

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AFET SONRASI SAHRA HASTANELERİNİN YERLEŞİMİ İÇİN GENETİK
ALGORİTMA UYGULAMASI: İSTANBUL VAKASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yeşim KÖMÜRCÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

TEMMUZ, 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AFET SONRASI SAHRA HASTANELERİNİN YERLEŞİMİ İÇİN GENETİK
ALGORİTMA UYGULAMASI: İSTANBUL VAKASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yeşim KÖMÜRCÜ
507171153**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Seda YANIK

TEMMUZ, 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507171153 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Yeşim KÖMÜRCÜ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “AFET SONRASI SAHRA HASTANELERİNİN YERLEŞİMİ İÇİN GENETİK ALGORİTMA UYGULAMASI: İSTANBUL VAKASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Seda YANIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Seda YANIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Şeyda SERDAR ASAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Emre ALPTEKİN
Galatasaray Üniversitesi

Teslim Tarihi : 11 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 13 Temmuz 2020





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans sürecim boyunca desteğini esirgemeyen ve bana farklı bir bakış açısı kazandıran değerli hocam Doç. Dr. Seda YANIK’a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her konuda bana destek olan aileme ve her zaman yanımda olan eşime teşekkür ederim.

Temmuz, 2020

Yeşim Kömürcü
Endüstri Mühendisi





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1 Afet Yönetimi.....	3
2.1.1 Afet kavramı.....	3
2.1.2 Afete müdahale.....	4
2.2 Tesis Yeri Seçimi – Atama Modeli	5
2.2.1 P-medyan problemi.....	5
2.2.2 En büyük kapsama yeri modeli	6
2.2.3 Küme kapsama modeli.....	7
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	9
3.1 Tesis Yeri Seçimi ve Atama Modeli Literatür Araştırması	9
3.2 Afet Yönetimi Literatür Araştırması	10
4. PROBLEM TANIMI ve MATEMATİKSEL MODEL	13
4.1 Problem Tanımı	13
4.2 Matematiksel Model	14
4.3 Verilerin Tanımı	15
4.3.1 Hastane verileri	15
4.3.2 Yaralı verileri	16
5. GENETİK ALGORİTMA.....	17
5.1 Geliştirilen Genetik Algoritma Aşamaları.....	17
5.2 Deneysel Çalışma	21
6. UYGULAMA	27
6.1 Gerçek İstanbul Verisi	27
6.2 Varsayımlar	30
6.3 Model 1	31
6.4 Model 2	36
7. DUYARLILIK ANALİZİ	41
7.1 Model 3	41
7.2 Model 4	44
7.3 Model 5	47
7.4 Model 6	49
7.5 Model 7	52
7.6 Model 8	54

7.7 Model 9.....	57
7.8 Model 10.....	59
7.9 Model Kıyaslaması	61
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	69
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ.....	85



KISALTMALAR

GA	: Genetik Algoritma
JICA	: Japonya Uluslararası İş Birliği Ajansı
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
AKOM	: Afet Koordinasyon Merkezi
UMKE	: Ulusal Medikal Kurtarma Ekibi
CRED	: Afet Araştırma ve Epidemoloji Merkezi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : CRED'e göre doğal afet sınıflandırması.	3
Çizelge 5.1 : Deneysel veri setinin uygulandığı genetik algoritma parametreleri.	21
Çizelge 5.2 : Deneysel veri seti özellikleri.	22
Çizelge 5.3 : Geliştirilen 4 farklı genetik algoritmanın deneysel veri amaç fonksiyonu değeri.	22
Çizelge 6.1 : İlçelere göre ağır yaralı sayısı.	27
Çizelge 6.2 : Ağır yaralı yoğunluğuna göre lokasyon sayıları.	28
Çizelge 6.3 : Yatak sayısına göre acil servis birimi kapasitesi.	29
Çizelge 6.4 : Gerçek İstanbul verisi parametre bilgileri.	31
Çizelge 6.5 : Gerçek İstanbul verisi bilgileri.	31
Çizelge 6.6 : Birleşim çaprazlama & En kötü bireyi değiştirme seçim stratejisiyle yapılan 5 koşuma ait sonuçlar.	32
Çizelge 6.7 : Model 1 amaç fonksiyonu değeri oranları.	32
Çizelge 6.8 : Model 1 en iyi kromozomun atandığı yerler.	34
Çizelge 6.9 : Model 2 çoklu koşum amaç fonksiyonu değerleri.	36
Çizelge 6.10 : Model 2 en iyi amaç fonksiyonu değeri oranları.	36
Çizelge 7.1 : Model 3 için çoklu koşum sonuçları.	41
Çizelge 7.2 : Model 3'teki en iyi değerin yüzdelik oranları.	42
Çizelge 7.3 : Model 4 çoklu koşum sonuçları.	44
Çizelge 7.4 : Model 4 en iyi değerin yüzdelik oranları.	44
Çizelge 7.5 : Model 5 çoklu koşum sonuçları.	47
Çizelge 7.6 : Model 5 en iyi değerin yüzdelik oranları.	47
Çizelge 7.7 : Model 6 çoklu koşum sonuçları.	50
Çizelge 7.8 : Model 6 en iyi değerin yüzdelik oranları.	50
Çizelge 7.9 : Model 7 çoklu koşum sonuçları.	52
Çizelge 7.10 : Model 7 en iyi değerin yüzdelik oranları.	52
Çizelge 7.11 : Model 8 çoklu koşum sonuçları.	54
Çizelge 7.12 : Model 8 en iyi değerin yüzdelik oranları.	55
Çizelge 7.13 : Model 9 çoklu koşum sonuçları.	57
Çizelge 7.14 : Model 9 en iyi değer yüzdelik oranları.	57
Çizelge 7.15 : Model 10 çoklu koşum sonuçları.	59
Çizelge 7.16 : Model 10 en iyi değer yüzdelik oranları.	59
Çizelge 7.17 : Tüm modellerin özellik ve sonuçları.	62
Çizelge 7.18 : Bahçelievler ilçesinde bir mahalledeki yaralı lokasyonlarının Model 4'teki en iyi kromoza göre atandıkları hastane bilgileri.	62
Çizelge A. 1 : Model C'ye göre yaralı lokasyonları.	74
Çizelge A. 2 : Model A'ya göre yaralı lokasyonları.	78
Çizelge B. 1 : Genetik algoritmanın atama ve kurulum maliyeti hesaplama kodu.	82
Çizelge B. 2 : Genetik algoritmada birleşim çaprazlamanın bir kısmı.	83



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : 1980-2017 yılları arasında Dünyada gözlenen doğal afetlerin türleri ve oluşum sayıları.	4
Şekil 5.1 : Genetik algoritma aşamaları.	18
Şekil 5.2 : Geliştirilen farklı çaprazlama ve yer değiştirme tiplerine göre genetik algoritma aşamaları.	19
Şekil 5.3 : Ebeveyn kromozom yapısı örneği.	20
Şekil 5.4 : Çocuk kromozom yapısı örneği.	20
Şekil 5.5 : Kromozomda mutasyon örneği.	21
Şekil 5.6 : Deneysel veri setinde iki noktalı çaprazlama ve en kötü bireyi değiştiren GA 1 saatin sonunda bir denemenin amaç fonksiyonu değerlerindeki değişim. 23	
Şekil 5.7 : Deneysel veri setinde iki noktalı çaprazlama ve en kötü %50 bireyi değiştiren GA, 1 saatin sonunda bir denemenin amaç fonksiyonu değerlerindeki değişim.	23
Şekil 5.8 : Deneysel veri setinde birleşim çaprazlama ve en kötü %50 bireyi değiştiren GA, 1 saatin sonunda bir denemenin amaç fonksiyonu değerlerindeki değişim.	24
Şekil 5.9 : Deneysel veri setinde birleşim çaprazlama ve en kötü bireyi değiştiren GA 1 saatin sonunda bir denemenin amaç fonksiyonu değerlerindeki değişim. 24	
Şekil 5.10 : Deneysel çalışmada elde edilen bir kromozom.	22
Şekil 5.11 : Birleşim çaprazlama ile oluşturulan algoritmaların koşumlardaki tamamlanma süreleri.	25
Şekil 6.1 : Bahçelievler ilçesinin mahallelerindeki yaralı lokasyonları.	29
Şekil 6.2 : Küçükçekmece ilçesinin mahallelerindeki yaralı lokasyonları.	29
Şekil 6.3 : Hastane yaralı lokasyonu uzaklık ölçümü örneği.	30
Şekil 6.4 : Kromozom yapısı.	32
Şekil 6.5 : Ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklık dağılım grafiği.	33
Şekil 6.6 : Ağır yaralıların atandığı hastaneye uzaklık sınıflandırması.	33
Şekil 6.7 : Ağır yaralıların atandığı hastaneye uzaklık yüzdeleri.	33
Şekil 6.8 : En iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.	34
Şekil 6.9 : En iyi kromozomdaki yaralı lokasyonlarının hastanelere göre yüzdesel dağılımı.	34
Şekil 6.10 : Model 1 en iyi kromozoma göre mevcut hastanelerdeki kapasite kullanımı.	35
Şekil 6.11 : Model 1 en iyi kromozoma göre açılan sahra hastanelerindeki kapasite kullanımı.	35
Şekil 6.12 : Ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiği.	37
Şekil 6.13 : Yaralı lokasyonlarının atandığı hastane uzaklık sınıflandırması.	37
Şekil 6.14 : Yaralı lokasyonlarının atandığı hastaneye uzaklık oranları.	38

Şekil 6.15 : Model 2’de en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.	38
Şekil 6.16 : Model 2’de mevcut hastane kapasite kullanımı.	38
Şekil 6.17 : Model 2’de sahra hastanesi kapasite kullanımı.	39
Şekil 7.1 : Model 3 Ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiği.	42
Şekil 7.2 : Model 2’de en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.	42
Şekil 7.3 : Model 3 potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı.	43
Şekil 7.4 : Model 3’de mevcut hastane kapasite kullanımı.	43
Şekil 7.5 : Model 3’de sahra hastanesi kapasite kullanımı.	44
Şekil 7.6 : Model 4 ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiği.	45
Şekil 7.7 : Model 4’te en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.	45
Şekil 7.8 : Model 4 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.	46
Şekil 7.9 : Model 4’te mevcut hastane kapasite kullanımı.	46
Şekil 7.10 : Model 4’te sahra hastanesi kapasite kullanımı.	46
Şekil 7.11 : Model 5 ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiği.	48
Şekil 7.12 : Model 5’te en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.	48
Şekil 7.13 : Model 5 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.	48
Şekil 7.14 : Model 5’te mevcut hastane kapasite kullanımı.	49
Şekil 7.15 : Model 5’te sahra hastanesi kapasite kullanımı.	49
Şekil 7.16 : Model 6 ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiği.	50
Şekil 7.17 : Model 6’da en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.	51
Şekil 7.18: Model 6 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.	51
Şekil 7.19 : Model 6’da mevcut hastane kapasite kullanımı.	51
Şekil 7.20 : Model 6’da sahra hastanesi kapasite kullanımı.	52
Şekil 7.21 : Model 7’de en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.	53
Şekil 7.22 : Model 7 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.	53
Şekil 7.23 : Model 7’de mevcut hastane kapasite kullanımı.	54
Şekil 7.24 : Model 7’de sahra hastanesi kapasite kullanımı.	54
Şekil 7.25 : Model 8’de en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.	55
Şekil 7.26 : Model 8 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.	56
Şekil 7.27 : Model 8’de mevcut hastane kapasite kullanımı.	56
Şekil 7.28 : Model 8’de sahra hastanesi kapasite kullanımı.	56
Şekil 7.29 : Model 9’da en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.	57
Şekil 7.30 : Model 9 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.	58
Şekil 7.31 : Model 9’da mevcut hastane kapasite kullanımı.	58
Şekil 7.32 : Model 9’da sahra hastanesi kapasite kullanımı.	59
Şekil 7.33 : Model 10’da en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.	60
Şekil 7.34 : Model 10 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.	60

Şekil 7.35 : Model 10’da mevcut hastane kapasite kullanımı.	60
Şekil 7.36 : Model 10’da sahra hastanesi kapasite kullanımı	61





AFET SONRASI SAHRA HASTANELERİNİN YERLEŞİMİ İÇİN GENETİK ALGORİTMA UYGULAMASI: İSTANBUL VAKASI

ÖZET

Afet sonrası kayıpların çoğu, insani yardım planlamasının olmaması ya da yetersiz uygulamalardan kaynaklanmaktadır. Geçici sahra hastanelerinin yerleşimi ve yaralıların hastanelere atanması doğal afet yönetiminde anahtar konulardır. Mevcut hastanelerin acil servis birimleri bulunmasına rağmen, İstanbul'da ciddi bir deprem olması durumunda bu kapasitelerin yaralılar için yeterli olmayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle, felaketin ardından hızla inşa edilecek ve ek kapasite görevi görecek sahra hastanelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sahra hastanelerinin en uygun yerlerinin belirlenmesi, yaralıya yanıt verme süresini azaltmak için önemlidir. Ayrıca, yaralıların mevcut hastane ve sahra hastanelerine en uygun şekilde atanması da yanıt süresinin azaltılmasına ve kapasitenin verimli kullanılmasına yardımcı olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, yaralıların tümüne olabildiğince çabuk yanıt vermek için toplam seyahat maliyetini ve sahra hastanesi kurulum maliyetini en aza indirmektir. Problem NP-Zor türünde olduğundan ve matematiksel modellerin çözümünün çok uzun sürelerde sonuçlanacağı ya da sonuç bulmada yetersiz kalacağından dolayı meta sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Bu amaçla MATLAB'da sezgisel çözüm yöntemi olan genetik algoritma (GA) geliştirilmiştir. Algoritmanın performansını artırmak için farklı çaprazlama ve yer değiştirme stratejileri test edilmiştir. Deneysel çalışmada, 4 farklı GA stratejilerinin performansları, optimal sonucunun bilindiği deneysel veri kümeleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çaprazlama tiplerinden birleşim çaprazlama, iki noktalı çaprazlamaya göre daha iyi performans göstermiş ve optimal sonucu bulmuştur. Yer değiştirme tiplerinde ise en kötü bireyi eleyerek yeni jenerasyon oluşturan algoritma popülasyonun %50'sini eleyerek yeni jenerasyon oluşturan algoritmadan daha kısa sürede optimal sonuca ulaşmıştır. Karşılaştırma sonucuna göre, gerçek İstanbul veri seti için en iyi GA seçilmiş ve gerçek İstanbul verisinde uygulanmıştır.

Japonya İş Birliği Uluslararası Ajansı'na göre olası yıkıcı bir İstanbul depreminde en fazla ölü ve ağır yaralı olacak ilçelerden Bahçelievler ve Küçükçekmece uygulama için seçilmiştir. Uygulamada Bahçelievler ve Küçükçekmece ilçelerinde mesafe kısıtı olmaksızın ve mesafe kısıtı eklenerek 2 model çözülmektedir.

Duyarlılık analizi kapsamında farklı yaralı sayıları, mesafe kısıtı ve sahra hastanesi kapasitesi ile oluşturulan 8 model çoklu koşumlar sonucunda değerlendirilmiştir. Yaralı sayısı ve sahra hastanesi kurulum maliyeti sabit olan mesafe kısıtının değiştiği modeller incelendiğinde mesafe kısıtı yarıçapı azaldıkça açılan sahra hastanesi sayısı arttığından seyahat maliyeti azalsa da toplam maliyet artmaktadır. Yaralı sayısı ve mesafe kısıtı aynı olup sahra hastanesi kapasitesi ve dolayısıyla kurulum maliyeti arttığında ise açılan sahra hastanesi sayısı oldukça azalmaktadır. Sahra hastanesi

kapasitesi ve mesafe kısıtı aynı olup yaralı sayısı değiştiğinde yaralı sayısının artışına göre seyahat maliyeti ve kurulum maliyeti doğru orantılı olarak artmaktadır. Model 4 en az maliyetli model olup Model 4'n özelliklerine bakıldığında; yaralıları en fazla 5 km yarıçapında bulunan hastanelere atanmaktadır, hem maliyet daha az hem de yaralıların seyahat süresi oldukça kısalımış olmaktadır.



USING GENETIC ALGORITHM FOR LOCATING POST-DISASTER FIELD HOSPITALS: THE CASE OF ISTANBUL

SUMMARY

Natural disasters affect the lives of human beings all around the world. Moreover, they cause big losses. Most of the post-disaster losses occur due to the lack of humanitarian relief planning or inadequate implementations. Timely and effective response to disaster required the interaction and coordination of many parties. After the natural disaster such as earthquake, fire, etc. the medical intervention for the injured people should be given as quick as possible. The capacities of existing emergency units of the existing hospitals are expected to be not enough for the injured people in case of a serious earthquake in Istanbul.

This study deals with the post-disaster relief planning for the expected earthquake in Istanbul which is located on a major fault line and hosts more than 17 million populations. The field hospitals which will be quickly constructed after the disaster aim to serve as additional capacity needed. According to the World Health Organization, field hospital: A mobile, self-contained, self-sufficient health care facility capable of rapid deployment and expansion or contraction to meet immediate emergency requirements for a specified period of time. Field hospital, its services include an operating theater, intensive observation, anaesthesia, x-ray, laboratory, maternal-child health, pharmacy, sterilization, outpatient clinics. Provides safe medical and surgical interventions, while offering limited medical/surgical care.

The problem we study is finding the optimum locations of the field hospitals considering the existing hospitals and the assignment of the injured people to the hospitals. A mixed integer model is formulated for the problem. The objectives of the model are to minimize the total travel cost and the total cost of establishing field hospitals in order to respond to all of the injured as quickly as possible. Since, finding the optimal result for the real-sized problems is not possible with the mixed integer programming, a heuristic solution methodology, GA is developed in MATLAB. Different crossover and replacement strategies have been tested in order to improve the performance of the algorithm.

In the experimental study, the performances of different GAs strategies are compared using experimental datasets where optimal results are known. The four different GAs are run for several times and the averages of the obtained results show that two point crossover do not give the optimal result. Thus, we eliminate the use of two point crossover and continue to use the union crossover by which the optimal solution is obtained. Using the union crossover, the replacement strategies are also differentiated as worst 50% replacement and worst 1 replacement. When these two replacement strategies are compared both give the optimal result but the replacement of 1 population finds faster the optimal solution.

According to earthquake experts a strong earthquake is expected in the near future. There exist pre-disaster preparations for the incident. Also anticipations related to post-

disaster situation are also generated and post-disaster planning is made. In our case study, we aim to find the optimal field hospital locations and patient locations to them in two districts of Istanbul, namely Bahcelievler and Kucukcekmece which are two large districts is expected to be severely affected by an earthquake.

Many regulations have been taken into account when creating the data. During the disaster, the multi-storey structure of the existing hospitals cannot be used for security reasons. Only emergency departments of hospitals can be used. The capacity of the emergency units of the existing hospitals is related to the number of beds in the hospital. Field hospitals can be established in open areas such as school gardens, mosque courtyards, playgrounds, football field carpet in a region. In the study, school gardens, parks and football field carpet areas in districts will be used for potential field hospitals. The size of a field hospital was determined as 520 m². The capacity of a field hospital was determined to be 208 people.

In the computational study, we conduct two sets of runs as follows: (i) without a travel distance limit for the assignment of patients to the hospitals, (ii) with a travel distance limit for the assignment of patients to the hospitals. Then we compare these results in terms of travel costs arising from the patient-hospital assignment and the setup costs of the field hospitals.

In the Model 1 (without a travel distance limit for the assignment of patients to the hospitals), the best chromosome (due to minimum total cost) is shown 38 of patient location is assigned all of existing hospitals. 106 field hospitals were opened for others. The fitness function value consists of 94.95% setup cost and 5.05% travel cost. 44% of field hospitals is opened. Average unutilized capacity is 55 person/hospital. Unutilized capacity of hospitals is safety margin for unforeseen situation. In the Model 2 (with a travel distance limit for the assignment of patients to the hospitals), the best chromosome (due to minimum total cost) is shown 36 of patient locations is assigned all of existing hospitals. 107 field hospitals were opened for others. The fitness function value consists of 95.4% setup cost and 4.6% travel cost. 44% of field hospitals is opened. Average unutilized capacity is 57 person/hospital. Unutilized capacity of hospitals is safety margin for unforeseen situation. When distance limit is added, it is observed that setup cost increased and travel cost decreased.

Within the scope of sensitivity analysis, 8 models occurred with different injured numbers, distance constraints and field hospital capacity. The results obtained are as follows; The total cost increases as the distance constraint radius decreases. When the field hospital capacity and therefore the cost of installation increases, the number of field hospitals opened is considerably reduced. When the number of injured changes, travel cost and installation cost increase proportionally according to the increase in the number of injured.

Between 10 models, Model 4 is the least costly model. Looking at the features of Model 4; the injured are assigned to hospitals with a maximum radius of 5 km, both the cost is less and the travel time of the injured is considerably shortened. In the Model 4, the best chromosome is shown 35 of patient location is assigned all of existing hospitals. 53 field hospitals were opened for others. The fitness function value consists of 95.2% setup cost and 4.8% travel cost. 22% of field hospitals is opened.

In the future research, factors affecting the travel (such as damage to the road, demolition of the building to the road) can be taken into account. Moreover, the supply transportation to the hospitals from specified warehouses can also be included in the location model. The performance of the genetic algorithm can be compared with

different meta heuristic methods. Unused capacity can be reduced by assigning injured locations to more than one hospital rather than a hospital.



1. GİRİŞ

Doğal afetler, insanların önleyemediği ve çoğunu öngöremediği doğal olaylardır. Doğal afetler dünyanın dört bir yanındaki insanların yaşamlarını etkiler ve genellikle insan ölümleri veya mal kayıpları ile sonuçlanır. Afet sonrası kayıpların çoğu, insani yardım planlamasının olmaması veya yetersiz uygulamalardan kaynaklanmaktadır.

İstanbul şehri kalabalık ve bazı bölgelerinde düzensiz kentleşme olan bir metropoldür. İstanbul'da fay hattı Marmara Denizi'nden geçmektedir. Marmara Denizi'nin içerisinde hem doğusunda hem batısında kalan bölümlerde kırılmamış yaklaşık 130 kilometre uzunluğunda bir hat var ve bu hat önümüzdeki yıllarda olası 7 ve üzeri büyüklükte bir deprem üretme potansiyeline sahip olan faylardan meydana geliyor.

Deprem, yangın gibi doğal afetlerden sonra yaralılar için tıbbi müdahale mümkün olduğunca çabuk verilmelidir. Deprem gibi hızlı başlayan bir felaket esnasında, çok sayıda insan yaralanır ve bu yaralı insanlar aynı anda acil olarak müdahaleye ihtiyaç duyar. Bir hasta dalgasıyla karşı karşıya kaldıklarında, hastane acil bakım kapasiteleri (yoğun bakım üniteleri, ameliyat odaları, ekipman ve sağlık personeli) ve acil ulaşım kapasiteleri (ambulanslar ve ilgili yaşam destek personeli) yetersiz kalmaktadır. Bu zorlu şartlar altında, tıbbi müdahale koordinasyonu ve kıt kaynak kullanımı önemli ölçüde hayat kurtarıcı olmaktadır. Örneğin operasyonel düzeyde, ambulansların afet bölgesine gönderilmesi ve yaralıların acil servis birimlerine ulaştırılması, taktik düzeyde, dışardan gelen ek kaynakların kullanımıdır (Salman ve Gül, 2014). Afete müdahale, birçok kuruluşun etkileşimini ve koordinasyonunu gerektirir. Geçici sahra hastanelerinin bulunması ve yaralıların hastanelere atanması doğal afet yönetiminde anahtar konulardır. Mevcut hastanelerin acil servis birimlerinin kapasitelerinin, İstanbul'da ciddi bir deprem olması durumunda yaralılar için yeterli olmaması beklenmektedir. Bu nedenle, felaketin ardından hızla inşa edilecek ve ek kapasite görevi görecek olan sahra hastanelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sahra hastanelerinin en uygun yerlerinin belirlenmesi, yanıt verme süresini azaltmak için önemlidir. Ayrıca, yaralıların mevcut hastanelere ve açılan sahra hastanelerine en uygun şekilde atanması

da yanıt verme süresinin azaltılmasına ve kapasitenin verimli kullanılmasına yardımcı olacaktır.

Çalışmanın birinci bölümü olan giriş bölümünden sonra ikinci bölümde afet yönetimi hakkında bilgi verilecek, tesis yeri seçimi ve atama probleminin çeşitlerinden bahsedilecek ve üçüncü bölümde ise bu problem türü için literatürdeki çalışmalara değinilecektir. Dördüncü bölümde çalışmadaki problem tanımlanacak, oluşturulan matematiksel model anlatılacak, uygulama yapılacak olan problemin verileri açıklanacaktır. Beşinci bölümde problem çözümü için geliştirilen meta sezgisel yöntemlerden biri olan GA aşamalarından bahsedilecektir. Devamında geliştirilen 4 genetik algoritmanın performanslarını kıyaslamak için yapılan deneysel çalışma anlatılacaktır. Altıncı bölüm olan Uygulama Bölümü'nde gerçek İstanbul verisi ile çözülen problemin sonuçları yer almaktadır. Yedinci bölümde duyarlılık analizi kapsamında değiştirilen parametrelerle oluşturulan modeller çözülmüş, karşılaştırılmıştır. Sekizinci bölüm Sonuç ve Öneriler Bölümü olup çalışmanın genel değerlendirmesi, tartışma ve gelecek önerileri yapılmaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde afet yönetiminden bahsedilip afet kavramı ve afete müdahale anlatılacaktır, tesis yeri seçimi – atama modelleri hakkında bilgi verilecektir.

2.1 Afet Yönetimi

2.1.1 Afet kavramı

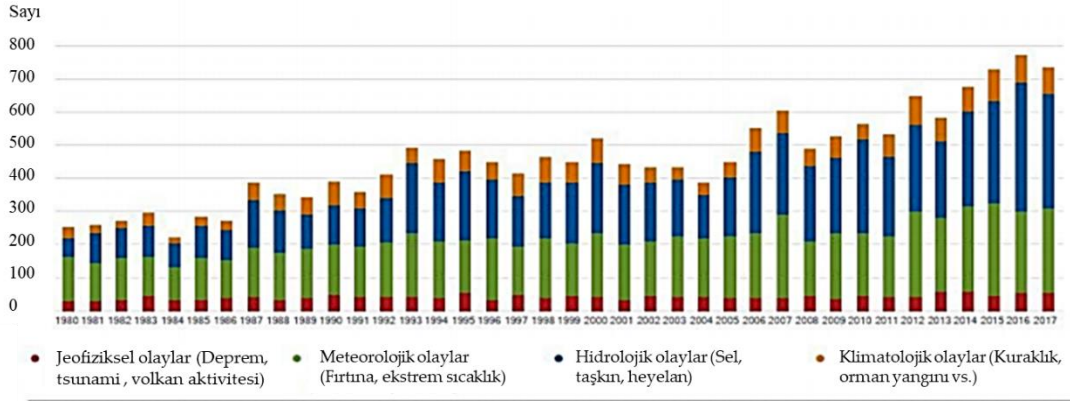
Dünyada meydana gelen doğa olayları, insanların yaşamını önemli ölçüde etkilediğinde doğal afet olarak adlandırılır. Doğal afetler salgın hastalık, ölüm, yaralanma, kıtlık, mal kaybına neden olur.

Çizelge 2.1 : CRED’e göre doğal afet sınıflandırması.

Jeofiziksel	Hidrolojik	Meteorolojik	Klimatolojik	Biyolojik	Uzay Kaynaklı
Deprem	Sel- Taşkın	Fırtına	Kuraklık	Hayvan	
Tsunami	Heyelan	Kasırga	Orman	Kazası	
Kütle	Dalga Etkisi	Hortum	Yangını	Salgın	
Hareketi		Ekstrem		Böcek	
Volkan		Sıcaklık		İstilas	
aktivite		Sis			

Afet Araştırma ve Epidemiyoloji Merkezi (CRED)’e göre doğal afetler, jeofiziksel, hidrolojik, meteorolojik, klimatolojik, biyolojik ve uzay kaynaklı olarak sınıflandırılmaktadır (Çizelge 2.1).

Doğal afetler sıklıkla insanların hayatlarında yer almaktadır. CRED’in verilerine göre 1980-2017 yılları arasında Dünya’da gözlenen doğal afetlerin türleri ve oluşum sayıları incelendiğinde, küresel iklim değişikliklerinden dolayı meteorolojik ve hidrolojik doğal afetlerin sayılarının daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 2.1). En fazla doğal afetin görüldüğü yıl 2016’dır. En fazla maddi kaybın olduğu yıl yaklaşık 350 milyar dolar ile 2011 yılıdır. 2017 yılı ise en fazla maddi kaybın yaşandığı 3. yıl olup yaklaşık 320 milyar dolar harcanmıştır.



