

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Melik KOYUNCU

**SALGIN HASTALIKLARIN ÖNLENMESİNDE KAYNAK ATAMA
PROBLEMİNİN İNCELENMESİ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2008

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SALGIN HASTALIKLARIN ÖNLENMESİNDE KAYNAK
ATAMA PROBLEMİNİN İNCELENMESİ**

Melik KOYUNCU

DOKTORA TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez/...../ 2008 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

İmza.....
Doç.Dr.Rızvan EROL
DANIŞMAN

İmza:.....
Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU
ÜYE

İmza:.....
Prof.Dr. Türkay DERELİ
ÜYE

İmza:.....
Yrd.Doç.Dr.S.Noyan OĞULATA
ÜYE

İmza:.....
Yrd.Doç.Dr.Behice KURTARAN
ÜYE

Bu tez enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Kod No:.....

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür**

Not:Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

SALGIN HASTALIKLARIN ÖNLENMESİNDE KAYNAK ATAMA PROBLEMİNİN İNCELENMESİ

Melik KOYUNCU

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç.Dr. Rızvan EROL
Yıl: 2008, **Sayfa:**137

Jüri: Doç.Dr. Rızvan EROL
Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU
Prof. Dr. Türkay DERELİ
Yrd.Doç.Dr. S. Noyan OĞULATA
Yrd.Doç.Dr. Behice KURTARAN

Salgın hastalıklarla mücadelede, tıbbi müdahale kadar eldeki sınırlı kaynakların etkin bir biçimde dağıtılması da önemlidir. Salgın hastalıklara karşı hazırlıklı olmak için tıbbi müdahalenin yanında eldeki sınırlı kaynakları etkili bir biçimde dağıtan, kaynak paylaşımı modellerinin olması zorunludur. Bu çalışmada, geçmişte bir çok kez görülen ve Dünya Sağlık Örgütünün raporlarına göre yeniden büyük bir salgın yapma potansiyeline sahip olan pandemik influenza hastalığına karşı mücadele etmek için kaynak paylaşımı problemi incelenmiştir. Pandemik influenza hastalığı ile mücadelede kullanılan kaynakların en önemlileri,yoğun bakım yatakları, ventilatör cihazları, hastane normal yataklarıdır. Ayrıca hastalığın tedavisinde kullanılan antiviral ilaçlar ve hastalığın oluşumunu engelleyen koruyucu aşılar ise hastalıkla mücadelede rol oynayan diğer önemli kaynaklardır. Bu çalışmada, muhtemel bir pandemik influenza salgınında oluşacak hasta sayısı, oluşacak ölüm sayısı ve toplam iyileşme gün sayısı ile ilgili tahminler matematiksel modeller yardımıyla yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Salgın Hastalıklar, Kaynak Paylaşımı, Çok Amaçlı Optimizasyon, Benzetim

ABSTRACT

PhD THESIS

EXAMINING OF RESOURCE ALLOCATION PROBLEM TO PREVENT PANDEMIC DISEASES
--

Melik KOYUNCU

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

Supervisor: Assoc.Prof.Rızvan EROL
Year: 2008, **Pages:**137

Jury: Assoc. Prof. Rızvan EROL
Prof. Adil BAYKASOĞLU
Prof. Türkay DERELİ
Assist. Prof. S. Noyan OĞULATA
Assist. Prof. Behice KURTARAN

In the struggle against epidemic diseases, the effective allocation of limited resources is as important as medical treatment. In order to be ready for epidemic diseases, interception methods need to be well known and resource allocation models that allocate limited resources at hand have to be available. In this work, the pandemic influenza illness, which repeated many times in history and has caused the death of millions of people in history and has the probability to repeat itself according to World Health Organization's reports, is examined for the resource allocation problem. The most important interception methods in struggling the influenza illness are intensive care units, ventilators, and hospital beds. Moreover, antiviral medicines and preventive vaccinations are other important resources that are employed in struggling the illness. In this study, the estimations which are related to number of deaths, number of cases and the total morbidity days are made by the aid of mathematical models during a possible pandemic influenza.

Key Words: Pandemic Diseases, Resource Allocation, Multi Objective Optimization, Simulation

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim boyunca, bana her türlü kolaylığı gösteren danışmanım ve bölüm başkanım Doç. Dr. Rızvan EROL'a çok teşekkür ederim.

Her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen ve yönlendiren, deneyimlerini paylaşan çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. S. Noyan OĞULATA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez ilerleme raporlarında değerli katkılar sunan ve birikimlerini esirgemeyen, Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümündeki hocalarım, Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU ve Prof. Dr. Türkay DERELİ'ye çok teşekkür ederim.

Çalışmamda her türlü yardımcı sağlayan, özellikle tıbbi kısımlardaki değerli katkılarından dolayı, Ç.Ü. Tıp Fakültesi Klinik Bakteriyoloji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi, Yrd. Doç. Dr. Behice KURTARAN'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca, değerli katkılarda bulunan ve farklı bakış açıları getiren hocam Prof. Dr. Nazan ALPARSLAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamdaki tıbbi yönleri değerlendiren ve değerli katkılar sunan Ç.Ü. Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı Öğretim Üyesi ve Ç.Ü. Medikososyal Merkezi Başhekimi Doç.Dr. Elçin YOLDAŞCAN'a çok teşekkür ederim.

Uygulamada kullandığım verileri almama yardımcı olan ve uygulamaya yönelik değerli katkılarından ve fikirlerinden dolayı Adana İl Sağlık Müdür Yardımcısı Dr. Turgut ARPACI'ya çok teşekkür ederim.

Çalışmada kullandığım verilerin temin edilmesini sağlayan ve fikirleriyle katkıda bulunan Ankara Meslek Hastalıkları Hastanesi Başhekimi Dr. Hınç YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünün Akademik ve İdari Personeline katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Son olarak, tezin her aşamasında büyük bir fedakarlıkla yardım eden sevgili eşim Esra KOYUNCU'ya çok teşekkür ederim.

ÖNSÖZ

Tarih boyunca salgın hastalıklar insanlık için önemli problemler oluşturmuşlardır. İnsanlık tarihinin her aşamasında salgın hastalıkların bulunmasına rağmen, bazı dönemlerde insanlığa etkisi dramatik olmuştur. Örneğin, 14. yüzyıldaki veba salgınında Avrupa'nın nüfusu yaklaşık olarak 100 milyon iken, 25 milyon insanın bu salgında hayatını kaybettiği tahmin edilmektedir. Bilim adamları her zaman için etkili bir biçimde salgın hastalıklarla mücadele etme yollarını aramışlardır. Salgın hastalıklara karşı, antibiyotik ilaçlar, aşılar ve diğer mücadele yöntemleri ile zaman zaman başarılar elde edilse de bu tür hastalıkları tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmamıştır. Örneğin tüberküloz ve vebaya neden olan bakteriler zamanla antibiyotik ilaçlara direnç kazanarak yeniden ortaya çıkmışlardır.

Günümüzde sıtma, tüberküloz, cinsel yolla bulaşan hastalıklar ve gribin bir çok çeşidi halk sağlığını halen bir çok ülkede ciddi anlamda tehdit etmektedir. Bu tür salgın hastalıklarla etkin bir biçimde mücadele edebilmek için bir ülkede iyi bir sağlık sisteminin bulunması, yeterli sayıda sağlık personelinin olması (doktor, hemşire, sağlık teknisyeni vb.), yeterli sağlık altyapısına (hastane, ambulans, ilaç, araştırma merkezi vb.) sahip olması ve bütün bunların koordineli bir biçimde çalışması gereklidir. Bir salgın hastalığın erken tespit edilmesi ve yeterli donanıma sahip sağlık ekipleriyle zamanında müdahale edilmesi, bu salgın hastalığın yayılmasını engelleme ve salgına yakalanan hastaların iyileştirilmesini sağlama açısından çok önemlidir. Salgın hastalıklar birçok nedenden dolayı başlayabilir ve bir kısmı çok hızlı yayılma eğilimi gösterir. Ulaşım hizmetlerinin kolay olması nedeniyle insanlar bir yerden başka bir yere çok hızlı ve rahat bir biçimde ulaşırken, bu kişiler belli bir bulaşıcı hastalığa sahip ise, hastalıklarını gittikleri şehirlere, ülkelere hatta okyanus ötesi kıtalara da götürebilirler. İnsanlığı tehdit eden bir çok hastalık dünyanın herhangi bir yerinde ortaya çıkmakta ve bazen bütün dünyayı tehdit eder hale gelebilmektedir. Salgın hastalıklar, bazen birden çok ülkeyi etkisi altına almaları durumunda, (pandemi) milyonlarca kişinin ölümüne, sosyal sarsıntılara ve derin ekonomik kayıplara yol açabilir.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÖNSÖZ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLOLAR DİZİNİ.....	X
SİMGELER DİZİNİ.....	XII
1.GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı.....	7
1.1.1. İnfluenza ile Ulusal Mücadelede Yapılanması.....	9
1.2 Çalışmanın Amacı.....	13
1.3. Çalışmanın Kapsamı ve Varsayımlar.....	14
1.4. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu	15
1.5. Çalışmanın Beklenen Özgün Katkısı.....	16
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	18
2.1. Etkisi Uzun Yıllar Süresince Görülebilen Salgın Hastalıklar İle İlgili Kaynak Paylaşımı Modelleri.....	18
2.1.1 Dinamik Bölümsel Modeller.....	18
2.1.2. Doğrusal Programlama Uygulamaları.....	34
2.1.3. Sağlık Ekonomisi Yaklaşımları	36
2.2. Belirli Zaman Periyotlarında Ortaya Çıkma İhtimali veYayılim Oranı Yüksek Olan Salgın Hastalıklarda Kaynak Tahsisi	40
2.2.1. Pandemik Influenza İle İlgili Çalışmalar.....	42
3. MATERYAL VE METOD.....	46
3.1. Materyal.....	46
3.1.1. Nüfus İle İlgili Veriler.....	47
3.1.2.Sağlık Bakanlığından Alınan Veriler	49

4.2.1	Atak Hızı %25 Bütçe 15 YTL Muhtemel Senaryo Sonuçları....	81
4.3.	Toplu Senaryo Analizleri	93
4.3.1.	İyimser Senaryo Analizi.....	93
4.3.2.	Kötümser Senaryo Analizi....	97
4.3.3.	Muhtemel Senaryo Analizi....	101
4.4.	Taktik Benzetim Modeli.....	105
4.4.1.	Benzetim Modelinin Algoritması.....	109
4.4.2.	Benzetim Modelinin Sonuçları.....	110
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	113
5.1.	Çalışmanın Özetlenmesi.....	113
5.2.	Sonuçlar.....	114
5.3.	Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler.....	115
	KAYNAKLAR.....	119
	ÖZGEÇMİŞ.....	120
	EKLER.....	121
	EK 1. Geliştirilen Modelin GAMS Kodları.....	122
	EK 2. Geliştirilen Benzetim Modelinin SIMAN V Kodları	128

ŞEKİLLER DİZİNİ	SAYFA
Şekil 1.1. Enfeksiyon Zincirinin Ögeleri.....	4
Şekil 1.2. Ulusal İnfluenza Gözetim Planı Akış Şeması.....	11
Şekil 1.3. Ulusal İnfluenza Planının Ana hatları	12
Şekil 2.1. Kaynak Tahsisi İçin Hiyerarsik Karar Yapısı.....	30
Şekil 3.1. Nüfusun Yaşlara Göre Dağılımı	48
Şekil 3.2. Nüfusun Risk Gruplarına Göre Dağılımı	49
Şekil 3.3. SI Epidemik Modeli, Doğum ve Ölüm Oranları ile..... Birlikte.....	53
Şekil 3.4. Çoklu Popülasyonda Bulaşıcı Hastalık Yayılım Modeli.....	55
Şekil 3.5. Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinin Akış Şeması.....	67
Şekil 4.1. Değişik Atak Hızları Ve Bütçe Alternatiflerine Göre Ölüm Sayıları.....	80
Şekil 4.2. Değişik Atak Hızları Ve Bütçe Alternatiflerine Göre Hasta Sayıları.....	81
Şekil 4.3. Ölüm Sayısının Kategorilere Ayrılması.....	84
Şekil 4.4. İhtiyaç Duyulan Hastane Yataklarının Mevcut hastane Yataklarına Oranı	90
Şekil 4.5. İhtiyaç Duyulan Yoğun Bakım Yataklarının Mevcut Yoğun Bakım Yataklarına Oranı.....	90
Şekil 4.6. İhtiyaç duyulan ventilatör cihazlarının mevcut ventilatör Cihazlarına oranı.....	91
Şekil 4.7. Bütçe Harcamalarına Göre Oluşan Ölüm Sayısı	94
Şekil 4.8. Bütçe Harcamalarına Göre Oluşan Hasta Sayıları.....	95
Şekil 4.9. Değişik Atak Hızlarında Koruyucu Tedaviye Ayrılan Miktar	95
Şekil 4.10. Değişik Bütçe Harcamalarına Göre İyileşme Süreleri Toplamı.....	96
Şekil 4.11. Koruyucu Tedaviye Ayrılan Miktar.....	96
Şekil 4.12. İyimser Senaryoda Bütçenin Koruyucu Tedavi ve Antiviral İlaç Tedavisine Dağıtımı.....	97

Şekil 4.13.	Değişik Bütçe Harcamalarına Göre Oluşan Ölüm Sayısı.....	98
Şekil 4.14.	Değişik Bütçe Harcamalarına Oluşan Hasta Sayısı.....	99
Şekil 4.15.	Değişik Bütçe Harcamalarına Göre İyileşme Süreleri Toplamı.....	99
Şekil 4.16.	Değişik Bütçe Harcamalarına Göre Koruyucu Tedaviye Ayrılan Miktarlar.....	100
Şekil 4.17.	Değişik Bütçe Harcamalarına Göre Antiviral İlaç Tedavisine Ayrılan Miktarlar	100
Şekil 4.18.	Değişik Bütçe Harcamalarına Göre Sabit Kaynak Alımına Ayrılan Miktarlar	101
Şekil 4.19.	Değişik Bütçe Harcamalarına Göre Muhtemel Senaryo Ölüm Sayıları.....	101
Şekil 4.20.	Değişik Bütçe Harcamalarına Göre Muhtemel Senaryo Hasta Sayıları.....	102
Şekil 4.21.	Muhtemel Senaryo İyileşme Süreleri Toplamı.....	102
Şekil 4.22.	Muhtemel Senaryoda Grup Bazında Oluşan Ölüm Sayıları....	103
Şekil 4.23.	Muhtemel Senaryo Risk Gruplarına Göre Oluşan Hasta Sayıları.....	104
Şekil 4.24.	Bütçenin Muhtemel Senaryoya Göre Bölgelere Dağıtılması...	104
Şekil 4.25.	Pandemik Influenza Eğrisi.....	105
Şekil 4.26.	Ventilatör İhtiyaçlarının Haftalara Göre Değişimi.....	107
Şekil 4.27.	Yoğun Bakım Yatak İhtiyaçlarının Haftalara Göre Değişimi..	108
Şekil 4.28.	Hastane İhtiyaçlarının Haftalara Göre Değişimi.....	108
Şekil 4.29.	Benzetim Modelinin Algoritması.....	109
Şekil 4.30.	Bölgeler Arası Ventilator Sevkleri ve Sayıları.....	112

TABLolar DİZİNİ	SAYFA
Tablo 1.1 Vektörlerin bulaştırdıkları hastalıklar	4
Tablo 3.1 Risk Grupları	47
Tablo 3.2 Türkiye'deki Nüfusun Yaş Kategorilerine Göre Sayıları	47
Tablo 3.3 Risk Grupları ve Yaş Oranlarına Göre Popülasyon Grupları	48
Tablo 4.1 İstanbul-Samsun Bölgelerine Bağlı İller.....	75
Tablo 4.2 Trabzon-Erzurum Bölgelerine Bağlı İller	75
Tablo 4.3 Bölgelere Ait Nüfuslar	76
Tablo 4.4 Yüksek Risk Grubundaki Kişilerin Populasyondaki Oranı...	77
Tablo 4.5 Populasyon Alt Gruplarının Bölgelerdeki Tahmini Nüfusu..	77
Tablo 4.6 Türkiye Geneline Bölgelere Göre Sabit Kaynakların Sayısı.....	78
Tablo 4.7 Hastaneye Yatış ve Ölüm Oranları.....	78
Tablo 4.8 Model Parametreleri için Kullanılan Veriler.....	79
Tablo 4.9 Koruyucu Tedavi ve Antiviral İlaç Tedavisi Maliyetleri.....	79
Tablo 4.10 Çözülen Örnek Modelin Toplu Sonuçları.....	82
Tablo 4.11 Sabit Kaynak Kullanan Hastalarda Oluşan Ölüm Sayısı.....	82
Tablo 4.12 Antiviral İlaç Kullananlarda Oluşan Ölüm Sayısı.....	83
Tablo 4.13 Antiviral İlaç Kullanamayanlarda Oluşan Ölüm Sayısı.....	83
Tablo 4.14 Bölgelere ve Populasyon Alt Gruplarında Göre Oluşan Hasta Sayısı	84
Tablo 4.15. Bölgelerde Oluşan Toplam Hasta Sayısının Bölge Nüfusuna Oranları	85
Tablo 4.16. Bölgelere ve Populasyon Alt Gruplarına Göre Koruyucu Tedavi Alan Kişi Sayısı.....	86
Tablo 4.17. Bölgelere Göre Koruyucu Tedavi Alanların Oranı ve Maliyetleri.....	86
Tablo 4.18. Antiviral İlaç Alan Kişilerin Oluşan Hasta Sayılarına Oranı.....	88
Tablo 4.19. Sabit Kaynaklara İhtiyaç Duyan Kişi Sayısı.....	88

Tablo 4.20. İhtiyaç Duyulan ve Mevcut Sabit Kaynaklar.....	89
Tablo 4.21. İhtiyaç Duyulan Kaynakların Mevcut Kaynaklara Oranı	89
Tablo 4.22. Sabit Kaynakları Kullanan Hasta Sayıları.....	92
Tablo 4.23. Bölgelere Alınan Sabit Kaynaklar ve Maliyetleri	92
Tablo 4.24. Değişen Parametreler.....	93
Tablo 4.25. Matematiksel Modelden Üretilen Haftalık İhtiyaçlar.....	107
Tablo 4.26. Benzetim Modelinde Kullanılan Bölgelerin Yakınlık Matrisi	110
Tablo 4.27. Beşinci Haftada Ventilator için Sevk Edilen Hastalar.....	111
Tablo 4.28. Altıncı Haftada Ventilator için Sevk Edilen Hastalar.....	111

SİMGELER DİZİNİ

İndisler

- i : bölge indisi ($i = 1, \dots, m$)
 j : risk grup indisi ($i = 1, \dots, n$)
 r : sabit kaynak indisi (1: yoğun bakım yatakları; 2: hastane yatakları; 3: ventilatörler) $r = 1, \dots, k$

Girdi Parametreleri

- P : tüm bölgelerdeki toplam populasyon
 P_{ij} : i . bölgede j . risk grubundaki kişi sayısı
 α_{ij} : i . bölgede j . risk grubundaki kişinin koruyucu aşı olmaması durumunda hasta olma olasılığı
 β_{ij} : i . bölgede j . risk grubundaki kişinin koruyucu aşı olması durumunda hasta olma olasılığı
 λ_i : hastalığın i . bölgeyi etkisi altına alma oranı
 c_a : birim antiviral ilaç tedavi maliyeti (YTL/birim)
 q_j : j . risk grubundaki kişinin tedavisi için gerekli antiviral ilaç miktarı
 c_p : birim koruyucu aşı maliyeti (YTL/birim)
 A_{ir} : i . bölgede r . kaynak tipinin mevcut miktarı
 l_r : pandemi periyudunda r . kaynağı kullanabilecek hasta sayısı
 d_{jr} : j . risk grubundaki hastaların r . kaynağa ihtiyaç duyma oranı (%)
 B : toplam bütçe (YTL)
 c_r : r . kaynağı satın alma maliyeti (YTL)
 dr_j^+ : j . risk grubundaki hastanın antiviral ilaç alması durumunda ölüm oranı (%)
 dr_j^- : j . risk grubundaki hastanın antiviral ilaç almaması durumunda ölüm oranı (%)
 ds_{jr}^+ : j . risk grubundaki hastanın r . kaynağı kullanması durumunda ölüm oranı (%)
 ds_r^- : r . kaynağı kullanamayan hastalardaki ölüm oranı (%)
 ts_{ij}^+ : i . bölgede j . risk grubundaki kişinin antiviral ilaç alması durumunda iyileşme süresi (gün)
 ts_{ij}^- : i . bölgede j . risk grubundaki kişinin antiviral ilaç almaması durumunda iyileşme süresi (gün)
 md_{jr}^+ : j . risk grubunda r . kaynağı kullanan hastanın iyileşme süresi (gün)
 md_r^- : j . risk grubunda r . kaynağı kullanamayan hastanın iyileşme süresi (gün)

Karar Değişkenleri

- TC_{AV} : antiviral ilaç tedavisine ayrılan bütçe miktarı (YTL)
 TC_{PT} : koruyucu tedaviye ayrılan bütçe miktarı (YTL)
 TCP_{FR} : sabit kaynak alımına ayrılan bütçe miktarı (YTL)
 TCU_{FR} : r . kaynağın kullanımı için ayrılan bütçe miktarı (YTL)

Yardımcı Değişkenler

- x_{ij} : i . bölgede j . risk grubundan oluşan hasta sayısı
 AV_{ij}^+ : i . bölgede j . risk grubundan antiviral ilaç tedavisi alan hasta sayısı
 AV_{ij}^- : i . bölgede j . risk grubundan antiviral ilaç tedavisi alamayan hasta sayısı
 P_{ij}^+ : i . bölgede j . risk grubundan koruyucu tedavi alan kişi sayısı
 P_{ij}^- : i . bölgede j . risk grubundan koruyucu tedavi alamayan kişi sayısı
 a_{ir} : i . bölgeye r . kaynaktan satın alınan miktar
 FR_{ir}^+ : i . bölgede r . kaynağı kullanan hasta sayısı
 FR_{ir}^- : i . bölgede r . kaynağı kullanamayan hasta sayısı
 SFR_{ijr} : i . bölgede j . risk grubunda r . kaynağı kullanan hasta sayısı
 NG_{ijr} : i . bölgede j . risk grubunda r . kaynağa ihtiyaç duyan hasta sayısı
 NDR_{ir} : i . bölgede r . kaynağa ihtiyaç duyulan miktar
 c_{ir} : i . bölgede r . kaynağı kullanım maliyeti
 TDA^+ : antiviral ilaç alan hastalarda toplam ölüm sayısı
 TDA^- : antiviral ilaç alamayan hastalarda toplam ölüm sayısı
 TDS^+ : sabit kaynakları kullanan hastalarda oluşan toplam ölüm sayısı
 TDS^- : sabit kaynakları kullanamayan hastalarda oluşan toplam ölüm sayısı
 TSA^+ : antiviral ilaç kullanan hastalarda toplam iyileşme süresi
 TSA^- : antiviral ilaç kullanamayan hastalarda toplam iyileşme süresi
 TSS^+ : sabit kaynakları kullanan hastalarda toplam iyileşme süresi
 TSS^- : sabit kaynakları kullanamayan hastalarda toplam iyileşme süresi

1. GİRİŞ

Tarih boyunca salgın hastalıklar insanlık için önemli problemler oluşturmuşlardır. İnsanlık tarihinin her aşamasında salgın hastalıkların bulunmasına rağmen, bazı dönemlerde insanlığa etkisi dramatik olmuştur. Örneğin, 14. yüzyıldaki veba salgınında Avrupa'nın nüfusu yaklaşık olarak 100 milyon iken, 25 milyon insanın bu salgında hayatını kaybettiği tahmin edilmektedir. Bilim insanları her zaman için etkili bir biçimde salgın hastalıklarla mücadele etme yollarını aramışlardır. Salgın hastalıklara karşı, antibiyotik ilaçlar, aşılar ve diğer mücadele yöntemleri ile zaman zaman başarılar elde edilse de bu tür hastalıkları tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmamıştır. Örneğin tüberküloz ve vebaya neden olan bakteriler zamanla antibiyotik ilaçlara direnç kazanarak yeniden ortaya çıkmışlardır. Liyme hastalığı (1975), lejyoner hastalığı (1976), toksik şok sendromu (1978), AIDS (1981), hepatit C (1989), hepatit E (1990) gibi salgın hastalıklarda yakın tarihte ortaya çıkan salgın hastalıklardır.

Günümüzde sıtma, tüberküloz, cinsel yolla bulaşan hastalıklar ve gribin bir çok çeşidi halk sağlığını halen bir çok ülkede ciddi anlamda tehdit etmektedir. Bu tür salgın hastalıklarla etkin bir biçimde mücadele edebilmek için bir ülkede iyi bir sağlık sisteminin bulunması, yeterli sayıda sağlık personelinin olması (doktor, hemşire, sağlık teknisyeni vb.), yeterli sağlık altyapısına (hastane, ambulans, ilaç, araştırma merkezi vb.) sahip olması ve bütün bunların koordineli bir biçimde çalışması gereklidir. Bir salgın hastalığın erken tespit edilmesi ve yeterli donanıma sahip sağlık ekipleriyle zamanında müdahale edilmesi, bu salgın hastalığın yayılmasını engelleme ve salgına yakalanan hastaların iyileştirilmesini sağlama açısından çok önemlidir. Salgın hastalıklar birçok nedenden dolayı başlayabilir ve bir kısmı çok hızlı yayılma eğilimi gösterir. Ulaşım hizmetlerinin kolay olması nedeniyle insanlar bir yerden başka bir yere çok hızlı ve rahat bir biçimde ulaşırken, bu kişiler belli bir bulaşıcı hastalığa sahip ise, hastalıklarını gittikleri şehirlere, ülkelere hatta okyanus ötesi kıtalara da götürebilirler. İnsanlığı tehdit eden bir çok hastalık dünyanın herhangi bir yerinde ortaya çıkmakta ve bazen bütün dünyayı tehdit eder hale gelebilmektedir. Salgın hastalıklar bazen birden çok ülkeyi etkisi

altına almaları durumunda (pandemi) milyonlarca kişinin ölümüne, sosyal sarsıntılara ve derin ekonomik kayıplara yol açabilir. Dünyanın her yerinin birbiriyle yakın temas ve iletişim içinde olması ve çeşitli alanlardaki bağımlılıklar sebebiyle insan kaybının yanı sıra, bazı salgınlar çok büyük sosyal ve ekonomik sonuçlar doğurmuştur. Örneğin 2003 yılında SARS, etkilenen ülkelerin dışında da hastalanan ve ölen kişi sayısı ile orantısız şekilde çok büyük ekonomik kayıplara ve sosyal sıkıntılara neden olmuştur. (Ulusal Pandemi Planı, 2005)

Genel olarak salgına, bulaşıcı hastalıklar neden olur. Bulaşıcı hastalık, özel bir enfeksiyöz ya da onun toksik ürünlerinin, bir kaynaktan duyarlı bir kişiye doğrudan ya da dolaylı olarak geçmesiyle oluşan, toplumsal bir sağlık sorunudur. Oluşumunda çeşitli nedenler ve etmenler rol oynar. (Aksakoğlu, 1983)

Bulaşıcı hastalıkların, bulaşma yolları genel olarak iki ana başlıkta toplanabilir.

a. Doğrudan Bulaşma : Enfeksiyon etkenin hiçbir araç ya da aracıya gerek kalmadan kaynaktan sağlam kişiye doğrudan geçmesidir. Bazı mikro organizmaların insan bedeni dışında yaşaması çok güç ve kısa sürelidir. Bunların yaşam ve üremelerini sürdürebilmeleri için bir insandan diğerine doğrudan geçmeleri gerekir. Cinsel temasla geçen sifilis, gonore bu hastalıklara örnek olarak verilebilir. Diğer bir çok bakteri, virüs, mantar ve parazit de doğrudan, dokunma, öpme, cinsel ilişki ile bulaşabilir. Üst solunum yollarına yerleşen bir çok etken öksürme, hapşırma, tükürme hatta konuşma ve şarkı söyleme sonucu sağlam kişinin ağız ve burun mukozasına geçebilir. Kızamık virüsü gibi dayanıksız mikro organizmalarda bu yolla bulaşma sıktır. Toprak, su ve gübrenin kaynak olduğu durumlarda, özellikle zedelenmiş ve bütünlüğü bozulmuş cildin doğrudan teması bu ortamlardan etkenin alınmasına neden olur. Doğrudan bulaşmaya diğer bir örnek ise kuduz hastalığında olduğu gibi, kuduz hastası olan hayvanın ısırması ile geçiştir.

b. Dolaylı Bulaşma : Dolaylı bulaşma aşağıdaki yollarla olur. Bunlar;

i. Eşyalar : Etken kaynaktan ayrıldıktan sonra bir madde içinde, ya da üzerinde bir süre yaşamını sürdürüp sonra sağlam kişilere geçebilir. Mendil, yastık kılıfı, çarşaf, çatal-bıçak, tencere, cerrahi aletler, oyuncaklar vb. sıklıkla bulaşma

aracı olur. Su, yiyecek maddeleri, süt ve ürünleri, kan ve serum bu grupta kabul edilmelidir.

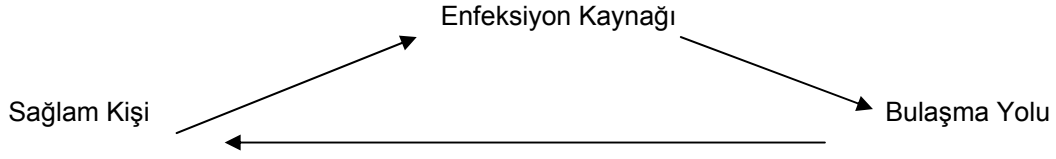
ii. Hava Yolu : Etken, enfekte kişinin solunum yollarından damlacık şeklinde çıkar. 10 mikrondan küçük çaplı damlacıklar burnu aşabilir, 1-5 mikron çapındaki damlacıkların ise alveollere kadar inme şansı vardır. Bir kısım etken, öksürme, hapşırma vb. gibi doğrudan bulaşabilir. Daha dayanıklı olan bir kısım etken ise havada asılı olarak dolaşır, çok yakında bulunmayan kişileri de enfekte edebilir. Kızamıkçık, suçiçeği ve kabakulağa neden olan virüsler bu tür virüslerdir. Daha da dayanıklı olanlar zamanla yere çöktükten sonra bile bulaşıcılıklarını sürdürür, tozlar arasında yaşar ve tozların süpürme, silme gibi nedenlerle havaya kalkmasıyla yeniden organizmaya girebilir. Şarbon ve tüberküloz gibi hastalıklar bu yolla bulaşabilir. Bu gruba toprakta bulunan ve rüzgarla havaya kalkan fungus sporlarını da katmak gerekir.

iii. Vektörler : Bulaşıcı hastalıkların yayılmasında, kaynak yada taşıyıcı olarak en önemli etmenlerden biriside vektörlerdir. Vektörler enfeksiyon etkenlerini iki yolla taşır.

- a. *Mekanik Taşıma* : Vektör daha önce kirlenen materyal üzerine konunca, zararlı olan etkenler ayaklarına, ağızına ve bedenine bulaşır. Sağlam kişiye, onun kullandığı eşyalara veya besinlere temas edince, taşıyıcı vektör etkenleri ya doğrudan ya da bağırsaklardan geçtikten sonra dışkıyla yayar.
- b. *Biyolojik Taşıma* : Vektörün insan yada hayvandan emdiği kanda bulunan (patojen) zararlı etkenler, vektörün kanında ürer yada bir yaşam döngüsü gerçekleştirir. Sağlam kişinin kanının emilmesi sırasında biyolojik taşımanın en tipik vektörleri sivrisinekler, bitler, keneler ve pirelerdir.

Vektörlerle bulaşan başlıca hastalıklar Tablo 1.1’de verilmiştir.

Bulaşıcı hastalıkla savaşta esas, enfeksiyon zincirinin kırılmasıdır. Enfeksiyon zinciri birbirine bağımlı üç ana ögeden oluşur.



Şekil 1.1. Enfeksiyon Zincirinin Ögeleri

Koruyucu olsun, iyileştirici olsun, enfeksiyonu ortadan kaldıracak tüm önlemlerin alınmasında Şekil 1.1'deki şema esas alınmalıdır. Zincir üç noktadan herhangi birinde kırılırsa enfeksiyon yenilebilir. Ancak enfeksiyonu yenmekten çok, tümüyle ortadan kaldırmak amaçlanıyorsa her üç odak birden hedef alınmalıdır.

Tablo 1.1. Vektörlerin bulaştırdıkları hastalıklar (Aksakoğlu,1983)

Vektör	Hastalık
Karasinek ve Hamamböceği	Bağırsak enfeksiyonları Bağırsak Parazitleri Piodermi Hepatit A
Sivrisinekler Anofel Culex ve Anofel	Sıtma Filariasis
Tatarcıklar	Şark çıbanı Kala-Azar Tatarcık yangısı
Bit	Epidemik Tüfus
Pire	Veba Endemik Tüfus
Salyangoz	Şiştozomiazis

Zincirin bir ya da birden çok noktadan kırılabilmesi için gerekli önlemleri belirleyebilmek için zincirin ögelerinin özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Bunlar ;

Sağlam Kişi : Bulaşıcı hastalık etkeni ile önceden teması olsun yada olmasın, enfeksiyona açık kişidir. Kolaylıkla enfeksiyon kaynağı durumuna geçebilir. Etken ile önceden teması varsa bağışıklık kazanmış olabilir, yinede bazı durumlarda, kazandığı bağışıklık yalnızca kendisini hasta olmaktan korur, başkalarına bulaştırmasını önlemez.

Enfeksiyon Kaynağı : Enfeksiyon etkeninin üzerinde yaşadığı, ürettiği, yaşamını sürdürmek için bağımlı olduğu ve duyarlı bir konakçıya geçebilecek şekilde çoğaldığı, insan, hayvan, bitki, toprak yada cansız maddelerin tümü için kullanılan terimdir.

Enfeksiyon kaynağı olması için insanın ya da hayvanın hastalanması gerekmez. Taşıyıcı durumda bulunan enfekte insan ve hayvanlarda kaynaktır.

Bulaşıcı hastalık etkenini ortadan kaldırmak için en etkin yöntem kaynağa yönelmektir. Kaynak insan ise iyileştirme ilkeleri uygulanır. Hayvan ise bazen iyileştirme yöntemleri etkisiz ya da çok pahalı olabilir. Bu durumda enfeksiyon kaynağı olan hayvanları yok etmek gerekir. Kaynağı tamamen ortadan kaldırmak mümkün değilse (veba, tetanoz vb.) bu durumda kaynaktan mümkün olduğunca uzak durulmalıdır.

Bulaşma Yolu : Duyarlı sağlam kişinin enfeksiyon etkeni ile karşılaşmasına neden olan her türlü mekanizmadır. Enfeksiyon etkenin bulaşma yolunu belirlerken katı ve kesin sınırlar koyabilmek her zaman için mümkün değildir. Bulaşma aracının nasıl olduğunun bilinmesi, bulaşıcı hastalıkla savaşta önemlidir. Bunu kestirmek bazen çok kolay, bazen ise olabildiğince güçtür.

Bulaşıcı hastalıklara müdahale hastalığın bulaşma yoluna ve çeşidine göre değişik şekillerde yapılır. Bunlar;

Su ve besinlerle bulaşan hastalıklar çıktıktan sonra yapılacak işlemler: Bu hastalıklar genellikle hızlı seyreder ve çok kişiyi birden etkiler. Su ve besinlere bulaşan hastalıklar çoğunlukla bir kaynaktan çıkar ve çeşitli yollarla peş peşe bir çok kişiye bulaşır. Yayılma geometrik artış şeklindedir. Tifo, basilli dizanteri, kolera, çocuk yaz ishalleri, amipli dizanteri bu yolla yayılan hastalıklardan birkaç tanesidir. Bu tür hastalıklarda öncelikle, hastalığı yayan kaynağın bulunması ve kontrol altına alınması gereklidir. İkinci olarak da hastalıkla ilgili kesin tanının konulması gerekir. Daha sonra iyileştirme çalışmalarıyla hasta kişilerin iyileştirilmesi ve hastaların çevreye enfekte etmesinin önlenmesi aşamaları gelir.

Hava ile bulaşan hastalıklar çıktıktan sonra yapılacak işlemler: Bu gruba giren hastalık etkenlerinin çoğunu virüsler oluşturur. Üst solunum yollarında enfeksiyona neden olan çok sayıda virüs (İnfluenza, parainfluenza vb.) kızamık,

kızamıkçık, suçiçeği, kabakulak, çiçek virüsleri organizmaya hava yolu ile girer. Tüberküloz, boğmaca, difteri bakterileri bu grupta en sık görülen bakterilerdir. Hava yolu ile bulaşan hastalıklar genelde toplumda en sık görülen hastalıklardır, bu nedenle geniş bir alanda yayılarak birçok ülkeyi etkisi altına alabilirler.

Toplum olarak savaşmaları çok güçtür. Virütik olanları gelişmişlik düzeyine pek bakmaz ve çabucak yayılır. Çoğunda savaş esas olarak korunmayla, aşısı bulunanlarda popülasyonun en geniş şekliyle aşılınmasıyla olur.

Temas ile bulaşan hastalıklar ortaya çıktıktan sonra yapılacak işlemler: Bu gruba giren hastalıklar;

- i. Doğrudan Temas ile bulaşanlar
- ii. Cinsel Temas ile bulaşanlar şeklinde ikiye ayrılır.

Doğrudan temas ile bulaşan hastalıklar arasında tetanoz, cüzzam, trahom en yaygın olanlarıdır. Cinsel temas ile bulaşanlara frengi, bel soğukluğu, hepatit B, AIDS gibi hastalıklar örnek olarak verilebilir.

Ciddi toplumsal sorunlar yarattıkları için bu hastalıklarla mücadele çok önemlidir. Hastalığın kaynağı bulunmalı ve iyileştirme yoluna gidilmelidir. Ayrıca, cinsel yolla bulaşan hastalıkların engellenmesinde kişilerin bilinçli olması çok önemlidir. Gerekli eğitim verilerek bu yolla yayılan hastalıklar anlatılmalı ve korunma yöntemleri açıklanmalıdır.

Vektörlerle bulaşan hastalıklar çıktıktan sonra yapılacak işlemler: Bölgesel özelliklere bağlı olarak dünya üzerinde değişik yerlerde vektörlerle bulaşan çok çeşitli ve çok ciddi hastalıklara rastlanır. Ülkemizde vektör ile bulaşan hastalık sıtmadır. İnsandan insana geçiş için bir ara canlıya (vektör) ihtiyaç duyarlar. Birçok hastalıkta etken, geçiş sırasında bu ara canlının biyolojik yapısı içinde gelişir ve ürer. Bazısında ise vektörün ayak, ağız veya üstünde mekanik olarak bulunur. Vektörler değişik coğrafya ve iklim özelliklerinde yaşama güçlüğü çektiklerinden dünyanın belli bölgelerine yerleşmiş durumdadırlar. Hastalıklarda bu nedenle bölgesel dağılışı özellikleri gösterir ve sıklıkla endemik olarak bulunurlar. Savaşta en önemli ilke bulaştırma aracı olan vektörlerin ortadan kaldırılmasıdır. Temizlik alışkanlıkları ve çevre sağlığı burada önemli rol oynar.

1.1. Problemin Tanımı

Stratejik açıdan bakıldığında genel olarak, salgın hastalıklarla mücadele hazırlık aşaması ve müdahale aşaması olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Hazırlık aşaması olası bir salgına karşı yapılacak hazırlık aktivitelerini içermektedir. Hazırlık aktivitelerinin amacı, salgın hastalıkla mücadele için bilgi toplamak ve gerekli önlemlerin alınması için planlar geliştirmektir.

Hazırlık aktiviteleri aşağıdaki aşamalardan meydana gelir.

a. Gözden Geçirme Aşaması

- i. Salgın hastalıktan etkilenecek populasyonun tahmin edilmesi
- ii. Beklenmedik sendromların gözlenmesi, vaka sayısındaki hızlı artışın değerlendirilmesi, hastalığın şiddetinde ve etkisinde beklenmedik artışların tespit edilmesi (sürveyans)
- iii. Salgın hastalığın yayılması ve etkilerinin incelenmesi
- iv. Erken tespit ve izleme yöntemlerinin gözden geçirilmesi

b. Koruyucu ve Önleyici Yöntemlerin Değerlendirilmesi

- i. Güvenli ve etkili bir koruma programının sağlanması (aşı, hijyen vb.)
- ii. Koruma programların mümkün olduğunca hızlı paylaşımının, dağıtımının ve yönetiminin sağlanması
- iii. Koruma programının etkinliğinin ve güvenilirliğinin incelenmesi

c. Tedavi Yöntemleri (İlaçlar , hastanede yataklı tedaviler vb.)

- i. Salgın hastalık esnasında tedavi yöntemlerine ait strateji belirlenmesi
- ii. İlaçları ve kaynakları hızlı ve etkili bir biçimde dağıtacak planların oluşturulması

d. Sağlık Servislerinin Planlanması

- i. Sağlık kaynaklarının hazırlanması ve planlanması
- ii. Sağlık sistemlerinin olası etkiler karşısında yeniden gözden geçirilmesi ve kapasitelerinin değerlendirilmesi

e. Halk Sağlığı Ölçütleri

- i. Okulların kapatılması, karantina ve itlaf gibi yöntemlerin belirlenmesi

- ii. Salgın komşu ülkelerle de ilgiliyse işbirliği yapılması ve ortak önlemler alınması

Salgınla mücadele için hazırlık aşamasından sonra müdahale aşaması gelir. Müdahale aşamasının bileşenleri aşağıda verilmiştir.

- i. Kaynakların sağlık birimlerine, amaçları sağlayacak biçimde dağıtılması
- ii. Hazırlık aşamasında planlanan önlemlerin uygulamaya geçirilmesi,
- iii. Hastalığın değişik yayılım senaryolarına göre alternatif kaynakların sağlanması

Salgına neden olabilecek bulaşıcı hastalık ortaya çıktıktan sonra sağlık ekiplerinin birbirleriyle koordineli bir biçimde hastalığa hızlı müdahale etmesi salgının daha fazla yayılmasını engellemek açısından son derece önemlidir. Aynı zamanda salgın hastalıkların toplum üzerinde oluşturacağı olumsuz etkilerin en aza indirilmesi için sağlık kaynaklarının ihtiyaç duyulan bölgelere en uygun şekilde dağıtılması da oldukça önemlidir. Problemin karmaşıklığı, kaynak paylaşımı kararının rasgele yapılmasından veya kişisel kararlara dayanmasından ziyade belirli bir sisteme ve analitik düşünceye dayandırılmasını zorunlu kılmıştır. Bu durum, araştırmacıları, kaynak tahsisi problemi ve salgın hastalıkların modellenmesinde yöneylem tekniklerinin kullanılması konusunda teşvik edici olmuştur.

Bu çalışmada, salgın hastalıkların olumsuz etkilerini en aza indirmek için, sağlık kaynaklarının çok amaçlı matematiksel model yardımıyla paylaşımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen model, genel bir model olmakla birlikte, örnek çalışma hastalığı olarak “pandemik influenza” hastalığı dikkate alınmıştır. Influenza her yıl dünyanın değişik yerlerinde ortaya çıkmaktadır. Bu hastalığın özelliği çabuk mutasyona uğrayabilmesi ve mutasyona uğradığında vücudun bağışıklık kazanamaması durumunda, geçmişte örnekleri görülebileceği gibi çok zararlı etkilerinin olmasıdır.

1.1.1. İnfluenza ile Ulusal Mücadelede Yapılanması

Hiç kimsenin bağışık olmadığı yeni bir influenza alt tipi ortaya çıktığında, influenza salgını görülür. Bu dünya çapında birden fazla aynı anda epidemi görülmesi ve çok sayıda hastalık ve ölüm demektir.

Her yıl ortaya çıkan grip salgınları influenza A ve B virüsleri ile oluşur. Bu epidemilerin nedeni (belli bir bölgedeki salgın), daha önce yaşadığımız enfeksiyonlar ya da yaptırdığımız aşılar ile artık bağışık hale gelmiş influenza virüslerindeki çok küçük değişimlerdir. Sadece influenza A pandemiye (dünya çapında salgına) yol açar. İnfluenza A virüsünün yüzey proteinlerinde bir ya da ikisinde birden önemli bir değişiklik olduğunda, artık bu yeni virüse karşı hiç kimse bağışık değildir. Bu virüsün kişiler arasında bulaşma kapasitesi varsa, pandemi gelişebilir demektir.

20. yüzyıldaki influenza pandemileri milyonlarca kişinin ölümüne, sosyal sarsıntılara ve derin ekonomik kayıplara yol açmıştır. İnfluenza konusunda uzman olan kişi ve kuruluşlar, muhtemel bir pandemiden söz etmektedirler. Ülkemizde de bu ciddi tehdit dikkate alınmış ve bu hastalığa karşı pandemi planının hazırlanması amacıyla 11-12 Temmuz 2005 tarihinde Ankara'da bir toplantı gerçekleştirilmiştir. Toplantıya Sağlık Bakanlığı temsilcileri, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı temsilcileri, Sağlık Bakanlığı Eğitim ve Araştırma Hastanelerinden ve Üniversitelerden halk sağlığı uzmanları, enfeksiyon hastalıkları ve klinik mikrobiyoloji uzmanları, pediatrik enfeksiyon uzmanları, aşı ithal eden firma temsilcileri, antiviral ilaç ithal eden firma temsilcileri katılmışlardır. Toplantıda, pandemi planının içeriği ve başlıkları tespit edilmiştir.

Ulusal influenza pandemi planı, Dünya Sağlık örgütünün belirlediği alarm düzeylerinin tespiti ile başlar. Bunun için ülkemiz 14 bölgeye ayrılmış ve bu bölgelerden belli periyotlarla ulusal influenza gözetim komitesine hastalıkla ilgili veriler gelmektedir. Dünya sağlık örgütünün belirlediği alarm düzeyi altı evreden oluşmaktadır.

Evre 1: İnsanlarda yeni influenza virüs alt tipleri saptanmamış olmakla birlikte, hayvanlarda bir insan enfeksiyonuna neden olmuş influenza virüsü alt tipi olabilir.

Evre 2: İnsanlarda yeni influenza virüs alt tipleri saptanmış ve dolaşımda bir hayvan influenza virüsü alt tipide mevcuttur. İnsan hastalığı için önemli bir risk söz konusudur.

Evre 3: İnsanlarda yeni influenza virüs alt tipi ile enfeksiyonlar olmakla birlikte, insandan insana yayılım yok veya ancak yakın temasa bağlı nadir yayılım vakaları söz konusudur.

Evre 4: İnsandan insana kısıtlı bulaşma olan kümeler olmakla birlikte, yayılımın oldukça bölgesel olması virüsün insanlara tam adapte olamadığını düşündürmektedir.

