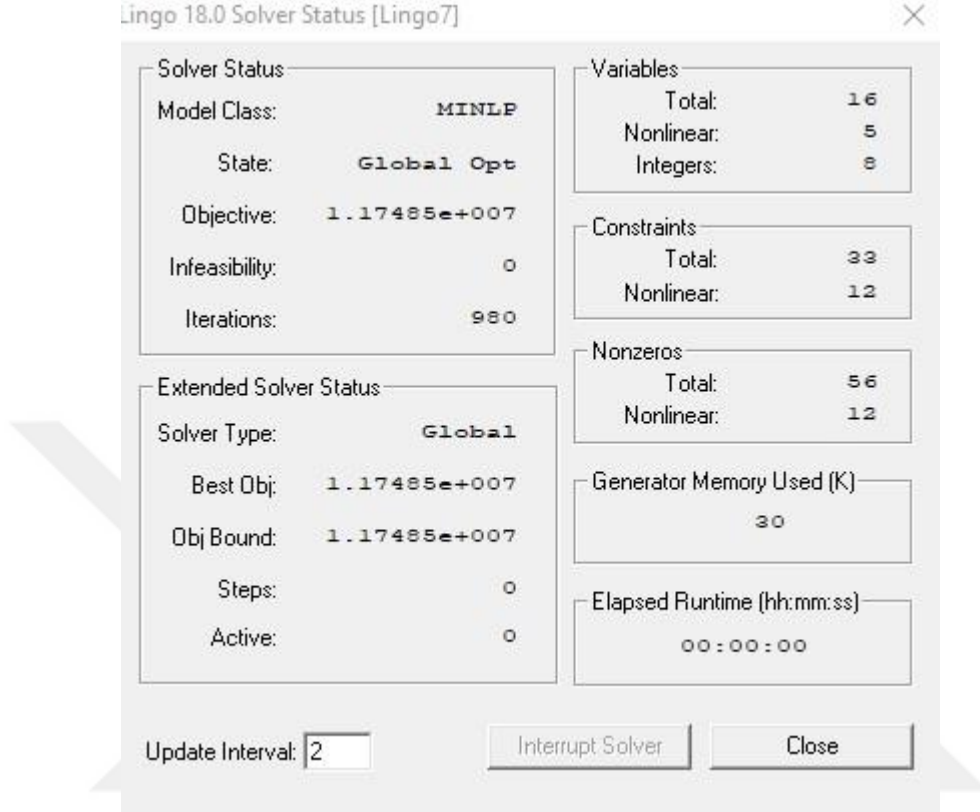
İterasyon Sayısı	69	
Amaç fonksiyon değeri	313650	
Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
X22 (DHB)	6	0
X23 (Kan Alma)	3	0
X27 (İHL)	4	15300
X34 (TTL)	3	0
X35 (ÜHB)	2	0
X36 (Aferez)	4	0
Satır	Artık ya da Aylak	Dual fiyat
1	313650	-1
2	4	0
3	0	0

4	2	0
5	0	-12750
6	0	-15300
7	0.2900000E-01	0
8	0.3500000E-01	0
9	0.6400000E-01	0
10	0.8000000E-02	0
11	1	0
12	0	0
13	2	0

4.7.2. Haftalık Kızılay Sipariş Miktarı Optimizasyonu Matematiksel Modelleme

Metodda matematiksel model başlığı altında anlatılan model yerine uygulamadaki veriler konulmuştur. İmha miktarları ve Kızılay sipariş verme maliyeti amaç fonksiyonuna alınmıştır. Minimum ve maksimum stok kısıtları, simülasyon çıktısından elde ettiğimiz imha sayılarına karşılık gelen regresyon analiz fonksiyon kısıtları ve Kızılay'ın kota kısıtı modele eklenmiştir. y_{ij} , imha maliyeti literatürden yaklaşık olarak 4000 TL alınmıştır (Hannon, 2015). Kızılay'dan kan sipariş maliyeti yaklaşık olarak 1000 TL olarak alınmıştır (Çiftçi, 2009).