Şekil 2.1 : 1980-2017 yılları arasında Dünya’da gözlenen doğal afetlerin türleri ve oluşum sayıları.

2.1.2 Afete müdahale

Yıkıcı depremlerin etkisi çok büyüktür. 2 Mayıs 2008 yılında Myanmar’da gerçekleşen Nargis Kasırgası’nda hayatını kaybedenlerin sayısı 80.000’den fazla ve 50.000’in üzerinde de kayıp olmuştur. Haiti’nin güneyinde, 2010’da meydana gelen 7 büyüklüğündeki depremde, 316.000 kişi hayatını kaybetmiştir. 7.6 büyüklüğündeki Gölcük depremi 45 saniye sürmüştür. İstanbul, Kocaeli ve Sakarya illerinde 20.000’den fazla ölüm ile sonuçlanmış, yaklaşık 50.000 yaralı, yaklaşık 500.000 evsiz ve 5 milyar dolar zarar meydana gelmiştir. Gölcük Depremi’nin ardından 2000 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) bir Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM) kurmuştur.

İstatistiklere dayanarak her geçen gün insan kaynaklı ya da doğa kaynaklı felaketlerin sayısı ve büyüklüğü artmaya devam etmektedir (Şekil 2.1). Buna bağlı olarak felaketlerden etkilenen kişi sayısı da artmaktadır. 1990’lardan günümüze kadar yılda ortalama 235 milyon kişi doğal afetlerden etkilenmektedir. 2014 yılında 324 doğal afet kaydedilmiştir ve ekonomik zararların 99.2 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir (Boonmee ve diğ, 2017).

Doğal afetin zamanının, yerinin ve büyüklüğünün bilinmezliği dışında afet bölgesini nasıl etkilediği konusundaki belirsizlik, felakete hazırlık için ciddi zorluklar oluşturmaktadır. Afete müdahale, birçok kuruluşun etkileşimini ve koordinasyonunu gerektirir. Afet yönetimi, 4 grupta incelenir:

Afet zararlarını azaltma: Felaketin ortaya çıkma ihtimalini, şiddetini ve tehlikesinin derecesini azaltmak için gerekli önlemlerin alınmasıdır. Hazırlık: Kaynak yönetimi,

toplum bilgilendirmesi, tehlikelere karşı planlamadır. Müdahale: Afet olayının gerçekleşmesinin ardından başlayan arama kurtarma çalışmaları, ilk yardım ve tıbbi müdahale, geçici barınak yardımını içerir. İyileştirme: Afetin etkisine maruz kalan bölgede güvenli bir yaşam ve normalleşmiş sosyo-ekonomik şartlara dönülmesi amacıyla yapılan faaliyetlerdir (Boonmee ve diğ, 2017).

İnsani lojistik; hazırlık, müdahale ve iyileşmeyi kapsar. İnsani lojistik, insanları afet bölgelerinden güvenli bölgelere tahliye etme, malzemelerin depolanması, bilgilerin planlanması, ulaştırılması ve kontrolünü içeren bütüncül bir süreçtir.

2.2 Tesis Yeri Seçimi – Atama Modeli

Klasik Tesis Yeri Seçimi – Atama Modeli, p- medyan problem, en büyük kapsama problemi ve küme kapsama problemini içerir (Comber ve diğ, 2015).

2.2.1 P-medyan problemi

p adet tesisin n adet düğümden oluşan şebekesi üzerinde minimum maliyet oluşacak şekilde yerleştirilmesi ve yerleştirilen bu tesislerden hizmet alacak talep noktalarının belirlenmesi problemidir. Minimum maliyet; zaman, para, toplam mesafe gibi bir ölçüt olabilir. Eğer problemde talep noktasıyla ilişkili bir ağırlık kullanılırsa bu problem ağırlıklı p-medyan problemi olarak isimlendirilir. Ağırlıklı p-medyan problemi, problemdeki tüm talep noktalarının amaç fonksiyonunu eşit miktarda etkilemediği durumları ifade etmektedir (Sule, 2001).

P-medyan probleminde n adet düğüm ve açılacak p adet tesisten oluşan bir problemin muhtemel çözüm sayısı denklem 2.1’de gösterilmiştir.

$$\binom{n}{p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} \quad (2.1)$$

p-medyan problemine ait matematiksel formülasyon aşağıdaki gibidir;

İndeksler:

n = toplam talep noktası sayısı

a_i = i noktasındaki talep

d_{ij} = i noktası ile j noktası arasındaki en kısa mesafe

P = yerleştirilecek olan hizmet verecek tesis (medyan) sayısı

Karar Değişkenleri:

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \text{ müşterisi } j \text{ tesisine atanmışsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{eğer } j \text{ noktasında bir tesis açılmışsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{minimum } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} z_{ij} \quad (2.2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} = 1 \quad \forall i \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = P \quad (2.4)$$

$$z_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

$$z_{ij}, y_j \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.6)$$

Tesisler ile talep noktaları arasındaki toplam maliyeti en küçüklemek istenen modelin amaç fonksiyonu Denklem 2.2’de gösterilmektedir. Denklem 2.3’te bir talep noktasının tüm taleplerinin sadece bir tesisten karşılanması kısıtı verilmiştir, yani her talep noktası yalnız bir tesise atanmaktadır. Denklem 2.4’te açılacak tesis sayısı p kadardır, kısıtı eklenmiştir. Denklem 2.5’te açık olmayan tesise atama yapmama koşulu sağlanmaktadır. Denklem 2.6’da ikili değişkenler gösterilmektedir.

2.2.2 En büyük kapsama yeri modeli

Tesis sayısı kısıtı altında kapsanan talep noktası sayısını maksimum yapmayı amaçlamaktadır. Bu modelde bütün talep noktalarının kapsanması şartı yerine belirli sayıdaki hizmet verecek tesisle (p) en fazla talep noktasına hizmet verilmesi hedeflenmektedir.

I : talep noktası kümesi

J : tesis alanları kümesi

S : bir talep noktasının kapsanmayan uzaklı

d_{ij} : i noktasından j noktasına en kısa uzaklık

x_j : $\begin{cases} 1, & \text{eğer bir tesis } j \text{ şehrine atanacaksa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

N_i : $\{j \in J \mid d_{ij} \leq S\}$;

a_i : i talep noktasında servis görececek nüfus

P : açılabilir tesis sayısı

$$\text{Maksimum } z = \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (2.7)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \in I \quad (2.8)$$

$$(2.9)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = P \quad (2.10)$$

$$x_j = (0,1) \quad \forall j \in J \quad (2.11)$$

$$y_i = (0,1) \quad \forall i \in I$$

Denklem (2.7)'de gösterilen amaç, istenen hizmet mesafesi içinde hizmet verilen veya "kapsanan" kişi sayısını en üst düzeye çıkarmaktır. Denklem (2.8), y kümesinin sadece N kümesindeki alanlarda bir veya daha fazla tesis kurulduğunda (yani, talep noktası i 'nin S mesafe birimlerinde bir veya daha fazla tesis bulunduğu) 1'e eşit olmasına izin verir. Denklem (2.9), tahsis edilen tesis sayısı p ile sınırlandırır. Denklem (2.10) ve denklem (2.11) ise ikili değişken kısıtıdır (Church ve Velle, 1974).

2.2.3 Küme kapsama modeli

Tüm talep noktalarını belirli bir hizmet seviyesinde kapsayacak en az sayıdaki hizmet verecek tesisi belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu modelde her talep noktasının en az 1 tesise atanma kısıtı vardır. Marianov ve Serra (2002), sağlık, bankacılık, bilet satış hizmetleri dahil olmak üzere hizmet ağlarının tasarımı için bekleme kuyruklarını en aza indirmek amacıyla en az sayıda tesisi bulan ve onlara minimum sayıda sunucu

(görevli, makine) tahsis eden bir küme kapsama modeli geliştirmiştir.

a_{ij} : Sıfır matris

$$x_j: \begin{cases} 1 & \text{eğer maliyet } c_j > 0 \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$\text{Minimum } \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \quad (2.12)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \geq 1, \quad i = 1 \dots m \quad (2.13)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad j = 1 \dots n \quad (2.14)$$

Denklem 2.12 her sıranın en az bir sütunla kapsanmasını ve denklem 2.13 bütünlük kısıtıdır. Denklem 2.14 ikili değişkeni göstermektedir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde tesis yeri seçimi – atama modeli ve afet yönetimi ile ilgili yapılan literatür araştırması aktarılacaktır.

3.1 Tesis Yeri Seçimi ve Atama Modeli Literatür Araştırması

Tesis Yeri Seçimi – Atama Modeli, müşteri taleplerini karşılama maliyetini en aza indirmeye düşüncesiyle aday yerler arasından en uygun birkaç yerin bulunması ve seçilen yerlerde açılan tesislere müşterilerin atanmasıdır. Tesis Yeri Seçimi – Atama Modeli birçok farklı alanda sıklıkla kullanılmaktadır.

Deprem afet yönetimindeki önemli adımlardan biri, kısa sürede temel yardım desteği sağlamak için geçici yardım merkezlerinin (sahra hastanelerinin) kurulmasıdır (Saeidian ve diğ, 2016).

Boonme ve diğ. (2017), acil insani lojistik ile ilgili tesis yeri seçimini incelemiştir. Barınak, tıbbi merkezler, depolar, atık merkezleri yerleşimi gibi afet öncesi ve sonrası durumları anlatmış, literatürde vurgulanan 4 ana problemi (deterministik tesis yeri seçimi, stokastik tesis yeri seçimi, dinamik tesis yeri seçimi ve dayanıklı tesis yeri seçimi) açıklamıştır.

Mestre ve diğ. (2015), hastane ağının stratejik tasarımındaki belirsizliği ele almak için 2 tesis yeri seçimi – atama modeli önermiştir. Talep ile ilgili belirsizlik, gelecekteki olası durumları gösteren çeşitli senaryolar ile modellenmiştir.

Tedarik Zinciri Yönetimi'nde de sıklıkla tercih edilen model, Wang ve Lee (2015) tarafından riskli taleplere karşı çok kademeli bir tedarik zincirinin kapasite kısıtlı tesis yeri seçimini ve atama problemini ele almıştır. Arabzad ve diğ. (2015), birden fazla tedarikçiye, birden çok ürüne, birden çok tesise, birden çok nakliye alternatifine ve birden çok müşteriye sahip bir tedarik zinciri göz önünde bulundurularak entegre bir tedarik zinciri tasarlamak için tesis yeri seçimi ve atama problemine yönelik bir matematiksel model önermiştir.

Tesis Yeri Seçimi – Atama Modelinin tipik üç girdi parametresi vardır; potansiyel tedarik noktaları, yol uzunluğu ya da seyahat mesafesi gibi tedarikçi ve talep noktaları arasındaki uzaklığın ölçüsü ve taleptir (Comber ve diğ, 2015).

Model, stratejik planlamada olduğu gibi operasyonel kararlarda da kullanılmaktadır. Dumahel ve diğ. (2016), malzeme dağıtımının nüfus üzerindeki etkisini dikkate alarak afet sonrası operasyonlarda çok dönemli Tesis Yeri Seçimi – Atama Modelini çözmek için bir matematiksel model ve bir meta sezgisel yöntem önermiştir. Yıkıcı bir deprem sonrası acil kan ihtiyacını karşılamak için kan tedarik çizelgeleme modeli için Sha ve Huang (2012), çok dönemli tesis yeri seçimi ve atama modeli ve Lagrange Çarpanı tabanlı meta sezgisel bir yöntem sunar. Zahiri ve diğ. (2014), bir organ nakli tedarik zincirinde, belirsizlikler altında, çok dönemli tesis yeri seçimi – atama problemi için dayanıklı (robust) model sunmaktadır.

3.2 Afet Yönetimi Literatür Araştırması

Salman ve Gül (2014), mevcut hastaneler dışında açılması gereken sahra hastanelerinin yerlerini belirlemiş ve yaralı lokasyonundaki yaralıları, ambulans lokasyonlarındaki ambulanslar ile mevcut hastanelere ve sahra hastanelerine atama problemini çok dönemli olarak karma tam sayılı programlama modeli ile ele almıştır.

Salman ve Yücel (2015), afet sonrası hizmet kalitesini etkileyen hasar almış yolları göz önüne alarak en kısa sürede cevap verecek daha etkili acil tesis yeri yerleşim kararlarını ele almıştır. Stokastik tam sayılı programlama ve tabu arama sezgiseli kullanılmıştır. Amacı talebin çoğunu makul bir sürede karşılamak olan çalışmada önerilen sezgisel algoritma, İstanbul gibi büyük ölçekli bir yol ağına sahip yer için bile çok kısa bir hesaplama süresinde çalışmakta, dolayısıyla pratikliğini kanıtlamaktadır.

Saeidian ve diğ. (2015), afet sonrası yardım merkezlerinin yerlerinin belirlenmesi ve atama amacı için GA ve arılar algoritmasının performanslarını kıyaslamıştır. Genetik algoritmanın daha fazla tekrarlanabilir, daha basit ve arılar algoritmasından daha hızlı olduğu sonucu elde edilmiştir.

Tavana ve diğ. (2018) ise afet sonrası kullanım için merkezi depoların yerini belirlemek, afet öncesi aşamada bozulabilir ürünlerin envanterini yönetmek ve afet sonrası aşamadaki yardım araçlarını yönlendirilmek amacıyla baskın olmayan sınıflandırma genetik algoritması-II (NSGA-II) ve referans noktası esaslı olmayan

sınıflandırma genetik algoritması-II (RPBNSGA-II) kullanmıştır. RPBNSGA-II'nin büyük problemlerinde NSGA-II'den daha iyi performans gösterdiği kanıtlanmıştır.

Balcık ve Beamon (2008), afet sonrası dağıtım merkezlerinin sayı ve yerlerini, her bir dağıtım merkezinde stoklanacak yardım malzemelerinin miktarını, felaketlerden etkilenen insanların ihtiyaçlarını hızlı bir şekilde karşılamak için en büyük kapsama modeli önermektedir. Aynı zamanda modelin yönetsel sonuçlarını da değerlendirmektedir.

Memari ve diğ. (2018), geçici acil durum istasyonlarının kurulum maliyetini ve geçici acil durum istasyonlarının cevap veremediği hastayı kaybetme oranını en aza indirmek, aynı zamanda yaralıların seyahat süresini ve bekleme süresini en aza indirmek için yeni bir bulanık dinamik çok amaçlı tesis yeri seçimi, ataması modeli önermektedir. Yardımcı e-kısıt yöntemi ve baskın olmayan sıralama genetik algoritması (NSGA-II) problemin çözümü için kullanılmıştır. Büyük boyutlu Tahran ili için geliştirilen model kaliteli çözüm vermiştir.

Ghasemi ve diğ. (2019), afetten etkilenen alanlar, dağıtım merkezleri, hastaneler, geçici konaklama merkezleri gibi binaların yerleşimi ve atama maliyeti ve yardım malzemesi kıtlığını en aza indirme amaçları ile çok amaçlı çok periyotlu çok amaçlı tesis yeri seçimi ve atama karmaşık tam sayılı matematiksel model önermektedir. Önerilen model değiştirilmiş çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu, baskın olmayan sıralı GA-II ve epsilon kısıt metodu kullanarak Tahran ili için çözülmüştür. Değiştirilmiş çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu diğer modellere göre daha iyi performans göstermiştir.



4. PROBLEM TANIMI ve MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde problem tanıtılacak, matematiksel model anlatılacak ve probleme ait veriler açıklanacaktır.

4.1 Problem Tanımı

Olası bir felaket (deprem, sel, yangın vs.) durumundan sonra yaralılara mümkün olduğu kadar hızlı tıbbi müdahalede bulunmak gerekir. Felaket sonrası kayıpların çoğu insani yardım planlamasının olmaması ya da yeterli uygulanamamasından dolayı gerçekleşmektedir. Afet sonrası salgın hastalıkların yaşanma ihtimali de yüksektir. Yaralılardan oluşan talebe, hızlı müdahale edebilmek için her talep noktasının yakınında acil servis birimleri kurulması gerekir (Salman ve Yücel, 2014).

Bu çalışmada olası bir yıkıcı İstanbul Depremi'nde yaralılara hızlı bir şekilde müdahale edebilmek için mevcut hastanelerin dışında açılması gereken sahra hastanelerinin yerlerinin belirlenmesi, yaralıların mevcut hastanelere ve açılan sahra hastanelerine atanması problemi ele alınmıştır.

Çalışmada fay hatlarının üzerinde bulunan ve son dönemlerde sık sık deprem meydana gelen ve kalabalık bir şehir olan İstanbul ele alınmıştır. Depremden sonra hızlı bir talep artışı meydana gelecek ve mevcut hastanelerin acil servis birimleri bu talebi karşılayamayacaktır. Depremden sonra ilk 72 saatin yönetimi çok kritiktir. Mevcut hastanelerin yerlerini ve kapasitelerini de dikkate alarak yaralılara hızlı bir şekilde müdahale edilmesini sağlayacak sahra hastaneleri açmak gerekir. Sahra hastanesi boş arazi, park ya da futbol sahralarına kurulabilir. Sahra hastanesindeki sağlık görevlilerinin öncelikli amacı triyaj sonucu kırmızı hasta olarak adlandırılan acil müdahale edilmesi gereken hastaların sağlık durumunu stabilize etmektir. Deprem sonrası İstanbul'un birçok sokağında oluşan yaralılar, kapasite varsa en yakındaki hastaneye gönderilmelidir.

4.2 Matematiksel Model

Ele alınan problem için en büyük kapsama modeli ile tesis yeri seçimi – atama modelinin matematiksel modeli oluşturulmuştur.

Yerleşim-Atama Modeli

Küme ve İndeksler

H, h : Hastane lokasyonlarının indeks ve kümesi

I, i : Kalıcı hastane lokasyonlarının indeks ve kümesi, $I \subset H$

J, j : Geçici sahra hastanelerinin indeks ve kümesi, $J \subset H$

P, p : Yaralı lokasyonlarının indeks ve kümesi

Parametreler

s : Bir sahra hastanesinin kurulum maliyeti

t : Kurulabilecek sahra hastanelerin toplam sayısı

c_j : j lokasyonundaki sahra hastanesinin kapasitesi

m_i : i lokasyonundaki mevcut hastanesinin kapasitesi

d_{ph} : hastane (h) ile yaralı (p) lokasyonları arasındaki yarıçap

r : Hastanelerin kapsadığı alanların yarıçapı

k_{ph} : 1, eğer $d_{ph} \leq r$; 0, diğer.

n_p : p lokasyonundaki yaralı sayısı

Karar Değişkenleri

a_{ph} : p lokasyonundan h lokasyonuna atanan yaralı sayısı

x_j : $\begin{cases} 1, j \text{ lokasyonunda sahra hastanesi açılırsa} \\ 0, \text{diğer durum.} \end{cases}$

$$\text{Minimum } \sum_{j \in J} s \cdot x_j + \sum_{p \in P} \sum_{h \in H} d_{ph} \cdot a_{ph} \quad (3.1)$$

$$\sum_{p \in P} a_{pi} \leq m_i \quad \forall i \in I \quad (3.2)$$

$$\sum_{p \in P} a_{pj} \leq x_j \cdot c_j \quad \forall j \in J \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq t \quad (3.4)$$

$$\sum_{h \in H} a_{ph} * k_{ph} = n_p \quad \forall p \in P \quad (3.5)$$

$$a_{ph} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (3.6)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (3.7)$$

Modelin amaç fonksiyonu veren denklem 3.1, açılan sahra hastanelerinin kurulum maliyetini, yaralıların atandığı hastaneye toplam uzaklığını ve ortalama (toplam gidilen mesafe) maliyetini en küçüklemektedir. Denklem 3.2 ve denklem 3.3 hastanelerin kapasiteleri ile ilgilidir. Denklem 3.2’de bölgedeki mevcut hastanelere atanan yaralı sayısının kapasiteyi aşmaması, denklem 3.3’te açılan sahra hastanelerine hastanelere atanan yaralı sayısının kapasiteyi aşmaması sağlanır. Denklem 3.4’te potansiyel sahra hastanesi yerlerinden açılan sahra hastanelerinin modelin başında belirlenen toplam açılacak hastane sayısını geçmemesini garanti eder. Denklem 3.5, tüm yaralılara hizmet verilmesi kısıtıdır. Denklem 3.6 ve denklem 3.7 işaret kısıtlarıdır.

4.3 Verilerin Tanımı

Çalışmada İstanbul ilinin kritik durumdaki iki ilçesine (Küçükçekmece ve Bahçelievler) uygulama yapılmıştır.

4.3.1 Hastane verileri

Hastaneler mevcut hastaneler ve sahra hastaneleri olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Felaket durumunda güvenlik sebebiyle mevcut hastanelerin çok katlı yapısından faydalanılamamaktadır. Hastanelerin sadece acil servis birimleri kullanılabilir. Mevcut hastanelerin acil servis birimlerinin kapasitesi hastanenin yatak sayısı ile ilişkilidir.

Felaket durumunda ilk 48 saat yaralı sayısının çok fazla olmasından dolayı mevcut hastaneler yetersiz kalacaktır. Tüm yaralılara aynı anda hizmet verebilmek için sahra hastaneleri açılması gerekir. Sahra hastaneleri, afet ve savaş gibi hasta ve yaralıların çok fazla olduğu ve acil müdahale edilmesi gereken durumlarda, taşınabilir - hızla kurulup toplanabilir sağlık ekipmanları ve barınak kullanarak acil sağlık hizmetlerini verebilen yaşam kurtarıcı birimlerdir. Dünya Sağlık Örgütü’ne (WHO) göre; “Birinci düzey mobil hastane veya saha hastanesi, bir ameliyathane, yoğun bakım, anestezi,

röntgen, laboratuvar, anne-çocuk sağlığı, eczane, sterilizasyon, ayakta tedavi kliniklerini içerir. Sınırlı tıbbi/cerrahi bakım sunarken güvenli tıbbi ve cerrahi müdahaleler sağlar.”

Bir bölgedeki okul bahçeleri, camii avluları, oyun parkları, halı saha gibi açık alanlara sahra hastanesi kurulabilir. Çalışmada potansiyel sahra hastaneleri için ilçelerdeki okul bahçeleri, parklar ve halı sahaları kullanılacaktır.

UMKE’nin farklı illerde kurduğu Sahra hastaneleri incelendiğinde 8 çadırı ve her çadırın 65 m² olduğu, 400 kişi kapasiteli olduğu gözlemlenmiştir. Bir Sahra Hastanesi kurmanın maliyeti 40 m² çadırlar için izolasyon ve motor da dahil olmak üzere 50.000 TL’dir. 40 m²’lik çadırlardan genel olarak yan yana 13 tane kurularak 520 m²’lik bir hastane alanı elde edilmektedir. Çalışmada sahra hastanelerinde ağır yaralıların tedavi edileceği düşünüldüğü için 520 m²’lik bir sahra hastanesinin kapasitesi 208 kişi olarak belirlenmiştir.

4.3.2 Yaralı verileri

JICA (Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı)’nın İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi) ile ortak çalıştığı rapordan alınan verilerde ilçelerin nüfusundaki olası yaralı sayıları çeşitli değerlendirmelerle belirlenmiştir.

İlçelerin mahallelerine ait güncel nüfus bilgileri alınmış ve JICA Raporu’nda belirtilen ilçelere göre ağır yaralı yüzdesi ile ağır yaralı sayısı hesaplanmıştır. Yaralı lokasyonlarında mahalleler ele alınmıştır. Bir mahallenin tamamının bir hastaneye atanması kapasite bakımından mümkün olmadığı için mahallelerde merkezi noktalar seçilerek nüfus belirli kurallara göre bölünmüş ve yaralı lokasyonları oluşturulmuştur.

5. GENETİK ALGORİTMA

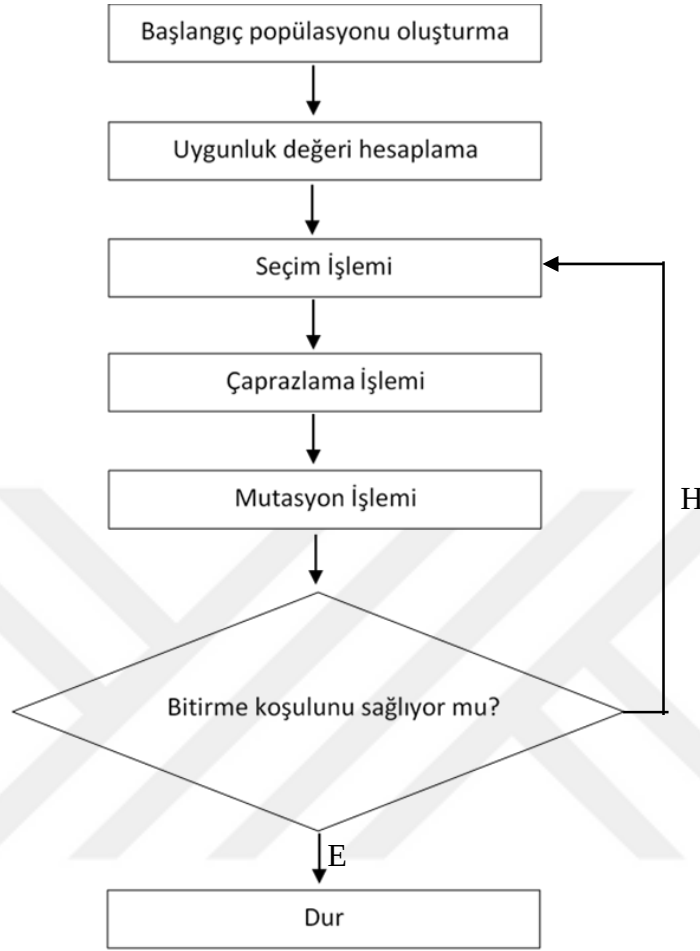
Tesis yeri seçim ve atama problemleri çeşitli özelliklerinden dolayı analitik yöntemler kullanılarak çözülmesi zor problemler olarak kabul edilmektedir. Bu problem türünün çözümü için harcanan süre, problemin boyutu ile ilişkili olarak üssel bir şekilde artar. NP-Zor (deterministik olmayan polinom-zor) sınıfındaki bu problemler, problem boyutunun polinom fonksiyonu ile sınırlı olan hesaplama süresi içinde çözülememektedir. Bu nedenle NP-Zor sınıfındaki problemlerin çözümünde tam çözüm yöntemleri yerine, optimumu garanti etmeyen fakat kabul edilebilir makul bir çözüme ulaşabilen, çözüm süresi olarak da polinom sınırlar içinde kalan bir zaman alan sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Ele alınan problem NP-zor bir problem olduğunda, karmaşık problemlerin çözümü için literatürde meta sezgisel yöntemlere başvurulduğu görülmüştür.

Meta sezgisel algoritmalar, arama uzayında araştırma için biyolojik sistemlerden, doğa bilimleri ve pozitif bilimlerden gelen farklı kavramları zeki bir şekilde birleştirerek alt seviye sezgisellere rehberlik eden iteratif üretim sürecidir. Avantajları; karmaşık hesaplamalar konusunda başarılı, kısa sürede optimum seviye ya da optimuma yakın çözümler bulma, dinamik ve çok dönemli olmasıdır. Dezavantajları ise; problem için spesifik bilgi/tekniklere gereksinim duyar, optimallik garanti edilmeyebilir, aynı probleme farklı aramalar, farklı çözümler oluşturabilir (stokastik), çok sayıda arama parametresi içerebilir.

5.1 Geliştirilen Genetik Algoritma Aşamaları

GA, bir optimizasyon probleminde evrimin süreçlerini taklit eder. Evrimin basit evrim mekanizmaları yoluyla karmaşık ve iyi adapte edilmiş türlerin geliştirilmesinde başarılı olması genetik algoritmanın temelinde yatan sebeptir. Genetik algoritmalar, büyük ölçekli kombinatoriyal optimizasyon problemlerinde sezgiseller geliştirmek için güçlü ve sağlam bir yaklaşımı temsil eder (Ahuja ve diğ, 2000).

Genetik algoritmanın kalitesi, büyük ölçekli problemlerde daha yüksektir (Barzoinpour ve diğ, 2014). GA aşamaları Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 : Genetik algoritma aşamaları.

Aşama 1: Kodlama

Çalışmada Gerçek Sayılı Kodlama kullanılmıştır.

Aşama 2: Başlangıç Popülasyonu Oluşturma

Bir Genetik Algoritmanın performansı çoğunlukla ilk popülasyonun kalitesine duyarlıdır. İlk popülasyonun iyi olması, popülasyondaki bireylerin ortalama uygunluk değerine ve çeşitliliğine bağlıdır. Ayrıca popülasyondaki yüksek çeşitlilik, yerel optimal bir çözüme erken yakınsamayı engeller. GA, popülasyon yakınlığa kadar aşamaları tekrarlar. (Ahuja ve diğ, 2000). Çalışmanın uygulama kısmında başlangıç popülasyonu 100 birey olarak alınmıştır.