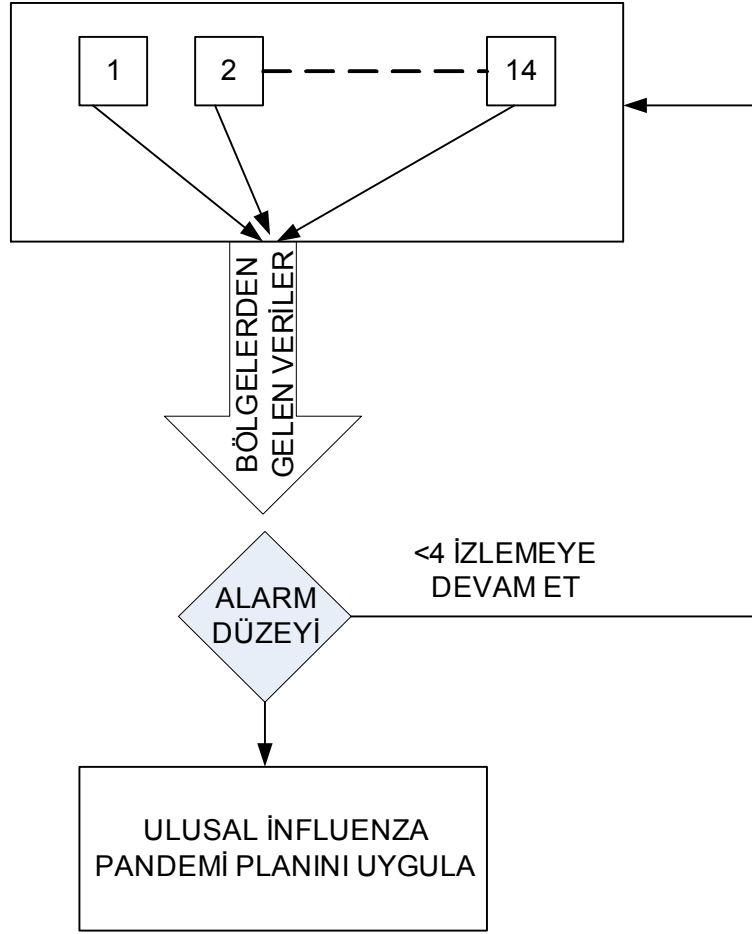
Evre 5: İnsandan insana bulaşma olan büyük kümeler mevcut. Ancak insandan insana yayılım hala bölgesel olduğundan, bu durum virüsün insanlara giderek artan ölçüde adapte olduğunu, ancak henüz tam bulaşıcı olmadığını düşündürmektedir.

Evre 6: Salgın genel toplumda artmış ve devam eden bulaşma vardır.

İnfluenza kontrolünün etkili olmasında ana elemanlardan biriside gözetimdir. Gözetim, salgınların erkenden anlaşılmasını sağlar. Salgın dönemlerinde yeni virüs zincirlerinin ve kontrol önlemlerinin gösterilmesinde ve kaynakların uygun kullanımının sağlanmasında gözetim çok önemlidir.

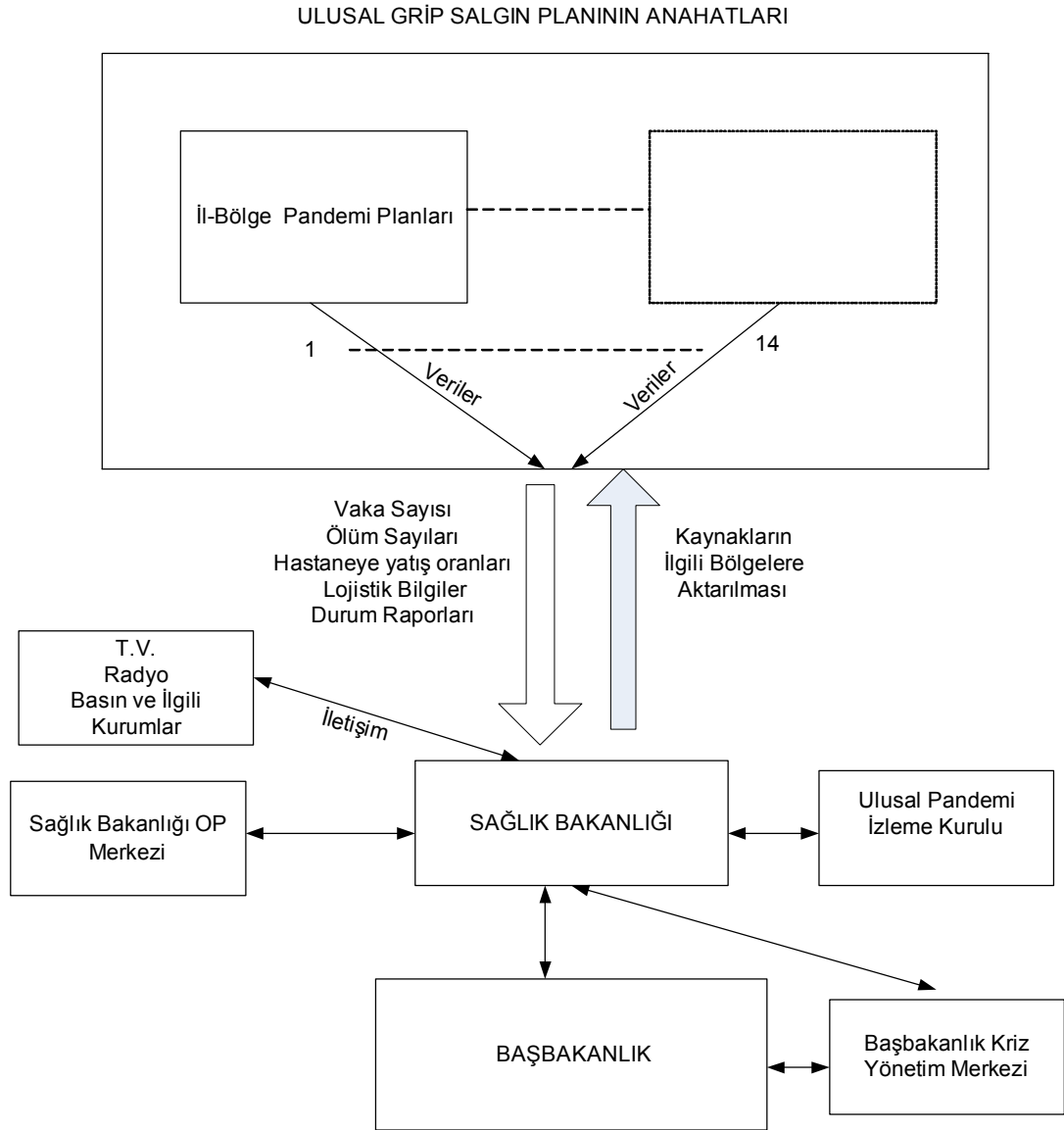
Günümüzde 85 ülkede bulunan 114 Ulusal İnfluenza Merkezi, Dünya Sağlık Örgütü ile işbirliği yaparak, küresel influenza programını yürütmektedir. Bunlardan Atlanta-A.B.D., Londra-İngiltere, Melbourne-Avustralya, Tokyo-Japonya'da bulunan 4 laboratuvar, influenza referans laboratuvarı olarak görev yapmaktadır. Bu laboratuvarlar FLUNET isimli bir internet ağı ile birbirine bağlıdır ve dünyadaki influenza hareketini düzenli olarak incelemektedir.

Alarm Düzeyinin 4 ve 4'ten büyük olması durumunda, pandemi riski büyük olduğundan, ulusal influenza pandemi planının 4. seviyesinde bulunan kriz yönetimi devreye girecektir. Bu devrenin akış şeması ise Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Ulusal İnfluenza Gözetim Planı Akış Şeması

Ülkemizde influenza salgını olması durumunda, bu salgınla mücadele Sağlık Bakanlığının komuta ve kontrolünde Başbakanlık Kriz Yönetim Merkezinde tarafından yapılacaktır. Bu yapılanmaya göre, ülkemiz gözetimde olduğu gibi 14 bölgeye ayrılmıştır. Ulusal influenza planının ana hatları şekil 1.3’de verilmiştir.



Şekil 1.3. Ulusal İnfluenza Planının Ana hatları

Şekilde verilen ulusal influenza pandemi planının ana hatları aşağıda daha detaylı açıklanmıştır. Bunlar ;

1. Komuta Kontrol: Sağlık Bakanlığı, pandemi durumunda ülke çapında organizasyon ve koordinasyondan sorumlu temel kuruluştur.
2. İletişim: Pandeminin ülkemizdeki etkilediği konusundaki açıklama sağlık bakanlığı tarafından yapılacaktır.

3. Hastalığın İzlenmesi: Vaka ve ölüm sayılarının belirlenmesi, hastaneye yatış sayıları, durum raporları ve lojistik bilgileri içeren bir izleme sistemi oluşturulacaktır.
4. Vakaların Araştırılması, Tedavisi, Toplumun Korunması: Pandeminin başladığını belirleyebilecek laboratuvarların sayısı ile niteliklerinin artırılması için çalışmalar yapılacaktır. Hastalar için tedavi protokollerinin belirlenmesi, risk altında olan kişilerin aşılınması gibi faaliyetleri içerir.
5. Hizmetlerin Devamlılığının Sağlanması: Sağlık kuruluşlarının hasta kapasiteleri değerlendirilecektir. Artan hasta kapasitesini karşılayacak seyyar hastane veya kamu binalarının polikliniklere dönüştürülmesi gibi uygulamalar belirlenmiştir. Sağlık personelinin en verimli şekilde çalışması için standartlar belirlenecektir.
6. Araştırma ve Değerlendirme: Pandemi sırasında elde edilen verilerden ve uygulamaların değerlendirilmesinden, oluşturulacak yeni acil durum planı için gerekli olan bilgiler alınmalıdır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Yapılan bu çalışmada salgın hastalıkların neden olacağı ölümler ve hastalığa yakalanacak kişi sayısı gibi olumsuz toplumsal ve ekonomik etkileri en aza indirmek için, sınırlı sağlık kaynaklarının ihtiyaç duyulan bölgelere en uygun şekilde dağıtılması problemi ele alınmıştır. Salgın hastalıklar esnasında ciddi önlemler alınmazsa, bir çok kişinin salgın hastalıktan etkilenmesi, toplu ölümlerin oluşması ve ciddi toplumsal sorunların oluşması kaçınılmazdır.

Salgın hastalıklarla etkili bir biçimde mücadele edebilmek için ;

- i. Bir salgın esnasında uygun koruma (önleyici), tedavi ve bakım planları geliştirmek,
- ii. Eldeki kaynakları etkin bir biçimde yönetebilmek için uygun kaynak yönetimi planları hazırlamak
- iii. Sağlık birimleri arasında uygun kaynak paylaşımı sağlamak gereklidir.

Bu çalışmada, salgın hastalıkların yukarıda belirtilen olumsuz etkilerini en aza indirmek için, sağlık kaynaklarının çok amaçlı matematiksel model yardımıyla paylaşımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelde, sağlık kaynakları tüketilebilir sağlık kaynakları (aşı, antiviral ilaç vb.) ve sabit sağlık kaynakları (ventilatör cihazı, hastane yatak kapasiteleri vb.) olarak iki gruba ayrılmıştır. Çalışma, sınırlı bütçenin, ihtiyaç duyulan bölgelerde yer alan farklı populasyon gruplarına koruyucu tedavi (aşı vb.) ve tedavi (antiviral ilaç vb.) giderlerini karşılayacak biçimde dağıtılması esasına dayanmaktadır.

Önerilen model dört farklı performans kriterini aynı anda minimize eden, çok amaçlı bir matematiksel programlama yöntemini kullanmaktadır. Bu performans kriterleri, oluşacak hasta sayısının minimize edilmesi, oluşacak ölüm sayısının minimize edilmesi, iyileşme süreleri toplamının minimize edilmesi ve harcanan bütçenin minimize edilmesi şeklindedir. Problem, çok amaçlı optimizasyon modeli çözüm tekniklerinden birisi olan hiyerarşik metodla çözülmüştür. Hiyerarşik metod'da öncelik sıraları, ölüm sayısının minimize edilmesi, oluşan hasta sayısının minimize edilmesi, iyileşme süreleri toplamının minimize edilmesi ve harcanan bütçenin minimize edilmesi şeklinde sıralanmıştır.

Önerilen modelin uygulama çalışmasını yapmak için , örnek hastalık olarak tarihte bir çok kez ortaya çıkan, hızlı yayılan, aynı anda birden fazla ülkeyi etkisi altına alan bir hastalık olan pandemik influenza seçilmiştir. Çalışmada, ülkemizde çıkabilecek bir pandemik influenza salgınında, değişik senaryolar altında ölüm sayısı, hasta sayısı, iyileşme süreleri toplamı hakkında tahminlerde bulunulmuştur. Ayrıca ihtiyaç duyulacak yoğun bakım yatak sayıları, ventilatör sayıları ve hastane yatak sayıları belirlenmiştir.

1.3. Çalışmanın Kapsamı ve Varsayımlar

Çalışmada ele alınan kaynak paylaşımı problemi aşağıdaki kapsamda ele alınmıştır.

1. Salgın hastalık türü olarak, mevsimsel olarak ortaya çıkan ve yayılımı hızlı olan hastalık türü ele alınmıştır.

2. Önerilen modelde, sağlık kaynakları tüketilebilir sağlık kaynakları (aşı, antiviral ilaç vb.) ve sabit sağlık kaynakları (ventilatör cihazı, hastane yatak kapasiteleri vb.) olarak iki gruba ayrılmıştır.
3. Stratejik planlamayı kolaylaştırmak için salgının görülebileceği alan bölgelere ayrılmıştır.
4. Her bir bölgede yer alan populasyon, hastalıktan etkilenme derecesi veya risk durumu dikkate alınarak alt populasyon gruplarına ayrılmıştır. Her bir populasyon grubunun gereksinim duyacağı tedavi miktarı, koruyucu tedavi yada tedaviye vereceği yanıt derecesi, hastalığa yakalanma riski gibi parametreler farklı olabilmektedir. Bu farklılıkların modele yansıtılması önemlidir.

Çalışmada, belirli bir bütçenin ihtiyaç duyulan bütün bölgelere ve bu bölgelerde yer alan populasyon gruplarına koruyucu tedavi ve antiviral ilaç giderleri için paylaşımı problemi dikkate alınmıştır.

Çalışmada ele alınan sisteme ait önemli varsayımlar aşağıda verilmiştir.

1. Salgın hastalığın başlangıcında eldeki mevcut kaynakların miktarı ve niteliği bilinmektedir.
2. Salgın hastalığın tedavisinde kullanılan ilaçların ve aşılardan, salgın periyodu boyunca maliyeti sabittir.
3. Hastalığın tedavisi için gerekli olan sabit ve tüketilebilir kaynaklar üreticilerden bütçeyi aşmayacak şekilde istenilen miktarda satın alınabilir.
4. Aşının, hastalığa karşı koruyucu etkisi bilinmektedir ve sabittir.
5. Hastalığın tedavisinde kullanılan ilaçların, hastaları iyileştirme oranları bilinmektedir ve sabittir.
6. Hastalık için ayrılan bütçe sabittir.

1.4. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu

Çalışmada takip edilecek adımlar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

1. *Problemin formülasyonu* : Problem parametreleri, karar değişkenleri ve hedefleri tanımlanacaktır.

2. *Literatürün değerlendirilmesi* : Önceki çalışmalar gözden geçirilerek, literatürdeki eksiklikler belirlenmiştir. Buradan yola çıkılarak, bu çalışmanın hangi orijinal katkıları yapabileceği belirlenecektir.
3. *Model geliştirme* : Önerilen, kaynak paylaşımı yaklaşımına ait, çok amaçlı matematiksel model geliştirilecektir.
4. *Modellerin geçerliliği ve uygulaması* : İlgili literatürden ve T.C. Sağlık Bakanlığından alınan verilerle modelin geçerliliği test edilecektir.
5. *Duyarlılık analizleri* : Modellerde öngörülen veya tahmin edilen parametrelerdeki değişimlerin optimum çözümü nasıl etkilediği incelenecektir. Böylece, modelin hangi parametrelere duyarlı olduğu belirlenecektir.
6. *Sonuçların değerlendirilmesi ve sonraki çalışmalar* : Çalışmanın özeti yapılarak en önemli sonuçlar vurgulanacak ve çalışmanın devamı için önerilerde bulunulacaktır.

Tezin bundan sonraki bölümlerinde sırasıyla, ikinci bölümde önceki çalışmalar incelenmiş ve literatürdeki eksiklikler belirtilmiştir. Üçüncü bölümde, önerilen çok amaçlı matematiksel model detaylı bir şekilde açıklanarak, modelin geliştirilme aşamaları gösterilmiştir. Dördüncü bölümde, geliştirilen modeller değişik veri kümeleri ile test edilmiştir. Beşinci bölümde, çalışmada elde edilen en önemli sonuçlar sıralanmış ve sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

1.5. Çalışmanın Beklenen Özgün Katkısı

Çalışmanın beklenen orijinal katkıları aşağıda belirtilmiştir;

1. Literatürde AIDS başta olmak üzere sıtma, diyabet gibi birçok hastalık için “kaynak tahsisi problemi” irdelenmiştir. Ancak pandemik influenza ile ilgili bu alanda çalışma bulunmamaktadır.
2. Çalışma kapsamında ilk defa hastalığın atak hızı, koruyucu aşının etkinliği gibi parametreler dikkate alınarak hastalığın yayılımı modellenmiş ve buna bağlı olarak kaynak tahsisi gerçekleştirilmiştir.

3. Populasyon grupları yaş kategorilerine ve risk gruplarına göre altı sınıfa ayrılmıştır. Bu gruplar arasında tedavinin ve koruyucu tedavinin etkinliğinin, sabit kaynaklara ihtiyaç duyma oranlarının farklı olduğu bilinmektedir. Modele populasyonun bu şekilde gruplar halinde verilmesinin en önemli avantajı gerçek hayatta görülen bu farklılıkların model yansıtılıp daha gerçekçi çözümlerin elde edilmesidir.
4. Hasta sayısının, ölüm sayısının, toplam iyileşme süresinin ve maliyetim minimizasyonu gibi hedefler öncelikle tek tek ele alınmış, sonrasında aynı model içerisinde çok kriterli olarak çözülmüştür.
5. Ülkemizdeki gerçek nüfus değerleri ve mevcut kaynak miktarları ilgili birimlerden alınarak, bu veriler ışığında ülkemiz için vaka çalışması yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde salgın hastalıkların önlenmesinde “kaynak paylaşımı problemi” ne yönelik çalışmalar incelendiğinde, birbiriyle bağlantılı iki ögeyi içerdiği görülmektedir. Bunlar, salgın hastalıkların yayılımı ile ilgili özellikler ve kaynak paylaşımında dikkate alınan stratejileri içeren özelliklerdir. Her hastalığın yayılım özelliklerinin farklı olması nedeniyle, kaynak paylaşımı probleminde araştırmacılar modelleme çalışmalarını yaparken mevcut hastalığın kendine ait özelliklerini dikkate almışlardır. Bu nedenle yapılan modelleme girişimleri genel olmaktan ziyade spesifik bir hastalık veya hastalık grubuna aittir. Örneğin AIDS hastalığı için geliştirilen bir modelin kuş gribi için kullanılması mümkün değildir. Çünkü AIDS hastalığının bulaşma yolları, yayılım periyodu, kuluçka dönemi, hastalık süresi, müdahale yöntemleri gibi hastalığa ait özellikler kuş gribi hastalığının özelliklerinden tamamen farklıdır.

Bu durum dikkate alınarak, mevcut problem için literatürün sınıflandırılması benzer hastalık grupları için yapılmıştır. Kaynak tahsisi problemi ile ilgili çalışmalar, uzun yıllar boyunca etkisi süren AIDS, Hepatit B gibi salgın hastalıklar ve belirli zaman periyotlarında ortaya çıkma ihtimali yüksek ve yayılımı o dönem boyunca hızlı olan pandemik influenza, SARS gibi salgın hastalıklar olarak iki ana başlıkta toplanmıştır.

2.1. Etkisi Uzun Yıllar Süresince Görülebilen Salgın Hastalıklar İle İlgili Kaynak Paylaşımı Modelleri**2.1.1. Dinamik Bölümsel Modeller**

Konu ile ilgili geniş çaplı literatür taramaları neticesinde yayılım modellerini de barındıran kaynak tahsisi modelleme çalışmalarının özellikle AIDS hastalığında yoğunlaştığı görülmektedir. Bunun dışında, az da olsa şeker hastalığı, sıtma, tüberküloz hastalıkları ile ilgili çalışmalarda bulunmaktadır.

HIV salgınında kaynak tahsisi modellemesi ile ilgili çalışmaların büyük bir çoğunluğu değişik varsayımlar altında “dinamik bölümsel modelleme” girişimlerinden oluşmaktadır. Dinamik bölümsel modeller, genel olarak HIV yayılımının zaman içerisinde popülasyondaki değişimlerinin modellenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Bu alanda yapılan ilk çalışmalardan birisi Richter(1996) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonlu zaman dilimi içerisinde hastalığa yakalanmış kişi sayısını minimize etmek için farklı popülasyonlar arasında sınırlı kaynakların optimal tahsisini belirlemek amacıyla optimizasyon teknikleri ile epidemik modellemeyi kombine etmiştir. Herhangi bir popülasyon için öncelik verilmemiş, bütün popülasyonların hayatta kalmasının eşit öneme sahip olduğu ve popülasyonların salgının farklı aşamalarında olabileceği durumları dikkate alınmıştır. Tek popülasyon durumu modeli çözülmüş ve “m” bağımsız popülasyon durumu için model geliştirilmiş ve analiz edilmiştir. Kaynakların hastalığın yayılım oranını minimize etmek için kullanıldığı varsayılmıştır. Her bir popülasyondaki salgın, SI (simple susceptible infective) salgın modeli, önemli istatistikler (popülasyona giriş ve çıkış), sabit popülasyon büyüklüğü ile tanımlanmıştır. Hastalığın kuluçka süresinin olmadığı ve bir kez enfekte olmuş kişinin bu hastalığı sürekli yayabildiği varsayımları yapılmıştır. Ayrıca “z” bağımsız popülasyon için “z” şeklinde maliyet-etkinlik” eğrisinin olduğu durum incelenmiştir. Z şeklinde maliyet etkinlik eğrisinin gerçekçi bir yaklaşım olması nedeniyle önemli olduğu vurgulanmıştır. Savaş gazileri hastanesi popülasyonu için HIV salgınında kaynak tahsisi modelinin geliştirilmesi ile ilgili bir uygulama gerçekleştirilmiş ve optimal kaynak tahsisi bulunmuştur (Richter, 1996).

Bu çalışmayı takiben Kaplan ve Pollack (1998), tarafından, HIV enfeksiyonu sayısını minimize edecek şekilde bütçe kısıtlarını dikkate alan bir kaynak tahsisi modeli oluşturulmuştur. Ayrıca mevcut kuralların optimal olmasını sağlayacak kesin üretim fonksiyonları türetilmiştir. Genel olarak önerilen modelde önceden belirlenmiş “n” adet alt grup bulunmaktadır. Ayrıca hiçbir yatırım yapılmaması durumunda i.grupta meydana gelebilecek yeni enfeksiyonların oranı “ I_i ” ile tanımlanmış ve koruyucu tedavi için i. gruba ayrılacak bütçe miktarı x_i ile temsil

edilmiştir. x_i bütçenin ayrılmasının i . grupta $100 \cdot \alpha_i(x_i)$ % kadar enfeksiyonu engellediğine inanılmıştır ($0 \leq \alpha_i(x_i) \leq 1$). Çalışmalarında 65 planlama ve mücadele grubuna ayrılacak bütçe miktarını yukarda belirtilen kriterleri dikkate alan bir matematiksel model geliştirmişlerdir.

Bir diğer çalışmada, iğne kullanıcılarını içeren popülasyon ve iğne kullanıcısı olmayanları içeren popülasyon için belirli bir zaman periyodu boyunca HIV önleyici programlar arasında kaynak tahsisi modellemesi gerçekleştirilmiştir (Richter ve ark, 1999). Her iki popülasyon göz önüne alınarak HIV yayılımı için bir dinamik model geliştirilmiş ve önleyici programlara yapılan yatırımlar ile HIV yayılımındaki azalma arasındaki ilişki tahmin edilmiştir. Üç önleyici program dikkate alınmıştır;

1. Rutin danışmanlık ve HIV testi
2. Yoğun danışmanlık ve HIV testi
3. Metadone tedavisi ile ilişkili danışmanlık ve HIV testi

Beş yıllık zaman periyodu boyunca yeni HIV enfeksiyonu sayısını azaltacak şekilde önleyici programlar ve popülasyonlar arasında kaynak tahsisini belirlemişlerdir. Farklı mevcut bütçe miktarlarını göz önüne alarak modeli çalıştırmışlar ve sonuçları yorumlamışlardır. Çalışmada yapılan varsayımlar şunlardır;

1. İki hasta popülasyonu dikkate alınmıştır ve bu popülasyonlar arasında çapraz enfeksiyon olmayacağı varsayılmıştır.
2. Herhangi bir popülasyona yapılan yatırım c_i ise mevcut popülasyonda yayılımın $\lambda_i c_i$ olduğu varsayılmıştır. (λ_i : yayılım oranı).

Model bir milyon dolarlık bütçe ile çalıştırılmıştır. Düşük riskli damardan ortak iğne kullanıcıları popülasyonuna 309.400\$ lık bütçe ayrılması neticesinde HIV enfeksiyonuna yakalanan toplam kişi sayısının minimize edildiği görülmüştür. Bu tahsis mevcut popülasyonda yer alan her bir bireye rutin HIV testi ve yoğun HIV testi olanağı sunmaktadır. Orta riskli damardan ortak iğne kullanıcıları popülasyonu için ise 306.360\$ lık bütçenin ayrılması ile amaç fonksiyonu minimize edilmiştir. Geri kalan bütçe ise damardan ortak iğne kullanmayan popülasyonuna dağıtılmıştır. Bu değer 5 yıl boyunca toplam 106 vakanın engellenmesine neden olacağı varsayımı yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ayrılan bütçeye oldukça duyarlıdır. Bu nedenle farklı bütçe aralıkları için farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Çalışmanın eksik yönleri aşağıda belirtilmiştir;

1. Ortak iğne kullananlar ve kullanmayanlar popülasyonları arasında hastalık bulaşma riski olmadığı varsayılmıştır. Eğer bu popülasyonlar arasında önemli bir geçiş durumu söz konusu ise ortak iğne kullanan kişiler popülasyonuna yapılacak yatırımın getirisi mevcut sonuçlardan daha yüksek olacaktır.
2. HIV önleyici programların ekonomik ve sağlık çıktıları ile ilgili net bir değerlendirme henüz yapılmamıştır. Ancak, çalışmada maliyet fonksiyonunun oluşturulabilmesi için en uygun veriler kullanılmıştır ve duyarlılık analizi sonuçların esnek olduğunu göstermiştir.

Benzer şekilde, Zaric'in (2000) çalışmasında iğne kullanıcısı olan ve olmayan kişilerin popülasyonunda HIV yayılımını tanımlamak için basit bir epidemik model ortaya konmuştur. HIV'in engellenmesi için kaynak tahsisi problemine tek periyotlu model uygulamıştır. Karar vericinin HIV'in engellenmesi için gerekli bütçenin: iğne değişim programları, genişletilmiş metadon kapasitesi, kondom bulunabilirliği programlarına ayrılması gerektiği varsayılmıştır. İki amaç fonksiyonu göz önüne alınmıştır. Kazanılan kaliteli yaşam yıllarının maksimize edilmesi ve yeni HIV enfeksiyonları sayısının minimize edilmesi şeklinde iki senaryo oluşturulmuştur. İlk senaryoda , iğne kullanıcıları için HIV yaygınlığının %40 olduğu durum, diğer senaryoda ise %5 olduğu durum göz önüne alınmıştır.

Doğrusal olmayan kaynak tahsisi probleminin formülasyonu yapılmış ve çözülmüştür. Bu metot kullanılarak elde edilen sonuç genel kabul görmüş kaynak tahsisi kuralları kullanılarak elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Birçok model parametresi için duyarlılık analizi yapılmış ve bu sayede hangi koşullar altında hangi yatırımların yapılması gerektiği konusunda bakış açısı kazanılmıştır.

Daha sonra kaynak tahsisi birçok periyodu içerecek şekilde genişletilmiştir. Çok periyotlu modelde, karar verici sınırlı bütçeyi her bir periyodun başından itibaren “n” periyot süresince tahsis etmektedir. Bu problemin analiz edilmesi için tek periyotlu modeldeki yaklaşımlar kullanılmıştır. Genel durumlar için, amaç

fonksiyonunun ne konveks ne de konkav olduğu ve bu nedenle problemin sezgisel yöntemler kullanılarak çözülmesi gerektiği görülmüştür. Çok periyotlu problemin çözülebilmesi için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir (Zaric, 2000) .

Eroin kullanan 18-24 yaş arası yetişkinlerde, metadon tedavisinin HIV enfeksiyonun engellenmesindeki rolünü incelemek amacıyla tedavinin maliyet etkinliği Zaric ve Ark. (2000) tarafından değerlendirilmiştir. Analiz 18-24 yaş arası yetişkinlerde, HIV salgınının dinamik bölümsel modellemesine dayanmaktadır. Populasyon, enfeksiyonun durumu ve risk gruplarına göre dokuz bölüme ayrılmıştır. Populasyona girişin 17 yaşında enfekte olmamış ve uyuşturucu almayan kişiler, çıkışın ise 44 yaşında veya ölüm nedeniyle olduğu varsayılmıştır. Populasyonun dinamikleri matematiksel olarak doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerle ifade edilmiştir. Önleyici tedavinin sağlık faydaları ve engellenen HIV enfeksiyonları kazanılan kaliteli yaşam yılları ile ölçülmüştür.

Tedavinin maliyet etkinliği ile ilgili çalışmaların yanı sıra, HIV salgının kontrolü için önleyici programlar arasında kaynak tahsisi için de modeller geliştirmiştir (Zaric ve Brandeu, 2001a; Zaric ve Brandeu 2001b). İlk çalışmada, salgının modellenmesi için yatırımların salgını tanımlayan bir yada birden fazla parametreyi değiştirebildiği “genel bölümsel salgın modeli” kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu “kalitesi ayarlanmış yaşam yıllarını” maksimize edecek yada engellenmiş enfeksiyon sayısını minimize edecek şekilde formüle edilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada yapılan yatırım ile elde edilen kazancı gösteren üretim fonksiyonu doğrusal olmayacak şekilde tanımlanmıştır. Basit salgın modelleri ve doğrusal üretim fonksiyonları gibi özel durumlar için optimum kaynak tahsisi elde edilmiştir. Daha karmaşık yayılım modelleri ve daha genel üretim fonksiyonları için ise sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Sonuçların analizi neticesinde, kalitesi ayarlanmış yaşam yıllarının amaç fonksiyonu olarak kullanılması neticesinde açgözlü (greedy) çözümün birçok durum için uygun olduğu gösterilmiştir. Fakat engellenen enfeksiyon sayısının maksimize edilmesi dikkate alındığında uygun çözüm olması için üretim fonksiyonunun doğrusal olması ve zaman aralığının kısa olması gerektiği ortaya konulmuştur.

Çalışmanın bazı eksik yönleri şu şekilde açıklanmıştır;

1. Bütçenin zaman diliminin başında tahsis edildiği ve önleyici programların etkilerinin sürekli olduğu varsayılmıştır. Fakat bazı müdahaleler zaman içerisinde etkisini yitirebilir.
2. Salgını önleyici programların üretim fonksiyonlarının bilindiği, monoton olduğu ve hastalığın yayılımına bağlı olmadığı varsayılmıştır(Zaric ve Brandeau, 2001a).

Aynı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen bir sonraki çalışmanın amacı ise, HIV’i önlemek için ayrılan bütçenin optimal tahsisini sağlamak ve farklı tahsis metotlarının sağlık çıktıları açısından sonuçlarını araştırmaktır. Yazarlar, HIV salgını için belirli periyotta kalitesi ayarlanmış yaşam yıllarını maksimize edecek yada engellenen enfeksiyon sayısını maksimize edecek şekilde bütçenin optimal tahsisini sağlayacak kaynak tahsisi modeli ortaya koymuşlardır. Model, salgın hastalık yayılım modellerinin optimizasyon teknikleri ile kombine edilmesine dayanmaktadır. Kullanılan kaynak tahsisi modelinin temelleri, doğrusal olmayan yayılım dinamiklerine, popülasyonlar arası etkileşime ve doğrusal olmayan üretim fonksiyonlarına dayanmaktadır. Yani, her bir önleyici program için, o programa yatırılan miktar ile riskteki değişim arasındaki ilişkiyi gösteren üretim fonksiyonları doğrusal olmayacak şekilde tanımlanmıştır. Modelde bütçe, iğne kullanıcısı olan ve olmayan iki popülasyon için üç farklı önleyici programa tahsis edilmektedir. Çalışmada göz önüne alınan üç tip önleyici programlar; İğne değişim programları, Metadon tedavisi programları, prezervatif bulunabilirliği’dir. Metodone tedavisi için üretim fonksiyonu doğrusal tanımlanmıştır. Fakat iğne değişim programı ve prezervatif bulunabilirliği programları için üstel fonksiyonlar varsayımı yapılmıştır. Kalitesi ayarlanmış yaşam yıllarını hesaplayabilmek için, bireylerin sağlık seviyelerine göre çarpanlar kullanılmıştır. İğne kullanıcısı olmayan ve HIV enfeksiyonu bulunmayanlar için bu değer 1, AIDS olmayan ancak HIV enfeksiyonu olanlar için 0.80, AIDS olanlar için 0.53 olarak ele alınmıştır. Kullanılan salgın modelinin kapalı formunun çözümünün bilinmemesi nedeniyle, optimum kaynak tahsisi için tahmin modelleri ortaya konmuştur. Çok kısa zaman periyodu ele alındığında, bu tahmin yaklaşımları kullanılarak elde edilen çözümün optimum çözüme çok yakın olduğu görülmüştür.

Çözüm neticesinde, yüksek yayılımın olduğu populasyonlarda her iki amaç fonksiyonu için hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir. Her iki amaç fonksiyonunda da, bütçenin yaklaşık 2/3'ünün iğne değişim programına, 1/3'nün ise prezervatif bulunabilirliği programına tahsis edilmesi sonucu elde edilmiştir. Düşük yayılımın olduğu populasyonda ise, yatırım yapılmasına karar verilen programlar farklı çıkmıştır. Model, iki yıllık zaman dilimi için çalıştırılmıştır ancak duyarlılık analizi üç yıllık süre için yapılmıştır. Bulunan kaynak tahsisi sonuçlarının ilk iki yılla benzer olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmanın eksik yönleri şu şekilde sıralanmıştır;

1. HIV önleyici programların üretim fonksiyonları ile çok az bilgiye rastlanmaktadır. Çalışmada üstel ve doğrusal üretim fonksiyonları varsayımı yapılmıştır.
2. Çalışmada yalnızca üç tane önleyici program göz önüne alınmıştır.
3. Önerilen tahmin metodu yalnızca kısa dönemli durumlarda doğru sonuç vermektedir (Zaric ve Brandeu, 2001b).

Tekrar aynı araştırmacılar yukarıda bahsedilen modellerini, salgın kontrolü için sınırlı bütçenin çoklu zaman periyodu boyunca çoklu popülasyonlara atanmasını sağlayacak şekilde genişletmişlerdir (Zaric ve Brandeau, 2002). Karar vericinin kaynakları “n” farklı zaman periyodu boyunca, her bir periyotta “m” farklı müdahaleye aktarabileceği varsayılmıştır. Kaynak tahsisinin her periyodun başında gerçekleştirildiği ve bir sonraki periyodun başına kadar gerçekleştirilemeyeceği kabul edilmiştir. İki muhtemel amaç göz önüne alınmıştır. Birinci amaçta, kalitesi ayarlanmış yaşam yıllarını maksimize etmek, ikinci amaçta ise salgın kontrol programlarında sıklıkla kullanılan engellenmiş enfeksiyonları maksimize etmektir. İki periyotlu çoklu bağımsız popülasyon ve önleyici programa yapılan yatırım ile yatırım sonrasındaki riskli davranıştaki değişimin doğrusal olduğu bazı özel durumlar için modelin çözümü yapılmıştır. Bu çözümlerin bazı popülasyonlara mümkün olduğu kadar çok, bazılarına ise hiç yatırım yapılmaması gerektiğini içermektedir. Genel problemin çözümü için ise sezgisel bir yöntem önermişler ve modelin çalıştırılması ile elde edilen sayısal sonuçları sunmuşlardır. Analizler

neticesinde, önerilen sezgisel yöntemin oldukça iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Aynı zamanda sınırlı kaynakların tahsisini yaparken her bir periyodun başında hepsini kullanmak yerine, zaman periyodu boyunca bazı yeniden tahsislere izin verilmesinin halk sağlığını arttırıcı yönde etkiye sahip olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Çalışmalarının zayıf yönleri ile ilgili ;

1. Modelin deterministik olarak tasarlandığını fakat gelecekteki bütçe durum kesin olarak bilinmesinin mümkün olmadığını,
2. Aynı zamanda tahsis kararının parametre değerleri üzerindeki etkilerinin deterministik olamayabileceğini vurgulamışlardır.

Rauner (2002) ise çalışmasında, kaynak tahsisinde basit AIDS modellerinin dezavantajlarıyla baş edebilmek için hastalığın geçişi, popülasyonlardaki değişim gibi faktörleri barındıran dinamik bölümsel geçiş modeli yaklaşımını önermiştir. Salgının popülasyondaki yayılımını inceleyebilmek amacıyla popülasyonu alt gruplara ve enfekte olup olmamalarına göre bölümlere ayırmışlardır. Zaman içerisinde demografik etkiler veya davranışsal değişiklikler nedeniyle alt grupların büyüklüğünün değişebileceğini dikkate almış ve bölümlerdeki bu değişiklikleri modellemiştir. HIV kontrol programlarının salgın üzerindeki etkilerini gözleyebilmek amacı ile popülasyon tekrar HIV program aşamalarını temsil edecek şekilde tedavi görmüş ve görmemiş bireyler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bu popülasyonda da meydana gelebilecek değişiklikler simülasyon ile modellenmiştir.

Bu çalışma ile literatürde ilk defa AIDS politika modelleri stratejik olarak bileşenlere ayrılmıştır. Bunun en önemli nedenleri şu şekilde sıralanmıştır;

1. Daha iyi model yapısı oluşturma
2. Diğer AIDS modellerine göre daha yenilikçi ve kapsamlı bir model kurmak.

Çalışma, HIV kontrol programlarına kaynak tahsisi problemi için simülasyon programından oluşan bir karar destek sistemini içermektedir. Modelde dikkate alınan değişimler aşağıda belirtilmiştir;

1. Doğum, ölüm, göç, göç alma gibi demografik değişiklikler,

2. Popülasyon gruplarının değişimi, davranışların modifikasyonu gibi risk ile ilişkili değişimler,
3. Hastalığın yayılımı ilgili değişimler.

Model, seksüel davranışlar (güvenli seks kampanyaları) ve iğne kullanıcıları davranışları(iğne temizliği ve değişimi) ile ilişkili önleyici programları ve HIV testi, ilaç tedavisi, aşılama gibi medikal programları içermektedir. Ayrıca, modele kalitesi ayarlanmış yaşam yılları gibi bazı ek ölçeklerin eklenmesinin modeli zenginleştirebileceği belirtilmiştir.

Birbirleri ile etkileşimi olmayan çoklu popülasyonlarda salgın hastalıkların kontrol edilebilmesi amacıyla optimal kaynak tahsisi için optimizasyon modelleri ve epidemik modellerin kombine edilmesi ise Brandeau ve ark. (2003) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada basitleştirilmiş epidemik model kullanılmış ve optimal kaynak tahsisi politikalarının yapıları ile ilgili olarak teorik sonuçlar ortaya konmuştur. Spesifik problemlerin çözümü için metodolojiler geliştirilmiş, ancak bu çalışmada kaynak tahsisi problemi için genel anlamda yol gösterici niteliktedir. Çalışma neticesinde optimal kaynak tahsisinin birçok faktöre bağlı olduğu ortaya konmuştur. Bu faktörler her bir popülasyonda salgının durumu, zaman aralığının uzunluğu, önleyici programların karakteristikleridir

Aynı yıllarda müdahale programlarının, müdahale etkinliği, müdahale maliyetleri, yönlerinden değerlendirilmesi alanındaki bir çalışma Wilson ve Kahn (2003) tarafından gerçekleştirilmiştir. Dikkate aldıkları önleyici programlar, metadon tedavisi ve “street outreach” yöntemleridir. Çalışmada, bütçe kısıtı ve sınırlı program kapasitesi altında, uyuşturucu kullanıcıları arasında, yeni HIV enfeksiyon sayısını minimize etmek için, iki müdahalenin kombinasyonu araştırılmıştır. Çalışmalarında, 1980’lerin ortalarından, 1990’ların ortalarına kadar olan zaman dilimi içinde, San Fransisco, Kaliforniya ve New York bölgelerindeki hastaları bölümsel epidemik modeli kullanarak test etmişlerdir. İğneyle uyuşturucu kullananlar ve onların uyuşturucu kullanmayan eşleri için, en yüksek sayıda HIV enfeksiyonun oluşumunu engelleyecek müdahalelere kaynak tahsisi yapılması için, bütçenin sabit olması durumunda, simülasyon modeli kurmuşlardır. Epidemik model HIV’nin durumu

(HIV⁺, HIV⁻), cinsiyet, enjeksiyon davranışı ve müdahale alma durumları ile tanımlanan bölümleri içermektedir. Epidemik modelde bir birey, iki hastalık aşamasından biri ile yani HIV⁺ veya HIV⁻ olarak modellenmiştir. Hastalık aşamaları, bölümler olarak temsil edilmiştir. Başlangıçta, popülasyona yeni gelenlerin enfekte olmadıkları ve popülasyondan çıkışın yalnızca ölümle olacağı varsayılmıştır. Ayrıca risk davranışlarının bölümler arasında ve zamanla değişmeyeceği varsayılmıştır. Anne-çocuk HIV geçişi dikkate alınmamıştır. Yapılan çalışma sabit bütçe kısıtı altında “street outreach” yönteminin Metadon ilaç yöntemine göre daha fazla HIV enfeksiyonunu engellediğini göstermiştir.

Çalışmanın bazı sınırlı yönleri aşağıda açıklanmıştır.

- i. Analitik kolaylık sağlayabilmesi için yalnızca iki önleyici program dikkate alınmıştır. Fakat normalde, özellikle uyuşturucu kullanıcıları için iki mücadele alternatifinden daha fazla alternatifle karşılaşılmaktadır.
- ii. Çalışmada tek zamanlı yatırımların beş yıllık zaman periyodu boyunca etkinliği tahmin edilmiştir. Bu yaklaşım yıllık bütçe tahsisinin olduğu ve müdahalelerin zamanlamasının söz konusu olmadığı koşullarda geçerlidir. HIV yayılımının ve oluşumunun gelecekteki durumunun tahmin edilebilmesi için çoklu zaman periyodu boyunca dinamik kaynak tahsisi modeli yapılmalıdır.
- iii. HIV enfeksiyonu için önemli bir risk grubunu oluşturan eşcinseller çalışmada dikkate alınmamıştır (Wilson ve Kahn, 2003).

Bu dinamik bölümsel modelleme yaklaşımlarının yanı sıra spesifik bir bölgede ulusal kaynak tahsisi modelinde stratejik planlama prosesini geliştirmek içinde yapılar çalışmalar da mevcuttur (Galliard ve ark., 2002; Flessa 2003). Önerilen model bir kaç anahtar soruya yanıt verebilmektedir. Bunlar;

1. Stratejik planlamanın hedeflerini gerçekleştirebilmek için ne kadar bütçe gereklidir?
2. Mevcut kaynaklarla hangi hedefler gerçekleştirilebilir?
3. Programın hedeflerini gerçekleştirmede alternatif kaynak tahsisi stratejilerinin etkileri neler olabilir?

Model karar vericiye, HIV oluşumunun azaltılmasını hangi bütçe seviyelerinin ve stratejilerinin sağlayabileceği yönünde bilgi vermektedir. Beş farklı risk grubu dikkate alınmıştır. Bunlar; yüksek, orta, düşük, erkeklerle cinsel ilişki yaşayan erkekler, iğne kullanıcılarıdır. Yüksek risk grubu içerisine; ticari seks köleleri ve müşterileri, orta risk grubu içerisine; birden fazla cinsel eşe sahip kadın ve erkekler girmektedir. Bunların dışında, birden fazla risk grubuna giren insanlar en yüksek risk grubu olarak sınıflandırılmıştır. Modelin uygulaması Güney Afrika’da yer alan Lesotha bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Model, üç yıllık ulusal stratejik bütçenin 100\$ milyon ile 275\$ milyon arasında olması durumunda, HIV yayılımında %19 düşüş olacağı yönünde bir tahmin yapmıştır. Çalışma neticesinde, yeni bütçenin daha gerçekçi ve ülkenin hedeflerini yansıtacak şekilde ayarlanabileceği düşünülmüştür.

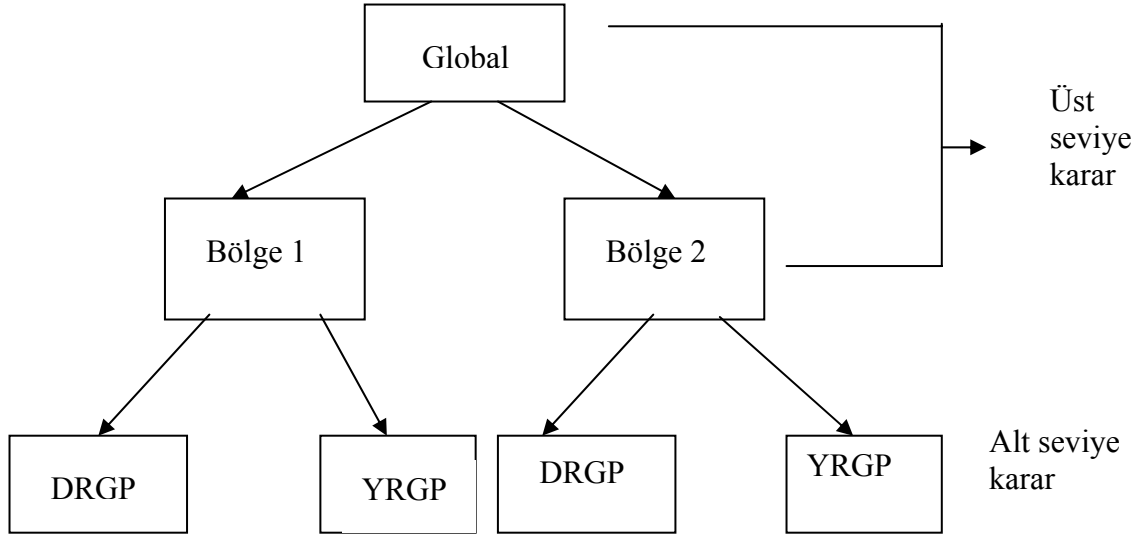
Flessa (2003) çalışmasında, bazı Afrika popülasyonları üzerinde farklı müdahalelerin etkilerinin değerlendirilmesini sağlayacak sistem dinamiklerini incelemiştir. Model toplam popülasyonu 19.200 bölüme ayırmıştır. Çalışmada bireylerin yerleşim yeri, iki gruba, yaş, seksen gruba, sağlık durumu, altı gruba, hastalığın kuluçka periyodu, beş gruba, iş, beş gruba ayrılmıştır. Araştırmacı çalışmasında bölümler arasında birçok geri dönüşüm bulunduğundan, bölümlerin bağımsız olarak incelenemeyeceğini vurgulamıştır. Modeli binlerce eşitlik içermektedir ve birer aylık zaman periyotları dikkate alınarak kesikli simülasyon ile çözülmüştür. Modelde bir bireyin kan nakli, sünnet, iğneli uyuşturucu kullanımı gibi durumlardan HIV virüsünü kapabileceği dikkate alınmıştır. Buna ek olarak, doğumdan kaynaklanan bulaşma da modelde yer almaktadır. Model Batı Afrika’da nadiren görülen bir durum olan eşcinsel ilişkiyi dikkate almamıştır. Çalışmada aşı programları, eğitici programlar ve hastalığın anne-çocuk geçişini engellemek amacıyla kullanılan antiretroviral ilaçların etkinliğinin simülasyon sonuçları verilmiştir. Simülasyon sonuçları bütün popülasyonun aşılınması neticesinde HIV enfeksiyonu sayısının hızlı bir şekilde düştüğünü göstermiştir. Fakat gelişmekte olan ülkelerin sınırlı bütçe ayırabilmesi ve bazı lojistik problemlerin bu senaryoyu mümkün kılmadığı belirtilmiştir. Prezervatif kullanımı ile ilgili eğitici programların etkinliği yüksek çıkmıştır ancak herkes için prezervatif dağıtımının çok etkili

olmadığı, yalnızca hayat kadınlarıyla girilen ilişki için etkinliğinin yüksek olduğu görülmüştür (Flessa, 2003).