Bu çalışmada, metod bölümünde koyduğumuz optimizasyon modelindeki amaç fonksiyonundaki sadece ilk iki (T_j, C_j) tezin uygulandığı sağlık kuruluşunda bilgileri mevcuttur. Berteraf etme bilgileri ise mevcut olmadığından 3.17'deki amaç fonksiyonunda bu maliyet dikkate alınmamıştır. Uygulamada 3.17'deki amaç fonksiyonu T_j, C_j maliyetleri yerine konulduğunda, kısıtlarda simülasyon ve regresyon fonksiyonları ve minimum stok, depo ve kıızılay kota değerleri yerine konulduğunda stok optimizasyon modeli elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Sipariş Miktarı Optimizasyonu Lingo Çözümü

Çizelge 4.17’de matematiksel model çözümü verilmiştir. Amaç fonksiyon değeri 11748540 olarak bulunmuştur. İndirgenmiş maliyet eğer o değişken modelde var ise modele alındığında kaç kat amaç fonksiyonunu kötü etkileyeceğini gösterir. Bu modelde örnek olarak x_{71} değişkeni modele alınmamıştır. Fakat bu değişkenin indirgenmiş maliyeti 62376 olduğu için eğer bu değişken modele alınırsa 62376 kat amaç fonksiyonunu etkileyecektir. Modelde dual fiyat tüm kısıtlar için sıfırdır ve modeldeki kısıtlarda bir birimlik azalış veya artış amaç fonksiyonu etkilememektedir.

Çizelge 4.17. Sipariş Miktarı Lingo Çıktısı

İterasyon Sayısı		980
Amaç Fonksiyon Değeri		11748540
Değişken	Değer	İndirgenmiş Maliyet
X11	23	58832
X21	17	189148
X31	46	192576
X41	15	254508
X51	24	115852
X61	14	306636
X71	26	62376
X81	23	249628
Y11	81	0
Y21	29	0
Y31	16	0
Y41	30	0
Y51	13	0
Y61	8	0
Y71	86	0
Y81	47	0
Satır	Artık ya da Aylak	Dual fiyat
1	11748540	-1
2	0	-4000
3	0	-4000
4	0	-4000
5	0	-4000
6	0	-4000
7	0	-4000
8	0	-4000
9	0	-4000
10	0.279	0
11	171.378	0
12	2.808	0
13	122.805	0
14	28.873	0
15	17.707	0
16	614.511	0
17	88.348	0
18	5.691	0
19	98.176	0
20	26.688	0
21	93.405	0
22	0.535	0
23	139.3910	0
24	23.143	0

25	48.41	0
26	177	0
27	183	0
28	154	0
29	185	0
30	176	0
31	186	0
32	174	0
33	177	0

Matematiksel Model Sonucunun ile Simülasyon Modeli ile Test Edilmesi

Lingo Sonucu ile simülasyon sonucu doğrulaması için 4.5-4.7 denklemlerinde verilen formüller ile bağıl hata ve uygunluk yüzdeleri hesaplanmıştır. Kan grupları için Çizelge 4.18’de verilmiştir. Uygunluk oranlarının yüksek olması sayesinde elde edilen imha değerlerinin ve haftalık Kızılay sipariş değerlerinin uygulamada kullanılabileceği söylenebilir.

Çizelge 4.18. Lingo Sonucu ile Simülasyon Sonucunun Doğrulanması

	Bağıl Hata	Uygunluk Yüzdesi
ARh+	%2.53	%97.47
ARh-	%14.70	%85.3
B Rh-	%25	%75
0 Rh+	%19.44	%80.55
0 Rh-	%11.90	%88.09

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Kan hayati önem taşıyan bir ürün olup toplanması, işlenmesi, bileşenlerine ayrılması ve ihtiyaç duyan insana nakli zor aşamalar içerir. Tüm dünyada konuyla ilgili ulusal kan politikaları geliştirilmiş, geliştirilmeye de devam edilmektedir. Kan toplama konusu pek çok problem barındırmaktadır. Kızılay'dan kan gelişleri, kanların bozulma oranları ve maliyetleri, kritik hastaların acil kan bekliyor olması, Kan Merkez'lerine rastgele gelen kan miktarları, son 2-3 yıldan bu yana tüm dünyayı dize getiren salgınlar ve buna bağlı yaşanan olağandışı durumlar nedeniyle bağışçı sayılarının azalması bunlardan bir kaçısı olarak sıralanabilir.