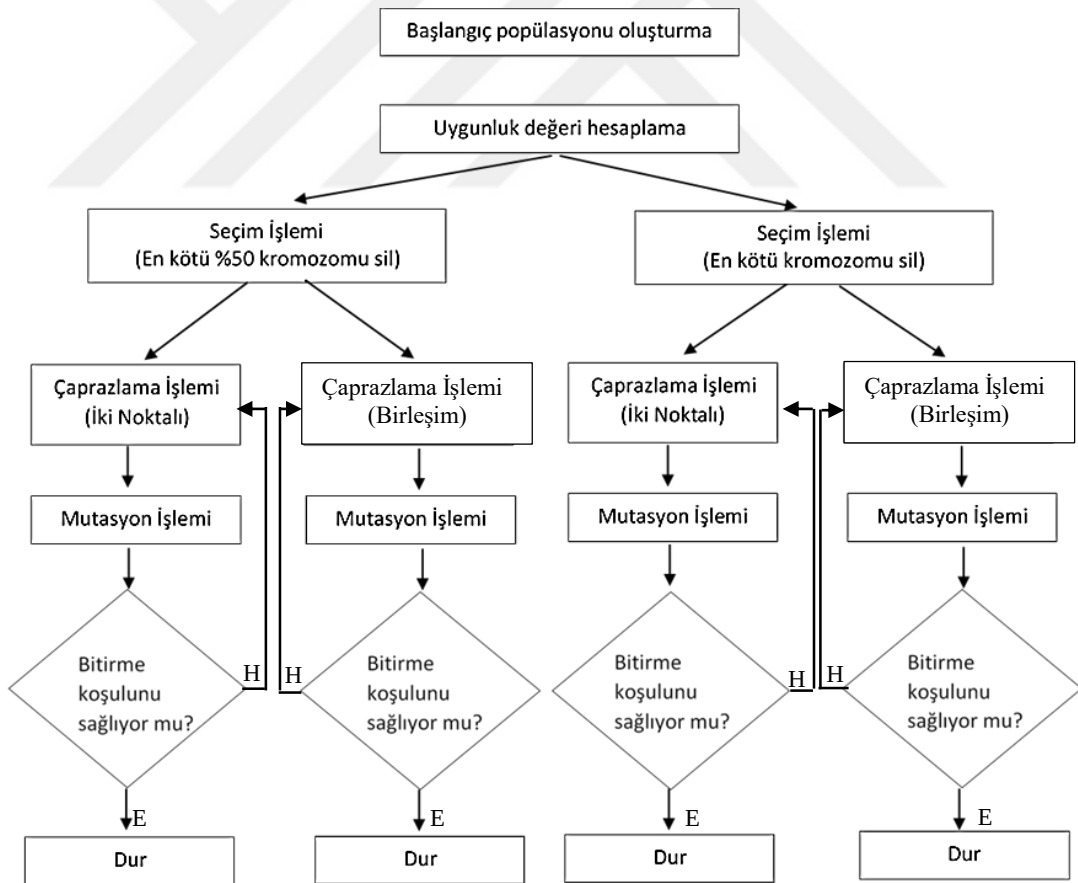
Aşama 3: Seçim Operatörü

Genetik algorithmada seçilen ebeveynler ile yeni nesil oluşturularak birey çeşitliliğinin

artması sağlanır ve böylece çözüm uzayında farklı bölgeler de taranmış olur. Literatürde Rulet Çemberi, Sıralamala Seçim Operatörü, Turnuva Seçimi, Elitizm gibi çok sayıda seçim yöntemi mevcuttur (Derbel ve diğ, 2012).

Rulet Çemberi Seçim Operatörü sıklıkla kullanılan yöntemdir. Popülasyondaki tüm bireylere şans verilir ama en iyi uygunluk değerine sahip bireye daha fazla şans verilirken uygunluk değeri en kötü olan bireye daha az şans verilir. En iyi uygunluk değerine sahip bireye daha fazla şans verilmesi, bir sonraki nesilde iyi bireyin seçilme ihtimalini artırır. Verilen şans aralıkları uygunluk değerleri ile orantılıdır.

En büyükleme problemi için en yüksek uygunluk değerine sahip bireye en yüksek şans (aralık) verilmesi gerekirken en küçükleme problemlerinde ise en düşük uygunluk değerine sahip bireye en yüksek şans (aralık) verilmesi gerekir. Böylelikle problemin amacı en küçükleme olduğunda en düşük uygunluk değerine sahip bireyin seçilme ihtimali artmış olur. Çalışmada Rulet Çemberi Seçim Operatörü kullanılmıştır.



Şekil 5.2 : Geliştirilen farklı çaprazlama ve yer değiştirme tiplerine göre genetik algoritma aşamaları.

Aşama 4: Çaprazlama

Çaprazlama sonunda yeni oluşan bireyler ebeveynlerinin genetik özelliklerini taşır.

Çalışmada iki noktalı çaprazlama ve birleşim çaprazlama olmak üzere iki çaprazlama tipi kullanılmıştır (Şekil 5.2).

İki noktalı çaprazlamada seçilen ebeveynler iki farklı noktadan kesilir ve çocuklara farklı bölgeler aktarılır. Oluşan çocuklar için kapasite kontrolü yapılır ve kapasite aşımı için ceza katsayısı eklenir.

Birleşim çaprazlamada ise ebeveyn 1 ve ebeveyn 2’de aynı sıradaki genler aynı ise çocuklara direkt aktarılır. Aynı sırada farklı genler bulunması durumunda kapasite kontrolü yapılarak atama yapılır, kapasitenin yetersiz olması durumunda yeni nesile rastgele bir gen aktarılır.

Ebeveyn 1	4	3	1	3	5	1	3	2
Ebeveyn 2	1	3	4	1	2	5	1	5

Şekil 5.3 : Ebeveyn kromozom yapısı örneği.

Çocuk 1	1	3	4	1	5	3	1	2
Çocuk 2	4	3	1	3	2	1	3	5

Şekil 5.4 : Çocuk kromozom yapısı örneği.

İlk genden itibaren kapasitesi olması durumunda ebeveynlerden çocuklara rastgele gen atanır (Şekil 5.3). 6. gende Ebeveyn 1’de 1, Ebeveyn 2’de 5. Hastane vardır. Şekil 3.4’te gösterildiği gibi Çocuk 1 ve Çocuk 2’deki 5. hastanenin kapasitesinin yeterli olmamasından dolayı 1. hastane rastgele Çocuk 2’ye atanmıştır (Şekil 5.4). Çocuk 1’e ise rastgele seçilen 3. hastane atanmıştır. Oluşturulan iki çocuktan uygunluk değeri daha iyi olan (en küçükleme problemi olduğu için daha düşük olanı) çocuk yeni nesilin popülasyonuna eklenir.

Aşama 5: Mutasyon

Mutasyon oranı %1’dir. Rastgele seçilen bir gene rastgele bir hastane atanmaktadır. Sonrasında yapılan kapasite kontrolü ile kapasite aşımı söz konusu ise mutasyon geçersiz sayılıp tekrar rastgele seçilen bir kromozoma rastgele bir hastane atanır. Kapasite aşımı olmadığı takdirde sonraki adıma geçilir.

Çaprazlama sonucu Şekil 3.4’te elde edilen Çocuk 1 ve Çocuk 2 bireylerinden Çocuk 1’in uygunluk değeri daha iyi olduğu için yeni nesil için seçildi. Çocuk 1’in mutasyona

uğrayacağı düşünülürse;

Rastgele seçilen gen: 2, rastgele seçilen hastane 4 olduğunda yeni Çocuk 1 Şekil 5.5'teki gibi olur.

Çocuk 1	1	3	4	1	5	3	1	2
Çocuk 1 - Mutasyon	1	4	4	1	5	3	1	2

Şekil 5.5 : Kromozomda mutasyon örneği.

Aşama 6: Bitirme Koşulu

Bitirme koşulu belirli bir iterasyon sayısı, belirlenen bir zaman dilimi ya da belirli bir eşik değeri olabilir. Belirli bir iterasyondan sonra uygunluk değeri değişmiyorsa da durdurulabilir. Algoritma çalışmayı bitirdiğinde mevcut popülasyondaki en iyi uygunluk değerine sahip kromozom en iyi çözüm olur. Çalışmada iterasyon sayısı 100 olarak belirlenmiştir ve 1 saatin sonunda kaçınıcı iterasyonda olduğuna bakılmaksızın algoritma durdurulur ve sonlandırılır. Algoritma 1 saatten daha kısa sürede 100. iterasyona gelirse de algoritma sonlanır.

5.2 Deneysel Çalışma

Çalışmanın deneysel çalışma kısmında optimal sonucu bilinen bir veri seti, genetik algoritmaların performanslarını kıyaslamak için kullanılmıştır (Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2). Çalışmada Intel(R) Core™ i7 işlemci, 8 GB RAM bilgisayar kullanılmıştır. 4 farklı algoritma, 10'ar kere çalıştırılarak elde edilen sonuçlar kaydedildi ve sonuçların optimal sonuca yakınlığı kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3'deki gibidir.

Çizelge 5.1 : Deneysel veri setinin uygulandığı genetik algoritma parametreleri.

Genetik Algoritma Parametreleri	
Popülasyon Sayısı	100
Çaprazlama Yöntemi	İki noktalı Çaprazlama, Birleşim Çaprazlama
Mutasyon Oranı	%1
İterasyon Sayısı	100
Değişim Oranı	En Kötü Birey, En Kötü %50 Birey
Durdurma Kriteri	1 saat

Çizelge 5.3'de mevcut hastane sayısı 5, potansiyel sahra hastane sayısı 17, yaralı lokasyon sayısı 11 olan veri seti, popülasyon büyüklüğü 100, iterasyon sayısı 100 ve

durdurma kriteri 1 saat olan genetik algoritmalarla uygulanması sonucu elde edilen amaç fonksiyonu değerleri gösterilmektedir.

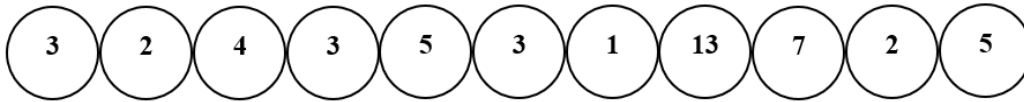
Çizelge 5.2 : Deneysel veri seti özellikleri.

Deneysel Çalışma Verileri	
Mevcut Hastane Sayısı	5
Potansiyel Sahra Hastanesi Sayısı	17
Yaralı Lokasyon Sayısı	11
Sahra Hastanesi Kurulum Maliyeti	3.000 TL
Hastane Kapasiteleri	Mevcut Hastaneler: 350 – 650 kişi arasında her hastane için farklı Sahra Hastaneleri: 300 kişi

Çizelge 5.3 : Geliştirilen 4 farklı genetik algoritmanın deneysel veri amaç fonksiyonu değeri.

Koşum	Çaprazlama: İki Noktalı – Değişim:1	Çaprazlama: İki Noktalı – Değişim:%50	Çaprazlama: Birleşim – Değişim:1	Çaprazlama: Birleşim – Değişim:%50
1	8042	8956	7888	7888
2	8744	8282	7888	7888
3	8304	8274	7888	7888
4	8580	8318	7888	7888
5	9324	7892	7888	7888
6	8138	8762	7888	7888
7	8126	8226	7888	7888
8	8562	8084	7888	7888
9	8242	8474	7888	7888
10	8050	8270	7888	7888

Deneysel çalışma sonucu elde edilen amaç fonksiyonu değerlerine bakıldığında (Çizelge 5.3) iki noktalı çaprazlama içeren 2 algoritma da (yeni nesile değişim şekli en kötü kromozomu değiştirmek ve yeni nesile değişim şekli en kötü %50 kromozomu değiştirmek) optimal sonucu (7888) bulamamıştır. Birleşim çaprazlama ile yazılan algoritmaların ikisi de her seferinde optimal sonuca ulaşmıştır.



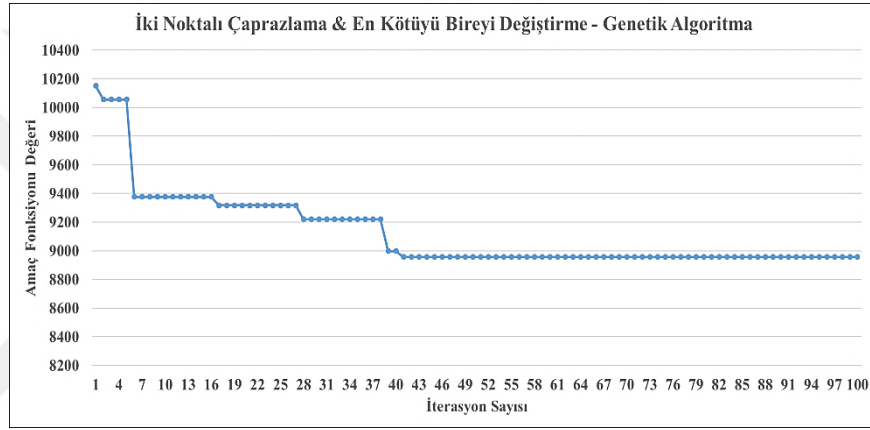
Şekil 5.6 : Deneysel çalışmada elde edilen bir kromozom.

Deneysel Çalışmada kullanılan veri seti ile elde edilen optimal sonuca ait kromozom Şekil 5.10'da gösterilmektedir.

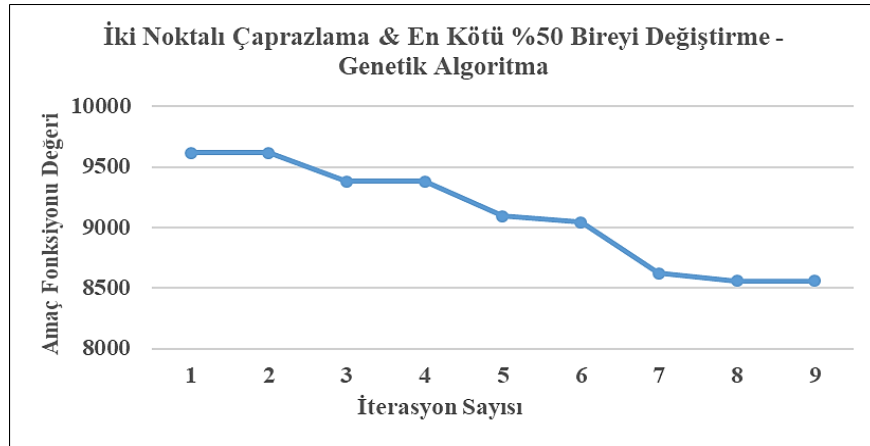
Kromozomdaki alleller yaralı lokasyonlarını temsil etmektedir. Deneysel çalışmadaki veri setinde 11 yaralı lokasyonu olması sebebiyle bir kromozomda 11 allel

bulunmaktadır. Her allelin üzerinde yazan rakamlar ise ilgili yaralı lokasyonunun atandığı hastaneyi göstermektedir. Optimal sonuca ait kromozoma bakıldığında 8 ve 9. yaralı lokasyonlarındaki yaralılara hizmet verilmesi için potansiyel sahra hastanelerinden 7. ve 13. sahra hastanesi açılmış ve 8. yaralı lokasyonu 13. potansiyel sahra hastanesine, 9. yaralı lokasyonu 7. potansiyel sahra hastanesine atanmıştır. Tüm yaralılara hizmet verebilmek için mevcut hastaneler yeterli olmamış ve veri setindeki 17 potansiyel sahra hastanesinden 2 tanesi açılmıştır.

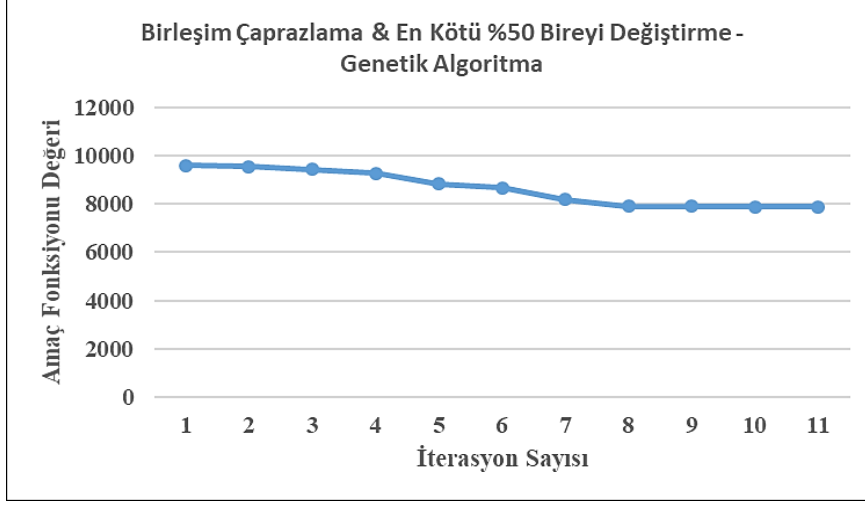
Geliştirilen 4 genetik algoritmanın deneysel veri setinde algoritmada 1 saatin sonunda bir denemenin amaç fonksiyonu değerlerindeki değişimler her algoritma için Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



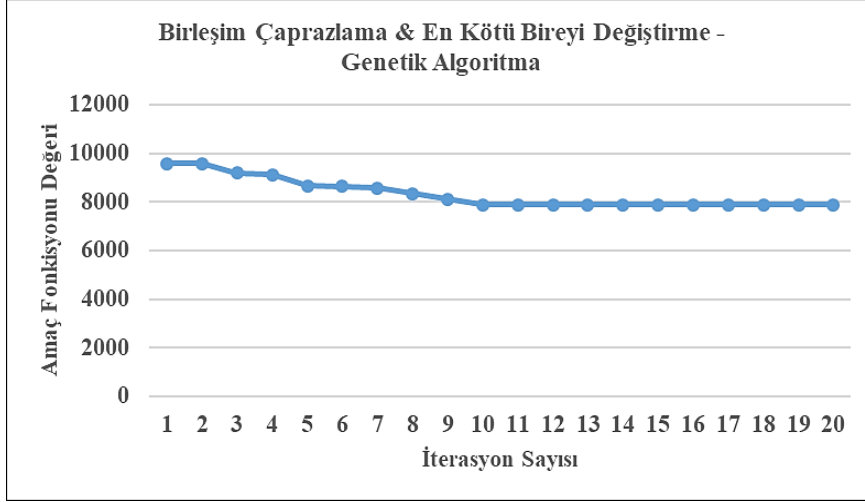
Şekil 5.7 : Deneysel veri setinde iki noktalı çaprazlama ve en kötü bireyi değiştiren GA, 1 saatin sonunda bir denemenin amaç fonksiyonu değerlerindeki değişim.



Şekil 5.8 : Deneysel veri setinde iki noktalı çaprazlama ve en kötü %50 bireyi değiştiren GA, 1 saatin sonunda bir denemenin amaç fonksiyonu değerlerindeki değişim.



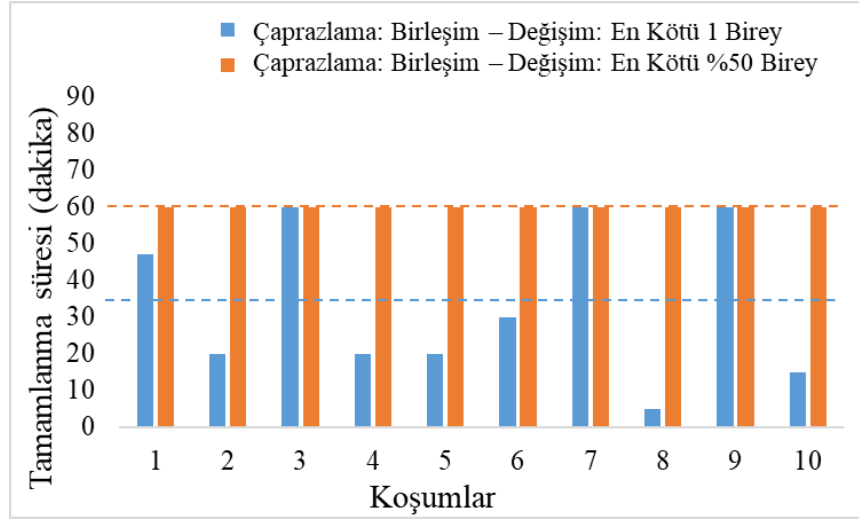
Şekil 5.9 : Deneysel veri setinde birleşim çaprazlama ve en kötü %50 bireyi değiştiren GA, 1 saatin sonunda bir denemenin amaç fonksiyonu değerlerindeki değişim.



Şekil 5.10 : Deneysel veri setinde birleşim çaprazlama ve en kötü bireyi değiştiren yaklaşımların uygulandığı genetik algoritmada 1 saatin sonunda bir denemenin amaç fonksiyonu değerlerindeki değişim.

Geliştirilen genetik algoritmaların performanslarını kıyaslamak için deneysel veri setinde yapılan uygulamanın sonuçları dikkate alındığında tesis yeri seçimi ve atama problemi için birleşim çaprazlama iki noktalı çaprazlamaya göre daha başarılı olmuştur. Birleşim çaprazlama ile oluşturulan iki GA kendi aralarında kıyaslandığında ise en kötü 1 bireyin yer değiştirmesi ile oluşturulan genetik algoritmanın tamamlanma süresinin ortalaması 34 dakika iken en kötü %50 bireyin yer değiştirmesi ile oluşturulan genetik algoritmanın ortalama tamamlanma süresinin ortalaması durdurma kriteri olan 60 dakikadır (Şekil 5.11). Bu durumda, popülasyondaki en kötü bireyin elendiği GA, popülasyondaki en kötü %50 bireyin elendiği genetik algoritmaya göre

daha hızlı sonuç vermektedir.



Şekil 5.11 : Birleşim çaprazlama ile oluşturulan algoritmaların koşumlardaki tamamlanma süreleri.



6. UYGULAMA

6.1 Gerçek İstanbul Verisi

JICA Raporu'na göre İstanbul'da Bahçelievler, Küçükçekmece ve Fatih ilçeleri afet sonrası ölü ve ağır yaralı sayısı en fazla olacak ilçelerdir (Çizelge 6.1). Bu nedenle uygulama için İstanbul ilinde Bahçelievler ve Küçükçekmece ilçeleri seçilmiştir.

Çizelge 6.1 : İlçelere göre ağır yaralı sayısı.

İlçe	Ağır Yaralı Sayısı	Nüfustan aldığı pay (%)
Eminönü	4800	9
Fatih	8200	2
Beyoğlu	5500	2
Zeytinburnu	7500	3
Bakırköy	6300	3
Güngören	5800	2
Bahçelievler	8200	2
Avcılar	6800	3
Beşiktaş	2500	1
Kağıthane	3300	1
Şişli	3000	1
Sarıyer	800	0
Eyüp	3700	2
Gaziosmanpaşa	4400	1
Bayrampaşa	6300	3
Esenler	5400	1
Bağcılar	7300	1
Küçükçekmece	8000	1
Adalar	3300	19
Kadıköy	6100	1
Maltepe	4400	1
Kartal	4900	1
Pendik	5100	1
Tuzla	3200	3
Üsküdar	3500	1
Beykoz	800	0
Ümraniye	2600	1
Büyükçekmece	2000	NA
Çatalca	100	1
Silivri	1300	3
Toplam	135100	2

Gerçek hayat problemlerinde aynı anda birden fazla amaç bulunmaktadır. Çalışmadaki uygulamada ise 2 amaç bulunmaktadır. Model, iki amaçlı optimizasyon modelidir. Amaçlardan biri açılacak sahra hastanelerinin kurulum maliyetini en küçüklemeektir. Diğer amaç ise yaralıları hastaneye taşıyan ambulansların toplam seyahat mesafesini en küçüklemeektir. Kurulum maliyetinin birimi para birimidir (Türk Lirası). İki amacın birimlerinin aynı olması için toplam seyahat mesafesi (km) para birimine çevrilmiştir. İl Sağlık Müdürlüğü'nün aldığı Komisyon Kararı'nda Acil Durum Ambulans Genel Giderleri dikkate alınarak açılış maliyeti ve kilometre başına maliyet olmak üzere iki maliyetin toplamı atama maliyetini vermektedir.

Yaralı Lokasyonları: JICA Raporu'na göre muhtemel senaryo olan Model A'da Bahçelievler ilçesinde nüfusun %1.3'ü ve Küçükçekmece ilçesinde nüfusun %1.6'sı, en kötü senaryo olan Model C'de ise sırasıyla %1.4, %1.7 afet sonrasında ağır yaralı olacaktır. Mahalle nüfusunun ilgili ilçe için oranı ile çarpılarak her mahalledeki ağır yaralı sayısı bulunmuştur. Ağır yaralı sayısına göre mahalleler farklı bölgelere ayrılmıştır (Çizelge 6.2). Böylelikle 144 yaralı lokasyonu elde edilmiştir. Açılan yaralı lokasyonlarının ilçe bazlı dağılımı Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'deki gibidir.

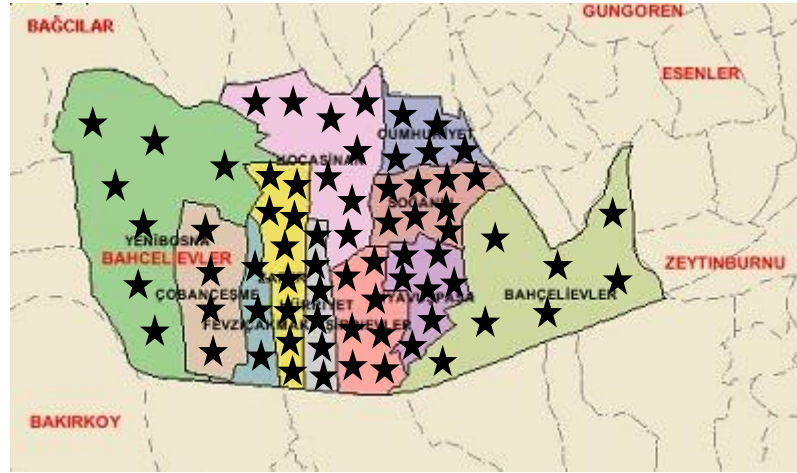
Çizelge 6.2 : Ağır yaralı yoğunluğuna göre lokasyon sayıları.

Mahalledeki Ağır Yaralı Sayısı	Yaralı Lokasyonu Sayısı
0-160	1
160-320	2
320-480	3
480-640	4
640-800	5
800-960	6
960-1120	7
1120-1280	8
1280-1440	9
1440-1600	10
1600-1760	11

Mevcut Hastaneler: Bahçelievler'de 17, Küçükçekmece'de 9 aktif hastane vardır. Ağır yaralı hastalar öncelikle mevcut hastanelere atanır. Deprem sonrası hastanelerin çok katlı yapısı güvenlik sebebiyle kullanılamamaktadır. Ağır yaralıların tedavisi için hastanelerin Acil Servis Birimleri kullanılır.

Mevcut Hastane Kapasiteleri: Yataklı Sağlık Tesislerinde Acil Servis Tesislerinde Acil Servis Hizmetlerinin Uygulama Usul ve Esasları Hakkında Tebliğ'den alınan mevcut hastanelerin acil servis birimi alanlarına göre hesaplanan kapasiteler Çizelge

6.3'teki gibidir.



Şekil 6.1 : Bahçelievler ilçesinin mahallelerindeki yaralı lokasyonları.



Şekil 6.2 : Küçükçekmece ilçesinin mahallelerindeki yaralı lokasyonları.

Çizelge 6.3 : Yatak sayısına göre acil servis birimi kapasitesi.

Hastane Yatak Sayısı	Acil Servis Birimi Alanı	Kapasite
100 yataklı	400 m ²	160 kişi
100-300 yataklı	600 m ²	240 kişi
300+ yataklı	800 m ²	320 kişi

Potansiyel Sahra Hastaneleri: Mobil Sahra Hastanesi kurulumu için halı saha, okul bahçeleri, park alanları seçilmiştir. Halı sahalar 1000 m², okullarının ilgili yönetmeliğine göre bahçe büyüklükleri ilk 500 öğrenciye göre (öğrenci başına 2.5 m² alan düşecek şekilde) 1250 m² olacak şekilde standartlaştırılmıştır. Sağlık Bakanlığı 112 UMKE (Ulusal Medikal Kurtarma Ekibi) bünyesinde çeşitli illerde 520 m² büyüklüğünde Sahra Hastaneleri kurmuştur. Potansiyel Sahra Hastanelerinin

büyüklüğü 520 m² olarak kabul edildi.