Özellikle sabit maliyetin yüksek olduğu ve bütçenin önemli bir kısıtlayıcı olduğu durumlarda üretim fonksiyonu bilgilerinin en önemli bilgiler olduğu Brandeau ve ark. (2005) tarafından vurgulanmıştır. Bu çalışmada, önleyici programların üretim fonksiyonlarına ait verilerin bilindiği durumu göz önüne alarak, HIV kaynaklarının tahsisi için basit bir model geliştirmişlerdir. HIV’i önlemek için ayrılan kaynakların daha iyi bir şekilde tahsis edilebilmesi için alternatif önleyici programların üretim fonksiyonlarına ait daha fazla harcama ve etkinlik bilgilerinin daha iyi kaynak tahsisine olanak sağladığını göstermişlerdir. Aynı zamanda, üretim fonksiyonlarına ait yeterli bilgi olmaması durumunda alt optimum sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir. Daha önceki çalışmaların genellikle, HIV’in yayılımı ve vaka oluşumu tahminleri üzerine yoğunlaştığını ancak bu bilgilerin önleyici programların üretim fonksiyonlarına ait sabit maliyet, değişken maliyet, risk azaltma tahmini gibi bilgiler olmadan tek başına optimum kaynak tahsisini sağlayamayacağını vurgulamışlardır.

En yakın tarihli çalışmalardan biri olan ve Lasry ve Ark. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada iki seviyeli karar verme süreci dikkate alınarak HIV önleyici kaynakların eşitlik temelli tahsisi ile optimum tahsis sonuçları kıyaslanmıştır. Eğer optimizasyon modeli bu iki aşamadan birine dahil edilecekse hangi aşamada en yüksek kazancı sağlayacağı araştırılmıştır. Çalışmanın orijinal yanlarından biride hem cinsel ilişkinin hem de MTCT’nin, yayılımın bir faktörü olarak birlikte ele alınması ve birden fazla karar aşamasının dikkate alınmasıdır.

İki seviyeli kaynak tahsisi Şekil 2.1’de gösterildiği gibi modellenmiştir;



Şekil 2.1. Kaynak Tahsisi İçin Hiyerarsik Karar Yapısı

Sabit bir zaman periyodu boyunca kaynakların popülasyonlara bir kez tahsis edileceği varsayılmıştır. Ayrıca, tahsis ağının iki bölümden oluştuğu ve her bir bölümün düşük ve yüksek riskli popülasyonlar şeklinde iki alt gruba ayrıldığı varsayılmıştır. Alt popülasyonlar arasında kaynaklar iki genel yatırım tipi arasında tahsis edilecektir.

- i. Güvensiz cinsel ilişkiden kaynaklanan HIV yayılım oranını düşürmek
- ii. RTCT yi düşürmek (dikey yayılım)

Üst seviye karar tahsisi ise her bir bölgeye atanacak bütçe miktarının belirlenmesini içermektedir. Bölgesel düzeyde yapılan alt seviye kaynak tahsisi ise güvensiz cinsel ilişkiden kaynaklanan yayılım oranını ve RTCT'yi düşürmek amacıyla müdahale programlarına yapılacak yatırım miktarının belirlenmesini içermektedir. Diğer HIV engellenmesine yönelik kaynak tahsisi problemlerinde olduğu gibi, bu çalışmada da amaç fonksiyonu toplam bütçe kısıtını dikkate alarak oluşacak yeni enfeksiyon sayısının minimize edilmesi şeklinde kabul edilmiştir. Salgın modeli olarak diferansiyel denklemlerden oluşan SI modeli kullanılmıştır. Ayrıca HIV önleyici programlar için üstel üretim modeli varsayımı yapılmıştır.

Modelin uygulanması Kenya ve Botswana bölgelerinin 2001 yılı verileri ve AIDS yayılım oranları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda hiçbir engelleyici model kullanmama durumunda oluşan HIV’li hasta sayısının, çalışmada önerilen modeller kullanılması durumundan daha fazla olduğu gösterilmiştir. Çalışmanın sınırlı yönleri şu şekilde açıklanmıştır;

- i. Salgın modeli çoklu zaman periyodu içermesine rağmen, optimizasyon modeli tek bir periyot için modellenmiştir. Bunun anlamı alt popülasyonlara atanan bütçenin zaman periyotları boyunca tüketilmediği, hepsinin zaman diliminin başlangıcında tüketildiği varsayımının yapılmasıdır.
- ii. Üretim fonksiyonu, müdahaledeki duraklamalar, minumum-maksimum bütçe seviyeleri, marjinal geri dönüşlerde artma veya azalmalar dikkate alınmamıştır.
- iii. Model iki bölge, sekiz alt popülasyon ve iki seviyeli karar verme durumu olması halinde doğru sonuç verecektir. Ancak model, bölge, popülasyon ve karar verme seviyelerinin artması durumunda test edilmemiştir.

Bir önceki çalışmadaki gibi Zaric ve Brandeau’da (2007) modelleme de aşamalı bir karar verme süreci önermişlerdir. HIV’in engellenmesi için çoklu bölgeler ve alt gruplar içeren iki aşamalı kaynak tahsisi optimizasyon modeli önermişlerdir. İlk aşamada, üst seviye karar vericiler tarafından bütçenin bölgelere tahsis edildiği, ikinci aşamada ise her bölgedeki alt seviye karar vericiler tarafından bütçenin spesifik programlara tahsis edildiği durum göz önüne alınmıştır. Diğer HIV kaynak tahsisi modellerine benzer olarak sabit bir t zaman dilimi varsayımı yapılmıştır. T zaman boyunca, her bir programdan i . bölgeye bir birimlik yatırım yapılması neticesinde engellenen enfeksiyon sayısı “ h_{ij} ” tahmin edilmiştir. Daha sonra ise, kaynak tahsisi neticesinde her bir bölgede ayrı ayrı engellenen enfeksiyon sayısı ve daha sonra toplam bütün bölgelerde engellenen enfeksiyon sayısı hesaplanmıştır.

Her bir seviyedeki kaynak tahsisinin etkin (engellenen enfeksiyon sayısını minimize etmek), ve oransal (HIV oluşumu ile orantılı) olarak yapılmasına göre dört farklı kombinasyon dikkate alınmıştır. En üst seviyede oransal kaynak tahsisi

yapılması durumunda, bütçe bölgelere atanırken her bir bölgede hastalığın oluşma oranı dikkate alınmaktadır. Alt seviyede ise, bütçenin programlara tahsis edilmesinde risk gruplarındaki HIV oluşma oranı dikkate alınmaktadır. Kullanılan dört farklı yaklaşım aşağıda açıklanmıştır;

1. EE (Efficient-Efficient): Her iki aşamada da kaynak tahsisinin etkin yapılması,
2. EP (Efficient-Proportional): Üst seviyede etkin kaynak tahsisinin, alt seviyede ise oransal kaynak tahsisinin yapılması,
3. PE (Proportional-Efficient): Üst seviyede oransal, alt seviyede etkin kaynak tahsisinin yapılması,
4. PP (Proportional-Proportional): Her iki seviyede de oransal kaynak tahsisinin yapılması.

Bu tahsis stratejilerini değerlendirmek amacıyla, 40 Amerikan eyaleti ve bu eyaletlerdeki üç risk grubuna ait veriler kullanılmıştır. Risk gruplarını, iğne kullanıcıları, eşcinseller, heteroseksüeller oluşturmaktadır. Her bir bölgedeki popülasyon büyüklüğü ve risk gruplarının büyüklüğü, bu gruplardaki HIV yayılımı ve HIV oluşumu ile ilgili tahminleri yapılan önceki çalışmalardan elde edilmiştir.

Uygulamada, bir yıllık zaman dilimi göz önüne alınmış ve HIV'in engellenmesine ayrılan toplam bütçenin 412 milyon dolar olduğu varsayılmıştır. Yapılan bu çalışmanın neticesinde, en yüksek sağlık çıktısının, her iki seviyede de "etkin" kaynak tahsisinin kullanılması ile elde edildiği görülmüştür. İkinci en büyük sağlık çıktısı ise, ilk aşamada oransal ikinci aşamada etkin tahsis stratejisinin kullanılması ile elde edilmiştir. Bu stratejiyle (PE), ilk stratejiye (EE) göre %5 civarında daha az sağlık çıktısı olduğu gözlemlenmiştir. Üçüncü sırada sağlık çıktısı sağlayan strateji ise, EE'ye göre %15 daha az çıktı sağlayan "EP stratejisi"dir. En az çıktı ise, her iki aşamada da oransal tahsisin (PP) kullanılması neticesinde elde edilmiş ve EE'ye göre %23 daha az çıktı sağlanmıştır. Bu sonuçlara göre, üst seviyedeki oransal tahsisin bazı eksik yönlerini giderebilmek amacıyla alt seviyede etkin tahsisin kullanılabileceği ancak alt seviyedeki oransal tahsisin bazı eksik yönlerinin telafi edilebilmesi için üst seviyede etkin tahsisin kullanılamayacağını açıklamışlardır. Çalışmanın bazı sınırları yönleri şu şekilde açıklanmıştır;

1. Üst seviyedeki karar vericinin, alt seviyedeki kaynak tahsisinin nasıl yapıldığına dair tam olarak bilgiye sahip olduğu varsayılmıştır. Eğer üst seviyedeki karar verici yeterli bilgiye sahip değilse, üst seviye probleme mümkün alt seviye kararları ile ilişkili olasılıklar dahil edilmelidir.
2. Bazı ülkelerde HIV'in engellenmesi ile ilgili bütçe tahsisi ikiden fazla aşamada gerçekleştirilebilmektedir. Bu durumda model, ikiden fazla seviye içerecek şekilde genişletilmelidir.
3. Çalışmada HIV salgın dinamikleri dikkate alınmamıştır. Bu nedenle yapılan çalışma, salgın dinamiklerini göz ardı edebilecek şekilde kısa zaman dilimleri için geçerlidir. Fakat salgın dinamiklerinin dahil olduğu bütün çalışmalar yalnızca küçük sayıda popülasyonlar ve programlar için çözülebilmektedir.
4. Yatırımlardan elde edilen çıktıların, yatırımlar ile doğru orantılı olduğu kabul edilmiştir.
5. Her seviyede tek bir karar verici olduğu varsayılmıştır. Her seviyede birden fazla karar verici olması durumunda sonuçlar geçerli olmayabilir (Zaric ve Brandeau , 2007).

Earnshaw ve ark. (2007) ise, HIV'in engellenmesinde optimum kaynak tahsisinin yapılması için doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Modelin amaç fonksiyonu, engellenen enfeksiyon sayısını minimize etmek üzere oluşturulmuştur. Bu değerlerin hesaplanması, Bernoulli proses modeline dayanmakta, hem seksüel hem de iğne kullanıcılarını içermektedir. Amaç fonksiyonu aynı zamanda, CPGs (community planing groups) tarafından ortaya konulan popülasyon önceliklerini temsil eden ağırlıkları içermektedir. Doğrusal programlama modelinin kısıtlarını ise, bütçe kısıtı, kişi başına birden fazla yatırımın yapılamayacağı kısıtı ve negatif olmama kısıtları oluşturmaktadır. Önerilen modelin kullanılabilirliğini, uygulanabilirliğini ve kabul edilebilirliğini göstermek amacıyla Florida da bir pilot çalışma yapılmıştır. Kullanılabilirliğin en kritik göstergesi modelin çalıştırılabilmesi için gerekli olan verilerin elde edilebilirliğidir. Pilot çalışma, Florida bölgesindeki risk grupları ile ilgili halka açık verilere dayanmaktadır. Uygulanabilirlik ise, modelin sonuçlarının incelenmesi ve bu sonuçların kabul edilebilir sınırlarda olup

olmadığının belirlenmesi ile test edilmiştir. Modelin kabul edilebilirliği ise, pilot çalışma bölgesindeki karar vericilerin ilgi ve tepkilerine göre değerlendirilmiştir. Modelin çalıştırılması aşamasında, eşitlik kısıtlarının ve popülasyon öncelik ağırlıklarının etkilerini belirleyebilmek amacıyla sekiz farklı senaryo üzerinde çalışılmıştır. Bunlar;

1. Eşitlik kısıtları modele dahil edilmemiş, bütün popülasyonların aynı önceliğe sahip olduğu kabul edilmiştir.
2. Eşitlik kısıtları modele dahil edilmemiş, CPG öncelik ağırlıkları dikkate alınmıştır.
- 3-4. Öncelik kısıtlarının olduğu ve olmadığı durumlar için bölgesel eşitlik kısıtları dikkate alınmıştır.
- 5-6. Öncelik kısıtlarının olduğu ve olmadığı durumlar için popülasyon ve eşitlik kısıtları dikkate alınmıştır.
- 7-8. Öncelik kısıtlarının olduğu ve olmadığı durumlar için maksimum bütçe kısıtı ile bölgesel eşitlik kısıtları dikkate alınmıştır.

Modelin sınırlı yönleri ise aşağıdaki gibi açıklanmıştır;

1. Her bir risk grubu tarafından oluşturulan enfeksiyon sayısının engellenmesinde Bernoulli modeli gibi basit bir model kullanılmıştır. Bu modelin kullanılabilmesi için, zaman boyunca sabit bulaşıcılık oranı veya sabit hastalık yayılımı varsayımı yapılmalıdır.
2. Modelde harcanan miktar ile engellenen HIV enfeksiyonu sayısının doğru orantılı olduğu varsayılmıştır.

2.1.2. Doğrusal Programlama Uygulamaları

Bu alanda yapılan çalışmalardan birisi diyabet hastalığında kaynak tahsisi modellenmesine dayanmaktadır. Earnshaw ve ark.(2002), tip 2 diyabet hastalarının tedavisi için dört farklı müdahale yöntemleri arasında optimal kaynak tahsisi incelenmiştir. Bütçe ve eşitlik kısıtlarını göz önüne alarak, “kalitesi ayarlanmış yaşam yıllarını” maksimize edecek şekilde uygun müdahalelere kaynak tahsisi yapılabilmesi için doğrusal programlama modeli kurmuşlardır.. Doğrusal modelin

amaç fonksiyonunu tüm popülasyondaki yeni, tip 2 diyabet teşhisi konulan hastaları toplam kalitesi ayarlanmış yaşam yıllarını maksimize edecek şekilde formüle etmişlerdir. Kısıtları ise, hastaların hepsinin mutlaka standart tedaviyi alacağı varsayımını sağlamak, popülasyonun alt grupları arasında eşitlik esaslarının gözetilmesi ve sınırlı bütçenin dikkate alınmasını sağlayacak şekilde oluşturmuşlardır.

Bir diğer çalışma ise Flessa (2003) tarafından gerçekleştirilen oldukça kapsamlı bir araştırmadır. Bu çalışmada Tanzanyada'ki Mtawara bölgesinin sağlık kaynaklarının optimum tahsisi incelenmiştir. Oluşturulan model bölgede en çok görülen en önemli 25 hastalık grubunu dikkate almıştır. Kullanılan veriler ise bölgenin 2001 yılı yaz aylarına ait verilerdir. Model, mevcut sağlık sistemini yansıtacak şekilde oluşturulmuştur. Bölge de dört farklı seviyede sağlık sistemi bulunmaktadır. Bunlar, dispanserler, sağlık merkezleri, bölgesel hastaneler ve bölge hastaneleridir. Kaynaklar, mevcut bulunan sağlık birimlerine önleyici program giderleri ve tedavi giderlerini karşılama için tahsis edilmektedir. Önleyici tedavi programlarına kaynak tahsisinin amacı hastalığın oluşma oranını düşürmek, tedaviye kaynak ayrılma amacı ise hastalık süresini ve hastalıktan ölüm oranını düşürmektir. Modelde, beş farklı amaç fonksiyonu dikkate alınmıştır;

1. Ölen kişi sayısını minimize etmek
2. Kaybedilen yaşam yıllarını minimize etmek
3. Yeni oluşacak hastaların sayısını minimize etmek
4. Hasta geçirilen günlerin sayısını minimize etmek
5. Kaybedilmiş kaliteli yaşam günlerini minimize etmek

İkinci amaç fonksiyonu için 79 yaş baz alınmış, bu yaştan önceki ölümler kaybedilmiş yaşam yılları olarak ceza fonksiyonu şeklinde modele dahil edilmiştir. Çalışma sonucunda, optimum kaynak tahsisi kararının büyük oranda amaç fonksiyonuna bağlı olduğu görülmüştür. Yani, sağlık politikası ve önceliklerin kaynak tahsisi üzerinde çok etkisi vardır. Bu nedenle, sağlık sektöründe kaynak tahsisi probleminde önceliklerin açık ve net şekilde ortaya konulmasının önemi vurgulanmıştır.

Bu çalışmaların yanı sıra Ferri ve ark.(1996) genel olarak sağlık sektöründe kaynak tahsisi problemi için nesne tabanlı bir sistem önermişler ve sistemi bir uygulama ile açıklamışlardır. Önerilen sistem, GIS (coğrafik bilgi sistemleri) ve karar destek sistemleri olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Coğrafik bilgi sistemleri, coğrafi bilgileri, sağlık bilgilerini, bölgedeki mevcut kaynak tahsisi bilgilerini içermektedir. Karar destek sistemleri ise, maliyet/fayda oranının minimizasyonunu sağlayacak optimizasyon algoritmalarını kullanarak yeni kaynak tahsisine karar vermede kullanılmaktadır. Bu optimal çözüm elde edilirken aynı zamanda “strateji” olarak da nitelendirilen “ ana hedefin” yerine getirilmesi esastır. Modelde, sabit bütçe ve mevcut kaynak kısıtları göz önüne alınmaktadır. Sistemin bir parçası olan nesne tabanlı veri tabanı, birçok farklı senaryoyu depolayabilmekte ve farklı amaç fonksiyonları ile kısıtları göz önüne alınarak sistemin simüle edilmesini sağlayabilmektedir. Kullanıcı bu araç sayesinde aşağıdaki pratik uygulamaları gerçekleştirebilmektedir:

1. Popülasyonda zaman içerisinde gerçekleşmiş salgın durumları ile ilgili arşivin oluşturulması ve bu bilginin kullanılması ile belirli bir hastalığın popülasyondaki trendinin incelenmesi,
2. Bölgedeki mevcut sağlık kaynakları dağıtımının ve popülasyonun mevcut sağlık durumunun bilinmesi,
3. Farklı stratejiler dikkate alınarak, maliyet/yarar oranını optimize edecek şekilde farklı alanlara (köy, kasaba, şehir) kaynak tahsisine olanak sağlayarak, bütçenin en iyi şekilde kullanılabilmesi,
4. Acil durumlarda, örneğin bir salgın durumunda mevcut kaynakların bölgede nerede olduğunun bilinmesine olanak sağlaması ve acil durum stratejisine göre kaynakların yeniden dağıtımının yapılabilmesi.

2.1.3. Sağlık Ekonomisi Yaklaşımları

Sağlık ekonomisi yaklaşımları , tıbbi müdahalelerde yüksek maliyet-etkinlik analizlerini ve sınırlı bütçelerde optimal kaynak paylaşımı problemini inceler. Ancak

bu paylaşım yaklaşımında genel olarak programların çıktıları arasındaki etkileşim dikkate alınmamaktadır.

Hutubessy ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada ekonomik değerlendirmelerin, karar vericiler için mevcut durumlarına kıyasla daha kullanışlı hale getirmesi üzerine odaklanmıştır. Çok az ülkenin bütün gerekli analizleri gerçekleştirecek kaynağa sahip olduğu göz önüne alındığında, bir alanda yapılan çalışmanın benzer alanlarda genelleştirilmesine imkan verecek yöntemlerin gerekliliği üzerinde durmuşlar ve maliyet etkinliği analizinin aşağıdaki zayıf yönlerini aşağıdaki biçimde vurgulamışlardır.

1. Karar vericilerin mevcut yatırımları tutmaları yönünde bir kısıtın olduğu ve sadece marjinal gelişmeleri dikkate almaları gerektiği durumlarda yerel karar verme için daha fazla analizin uygun olduğunu,
2. İkinci olarak, maliyet ve uygunluk ile ilgili verilerin uygun bir şekilde sunulmadığını, kullanılan fiziksel kaynakların ve birim maliyetlerin raporlanması oldukça önemli olduğunu
3. Maliyet etkinliği analizinin, çocuk gelişimi ve ilaç direnci gibi uzun dönemli etkileri içermediğini belirtmişlerdir.

Bu sınırlı yönler, yöntemlerin geliştirilmesi adına gelecek yıllar için daha planlı çabalara gereksinim olduğunu göstermiştir.

Bir önceki çalışmada olduğu gibi Hutubessy ve ark (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da maliyet etkinliği analizinin bazı zayıf yönleri vurgulanmış ve çözüm önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır. Fayda maliyet analizinin halk sağlığı ile ilgili kararların alınmasında önemli bir rolü olduğunu ancak bazı dikkate değer istisnai durumlar olduğunda bu yöntemin kullanımının ve etkilerinin bireysel ülkeler bazında sınırlı olduğunu belirtmişlerdir. Fayda maliyet analizinin uygulanması esnasında gerekli verilerin çoğu kez elde edilemeyeceğini, uygulamada teknik aksaklıkların olabileceğini, sosyal önceliklerin değişik olabileceğini ve her bir müdahalenin değişik ülkelerde değişik sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir. Daha sonrasında, ülkeler seviyesindeki karar verici ve program yürütücülerinin WHO-CHOICE projesindeki maliyet analiz verilerini kullanarak kendi spesifik analizlerini gerçekleştirebilecekleri bir taslak proses geliştirmişlerdir.

Diğer bir çalışmada ise, düşük ve orta gelirli ülkelerde HIV/AIDS önleme programlarının maliyet ve maliyet etkinliği verileri incelenmiştir (Walker, 2003). Araştırmalar neticesinde hiçbir çalışmanın herhangi bir ülkedeki bütün HIV/AIDS önleme programları için bütün maliyet verilerini içermediği görülmüştür. Fakat geçmiş çalışmalar, salgının farklı aşamalarını yansıtan bölgelerde farklı tipteki önleme stratejilerinin ilişkili önemini aydınlatmaktadır. Gözden geçirmeler neticesinde geçmiş çalışmalarda uygulanan maliyetleme çalışmaları ve elde edilen sonuçların güvenilirlik, geçerlilik ve şeffaflık gibi özellikleri ile ilgili soruların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu sorular aşağıdaki nedenlerle oluşmuştur;

1. Yayınlanan hiçbir çalışma maliyet hesaplamalarında kullanılan yöntem ve verileri rapor etmemiştir.
2. Bir çok metodun aynı ülkede ve aynı program takımları için bile karşılaştırılmaz sonuçlar verdiği görülmüştür.
3. Son olarak ortak bir çıktı ölçütünün olmaması nedeniyle sunulan sonuçların genel olarak karşılaştırılabilir olmadığı anlaşılmıştır.

Bu nedenlerle, planlama ve karar verme için acil bir şekilde bilgilerin genelleştirilmesine ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır(Walker, 2003).

HIV programlarının ekonomik analizi, kısıtlı kaynakların olduğu durumda salgının etkilerini azaltabilmek için etkin kaynak tahsisi yapılmasında deterministik bir araç olarak kullanılmıştır. Sağlık ekonomisi alanında yapılan en kapsamlı çalışmalardan birisi de Masaki (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, sınırlı kaynakların HIV/AIDS müdahalelerine tahsisi ile ilgili karar vericileri daha iyi bilgilendirerek ekonomik değerlendirme uygulamalarını ortaya koymayı amaçlamıştır. Bu nedenle, çalışmada kaynak kısıtı olan ülkelerde HIV/AIDS programlarının önem sırasına göre dizilmesi ve salgının etkilerini azaltmak amacıyla kaynak tahsisinin optimize edilmesine ekonomik değerlendirme araçları kullanılmıştır. Aynı zamanda, HIV bütçe tahsisin farklı demografik, epidemik ve finansal özelliklere sahip olan ülkelerdeki etkisini daha iyi tahmin edebilmek amacıyla demografik özellikler ve salgın boyutu da dikkate alınmıştır. Klasik ekonomik değerlendirme çalışmalarının aksine bu çalışma, ülkelerin ekonomik, salgın ve demografik özellikleri ile kombine edilmiş birden fazla ekonomik

değerlendirme aracı içermektedir. Kullanılan araçlar; maliyet- etkinlik analizi, finansal simülasyon analizi, maliyet-fayda analizi'dir.

Çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak;

1. Hem koruma hem de tedavi programlarını içeren farklı AIDS müdahalelerinin maliyet-etkinlik analizi yapılmış,
2. Ekonomik değerlendirmenin gerçekleştirildiği ülkelerin, demografik özellikleri, salgın durum ve ekonomik koşulları analize dahil edilmiştir.
3. Değişik bütçe seviyeleri için optimum müdahale karmaları tahmin edilmiştir.
4. AIDS/HIV bütçe tahmininin kısa ve uzun dönemli etkileri tahmin edilmiştir.
5. Farklı demografik özelliklere, salgın durumlarına ve ekonomik koşullara sahip ülkeler için uygulamalar yapılmıştır.

Demografik özelliklerin ve salgın durumlarının ekonomik analizlere dahil edilmesinin en önemli nedeni çevre koşullarının ve popülasyonun özelliklerinin hızlı bir şekilde değişmesidir. Çalışmada, HIV/AIDS müdahalelerine kaynak tahsisinde ekonomik analizle ilgili farklı özelliklere sahip iki ülkede uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar sonucunda, müdahalelerin önceliklerinin belirlenmesinde ekonomik analiz kullanımı, kısıtlı kaynakların tahsisinin optimize edilmesi, kaynak tahsisinin kısa ve uzun dönemli etkilerinin incelenmesi gibi konular aydınlatılmıştır.

Uygulamalardan birisi salgının oldukça fazla olduğu Kenya'da gerçekleştirilmiştir (Masaki, 2004). Bu uygulamada, önleyici ve tedavi programlarını da içeren farklı HIV programlarının maliyet-etkinlik kıyaslaması, farklı bütçe kısıtları altında farklı müdahalelerin etkilerinin, simülasyon analizi ile gerçekleştirilmesi ve farklı bütçe seviyelerinde optimal müdahale karmalarının ortaya çıkarılması gibi çalışmaları içermektedir. Sonuç olarak, sınırlı kaynakların olduğu ve AIDS salgınının ciddi boyutlarda olduğu ülkeler için salgının kontrol altına alınması için HIV önleyici programların tedavi programlarından daha geçerli ve uygun olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda, alternatif AIDS politikalarının uzun dönemli etkileri incelenmiş ve tedavi programlarının kısa dönemde etkilerinin

gözlenebilmesine rağmen koruyucu programların etkilerinin uzun dönemde görülebileceği anlaşılmıştır. Zaman periyodu boyunca, maliyetin artması nedeniyle tedavi etkinliğinin azaldığı ancak uzun dönemde koruyucu programların etkilerinin arttığı gözlemlenmiştir. Diğer bir uygulama ise daha az seviyede salgının görüldüğü ve demografik özelliklerin farklı olduğu Tayland'da gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde düşük HIV salgınının olduğu durumlarda tedaviye yatırım yapılmasının faydayı arttırdığı gözlemlenmiştir (Masaki, 2004).

2.2. Belirli Zaman Periyotlarında Ortaya Çıkma İhtimali ve Yayılım Oranı Yüksek Olan Salgın Hastalıklarda Kaynak Tahsisi

Sıtma, grip, SARS gibi hastalıkların yılın belirli zaman periyotlarında salgın hastalık haline gelme olasılıkları ve atak hızları oldukça yüksek olabilmektedir. Etkisi uzun süre görülebilen hastalıklara kıyasla literatürde bu hastalıkların neden olacağı bir salgın durumunda “kaynak tahsisi modellemesi” ile ilgili çok fazla yayın bulunmamaktadır. Yapılan geniş çaplı literatür taraması neticesinde, Flessa (1999) tarafından, sıtma koruma programlarındaki karar vericileri desteklemek amacıyla matematiksel modelleme yapıldığı görülmüştür. Matematiksel model, agent (parazit), vektör (taşıyıcı sivrisinek) ve ev sahibini (insan) içeren enfeksiyon döngüsüne göre oluşturulmuştur. Buna ek olarak taşıyıcı sivrisineğin ekolojik sistemi simüle edilmiştir. Ekolojik sistem, enfeksiyon ve insandan oluşan bu sistem birçok geri dönüşüm loblarını içermesi nedeniyle ayrı ayrı incelenemeyeceği vurgulanmıştır. Örneğin enfeksiyon olmuş kişi sayısı, taşıyıcı sinek sayısını etkilerken aynı zamanda taşıyıcı sinek sayısı da enfekte olmuş kişi sayısını değiştirmektedir.

Önerilen simülasyon modeli bir günlük zaman aralıkları kullanılarak kesikli simülasyon ile çözülmüştür. Parametreler değişik “sıtma” literatürlerinin incelenmesi ile elde edilmiştir. Sıtmanın yayılımı, taşıyıcı sinek vektörünün habitatına bağlı olduğu için, modelin ekolojik sistemi de simüle etmesi gerektiği düşünülmüştür. Simülasyon modeli ile aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır;

1. İnsan ve sıtma arasında bir denge var mıdır?
2. Yağmur sezonunun hastalığın yayılımına etkisi nedir?

3. Ev içini ilaçlamanın maliyeti ve faydası nedir?
4. Dışarıyı ilaçlamanın faydası ve maliyeti nedir?
5. Larva ilaçlar kullanılarak ve bataklıklar kurutularak taşıyıcı sineklerin tamamen ortadan kaldırılması mümkün müdür?
6. Sineklik kullanmanın uzun dönemli etkileri nelerdir?
7. Sıtmayı yok etmekte aşılanmanın etkisi kadar yüksektir?
8. Küresel ısınmanın sıtma üzerindeki etkisi nedir?
9. Göç almanın sıtma üzerindeki etkisi nedir?

Çalışmanın uygulama kısmı bir Afrika ülkesindeki iki farklı bölgede gerçekleştirilmiştir. I. Bölge, 300 m yükseklikte olup sürekli sıtma salgını ile karşı karşıyadır. II. Bölge ise 50 m yükseklikte ve periyodik olarak sıtma salgını ile karşı karşıya kalmaktadır. Sıcaklık ve yağışın bölgenin yüksekliğine ve yağış mevsimine bağlı olduğu göz önüne alınmıştır. Ayrıca modelde her iki bölge içinde sıcaklığın 15 Ocak'ta en yüksek olduğu, 5 Ağustos'ta ise en düşük olduğu kabul edilmiştir. Aynı zamanda, uzun yağışların 15 Nisan'da, kısa yağışların ise 5 Ekim'de en üst düzeye çıktığı kabul edilmiştir. Yağış miktarları, bataklıkların büyüklüğünü ve dolaylı olarak taşıyıcı sineklerin habitatlarının ölçüsünü belirleyeceği için dikkate alınmıştır.

Çalışma sonucunda, kısa dönemli çalışmalarda belirtildiğinin aksine sinekliğin etkin bir araç olmayacağı sonucu elde edilmiştir. Bunun nedenlerinden birisi, özellikle bebeklerin yaşamlarının önceki yıllarında bağışıklık sistemlerinin bu hastalığa karşı gelişmemesi, ilerleyen çocukluk döneminde ve yetişkinlik dönemlerinde hastalığa daha açık olmalarına neden olmaktadır. Bu nedenle kısa dönemli çalışmaların bu aracın etkinliği ile ilgili yanlış bir resim ortaya koyduğu belirtilmiştir (Flessa, 1999).

Yapılan tez çalışmasında ele alınan pandemik influenza salgını olması durumunda kaynak tahsisi” problemi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak, yapılan geniş literatür taramaları neticesinde, pandemik influenza'nın ekonomik etkileri, hastalığın yayılım biçimlerinin araştırılması, salgın durumunda ihtiyaç duyulacak kaynakların tespit edilmesi, optimal aşı stratejilerinin belirlenmesi gibi alanlarda birtakım araştırmalara rastlanmıştır. Aşağıda belirtilen başlık altında kısaca bu çalışmalara değinilecektir.

2.2.1. Pandemik Influenza İle İlgili Çalışmalar

Bilindiği üzere özellikle son yıllarda pandemik influenza, ölümlerle sonuçlanan bunun yanı sıra maddi kayıpları da oldukça yüksek olan salgınlara neden olabilmektedir. 1983-1984 yılında Amerika'daki kuş gribi salgınında yaklaşık olarak 17 milyon kanatlı hayvan telef olduğunu ve 56 milyon \$ lık maddi hasarın meydana geldiğini belirterek, 1997-1998 yılında Hong Kong salgınında da benzer zararların yaşandığını vurgulamışlardır (Li ve ark, 2004). Beigel ve ark. (2005) ise daha önce benzerine rastlanmamış olan ve hayvanlarda salgına yol açan yüksek oranlarda patojenik influenza A (H5N1)'nın Asya'da tür bariyerini aşmak suretiyle birçok insanın ölümüne neden olduğunu ve tüm insanlık için büyüyen bir tehdit olduğunu vurgulamışlardır. Literatürde, salgınla mücadelede en güçlü silahın aşı olduğunu belirtmiştir. Salgın esnasında aşı üretimin tedarikçileri ile birlikte çözülmesi gereken bir problem olduğunu ve aşı üreticilerinin ve tedarikçilerinin koordinasyonun yapılmasının, gerekli aşı miktarının sağlanması açısından kilit rol olduğunu belirtmiştir (Chick ve ark. ,2006). Chick ve ark (2006), çalışmalarında aşı üretimine yönelik optimal stratejilerin ne olması gerektiğini ve üretici firmaların hangi dönemlerde ne kadar aşı üretmesi gerektiğini belirlemişlerdir.

Sadece aşının tahsisine dayanan fakat kısıtlı da olsa bu hastalık türünde kaynak tahsisi alanına giriş niteliğinde olabilecek bir çalışma Patel ve arkadaşları (2005) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında, olası bir influenza salgınında sınırlı sayıda aşının bulunacağını belirtmişlerdir. Bu sınırlı sayıdaki aşının, oluşacak hasta sayısını minimize edecek şekilde populasyon gruplarına dağıtılması için stokastik epidemik benzetim, genetik algoritma ve rasgele mutasyonlu tepe tırmanma (random mutation hill climbing) yöntemlerini kullanmışlardır. Aşı dağıtım probleminin doğrusal olmayan, karmaşık ve stokastik yapısı olduğunu ve bu nedenle matematiksel olarak optimal çözümün bulunmasının çok zor olduğunu iddia etmişlerdir. Çalışmalarında genetik algoritma ve rasgele mutasyonlu tepe tırmanma metodunu kullanarak optimal çözüme yakın bir çözüm bulduklarını belirtmişlerdir. Modellerinde 1957-1958 yıllarında ortaya çıkan ve Asya gribi olarak adlandırılan

salgının ve 1968-1969 yıllarında ortaya çıkan ve Hong Kong gribi olarak adlandırılan salgının atak oranlarını ve diğer parametrelerini kullanarak etkilenecek kitle sayısını yaklaşık olarak hesaplamışlardır. Çalışmalarında, aşılama oranlarının, popülasyonun özelliklerine göre %10-%90 arasında olması gerektiğini ve genetik algoritmaların rasgele mutasyonlu tepe tırmanma yöntemine göre daha iyi sonuç verdiğini vurgulamışlardır.

Mevcut bir salgının ekonomi üzerindeki etkileri ise Meltzer ve ark. (1999) tarafından incelenmiştir. Olası bir influenza salgınının birçok kişinin hastalanmasına, toplu ölümlerin oluşmasına ve bunlara bağlı olarak gerek tedavi maliyetleri gerekse hastalıktan kaynaklanan işgücü kayıplarının oluşmasına neden olacağı belirtmişler ve bu durumun Amerikan ekonomisi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ayrıca, çalışmalarında influenza salgını ile mücadelede önceliklerin hangi tedavi ve koruma yöntemlerine ayrılması gerektiğini araştırmışlardır. Özellikle bu tür bir salgında ilk olarak sağlık personelinin (doktor, hemşire, paramedik vb.) ve kamu hizmeti yapan (polis, itfaiye, hava trafik kontrolleri, enerji çalışanları vb.) kritik kişilerin aşılama ve tedavi edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ancak bu kişiler toplumun yüzde olarak önemli bir kısmını oluşturmadığından, esas olarak geri kalan kısımda nasıl bir yöntem uygulanması gerektiğini araştırmışlardır. Yöntemlerin belirlenebilmesi için popülasyon gruplarını düşük risk grubu ve yüksek risk grubu olarak iki farklı seviye ve her bir seviyeyi de üç farklı yaş grubuna ayırarak her bir yaş grubu ve seviye için farklı senaryolarda maliyet analizi yapmışlardır. İnfluenza salgını ile mücadelede, koruyucu aşı, antiviral ilaç tedavisi, yoğun bakım yatak sayısı, ventilatör cihazı gibi kaynakların öncelikli olduğunu vurgulamışlardır. İnfluenza aşısının geliştirilmekte olduğunu vurgulayarak bu aşının maliyetinin ve koruyuculuk yüzdesinin tam olarak bilinmediğini, bu nedenle değişik ilaç maliyetleri ve koruyuculuk yüzdelerini dikkate alarak, olası bir salgının ABD ekonomisi üzerindeki maliyetinin 71 milyar\$ ile 160 milyar\$ arasında değişeceğini iddia etmişlerdir.

Bir diğer çalışma ise kuş gribinin yayılım biçimini tespit edebilmek amacıyla Li ve ark (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, kuş gribinin özellikle Asya kıtasındaki hayvanlar arasında geniş çapta yayılabilen bir hastalık olduğunu belirtmiştir. Hastalığın yayılım biçimini tespit edebilmek için Çin ana karasında

araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında kuş gribinin yayılımını toplam enfekte hayvan sayısı, hava sıcaklığı, enfekte olmuş hayvan çiftliklerindeki hayvanların imhası, enfekte olmamış hayvan çiftliklerinde dezenfekte çalışmaları ve hayvanların aşılması gibi faktörlerle yakından bağlantılı olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Yaptıkları çalışmayı test etmek için benzetim tekniğini kullanmışlar ve çalışmalarının yukarıdaki faktörlerin incelenmesi durumunda iyi sonuç verdiğini iddia etmişlerdir.

Zhang ve arkadaşları (2006) ise çalışmalarında, influenza salgını esnasında ihtiyaç duyulacak kaynakları belirlemek için Flusurge adlı bir yazılım geliştirmişlerdir. İnfluenza salgını esnasında, ihtiyaç duyulacak en önemli kaynakların, ventilatör cihazı, yoğun bakım yatak sayısı, hastane normal yatak sayısı, lisanslı yoğun bakım personeli, lisanslı normal hastane yatak personeli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca geçmiş yıllarda ortaya çıkan influenza salgınının verilerini inceleyerek, bir hastanın ortalama iyileşme süresi, ventilatöre ihtiyaç duyacak hastaların oranı, hastane yoğun bakım ve normal bakıma ihtiyaç duyacak hastaların oranı, hastaneye yatan hastalarda ölüm oranı gibi istatistikleri CDC (Center for Disease USA) verilerine dayanarak hesaplamışlardır. Popülasyon gruplarını düşük risk grubu ve yüksek risk grubu olarak iki seviyeye ayırmışlardır. Ayrıca bu iki seviyeyi de kendi içlerinde üç farklı yaş grubuna ayırarak bunlarla ilgili istatistiksel oranları yine CDC kaynaklarına dayandırarak hesaplamışlardır. Geliştirdikleri Flusurge adlı yazılım, olası bir influenza salgını sırasında, değişik senaryoları dikkate alarak ihtiyaç duyulacak en önemli kaynakları, belirtilen istatistiksel oranları kullanarak hesaplamaktadır. Kullanıcıya kendi oranlarını girme esnekliğini de tanıyan program değişik senaryoları test etme imkanı sağlamaktadır.

Nipmatulina ve Larson (2008), pandemik influenza ile mücadelede, aşı veya antiviral ilaç tedavisinin yerine sosyal kısıtlamaların daha uygun bir yaklaşım olacağını iddia etmişlerdir. Çünkü salgın esnasında, aşının ve tedavi edici ilaçların kolayca bulunamayacağını bu nedenle karantina, toplu faaliyetlerin yasaklanması gibi önlemlerin daha gerçekçi yaklaşımlar olduğunu iddia etmişlerdir. Çalışmalarında

Monte Carlo simülasyonuna dayalı analitik hesaplamaları da dikkate alan bir model önermişler ve bu modelle heterojen toplumlarda infleunza salgınını modellemeyi amaçlamışlardır.

3. MATERYAL VE METOD**3.1. Materyal**

Salgın hastalıkların önlenmesinde kaynak paylaşımı probleminde, salgınla mücadelede kullanılan kaynaklar salgın hastalığın türüne göre değişmektedir. Bu çalışmada, önceki bölümlerde de açıklandığı gibi etkisi belli bir periyotta görülen ve yayılımı hızlı bir salgın türü olan pandemik influenza hastalığı ele alınmıştır. Bu hastalık, tarihte bir çok kez ortaya çıkmış ve insanlık üzerindeki etkisi dramatik olmuştur. Pandemik influenza 20.yüzyılda 1918, 1957 ve 1968 yıllarında ortaya çıkmıştır. 1918 yılındaki salgında, dünya genelinde yaklaşık 20 milyon kişinin hayatını kaybetmesine neden olmuştur. (Zhang ve ark.,2006) Geçmişteki salgınları temel alan uzmanlar yeni bir pandemik influenza salgınının çıkmasının muhtemel olduğunu ve bu salgının görüleceği toplumlarda, nüfusun yaklaşık %15-35 arasında bir oranının etkileneceğini tahmin etmektedirler. Bu nedenle, her ülkenin bu hastalığa karşı hazırlık planlarının olması, salgın esnasında bu planları uygulaması hastalığın zararlarının en az şekilde atlatılması bakımından son derece önemlidir. Pandemik influenza mücadele planları genel olarak, hastalığın gözetimi (sürveyans), aşılama, yoğun hasta akışına karşı sağlık sisteminin vereceği hızlı tepki, iletişim gibi bir çok aşamadan oluşmaktadır.

Literatür taraması, uzman doktorlar ve sağlık bakanlığı yetkilileri ile yapılan görüşmeler neticesinde, pandemik influenza ile mücadelede en önemli kaynakların hastane yoğun bakımlarındaki yataklar, solunum yetmezliği için kullanılan ventilatör cihazları ve hastalığın tedavisinde kullanılan antiviral ilaçlar olduğu sonucu elde edilmiştir. Hastalığın oluşumunu engellenmesi beklenen bir aşının geliştirilme aşamasında olduğu hatta FDA onayını alan bir aşının şu an ticari olarak bulunmamasına karşın Amerika Birleşik Devletleri ulusal depolarında stoklandığı bilinmektedir(Zhang ve ark., 2006). Bu aşının muhtemel koruyuculuk oranı kesin olarak bilinmemekle beraber, yüksek koruma oranları ve düşük koruma oranları ile çeşitli senaryolar, Meltzer (1999) yaptığı çalışmada vermiştir.

Çalışmada kullanılan hastane yoğun bakım yatakları, ventilatör cihazları, normal hastane yatakları gibi kaynakların miktarı T.C. Sağlık Bakanlığı verilerinden alınmıştır.

Çalışmada kullanılan veriler, T.C. Sağlık Bakanlığı kaynaklarından, illere göre hastane yoğun bakım yatak kapasiteleri, ventilatör cihazı sayıları, hastane normal yatak sayıları, alınmıştır. Çalışmada, populasyon grupları, Meltzer ve ark.(1999) yaptığı çalışmaya dayandırılarak Tablo 3.1.'de gösterilen altı risk grubuna ayrılmıştır.

Tablo 3.1. Risk Grupları

	Yüksek Risk	Düşük Risk
0-19 yaş	G 1	G 4
20-64 yaş	G 2	G 5
65 ve üzeri	G 3	G 6

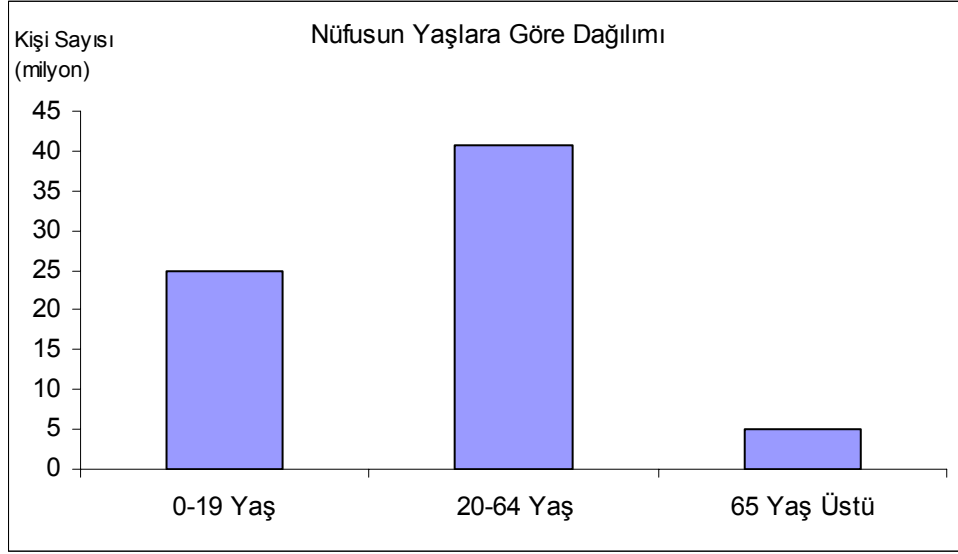
3.1.1. Nüfus İle İlgili Veriler

Çalışmada kullanılan nüfus ile ilgili veriler Devlet İstatistik Enstitüsünün 2007 yılında yaptığı adrese dayalı nüfus kayıt sistemi verilerinden alınmıştır (TÜİK,2007). 2007 yılı verilerine göre Türkiye'nin toplam nüfusu yaklaşık olarak 70 milyon kişi olarak hesaplanmıştır. Çalışmada, Türkiye nüfusu 0-19 yaş , 20-64 yaş ve 65 yaş üstü olarak üç kategoriye ayrılmış, bu kategorilerden kendi arasında düşük risk ve yüksek risk olmak üzere iki seviyeye ayrılmıştır. Dolayısıyla ülkemizdeki nüfus altı kısma ayrılmıştır. Yaş kategorileri ile ilgili veriler Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Türkiyedeki Nüfusun Yaş Kategorilerine Göre Sayıları

0-19 Yaş	24.799.424
20-64 Yaş	40.786.657
65 Yaş ve Üstü	5.003.175

Yaş kategorilerinin grafiksel gösterimi Şekil 3.1'de belirtilmiştir. Şekil 3.1'den de görüleceği üzere nüfusun büyük kısmını 20-64 yaş arasındaki kişiler oluşturmaktadır.