Problemin yapısı gereği kan bağışçısı, takascı ve hasta adına kan gelişinin ve talebin rassal olması insan hayatı için oldukça önem arz etmektedir. Donörün ne zaman geleceği, sahip olduğu kan grubu, yeterli miktar ve nakledilecek özellikte kan verip veremeyeceğinin öngörülememesi stok optimizasyon problemini zor bir stok problemi haline getirmektedir.

Hastanedeki her bir kan grubuna ait talebin rassal olması, tedarik politikasını yine rassal hale getirmektedir.

Kızılay'dan gelen haftalık sipariş miktarları çok gelirse bozulma maliyetine az olursa stok kesme maliyetine ve kırıktaki hastaların kan ihtiyaçlarının karşılanmamasına neden olur. Kan Merkezi'nin ihtiyaç duyduğu kadar kan ve/veya kan ürünlerine ait uzun süreli sevkiyat politikasının ayarlanması önemlidir.

Rassal Tez kapsamında dikkate aldığımız kan ürünü stok probleminin yapısında çok sayıda (kan bağışı, üretim ve saklama kaynaklı kayıplar, kan/kan ürünlerinin bozulmaları vb.) stokastik parametre barındırması sebebiyle probleme analitik çözüm bulmak son derece zordur. Bu sebeple tez kapsamında simülasyona dayalı matematiksel programlama yöntemi kullanılarak Kızılay sipariş miktarı optimizasyonu Kızılay'dan alınan kan ürünleri sipariş miktarları yanı sıra Kan Merkezi'ndeki her bir birimde çalışacak danışman, kayıt görevlisi hemşire, biyolog

ve personel sayıları optimize edilmiştir. Personel sayılarının minimum ve maksimum sayı kısıtları, toplam biyolog, hemşire sayı kısıtı ve her birimdeki personel doluluk oran farkı kısıtında maksimum fark 0.1 alınarak model çözülmüştür. Sonuç olarak donör hazırlama biriminde 6, kan alma biriminde 3, İHL’de 4, TTL’de 3, ÜHB’de 2 ve Aferez biriminde 4 kişi çalışması gerektiği bulunmuştur. İmha miktarları ve Kızılay sipariş verme maliyeti amaç fonksiyonuna alınmıştır. Minimum ve maksimum stok kısıtları, simülasyon çıktısından elde ettiğimiz imha sayılarına karşılık gelen regresyon analiz fonksiyon kısıtları ve Kızılay’ın kota kısıtları altında her bir kan grubundaki kan ürününe bağlı matematiksel model kurulmuş bilgisayar paket programları kullanılarak optimum seviyeleri belirlenmiştir. Kurulan modeller bölgemizde bulunan büyük bir hastanede gerçek veriler elde edilerek uygulanmış ve elde edilen veriler bulgular kısmında sunulmuştur.

5.2. Öneriler

Bizim modelimizde sipariş döngüleri sabittir. Zaman periyodu değiştirebilir ya da mevsimsellik özelliklerin dikkate alındığı politikalar belirlenebilir.

Çalışmaya tüm donörler dahil edilmiştir. Farklı donör senaryoları üzerinden yürüten çalışmalar planlanabilir.

Takasçı bağışında, hali hazırda bütün kan grupları kabul edilmektedir. Bu politika değiştirilerek takascıdan stokta eksik kan grubunu temin edilmesi gerektiği istenebilir.

Çalışmanın yapıldığı Kan Merkezi’nde oluşturulan modeller diğer kan merkezleri için örnek bir pilot çalışma olabilir ve her bir Kan Merkezi’nin kendi mekan, donanım, personel, bağışçı- hasta kapasitesine göre uyarlanabilir.