Sahra Hastanesi Kurulum Maliyeti: Sahra Hastanesi çadırı, motoru, izolasyon malzemesi satışı yapan bir firmadan alınan bilgiye göre 40 m² bir çadır ve ekipmanları yaklaşık 50.000 TL'dir. Bu durumda 520 m² için 13 adet çadır ve ekipman gerekli ve yaklaşık 650.000 TL'dir.

Sahra Hastanesi Kapasitesi: Sahra Hastaneleri'nde ağır yaralı hastaların tedavi göreceğini göz önüne alarak sedye boyutu da hesaba katıldığında 520 m²'lik sahra hastanesinin 208 kişi kapasiteli olacağı hesaplanmıştır.

Hastane-Yaralı Lokasyonu Uzaklığı: Hastanelerin ve yaralı lokasyonlarının Google Maps üzerinden alınan enlem ve boylam bilgisine göre uzaklıklar kilometre cinsinden hesaplanmıştır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 : Hastane yaralı lokasyonu uzaklık ölçümü örneği.

6.2 Varsayımlar

Problemin verilerini tanımlarken model kurmada yardımcı olması için çeşitli varsayımlar yapılmıştır.

- Yaralı lokasyonlarındaki yaralı sayısı, mahalledeki ağır yaralı sayısına göre eşit bölünmüştür. Bir mahalledeki yaralı lokasyonlarında eşit sayıda yaralı olacağı varsayılmaktadır.
- Ambulans yeterli sayıdadır.
- Deprem sonrası hastanelerin çok katlı yapısı güvenlik sebebiyle kullanılamamaktadır. Ağır yaralıların tedavisi için hastanelerin Acil Servis Birimlerinin kullanılacağı kabul edilmektedir.
- Hasar gören yolların ve trafik yoğunluğunun, ambulansın seyahatini

etkilemediği düşünülmektedir.

- Sahra Hastaneleri'nde ağır yaralı hastaların tedavi göreceğini göz önüne alarak sedye boyutu da hesaba katıldığında 520 m²'lik sahra hastanesinin 208 kişi kapasiteli olacağı hesaplanmıştır.
- Geçici sahra hastanelerinin ekipmanlarının ağır yaralı tedavisinde yeterli olacağı varsayılmaktadır.
- Okul bahçelerinin ilgili yönetmeliğe uygun şekilde yeterli açık alana sahip olduğu kabul edilmektedir.

6.3 Model 1

Verileri tanımlanan Bahçelievler ve Küçükçekmece ilçelerinde mesafe kısıtı olmaksızın ve mesafe kısıtı eklenerek problem çözülmektedir.

Mesafe kısıtı olmayan modelde muhtemel senaryo olan Model A'daki yaralı sayıları baz alınarak gerçek İstanbul verisinde uygulanmıştır (Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5).

Çizelge 6.4 : Gerçek İstanbul verisi parametre bilgileri.

Genetik Algoritma Parametreleri	
Popülasyon Sayısı	100
Çaprazlama Yöntemi	Birleşim Çaprazlama
Mutasyon Oranı	%1
İterasyon Sayısı	100
Değişim Oranı	En Kötü Birey
Durdurma Kriteri	1 saat

Çizelge 6.5 : Gerçek İstanbul verisi bilgileri.

Gerçek Veriler	
Uygulamada Seçilen İstanbul İlçeleri	Bahçelievler ve Küçükçekmece
Mevcut Hastane Sayısı	26
Potansiyel Sahra Hastanesi Sayısı	243
Yaralı Lokasyon Sayısı	144
Sahra Hastanesi Kurulum Maliyeti	650.000 TL
Hastane Kapasiteleri	Mevcut Hastaneler: 160 – 320 kişi arasında yatak sayısına göre değişmektedir. Sahra Hastaneleri: 208 kişi
Potansiyel Sahra Hastanesi Yerleri	Okul Bahçesi, Futbol Sahası, Park Alanları

Deneyssel çalışma sonunda çalışmadaki tesis yeri seçimi ve atama problemi için birleşim çaprazlama ile oluşturulan genetik algoritmaların iki noktalı çaprazlama ile oluşturulan genetik algoritmalarla göre performansının daha iyi olduğu sonucu elde

edilmiştir. Gerçek İstanbul verisine birleşim çaprazlama ile oluşturulan genetik algoritmalar uygulanmıştır. Yapılan çoklu çalıştırmanın ardından deneysel çalışmada daha hızlı sonuç veren algoritma olan birleşim çaprazlama & en kötü bireyi değiştirme özelliğindeki algoritma gerçek veri setine uygulanmıştır (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6 : Birleşim çaprazlama & En kötü bireyi değiştirme seçim stratejisiyle yapılan 5 koşuma ait sonuçlar.

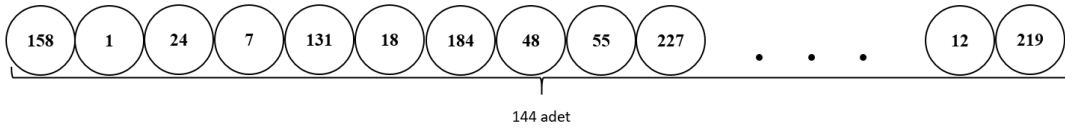
Koşum Sayısı	Birleşim çaprazlama & En kötü bireyi değiştirme - Amaç Fonksiyonu Değeri
1	72.613.352
2	72.561.520
3	72.621.096
4	72.631.711
5	72.686.843

Geliştirilen birleşim çaprazlama ve en kötü bireyi değiştirerek yeni jenerasyon oluşturulan GA ile en iyi amaç fonksiyonu elde edilmiştir. Elde edilen en iyi değeri oluşturan maliyetler ve yüzdeleri Çizelge 6.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.7 : Model 1 amaç fonksiyonu değeri oranları.

Amaç Fonksiyonu	Maliyet (Türk Lirası)	Yüzdelik Oran
Amaç Fonksiyonu Değeri	72.561.520	%100
Kurulum Maliyeti	68.900.000	%94.95
Seyahat Maliyeti	3.661.520	%5.05

Probleme ait kromozom yapısı Şekil 6.4’teki gibidir.

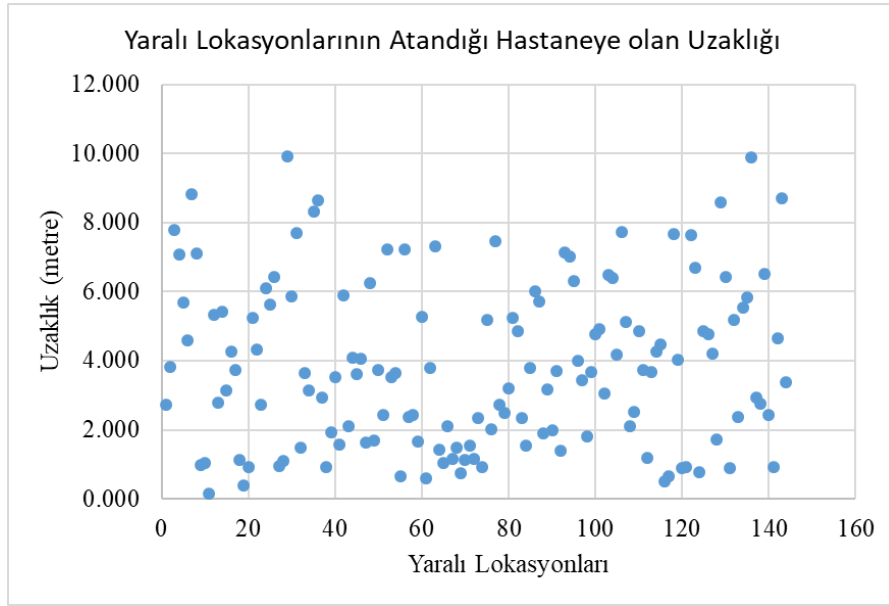


Şekil 6.4 : Kromozom yapısı.

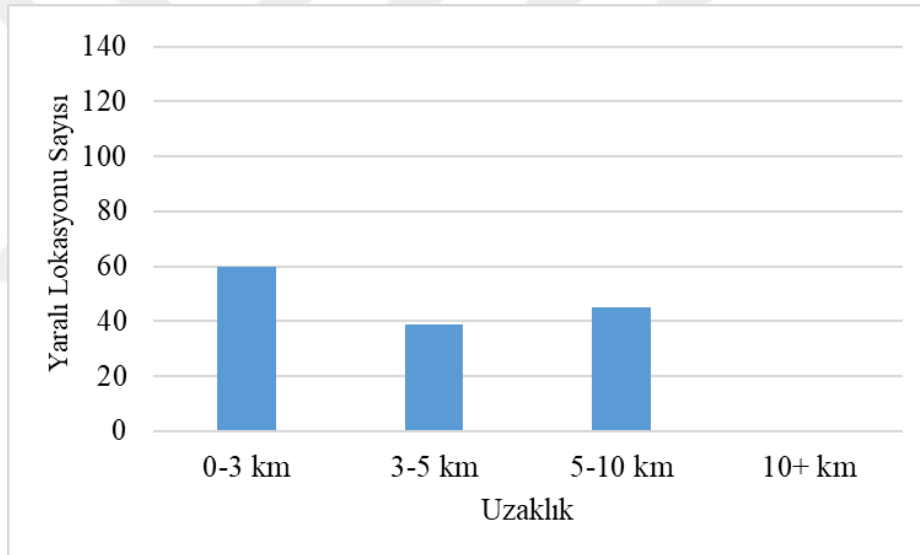
En iyi amaç fonksiyonu değerini veren kromozom incelendiğinde, 144 yaralı lokasyonunun 38’i 26 adet olan mevcut hastanelere atanmış olup yaralı lokasyonu atanmamış mevcut hastane bulunmadığı gözlemlenmiştir. Diğer 106 yaralı lokasyonu ise açılan 106 sahra hastanesine atanmıştır.

Ağır yaralıların, bulunduğu yaralı lokasyonlarından en iyi çözüme göre atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiğinde gösterilmektedir (Şekil 6.5).

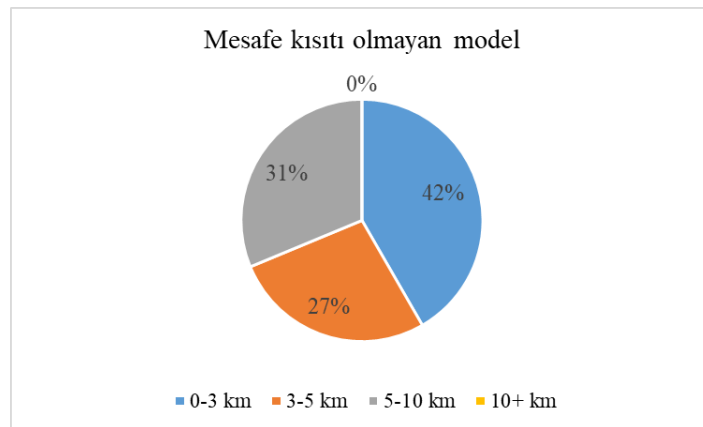
Yaralı lokasyonlarındaki yaralıların en iyi çözüme göre atandığı hastaneye olan uzaklıklarına bakıldığında (Şekil 6.6), yaralı lokasyonlarının %42’si çok yakınlarındaki (0-3 km) hastanelerde hizmet görecektir (Şekil 6.7).



Şekil 6.5 : Ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklık dağılım grafiği.



Şekil 6.6 : Ağır yaralıların atandığı hastaneye uzaklık sınıflandırması.

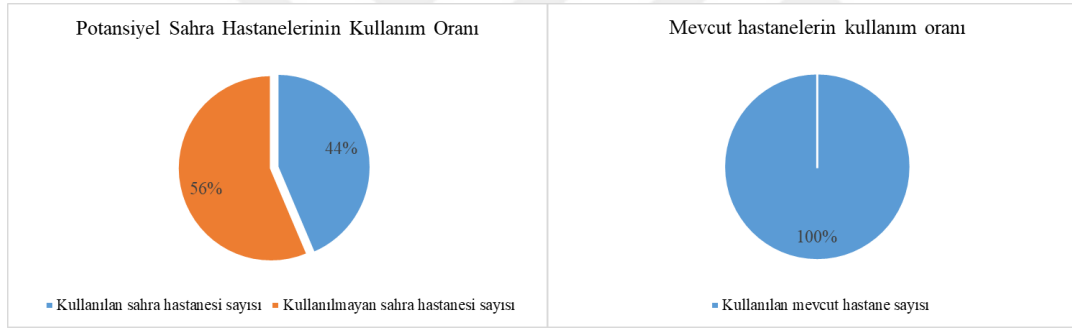


Şekil 6.7 : Ağır yaralıların atandığı hastaneye uzaklık yüzdeleri.

Çizelge 6.8 : Model 1 en iyi kromozomun atandığı yerler.

İlçe	Potansiyel Sahra Hastanesi Alanları	Potansiyel Sahra Hastanesi Alanları Sayısı	Açılan Sahra Hastanesi Alanları Sayısı	Açılan Sahra Hastanelerinin Alanlara Göre Yüzdesi
Bahçeli- evler	Halı Saha	15	4	%1.6
	Okul	89	43	%17.7
	Park	0	0	%0
	Ara Toplam	104	47	%19.3
Küçük- çekmece	Halı Saha	14	4	%1.6
	Okul	118	52	%21.4
	Park	7	3	%1.2
	Ara Toplam	139	59	%24.3
Toplam		243	106	%43.6

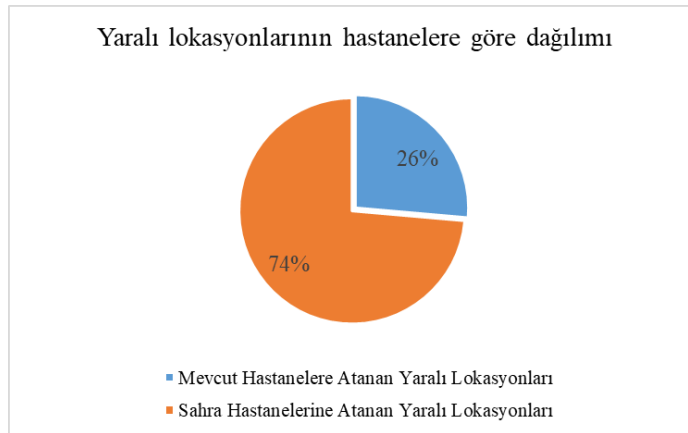
Potansiyel sahra hastanelerinin %43.6'sı açılmıştır. Açılan 106 sahra hastanesinin %1.6'sı halı sahalara, %17.7'si okullara olmak üzere %19.3'ü Bahçelievler'e kurulmuştur. Sahra hastanelerinin %24.3'ü Küçükçekmece'de kurulmuştur ve %1.6'sı halı sahalardan, %21.4'ü okullardan ve %1.2'si park alanlarından oluşmaktadır (Çizelge 6.8).



(a)

(b)

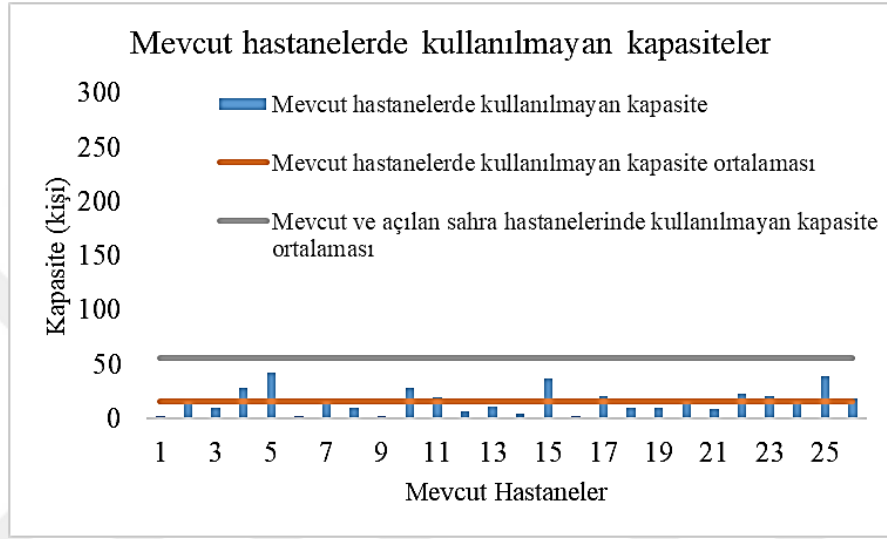
Şekil 6.8 : En iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.



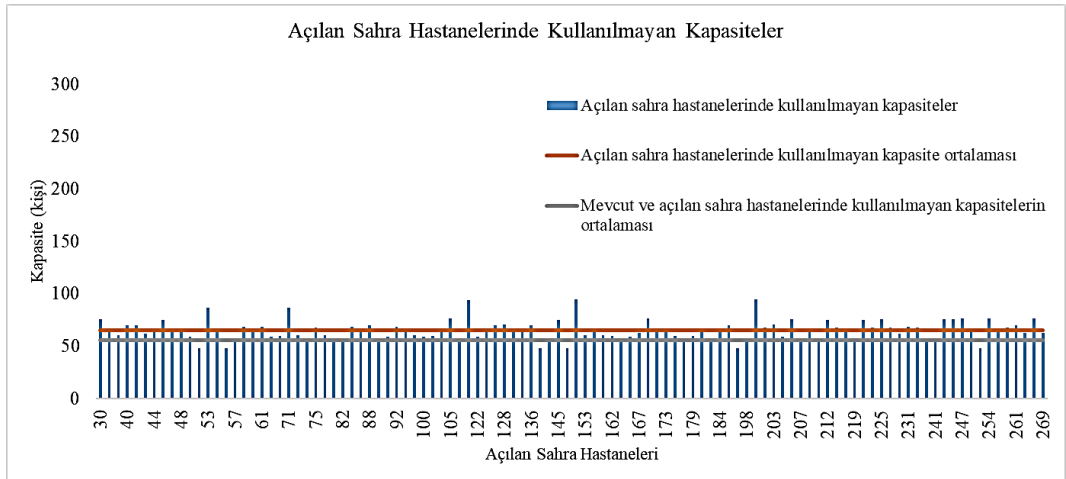
Şekil 6.9 : En iyi kromozomdaki yaralı lokasyonlarının hastanelere göre yüzdesel dağılımı.

Mevcut hastanelerin tamamı kullanıldıktan sonra tüm yaralıları hizmet vermek için potansiyel sahra hastanelerinden %56'sı açılmıştır (Şekil 6.8a ve Şekil 6.8b). Kurulum maliyetinin seyahat maliyetine göre çok daha fazla olmasından dolayı tüm yaralıları hizmet verecek en az sayıda sahra hastanesi açılmıştır.

Yaralı lokasyonlarının %26'sına mevcut hastaneler tarafından hizmet verilmektedir, %74'ü ise açılan sahra hastanelerine yönlendirilmiştir. Mevcut hastaneler yaralı lokasyonlarının sadece %26'sını karşılayabilmektedir (Şekil 6.9).



Şekil 6.10 : Model 1 en iyi kromozoma göre mevcut hastanelerdeki kapasite kullanımı.



Şekil 6.11 : Model 1 en iyi kromozoma göre açılan sahra hastanelerindeki kapasite kullanımı.

En iyi kromozomda yaralıların atandığı hastanelerin kapasitelerine bakıldığında kapasitesi dolan hastaneler olduğu gibi kapasitesinin altında yaralıya hizmet verecek olan hastaneler de bulunmaktadır. Uzaklık, yaralı lokasyonundaki toplam yaralı sayısı

gibi birçok parametrenin etkisinden dolayı mevcut hastanelerde kullanılmayan kapasite ortalama 16 kişi/hastanedir. Hesaplanan yaralı sayısının üzerinde yaralı kişi olma durumu göz önüne alınırsa hastanelerin kapasitesinin tamamının kullanılmaması öngörülemez durumlar için ek kapasite sağlamış olur (Şekil 6.10).

Açılan sahra hastanelerinde ise kullanılmayan kapasite ortalama 65 kişi/hastanedir. Genel olarak bakıldığında tüm hastanelerde kullanılmayan kapasite 55 kişi/hastanedir. JICA Raporu'na göre nüfus üzerinden yapılan hesaplamalardan elde edilen yaralı sayısından daha fazla yaralı olması durumunda hastanelerde bulunan boş kapasite kullanılabilir (Şekil 6.11).

6.4 Model 2

Mesafe kısıtı olmayan modelin sonuçları incelendiğinde yaralı lokasyonlarının %69'u 5 km'lik yarıçapta bulunan hastanelerde hizmet alırken %31'i ise daha uzak hastanelere atanmıştır. Hizmet verilecek yaralıların ağır yaralı olduğu düşünüldüğünde mümkün olan en kısa sürede hastaneye ulaşması daha uygun olacaktır. Modele mesafe kısıtı ekleyerek tüm ağır yaralı hastaların 5 km'lik yarıçap içinde bulunan bir hastaneye atanması sağlanmıştır. Çoklu koşul sonuçları Çizelge 6.9'dadır. Elde edilen en iyi değeri oluşturan kurulum maliyetleri, seyahat maliyetleri ve yüzdeleri Çizelge 6.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 6.9 : Model 2 çoklu koşul amaç fonksiyonu değerleri.

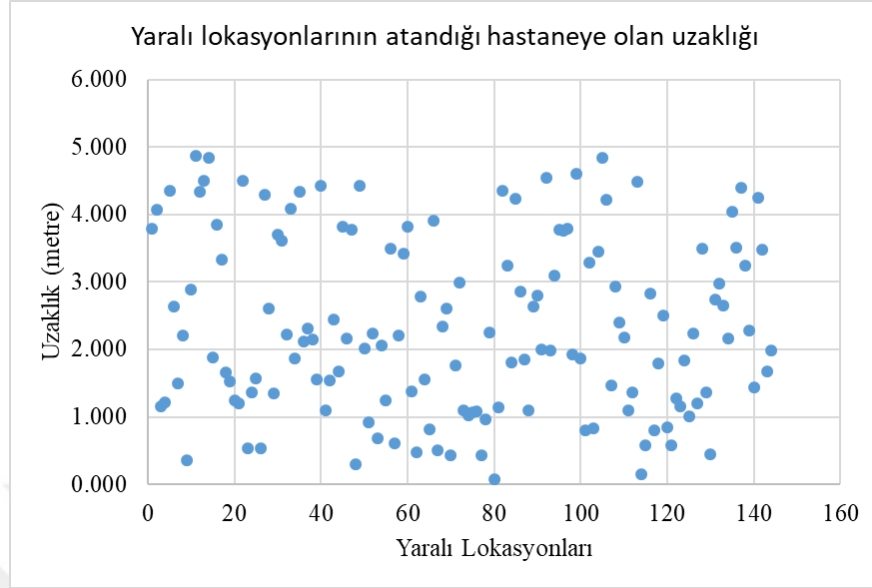
Koşum Sayısı	Model 2
1	73.535.722
2	72.928.204
3	72.876.284
4	72.892.608
5	73.511.918

Çizelge 6.10 : Model 2 en iyi amaç fonksiyonu değeri oranları.

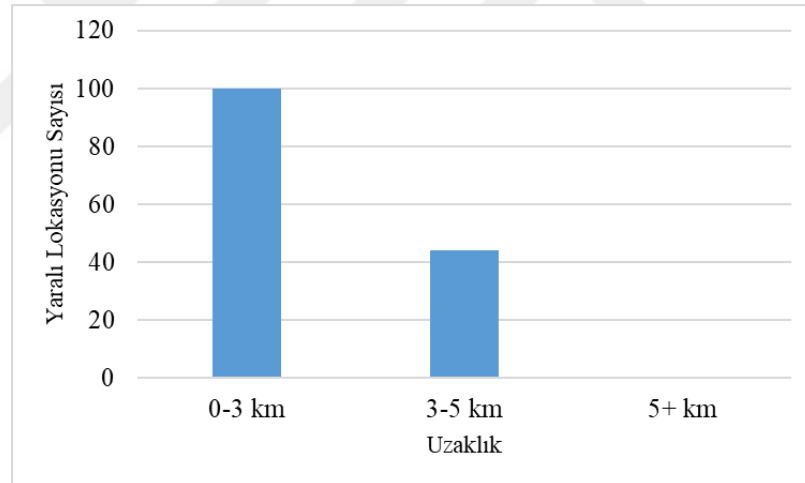
Amaç Fonksiyonu	Maliyet (Türk Lirası)	Yüzdelik Oran
Amaç Fonksiyonu Değeri	72.876.284	%100
Kurulum Maliyeti	69.550.000	%95.4
Seyahat Maliyeti	3.326.284	%4.6

En iyi amaç fonksiyonu değerini veren kromozom incelendiğinde, 144 yaralı lokasyonunun 36'sı 26 adet olan mevcut hastanelere atanmış olup yaralı lokasyonu atanmamış mevcut hastane bulunmadığı gözlemlenmiştir. Diğer 108 yaralı lokasyonu ise açılan 107 sahra hastanesine atanmıştır.

Ağır yaralıların bulunduğu yaralı lokasyonlarından en iyi çözüme göre atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiğinde gösterilmektedir (Şekil 6.12).



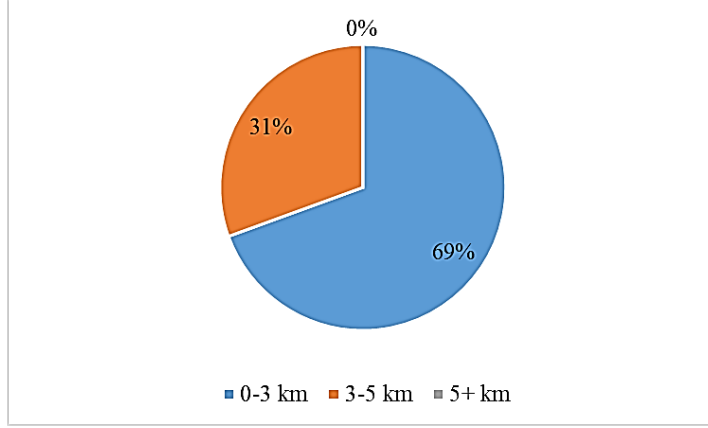
Şekil 6.12 : Ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiği.



Şekil 6.13 : Yaralı lokasyonlarının atandığı hastane uzaklık sınıflandırması.

Ağır yaralıların bulunduğu yaralı lokasyonlarından en iyi çözüme göre atandığı hastaneye olan uzaklıklarına bakıldığında (Şekil 6.13);

Yaralı lokasyonlarının %69'u çok yakınlarındaki (0-3 km) hastanelerde hizmet görecektir, %31'i ise 3-5 km yarıçapındaki hastanelere atanmıştır. Tüm yaralılar 5 km mesafede bulunan hastanelerde hizmet görmektedir. Hastanelerin ağır yaralı hastalara hizmet vereceği düşünüldüğünde yaralıların için seyahat süresinin daha kısa olması dolayısıyla daha yakın mesafeler katedilmesi daha uygun olacaktır (Şekil 6.14).



Şekil 6.14 : Yaralı lokasyonlarının atandığı hastaneye uzaklık oranları.

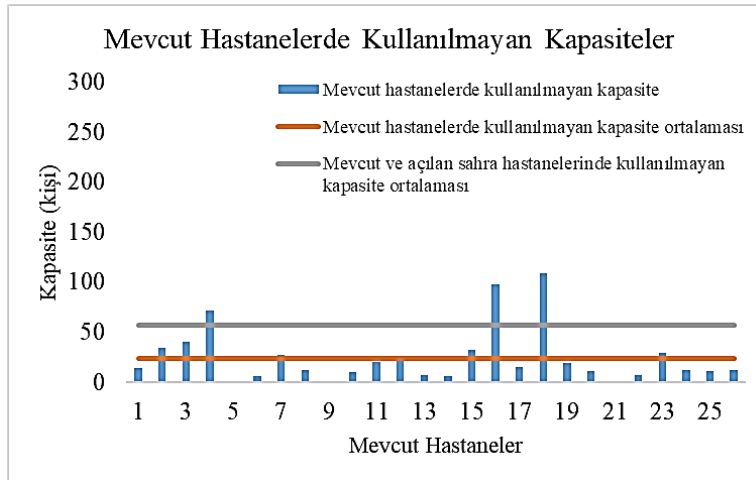
Yaralı lokasyonlarının %25'ine mevcut hastaneler tarafından hizmet verilmektedir ve tüm mevcut hastaneler kullanılmıştır, %75'ine ise açılan sahra hastanelerine yönlendirilmiştir. Mevcut hastaneler yaralı lokasyonlarının sadece %25'ini karşılayabilmektedir (Şekil 6.15a ve Şekil 6.15b).