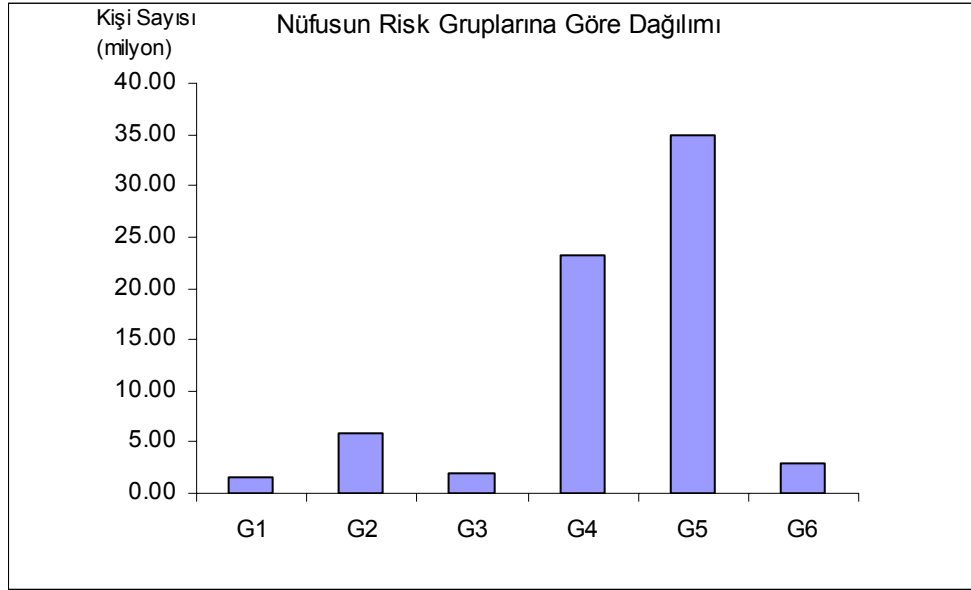
Şekil 3.1. Nüfusun Yaşlara Göre Dağılımı

Her popülasyon alt grubunun hastalığa yakalanma olasılıkları farklı olacaktır. Popülasyon alt gruplarının sayısı illere göre 2007 yılında Devlet İstatistik Enstitüsünün adrese dayalı nüfus kayıtlarından alınmıştır. Bu yaş gruplarının toplumdaki oranları yaklaşık olarak aşağıdaki Tablo 3.3’de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Risk Grupları ve Yaş Oranlarına
Göre Popülasyon Grupları

Risk Grupları	Populasyondaki Oranları (%)
G1	2.24
G2	8.32
G3	2.83
G4	32.88
G5	49.45
G6	4.25

Buna göre Türkiye genelindeki popülasyon alt gruplarının yaklaşık sayıları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Nüfusun Risk Gruplarına Göre Dağılımı

3.1.2. Sağlık Bakanlığından Alınan Veriler

Çalışmada kullanılan veriler, T.C. Sağlık Bakanlığı istatistiklerinden, Devlet İstatistik Enstitüsü kaynaklarından alınmıştır. Pandemik influenza hastalığının tedavisi ile ilgili bazı önemli tanımlar aşağıda verilmiştir.

Yoğun Bakım: Bir ya da birden fazla organın geçici olarak yetersizliği nedeni ile vücudun aksamış olan fonksiyonlarının, esas neden ortadan kalkıncaya kadar desteklenmesini ve bu süreç içerisinde hastanın hayatta kalmasının sağlanmasına yönelik faaliyetleri kapsamaktadır. Bu süreç içerisinde özellikle yapay solunum cihazı başta olmak üzere her türlü cihaz ve teknolojiyi kullanan bilgi ve yetenekleri buna uygun doktor ve hemşirelerin bulunduğu özel bir ünitedir.

Ventilatör: Solunum yeteneği azalmış ya da kaybolmuş bir kişiye, havayı mekanik yollarla kişinin akciğerlerine ileten cihazdır.

Tedavi Edici İlaç: Hastalığın tedavisinde kullanılan antiviral ilaçlardır. Özellikle pandemik influenza tedavisinde oseltamir sıklıkla kullanılmaktadır.

Aşı: Hastalıklara karşı bağışıklık sağlama amacı ile vücuda verilen, zayıflatılmış hastalık etkeni, hastalık etkeninin parçaları veya salgıları ile oluşturulan çözeltiye denir.

Hasta Yatağı: Hastane servis birimlerinde koğuşlara veya odalara yerleştirilen ve üzerinde yatan hastalar için devamlı personeli ile gerekli donanımı ayrılmış önemli bir kapasite birimidir. Hastanelerin kapasiteleri genellikle yatak sayısı ile belirlenir.

Sağlık bakanlığından il bazında alınan bu kaynaklara ait veriler çalışmada oluşturulan bölgeler için değerler elde edilen şekilde düzenlenmiş ve böylelikle her bir bölge için mevcut kaynak miktarına ait güvenilir veriler elde edilmiştir. Bu veriler Bölüm 4’de detaylı olarak verilmiştir.

3.2. Metod

Bu bölümde, salgın hastalıklarda kaynak atama problemine hangi yöntemlerle çözüm getirilebileceği tartışılmış ve bu yöntemlerin belli başlıları hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

3.2.1. Problemin Formülasyonu

Salgın hastalıklarda kaynak atama probleminin net olarak ortaya konulabilmesi için, probleme ait özelliklerin detaylı olarak incelenmesi gereklidir. Bu kısımda, problemin varsayımları, ele alınan sistemin karakteristikleri, performans değişkenleri, uygun yayılım modelinin seçilmesi açıklanmıştır.

3.2.1.1. Sistemin Karakteristikleri

Salgın hastalıklarla mücadelede, uygun koruma (önleyici), tedavi ve bakım planlarının geliştirilmesi, eldeki kaynakları etkin bir biçimde yönetebilmesi için uygun kaynak yönetimi planları hazırlanması ve bu sayede uygun kaynak paylaşımının sağlanması gereklidir.

Yapılan bu çalışmada salgın hastalıkların neden olacağı ölümler ve hastalığa yakalanacak kişi sayısı gibi olumsuz toplumsal ve ekonomik etkileri en aza indirmek için, sınırlı sağlık kaynaklarının ihtiyaç duyulan bölgelere en uygun şekilde

dağıtılması problemi ele alınmıştır. Salgın hastalıklar esnasında ciddi önlemler alınmazsa, birçok kişinin salgın hastalıktan etkilenmesi, toplu ölümlerin oluşması ve ciddi toplumsal sorunların oluşması kaçınılmazdır.

Bu çalışmada, salgın hastalıkların yukarıda belirtilen olumsuz etkilerini en aza indirmek için, sağlık kaynaklarının çok amaçlı matematiksel model yardımıyla paylaşımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelde, sağlık kaynakları tüketilebilir sağlık kaynakları (aşı, antiviral ilaç vb.) ve sabit sağlık kaynakları (ventilatör cihazı, hastane yatak kapasiteleri vb.) olarak iki gruba ayrılmıştır. Çalışma, sınırlı bütçenin ihtiyaç duyulan bölgelerde yer alan farklı popülasyon gruplarına koruyucu tedavi (aşı vb.) ve tedavi (antiviral ilaç vb.) giderlerini karşılayacak biçimde dağıtılması esasına dayanmaktadır.

Çalışmada ele alınan kaynak paylaşımı probleminde, mevsimsel olarak ortaya çıkan ve yayılımı hızlı olan bir hastalık türü ele alınmıştır. Önerilen modelde, sağlık kaynakları tüketilebilir sağlık kaynakları (aşı, antiviral ilaç vb.) ve sabit sağlık kaynakları (ventilatör cihazı, hastane yatak kapasiteleri vb.) olarak iki gruba ayrılmıştır. Ayrıca, stratejik planlamayı kolaylaştırmak için salgının görülebileceği alan bölgelere ayrılmıştır. Her bir bölgede yer alan popülasyon, hastalıktan etkilenme derecesi veya risk durumu dikkate alınarak risk gruplarına ayrılmıştır. Her bir risk grubunun gereksinim duyacağı tedavi miktarı, koruyucu tedavi yada tedaviye vereceği yanıt derecesi, hastalığa yakalanma riski gibi parametreler farklı olabilmektedir. Bunlara ek olarak, belirli bir bütçenin ihtiyaç duyulan bütün bölgelere ve bu bölgelerde yer alan popülasyon gruplarına koruyucu tedavi, antiviral ilaç giderleri ve sabit kaynak satın alımı için paylaşımı problemi dikkate alınmıştır.

3.2.1.2. Varsayımlar

Çalışmada ele alınan sisteme ait önemli varsayımlar aşağıda verilmiştir.

7. Salgın hastalığın başlangıcında eldeki mevcut kaynakların miktarı ve niteliği bilinmektedir.
8. Salgın hastalığın tedavisinde kullanılan ilaçların ve aşılardan, salgın periyodu boyunca maliyeti sabittir.

9. Hastalığın tedavisi için gerekli olan sabit ve tüketilebilir kaynaklar üreticilerden bütçeyi aşmayacak şekilde istenilen miktarda satın alınabilir.
10. Aşının, hastalığa karşı koruyucu etkisi bilinmektedir ve sabittir.
11. Hastalığın tedavisinde kullanılan ilaçların, hastaları iyileştirme oranları bilinmektedir ve sabittir.
12. Hastalık için ayrılan bütçe sabittir.

3.2.1.3. Performans Değişkenleri

Salgın hastalıklarla mücadelede aynı anda birden fazla hedefe ulaşılmaya çalışılır. Oluşacak hasta sayısının minimize edilmesi, oluşacak ölüm sayılarının minimize edilmesi, hasta olarak geçirilen gün sayısının ya da iyileşme süreleri toplamının minimize edilmesi, toplumda oluşacak panik havasının engellenmesi, toplumu bilgilendirme çalışmalarının yapılması vb. gibi birden fazla faaliyet içerir. Salgınla mücadele, bazı durumlarda sağlık ekiplerinin tek başına yürütebileceği bir çalışma değildir, bu mücadeleye birçok kurum ve kuruluşun aynı anda destek vermesi gereklidir.

Bütün hedefleri modele dahil etmek, gerek çözüm süresi açısından gerekse kullanıcıyı fazla detayla karşılaştırması açısından uygun değildir. Bu hedefler seçilirken, daha önce literatürde kabul görmüş çalışmaların kriterleri incelenmiş ve bu inceleme sonucunda bu hedefler belirlenmiştir (Flessa ,2003 ; Richter, 1996 ; Zaric, 2000). Bu incelemeler neticesinde, dört farklı performans kriteri dikkate alınmıştır. Bu performans kriterleri, oluşacak hasta sayısının minimize edilmesi, oluşacak ölüm sayısının minimize edilmesi, iyileşme süreleri toplamının minimize edilmesi ve kullanılan bütçenin minimize edilmesidir. Hasta sayısının minimize edilmesi, koruyucu tedavi için ayrılan bütçenin daha fazla olmasını gerekli kılmakta, ölüm sayısının minimize edilmesi de tedavi için ayrılan bütçenin daha fazla olmasını gerekli kılmaktadır. Bu durum amaçların birbiri ile çelişmesine neden olmaktadır.

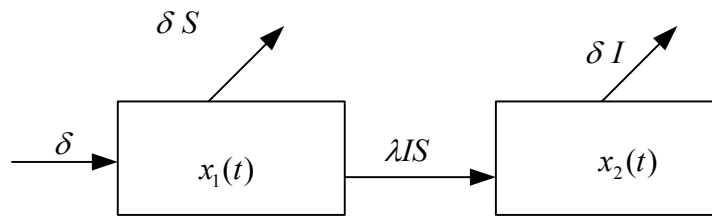
3.2.1.4. Uygun Yayılım Modelinin Seçilmesi

Salgın hastalıklarda kaynak paylaşımı probleminde, kaynakları etkin bir biçimde dağıtabilmek için bilinmesi gereken en önemli noktalardan birisi ilgili salgın döneminde oluşacak vaka sayısının belirlenmesidir. Literatürde, salgın döneminde oluşacak vaka sayısının belirlenmesine yönelik değişik yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardaki ortak nokta, belli bir zaman periyodu sonunda, ilgili bulaşıcı hastalığa, kaç kişinin yakalanacağını belirlenmesidir.

3.2.1.4.(1). Tekli Popülasyonda Bulaşıcı Hastalık Yayılım Modeli

Bu kısımda enfeksiyonların yayılım modeli, temel istatistikleriyle beraber açıklanacaktır. (Hetcote 1976, McKendrick 1927,1932)

Model bir popülasyon ve iki hastalık aşamasından oluşmaktadır. (Şüpheli kişiler ve enfekte kişiler) Bu modelde popülasyondaki kişiler ya enfekte olmuştur ya da şüphelidir. Popülasyon büyüklüğü sabittir. Hastalıkta iyileşme olmadığı varsayılmıştır, yani bir kişi enfekte olduğunda popülasyondan çıkana kadar enfekte kalmaktadır. Enfeksiyonun bir kuluçka dönemi olmadığı kabul edilmiştir. Kişi bir kez enfekte olduğunda hastalığı yaymaya devam etmektedir. Bu açıklamalardan sonra, model şematik olarak Şekil 3.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. SI Epidemik Modeli, Doğum ve Ölüm Oranları ile Birlikte

Epidemik hastalıklar, doğrusal olmayan diferansiyel denklem sistemi ile tanımlanabilir.

$$X_i'(t) = f(x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)). \quad (3.1)$$

(3.1) no'lu denklem genel bir varsayımdır ve denklemin kapalı çözümü sadece basit epidemik model için vardır.

Notasyon

t : zaman , $t > 0$

$x_1(t)$: t anında popülasyondaki şüpheli kişilerin oranı , $x_1(t) \in [0,1]$

$x_2(t)$: t anında popülasyonda enfekte olmuş kişilerin oranı , $x_2(t) \in [0,1]$

λ : Geçiş oranı (yeterli temas oranı) , $\lambda \in [0,1]$

δ : Şüpheli kişilerin enfekte olma oranı , $\delta \in [0,1]$

N : Popülasyodaki kişi sayısı

Modelde, popülasyon büyüklüğü sabit kabul edildiğinden, popülasyondaki kişi sayısının önemi yoktur. Buna göre, tek popülasyonlu epidemik modeli aşağıdaki denklemle ifade edebiliriz.

$$x_1'(t) = \delta - \lambda x_1(t)x_2(t) \quad (3.2)$$

$$x_2'(t) = \lambda x_1(t)x_2(t) - \delta x_2(t) \quad (3.3)$$

$$x_1(t) + x_2(t) = 1 \quad (3.4)$$

Popülasyondaki kişi sayısı N ise ; t anında şüpheli ve enfekte olmuş kişilerin sayısı $Nx_1(t) + Nx_2(t)$ olacaktır ve denklemin kapalı çözümü aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$x_2(t) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{x_2(0) (\lambda - \delta) e^{(\lambda - \delta)t}}{\lambda x_2(0) e^{(\lambda - \delta)t} - 1 + (\lambda - \delta)} & \lambda \neq \delta \\ \frac{1}{\lambda t + \frac{1}{x_2(0)}} & \lambda = \delta \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

3.2.1.4.(2). Çoklu Popülasyonda Bulaşıcı Hastalık Yayılım Modeli

Tekli popülasyon modelinde, $t=0$ anından T anına kadar olan zaman periyodunda oluşacak hasta sayısı ;

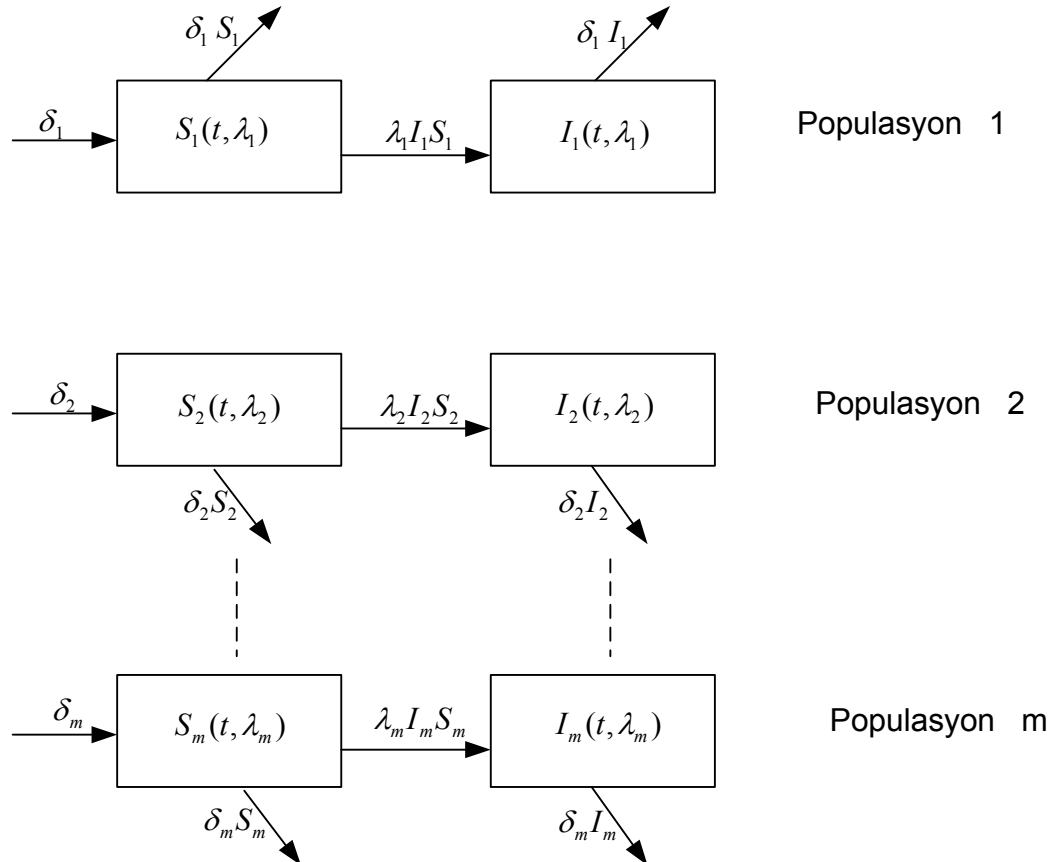
$$H(\lambda) \equiv \int_{t=0}^T \lambda I(t, \lambda) S(t, \lambda) dt = \int_{t=0}^T \frac{\partial I(t, \lambda)}{\partial t} dt + \delta \int_{t=0}^T I(t, \lambda) dt \quad (3.6)$$

ile hesaplanır.

Benzer durumda, m farklı popülasyonun olması durumunda, $t=0$ anından T anına kadar popülasyonlarda enfekte olan kişi sayısı ;

$$H_i(\lambda_i) \equiv \int_{t=0}^T \lambda_i I_i(t, \lambda_i) S_i(t, \lambda_i) dt = \int_{t=0}^T \frac{dI_i(t, \lambda_i)}{dt} dt + \delta_i \int_{t=0}^T I_i(t, \lambda_i) dt \quad (3.7)$$

formülü ile hesaplanacaktır.



Şekil 3.4. Çoklu Popülasyonda Bulaşıcı Hastalık Yayılım Modeli

3.2.1.4.(3). Kullanılan Yayılım Modeli

Literatürde oluşacak vaka sayısının hesaplanmasına yönelik bir yöntemde Flessa (2003) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemin temeli koruyucu tedaviye bağlı olarak oluşacak vaka sayısını hesaplamasıdır.

$$x_{ij} = (\alpha_{ij}(P_{ij} - P_{ij}^+) + \beta_{ij}P_{ij}^+) * \lambda_i \quad (3.8)$$

Bu denklemde,

- x_{ij} : i. bölgede j. gruptan oluşması beklenen hasta sayısı
- α_{ij} : i. bölge j. grupta koruyucu tedavi almayan kişilerde hastalığın oluşma oranı
- P_{ij} : i. bölgede j.gruptaki kişi sayısı
- P_{ij}^+ : i. bölgede j. gruptan koruyucu tedavi alan kişi sayısı
- β_{ij} : i. bölge j. grupta koruyucu tedavi alan kişilerde hastalığın oluşma oranı
- λ_i : i. bölgenin hastalığa maruz kalma oranı

Bu çalışmada oluşacak vaka sayısının hesaplanmasında tekli ve çoklu popülasyonlar da bulaşıcı hastalık yayılım modelleri yerine, Flessa (2000,2003) tarafından önerilen koruyucu tedaviye bağlı hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Tekli ve çoklu popülasyonlardaki hesaplamaların karmaşıklığı, bu modelleri optimizasyon modellerine dahil etmeyi zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, literatürde kabul gören ve optimizasyon modellerine kolayca dahil edilebilen koruyucu tedaviye bağlı hesaplama yöntemi bu çalışmada yayılım modeli olarak kullanılmıştır.

3.2.2. Salgın Hastalıklarla Mücadelede Çok Amaçlı Matematiksel Model

Önerilen modelin amaç fonksiyonları aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır;

i. *Oluşacak hasta sayısının minimize edilmesi*

$$\text{Min } z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (3.9)$$

(3.9) no'lu kısıt denklemi ile verilen oluşacak hasta sayısının minimize edilmesi, performans kriterlerinden birini oluşturmaktadır. Denklem (3.12) kısıt denkleminde hesaplanan, oluşacak hasta sayıları toplamını minimize etmektedir.

ii. *Oluşacak Ölüm Sayısının Minimize Edilmesi*

$$\text{Min } z_2 = TDA^+ + TDA^- + TDS^+ + TDS^- \quad (3.10)$$

Denklem (3.10)'de salgın sırasında oluşacak toplam ölüm sayısının minimize edilmesi sağlanmaktadır. Salgın esnasında, oluşacak ölümler farklı nedenlerle ve farklı ölüm olasılıklarında oluşabilir. Bu denklemin oluşturulması aşamasında, çeşitli çalışmalardan derlenen bazı oranlar dikkate alınmıştır. Ölüm sayılarının belirlenmesinde, ölüm oranlarının bu çalışmalarda farklı verilmesi nedeniyle, hastalığa yakalanmış kişiler arasından tedavi alan ve almayanlar ile buna ek olarak sabit kaynak kullanan ve kullanmayanlarda ölüm sayıları ile ayrı ayrı hesaplanıp toplanmıştır. Bu nedenle, yukarıdaki denklemde sırasıyla antiviral ilaç alanlar, antiviral ilaç alamayanlar, sabit kaynak kullanan ve kullanamayan kişiler için toplam ölüm sayıları toplanarak tüm ülke çapındaki genel ölüm sayısı hesaplanmaktadır. Bu değerlerin hesaplanması sırasıyla (3.26), (3.27), (3.28), (3.28) nolu denklemlerde verilmiştir.

iii. İyileşme Süreleri Toplamının Minimize Edilmesi

$$\text{Min } z_3 = TSA^+ + TSA^- + TSS^+ + TSS^- \quad (3.11)$$

(3.11) no'lu kısıt denklemi ise aynı şekilde antiviral tedavisi alan, antiviral tedavisi alamayan, sabit kaynak kullanan ve ihtiyaç duyduğu halde sabit kaynak kullanamayan kişiler için toplam iyileşme sürelerinin toplamını minimize etmektedir. Salgın esnasında birçok hasta olacaktır. Antiviral ilaç ile tedavi gören hastalarda toplam iyileşme süreleri, antiviral tedavisi alamayan hastalarda toplam iyileşme süreleri, sabit kaynaklarla tedavi gören hastalarda toplam iyileşme süreleri ve son olarak, sabit kaynak kullanamayan hastalarda toplam iyileşme süreleri sırasıyla (3.31), (3.32), (3.33), (3.34) nolu denklemler ile ifade edilmiştir.

Modelin kısıtları ise aşağıda açıklanmaktadır;

i. Oluşacak Vaka Sayısının Hesaplanması

$$x_{ij} = (\alpha_{ij}(P_{ij} - P_{ij}^+) + \beta_{ij}P_{ij}^+) * \lambda_i \quad i=1\dots m, j=1\dots n \quad (3.12)$$

(3.12) no'lu kısıt denkleminde oluşacak vaka sayısı hesaplanmaktadır. Bu denklem Flessa(2000,2003) tarafından önerilen yaklaşıma λ_i katsayısı ile gösterilen hastalığa maruz kalma oranının eklenmesiyle elde edilmiştir. Bu denklemde i . bölge j . risk grubunda oluşacak hasta sayısı hesaplanmaktadır.

ii. Maliyet İle İlgili Kısıtlar

Antiviral ilaç maliyeti ile ilgili kısıtlar

$$TC_{AV} = c_a \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n AV_{ij}^+ * q_j \quad (3.13)$$

$$AV_{ij}^+ \leq x_{ij} \quad (3.14)$$

(3.13) no'lu denklemde, toplam antiviral ilaç maliyeti (AVM) hesaplanmaktadır. Bu denklemde, tedavi görecekt kişi sayısı ile kişi başına kullanılması gereken birim miktar ve birim antiviral ilaç maliyeti çarpılmakta ve her bir bölgede yer alan bütün gruplar için bulunan bu değerlerin toplanması ile ülke çapında toplam antiviral ilaç maliyeti hesaplanmaktadır. Birim antiviral ilaç maliyeti sabit olmasına karşın, değişik popülasyon alt grubundaki kişilerin tedavisi için gereken antiviral ilaç miktarı değişebilir. Bu nedenle , (3.13) no'lu denklemde q_j katsayısı, j . grupta bulunan kişinin tedavisi için gerekli olan antiviral ilaç miktarını göstermektedir. (3.14) nolu denklem ise tedavi alacak kişi sayısının hastalığa yakalanacak kişi sayısından büyük olmamasını garanti etmektedir.

Koruyucu Tedavi Maliyeti ile İlgili Kısıtlar

$$TC_{PT} = c_p \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij}^+ \quad (3.15)$$

$$P_{ij}^+ \leq P_{ij} \quad (3.16)$$

(3.15) no'lu denklemde, ülke çapında toplam koruyucu tedavi maliyeti hesaplanmaktadır. Bu denklemde, c_p katsayısı, kişi başına koruyucu tedavi maliyetini göstermektedir. Kişi başına koruyucu tedavi maliyeti ile koruyucu tedavi alanların sayısının çarpılması ve tüm bölgelerde yer alan bütün popülasyon grupları bu değerlerin toplanması ile toplam koruyucu tedavi maliyeti hesaplanmaktadır.

Koruyucu tedavi alan kişi sayısının, popülasyondaki toplam kişi sayısını geçmemesi ise kısıt (3.16) ile garanti edilmektedir.

Sabit Kaynakların Kullanım ve Satın Alım Maliyeti İle İlgili Kısıtlar

$$TC_{FR} = \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^k a_{ir} * c_r \quad (3.17)$$

$$TCU_{FR} = \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^k F_{ir}^+ * c_{ir} \quad (3.18)$$

$$FR_{ir}^+ = \min\left(\sum_j^n NG_{ijr}, (A_{ir} + a_{ir}) * l_r\right) \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, k \quad (3.19)$$

$$NG_{ijr} = x_{ij} * d_{jr} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad r = 1, \dots, k \quad (3.20)$$

$$FR_{ir}^+ = \sum_{j=1}^n SFR_{ijr} \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, k \quad (3.21)$$

$$SFR_{ijr} \leq NG_{ijr} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad r = 1, \dots, k \quad (3.22)$$

$$a_{ir} \leq \text{Max}((NDR_{ir} - A_{ir}), 0) \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, k \quad (3.23)$$

$$NDR_{ir} = \left(\sum_{j=1}^n NG_{ijr}\right) / l_r \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, k \quad (3.24)$$

Denklem (3.17)'de, bütün bölgeler ve bütün sabit kaynaklar bazında satın alma maliyetlerinin toplanması ile toplam satın alma maliyeti hesaplanmaktadır. Her bir bölgede her bir kaynaktan satın alınacak miktar ise denklem (3.23)'e göre hesaplanmaktadır. Bu denklem, satın alınacak miktarın iki koşula bağlı olarak hesaplanmasını sağlamaktadır. Eğer her bir kaynaktan ihtiyaç duyulan miktar (NDR_{ir}) eldeki mevcut miktardan fazla ise (A_{ir}), bu iki değer arasındaki fark sıfırdan büyük olacağı için satın alınacak miktarın bu farka eşit veya küçük olmasını sağlar. Her bir kaynaktan ihtiyaç duyulan miktarın, eldeki mevcut miktardan az olması durumunda ise bu fark negatif olacağı için satın alınacak miktarı sıfıra eşitlemektedir. İhtiyaç duyulacak sabit kaynak miktarı ise, ihtiyaç duyacak kişi sayısından hareketle hesaplanmaktadır. Bu hesaplama denklem (3.24)'de gösterilmiştir. Her bir bölgede her bir kaynağa ihtiyaç duyan kişi sayısı ise denklem (3.20) ile hesaplanmaktadır. İhtiyaç duyan kişi sayısına ve eldeki mevcut miktarlara göre sabit kaynakları kullanabilecek kişi sayısı (FR_{ir}^+) denklem (3.19) dikkate

alınarak hesaplanmaktadır. Popülasyon grupları bazında her bir bölgeden her bir kaynağa olan ihtiyaç ise (3.20) ve (3.22) nolu denklemler ile hesaplanmaktadır.

Denklem (3.18)'de sabit kaynakları kullanabilen kişi sayısı ve sabit kaynakların birim kullanım maliyeti dikkate alınarak sabit kaynakların toplam kullanım maliyeti hesaplanmaktadır.

$$TC_{PT} + TC_{AV} + TCP_{FR} + TCU_{FR} \leq B \quad (3.25)$$

Denklem (3.25), toplam koruyucu tedavi maliyeti, toplam tedavi maliyeti, toplam sabit kaynakların kullanım maliyeti ve varsa toplam satın alma maliyetleri toplamının ayrılan bütçeyi aşmamasını sağlamaktadır.

iii. Ölüm Sayılarının Belirlenmesi

$$TDA^+ = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n AV_{ij}^+ * dr_j^+ \quad (3.26)$$

$$TDA^- = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - AV_{ij}^+) * dr_j^- \quad (3.27)$$

$$TDS^+ = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^k SFR_{ijr} * ds_{jr}^+ \quad (3.28)$$

$$TDS^- = \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^k FR_{ir}^- * ds_r^- \quad (3.29)$$

$$FR_{ir}^- = \max((\sum_{j=1}^n NG_{ijr}) - ((A_{ir} + a_{ir}) * l_r), 0) \quad (3.30)$$

Denklem (3.26), (3.27), (3.28), ve (3.29)'da sırasıyla antiviral tedavisi alan, antiviral tedavisi alamayan, sabit kaynak kullanan ve kullanamayan kişiler içerisinde toplam ölüm sayısını hesaplamaktadır. Sabit kaynak kullanamayan kişiler arasından ölüm sayısı denklem (3.30) da gösterilen sabit kaynak kullanamayan kişi sayısı kullanılarak hesaplanmaktadır.

iv. İyileşme Sürelerinin Belirlenmesi

$$TSA^+ = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n ts_{ij}^+ * AV_{ij}^+ \quad (3.31)$$

$$TSA^- = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n ts_{ij}^- * (x_{ij} - AV_{ij}^+) \quad (3.32)$$

$$TSS^+ = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^k GSAK_{ijr} * md_{jr}^+ \quad (3.33)$$

$$TSS^- = \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^k SAK_{ir}^- * md_r^- \quad (3.34)$$

Denklem (3.31), (3.32), (3.33), ve (3.34)'da sırasıyla antiviral tedavisi alan, antiviral tedavisi alamayan, sabit kaynak kullanan ve kullanamayan kişiler içerisinde toplam tedavi süresini hesaplamaktadır.

3.2.3. Çözüm Yaklaşımları

Salgın hastalıkların önlenmesinde kaynak paylaşımı problemine, değişik yaklaşımlarla çözüm getirilebilir. Kaynak paylaşımı probleminin çözümünde kullanılan belli başlı çözüm teknikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

Analitik Yaklaşımlar: Kaynak paylaşımı problemine matematiksel modeller yardımıyla optimum çözümün elde edilmesinin amaçlandığı yaklaşımlardır. Salgın hastalıkların yayılımını engellemek, sağlık kaynaklarını etkili bir biçimde dağıtmak gibi birçok problemde analitik yaklaşımlar kullanılabilir. Analitik yaklaşımlar optimum çözümü garanti etmelerine karşın, bazı durumlarda çözüm süresi açısından sıkıntı yaratmaktadırlar. Birçok araştırmacı, çalışmalarında Richter (1996) ve Zaric (2000) gibi salgın hastalıkların önlenmesi problemine analitik olarak yaklaşmışlar ve çözümdeki güçlükler nedeniyle sezgisel yaklaşımlara yönelmişlerdir.

Sezgisel Yaklaşımlar: Problemin çözümüne deneme-yanılma veya sezgiyle, önceki bilgilerin ışığında sezgisel kuralların uygulandığı bu yaklaşımların temel dezavantajı, hızlı çözümler üretebilmelerine rağmen optimum çözümü garanti edememeleridir. Bu yöntemler, salgın hastalıkların kaynak paylaşımı problemlerinde genel olarak analitik yaklaşımların çözüm süreleri açısından veya başka nedenlerden dolayı çözüm vermediği durumlarda kullanılmıştır. Örneğin Zaric (2000) ve Richter

(1996) çalışmalarında HIV virüsünün yayılmasının engellenmesine yönelik çalışmada öncelikle problemi matematiksel olarak modellemişler ancak çözüm aşamasında güçlükler nedeniyle kendi sezgisel yöntemlerini geliştirmişlerdir.

Benzetim Yaklaşımları: Bu yaklaşımlar özde, sistemlerin ya da bunların alt sistemlerinin zaman içerisindeki davranışlarını tanımlayan, belirli tipteki matematiksel ve mantıksal modellerin bilgisayarlarla denenmesine imkan veren sayısal bir yöntemdir. Bu modellerde, en iyi sonuçları bulmak çok zordur. Bu ise benzetim modellerinin çözülen modellerden çok deneysel modeller olmalarından kaynaklanır. Diğer bir deyişle benzetim tekniği, seçeneklerin değerlendirilmesinde daha yaygın kullanılır.

3.2.4. Kullanılan Optimizasyon Yaklaşımı

Bu çalışmada, salgın hastalıklarda kaynak paylaşımını sağlamak amacıyla geliştirilen model birden fazla performans kriterini aynı anda gerçekleştirmeye çalıştığı için çok amaçlı karar verme teknikleri kullanılmıştır.

Çok amaçlı karar verme süreci ve modelleri “Sistem Yaklaşımı” felsefesinin etkin uygulama alanlarından yöneylem araştırması tekniklerinin önemli bir grubunu içermektedir. Özellikle, karar verme durumunda olan kişi ya da grupların, belirli kısıtlamalar altında ve birbirleriyle çelişen nitelikli birden fazla amacı tatminkâr düzeyde gerçekleştirmek istemeleri halinde çözümler üretmeye çalışan bir karar modelleri kümesi olma niteliği söz konusudur.

3.2.4.1. Çok Amaçlı Karar Modellerinde Temel Kavramlar

Karar verme ve yöneylem araştırması yaklaşımlarının genel özelliklerine sahip bir üyesi olarak çok amaçlı karar verme modelleri, kendine özgü bazı kavramları ve özellikleri de içermektedir. Bu kavramlar ve özellikler ;

Karar Verici: Sorunlar sistemini, tanımladığı amaçlar, kriterler ve hedefler doğrultusunda çözüme kavuşturmaya çalışan, yönlendiren ve denetleyen kişi yada gruptur.

Analist: Sorunlar sisteminin tanımlanmasından probleme ait modelin kurulmasına kadar karar verici ile etkileşim halinde bulunan, bazı durumlarda çözüm üretme sürecinin ara aşamalarında da bu etkileşimi sürdüren, problem çözme teknikleri konusunda uzman kişi veya gruptur. Bazen karar verici ve analist aynı kişi ya da grup olabilir.

Kısıt: Sorunlar sisteminin tanımlanmış amaç veya amaçlarını etkileyen varsayımlar ile içsel ve çevresel kaynaklar veya değişkenler üzerindeki sınırlamalardır.

Amaç: Karar vericinin istekleri doğrultusunda maksimize yada minimize edilmek istenen özelliklerdir.

Kriter: Performans etkinliğinin bir ölçüsüdür ve değerlendirme yapabilmenin temelini oluşturur. Bu yüzden çok amaçlı karar verme literatüründe kriter, amaç ve nitelik kavramlarını da kapsayacak şekilde kullanılabilmektedir.

Nitelik: Karar vericinin istek ve ihtiyaçlarından kısmi olarak bağımsız bir şekilde tanımlanmış ve belirli bir kararın ne ölçüde gerçekleştirilebildiğinin değerlendirilmesine yarayan bir ölçüdür. Bu şekli ile kriter ve nitelik ortak özellikler göstermektedir.

Karar Değişkeni: Karar verici tarafından verilen spesifik kararların her biri, birer karar değişkenidir. (Kuruözüm,1998)

3.2.4.2. Çok Amaçlı Karar Modellerinin Yapısı

Çok amaçlı karar modelleri yapısal nitelikleri itibariyle geniş bir alana yayılmıştır. Bu yaygınlığa rağmen ortak bazı özellikler saptamak mümkündür.

1. Yargı kriterleri kümesi
2. Karar değişkenleri kümesi
3. Alternatifleri kıyaslama süreci
4. Baskın çözümler kümesi

olmak üzere dört ana grupta toplanabilecek bu nitelikler, hemen tüm modeller için geçerlidir. Çok amaçlı karar modellerinin bu ortak yapısal nitelikleri, ölçülebilir bir amaçlar kümesine, tanımlanmış bir kısıtlar kümesine ve açık ya da kapalı biçimde

ifade edilmiş bir takım bilgileri elde etme sürecine sahiptir. Dolayısıyla bu modellerde temel yapı, yukarda ki nitelikleri dikkate alarak uygun çözüm alanı içerisinde karar vericiye en iyi tatmin edecek amaç değerlerini saptamak üzerine kurulmuştur. Bazı kaynaklarda bu yapı, çok amaçlı optimizasyon olarak ifade edilmesine rağmen, aslında burada yapılan, birbirleriyle çelişen nitelikteki amaçları belirli kısıtlar altında karar vericinin istek ve beklentilerine göre genel bir uzlaştırma çabasıdır. Çok amaçlı optimizasyon, ideal çözüm noktasında gerçekleşebilir. Genellikle olanaksız çözüm niteliğine sahip olan bu ideal çözüm, mevcut koşullar altında karar vericiden bağımsızlaşır. Sonuç olarak üç ana tip yaklaşımla sözü edilen uzlaşmaya varılmaya çalışılır.

1. Karar vericinin ve modelin özelliklerine uygun bir fayda fonksiyonu tanımlamak ve onu maksimize etmek
2. Karar vericinin ve modelin özelliklerine uygun olarak amaçlardan birini optimize etmek, sonra bu optimizasyonu bozmayacak şekilde ikinci amaç için olabildiğince iyi değeri elde etmeye çalışmak, üçüncü amaç içinde her iki amacın mevcut değerini bozmayan olabildiğince iyi değeri elde etmeye çalışmak ve diğer amaçlar içinde benzer mantığı yürütmek
3. Karar vericinin ve modelin özelliklerine uygun bir ceza fonksiyonu tanımlayarak onu minimize etmek. (Kuruüzüm,1998)

3.2.4.3. Çok Amaçlı Karar Modellerinde Matematiksel Yapı

Çok amaçlı karar modellerinin, genel olarak, matematiksel yapısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\begin{aligned} \max f_1(x) &= z_1 \\ \max f_2(x) &= z_2 \\ &\vdots \\ \max f_l(x) &= z_l \\ \text{s.t.} \end{aligned} \tag{3.35}$$

$$g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.36)$$

Burada l tane amaç fonksiyonu ve m tane kısıtlayıcı koşul söz konusudur. Problemin karar değişkenleri x vektörüdür.

Bölüm 3.2.4.2.'de ifade edilen üç ana tip yaklaşım için yukarda ki formülasyon sıra ile ayrıştırılırsa aşağıdaki matematiksel ifadeler söz konusu olur.

$$\max U(z_1, z_2, \dots, z_l) \quad (3.37)$$

s.t.

$$f_k(x) = z_k \quad 1 \leq k \leq l \quad (3.38)$$

$$g_i(x) \leq 0 \quad (3.39)$$

Burada, U , modelin fayda fonksiyonunu oluşturmaktadır. Bazı kaynaklarda vektör maksimum problemi olarak da ifade edilmektedir. Bu tür yaklaşım biraz değiştirilerek, ağırlandırılmış amaç fonksiyonlarının oluşturduğu bir üst fonksiyonun tanımlanması ve onun maksimize edilmesiyle de uygulanabilmektedir.

$$\max k = \sum_{k=1}^l w_k f_k(x) \quad (3.40)$$

s.t.

$$g_i(x) \leq 0 \quad (3.41)$$

w =ağırlık vektörü ve genellikle $\sum_{k=1}^l w_k = 1$ 'dir.

İkinci yaklaşıma uygun bir genel gösterim aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\max f_p(x) \quad (3.42)$$

s.t.

$$f_l(x) \geq a_l \quad l = 1, \dots, k \text{ ve } l \neq p \quad (3.43)$$

a_l : l . amaca ait belirlenmiş değer.

Hedef programlama ve uzlaşık programlama gibi modeller, genel yapıları itibariyle üçüncü yaklaşıma uygun bir niteliğe sahiptirler. Bu modellerin matematiksel yapıları, çok genel bir gösterimle,

$$\min G = \sum_{k=1}^l w_k d_k \quad (3.44)$$

s.t.

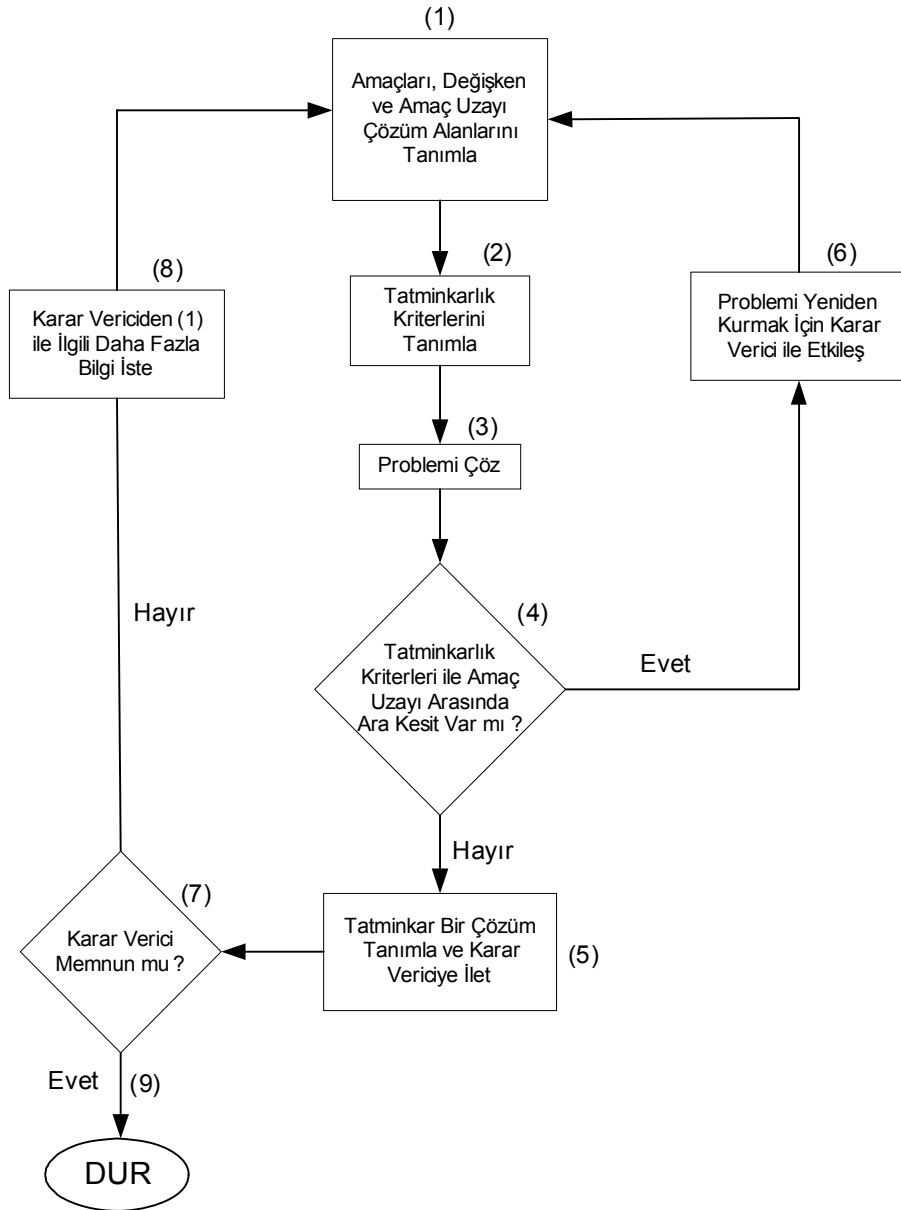
$$g_i(x) \leq 0 \quad (3.45)$$

Burada, d_k , k . amacın optimal (veya hedef) değeri ile diğer baskın çözüm değeri (veya değerleri) arasındaki uzaklık ölçüsüdür.

Örneğin, $d_k = f_k(x^*) - f_k(x)$, w_k ise seçimliktir ve ağırlık ölçüsü olarak tanımlanabilir. (Kuruüzüm,1998)

3.2.4.4. Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleri

Önceki bölümde değişik açılardan genel sınıflandırmaları yapılan çok amaçlı karar verme yöntemleri, bu bölümde algoritmik özellikleriyle ele alınacaktır. Doğal olarak, çok amaçlı karar verme yöntemleri burada ele alınanlarla sınırlı değildir. Ancak, seçilen yöntemler sözü edilen sınıflandırmaların her biri için birer örnek teşkil edebilecek niteliktedir.



Şekil 3.5. Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinin Akış Şeması (Kuruüzüm,1998)

3.2.4.4.(1). Step (Stem) Yöntemi

Karar verici amaç fonksiyonlarının göreceli önemi hakkında yeterli bilgi veremiyorsa, Step yöntemi kullanılabilir. Yöntem, Benayoun, Montgolfier ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir. Yöntemde aşağıdaki adımlar izlenmektedir.

$$\max[c_1^T x, c_2^T x, \dots, c_k^T x]$$

$$Ax \leq b$$

$x \geq 0$ probleminde amaç fonksiyonları teker teker maksimize edilerek Tablo 3.5.'deki ödemeler matrisi elde edilir.