KAYNAKLAR

- Allen, Linda J., S., 2010. An Introduction to Stochastic Processes with Applications to Biology, 2nd Edition, Chapman and Hall.
- Altioğ T, Melamed B. Simulation Modeling and Analysis with ARENA. Elsevier, Inc., 2007.
- Aslan Ş., Sağlık sektöründe (s,S) stok kontrol modeli uygulaması- 2015.
- Arrow, K., Harris, T., Marschak, J., 1951. Optimal inventory policy. *Econometrica*, 19(3), 250-272
- Bakker M., Riezebos J., Teunter R. H., 2012 “Review of inventory systems with deterioration since 2001.” *European Journal of Operational Research*, 221(2), 275-284.
- Beltrán, M., M. Ayala, and J. Jara. 1999. “Frecuencia de grupos sanguíneos y factor Rh en donantes de sangre, Colombia, 1996.” *Biomédica* 19(1), 39–44.
- Blake, J. T., N. Heddle, M. Hardy, and R. Barty. 2010. “Simplified Platelet Ordering Using Shortage and Outdate Targets.” *International Journal of Health Management and Information* 1(2), 145–166.
- Blake, John T., and Matthew Hardy. 2014. “A Generic Modelling Framework to Evaluate Network Blood Management Policies: The Canadian Blood Services Experience.” *Operations Research for Health Care* 3(3), 116–128.
- Britten, A. F., and D. G. Geurtze. 1979. “Weekly Rotation of Blood Inventory – A System for Supplying Small Hospitals.” *Transfusion* 19(6), 738–741.
- Brodheim, E., and G. P. Prastacos. 1979. “A Regional Blood Management System with Prescheduled Deliveries.” *Transfusion* 19(4), 455–462.
- Broekmeulen R. A., Van D., Karel H. 2009, “A heuristic to manage perishable inventory with batch ordering, positive lead-times, and time-varying demand.” *Computers & Operations Research*, 36.11: 3013-3018.
- Brodheim, Eric, Cyrus Derman, and Gregory Prastacos. 1975. “On the Evaluation of a Class of Inventory Policies for Perishable Products Such as Blood.” *Management Science* 21(11), 1320–1325.

- Brodheim, E., R. Hirsch, and G. Prastacos. 1976. "Setting Inventory Levels for Hospital Blood Banks." *Transfusion* 16(1), 63–70.
- Chazan, Dan, and Shmuel Gal 1977, "A Markovian Model for a Perishable Product Inventory." *Management Science*, 23(5), 512–521.
- Cohen, Morris A. 1976. "Analysis of Single Critical Number Ordering Policies for Perishable Inventories." *Operations Research* 24(4), 726–741.
- Cohen, M. A., and W. P. Pierskalla. 1975. "Management Policies for a Regional Blood Bank." *Transfusion* 15(1), 58–67.
- Cohen, M. A., and W. P. Pierskalla. 1979. "Target Inventory Levels for a Hospital Blood Bank or a Decentralized Regional Blood Banking System." *Transfusion* 19(4), 444–454.
- Cohen, M. A., W. P. Pierskalla, and R. J. Sassetti. 1983. "The Impact of Adenine and Inventory Utilization Decisions on Blood Inventory Management." *Transfusion* 23(1), 54–58.
- Çiftçi, A.H., 2009. Kan Merkezlerindeki Bozulabilir Envanter ve Ürün Kullanıcı Uyumsuzluğu Problemlerinin Yönetiminde Karar Destek Sistemlerinin Kullanılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi.
- DHHS. 2013. The 2011 National Blood Collection and Utilization Survey Report. Washington, DC: Department of Health and Human Services.
- Duan, Q., and T.W. Liao. 2013. "A New Age-based Replenishment Policy for Supply Chain Inventory Optimization of Highly Perishable Products." *International Journal of Production Economics* 145(2), 658–671.
- Duan, Q., and T. W. Liao. 2014. "Optimization of Blood Supply Chain with Shortened Shelf Lives and ABO Compatibility." *International Journal of Production Economics* 153, 113–129.
- Elston, R. C., and Jerry C. Pickrel. 1963. "A Statistical Approach to Ordering and Usage Policies for a Hospital Blood Bank." *Transfusion* 3 (1), 41–47.