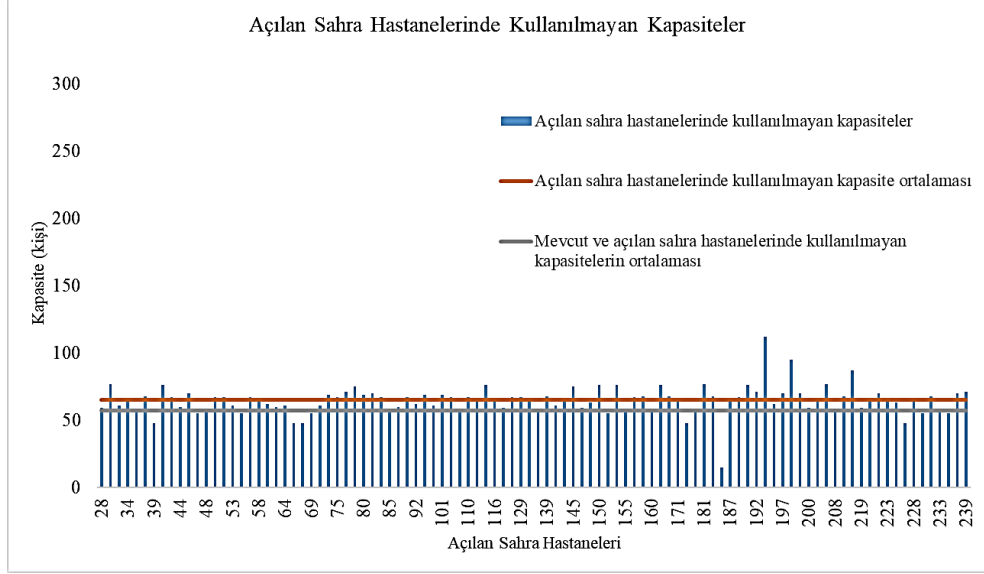
(a)

(b)

Şekil 6.15 : Model 2'de en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.



Şekil 6.16 : Model 2'de mevcut hastane kapasite kullanımı.



Şekil 6.17 : Model 2’de sahra hastanesi kapasite kullanımı.

Mesafe kısıtı eklenen modelde en iyi kromozomda yaralıların atandığı hastanelerin kapasitelerine bakıldığında uzaklık, yaralı lokasyonundaki toplam yaralı sayısı gibi birçok parametrenin etkisinden dolayı mevcut hastanelerde kullanılmayan kapasite ortalama 24 kişi/hastanedir. Mesafe kısıtı olmayan modele göre kullanılmayan kapasite daha yüksektir (Şekil 6.16).

Açılan sahra hastanelerinde ise kullanılmayan kapasite ortalama 65 kişi/hastanedir. Genel olarak bakıldığında tüm hastanelerde kullanılmayan kapasite 57 kişi/hastanedir. Mesafe kısıtı olmayan modele göre kullanılmayan kapasite 2 kişi/hastane daha fazladır. JICA Raporu’na göre nüfus üzerinden yapılan hesaplamalardan elde edilen yaralı sayısından daha fazla yaralı olması durumunda hastanelerde bulunan boş kapasite kullanılabilir (Şekil 6.17).



7. DUYARLILIK ANALİZİ

Duyarlılık analizi çalışmasında

- Mesafe kısıtı (mesafe kısıtı yok, mesafe kısıtı: 5 km, mesafe kısıtı: 3 km)
- Yaralı sayısı (JICA Raporu'nda Model A (muhtemel senaryo) ve Model C (kötü senaryo) ile belirlenen yaralı sayıları) ve
- Sahra hastanesi kapasitesi (208 kişi ve 2 katı olan 416 kişi kapasiteli)

durumlarında değişiklikler yapılarak analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

7.1 Model 3

Deprem sonrası hastanelerde ve sahra hastanelerinde tedavi görecekt yaralıların ağır yaralı insanlar olduğu düşünüldüğünde yaralı kişinin bulunduğu yerden yakınındaki hastaneye atanması sağlığı açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle 5 km olarak belirlenen mesafe kısıtı 3 km olarak değiştirilmiş, Model A için sonuçlar gözlemlenmiştir (Çizelge 7.1).

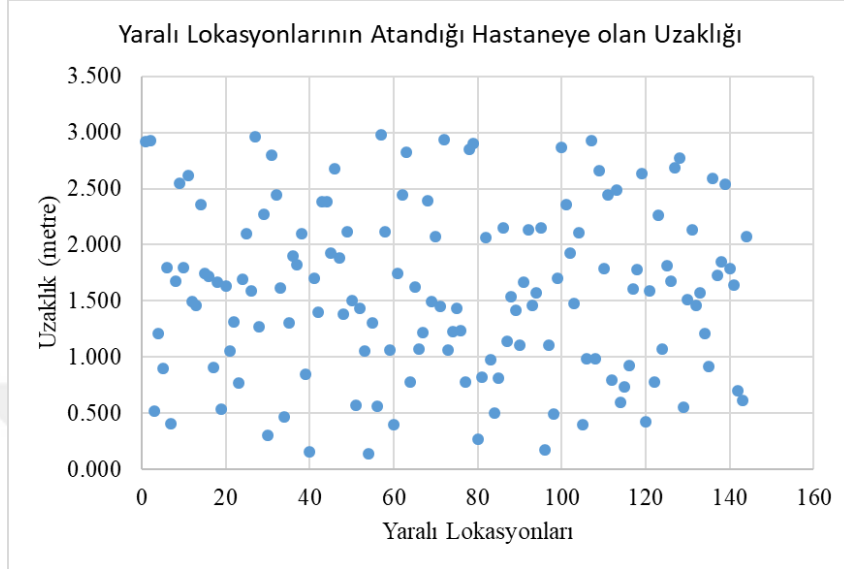
Çizelge 7.1 : Model 3 için çoklu koşum sonuçları.

Koşum Sayısı	Model 3
1	73.992.584
2	74.661.867
3	74.672.174
4	74.032.943
5	73.361.625

Çoklu koşum sonucu elde edilen en iyi amaç fonksiyonu değeri ve içeriğinin yüzdeler oranları Çizelge 7.2'de verilmiştir. Amaç fonksiyonu değerinin %95.6'sını kurulum maliyeti oluştururken %4.4'ünü ise seyahat maliyeti oluşturmaktadır. Model 2'ye göre Model 3'te amaç fonksiyonu değeri artmıştır ve amaç fonksiyonu değerinin içerisindeki kurulum maliyetinin payı artmıştır. Daha kısıtlı bir alanda yaralıların hastanelere atanması gerektiği için daha fazla sahra hastanesi açılmıştır.

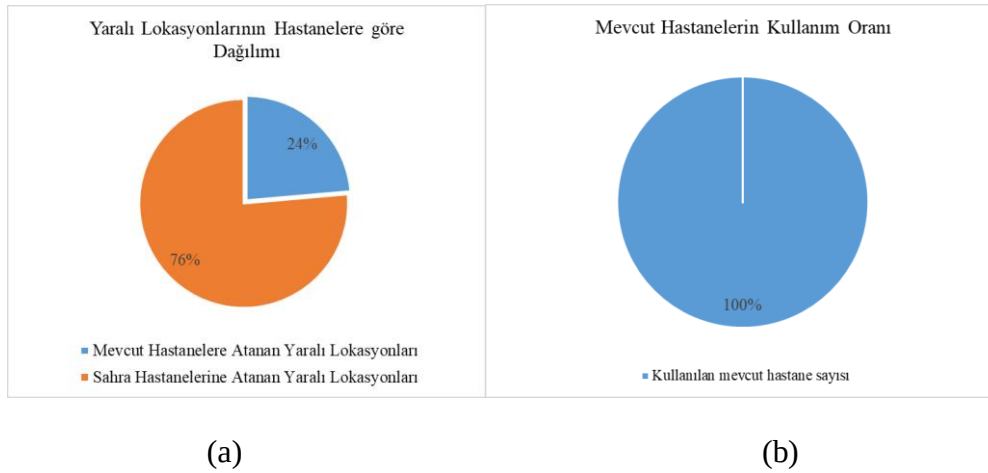
Çizelge 7.2 : Model 3'teki en iyi değerin yüzdelik oranları.

Amaç Fonksiyonu	Maliyet (Türk Lirası)	Yüzdelik Oran
Amaç Fonksiyonu Değeri	73.361.625	%100
Kurulum Maliyeti	70.200.000	%95.6
Seyahat Maliyeti	3.161.625	%4.4



Şekil 7.1 : Model 3 ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiği.

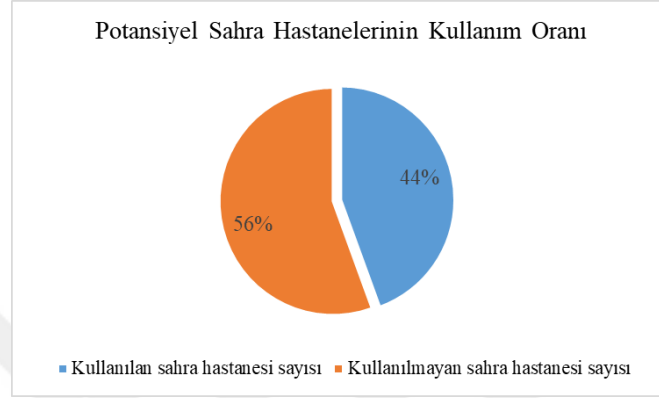
Yaralılara daha iyi ve hızlı cevap vermek, maliyeti %0.6 oranında arttırmıştır. Yaralı lokasyonlarının atandığı hastaneye uzaklığı Şekil 7.1'dedir. Model 1'de yaralı lokasyonlarının %42'si Model 2'de %69'u 0-3 km yarıçapında bulunan hastanelere atanırken Model 3'te tüm yaralı lokasyonları daha hızlı ulaşabilecekleri 0-3 km yarıçapındaki hastanelere atanmıştır.



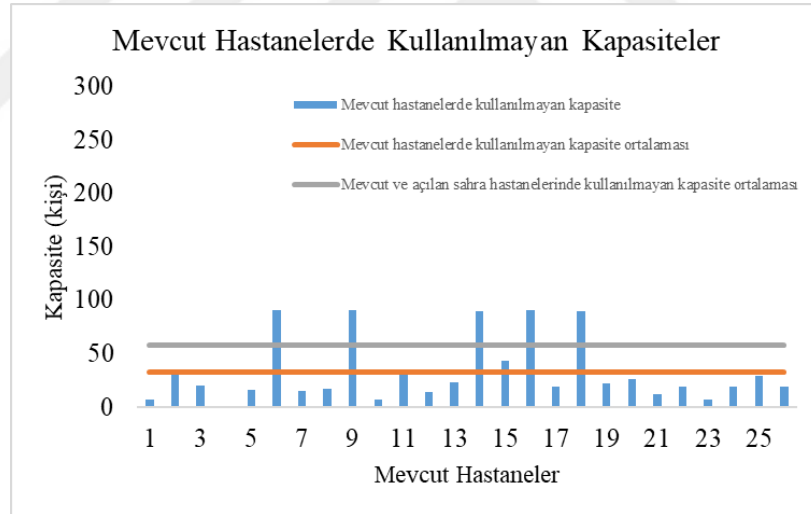
Şekil 7.2 : Model 2'de en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.

Yaralı lokasyonlarının %24'üne mevcut hastaneler tarafından hizmet verilmektedir ve tüm mevcut hastaneler kullanılmıştır, %76'sı ise açılan sahra hastanelerine yönlendirilmiştir. Mevcut hastaneler yaralı lokasyonlarının sadece %24'ünü karşılayabilmektedir (Şekil 7.2a ve Şekil 7.2b).

Mevcut hastanelerin tamamı kullanıldıktan sonra tüm yaralılara hizmet vermek için potansiyel sahra hastanelerinden %56'sı açılmıştır (Şekil 7.3).

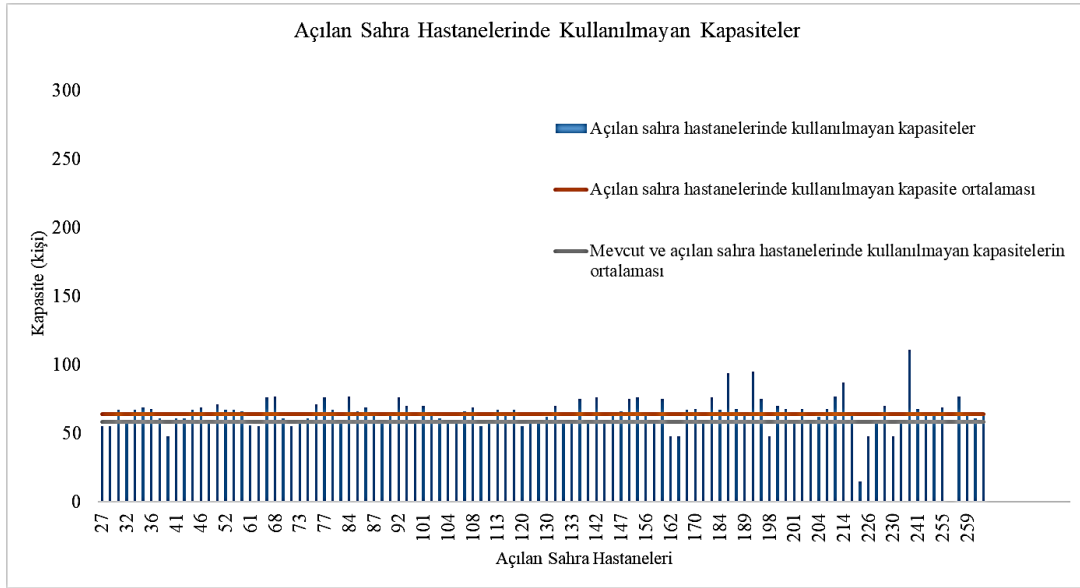


Şekil 7.3 : Model 3 potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı.



Şekil 7.4 : Model 3'de mevcut hastane kapasite kullanımı.

Mevcut hastanelerde kullanılmayan kapasite ortalama 32 kişi/hastanedir. Model 2'ye göre 8 kişi artmıştır. Bunun sebebi yaralıların daha yakınlardaki hastanelere atanma kısıtıdır (Şekil 7.4). Daha yakın hastanelere atama yapmak için daha fazla sahra hastanesi açılması ve mesafe kısıtına sağlamayan yaralı lokasyonlarının da mevcut hastanelere atanmamasından dolayı mevcut hastanelere atanan yaralı sayısı azalmıştır. Açılan sahra hastanelerinde kullanılmayan ortalama kapasite 64 kişi/hastanedir. Tüm hastanelerde ortalama kullanılmayan kapasite ise 58 kişi/hastanedir (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 : Model 3’de sahra hastanesi kapasite kullanımı.

7.2 Model 4

Model A’da sahra hastanesinin kapasitesi 2 katına çıkarılarak mesafe kısıtı 5 km için analiz yapılmıştır (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3: Model 4 çoklu koşum sonuçları.

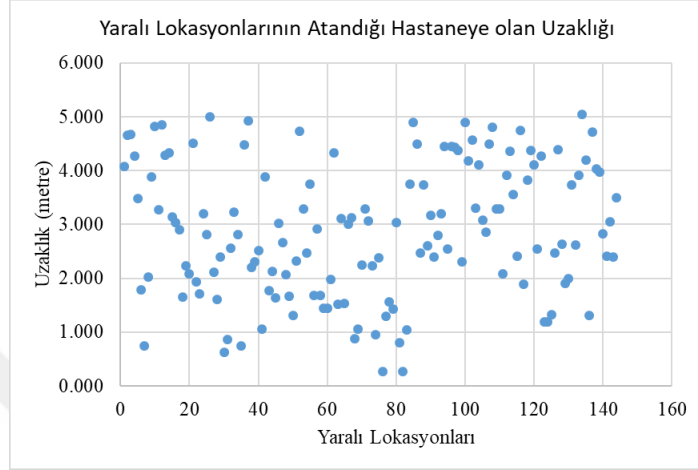
Koşum Sayısı	Model 4
1	74.930.850
2	72.351.761
3	74.916.737
4	73.572.297
5	76.190.370

Çoklu koşum sonucunda elde edilen en iyi amaç fonksiyonu değeri 2. koşumdaki 72.351.761 TL’dir. Model 2 ile karşılaştırıldığında amaç fonksiyonu değerinde %0.7 oranında bir azalış olmuştur. Sahra hastanesinin kapasitesinin iki katına çıkarılması, kurulum maliyetinin de iki katına çıkarak 1.300.000 TL olduğu anlamına gelmektedir. Kurulum maliyetinde 2 kat artış olmasına rağmen toplam maliyet 524.523 TL azalmıştır. Kurulum ve seyahat maliyetlerinin oranları Çizelge 7.4’teki gibidir.

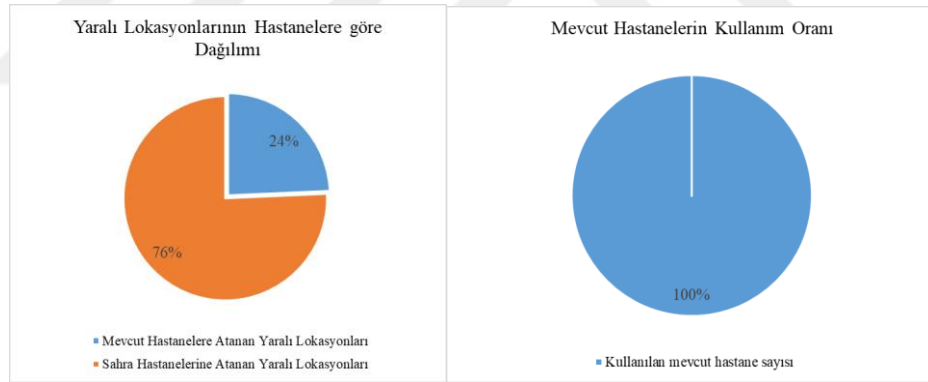
Çizelge 7.4 : Model 4 en iyi değer in yüzdelik oranları.

Amaç Fonksiyonu	Maliyet (Türk Lirası)	Yüzdelik Oran
Amaç Fonksiyonu Değeri	72.351.761	%100
Kurulum Maliyeti	68.900.000	%95.2
Seyahat Maliyeti	3.451.761	%4.8

En iyi amaç fonksiyonu değerini veren kromozom incelendiğinde, 144 yaralı lokasyonunun 35'i 26 adet olan mevcut hastanelere atanmış olup yaralı lokasyonu atanmamış mevcut hastane bulunmadığı gözlemlenmiştir. Diğer 109 yaralı lokasyonu ise açılan 53 sahra hastanesine atanmıştır. Yaralı lokasyonlarının atandığı hastaneye uzaklığı Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



Şekil 7.6 : Model 4 ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiği.



(a)

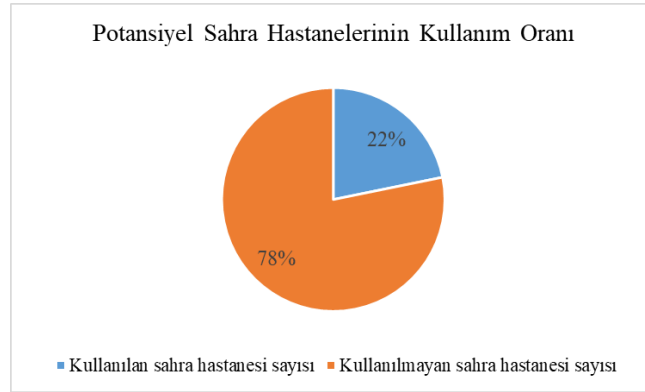
(b)

Şekil 7.7 : Model 4'te en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.

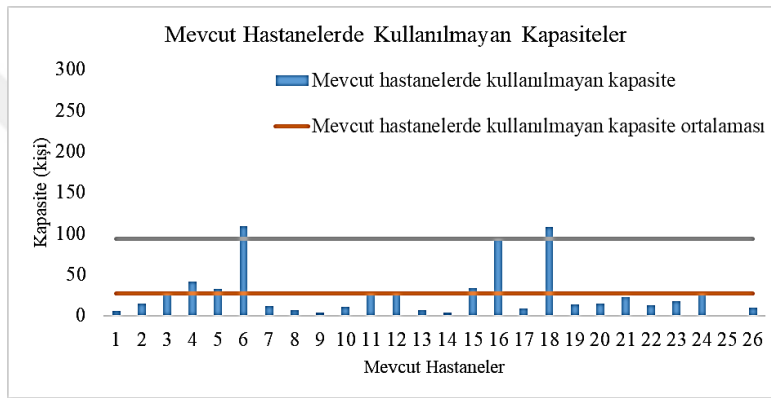
Yaralı lokasyonlarının %24'ü mevcut hastanelere atanırken %76'sı ise açılan sahra hastanelerine atanmıştır (Şekil 7.7). Potansiyel sahra hastanelerinden %22'si açılarak mevcut hastanelerin hizmet veremeyeceği yaralı lokasyonlarına hizmet verecektir (Şekil 7.8).

Mevcut hastanelerde kullanılmayan kapasite ortalama 26 kişi/hastanedir (Şekil 7.9). 416 kişi kapasiteli sahra hastanelerinde ise kullanılmayan kapasite 126 kişi/hastanedir.

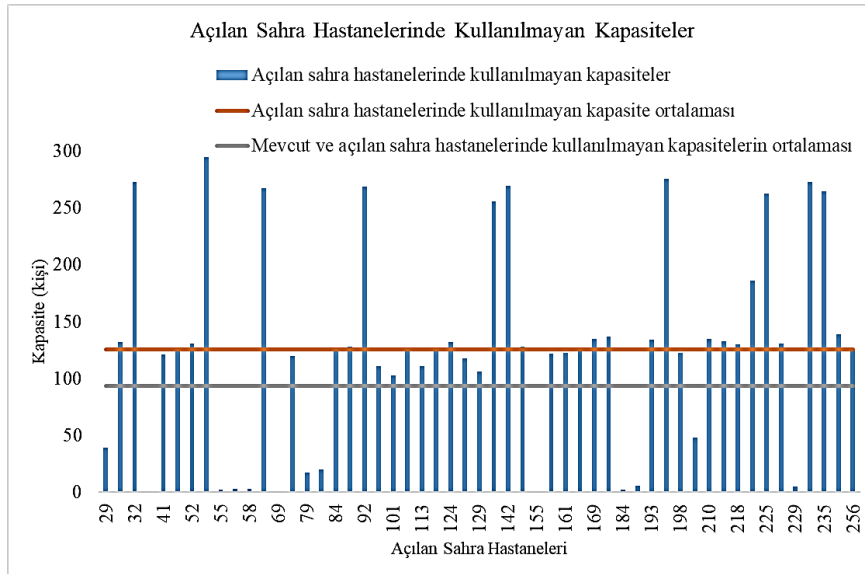
Tüm hastanelerde ortalama kullanılmayan kapasite 93 kişi/hastanedir (Şekil 7.10).



Şekil 7.8 : Model 4 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.



Şekil 7.9 : Model 4'te mevcut hastane kapasite kullanımı.



Şekil 7.10 : Model 4'te sahra hastanesi kapasite kullanımı.

7.3 Model 5

Model A, mesafe kısıtı 3 km ve sahra hastane kapasitesi 416 kişi için analiz sonuçları incelenmiştir (Çizelge 7.5). Sahra hastanesi kapasitesi 2 katına çıkarıldığında mesafe kısıtı azaltıldığında ise yapılan koşumlarda en iyi amaç fonksiyonu değeri 85.105.273 TL'dir. Mesafe kısıtı 5 km olan Model 4'e göre maliyet yaklaşık 13 Milyon TL artmıştır. Amaç fonksiyonu değerini oluşturan kurulum ve seyahat maliyetleri ve oranları Çizelge 7.6'dadır. Kurulum maliyeti amaç fonksiyonu değerinin %96.2'sini oluştururken seyahat maliyeti ise sadece %3.8'ini oluşturur.

Çizelge 7.5 : Model 5 çoklu koşul sonuçları.

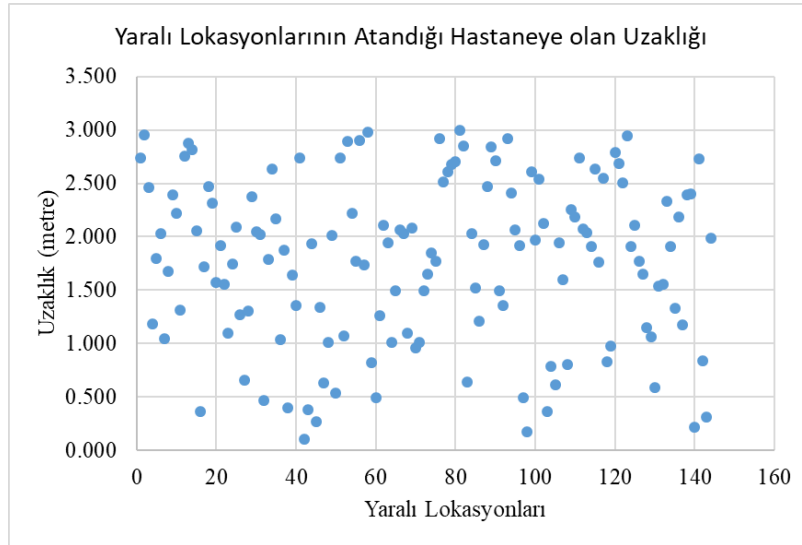
Koşum Sayısı	Model 5
1	90.311.290
2	85.105.273
3	89.011.466
4	88.987.552
5	85.107.694

Çizelge 7.6 : Model 5 en iyi değer yüzdelik oranları.

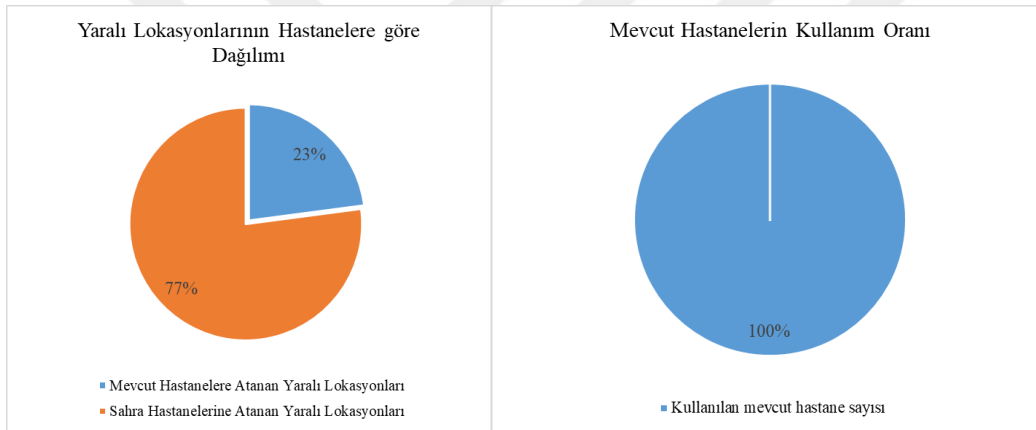
Amaç Fonksiyonu	Maliyet (Türk Lirası)	Yüzdelik Oran
Amaç Fonksiyonu Değeri	85.105.273	%100
Kurulum Maliyeti	81.900.000	%96.2
Seyahat Maliyeti	3.205.273	%3.8

Model 5'te yaralı lokasyonlarındaki yaralıların hizmet göreceği hastaneye uzaklığının dağılım grafiği gösterilmiştir. Ağır yaralıların hizmet göreceği hastane ile aralarında en fazla 3 km mesafe bulunması hastaneden alacağı hizmete en kısa sürede ulaştırılmasını sağlayacaktır (Şekil 7.11).

Model 5'teki en iyi amaç fonksiyonu değerini veren kromozom incelendiğinde; 144 yaralı lokasyonunun %23'üne mevcut hastaneler tarafından hizmet sağlanırken %77'sine açılan sahra hastaneleri hizmet vermektedir (Şekil 7.12a). Mevcut hastanelerin tamamı kullanılmıştır (Şekil 7.12b). Yaralı lokasyonlarının 3 km mesafeli atamaları için potansiyel sahra hastanelerinin %26'sı açılmıştır (Şekil 7.13). En iyi amaç fonksiyonunu veren kromozoma ait atamalar incelendiğinde mevcut hastanelerde kullanılmayan kapasite ortalama 38 kişi/hastanedir (Şekil 7.14). 2 katına çıkarılan sahra hastanelerinin kullanım oranlarına bakıldığında sahra hastanelerinde kullanılmayan kapasite ortalama 173 kişi/hastanedir (Şekil 7.15). Sahra hastanelerinin %41'i boş kalmaktadır. Sebebi ise 3 km mesafe kısıtından dolayı tüm hastalara hizmet vermek için daha fazla sahra hastanesi açılmasıdır.



