



**112 ACİL SAĞLIK HİZMETLERİNİN EN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN
BÜTÜNCÜL BİR YAKLAŞIM**

Fatih KARAÇOR

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fatih KARAÇOR

16/01/2025

112 ACİL SAĞLIK HİZMETLERİNİN EN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN BÜTÜNCÜL BİR YAKLAŞIM

(Doktora Tezi)

Fatih KARAÇOR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2025

ÖZET

Acil Sağlık Hizmetleri (ASH), ani hastalık veya kaza sonucu yaralanma durumunda hastalara hız tıbbi müdahale sağlama ve bu kişileri gerekli durumlarda tabii destek merkezlerine nakletme sorumluluğunu üstlenir. Acil Sağlık Hizmetleri'ndeki ilerleyiş Türkiye'de 1980'lerin sonunda başlamıştır. Hekim, hemşire ve şoför olarak ekip halinde ilk kez beraber ambulans içinde 1994 yılında "112 Acil Yardım ve Kurtama" adı beraber çalışmışlardır. Ambulansların konuşlandığı merkezlerin konumlarının seçimine ilişkin ilk modeller 1970'lerde geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında Türkiye'nin Büyükşehirlerinden olan Konya ilinin merkez 3 ilçesi (Meram, Selçuklu ve Karatay) beş dakikalık aralıklar ile bir yıllık hız verileri ve 33'ü mevcut tesis 63'ü aday tesis olmak üzere 96 tesis konumu kullanılarak ASH bünyesinde kullanılan ambulansların kapsama alanı vakaya intikal süreleri ile değerlendirilmiştir. Bu kapsamda mevcut tesislerin yeterli olup olmadığının tespiti (Durum 0), yeni ilave tesis gerekliliği (Durum 1) ve tüm sistemin baştan atanması (Durum 2) durumlarının analizinin yapılabileceği bir matematiksel model geliştirilmiştir. Ayrıca nüfusun demografik yapısını göz önüne alarak bir yıllık vaka setleri oluşturulmuş ve oluşturulan vaka setlerinin tüm durumlar için tekrar analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre talep noktalarından eşit ağırlıklı talep gelmesi durumunda; 33 mevcut tesis ile taleplerin %67,23'lük kısmı 8 dakikalık seyahat süresi ile karşılanmıştır (Durum 0). Elde edilen kapsama alanı 6 ilave tesis (39 tesis) ile %90,65'e yükselmiştir (Durum 1). Tüm tesisler konumlarının baştan belirlendiği durumda ise 36 tesis ile %90,43'lük bir kapsama alanı bulunmuştur. Son olarak oluşturulan veri setleri ile analizler yapıldığında Durum 0'da kapsama miktarı artarken diğer durumlarda düşmüştür. Talep noktalarından gelen taleplerin ağırlıklı olarak belirlendiği veri setlerinin %90'lık kapsama alanı için Durum 1 için iki ilave tesis ve Durum 2 için bir ilave tesis gerekli olmuştur. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde sistemde harcanan sürenin minimum yapılması kapsama alanının artırılmasına yönelik geliştirilen matematiksel modelin başarı ile çalıştığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 91124

Anahtar Kelimeler : Acil tıbbi hizmetlerin yer seçimi, Matematiksel modelleme ve Optimizasyon

Sayfa Adedi : 101

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Hikmet BAYIRTEPE

A INTEGRATIVE APPROACH FOR THE OPTIMIZATION OF 112 EMERGENCY HEALTH SERVICES

(Ph. D. Thesis)

Fatih KARAÇOR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2025

ABSTRACT

The responsibility of Emergency Medical Services (EMS) is to provide rapid medical intervention to patients in the event of sudden illness or accidental injury, and to facilitate their transportation to medical support centres when necessary. The development of emergency health services commenced in Turkey in the late 1980s. In 1994, the first instance of physicians, nurses and drivers working together as a team in an ambulance occurred under the designation "112 Emergency Aid and Rescue". The initial models for the location selection of ambulance centres were developed in the 1970s. This thesis evaluates the coverage area of the ambulances used in the EMS, analysing the arrival times of the ambulances at five-minute intervals over the course of one year. The analysis was conducted in three central districts of Konya province (Meram, Selçuklu and Karatay), which is one of Turkey's metropolitan cities. Additionally, the study considered 96 facility locations, of which 33 are existing facilities and 63 are candidate facilities. In this context, a mathematical model was developed to analyse the sufficiency of the existing facilities (Case 0), the necessity of new additional facilities (Case 1) and the potential for an entire system reassignment (Case 2). Furthermore, in consideration of the demographic structure of the population, one-year case sets were constructed and the case sets were subjected to a second analysis for all cases. The results of the analysis indicated that, in the event of equal weighted demand from demand points, 67.23% of the demands were met with 33 existing facilities, with a travel time of 8 minutes (Case 0). The coverage increased to 90.65% with the addition of six facilities (Case 1). In the case where the locations of all facilities were determined from the outset, a coverage of 90.43% was found with 36 facilities. Ultimately, the analyses conducted with the generated data sets revealed an increase in coverage for Case 0 and a decrease in the other cases. The incorporation of two additional facilities for Case 1 and one additional facility for Case 2 was necessary to achieve 90% coverage of the data sets, where the demands from the demand points were predominantly determined. Upon comprehensive evaluation of these findings, it can be concluded that the mathematical model developed to minimise the time spent in the system and increase the coverage area is an effective approach.

Science Code : 91124

Key Words : Location of emergency medical services, Modeling, and optimization

Page Number : 101

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Hikmet BAYIRTEPE

TEŞEKKÜR

Yürütmüş olduğum bu tez çalışması kapsamında, tez yazım süreci öncesi ve sırasında kaynak, bilgi, tavsiye ve yönlendirmeleri ile bana her konuda yardımcı olan değerli Doç. Dr. Emre TOPÇU, Doç. Dr. M. Kürşat ÇUBUK, Doç. Dr. Ebru ARIKAN ÖZTÜRK ve Dr. Öğr. Üyesi Seda HATİPOĞLU hocalarıma, tüm eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ve her konuda yanımda olan başta oğlum Halil Efe KARAÇOR olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim. Doktora çalışmam boyunca TÜBİTAK BİDEB-2211/A programından destek aldım. Bu burs için minnettarım ve programın gelecekte de birçok genç bilim insanını destekleyebileceğini umuyorum.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. AMBULANS TESİSLERİNİN KONUM PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....	7
2.1. Kapsama Tabanlı Konum Problemleri.....	9
2.1.1. Set kapsama problemleri.....	9
2.1.2. Maksimal konum kapsama problemleri	10
2.1.3. p-Merkez konum problemleri	14
2.2. Medyan Tabanlı Konum Problemleri.....	15
2.2.1. p-medyan.....	15
2.2.2. Sabit şarjlı konum sorunu.....	16
2.3. Kuyruk Tabanlı Modeller.....	16
2.3.1. Hiperküp sıralama modeli.....	17
2.3.2. Düzeltilmiş beklenen maksimum konum kapsama problemi	18
2.3.3. Genişletilmiş maksimal kullanılabilir konum problemi.....	18
2.4. Çözüm Yöntemleri	19
2.5. Literatür Taraması	20

Sayfa

3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Çalışma Alanı.....	23
3.2. Veri Setleri	24
3.2.1. Acil sağlık hizmetleri istasyonlarının konumları	24
3.2.2. Talep noktaları ve talep tahmini.....	26
3.2.3. Seyahat süreleri	27
3.2.4. Pathlerin belirlenmesi.....	29
3.3. Konum Modeli	31
3.3.1. Setler ve parametreler	32
3.3.2. Karar değişkenleri	32
3.3.3. Modellerin formülasyonu.....	32
3.4. Durumlar	35
3.4.1. Mevcut durum (Durum 0)	35
3.4.2. Yeni istasyon tahsisi (Durum 1).....	36
3.4.3. Yeni istasyon tahsisi (Durum 2).....	36
3.4.4. Oluşturulan veri seti ile durumların test edilmesi	36
3.5. Acil Sağlık Hizmetlerinin İşleyişi	36
4. ANALİZLER.....	39
4.1. Talep Tahmini	39
4.2. Bağlantıların Seyahat Süreleri.....	41
4.3. Pathlerin Seyahat Süreleri	41
4.3. Durumların Analiz Sonuçları	42
4.3.1. Durum 0	42
4.3.2. Durum 1	46

Sayfa

4.3.3. Durum 2	50
4.4. Oluşturulan Veri Setlerinin Durumlara göre Test Sonuçları.....	52
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	55
5.1. Sonuçlar.....	55
5.2. Öneriler	57
KAYNAKLAR	59
EKLER.....	68
EK-1. Durum 0 gecikme süresi 0 saniye haritalar	70
EK-2. Durum 0 gecikme süresi 10 saniye haritalar	76
EK-3. Durum 1 gecikme süresi 0 saniye haritalar	82
EK-4. Durum 1 gecikme süresi 10 saniye haritalar	86
EK-5. Durum 2 gecikme süresi 10 saniye haritalar	94
ÖZGEÇMİŞ	100

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Konum problemleri.....	7
Çizelge 2.2. Çözüm yöntemleri ve kısaltmaları.....	20
Çizelge 2.3. Literatürde kullanılan kapsama modelleri ve çözüm algoritmalarına örnekler	21
Çizelge 3.1. Mevcut acil sağlık hizmetleri istasyonlarını enlem ve boylam bilgileri.....	25
Çizelge 3.2. Aday acil sağlık hizmetleri istasyonlarını enlem ve boylam bilgileri	26
Çizelge 3.3. Bağlantı yolları üzerinde zamana bağlı hız ve seyahat sürelerinin toplanması için yazılan kod.....	27
Çizelge 3.3 (Devam). Bağlantı yolları üzerinde zamana bağlı hız ve seyahat sürelerinin toplanması için yazılan kod	28
Çizelge 3.4. Pathlerin belirlenmesi için yazılan kod.....	29
Çizelge 3.4 (Devam). Pathlerin belirlenmesi için yazılan kod	30
Çizelge 3.5. Pathlerde harcanan zamanın belirlenmesi	31
Çizelge 3.6. Durum 0 için kombinasyonlar	36
Çizelge 4.1. Kurulan regresyon modellerinin katsayı ve R^2 değerleri.....	39
Çizelge 4.2. Mahalle bazlı yıllık vaka sayıları.....	40
Çizelge 4.3. Zamana bağlı bağlantı yollarındaki hızlar (km/sa).....	41
Çizelge 4.4. Zamana bağlı bağlantı yollarının tamamında geçen süreler (sn).....	41
Çizelge 4.5. Zamana bağlı bağlantı yollarının tamamında geçen süreler (sn).....	42
Çizelge 4.6. Durum 0 için model sonuçları	43
Çizelge 4.7. Durum 0 için haftanın günleri ve günün saatlerine göre ortalama seyahat süreleri (sn) (gecikme süresi 0 sn)	44
Çizelge 4.8. Durum 0 için haftanın günleri ve günün saatlerine göre ortalama seyahat süreleri (sn) (gecikme süresi 10 sn)	44
Çizelge 4.9. Durum 1 için (gecikme süresi 0 sn) model sonuçları	46

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.10. Durum 1 için (gecikme süresi 10 sn) model sonuçları	47
Çizelge 4.11. Durum 1 için haftanın günleri ve günün saatlerine göre ortalama seyahat süreleri (gecikme süresi 0 sn) (sn)	48
Çizelge 4.12. Durum 1 için haftanın günleri ve günün saatlerine göre ortalama seyahat süreleri (gecikme süresi 10 sn) (sn)	48
Çizelge 4.13. Durum 2 için model sonuçları	50
Çizelge 4.14. Durum 2 için haftanın günleri ve günün saatlerine göre ortalama seyahat süreleri (sn) (gecikme süresi 10 sn)	51
Çizelge 4.15. Veri setlerinin 8 dakika kapsama oranlarının tanımlayıcı istatistik değerleri	52
Çizelge 4.16. Veri setlerinin ilave tesis konumları ile 8 dakika kapsama oranlarının tanımlayıcı istatistik değerleri	53

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kullanılan veya Geliştirilen Modellerin Dağılımı	20
Şekil 2.2. Kullanılan Çözüm Yöntemlerinin Dağılımı	22
Şekil 3.1. Acil yardım istasyonu başına düşen kişi sayısı	24
Şekil 3.2. Ambulans başına düşen kişi sayısı	24
Şekil 3.4. Ambulans sisteminin işleyişi	37
Şekil 4.1. Durum 2 eklenen tesise göre kapsanan talep yüzdeleri	52

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. Seyahat süresi haritaları (a) Durum 0 gecikme 0 sn için 23:00-24:00 (b) Durum 0 gecikme 0 sn için 18:00-19:00 (c) Durum 0 gecikme 10 sn için 23:00-24:00 (d) Durum 0 gecikme 10 sn için 18:00-19:00	45
Harita 4.2. Seyahat süresi haritaları (a) Durum 1 gecikme 0 sn için 23:00-24:00 (b) Durum 1 gecikme 0 sn için 18:00-19:00 (c) Durum 1 gecikme 10 sn için 23:00-24:00 (d) Durum 1 gecikme 10 sn için 18:00-19:00	49
Harita 4.3. Seyahat süresi haritaları (a) Durum 2 gecikme 10 sn için 23:00-24:00 (b) Durum 2 gecikme 10 sn için 18:00-19:00	51



1. GİRİŞ

Acil Sağlık Hizmetleri (ASH), ani hastalık veya yaralanma mağdurlarına sağlık ve güvenlik hizmetlerinin etkili, koordineli ve zamanında sunulması için personel, tesis ve ekipman düzenlemeleri sağlayan kapsamlı bir sistem olarak tanımlanabilir [1]. Hastane öncesi hızlı ve etkili tıbbi bakım, hayat kurtarmada hayati öneme sahiptir. Bu nedenle, çoğu ülke yıllar içinde ASH'ni kurmuştur. Dünya Sağlık Örgütü, ASH sistemlerini etkili ve işlevsel bir sağlık sisteminin ayrılmaz bir parçası olarak görmektedir [2]. ASH sistemleri, askeri çatışmalara adanmış basit yapılardan başlayarak, etkileşimli araçlar (ambulanslar, motosikletler, helikopterler, arabalar vb.), sevk merkezleri ve sağlık tesisleri (hastaneler, sağlık merkezleri) içeren karmaşık sistemlere dönüşmüştür [3]. Tüm ASH sistemleri yaralılara kaliteli tıbbi yardım sağlayarak mümkün olan en kısa sürede hayat kurtarmak için vardır. Bununla birlikte, her ülke ASH faaliyetlerini farklı şekilde düzenlemektedir ve ASH sistemleri için ortak standart bulunmamaktadır [4,5].

Yapılan çalışmalarda kaza ve yaralanmalarda meydana gelen ölümlerin %10,0'unun ilk 3-5 dakikada, %54,0-60,0'ının ilk 30 dakikada meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durum dünya genelinde koordineli bir ilk ve acil yardım sisteminin kurulmasına sebebiyet vermiştir. İlk yardım ve temel yaşam desteği veren ve hastayı en kısa zamanda yaşamsal destek sağlayan tedavi merkezlerine ileten İlk ve Acil Yardım Hizmetleri, bu oluşumun en kritik yapıtaşlarından birisidir [6]. ASH sistemleri, olaylara tepki süresini ve dolayısıyla ölüm kalım durumunu etkilemekte ve bu nedenle son yıllarda araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmektedir. Bu sistemlerin gecikmesi insan hayatını tehlikeye atmaktadır. Kaynak ve bütçe kıtlığı nedeniyle ASH tesislerinin konumları çok önemlidir.

Son yıllarda ambulans konumlandırma ve yer değiştirme modellerinin geliştirilmesinde önemli bir evrim yaşanmıştır. Acil durumlarda zaman kader belirleyici olduğundan araçların yeterli kapsama alanı ve hızlı müdahale süresi sağlayacak şekilde konumlandırılması kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, ASH ekipmanı edinme ve bakımını yapma ve yüksek nitelikli personel istihdam etme konusunda yüksek maliyetler söz konusudur. Bu nedenle kaynakların verimli bir şekilde kullanıldığından emin olmak önemlidir. ASH sistemlerinin tasarımı birbiriyle bağlantılı çeşitli stratejik kararları içerir. Bunlar arasında ambulans istasyonlarının sayısı ve yerleri, ambulansların sayısı ve yerleri, araçlar ve kullanılan sevkîyat sistemi vb. Bir ASH sisteminin hizmet alanı genellikle bir ağ tanımlanarak

modellenir ve bir dizi coğrafi düğümünden oluşur; burada her düğüm acil durum müdahale araçları için bir talep kaynağını temsil etmektedir. İlk modeller (deterministik modeller) keşfedildiğinde çok basitti ve bir ambulans bir çağrıya sevk edildiğinde bir miktar kapsama alanının kaybedildiği gerçeğini hesaba katmıyordu. Bununla birlikte, bu ilk modeller sonraki tüm modellerin geliştirilmesi için sağlam bir temel oluşturmuştur. Olasılıksal modeller araçların meşgul olma oranları ya da rastgele talepler ile çalışmaktadır. En yeni modeller dinamiktir ve periyodik olarak gün boyunca ambulans konumları güncellenebilir [7].

Acil servis taleplerinin stokastik doğası ve müdahale sırasında acil durum araçlarının kullanılamaması, verimli modellerin oluşturulmasında kritik konulardır. Gerçek yaşam koşullarında, talep bölgelerinden gelecek acil servis talepleri kesin olarak bilinmemektedir. Ayrıca, bütçe veya kapasite gibi çeşitli kısıtlamalar nedeniyle, önceden tahsis edilmiş acil durum araçları, hizmet alanındaki tüm talebi kabul edilebilir bir süre içinde karşılamak için yeterli olmayabilir. Acil durumlarda karşılanamayan talepler can kaybına yol açabileceğinden, bu durum kritik önem taşımaktadır. Rastgele karşılanmamış talebe ilişkin risk ölçütleri kullanılarak belirlenen hedef kapsam düzeylerini garanti eden sistemler tasarlamak kritik önem taşımaktadır. Bu hedef seviyeler, önceki deneyimlere dayalı olarak önceden belirlenir. Müdahale tesislerinin (ambulans istasyonları) konumlandırılması ve her bir tesise tahsis edilecek araç sayısının belirlenmesine yönelik bir ASH sistemi tasarımı göz önüne alınmalıdır.

Kapsam, genellikle ambulans hizmeti için bir çağrının gelmesinden sağlık görevlilerinin hastaya ulaşmasına kadar geçen süre olarak tanımlanan çağrılara yanıt süresine göre belirlenir. Yanıt süresinin en belirgin ve önemli bileşeni ambulans istasyonu ile talep yeri arasındaki seyahat süresidir. Bu sürenin büyük bir kısmı ambulansların konumlandırılmasına ilişkin mevcut yöneylem araştırması literatürü seyahat sürelerine odaklanmaktadır. Ancak müdahale süresinin tek bileşeni bu değildir. Yolculuk öncesindeki gecikmeleri de içerir. Bu gecikmeler, telefonda adres almak ve çağrının ciddiyetini tespit etmek için harcanan zaman, hangi ambulansın gönderileceğine karar vermek için harcanan zaman, sağlık ekibiyle iletişime geçme zamanı, ambulansa ulaşmak için gereken zaman ve aracı hazırlamak ve sürüşü başlatmaktır. Bu gecikmeler oldukça önemlidir. Ayrıca, belirli bir acil durum çağrısına yanıt süresi, acil durum ekiplerinin mevcudiyetinden etkilenebilir. Çünkü bazen en yakın ambulans meşgul olur ve başka bir ambulans müdahale etmelidir.

Kuyrukta bekleme gecikmeleri (ambulans bulunmadığında) de meydana gelebilir, ancak gerçek sistemlerde pratikte nadiren meydana gelirler.

İlk modeller, karmaşık olmayan tam sayılı doğrusal programlama formülasyonlarıydı ki bunlar statik ve deterministik konum problemi ile ilgilenmiş ve stokastik konum problemini göz ardı etmişlerdir. Bu formülasyonların zayıflığı erken dönemlerde fark edilmiştir (1980'lerde) [8]. Sunucu tıkanıklığı sorunu deterministik bir yaklaşımla ele alınmaya başlanmıştır. Olasılıksal modeller daha sonra stokastik bir ortamda sunucu tıkanıklığı ile başa çıkmak için geliştirilmiştir. Olasılıksal ASH literatürü, klasik deterministik konum problemlerinin sunucu tıkanıklığına da odaklanarak genişlemektedir. Amaç, talepler ortaya çıktığında sunucu kullanılabilirliği açısından yeterli bir hizmet seviyesini garanti etmektir. Araç kullanılabilirliğinin maksimizasyonu, kapsama maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu, zamansal kapsama, afete hazırlık gibi odak alanlarında farklılık gösterirler. Farklı modeller tarafından sağlanan tipik öneriler, araç sayıları ve türleri, araç baz istasyonlarının konumları, araç baz istasyonlarının türleri ve kapasiteleridir.

Çağrı merkezine bir çağrı geldiğinde, operatörün önemli bilgileri girmesi gerekir. Sevk memuru acil durum çağrısının samimiyetini inceler ve çağrıyı bir öncelik ile etiketler. Çağrı merkezi operatörü aynı zamanda bir ASH aracı gelene kadar idare edecek talimatlar da verir; ilk yardımı devralmak için vb. Sevk edilecek ambulansların türü ve sayısı konusunda karar vermek en yüksek öneme sahiptir. ASH müdahalesi gerekliyse, sevk görevlisi bir belirli yönergelere göre mevcut ASH aracını seçer ve bulunduğu yere gönderir. Bir ambulans ekibinin harekete geçirilmesi için gereken süreye yolculuk öncesi gecikme denir. Açıkçası bu süre rastgele bir değişken olarak modellenmelidir. Çünkü kesin olarak bilinmeyen bir tam değerdir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, taleplerin %95'ine kentsel alanlarda 10 dakikada, kırsal alanlarda ise 30 dakika veya daha kısa sürede ulaşılmasını gerektiren ASH Yasası 1973'te düzenlenmiştir [9]. Operasyon süresinin bir diğer önemli kısmı da hastaya seyahat süresidir. Tüm ASH modellerinde her iki konum arasındaki seyahat süresinin bilinmesi önemlidir. Eğer iki nokta arasındaki seyahat süreleri bilinmezse iyi operasyonel kararlar almak imkânsız olacaktır [8].

Peleg ve Pliskin 2004 çalışmalarında 25-57 km/s arasında değişirken Cromley ve ark. 2010 çalışmalarında, acil vakalara giden ambulansların azami hızlarının 32 km/s ve 96 km/s arasında değiştiğini belirtmişlerdir [8,10]. Ambulans yerleşim yerlerinin uygunluğunun

araştırılması veya yeni ambulans yerleşim yerlerinin belirlenmesine yönelik yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde ise azami ambulans hızlarının; Brotcorne ve ark. (2003)'nın 35 ve 50 km/s, Sasaki ve ark. (2010)'nın 30 km/s, Abbott (2008)'un ise 72 ve 84 km/s olarak analizler yaptığı belirlenmiştir [11-13]. Ülkemizde yapılan benzer bir çalışmada da ambulansların azami 50 km/s hızla, olay yerine hareket ettikleri varsayıldığı belirlenmiştir [14].

Yapılan çeşitli çalışmalarda en uygun ulaşım süresi konusunda değişik yaklaşımlar bulunmakla birlikte temel olarak bir kalp krizi ya da solunum yolu hastalıklarının tedavisinde ilk 10 dakikanın önemli olduğunda dolayı ve diğer ülkelerde önerilen acil vakalara ulaşım süreleri genel olarak 10 dakikanın altında olması önerilmektedir [15]. Bu sürenin 2-4 dakikası çağrının alınması ve ambulans ekibinin yola çıkması için hazırlıkla geçen süre, geriye kalan süre ise “ulaşım süresi” olarak kabul edilmektedir [10]. Abbott (2008)'un çalışmasında ulaşım süresi en az 4 dk ve en çok 8 dk olarak alınırken, Brotcorne ve ark. (2003) 7 ve 15 dk, Peleg ve ark. (2004) 8 dk, Cromley (2001)'in çalışmasında ise 6 ve 8 dk olarak kabul edilmiştir [8,10-11,13]. Türkiye’de yapılan bir çalışmada da bir ambulansın 6 dk içerisinde çağrı yerine ulaşması gerektiği bunun 1,5 dk’sının yola çıkma hazırlığı ile geçtiği ve 4,5 dk ulaşım süresi olarak tespit edildiği belirtilmiştir [14].

ASH, hayat kurtarmada acil tıbbi bakıma ihtiyaç duyan hastalar için temel yardım ve ulaşım sağladığından, ASH’nin kalitesini artırmak için çok sayıda çalışma yürütülmüştür. Ancak, performans kriterlerinin standart seviyelerini karşılamak için mali bütçe yükünün baskısı altında, ASH karar vericileri zor görevlerle uğraşmak zorundadır: ambulans tesislerinin nereye yerleştirileceği, ambulans istasyonlarına kaç acil durum aracı tahsis edilebileceği vb. [16]. Bu tür sorunlar, yaşlanan toplum ve yüksek nüfus hareketliliği ile birlikte daha da karmaşık hale gelmekte, özellikle de Türkiye’de trafik yükünün fazla olduğu şehirlerde ciddi boyutlara ulaşmaktadır.

Türkiye’de ambulans hizmetlerinin sağlanmasındaki ilerleme 1980’lerin sonunda başlamıştır. 1986 yılında ambulanslar Ankara, İstanbul ve İzmir’de hizmet vermeye başlamıştır. “Hızır” adı altında hasta transferi şeklinde, 1994 yılında “112 Acil Yardım ve Kurtarma” adı altında temsil edilmeye başlanmıştır. Bu yıllardan itibaren bir pratisyen hekim ve bir hemşire ve şoför ilk kez ambulans içinde beraber çalışmaya başlamıştır [17]. Türkiye’de hastane öncesi acil sağlık hizmetleri son 20 yılda büyük gelişme göstermiş ve

ambulans istasyonları kırsal bölgeler de dahil olmak üzere tüm ülkede yaygınlaştırılmıştır. Türkiye genelinde 2003 yılında 653 ambulans istasyonu sayısı ve 3897 ambulans sayısı 2023 yılı itibarıyla 3420 ambulans istasyonu ve 5908 ambulans sayısına ulaşmıştır. Yıllar içerisindeki artışın yanı sıra bu sayılar şunu da göstermektedir. 2003 yılında istasyon başına 5,97 araç düşerken 2023 yılında 1,73 araç düşmektedir. Bu da tek bir istasyonda birçok araç beklemesinin yerine araçların bağımsız tesislerde (lokasyonlarda) konuşlanarak olaylara yanıt süresinin düşürülmeye çalışıldığını göstermektedir.

Bu çalışmada şu şekilde düzenlenmiştir; ikinci bölümde yerleşimi modelleri ve çözüm yöntemlerine ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, çalışma alanı, kullanılan verilerin elde edilmesine, üretilen modele ve değerlendirilen durumlara ilişkin bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde üçüncü bölümde yer verilen durumların analiz sonuçlarına değinilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen analiz sonuçlarına ilişkin sonuç, değerlendirme ve önerilere yer verilmiştir.



2. AMBULANS TESİSLERİNİN KONUM PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Literatürde konum problemleri üç temel başlıkta toplanabilir bunlar sırasıyla; kapsama tabanlı konum problemleri, medyan tabanlı konum problemleri ve kuyruk tabanlı konum problemleri olarak sınıflanmaktadır. Konumlandırma problemlerinin öncü modelleri Çizelge 2.1’de üç temel başlık altında sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.1. Konum problemleri

Problemler			Kısaltma
Kapsama Tabanlı Konum Problemleri	Set Kapsama Problemleri	Konum Set Kapsama Problemi	LSCP
		Kapasiteli Küme Kapsama Problemi	CSCP
		Çoklu Optimal Set Kapsama Problemi	MOSCP
		Olasılıksal Optimal Set Kapsama Problemi	PSCP
	Maksimal Konum Kapsama Problemleri	Maksimal Konum Kapsama Problemi	MCLP
		Çifte Standard Modeli	DSM
		Maksimum Kullanılabilir Konum Problemi	MALP I-II
		Genelleştirilmiş Maksimal Konum Kapsama Problemi	GMCLP
		Maksimum Konum Kapsama-Yasaklama Problemi	MCLIP
		Beklenen Maksimum Konum Kapsama Problemi	MEXCLP
		Zamana Bağlı Beklenen Maksimum Konum Kapsama Problemi	TIMEXCLP
		P-Merkez Konum Problemleri	Kapasiteli p-Merkez Problemi
	Koşullu p-Merkez Problemi		TCpCp
Medyan Tabanlı Konum Problemleri		P-Medyan	pM
		Sabit Ücretli Tesis Konumu	FCFL
Kuyruk Tabanlı Konum Problemleri		Hiperküp Sıralama Modeli	HQM
		Düzeltilmiş Beklenen Maksimum Konum Kapsama Problemi	AMEXCLP
		Genişletilmiş Maksimal Kullanılabilir Konum Problemi	EMALP

Acil durum tesislerin konumlandırılmasına ilişkin Konum Set Kapsama Problemi (LSCP) bu konuda yapılmış öncü çalışmadır. LSCP, minimum tesis sayısı ile gelen tüm aramaları kapsamayı amaçlar. Bununla birlikte, kaynakların kıtlığı nedeniyle uygulamada tam kapsama almak çok zordur [18]. Tüm tesis noktalarından uzakta karşılanmamış bir talep noktası için standart bir mesafe tanımlanmamıştır. Bu, tek bir nokta için bile tesis atamasına yol açar. Maksimal Konum Kapsama Problemi (MCLP), LSCP'den birkaç yıl sonra önerilen ilk maksimum deterministik kapsama modelidir. Sınırlı kaynaklar göz önüne alındığında, bu model, karşılanan talebi en üst düzeye çıkarmak için çok makul bir yoldur [19]. Ancak, her iki modelin de ortak dezavantajı, bir tesisin bir çağrıya cevap vermesi durumunda, o tesisin kapsadığı tüm talep noktalarının artık karşılanmamasıdır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için literatürde iki öncü yöntem bulunmaktadır. Çifte Standart Modeli (DSM) Çoklu kapsam sağlayan modeldir. Kapsama alanını daha kısa mesafe standardında maksimize

ederken, daha geniş mesafe standardında tesisleri potansiyel bölgelere dağıtarak tam kapsama sağlamayı hedeflemektedir [20]. İkinci olarak, tesisler için doluluk olasılıkları ve tesis güvenilirliği dikkate alınarak geliştirilen modeller sırasıyla; Hem Daskin (1983) tarafından geliştirilen Beklenen Maksimum Konum Kapsama Problemi (MEXCLP) hem de ReVelle ve Hogan (1989) tarafından geliştirilen Maksimum Kullanılabilir Konum Problemi (MALP) benzer amaçlarla sunulmuştur [21,22].

Bu modellerin zayıf yönü ise temel sıkıntıda tüm tesisler için eşit olasılıkta yoğunluk gibi oldukça güçlü bir varsayımda bulunmasıdır. Bu sorun Hiperküp Sıralama Modelinde (HQM) çözülmeye çalışılmıştır. HQM, gerçek sistemlerin daha kesin bir temsilini sağlar [23]. Bilgi teknolojilerindeki gelişmelerin yanı sıra anlık ve gerçek zamanlı tesislerin yeniden konumlandırma problemini çözmek için Dinamik Kullanılabilir Kapsama Konumu (DACL) gibi dinamik tahsis modelleri önerilmektedir [24].

Son zamanlarda yayınlanan makaleler, gelen çağrılara önceden belirlenmiş bir mesafe standardına sahip bir tesis tarafından ulaşılabilceği varsayımını hafifletmek için artımlı kapsama modelleri önermektedir. Artan mesafe ile kapsama alanındaki kademeli azalmayı modellemek için literatürde çeşitli matematiksel modeller önerilmiştir. Bazı kapsama problemlerinde, en yakın tesis ile bir düğümün kapsanıp kapsanmadığını belirler.

Literatürdeki öncü modelleri tanımlamak için modeller belirli değişken formlarına dönüştürülerek düzenlenmiştir. Bu sayede tanıtılan tüm modellerde standart değişken formatında daha anlaşılır ve karşılaştırılabilir forma getirilmiştir. Tanıtılan modellerde kullanılan değişkenlerin tanımlanması aşağıda verilmiştir.

Kümeler

V	: talep noktalarının kümesi,
i	: talep noktalarının indeksi,
W	: potansiyel tesis alanlarının kümesi,
j	: tesislerin indeksi,
w_i	: i talep noktasını kapsayan tesislerin kümesi, $\{j \in W_i t_{ij} \leq r\}$,
m	: p numaralı tesis konumlarının indeksi, $m = 1, \dots, p$,
ω	: uygulanabilir yasaklama şablonu dizini,
Ω	: olası tüm yasaklama şablonlarının kümesi,
G_ω	: yasaklama şablonu ω dâhil olmak üzere tesis indeksleri küme seti,

Giriş Değişkenleri

t_{ij}	: talep noktası i ile potansiyel tesis sahası j arasındaki mesafe,
R	: kapsanan talep noktasının mesafe sınırı,
d_i	: i düğümündeki talep sayısı,
p	: mevcut tesis sayısı,
b_j	: j konumundaki tesisin kapasitesi

$\theta > 0$	: talep bazında yasaklanmadan önce verilen ağırlık kapsamı,
z'	: en kötü durum engelleme modelini izleyen talep ağırlıklı kapsama seviyesi,
f_j	: j konumunda tesis kurma maliyeti
v	: birim mesafe başına nakliye maliyeti

Karar Değişkenleri

y_i	: i düğümü en az bir tesis tarafından kapsanıyorsa ikili değişken 1'e eşittir
x_j	: j konumunda bir tesis varsa ikili değişken 1'e eşittir,
k_{ij}	: i konumu tesis tarafından j konumunda kullanılıyorsa ikili değişken 1'e eşittir,
x_{jm}	: m'inci tesis j konumunda bulunuyorsa ikili değişken 1'e eşittir,
m_i	: i müşterisi yasaklama gerçekleşmeden önce kapsanırsa ikili değişken 1'e eşittir,
$m'_{i\omega}$	: i müşterisi kapsanıyorsa ikili değişken 1'e eşittir, engelleme modeli ω meydana gelirse 0'a eşittir.

2.1. Kapsama Tabanlı Konum Problemleri

Kapsama tabanlı yerleşim problemleri Set Kapsama Problemleri (1); Maksimal Konum Kapsama Problemleri (2) ve p-Merkez Konum Problemleri (3) olarak üç sınıfta toplanmaktadır.

2.1.1. Set kapsama problemleri

Set kapsama problemlerinde en çok kullanılan yöntemler; Konum Set Kapsama Problemi (LSCP), Kapasiteli Küme Kapsama Problemi (CSCP), Çoklu Optimal Set Kapsama Problem (MOSCP) ve Olasılıksal Optimal Set Kapsama Problemi (PSCP) olarak belirlenmiştir.

Konum set kapsama problemi (LSCP)

LSCP; tüm talebi karşılayacak en az tesise ulaşmak için kullanılır. Kısıtlı kaynaklar nedeniyle tam kapsama durumuna ulaşmak zordur. Model aşağıda verilmiştir [18];

$$\begin{array}{ll}
 \text{Min} & \sum_{j \in W} x_j \\
 \text{Subject to} & \sum_{j \in W_i} x_j \geq 1, \quad i \in V \\
 & x_j \in \{0,1\}, \quad j \in W
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{LSCP-1} \\
 \text{LSCP -2}
 \end{array}$$

LSCP-1, toplam ASH tesis sayısını en aza indirirken, LSCP-2, her bölgenin en az bir kez kapsanmasını sağlar. Bu modelin olumsuz tarafı bir bölgeden diğerine araç gönderildiğinde başka bir bölge içindeki başka bir talep noktasında aksama meydana gelmesidir. Çünkü minimum ASH tesisi ile çözüme ulaşılmıştır.

Kapasiteli set kapsama problemi (CSCP)

Talep büyüklüğünden bağımsız olarak, LSCP tüm düğümlerin eşit olduğunu varsayar. Talep büyüklüğünün dikkate alınmaması her talebi belirli bir mesafeden karşılama ihtiyacı sistem geneli harcanan maliyetin göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Kurulum maliyetleri, transfer maliyetleri ve ceza maliyetleri amaç fonksiyonunda yer almamakta ve bu da yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Çoğu durumda, kapasiteye sahip tesislerin kullanılması sorunun çözümünde daha doğrudur. Araştırmacılar CSCP modelinde kurulum maliyeti, nakliye maliyeti ve ceza maliyeti gibi bütçe kısıtlamaları ile gerçek dünyaya daha uygun bir model geliştirmişleridir [25].

Çoklu optimal set kapsama problemi (MOSCP)

MOSCP minimal bir amaç fonksiyonu içerir. İhtiyaç duyulan veya hedeflenen tesislerin sayısı belli iken çoklu çözümler üretir ve maksimum ulaşım süresini minimuma indirir.

Olasılıksal Optimal set kapsama problemi (PSCP)

PSCP modelinde LSCP modelinin üstüne saat başına arama ve ortalama konuşma süresi gibi olasılıksal değişkenler eklenmiştir [26].

2.1.2. Maksimal konum kapsama problemleri

En çok kullanılan maksimal kapsama yeri problemleri Maksimal Konum Kapsama Problemi (MCLP), Çifte Standart Modeli (DSM), Maksimum Kullanılabilir Konum Problemi (MALP), Genelleştirilmiş Maksimal Konum Kapsama Problemi (GMCLP), Maksimum Konum Kapsama-Yasaklama Problemi (MCLIP), Beklenen Maksimum Konum Kapsama Problemi (MEXCLP) ve Zamana Bağlı Beklenen Maksimum Konum Kapsama Problemi (TIMEXCLP) olarak belirlenmiştir.

Maksimal konum kapsama problemi (MCLP)

MCLP aşağıdaki gibi formüle edilmiştir;

$$\begin{array}{ll}
\text{Max} & \sum_{i \in V} d_i y_i \quad \text{MCLP-1} \\
\text{Subject to} & \sum_{j \in W_i} x_j \geq y_i, \quad i \in V \quad \text{MCLP-2} \\
& \sum_{j \in W} x_j = p \quad \text{MCLP-3} \\
& x_i, y_i \in \{0,1\}, \quad j \in W, i \in V
\end{array}$$

Talep bölgelerinden gelen taleplerin MCLP-1'de olması, karşılanan talebin en üst seviyede olmasını sağlar. Birinci kısıt, bir veya daha fazla tesisin kapsama alanı içerisinde olmasını sağlar (MCLP-2). İkinci kısıt, bu sürecin belirli sayıda tesis (p) ile gerçekleşmesini sağlar (MCLP-3). MCLP-1'in talebi ağırlıklı talebe göre maksimum kapsamada dikkate alması modeli daha doğru kılmaktadır [19]. Ancak LSCP'nin dezavantajı olan tesis hizmet verirken başka taleplerde bulunamama durumu MCLP için de geçerlidir.

Çifte standart modeli (DSM)

MCLP modeline benzer şekilde bu modelde de taleplerin karşılanması amaç fonksiyonuna dâhil edilmektedir [20]. Ancak, MCLP'den farklı olarak, DSM-1 en az iki kez (DSM-1) kapsanan bölgeleri maksimize etmeyi amaçlar. Formülasyon şu şekildedir;

$$\begin{array}{ll}
\text{Max} & \sum_{i \in V} d_i y_{i2} \quad \text{DSM-1} \\
\text{Subject to} & \sum_{j \in W_{i2}} x_j \geq 1, \quad i \in V \quad \text{DSM-2} \\
& \sum_{i \in V} d_i y_{i1} \geq a \sum_{i \in V} d_i \quad \text{DSM-3} \\
& y_{i2} \leq y_{i1}, \quad i \in V \quad \text{DSM-4} \\
& \sum_{j \in W_{i1}} x_j \geq y_{i1} + y_{i2}, \quad i \in V \quad \text{DSM-5} \\
& \sum_{j \in W} x_j = p, \quad \text{DSM-6} \\
& x_j \leq p_j, \quad j \in W \quad \text{DSM-7} \\
& y_{i1}, y_{i2} \in \{0,1\}, \quad i \in V \\
& x_j \text{ integer}, j \in W
\end{array}$$

Maksimum kullanılabilir konum problemi (MALP I-II)

MALP, olasılıksal bir kapsama modelidir [22]. Tesislerin doluluk olasılığını dikkate alır. Ancak MALP-I'de bu olasılık tüm tesisler için eşittir. MALP-II'de, bu olasılık farklı tesisler

arasında değişebilir [27] ve belirli bir tesise gelen çağrı sayısının tüm gelen çağrılara oranı olarak tanımlanır. MALP-I aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\text{Max} \quad \sum_{i \in V} d_i y_i \quad \text{MALP-1}$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{j \in W_i} x_j \geq s_i y_i, \quad i \in V \quad \text{MALP-2}$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p \quad \text{MALP-3}$$

$$x_j, y_i \in \{0,1\}, \quad j \in W, i \in V$$

S_i , i noktasını α güvenlikle kapsamak için gerekli tesis sayısıdır; MALP-1, güvenilirlik dâhilinde talep noktalarının kapsamını maksimize eder. MALP-2 kısıtlı, yerel bir alanda talebi karşılayacak bir tesis varsa $y_i=1$ olmasını sağlar. MALP-3, toplam tesis sayısını sınırlar.