- Erdoğan, K., Küçük, R., 2006. Stokastik Stok Kontrol Modellerinde Güven Stoğunun Elektronik Çalışma Sayfası Yardımıyla Belirlenmesi. *Analiz*, 15(16), 25-34.
- Erickson, Michelle L., Melanie H. Champion, Roger Klein, Rebecca L. Ross, Zena M. Neal, and Edward L. Snyder. 2008. "Management of Blood Shortages in a Tertiary Care Academic Medical Center: The Yale-new Haven Hospital Frozen Blood Reserve." *Transfusion* 48(10), 2252–2263.
- Erk, E., 2009. Talep Yönetimi Yolu İle Stok Kontrolü Üzerine Bir Model Önerisi ve Ticari Bir İşletmede Uygulama. Doktora Tezi. İstanbul: M.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı.).
- Field, A., 2005. *Discovering Statistics Using SPSS*. Sage Publications, London, 779.
- Friedman, B. A., R. D. Abbott, and G. W. Williams. 1982. "A Blood Ordering Strategy for Hospital Blood Banks Derived from a Computer Simulation." *American Journal of Clinical Pathology* 78(2), 154–160.
- Fries B. E. 1975, "Optimal ordering policy for a perishable commodity with fixed lifetime." *Operations Research*, 23(1), 46-61.
- Fontaine, Magali J., Yenho T. Chung, Feryal Erhun, and Lawrence T. Goodnough. 2010. "Age of Blood as a Limitation for Transfusion: Potential Impact on Blood Inventory and Availability." *Transfusion* 50(10), 2233–2239.
- Ghandforoush, P., and T. K. Sen. 2010. "A DSS to Manage Platelet Production Supply Chain for Regional Blood Centers." *Decision Support Systems* 50(1), 32–42.
- Goyal S. K., Giri B. C. 2001, "Recent trends in modeling of deteriorating inventory." *European Journal of Operational Research*, 134(1), 1-16.
- Gunpinar, S. 2013. *Supply Chain Optimization of Blood Products*. PhD diss., University of South Florida.
- Gunpinar, Serkan, and Grisselle Centeno. 2015. "Stochastic Integer Programming Models for Reducing Wastages and Shortages of Blood Products at Hospitals." *Computers & Operations Research* 54, 129–141.

- Hannon, T. 2015. "Waste not, Want not." *Am J Clin Pathol* March 143,318-9.
- Hax, A., C., Candea, D., 1984. *Production And Inventory Management*. New Jersey: Prentice Hall.
- Jagannathan, Raj, and Tarun Sen 1991, "Storing Crossmatched Blood: A Perishable Inventory Model with Prior Allocation." *Management Science*, 37(3), 251–266.
- Kalpakkam S., Shanthi S. 2000, "A perishable system with modified base stock policy and random supply quantity." *Computers & Mathematics with Applications*, 39(12), 79-89.
- Kamp, Christel, Margarethe Heiden, Olaf Henseler, and Rainer Seitz. 2010. "Management of Blood Supplies During an Influenza Pandemic." *Transfusion* 50(1), 231–239.
- Karaesmen I. Z. 2011, Scheller–Wolf A., Deniz B., "Managing perishable and aging inventories: review and future research directions." In: *Planning production and inventories in the extended enterprise*. Springer US, 393-436.
- Katsaliaki K., Brailsford S. C., 2007. Using simulation to improve the blood supply chain. *Journal of the Operational Research Society*, 58, 219–227.
- Katsaliaki K. 2008, "Cost-effective practices in the blood service sector." *Health Policy*, 86(2), 276-287.
- Kelton, D., M., Law, A., M., 1991. *Simulation Modeling and Analysis*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Kelton, D., Randall, P., 2010. *Simulation with Arena*. (5th Edition). New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Kelton DW, Sadowski RP, Zupick NB. *Simulation with Arena*, 6th edition. McGraw-Hill Professional, 2014.
- Kendall, Kenneth E. 1980. "Multiple Objective Planning for Regional Blood Centers." *Long Range Planning* 13(4), 98–104.
- Kendall, Kenneth E., and Sang M. Lee. 1980. "Formulating Blood Rotation Policies with Multiple Objectives." *Management Science* 26(11), 1145–1157.