Tablo 3.5 Ödemeler Matrisi

	c^1x	c^2x		c^jx		c^ix
c^1x	-	-		z_j^1		
c^2x				z_j^2		
c^jx				z_j^*		z_i^j
c^ix				z_j^k		z_i^k

Tabloda ana köşegen üzerindeki değerler her amacın maksimum olduğu değeri yani “ideal çözümü” vermektedir.

İdeali sağlayan bir alternatif bulunmaması halinde ideale “minimax” anlamında en yakın vektör alınmaktadır. İdeal çözümü f_j^* ile gösterirsek, yöntemde ideale “minimax” anlamında en yakın çözüm çeşitli algoritmik işlemlerle bulunur.

3.2.4.4.(2). Zions-Wallenius Yöntemi

Yöntemde amaç fonksiyonlarının herhangi bir ağırlıklı toplamıyla oluşturulan doğrusal bir fayda fonksiyonunun optimizasyonu ile elde edilen çözümlerin baskın çözümler olacağı gerçeğinden hareket edilmektedir. Karar verici fayda fonksiyonunun optimizasyonu için başlangıçta bir bilgiye sahip değildir, ancak fonksiyonun optimizasyonu aşamasında uygun dönüşümlerin yapılması için bir arama mekanizmasını yönlendirir. Bu arama mekanizmasının her aşaması, bir optimizasyon ve bir değerlendirme evresini oluşturmaktadır. Eğer karar verici yeni bir arama yönü belirleyerek fayda fonksiyonunun uygun bir şekilde dönüştürülmesini hala istiyorsa algoritma devam eder. Aksi halde algoritma durdurulur.

3.2.4.4.(3). Belenson-Kapur Algortiması

Yöntemde önce amaç fonksiyonları teker teker maksimize edilerek Tablo 3.5'deki gibi bir ödemeler matrisi oluşturulmaktadır. Bu matris bir oyun matrisi olarak düşünülürse, z_i^j , birinci oyunda i ., ikinci oyunda j . strateji uygulandığında beklenen kazancı göstermektedir. λ_i , birinci oyuncunun i .stratejiyi kullanma frekansı, μ_j 'de ikinci oyuncunun j .stratejiyi kullanma frekansını göstermek üzere,

$$\sum_{i=1}^k \lambda_i = 1, \quad \lambda_i \geq 0 \quad \forall i \text{ için}$$

$$\sum_{j=1}^k \mu_j = 1, \quad \mu_j \geq 0 \quad \forall j \text{ için}$$

olmaktadır. Oyunun beklenen ödemesi ,

$$p = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k z_i^j \lambda_i \mu_j \text{ dir. } p_0 \text{ ile } p \text{ 'nin minumum değeri, } p^0 \text{ ile de maksimum değeri}$$

gösterilmekte, oyunun çözümü aşağıdaki primal-dual doğrusal programlama çiftlerinden birini çözerek elde edilmektedir.

$$1. \sum_{i=1}^k z_i^j r_i \geq 1, \quad r_i \geq 0 \quad \forall i \text{ için kısıtları altında,}$$

$$\min \left(\frac{1}{p_0} \right) = \min \sum_{i=1}^k r_i \text{ doğrusal programlama problemi veya}$$

$$2. \sum_{j=1}^k z_i^j s_j \leq 1, \quad s_j \geq 0 \quad \forall j \text{ için kısıtları altında } \max \left(\frac{1}{p_0} \right) = \sum_{j=1}^k s_j \text{ doğrusal}$$

programlama problemi, optimizasyon halinde ;

$p^* = p^{0*} = p_0^*$ ve $\lambda_i^* = r_i^* p^*$, $\mu_j^* = s_j^* p^*$ olmaktadır, burada p^* oyunun optimal ödemesidir. Oyun matrisinde iki kişili sıfır toplamı oyun teorisinin uygulanması sonucu elde edilen ağırlıklar kullanılarak baskın çözümlerden biri elde edilmektedir.

3.2.4.4.(4). Genelleştirilmiş Oyunlar Yöntemi

Genelleştirilmiş oyunlar yöntemi temelde Belenson-Kapur'un iki kişilik toplamli oyunlar yöntemiyle aynıdır.

Bununla birlikte, alternatif çözümleri farklı bir yolla gidererek baskın çözümleri vermesi, bir ölçüde baskın yüzeylerden temsilciler bulması ve doyurucu olmayan amaçların doyurucu hale getirilmesinde amaçlar arasındaki artış ve azalışları vererek yöneticiye yardımcı olması açısından Belenson-Kapur yönteminden ayrılmaktadır. Yöntemin adımları kısaca aşağıdaki gibidir.

1. $x \in X$ olmak üzere her $c^i x (i = 1, \dots, k)$ amaç fonksiyonunun optimal değeri bulunur. Her amaç teker teker optimize edildiğinde bulunan çözümlerin her biri tam baskın çözüm olabilir.

$$\max c^i x \quad (i = 1, \dots, k)$$

$x \in X$ için bulunan çözümün tam baskın bir çözüm vermesi için $\forall j$ için $z_i^j - c_j^i > 0$ olmalı yani alternatif en iyi çözüm bulunmalıdır. Bazı j 'ler için $z_i^j - c_j^i > 0$ ise alternatif en iyi çözümler var demektir. Bu da maksimum değeri olan c_i^x 'in değerini azaltmadan diğer amaç fonksiyonlarının değerlerinin artırabileceğini göstermektedir.

2. Uzlaşık bir çözüm, Belenson-Kapur'un önerdiği şekilde iki kişili sıfır toplamli oyunlar yaklaşımından yararlanılarak bulunmaktadır.

3. Eğer karar verici herhangi bir amacın değerini artırmak için diğer bir amaç değerindeki en küçük azalma miktarını verebiliyorsa problem çözülmüştür. Bu en küçük değerin bulunmasında analist karar vericiye aşağıdaki şekilde yardımcı olur.

$$\max c^j x$$

$$X' = c^j x \geq K_i \quad i = 1, \dots, k \quad i \neq j$$

$x \in X$ doğrusal programlama problemi çözülerek i . amaçtaki bir birim artışın j . amaçta ne kadar azalışa yol açacağı hesaplanmaktadır.

Burada K_i karar vericinin doyurucu olmayan amaç vektörü bileşenleri için en küçük değer vermesini kolaylaştıracak bir ölçüdür. Problemin çözümü varsa, en iyi çözümdür, yoksa karar verici K_i değerleri için daha gerçekçi değerler vermelidir.

3.2.4.4.(5). Ağırlıklı TCHEBYCHEFF Algoritması

Yöntem etkin uç noktaların yanında etkin bu yüzeyleri de bulan ve bu işlevi Tchebycheff tekniğini kullanarak gerçekleştiren bir yöntemdir. (Steuer 1986) Yöntem Gradyan Koni Yöntemindeki çok sayıda etkin uç noktaların ve alternatif çözümlerin dezavantajını ortadan kaldırmakta, uç nokta çözümlere göre daha iyi olabilen ve etkin yüzeyler üzerinde bulunan çözümlerin elde edilmesini olanaklı kılmaktadır.

Tchebycheff Algoritması, çok amaçlı problemlerin çözümü için kullanılan ağırlıklı vektör uzayı daraltma yöntemidir. Ancak f_i 'lerin doğrusal çözüm uzayı S 'in konveks olması gerekli değildir. Her bir amacın S tarafından sınırlandığı ve S 'de tüm amaçları aynı anda maksimize eden bir noktanın bulunmadığı kabul edilir.

Söz konusu yaklaşımdan faydalanmak için önce z^{**} ideal kriter vektörü hesaplanır. z^{**} 'nin k bileşeni aşağıdaki gibi verilsin.

$$z^{**} = z_i^* + \varepsilon_i$$
$$= \max\{x \in S\} + \varepsilon_i, \varepsilon_i \geq 0$$

Genelde bu durum, her ε_i 'nin pozitif olması için yeterlidir. Bununla beraber, bazı durumlarda çok amaçlı programlar ε_i 'lerin birinin yada daha fazlasının sıfır olmasına izin verebilir. ε_i 'lerin pozitif olması gerekliliği sadece,

1. i . Amacı maksimize eden birden fazla baskın kriter vektör olduğunda,
2. Hem i . amacı, hem diğer amaçlardan birini maksimize eden bir baskın kriter vektör olduğunu ortaya çıkarmaktır.

3.2.4.4.(6). Hedef Programlama

Birbiriyle çelişen birden fazla amacı aynı anda tatmin eden, en iyi çözüm kümesini bulma durumunda olan bir karar verici, bu soruna başlıca iki yaklaşımla cevap arayabilir. Birinci olarak, amaçlar arasından uygun dönüşümle bir fayda fonksiyonu tanımlayarak bunu maksimize etmek isteyebilir. İkinci olarak da amaçlar

için belirlediği hedeflerden sapmaları minimize etmek isteyebilir. Her iki yaklaşım ile bulacağı çözümler genellikle birbirine çok yakın veya aynıdır.

Hedef programlama genel yapısı itibariyle ikinci tip yaklaşımla ilgilidir. Saptanan hedeflerden sapmaları minimize etmeye çalışırken, her bir amaç fonksiyonu için, karar verici tarafından tanımlanmış öncelik ve ağırlık katsayılarını dikkate alır. Öncelikle daha yüksek öncelikli hedefleri veya eşit öncelikte daha çok ağırlıklı hedefleri kısıtların ve amaç fonksiyonu katsayılarının elverdiği ölçüde, tam başarmaya çalışır. Daha yüksek öncelikli bir hedefteki sapma miktarını azaltabilmek için daha düşük öncelikli bir hedefteki sapma miktarını artırmayı göze alabilir. Dolayısıyla hedef programlama tekniği, yapısal olarak, tüm sapmalar toplamını minimize eden bir tekniktir.

Çok amaçlı yöntemler içerisinde uygulama yaygınlığı açısından en çok kullanılan algoritmalarından birisidir. İlk kez 1952 yılında bir fikir olarak ortaya atılmasına rağmen algoritmik adımlarla 1961 yılında Charnes ve Cooper tarafından geliştirilmiştir.

Hedef programlamanın genel olarak matematiksel fonksiyonu aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$G_{\min} = p_1(\bar{d}^+, \bar{d}^-), \dots, p_k(\bar{d}^+, \bar{d}^-)$$

veya

$$G_{\min} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n w_k p_k d_i^{\pm} \quad (\text{Hedef fonksiyonu}) \quad (3.46)$$

$$G_{\min} = \sum_{j=1}^m x_j a_{ij} + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad (\text{Amaç fonksiyonu})$$

$$g(x) \leq 0 \quad (\text{Kısıt alanı})$$

$$d_i^- \cdot d_i^+ = 0 \quad (\text{Sabit koşul})$$

Burada $d_i^- \cdot d_i^+ = 0$ sabitlik koşulu, herhangi bir aşamada aynı denkleme ait iki sapma değişkeninin aynı anda pozitif değer alamayacağını ifade etmektedir.

3.2.4.4.(7). Ağırlıklı Toplam Metodu

Ağırlıklı toplama metodu çok amaçlı matematiksel modellerin tek amaçlı optimizasyon problemi olarak çözülmesinde olanak sağlar. Tek amaç, bütün amaçların (f_i) belirli bir ağırlık katsayısı (w_i) ile çarpılıp toplanması ile elde edilir. Bu durumda ağırlıklar toplamı (the weighted sum) matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\begin{aligned} \min \sum_{i=1}^k w_i f_i(x) \\ s.t \ x \in \Omega, \\ w_i \geq 0, \forall i = 1, \dots, k \text{ ve } \sum_{i=1}^k w_i = 1. \end{aligned} \quad (3.47)$$

Konvekslik varsayımı altında, eğer $w_i > 0$ ise (3.47)'nin çözümü Pareto optimaldir. Eğer problem sıkı bir şekilde konveks ise çözüm tektir.

Genellikle, ağırlıklar karar verici tarafından problemin kendi yapısına uygun olarak belirlenir. Fakat, amaç fonksiyonlarının farklı büyüklüklere sahip olması durumunda ağırlıklarla tutarlı Pareto optimal sonucu elde edebilmek için normalizasyon işlemi şarttır.

3.2.4.4.(8). Hiyerarşik Metot

Hiyerarşik metot, her bir amaç fonksiyonunun önemlerinin ağırlıklandırılması yerine karar vericiye amaç fonksiyonlarının göreceli önemlerinin tanımlanması için yeni bir yöntem önerir. Bu yöntemde, karar verici amaç fonksiyonlarını önemlerine göre sıralar, ve en az önemli olanı geliştirebilmek için her bir amaç fonksiyonundan ne kadar ödün verebileceğini tanımlar. Hiyerarşik metod, köşe çözümler ile başladığı ve Pareto kümenin merkezine doğru ilerlediği için ağırlıklandırılmış yöntemin bazı dezavantajlarından kurtulmayı sağlar.

Yöntemin açıklanması ise iki amaç fonksiyonlu aşağıdaki problemi ele alınırsa ve problemde f_2 , f_1 'den daha önemli olacak şekilde üst sırada tanımlanmış ise öncelikle aşağıdaki problemin çözülmesi gereklidir;

$$\begin{aligned} \min f_2 \\ s.t \ x \in \Omega \end{aligned} \quad (3.48)$$

Bu problemin çözülmesi ile amaç fonksiyonu f_2^* için opimal değer bulunmuş olur. Daha sonra aşağıdaki problem çözülür;

$$\begin{aligned} \min f_1 \\ s.t \ x \in \Omega \\ f_2(x) \leq f_2^* + \varepsilon \end{aligned} \quad (3.49)$$

Bu durumda, hiyerarşik metodun temel noktasının “ f_2 ’nin f_1 ’den daha önemli olduğu” ve f_1 ’i geliştirmek için f_2 ’den %20(%30 veya %50)’den fazla ödün vermek istenmediği olarak anlaşılabilir.

3.3. Uygun Optimizasyon Tekniğinin Seçilmesi

Literatürde çok amaçlı matematiksel modellere çözüm yaklaşımı getiren yaklaşık 60 tane yöntem mevcuttur. Ancak bu yöntemlerden birbirlerine karşı olan üstünlükleri halen araştırılan konular arasındadır. Bu nedenle, araştırmacıların hızlı çözüm veren ve araştırdıkları problemin yapısına uygun yöntemi seçmeleri önemlidir. Bu çalışmada, çözüm yöntemi olarak hiyerarşik modelleme yöntemi tercih edilmiştir. Hiyerarşik yöntem, gerek esnekliği gerek hızlı çözüm vermesi açısından bir çok araştırmacının çok amaçlı matematiksel modelleri çözmek için tercih ettiği bir çözüm yöntemidir. Alternatif sonuçları değerlendirme açısından, problemin bir kaç durumu , değişik ağırlık katsayıları verilerek ve normalize işlemi yapılarak , ağırlıklandırma yöntemi ile çözülmüş ancak sonuçların hiyerarşik yöntemle göre daha kötü olduğu görülmüştür.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA**4.1. Verilerin Analizi**

Modelin geçerliliğini test etmek için, modelde kullanılan hastane yatak sayıları, yoğun bakım yatak sayıları ve ventilatör cihazı sayıları, T.C. Sağlık Bakanlığı kaynaklarından derlenmiştir. T.C. Sağlık Bakanlığı Ulusal Influenza Pandemi Planında, hastalığın gözlemlenmesi (sürveyans), İzmir, İstanbul, Ankara, Adana, Antalya, Konya, Samsun, Trabzon, Van, Diyarbakır, Bursa, Edirne, Malatya ve Erzurum olmak üzere toplam 14 ilden yapılmaktadır. Bu nedenle, modelde ülkemiz 14 bölgeye ayrılmış ve bu iller bölge ismi olarak kullanılmıştır. Bu bölgelere bağlı bulunan iller, Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Tablo 4.1’de İstanbul, Ankara, İzmir, Adana, Edirne, Bursa ve Samsun bölgelerine bağlı iller, Tablo 4.2’de ise Trabzon, Diyarbakır, Malatya, Antalya, Konya, Van, Erzurum bölgelerine bağlı iller verilmiştir.

Tablo 4.1. İstanbul-Samsun bölgelerine bağlı iller

İstanbul	Ankara	İzmir	Adana	Edirne	Bursa	Samsun
Kocaeli	Kırıkkale	Manisa	Hatay	Kırklareli	Çanakkale	Sinop
Düzce	Yozgat	Uşak	G.Antep	Tekirdağ	Balıkesir	Amasya
Sakarya	Kırşehir	Denizli	Kilis		Bilecik	Ordu
Zonguldak	Çankırı	Aydın	Osmaniye		Kütahya	Tokat
Bartın	Eskişehir		Mersin		Yalova	Çorum
	Bolu		Kayseri			Kastamonu
	Karabük					

Tablo 4.2. Trabzon-Erzurum bölgelerine bağlı iller

Trabzon	D.Bakır	Malatya	Antalya	Konya	Van	Erzurum
Rize	Batman	Sivas	Burdur	Karaman	Hakkari	Kars
G.Hane	Mardin	Tunceli	Isparta	Afyon	Şırnak	Ardahan
Giresun	Ş.Urfa	Elazığ	Muğla	Niğde	Siirt	Iğdır
Artvin	Bingöl	K.Maraş		Aksaray	Bitlis	Erzincan
Bayburt	Muş	Adıyaman		Nevşehir	Ağrı	

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'deki sınıflandırmaya göre, bu bölgelere ait nüfuslar ise Devlet İstatistik Enstitüsü kayıtlarından alınmıştır ve herbir bölgenin nüfusu Tablo 4.3' de gösterilmiştir. (TÜİK,2007)

Tablo 4.3. Bölgelere ait nüfuslar

Bölgelere Ait Nüfuslar	
İzmir	7.247.684
İstanbul	15.968.333
Ankara	6.850.028
Konya	3.864.547
Trabzon	1.849.852
Samsun	4.002.370
Adana	8.288.260
Antalya	3.226.477
Edirne	1.458.114
Bursa	5.003.762
Van	2.792.434
Erzurum	1.605.271
Diyarbakır	4.859.139
Malatya	3.572.985

Çalışmada, Türkiye, 14 bölgeye ayrılmış, bölgelerdeki kişiler ise kendi aralarında altı risk grubuna ayrılmıştır. Bunlar ; 0-19 yaş arası yüksek risk grubu , 19-64 yaş arası yüksek risk grubu , 65 yaş üstü yüksek risk grubu , 0-19 yaş arası düşük risk grubu, 20-64 yaş arası düşük risk grubu, 65 yaş üstü düşük risk grubudur. Tablo 4.3'de verilen nüfusları, modelde kullanılan bölge ve populasyon alt gruplarına göre ayırarak, Tablo 4.5'de gösterilen risk gruplarına ait nüfuslar elde edilmiştir. Populasyonun, yukarda belirtildiği gibi altı risk grubuna ayrılması, Meltzer ve arkadaşlarının (1999) yaptığı sınıflandırmaya göre yapılmıştır. Düşük risk grubu ve yüksek risk grubu kişilerin popülasyondaki oranları ise yine aynı çalışmadan alınmıştır. Bu oranların kullanılmasının nedeni, Türkiye'de bu oranları gösteren bir çalışmaya rastlanmamış olmasıdır. Meltzer ve arkadaşlarının (1999) yaptıkları çalışmaya göre yüksek riskli popülasyon gruplarının, popülasyondaki oranları Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Yüksek risk grubundaki kişilerin popülasyondaki oranı

Populasyon Alt Grubu	Oranı (%)
0-19 yüksek risk grubu	6.4
20-64 yüksek risk grubu	14.4
65 yaş ve üstü yüksek risk grubu	40.0

Tablo 4.4'deki oranlar dikkate alınarak yapılan hesaplamada, bölgelerdeki düşük riskli ve yüksek kişilerin tahmini sayısı Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Risk gruplarının bölgelerdeki tahmini nüfusu

Bölgeler	Yaşa göre Populasyon Alt Grupları					
	G1	G2	G3	G4	G5	G6
İzmir	135.969	647.732	250.012	1.988.550	3.850.404	375.017
İstanbul	330.502	1.414.604	392.242	4.833.589	8.409.032	588.364
Ankara	135.026	607.839	207.657	1.974.753	3.613.268	311.485
Konya	89.765	312.421	116.950	1.312.818	1.857.168	175.425
Trabzon	38.384	151.804	78.363	561.363	902.393	117.545
Samsun	84.787	326.974	162.769	1.240.007	1.943.679	244.154
Adana	205.078	662.716	192.690	2.999.267	3.939.475	289.034
Antalya	63.060	286.437	100.808	922.255	1.702.706	151.211
Edirne	25.573	133.561	52.409	374.009	793.948	78.614
Bursa	93.436	444.817	181.927	1.366.498	2.644.193	272.891
Van	95.391	173.883	37.769	1.395.099	1.033.639	56.653
Erzurum	41.563	121.622	44.498	607.863	722.977	66.748
Diyarbakır	160.045	310.990	79.514	2.340.659	1.848.661	119.270
Malatya	88.583	277.879	103.662	1.295.532	1.651.835	155.494

4.2. Örnek Salgın Hastalık Uygulaması

Geliştirilen optimizasyon modelinin kullanımının gösterilmesi ve modellerin gerçekleşmesi amacıyla, Ülkemizde bulunan, çalışmada ayrılan bölgelere göre, toplam hastane yatak sayısı, toplam yoğun bakım yatak sayısı ve toplam ventilatör sayısı üzerinde uygulamalar yapılmıştır. Modele girilen ve bölgelere ait sabit kaynakları gösteren veriler Tablo 4.6 'da gösterilmiştir.

Geliştirilen çok amaçlı model, hiyerarşik metodla çözülmüştür. Bu metotta, hiyerarşik sıra, ölüm sayısının minimize edilmesi, hasta sayısının minimize edilmesi,

iyileşme süreleri toplamının minimize edilmesi ve harcanan bütçenin minimize edilmesi olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.6. Türkiye genelinde bölgelere göre sabit kaynakların sayısı

	Hastane Yatak Sayısı	Yoğun Bakım Yatak Sayısı	Ventilatör Sayısı
İzmir	18,585	1,074	399
İstanbul	34,505	3,937	1,182
Ankara	23,227	1,205	749
Konya	9,249	333	135
Trabzon	6,147	264	42
Samsun	12,016	358	95
Adana	16,752	742	251
Antalya	8,533	355	147
Edirne	3,887	90	39
Bursa	11,939	412	112
Van	3,397	74	15
Erzurum	4,256	114	44
Diyarbakır	6,748	164	62
Malatya	9,344	274	67

Modele girilen hastaneye yatış ve ölüm oranları Melzter ve arkadaşlarının (1999) yaptığı çalışmalardan derlenmiştir.

Tablo 4.7. Hastaneye yatış ve ölüm oranları

Hasta Gelişleri	1000 kişi için oranlar		
	İyimser	Muhtemel	Kötümser
Hastaneye yatış			
<i>Yüksek risk</i>			
0-19 yaş	2.10	2.90	9.00
20-64 yaş	0.83		5.14
65+ yaş üstü	4.00		13.00
<i>Düşük risk</i>			
0-19 yaş	0.20	0.50	2.90
20-64 yaş	0.18		2.75
65+ yaş üstü	1.50		3.00
Ölümler			
<i>Yüksek risk</i>			
0-19 yaş	0.13	0.22	7.65
20-64 yaş	0.10		5.72
65+ yaş üstü	2.76		5.63
<i>Düşük risk</i>			
0-19 yaş	0.01	0.02	0.13
20-64 yaş	0.03	0.04	0.09
65+ yaş üstü	0.28	0.42	0.54

Benzer şekilde, Tablo 4.8’de verilen model parametreleri ve Tablo 4.9’da verilen maliyetler Meltzer ve arkadaşları (1999) ve Zhang ve arkadaşlarının(2006) yaptığı çalışmadan alınmıştır. Verilerin bu çalışmalardan alınmalarının nedeni, bu çalışmalarda yer alan araştırmacıların, Amerika Birleşik Devletlerinin bulaşıcı ve salgın hastalıklarla mücadele kurumu olan CDC’nin uzmanları olmasıdır. Bu kurumun verileri bir çok tıp otoritesi tarafından güvenilir kabul edilmektedir. Bu nedenle bu kurumun çalışanlarının yaptığı ve geçmiş pandemik influenza istatistiklerine dayanan bu veriler referans veri olarak kullanılmıştır.

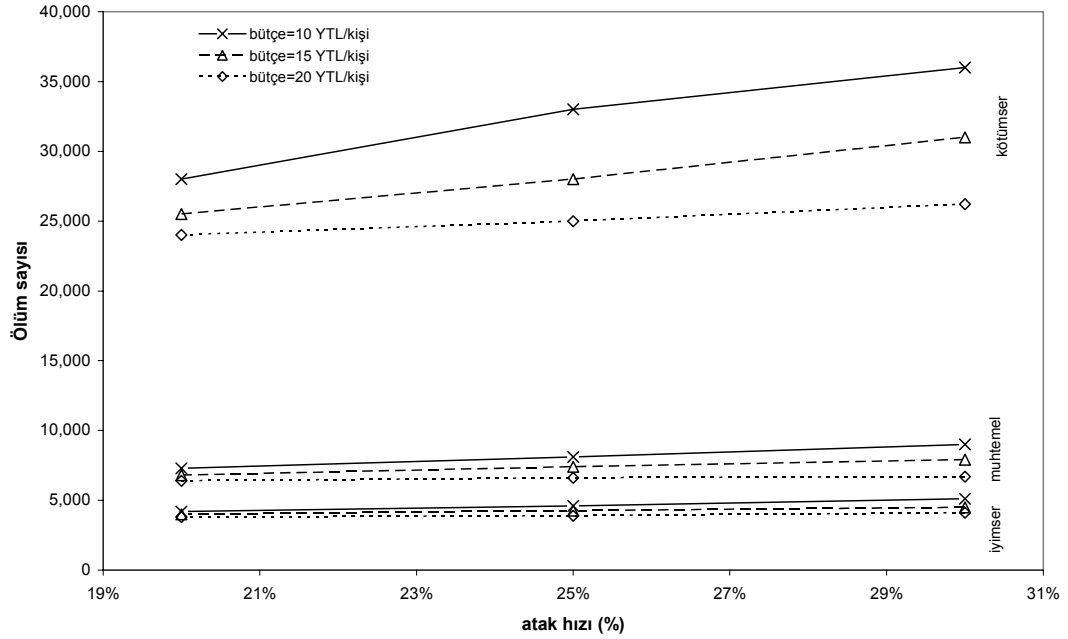
Tablo 4.8. Model parametreleri için kullanılan veriler

Varsayımlar	
İnfluenza ile ilgili bir hastalıkta hastane yatağında ortalama kalış süresi (gün)	5
İnfluenza ile ilgili bir hastalıkta yoğun bakım yatağında ortalama kalış süresi (gün)	10
İnfluenza ile ilgili bir hastalıkta ventilatör kullanım süresi (gün)	10
Hastaneye kabul edilen hastanın yoğun bakım yatağına ihtiyaç duyma oranı (%)	10
Hastaneye kabul edilen hastanın yoğun bakım yatağına ihtiyaç duyma oranı (%)	7.5
Hastanede oluşan ölümlerin toplam ölümlere oranı (%)	70

Tablo 4.9. Koruyucu tedavi ve antiviral ilaç tedavisi maliyetleri

Risk Grupları	Antiviral ilaç maliyeti (YTL/kişi)	Koruyucu tedavi maliyeti (YTL/kişi)
G1	26	21
G2	42	21
G3	41	21
G4	26	21
G5	36	21
G6	41	21

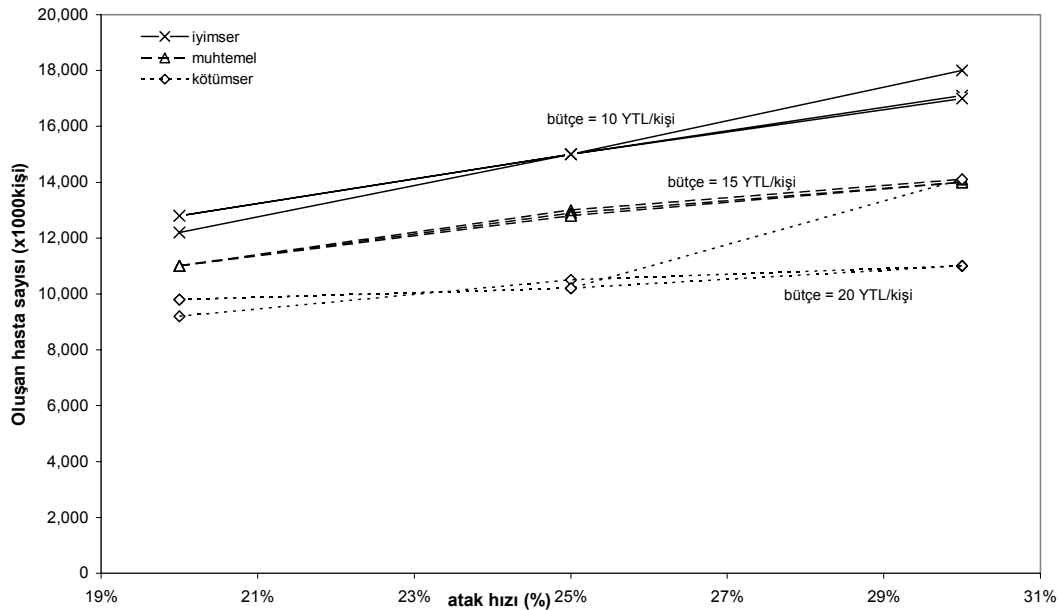
Bölüm 3.2.2’de detayları verilen çok amaçlı matematiksel model değişik atak hızları ve değişik bütçe alternatiflerine göre çözüldüğünde, tahmini ölüm sayılarını gösteren Şekil 4.1’deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Değişik atak hızları ve bütçe alternatiflerine göre ölüm sayıları

Ölüm sayıları arasında senaryolardan kaynaklanan belirgin bir fark gözlenmektedir. Özellikle kötümser senaryoda, ölüm sayıları diğer senaryolardan daha fazladır. Atak hızının ise, kötümser senaryoda, ölüm sayısı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle, bütçenin artırılması, kötümser senaryoda ölüm sayısını diğer senaryolara göre daha fazla azaltmaktadır.

Farklı atak hızları ve bütçe alternatifleri için oluşan hastalık sayılarını gösteren grafik ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Kişi başına ayrılan bütçenin oluşan hasta sayısında etkili olduğu görülmektedir. Kötümser senaryoda kişi başına harcamanın 20 YTL olması durumunda ve yüksek atak hızında, oluşan hasta sayısındaki eğilimin diğer senaryo ve atak hızlarına göre farklı olduğu göze çarpmaktadır. Bunun nedeni, çok amaçlı matematiksel modelin birinci öncelik olarak ölüm sayısını minimize etmeye odaklanmasıdır. Model, ölüm sayısını azaltmak için, bütçeyi, antiviral ilaç tedavisine ve sabit kaynak alımına yönlendirmektedir.



Şekil 4.2. Değişik atak hızları ve bütçe alternatiflerine göre hasta sayıları

Genel değerlendirmelerden sonra, verdiği çıktıları daha iyi analiz edebilmek için atak hızı % 25, bütçe 15 YTL/kişi ve muhtemel senaryo durumu için detaylı sonuçlar Bölüm 4.2.1’de tartışılacaktır.

4.2.1. Atak Hızı %25 Bütçe 15 YTL Muhtemel Senaryo Sonuçları

Modelin verdiği detaylı sonuçları göstermek ve tartışmak için optimizasyon modeli, kişi başına bütçe harcaması 15 YTL, atak hızı %25, aşı koruyuculuğu %90 ve muhtemel senaryo verileri kullanılarak çalıştırılmıştır. Hiyerarşik çözüm yöntemine göre çözülen model, ilk olarak ölüm sayısını minimize eden amaç fonksiyonuna göre çalıştırılmış ve elde edilen ölüm sayısı %10 artırılarak ikinci modele kısıt olarak eklenmiştir. İkinci model, oluşan hasta sayısını minimize edecek şekilde çalıştırılmış ve oluşan hasta sayısı %10 artırılarak üçüncü modele kısıt olarak eklenmiştir. Üçüncü model iyileşme süreleri toplamını minimize eden amaç fonksiyonuna göre çalıştırılmış ve elde edilen toplam iyileşme süresi % 10 olarak artırılarak, dördüncü modele kısıt olarak eklenmiştir. Son olarak dördüncü model ise bütçe harcamasını minimize eden amaç fonksiyonuna göre çalıştırılmıştır. Hiyerarşik

çözüm yönteminde elde edilen genel sonuçlar Tablo 4.10’da gösterilmiştir. Optimizasyon modeli bu yöntemle çözüldüğünde, bütçenin büyük bir kısmının koruyucu tedaviye, kalanın ise antiviral ilaç tedavisine ve sabit kaynak satın alınmasına ayrıldığını görmekteyiz. Tablo 4.10’da koruyucu tedavi, antiviral ilaç tedavisi ve sabit kaynak alımına ayrılacak miktarlar gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Çözülen örnek modelin toplu sonuçları

Modelin Toplu Sonuçları	
Ölüm Sayısı (Kişi)	7.368
Hasta Sayısı (Kişi)	12.578.000
Toplam İyileşme Süresi (Gün)	630.750.000
Harcanan Bütçe (YTL)	1.028.300.000
Koruyucu Tedaviye Ayrılan Miktar (YTL)	844.900.000
Antiviral İlaç Tedavisine Ayrılan Miktar (YTL)	183.090.000
Sabit Kaynak Alımına Ayrılan Miktar (YTL)	285.130

Modelin detaylı sonuçları tablolar halinde gösterilmiştir. Sabit kaynak kullananlarda gerçekleşmesi beklenen ölüm sayısı bölgelere ve populasyon alt gruplarına göre Tablo 4.11’de detaylandırılmıştır.

Tablo 4.11. Sabit kaynak kullanan hastalarda oluşan ölüm sayısı

Sabit Kaynak Kullanan Hastalarda Oluşan Ölüm Sayısı						
Bölgeler	G1	G2	G3	G4	G5	G6
İzmir	16	25	266	29	200	72
İstanbul	40	54	417	72	214	113
Ankara	16	23	221	29	75	60
Konya	11	12	124	19	39	34
Trabzon	5	6	83	8	19	23
Samsun	10	12	173	18	40	47
Adana	25	25	205	44	82	55
Antalya	8	11	107	14	35	29
Edirne	3	5	56	6	16	15
Bursa	11	17	193	20	137	52
Van	12	7	40	21	21	11
Erzurum	5	5	47	9	38	13
Diyarbakır	19	12	84	35	96	23
Malatya	11	11	110	19	86	30

Antiviral ilaç kullananlarda gerçekleşmesi beklenen ölüm sayısı Tablo 4.12 ‘de, bütçe yetersizliği nedeniyle antiviral ilaç kullanamayan kişilerde gerçekleşmesi beklenen ölüm sayısı ise Tablo 4.13’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12. Antiviral ilaç kullananlarda oluşan ölüm sayısı

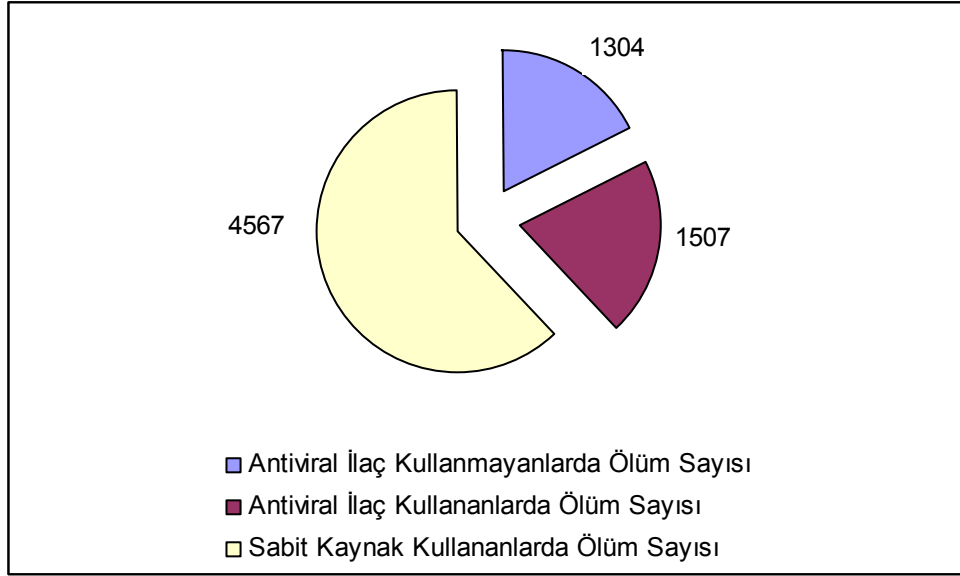
Antiviral İlaç Kullananlarda Oluşan Ölüm Sayısı						
Bölgeler	G1	G2	G3	G4	G5	G6
İzmir	9	0	141	12	4	19
İstanbul	22	0	221	29	0	30
Ankara	9	0	117	12	0	16
Konya	6	0	66	8	0	9
Trabzon	3	0	44	3	0	6
Samsun	6	0	92	7	0	12
Adana	14	0	108	18	0	9
Antalya	4	0	57	6	0	8
Edirne	2	0	30	2	0	0
Bursa	6	0	102	8	0	14
Van	6	0	21	8	0	0
Erzurum	3	0	25	4	0	0
Diyarbakır	11	0	45	14	0	0
Malatya	6	0	58	8	0	8

Tablo 4.12 incelendiğinde, antiviral ilaç kullananlarda ölüm sayısının 65 yaş üstü yüksek risk grubuna denk gelen, G3 sütununda fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, modelin yüksek riskli grubun ölüm oranını azaltmak için antiviral ilaç paylaşımını o gruba yönlendirmesidir.

Tablo 4.13. Antiviral ilaç kullanamayanlarda oluşan ölüm sayısı

Antiviral İlaç Kullanamayanlarda Oluşan Ölüm Sayısı						
Bölgeler	G1	G2	G3	G4	G5	G6
İzmir	0	44	0	0	140	0
İstanbul	0	96	0	0	165	0
Ankara	0	41	0	0	58	0
Konya	0	21	0	0	30	0
Trabzon	0	10	0	0	14	0
Samsun	0	22	0	0	31	0
Adana	0	45	0	0	63	20
Antalya	0	19	0	0	27	0
Edirne	0	9	0	0	13	13
Bursa	0	30	0	0	106	0
Van	0	12	0	0	17	10
Erzurum	0	8	0	0	29	11
Diyarbakır	0	21	0	0	74	20
Malatya	0	19	0	0	66	0

Ölüm sayılarının sabit kaynak kullanan hastalar, antiviral ilaç kullanan hastalar ve antiviral ilaç kullanamayan hastalar arasındaki dağılımı Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Sabit kaynak kullanan hastalarda ölüm sayısının fazla olması, bu kaynakları kullanan hastaların ölüm oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.3. Ölüm sayısının kategorilere ayrılması

Bölgelere ve populasyon alt gruplarına göre oluşan hasta sayılarının detayı ise Tablo 4.14 ‘de gösterilmiştir. Bölgelerde oluşan toplam hasta sayısının, bölge nüfusuna oranları ise Tablo 4.15’de gösterilmiştir.

Tablo 4.14. Bölgelere ve populasyon alt gruplarında göre oluşan hasta sayısı

Bölgelere ve Populasyon Alt Gruplarına Göre Oluşan Hasta Sayısı						
Bölgeler	G1	G2	G3	G4	G5	G6
İzmir	33.992	64.773	25.001	497.140	962.600	37.502
İstanbul	82.626	141.460	39.224	1.208.400	1.032.300	58.836
Ankara	33.757	60.784	20.766	493.690	361.330	31.149
Konya	22.441	31.242	11.695	328.200	185.720	17.543
Trabzon	9.596	15.180	7.836	140.340	90.239	11.755
Samsun	21.197	32.697	16.277	310.000	194.370	24.415
Adana	51.270	66.272	19.269	749.820	393.950	28.903
Antalya	15.765	28.644	10.081	230.560	170.270	15.121
Edirne	6.393	13.356	5.241	93.502	79.395	7.861
Bursa	23.359	44.482	18.193	341.620	661.050	27.289
Van	23.848	17.388	3.777	348.770	103.360	5.665
Erzurum	10.391	12.162	4.450	151.970	180.740	6.675
Diyarbakır	40.011	31.099	7.951	585.160	462.170	11.927
Malatya	22.146	27.788	10.366	323.880	412.960	15.549

Tablo 4.15. Bölgelerde oluşan toplam hasta sayısının bölge nüfusuna oranları

Bölgelerde Oluşan Vaka Sayıları ve Nüfusa Oranı (%)			
Bölgeler	Bölgelerde Oluşan Toplam Hasta Sayısı	Bölge Nüfusu	%
İzmir	1.621.008	7.247.684	22
İstanbul	2.562.846	15.968.333	16
Ankara	1.001.475	6.850.028	15
Konya	596.841	3.864.547	15
Trabzon	274.947	1.849.852	15
Samsun	598.956	4.002.370	15
Adana	1.309.484	8.288.260	16
Antalya	470.441	3.226.477	15
Edirne	205.749	1.458.114	14
Bursa	1.115.993	5.003.762	22
Van	502.808	2.792.434	18
Erzurum	366.388	1.605.271	23
Diyarbakır	1.138.319	4.859.139	23
Malatya	812.689	3.572.985	23

Tablo 4.15 incelendiğinde bölgelerde oluşan hasta sayılarının bölge nüfusuna oranlarının %14-%23 arasında değiştiği görülmektedir. Bu oranlar kaynak paylaşımı yapan modelin oransal olarak dengeli bir dağıtım yaptığını göstermektedir.

Tablo 4.16. Bölgelere ve populasyon alt gruplarına göre koruyucu tedavi alan kişi sayısı

Bölgelere ve Populasyon Alt Gruplarına Göre Koruyucu Tedavi Alan Kişi Sayısı						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6
İzmir	0	647.730	250.010	0	0	375.020
İstanbul	0	1.414.600	392.240	0	7.133.300	588.360
Ankara	0	607.840	207.660	0	3.613.300	311.490
Konya	0	312.420	116.950	0	1.857.200	175.430
Trabzon	0	151.800	78.363	0	902.390	117.550
Samsun	0	326.970	162.770	0	1.943.700	244.150
Adana	0	662.720	192.690	0	3.939.500	289.030
Antalya	0	286.440	100.810	0	1.702.700	151.210
Edirne	0	133.560	52.409	0	793.950	78.614
Bursa	0	444.820	181.930	0	0	272.890
Van	0	173.880	37.769	0	1.033.600	56.653
Erzurum	0	121.620	44.498	0	0	66.748
Diyarbakır	0	310.990	79.514	0	0	119.270
Malatya	0	277.880	103.660	0	0	155.490

Bölgelere ve populasyon alt gruplarına göre koruyucu tedavi alan kişi sayısı ise Tablo 4.16 'da gösterilmiştir. Tablo 4.16 incelendiğinde G1 ve G4 grubunun mevcut bütçeyle koruyucu tedavi alamadığı görülmektedir. Bunun nedeni, bu iki grubun düşük risk grubu ve yüksek risk grubunda, diğer gruplara göre ölüm oranının düşük olmasıdır.

Tablo 4.17. Bölgelere göre koruyucu tedavi alanların oranı ve maliyetleri

Bölgeler	Bölgelere Göre Koruyucu Tedavi Alanların Sayısı	Bölge Nüfusu	Koruyucu Tedavi Alanların % si	Koruyucu Tedavi Maliyeti
İzmir	1.272.760	7.247.684	18	31.819.000
İstanbul	9.528.500	15.968.333	60	238.212.500
Ankara	4.740.290	6.850.028	69	118.507.250
Konya	2.462.000	3.864.547	64	61.550.000
Trabzon	1.250.103	1.849.852	68	31.252.575
Samsun	2.677.590	4.002.370	67	66.939.750
Adana	5.083.940	8.288.260	61	127.098.500
Antalya	2.241.160	3.226.477	69	56.029.000
Edirne	1.058.533	1.458.114	73	26.463.325
Bursa	899.640	5.003.762	18	22.491.000
Van	1.301.902	2.792.434	47	32.547.550
Erzurum	232.866	1.605.271	15	5.821.650
Diyarbakır	509.774	4.859.139	10	12.744.350
Malatya	537.030	3.572.985	15	13.425.750

Tablo 4.17’de bölgelere göre koruyucu tedavi alanların oranı ve maliyetleri gösterilmiştir. Tablo 4.17 incelendiğinde koruyucu tedavi alanların oranı bölgelere göre %10-%73 arasında değişmektedir. Model risk grubu ve nüfus verilerini dikkate alarak bölgelere değişen oranlarda ve maliyetlerde koruyucu tedavi ataması yapmıştır. Antiviral ilaç alan kişilerin oluşan hasta sayısına oranları ise Tablo 4.18’de gösterilmiştir. Oluşan hastaların bütçe kısıtı dahilinde antiviral ilaç alma oranları %37-%75 arasında değişmiştir. Tablo 4.17 ve Tablo 4.18 birlikte incelenerek hangi bölgelerde, koruyucu tedavi ve antiviral ilaç tedavisinde eksiklikler kaldığı belirlenebilir. Tablo 4.17 ve Tablo 4.18’den çıkan sonuç, muhtemel senaryo ve atak hızının % 25 olması durumunda bile kişi başına 15 YTL’lik bütçenin bir çok bölgenin, koruyucu tedavi ve antiviral ilaç tedavisi açısından yetersiz kalacağını göstermektedir.

Modelden elde edilen bir diğer sonuç ise bölgelerde sabit kaynaklara ihtiyaç duyacak kişi sayısının belirlenmesidir. Tablo 4.19’da sabit kaynaklara ihtiyaç duyan kişi sayıları gösterilmiştir. Tablo 4.20’de ise ihtiyaç duyulan ve mevcut sabit kaynaklar bölge bazında gösterilmiştir. Bu senaryoya göre sadece Van bölgesinde ventilatör sayısının yetersiz olduğu görülmektedir. Model oluşacak ölüm sayısını azaltmak için 11 tane ventilatör alımı yapmıştır. İhtiyaç duyulan kaynakların mevcut kaynaklara oranı Tablo 4.21 ‘de verilmiştir. Tablo 4.21 incelendiğinde Van ve Diyarbakır bölgelerinde ventilatör cihazının eksikliği dikkati çekmektedir.