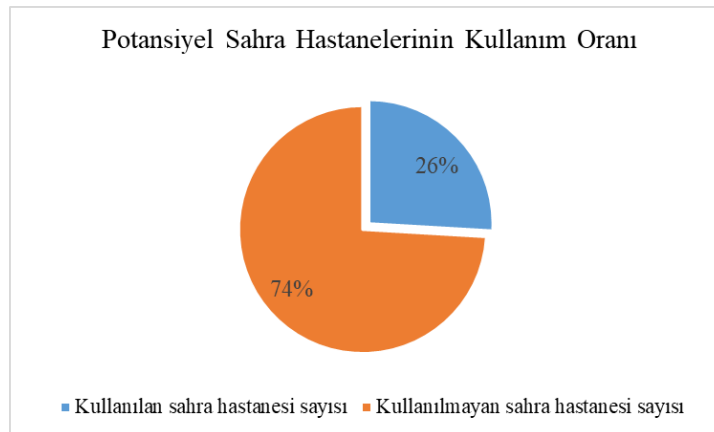
Şekil 7.11 : Model 5 ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiği.



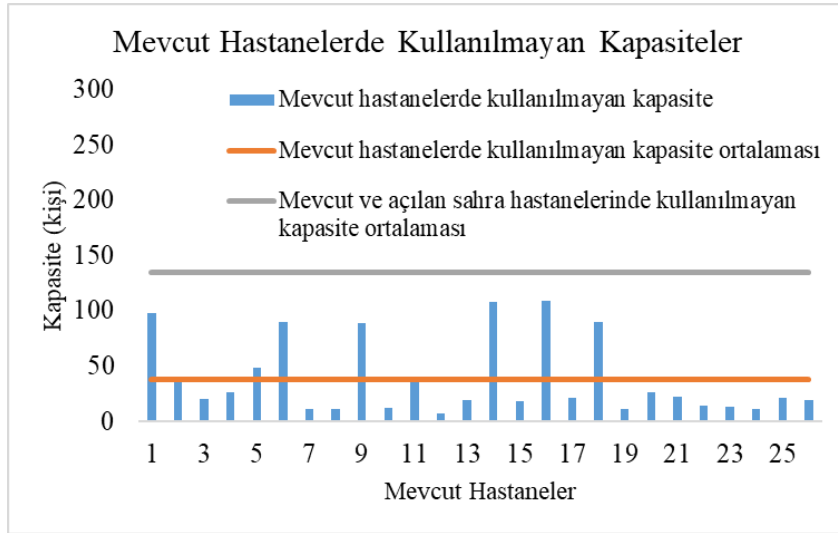
(a)

(b)

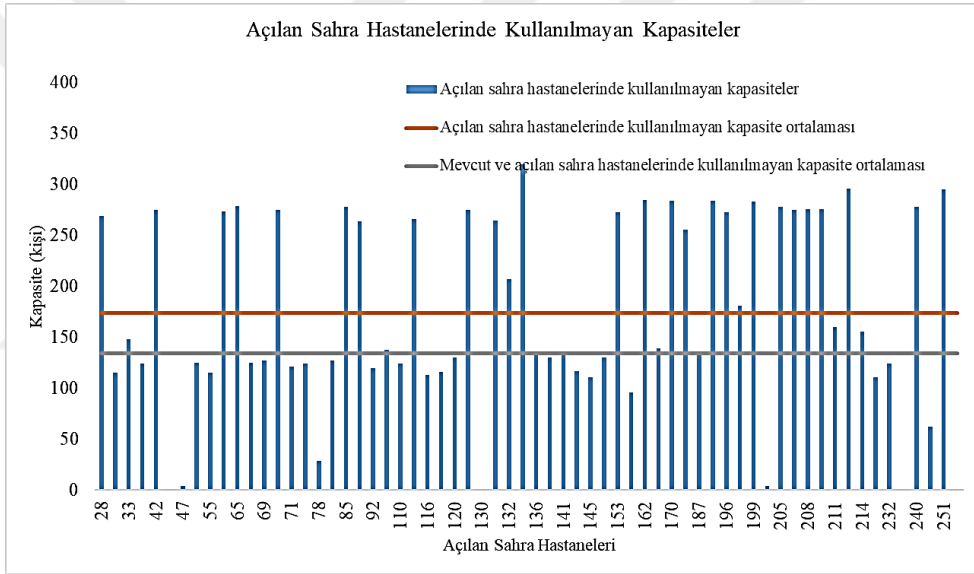
Şekil 7.12 : Model 5'te en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.



Şekil 7.13 : Model 5 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.



Şekil 7.14 : Model 5’te mevcut hastane kapasite kullanımı.



Şekil 7.15 : Model 5’te sahra hastanesi kapasite kullanımı.

7.4 Model 6

JICA Raporu’na göre muhtemel senaryo için hesaplanan yaralı sayısı, en kötü senaryo için hesaplanan yaralı sayısından fazladır. Model 1, 2, 3, 4 ve 5 muhtemel senaryodaki yaralı sayıları baz alınarak çözülmüştür. Model 6, 7, 8, 9 ve 10 ise en kötü senaryoyki yaralı sayıları baz alınarak incelenmiştir. Model 6’da Model C, mesafe kısıtı 5 km ve sahra hastane kapasitesi 208 kişi için analiz sonuçları gözlemlenmiştir.

Yapılan koşumlarda en iyi amaç fonksiyonu değeri 73.741.362 TL’dir (Çizelge 7.7). Yaralı sayısının daha fazla olması, diğer tüm parametreler aynı iken maliyeti 865.078 TL arttırmıştır. Amaç fonksiyonu değerini oluşturan kurulum ve seyahat maliyetleri

ve oranları Çizelge 7.8’dedir. Kurulum maliyeti amaç fonksiyonu değerinin %95.2’sini oluştururken seyahat maliyeti ise sadece %4.8’ini oluşturur.

Çizelge 7.7 : Model 6 çoklu koşum sonuçları.

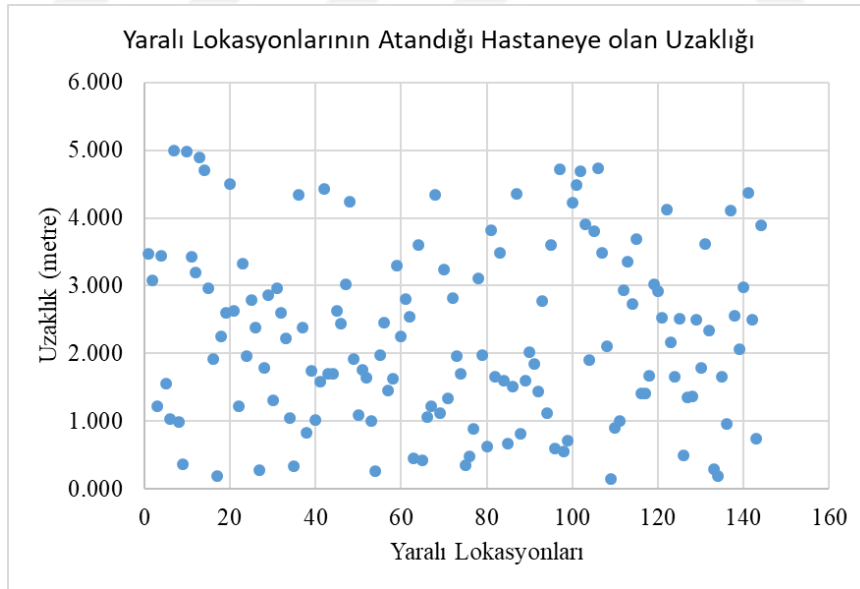
Koşum Sayısı	Model 6
1	74.401.570
2	73.741.362
3	74.462.378
4	74.384.553
5	74.409.292

Çizelge 7.8 : Model 6 en iyi değer yüzdelik oranları.

Amaç Fonksiyonu	Maliyet (Türk Lirası)	Yüzdelik Oran
Amaç Fonksiyonu Değeri	73.741.362	%100
Kurulum Maliyeti	70.200.000	%95.2
Seyahat Maliyeti	3.541.362	%4.8

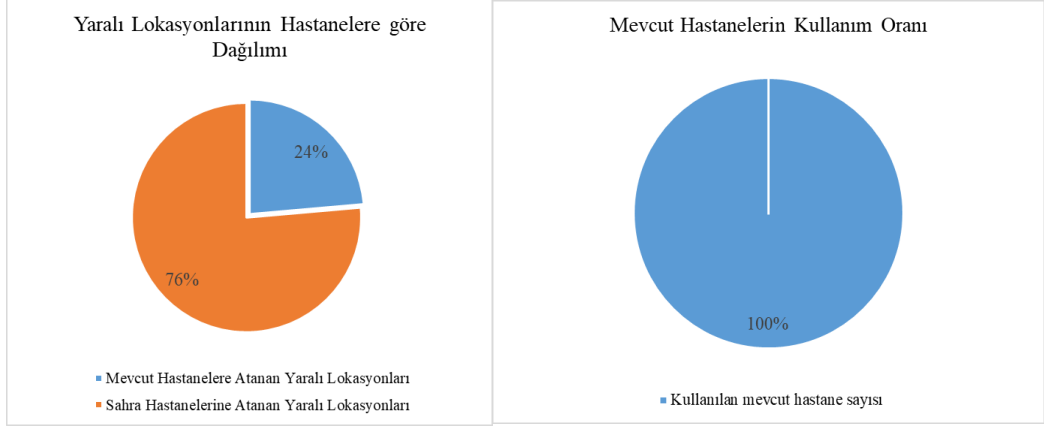
Yaralıların en fazla 5 km uzaklıktaki hastaneye atandığı dağılım grafiği Şekil 7.16’daki gibidir.

Model 6’daki en iyi amaç fonksiyonu değerini veren kromozom incelendiğinde; 144 yaralı lokasyonunun %24’üne mevcut hastaneler tarafından hizmet sağlanırken %76’sına açılan sahra hastaneleri hizmet vermektedir (Şekil 7.17).



Şekil 7.16 : Model 6 ağır yaralıların atandığı hastaneye olan uzaklıkları dağılım grafiği.

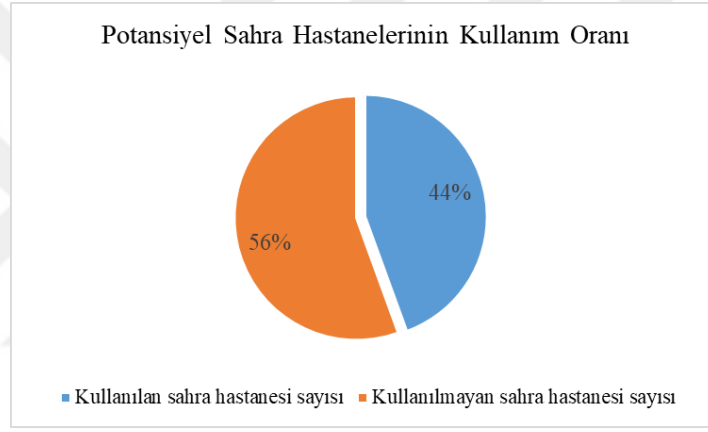
Mevcut hastanelerin tamamı kullanılmıştır. Yaralı lokasyonlarının 3 km mesafeli atamaları için potansiyel sahra hastanelerinin %44’ü açılmıştır (Şekil 7.18).



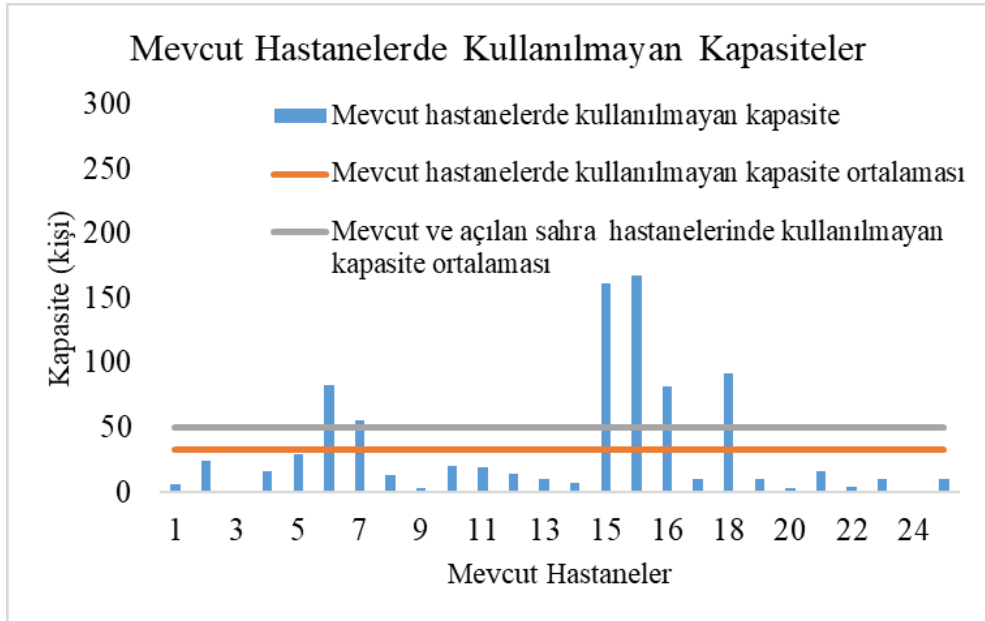
(a)

(b)

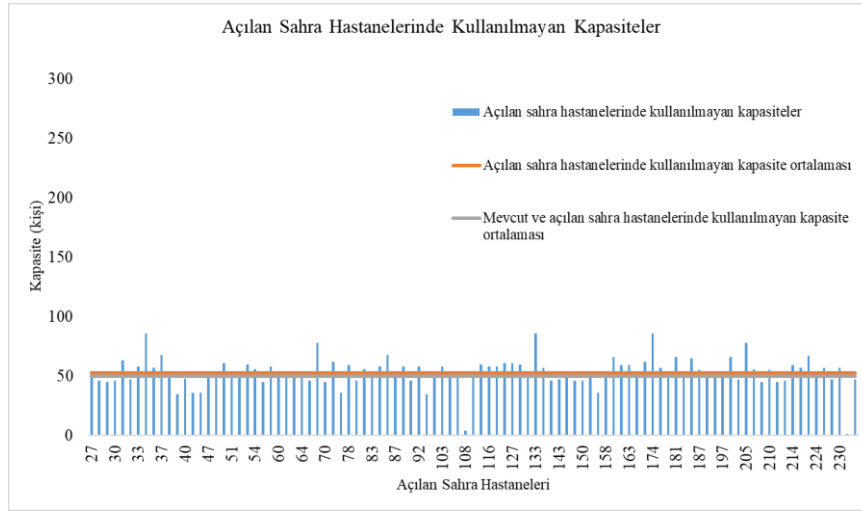
Şekil 7.17 : Model 6’da en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.



Şekil 7.18: Model 6 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.



Şekil 7.19 : Model 6’da mevcut hastane kapasite kullanımı.



Şekil 7.20 : Model 6’da sahra hastanesi kapasite kullanımı.

En iyi amaç fonksiyonunu veren kromozoma ait atamalar incelendiğinde mevcut hastanelerde kullanılmayan kapasite ortalama 32 kişi/hastanedir (Şekil 7.19). Sahra hastanelerinin kullanım oranlarına bakıldığında sahra hastanelerinde kullanılmayan kapasite ortalama 52 kişi/hastanedir (Şekil 7.20). Tüm hastanelerde kullanılmayan kapasite ise ortalama 49 kişi/hastanedir.

7.5 Model 7

Model C, mesafe kısıtı 3 km ve sahra hastane kapasitesi 208 kişi için analiz sonuçları incelenmiştir (Çizelge 7.9).

Çizelge 7.9 : Model 7 çoklu koşum sonuçları.

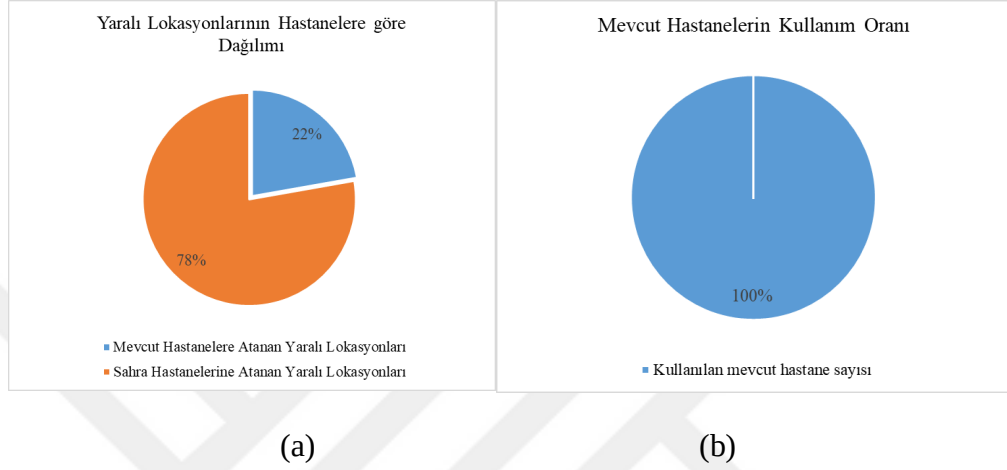
Koşum Sayısı	Model 7
1	74.857.937
2	74.876.472
3	74.890.200
4	74.883.820
5	74.897.790

Ağır yaralılara daha hızlı hizmet vermek için mesafe kısıtı azaltıldığında en iyi amaç fonksiyonu değeri 74.857.937 TL’dir. Kurulum maliyeti amaç fonksiyonu değerinin %95.5’ini oluştururken seyahat maliyeti ise sadece %4.5’ini oluşturur (Çizelge 7.10).

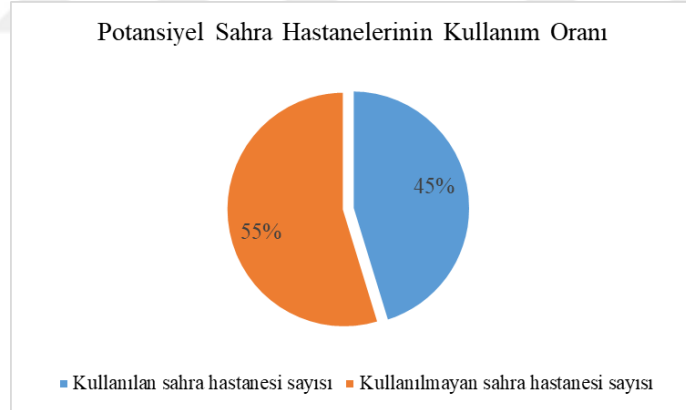
Çizelge 7.10 : Model 7 en iyi değer in yüzdelik oranları.

Amaç Fonksiyonu	Maliyet (Türk Lirası)	Yüzdelik Oran
Amaç Fonksiyonu Değeri	74.857.937	%100
Kurulum Maliyeti	71.500.000	%95.5
Seyahat Maliyeti	3.357.937	%4.5

Model 7'deki en iyi amaç fonksiyonu değerini veren kromozom incelendiğinde; 144 yaralı lokasyonunun %22'sine mevcut hastaneler tarafından hizmet sağlanırken %78'ine açılan sahra hastaneleri hizmet vermektedir. Mevcut hastanelerin tamamı kullanılmıştır (Şekil 7.21). Model C'deki yaralıların bulunduğu yaralı lokasyonlarının 3 km mesafeli atamaları için potansiyel sahra hastanelerinin %45'i açılmıştır (Şekil 7.22).

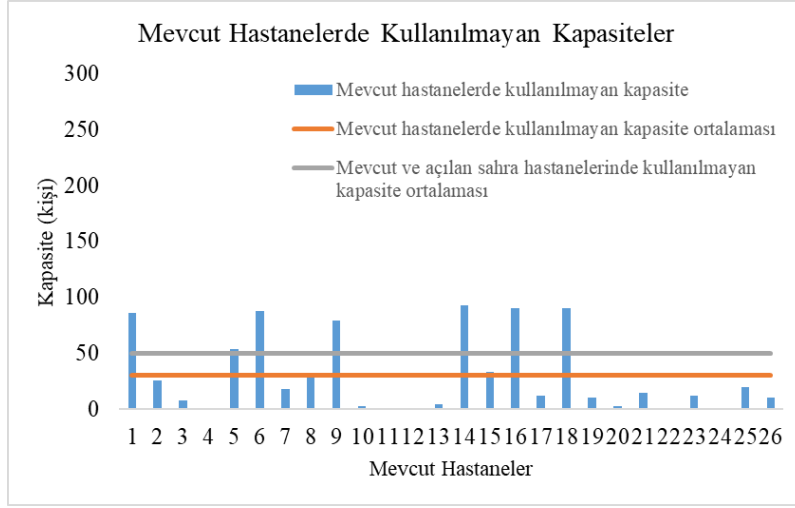


Şekil 7.21 : Model 7'de en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.

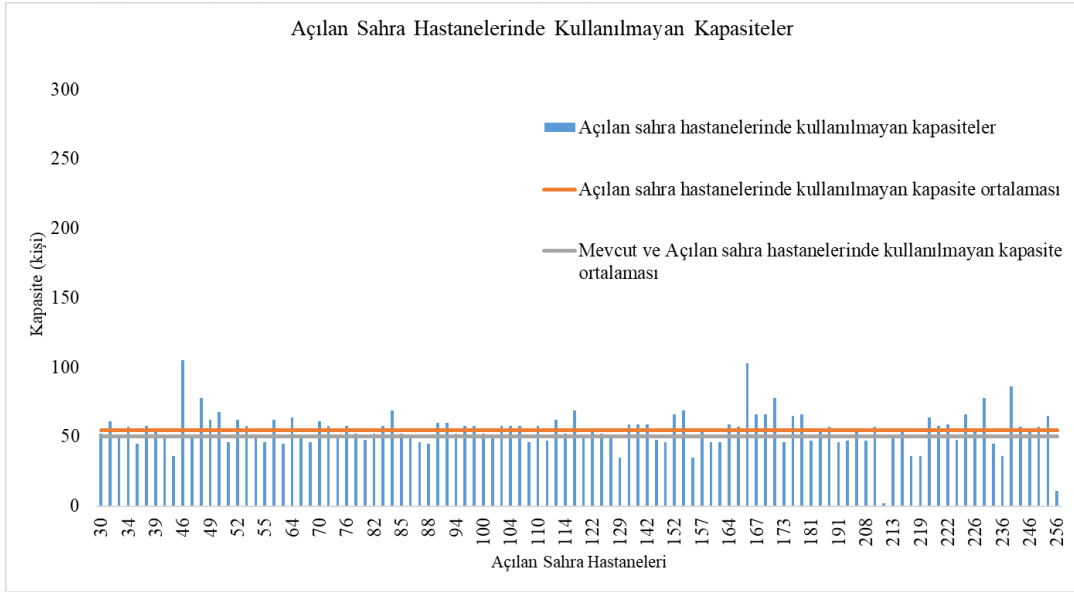


Şekil 7.22 : Model 7 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.

En iyi amaç fonksiyonunu veren kromozoma ait atamalar incelendiğinde mevcut hastanelerde kullanılmayan kapasite ortalama 30 kişi/hastanedir (Şekil 7.23). Sahra hastanelerinin kullanım oranlarına bakıldığında sahra hastanelerinde kullanılmayan kapasite ortalama 54 kişi/hastanedir (Şekil 7.24). Tüm hastanelerde kullanılmayan kapasite ise ortalama 50 kişi/hastanedir.



Şekil 7.23 : Model 7’de mevcut hastane kapasite kullanımı.



Şekil 7.24: Model 7’de sahra hastanesi kapasite kullanımı.

7.6 Model 8

Model C, mesafe kısıtı 5 km ve sahra hastane kapasitesi 416 kişi için analiz sonuçları Model 8’de incelenmiştir (Çizelge 7.11).

Çizelge 7. 11 : Model 8 çoklu koşum sonuçları.

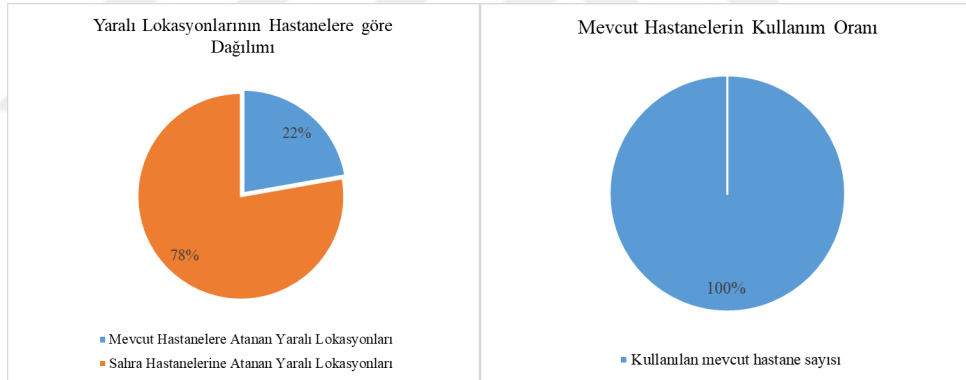
Koşum Sayısı	Model 8
1	81.651.516
2	81.672.900
3	79.065.629
4	80.351.230
5	81.643.519

Ağır yaralılarına daha hızlı hizmet vermek için mesafe kısıtı 5 km olduğunda en iyi amaç fonksiyonu değeri 79.065.629 TL'dir. Kurulum maliyeti amaç fonksiyonu değerinin %95.4'ünü oluştururken seyahat maliyeti ise sadece %4.6'sını oluşturur (Çizelge 7.12). Model 7'ye göre maliyet 4.207.692 TL artmıştır. Mesafe kısıtını km bazında azaltmak maliyetleri arttırmaktadır.

Çizelge 7.12 : Model 8 en iyi değer in yüzdelik oranları.

Amaç Fonksiyonu	Maliyet (Türk Lirası)	Yüzdelik Oran
Amaç Fonksiyonu Değeri	79.065.629	%100
Kurulum Maliyeti	75.400.000	%95.4
Seyahat Maliyeti	3.665.629	%4.6

Model 8'deki en iyi amaç fonksiyonu değerini veren kromozoma göre 144 yaralı lokasyonunun %22'sine mevcut hastaneler tarafından hizmet sağlanırken %78'ine açılan sahra hastaneleri hizmet vermektedir (Şekil 7.25a). Mevcut hastanelerin tamamı kullanılmıştır (Şekil 7.25b). Model C'deki yaralıların bulunduğu yaralı lokasyonlarının 5 km mesafeli atamaları için potansiyel sahra hastanelerinin %24'ü açılmıştır (Şekil 7.26).

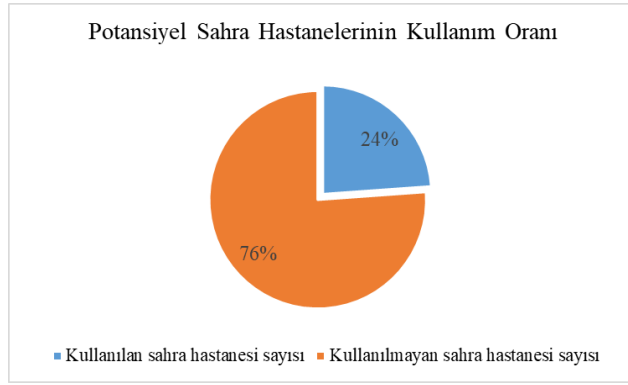


(a)

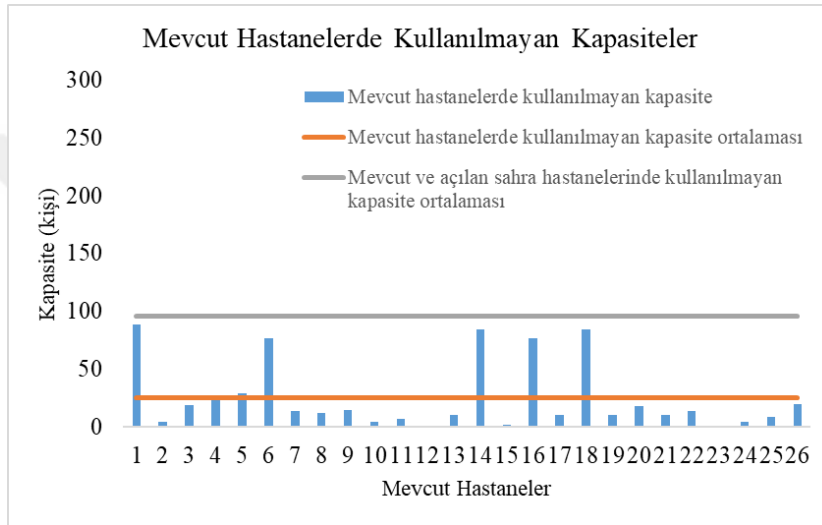
(b)

Şekil 7.25 : Model 8'de en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.