- Law, A.M. ve Kelton, W.D., 2007. *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill, New York, 709.
- Lee HL, Nahmias (1993) S. *Logistics of Production and Inventory*, S.C. Graves, A.H.G. Rinnoy Kan and P.H. Zipkin (eds.), *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Vol: 4, North-Holland.
- Li, Y. C., and H. C. Liao. 2012. "The Optimal Parameter Design for a Blood Supply Chain System by the Taguchi Method." *International Journal of Innovative Computing Information and Control* 8(11), 7697–7712.
- Lindsey, J., K., 2004. *Statistical Analysis of Stochastic Processes in Time*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Lowalekar, Harshal, and N. Ravichandran. 2011. "A Model for Blood Components Processing." *Transfusion* 51(7pt2), 1624–1634.
- Markowitz, H., M., 1979. SIMSCRIPT: Past, present, and some thoughts about the future. In *Current Issues in Computer Simulation*, ed. N. R. Adam and A. Dogramaci, 27–60. New York: Academic Press.
- Markowitz, H., M., 1966. Simulating with SIMSCRIPT. *Management Science*, 12(10), 396.
- Murphy, C., A., Perera, T., D., 2001. The Definition and Potential Role of Simulation Within an Aerospace Company. *Winter Simulation Conference*, 829-23.
- Nahmias, Steven. 1982. "Perishable Inventory Theory: A Review." *Operations Research* 30(4), 680–708.
- Nahmias, S. 2011. "Perishable Inventory Systems." In *International Series in Operational Research and Management Science*, edited by F. Hillier, Vol. 160, 1–80. London: Springer.
- Nahmias, Steven, and William P. Pierskalla. 1976. "A Two-product Perishable/Nonperishable Inventory Problem." *SIAM Journal on Applied Mathematics* 30(3), 483–500.

- Nance, R., E., Overstreet, M., C., 2017. History of computer simulation software: An initial perspective. WSC '17: Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference, 15, 1-19.
- Nygaard, K., Dahl, O., J., 1981. The development of the SIMULA languages. In History of programming languages, ed.R. L. Wexelblatt, 439–491. New York: Academic Press
- Onal, M., Romeijn, H. E., Sapra, A., & van den Heuvel, W. 2015, “The economic lot-sizing problem with perishable items and consumption order preference.” European Journal of Operational Research, 244(3), 881-891.
- Omosigho, S. E. 2002. “Determination of Outdate and Shortage Quantities in the Inventory Problem with Fixed Lifetime.” International Journal of Computer Mathematics 79(11), 1169–1177.
- Öztürk, A. 2001. Yöneylem Araştırması. (7. Baskı). Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları
- Öztürk, A. 2005. Yöneylem Araştırması. Ankara: Başak Matbaacılık.
- Öztürk, L., 2004. Monte-Carlo simulasyon metodu ve bir işletme uygulaması. Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, (1), 122-8.
- Özçakar, N., Akyurt, İ., Z., 2007. (R,s,S) ve (R,S) Stok Kontrol Politikalarının poliüretan sektöründe Markov karar süreci yardımıyla karşılaştırılması. Yönetim Dergisi, İstanbul. 18(56), 10-23.
- Padmanabhan G., Vrat P. 1995, “EOQ models for perishable items under stock dependent selling rate.” European Journal of Operational Research, 86(2), 281-292.
- Page, B. 1980. “Alternative Inventory and Distribution Policies for a Regional Blood Banking System.” Methods of Information in Medicine 19(2), 83–87.
- Pauls-Worm, K. G., Hendrix, E. M., Alcoba, A. G., Haijema, R. 2016, “Order quantities for perishable inventory control with non-stationary demand and a fill rate constraint.” International Journal of Production Economics, 181, 238-246.