Genelleştirilmiş maksimal konum kapsama problemi (GMCLP)

GMCLP, hasta konumlarının kapsama seviyesi, en yakın ASH tesisine olan mesafeyi arttırmayan bir adım fonksiyonu olarak modellenmiştir. GMCLP-1, kapsanan bölgelerin sayısını maksimize eder. GMCLP-2, belirli bir tesis sayısı ile çözüm sağlar. GMCLP-3, herhangi bir bölge bir tesis tarafından kapsandığında değerin “1” olarak ayarlanmasını sağlar. GMCLP-4, her bölgenin en fazla bir tesis tarafından kapsanmasını sağlar [28].

$$\text{Max} \quad \max_{j \in N} \left\{ \sum_{j \in X_i} b_{ij} y_{ij} \right\} \quad \text{GMCLP-1}$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{j \in X} x_j = p, \quad \text{GMCLP-2}$$

$$x_j \geq k_{ij}, \quad i \in N, j \in X_i \quad \text{GMCLP-3}$$

$$\sum_{j \in X_i} k_{ij} \leq 1, \quad i \in N \quad \text{GMCLP-4}$$

$$x_j = 0,1, j \in X; \quad k_{ij} \in [0,1], i \in N, j \in X_i$$

Maksimum konum kapsama-yasaklama problemi (MCLIP)

MCLIP, en kötü durum yasaklama modelinin ardından, başlangıç kapsamını minimum kapsama düzeyi ile maksimize eden bir modeldir [29]. MCLIP-1, yasaklamadan önce ve sonra kapatılan talebi en üst düzeye çıkarmaya çalışır. MCLIP-2 kısıtlaması her k tesisin bir

konum seçmesi gerektiğini belirtir, MCLIP-3 herhangi iki tesisin herhangi bir konumda olmamasını sağlar, MCLIP-4 ve MCLIP-5 kısıtlaması açık ve engellenmemiş tesisi ve i düşümün kapsamını belirtir.

$$\begin{array}{ll}
 \text{Max} & \theta \sum_{i \in I} h_i y_i + z' \\
 \text{Subject to} & \sum_j x_{jm} = 1, \quad \forall m \in M \\
 & \sum_{m \in M} x_{jm} \leq 1, \quad \forall j \\
 & \sum_{m \in M} \sum_{j \in W_i} x_{jm} \geq m_i, \quad \forall i \\
 & \sum_{m \in M/G_\omega} \sum_{j \in W_i} x_{jm} \geq m'_{i\omega}, \quad \forall \omega \in \Omega, i \\
 & \sum_i d_i m'_{i\omega} \geq z', \quad \forall \omega \in \Omega \\
 & x_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall j, m; m_i \leq 1 \quad \forall i; m'_{i\omega} \leq 1 \quad \forall i, \omega
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{MCLIP-1} \\
 \text{MCLIP-2} \\
 \text{MCLIP-3} \\
 \text{MCLIP-4} \\
 \text{MCLIP-5} \\
 \text{MCLIP-6}
 \end{array}$$

Beklenen maksimum konum kapsama problemi (MEXCLP)

MEXCLP, tüm tesisler için eşit doluluk olasılığı atar ve bu tesisler bağımsız olarak çalışır [21].

$$\begin{array}{ll}
 \text{Max} & \sum_{i \in V} \sum_{k=1}^p d_i (1-q) q^{k-1} y_{ik} \\
 \text{Subject to} & \sum_a x_j \geq \sum_{k=1}^p y_{ik}, \quad i \in V \\
 & \sum_{j \in W} x_j \leq p \\
 & y_{ik} \in \{0,1\}, \quad i \in V, k = 1, \dots, p \\
 & x_j \text{ integer}, j \in W,
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{MEXCLP-1} \\
 \text{MEXCLP-2} \\
 \text{MEXCLP-3}
 \end{array}$$

y_{ik} , bir talebin herhangi bir k tesis tarafından karşılanması (1) veya karşılanmamasına (0) bağlı olarak değişen ikili bir değişkendir. MEXCLP-2, r mesafesindeki talep noktasını kapsayan tesis sayısının talep noktasının kapsama sayısından büyük veya eşit olmasını sağlarken, MEXCLP-3 bu çözümün belirli sayıda tesisle yapılmasını sağlamıştır. MEXCLP, bir bölgede birden fazla tesisin bulunmasına izin vermez. Ayrıca, MEXCLP'de ASH tesislerinin bağımsız olarak çalıştığı ve her tesisin eşit doluluk olasılığına sahip olduğu varsayılmaktadır. MEXCLP modelinin dezavantajı, tesislerin eşit doluluk olasılığının

gerçek dünyadaki durumu yansıtmamasıdır. Uygulamada, çeşitli tesisler arasındaki doluluk seviyeleri ve doluluk olasılıkları eşit değildir.

Zamana bağlı beklenen maksimum konum kapsama problemi (TIMEXCLP)

TIMEXCLP, orijinal MEXCLP'nin bir uzantısıdır [30]. Kapsama bölgesi MEXCLP'den üstündür ve cevap verme süresi daha kısadır. TIMEXCLP'nin formülasyonu aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned}
 &\text{Max} \quad \sum_t^T \sum_{i \in V} \sum_{k=1}^{p_t} (d_{i,t})(1 - q_t)(q_t^{k-1})(y_{ik,t}) && \text{TIMEXCLP-1} \\
 &\text{Subject to} \quad \sum_{j \in W_{i,t}} x_{j,t} \geq \sum_{k=1}^{p_t} y_{ik,t}, \quad i \in V, t \leq T && \text{TIMEXCLP-2} \\
 &\quad \sum_{j \in W_{i,t}} x_{j,t} \leq p_t, \quad t \leq T && \text{TIMEXCLP-3} \\
 &\quad y_{ik,t} \in \{0,1\}, \quad i \in V, k = 1, \dots, p, t \leq T \\
 &\quad x_{j,t} \text{ integer}, j \in W, t \leq T
 \end{aligned}$$

Sırasıyla p_t ve q_t ; t zamanında ambulans sayısını ve t aralığında p_t doluluğunu temsil eder. $D_{i,t}$, t zaman aralığında i düğümünden gelen talebin kapsamını gösterir. $Y_{ik,t}$, t aralığındaki i noktasından gelen talebin k ambulans tarafından karşılanması (1) veya karşılanmamasına (0) bağlı olarak değişen ikili bir değişkendir. t zaman aralığında j bölgesinde bulunan ambulans sayısı $x_{j,t}$ olarak ifade edilir. Kısıt ve amaç fonksiyonu, MEXCLP kısıtlaması ve hedef fonksiyonu ile aynı amaca sahiptir.

2.1.3. p-Merkez konum problemleri

En yaygın modeller Kapasiteli p-Merkez Problemi (CpCP) ve Koşullu p-Merkez Problemi (TCpCp) olarak belirlenmiştir.

Kapasiteli p-merkez problemi (CpCP)

p-merkez problemlerinde, bir dizi müşteriyi tam olarak p bölgesine bölmek gerekir. Her müşteriyi bir tesise atamanın bir maliyeti vardır ve maksimum atama maliyetinin en aza indirilmesi istenmektedir. Bunlar ayrı yerleşim sorunlarıdır. Çünkü tesislerin yer alacağı lokasyonlar bir takım olarak sınırlıdır ve sadece bu lokasyonlarda olabilir. Bu problemde

hem her i noktasındaki hastanın önceden tanımlanmış bir talebi, hem de her tıbbi hizmet kuruluşunun bir kapasitesi vardır. Her bölge için tahsis edilen tesisin kapasitesi, bölgedeki talebe eşit veya daha fazla olmalıdır. Bu modelde tesis maliyetlerini minimumda tutarak cevaplanan çağrı sayısını maksimuma çıkarmak amaçlanmaktadır [31,32].

$$\text{Max} \quad \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j^\delta} d_i k_{ij} \quad \text{CpCP-1}$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{i \in I_j^\delta} k_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad \text{CpCP-2}$$

$$\sum_{j \in J} d_i k_{ij} \leq b_j x_j \quad \forall j \in J \quad \text{CpCP-3}$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq p \quad \text{CpCP-4}$$

$$k_{ij} \in \{0,1\}, x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, i \in I_j^\delta \quad \text{CpCP-5}$$

CpCP-2 kısıtı, her müşterinin maksimum bir merkeze atandığını gösterir. CpCP-3 kısıtı, hastaların hem hizmet verilmeyen tesislere atanmamasını hem de hizmet veren ASH tesislerinin kapasitesinin aşılmamasını sağlar. CpCP-4, hizmet veren ASH tesis sayısının p 'yi geçmemesini sağlar.

Koşullu p-merkez problemi (TCpCp)

Önerilen model, talep noktaları ile ASH arasındaki maksimum mesafeyi azaltmak için ASH arasında ek tesisler atamaya izin verir [33-36].

2.2. Medyan Tabanlı Konum Problemleri

Medyan Tabanlı Konum Problemlerinin incelemesi, P-Medyan (pM) ve Sabit Ücretli Tesis Konumu (FCFL) altında kategorize edilir.

2.2.1. p-medyan

Tesis atamasında p-Medyan Konum Problemi (pMLP) kullanılan en yaygın problemlerden birisidir. PMLP-1'in amacı, ağırlıklı toplam seyahat süresini/mesafesini en aza indirmektir. PMLP-2, her talep noktasının kesinlikle bir ASH tesisine atandığını gösterir. PMLP-3, atanması planlanan ASH tesisi sayısını tanımlar. PMLP-4, hizmet veren tesisler dışında talebin karşılanmasını engeller. Kısıtlamalar PMLP-5 ve PMLP-6, bütünlük kısıtlamalarıdır.

Min	$\sum_{i \in V} \sum_{j \in W} d_i t_{ij} k_{ij}$	PMLP-1
Subject to	$\sum_{j \in W} k_{ij} = 1$	$i \in V$ PMLP-2
	$\sum_{j \in W} x_j = p$	PMLP-3
	$k_{ij} \leq x_j$	$i \in V, j \in W$ PMLP-4
	$k_{ij} \in \{0,1\}$	$i \in V, j \in W$ PMLP-5
	$x_j \in \{0,1\}$	$j \in W$ PMLP-6

2.2.2. Sabit şarjlı konum sorunu

Sabit şarjlı konum sorunu (FCLP) ve p-Medyan Konum Problemi (pMLP) oldukça ilişkilidir. Ancak aradaki fark, PMLP'nin tesis kurma maliyetlerini göz ardı etmesi, FCLP'nin (FCLP-1) ise hem tesis kurma maliyetlerini hem de seyahat sürelerini en aza indirmeyi hedeflemesidir [37]. Temel kapasite olmadan FCLP'nin formülasyonu aşağıda açıklanmıştır;

Min	$\sum_{j \in W} f_j x_j + v \sum_{i \in V} \sum_{j \in W} d_i t_{ij} k_{ij}$	FCLP-1
Subject to	$\sum_{j \in W} k_{ij} = 1$	$i \in V$ FCLP-2
	$k_{ij} \leq x_j$	$i \in V, j \in W$ FCLP-3
	$k_{ij} \in \{0,1\}$	$i \in V, j \in W$ FCLP-4
	$x_j \in \{0,1\}$	$j \in W$ FCLP-5

FCLP-2, her talebin bir ASH tesisi tarafından karşılanmasını sağlar. FCLP-3, atamaları hizmet veren tesislerle sınırlar. FCLP-4 ve FCLP-5, bütünlük kısıtlamalarıdır. Kapasite FCLP'de her tesisin kapasitesini belirleyen bir bilgi parametresi (b_j) FCLP'ye eklenir.

$$\sum_{i \in V} d_i y_{ij} \leq b_j \quad j \in W$$

2.3. Kuyruk Tabanlı Modeller

Kuyruk tabanlı modeller; Hiperküp Sıralama Modeli (HQM), Düzeltilmiş Beklenen Maksimum Konum Kapsama Problemi (AMEXCLP) ve Genişletilmiş Maksimal Kullanılabilir Konum Problemi (EMALP) olmak üzere üç kategori altında incelenir.

2.3.1. Hiperküp sıralama modeli

Larson (1974) ilk hiperküp modelini (HQM) tanıtır. Bu modelde, değerlendirilen alan için, bölge genelindeki iş yükünün belirli bir bölümünün çok sayıda hücreye veya coğrafi bölüme ayrıldığı varsayılmaktadır [38]. Ayrıca gelen çağrıyı karşılamak için en yakın tesis tarafından hizmet verildiği varsayılmıştır. Kullanılabilir (0) veya dolu (1) değişkeni, sistemin durumunu tanımlamak için kullanılır. Durağan durumlar için denge denklemleri oluşturularak, her bir durumun olasılığı ayrı ayrı hesaplanabilir. Bu sayede sistemin performansını ölçmek için kullanılan ortalama seyahat süresi, kayıp olasılığı ve yanıt oranı gibi parametreler hesaplanabilmektedir. Larson (1975), performans ölçümlerini hesaplamak için yaklaşık bir süreç önerdi ve Hiperküp modelinin daha iyi yapılandırılmış bir durum uzayına sahip kuyruk sisteminin bir olayı olduğunu belirtti [39].

Modelde kullanılan düzeltme faktörü günümüzde birçok çalışmada kullanılmaktadır. Tesislerin değişmeden rastgele seçildiğini, j sunucusunun S_j olayı nedeniyle dolu olduğunu, seçilen k . tesisin B_k olayı nedeniyle dolu olduğunu ve seçilen $(k+1)$. tesisin $F_k (k+1)$ olayı için uygun olduğunu varsayalım. İlk seçilen tesisin dolu olmama olasılığı:

$$\begin{aligned}
 P_j &= p^j q^j / j! P_0, & j = 1, 2, \dots, p-1 \\
 P_p &= p^p q^p / p! (1-q) P_0, \\
 P_0 &= 1 / \left[\sum_{i=0}^{p-1} \frac{p^i q^i}{i!} + p^p q^p / p! (1-q) \right] \\
 P\{B_1 B_2 \dots B_k F_{k+1}\} &= \sum_{j=0}^{j=p} P\{B_1 B_2 \dots B_k F_{k+1} | S_j\} P_j \\
 &= \sum_{j=0}^{j=p} P\{F_{k+1} | B_1 B_2 \dots B_k S_j\} P\{B_k | B_1 B_2 \dots B_{k-1} S_j\} P\{B_1 | S_j\} P_j \\
 &= \sum_{j=0}^{j=p} \frac{p-j}{p-k} \frac{j-(k-1)}{p-(k-1)} \dots \frac{j-1}{p-1} \frac{j}{p} P_j \\
 &= \sum_{j=0}^{j=p-1} \frac{p-j}{p-k} \frac{j-(k-1)}{p-(k-1)} \dots \frac{j-1}{p-1} \frac{p^j q^j}{j!} P_0 \\
 &= \left[\sum_{j=k}^{j=p-1} \frac{(p-k-1)! (p-j)! p^j}{(j-k)!} \frac{p^j}{p!} q^{j-k} \right] \frac{P_0}{1-q} q^k (1-q)
 \end{aligned}$$

$$Q(p, q, k) = \frac{\sum_{j=k}^{p-1} \{(p-k-1)!(p-j)/(j-k)!\} (p^j/p!) q^{j-1}}{(1-q) \left(\sum_{i=0}^{p-1} (p^i/i!) q^i \right) + p^p q^p / p!}$$

$$k = 0, 1, \dots, p-1$$

Bu ASH tesislerinin işgal edilme olasılığı eşittir ve q 'dur. Bu tesislerin bağımsız olduğu varsayılırsa, $(k+1)$. tesisin mevcut olan ilk tesis olma olasılığı $q_k(1 - q)$ 'dur. Bu nedenle, kesin çözümü bulmak için bağımsız değişkeni düzelten bir faktör $[Q(p, q, k)]$ gereklidir.

2.3.2. Düzeltilmiş beklenen maksimum konum kapsama problemi

MEXCLP'nin önerilmesinden sonra, araştırmacılar modeli çeşitli açılardan geliştirmeye çalıştılar. Bu denemelerden birinde hiperküp kuyruk teorisi, birden çok sunucu tanımlamalı kuyruk sistemlerine uygun olması ve sunucular üzerinde bol miktarda istatistiksel veri sağlaması nedeniyle dâhil edilmiştir. Larson (1975), Batta ve ark. (1989) tarafından düzeltme faktörünü kullanan Düzeltilmiş MEXCLP'yi (AMEXCLP) önermiştir [39,40].

$$\text{Max} \sum_{i \in V} \sum_{k=1}^p Q(p, q, k-1) d_i (1-q) q^{k-1} y_{ik} \quad \text{AMEXCLP-1}$$

Düzeltilme faktörünün 1 olduğu durumlarda AMEXCLP, MEXCLP ile aynıdır.

2.3.3. Genişletilmiş maksimal kullanılabilir konum problemi

Galvao ve ark. (2005), Genişletilmiş maksimal kullanılabilir konum problemini (EMALP) kurmak için hiperküp modelini MALP ile entegre etti [41]. Bunu yaparak, MALP'de eşit sunucu varsayımını gevşettiler. Hangi sunucunun hangi alanda olduğunu belirlemenin gerekli olduğunu iddia ettiler. Böylece, ikili değişken x_j, x_{jm} 'ye dönüştürülür. m tesisi sadece j konumundaysa, 1'e eşit olan bir ikili değişkendir. Hastanın bulunduğu i noktası kapsanıyorsa (α güvenilirliği ile) y_i 1'e eşittir.

$$\text{Max} \sum_{i \in V} d_i y_i \quad \text{EMALP-1}$$

$$\begin{aligned}
\text{Subject to } & \left[1 - \prod_{m=1}^p q_m^{\sum_{i \in W_i} x_{jm}} Q\left(p, q, \sum_{j \in W_i} \sum_{m=1}^p x_{jm} - 1\right) - a \right] y_i \geq 0 \quad i \in V & \text{EMALP-2} \\
& \sum_{j \in W} \sum_{m=1}^p x_{jm} = p & \text{EMALP-3} \\
& y_i, x_{jm} \in \{0,1\}, \quad i \in V, j \in W, m = 1, \dots, p & \text{EMALP-4}
\end{aligned}$$

EMALP-2'deki q_m terimi m tesisinin iş yüküdür. Tesis m , j talep noktasını kapsıyorsa, ikili değişken $\sum_{j \in W_i} x_{jm}$ 1'e eşittir. EMALP-3 kısıtlaması, talep düğümü i 'nin α güvenilirliği ile kapsanmaması durumunda y_i 'nin 0'a eşit olmasını ve p sayısınınca ASH tesisi ile acil tıbbi müdahaleyi zorunlu kılmasını sağlar.

2.4. Çözüm Yöntemleri

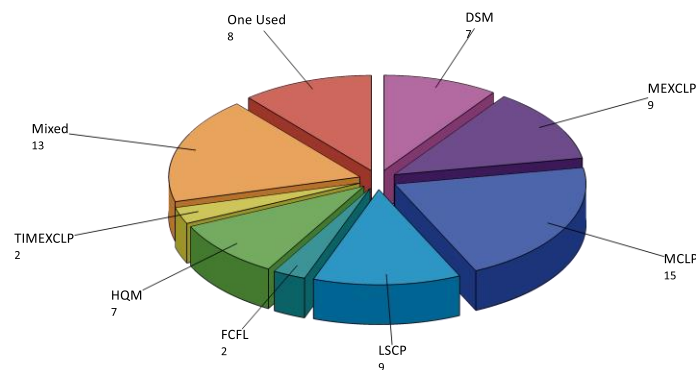
Literatürde acil sağlık hizmetlerinin yer seçimi ile ilgili çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemleri iki kategoride toplanmaktadır. Bunlardan ilki optimizasyon ve kesin yöntemler için genel paket programlar, ikincisi ise kesin olmayan yöntemlerdir. İlk kategori ayrıca Lindo, CPLEX, Xpress ve Gams gibi paket programlar ve Sınırlı Hata Yöntemleri (Dinamik Programlama, Kesme Düzlemi vb.) olarak gruplandırılır. İkinci kategori ayrıca metasezgisel yöntemler ve yaklaşık stokastik optimizasyon olarak gruplandırılır. Yöntemlerin grupları ve kısaltmaları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Çözüm yöntemleri ve kısaltmaları

Methodlar				Kısaltma
Çözüm Metotları	Genel Paket Program ve Optimizasyon için Kesin Yöntemler	Paket Programlar	Lindo	PL
			CPLEX	PC
			Xpress	PX
			Gams	PG
			Premium Solver	PPS
			Other Package Programs	OPP
		Sınırlı-Başarısızlık Yöntemleri	Dinamik Programlama	DP
			Kesme Düzlemi	CP
	Kesin Olmayan Yöntemler	Sezgisel		H
		Metasezgisel	Tabu Arama	TS
			Genetik Algoritma	GA
			Benzetim tavlama	SA
			Karınca Kolonisi Optimizasyonu	ACO
			Yapay Sinir Ağları	ANN
			Parçacık Sürü Optimizasyonu	PSO
			Diğer Metasezgisel Yöntemler	OMM
		Yaklaşık Stokastik Optimizasyon	Simülasyon Tabanlı Optimizasyon	SBO
			Stokastik Yaklaşım	ST
			Örnek Ortalama Optimizasyon	SAO
			Senaryo Optimizasyonu	SO
			Diğer Stokastik Optimizasyonlar	OSO
			Simülasyon	S

2.5. Literatür Taraması

Yapılan sınıflandırmalara göre literatürde son 20 yılda yapılmış olan önemli çalışmaların incelemesi sonucunda Çizelge 2.3 oluşturulmuştur. Son yıllarda yapılmış makalelerde kullanılan veya geliştirilen modellerin dağılımı Şekil 2.1’de verilmiştir. En çok tercih edilen ilk üç model MCLP (n:15, %15,83), MEXCLP (n:9, %12,50) ve LSCP’dir (n:9, %12,50).



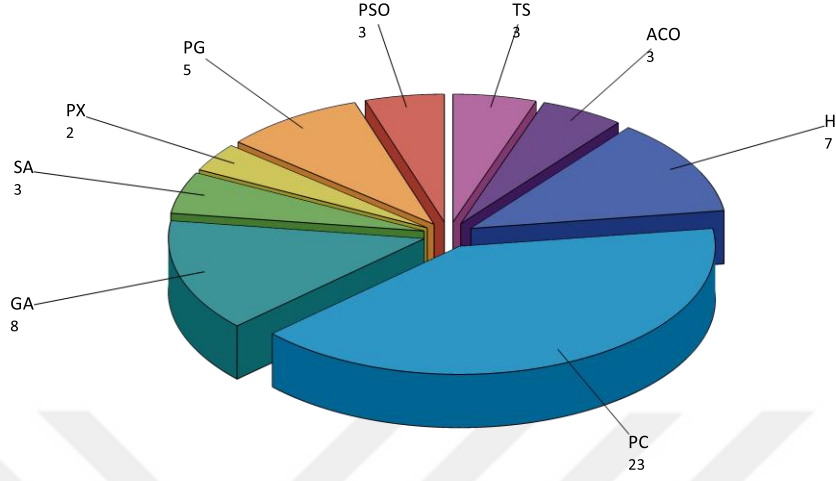
Şekil 2.1. Kullanılan veya Geliştirilen Modellerin Dağılımı

Çizelge 2.3. Literatürde kullanılan kapsama modelleri ve çözüm algoritmalarına örnekler

Kaynak	Dergi ismi	Yayın yılı	Kullanılan veya geliştirilen problem	Kullanılan çözüm yöntemi	Vaka çalışması	Yer	Atıf
[42]	JORS	2001	HQM	-	Evet	Sao Paulo and Rio de Janeiro	113
[43]	EJOR	2001	LSCP	ANN	Hayır	-	58
[44]	COR	2002	MCLP	H	Hayır	-	46
[45]	JORS	2002	LSCP	GA	Hayır	-	179
[46]	SEPS	2003	MEXCLP	GA	Hayır	-	75
[47]	COR	2004	MCLP	SA	Hayır	-	273
[48]	AAAG	2004	pM	PC	Hayır	-	461
[49]	CEJO	2005	DSM	TS/ACO	Evet	Austria	136
[50]	ORHC	2005	-	SBO	Evet	New Zealand	216
[51]	COR	2006	MCLP	H	Evet	Riyad	155
[52]	JCIIE	2007	MEXCLP/DSM	GA	Evet	Taipei	19
[53]	TRPE	2007	Various	ACO	Hayır	-	598
[54]	EJOR	2007	MEXCLP	PC/SA/TS	Evet	Various	54
[55]	DAM	2007	LSCP	Various	Hayır	-	36
[56]	EJOR	2007	LSCP	H	Hayır	-	208
[57]	COR	2007	MCLP	PC	Hayır	-	274
[58]	COR	2007	HQM	-	Evet	Campinas	155
[59]	TRPE	2007	HQM	OSO	Evet	Brazil	105
[60]	CIE	2007	MCLP	GA/PC	Evet	Los Angeles	355
[61]	COR	2007	LSCP	H	Hayır	-	69
[62]	AOR	2008	HQM	GA	Evet	Charlotte	88
[63]	COR	2008	MCLP	PC	Hayır	-	74
[64]	IIET	2009	LSCP	PC	Hayır	-	25
[65]	SEPS	2009	LSCP	PC	Hayır	-	87
[66]	SEPS	2010	MEXCLP	PC	Hayır	-	106
[67]	EJOR	2010	MCLP	PPS	Evet	Athens	111
[68]	EJOR	2010	LSCP	PC	Evet	New Mexico	102
[69]	JORS	2011	MCLP	PC	Hayır	-	51
[70]	CIE	2012	MCLP	PL	Evet	Selangor	191
[71]	COR	2013	SP	PC	Evet	Waterloo	100
[72]	IJET	2013	MCLP	PSO	Hayır	-	17
[73]	TRPE	2014	FCFL	OMM	Hayır	-	79
[74]	HCMS	2015	TIMEXCLP	PX	Hayır	-	66
[75]	EJOR	2015	TIMEXCLP	PC	Evet	Amsterdam	73
[76]	TRPE	2015	Mixed	H	Evet	Tehran	64
[77]	TRPE	2015	HQM	OPP	Evet	French	30
[78]	C	2016	DSM	PG	Hayır	-	11
[79]	C	2016	MEXCLP	PC	Evet	Netherlands	34
[80]	ORHC	2016	Mixed	PC	Hayır	-	72
[81]	EJOR	2017	MEXLP	PX	Evet	Sør-Trøndelag	52
[82]	TRPE	2017	HQM	S	Evet	Hanover	17
[83]	TRPE	2017	DP	GA	Evet	Taiwan	104
[84]	TRPE	2017	Mixed	OPP	Evet	Singapore	16"
[85]	SEPS	2018	MEXCLP	-	Evet	Netherlands	35
[86]	ORHC	2018	MCLP	PC	Evet	Charlotte	43
[87]	JAT	2018	LSCP	PC	Hayır	-	10
[88]	C	2018	DSM/MEXCLP	PC	Evet	Tijuana	10
[89]	REIA	2018	Mixed	OPP	Evet	Cali	2
[90]	TRPE	2018	Mixed	PC/PG	Evet	Tehran	34
[91]	IJPRAI	2018	MOSCP	PSO	Evet	New Taipei	8
[92]	MD	2019	MEXCLP	PC	Evet	Beirut	18
[93]	CIE	2019	MCLP	PG	Evet	Tehran	33
[94]	AOR	2019	MCLP	-	Evet	Bangkok	16
[95]	TRPE	2019	Mixed	PC/H	Evet	England	15
[96]	JJPE	2019	DSM	PG	Evet	İzmir	10
[97]	AMM	2020	pC	CP	Hayır	-	35
[98]	JEM	2020	DSM/MALP	-	Evet	Isfahan	11
[99]	JCO	2020	Mixed	SA/GA/PSO	Evet	Chaoyang	10
[100]	TRP	2020	DSM	TS/PC	Evet	South Delh	14
[101]	IJHG	2021	MEXCLP	OPP	Evet	Slovak	8
[102]	CIE	2021	MCLP	PC	Evet	Mashhad	12
[103]	TRPE	2021	Mixed	DP	Evet	Boston	10
[104]	TRPE	2021	Mixed	H	Hayır	-	11
[105]	CIE	2021	Mixed	PC	Evet	Kolkata	-
[106]	AJEM	2022	MCLP	PG	Evet	Tehran	1
[107]	TRPE	2022	HQM/Mixed	ACO	Hayır	-	-
[108]	TRPE	2022	Mixed	SO	Evet	Wenchuan	5

JORS: Journal of the Operational Research Society, EJOR: European Journal of Operational Research, COR: Computers & Operations Research, SEPS: Socio-Economic Planning Sciences, AAAG: Annals of the Association of American Geographers, CEJO: Central European Journal of Operations Research, ORHC: Operations Research and Health Care, JCIIE: Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, TRPE: Transportation Research Part E, DAM: Discrete Applied Mathematics, CIE: Computers & Industrial Engineering, AOR: Annals of Operations Research, IIET: IIE Transactions, IJET: International Journal of Engineering and Technology, HCMS: Health Care Management Science, C: Conference, ORHC: Operations Research for Health Care, ORHC: Omega, JAT: Journal of Advanced Transportation, REIA: Revista EIA, IJPRAI: International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, MD: Management Decision, JJPE: Journal of Industrial and Production Engineering, AMM: Applied Mathematical Modelling, JEM: Journal of Emergency Management, JCO: Journal of Combinatorial Optimization, TRP: Transportation Research Procedia, IJHG: International Journal of Health Geographics, CIE: Computers & Industrial Engineering, AJEM: American Journal of Emergency Medicine

Problem çözme için kullanılan metodolojilerin dağılımı Şekil 2.2’de verilmiştir. En çok kullanılan ilk üç yöntem PC (n:23, %40,35), GA (n:8, %14,04) ve H (n:7, %12,28)’dir.



Şekil 2.2. Kullanılan Çözüm Yöntemlerinin Dağılımı

Yukarıda belirtilen problemlerin üstesinden gelmek için birçok optimizasyon tekniği oluşturulmuştur. Bu optimizasyon teknikleri temel olarak üç kategoriye ayrılır. İlk kategori sezgisel algoritmalarlardır. İkinci kategori simülasyondur. Genellikle sistemlerin performans değerlendirmesi için kullanılmasına rağmen, en iyi çözümleri önermek için buluşsal yöntemler ile birlikte de kullanılır. Son kategori ise kesin yöntemlerdir.

3. MATERİYAL VE METOT

Bu bölümde sırasıyla çalışma alanı, veri setleri, konum modeli, değerlendirilecek durumlar ve acil sağlık hizmetlerinin işleyişi bölümlerine değinilmiştir.

3.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma, Konya şehrinin merkez üç ilçesinde (Meram, Selçuklu ve Karatay) yürütülmüştür. Konya ilinin nüfusu 2023 yılında adrese dayalı sonuçlara göre 2.320.241 kişidir [109]. Şehir merkezinde bulunan üç merkez ilçenin toplam yüzölçümü 432,86 km²'dir. Bu alandaki tüm yollar (13.416 link) ve bağlantı noktaları (4838 node) çalışma alanı olarak kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar 50.000 kişiye bir ambulans düştüğü durumlarda ortalama 4-6 dakika arasında bir ulaşma süresi sağlarken 100.000 kişiye bir ambulans düştüğü zaman 10 dakikalık bir ulaşma süresi sağlamaktadır [110-112]. Konya il merkezi istasyon başı (Şekil 3.1) ve ambulans başı (Şekil 3.2) düşen nüfus diğer illere göre daha fazladır. Konya ili genelinde 18.081 kişiye bir ambulans ve 26.702 kişiye bir acil yardım istasyonu düşmektedir [113]. Merkez 3 ilçe değerlendirildiğinde 34 ambulansın 1.419.031 kişiye hizmet ettiği görülmüştür. Bu durumda merkez üç ilçede ambulans başı 43.001 kişi düşmektedir. Ancak 50.000 kişinin altına bir ambulans düşmesine rağmen her beş dakika aralıklarda tüm talep noktalarına yapılan ortalama seyahat süresi 8,12 dakika olarak belirlenmiştir.

Konya Sağlık İl Müdürlüğüne bağlı Konya il merkezi sınırları içerisinde 34 ambulansın çalıştığı ortalama günlük ambulans başı günde 13 çağrı karşılamaktadır. Bu da günde 442 çağrı ve bir ambulans tarafından yılda 4.745 çağrıya yanıt verilmektedir. 2023 yılında Konya il merkezi sınırların 161.330 vakaya bakılmıştır [113].

Konya ilinde ambulans başı kişi sayısı oldukça düşük olmasına rağmen literatürde görülen ulaşım sürelerinin çok üzerinde bir ortalama seyahat süresinin olması bu sürenin iyi bir planlama ile düşürülebileceği öngörülmüştür. Türkiyede demografik yapısına göre diğer illerde nüfusa göre daha az ambulans ve tesis sayısının olmasında yeni tesis ve ambulans ekleme olanağını arttırmaktadır. Ayrıca Konya iline ait hız verisine ulaşılabilmesi durumlarının hepsi göz önüne alınarak modelin test edilmesi için Konya ili seçilmiştir.



Şekil 3.1. Acil yardım istasyonu başına düşen kişi sayısı [113]



Şekil 3.2. Ambulans başına düşen kişi sayısı [113]

3.2. Veri Setleri

Bir konum tahsisi modeli gerçekleştirmek için üç girdi veri kümesi gereklidir. Hizmet sağlamak için potansiyel istasyonların kümesi, talep noktalarının kümesi ve herhangi bir tesis ile herhangi bir talep noktası arasındaki seyahat maliyetini (örneğin, hız, süre) gösteren bir maliyet matrisi gereklidir. ArcGIS Pro 3.3 kullanılarak oluşturulan kümeler aşağıdaki gibidir.

3.2.1. Acil sağlık hizmetleri istasyonlarının konumları

Literatürden farklı olarak Sağlık Bakanlığı Kapsamında her ambulans istasyon diye geçmektedir. Bu sebeple Konya merkez üç ilçede, 38 adet istasyonun (Ambulans) 3 tanesi

Çizelge 3.2. Aday acil sağlık hizmetleri istasyonlarını enlem ve boylam bilgileri

Aday No	Enlem	Boylam	Bağlantı Noktası Numarası	Aday No	Enlem	Boylam	Bağlantı Noktası Numarası
Tesis Adayı 1	37,9582	32,4939	99	Tesis Adayı 33	37,9104	32,4752	2608
Tesis Adayı 2	37,9441	32,5001	168	Tesis Adayı 34	37,8946	32,4712	2819
Tesis Adayı 3	37,9353	32,4915	227	Tesis Adayı 35	37,8773	32,4685	2970
Tesis Adayı 4	37,9756	32,5211	315	Tesis Adayı 36	37,9043	32,4586	3032
Tesis Adayı 5	37,9547	32,4683	590	Tesis Adayı 37	37,9123	32,4917	3170
Tesis Adayı 6	38,0105	32,5332	663	Tesis Adayı 38	37,8810	32,4439	3727
Tesis Adayı 7	38,0166	32,5281	721	Tesis Adayı 39	37,8890	32,4547	3762
Tesis Adayı 8	37,9591	32,5285	865	Tesis Adayı 40	37,8471	32,5434	4012
Tesis Adayı 9	37,9581	32,5251	895	Tesis Adayı 41	37,8687	32,5383	4134
Tesis Adayı 10	37,9550	32,5227	946	Tesis Adayı 42	37,8553	32,5270	4250
Tesis Adayı 11	37,9630	32,5114	981	Tesis Adayı 43	37,8395	32,5167	4327
Tesis Adayı 12	37,9571	32,5088	1022	Tesis Adayı 44	37,8668	32,5188	4401
Tesis Adayı 13	37,9959	32,5258	1154	Tesis Adayı 45	37,8279	32,5579	4568
Tesis Adayı 14	37,9868	32,5121	1158	Tesis Adayı 46	37,8049	32,5216	4872
Tesis Adayı 15	37,9044	32,5303	1388	Tesis Adayı 47	37,8654	32,5143	4963
Tesis Adayı 16	37,8889	32,5340	1483	Tesis Adayı 48	37,8603	32,5232	4977
Tesis Adayı 17	37,8885	32,5261	1553	Tesis Adayı 49	37,8716	32,5007	5153
Tesis Adayı 18	37,8888	32,5142	1561	Tesis Adayı 50	37,8586	32,5033	5157
Tesis Adayı 19	37,9114	32,5498	1694	Tesis Adayı 51	37,8634	32,5026	5162
Tesis Adayı 20	37,9284	32,5063	1857	Tesis Adayı 52	37,8573	32,5003	5222
Tesis Adayı 21	37,9255	32,4919	1954	Tesis Adayı 53	37,8671	32,4992	5308
Tesis Adayı 22	37,8971	32,5135	2063	Tesis Adayı 54	37,8558	32,4899	5951
Tesis Adayı 23	37,9164	32,4925	2158	Tesis Adayı 55	37,8595	32,4819	5971
Tesis Adayı 24	37,8954	32,4940	2232	Tesis Adayı 56	37,8400	32,4875	6099
Tesis Adayı 25	37,9017	32,4892	2307	Tesis Adayı 57	37,8724	32,4600	6327
Tesis Adayı 26	37,8953	32,4885	2345	Tesis Adayı 58	37,8762	32,4480	6459
Tesis Adayı 27	37,8823	32,4992	2427	Tesis Adayı 59	37,8495	32,4729	6815
Tesis Adayı 28	37,8776	32,4986	2456	Tesis Adayı 60	37,8262	32,4903	6844
Tesis Adayı 29	37,8789	32,4932	2510	Tesis Adayı 61	37,8473	32,4517	6978
Tesis Adayı 30	37,8759	32,4866	2541	Tesis Adayı 62	37,8349	32,4341	7113
Tesis Adayı 31	37,8756	32,4978	2560	Tesis Adayı 63	37,8291	32,4466	7181
Tesis Adayı 32	37,8766	32,4797	2591				

3.2.2. Talep noktaları ve talep tahmini

Ambulans çağrı kayıtlarına resmi olarak ulaşılamamıştır. Bu sebeple oluşturulan yol ağı üzerindeki tüm bağlantı noktaları talep noktası olarak kabul edilmiştir. Talep noktalarının çekim kuvvetleri literatürde nüfus ve yaş dağılımına göre belirlenmiş çalışmalar bulunmaktadır. Literatürde yaygın olarak kullanılan regresyon formülü aşağıda verilmiştir [115-118]. Türkiye geneli vaka sayısı ve nüfus bilgileri ile belirli yaş gruplarının dağılımsal yüzdesi kullanılarak regresyon formülü Türkiye demografik yapısına uyarlanmıştır.

$$\text{Vaka Sayısı} = \text{Sabit} + A * \text{Toplam Nüfus} \pm B * \%0\text{-}4 \text{ yaş grubu} \pm C * \%60 \text{ yaş üstü grubu}$$

Herhangi bir zaman dilimi için mahalle bazlı vaka sayıları bilinmemektedir. Türkiye geneli ve Konya ili, nüfus bilgileri ve vaka sayıları mevcuttur. Türkiye ve Konya ili verileri ile belirlenen modelde sabit sayı oldukça yüksek çıkmaktadır. Mahalle nüfusuna göre oldukça fazla hasta sayısı üretmektedir. Bu sebepten dolayı “Sabit” sayılı model hatalı sonuçlarından dolayı bu sabit sayı olmaksızın yüzde dağılımlar ile regresyon modelleri kurulmuştur.