Tablo 4.18. Antiviral ilaç alan kişilerin oluşan hasta sayılarına oranı

Bölgelerde Antiviral Alan Kişilerin Vaka Sayılarına Oranı (%)			
Bölgeler	Vaka Sayısı	Antiviral Alan Kişi Sayısı	%
İzmir	1.621.008	681895	42
İstanbul	2.562.846	1389086	54
Ankara	1.001.475	579361	58
Konya	596.841	379879	64
Trabzon	274.947	169527	62
Samsun	598.956	371889	62
Adana	1.309.484	837552	64
Antalya	470.441	271527	58
Edirne	205.749	105136	51
Bursa	1.115.993	410461	37
Van	502.808	376395	75
Erzurum	366.388	166811	46
Diyarbakır	1.138.319	633123	56
Malatya	812.689	371941	46

Tablo 4.19. Sabit kaynaklara ihtiyaç duyan kişi sayısı

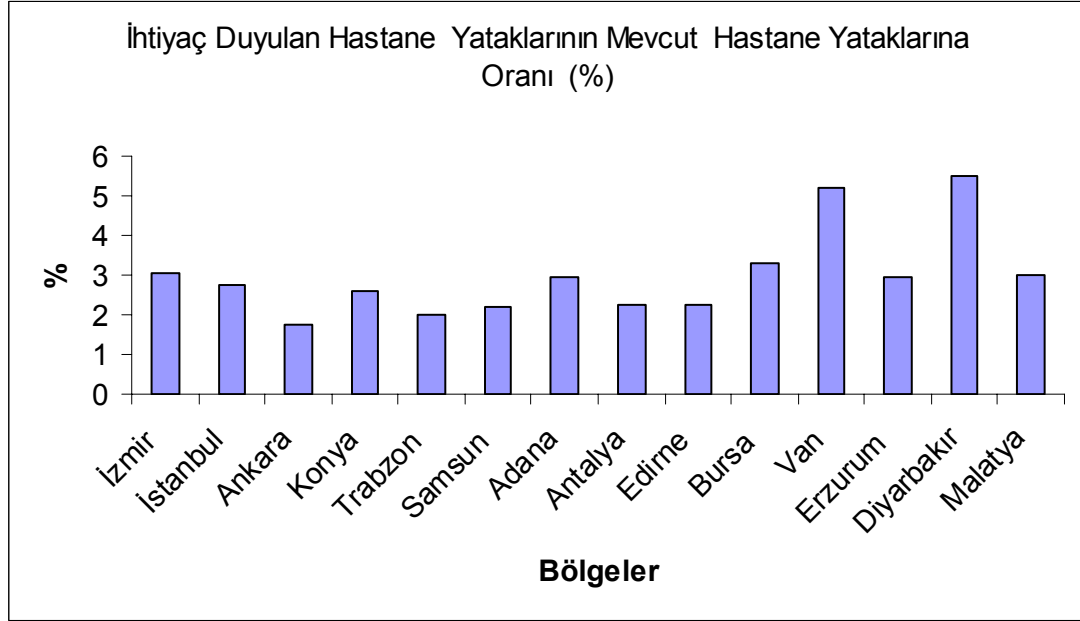
Sabit Kaynağa İhtiyaç Duyan Kişi Sayısı			
Bölgeler	Hastane Yatak	Yoğun Bakım Yatak	Ventilatör
İzmir	4.533	453	340
İstanbul	7.630	763	572
Ankara	3.234	323	243
Konya	1.916	192	144
Trabzon	973	97	73
Samsun	2.091	209	157
Adana	3.966	397	297
Antalya	1.531	153	115
Edirne	699	70	52
Bursa	3.159	316	237
Van	1.408	141	106
Erzurum	1.004	100	75
Diyarbakır	2.963	296	222
Malatya	2.237	224	168

Tablo 4.20. İhtiyaç duyulan ve mevcut sabit kaynaklar

İhtiyaç Duyulan ve Mevcut Kaynaklar						
Bölgeler	Hastane Yatak		Yoğun Bakım Yatak		Ventilatör	
	Mevcut	İhtiyaç	Mevcut	İhtiyaç	Mevcut	İhtiyaç
İzmir	18.585	567	1.074	113	399	85
İstanbul	34.505	954	3.937	191	1.182	143
Ankara	23.227	404	1.205	81	749	61
Konya	9.249	240	333	48	135	36
Trabzon	6.147	122	264	24	42	18
Samsun	12.016	261	358	52	95	39
Adana	16.752	496	742	99	251	74
Antalya	8.533	191	355	38	147	29
Edirne	3.887	87	90	17	39	13
Bursa	11.939	395	412	79	112	59
Van	3.397	176	74	35	15	26
Erzurum	4.256	126	114	25	44	19
Diyarbakır	6.748	370	164	74	62	56
Malatya	9.344	280	274	56	67	42

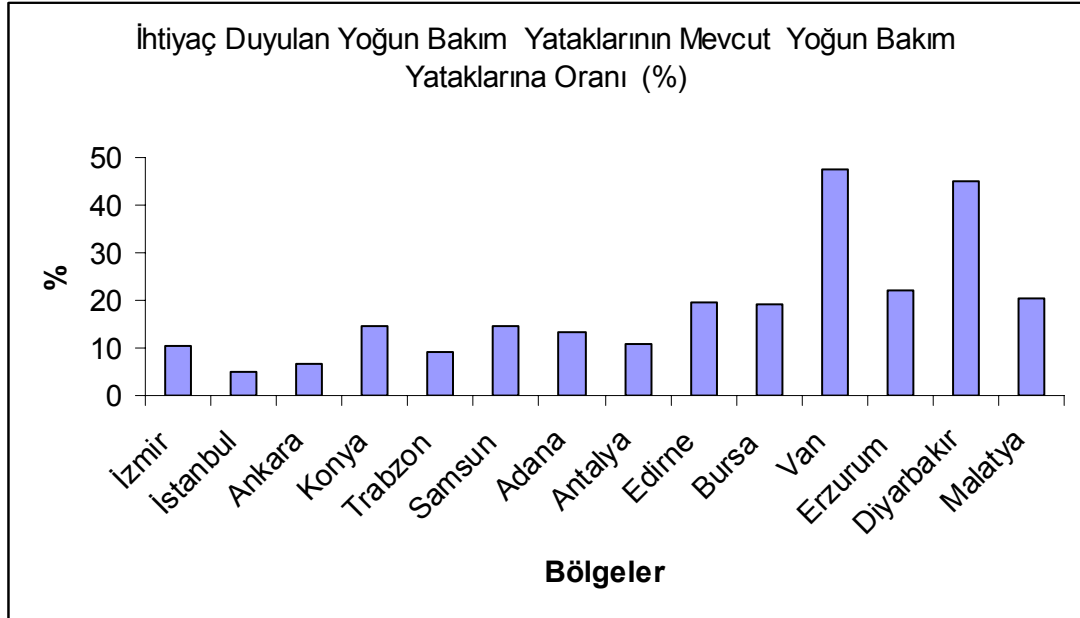
Tablo 4.21. İhtiyaç duyulan kaynakların mevcut kaynaklara oranı

İhtiyaç Duyulan Kaynakların Mevcut Kaynaklara Oranı (%)			
Bölgeler	Hastane Yatak	Yoğun Bakım Yatak	Ventilatör
İzmir	24	11	21
İstanbul	22	5	12
Ankara	14	7	8
Konya	21	14	27
Trabzon	16	9	43
Samsun	17	15	41
Adana	24	13	30
Antalya	18	11	20
Edirne	18	19	34
Bursa	26	19	53
Van	41	48	176
Erzurum	24	22	43
Diyarbakır	44	45	90



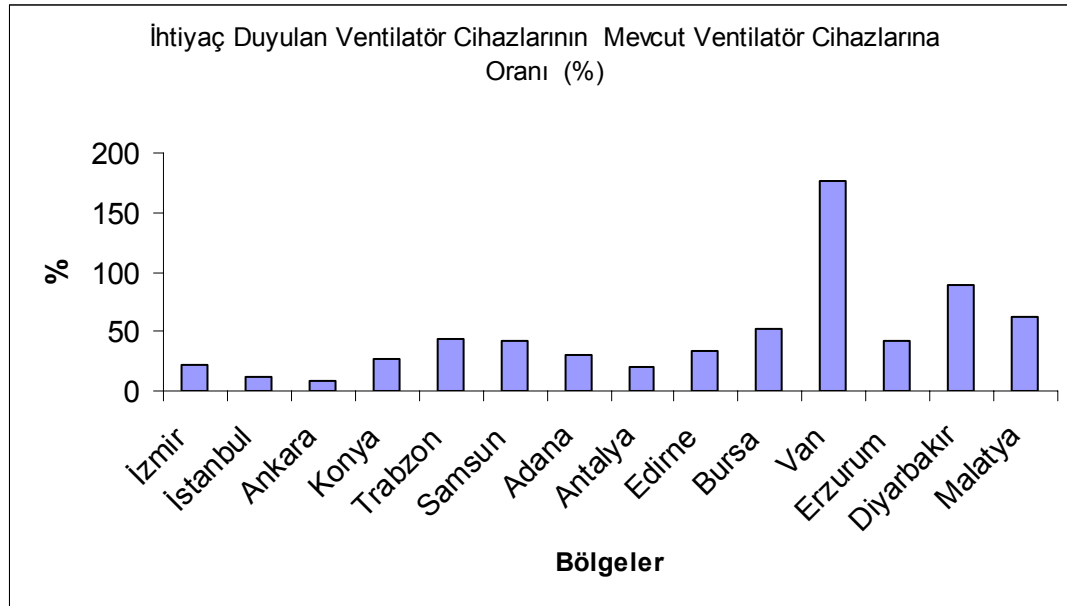
Şekil 4.4. İhtiyaç duyulan hastane yataklarının mevcut hastane yataklarına oranı

İhtiyaç duyulan hastane yataklarının mevcut hastane yataklarına oranı Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Analiz edilen senaryoya göre, tüm bölgelerdeki hastane yataklarının ihtiyacı karşılanacağı tahmin edilmektedir. İhtiyaç duyulan yoğun bakım



Şekil 4.5. İhtiyaç duyulan yoğun bakım yataklarının mevcut yoğun bakım yataklarına oranı

yataklarının mevcut yoğun bakım yataklarına oranı Şekil 4.5 'de gösterilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde mevcut yoğun bakım yataklarının ihtiyacı karşılayacağı düşünülebilir. Ancak çalışmada kullanılan verilerde sabit kaynakların mevcut işgal oranları dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla bu oranlar, mevcut sabit kaynaklara gelecek ek yük olarak değerlendirilebilir. Değerlendirmelere bu açıdan bakıldığında ve ülkemizdeki yoğun bakım işgal oranlarının yüksek olduğu dikkate alındığında özellikle Van, Diyarbakır ve Malatya bölgelerindeki yoğun bakım yatak kapasitelerinin yeniden düzenlenmesi gerektiği sonucu çıkarılabilir.



Şekil 4.6. İhtiyaç duyulan ventilatör cihazlarının mevcut ventilatör cihazlarına oranı

İhtiyaç duyulan ventilatör cihazlarının, mevcut ventilatör cihazlarına oranı Şekil 4.6'de gösterilmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde Van bölgesinde ventilatör sayısının yetersiz kaldığı görülmektedir. Ancak ventilatör cihazının işgal oranı dikkate alındığında, özellikle Diyarbakır, Malatya, Trabzon, Samsun, Adana bölgelerindeki kapasitelerin yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sabit kaynakları kullanan hasta sayıları Tablo 4.22'de, bütçe kısıtı dahilinde alınan sabit kaynaklar ve maliyetleri ise Tablo 4.23'de gösterilmiştir. Tablo 4.22 incelendiğinde ihtiyaç duyan bütün hastaların sabit kaynakları kullandığı görülmektedir. Bu senaryoda sabit kaynak kullanamayan hasta olmamıştır.

Tablo 4.22. Sabit kaynakları kullanan hasta sayıları

Sabit Kaynak Kullanan Hasta Sayısı			
Bölgeler	Hastane Yatak	Yoğun Bakım Yatak	Ventilatör
İzmir	4.533	453	340
İstanbul	7.630	763	572
Ankara	3.234	323	243
Konya	1.916	192	144
Trabzon	973	97	73
Samsun	2.091	209	157
Adana	3.966	397	297
Antalya	1.531	153	115
Edirne	699	70	52
Bursa	3.159	316	237
Van	1.408	141	106
Erzurum	1.004	100	75
Diyarbakır	2.963	296	222
Malatya	2.237	224	168

Tablo 4.20’de Van bölgesinde 11 tane ventilatör cihazının eksik olduğu gözlemlenmişti. Model bütçe kısıtı dahilinde Van bölgesine 11 tane ventilatör cihaz alımı için kaynak ayırmıştır.

Tablo 4.23. Bölgelere alınan sabit kaynaklar ve maliyetleri

Bölgelere Satın Alınan Sabit Kaynaklar ve Maliyetleri						
Bölgeler	Hastane Yatak		Yoğun Bakım Yatak		Ventilatör	
	Alınan	Maliyet	Alınan	İhtiyaç	Alınan	Maliyet
İzmir	-	-	-	-	-	-
İstanbul	-	-	-	-	-	-
Ankara	-	-	-	-	-	-
Konya	-	-	-	-	-	-
Trabzon	-	-	-	-	-	-
Samsun	-	-	-	-	-	-
Adana	-	-	-	-	-	-
Antalya	-	-	-	-	-	-
Edirne	-	-	-	-	-	-
Bursa	-	-	-	-	-	-
Van	-	-	-	-	11	285.130
Erzurum	-	-	-	-	-	-
Diyarbakır	-	-	-	-	-	-
Malatya	-	-	-	-	-	-

4.3. Toplu Senaryo Analizleri

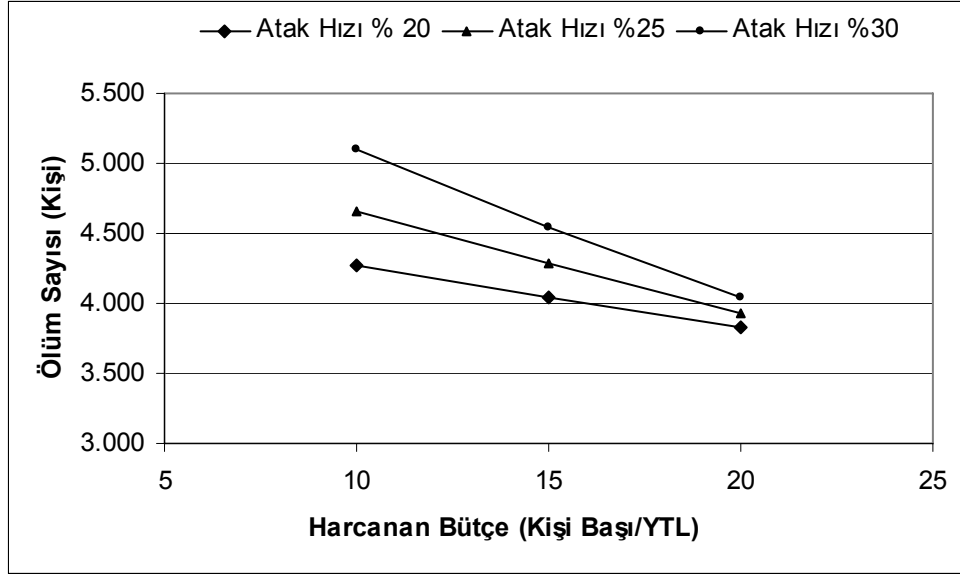
Geliştirilen model, Bölüm 4.2.1’de, muhtemel senaryo verileri , atak hızı %25, kişi başı bütçe harcaması 15 YTL , hastalık periyodu 6 hafta olması durumu için değerlendirilmiştir. Kaynak paylaşımı modelinin değişen parametreler altındaki performansını test etmek için Tablo 4.24’de verilen parametreler için toplu senaryo analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, atak hızı, bütçe, periyot ve senaryonun üç farklı seviyesi için 81 durum incelenmiştir. Ayrıca model hiyerarşik metodla çözüldüğünden, en son çözüme ulaşabilmek için her bir durum dört defa GAMS yazılımı ile çözülmüştür. Model, hiyerşik modelden farklı olarak, çok amaçlı optimizasyon tekniklerinden biri olan ağırlıklandırma yöntemiyle çözülmüş ancak iyi sonuç vermemiştir. Periyot uzunluğunun 8, 10 ve 12 hafta olması durumunda ise, değişen parametrelerle yapılan deneyler sonucunda hastalık periyodunun sonuçlar üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle verilen sonuçlar bütün hastalık periyotları için geçerlidir.

Tablo 4.24. Değişen parametreler

Senaryo	Atak Hızı (%)	Bütçe (YTL/Kişi)	Hastalık Periyodu (Hafta)
İyimser	20	10	6
Muhtemel	25	15	8
Kötümser	30	20	12

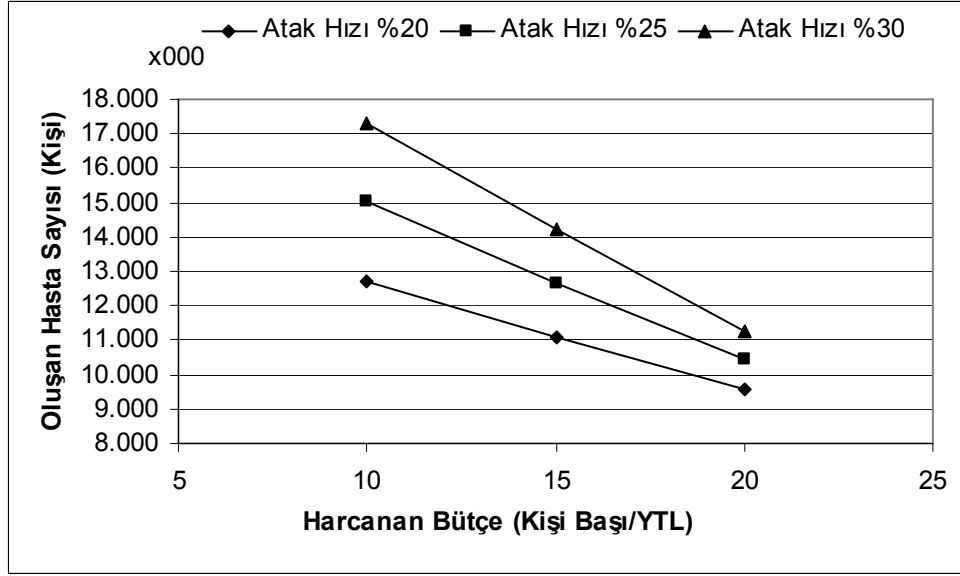
4.3.1. İyimser Senaryo Analizi

İyimser Senaryo verileri kullanılarak değişik bütçe harcamaları sonucunda hesaplanan ölüm sayıları Şekil 4.7 ‘de gösterilmiştir. İyimser senaryo analizinde, bütçe harcamasının kişi başına 10 YTL olması durumunda, ölüm sayısı atak hızına bağlı olarak 4200 kişi ile 5200 kişi arasında değişmektedir.



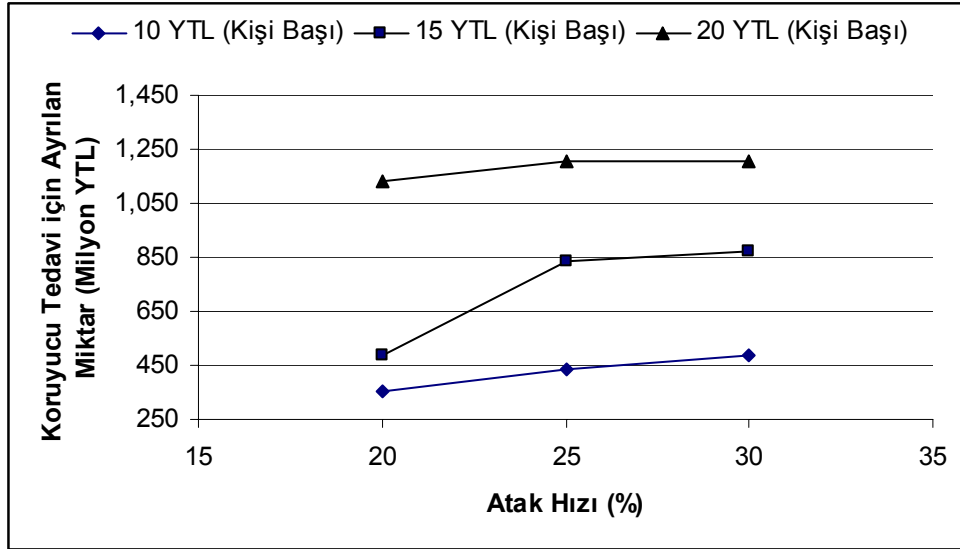
Şekil 4.7. Bütçe harcamalarına göre oluşan ölüm sayısı

Bütçe harcamasının kişi başına 20 YTL olması durumunda ise ölüm sayısının 3800 kişi ile 4100 kişi arasında değiştiği görülmektedir. Kişi başına bütçe harcaması arttıkça, atak hızlarına bağlı olarak oluşan ölüm sayısı farkının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, bütçe artışına bağlı olarak modelin daha çok kişinin koruyucu tedavi almasını sağlayarak ve Şekil 4.8’de görülebileceği gibi oluşan hasta sayısını ve buna bağlı olarakta oluşan ölüm sayısını azaltmasıdır. Şekil 4.8’de verilen oluşan hasta sayılarının atak hızı ve bütçe harcamalarına bağlı olarak 9.200.000 kişi ile 17.100.000 kişi arasında değiştiği görülmektedir. Atak hızlarına bağlı olarak oluşan hasta sayıları arasındaki farkın en fazla, bütçe harcamasının kişi başına 10 YTL olması durumunda olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, çok amaçlı optimizasyon modelinde birinci amaç ölüm sayısını minimize etmek olduğundan model koruyucu tedaviye yeterli para ayıramamakta ve bu durum oluşan hasta sayısını artırmaktadır.



Şekil 4.8. Bütçe harcamalarına göre oluşan hasta sayıları

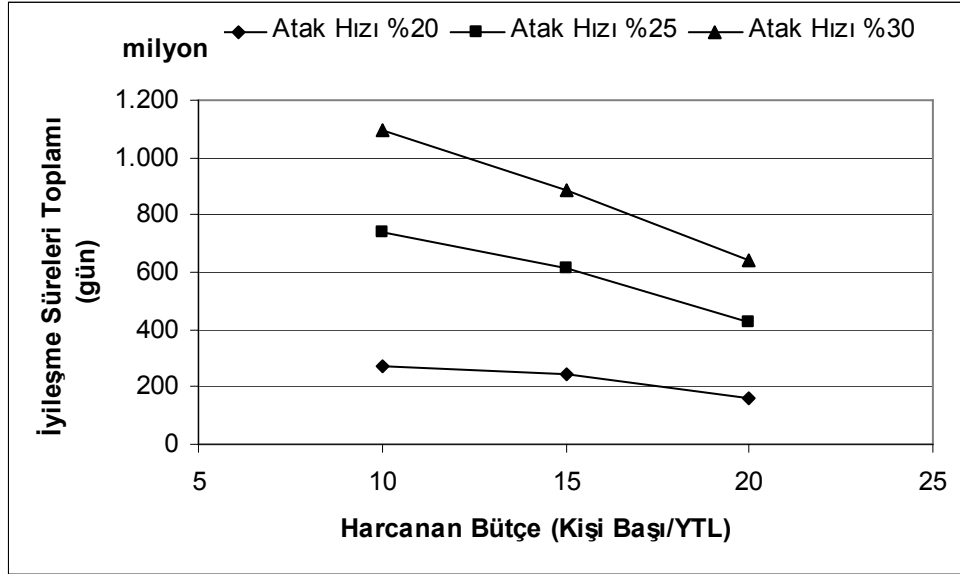
Atak hızı arttıkça koruyucu tedaviye ayrılan miktarların değişimi Şekil 4.9’de gösterilmiştir. Atak hızının artması, oluşan hasta sayısını arttıracığından, bunu engellemek için model koruyucu tedaviye daha fazla para ayırmıştır.



Şekil 4.9. Değişik atak hızlarında koruyucu tedaviye ayrılan miktar

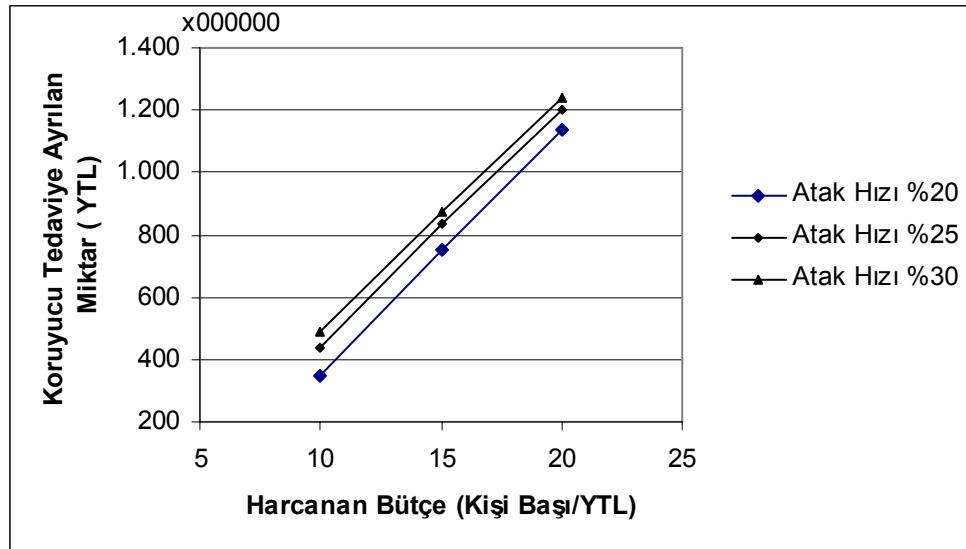
İyileşme süreleri toplamının bütçe ile ilişkisi Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Özellikle bütçe harcaması kişi başına 10 YTL iken iyileşme süreleri arasındaki farkın büyüklüğü dikkati çekmektedir. Bunun nedeni yetersiz bütçe nedeniyle hasta

sayısının fazla olması ve bu nedenle iyileşme süreleri toplamının artmasıdır. Bütçe miktarı arttıkça farkın azalması, giderek daha fazla kişinin koruyucu tedavi ve antiviral ilaç tedavisi olmasına neden olmakta ve bu durum da aradaki farkı azaltmaktadır.



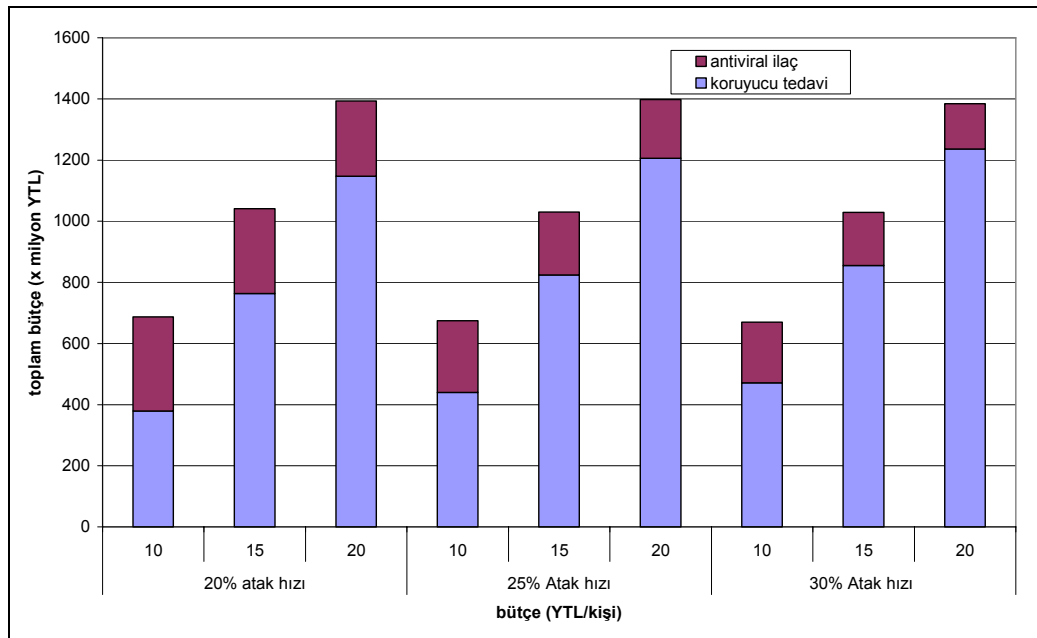
Şekil 4.10. Değişik bütçe harcamalarına göre iyileşme süreleri toplamı

Bütçe içinde koruyucu tedaviye ayrılan miktarlar Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Bütçe miktarının artması koruyucu tedaviye ayrılan payı da artırmaktadır. Bunun nedeni koruyucu tedavi alan kişi sayısı arttıkça, oluşan hasta sayısının azalmasıdır.



Şekil 4.11. Koruyucu tedaviye ayrılan miktar

Koruyucu tedavi ve antiviral ilaç tedavisine ayrılan bütçe miktarları, iyimser senaryo verileri için, Şekil 4.12’de, değişik atak hızları ve değişik bütçe alternatifleri için gösterilmiştir. Genel olarak, bütçenin düşük olması durumunda, antiviral ilaç tedavisine ayrılan bütçe miktarının, diğer durumlara göre daha fazla olduğu gözlenmektedir. Bütçenin yetersiz olması nedeniyle, koruyucu tedaviye daha az oranda para ayrılmaktadır. Matematiksel model, birinci olarak ölüm sayısını minimize etmeye çalıştığı için, antiviral ilaç tedavisine mutlaka belirli bir oranda bütçe ayırması gerekmektedir. Bütçe miktarının artması ile koruyucu tedaviye ayrılan bütçe oranının arttığı görülmektedir.

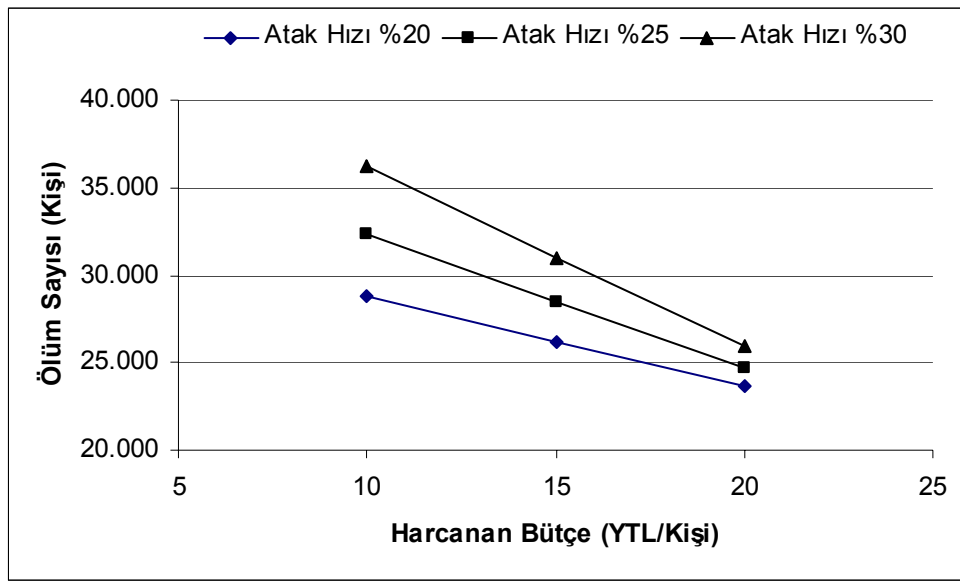


Şekil 4.12. İyimser senaryoda bütçenin koruyucu tedavi ve antiviral ilaç tedavisine dağıtımı

4.3.2. Kötümser Senaryo Analizi

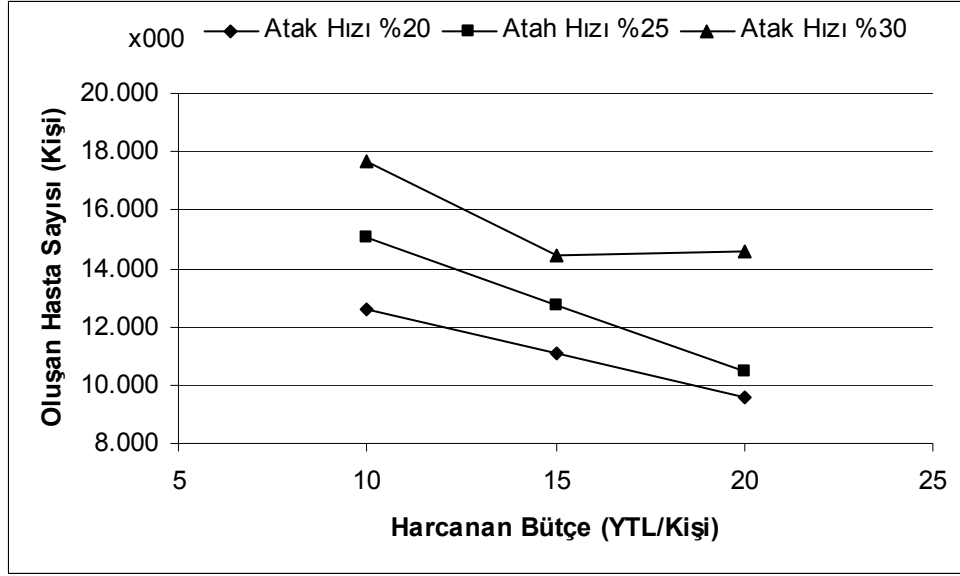
Kötümser senaryo verileri kullanılarak değişik bütçe harcamaları sonucunda hesaplanan ölüm sayıları Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Kötümser senaryo durumunda ölüm sayısı, hastalığın atak hızına bağlı olarak 22.000 ile 37.000 kişi arasında değişmektedir. Kişi başına bütçe harcaması arttıkça ölüm sayılarının doğru orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Özellikle atak hızının %30 olması durumunda

bütçedeki artışın ölüm sayısını azaltmasındaki önemi göze çarpmaktadır. Bunun nedeni yüksek atak hızına bağlı olarak oluşan hasta sayısının artması, modelin ise bu artışa bağlı olarak ortaya çıkan ölüm sayısını baskılamasıdır. Model, bu baskılamayı Şekil 4.14’de verilen oluşan hasta sayısında yapmaktadır. Bütçenin 20 YTL ve atak hızının %30 olması durumunda, model oluşan hasta sayısını koruyucu tedavi ile azaltmak yerine, ağırlığı antiviral ilaç tedavisine ve sabit kaynak satın alımına vermektedir.



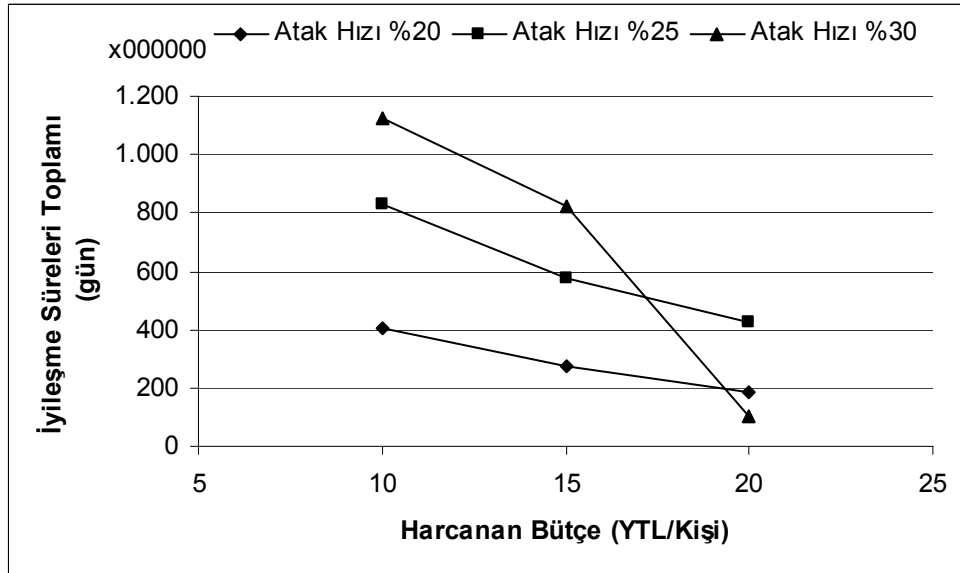
Şekil 4.13. Değişik bütçe harcamalarına göre oluşan ölüm sayısı

Şekil 4.14 incelendiğinde, atak hızının %30, bütçenin kişi başına 15 ve 20 YTL olması durumunda oluşan hasta sayısında bir değişim görülmemektedir. Bunun nedeni modelin bütçeyi , oluşan ölüm sayısını minimize etmek için koruyucu tedaviye ayrılan payı arttırmak yerine antiviral ilaç tedavisine ve sabit kaynak alımına yönlendirmesidir.

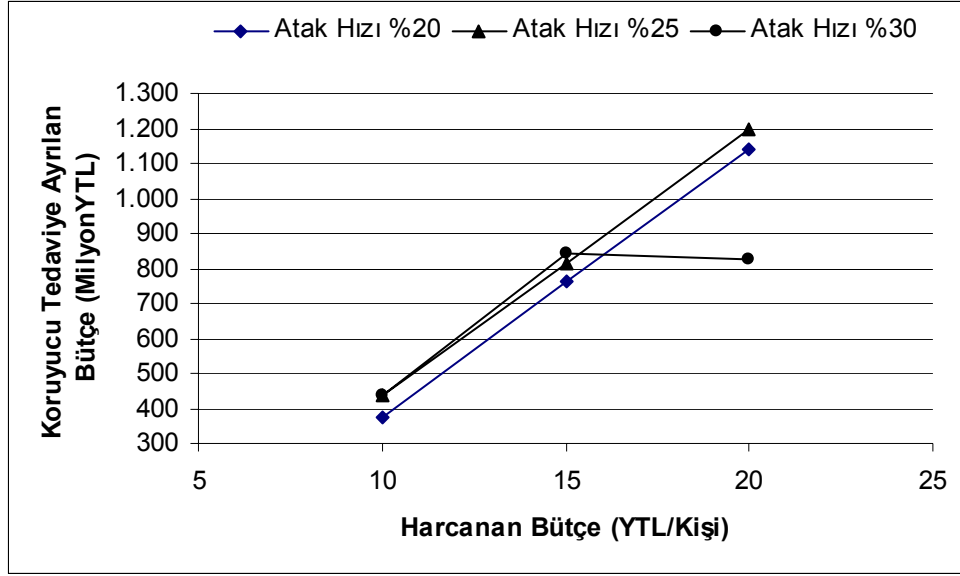


Şekil 4.14. Değişik bütçe harcamalarına göre oluşan hasta sayısı

Atak hızının % 30 olması ve kötümser senaryo olması durumunda, bütçe paylaşımı diğer atak hızlarına göre farklı gerçekleşmektedir. Yüksek atak hızında daha fazla kişi hastalığa maruz kalacağından, model, bütçeyi antiviral ilaç tedavisine ve sabit kaynak satın alınımına yönlendirmektedir.

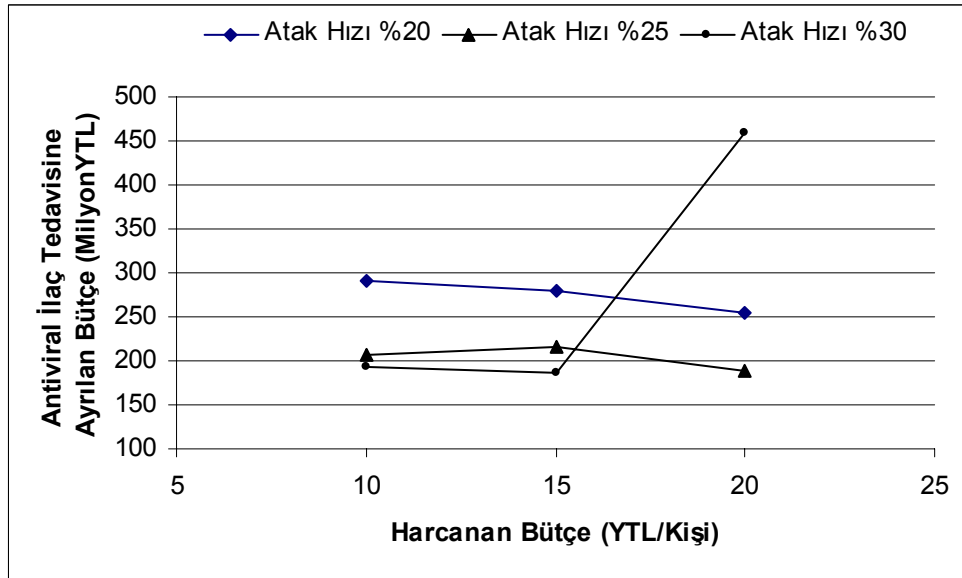


Şekil 4.15. Değişik bütçe harcamalarına göre iyileşme süreleri toplamı

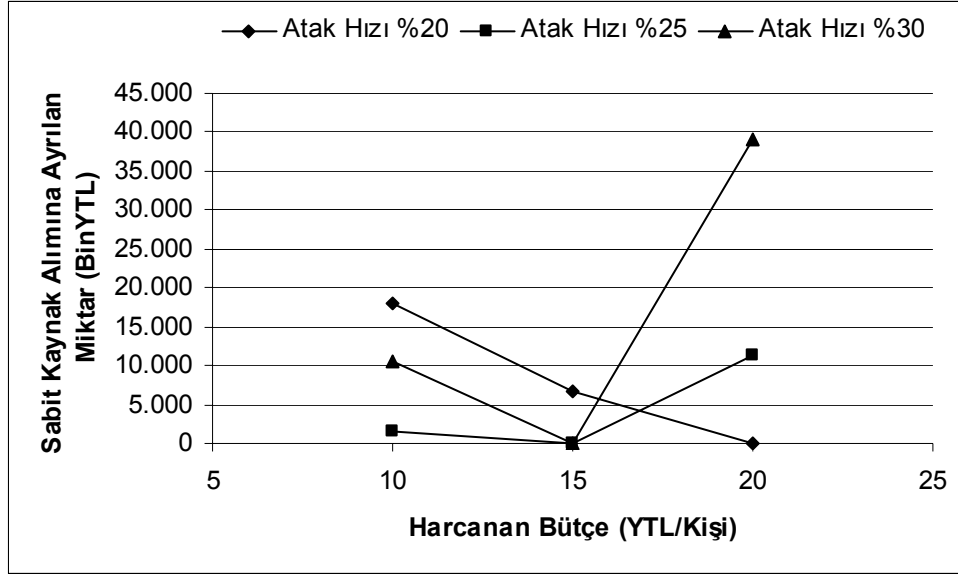


Şekil 4.16. Değişik bütçe harcamalarına göre koruyucu tedaviye ayrılan miktarlar

Atak hızının % 30 olması durumunda bütçe artarken, antiviral ilaç tedavisine ve sabit kaynak alımına ayrılan miktarlarda artmaktadır.



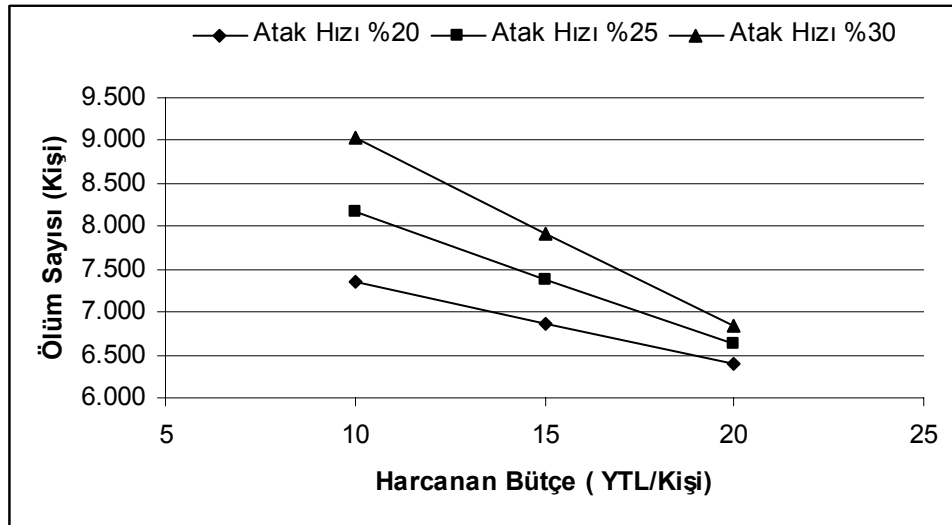
Şekil 4.17. Değişik bütçe harcamalarına göre antiviral ilaç tedavisine ayrılan miktarlar



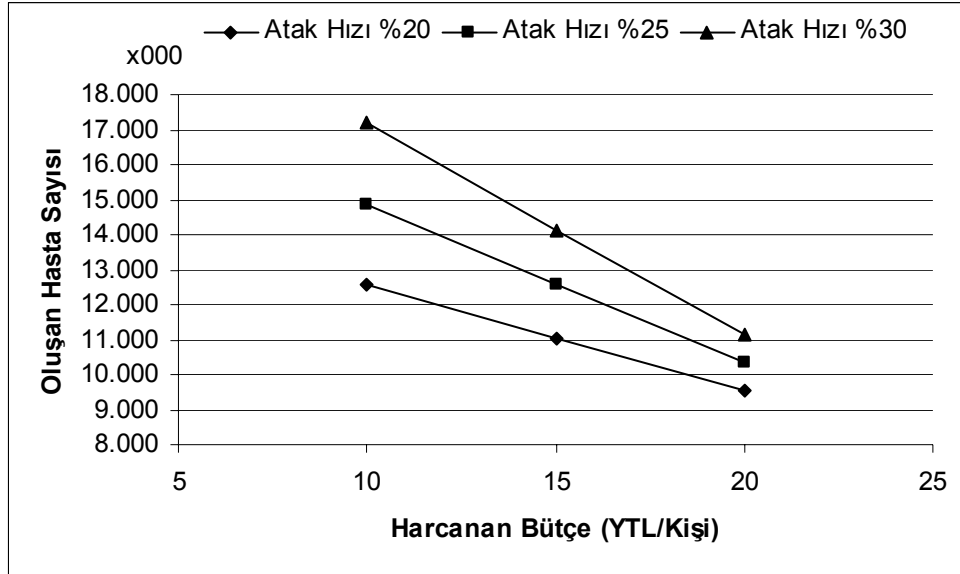
Şekil 4.18. Değişik bütçe harcamalarına göre sabit kaynak alımına ayrılan miktarlar

4.3.3. Muhtemel Senaryo Analizi

Muhtemel senaryo verileri kullanılarak değişik bütçe harcamaları sonucunda hesaplanan ölüm sayıları Şekil 4.19’da gösterilmiştir. İyimser senaryoya benzer olarak bütçe arttıkça, atak hızlarından kaynaklanan ölüm sayısı farklarında azalmaktadır. Aynı durum Şekil 4.20’de gösterilen oluşan hasta sayısı içinde geçerlidir.