- Pegden DC, Shannon RE, P R. Sadowski, Introduction to Simulation Using Siman, McGraw-Hill 1995.
- Pegels, C. C., J. P. Seagle, P. C. Cumming, K. E. Kendall, and J. F. Shubsda 1977, "An Analysis of Selected Blood Service Policy Changes." *Medical Care*, 15(2), 147–157.
- Pereira, A. 2005. "Blood Inventory Management in the Type and Screen Era." *Vox Sanguinis* 89(4), 245–250.
- Pierskalla, William P. 2005. "Supply Chain Management of Blood Banks." In *Operations Research and Health Care*, edited by Margaret L. Brandeau, François Sainfort, and William P. Pierskalla, 103–145. Boston, MA: Kluwer.
- Pierskalla, William P., and Chris D. Roach. 1972. "Optimal Issuing Policies for Perishable Inventory." *Management Science* 18(11), 603–614.
- Pierskalla, W. P., R. Sassetti, M. Cohen, B. Deuermeyer, R. Marritt, J. Consolo, M. Garvey, M. Goodfriend, and V. Sauter. 1980. "Regionalization of Blood Banking Services." In *Executive Summary*, edited by The Wharton School of the University of Pennsylvania, Philadelphia, 1–29. Philadelphia, PA: University of Pennsylvania.
- Prastacos, Gregory P. 1978. "Optimal Myopic Allocation of a Product with Fixed Lifetime." *Journal of the Operational Research Society* 29(9), 905–913
- Prastacos, Gregory P. 1981. "Allocation of a Perishable Product Inventory." *Operations Research* 29(1), 95–107.
- Prastacos, Gregory P. 1984. "Blood Inventory Management: An Overview of Theory and Practice." *Management Science* 30(7), 777–800.
- Prastacos, Gregory P., and Eric Brodheim. 1980. "PBDS: A Decision Support System for Regional Blood Management." *Management Science* 26(5), 451–463.
- Rytilä, Jyrki S., and Karen M. Spens. 2006. "Using Simulation to Increase Efficiency in Blood Supply Chains." *Management Research News* 29(12), 801–819.

- Sapountzis, C. 1984. "Allocating Blood to Hospitals from a Central Blood Bank." *European Journal of Operational Research* 16(2), 157–162.
- Sapountzis, C. 1985. "Analytical Evaluation of the Characteristic Curve of a Blood Bank and Its Usefulness in Blood Banking." *European Journal of Operational Research* 19(1): 20–32.
- Seifried, E., Klueter H., Weidmann, C., Staudenmaier, T., Schrezenmeier H., Henschler, R., Greinacher A., Mueller, M. M., 2011. How much blood is needed. *Vox Sang*, 100(1), 10-21.
- Sevütekin, M., 1992. Ekonometrik simülasyon modelleri. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (1-2), 229-64.
- Simonetti, Arianna, Richard A. Forshee, Steven A. Anderson, and Mark Walderhaug. 2013. "A Stock-and-Flow Simulation Model of the US Blood Supply." *Transfusion* 54(3pt2), 828–838.
- Silver, E., A., Pyke, D., Peterson, R., 1998. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, New Jersey: John Wiley and Sons.
- Stanger, Sebastian H. W., Nicola Yates, Richard Wilding, and Sue Cotton. 2012. "Blood Inventory Management: Hospital Best Practice." *Transfusion Medicine Reviews* 26(2), 153–163.
- Sipper, D., Bulfin, B., R., 1998. *Production Planning, Control and Integration*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc
- Sulak, H., Eroğlu, A., 2009. Ekonomik Sipariş ve Üretim Miktarı Modellerinde Yeni Açılımlar. *Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(3), 383-406.
- Taş, A., 2007. Deterministik ve stokastik talep varsayımları altında envanter parti büyüklüğü belirleme problemi için modeller. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (1), 215-37.
- Telles, B., J. Gurgel, A. Saraiva, and D. Custodio. 2013. "Demand Forecast and Inventory Management: Sizing Inventory of Blood Products in a Blood Bank