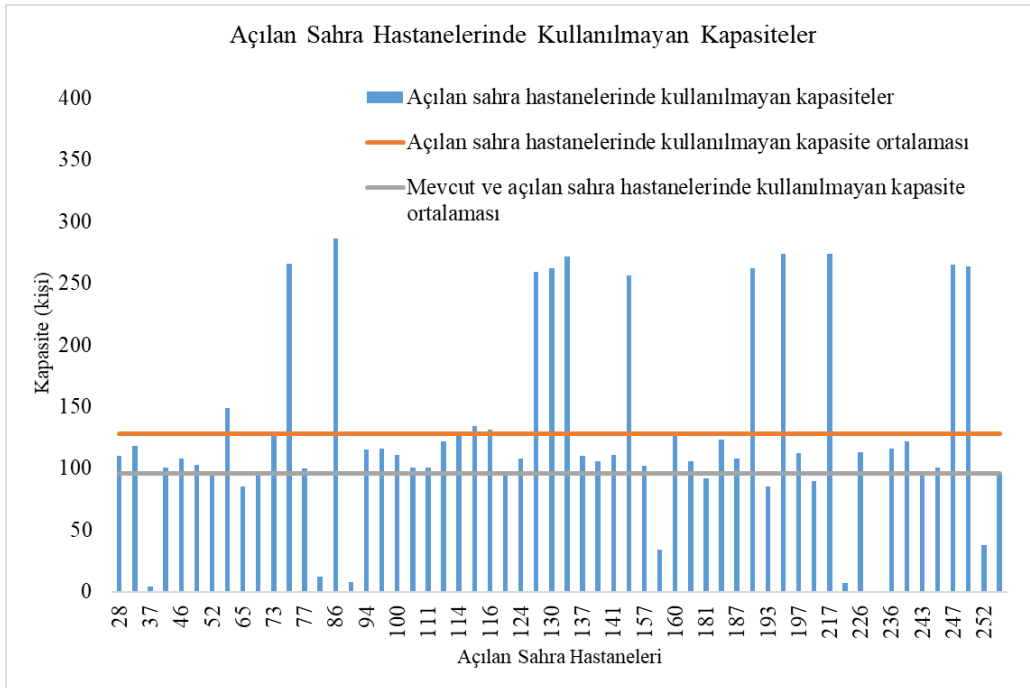
Mevcut hastanelerde kullanılmayan kapasite ortalama 24 kişi/hastanedir (Şekil 7.27). Sahra hastanelerinin kullanım oranlarına bakıldığında sahra hastanelerinde kullanılmayan kapasite ortalama 127 kişi/hastanedir (Şekil 7.28). Tüm hastanelerde kullanılmayan kapasite ise ortalama 95 kişi/hastanedir.



Şekil 7.26 : Model 8 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.



Şekil 7.27 : Model 8’de mevcut hastane kapasite kullanımı.



Şekil 7.28 : Model 8’de sahra hastanesi kapasite kullanımı.

7.7 Model 9

Model C, mesafe kısıtı 3 km ve sahra hastane kapasitesi 416 kişi için analiz sonuçları incelenmiştir (Çizelge 7.13).

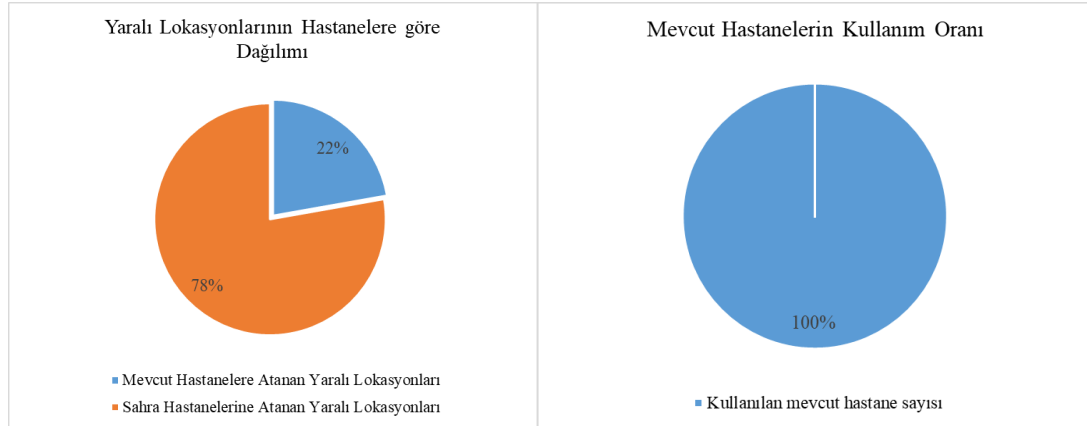
Çizelge 7.13 : Model 9 çoklu koşum sonuçları.

Koşum Sayısı	Model 9
1	94.401.189
2	90.508.042
3	93.103.081
4	87.931.747
5	93.141.647

Sahra hastanelerinin kapasitesi 2 katına çıkartıldığında en iyi amaç fonksiyonu değeri 87.931.747 TL'dir. Kurulum maliyeti amaç fonksiyonu değerinin %96'sını oluştururken seyahat maliyeti ise sadece %4'ünü oluşturur (Çizelge 7.14). Model 5'e göre maliyet 2.826.474 TL artmıştır. Yaralı sayısının artması maliyetleri arttırmaktadır.

Çizelge 7.14 : Model 9 en iyi değer yüzdelik oranları.

Amaç Fonksiyonu	Maliyet (Türk Lirası)	Yüzdelik Oran
Amaç Fonksiyonu Değeri	87.931.747	%100
Kurulum Maliyeti	84.500.000	%96
Seyahat Maliyeti	3.431.747	%4



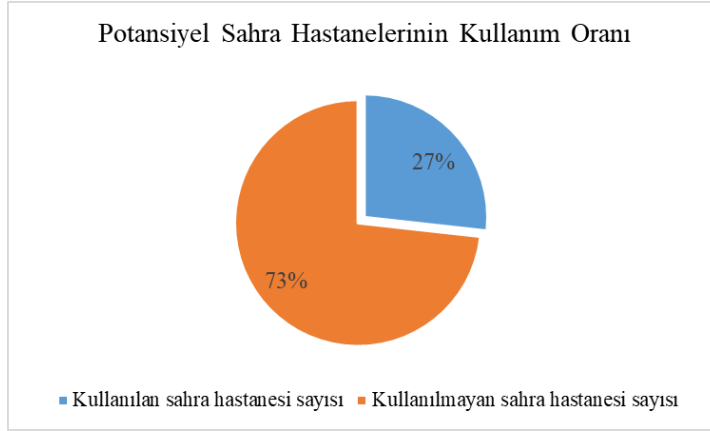
(a)

(b)

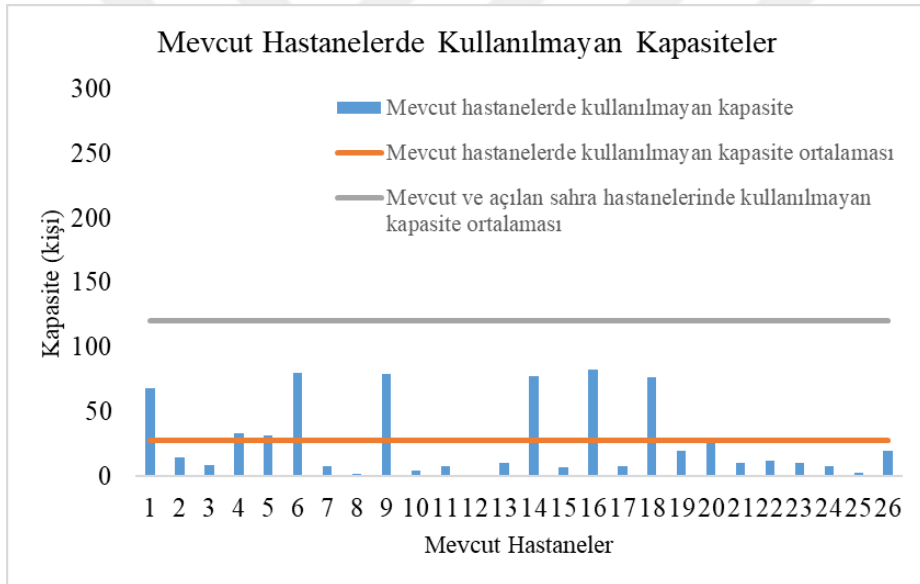
Şekil 7.29 : Model 9'da en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.

Model 9'daki en iyi amaç fonksiyonu değerini veren kromozoma göre 144 yaralı lokasyonunun %22'sine mevcut hastaneler tarafından hizmet sağlanırken %78'ine açılan sahra hastaneleri hizmet vermektedir (Şekil 7.29a). Mevcut hastanelerin tamamı

kullanılmıştır (Şekil 7.29b). Model C'deki yaralıların bulunduğu yaralı lokasyonlarının 3 km mesafeli atamaları için potansiyel sahra hastanelerinin %27'si açılmıştır (Şekil 7.30).

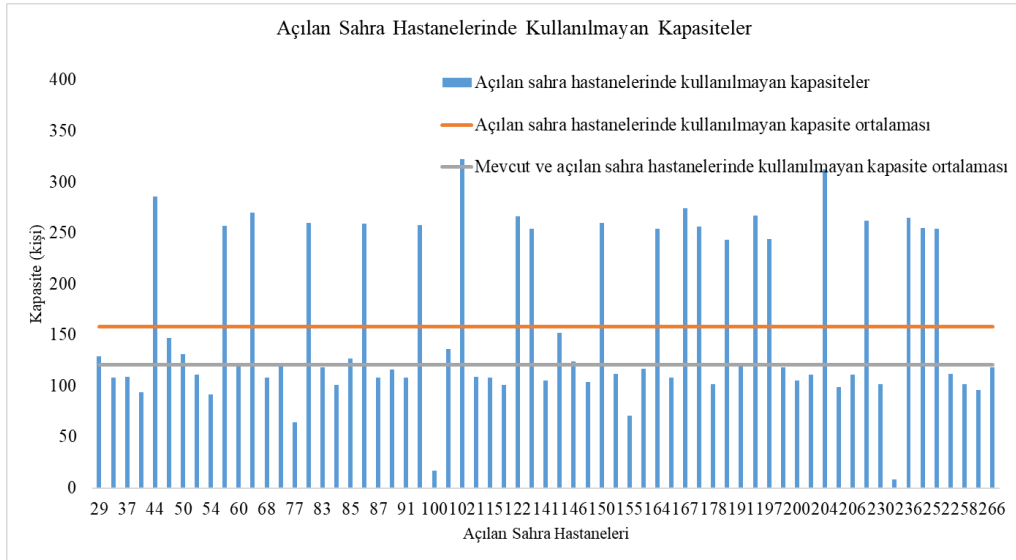


Şekil 7.30 : Model 9 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.



Şekil 7.31: Model 9'da mevcut hastane kapasite kullanımı.

Mevcut hastanelerde kullanılmayan kapasite ortalama 27 kişi/hastanedir (Şekil 7.31). Sahra hastanelerinin kullanım oranlarına bakıldığında sahra hastanelerinde kullanılmayan kapasite ortalama 157 kişi/hastanedir. Tüm hastanelerde kullanılmayan kapasite ise ortalama 120 kişi/hastanedir (Şekil 7.32).



Şekil 7.32: Model 9’da sahra hastanesi kapasite kullanımı.

7.8 Model 10

Model C, mesafe kısıtı yok ve sahra hastane kapasitesi 208 kişi için analiz sonuçları incelenmiştir (Çizelge 7.15).

Çizelge 7.15 : Model 10 çoklu koşum sonuçları.

Koşum Sayısı	Model 10
1	74.222.216
2	74.858.730
3	74.099.027
4	74.091.272
5	74.796.129

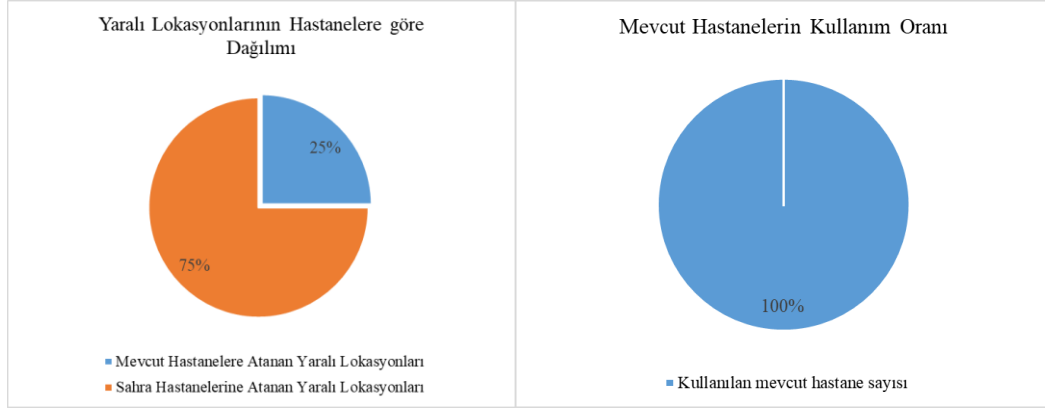
En iyi amaç fonksiyonu değeri en küçük değer olan 74.091.272 TL’dir. Kurulum maliyeti amaç fonksiyonu değerinin %94.7’sini oluştururken seyahat maliyeti ise sadece %5.3’ünü oluşturur (Çizelge 7.16). Model 1’e göre yaralı sayısı arttığı için açılan sahra hastanesi 2 fazladır ve seyahat maliyeti de artmıştır.

Çizelge 7.16 : Model 10 en iyi değer yüzdelik oranları.

Amaç Fonksiyonu	Maliyet (Türk Lirası)	Yüzdelik Oran
Amaç Fonksiyonu Değeri	74.091.272	%100
Kurulum Maliyeti	70.200.000	%94.7
Seyahat Maliyeti	3.891.272	%5.3

Model 10’daki en iyi amaç fonksiyonu değerini veren kromozoma göre 144 yaralı lokasyonunun %25’ine mevcut hastaneler tarafından hizmet sağlanırken %75’ine açılan sahra hastaneleri hizmet vermektedir (Şekil 7.33a). Mevcut hastanelerin tamamı

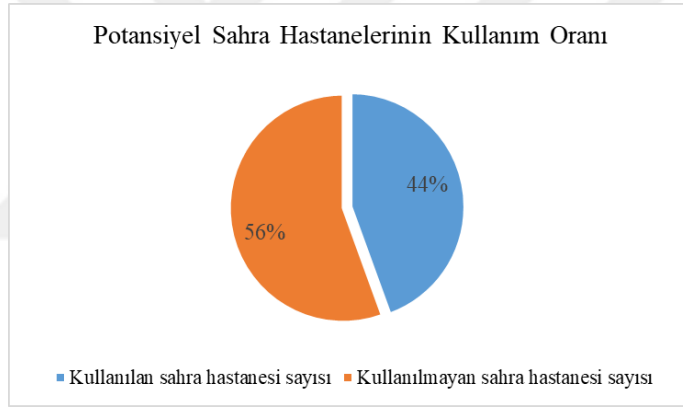
kullanılmıştır (Şekil 7.33b). Potansiyel sahra hastanelerinin %44'ü açılmıştır (Şekil 7.34).



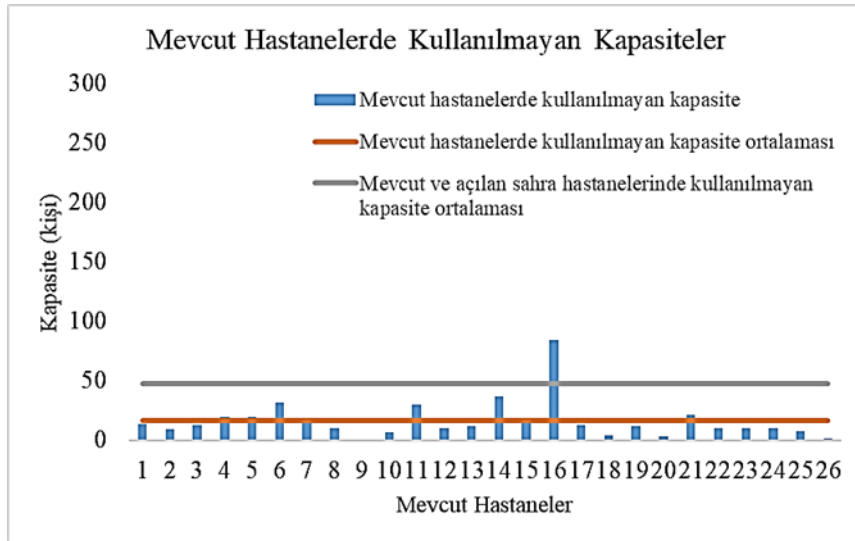
(a)

(b)

Şekil 7.33 : Model 10'da en iyi kromozomdaki a) potansiyel sahra hastanesi kullanım oranı b) mevcut hastane kullanım oranı.

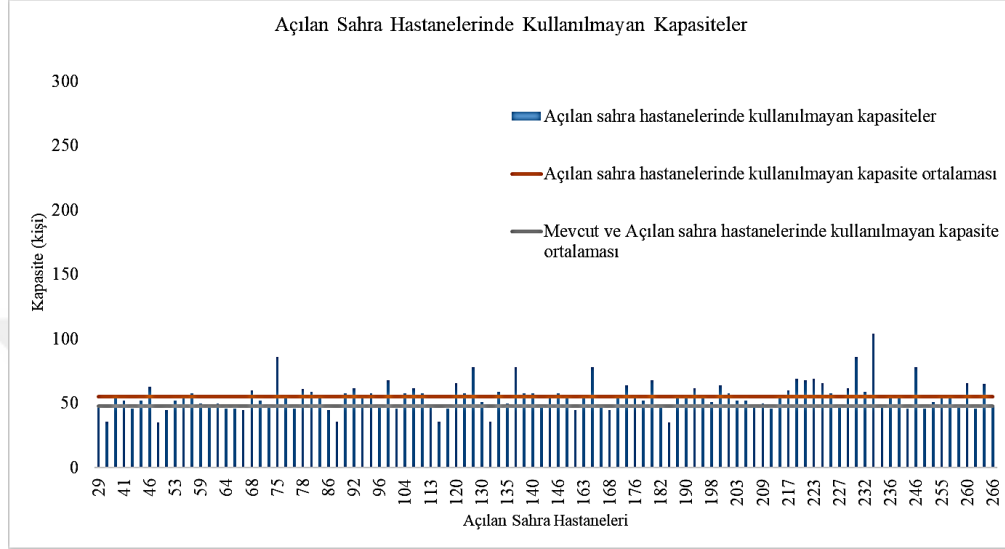


Şekil 7.34 : Model 10 potansiyel sahra hastanelerinin kullanım oranı.



Şekil 7.35 : Model 10'da mevcut hastane kapasite kullanımı.

Mevcut hastanelerde kullanılmayan kapasite ortalama 16 kişi/hastanedir (Şekil 7.35). Sahra hastanelerinin kullanım oranlarına bakıldığında sahra hastanelerinde kullanılmayan kapasite ortalama 55 kişi/hastanedir. Bir sahra hastanesi kapasitesinin ortalama %26'sı kullanılmamaktadır. Tüm hastanelerde kullanılmayan kapasite ise ortalama 47 kişi/hastanedir (Şekil 7.36).



Şekil 7.36 : Model 10’da sahra hastanesi kapasite kullanımı.

7.9 Model Kıyaslaması

10 modelin özellikleri ve sonuçları Çizelge 7.17’de özetlenmiştir.

Yaralı sayısı ve sahra hastanesi kurulum maliyeti sabit olan mesafe kısıtının değiştiği modeller incelendiğinde mesafe kısıtı yarıçapı azaldıkça açılan sahra hastanesi sayısı arttığından seyahat maliyeti azalsa da toplam maliyet artmaktadır.

Yaralı sayısı ve mesafe kısıtı aynı olup sahra hastanesi kapasitesi ve dolayısıyla kurulum maliyeti arttığında ise açılan sahra hastanesi sayısı oldukça azalmaktadır.

Sahra hastanesi kapasitesi ve mesafe kısıtı aynı olup yaralı sayısı değiştiğinde yaralı sayısının artmasına göre seyahat maliyeti ve kurulum maliyeti doğru orantılı olarak artmaktadır.

Yaralı sayısının daha az olduğu Model A modelleri içinde en az maliyetli olan 72.351.761 TL ile Model 4’tür. Yaralı sayısının daha fazla olduğu Model C modelleri arasında en az maliyetli olan ise 73.741.362 TL ile Model 6’dır. 10 modeli kıyasladığımızda en az maliyetli model ise amaç fonksiyonu değeri 72.351.761 TL olan Model 4’tür.

Çizelge 7.17 : Tüm modellerin özellik ve sonuçları.

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9	Model 10
Amaç Fonksiyonu Değeri	72.561.520	72.876.284	73.361.625	72.351.761	85.105.273	73.741.362	74.857.937	79.065.629	87.931.747	74.091.272
Kurulum Maliyeti Değeri	68.900.000	69.550.000	70.200.000	68.900.000	81.900.000	70.200.000	71.500.000	75.400.000	84.500.000	70.200.000
Seyahat Maliyeti Değeri	3.661.520	3.326.284	3.161.625	3.451.761	3.205.273	3.541.362	3.357.937	3.665.629	3.431.747	3.891.272
Açılan Sahra Hastanesi Sayısı	106	107	108	53	63	108	110	58	65	108
Model (Yaralı Sayısına göre)	Model A	Model A	Model A	Model A	Model A	Model C	Model C	Model C	Model C	Model C
Mesafe Kısıtı	Yok	5 km	3 km	5 km	3 km	5 km	3 km	5 km	3 km	Yok
Sahra Hastanesi Kapasitesi	208 kişi	208 kişi	208 kişi	416 kişi	416 kişi	208 kişi	208 kişi	416 kişi	416 kişi	208 kişi
Sahra Hastanesi Kurulum Maliyeti	650.000	650.000	650.000	1.300.000	1.300.000	650.000	650.000	1.300.000	1.300.000	650.000

Çizelge 7.18 : Bahçelievler ilçesinde bir mahalledeki yaralı lokasyonlarının Model 4'teki en iyi kromoza göre atandıkları hastane bilgileri.

Yaralı Lokasyonu	Mahalle	Hastane Kodu	Hastane İsmi	Hastane Türü	Uzaklık (km)
110	Siyavuşpaşa Mah. 1	10	İstanbul Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Mevcut Hastane	3.043
111	Siyavuşpaşa Mah. 2	11	Bahçelievler Devlet Hastanesi	Mevcut Hastane	1.652
112	Siyavuşpaşa Mah. 3	104	Bahçelievler Abidin Pak Öğretmen Evi ve Akşam Sanat Okulu	Sahra Hastanesi	1.042
113	Siyavuşpaşa Mah. 4	58	Kocasinan Çok Programlı Anadolu Lisesi	Sahra Hastanesi	1.440
114	Siyavuşpaşa Mah. 5	26	Özel Vital Hospital Hastanesi	Mevcut Hastane	0.740
115	Siyavuşpaşa Mah. 6	129	Bahçelievler Türkiye Gazetesi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	Sahra Hastanesi	3.201
116	Siyavuşpaşa Mah. 7	85	Siyavuşpaşa İlkokulu	Sahra Hastanesi	0.268

Model 4'te sahra hastanesi kapasitesi 416 kişidir. Yaralılar en fazla 5 km yarıçap uzaklığındaki hastaneye atanmaktadır. Senaryo, JICA Raporu'na göre muhtemel senaryodur. 243 potansiyel sahra hastanesinden 53'ü açılarak tüm mevcut hastaneler ile birlikte tüm yaralılara hizmet vermektedir. Kurulum maliyeti 68.900.000 TL ve seyahat maliyeti 3.451.761 TL'dir. 3 km gibi çok yakınlardaki hastanelere yaralıları atamak maliyet açısından pahalıdır. 5 km yarıçaplı yakınlardaki hastaneleri yaralıları atamak daha az maliyetlidir. Model 4'te Mevcut hastanelerde 160 ile 320 kişi arasında değişen kapasitelerde, kullanılmayan kapasite ortalama 26 kişi/hastanedir. 416 kişi kapasiteli sahra hastanelerinde ise kapasitenin %30'u kullanılmamaktadır. Yaralı sayısında öngörülemez bir artış olması halinde güvenlik kapasitesi mevcuttur. Çizelge 7.18'de Bahçelievler ilçesinde bir mahalledeki yaralı lokasyonlarının Model 4'teki en iyi kromoza göre atandıkları hastane bilgileri verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre 144 yaralı lokasyonunda bulunan yaralılar, Model 4'teki en iyi kromozoma göre atanmalı, kromozomda bulunan potansiyel sahra hastaneleri açılmalıdır.



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deprem, insanların önleyemediği ve öngöremediği doğal olaylardır. Doğal afetler genellikle insan ölümleri veya mal kayıpları ile sonuçlanır. Afet sonrası kayıpların çoğu, insani yardım planlamasının olmaması veya yetersiz uygulamalardan kaynaklanmaktadır.

İstanbul şehri kalabalık ve bazı bölgelerinde düzensiz kentleşme olan bir metropoldür. İstanbul'da fay hattı bulunmasından dolayı deprem bölgesidir. Fay hareketi devamlı olduğundan gün içinde deprem, sürekli meydana gelir fakat çoğu insanlar tarafından hissedilmeyecek kadar küçük şiddetlidir. Yıkıcı depremlerden sonra yaralılar için tıbbi müdahale mümkün olduğunca çabuk verilmelidir. Deprem gibi hızlı başlayan bir felaket esnasında, çok sayıda insan yaralanır ve bu yaralı insanlar aynı anda acil olarak müdahaleye ihtiyaç duyar. Bir hasta dalgasıyla karşı karşıya kaldıklarında, hastane acil bakım kapasiteleri (yoğun bakım üniteleri, ameliyat odaları, ekipman ve sağlık personeli) ve acil ulaşım kapasiteleri (ambulanslar ve ilgili yaşam destek personeli) yetersiz kalmaktadır. Bu zorlu şartlar altında, tıbbi müdahale koordinasyonu ve kıt kaynak kullanımı önemli ölçüde hayat kurtarıcı olmaktadır.

Afete müdahale, birçok kuruluşun etkileşimini ve koordinasyonunu gerektirir. Geçici sahra hastanelerinin bulunması ve yaralıların hastanelere atanması doğal afet yönetiminde anahtar konulardır. Mevcut hastanelerin acil servis birimlerinin kapasitelerinin, İstanbul'da ciddi bir deprem olması durumunda yaralılar için yeterli olmaması beklenmektedir. Bu nedenle, felaketin ardından hızla inşa edilecek ve ek kapasite görevi görececek olan sahra hastanelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ele alınan problem, sahra hastanelerinin en uygun yerlerinin belirlenmesi ve yaralıların hastanelere atanmasıdır. Sahra hastanelerinin en uygun yerlerinin belirlenmesi yaralıların mevcut hastanelere ve açılan sahra hastanelerine en uygun şekilde atanması, yanıt verme süresinin azaltılmasına ve kapasitenin verimli kullanılmasına yardımcı olacaktır.

Problem yapısı NP-Zor sınıfta olması ve matematiksel modellerin çok uzun sürelerde çözüm üretmesi ya da çözüm üretmede yetersiz kalmasından dolayı problemin çözümü

için metasezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritmaya başvurulmuştur. Genetik algoritmalar, büyük ölçekli kombinatoryal optimizasyon problemlerinde sezgiseller geliştirmek için güçlü ve sağlam bir yaklaşımı temsil eder. Çalışma kapsamında farklı çaprazlama (birleşim çaprazlama ve iki noktalı çaprazlama) ve farklı yer değiştirme tipleri (yeni jenerasyon için popülasyondaki en kötü bireyi değiştirme ve yeni jenerasyon için popülasyondaki en kötü %50 bireyi değiştirme) ile 4 farklı GA geliştirilmiştir. Optimal sonucu bilinen veri seti ile deneysel çalışma gerçekleştirilerek geliştirilen 4 genetik algoritmanın performansı kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmada iki noktalı çaprazlama ile geliştirilen algoritmaların birleşim çaprazlama ile geliştirilen algoritmaya göre optimal sonucu bulmada yetersiz kaldığı sonucu elde edilmiştir. Birleşim çaprazlama ile geliştirilen 2 algoritma da optimal sonucu çoklu koşum sonucunda elde etmiştir. Birleşim çaprazlama&en kötü 1 bireyi değiştirme algoritması birleşim çaprazlama&en kötü %50 bireyi değiştirme algoritmasından daha hızlı bir şekilde optimal sonuca ulaşmıştır. Deneysel çalışma sonucunda 4 GA arasından birleşim çaprazlama&en kötü 1 bireyi değiştirme özelliklerine sahip algoritmanın daha iyi performans gösterdiği sonucu elde edilmiş ve gerçek veri setinin çözümünde kullanılmıştır.