3.2.3. Seyahat süreleri

Çalışma alanının dijital yol ağı, düzenlenebilir coğrafi veri tabanı olan OpenStreetMap (OSM) veri tabanından indirilmiştir. Tüm yol ağı kavşaklarda tek bir bağlantı noktası olacak şekilde düzenlenerek sistemin genelinde bağlantı noktası sayısı düşürülmüştür. Konya ili için tüm yolların 5 dk. aralıklarla 6 aylık hız verileri ticari bir firmadan elde edilmiştir. Firma verilerini elde edilmesinden öncesi 7 aylık süre boyunca Microsoft Excel Visual Basic programının Selenium kütüphanesi yardımıyla yazılan kod (Çizelge 3.3) tüm yollar için anlık hız verileri Google Haritalar'dan elde edilmiştir. İki veri yüksek düzeyde korelasyona sahiptir. Firmadan elde edilen verilerde yol üzerindeki yasal hız sınırı üzerinde hızlar mevcuttur. Ancak harita uygulaması üzerinden elde edilen hız verilerinde yoğunluğun en az olduğu saatlerde bile yasal sınırın üzerinde hız elde edilmemiştir. Bu kısımlardaki farklardan kaynaklı %2-4 aralığında verilerde sapma mevcuttur. Firmadan alınan verilerde yasal sınırın üzerindeki hızlar yasal sınıra getirilerek hızlar düzenlenmiştir. İki verinin birleştirilmesi ile toplamda 1 yıllık kesintisiz (5 dk aralıklı) hız verileri derlenmiştir. Daha sonra tüm linklerin hız verilerinden link üzerinde seyahat süreleri elde edilerek maliyet matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 3.3. Bağlantı yolları üzerinde zamana bağlı hız ve seyahat sürelerinin toplanması için yazılan kod

```
Private Sub VeriToplama()
%Değişkenleri tanımla
Dim baglan As New Selenium.WebDriver, sure As WebElement, Sureler As String, Mesafe As
WebElement, Mesafeler As String, Metin As String
Application.ScreenUpdating = False
%Chrome uygulaması üzerinden google map açılması
baglan.Start "chrome"
baglan.Get "https://www.google.com.tr/maps/dir/"
YazdirmaSatiri = 5
k = 1
For i = 2 To 1000000
For j = 1 To 4176
If WorksheetFunction.RoundDown(k / 50, 0) = 0 Then
k = k + 1
%Başlangıç ve Bitiş koordinatlarının Excel'den Tarayıcı'ya aktarılması

baglan.FindElementByXPath("/html/body/div[3]/div[9]/div[3]/div[1]/div[2]/div/div[3]/div[1]/div[1]/di
v[2]/div[1]/div/input").SendKeys Sheets("Sayfa1").Cells(2, j)
baglan.FindElementByXPath("/html/body/div[3]/div[9]/div[3]/div[1]/div[2]/div/div[3]/div[1]/div[1]/di
v[2]/div[1]/div/input").SendKeys baglan.Keys.Enter
```

Çizelge 3.3 (Devam). Bağlantı yolları üzerinde zamana bağlı hız ve seyahat sürelerinin toplanması için yazılan kod

```

baglan.FindElementByXPath("/html/body/div[3]/div[9]/div[3]/div[1]/div[2]/div/div[3]/div[1]/div[2]/div[2]/div[1]/div/input").SendKeys Sheets("Sayfa1").Cells(3, j)
baglan.FindElementByXPath("/html/body/div[3]/div[9]/div[3]/div[1]/div[2]/div/div[3]/div[1]/div[2]/div[2]/div[1]/div/input").SendKeys baglan.Keys.Enter

baglan.FindElementByXPath("//*[@id='omnibox-directions']/div/div[2]/div/div/div[2]/button/img").Click
    % Belirlenen sürenin alınması
    On Error Resume Next
    Set sure = baglan.FindElementByXPath("//*[@id='section-directions-trip-0']/div[1]/div[1]/div[1]/div[1]/span[1]")

    If sure.Text = Empty Then
        Sureler = 0
    Else
        Sureler = sure.Text
    End If

    % Belirlenen mesafenin alınması
    On Error Resume Next
    Set Mesafe = baglan.FindElementByXPath("//*[@id='section-directions-trip-0']/div[1]/div[1]/div[1]/div[2]/div")
    If Mesafe.Text = Empty Then
        Mesafeler = 0
    Else
        Mesafeler = Mesafe.Text
    End If

    % Anlık alınan verinin yazdırılması
    Zaman = Now
    Metin = Zaman & "/" & Sureler & "/" & Mesafeler
    Sheets("Sayfa1").Cells(i + YazdirmaSatiri, j) = Metin

    %Başlangıç bitiş noktalarının ve datanın temizlenmesi
    baglan.FindElementByXPath("/html/body/div[3]/div[9]/div[3]/div[1]/div[2]/div/div[3]/div[1]/div[1]/div[2]/div[1]/div/input").Clear

    baglan.FindElementByXPath("/html/body/div[3]/div[9]/div[3]/div[1]/div[2]/div/div[3]/div[1]/div[2]/div[2]/div[1]/div/input").Clear
    Set sure = Nothing
    Set Mesafe = Nothing
    %Belirli aralıklar ile sayfanın kaydedilmesi
    If Int(j / 25) * 25 = j Then
        ActiveWorkbook.Save
    End If
    Else
    % Belirli aralıklar ile browser'ın kapatılıp geri açılması
    k = 1
    j = j - 1
    baglan.Close
    baglan.Start "chrome"
    baglan.Get "https://www.google.com.tr/maps/dir/"

    End If
Next
Next
End Sub

```

3.2.4. Pathlerin belirlenmesi

Bağlantı yollarının birleştirilmesi ile pathler oluşturulmuştur. Pathler oluşturulurken tüm bağlantı noktalarından tüm bağlantı noktalarına olası tüm pathlerin (döngü oluşturmadan) sayısı için yalnızca 700 nokta için yapılması durumunda bile yaklaşık $1,01 \cdot 10^{282}$ kombinasyon oluşturmaktadır. Bu sebepten dolayı problemin boyutunu küçültmek için her talep noktası için en az iki adet istasyon ve bir adet aday istasyona ulaşacak şekilde pathlerin belirlenmesine yönelik bir kod geliştirilmiştir. Pathlerin belirlenmesi için Matlab R2022b yazılımı üzerinde yazılan kod Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Pathlerin belirlenmesi için yazılan kod

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% input combinations %%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% input_file : başlangıç ikili kombinasyonlar (bağlantılar) %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% com_total : tüm kombinasyon cell dosyası %%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% kaza : hedef (destinasyon) %%%%%%%%%%%%%%%

Merkezler(:,1)=Merkez_Nodes;
Merkezler(:,2)=Aday_Nodes;
load('baglanti.mat','baglanti');
input_file=baglanti;
olmayanlar=1
yolsayisi=1
yollar(1:100000,1:7500)=0 ;
for kaza=1:7548;
    com_total=cell(1,2);
    com_total(1,1)={0};
    com_total(1,2)={input_file(input_file(:,2)== kaza,:)};
    ambulans_noktasi=0;
    aday_noktasi=0;
    %%%%%%%%%%%%%%% combinations
    %%%%%%%%%%%%%%%
    %%%% com_1 : anlık kombinasyon
    %%%% com_2 : anlık kombinasyonların toplamı
    %%%% add_row : eklenecek satırlar
    %%%% del_row : başı sonu aynı olan silcek satırlar

    while length(com_total)<54

        com_2=zeros(1,length(com_total)+1);
        for i=1:length(com_total{end}(:,1))
            add_row=com_total{end}(i,1)==input_file(:,2);
            if ~isempty(add_row)
                com_1=[input_file(add_row,1) ones(sum(add_row),1)*com_total{end}(i,:)];
                del_row=sum(com_1(:,2:end)==com_1(:,1),2)==1;
                com_1(del_row,:)=[];
                com_2(length(com_2(:,1))+1:length(com_2(:,1))+length(com_1(:,1)),:)=com_1;
            end
        end
        com_2(1,:)=[];
        com_total(1,end+1)={com_2};
    end

```


Çizelge 3.4 (Devam). Pathlerin belirlenmesi için yazılan kod

```

if isempty(com_total{end})
    com_total(end)=[];
    break
end
liste1=ismember(Merkezler(:,1),com_total{end}(:,1));
liste2=ismember(Merkezler(:,2),com_total{end}(:,1));
if sum(liste1)>0
    tt=Merkezler(liste1,1);
    [numRows, numCols] = size(com_total{end}(:,,:));
    [row, col]=find(ismember(com_total{end}(:,1), tt));
    yollar(yolsayisi:yolsayisi+length(row)-1,1:numCols)=com_total{end}(row,:);
    yolsayisi=yolsayisi+length(row);
    column = com_total{end}(row,1)
    uniqueValues = unique(column)
    ambulans_noktasi=ambulans_noktasi+length(uniqueValues);
end
if sum(liste2)>0
    tt=Merkezler(liste2,2);
    [numRows, numCols] = size(com_total{end}(:,,:));
    [row, col]=find(ismember(com_total{end}(:,1), tt));
    yollar(yolsayisi:yolsayisi+length(row)-1,1:numCols)=com_total{end}(row,:);
    yolsayisi=yolsayisi+length(row);
    column = com_total{end}(row,1)
    uniqueValues = unique(column)
    aday_noktasi=aday_noktasi+length(uniqueValues);
end

if ambulans_noktasi>=2 & aday_noktasi>=1
    break
end

end

if ambulans_noktasi<2 & aday_noktasi<1
    tekrar(olmayanlar,1)=kaza
    olmayanlar=olmayanlar+1
end

clear add_row com_1 com_2 del_row i j com_total
end
% save com_total
%
% clear add_row com_1 com_2 del_row i j input_file com_total

```

Oluşturulan pathler için tüm zaman dilimleri için toplam seyahat süresi hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken her bağlantı noktası geçişi için 10 saniyelik bir gecikme süresi pathlerde harcanan zamana eklenmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Pathlerde harcanan zamanın belirlenmesi

```

Paths = xlsread("Pathler.xlsx");
KavsakBasiGecikme=10
NumberOfNodeonPaths = sum(Paths>0,2);
DelayTimeonPath(:,1) = (NumberOfNodeonPaths(:,1)-2)*KavsakBasiGecikme;

clear NumberOfNodeonPaths KavsakBasiGecikme Paths
load('PathOcakSure.mat','num_1');
load('PathSubatSure.mat','num_2');
load('PathMartSure.mat','num_3');
load('PathNisanSure.mat','num_4');
load('PathMayisSure.mat','num_5');
load('PathHaziranSure.mat','num_6');
load('PathTemmuzSure.mat','num_7');
load('PathAgustosSure.mat','num_8');
load('PathEylulSure.mat','num_9');
load('PathEkimSure.mat','num_10');
load('PathKasimSure.mat','num_11');
load('PathAralikSure.mat','num_12');
load('Mevcut.mat','Mevcut');
load('Aday.mat','Aday');
Toplu=[num_1 num_2(:,4:end) num_3(:,4:end) num_4(:,4:end) num_5(:,4:end) num_6(:,4:end)
num_7(:,4:end) num_8(:,4:end) num_9(:,4:end) num_10(:,4:end) num_11(:,4:end) num_12(:,4:end)];
clear num_1 num_2 num_3 num_4 num_5 num_6 num_7 num_8 num_9 num_10 num_11 num_12

Toplu(:,4:end)=Toplu(:,4:end)+DelayTimeonPath(:,1);
clear DelayTimeonPath

for i=1:size(Aday(:,1));
    indices=find(Toplu(:,1)==Aday(i,1));
    if indices(1,1)>0
        Toplu(indices, :)=[];
    end
end

clear Aday Merkezler indices
load ('Talep.mat', 'Talep');