- in Brazil.” Paper presented at the 24th Annual Conference of the Production and Operations Management Society, Denver, Colorado.
- Van Z. 1964, Gideon J. J., “Inventory control for perishable commodities.” North Carolina State University.
- Vrat, Prem, and A. B. Khan. 1976. “Simulation of a Blood-Inventory-Bank System in a Hospital.” *Socio-Economic Planning Sciences* 10(1), 7–15.
- Yin, K., K., Liu, H., Johnson, N., E., 2002. Markovian inventory policy with application to the paper industry. *Computers and Chemical Engineering*, 26(1), 1401.
- Zheng, Y., S, Federgruen, A., 1991. Finding optimal (s,S) policies is about as simple as evaluating a single policy. *Operations Research*, 39(4), 654.
- Zhou, Deming, Lawrence C. Leung, and William P. Pierskalla. 2011. “Inventory Management of Platelets in Hospitals: Optimal Inventory Policy for Perishable Products with Regular and Optional Expedited Replenishments.” *Manufacturing & Service Operations Management* 13 (4), 420–438.
- WHO. Erişim: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blood-safety-and-availability>)
- International society for infenction disease. Erişim: http://isid.org/wp-content/uploads/2019/08/ISID_GUIDE_TRANSFUSIONS.pdf-2020), 2022.
- Rockwell Arena. Erişim: ,2022. https://tr.wikipedia.org/wiki/Rockwell_Arena
- Design-expert 12.0. Erişim: <https://design-expert2.software.informer.com>,2022.
- Easyfit. Erişim: EasyFit 4.0 programı (www.mathwave.com), 2022.
- Lindo Systems Inc. Erişim: <https://www.lindo.com/index.php/products>, 2022
- Türk Kızılayı Kan Hizmetleri. Erişim: <https://www.kanver.org>, 2022.
- Craig,D., Erişim: ,<http://web.cs.mun.ca/~donald/msc/node6.html> , 2022)



ÖZGEÇMİŞ

Gizem Gül KOÇ. 2008 yılında Başkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazanıp Başkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2012 yılında lisans derecesinde mezun oldu. Daha sonra TOBB Üniversitesi'nden 2015 yılında yüksek lisans derecesinde başarı ile mezun oldu. 2017 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde doktora eğitimine başlamıştır.







EKLER



EK-1: Etik Kurul Kararı

T.C
ADANA VALİLİĞİ
İl Sağlık Müdürlüğü
Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi
Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

Toplantı Sayısı: 90

Tarih: 14.10.2021

Karar No: 1599

Çukurova Üniversitesi Balcalı Hastanesi'nde **Prof.Dr. Birol GÜVENÇ'in** sorumlu araştırmacı ve Prof.Dr. Ali KOKANGÜL, Prof.Dr. Ayşe Filiz KOÇ ve Gizem Gül KOÇ'un yardımcı araştırmacı olarak yürütmesi öngörülen, "**Kan Ürünleri Tedarik Zinciri Optimizasyonu**" başlıklı Retrospektif araştırma projesi, hastanemiz Klinik Araştırmalar Etik Kurulunda görüşüldü ve ilgili projenin etik açıdan bir sakınca içermediği tespit edildiğinden, projenin yapılmasının **UYGUN** olduğuna oybirliğiyle karar verildi. Çalışmanızın sonucu hakkında Etik Kurulumuzu bilgilendirmenizi rica ederiz.

BAŞKAN	Doç.Dr. Ganiye Begül KÜPELİ Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	
BAŞKAN YARDIMCISI	Prof.Dr. Banu KARA Gastroenteroloji	
DEĞERLENDİRİCİ ÜYE	Doç.Dr. Talih ÖZDAŞ Kulak Burun Boğaz Hastalıkları	
	Prof.Dr. Tuba TURUNÇ Enfeksiyon ve Klinik Mikrobiyoloji	
	Prof.Dr. Şerife Nur ULUSAN Radyoloji	
	Doç.Dr. Sefa ARLIER Kadın Hastalıkları ve Doğum	
	Doç.Dr. Akkan AVCI Acil Tıp	
	Doç.Dr. Özlem ERÇEN DİKEN Göğüs Hastalıkları	
	Doç.Dr. Fırat SEYFETTİNOĞLU Ortopedi ve Travmatoloji	
	Doç.Dr. Alper SÖZÜTEK Gastroenterolojik Cerrahi	
	Uzm.Dr. Havva KUBAT Tıbbi Farmakoloji	
	Uzm.Dr. Saliha Dilek ÖZTOPRAK HACIOĞLU Halk Sağlığı	
	Hande AYCAN TÜFEKÇİ Biyomedikal Mühendis	
	Tahsin ERKİLİNCİ Avukat	
	Pelin DALKAVRIYAN YAVAŞ Sivil	