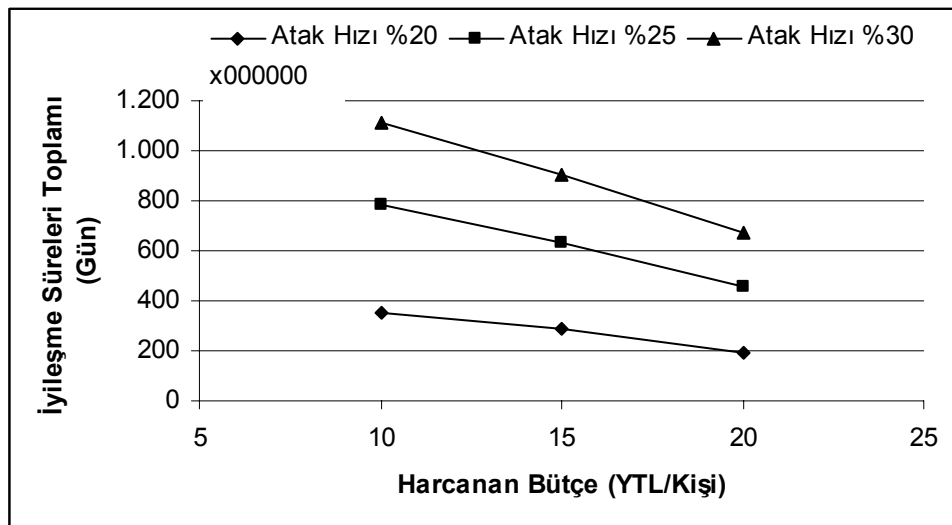


Şekil 4.19. Değişik bütçe harcamalarına göre muhtemel senaryo ölüm sayıları



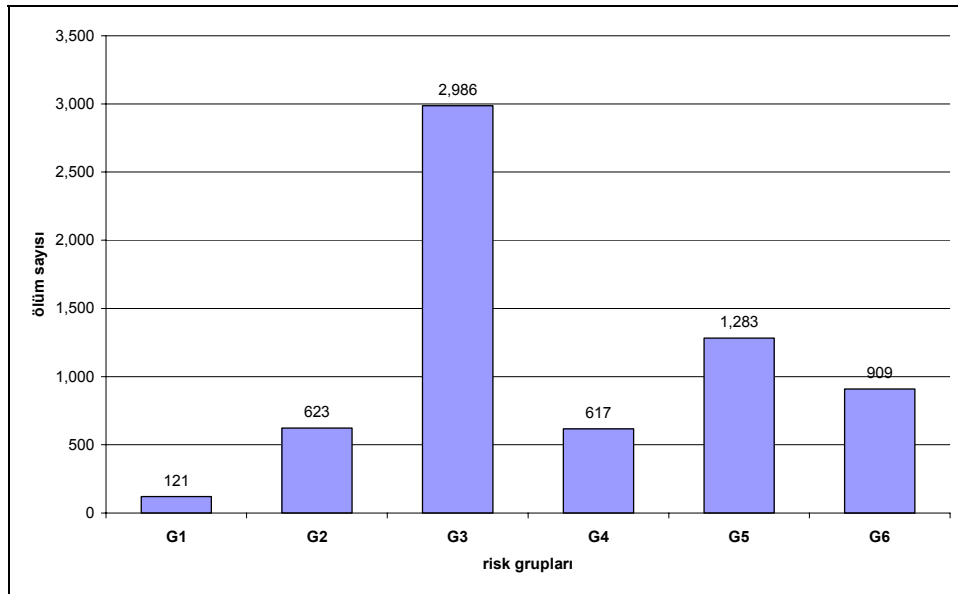
Şekil 4.20. Değişik bütçe harcamalarına göre muhtemel senaryo hasta sayıları

Kişi başına ayrılan bütçenin artması, koruyucu tedaviye ayrılan miktarın artmasına neden olmakta, bu durum Şekil 4.20’den de görülebileceği gibi oluşan hasta sayısının azalmasına neden olmaktadır. Oluşan hasta sayısı ile toplam iyileşme süresi arasında doğrusal bir ilişki olduğundan, oluşan hasta sayısının azalması Şekil 4.21’de gösterilen toplam iyileşme sürelerinin azalmasına neden olmaktadır.



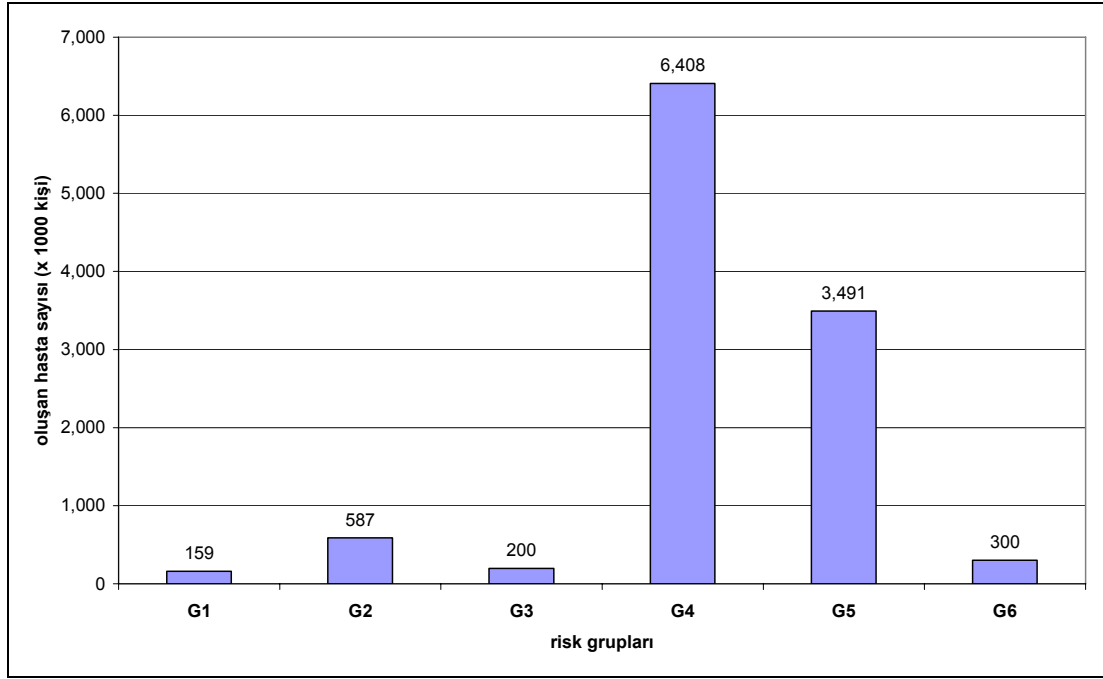
Şekil 4.21. Muhtemel senaryo iyileşme süreleri toplamı

Muhtemel senaryo analizinde, risk gruplarına göre oluşan ölüm sayıları Şekil 4.22’de gösterilmiştir. En fazla ölümün G3 grubunda yani 65 yaş üstü ve yüksek risk grubu olan kişilerde olmasının nedeni, bu risk grubundaki kişilerin ölüm oranının diğer gruplara göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, Şekil 4.23’de gösterilen risk gruplarına göre oluşan hasta sayılarındaki dağılım, ölüm sayısındaki dağılımdan farklılık göstermektedir. Oluşan hasta sayısında, en yüksek frekansa G4 yani 20-64 yaş düşük risk grubu sahiptir. Bu gruptaki nüfusun diğer risk gruplarına göre çok daha fazla olması dağılımın bu şekilde çıkmasına neden olmuştur.



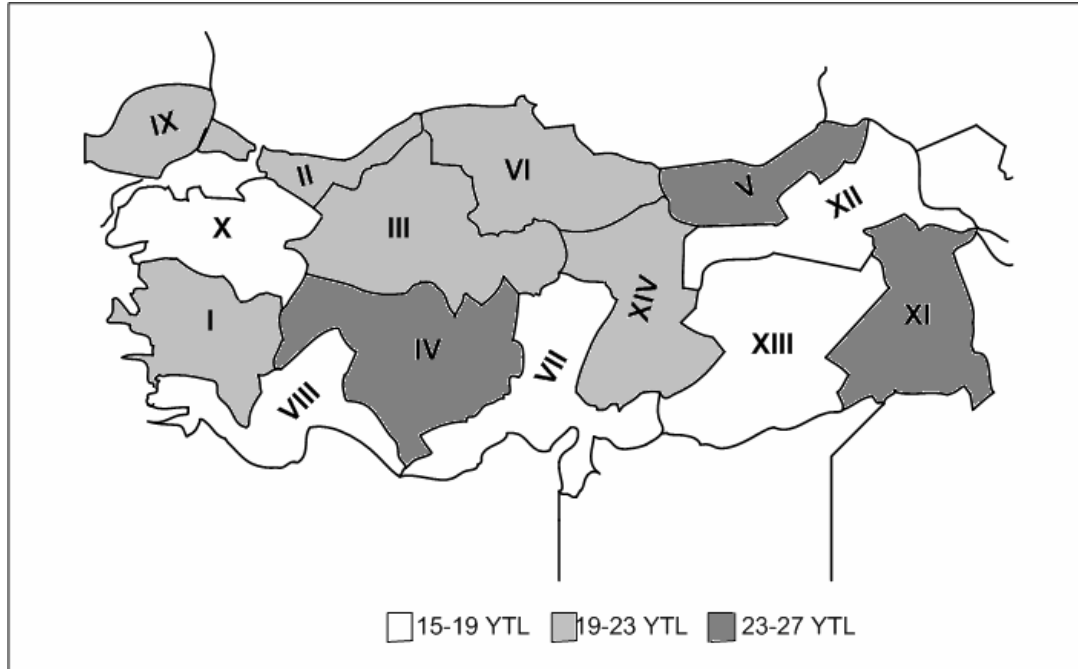
Şekil 4.22. Muhtemel senaryoda grup bazında oluşan ölüm sayıları

Matematiksel modeldeki hedefleri gerçekleştirebilmek için her bölge, değişik oranlarda bütçeden pay almaktadır. Bütçeden alınan oran, o bölgenin demografik yapısı, nüfus yoğunluğu ve sahip olduğu sabit kaynak miktarına göre farklılık göstermektedir. Şekil 4.24’de bütçe harcamasının kişi başına 20YTL olması durumunda, bölgelerin kişi başına alacağı miktarlar gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Muhtemel senaryo risk gruplarına göre oluşan hasta sayıları

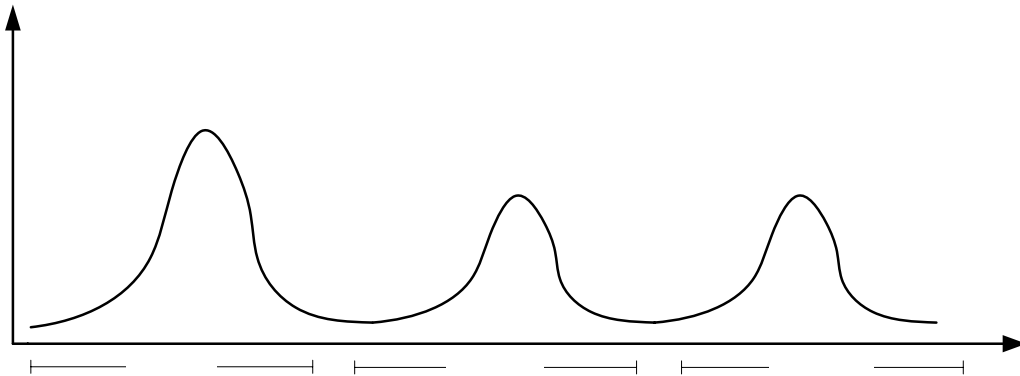
Şekil 4.24'e göre IV,V ve XI bölge bütçenin kişi başına 20 YTL olması durumunda e kişi başına en fazla bütçeyi alacağı görülmektedir.



Şekil 4.24. Bütçenin muhtemel senaryoya göre bölgelere dağıtılması

4.4. Taktik Benzetim Modeli

Bölüm 3.2.2’de geliştirilen çok amaçlı matematiksel model, hastalık periyodu boyunca sabit kaynaklara (hastane yatakları, yoğun bakım yatakları, ventilatörler) olan ihtiyacı o salgın periyodunun tümü için vermektedir. Ancak, gerçek hayatta ortaya çıkan salgın hastalıklarda, hastalığın olumsuz etkileri Şekil 425’de verilen pandemik influenza eğrisinden de görülebileceği gibi, salgının başlangıcından salgının ortasına kadar artmakta , ve daha sonra salgın periyodunun sonuna doğru etkisini kaybederek azaltmaktadır. Geliştirilen matematiksel modelde zaman parametresinin olmaması nedeniyle, zamana karşı değişen kaynak ihtiyaçlarına göre, sistemin yeterliliğini izlemek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, Şekil 425’de gösterilen pandemik influenza eğrisine uygun, sabit kaynak ihtiyaçları oluşturan bir benzetim modelinin oluşturulması sistemin durumunu daha iyi inceleyebilmek için gereklidir. Ayrıca, matematiksel modelde kaynak sevk etme kuralının olmaması nedeniyle, benzetim modeline kaynak sevk etme kuralı eklenerek sonuçların daha da iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Hastalık periyodunun 8-12 hafta arasında olacağı, bu konuda ciddi araştırmalar yapan (Zhang ve ark.,2006, Meltzer ve ark.,1999) bazı uzmanlar tarafından kabul edilmiştir. Bu nedenle benzetim modelinde hastalık periyodu 10 hafta olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.25. Pandemik influenza eğrisi (Kaynak : Dr. P. Kendall Provincial Health Officer BC Ministry of Health, December 2005)

Hastalık periyodunun 10 hafta olması durumunda , haftalık olarak sabit kaynaklara ihtiyaç duyacak kişi sayısını belirlememiz gereklidir. İnfluenza eğrisine göre, hastalık oluşumu dolayısıyla buna bağlı olarakta, sabit kaynaklara duyulan ihtiyaç, ilk haftalardan başlayarak artacak ve bu artış periyodun ortalarına kadar devam edecektir. Periyodun ortalarında en üst seviyeye ulaşan hasta sayıları, daha sonra periyodun sonuna kadar azalmaya başlayacaktır. Ancak bu artışın ve azalışın nasıl ve hangi oranda olacağı cevaplanması gereken bir durumdur. Zhang ve arkadaşları (2006) bu artışın ve azalışın sabit olduğunu kabul etmişlerdir. Buradaki bulunması gereken değer, yukarda verilen matematiksel modele uygun artış yüzdesinin belirlenmesidir. Bunun için aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$S = S_0(1+i)^n$$

n :dönem sayısı

S : dönem sonundaki değer

i : artış % si

S_0 : başlangıç değeri

Bu denklemi, yukardaki probleme uygularsak ve $S_0=100$ başlangıç değerini kabul edersek ;

$S = 100(1+i) + 100(1+i)^2 + 100(1+i)^3 + 100(1+i)^4 + 100(1+i)^5$ denklemi elde edilir. Matematiksel model'den S değeri, hastane yatak sayısı için yaklaşık 18672 olarak bulunur.

Buna göre eşitlik

$$18672 = 100(1+i) + 100(1+i)^2 + 100(1+i)^3 + 100(1+i)^4 + 100(1+i)^5 \text{ haline gelir.}$$

$x = 1+i$ dönüşümü uygulanırsa ;

$$18762 = 100x + 100x^2 + 100x^3 + 100x^4 + 100x^5$$

$$187.62 = x + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 \text{ denklemi uygulanır.}$$

Denklem nümerik yöntemlerle çözülürse ;

$$x = 2.588 \text{ olarak bulunur.}$$

$$1+i = 2.588 \text{ olduğundan haftalık artış miktarı}$$

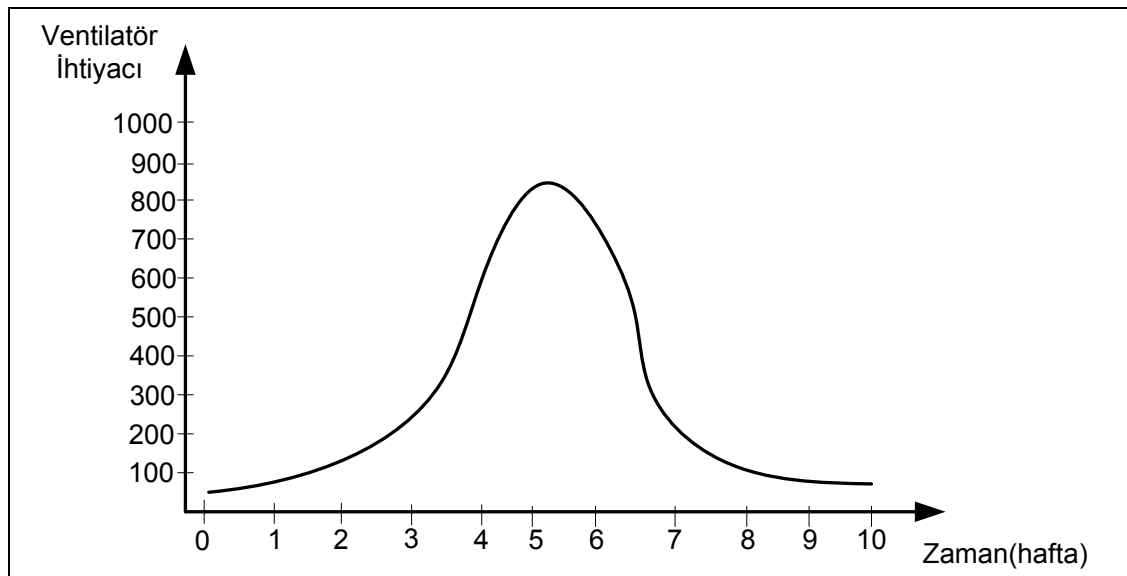
$i = 1.588$ olarak hesaplanır.

i artış miktarına göre haftalık hastane yatak ihtiyaçları, yoğun bakım ihtiyaçları ve ventilatör ihtiyaçları Tablo 4.25’de gösterilmiştir.

Tablo 4.25. Matematiksel modelden üretilen haftalık ihtiyaçlar

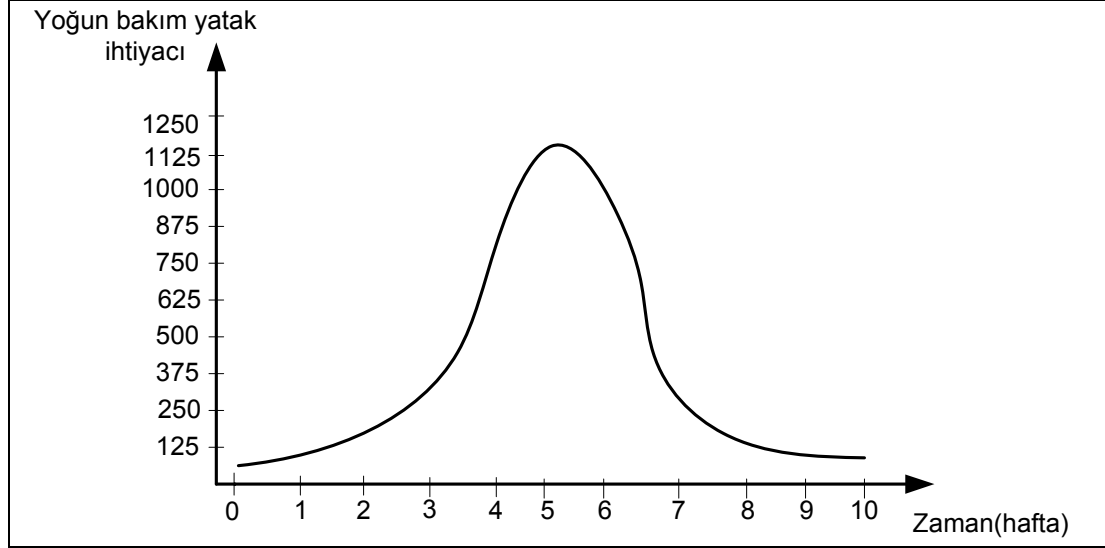
Hafta	Hastane yatak ihtiyacı	Yoğun Bakım Yatak İhtiyacı	Ventilatör İhtiyacı
1	259	26	19
2	670	67	50
3	1,733	173	130
4	4,486	449	336
5	11,610	1161	871
6	11,610	1161	871
7	4,486	449	336
8	1,733	173	130
9	670	67	50
10	259	26	19
Toplam	37516	3752	2814

Tablo 4.25’de verilen, hastane yatak ihtiyacı, yoğun bakım yatak ihtiyacı ve ventilatör ihtiyacının haftalara göre değişiminin, matematiksel model ile uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 4.25’e göre ventilatör ihtiyacının zamana göre değişimini gösteren grafik ise Şekil 4.26’da çizilmiştir.



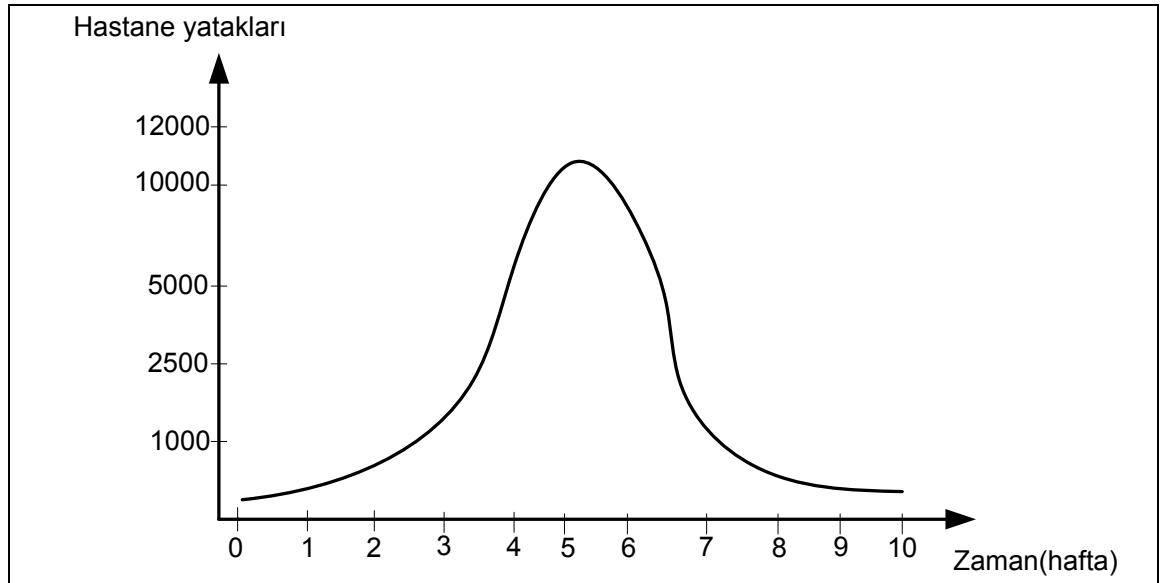
Şekil 4.26. Ventilatör ihtiyaçlarının haftalara göre değişimi

Şekil 4.26’da gösterilen ventilatör ihtiyacı dağılımının pandemik influenza eğrisi ile benzerlik gösterdiği söylenebilir.



Şekil 4.27. Yoğun bakım yatak ihtiyaçlarının haftalara göre değişimi

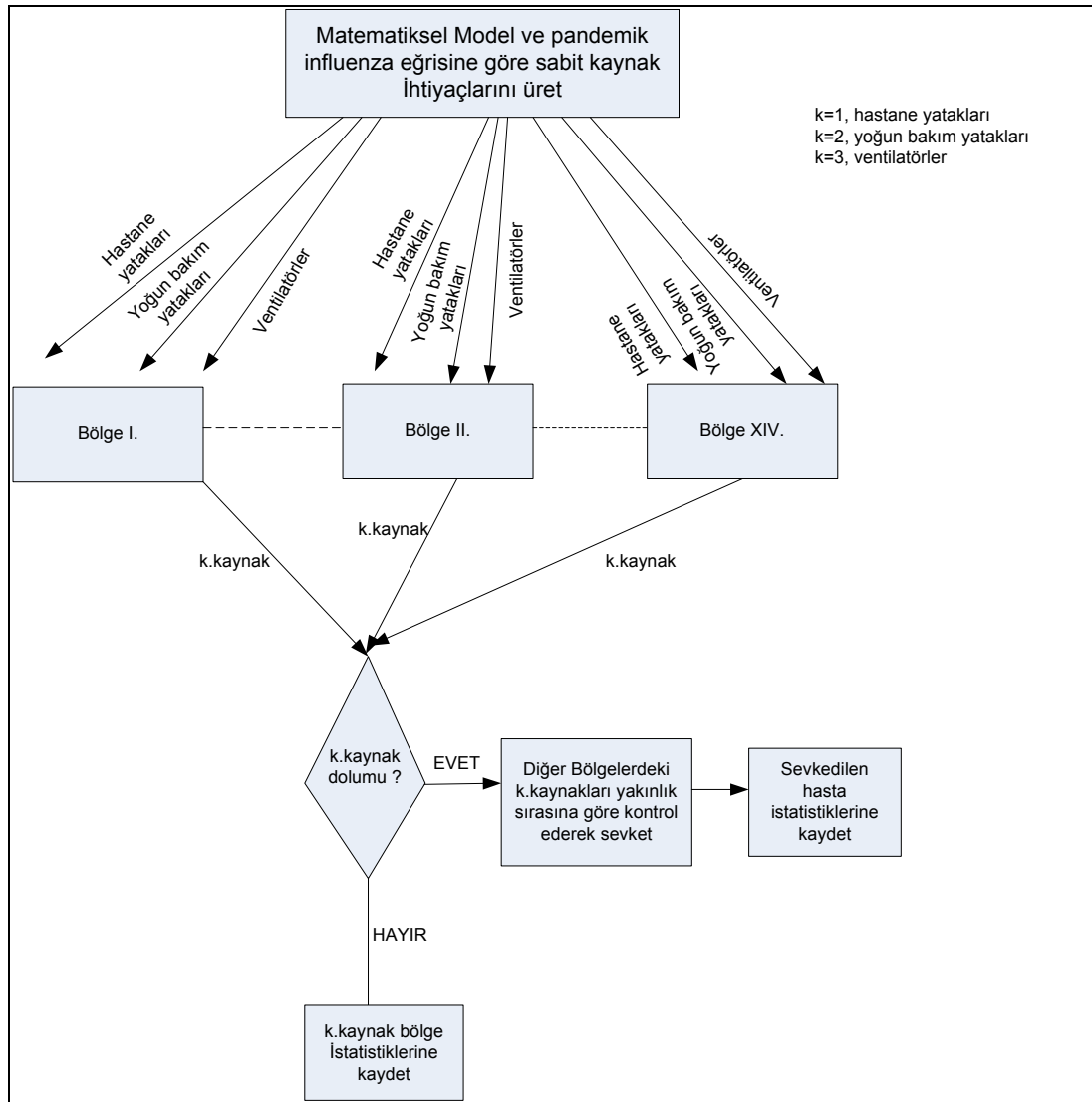
Benzer şekilde, yoğun bakım ihtiyaçlarının ve hastane yatak ihtiyaçlarının zamana göre değişen ihtiyaçları sırasıyla Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir. Her iki grafiğinde pandemik influenza eğrisine benzer şekiller olduğu görülmektedir.



Şekil 4.28. Hastane ihtiyaçlarının haftalara göre değişimi

4.4.1. Benzetim Modelinin Algoritması

Benzetim modelinin algoritması Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Bu algoritma matematiksel modelin sonuçları ve pandemik influenza eğrisine göre sabit kaynak ihtiyaçları üretmektedir. Bu aşamadan sonra, yine matematiksel modeldeki oranları



Şekil 4.29. Benzetim modelinin algoritması

kullanarak her bölgeye ihtiyaç duyacağı sabit kaynakları haftalık periyotlar halinde yönlendirmektedir. Eğer bölge, sabit kaynaklar ve haftalar bazında kendi

ihtiyaçlarını karşılayamıyorsa, benzetim modeli Tablo 4.26’da verilen yakınlık matrisine göre hastayı sevk etmektedir. Yoğun bakım yatakları, ventilatör cihazları gibi pandemik influenzanın tedavisinde önemli yeri olan sabit kaynakların bir bölgeden diğer bölgeye sevki çoğu zaman imkansızdır. Bu nedenle benzetim modelinde, kaynakların sevk edilmesi yerine, hastaların sevk edilmesinin daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Tablo 4.26. Benzetim modelinde kullanılan bölgelerin yakınlık matrisi

Bölgeler	Yakınlık Sırası												
1	8	10	2	3	9	4	7	14	6	5	13	12	11
2	10	9	3	1	8	6	4	7	14	5	13	12	11
3	10	2	4	6	8	1	7	9	14	5	13	12	11
4	3	7	14	8	6	5	13	10	11	2	12	1	9
5	12	6	14	11	13	4	7	3	8	2	10	1	9
6	5	3	14	4	12	2	11	10	13	7	8	1	9
7	4	14	13	3	8	6	5	11	12	10	2	1	9
8	1	10	3	2	9	4	7	6	14	13	5	12	11
9	2	10	3	1	8	6	4	7	14	5	13	12	11
10	2	9	3	1	8	6	4	7	14	5	13	12	11
11	12	13	5	14	7	4	6	3	8	10	2	1	9
12	5	14	11	13	4	7	6	3	8	2	10	1	9
13	11	14	12	5	7	4	6	3	8	10	2	1	9
14	5	12	13	4	11	7	6	3	8	10	2	1	9

4.4.2. Benzetim Modelinin Sonuçları

Benzetim modeli Tablo 4.25’deki verileri üretecek biçimde çalıştırıldığında, hastalık periyodu boyunca, toplam 297 hasta, kendi bölgelerindeki ventilatörler dolu olduğu için, ventilatör cihazının boş olduğu en yakın bölgeye sevk edilmişlerdir. Ventilatör sevklerinin 5, 6 ve 7. haftalarda olduğu görülmektedir. 5. haftada oluşan 91 adet ventilatör sevk Tablo 4.27’de, 6. haftada oluşan 191 adet ventilatör sevk Tablo 4.28’de gösterilmiştir. Sevklerin en fazla 6. haftada olması, Şekil 4.25’de gösterilen pandemik influenza eğrisi ile uyumaktadır. Benzetim modeli, 7. haftada 11. bölgeden 12. bölgeye 8 adet ventilatör sevk gerçekleştirmiştir. Tablo 4.27 ve Tablo 4.28 incelendiğinde, özellikle 11,12,13 ve 14 no’lu bölgelerde ventilatör sıkıntısı yaşanacağı söylenebilir.

Tablo 4.27. Beşinci haftada ventilatör için sevk edilen hastalar

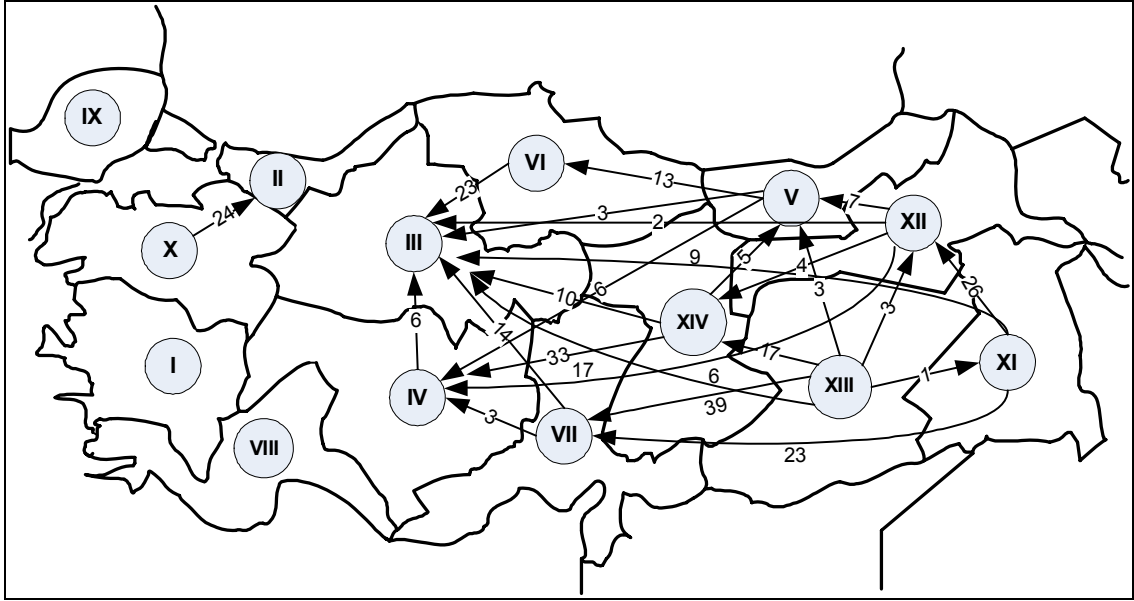
Sevk Edilen Bölge	Sevk Eden Bölge				
	5	11	12	13	14
4			7		13
5			4	3	5
6	5				
7		7		9	
12		18		3	
14				17	

Bu analizin muhtemel senaryo verileri ile yapıldığı dikkate alındığında, kötümser senaryo durumunda bu bölgelerdeki ventilatör cihazlarının daha da yetersiz kalacağını tahmin etmek mümkündür.

Tablo 4.28. Altıncı haftada ventilatör için sevk edilen hastalar

Sevk Edilen Bölge	Sevk Eden Bölge									
	4	5	6	7	10	11	12	13	14	
2	6	3 6	23	14 3	24	9	2 10 3	6	10 20	
3										
4										
5		8				16	30 1			
6										
7										
11										
12										
14							4			

Bölgeler arası ventilatör sevkleri ve sayıları Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Özellikle 3. ve 4. bölgelerin diğer bölgelerden ventilatör cihazı için sevk aldığı görülmektedir. Ventilatör sevklerinin özellikle XI, XI, XIII ve XIV. bölgelerde yoğunlaştığı göze çarpmaktadır. Bu bölgelerdeki ventilatör sayılarının tekrar değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması, salgının olumsuz etkilerinin azaltılması açısından son derece önemlidir. Hastaların sevk edilmesi, beraberinde lojistik problemlerinide getirecektir. Ventilatör cihazının eksikliği nedeniyle, özellikle 3.bölgeye, diğer bölgelerden yoğun bir hasta akışının olması beklenmektedir. Bu sevklerin, uygun bir biçimde yapılabilmesi için gerekli koordinasyonun sağlanması ve sevk etme kurallarının oluşturulması, pandemik influenzanın olumsuz etkilerini en aza indirebilmek için son derece önemlidir.



Şekil 4.30. Bölgeler arası ventilatör sevkleri ve sayıları

Benzetim modeli muhtemel senaryo verilerini kullanarak, yoğun bakım yatakları için toplam 27 adet sevk yapmıştır. Bu durum, yoğun bakım yatakları ventilatör cihazlarında olan yoğunluğun olmayacağını göstermektedir. Ancak, bazı tıp otoriteleri yoğun bakım yatakları mutlaka ventilatör cihazlarının olması gerektiğini aksi takdirde o ünitenin yoğun bakım olarak kabul edilemeyeceğini savunmaktadırlar. Ülkemizde yoğun bakım yatakları üç seviye olarak tanımlanmakta ve sadece 3. derecedeki yoğun bakım yatakları ventilatör cihazları bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, ventilatör cihazları ve yoğun bakım yatakları birbirinden ayrı iki kaynak olarak ele alınmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**5.1. Çalışmanın Özetlenmesi**

Salgın hastalıklarla mücadelede, tıbbi müdahale kadar eldeki sınırlı kaynakların etkin bir biçimde dağıtılması da önemlidir. Salgın hastalıklara karşı hazırlıklı olmak için mücadele yöntemlerinin iyi bilinmesi ve eldeki sınırlı kaynakları etkili bir biçimde dağıtan, kaynak paylaşımı modellerinin olması zorunludur. Bu çalışmada, geçmişte bir çok kez görülen ve milyonlarca insanın ölümüne yol açan, Dünya Sağlık Örgütünün raporlarına göre yeniden büyük bir salgın yapma potansiyeline sahip olan pandemik influenza hastalığına karşı mücadele etmek için kaynak paylaşımı problemi incelenmiştir. Öncelikle, pandemik influenza hastalığı ile mücadelede kullanılan kaynakların en önemlileri belirlenmiştir. Sağlık Bakanlığı yetkilileri, konunun uzmanı doktorlar ve literatür çalışması sonucunda, bu kaynakların, yoğun bakım yatakları, ventilatör cihazları, hastane normal yatakları olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca hastalığın tedavisinde kullanılan antiviral ilaçlar ve hastalığın oluşumunu engelleyen koruyucu aşılardan ise hastalıkla mücadelede rol oynayan diğer önemli faktörler olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmada, aynı anda tüm ülkeyi etkisi altına alan bir pandemik influenza salgınında, ülkemizin ihtiyaç duyacağı hastane yatakları, yoğun bakım yatakları ve ventilatör cihazlarının sayısı hakkında matematiksel modeller yardımıyla tahminlerde bulunulmuştur. Ayrıca pandemik influenza salgını esnasında oluşacak, ölüm sayısı, hasta sayısı, toplam iyileşme gün sayısını tahmin eden ve harcanan bütçeyi minimize eden çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirilmiş, model test edilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Özellikle XI, XII, XIII ve XIV. bölgelerde ventilatör cihazlarının yeterli sayıda olmaması nedeniyle bu bölgelere verilen önemin artırılması, buradaki kaynakların ve hazırlık aktivitelerinin gözden geçirilmesi önerilmiştir. Bu bölgeler Van, Diyarbakır, Malatya illerinin olduğu bölgelerdir. Bu nedenle, bu bölgelerdeki eksikliklerin giderilmesinin ölüm sayısını azaltacağı tahmin edilmiştir.

Geliştirilen matematiksel modelin performansını daha da iyi yapabilmek için SIMAN yazılımı ile bir benzetim modeli tasarlanmıştır. Benzetim modeli, matematiksel modelde bulunmayan zaman parametresinin eksikliğini tamamlamayı hedeflemiştir. Benzetim modeli ile zamana bağlı olarak değişen ihtiyaçları gözlemlemek mümkün olmuştur. Ayrıca, matematiksel modelde, içinde bulunan bölgede sabit kaynakların tamamen dolu olması durumunda sevk etme kuralının bulunmamasının eksikliği, geliştirilen benzetim modeli ile tamamlanmıştır.

5.2. Sonuçlar

Geliştirilen optimizasyon modeli, GAMS (General Algebraic Modeling System) programı ile çözülmüştür. Sistemin durumunu yansıtan diğer modeller de, parametreler değiştirilerek oluşturulmuş ve aynı program ile çözülmüştür. Bu modeller, belirlenen performans kriterleri için gözlenmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Örnek modelin bilgisayar kodları Ek-1’de verilmiştir. Ayrıca matematiksel modelin performansını daha da artırmayı hedefleyen bir benzetim modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin bilgisayar kodları Ek-2’de gösterilmiştir.

Çalışmadan elde edilen en önemli sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Geliştirilen model, ölüm sayısını minimize etmek için çalıştırıldığında, bütçenin büyük bir kısmını antiviral ilaç tedavisine ve kaynak satın alımına yöneldiği görülmüştür.
2. Modeli, vaka sayısını minimize etmek için çalıştırdığımızda, bütçenin büyük bir kısmını koruyucu tedaviye ayırdığı ve sabit kaynak alımını yapmadığı gözlemlenmiştir.
3. Özellikle model çok amaçlı optimizasyon modeli için çalıştırıldığında, XI, XII, XIII ve XIV. bölgelerde bulunan ventilatör cihazları ve yoğun bakım yatak sayılarında, eksikler olacağı yönünde sonuçlar vermiştir.

4. Benzetim modelinin sonuçlarına göre, pandemik influenza salgını esnasında ülkemizin doğu bölgelerinden, ventilatör cihazı fazla olan bölgelere ciddi bir sevk yoğunluğu olmuştur.
5. Hastane yataklarının işgal oranları dikkate alınmadığında, mevcut hastane yatak kapasitelerinin yeterli olacağı gözlenmiştir. Ancak yoğun bakım yatakları ve ventilatör cihazlarında bir iki bölge hariç, önemli eksiklikler olduğu sonucuna varılmıştır.

5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

Mevcut çalışmanın devamı olarak aşağıdaki öneriler sıralanabilir ;

1. Yapılan çalışmada, modelleme, yayılımı hızlı ve süreye bağlı olan hastalık türleri için yapılmıştır. Bu model, AIDS, Hepatit vb. gibi yayılımı yavaş seyreden ve süreye bağlı olmayan hastalıklar için iyi sonuç vermeyebilir. Bu nedenle, yayılımı yavaş seyreden salgın hastalıklar için de modelleme yapılabilir.
2. Modele kaynak olarak doktor, hemşire, sağlık teknisyeni gibi personeller dahil edilmemiştir. Model geliştirilerek, modele salgın hastalıkta mücadelede yer alan insan kaynakları dahil edilebilir.
3. Modelde, kaynakların yer değiştirmesi bulunmamaktadır. Özellikle, insan kaynaklarının yer değiştirmesine olanak veren bir model geliştirilebilir.
4. Model, tek bir bütçe kısıtı ve tek bir periyot için incelenmiştir. Çoklu bütçe ve çoklu periyot için geliştirilebilir.
5. Hasta sevklerinde karşılaşılabilecek lojistik problemlerinin çözülmesi için bir model geliştirilebilir.
6. Benzetim modeli farklı salgın senaryoları için tasarlanabilir.
7. Hastane yataklarının, yoğun bakım yataklarının ve ventilatör cihazlarının değişik doluluk oranları dikkate alınarak farklı senaryolarda oluşacak ihtiyaçlar analiz edilebilir.

KAYNAKLAR

- AKSAKOĞLU, G. Bulaşıcı Hastalıklarla Savaş İlkeleri, Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı Yayınları, Ankara, 1983.
- BRANDEAU, M.L., ZARIC, G., RICHTER, A., 2003. Resource Allocation of Infectious Diseases in Multiple Independent Populations: Beyond Cost – Effectiveness Analysis. *Journal of Health Economics*, 22: 575-598.
- BRANDEAU, M.L., ZARIC, G., ANGELIS, V.D., 2005. Improved Allocation of HIV Prevention Program Production Functions. *Health Care Management Science*, 8: 19-28.
- BEIGEL, J.H., FARRAR, J., HAN, A.M., HAYDEN, F.G., HYER, R., JONG, M.D., LOCHINDARAT, S., NGUYEN, T.K., NGUYEN, T.H., TRAN, T.H., NICOLL, A., TOUCH, S., YUEN, K.Y., 2006. Avian influenza (H5N1) infection in humans. *The New England Journal of Medicine*, 354(8):1374-1385.
- CHIC, S.E., MAMANI, H., SIMCHI, D., 2006. Supply chain coordination and influenza vaccination. INSEAD; Technology and Operations Management Area; Boulevard de Constance; 77300 Fontainebleau France.
- EARNSHAW, S.R., RICHTER, A., SORESEN, S.W., HOERGER, T.J., HICKS, K.A., ENGELGAU, M., THOMSON, T., NARAYAN, V., WILIAMSON, D.F., GREGG, E., ZHANG, P., 2002. Optimal Allocation of Resource Across Four Intervention for Type 2 Diabetes. *Medical Decision Making*, 22: 80-91.
- EARNSHAW, S.R., HICKS, K., RICHTER, A., HONEYCUTT, A., 2007. A linear Programming Model for Allocating HIV Prevention Funds with State Agencies: A Pilot Study. *Health Care Management Science*, 10: 239-252.
- EPSTEIN, D., CHALABI, Z., CLAXON, K., SCHULPHER, M., 2005. Mathematical Programming for the Optimal Allocation of Health Care Resources. Centre for Health Economics, University of York, 1- 21.
- FERRI, F., POURABBAS, M., RAFANELLI, M., SINDON, G., 1997. A system to Define and Allocate Health Care Resources on a Territory to Improve the

- Life Quality of the Populations in Developing Countries. *Computers and Biomedical Research*, 30: 379-402.
- FLESSA, S., 1999. Decision Support for Malaria-Control Programmes – a System Dynamics Model. *Health Care Management Science*, 2: 181-191.
- FLESSA, S., 2000. Where Efficiency Save Lives : A Linear Programme For The Optimal Allocation of Health Care Resources. *Health Care Management Science*, 3: 249-267.
- FLESSA, S., 2003. Priorities and Allocation of Health Care Resources in Developing Countries : A Case Study from the Mtwara Region, Tanzania. *European Journal of Operational Resources*, 150: 67-80.
- FLESSA, S., 2003. Decision Support for AIDS Control Programmes in Eastern Africa. *OR Spectrum*, 25: 265-291.
- GALLIARD, E.M., MOTEETE, M.M., STOVER, J., BOLLINGER L., JAASE, N., KHOBOTLE, M., 2002. Goals Modeling in Lesotho: Using a Resource Allocation Model to Assess Lesotho's HIV/AIDS Budget and its Impact on the Country's Epidemic. IAEN for the Barcelona Conference.
- HUTUBESSY, C.W., BENDIB, L.M., EVANS, D.B., 2001. Critical Issues in the Economic Evaluation of Interventions against Communicable Diseases. *Acta Topica*, 78(3): 191-206.
- HUTTUBESY, R., CHISHOLM, D., EDEJER, T.T., 2003. Generalized Cost Effectiveness Analysis for National- Level Priority Setting in the Health Sector. *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 1(8): 1-13.
- KAPLAN, E.H., POLLAC, H., 1998. Allocating HIV Prevention Resources. *Socio-Economic Planning Science*, 32(4), 257-263.
- LASRY, A., ZARIC, G.S., CARTER, M.W., 2006. Multilevel Resource Allocation for HIV Prevention: A model for Developing Countries. *European Journal of Operational Research*, 180:786-799.
- LI, J., REN, Q., YIN, J., CHEN, X., 2004. Study on Transmission of Avian Influenza. *Proceedings of 2004 International Conference on Information Acquisition*.

- KARIMA, R.N., LARSON, R.C., (2009). Living with Influenza : Impacts of Government Imposed and Voluntarily Selected Interventions. European Journal of Operational Research, 195 : 613-627.
- KURUÜZÜM, A. Karar Destek Sistemlerinde Çok Amaçlı Yöntemler, Akdeniz Üniversitesi Yayınları, Antalya, 1998.
- MASAKI, E., GREEN, R., GREIG, F., WALSH, J., POTTS, M., 2004. Cost Effectiveness of HIV Prevention Versus Treatment for Resource Scarce Countries: Setting Priorities for HIV/AIDS Management. <http://big.berkeley.edu/research.workingpapers.htm>
- MELTZER, M.I., COX, N.J., FUKUDA, K., 1999. Modeling the Economic Impact of Pandemic Influenza in the United States: Implications for Setting Priorities for Intervention. Emerging Infectious Diseases, Available at (http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol5no5/melt_back.htm) 4(10).
- PATEL, R., LONGIRI, I.M., HALLORAN, M.E., 2005. Finding Optimal Vaccination Strategies for Pandemic Influenza Using Genetic Algorithms. Journal of Theoretical Biology, 234:201-212.
- RAUNER, M.S., 2002. Resource Allocation for HIV/AIDS Control Programs: A model- Based Policy Analysis. OR Spectrum, 24(1): 99-124.
- RICHTER, A., 1996. Optimal Resource Allocation for Epidemic Control. PhD Thesis, Department of Operations Research, Stanford University.
- RICHTER, A., BRANDEAU, M.L., OWENS, D.K., 1999. An Analysis of Optimal Resource Allocation for Prevention of Infection with Human Immunodeficiency Virus in Injection Drug Users and Non-Users. Medical Decision Making, 19: 167-179.
- T.C. SAĞLIK BAKANLIĞI TEMEL SAĞLIK HİZMETLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ. Pandemik İnfluenza Ulusal Faaliyet Planı, Ankara, 2005.
- TÜRKİYE İSTATİSTİK KURUMU, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitimapp/adnks.zul>
- WALKER, D., 2003. Cost and Cost-Effectiveness of HIV/AIDS Prevention Strategies in Developing Countries: Is there an evidence base? Health Policy and Planning, 18(1): 4-17.