for i=1:size(Talep,1)
    indices=find(Toplu(:,2)==Talep(i,1));
    atama=min(Toplu(indices,4:end));
    [m,n]=size(atama)
    Talep(i,3:n+2)=atama;
end

```

3.3. Konum Modeli

Çalışma kapsamında tüm zaman dilimlerinde talep noktalarının tümü için sistemde harcanan süreyi minimum yapmaya çalışan bir model ve belirli bir süre içerisinde kapsanan alanı maksimum yapmayı sağlayan iki model geliştirilmiştir. Kırsal alan çalışma alanına dahil edilmediği için çift mesafeli bir model geliştirilmemiştir.

3.3.1. Setler ve parametreler

Birinci modelde kullanılan indislerin tanımları;

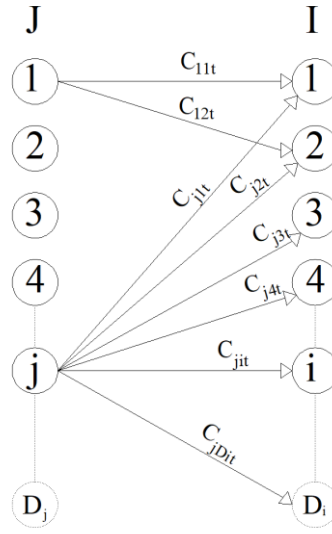
<u>Kümeler</u>		
SS'	:Zaman periyodu kümesi	$\{0', 5', 10', 15', 20', 25', 30', 35', 40', 45', 50', 55'\}$ Her saat için 12 terim Her gün için 12*24 terim Bir yıl için 12*24*365 terim
I	:Talep noktalarının kümesi	$I: \forall j = 1, 2, 3, \dots, N_i + D_i$
J	:Ambulans istasyonu kümesi	$J: \forall j = 1, 2, 3, \dots, N_j + D_j$
N_{ji}^k	:j istasyonu ile i talep noktası arasındaki pathlerin kümesi	
M_j	:Talebi standart hizmet süresi içerisinde karşılayan istasyon kümesi	
<u>İndisler</u>		
i	:Talep noktası indeksi	
j	:Ambulans istasyonu indeksi	
<u>Parametreler</u>		
D_i	:Kukla (Dummy) Talep	
D_j	:Kukla (Dummy) istasyon	
C_{jit}	:t zamanında j istasyonundan i talep noktasına olan minimum süre	
C_{jit}^k	:t zamanında j istasyonundan i talep noktasına k path'i kullanılarak gidilen süre	
K_{jt}	:t zamanında j istasyonundaki ambulans sayısı	
X_{it}	:t zamanında i noktasındaki talep miktarı	
Y_{it}	:t zamanında i noktasındaki talep miktarı	
X_{it}	:t zamanında i noktasındaki talep miktarı	
S'	:Genel hizmet süresi standardı	
S_{jit}	$\begin{cases} 1, \text{ eğer } t \text{ zamanında } i \text{ noktasındaki talebin } j \text{ istasyonu tarafından karşılanıyorsa} \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$	
n_{jit}^k	$\begin{cases} 1, t \text{ zamanında } j \text{ istasyonundan } i \text{ talep noktasına olan path'lerden kısa olan ise} \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$	
Y_{it}	$\begin{cases} 1, t \text{ zamanında } i \text{ noktası standart sürede karşılanıyorsa} \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$	

3.3.2. Karar değişkenleri

S_{jit} , t zamanında i talep noktası j istasyon noktası tarafından karşılanıyorsa 1 olan ikili bir değişkendir. n_{jit}^k , k path'i t zamanında j istasyonundan i talep noktasına en kısa süre ulaşan path olma durumunda 1 olan ikili bir değişkendir. Y_{it} , t zamanında i talep noktası herhangi bir istasyon tarafından belirlenen süre standardı içinde karşılanıyorsa 1 olan ikili bir değişkendir.

3.3.3. Modellerin formülasyonu

Çalışma kapsamında iki adet model geliştirilip kullanılmıştır. Birinci modelin amaç fonksiyonu (A1) tüm zaman dilimlerinde i talep noktasının bir j istasyon tarafından karşılanmasını minimum süre ile yapmasını sağlar. Kısıt (A2), i noktasındaki talebi j istasyonlarının karşılamasını istasyondaki ambulans sayısı ile sınırlar. Kısıt (A3), tüm zaman dilimlerindeki her talep noktasının tüm talebinin karşılanmasını sağlar. Kısıt (A4), talebin karşılanıp karşılanmadığını düzenlemek için gereklidir.



Amaç Fonksiyonu

$$\min \left(\sum_{t=0}^{SS'} \sum_{j=1}^{Nj+Dj} \sum_{i=1}^{Ni+Di} C_{jit} * S_{jit} \right) \quad (A1)$$

Kısıtlamalar

$$\left[\sum_{t=0}^{SS'} \right] \sum_{i=1}^{Ni+Di} S_{jit} \leq K_{jt} \quad \forall_j \in \{1, 2, 3, \dots, j, \dots, N_j, D_j\} \quad (A2)$$

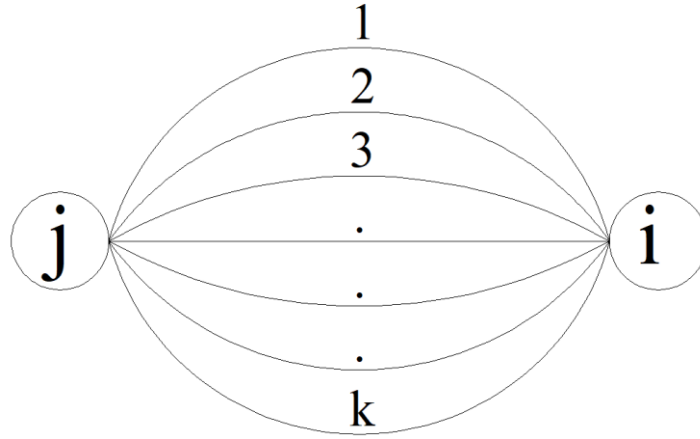
$$S_{j1t} + S_{j2t} + S_{j3t} + \dots + S_{jit} + \dots + S_{jN_{jt}} + S_{jD_{jt}} \leq K_{jt} \quad \forall_t \in \{0', 5', 10', 15', \dots, 50', 55'\} \text{ bir saat için}$$

$$\left[\sum_{t=0}^{SS'} \right] \sum_{j=1}^{Nj+Dj} S_{jit} \geq X_{it} \quad \forall_i \in \{1, 2, 3, \dots, i, \dots, N_i, D_i\} \quad (A3)$$

$$S_{1it} + S_{2it} + S_{3it} + \dots + S_{jit} + \dots + S_{N_{jt}} + S_{D_{jt}} \geq X_{it} \quad \forall_t \in \{0', 5', 10', 15', \dots, 50', 55'\} \text{ bir saat için}$$

$$S_{jit} \in \{0, 1\} \quad \forall_i \in I, \forall_j \in J, \forall_y \in SS' \quad (A4)$$

Amaç fonksiyonundaki C_{jit} 'nin seçimi için; amaç fonksiyonu (A5), tüm zaman dilimleri için her j istasyonundan her i talep noktasına olan rotalardan en az maliyetli olanların seçilmesini sağlar. Kısıt (A6), her istasyon tarafından talep noktalarına gönderilebilecek ambulansı t zamanındaki istasyon kapasite ile sınırlar. Kısıt (A7), her zaman dilimi için müsait olan her j istasyonundan her i talep noktasına olan rotalardan yalnızca birer adet seçilmesini sağlar. Kısıt (A8), seçilen rotanın süresini C_{jit} olarak atanmasını sağlar.



Amaç Fonksiyonu

$$\min \left(\sum_{t=0}^{SS'} \left[\sum_{j=1}^{N_j} \sum_{i=1}^{N_i} C_{jit} \right] \right) \quad (A5)$$

Kısıtlamalar

$$\left[\sum_{t=0}^{SS'} \right] \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{k=1}^{N_{ji}^k} n_{jit}^k \geq K_{jt} \quad \forall_j \in \{1, 2, 3, \dots, j, \dots, N_j\} \quad (A6)$$

$\forall_t \in SS'$

$$\left[\sum_{t=0}^{SS'} \sum_{i=0}^{N_i} \sum_{j=0}^{N_j} \right] \sum_{k=1}^{N_{ji}^k} n_{jit}^k = 1 \quad \forall_j \in \{1, 2, 3, \dots, j, \dots, N_j\} \quad (A7)$$

$\forall_i \in \{1, 2, 3, \dots, j, \dots, N_i\}$
 $\forall_t \in SS'$

$$C_{jit} = \sum_{k=1}^{N_{jit}^k} C_{jit}^k n_{jit}^k \quad (A8)$$

İkinci modelin amaç fonksiyonu (B1) tüm zaman dilimlerinde belirlenen süre standardı içinde erişilen talep oranını maksimum yapmayı amaçlar. Kısıt (B2) talep süre standardı içinde karşılanması durumunda ikili değişkenin 1 olmasını sağlar. Kısıt (B3) t zaman diliminde i talep noktasına j istasyonlarından seyahat süresi S' süre standardı içinde karşılayan j tesislerinin kümesini oluşturmaya yarar. B3 ve B4 kısıtları ise karşılanan talep ve süre standardı içinde karşılanan talep değişkenlerini düzenler.

Amaç Fonksiyonu

$$mak \left[\sum_{t=0}^{ss'} \right] \left(\sum_{i \in I} X_{it} Y_{it} / \sum_{i \in I} X_{it} \right) \quad (B1)$$

Kısıtlamalar

$$Y_{it} \leq \sum_{j \in M_j} S_{jit} \quad (B2)$$

$$M_j = \{j \mid C_{jit} < S'\}$$

$$\begin{aligned} S_{jit} &\in \{0,1\} \\ Y_{it} &\in \{0,1\} \\ \forall_j &\in N_j \cup D_j \\ \forall_i &\in N_i \cup D_i \quad (A5) \\ t &\in SS' \\ \forall_i &\in I \\ t &\in SS' \quad (A6) \end{aligned}$$

3.4. Durumlar

Konum tahsisi problemi farklı durumlar kapsamında iki farklı model ile incelenmiştir: Durum 0 olarak adlandırılan mevcut durum, Durum 1, yeni tesis tahsis ilave etme durumu, Durum 2, hiçbir tesis olmaksızın tüm tesisler baştan atanması durumu ve oluşturulan verisetlerinin durumlar sonucu oluşan istasyonlara göre test edilmesi sonuçları verilmiştir. Ayrıca sonuçlar ArcMap 10.8.2. programı kullanılarak görselleştirilmiştir.

3.4.1. Mevcut durum (Durum 0)

Bu durumda herhangi bir ambulansın/istasyonun yeri değiştirilmeden ve yeni bir ambulans/istasyon ilave etmeden yalnızca mevcut durumdaki kapsanan talebin ve sistemde harcanan sürenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu durum değerlendirilirken bir yıl boyunca 5 dakika aralıklar ile tüm talep noktalarının karşılanma durumu değerlendirilmiştir. Değerlendirmede farklı kombinasyonlar kullanılmıştır. Bu kombinasyonlar Çizelge 3.6'da verilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri yasasına ve Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiyesine göre ambulansın kentsel alanlarda taleplerin %95'ine on dakikadan daha az sürede hizmet

verilmesi gerekmektedir [9]. Bu sebeple literatürde bir çok çalışma bu süreyi referans olarak değerlendirmelerde bulunmuştur. Çağrıların 10 dakikalık toplam yanıt süresinin ortalama olarak 2,3 dakikası çağrı ve ambulans ekibinin araç dışında geçirdiği zamanı kapsamaktadır. Bu sebeple formülasyon B için kapsama süre standardını 8 dakika seyahat süresine göre ayarlanmıştır. Ayrıca 12 ve 16 dk. seyahat sürelerine göre de değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Çizelge 3.6. Durum 0 için kombinasyonlar

Durum 0	Formülasyon	Kriter
Değerlendirme 1	A	Sistemde harcanan toplam süre
Değerlendirme 2	B	8 dk. içerisinde kapsanan talep
Değerlendirme 3	B	12 dk. içerisinde kapsanan talep
Değerlendirme 4	B	16 dk. içerisinde kapsanan talep

3.4.2. Yeni istasyon tahsisi (Durum 1)

Durum 0’da problemlili tüm zaman dilimlerinde problemlili olan bölgelere kalıcı istasyon ataması yapılarak yeni araç tahsis önerisi değerlendirilmiştir.

3.4.3. Yeni istasyon tahsisi (Durum 2)

Şehir genelinde 33 mevcut tesis konumu ve 63 aday tesis konumu olmak üzere toplamda 96 olası konum ele alınarak tüm sistem için baştan tesis ataması yapılmıştır.

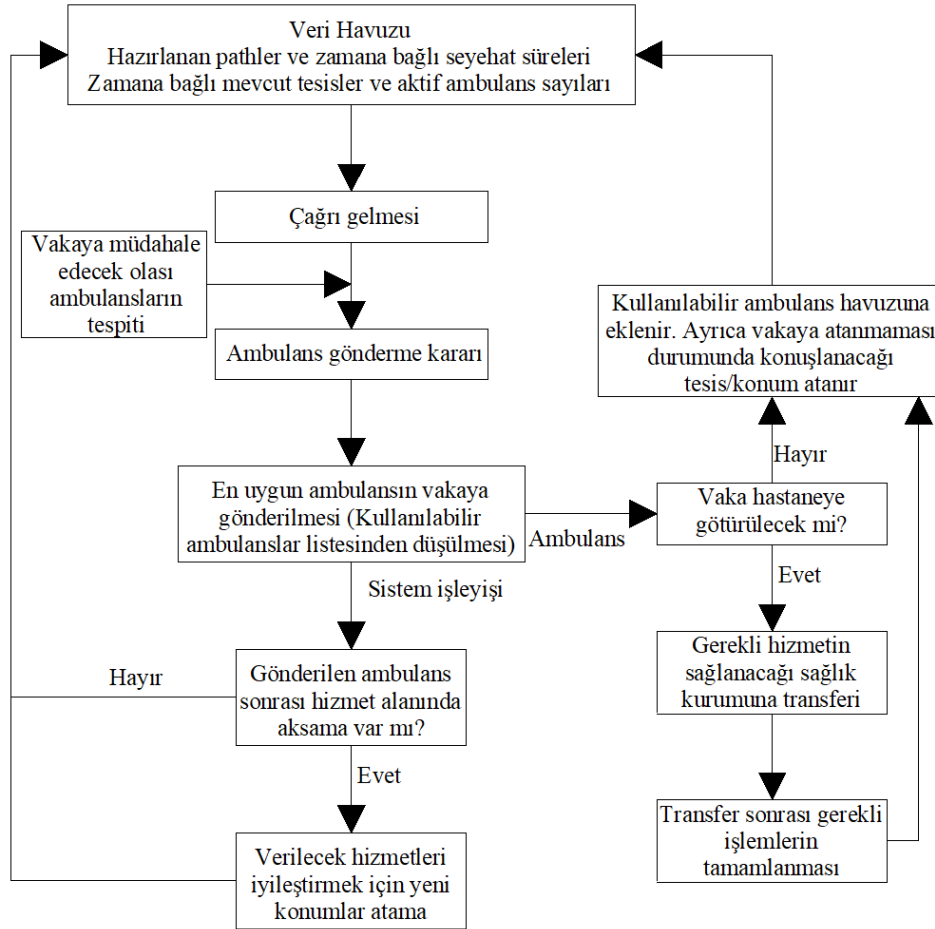
3.4.4. Oluşturulan veri seti ile durumların test edilmesi

Test için oluşturulan çağrı zamanı ve lokasyon bilgilerinin (10 farklı set) Durum 0, Durum 1 ve Durum 2’de belirlenen tüm istasyon kümeleri ile ayrı ayrı olarak denenerek iyileşmeler değerlendirilmiştir.

3.5. Acil Sağlık Hizmetlerinin İşleyişi

Bir önceki bölümde ifade edilen matematiksel modelin çözümü için önerilen algoritma ile ilgili detaylar aşağıda sunulmakla birlikte temel akım şeması Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Sistemin işleyişi şu şekildedir; çağrının gelmesi ile talep konumuna en hızlı erişimi olan ambulansların tespit edilmektedir. Ambulans gönderme kararı alınırsa atanan ambulans kullanılabilir ambulans havuzundan düşürülür. Gönderilme sonrası aksama yaşanabilecek bölgeler göz önüne alınarak tedbir alınabilir. Gönderilen ambulans, vakaya ulaşması sonrası

hastanın hastaneye götürülme kararı alınmaması durumunda veya götürülme kararı alınıp hastaneye transferi ve gerekli işlemler yapıldıktan sonra kullanılabilir ambulans olarak sisteme dahil edilmesi ve konuşlanacağı konumun belirlenmesini kapsamaktadır.



Şekil 3.4. Ambulans sisteminin işleyişi



4. ANALİZLER

4.1. Talep Tahmini

Bölüm 3.2.2.'de belirtildiği üzere nüfus ve yaş dağılımlarına dikkat edilerek çeşitli yaş kombinasyonları ile aşağıdaki regresyon modeli kullanılarak R^2 (Determinasyon Katsayısı) değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Tabloda görüleceği üzere en yüksek R^2 değeri 9 yaş ve 65 yaş kesim noktaları ile oluşturulmuş modelde görülmüştür.

$$\%(Vaka\ Sayısı/Nüfus) = A * \%(X\ yaş\ altı) + B * \%(X-Y\ yaş\ aralığı) + C * (Y\ yaş\ üstü)$$

Çizelge 4.1. Kurulan regresyon modellerinin katsayı ve R^2 değerleri

	A	B	C	R^2
4 yaş altı / 4-50 yaş aralığı / 50 yaş üstü	3,657	-0,774	1,344	83,8
4 yaş altı / 4-55 yaş aralığı / 55 yaş üstü	4,356	-0,765	1,658	92,0
4 yaş altı / 4-60 yaş aralığı / 60 yaş üstü	3,771	-0,653	2,256	84,3
4 yaş altı / 4-65 yaş aralığı / 65 yaş üstü	3,605	-0,581	3,037	82,0
4 yaş altı / 4-70 yaş aralığı / 70 yaş üstü	3,914	-0,666	5,994	88,6
4 yaş altı / 4-75 yaş aralığı / 75 yaş üstü	2,407	-0,608	12,818	83,6
4 yaş altı / 4-80 yaş aralığı / 80 yaş üstü	0,368	-0,232	14,843	77,6
4 yaş altı / 4-85 yaş aralığı / 85 yaş üstü	1,17	-0,162	19,705	94,3
9 yaş altı / 9-55 yaş aralığı / 50 yaş üstü	2,818	-1,178	1,39	73,7
9 yaş altı / 9-60 yaş aralığı / 55 yaş üstü	4,341	-1,504	2,017	85,4
9 yaş altı / 9-60 yaş aralığı / 60 yaş üstü	3,203	-1,108	2,615	75,4
9 yaş altı / 9-65 yaş aralığı / 65 yaş üstü	0,606	-0,337	4,153	95,4
9 yaş altı / 9-70 yaş aralığı / 70 yaş üstü	3,917	-1,316	8,248	92,1
9 yaş altı / 9-75 yaş aralığı / 75 yaş üstü	1,645	-0,823	14,203	77,5
9 yaş altı / 9-80 yaş aralığı / 80 yaş üstü	-0,058	-0,181	13,438	76,3
9 yaş altı / 9-85 yaş aralığı / 85 yaş üstü	0,837	-0,201	21,051	94,3
14 yaş altı / 14-55 yaş aralığı / 50 yaş üstü	5,222	-3,752	3,159	90,6
14 yaş altı / 14-60 yaş aralığı / 55 yaş üstü	1,809	-1,192	1,748	76,4
14 yaş altı / 14-60 yaş aralığı / 60 yaş üstü	3,766	-2,29	4,468	82,3
14 yaş altı / 14-65 yaş aralığı / 65 yaş üstü	2,258	-1,315	4,395	72,7
14 yaş altı / 14-70 yaş aralığı / 70 yaş üstü	1,376	-0,892	6,282	80,5
14 yaş altı / 14-75 yaş aralığı / 75 yaş üstü	2,355	-1,961	27,588	90,2
14 yaş altı / 14-80 yaş aralığı / 80 yaş üstü	-0,005	-0,244	14,825	76,8
14 yaş altı / 14-85 yaş aralığı / 85 yaş üstü	0,603	-0,302	23,067	93,6
19 yaş altı / 19-55 yaş aralığı / 50 yaş üstü	0,569	-1,032	1,4	66,3
19 yaş altı / 19-60 yaş aralığı / 55 yaş üstü	3,263	-3,717	4,494	91,5
19 yaş altı / 19-60 yaş aralığı / 60 yaş üstü	0,565	-0,744	2,189	66,1
19 yaş altı / 19-65 yaş aralığı / 65 yaş üstü	1,009	-1,092	4,12	67,0
19 yaş altı / 19-70 yaş aralığı / 70 yaş üstü	1,556	-1,749	11,01	88,8
19 yaş altı / 19-75 yaş aralığı / 75 yaş üstü	0,349	-0,869	15,379	74,3
19 yaş altı / 19-80 yaş aralığı / 80 yaş üstü	-0,126	-0,718	13,452	76,3
19 yaş altı / 19-85 yaş aralığı / 85 yaş üstü	0,341	-0,296	23,683	93,2

En yüksek R^2 (0,954) değerine sahip model ile denklem oluşturulmuştur. Oluşturulan denklem ile Konya Merkez mahallelerinin vaka tahminleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Toplamda 163.887 vaka sayısına ulaşılmıştır. Yukarıda belirtildiği üzere Konya ili merkez ilçelerinde 2023 yılında 161.330 vakaya bakıldığı bilgisi ışığında tahmin edilen vaka sayısı bir birine oldukça yakındır. Aradaki farkın, il geneli vaka sayısından mahalle bazlı vaka sayısına ulaşmak için modelin geliştirildiği gözönüne alındığında kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir.

$$\%(Vaka Sayısı/Nüfus) = 0,606 * \%(9 \text{ yaş altı}) - 0,337 * \%(9-65 \text{ yaş aralığı}) + 4,153 * (65 \text{ yaş üstü})$$

Çizelge 4.2. Mahalle bazlı yıllık vaka sayıları

İlçe	Mahalle	Vaka Sayısı	İlçe	Mahalle	Vaka Sayısı	İlçe	Mahalle	Vaka Sayısı
K	ÇİMENLİK	1043	M	YAKA	781	S	MUSALLA BAĞLARI	1615
K	KALENDERHANE	1082	M	ALAVARDI	1046	S	NİŞANTAŞ	1679
K	YEDİLER	790	M	YENİŞEHİR	3030	S	SAKARYA	2906
K	KEÇECİLER	2033	M	AŞKAN	2289	S	AYDINLIKEVLER	1399
K	SARIYAKUP	2056	M	ÇOMAKLI	436	S	BOSNA HERSEK	146
K	EMİRGAZİ	1007	M	DURUNDAY	234	S	HÜSAMETTİN ÇELEBİ	3125
K	ERENLER	1833	M	BAHÇEŞEHİR	1356	S	İŞIKLAR	4262
K	FETİH	1499	M	HAVZAN	4810	S	ŞEYH ŞAMİL	4144
K	HACİVEYİŞZADE	1450	M	KOZAĞAÇ	1030	S	AKINILAR	2235
K	HAMZAOĞLU	1934	M	KÖYEĞİZ	726	S	AKŞEMSETTİN	2444
K	MENGENE	1313	M	ATEŞBAZ VELİ	621	S	BUHARA	1642
K	AKABE	211	M	OSMAN GAZİ	594	S	KILINÇARSLAN	5342
K	FEVZİÇAKMAK	451	M	LALEBAHÇE	801	S	MEHMET AKİF	4519
K	GAZİOSMANPAŞA	833	M	HARMANCIK	1501	S	SANAK	1608
K	ULUBATLIHASAN	3300	M	HATIP	977	S	SELÇUK	1533
K	İSTİKLAL	1590	M	ALAKOVA	70	S	YAZIR	3111
K	SELİMSULTAN	3837	M	KARAHÜYÜK	1399	S	DUMLUPINAR	3334
K	BAŞAK	230	M	ÇAYBAŞI	1486	S	ERENKÖY	3192
K	ÇATALHÜYÜK	1147	M	KONEVİ	901	S	ESENLER	758
K	ERLER	354	M	AYDOĞDU	811	S	HACIKAYMAK	1040
K	SARAÇOĞLU	958	M	ULUIRMAK	2646	S	HOROZLUHAN	590
K	NAKİPOĞLU	2542	M	AYMANAS	2888	S	SİLLE AK	1175
K	AZİZİYE	1046	M	ULUGBEY	710	S	İHSANİYE	799
K	KUMKÖPRÜ	1469	M	HADİMİ	2051	S	ŞEKER	4197
K	ŞEMSİTEBRİZİ	1095	M	KOVANAĞZI	2307	S	HOCACIHAN	1720
K	ARAPLAR	4673	M	YAYLAPINAR	1048	S	HANAYBAŞI	2077
K	SULTAN MESUD	451	S	FERHUNİYE	646	S	BİNKONUTLAR	1098
K	KARAASLAN	2866	S	CUMHURİYET	596	S	PARSANA	1353
M	MELİKŞAH	1649	S	MALAZGİRT	2025	S	AKADEMİ	133
M	SAHİBATA	836	S	BEDİR	2656	S	SİLLE	162
M	PİREBİ	1237	S	FATİH	2398	S	KOSOVA	172
M	UZUNHARMANLAR	1762	S	SELAHADDİNİ EYYUBİ	1545	S	BEYHEKİM	282
M	AYANBEY	1110	S	BÜYÜKKAYACIK	51			
M	ALPASLAN	1794	S	FERİTPAŞA	2148			

K.: Karatay, M.: Meram, S.: Selçuklu

Yıllık olarak mahalle bazında belirlenen vaka sayıları yıl içerisinde her mahalledeki talep noktaları arasında rastgele gün ve saatlerde olacak şekilde dağıtılarak 10 tane farklı veri seti oluşturulmuştur.

4.2. Bağlantıların Seyahat Süreleri