Afet sonrası en fazla ağır yaralı olacağı düşünülen ilçeler; Fatih, Küçükçekmece ve Bahçelievler'dir. Uygulama bölümü'nde gerçek İstanbul verisi olarak Küçükçekmece ve Bahçelievler ilçelerine çözüm oluşturulmuştur. Mesafe kısıtı olmadan problem çözülmüş ve ağır yaralıların seyahat sürelerinin minimum olması önem arz ettiğinden yaralıların hastaneye atanmasında mesafe kısıtı eklenerek 2. Model çözülmüş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Mesafe kısıtı eklendiğinde yaralılar yakınlarında bulunan hastanelere atandığından seyahat maliyeti azalsa da daha fazla sahra hastanesi açılması gerektiğinden kurulum maliyeti artmış ve toplam maliyet artmıştır.

Duyarlılık analizi ile mesafe kısıtı (mesafe kısıtı yok, mesafe kısıtı: 5 km, mesafe kısıtı: 3 km), sahra hastanesi kapasitesi (208 kişi, 416 kişi), yaralı sayısı (JICA Raporu'na göre muhtemel senaryo olan Model A, en kötü senaryo olan Model C verileri) değiştirilerek modeller çoklu koşum ile tekrar çözülmüş ve en az maliyeti veren kromozom ele alınmıştır. 10 model kıyaslandığında en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip olan Model 4'ün özelliklerine bakıldığında mesafe kısıtı 5 km, muhtemel senaryo olan Model A'daki yaralı sayıları ve sahra hastanesi kapasitesi 416 kişidir.

Model sonuçları kıyaslandığında, yaralı sayısı ve sahra hastanesi kurulum maliyeti sabit olan mesafe kısıtının değıştiği modeller incelendiğinde mesafe kısıtı yarıçapı azaldıkça açılan sahra hastanesi sayısı arttığından seyahat maliyeti azalsa da toplam maliyet artmaktadır.

Yaralı sayısı ve mesafe kısıtı aynı olup sahra hastanesi kapasitesi ve dolayısıyla kurulum maliyeti arttığında ise açılan sahra hastanesi sayısı oldukça azalmaktadır.

Sahra hastanesi kapasitesi ve mesafe kısıtı aynı olup yaralı sayısı değıştiğinde yaralı sayısının artışına göre seyahat maliyeti ve kurulum maliyeti doğru orantılı olarak artmaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda, depremde etkilenecek olan bina ve yolların alacağı hasarlar da dikkate alınarak kapanacak yollar, trafik yoğunluğu parametre olarak eklenebilir. Farklı meta sezgisel yöntemler ile genetik algoritmanın performansı kıyaslanabilir.



KAYNAKLAR

- Ahuja, R.K., Orlin, J.B. & Tiwari, A.** (2000). A greedy genetic algorithm for the quadratic assignment problem, *Computers & Operations Research*, 27, 917-934.
- Arabzad, S.M., Ghorbani, M. & Zolfani, S.H.** (2015). A Multi-Objective Robust Optimization Model for a Facility Location-Allocation Problem in a Supply Chain under Uncertainty, *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 26, 227-238.
- Balcik, B. & Beamon, B.M.** (2008). Facility location in humanitarian relief, *International Journal of Logistics*, 11, 101-121.
- Barzoinpour, F., Saffarian, M., Makoui, A. & Teimoury, E.** (2014). Metaheuristic Algorithm for Solving Biobjective Possibility Planning Model of Location-Allocation in Disaster Relief Logistics, *Journal of Applied Mathematics*, 2014, 17 sayfa.
- Boonmee, C., Arimura, M. & Asada, T.** (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 485-498.
- Church, R. & Velle, Cr.** (1974). The maximal covering location problem. *Papers Region Sci*, 32, 101-118.
- Comber, A., Dickie, J., Jarvis, C., Phillips, M. & Tansey, K.** (2015). Locating bioenergy facilities using a modified GIS-based location– allocation-algorithm: Considering the spatial distribution of resource supply, *Applied Energy*, 154, 309-316.
- Derbel, H., Jarboui, B., Hanafi, S. & Chabchoub, H.** (2012). Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem. *Expert Systems with Applications*, 39, 2865-2871.
- Dumahel, C., Santos, A.C., Brasil, D., Chatelet, E. & Birregah, B.** (2016). Connecting a population dynamic model with a multi-period location-allocation problem for post-disaster relief operations, *Annals of Operations Research*, 247, 693-713.
- Ghasemi, P., Khalili-Damghani, K., Hafezalkotob, A. & Raissi, S.** (2019). Uncertain multi-objective multi-commodity multi-period multi-vehicle location-allocation model for earthquake evacuation planning, *Applied Mathematics and Computation*, 350, 105-132.

- Marianov, V. & Serra, D.** (2002). Location–Allocation of Multiple-Server Service Centers with Constrained Queues or Waiting Times, *Annals of Operations Research*, 111, 35-50.
- Memari, P., Tavakkoli-Moghaddam, R., Partovi, M. & Zabihian, A.** 2018. Fuzzy Dynamic Location-Allocation Problem with Temporary Multi-Medical Centers in Disaster Management. *International Congress - International Federation of Automatic Control PapersOnline*, 51, 1554-1560.
- Mestre, A.M., Oliveira, M.D. & Barbosa-Povoa, A.P.** (2015). Location-allocation approaches for hospital network planning under uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 240, 791-806.
- Saeidian, B., Mesgari, M.S. & Ghodousi, M.** (2016). Evaluation and comparison of Genetic Algorithm and Bees Algorithm for location–allocation of earthquake relief centers, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 15, 94-107.
- Salman, F.S. & Gül, S.** (2014). Deployment of field hospitals in mass casualty incidents, *Computers & Industrial Engineering*, 74, 37-51.
- Salman, F.S. & Yücel, E.** (2015). Emergency facility location under random network damage: Insights from the Istanbul case, *Computers & Operations Research*, 62, 266-281.
- Sule, D.R.** (2001). Logistics of Facility Location and Allocation, 10, New York, Marcel Dekker Inc.
- Sha, Y. & Huang, J.** (2012). The Multi-period Location-allocation Problem of Engineering Emergency Blood Supply Systems, *Systems Engineering Procedia*, 5, 21-28.
- Tavana, M., Abtahi, A.R., Caprio, D.D., Hashemi, R. & Yousefi-Zenouz, R.** (2018). An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre- and post-disaster management considerations, *Socio-Economic Planning Sciences*, 64, 21-37.
- Wang, K.J. & Lee, C.H.** (2015). A revised ant algorithm for solving location-allocation problem with risky demand in a multi-echelon supply chain network, *Applied Soft Computing*, 32, 311-321.
- Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R. & Pishvae, M.S.** (2014). A robust possibilistic programming approach to multi-period location–allocation of organ transplant centers under uncertainty, *Computers & Industrial Engineering*, 74, 139-148.
- Url-1**<<https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/kitaplar/dogalafet-2016.pdf>>, erişim tarihi 08.10.2019.
- Url-2**<https://www.who.int/hac/global_health_cluster/fmt_guidelines_september2013.pdf?ua=1>, erişim tarihi 04.11.2019.
- Url-3**<<https://www.nufusune.com/kucukcekmece-mahalleleri-koyleri-istanbul>>, erişim tarihi 03.04.2020.

Url-4<<https://www.nufusune.com/bahcelievler-mahalleleri-koyleri-istanbul>>, erişim tarihi 03.04.2020.

Url-5<<https://dosyaism.saglik.gov.tr/Eklenti/73132,2019-yili-ozel-ambulans-ucet-tespit-komisyon-kararipdf.pdf?0>>, erişim tarihi 01.04.2020.

Url-6<<http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/DepremSite/PublishingImages/JICA-TUR.pdf>>, erişim tarihi 25.03.2020.

Url-7<<https://dosyamerkez.saglik.gov.tr/Eklenti/15025,eklerpdf.pdf?0>>, erişim tarihi 25.03.2020.

Url-8<http://ookgm.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2018_01/18102309_OZEL_OGRETIM_KURUMLARI_STANDARTLAR_YONERGESI.pdf>, erişim tarihi 07.04.2020.





EKLER

EK A-1: Model C yaralı sayıları

EK A-2: Model A yaralı sayıları

EK B-1: Genetik algoritmanın atama ve kurulum maliyeti hesaplama kodu

EK B-2: Genetik algortmada birleşim çaprazlamanın bir kısmı



EK A-1**Çizelge A. 1 : Model C'ye göre yaralı lokasyonları.**

#	İlçe	Mahalle	Nüfus	Ağır Yaralı Sayısı K.Çekm.:%1.4 B.evler:%1.7	Yaralı Lok. Yaralı Sayısı
1	K.çekmece	Atakent Mah.	98807	1384	153
2	K.çekmece	Atakent Mah.			153
3	K.çekmece	Atakent Mah.			154
4	K.çekmece	Atakent Mah.			154
5	K.çekmece	Atakent Mah.			154
6	K.çekmece	Atakent Mah.			154
7	K.çekmece	Atakent Mah.			154
8	K.çekmece	Atakent Mah.			154
9	K.çekmece	Atakent Mah.			154
10	K.çekmece	Atatürk Mah.	43223	606	151
11	K.çekmece	Atatürk Mah.			151
12	K.çekmece	Atatürk Mah.			152
13	K.çekmece	Atatürk Mah.			152
14	K.çekmece	Beşyol Mah.	3798	54	54
15	K.çekmece	Cennet Mah.	30366	426	142
16	K.çekmece	Cennet Mah.			142
17	K.çekmece	Cennet Mah.			142
18	K.çekmece	Cumhuriyet Mah.	53147	745	149
19	K.çekmece	Cumhuriyet Mah.			149
20	K.çekmece	Cumhuriyet Mah.			149
21	K.çekmece	Cumhuriyet Mah.			149
22	K.çekmece	Cumhuriyet Mah.			149
23	K.çekmece	Fatih Mah.	11128	156	156
24	K.çekmece	Fevzi Çakmak Mah.	26088	366	122
25	K.çekmece	Fevzi Çakmak Mah.			122
26	K.çekmece	Fevzi Çakmak Mah.			122
27	K.çekmece	Gültepe Mah.	30751	431	143
28	K.çekmece	Gültepe Mah.			144
29	K.çekmece	Gültepe Mah.			144
30	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.	80350	1125	160
31	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			160
32	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			161
33	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			161
34	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			161
35	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			161
36	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			161

Çizelge A. 1 (devam): Model C'ye göre yaralı lokasyonları.

37	K.çekmece	İnönü Mah.	73813	1034	172
38	K.çekmece	İnönü Mah.			172
39	K.çekmece	İnönü Mah.			172
40	K.çekmece	İnönü Mah.			172
41	K.çekmece	İnönü Mah.			173
42	K.çekmece	İnönü Mah.			173
43	K.çekmece	İstasyon Mah.	40475	567	141
44	K.çekmece	İstasyon Mah.			142
45	K.çekmece	İstasyon Mah.			142
46	K.çekmece	İstasyon Mah.			142
47	K.çekmece	Kanarya Mah.	69484	973	162
48	K.çekmece	Kanarya Mah.			162
49	K.çekmece	Kanarya Mah.			162
50	K.çekmece	Kanarya Mah.			162
51	K.çekmece	Kanarya Mah.			162
52	K.çekmece	Kanarya Mah.			163
53	K.çekmece	Kartaltepe Mah.	13329	187	93
54	K.çekmece	Kartaltepe Mah.			94
55	K.çekmece	Kemalpaşa Mah.	14717	207	103
56	K.çekmece	Kemalpaşa Mah.			104
57	K.çekmece	Mehmet Akif Mah.	53804	754	150
58	K.çekmece	Mehmet Akif Mah.			151
59	K.çekmece	Mehmet Akif Mah.			151
60	K.çekmece	Mehmet Akif Mah.			151
61	K.çekmece	Mehmet Akif Mah.			151
62	K.çekmece	Söğütlü Çeşme Mah.	33458	469	156
63	K.çekmece	Söğütlü Çeşme Mah.			156
64	K.çekmece	Söğütlü Çeşme Mah.			157
65	K.çekmece	Sultan Murat Mah.	14891	209	104
66	K.çekmece	Sultan Murat Mah.			105
67	K.çekmece	Tevfikbey Mah.	37099	520	130
68	K.çekmece	Tevfikbey Mah.			130
69	K.çekmece	Tevfikbey Mah.			130
70	K.çekmece	Tevfikbey Mah.			130
71	K.çekmece	Yarımburgaz Mah.	9926	139	139
72	K.çekmece	Yeni Mahalle Mah.	20444	287	143
73	K.çekmece	Yeni Mahalle Mah.			144
74	K.çekmece	Yeşilova Mah.	33722	473	157
75	K.çekmece	Yeşilova Mah.			158
76	K.çekmece	Yeşilova Mah.			158

Çizelge A. 1 (devam): Model C'ye göre yaralı lokasyonları.

77	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.	61726	1050	150
78	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			150
79	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			150
80	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			150
81	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			150
82	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			150
83	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			150
84	Bahçelievler	Cumhuriyet Mah.	41044	698	139
85	Bahçelievler	Cumhuriyet Mah.			139
86	Bahçelievler	Cumhuriyet Mah.			140
87	Bahçelievler	Cumhuriyet Mah.			140
88	Bahçelievler	Cumhuriyet Mah.			140
89	Bahçelievler	Çobançeşme Mah.	34430	586	146
90	Bahçelievler	Çobançeşme Mah.			146
91	Bahçelievler	Çobançeşme Mah.			147
92	Bahçelievler	Çobançeşme Mah.			147
93	Bahçelievler	Fevzi Çakmak Mah.	25701	437	145
94	Bahçelievler	Fevzi Çakmak Mah.			146
95	Bahçelievler	Fevzi Çakmak Mah.			146
96	Bahçelievler	Hürriyet Mah.	52081	886	147
97	Bahçelievler	Hürriyet Mah.			147
98	Bahçelievler	Hürriyet Mah.			148
99	Bahçelievler	Hürriyet Mah.			148
100	Bahçelievler	Hürriyet Mah.			148
101	Bahçelievler	Hürriyet Mah.			148
102	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah	74081	1260	157
103	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			157
104	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			157
105	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			157
106	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			158
107	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			158
108	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			158
109	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			158
110	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.	65518	1114	159
111	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			159
112	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			159
113	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			159
114	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			159
115	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			159
116	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			160

Çizelge A. 1 (devam): Model C'ye göre yaralı lokasyonları.

117	Bahçelievler	Soğanlı Mah.	70571	1200	150
118	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			150
119	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			150
120	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			150
121	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			150
122	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			150
123	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			150
124	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			150
125	Bahçelievler	Şirinevler Mah.	64189	1092	156
126	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			156
127	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			156
128	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			156
129	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			156
130	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			156
131	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			156
132	Bahçelievler	Yenibosna Merkez Mah	35737	608	152
133	Bahçelievler	Yenibosna Merkez Mah			152
134	Bahçelievler	Yenibosna Merkez Mah			152
135	Bahçelievler	Yenibosna Merkez Mah			152
136	Bahçelievler	Zafer Mah.	85981	1462	162
137	Bahçelievler	Zafer Mah.			162
138	Bahçelievler	Zafer Mah.			162
139	Bahçelievler	Zafer Mah.			162
140	Bahçelievler	Zafer Mah.			162
141	Bahçelievler	Zafer Mah.			163
142	Bahçelievler	Zafer Mah.			163
143	Bahçelievler	Zafer Mah.			163
144	Bahçelievler	Zafer Mah.			163

EK A-2**Çizelge A. 2 : Model A'ya göre yaralı lokasyonları.**

#	İlçe	Mahalle	Nüfus	Ağır Yaralı Sayısı K.Çekm.:%1.3 B.evler:%1.6	Yaralı Lok. Yaralı Sayısı
1	K.çekmece	Atakent Mah.	98807	1285	142
2	K.çekmece	Atakent Mah.			142
3	K.çekmece	Atakent Mah.			143
4	K.çekmece	Atakent Mah.			143
5	K.çekmece	Atakent Mah.			143
6	K.çekmece	Atakent Mah.			143
7	K.çekmece	Atakent Mah.			143
8	K.çekmece	Atakent Mah.			143
9	K.çekmece	Atakent Mah.			143
10	K.çekmece	Atatürk Mah.	43223	562	140
11	K.çekmece	Atatürk Mah.			140
12	K.çekmece	Atatürk Mah.			141
13	K.çekmece	Atatürk Mah.			141
14	K.çekmece	Beşyol Mah.	3798	50	50
15	K.çekmece	Cennet Mah.	30366	395	131
16	K.çekmece	Cennet Mah.			132
17	K.çekmece	Cennet Mah.			132
18	K.çekmece	Cumhuriyet Mah.	53147	691	138
19	K.çekmece	Cumhuriyet Mah.			138
20	K.çekmece	Cumhuriyet Mah.			138
21	K.çekmece	Cumhuriyet Mah.			138
22	K.çekmece	Cumhuriyet Mah.			139
23	K.çekmece	Fatih Mah.	11128	145	145
24	K.çekmece	Fevzi Çakmak Mah.	26088	340	113
25	K.çekmece	Fevzi Çakmak Mah.			113
26	K.çekmece	Fevzi Çakmak Mah.			114
27	K.çekmece	Gültepe Mah.	30751	400	133
28	K.çekmece	Gültepe Mah.			133
29	K.çekmece	Gültepe Mah.			134
30	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.	80350	1045	149
31	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			149
32	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			149
33	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			149
34	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			149
35	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			150
36	K.çekmece	Halkalı Merkez Mah.			150

Çizelge A. 2 (devam) : Model A'ya göre yaralı lokasyonları.

37	K.çekmece	İnönü Mah.	73813	960	160
38	K.çekmece	İnönü Mah.			160
39	K.çekmece	İnönü Mah.			160
40	K.çekmece	İnönü Mah.			160
41	K.çekmece	İnönü Mah.			160
42	K.çekmece	İnönü Mah.			160
43	K.çekmece	İstasyon Mah.	40475	527	131
44	K.çekmece	İstasyon Mah.			132
45	K.çekmece	İstasyon Mah.			132
46	K.çekmece	İstasyon Mah.			132
47	K.çekmece	Kanarya Mah.	69484	904	150
48	K.çekmece	Kanarya Mah.			150
49	K.çekmece	Kanarya Mah.			151
50	K.çekmece	Kanarya Mah.			151
51	K.çekmece	Kanarya Mah.			151
52	K.çekmece	Kanarya Mah.			151
53	K.çekmece	Kartaltepe Mah.	13329	174	87
54	K.çekmece	Kartaltepe Mah.			87
55	K.çekmece	Kemalpaşa Mah.	14717	192	96
56	K.çekmece	Kemalpaşa Mah.			96
57	K.çekmece	Mehmet Akif Mah.	53804	700	140
58	K.çekmece	Mehmet Akif Mah.			140
59	K.çekmece	Mehmet Akif Mah.			140
60	K.çekmece	Mehmet Akif Mah.			140
61	K.çekmece	Mehmet Akif Mah.			140
62	K.çekmece	Söğütlü Çeşme Mah.	33458	435	145
63	K.çekmece	Söğütlü Çeşme Mah.			145
64	K.çekmece	Söğütlü Çeşme Mah.			145
65	K.çekmece	Sultan Murat Mah.	14891	194	97
66	K.çekmece	Sultan Murat Mah.			97
67	K.çekmece	Tevfikbey Mah.	37099	483	120
68	K.çekmece	Tevfikbey Mah.			121
69	K.çekmece	Tevfikbey Mah.			121
70	K.çekmece	Tevfikbey Mah.			121
71	K.çekmece	Yarımburgaz Mah.	9926	130	140
72	K.çekmece	Yeni Mahalle Mah.	20444	266	133
73	K.çekmece	Yeni Mahalle Mah.			133
74	K.çekmece	Yeşilova Mah.	33722	439	146
75	K.çekmece	Yeşilova Mah.			146
76	K.çekmece	Yeşilova Mah.			147
77	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.	61726	988	141
78	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			141
79	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			141
80	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			141
81	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			141
82	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			141
83	Bahçelievler	Bahçelievler Mah.			142

Çizelge A. 2 (devam) : Model A'ya göre yaralı lokasyonları.

84	Bahçelievler	Cumhuriyet Mah.	41044	657	131
85	Bahçelievler	Cumhuriyet Mah.			131
86	Bahçelievler	Cumhuriyet Mah.			131
87	Bahçelievler	Cumhuriyet Mah.			132
88	Bahçelievler	Cumhuriyet Mah.			132
89	Bahçelievler	Çobançeşme Mah.	34430	551	137
90	Bahçelievler	Çobançeşme Mah.			138
91	Bahçelievler	Çobançeşme Mah.			138
92	Bahçelievler	Çobançeşme Mah.			138
93	Bahçelievler	Fevzi Çakmak Mah.	25701	412	137
94	Bahçelievler	Fevzi Çakmak Mah.			137
95	Bahçelievler	Fevzi Çakmak Mah.			138
96	Bahçelievler	Hürriyet Mah.	52081	834	139
97	Bahçelievler	Hürriyet Mah.			139
98	Bahçelievler	Hürriyet Mah.			139
99	Bahçelievler	Hürriyet Mah.			139
100	Bahçelievler	Hürriyet Mah.			139
101	Bahçelievler	Hürriyet Mah.			139
102	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah	74081	1186	148
103	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			148
104	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			148
105	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			148
106	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			148
107	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			148
108	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			149
109	Bahçelievler	Kocasinan Merkez Mah			149
110	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.	65518	1049	149
111	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			150
112	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			150
113	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			150
114	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			150
115	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			150
116	Bahçelievler	Siyavuşpaşa Mah.			150
117	Bahçelievler	Soğanlı Mah.	70571	1130	141
118	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			141
119	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			141
120	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			141
121	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			141
122	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			141
123	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			142
124	Bahçelievler	Soğanlı Mah.			142

Çizelge A. 2 (devam) : Model A'ya göre yaralı lokasyonları.

125	Bahçelievler	Şirinevler Mah.	64189	1028	146
126	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			147
127	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			147
128	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			147
129	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			147
130	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			147
131	Bahçelievler	Şirinevler Mah.			147
132	Bahçelievler	Yenibosna Merkez Mah	35737	572	143
133	Bahçelievler	Yenibosna Merkez Mah			143
134	Bahçelievler	Yenibosna Merkez Mah			143
135	Bahçelievler	Yenibosna Merkez Mah			143
136	Bahçelievler	Zafer Mah.	85981	1376	152
137	Bahçelievler	Zafer Mah.			153
138	Bahçelievler	Zafer Mah.			153
139	Bahçelievler	Zafer Mah.			153
140	Bahçelievler	Zafer Mah.			153
141	Bahçelievler	Zafer Mah.			153
142	Bahçelievler	Zafer Mah.			153
143	Bahçelievler	Zafer Mah.			153
144	Bahçelievler	Zafer Mah.			153

EK B-1

Çizelge B. 1 : Genetik algoritmanın atama ve kurulum maliyeti hesaplama kodu.

```
194 %atama maliyeti hesabı. Kromozomlardan elde edilen atamalar sayesinde atama
195 %matrisi oluşturuldu. distance*atama ile atama maliyeti bulundu.
196 for i=1:length(patloc) %yaralı lokasyonu sayısı
197     for j=1:length(hast_loc) %hastane sayısı
198         atananhastane=kromozom(i);
199         if j==atananhastane
200             atama(i,j)=number_patient(i);
201         else
202             atama(i,j)=0;
203         end
204     end
205 end
206 % disp('atama:');
207 % disp(atama);
208 % disp('distance');
209 % disp(distance);
210 carpim=atama.*distance;
211 carpim=2*round(carpim);
212 %disp(carpim);
213 atamamaliyeti=5.5*sum(carpim(:));
214 atamamlyti(a)=atamamaliyeti+140*sum(number_patient(:));
215 %%disp('atama maliyeti:');
216 %%disp(atamamaliyeti);
217 %%disp(['kromozom' ' ' num2str(a)]);
218 %%disp(kromozom);
219 x=zeros(1,length(hast_loc)); %hastane sayısı
220 sayac=0;
221 for i=1:length(hast_loc) %hastane sayısı
222     if i<mevcut+1 %mevcut hastane sayısı
223         x(i)=0;
224     else
225         for j=1:length(patloc) %yaralı lok sayısı
226             if kromozom(j)==i
227                 sayac=sayac+1;
228                 if sayac>0
229                     x(i)=1;
230                 else
231                     x(i)=0;
232                 end
233             end
234             j=j+1;
235         end
236     end
237     i=i+1;
238 end
239 %%disp('açılan field hospitaller');
240 %%disp(x);
241 fieldhospsetupcost=x.*setupfh;
242 setupcost=sum(fieldhospsetupcost(:));
243 setupcst(a)=setupcost;
244 % disp('setup cost:');
245 % disp(setupcost);
246 baslangiccozumu(a,1:length(patloc))=kromozom; %yaralı lok sayısı
247 a=a+1;
248 end
249 disp('baslangiccozumu');
250 disp(baslangiccozumu);
251 uygdegeri=atamamlyti+setupcst;
```

Çizelge B. 2 : Genetik alırtmada birleşim çaprazlamanın bir kısmı.

```

1067 %CROSSOVER (UNION OPERATORU İLE ÇAPRAZLAMA)
1068 C1=zeros(1,length(patloc));
1069 C2=zeros(1,length(patloc));
1070 %ebeveyn 1 ve ebeveyn 2nin aynı olan genlerini direkt çocuklara ata
1071 for i=1:length(patloc)
1072     if ebeveyn1(i)==ebeveyn2(i)
1073         C1(1,i)=ebeveyn1(i);
1074         C2(1,i)=ebeveyn2(i);
1075     end
1076 end
1077 %disp('aynı genleri atadıktan sonra 1');
1078 %disp(C1);
1079 %disp('aynı genleri atadıktan sonra 2');
1080 %disp(C2);
1081 cap_hast=[240 320 160 320 320 240 160 160 240 160 320 160 160 240 320 240
1082 atananhospitalC1=0;
1083 cap_hast_C1icin=zeros(1,length(hast_loc));
1084 for j=1:length(patloc)
1085     if C1(1,j)==0
1086         j=j+1;
1087     else
1088         atananhospitalC1=C1(1,j);
1089         cap_hast(atananhospitalC1)=cap_hast(atananhospitalC1)-number_patient
1090     end
1091 end
1092 cap_hast_C1icin=cap_hast;
1093 %disp('C1 için gncel hastane kapasiteleri');
1094 %disp(cap_hast_C1icin);
1095 cap_hast=[240 320 160 320 320 240 160 160 240 160 320 160 160 240 320 240
1096 atananhospitalC2=0;
1097 cap_hast_C2icin=zeros(1,length(hast_loc));
1098 for j=1:length(patloc)
1099     if C2(1,j)==0
1100         j=j+1;
1101     else
1102         atananhospitalC2=C2(1,j);
1103         cap_hast(atananhospitalC2)=cap_hast(atananhospitalC2)-number_patient
1104     end
1105 end
1106 cap_hast_C2icin=cap_hast;
1107 %disp('C2 için gncel hastane kapasiteleri');
1108 %disp(cap_hast_C2icin);
1109 %farklı genlerini rastgele ve kapasite kontrolü yaparak ata
1110 atanan=zeros(1,2);
1111 point1=0;
1112 point2=0;
1113 for i=1:length(patloc)
1114     if ebeveyn1(i)~=ebeveyn2(i)
1115         altbir=ebeveyn1(i);
1116         altiki=ebeveyn2(i);
1117         %iki hastanede de kapasite varsa
1118         if cap_hast_C1icin(altbir)>=number_patient(i) && cap_hast_C1icin(
1119             ran=round(1+1*rand(1)); %1 ya da 2 sayısını üretiyor
1120         if ran==1
1121             C1(1,i)=altbir;
1122             C2(1,i)=altiki;
1123             %atadıktan sonra kapasite güncelle
1124             cap_hast_C1icin(altbir)=cap_hast_C1icin(altbir)-num
1125             %disp('C1');
1126             %disp(C1);

```



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Yeşim Kömürcü
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.09.1995 / Bakırköy
E-posta : yesmylmzz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölüm

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Haliç Üniversitesi, 2019- Devam, Araştırma Görevlisi
- İstanbul Üniversitesi Teknokent, 2018, İş Geliştirme Uzman Yardımcısı
- Bosch – Siemens Ev Aletleri San. Tic. A.Ş., 2016-2017, Uzun Dönem Proje Öğrencisi
- Mercedes Benz A.Ş., 2015, Bilgisayar Stajı
- Öztiryakiler Endüstriyel Mutfak A.Ş., 2014, Üretim Stajı

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kömürcü, Y. ve Yanık, S.** 2020. Using GA for Locating Post-Disaster Field Hospitals: The Case of Istanbul. *International Congress - INFUS*, July 21-23, 2020 İzmir, Türkiye.