- WILSON, A.R., KAHN, J.G., 2003. Preventing HIV in Injection Drug Users: Choosing the Best Mix of Interventions for the Populations. *Journal of the Urban Health*, 80(3): 465-481.
- KERMACK, W.O. and McKENDRICK, A.G. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics, *Proc. R. Soc., London*, 1927.
- KERMACK, W.O. and McKENDRICK, A.G. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics II, *Proc. R. Soc., London*, 1932.
- ZARIC, G.S., BRANDEAU, M.L., 2002. Dynamic Resource Allocation for Epidemic Control in Multiple Populations. *IMA Journal of Mathematics Applied in Medicine and Biology*, 19: 235-255.
- ZARIC, S.G., BRANDEAU, M.L., BARNETT, P.G., 2000. Methadone Maintenance and HIV Prevention: A Cost Effective Analysis. *Management Science*, 46(8):1013-1031.
- ZARIC, S.G., 2000. Resource Allocation for Epidemic Control. PhD Thesis, Department of Industrial Engineering, Stanford University.
- ZARIC, S.G., BRANDEAU, M.L., 2001. Resource Allocation for Epidemic Control Over Short Time Horizons. *Mathematical Biosciences*, 171: 33-58.
- ZARIC, S.G., BRANDEAU, M.L., 2001. Optimal Investment in a Portfolio of HIV Prevention Programs. *Health Economics*, 21: 391-408.
- ZARIC, S.G., BRANDEAU, M.L., 2002. Dynamic Resource Allocation for Epidemic Control in Multiple Populations. *IMA Journal of Mathematics Applied in Medicine and Biology*, 19: 235-255.
- ZARIC, S.G., BRANDEAU, M.L., 2007. A Little Way Goes a Long Way: Multilevel Allocation of HIV Prevention Resources. *Medical Decision Making*, 27:71-81.
- ZHANG, X., MELTZER, M.I., WORTLEY, P.M., 2006. FluSurge-A Tool to Estimate Demand for Hospital Services during the Next Pandemic Influenza. *Medical Decision Making*, 26:617-623.

ÖZGEÇMİŞ

1973 Adana doğumlu. 1990 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik bölümü kazandı ve 1993 yılında kendi isteği ile bu bölümünden ayrılarak aynı yıl Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünü kazandı. 1997 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1997 yılında Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen görevine devam etmektedir.

EKLER

EK-1 GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODEL İÇİN GAMS KODLARI

Sets

i bolgeler
/izmir,ist,Ankara,Konya,Trabzon,Samsun,Adana,Antalya,Edirne,Bursa,
Van,Erzurum,DBakir,Malatya /
j populasyon gruplari /019y,2064y,65y,019d,2064d,65d/
r sabit kaynaklar /hastaneyatak,yogunbakimyatak,ventilator/;

Parameters

q(j) tedavi icin gereken antiviral ilac miktarı
/ 019y 26
2064y 42
65y 41
019d 26
2064d 36
65d 41 /

d(j) sadece antiviral alanlarda olum oranı
/ 019y 0.002295
2064y 0.001716
65y 0.001689
019d 0.000039
2064d 0.000027
65d 0.000162 /

deksi(j) antiviral almayanlarda olum oranı
/ 019y 0.00765
2064y 0.00572
65y 0.00563
019d 0.00013
2064d 0.00009
65d 0.00054 /

Mortaleksi(r) sabit kaynak kullanamayanlarda olum oranı
/ hastaneyatak 0.3
yogunbakimyatak 1
ventilator 1 /

Z(r) sabit kaynak satın alma maliyeti
/ hastaneyatak 1000
yogunbakimyatak 100000
ventilator 15000 /

b(r) olusum periyodu
/hastaneyatak 8
yogunbakimyatak 4
ventilator 4 / ;

Table Mortal(j,r) sabit kaynak kullananlarda olum orani

	hastaneyatak	yogunbakimyatak	ventilator
019y	0.0173	0.14	0.14
2064y	0.0336	0.28	0.28
65y	0.3500	0.75	0.75
019d	0.0121	0.10	0.10
2064d	0.0471	0.39	0.39
65d	0.0525	0.43	0.43 ;

Table morb(j,r)	sabit kaynak kullanilirs a iyilesme suresi		
	hastaneyatak	yogunbakimyatak	ventilator
019y	5	10	10
2064y	5	10	10
65y	5	10	10
019d	5	10	10
2064d	5	10	10
65d	5	10	10 ;

Table E(i,r) mevcut sabit kaynak

	hastaneyatak	yogunbakimyatak	ventilator
izmir	18585	1074	399
ist	34505	3937	1182
Ankara	23227	1205	74
Konya	9249	333	135
Trabzon	6147	264	142
Samsun	12016	358	219
Adana	16752	742	251
Antalya	8533	355	147
Edirne	3887	90	39
Bursa	11939	412	112
Van	3397	74	15
Erzurum	4256	114	44
DBakir	6748	164	62
Malatya	9344	274	67 ;

Table Ia(j,r) sabit kaynaklara ihtiya c duyma orani

	hastaneyatak	yogunbakimyatak	ventilator
019y	0.00900	0.0009	0.0006750
2064y	0.00514	0.000514	0.0003855
65y	0.01300	0.0013	0.0009750
019d	0.00290	0.00029	0.0002175
2064d	0.00275	0.000275	0.0002063
65d	0.00300	0.0003	0.0002250

Scalars

ck koruyucutedavi maliyeti /25/
ca birim antiviral maliyeti /1/
BU butce /700000000/ ;

Variables

x(i,j) i'nci bolgede j'ninci gruptan olan hasta sayisi
vaka toplam vaka sayisi
voran ortalama vaka sayisi
pk(i,j) i'nci bolgede j'ninci gruptan koruyucu tedavi alanlarin
sayisi
*A(i,j) i'nci bolgede j'ninci gruba atanan antiviral ilac butcesi
*PA(i,j) i'nci bolgede j'ninci gruptan antiviral ilac alanlarin
sayisi
TKM(i,j) koruyucu tedaviye ayrilan butce
TAK(i,j) tedavi alacak kisi sayisi
AVM(i,j) antiviral tedaviye ayrilan butce
HB toplam harcanan butce

NMA(i,j) sadece antiviral alanlarda olum sayisi
NMAeksi(i,j) antiviral almayanlarda olum sayisi
NMR(i,j,r) sabit kaynak kullananlarda olum sayisi (antivirale ek
olarak)
NMR2(i,j) r cinsinden toplandi
NMReksi(i,r) sabit kaynak kullanamayanlarda olum sayisi
NMReksi2(i) r cinsinden toplandi
TD toplam olum

TMA(i,j) sadece antiviral alanlarda iyilesme suresi
*TMAeksi(i,j) antiviral almayanlarda iyilesme suresi
TMR(i,j,r) sabit kaynak kullananlarda iyilesme suresi
TMR2(i,j) r cinsinden toplami
TS toplam iyilesme suresi

N(i,r) ihtiyac duyulan miktar
SKH(i,r) sabit kaynak kullanamayan hasta sayisi
SAK(i,r) sabit kaynak kullanan hasta sayisi

a(i,r) i bolgede r sabit kaynagindan satin alinacak miktar
SAM(i,r) satin alma maliyeti
GSAK(i,j,r) grup ve bolge bazinda sabit kaynak kullananlar
NDR(i,r) ihtiyac duyulacak r kaynagi
TKMT toplam kor ted maliyeti
AVMT topla ant il maliyeti
SAMT toplam satin alma maliyeti
TNMR2 sabit kaynak kullananlarda toplam olum
TNMReksi2 sabit kaynak kullanmayanlarda toplam olum
TNMA antiviral alanlarda toplam olum
TNMAeksi antiviral almayan toplam olum
TTMA antiviral alan toplam iyilesme suresi
TTMR2 sabit kaynak kullananlarda toplam iyilesme suresi
Z1(i,r) rizvan hoca onerisi icin
Z2(i,r) rizvan hoca oneri;
*TTKMalan toplam koruyucu tedavi alan sayisi

*TAVMalan toplam tedavi alan sayisi;

Positive variables

x, vaka, voran, pk, TKM, TAK, AVM, HB, NMA, NMAeksi, NMR, NMR2, NMReksi, NMReksi,
TMA, TMR, TMR2, TS, N, SKH, SAK, a, SAM, Z1, Z2 ;

Equations

vakasayisi (i,j) olusacak vaka sayisi
vakaoran olusan vaka sayisinin orani
toplamvsayi toplam vaka sayisi
kortedmal(i,j) koruyucu tedavi maliyeti
pkor(i,j) koruyucu tedavi alanlarin sayisi
enaz_kor_ted_alac(i,j) en az koruyucu tedavi almasi gerekenler
antilmal(i,j) antiviral ilac maliyeti
butcekisiti tedavi maliyeti ve antiviral maliyeti
harcananbutce harcanan butce
sabitkaynakkullanan(i,r) sabit kaynaklari kullanan sayisi
sabitkaynakihtduyan(i,r) sabit kaynaklara ihtiyac duyan sayisi
sabitkaynakkullanamayan(i,r) sabit kaynaklari kullanamayan sayisi
antiviralalanolumsayisi(i,j) sadece antiviral alanlarda olum sayisi
antiviral_almayan_olumsayisi antiviral almayanlarda olum sayisi
sabkay_kullanan_olumsay(i,j,r) sabit kaynaklari ikullananlarda
olum
sabkay_kullanmayan_olumsay(i,r)
sabkay_kullanan_olumsayi(i,j)
sabkay_kullanmayan_olumsayi(i)
toplam_olum_sayisi
ant_alan_iyilesme_suresi(i,j)
*ant_almayan_iyilesme_suresi(i,j)
sabkay_kullanan_iyilesme(i,j,r)
sabkay_kullanan_iyilesme2(i,j)
toplam_iyilesme_suresi
TAKkisiti(i,j) antiviral tedavisi alacaklar
TAKkisiti2(i,j)

satinalmaMal(i,r)
satin_alinacak(i,r)
satin_alinacak2
grupbazida_sabkay_kullanan(i,r)
ihtiyac_duyulan_r(i,r)
toplammkortedmal
topantilmal
topsatalmal
sabkay_kullanan_tpolum
sabkay_kullanmayan_tplolum
antiviral_alan_tplmolum
antiviral_almayan_tplolum
antalan_tpl_iyilesmesuresi
sabkay_kullanan_tplmiyilesme
dengelikullananim(i,j,r)
*toplammkortedalan
*topltedavialan;
satin_alinacak_ek(i,r)
satin_alinacak_ek2(i,r)

```

sabitkaynakkullanamayan_ek(i,r)
sabitkaynakkullanamayan_ek2(i,r);

vakasayisi (i,j).. x(i,j)=e=t(i,j)*(P(i,j)-PK(i,j))+s(i,j)*pk(i,j);
toplamvsayi.. vaka=e=sum((i,j),X(i,j));
vakaoran.. voran=e=vaka/70000000;

kortedmal(i,j).. TKM(i,j) =e= pk(i,j)*ck;
toplamlkortedmal..TKMT=e=sum((i,j),TKM(i,j));
*toplamlkortedalan..TTKMalan=e=sum((i,j),pk(i,j));

pkor (i,j).. pk(i,j) =l= p(i,j);
enaz_kor_ted_alac(i,j)..pk(i,j)=g=0.2*p(i,j);

antilmal(i,j).. AVM(i,j)=e= TAK(i,j)*ca*q(j);
topantilmal..AVMT=e=sum((i,j),AVM(i,j));
*topltedavialan..TAVMalan=e=sum((i,j),TAK(i,j));

satinalmaMal(i,r)..SAM(i,r)=e=Z(r)*a(i,r);
topsatalmal..SAMT=e=sum((i,r),SAM(i,r));

*satin_alinacak(i,r)..a(i,r)=l=Max((NDR(i,r)-E(i,r)),0);
satin_alinacak(i,r)..a(i,r)=l=Z1(i,r);
satin_alinacak_ek(i,r)..Z1(i,r)=g=NDR(i,r)-E(i,r);
satin_alinacak_ek2(i,r)..Z1(i,r)=g=0;
satin_alinacak2(i,r)..a(i,r)=g=0;

harcananbutce..HB=e=TKMT+AVMT+SAMT;
butcekisiti..BU=g=HB;

TAKkisiti(i,j)..TAK(i,j)=l=X(i,j);
TAKkisiti2(i,j)..TAK(i,j)=g=0.5*X(i,j);
*TAKkisiti2..TAK2(i)=sum(j,TAK(i,j));

*sabitkaynakkullananan(i,r)..SAK(i,r)=e=min(N(i,r),(E(i,r)+a(i,r))*b);

sabitkaynakkullananan(i,r)..SAK(i,r)=e=N(i,r)-SKH(i,r);
grupbazida_sabkay_kullananan(i,r)..SAK(i,r)=e= sum(j,GSAK(i,j,r));
dengelikullananim(i,j,r)..GSAK(i,j,r)=l=SAK(i,r)/3;
sabitkaynakihtduyan(i,r)..N(i,r)=e= sum(j, P(i,j)*Ia(j,r));
ihtiyac_duyulan_r(i,r)..NDR(i,r)=e=N(i,r)/b(r);
*sabitkaynakkullanamayan(i,r).. SKH(i,r)=e=max(N(i,r)-
(E(i,r)+a(i,r))*b(r),0);
sabitkaynakkullanamayan(i,r).. SKH(i,r)=e=z2(i,r);
sabitkaynakkullanamayan_ek(i,r)..Z2(i,r)=g=N(i,r)-
(E(i,r)+a(i,r))*b(r);
sabitkaynakkullanamayan_ek2(i,r)..Z2(i,r)=g=0;

*antiviralalanolumsayisi(i,j)..NMA(i,j)=e=d(j)*(TAK(i,j)-Sum
(r,SAK(i,r)/6));
*antiviralalanolumsayisi(i,j)..NMA(i,j)=e=d(j)*(TAK(i,j)-
Sum(r,GSAK(i,j,r)));

antiviralalanolumsayisi(i,j)..NMA(i,j)=e=d(j)*TAK(i,j);
antiviral_alan_tplmolum..TNMA=e=sum((i,j),NMA(i,j));

```

```

antiviral_almayan_olumsayisi(i,j)..NMAeksi(i,j)=e= deksi(j)*(x(i,j)-
TAK(i,j));
antiviral_almayan_tplolum..TNMAeksi=e=sum((i,j),NMAeksi(i,j));

*sabkay_kullanan_olumsay(i,r)..NMR(i,r)=e= SAK(i,r)* Mortal(r);

sabkay_kullanan_olumsay(i,j,r)..NMR(i,j,r)=e=GSAK(i,j,r)*Mortal(j,r)
;
sabkay_kullanan_olumsayi(i,j)..NMR2(i,j)=e=sum(r,NMR(i,j,r));
sabkay_kullanan_tplolum..TNMR2=e=sum((i,j),NMR2(i,j));

sabkay_kullanmayan_olumsay(i,r)..NMReksi(i,r)=e=SKH(i,r)*Mortaleksi(
r);
sabkay_kullanmayan_olumsayi(i)..NMReksi2(i)=e=sum(r,NMReksi(i,r));
sabkay_kullanmayan_tplolum..TNMReksi2=e=sum(i,NMReksi2(i));

toplam_olum_sayisi..TD=e=TNMA+TNMAeksi+TNMR2+TNMReksi2;

*ant_alan_iyilesme_suresi(i,j)..TMA(i,j)=e=mor(i,j)*(TAK(i,j)-Sum
(r,GSAK(i,j,r)));
ant_alan_iyilesme_suresi(i,j)..TMA(i,j)=e=mor(i,j)*(1-
d(j))*TAK(i,j);
antalan_tpl_iyilesmesuresi..TTMA=e=sum((i,j),TMA(i,j));

sabkay_kullanan_iyilesme(i,j,r)..TMR(i,j,r)=e=(1-
mortal(j,r))*GSAK(i,j,r)* morb(j,r) ;
sabkay_kullanan_iyilesme2(i,j)..TMR2(i,j)=e=sum(r,TMR(i,j,r));
sabkay_kullanan_tplmiyilesme..TTMR2=e=sum((i,j),TMR2(i,j));

toplam_iyilesme_suresi..TS=e=TTMA+TTMR2;

```

Model

```
epidemik /all/;
```

solve

```
epidemik using dnlp minimizing TD ;
```

EK-2 MATEMATİKSEL MODELİN PERFORMANSINI TEST ETMEK İÇİN GELİŞTİRİLEN BENZETİM MODELİNİN SIMAN KODLARI

MODEL DOSYASI

BEGIN;

```
CREATE, 259,0 : , 1 : next(ATAMALAR);  
CREATE, 670,7 : , 1 : next(ATAMALAR);  
CREATE, 1733,14 : , 1 : next(ATAMALAR);  
CREATE, 4486,21 : , 1 : next(ATAMALAR);  
CREATE, 11610,28 : , 1 : next(ATAMALAR);  
CREATE, 11610,35 : , 1 : next(ATAMALAR);  
CREATE, 4486,42 : , 1 : next(ATAMALAR);  
CREATE, 1733,49 : , 1 : next(ATAMALAR);  
CREATE, 670,56 : , 1 : next(ATAMALAR);  
CREATE, 259,63 : , 1 : next(ATAMALAR);
```

Atamalar

ASSIGN:

```
Region= DISCRETE(0.12, 1, 0.32, 2, 0.41, 3, 0.46, 4, 0.49, 5, 0.55, 6, 0.66, 7, 0.70, 8, 0.72, 9, 0.80,  
10, 0.84, 11, 0.87, 12, 0.95, 13, 1, 14);  
RealRegion= REGION;
```

BRANCH, 1:

```
IF, Region==1, R1GrupAta:  
IF, Region==2, R2GrupAta:  
IF, Region==3, R3GrupAta:  
IF, Region==4, R4GrupAta:  
IF, Region==5, R5GrupAta:  
IF, Region==6, R6GrupAta:  
IF, Region==7, R7GrupAta:  
IF, Region==8, R8GrupAta:  
IF, Region==9, R9GrupAta:  
IF, Region==10, R10GrupAta:  
IF, Region==11, R11GrupAta:  
IF, Region==12, R12GrupAta:  
IF, Region==13, R13GrupAta:  
IF, Region==14, R14GrupAta;
```

```
R1GrupAta    ASSIGN: Grup=DISCRETE(0.09,1,0.16,2,0.28,3,0.50,4,0.88,5,1,6) : next(hastane);  
R2GrupAta    ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.13,1,0.22,2,0.33,3,0.65,4,0.89,5,1,6) : next(hastane);  
R3GrupAta    ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.12,1,0.21,2,0.35,3,0.66,4,0.86,5,1,6) : next(hastane);  
R4GrupAta    ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.14,1,0.21,2,0.34,3,0.68,4,0.85,5,1,6) : next(hastane);  
R5GrupAta    ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.11,1,0.18,2,0.36,3,0.65,4,0.82,5,1,6) : next(hastane);  
R6GrupAta    ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.12,1,0.19,2,0.36,3,0.66,4,0.83,5,1,6) : next(hastane);  
R7GrupAta    ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.15,1,0.23,2,0.34,4,0.72,5,0.90,5,1,6) : next(hastane);  
R8GrupAta    ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.12,1,0.21,2,0.36,3,0.66,4,0.86,5,1,6) : next(hastane);  
R9GrupAta    ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.11,1,0.20,2,0.37,3,0.64,4,0.84,5,1,6) : next(hastane);  
R10GrupAta   ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.09,1,0.15,2,0.28,3,0.50,4,0.88,5,1,6) : next(hastane);
```

R11GrupAta ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.20,1,0.26,2,0.32,3,0.82,4,0.95,5,1,6) : next(hastane);
R12GrupAta ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.12,1,0.18,2,0.28,3,0.58,4,0.90,5,1,6) : next(hastane);
R13GrupAta ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.16,1,0.21,2,0.27,3,0.66,4,0.94,5,1,6) : next(hastane);
R14GrupAta ASSIGN: Grup=DISCRETE (0.11,1,0.17,2,0.27,3,0.56,4,0.89,5,1,6) : next(hastane);
Hastane Assign: KaynakTipi=DISCRETE(0.10, 1, 0.175, 2, 1, 3);

BRANCH, 1:

IF, NR(Member(KaynakTipi, Region))=MR(Member(KaynakTipi, Region)), sevk:
Else, Kaynak;
Kaynak
QUEUE, Member(3+KaynakTipi, Region);
SEIZE: Member(KaynakTipi, Region);
DELAY: TedaviTime(KaynakTipi);
RELEASE: Member(KaynakTipi, Region) : next(olumdali);

olumdali

BRANCH, 1:

With, OlumOranlari(KaynakTipi, Grup), Olumler:
Else, Statistics;

Olumler COUNT: Member(48+KaynakTipi, Region);
DISPOSE;

Statistics COUNT: Member(51+KaynakTipi, Region);
DISPOSE;

Sevket

FINDJ, 1, NumMem((KaynakTipi*14-8)+Region) : NR(Member((KaynakTipi*14-8)+Region, j))<MR(Member((KaynakTipi*14-8)+Region, j));

BRANCH, 1:

IF, j==0, olumler2:
Else, sevk;

Sevk ASSIGN: Region=P(KaynakTipi*14-14+region, J);

BRANCH, 1:

IF, KaynakTipi==1, icusevk:
IF, KaynakTipi==2, ventsevk:
IF, KaynakTipi==3, hastsevk;

Icusevk ASSIGN: SEVKicu-REALRegion, Region)= SEVKicu-REALRegion, Region)+1
:next(kaynak);
Ventsevk ASSIGN: SEVKvent-REALRegion, Region)= SEVKvent-REALRegion, Region)+1 :
next(kaynak);
Hastsevk ASSIGN: SEVKhast-REALRegion, Region)= SEVKhast-REALRegion, Region)+1 :
next(kaynak);
Olumler2 COUNT: KaynakTipi;
DISPOSE;
create, 1, 6.99 : 7, 10;
ASSIGN: b=0;

WHILE: b<14;
ASSIGN: b=b+1 ;

Write, icusevk: sevkicu(1,b), sevkicu(2,b), sevkicu(3,b), sevkicu(4,b), sevkicu(5,b), sevkicu(6,b),
sevkicu(7,b), sevkicu(8,b), sevkicu(9,b), sevkicu(10,b), sevkicu(11,b), sevkicu(12,b), sevkicu(13,b),
sevkicu(14,b);

Write, ventsevk: sevkvent(1,b), sevkvent(2,b), sevkvent(3,b), sevkvent(4,b), sevkvent(5,b),
sevkvent(6,b), sevkvent(7,b), sevkvent(8,b), sevkvent(9,b), sevkvent(10,b), sevkvent(11,b),
sevkvent(12,b), sevkvent(13,b), sevkvent(14,b);

Write, hastsevk: sevkhast(1,b), sevkhast(2,b), sevkhast(3,b), sevkhast(4,b), sevkhast(5,b),
sevkhast(6,b), sevkhast(7,b), sevkhast(8,b), sevkhast(9,b), sevkhast(10,b), sevkhast(11,b),
sevkhast(12,b), sevkhast(13,b), sevkhast(14,b);

ENDWHILE;

Write, icusevk:
Write, ventsevk:
Write, hastsevk:

DISPOSE;

END;

EXPERIMENT DOSYASI

BEGIN;

ATTRIBUTES: Region : RealRegion : Grup : KaynakTipi : b;

VARIABLES: Sevkicu(1..14,1..14) : Sevkvent(1..14,1..14) :
Sevkhast(1..14,1..14) : sonucicu : sonucvent : sonuchast;

QUEUES:

{Hastane kuyruğu}
Hast1Q : Hast2Q : Hast3Q : Hast4Q : Hast5Q : Hast6Q : Hast7Q : Hast8Q : Hast9Q : Hast10Q :
Hast11Q : Hast12Q : Hast13Q : Hast14Q :

{Yoğun Bakım Yatak Kuyruğu }
ICU1Q : ICU2Q : ICU3Q : ICU4Q : ICU5Q : ICU6Q : ICU7Q : ICU8Q : ICU9Q : ICU10Q :
ICU11Q : ICU12Q : ICU13Q : ICU14Q :

{Ventilator Kuyruğu }
Vent1Q : Vent2Q : Vent3Q : Vent4Q : Vent5Q : Vent6Q : Vent7Q : Vent8Q : Vent9Q : Vent10Q :
Vent11Q : Vent12Q : Vent13Q : Vent14Q;

RESOURCES :

{Bölgelerin Yoğun Bakım Yatak Kapasiteleri}
ICUR1, capacity(1074):
ICUR2, capacity(3937):
ICUR3, capacity(1205):
ICUR4, capacity(333):

ICUR5, capacity(264):
ICUR6, capacity(358):
ICUR7, capacity(742):
ICUR8, capacity(355):
ICUR9, capacity(90):
ICUR10, capacity(412):
ICUR11, capacity(74):
ICUR12, capacity(114):
ICUR13, capacity(164):
ICUR14, capacity(274):

{Bölgelerin ventilatör Kapasiteleri}

VentR1, capacity(399):
VentR2, capacity(1182):
VentR3, capacity(749):
VentR4, capacity(135):
VentR5, capacity(42):
VentR6, capacity(95):
VentR7, capacity(251):
VentR8, capacity(147):
VentR9, capacity(39):
VentR10, capacity(112):
VentR11, capacity(26):
VentR12, capacity(44):
VentR13, capacity(62):
VentR14, capacity(67):

{Bölgelerin Hastane Yatak Kapasiteleri}

HastR1, capacity(18585):
HastR2, capacity(34505):
HastR3, capacity(23227):
HastR4, capacity(9249):
HastR5, capacity(6147):
HastR6, capacity(12016):
HastR7, capacity(16752):
HastR8, capacity(8533):
HastR9, capacity(3887):
HastR10, capacity(11939):
HastR11, capacity(3397):
HastR12, capacity(4256):
HastR13, capacity(6748):
HastR14, capacity(9344):

SETS:

1, ICURSet, ICUR1, ICUR2, ICUR3, ICUR4, ICUR5, ICUR6, ICUR7, ICUR8, ICUR9, ICUR10, ICUR11, ICUR12, ICUR13, ICUR14:

2, VentRSet, VENTR1, VENTR2, VENTR3, VENTR4, VENTR5, VENTR6, VENTR7, VENTR8, VENTR9, VENTR10, VENTR11, VENTR12, VENTR13, VENTR14:

3, HastRSet, HASTR1, HASTR2, HASTR3, HASTR4, HASTR5, HASTR6, HASTR7, HASTR8, HASTR9, HASTR10, HASTR11, HASTR12, HASTR13, HASTR14:

4, ICUQSet, ICU1Q , ICU2Q , ICU3Q , ICU4Q , ICU5Q , ICU6Q , ICU7Q , ICU8Q , ICU9Q , ICU10Q , ICU11Q , ICU12Q , ICU13Q , ICU14Q :

5, VentQSet, Vent1Q , Vent2Q , Vent3Q , Vent4Q , Vent5Q , Vent6Q , Vent7Q , Vent8Q , Vent9Q , Vent10Q , Vent11Q , Vent12Q , Vent13Q , Vent14Q :

6, HastQSet, Hast1Q , Hast2Q , Hast3Q , Hast4Q , Hast5Q , Hast6Q , Hast7Q , Hast8Q , Hast9Q , Hast10Q , Hast11Q , Hast12Q , Hast13Q , Hast14Q:

7, ICUREGION1IZMIR, ICUR8, ICUR10, ICUR2, ICUR3, ICUR9, ICUR4, ICUR7, ICUR14, ICUR6, ICUR5, ICUR13, ICUR12, ICUR11:

8, ICUREGION2ISTANBUL, ICUR10, ICUR9, ICUR3, ICUR1, ICUR8, ICUR6, ICUR4, ICUR7, ICUR14, ICUR5, ICUR13, ICUR12, ICUR11:

9, ICUREGION3ANKARA, ICUR10, ICUR2, ICUR4, ICUR6, ICUR8, ICUR1, ICUR7, ICUR9, ICUR14, ICUR5, ICUR13, ICUR12, ICUR11:

10, ICUREGION4KONYA, ICUR3, ICUR7, ICUR14, ICUR8, ICUR6, ICUR5, ICUR13, ICUR10, ICUR11, ICUR2, ICUR12, ICUR1, ICUR9:

11, ICUREGION5TRABZON, ICUR12, ICUR6, ICUR14, ICUR11, ICUR13, ICUR4, ICUR7, ICUR3, ICUR8, ICUR2, ICUR10, ICUR1, ICUR9:

12, ICUREGION6SAMSUN, ICUR5, ICUR3, ICUR14, ICUR4, ICUR12, ICUR2, ICUR11, ICUR10, ICUR13, ICUR7, ICUR8, ICUR1, ICUR9:

13, ICUREGION7ADANA, ICUR4, ICUR14, ICUR13, ICUR3, ICUR8, ICUR6, ICUR5, ICUR11, ICUR12, ICUR10, ICUR2, ICUR1, ICUR9:

14, ICUREGION8ANTALYA, ICUR1, ICUR10, ICUR3, ICUR2, ICUR9, ICUR4, ICUR7, ICUR6, ICUR14, ICUR13, ICUR5, ICUR12, ICUR11:

15, ICUREGION9EDIRNE, ICUR2, ICUR10, ICUR3, ICUR1, ICUR8, ICUR6, ICUR4, ICUR7, ICUR14, ICUR5, ICUR13, ICUR12, ICUR11:

16, ICUREGION10BURSA, ICUR2, ICUR9, ICUR3, ICUR1, ICUR8, ICUR6, ICUR4, ICUR7, ICUR14, ICUR5, ICUR13, ICUR12, ICUR11:

17, ICUREGION11VAN, ICUR12, ICUR13, ICUR5, ICUR14, ICUR7, ICUR4, ICUR6, ICUR3, ICUR8, ICUR10, ICUR2, ICUR1, ICUR9:

18, ICUREGION12ERZURUM, ICUR5, ICUR14, ICUR11, ICUR13, ICUR4, ICUR7, ICUR6, ICUR3, ICUR8, ICUR2, ICUR10, ICUR1, ICUR9:

19, ICUREGION13DIYARBAKIR, ICUR11, ICUR14, ICUR12, ICUR5, ICUR7, ICUR4, ICUR6, ICUR3, ICUR8, ICUR10, ICUR2, ICUR1, ICUR9:

20, ICUREGION14MALATYA, ICUR5, ICUR12, ICUR13, ICUR4, ICUR11, ICUR7, ICUR6, ICUR3, ICUR8, ICUR10, ICUR2, ICUR1, ICUR9:

21, VENTREGION1IZMIR, VENTR8, VENTR10, VENTR2, VENTR3, VENTR9, VENTR4, VENTR7, VENTR14, VENTR6, VENTR5, VENTR13, VENTR12, VENTR11:

22, VENTREGION2ISTANBUL, VENTR10, VENTR9, VENTR3, VENTR1, VENTR8, VENTR6, VENTR4, VENTR7, VENTR14, VENTR5, VENTR13, VENTR12, VENTR11:

23, VENTREGION3ANKARA, VENTR10, VENTR2, VENTR4, VENTR6, VENTR8, VENTR1, VENTR7, VENTR9, VENTR14, VENTR5, VENTR13, VENTR12, VENTR11:

24, VENTREGION4KONYA, VENTR3, VENTR7, VENTR14, VENTR8, VENTR6, VENTR5, VENTR13, VENTR10, VENTR11, VENTR2, VENTR12, VENTR1, VENTR9:

25, VENTREGION5TRABZON, VENTR12, VENTR6, VENTR14, VENTR11, VENTR13, VENTR4, VENTR7, VENTR3, VENTR8, VENTR2, VENTR10, VENTR1, VENTR9:

26, VENTREGION6SAMSUN, VENTR5, VENTR3, VENTR14, VENTR4, VENTR12, VENTR2, VENTR11, VENTR10, VENTR13, VENTR7, VENTR8, VENTR1, VENTR9:

27, VENTREGION7ADANA, VENTR4, VENTR14, VENTR13, VENTR3, VENTR8, VENTR6, VENTR5, VENTR11, VENTR12, VENTR10, VENTR2, VENTR1, VENTR9:

28, VENTREGION8ANTALYA, VENTR1, VENTR10, VENTR3, VENTR2, VENTR9, VENTR4, VENTR7, VENTR6, VENTR14, VENTR13, VENTR5, VENTR12, VENTR11:

29, VENTREGION9EDIRNE, VENTR2, VENTR10, VENTR3, VENTR1, VENTR8, VENTR6, VENTR4, VENTR7, VENTR14, VENTR5, VENTR13, VENTR12, VENTR11:

30, VENTREGION10BURSA, VENTR2, VENTR9, VENTR3, VENTR1, VENTR8, VENTR6, VENTR4, VENTR7, VENTR14, VENTR5, VENTR13, VENTR12, VENTR11:

31, VENTREGION11VAN, VENTR12, VENTR13, VENTR5, VENTR14, VENTR7, VENTR4, VENTR6, VENTR3, VENTR8, VENTR10, VENTR2, VENTR1, VENTR9:

32, VENTREGION12ERZURUM, VENTR5, VENTR14, VENTR11, VENTR13, VENTR4, VENTR7, VENTR6, VENTR3, VENTR8, VENTR2, VENTR10, VENTR1, VENTR9:

33, VENTREGION13DIYARBAKIR, VENTR11, VENTR14, VENTR12, VENTR5, VENTR7, VENTR4, VENTR6, VENTR3, VENTR8, VENTR10, VENTR2, VENTR1, VENTR9:

34, VENTREGION14MALATYA, VENTR5, VENTR12, VENTR13, VENTR4, VENTR11, VENTR7, VENTR6, VENTR3, VENTR8, VENTR10, VENTR2, VENTR1, VENTR9:

35, HASTREGION1IZMIR, HASTR8, HASTR10, HASTR2, HASTR3, HASTR9, HASTR4, HASTR7, HASTR14, HASTR6, HASTR5, HASTR13, HASTR12, HASTR11:

36, HASTREGION2ISTANBUL, HASTR10, HASTR9, HASTR3, HASTR1, HASTR8, HASTR6, HASTR4, HASTR7, HASTR14, HASTR5, HASTR13, HASTR12, HASTR11:

37, HASTREGION3ANKARA, HASTR10, HASTR2, HASTR4, HASTR6, HASTR8, HASTR1, HASTR7, HASTR9, HASTR14, HASTR5, HASTR13, HASTR12, HASTR11:

38, HASTREGION4KONYA, HASTR3, HASTR7, HASTR14, HASTR8, HASTR6, HASTR5, HASTR13, HASTR10, HASTR11, HASTR2, HASTR12, HASTR1, HASTR9:

39, HASTREGION5TRABZON, HASTR12, HASTR6, HASTR14, HASTR11, HASTR13, HASTR4, HASTR7, HASTR3, HASTR8, HASTR2, HASTR10, HASTR1, HASTR9:

40, HASTREGION6SAMSUN, HASTR5, HASTR3, HASTR14, HASTR4, HASTR12, HASTR2, HASTR11, HASTR10, HASTR13, HASTR7, HASTR8, HASTR1, HASTR9:

41, HASTREGION7ADANA, HASTR4, HASTR14, HASTR13, HASTR3, HASTR8, HASTR6, HASTR5, HASTR11, HASTR12, HASTR10, HASTR2, HASTR1, HASTR9:

42, HASTREGION8ANTALYA, HASTR1, HASTR10, HASTR3, HASTR2, HASTR9, HASTR4, HASTR7, HASTR6, HASTR14, HASTR13, HASTR5, HASTR12, HASTR11:

43, HASTREGION9EDIRNE, HASTR2, HASTR10, HASTR3, HASTR1, HASTR8, HASTR6, HASTR4, HASTR7, HASTR14, HASTR5, HASTR13, HASTR12, HASTR11:

44, HASTREGION10BURSA, HASTR2, HASTR9, HASTR3, HASTR1, HASTR8, HASTR6, HASTR4, HASTR7, HASTR14, HASTR5, HASTR13, HASTR12, HASTR11:

45, HASTREGION11VAN, HASTR12, HASTR13, HASTR5, HASTR14, HASTR7, HASTR4, HASTR6, HASTR3, HASTR8, HASTR10, HASTR2, HASTR1, HASTR9:

46, HASTREGION12ERZURUM, HASTR5, HASTR14, HASTR11, HASTR13, HASTR4, HASTR7, HASTR6, HASTR3, HASTR8, HASTR2, HASTR10, HASTR1, HASTR9:

47, HASTREGION13DIYARBAKIR, HASTR11, HASTR14, HASTR12, HASTR5, HASTR7, HASTR4, HASTR6, HASTR3, HASTR8, HASTR10, HASTR2, HASTR1, HASTR9:

48, HASTREGION14MALATYA, HASTR5, HASTR12, HASTR13, HASTR4, HASTR11, HASTR7, HASTR6, HASTR3, HASTR8, HASTR10, HASTR2, HASTR1, HASTR9:

49, RegionICUOlumleri, ICUOlum1, ICUOlum2, ICUOlum3, ICUOlum4, ICUOlum5, ICUOlum6, ICUOlum7, ICUOlum8, ICUOlum9, ICUOlum10, ICUOlum11, ICUOlum12, ICUOlum13, ICUOlum14:

50, RegionVENTOlumleri, VENTOlum1, VENTOlum2, VENTOlum3, VENTOlum4, VENTOlum5, VENTOlum6, VENTOlum7, VENTOlum8, VENTOlum9, VENTOlum10, VENTOlum11, VENTOlum12, VENTOlum13, VENTOlum14:

51, RegionHASTOlumleri, HASTOlum1, HASTOlum2, HASTOlum3, HASTOlum4, HASTOlum5, HASTOlum6, HASTOlum7, HASTOlum8, HASTOlum9, HASTOlum10, HASTOlum11, HASTOlum12, HASTOlum13, HASTOlum14:

52, regionICUiyyisenler, ICURIYILESENLER1, ICURIYILESENLER2, ICURIYILESENLER3, ICURIYILESENLER4, ICURIYILESENLER5, ICURIYILESENLER6, ICURIYILESENLER7, ICURIYILESENLER8, ICURIYILESENLER9, ICURIYILESENLER10, ICURIYILESENLER11, ICURIYILESENLER12, ICURIYILESENLER13, ICURIYILESENLER14:

53, regionVENTiyyisenler, VENTRIYILESENLER1, VENTRIYILESENLER2, VENTRIYILESENLER3, VENTRIYILESENLER4, VENTRIYILESENLER5, VENTRIYILESENLER6, VENTRIYILESENLER7, VENTRIYILESENLER8, VENTRIYILESENLER9, VENTRIYILESENLER10, VENTRIYILESENLER11, VENTRIYILESENLER12, VENTRIYILESENLER13, VENTRIYILESENLER14:

54, regionHASTiyyisenler, HASTRIYILESENLER1, HASTRIYILESENLER2, HASTRIYILESENLER3, HASTRIYILESENLER4, HASTRIYILESENLER5, HASTRIYILESENLER6, HASTRIYILESENLER7, HASTRIYILESENLER8,

HASTRIYILESENLER9, HASTRIYILESENLER10, HASTRIYILESENLER11,
HASTRIYILESENLER12, HASTRIYILESENLER13, HASTRIYILESENLER14;

PARAMETERS:

1, 8, 10, 2, 3, 9, 4, 7, 14, 6, 5, 13, 12, 11:
2, 10, 9, 3, 1, 8, 6, 4, 7, 14, 5, 13, 12, 11:
3, 10, 2, 4, 6, 8, 1, 7, 9, 14, 5, 13, 12, 11:
4, 3, 7, 14, 8, 6, 5, 13, 10, 11, 2, 12, 1, 9:
5, 12, 6, 14, 11, 13, 4, 7, 3, 8, 2, 10, 1, 9:
6, 5, 3, 14, 4, 12, 2, 11, 10, 13, 7, 8, 1, 9:
7, 4, 14, 13, 3, 8, 6, 5, 11, 12, 10, 2, 1, 9:
8, 1, 10, 3, 2, 9, 4, 7, 6, 14, 13, 5, 12, 11:
9, 2, 10, 3, 1, 8, 6, 4, 7, 14, 5, 13, 12, 11:
10, 2, 9, 3, 1, 8, 6, 4, 7, 14, 5, 13, 12, 11:
11, 12, 13, 5, 14, 7, 4, 6, 3, 8, 10, 2, 1, 9:
12, 5, 14, 11, 13, 4, 7, 6, 3, 8, 2, 10, 1, 9:
13, 11, 14, 12, 5, 7, 4, 6, 3, 8, 10, 2, 1, 9:
14, 5, 12, 13, 4, 11, 7, 6, 3, 8, 10, 2, 1, 9:
15, 8, 10, 2, 3, 9, 4, 7, 14, 6, 5, 13, 12, 11:
16, 10, 9, 3, 1, 8, 6, 4, 7, 14, 5, 13, 12, 11:
17, 10, 2, 4, 6, 8, 1, 7, 9, 14, 5, 13, 12, 11:
18, 3, 7, 14, 8, 6, 5, 13, 10, 11, 2, 12, 1, 9:
19, 12, 6, 14, 11, 13, 4, 7, 3, 8, 2, 10, 1, 9:
20, 5, 3, 14, 4, 12, 2, 11, 10, 13, 7, 8, 1, 9:
21, 4, 14, 13, 3, 8, 6, 5, 11, 12, 10, 2, 1, 9:
22, 1, 10, 3, 2, 9, 4, 7, 6, 14, 13, 5, 12, 11:
23, 2, 10, 3, 1, 8, 6, 4, 7, 14, 5, 13, 12, 11:
24, 2, 9, 3, 1, 8, 6, 4, 7, 14, 5, 13, 12, 11:
25, 12, 13, 5, 14, 7, 4, 6, 3, 8, 10, 2, 1, 9:
26, 5, 14, 11, 13, 4, 7, 6, 3, 8, 2, 10, 1, 9:
27, 11, 14, 12, 5, 7, 4, 6, 3, 8, 10, 2, 1, 9:
28, 5, 12, 13, 4, 11, 7, 6, 3, 8, 10, 2, 1, 9:
29, 8, 10, 2, 3, 9, 4, 7, 14, 6, 5, 13, 12, 11:
30, 10, 9, 3, 1, 8, 6, 4, 7, 14, 5, 13, 12, 11:
31, 10, 2, 4, 6, 8, 1, 7, 9, 14, 5, 13, 12, 11:
32, 3, 7, 14, 8, 6, 5, 13, 10, 11, 2, 12, 1, 9:
33, 12, 6, 14, 11, 13, 4, 7, 3, 8, 2, 10, 1, 9:
34, 5, 3, 14, 4, 12, 2, 11, 10, 13, 7, 8, 1, 9:
35, 4, 14, 13, 3, 8, 6, 5, 11, 12, 10, 2, 1, 9:
36, 1, 10, 3, 2, 9, 4, 7, 6, 14, 13, 5, 12, 11:
37, 2, 10, 3, 1, 8, 6, 4, 7, 14, 5, 13, 12, 11:
38, 2, 9, 3, 1, 8, 6, 4, 7, 14, 5, 13, 12, 11:
39, 12, 13, 5, 14, 7, 4, 6, 3, 8, 10, 2, 1, 9:
40, 5, 14, 11, 13, 4, 7, 6, 3, 8, 2, 10, 1, 9:
41, 11, 14, 12, 5, 7, 4, 6, 3, 8, 10, 2, 1, 9:
42, 5, 12, 13, 4, 11, 7, 6, 3, 8, 10, 2, 1, 9;

COUNTERS:

ICUKullanamayanOlen:
VentilatorKullanamayanOlen:
YatakKullanamayanOlen :

ICURIYILESENLER1: ICURIYILESENLER2: ICURIYILESENLER3: ICURIYILESENLER4:
ICURIYILESENLER5: ICURIYILESENLER6: ICURIYILESENLER7: ICURIYILESENLER8:
ICURIYILESENLER9: ICURIYILESENLER10: ICURIYILESENLER11: ICURIYILESENLER12:
ICURIYILESENLER13: ICURIYILESENLER14:

VENTRIYILESENLER1: VENTRIYILESENLER2: VENTRIYILESENLER3:
VENTRIYILESENLER4: VENTRIYILESENLER5: VENTRIYILESENLER6:
VENTRIYILESENLER7: VENTRIYILESENLER8: VENTRIYILESENLER9:
VENTRIYILESENLER10: VENTRIYILESENLER11: VENTRIYILESENLER12:
VENTRIYILESENLER13: VENTRIYILESENLER14:

HASTRIYILESENLER1: HASTRIYILESENLER2: HASTRIYILESENLER3:
HASTRIYILESENLER4: HASTRIYILESENLER5: HASTRIYILESENLER6:
HASTRIYILESENLER7: HASTRIYILESENLER8: HASTRIYILESENLER9:
HASTRIYILESENLER10: HASTRIYILESENLER11: HASTRIYILESENLER12:
HASTRIYILESENLER13: HASTRIYILESENLER14:

ICUOlum1: ICUOlum2: ICUOlum3: ICUOlum4: ICUOlum5: ICUOlum6: ICUOlum7: ICUOlum8:
ICUOlum9: ICUOlum10: ICUOlum11: ICUOlum12: ICUOlum13: ICUOlum14:

VENTOlum1: VENTOlum2: VENTOlum3: VENTOlum4: VENTOlum5: VENTOlum6:
VENTOlum7: VENTOlum8: VENTOlum9: VENTOlum10: VENTOlum11: VENTOlum12:
VENTOlum13: VENTOlum14:

HASTOlum1: HASTOlum2: HASTOlum3: HASTOlum4: HASTOlum5: HASTOlum6:
HASTOlum7: HASTOlum8: HASTOlum9: HASTOlum10: HASTOlum11: HASTOlum12:
HASTOlum13: HASTOlum14 ;

EXPRESSIONS:

TedaviTime(1..3), 9.999, 9.9999, 4.9999 :
OlumOranlari(1..3, 1..6),
0.14,0.14,0.0173,0.28,0.28,0.0336,0.75,0.75,0.35,0.10,0.10,0.0121,0.39,0.39,0.0471,0.49,0.4
9,0.0525;

FILES:

1, icusevk,"icusevkler.xls",seq,wks,dis:
2, ventsevk,"ventsevkler.xls",seq,wks,dis:
3, hastsevk,"hastsevkler.xls",seq,wks,dis;

Dstats:

NR(ICUR1)/1074, REGION1 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR2)/3937, REGION2 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR3)/1205, REGION3 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR4)/333, REGION4 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR5)/264, REGION5 ICU UTILIZATION:

NR(ICUR6)/358, REGION6 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR7)/742, REGION7 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR8)/355, REGION8 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR9)/90, REGION9 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR10)/412, REGION10 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR11)/74, REGION11 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR12)/114, REGION12 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR13)/164, REGION13 ICU UTILIZATION:
NR(ICUR14)/274, REGION14 ICU UTILIZATION:

NR(VENTR1)/399, REGION1 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR2)/1182, REGION2 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR3)/749, REGION3 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR4)/135, REGION4 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR5)/42, REGION5 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR6)/95, REGION6 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR7)/251, REGION7 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR8)/147, REGION8 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR9)/39, REGION9 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR10)/112, REGION10 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR11)/15, REGION11 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR12)/44, REGION12 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR13)/62, REGION13 VENT UTILIZATION:
NR(VENTR14)/67, REGION14 VENT UTILIZATION:

NR(HASTR1)/18585, REGION1 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR2)/34505, REGION2 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR3)/23227, REGION3 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR4)/9249, REGION4 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR5)/6147, REGION5 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR6)/12016, REGION6 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR7)/16752, REGION7 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR8)/8533, REGION8 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR9)/3887, REGION9 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR10)/11939, REGION10 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR11)/3397, REGION11 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR12)/4256, REGION12 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR13)/6748, REGION13 HAST UTILIZATION:
NR(HASTR14)/9344, REGION14 HAST UTILIZATION;

REPLICATE, 1,0,1100000000;

END;