Çalışma kapsamında kullanılan tüm bağlantı yollarının bir yıllık 5 dakika aralıklı hızlar (Çizelge 4.3) ve bağlantı yolu üstündeki seyahat sürelerinin (Çizelge 4.4) bir kısmı gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Zamana bağlı bağlantı yollarındaki hızlar (km/sa)

Start Node	EndNode	LinkID	1.01.2023 00:05	1.01.2023 00:10	1.01.2023 00:15	1.01.2023 00:20	1.01.2023 00:25	...
1	2	279	45	45	45	45	45	...
1	3	281	45	45	45	45	45	...
1	17	1157	45	45	45	45	45	...
2	1	279	30	30	30	30	30	...
3	1	281	30	30	30	30	30	...
3	4	280	30	30	30	30	30	...
3	5	282	30	30	30	30	30	...
3	45	5142	30	30	30	30	30	...
4	3	280	45	45	45	45	45	...
4	64	10544	45	45	45	45	45	...
5	3	282	45	45	45	45	45	...
5	4	10543	45	45	45	45	45	...
6	2	322	81	81	81	81	81	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Çizelge 4.4. Zamana bağlı bağlantı yollarının tamamında geçen süreler (sn)

Start Node	EndNode	LinkID	1.01.2023 00:05	1.01.2023 00:10	1.01.2023 00:15	1.01.2023 00:20	1.01.2023 00:25	...
1	2	279	80	80	80	80	80	...
1	3	281	16	16	16	16	16	...
1	17	1157	22	22	22	22	22	...
2	1	279	120	120	120	120	120	...
3	1	281	24	24	24	24	24	...
3	4	280	42	42	42	42	42	...
3	5	282	30	30	30	30	30	...
3	45	5142	48	48	48	48	48	...
4	3	280	28	28	28	28	28	...
4	64	10544	96	96	96	96	96	...
5	3	282	20	20	20	20	20	...
5	4	10543	23	23	23	23	23	...
6	2	322	58	58	58	58	58	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

4.3. Pathlerin Seyahat Süreleri

Çalışma kapsamında kullanılan tüm pathlerin 5 dk aralıklar ile bir yıllık seyahat süreleri (Çizelge 4.5) belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. Zamana bağlı bağlantı yollarının tamamında geçen süreler (sn)

Start Node	EndNode	1.01.2023 00:05	1.01.2023 00:10	1.01.2023 00:15	1.01.2023 00:20	1.01.2023 00:25	...
590	1	2558,9	2561,6	2551,5	2550,4	2547,3	...
590	1	2869	2868	2847,2	2846,4	2847,2	...
721	1	2893,7	2898,4	2912,8	2908,6	2901,7	...
590	1	2688,2	2690,1	2676,5	2675,5	2672,4	...
590	2	2438,9	2441,6	2431,5	2430,4	2427,3	...
721	2	2773,7	2778,4	2792,8	2788,6	2781,7	...
721	2	3109,4	3066,8	3026,1	2989,3	2875,2	...
1154	2	2775	2796,4	2824,6	2816,2	2777,8	...
69	7	248,5	373,3	373,3	361,9	361,9	...
69	7	319,6	586,6	586,6	559,9	559,9	...
504	7	822,6	978,8	978,8	967,3	967,3	...
69	7	364,5	465,3	465,3	456,4	467,3	...
69	7	473,2	657	657	639,2	644,9	...
...	...	...	...	...	...	...	...

4.3. Durumların Analiz Sonuçları

Konum tahsisi problemi farklı durumlar kapsamında iki farklı model ile incelenmiştir: Durum 0 olarak adlandırılan mevcut durum, Durum 1 yeni tesis tahsis durumu ve Durum 2 hiçbir tesis olmadan tüm tesisler baştan atanarak en az sayıda tesis ile çözüm durumlarının sonuçları verilmiştir. Ayrıca sonuçlar ArcMap 10.8.2. programı kullanılarak görselleştirilmiştir.

4.3.1. Durum 0

Mevcut istasyonlar ile 4838 talep noktası için bir yıl süre içindeki tüm 5 dakika aralıklı zamanlarda yapılan talep karşılama ve harcanan seyahat süresi analizleri sonuçları iki farklı durum için (bağlantı noktalarında gecikme süresi olmadan ve her bağlantı noktası için 10 saniye gecikme süresi olarak) Çizelge 4.6'da verilmiştir. Her talep noktası tüm zamanlar için yapılan hesaplamada taleplerin; bağlantı noktası gecikme süresi olmadan %68,73'ü 8 dakikadan daha az, %83,45'i 12 dakikadan daha az ve %90,51'i 16 dakikadan daha az seyahat süresi ile karşılanmıştır. Bağlantı noktalarında 10 saniye gecikme süresi ile yapılan analizlerde %67,23'ü 8 dakikadan daha az, %83,09'u 12 dakikadan daha az ve %90,86'sı 16 dakikadan daha az seyahat süresi ile karşılanmıştır. Gecikme süresi olmadan kurulan sistemde toplam harcanan süre 2,43E+11 (talep başına ortalama 7,98 dk) iken 10 saniye gecikme süreli sistemde ise 2,48E+11 saniye (talep başına ortalama 8,12 dk) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. Durum 0 için model sonuçları

Durum 0	Formülasyon	Kriter	Amaç Fonksiyonu (Gecikme 0 sn)	Amaç Fonksiyonu (Gecikme 10 sn)
Değerlendirme 1	A	Sistemde harcanan toplam süre (sn)	2,43E+11	2,48E+11
Değerlendirme 2	B	8 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	68,73	67,23
Değerlendirme 3	B	12 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	83,45	83,09
Değerlendirme 4	B	16 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	90,51	90,86

Yapılan analizlere ilişkin günün 24 saati için her talep noktası için ortalama seyahat süreleri ile ArcMap 10.8.2 programı Inverse Distance Weighted (IDW) modülü ile yapılan haritalar gecikme süresi 0 olanlar (Ek-1) ve gecikme süresi 10 saniye olanlar (Ek-2) detaylı olarak verilmiştir.

Haftanın günlerinin saat dilimlerine göre ortalama seyahat süreleri gecikme süresi 0 saniye olanlar Çizelge 4.7’de ve 10 saniye olanlar Çizelge 4.8’de verilmiştir. Her iki durumda için gün içerisindeki saatlere göre ortalama seyahat süresilerinin en yüksek ve en düşük değerlerinin farkı 47,1 saniye ile 103,5 saniye arasında değişmektedir.

Haritalardan ve çizelgelerden günün en hızlı yanıt süresi olan 23:00-24:00 saatleri ve en yavaş yanıt süresi olan 18:00-19:00 saatlerinin haritaları örnek olarak Harita 4.1’de verilmiştir. Yoğun saatler kırmızı bölgeler genişlediği görülmektedir. Ancak yoğunluğun en az olduğu saatlerde bir 16 dakikadan daha uzun sürede ulaşılan alanlarda bulunmaktadır. Mevcut duruma ilaveten yeni tesis ihtiyacı olduğunu göstermektedir.

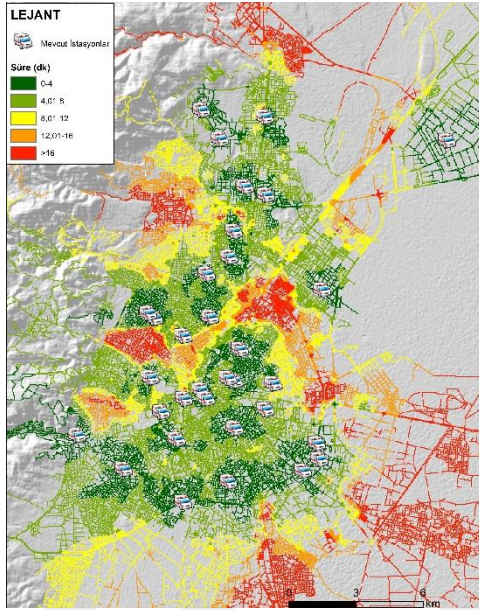
Haritaların tümünde görüleceği üzere her zaman diliminde turuncu ve kırmızı renk ile gösterilen kritik sürenin üstünde görülen bölgelere kalıcı yeni tesis konumlarının belirlenmesi Durum 1’de değerlendirilecektir.

Çizelge 4.7. Durum 0 için haftanın günleri ve günün saatlerine göre ortalama seyahat süreleri (sn) (gecikme süresi 0 sn)

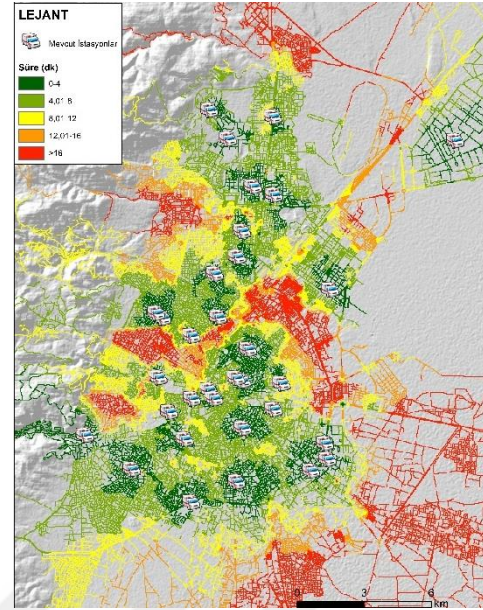
Gün Saat	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
23:00-24:00	461,5	438,0	412,6	402,8	425,4	419,2	408,2	424
19:00-20:00	461,9	468,8	451,4	449,6	462,2	456,0	448,0	456,8
22:00-23:00	470,1	468,2	450,8	449,0	461,6	455,4	447,4	457,5
20:00-21:00	465,2	471,6	454,2	452,4	465,0	458,8	450,8	459,7
21:00-22:00	465,7	475,0	457,6	455,8	468,4	462,2	454,2	462,7
02:00-03:00	472,0	478,8	461,4	459,6	472,2	466,0	458,0	466,9
01:00-02:00	473,1	478,9	461,5	459,7	472,3	466,1	458,1	467,1
00:00-01:00	473,1	479,1	461,7	459,9	472,5	466,3	458,3	467,3
15:00-16:00	463,5	485,6	468,2	466,4	479,0	472,8	464,8	471,5
10:00-11:00	488,3	485,5	468,1	466,3	478,9	472,7	464,7	474,9
04:00-05:00	461,5	490,6	473,2	471,4	484,0	477,8	469,8	475,5
03:00-04:00	466,4	492,4	475,0	473,2	485,8	479,6	471,6	477,7
11:00-12:00	482,6	491,5	474,1	472,3	484,9	478,7	470,7	479,3
13:00-14:00	487,9	498,1	480,7	478,9	491,5	485,3	477,3	485,7
05:00-06:00	476,5	500,3	482,9	481,1	493,7	487,5	479,5	485,9
12:00-13:00	488,8	500,8	483,4	481,6	494,2	488,0	480,0	488,1
09:00-10:00	483,4	501,7	484,3	482,5	495,1	488,9	480,9	488,1
06:00-07:00	493,9	502,4	485,0	483,2	495,8	489,6	481,6	490,2
07:00-08:00	502,4	503,6	486,2	484,4	497,0	490,8	482,8	492,5
08:00-09:00	509,2	505,2	487,8	486,0	498,6	492,4	484,4	494,8
17:00-18:00	491,8	516,3	498,9	497,1	509,7	503,5	495,5	501,8
14:00-15:00	505,2	515,1	497,7	495,9	508,5	502,3	494,3	502,7
16:00-17:00	500,0	519,7	502,3	500,5	513,1	506,9	498,9	505,9
18:00-19:00	501,1	522,5	510,1	503,3	520,9	509,7	511,7	511,3
t _{mak} -t _{min}	47,7	84,5	97,5	100,5	95,5	90,5	103,5	87,3

Çizelge 4.8. Durum 0 için haftanın günleri ve günün saatlerine göre ortalama seyahat süreleri (sn) (gecikme süresi 10 sn)

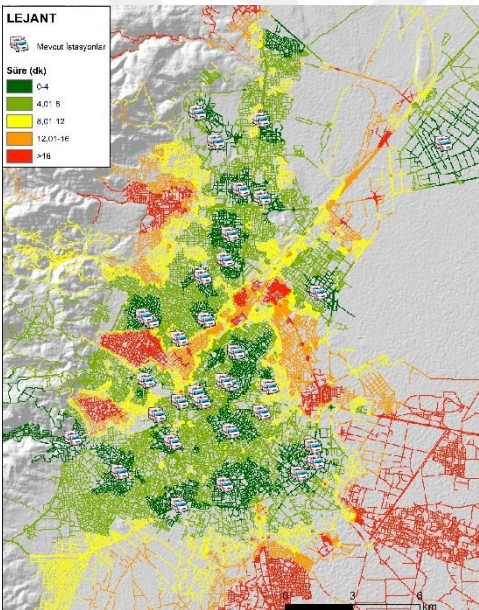
Gün Saat	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
23:00-24:00	470,4	449,6	426,2	424,4	427	430,8	422,8	435,9
19:00-20:00	470,8	477,6	460,2	458,4	471	464,8	456,8	465,7
22:00-23:00	480,3	478,6	461,2	459,4	472	465,8	457,8	467,9
20:00-21:00	473,4	479,9	462,5	460,7	473,3	467,1	459,1	468
21:00-22:00	475,6	485,1	467,7	465,9	478,5	472,3	464,3	472,8
02:00-03:00	481,7	487,2	469,8	468	480,6	474,4	466,4	475,4
01:00-02:00	480,9	487,5	470,1	468,3	480,9	474,7	466,7	475,6
00:00-01:00	481,7	487,6	470,2	468,4	481	474,8	466,8	475,8
15:00-16:00	473,9	494,2	476,8	475	487,6	481,4	473,4	480,3
10:00-11:00	468,7	496	478,6	476,8	489,4	483,2	475,2	481,1
04:00-05:00	495,3	495,2	477,8	476	488,6	482,4	474,4	484,2
03:00-04:00	475,1	500,1	482,7	480,9	493,5	487,3	479,3	485,6
11:00-12:00	490,9	501,6	484,2	482,4	495	488,8	480,8	489,1
13:00-14:00	484,5	506,3	488,9	487,1	499,7	493,5	485,5	492,2
05:00-06:00	495,5	507,3	489,9	488,1	500,7	494,5	486,5	494,6
12:00-13:00	496,9	508,8	491,4	489,6	502,2	496	488	496,1
09:00-10:00	492,7	510,8	493,4	491,6	504,2	498	490	497,2
06:00-07:00	500,3	510,9	493,5	491,7	504,3	498,1	490,1	498,4
07:00-08:00	509,4	511,2	493,8	492	504,6	498,4	490,4	500
08:00-09:00	515,8	514,1	496,7	494,9	507,5	501,3	493,3	503,4
17:00-18:00	504,4	522	504,6	510,8	515,4	509,2	501,2	509,7
14:00-15:00	501,4	525,7	510,3	506,5	519,1	512,9	504,9	511,5
16:00-17:00	506,4	525,3	507,9	506,1	518,7	513,5	504,5	511,8
18:00-19:00	514,9	524,1	506,7	504,9	517,5	511,3	503,3	511,8
t _{mak} -t _{min}	47,1	76,1	84,1	86,4	92,1	82,7	82,1	75,9



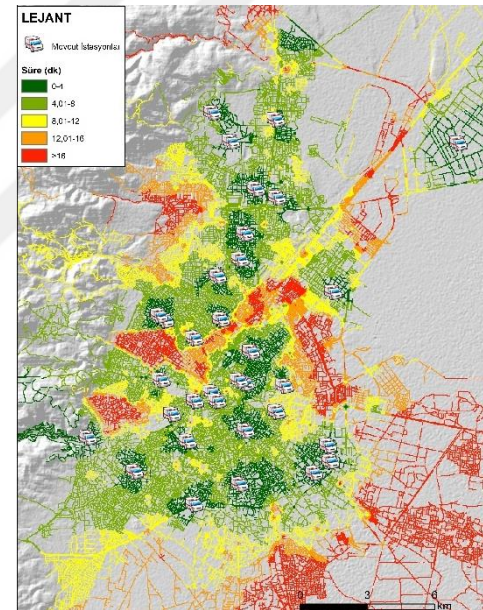
(a)



(b)



(c)



(d)

Harita 4.1. Seyahat süresi haritaları (a) Durum 0 gecikme 0 sn için 23:00-24:00 (b) Durum 0 gecikme 0 sn için 18:00-19:00 (c) Durum 0 gecikme 10 sn için 23:00-24:00 (d) Durum 0 gecikme 10 sn için 18:00-19:00

4.3.2. Durum 1

Sistem genelinde 8 dk içerisinde kapsanan talebin %90 olana kadar yeni tesis ilave edilerek analizler yapılmıştır. Bu analiz her aday tesisin sisteme katkısı belirlenerek en çok katkı sağlayacak aday tesisten en az katkı sağlayacak tesise doğru ilaveler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Yeni tesislere ilişkin gecikme süresi 0 saniye olarak yapılan analizlerin Çizelge 4.9'da ve 10 saniye gecikme süreli olarak yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Gecikme süresi olmaksızın yapılan analizlerde 5 yeni tesis ilave edildiğinde 8 dakika içinde kapsanan talep %90'ın üzerine çıkmıştır. Ancak kavşak başı 10 saniye gecikme süresi alınarak yapılan analizde ise 6. ilave tesiste %90'ın üzerine çıkmıştır. 6 tesis ilave edildiğinde gecikme süresi olmayan analizde sistemde harcanan toplam süre $2,09E+11$ saniye (talep başına ortalama 6,86 dk) iken 10 saniye gecikme olan sistemde ise $2,15E+11$ saniye (talep başına ortalama 7,05 dk) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9. Durum 1 için (gecikme süresi 0 sn) model sonuçları

Durum 1	Formülasyon	Kriter	Durum 0	Durum 1					
			Mevcut 33 tesis	+1 Tesis (Aday tesis 39)	+2 Tesis (Aday tesis 5)	+3 Tesis (Aday tesis 17)	+4 Tesis (Aday tesis 26)	+5 Tesis (Aday tesis 41)	+6 Tesis (Aday tesis 15)
Değerlendirme 1	A	Sistemde harcanan toplam süre(* 10^{11} sn)	2,43	2,29	2,23	2,19	2,15	2,12	2,09
Değerlendirme 2	B	8 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	68,73	74,53	79,80	84,59	87,93	90,20	91,55
Değerlendirme 3	B	12 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	83,45	86,42	88,46	90,14	92,13	92,79	93,55
Değerlendirme 4	B	16 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	90,51	94,10	95,39	95,86	97,13	97,60	98,46

Çizelge 4.10. Durum 1 için (gecikme süresi 10 sn) model sonuçları

Durum 1	Formülasyon	Kriter	Durum 0	Durum 1					
			Mevcut 33 tesis	+1 Tesis (Aday tesis 39)	+2 Tesis (Aday tesis 5)	+3 Tesis (Aday tesis 17)	+4 Tesis (Aday tesis 26)	+5 Tesis (Aday tesis 41)	+6 Tesis (Aday tesis 15)
Değerlendirme 1	A	Sistemde harcanan toplam süre(*10 ¹¹ sn)	2,48	2,34	2,28	2,24	2,19	2,16	2,15
Değerlendirme 2	B	8 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	67,23	73,20	78,63	83,57	86,88	89,69	90,65
Değerlendirme 3	B	12 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	83,09	85,65	87,55	89,46	91,3	91,93	92,45
Değerlendirme 4	B	16 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	90,86	92,83	93,54	94,03	94,84	95,16	95,46

Yapılan analizlere ilişkin günün 24 saati için her talep noktası için ortalama seyahat süreleri ile oluşturulan haritalar gecikme süresi 0 olanlar (Ek-3) ve gecikme süresi 10 saniye olanlar (Ek-4) detaylı olarak verilmiştir.

Haftanın günlerinin saat dilimlerine göre ortalama seyahat süreleri gecikme süresi 0 saniye olanlar Çizelge 4.11’de ve 10 saniye olanlar Çizelge 4.12’de verilmiştir. Her iki durum için gün içerisindeki saatlere göre ortalama seyahat süresilerinin en yüksek ve en düşük değerlerinin farkı 38,4 saniye ile 85,1 saniye arasında değişmektedir. Durum 0’a göre maksimum süre farkında %17,7’lik bir azalış görülmüştür.

Haritalardan ve çizelgelerden günün en hızlı yanıt süresi olan 23:00-24:00 saatleri ve en yavaş yanıt süresi olan 18:00-19:00 saatlerinin haritaları örnek olarak Harita 4.2’de verilmiştir. Yoğun saatler kırmızı bölgeler genişlediği görülmektedir. Ancak yoğunluğun en az olduğu saatlerde bir 16 dakikadan daha uzun sürede ulaşılan alanlar bulunmaktadır. Mevcut duruma ilaveten yeni tesis ihtiyacı olduğunu göstermektedir.

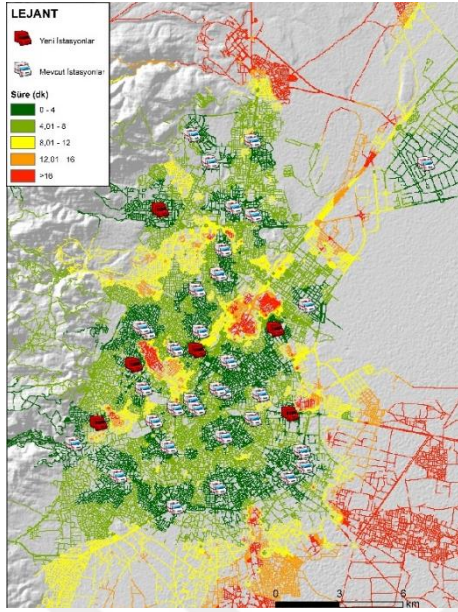
Haritaların tümünde görüleceği üzere her zaman diliminde turuncu ve kırmızı renk ile gösterilen kritik sürenin üstünde görülen bölgelere kalıcı yeni tesis önerileri ile Durum 1’de değerlendirilecektir.

Çizelge 4.11. Durum 1 için haftanın günleri ve günün saatlerine göre ortalama seyahat süreleri (gecikme süresi 0 sn) (sn)

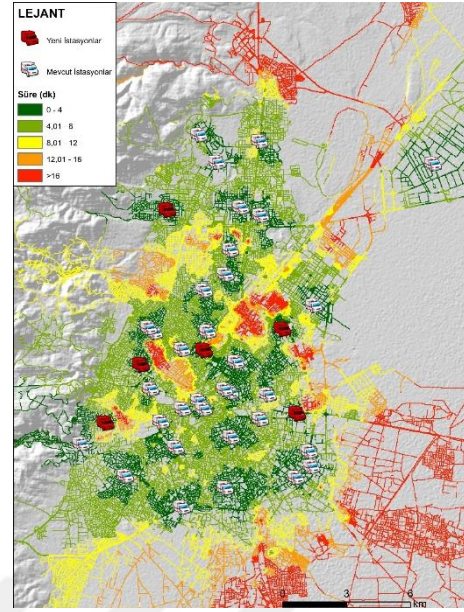
Gün Saat	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
23:00-24:00	399,2	380,4	355,0	345,2	367,8	361,6	350,6	365,7
19:00-20:00	398,6	399,6	382,2	380,4	393,0	386,8	378,8	388,5
22:00-23:00	396,4	401,4	384,0	382,2	394,8	388,6	380,6	389,7
20:00-21:00	397,0	403,8	386,4	384,6	397,2	391,0	383,0	391,9
21:00-22:00	396,5	406,2	388,8	387,0	399,6	393,4	385,4	393,8
02:00-03:00	394,9	414,8	397,4	395,6	408,2	402,0	394,0	401
01:00-02:00	402,7	417,2	399,8	398,0	410,6	404,4	396,4	404,2
00:00-01:00	403,2	417,4	400,0	398,2	410,8	404,6	396,6	404,4
15:00-16:00	403,2	417,6	400,2	398,4	411,0	404,8	396,8	404,6
10:00-11:00	396,9	424,4	407,0	405,2	417,8	411,6	403,6	409,5
04:00-05:00	422,2	420,4	403,0	401,2	413,8	407,6	399,6	409,7
03:00-04:00	403,8	427,6	410,2	408,4	421,0	414,8	406,8	413,2
11:00-12:00	417,5	428,7	411,3	409,5	422,1	415,9	407,9	416,1
13:00-14:00	416,1	429,5	412,1	410,3	422,9	416,7	408,7	416,6
05:00-06:00	421,2	428,7	411,3	409,5	422,1	415,9	407,9	416,7
12:00-13:00	427,1	429,6	412,2	410,4	423,0	416,8	408,8	418,3
09:00-10:00	428,7	429,3	411,9	410,1	422,7	416,5	408,5	418,2
06:00-07:00	410,5	433,2	415,8	414,0	426,6	420,4	412,4	419
07:00-08:00	422,3	434,1	416,7	414,9	427,5	421,3	413,3	421,4
08:00-09:00	417,2	436,5	419,1	417,3	429,9	423,7	415,7	422,8
17:00-18:00	423,7	441,5	424,1	422,3	434,9	428,7	420,7	428
14:00-15:00	433,3	442,8	425,4	423,6	436,2	430,0	422,0	430,5
16:00-17:00	426,6	445,3	427,9	426,1	438,7	432,5	424,5	431,7
18:00-19:00	428,1	447,5	440,1	428,3	444,9	434,7	431,7	436,5
t _{mak} -t _{min}	38,4	67,1	85,1	83,1	77,1	73,1	81,1	70,8

Çizelge 4.12. Durum 1 için haftanın günleri ve günün saatlerine göre ortalama seyahat süreleri (gecikme süresi 10 sn) (sn)

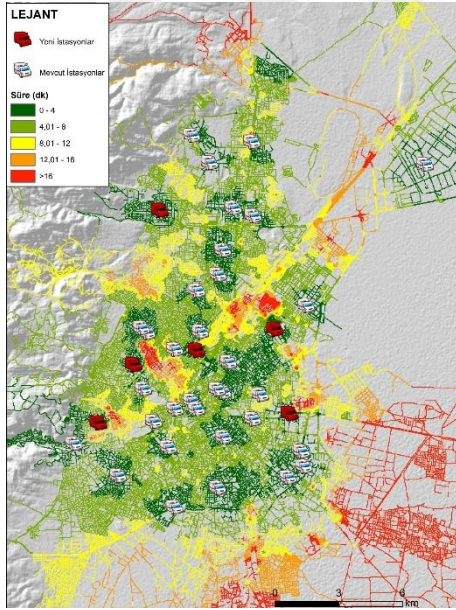
Gün Saat	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
23:00-24:00	409,2	393,9	370,5	368,7	371,3	375,1	367,1	379,4
19:00-20:00	409,8	410,8	393,4	391,6	404,2	398	390	399,7
22:00-23:00	407,1	411,9	394,5	392,7	405,3	399,1	391,1	400,2
20:00-21:00	406,4	413,3	395,9	394,1	406,7	400,5	392,5	401,3
21:00-22:00	407,2	417,1	399,7	397,9	410,5	404,3	396,3	404,7
02:00-03:00	406,6	425,1	407,7	405,9	418,5	412,3	404,3	411,5
01:00-02:00	412,8	426,7	409,3	407,5	420,1	413,9	405,9	413,7
00:00-01:00	412,5	426,8	409,4	407,6	420,2	414	406	413,8
15:00-16:00	412,8	427	409,6	407,8	420,4	414,2	406,2	414
10:00-11:00	405	431,3	413,9	412,1	424,7	418,5	410,5	416,6
04:00-05:00	430,6	431,3	413,9	412,1	424,7	418,5	410,5	420,2
03:00-04:00	413,4	436,9	419,5	417,7	430,3	424,1	416,1	422,6
11:00-12:00	426,3	437,7	420,3	418,5	431,1	424,9	416,9	425,1
13:00-14:00	428,3	438	420,6	418,8	431,4	425,2	417,2	425,6
05:00-06:00	420,3	440,5	423,1	421,3	433,9	427,7	419,7	426,6
12:00-13:00	435,3	438,4	421	419,2	431,8	425,6	417,6	427
09:00-10:00	436,4	439,1	421,7	419,9	432,5	426,3	418,3	427,7
06:00-07:00	426,2	441	423,6	421,8	434,4	428,2	420,2	427,9
07:00-08:00	431	444,7	427,3	425,5	438,1	431,9	423,9	431,8
08:00-09:00	427,5	447,2	429,8	428	440,6	434,4	426,4	433,4
17:00-18:00	433,6	449,4	432	430,2	442,8	436,6	428,6	436,2
14:00-15:00	433,9	451,7	434,3	432,5	445,1	438,9	430,9	438,2
16:00-17:00	434,9	452,4	435	433,2	445,8	439,6	431,6	438,9
18:00-19:00	444,1	453,1	436,2	441,9	446,5	445,3	432,3	442,8
t _{mak} -t _{min}	39,1	59,2	65,7	73,2	75,2	70,2	65,2	63,4



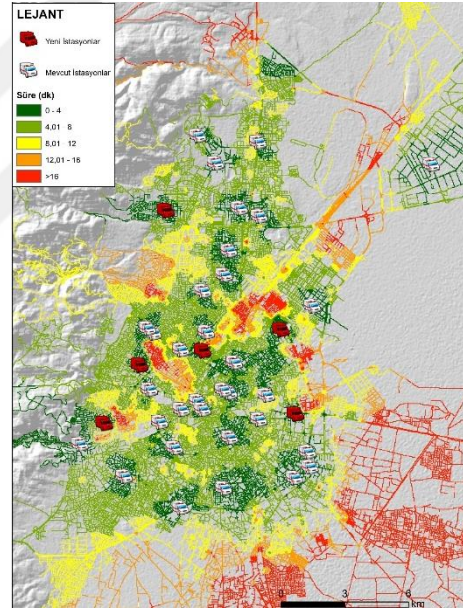
(a)



(b)



(c)



(d)

Harita 4.2. Seyahat süresi haritaları (a) Durum 1 gecikme 0 sn için 23:00-24:00 (b) Durum 1 gecikme 0 sn için 18:00-19:00 (c) Durum 1 gecikme 10 sn için 23:00-24:00 (d) Durum 1 gecikme 10 sn için 18:00-19:00

4.3.3. Durum 2

Durum 2; sistemde hiçbir tesis olmadan tüm tesisler baştan atanarak 8 dakikadan kapsanan alan %90 yapılmaya çalışılmıştır. Tüm tesisler atandıktan sonraki model sonuçları Çizelge 4.13'te verilmiştir. Her talep noktası tüm zamanlar için yapılan hesaplamada taleplerin; bağlantı noktalarında 10 saniye gecikme süresi ile yapılan analizlerde %90,43'ü 8 dakikadan daha az, %93,45'i 12 dakikadan daha az ve %96,86'sı 16 dakikadan daha az seyahat süresi ile karşılanmıştır. Sistemde harcanan süre ise $2,08E+11$ saniye (talep başına ortalama 6,82 dk) olarak hesaplanmıştır.

Yapılan analizlere ilişkin günün 24 saati için her talep noktası için ortalama seyahat süreleri ile ArcMap 10.8.2 programı Inverse Distance Weighted (IDW) modülü ile yapılan haritalar Ek-5'te detaylı olarak verilmiştir.

Haftanın günlerinin saat dilimlerine göre ortalama seyahat süreleri Çizelge 4.14'te verilmiştir. Gün içerisindeki saatlere göre ortalama seyahat süresilerinin en yüksek ve en düşük değerlerinin farkı 73,5 saniye ile 131,7 saniye arasında değişmektedir.

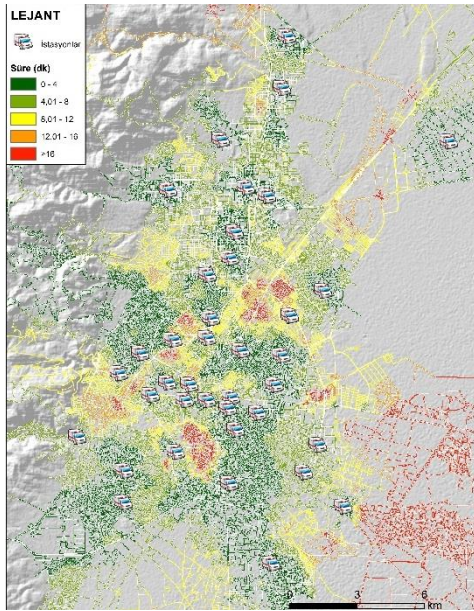
Haritalardan ve çizelgelerden günün en hızlı yanıt süresi olan 23:00-24:00 saatleri ve en yavaş yanıt süresi olan 17:00-18:00 saatlerinin haritaları örnek olarak Harita 4.3'te verilmiştir. Yoğun saatler kırmızı bölgeler genişlediği görülmektedir.

Çizelge 4.13. Durum 2 için model sonuçları

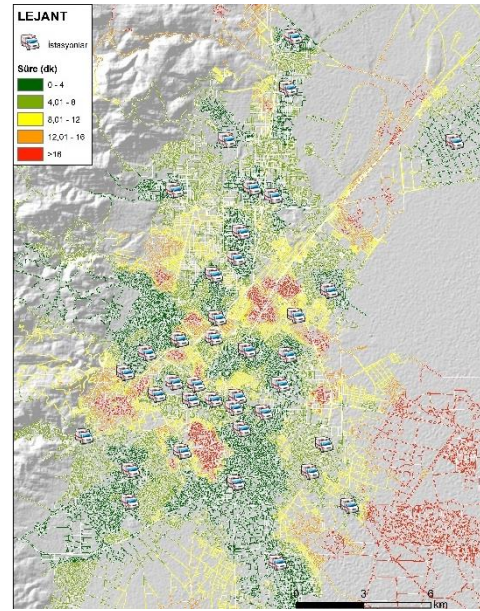
Durum 2	Formülasyon	Kriter	Amaç Fonksiyonu (Gecikme 10 sn)
Değerlendirme 1	A	Sistemde harcanan toplam süre (sn)	$2,08E+11$
Değerlendirme 2	B	8 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	90,43
Değerlendirme 3	B	12 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	93,45
Değerlendirme 4	B	16 dk. içerisinde kapsanan talep (%)	96,86

Çizelge 4.14. Durum 2 için haftanın günleri ve günün saatlerine göre ortalama seyahat süreleri (sn) (gecikme süresi 10 sn)

Gün Saat	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
23:00-24:00	377,3	340,1	343,1	335,1	341,1	326,1	332,1	342,1
22:00-23:00	380,5	363,9	363,9	361,9	363,9	361,9	363,9	365,7
19:00-20:00	379,2	369,2	367,2	368,2	369,2	368,2	368,2	370
20:00-21:00	382,8	372,0	369,0	370,0	372,0	369,0	371,0	372,2
21:00-22:00	383,3	380,0	378,0	379,0	380,0	379,0	377,0	379,5
01:00-02:00	383,9	392,0	391,0	392,0	391,0	392,0	391,0	390,4
00:00-01:00	386,7	395,6	395,6	395,6	394,6	395,6	394,6	394,1
02:00-03:00	388,7	395,8	396,8	397,8	395,8	397,8	397,8	395,8
04:00-05:00	390,4	398,0	398,0	399,0	400,0	400,0	399,0	397,8
03:00-04:00	383,8	405,2	405,2	405,2	405,2	404,2	405,2	402
05:00-06:00	413,0	407,6	407,6	407,6	409,6	409,6	409,6	409,3
13:00-14:00	429,5	409,0	408,0	408,0	409,0	409,0	409,0	411,7
14:00-15:00	413,2	417,1	417,1	415,1	417,1	416,1	417,1	416,1
15:00-16:00	427,9	419,4	418,4	417,4	420,4	419,4	417,4	420
09:00-10:00	407,3	424,5	424,5	424,5	426,5	426,5	424,5	422,6
10:00-11:00	437,7	424,4	424,4	425,4	425,4	424,4	425,4	426,8
11:00-12:00	429,4	429,8	428,8	429,8	428,8	429,8	428,8	429,3
12:00-13:00	423,7	438,5	438,5	439,5	439,5	438,5	439,5	436,8
08:00-09:00	433,1	440,5	441,5	440,5	440,5	441,5	440,5	439,8
18:00-19:00	447,1	444,2	443,2	444,2	443,2	444,2	444,2	444,3
06:00-07:00	431,1	448,5	448,5	448,5	447,5	448,5	447,5	445,8
07:00-08:00	435,4	450,0	450,0	451,0	451,0	450,0	451,0	448,3
16:00-17:00	443,7	456,9	456,9	456,9	457,9	456,9	456,9	455,1
17:00-18:00	450,8	457,8	456,8	456,8	457,8	457,8	457,8	456,5
t _{mak} -t _{min}	73,5	117,7	113,8	121,8	116,8	131,7	125,7	114,4



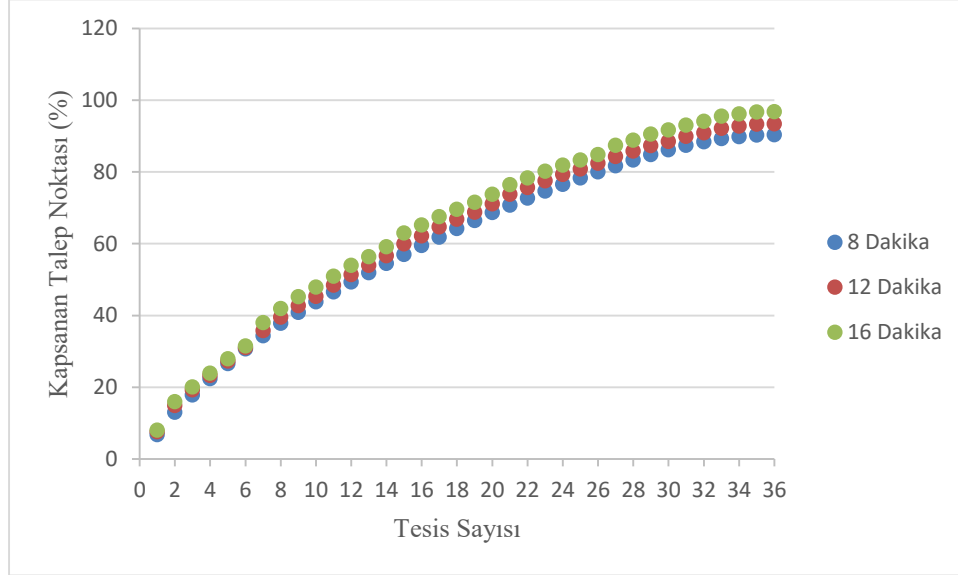
(a)



(b)

Harita 4.3. Seyahat süresi haritaları (a) Durum 2 gecikme 10 sn için 23:00-24:00 (b) Durum 2 gecikme 10 sn için 18:00-19:00

Acil sağlık hizmeti sistemine eklenen her tesis sonrasında sekiz dakika içinde kapsanana talep noktalarının değişimi şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Durum 2 eklenen tesise göre kapsanan talep yüzdeleri

4.4. Oluşturulan Veri Setlerinin Durumlara göre Test Sonuçları

Bölüm 4.1’de mahalle bazlı tahmini talep sayılarına göre rastgele zamansal dağılım ve mahalle içindeki talep noktaları ile 10 adet farklı veri setleri oluşturulmuştur. Zamansal ve talep noktalarındaki rastsallıktan dolayı 10 farklı set oluşturup daha etkili bir tahmin amaçlanmıştır. Oluşturulan veri setlerinin önceki bölümlerde incelenen durumlar ve gecikme sürelerine göre test edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda 8 dakikalık kapsama yüzdeleri Çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Veri setlerinin 8 dakika kapsama oranlarının tanımlayıcı istatistik değerleri

	Oluşturulan veri setlerine göre			Her talep noktası eşit talep (tesis sayısı)
	Ortalama	Minimum	Maksimum	
Durum 0 Gecikme 0sn	72,63	72,21	75,28	68,73 (33 tesis)
Durum 0 Gecikme 10sn	69,41	69,10	71,40	67,23 (33 tesis)
Durum 1 Gecikme 0sn	80,90	80,46	83,28	91,55 (39 tesis)
Durum 1 Gecikme 10sn	75,75	75,29	78,56	90,65 (39 tesis)
Durum 2 Gecikme 10sn	81,18	77,39	82,31	90,43 (36 tesis)

Kavşak başı 10 saniye gecikme süreli test sonuçlarında; Durum 0 için ortalama %69,41'i, Durum 1 için ortalama %75,75'i, Durum 2 için ortalama %81,18'i 8 dakika içinde karşılandığı görülmüştür.

Durum 0 için her talep noktası için eşit olasılıklı talep gelme durumu (Bölüm 4.3.1) için yapılan analiz sonucunda elde edilen kapsama oranları (%68,73; %67,23) elde edilen regresyon denklemine göre yapılan talep noktalarının sonuçlarına göre yapılan analiz sonucunda elde edilen kapsama oranlarından (%72,63; %69,41) daha düşük çıkmıştır.

Durum 1 ve Durum 2 ise bu durum tam tersidir. Eşit talep ihtimalinde elde edilen kapsama oranları ağırlıklı talep tahmini ile elde edilen sonuçlardan daha yüksektir.

Nüfusun yaş dağılımına göre gerekli süre içerisinde karşılanamayan yoğun talep bölgeleri belirlenmiştir (bağlantı noktası numarası; 4846, 4851, 4866, 4847, 5570, 5565, 5566, 5568, 5544, 5567, 5569, 5594, 5571 vb.). Belirlenen bağlantı noktaları Loras, Karaaslan Aybahçe, Aydınlikevler ve Mehmet Akif mahallelerini kapsamaktadır. Belirlenen yüksek talep miktarına sahip ve 8 dakika içinde karşılanamayan taleplerin karşılanabilmesi için ilave tesis yapılan Durum 1 ve baştan tüm tesislerin atandığı Durum 2 için ilave tesis ataması yapılarak durumlar tekrar değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.16. Veri setlerinin ilave tesis konumları ile 8 dakika kapsama oranlarının tanımlayıcı istatistik değerleri

	Oluşturulan veri setlerine göre		
	Ortalama	Minimum	Maksimum
Durum 1 Gecikme 0sn (39 tesis+aday tesis 46+ aday tesis 16)	92,89	92,54	94,35
Durum 1 Gecikme 10sn (39 tesis+aday tesis 46+ aday tesis 16)	91,46	91,06	93,41
Durum 2 Gecikme 10sn (36 tesis+aday tesis 46)	91,32	87,53	92,47

Oluşturulan veri setlerinin ortalama kapsama alanı %90'ın üzerine çıkması için Durum 1'de yer alan tesislere ilave olarak 2 tesis Durum 2 için ise 1 ilave tesis eklenmesi gerekmektedir.



5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

5.1. Sonuçlar

Acil sağlık hizmetlerine ulaşım problemleri 1970'li yıllardan itibaren çözülmeye çalışılmaktadır. Günümüzde artan nüfus ve araç sahipliği söz konusu problemin daha karmaşık hale getirmiştir. Yapılan çalışmalarda problemin büyüklüğü, yeni modelleme ve çözüm yöntemleri arayışını daha önemli hale getirmiştir.

Ambulans araçları için günümüzde artan personel maliyetleri, araç temin ve bakım maliyetleri, tesis yeri kira veya kamulaştırma maliyetleri, araç içi teçhizat maliyetleri göz önüne alınarak, ülkelerin kaynaklarını verimli kullanma gerekliliğinden dolayı imkanların doğru değerlendirilerek ambulans tesis konumlarını belirlemek oldukça önemlidir. Bu sebepler nedeniyle araştırmacılar her geçen gün yeni yöntem arayışlarını sürdürmektedir.

Yapılan araştırmalar incelendiğinde tesis atama problemleri çoğunlukla bir veya birkaç ortalama ambulans hızı ile değerlendirmeler yapmaktadır. Ayrıca birçok çalışma yol güzergahlarını kullanmaksızın belirli bir ulaşım mesafesi ile dairesel alanlar üzerinde kapsama ile çözüm üretmektedirler. Ancak bu yaklaşımlar gerçek hayat için oldukça uygunsuzdur. Gerçek hayatta neredeyse her zaman dilimi için farklı trafik yoğunluk durumları söz konusudur. Ayrıca erişilebilirliğin her çağrı ve tesis arasında belirli bir güzergahtan olması zorunluluğundan dolayı dairesel erişilebilirlik kabulü oldukça yanlıştır.

Bu çalışmada, yeni bir konum problemi geliştirilerek, tüm bu durumlar göz önüne alınmış olup günün her zaman dilimi (5 dakika aralıklı) için hız değerleri ve erişilebilirliğin pathler üzerinden yapılması ile örnek bölge olarak Konya ili merkez 3 ilçesini kapsayacak şekilde çözümler geliştirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler; mevcut durum için modellerin uygulanarak durum tespiti (Durum 0), yeni tesis ilave edilerek 8 dakika içerisinde ulaşılan talep noktalarının %90'ın üzerine çıkarılması (Durum 1), tüm sistem baştan atanarak 8 dakika erişim alanının %90 üzerinde olması (Durum 2) değerlendirilmiştir. Tüm bu durumlar, tüm zaman dilimlerinde her talep noktasından eşit talep gelmesi durumunu içermektedir. Ancak nüfusun demografik yapısı ve bölgelerin kullanım alanları çağrı gelme durumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebepten dolayı mahalle bazlı nüfusun demografik yapısına göre belirlenen talep miktarları ile oluşturulan veri setleri değerlendirilmiş olup bu durumların iyileştirilmesi için ilave tesis önerileri yapılmıştır.

Mevcut durum için yapılan analizlere göre path üzerindeki her kavşakta ortalama 10 saniye gecikme süresi ile yapılan analiz sonuçlarına göre talep noktalarının %67,23'ü 8 dakika içerisinde kapsanmaktadır. Bu sebeple yeni tesis ihtiyacı olduğu görülmektedir. Kurulan model sayesinde en fazla fayda sağlayan aday tesis konumları belirlenerek 33 mevcut tesise 6 adet tesis ilave edilerek 8 dakika içerisinde kapsanan talep noktası %90,65 olmuştur. Ayrıca tüm tesisler kaldırılarak en fazla fayda sağlayan tesisten en az fayda sağlayan tesise doğru tesis ilave edilerek %90'ın üzerinde kapsama amaçlanmıştır. Bunun sonucunda (Şekil 4.1.) 36 tesis ile %90,43'lük bir kapsama alanı sağlanmıştır.

Bu durum mevcut tesislerinin 6 tesis ilave edilerek sağlanan orana baştan atama ile 36 tesis ile sağlandığını göstermiştir. Bu da mevcut durumdaki bazı tesislerin yer seçiminin yanlış yapıldığını göstermektedir. En az tesis sayısı ile istenilen çözümün elde edildiği durum, baştan atama yöntemi ile elde edilen sonuçlardır. Ayrıca aday tesislerin her biri ücretsiz ve kamusal alan olmasından dolayı, kapatılıp yeni gösterilen tesis konumları sayesinde istasyonların işletmesi için ödenilen kira bedellerinden de kurtarmaktadır.

Tüm bu durumlar nüfusa bağlı üretilen veri setleri ile tekrar değerlendirilmiştir. Bu analizler sonucunda Durum 0 için her noktadan eşit talep gelmesi durumunda %67,23'lük bir kapsama alanına sahip iken nüfusun demografik yapısına göre oluşturulan talep miktarları ile analiz tekrarlandığında on veri seti için ortalama %69,41'lik (min:%69,10-mak:%71,40) bir kapsama alanı olduğu görülmüştür. Bu durum hem Sağlık Bakanlığı tarafından nüfus ve çağrı sayısına göre planlama yapıldığını hem de üretilen veri setinin doğruluğunu desteklemektedir.

Durum 1 için için her noktadan eşit talep gelmesi durumunda %90,65'lik bir kapsama alanına sahip iken nüfusun demografik yapısına göre oluşturulan talep miktarları ile analiz tekrarlandığında on veri seti için ortalama %75,75 (min:%75,29-mak:%78,56) bir kapsama alanı olduğu görülmüştür. Bu durum her nokta için eşit talep ihtimali ile yapılan analizin yetersiz olduğunu ve yeni tesis(ler) ilave edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu sebepten dolayı gerekli süre standardı içerisinde en fazla karşılanamayan talep noktaları belirlenmiş ve bu konumların kapsanması için gerekli tesisler ilave edilerek analizler tekrar edilmiştir. Bunun sonucunda Durum 1'de kullanılan 39 tesise ilave olarak 2 yeni tesis ile bu durum %91,46'lık (min:%91,06-mak:%93,41) gerekli standarda getirilmiştir.

Durum 2 için aynı şekilde analizler yapılmıştır. Her noktadan eşit talep gelmesi durumunda %90,43'lük bir kapsama alanına sahip iken nüfusun demografik yapısına göre oluşturulan talep miktarları ile analiz tekrarlandığında on veri seti için ortalama %81,18'lik (min:%77,39-mak:%82,31) bir kapsama alanı olduğu görülmüştür. Bu Durum 1 ile aynı şekilde her nokta için eşit talep ihtimali ile yapılan analizin yetersiz olduğunu ve yeni tesis(ler) ilave edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu sebepten dolayı gerekli süre standardı içerisinde en fazla karşılanamayan talep noktaları belirlenmiş ve bu konumların kapsanması için gerekli tesisler ilave edilerek analizler tekrar edilmiştir. Bunun sonucunda Durum 2'de kullanılan 36 tesise ilave olarak 1 yeni tesis ile bu durum %91,32'lik (min:%89,53-mak:%92,47) gerekli standarda getirilmiştir.

Tüm bu durumlar değerlendirildiğinde mevcut durum için tesis sayısının ulaşım süresi açısından yetersiz olduğu ancak tesis konumlarının belirlenmesinde nüfusun ve çağrı sayıların dikkate alındığını göstermiştir. Bunun sonucunda ilave tesis yöntemi ile yapılan analizler sonucunda Durum 0'da yer alan tesis konumlarının bazılarının hatalı olmasından kaynaklı daha fazla sayıda tesis ile gerekli standart süre içerisinde karşılanmıştır. Durum 2'de bu hatanın giderilmesi için tüm tesislerin baştan atanması sağlanmış; Durum 1'de (39 tesis) ulaşılan sonuca 36 tesis ile ulaşarak daha az kamu kaynağı kullanımı ile çözüm üretilmiştir. Talep noktalarından demografik yapıya göre farklı talep miktarları ile yapılan sonuçlarda Durum 1'in standardı karşılaması için ilave 2 tesis gerekirken Durum 2 için ilave 1 tesis gerekmesi bu durumu destekler niteliktedir.

5.2. Öneriler

Bu tez çalışmasında Sağlık Bakanlığı'ndan herhangi bir çağrı kayıtlarına ilişkin bilgi edinilememiştir. Bu sebepten dolayı oluşturulan veri setleri yerine gerçek veri seti ile çalışmak önerilen model ile yapılacak uygulamaların daha verimli olması açısından oldukça önemlidir. Verilerin elde edilememesi durumu için belirlenen talep noktalarının kullanım amaçları detaylı olarak belirlenerek çağrı gelme saatleri daha az rastsal olarak tahmin edilip daha iyi çözümler geliştirilebilir.

Çalışma kapsamında kullanılan hızlar ve bu hızlardan elde edilen seyahat süreleri 2023 yılını kapsamaktadır. Mevcut harita uygulamalarının API arayüzlerinin sahip olduğu veri tabanları üzerinden geçmiş yıllara ait daha uzun süreli hız verileri alınarak çalışmanın anlık ve bir yıla ait olan durumlarının tespit edilmesi ile daha genel olarak ifade edilebilecek hız verileri

düzenlenebilir. Bu şekilde bir çalışma ile daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir. bu tip bir verinin temini için uygulama sağlayıcıların talep ettikleri fiyat oldukça yüksek olduğu için bu çalışma kapsamında veri madenciliği yöntemi kullanılarak veriler elde edilmiştir. Ancak hizmet sağlayıcılar için gerekli işletme maliyetleri ve insan hayatı söz konusu olduğunda bu maliyetin karşılanabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

1. Moore, L. (1999). Measuring quality and effectiveness of prehospital EMS. *Prehospital Emergency Care*, 3(4), 325-331.
2. Sasser, S. (2005). *Prehospital trauma care systems*. Switzerland: World Health Organization.
3. Jagtenberg, C. J. (2017). *Efficiency and fairness in ambulance planning*. Doktora Tezi, Vrije Universiteit, Amsterdam.
4. Fischer, M., Kamp, J., Riesgo, L. G. C., Robertson-Steel, I., Overton, J., and Ziemann, A. (2011). Comparing emergency medical service systems—A project of the European Emergency Data (EED) Project. *Resuscitation*, 82(3), 285-293.
5. Totten, V., and Bellou, A. (2013). Development of emergency medicine in Europe. *Academic Emergency Medicine*, 20(5), 514-521.
6. World Health Organization. (2008). *Emergency medical services systems in the European Union: report of an assessment project co-ordinated by the World Health Organization-Data book*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
7. Zuzáková, B. B., Kommer, G. J. (2012). *Optimal emergency medical service system design*. Yüksek Lisans Tezi, VU University, Amsterdam.
8. Peleg, K., and Pliskin, J. S. (2004). A geographic information system simulation model of EMS: reducing ambulance response time. *The American Journal of Emergency Medicine*, 22(3), 164-170.
9. Shah, M. N. (2006). The formation of the emergency medical services system. *American Journal of Public Health*, 96(3), 414-423.
10. Cromley, E., and Wei, X. (2001). *Locating facilities for EMS response to motor vehicle collisions*. Dublin: University of Connecticut.
11. Brotcorne, L., Laporte, G., and Semet, F. (2003). Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, 147(3), 451-463.
12. Sasaki, S., Comber, A. J., Suzuki, H., and Brunson, C. (2010). Using genetic algorithms to optimise current and future health planning-the example of ambulance locations. *International Journal of Health Geographics*, 9, 1-10.
13. Abbott, R. M. (2008). Geographic analysis of ambulance availability in Arkansas. *Family & Community Health*, 31(1), 35-43.
14. Gümüş, N., Gündüzoğlu, G., Aşkın, Y., Yanılmaz, B., Sofuoğlu, T., Keskin, H., & Özmen, Ö. (2006). *İzmir anakentinde 112 ambulans istasyonlarının dağılışı ve CBS yöntemiyle hizmet alanlarının sorgulanması*. 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri Konferansında sunuldu, İstanbul.

15. Pell, J. P., Sirel, J. M., Marsden, A. K., Ford, I., and Cobbe, S. M. (2001). Effect of reducing ambulance response times on deaths from out of hospital cardiac arrest: cohort study. *BMJ*, 322(7299), 1385-1388.
16. Liu, M., Yang, D., and Hao, F. (2017). Optimization for the Locations of Ambulances under Two-Stage Life Rescue in the Emergency Medical Service: A Case Study in Shanghai, China. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017(1), 1830480.
17. Kıldak, L., Keskinoglu, P., Sofuoğlu, T., and Ölmezoğlu, Z. (2009). The evaluation of 112 emergency ambulance service uses in İzmir. *Genel Tıp Dergisi*, 19(3), 113-119.
18. Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19(6), 1363-1373.
19. Church, R., and ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers in Regional Science*, 32(1), 101-118.
20. Gendreau, M., Laporte, G., and Semet, F. (1997). Solving an ambulance location model by tabu search. *Location Science*, 5(2), 75-88.
21. Daskin, M. S. (1983). A maximum expected covering location model: formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science*, 17(1), 48-70.
22. ReVelle, C., and Hogan, K. (1989). The maximum availability location problem. *Transportation Science*, 23(3), 192-200.
23. Gendreau, M., Laporte, G., and Semet, F. (2001). A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation. *Parallel Computing*, 27(12), 1641-1653.
24. Rajagopalan, H. K., Saydam, C., and Xiao, J. (2008). A multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances. *Computers & Operations Research*, 35(3), 814-826.
25. Current, J. R., and Storbeck, J. E. (1988). Capacitated covering models. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 15(2), 153-163.
26. ReVelle, C., and Hogan, K. (1989). The maximum reliability location problem and α -reliablep-center problem: Derivatives of the probabilistic location set covering problem. *Annals of Operations Research*, 18(1), 155-173.
27. Marianov, V., and ReVelle, C. (1994). The queuing probabilistic location set covering problem and some extensions. *Socio-Economic Planning Sciences*, 28(3), 167-178.
28. Berman, O., and Krass, D. (2002). The generalized maximal covering location problem. *Computers & Operations Research*, 29(6), 563-581.
29. O'Hanley, J. R., and Church, R. L. (2011). Designing robust coverage networks to hedge against worst-case facility losses. *European Journal of Operational Research*, 209(1), 23-36.

30. Repede, J. F., and Bernardo, J. J. (1994). Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky. *European Journal of Operational Research*, 75(3), 567-581.
31. Barilan, J., Kortsarz, G., and Peleg, D. (1993). How to allocate network centers. *Journal of Algorithms*, 15(3), 385-415.
32. Jaeger, M., and Goldberg, J. (1994). A polynomial algorithm for the equal capacity p-center problem on trees. *Transportation Science*, 28(2), 167-175.
33. Minieka, E. (1980). Conditional centers and medians of a graph. *Networks*, 10(3), 265-272.
34. Krumke, S. O. (1995). On a generalization of the p-center problem. *Information Processing Letters*, 56(2), 67-71.
35. Khuller, S., Pless, R., and Sussmann, Y. J. (2000). Fault tolerant k-center problems. *Theoretical Computer Science*, 242(1-2), 237-245.
36. Chen, D., and Chen, R. (2013). Optimal algorithms for the α -neighbor p-center problem. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 36-43.
37. Nozick, L. (2001). The fixed charge facility location problem with coverage restrictions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(4), 281-296.
38. Larson, R. C. (1974). A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services. *Computers & Operations Research*, 1(1), 67-95.
39. Larson, R. C. (1975). Approximating the performance of urban emergency service systems. *Operations Research*, 23(5), 845-868.
40. Batta, R., Dolan, J. M., and Krishnamurthy, N. N. (1989). The maximal expected covering location problem: Revisited. *Transportation Science*, 23(4), 277-287.
41. Galvao, R. D., Chiyoshi, F. Y., and Morabito, R. (2005). Towards unified formulations and extensions of two classical probabilistic location models. *Computers & Operations Research*, 32(1), 15-33.
42. Mendonça, F. C., and Morabito, R. (2001). Analysing emergency medical service ambulance deployment on a Brazilian highway using the hypercube model. *Journal of the Operational Research Society*, 52(3), 261-270.
43. Ohlsson, M., Peterson, C., and Söderberg, B. (2001). An efficient mean field approach to the set covering problem. *European Journal of Operational Research*, 133(3), 583-595.
44. Brotcorne, L., Laporte, G., and Semet, F. (2002). Fast heuristics for large scale covering-location problems. *Computers & Operations Research*, 29(6), 651-665.
45. Aickelin, U. (2002). An indirect genetic algorithm for set covering problems. *Journal of the Operational Research Society*, 53(10), 1118-1126.

46. Saydam, C., and Aytuğ, H. (2003). Accurate estimation of expected coverage: revisited. *Socio-Economic Planning Sciences*, 37(1), 69-80.
47. Karasakal, O., and Karasakal, E. K. (2004). A maximal covering location model in the presence of partial coverage. *Computers & Operations Research*, 31(9), 1515-1526.
48. Church, R. L., Scaparra, M. P., and Middleton, R. S. (2004). Identifying critical infrastructure: the median and covering facility interdiction problems. *Annals of the Association of American Geographers*, 94(3), 491-502.
49. Doerner, K. F., Gutjahr, W. J., Hartl, R. F., Karall, M., and Reimann, M. (2005). Heuristic solution of an extended double-coverage ambulance location problem for Austria. *Central European Journal of Operations Research*, 13(4), 325-340.
50. Henderson, S. G., and Mason, A. J. (2005). *Ambulance service planning: simulation and data visualisation. Operations research and health care*. Boston: Kluwer Academic Publishers. 77-102.
51. Alsalloum, O. I., & Rand, G. K. (2006). Extensions to emergency vehicle location models. *Computers & Operations Research*, 33(9), 2725-2743.
52. Chuang, C.-L., & Lin, R.-H. (2007). A maximum expected covering model for an ambulance location problem. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24(6), 468-474.
53. Yi, W., and Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 660-672.
54. Rajagopalan, H. K., Vergara, F. E., Saydam, C., and Xiao, J. (2007). Developing effective meta-heuristics for a probabilistic location model via experimental design. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 83-101.
55. Galinier, P., and Hertz, A. (2007). Solution techniques for the large set covering problem. *Discrete Applied Mathematics*, 155(3), 312-326.
56. Lan, G., DePuy, G. W., and Whitehouse, G. E. (2007). An effective and simple heuristic for the set covering problem. *European Journal of Operational Research*, 176(3), 1387-1403.
57. Araz, C., Selim, H., and Ozkarahan, I. (2007). A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services. *Computers & Operations Research*, 34(3), 705-726.
58. Takeda, R. A., Widmer, J. A., and Morabito, R. (2007). Analysis of ambulance decentralization in an urban emergency medical service using the hypercube queueing model. *Computers & Operations Research*, 34(3), 727-741.
59. Iannoni, A. P., and Morabito, R. (2007). A multiple dispatch and partial backup hypercube queueing model to analyze emergency medical systems on highways. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 755-771.

60. Jia, H., Ordóñez, F., and Dessouky, M. M. (2007). Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Computers & Industrial Engineering*, 52(2), 257-276.
61. Bautista, J., and Pereira, J. (2007). A GRASP algorithm to solve the unicast set covering problem. *Computers & Operations Research*, 34(10), 3162-3173.
62. Iannoni, A. P., Morabito, R., and Saydam, C. (2008). A hypercube queueing model embedded into a genetic algorithm for ambulance deployment on highways. *Annals of Operations Research*, 157(1), 207-224.
63. Berman, O., and Huang, R. (2008). The minimum weighted covering location problem with distance constraints. *Computers & Operations Research*, 35(2), 356-372.
64. Baron, O., Berman, O., Kim, S., and Krass, D. (2009). Ensuring feasibility in location problems with stochastic demands and congestion. *IIE Transactions*, 41(5), 467-481.
65. Eiselt, H., and Marianov, V. (2009). Gradual location set covering with service quality. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(2), 121-130.
66. Sørensen, P., and Church, R. (2010). Integrating expected coverage and local reliability for emergency medical services location problems. *Socio-Economic Planning Sciences*, 44(1), 8-18.
67. Alexandris, G., and Giannikos, I. (2010). A new model for maximal coverage exploiting GIS capabilities. *European Journal of Operational Research*, 202(2), 328-338.
68. Erdemir, E. T., Batta, R., Rogerson, P. A., Blatt, A., and Flanagan, M. (2010). Joint ground and air emergency medical services coverage models: A greedy heuristic solution approach. *European Journal of Operational Research*, 207(2), 736-749.
69. Berman, O., Drezner, Z., and Krass, D. (2011). Discrete cooperative covering problems. *Journal of the Operational Research Society*, 62(11), 2002-2012.
70. Shariff, S. R., Moin, N. H., and Omar, M. (2012). Location allocation modeling for healthcare facility planning in Malaysia. *Computers & Industrial Engineering*, 62(4), 1000-1010.
71. Naoum-Sawaya, J., and Elhedhli, S. (2013). A stochastic optimization model for real-time ambulance redeployment. *Computers & Operations Research*, 40(8), 1972-1978.
72. Hatta, W., Lim, C. S., Abidin, A. F. Z., Azizan, M. H., and Teoh, S. S. (2013). Solving maximal covering location with particle swarm optimization. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(4), 3301-3306.
73. Zhang, Y., Qi, M., Miao, L., and Liu, E. (2014). Hybrid metaheuristic solutions to inventory location routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, 305-323.
74. Degel, D., Wiesche, L., Rachuba, S., and Werners, B. (2015). Time-dependent ambulance allocation considering data-driven empirically required coverage. *Health Care Management Science*, 18(4), 444-458.

75. van den Berg, P. L., and Aardal, K. (2015). Time-dependent MEXCLP with start-up and relocation cost. *European Journal of Operational Research*, 242(2), 383-389.
76. Edrissi, A., Nourinejad, M., and Roorda, M. J. (2015). Transportation network reliability in emergency response. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 80, 56-73.
77. Iannoni, A. P., Chiyoshi, F., and Morabito, R. (2015). A spatially distributed queuing model considering dispatching policies with server reservation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 49-66.
78. Lahijanian, B., Zarandi, M. F., and Farahani, F. V. (2016). *Double coverage ambulance location modeling using fuzzy traveling time*. In 2016 Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS). Texas ,1-6.
79. Van Den Berg, P. L., Van Essen, J. T., and Harderwijk, E. J. (2016). *Comparison of static ambulance location models*. 2016 3rd International conference on logistics operations management (GOL). Morocco.
80. Nickel, S., Reuter-Oppermann, M., and Saldanha-da-Gama, F. (2016). Ambulance location under stochastic demand: A sampling approach. *Operations Research for Health Care*, 8, 24-32.
81. Leknes, H., Aartun, E. S., Andersson, H., Christiansen, M., and Granberg, T. A. (2017). Strategic ambulance location for heterogeneous regions. *European Journal of Operational Research*, 260(1), 122-133.
82. Ansari, S., Yoon, S., and Albert, L. A. (2017). An approximate hypercube model for public service systems with co-located servers and multiple response. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 103, 143-157.
83. Zhou, Y., Liu, J., Zhang, Y., and Gan, X. (2017). A multi-objective evolutionary algorithm for multi-period dynamic emergency resource scheduling problems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 99, 77-95.
84. Zhang, S., and Cardin, M.-A. (2017). Flexibility and real options analysis in emergency medical services systems using decision rules and multi-stage stochastic programming. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 107, 120-140.
85. van Barneveld, T., Jagtenberg, C., Bhulai, S., and van der Mei, R. (2018). Real-time ambulance relocation: Assessing real-time redeployment strategies for ambulance relocation. *Socio-Economic Planning Sciences*, 62, 129-142.
86. Enayati, S., Mayorga, M. E., Rajagopalan, H. K., and Saydam, C. (2018). Real-time ambulance redeployment approach to improve service coverage with fair and restricted workload for EMS providers. *Omega*, 79, 67-80.
87. Chu, F., Wang, L., Liu, X., Chu, C., and Sui, Y. (2018). Distribution-Free Model for Ambulance Location Problem with Ambiguous Demand. *Journal of Advanced Transportation*, 2018.

88. Ramírez, J. D., Granda, E., Villarreal, B., and Frutos, G. (2018). *A Comparison of Ambulance Location Models in Two Mexican Cases*. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. IEOM Society.
89. Zapata-Murillo, P., and Baldoquin de la Peña, M. G. (2018). Vehicle location models for Emergency Medical Services. An application for a Colombian company. *Revista EIA*, 15(29), 31-46.
90. Mousazadeh, M., Torabi, S. A., Pishvae, M., and Abolhassani, F. (2018). Accessible, stable, and equitable health service network redesign: A robust mixed possibilistic-flexible approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 111, 113-129.
91. Tsai, Y., Chang, K.-W., Yiang, G.-T., and Lin, H.-J. (2018). Demand forecast and multi-objective ambulance allocation. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 32(07), 1859011.
92. El Itani, B., Abdelaziz, F. B., and Masri, H. (2018). A Bi-objective Covering Location Problem: Case of ambulance location in the Beirut area, Lebanon. *Management Decision*, 57(2), 432-444.
93. Kaveh, M., and Mesgari, M. S. (2019). Improved biogeography-based optimization using migration process adjustment: An approach for location-allocation of ambulances. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 800-813.
94. Nilsang, S., Yuangyai, C., Cheng, C.-Y., and Janjarassuk, U. (2019). Locating an ambulance base by using social media: A case study in Bangkok. *Annals of Operations Research*, 283(1), 497-516.
95. Amiri-Aref, M., Farahani, R. Z., Hewitt, M., and Klibi, W. (2019). Equitable location of facilities in a region with probabilistic barriers to travel. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 127, 66-85.
96. Mullaoğlu, G., and Sariyer, G. (2019). Variations of Double Coverage Ambulance Location Model Using Call Volume and Population Data. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 36(8), 533-545.
97. Du, B., Zhou, H., and Leus, R. (2020). A two-stage robust model for a reliable p-center facility location problem. *Applied Mathematical Modelling*, 77, 99-114.
98. Isfahani, M. N., Rafieian, M. A., Valikhany, A., and Alinaghian, M. (2020). A mathematical model for efficient ambulance location based on DSM-MALP integration. *Journal of Emergency Management*, 18(2), 153-162.
99. Wang, J., Wang, Y., and Yu, M. (2020). A multi-period ambulance location and allocation problem in the disaster. *Journal of Combinatorial Optimization*, 43, 1-24.
100. Wajid, S., Nezamuddin, N., and Unnikrishnan, A. (2020). Optimizing ambulance locations for coverage enhancement of accident sites in South Delhi. *Transportation Research Procedia*, 48, 280-289.

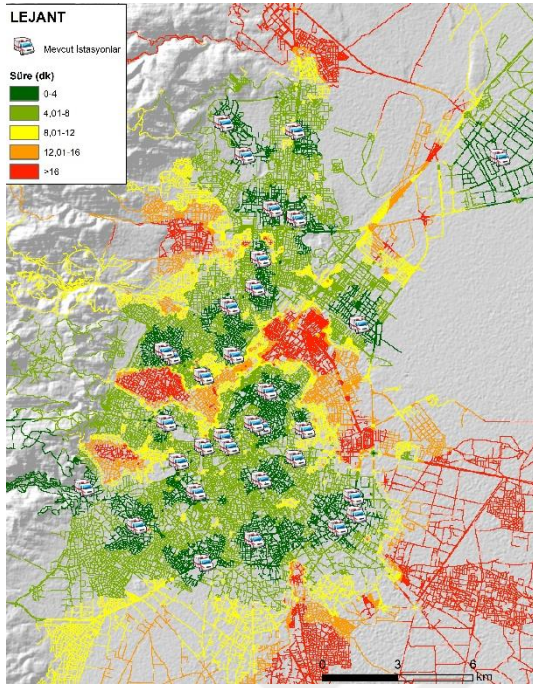
101. Jánošíková, Ľ., Jankovič, P., Kvet, M., and Zajacová, F. (2021). Coverage versus response time objectives in ambulance location. *International Journal of Health Geographics*, 20(1), 1-16.
102. Mohri, S. S., and Haghshenas, H. (2021). An ambulance location problem for covering inherently rare and random road crashes. *Computers & Industrial Engineering*, 151, 106937.
103. Uluşan, A., and Ergun, Ö. (2021). Approximate dynamic programming for network recovery problems with stochastic demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 151, 102358.
104. Fadda, E., Manerba, D., Cabodi, G., Camurati, P. E., and Tadei, R. (2021). Comparative analysis of models and performance indicators for optimal service facility location. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 145, 102174.
105. Nadar, R. A., Jha, J., and Thakkar, J. J. (2021). Strategic location of ambulances under temporal variation in demand and travel time using variable neighbourhood search based approach. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107780.
106. Majlesinasab, N., Maleki, M., and Nikbakhsh, E. (2022). Performance evaluation of an EMS system using queuing theory and location analysis: A case study. *The American Journal of Emergency Medicine*, 51, 32-45.
107. Zamani, S., Arkat, J., and Niaki, S. T. A. (2022). Service interruption and customer withdrawal in the congested facility location problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 165, 102866.
108. Sun, H., Li, J., Wang, T., and Xue, Y. (2022). A novel scenario-based robust bi-objective optimization model for humanitarian logistics network under risk of disruptions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102578.
109. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. 2023 Nüfus İstatistikleri. URL: <https://nip.tuik.gov.tr/>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2025
110. McSwain, N. E. (1991). Prehospital emergency medical systems and cardiopulmonary resuscitation. *Trauma*, 2, 99-108.
111. Thind, A., Hsia, R., Mabweijano, J., Hicks, E. R., Zakariah, A., and Mock, C. N. (2015). *Prehospital and emergency care. Disease control priorities*, Washington (DC): The World Bank, 3, 245-62.
112. Mock, C. N., Jurkovich, G. J., Arreola-Risa, C., and Maier, R. V. (1998). Trauma mortality patterns in three nations at different economic levels: implications for global trauma system development. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 44(5), 804-814.
113. İnternet: Sağlık Bakanlığı. İstatistikler. URL: <https://www.saglik.gov.tr/TR-84930/saglik-istatistikleri-yilliklari.html>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2025

114. İnternet: Konya İl Sağlık Müdürlüğü. İstaston Bilgileri. URL: <https://konyaiasb.saglik.gov.tr/TR-134840/acil-saglik-hizmetleri-istasyonlari.html>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2025
115. Mielczarek, B. (2013). *Estimating future demand for hospital emergency services at the regional level*. In 2013 Winter Simulations Conference (WSC). (Washington, DC), 2386-2397.
116. Jafari, M., Mahmoudian, P., Ebrahimipour, H., Vafae-Nezhad, R., Vafae-Najar, A., Hosseini, S. E., and Haghighi, H. (2021). Response time and causes of delay in prehospital emergency missions in Mashhad, 2015. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, 35.
117. McConnel, C. E., and Wilson, R. W. (1998). The demand for prehospital emergency services in an aging society. *Social Science & Medicine*, 46(8), 1027-1031.
118. Thakkar, H., Reddy, C., Passi, V. R., Miyajiwal, A., Kale, S., Raj, A., and Zadey, S. (2024). Assessing Population-level Accessibility to Medical College Hospitals in India: A Geospatial Modeling Study. *medRxiv*, 2024-08.

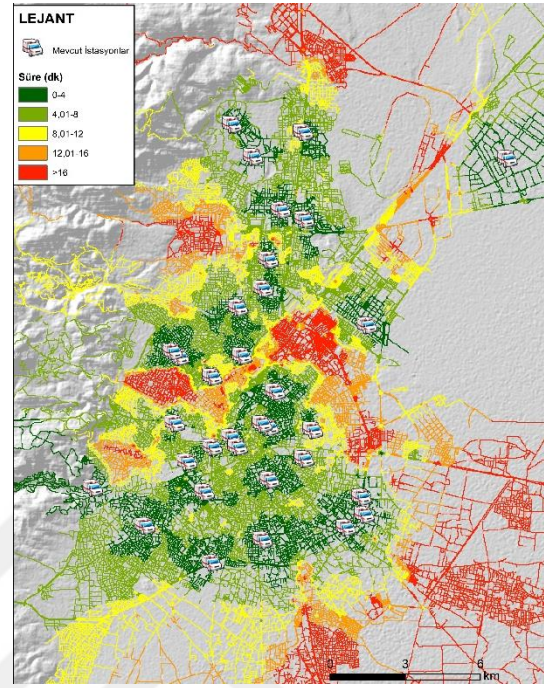




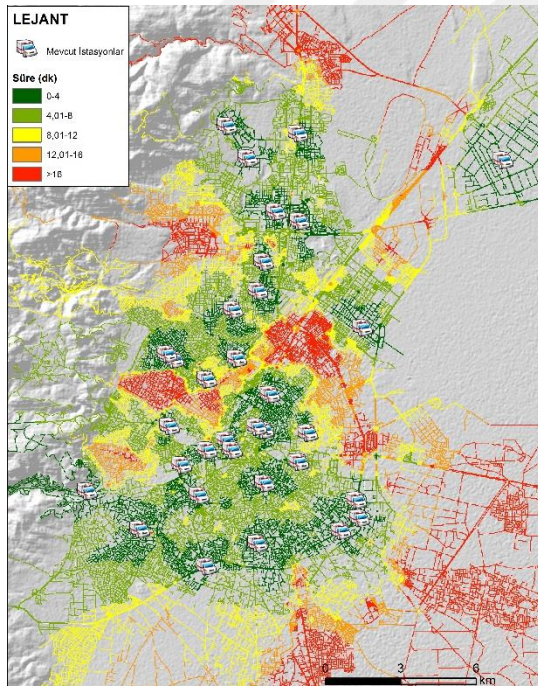
EK-1. Durum 0 gecikme süresi 0 saniye haritalar



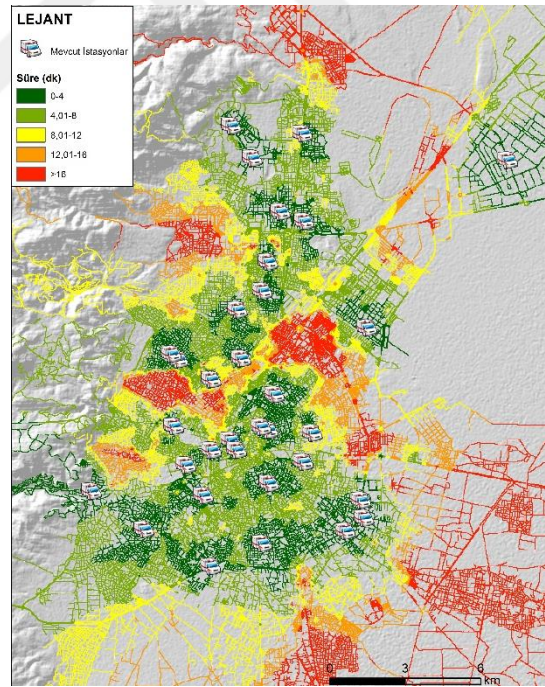
00:00-01:00



01:00-02:00

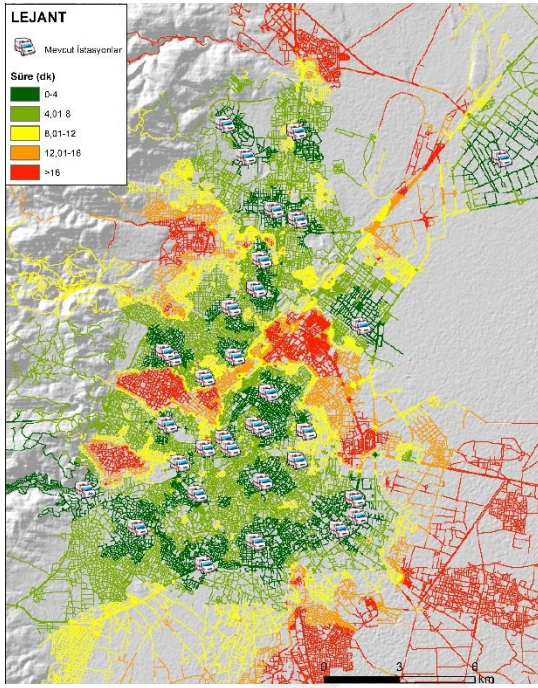


02:00-03:00

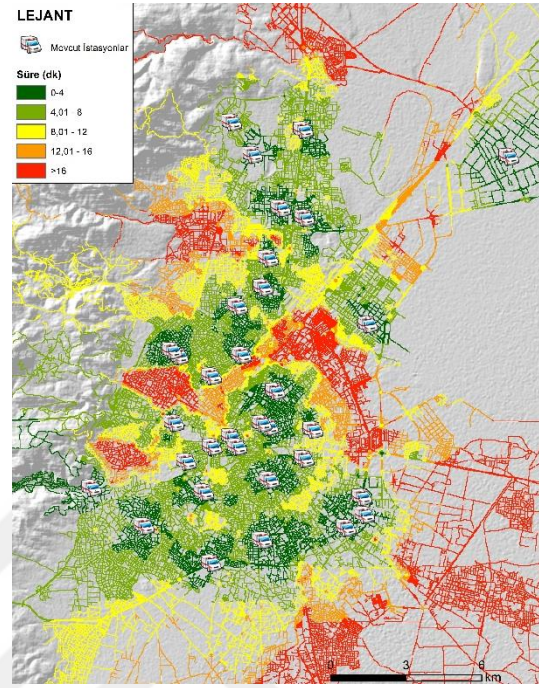


03:00-04:00

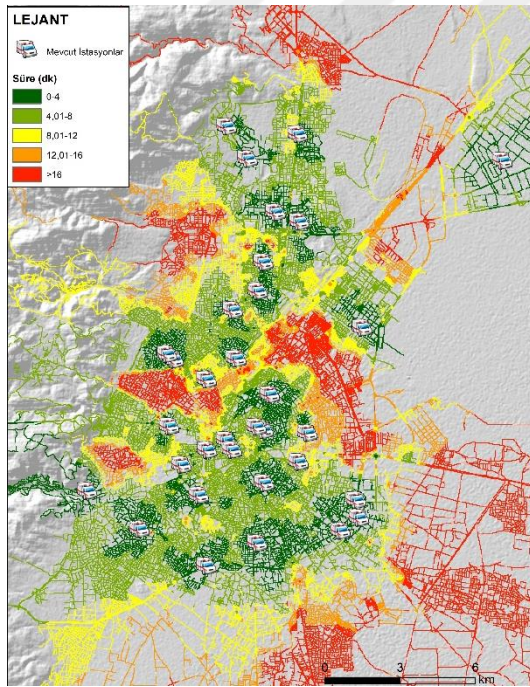
EK-1 (Devam). Durum 0 gecikme süresi 0 saniye haritalar



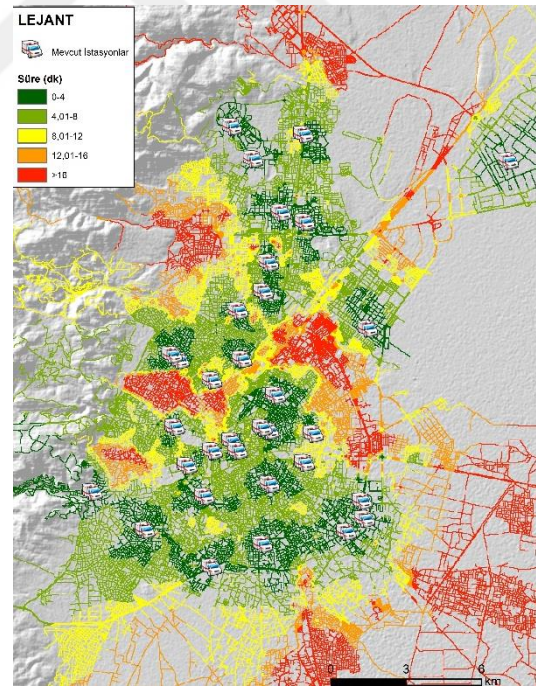
04:00-05:00



05:00-06:00

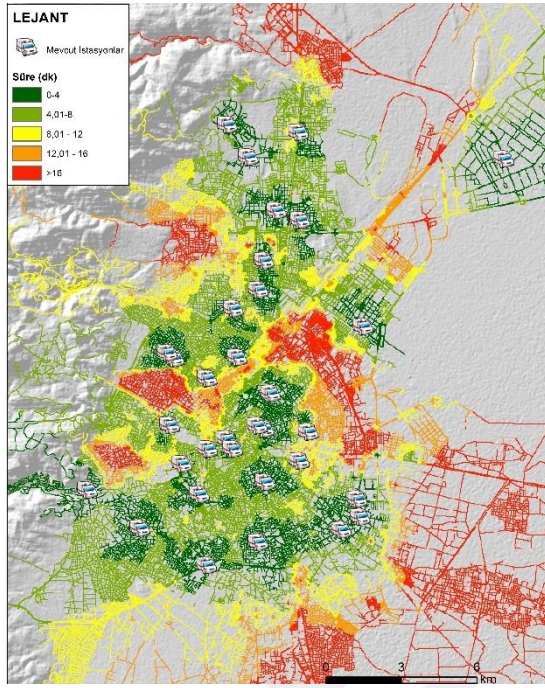


06:00-07:00

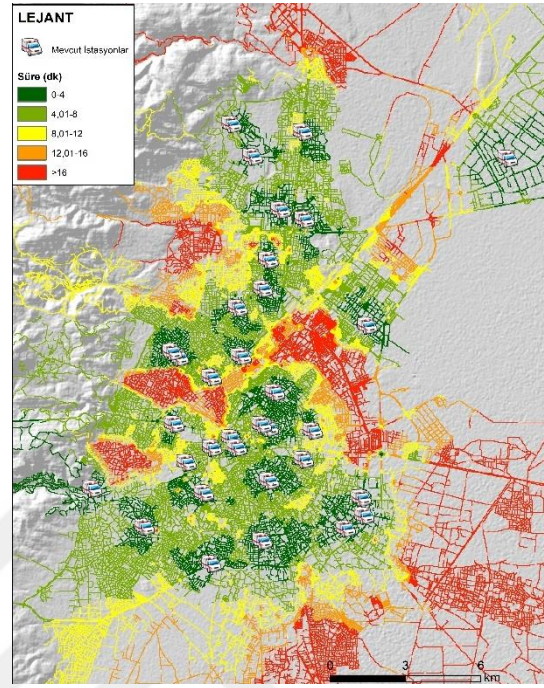


07:00-08:00

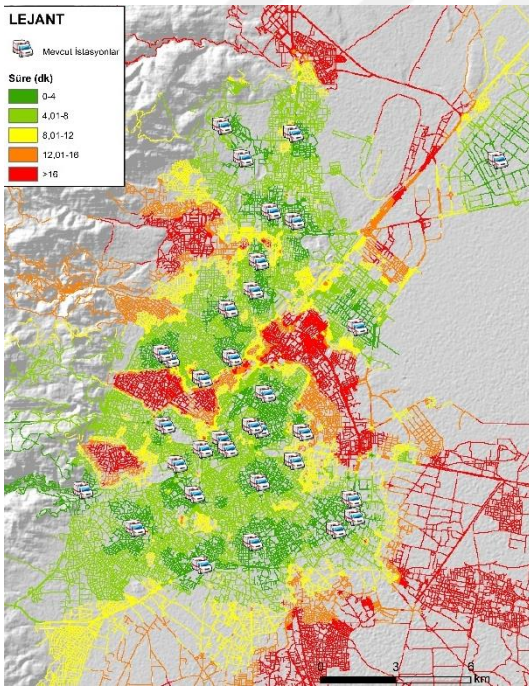
EK-1 (Devam). Durum 0 gecikme süresi 0 saniye haritalar



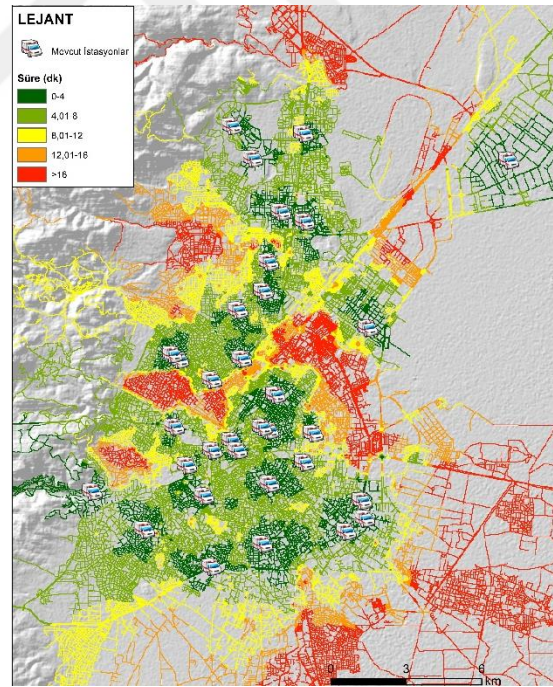
08:00-09:00



09:00-10:00

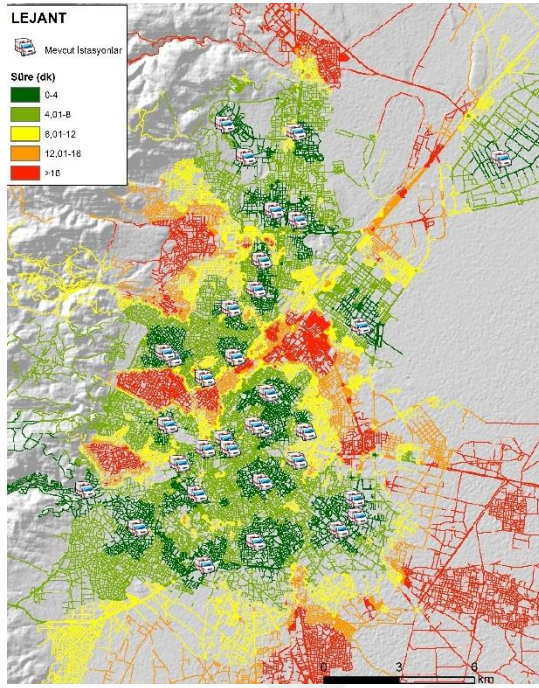


10:00-11:00

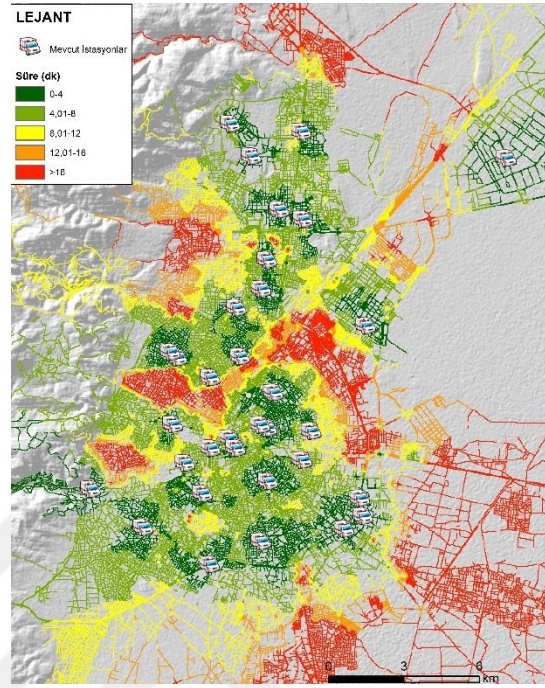


11:00-12:00

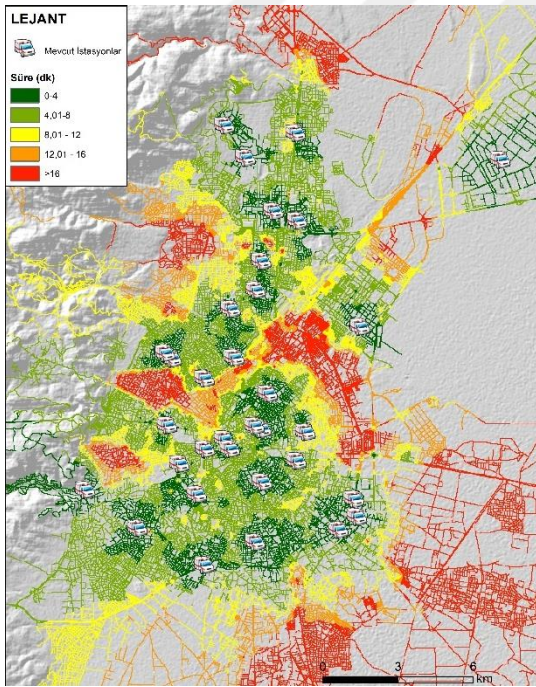
EK-1 (Devam). Durum 0 gecikme süresi 0 saniye haritalar



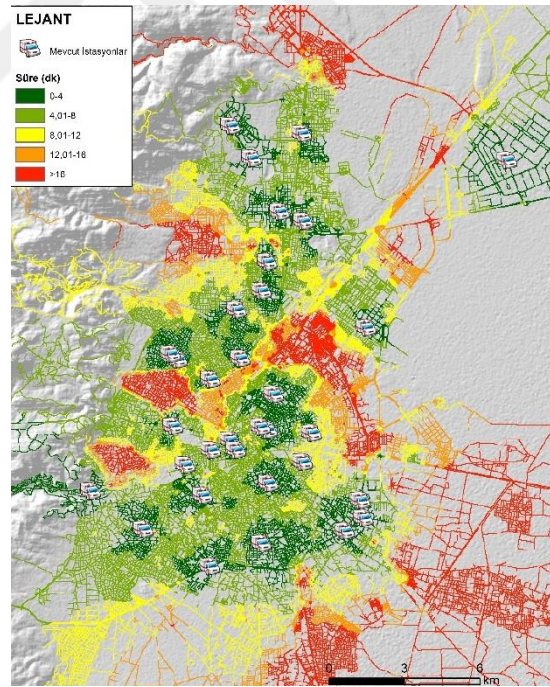
12:00-13:00



13:00-14:00

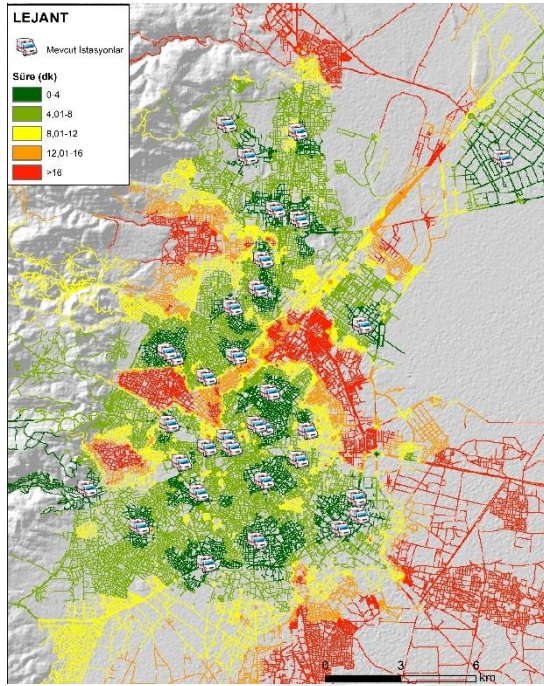


14:00-15:00

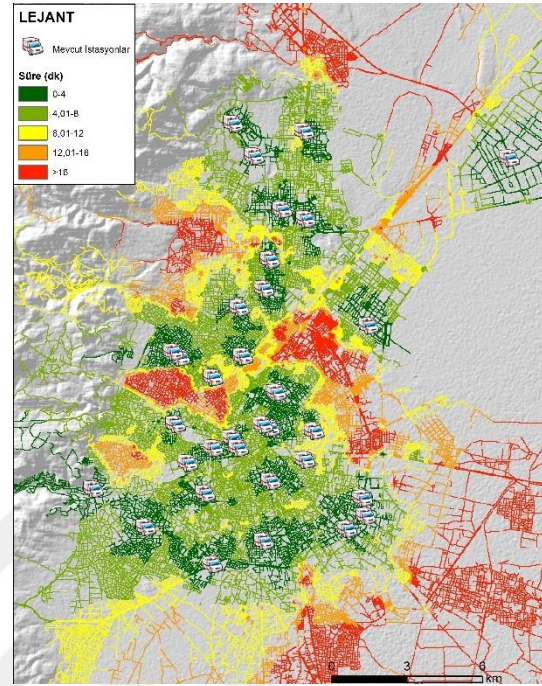


15:00-16:00

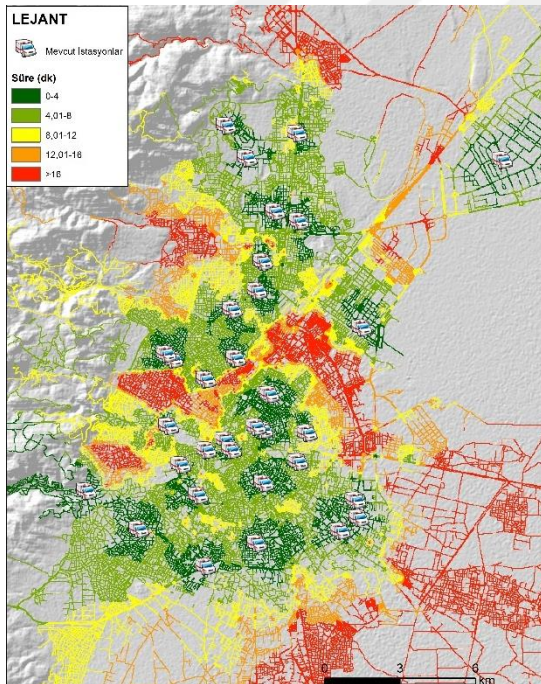
EK-1 (Devam). Durum 0 gecikme süresi 0 saniye haritalar



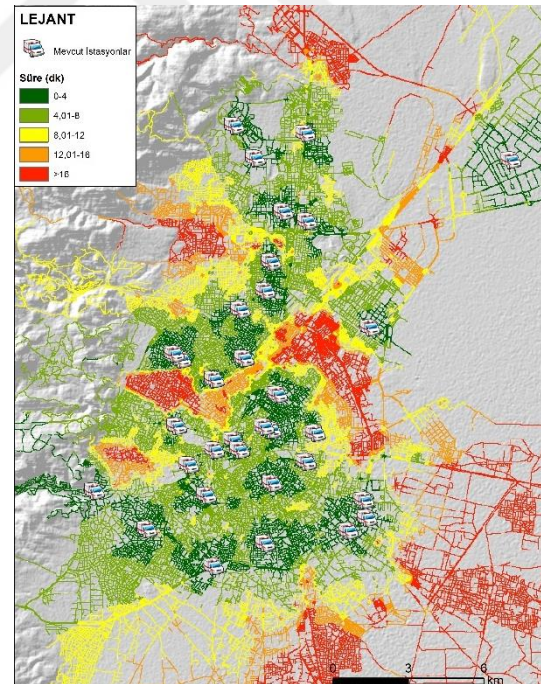
16:00-17:00



17:00-18:00

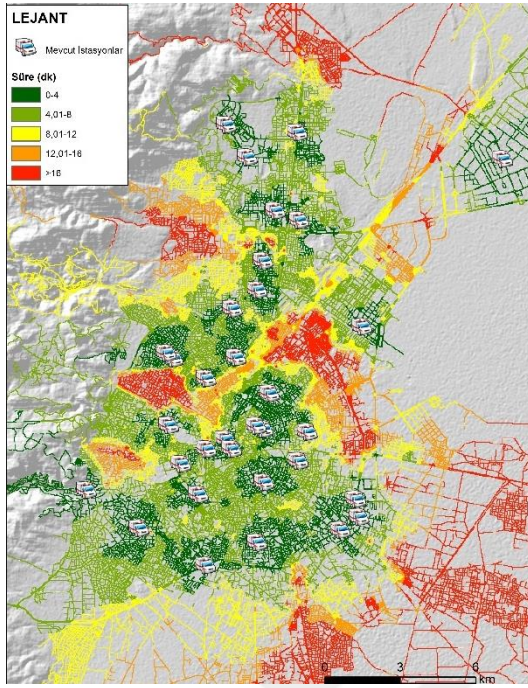


18:00-19:00

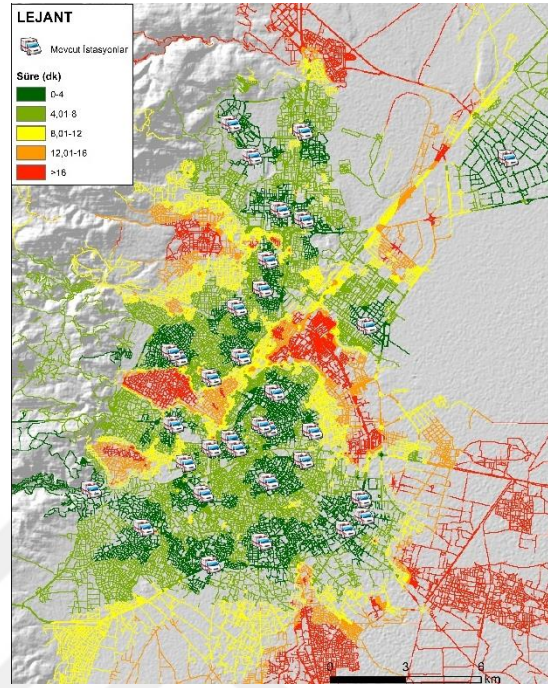


19:00-20:00

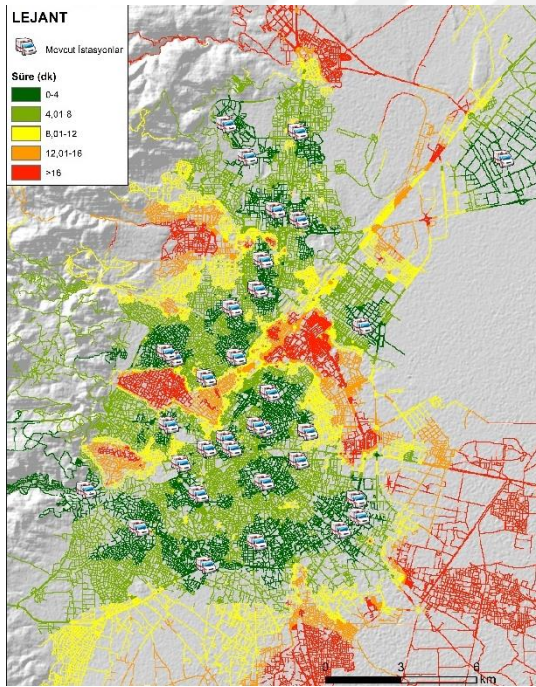
EK-1 (Devam). Durum 0 gecikme süresi 0 saniye haritalar



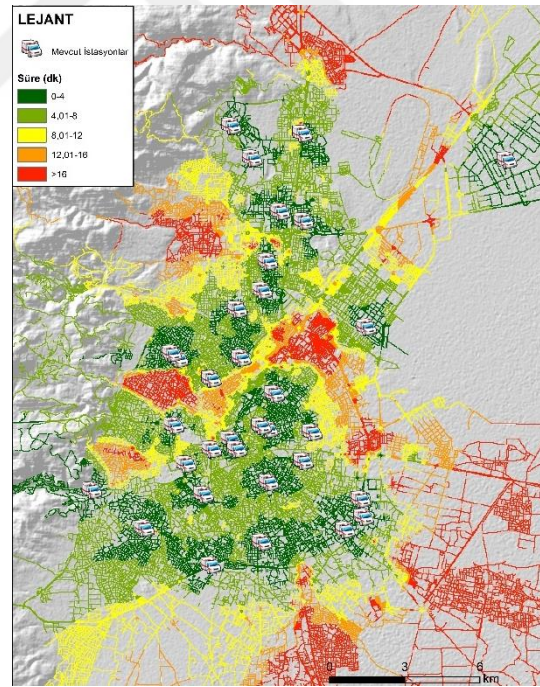
20:00-21:00



21:00-22:00

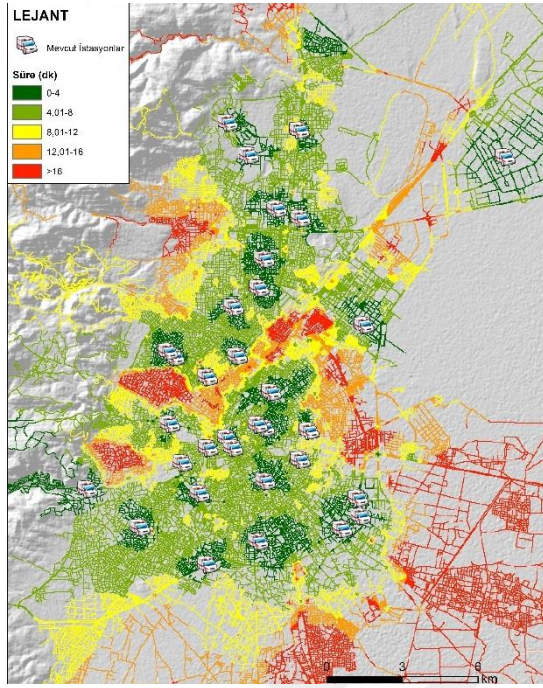


22:00-23:00

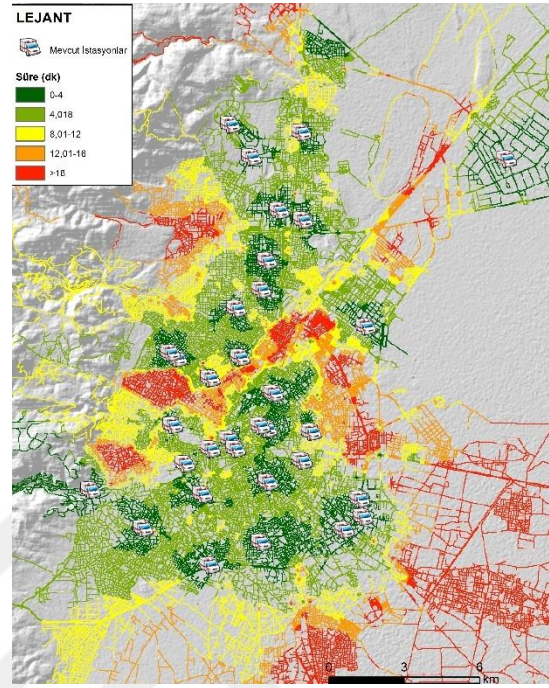


23:00-24:00

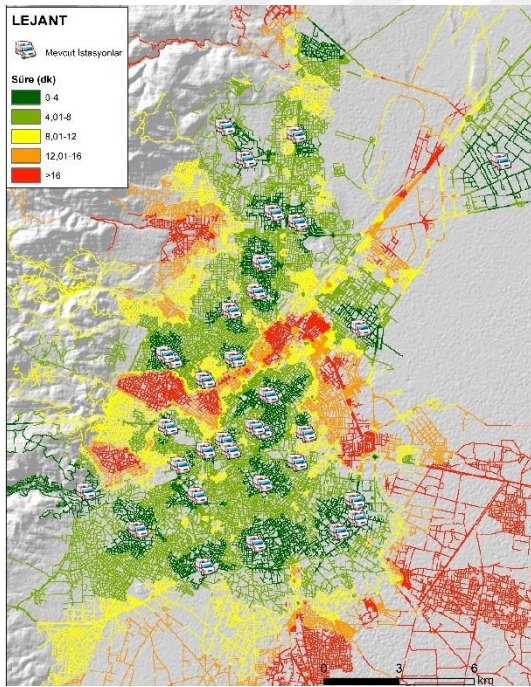
EK-2. Durum 0 gecikme süresi 10 saniye haritalar



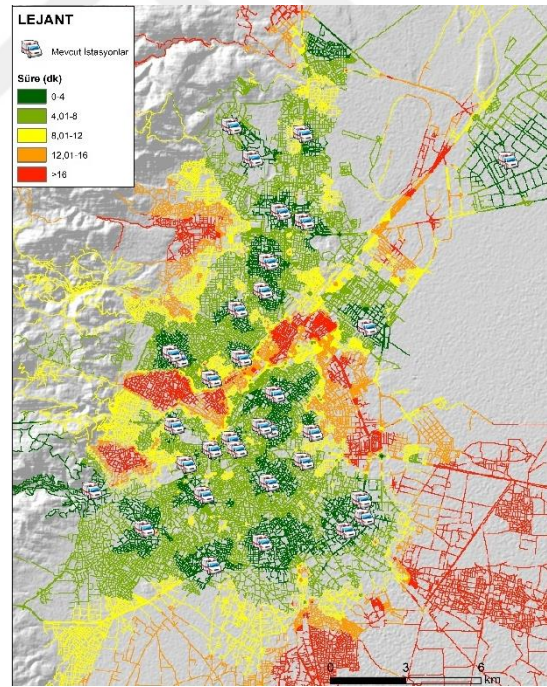
00:00-01:00



01:00-02:00

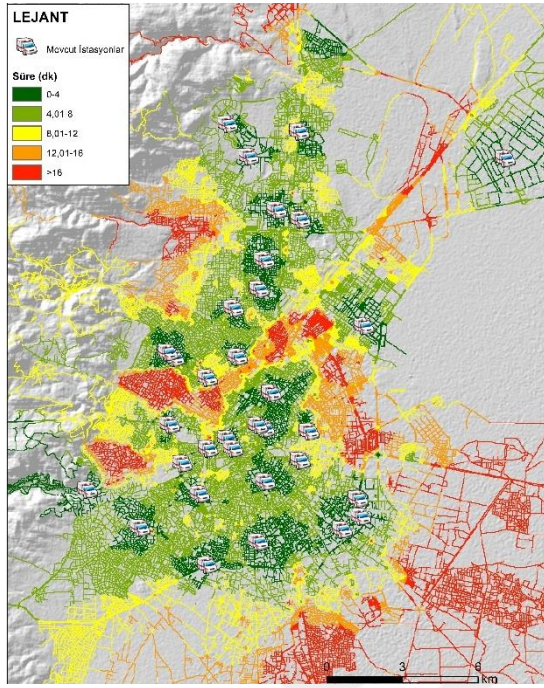


02:00-03:00

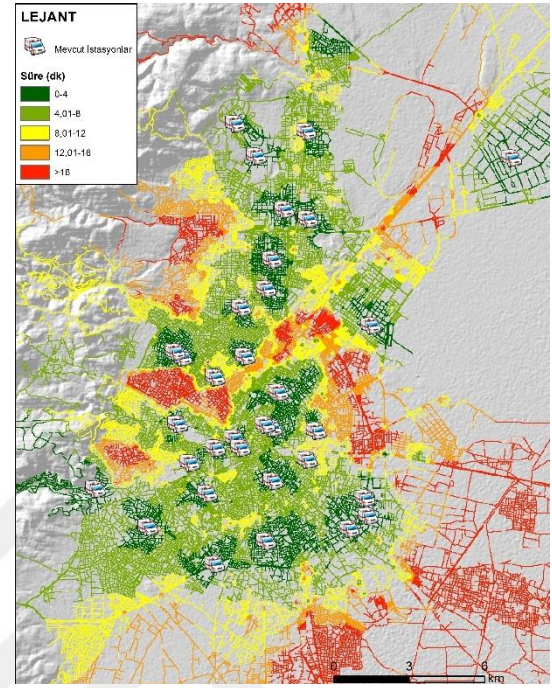


03:00-04:00

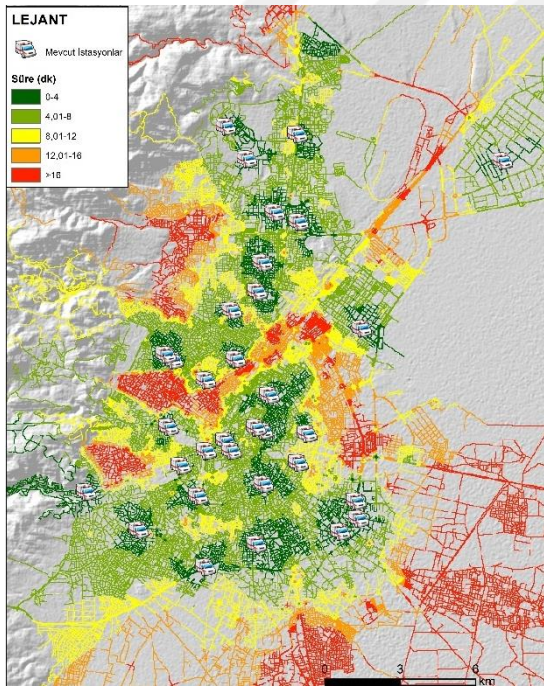
EK-2 (Devam). Durum 0 gecikme süresi 10 saniye haritalar



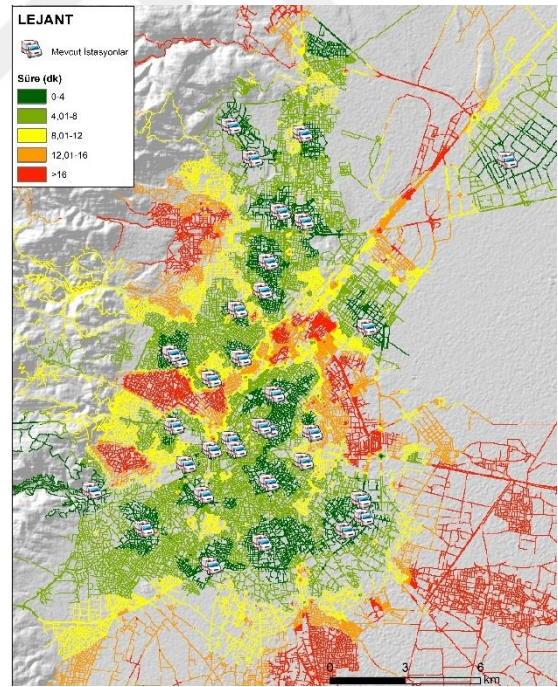
04:00-05:00



05:00-06:00

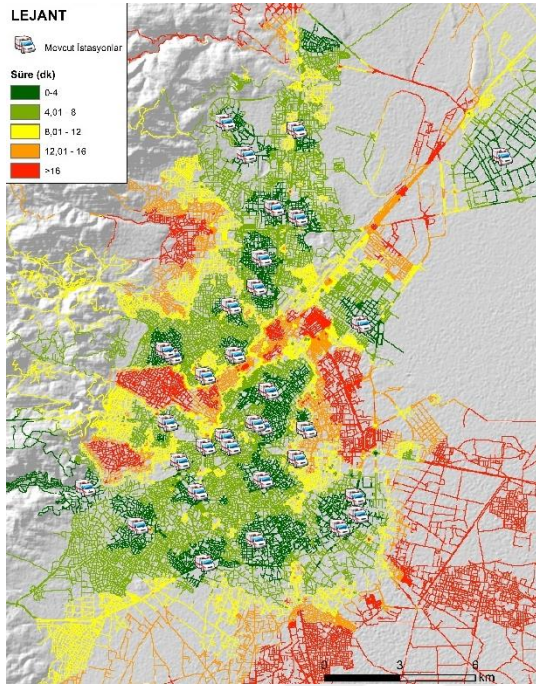


06:00-07:00

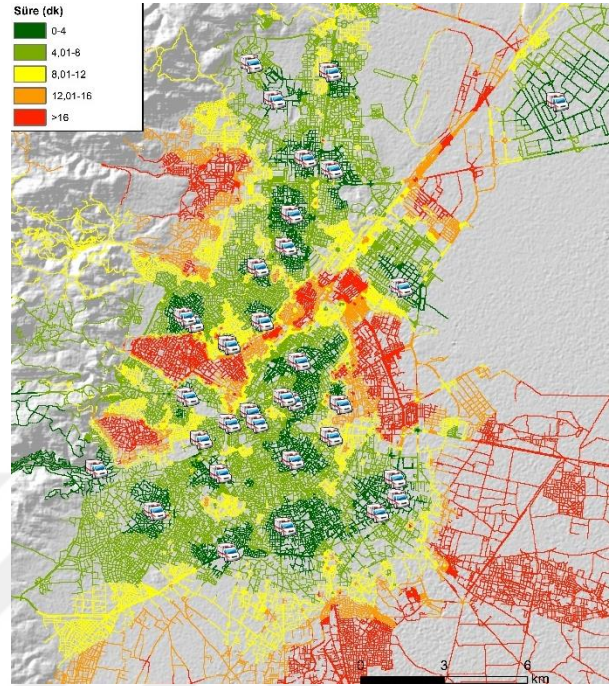


07:00-08:00

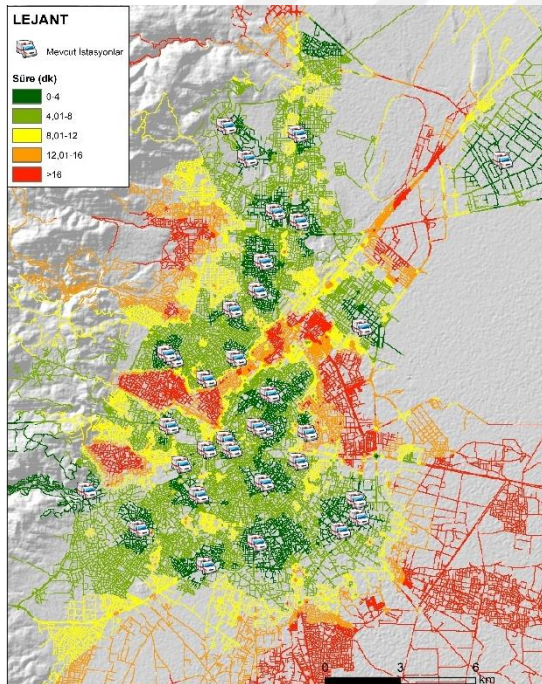
EK-2 (Devam). Durum 0 gecikme süresi 10 saniye haritalar



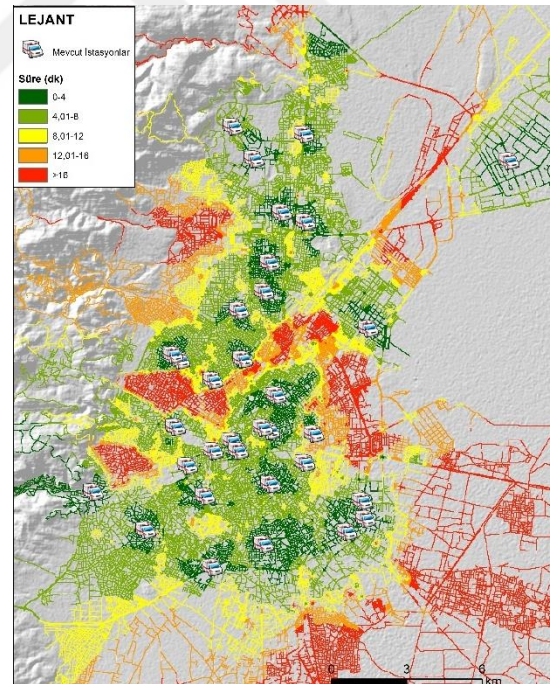
08:00-09:00



09:00-10:00

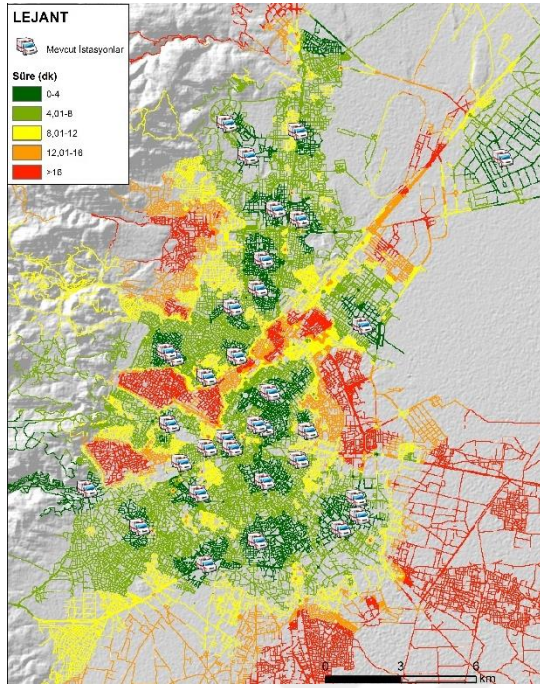


10:00-11:00

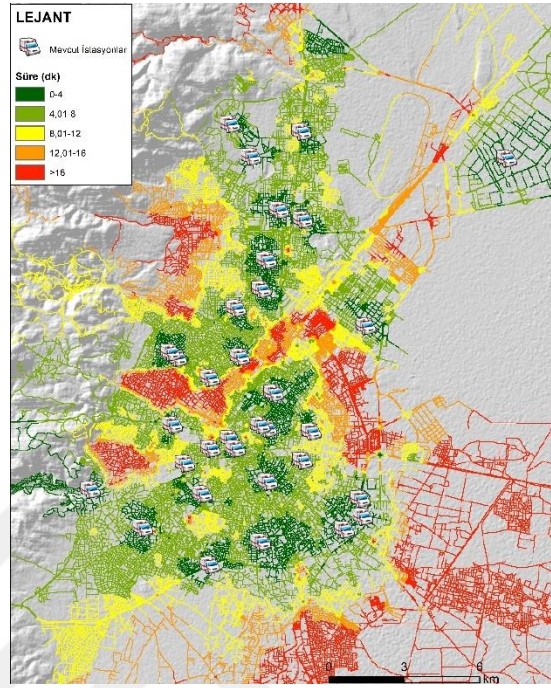


11:00-12:00

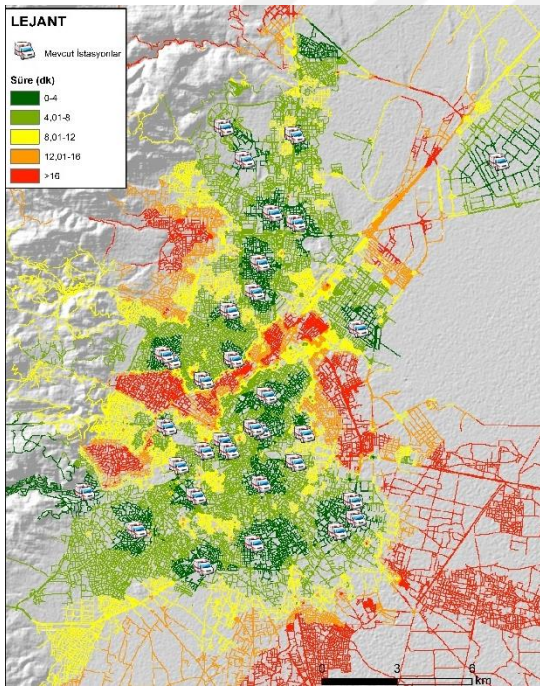
EK-2 (Devam). Durum 0 gecikme süresi 10 saniye haritalar



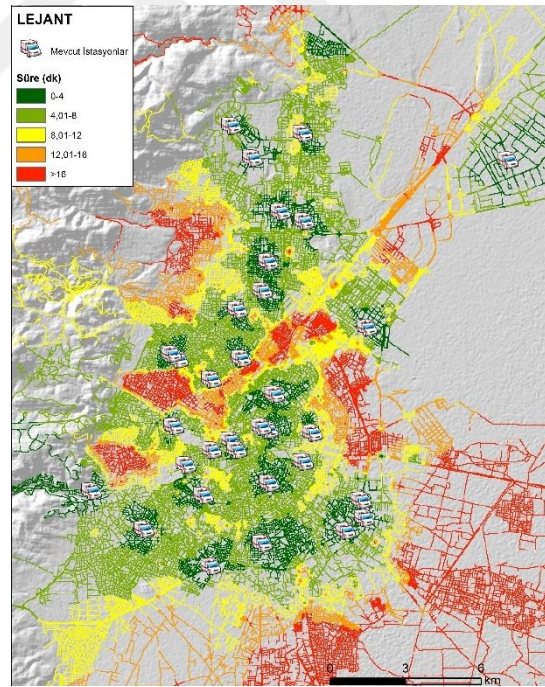
12:00-13:00



13:00-14:00

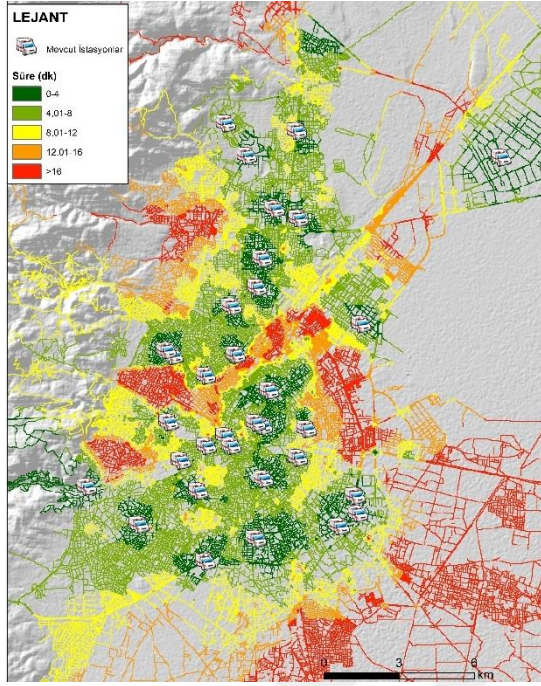


14:00-15:00

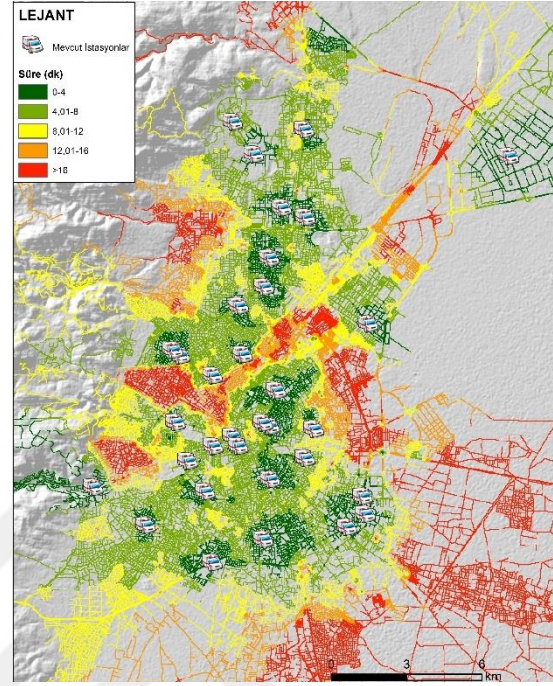


15:00-16:00

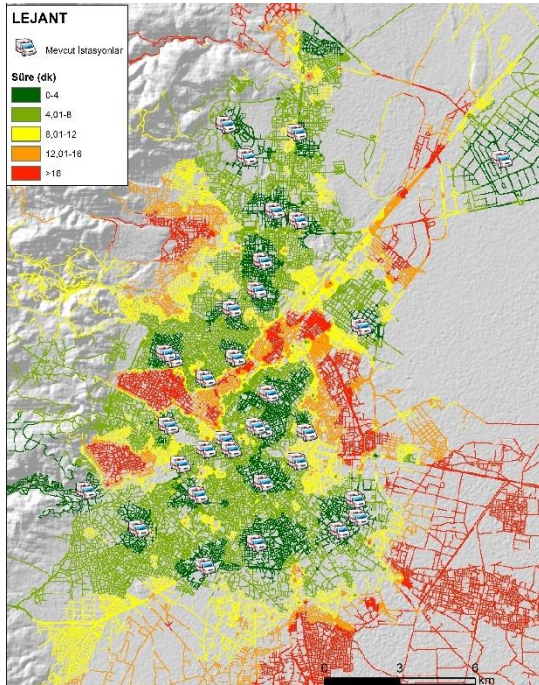
EK-2 (Devam). Durum 0 gecikme süresi 10 saniye haritalar



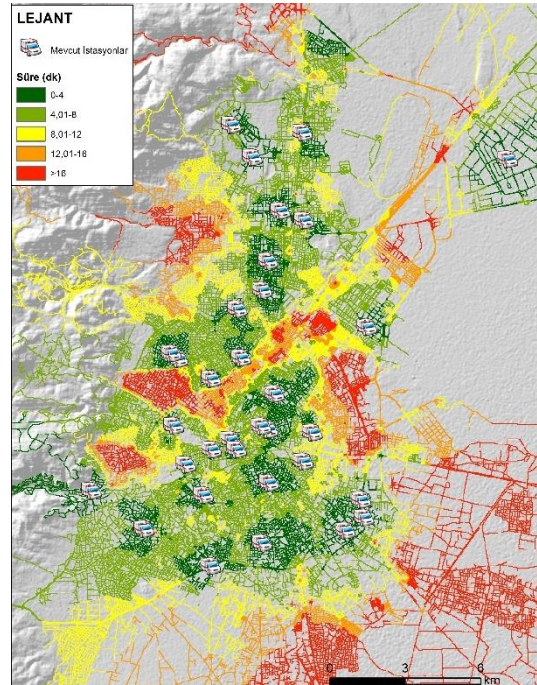
16:00-17:00



17:00-18:00

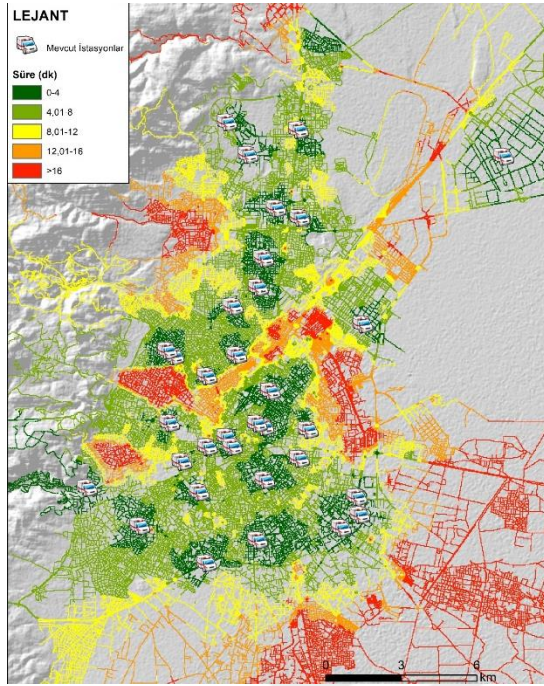


18:00-19:00

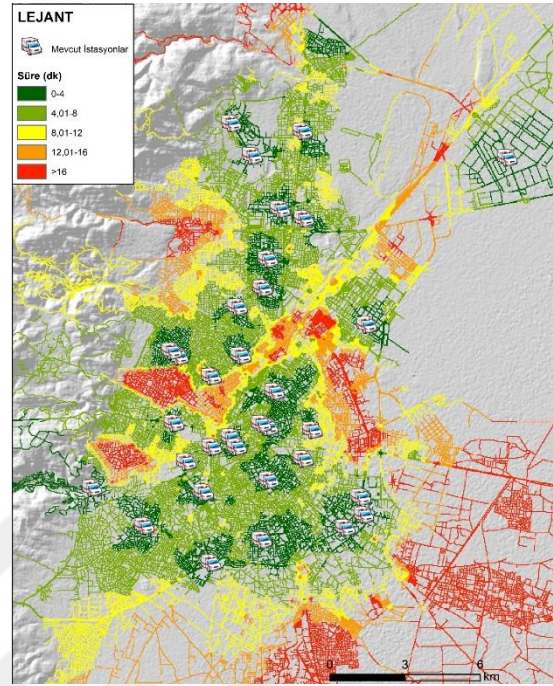


19:00-20:00

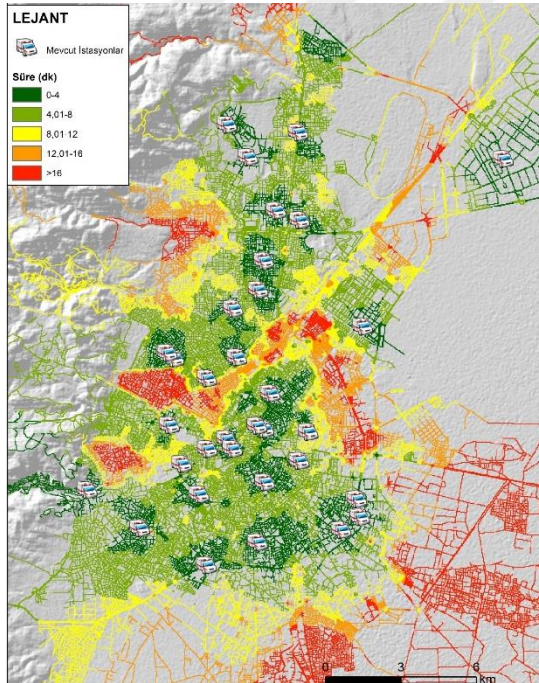
EK-2 (Devam). Durum 0 gecikme süresi 10 saniye haritalar



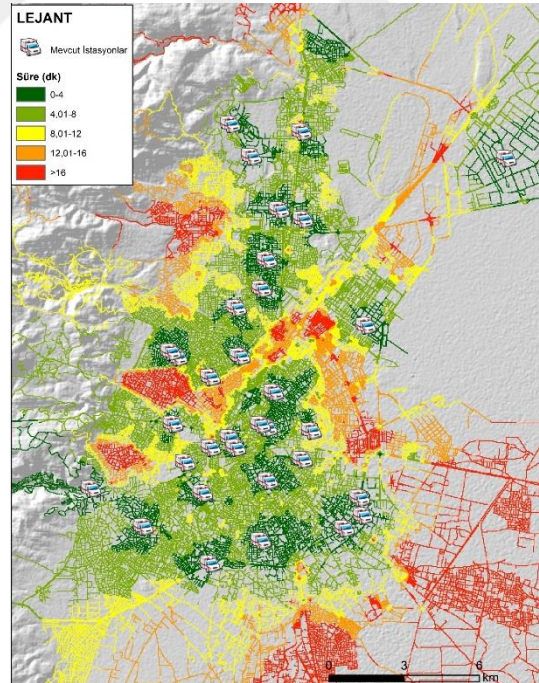
20:00-21:00



21:00-22:00

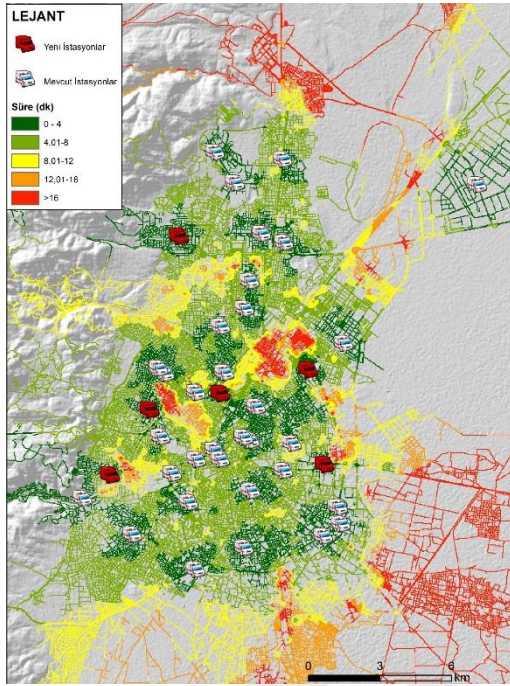


22:00-23:00

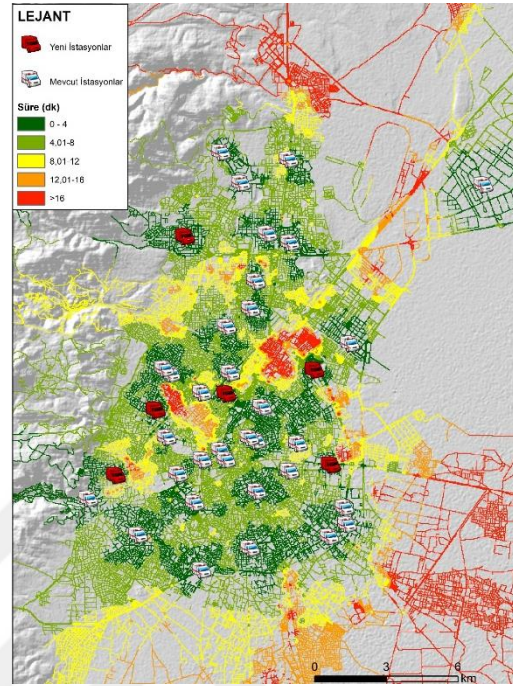


23:00-24:00

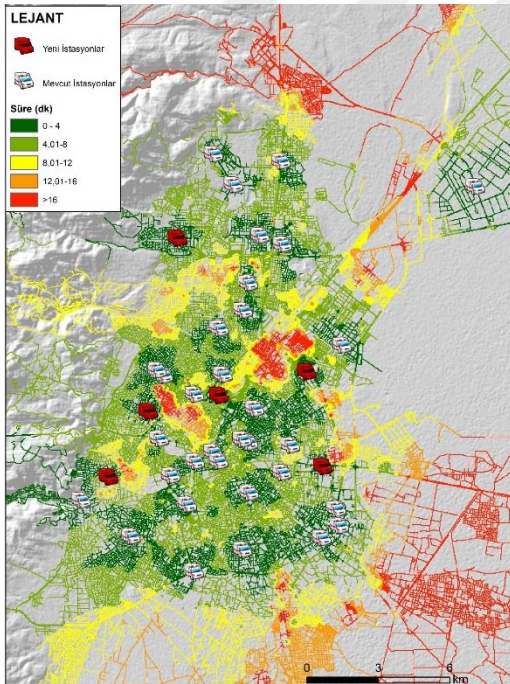
EK-3. Durum 1 gecikme süresi 0 saniye haritalar



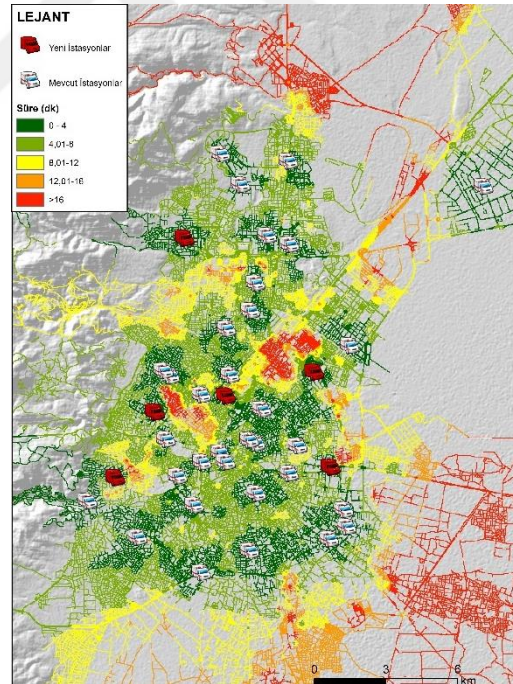
00:00-01:00



01:00-02:00

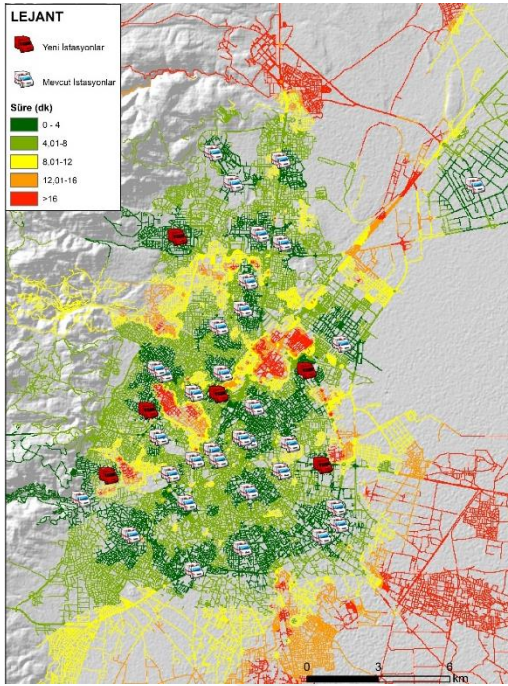


02:00-03:00

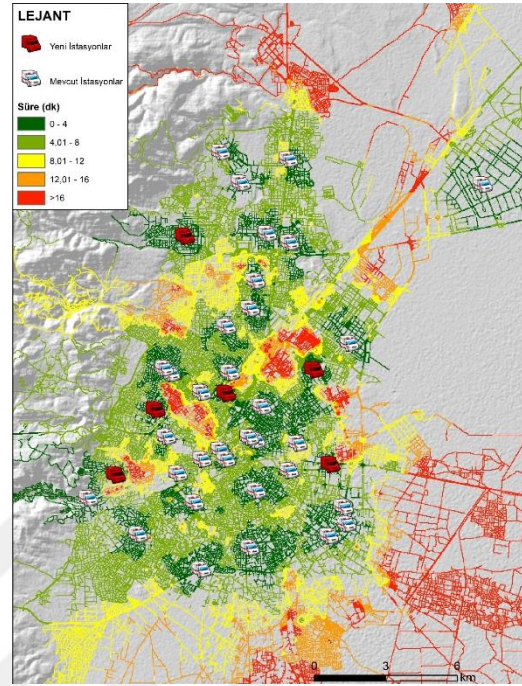


03:00-04:00

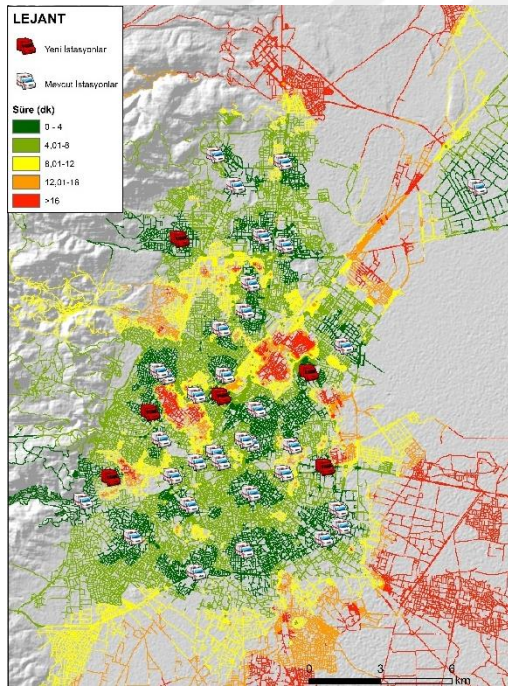
EK-3 (Devam). Durum 1 gecikme süresi 0 saniye haritalar



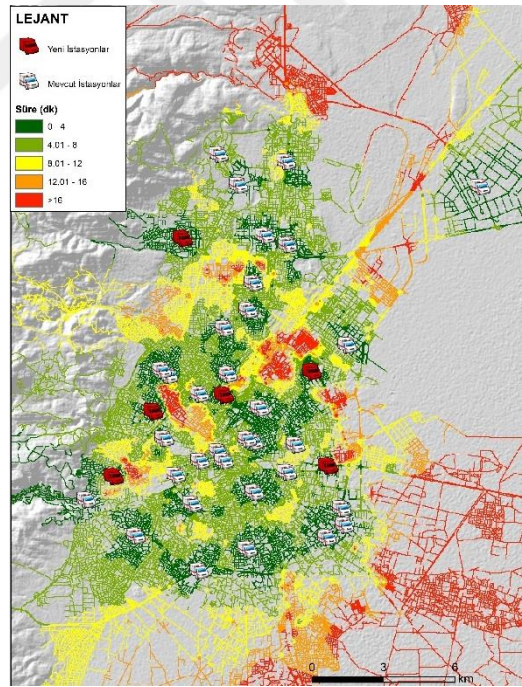
04:00-05:00



05:00-06:00

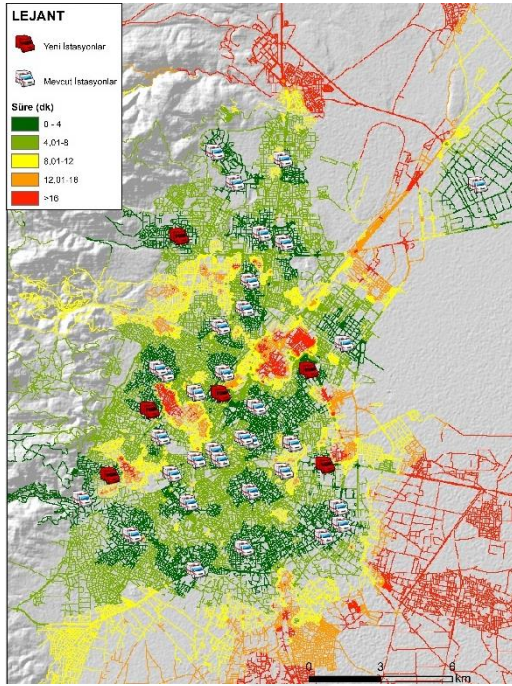


06:00-07:00

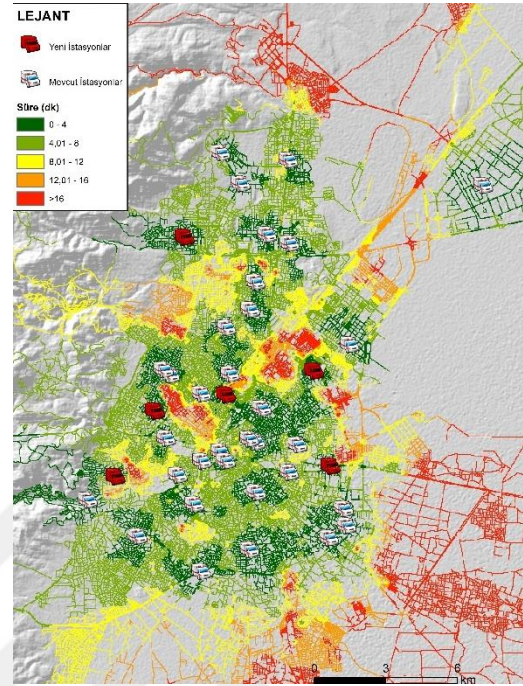


07:00-08:00

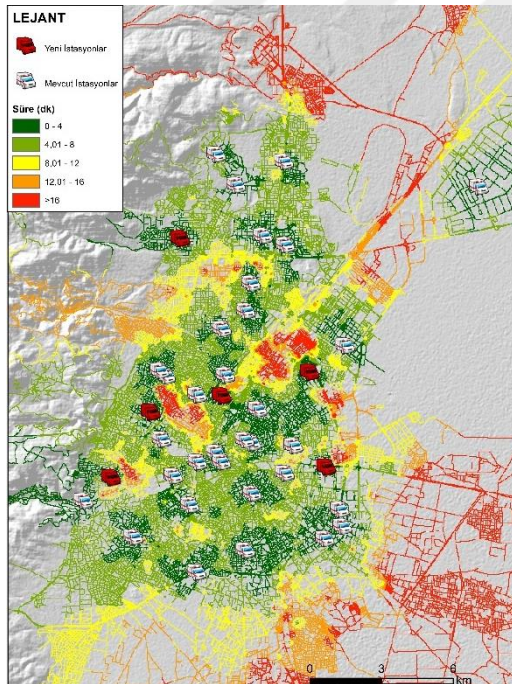
EK-3 (Devam). Durum 1 gecikme süresi 0 saniye haritalar



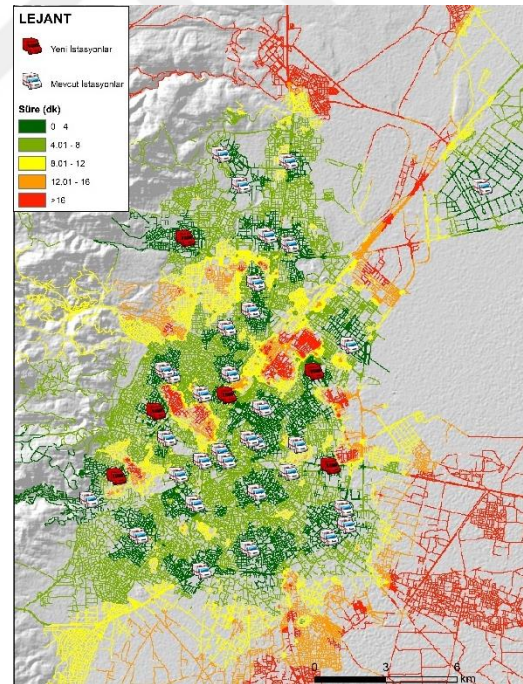
08:00-09:00



09:00-10:00

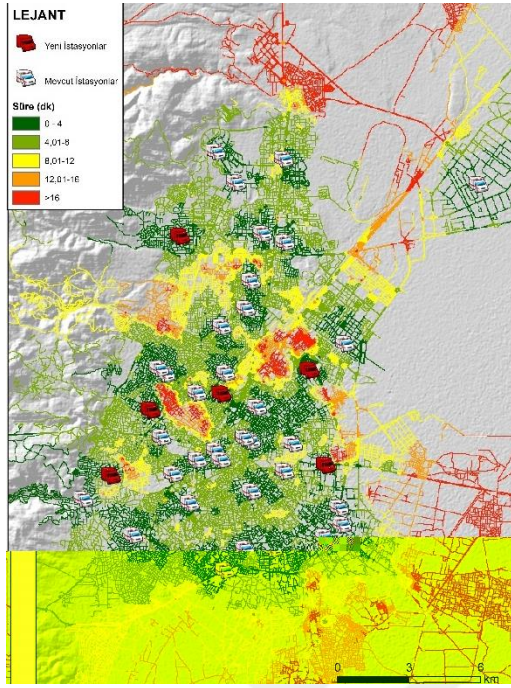


10:00-11:00

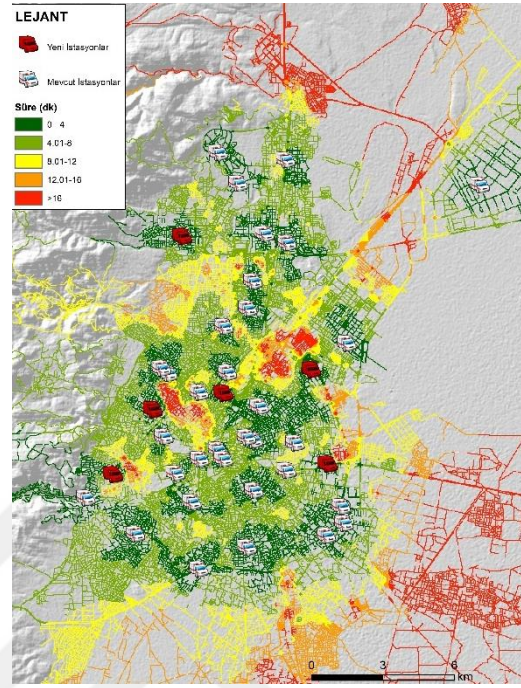


11:00-12:00

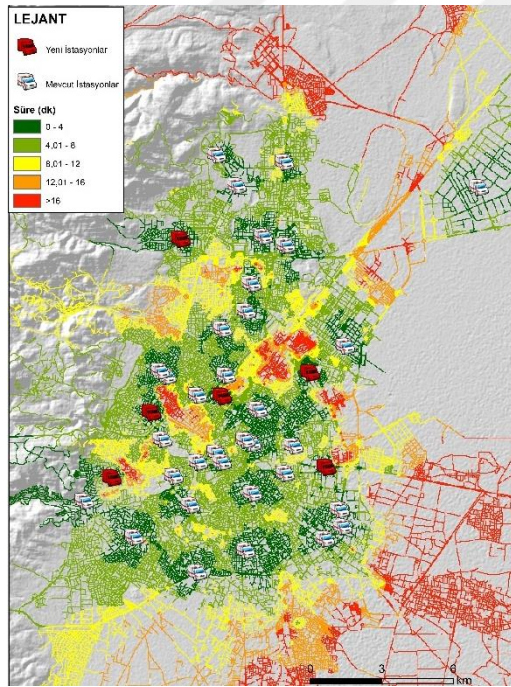
EK-3 (Devam). Durum 1 gecikme süresi 0 saniye haritalar



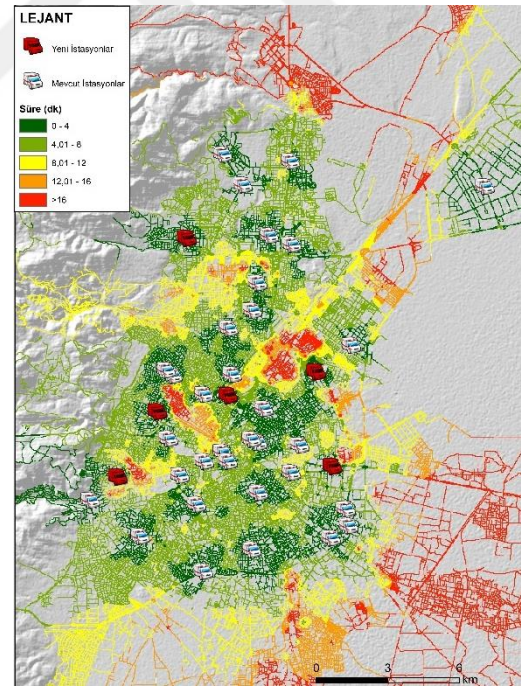
12:00-13:00



13:00-14:00

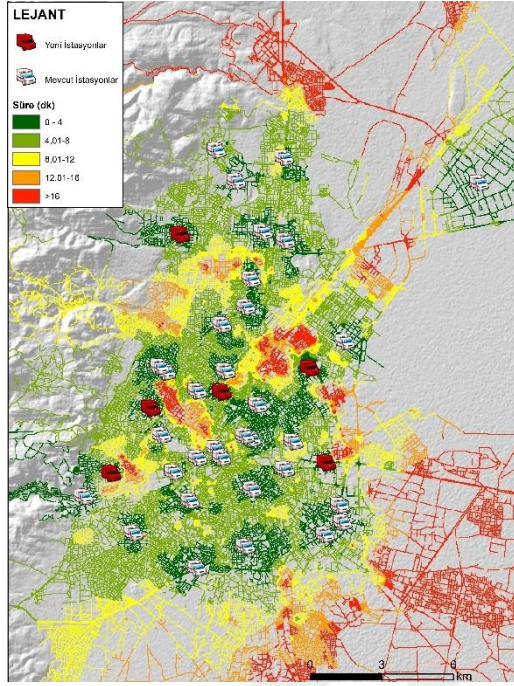


14:00-15:00

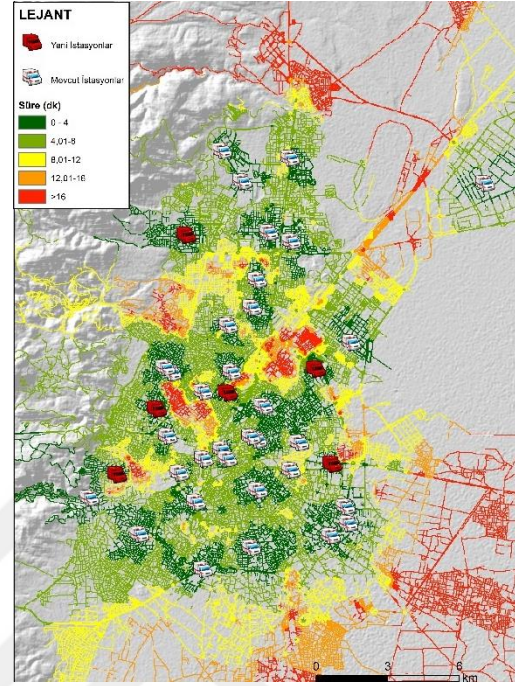


15:00-16:00

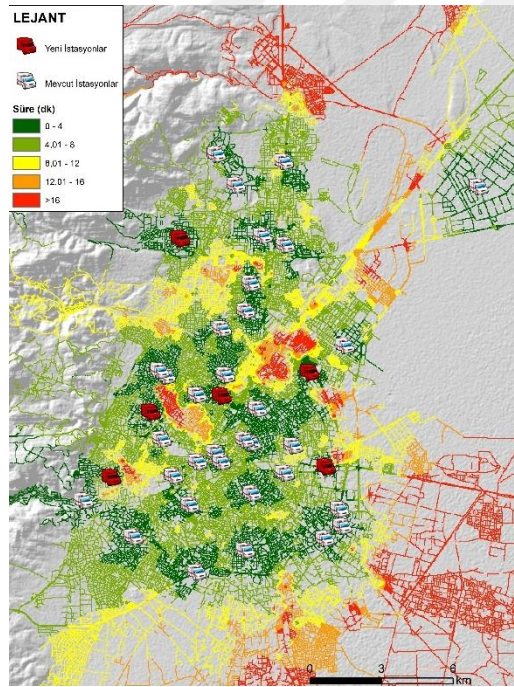
EK-3 (Devam). Durum 1 gecikme süresi 0 saniye haritalar



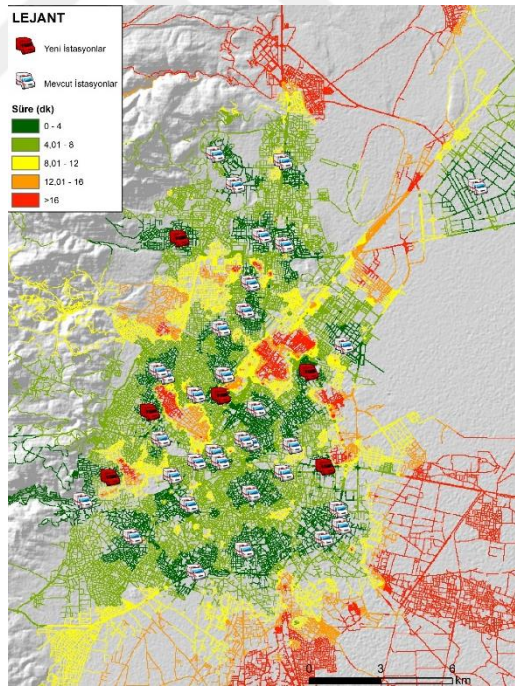
16:00-17:00



17:00-18:00

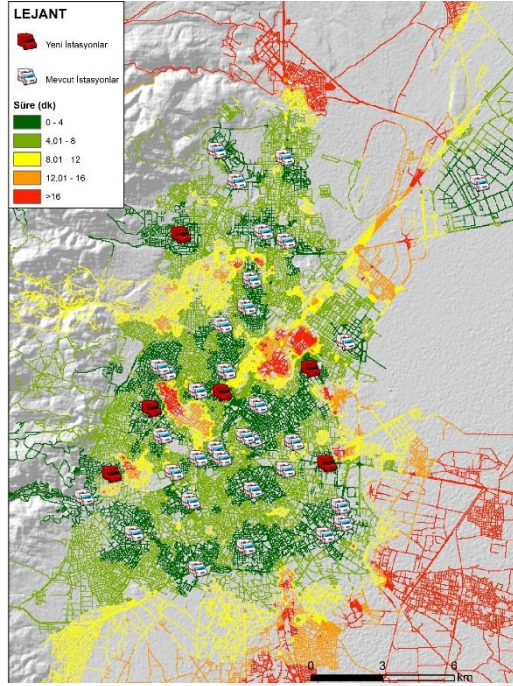


18:00-19:00

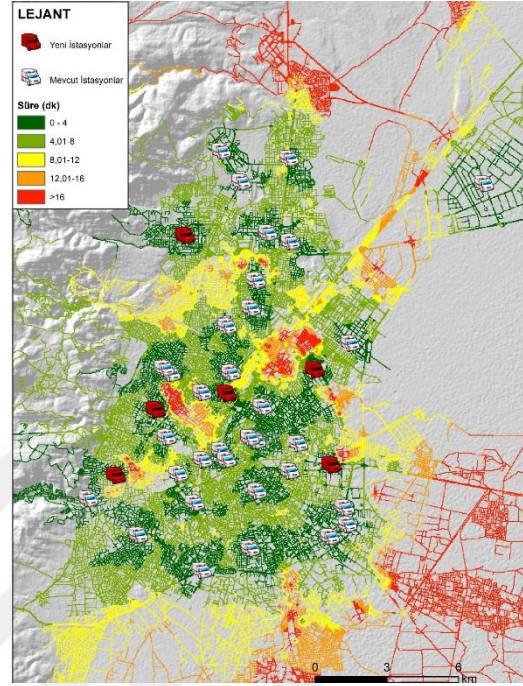


19:00-20:00

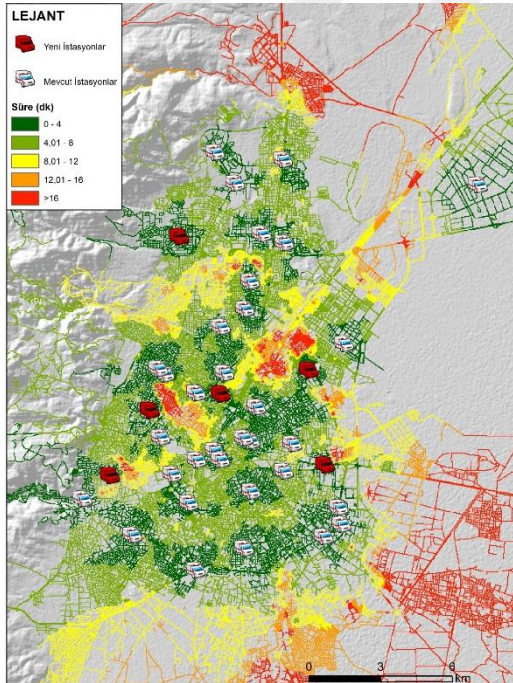
EK-3 (Devam). Durum 1 gecikme süresi 0 saniye haritalar



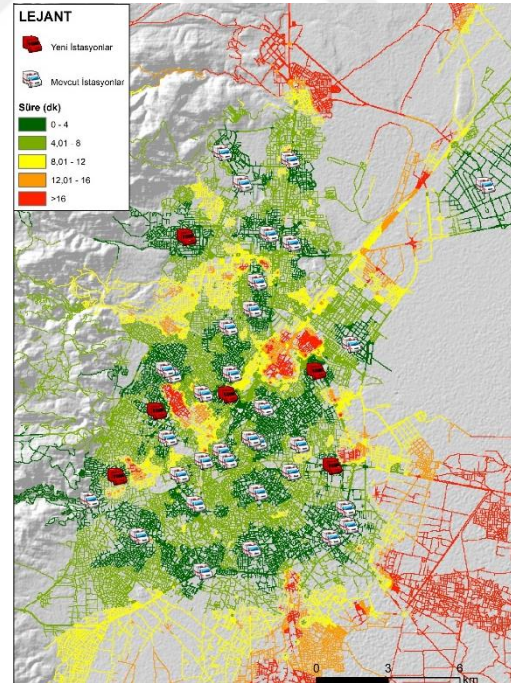
20:00-21:00



21:00-22:00

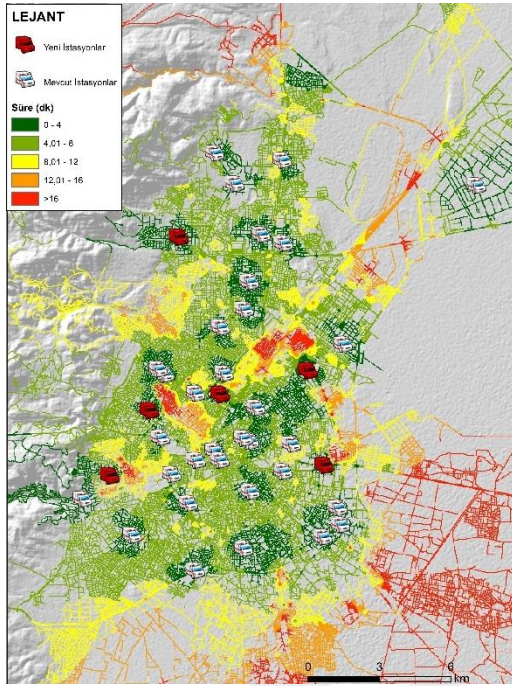


22:00-23:00

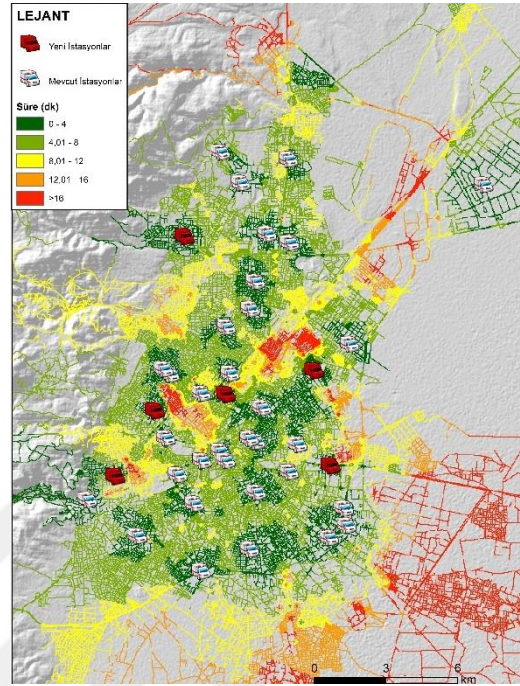


23:00-24:00

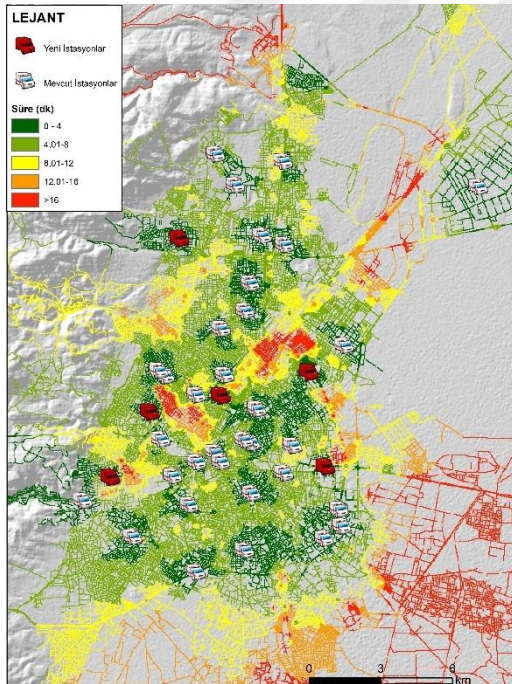
EK-4. Durum 1 gecikme süresi 10 saniye haritalar



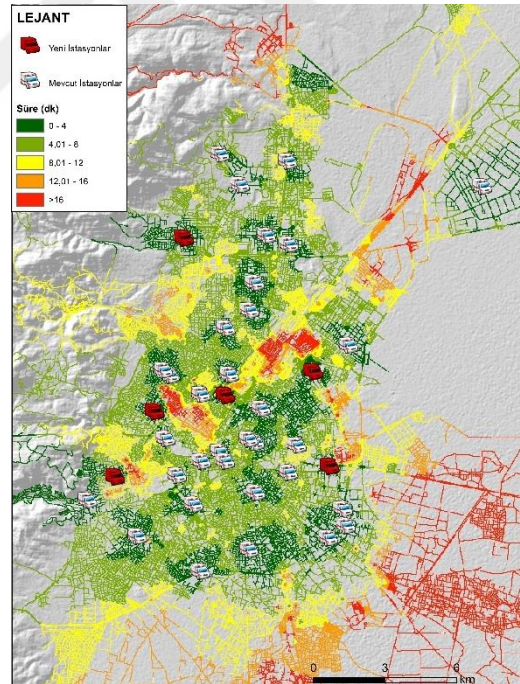
00:00-01:00



01:00-02:00

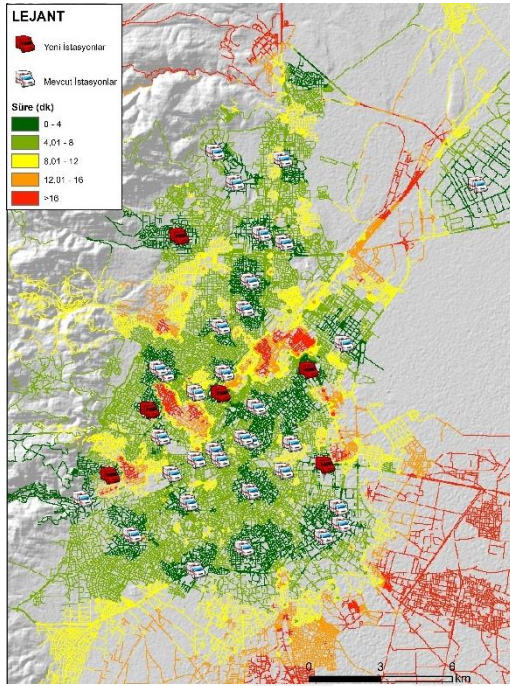


02:00-03:00

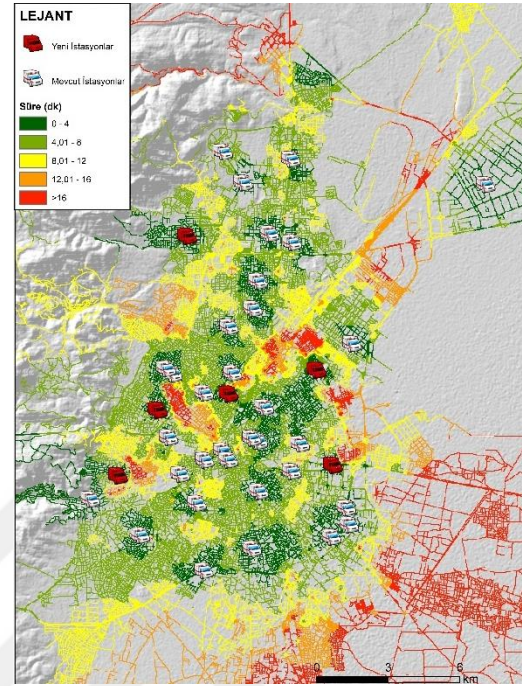


03:00-04:00

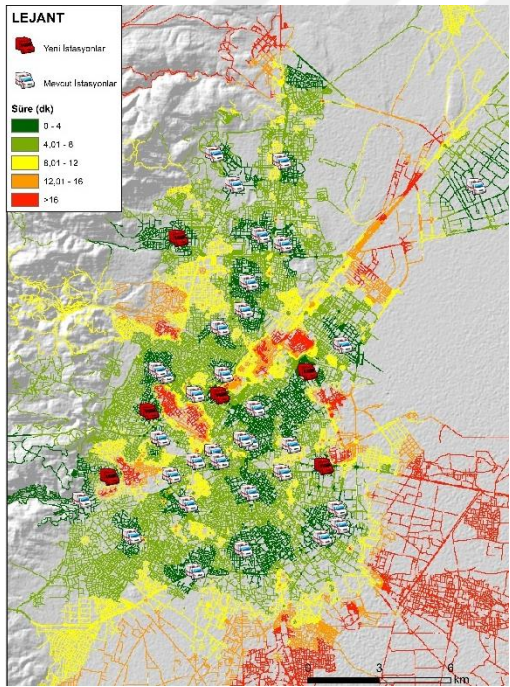
EK-4 (Devam). Durum 1 gecikme süresi 10 saniye haritalar



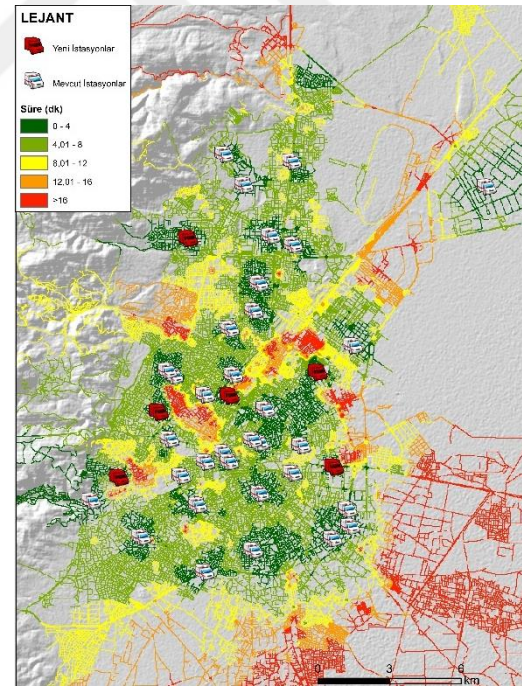
04:00-05:00



05:00-06:00

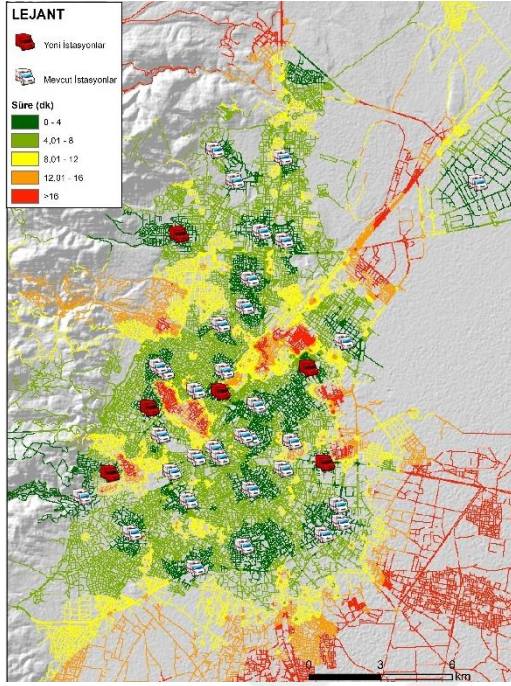


06:00-07:00

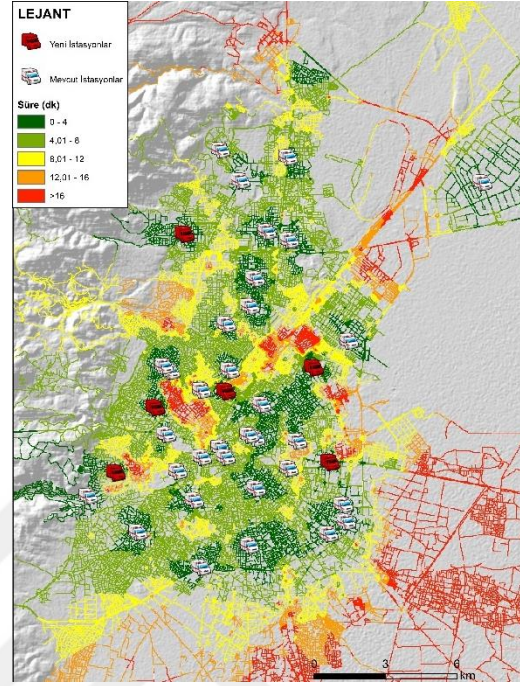


07:00-08:00

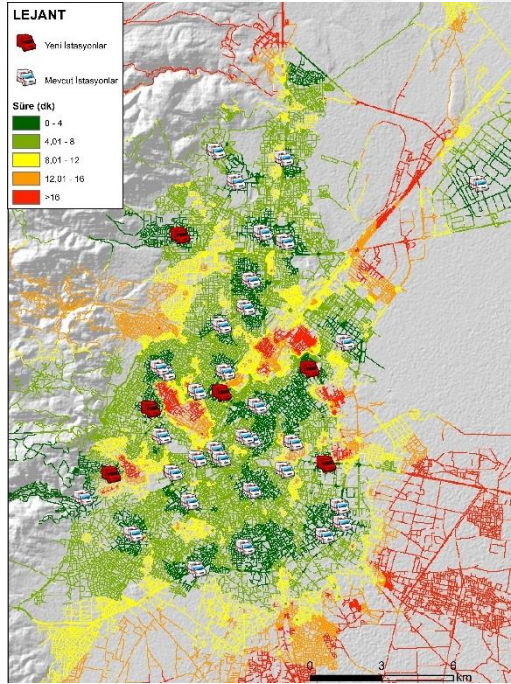
EK-4 (Devam). Durum 1 gecikme süresi 10 saniye haritalar



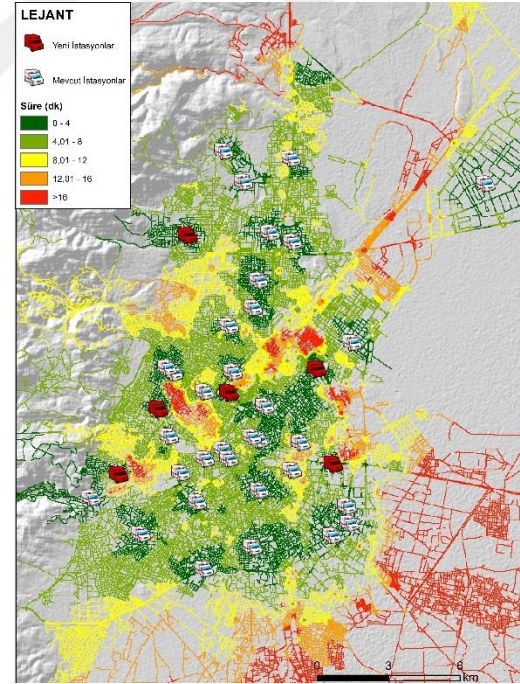
08:00-09:00



09:00-10:00

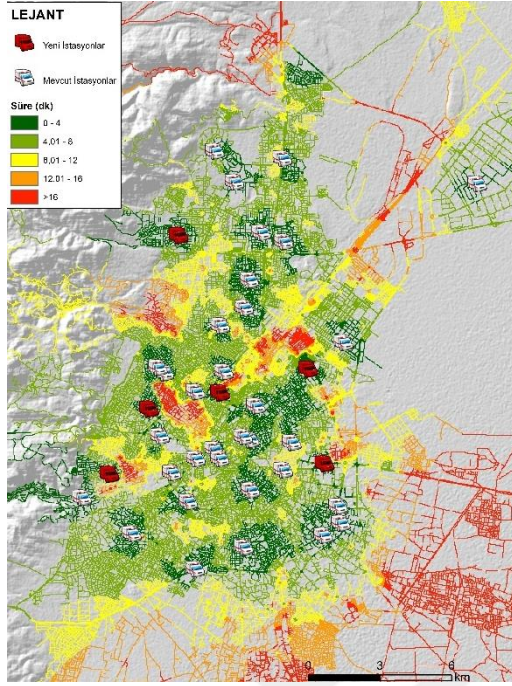


10:00-11:00

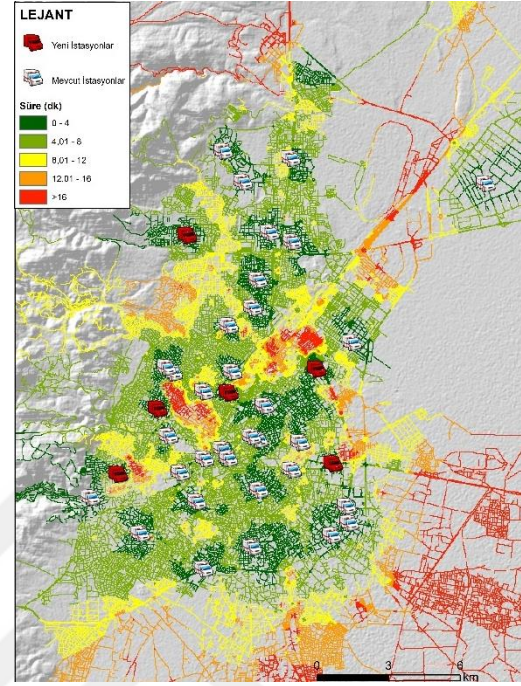


11:00-12:00

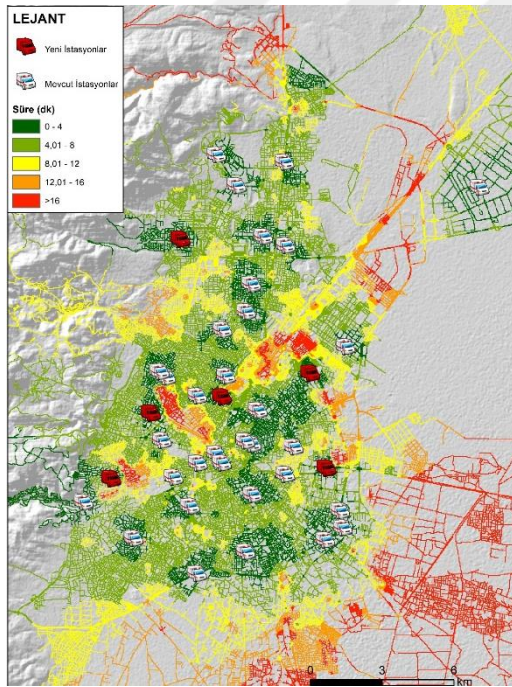
EK-4 (Devam). Durum 1 gecikme süresi 10 saniye haritalar



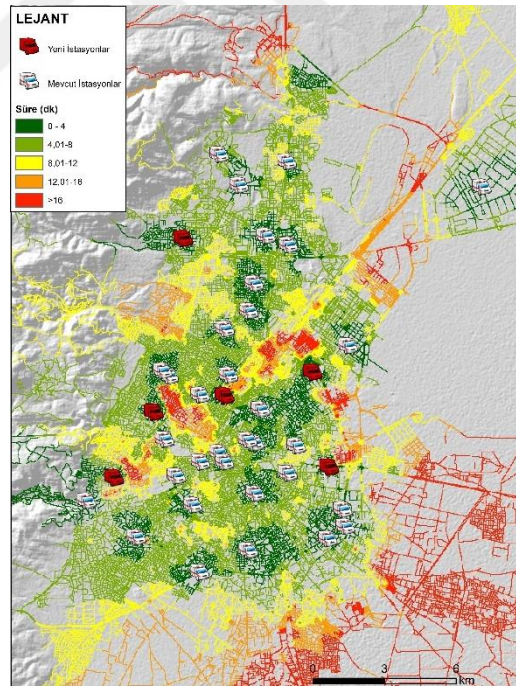
12:00-13:00



13:00-14:00

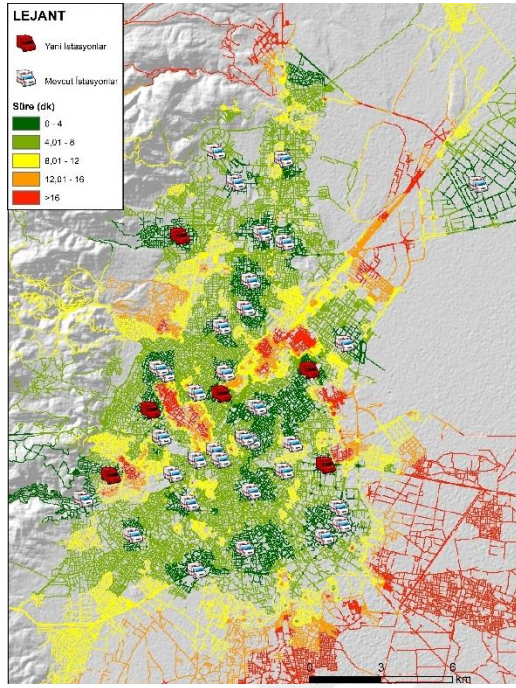


14:00-15:00

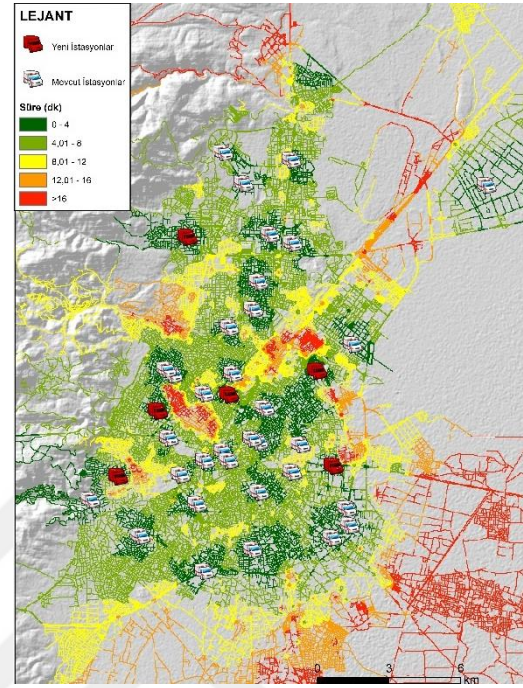


15:00-16:00

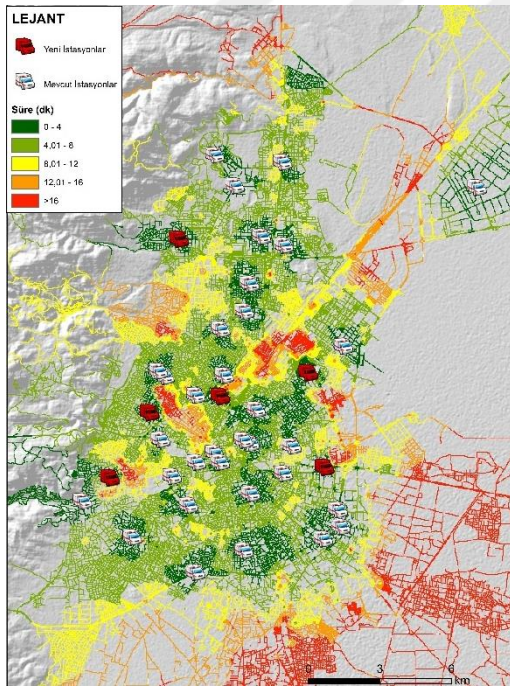
EK-4 (Devam). Durum 1 gecikme süresi 10 saniye haritalar



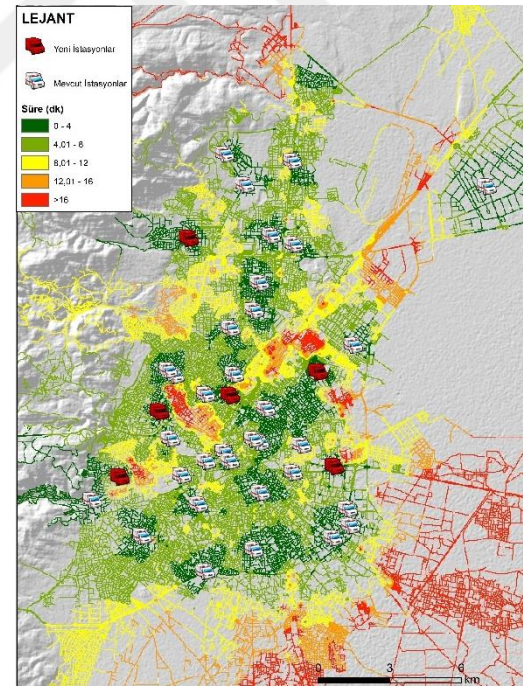
16:00-17:00



17:00-18:00

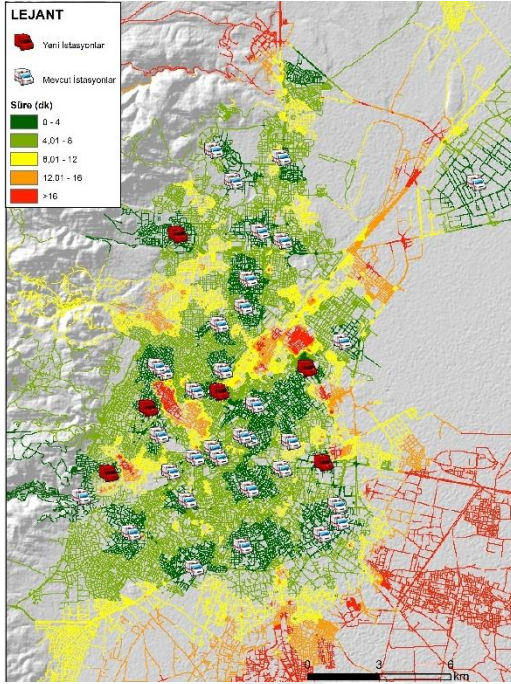


18:00-19:00

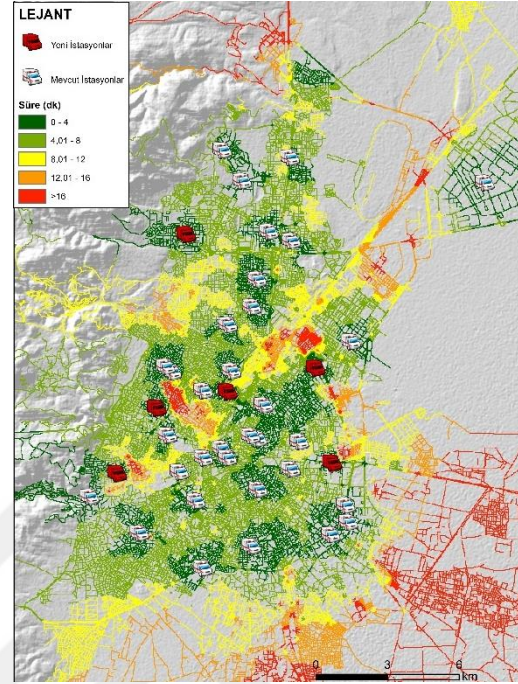


19:00-20:00

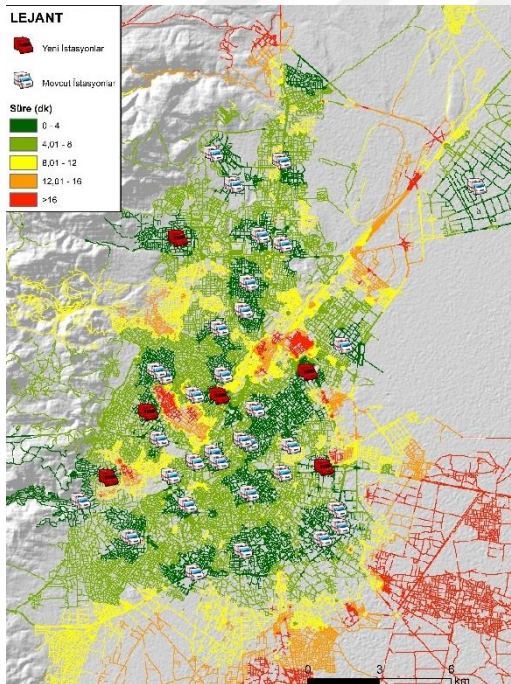
EK-4 (Devam). Durum 1 gecikme süresi 10 saniye haritalar



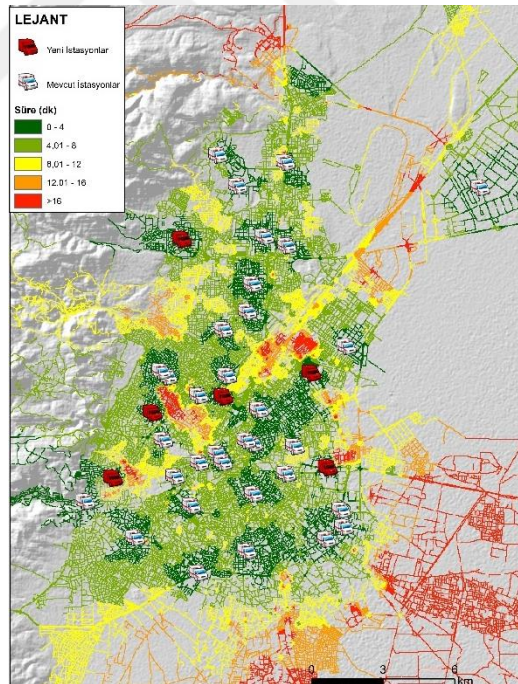
20:00-21:00



21:00-22:00

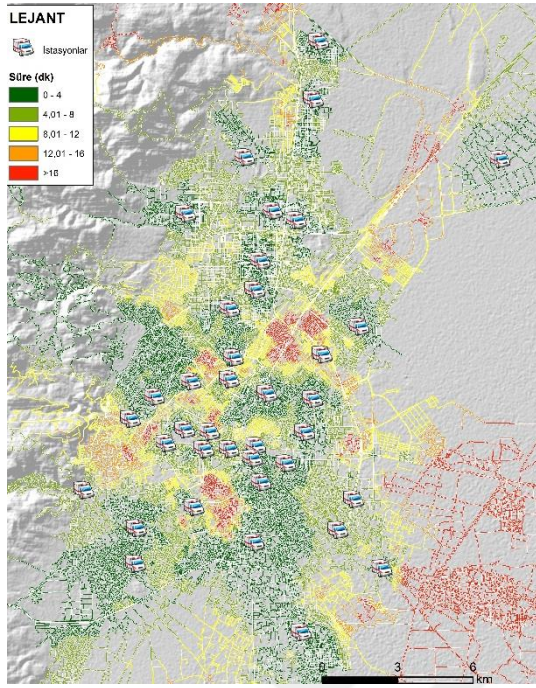


22:00-23:00

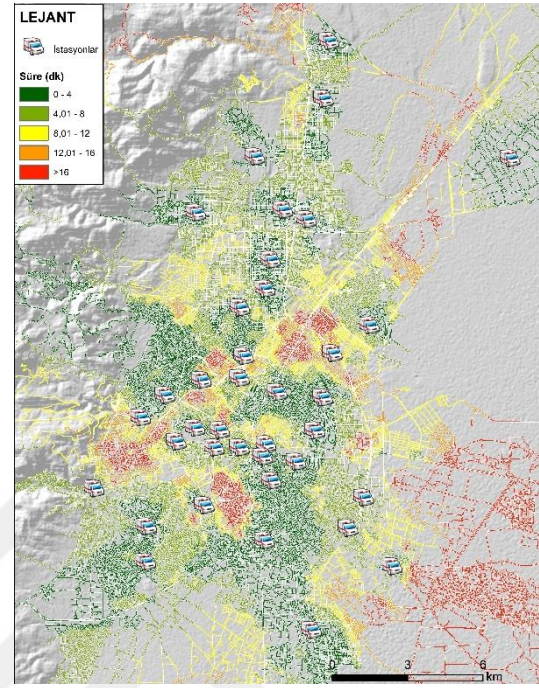


23:00-24:00

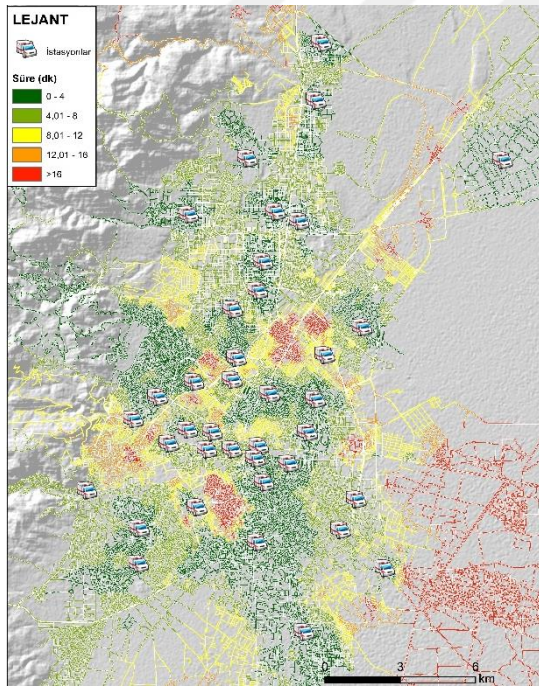
EK-5. Durum 2 gecikme süresi 10 saniye haritalar



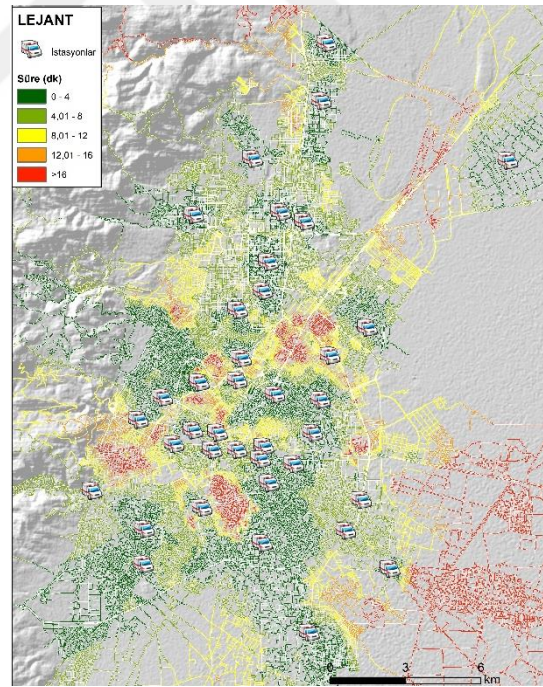
00:00-01:00



01:00-02:00

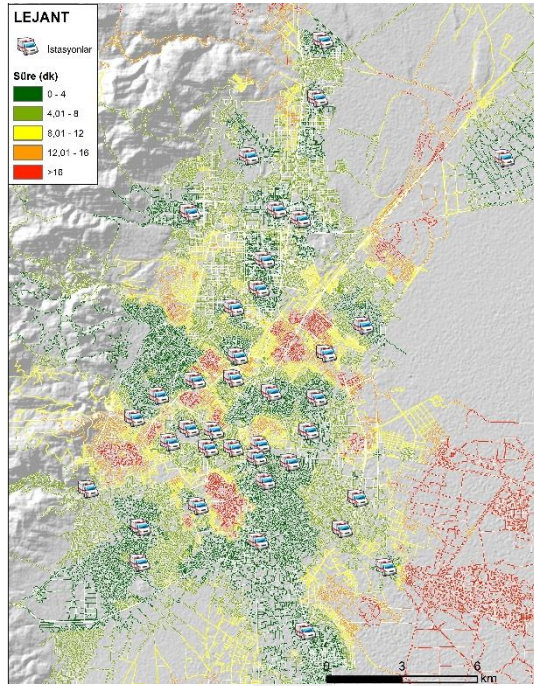


02:00-03:00

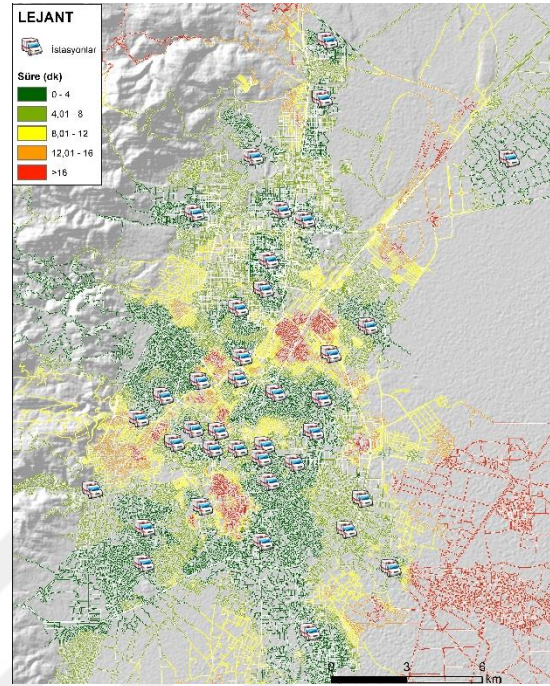


03:00-04:00

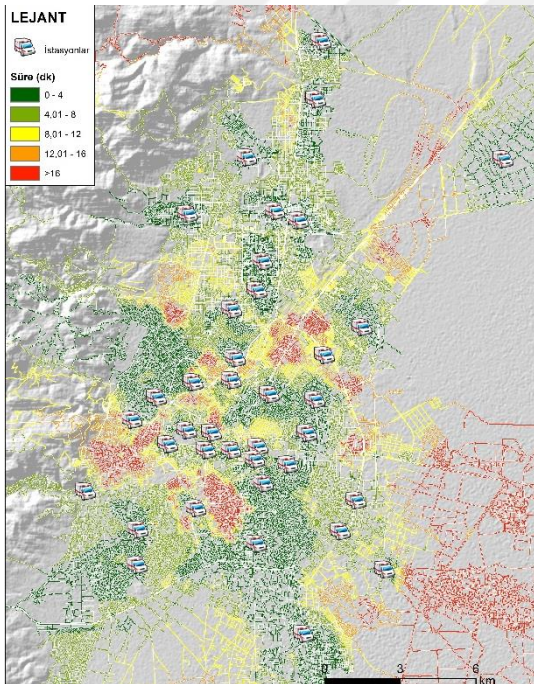
EK-5 (Devam). Durum 2 gecikme süresi 10 saniye haritalar



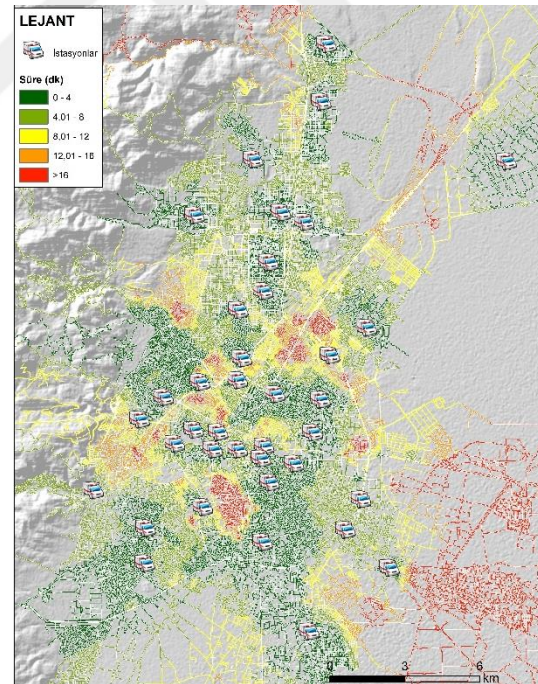
04:00-05:00



05:00-06:00

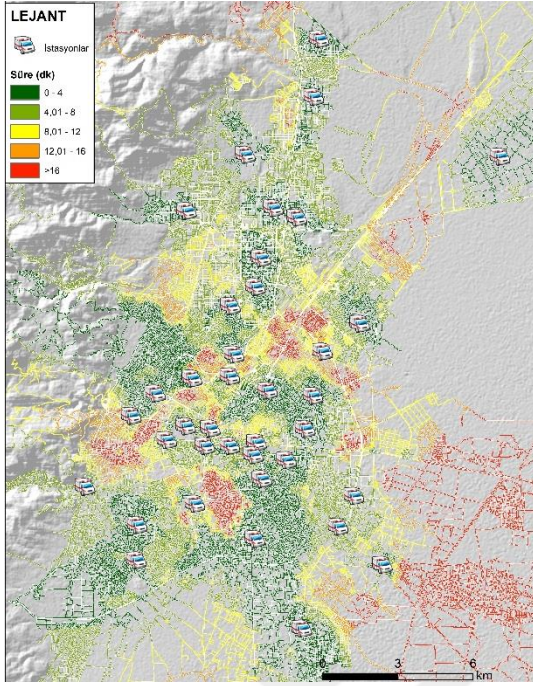


06:00-07:00

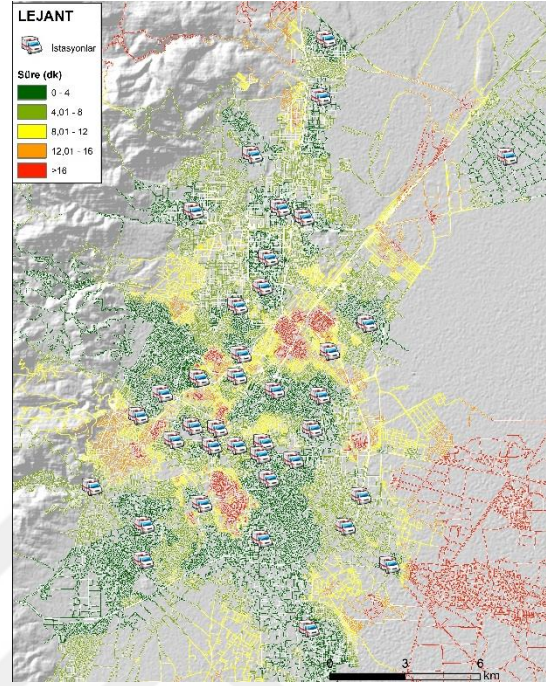


07:00-08:00

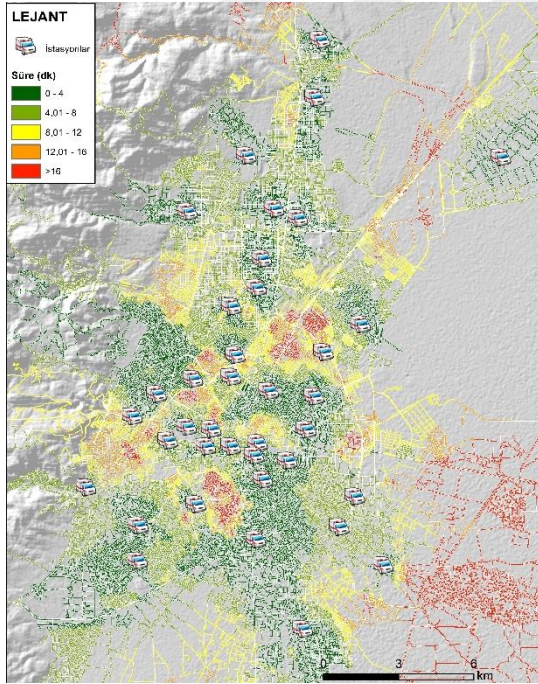
EK-5 (Devam). Durum 2 gecikme süresi 10 saniye haritalar



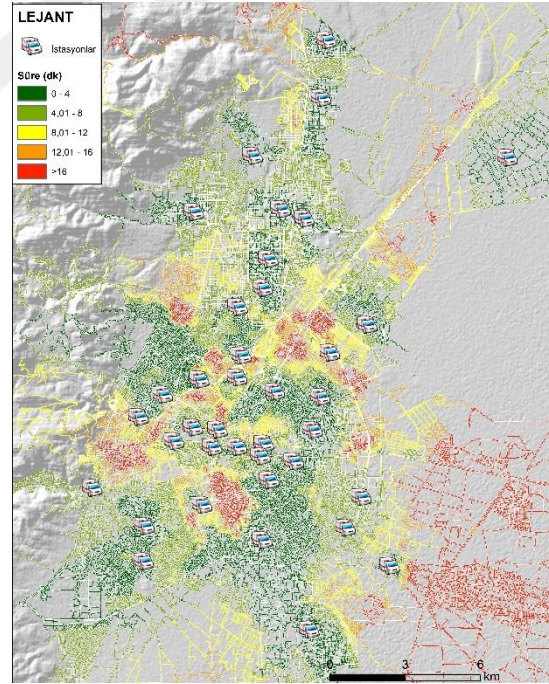
08:00-09:00



09:00-10:00

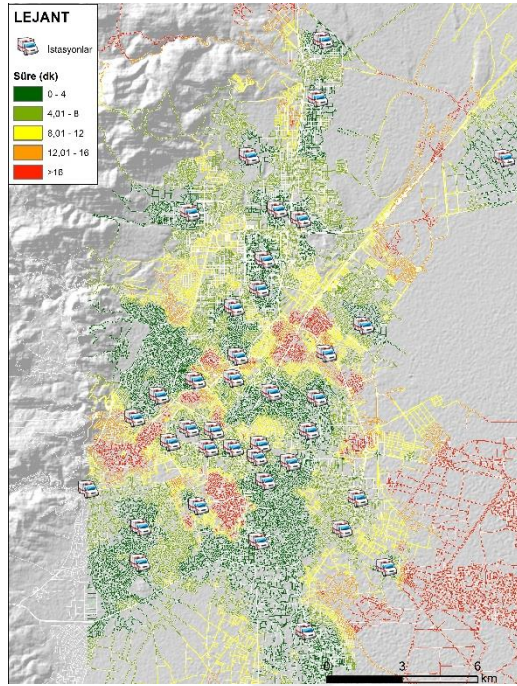


10:00-11:00

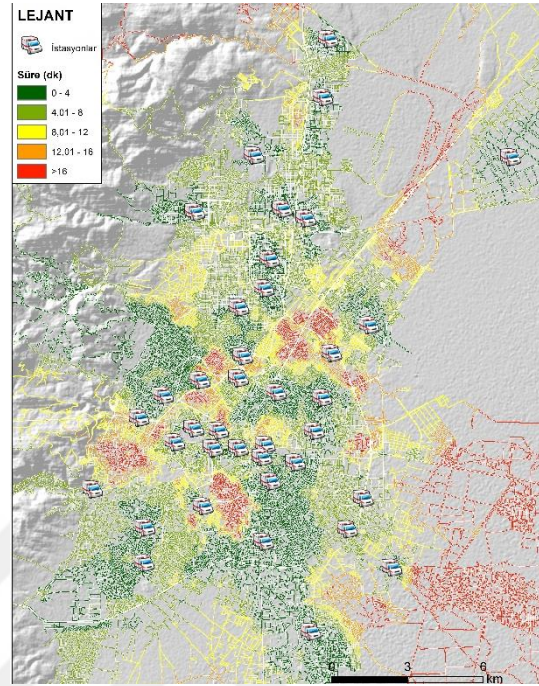


11:00-12:00

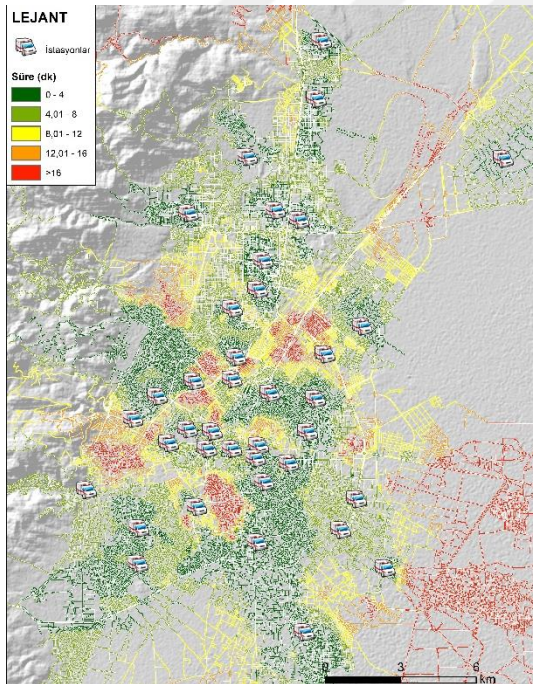
EK-5 (Devam). Durum 2 gecikme süresi 10 saniye haritalar



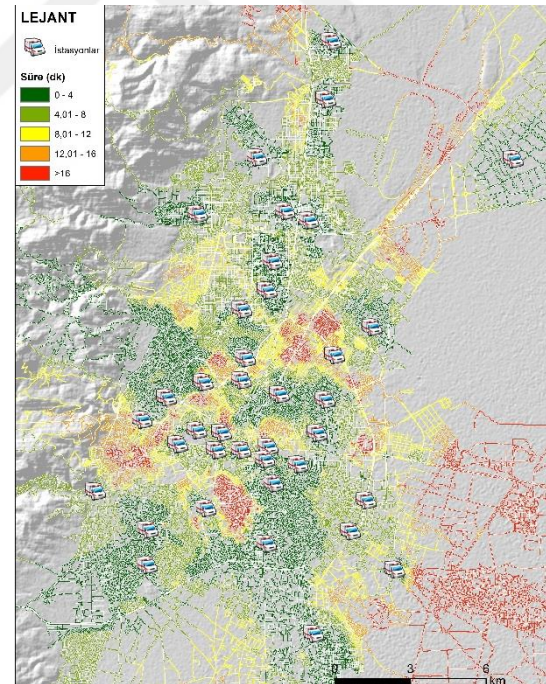
12:00-13:00



13:00-14:00

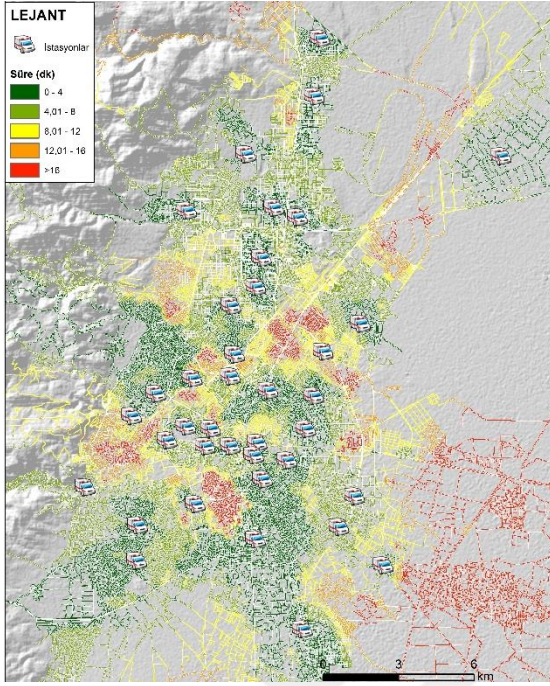


14:00-15:00

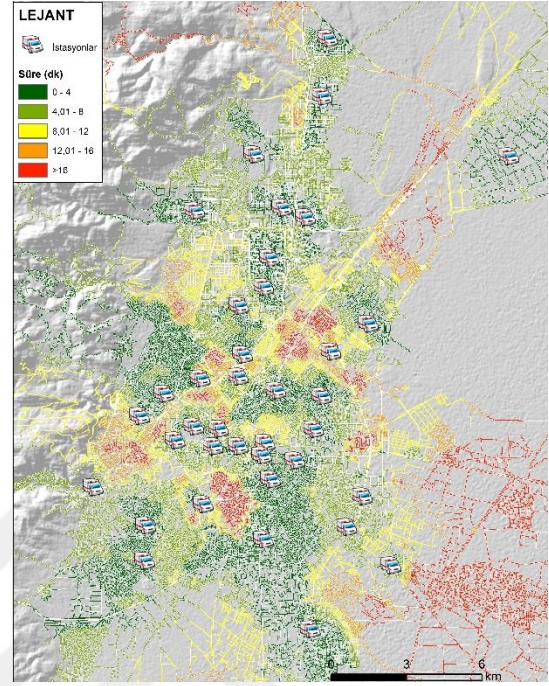


15:00-16:00

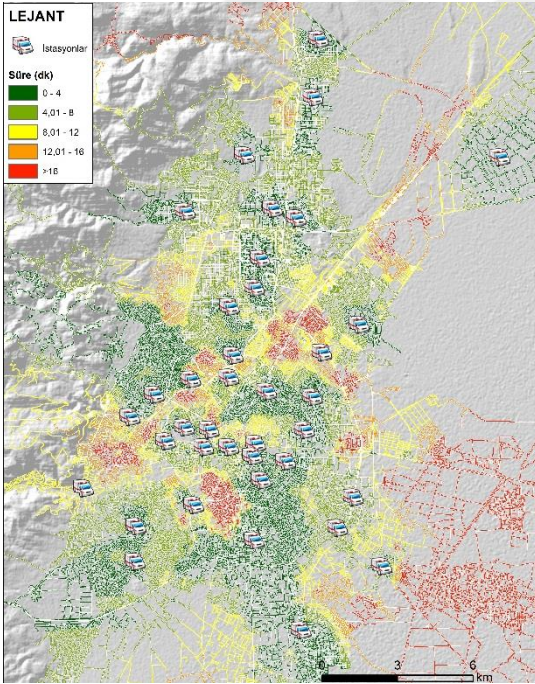
EK-5 (Devam). Durum 2 gecikme süresi 10 saniye haritalar



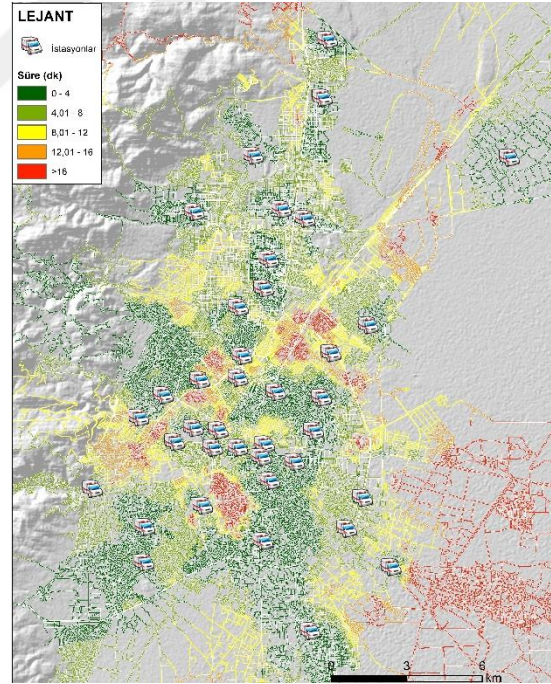
16:00-17:00



17:00-18:00

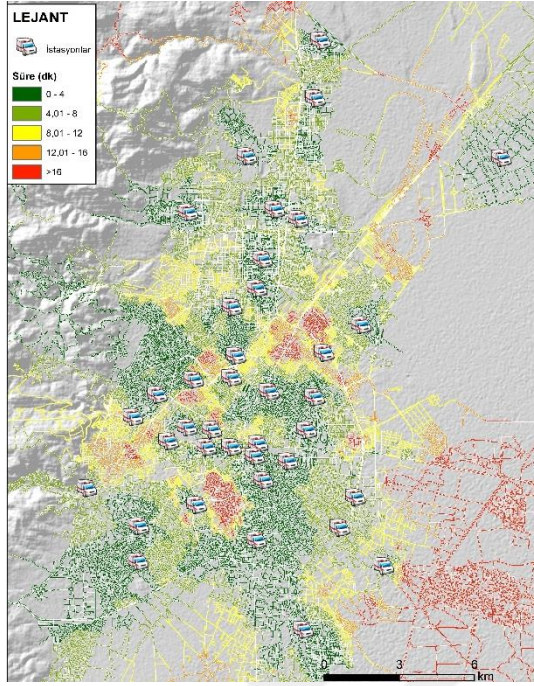


18:00-19:00

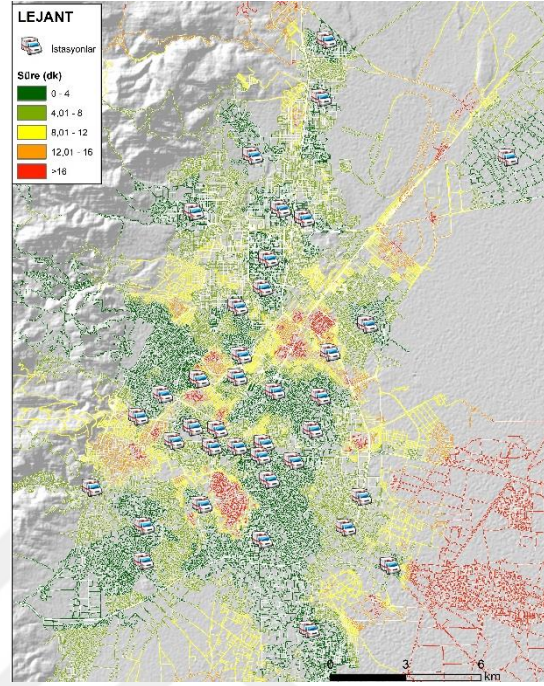


19:00-20:00

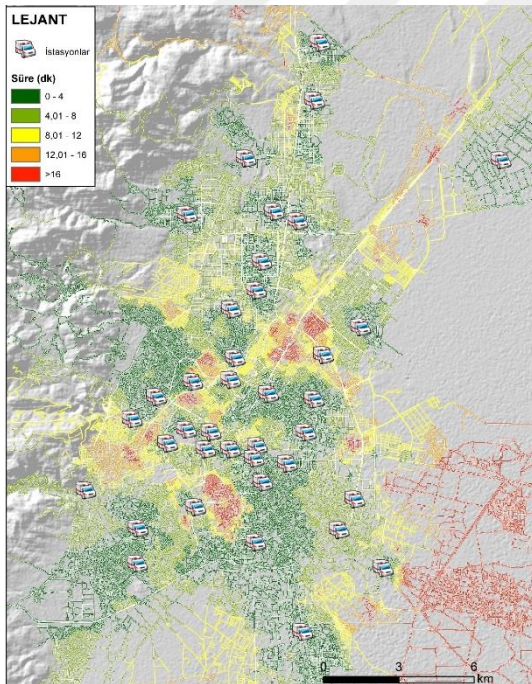
EK-5 (Devam). Durum 2 gecikme süresi 10 saniye haritalar



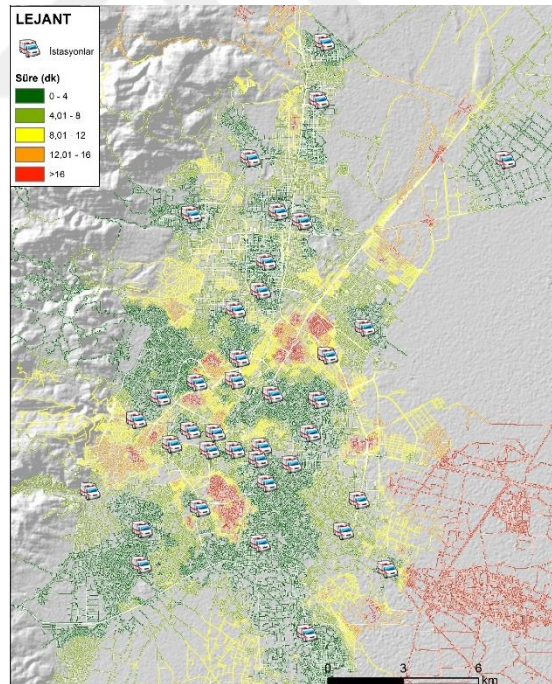
20:00-21:00



21:00-22:00



22:00-23:00



23:00-24:00



Gazili olmak ayrıcalıktır