

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ACİL TIBBİ SERVİS ARAÇLARI YERLEŞİM
ALGORİTMALARI ve UYGULAMAYA YÖNELİK
KIYASLAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İldeniz YAYLA**

**Anabilim Dalı: ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Programı: MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ**

AĞUSTOS 2007

**ACİL TIBBİ SERVİS ARAÇLARI YERLEŞİM
ALGORİTMALARI ve UYGULAMAYA YÖNELİK
KIYASLAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İldeniz YAYLA
507031216**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Ağustos 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ağustos 2007**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Cengiz GÜNGÖR
Diğer Jüri Üyeleri Yard.Doç.Dr. Murat BASKAK (İ.T.Ü.)
Yard.Doç.Dr. Şule ÖNSEL (D.Ü.)**

AĞUSTOS 2007

ÖNSÖZ

Tezin oluşturulmasında ve geliştirilmesinde, desteğini ve ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen ve getirdiği önerilerle tezin oluşumunda büyük katkısı olan danışman hocam Doç. Dr. Cengiz Güngör'e sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı iletmek istiyorum.

Eğitim hayatım boyunca gösterdikleri anlayış ve desteklerden dolayı eşime, anneme ve babama teşekkürlerimi iletiyorum.

Mayıs 2007

İldeniz Yayla

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAZA YÖNETİM SİSTEMLERİ ve ACİL TIBBİ SERVİSLER	7
3. UYGULAMA BÖLGESİ ve ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ	13
3.1. Uygulama Bölgesi	13
3.1.1. Bölgenin Trafik Ağ Yapısı; Bölge Merkezlerinin ve Bölgedeki ATS Yerleşiminin Yapısı	18
3.2. Araştırmanın Önemi	24
3.3. Araştırmanın Kapsamı	26
4. ACİL TIBBİ SERVİS ARACI YERLEŞİM ALGORİTMALARI	28
4.1. Temel Kapsama Modelleri	30
4.2. Ek Kapsama Modelleri	32
4.3. Olasılık Temelli Kapsama Modelleri	33
4.4. Diğer ATS Yerleşim Modelleri	34
5. ARAŞTIRMADA KULLANILAN MODELLER	36
5.1. Model 1: Yedek Kapsama Modeli	36
5.2. Model 2: Olasılıksal Kapsama Modeli	39
6. MODELLERİN UYGULAMA SONUÇLARI	45
6.1. Model 1 için Uygulama ve Sonuçlar	45
6.1.1. Servis Sınır Parametresinin Model 1 ile Değerlendirilmesi	46
6.1.2. Model 1'in Yerleşim Yeri Algoritmasına Dönüştürülmesi	50
6.2. Model 2 için Uygulama ve Sonuçlar	55
6.2.1. Model 2'ye Araç Sayısı Limitinin Uygulanması	60
6.3. Benzetim Sistemi ve Sonuçlar	61
6.3.1. Servis Sınır Eşiğinin Müdahale Süresine Etkisi	63
6.3.2. Model 1 ve Model 2'nin Müdahale Süreleri ile Karşılaştırılması	66
7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	71

KAYNAKLAR	74
EK. A	77
EK. B	80
EK.C	83
ÖZGEÇMİŞ	85

KISALTMALAR

TKY	: Trafik Kaza Yönetimi
ATS	: Acil Tıbbi Servis
İS	: Acil İlkyardım Sistemi
KV	: Karar Verici

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Mevcut ATS istasyonlarının koordinatları	23
Tablo 6.1 Farklı w , p ve S değerleri ile model 1 için çözüm kümeleri	47
Tablo 6.2. Farklı p ve S değerleri ile geliştirilen Model 1 için çözüm kümeleri ($w=0.999999$)	53
Tablo 6.3. ANOVA tablosundan seçilmiş bölümler	56
Tablo 6.4. Geliştirilen modelin farklı değerlere bağlı çözüm kümeleri	58
Tablo 6.5. ε değerlerine bağlı atama yapılan talep oranı ve kullanılan araç sayısı değişimi	59
Tablo 6.6. Geliştirilen Model 2 için parametrelere bağlı çözüm kümeleri ($P_0=0.5$)	61
Tablo 6.7. ANOVA tablosundan seçilmiş bölümler	63
Tablo 6.8. Tukey HSD tablosundan seçilmiş bölümler	64
Tablo 6.9. REGWQ tablosundan seçilmiş bölümler	64
Tablo 6.10. Betimletici istatistik tablosundan seçilen bölümler	67
Tablo 6.11. ANOVA tablosundan seçilmiş bölümler	68
Tablo 6.12. Mann-Whitney U ve Wilcoxon İşaret testi tabloları.....	69
Tablo A.1. Kaza gruplarının tanımsal özellikleri ve ambulans ihtiyacı duyulan kaza istatistiksel verileri (kaza grubu 1, 2, 3)	77
Tablo A.2. Kaza gruplarının tanımsal özellikleri ve ambulans ihtiyacı duyulan kaza istatistiksel verileri (kaza grubu 4, 5, 6, 7, 8, 9)	78
Tablo A.3. Kaza gruplarının tanımsal özellikleri ve ambulans ihtiyacı duyulan kaza istatistiksel verileri (kaza grubu 10, 11, 12, 13, 14) .	79
Tablo B.1. Model 1 için farklı p , S ve w değerleri ile elde edilen çözüm kümeleri (servis eşiği 30, 25, 20 dk.)	80
Tablo B.2. Model 1 için farklı p , S ve w değerleri ile elde edilen çözüm kümeleri (servis eşiği 15, 14, 13, 12, 10 dk.)	81
Tablo B.3. Model 1 için farklı p , S ve w değerleri ile elde edilen çözüm kümeleri (servis eşiği 8 dk.)	82
Tablo C.1. Model 2 için farklı P_0 değerleri ile elde edilmiş çözüm kümeleri ($P_0= 0.99999, 0.95, 0.99, 0.7, 0.6, 0.5$)	83
Tablo C.2. Model 2 için farklı P_0 değerleri ile elde edilmiş çözüm kümeleri ($P_0= 0.8, 0.00001$)	84

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Kaza komuta sisteminin fonksiyonel yapısı.....	3
Şekil 2.1 : ATS gönderim sisteminde olaylar zincirinin kritik servis süreleri ile gösterimi	10
Şekil 3.1 : Metropoliten bölge haritası	14
Şekil 3.2 : 1990-2002 senelerinde Metropoliten bölgede kayıtlı araç sayısı .	14
Şekil 3.3 : 2000-03 senelerinde kazalarda yaralı sayısı dağılımları	15
Şekil 3.4 : 2000-03 senelerinde yaralı mevcut kazalarda yaralanma şiddeti dağılımı (5; en şiddetli, 1;en az şiddetli)	15
Şekil 3.5 : 2000-03 senelerinde kazaların kaza şiddetine dağılımı (5;en şiddetli, 1;en az şiddetli)	16
Şekil 3.6 : 2000 senesinde meydana gelmiş kazaların politik bölgelere dağılımı	16
Şekil 3.7 : 2000-03 senelerinde kazaların oluştuğu bölgeye göre dağılımı ...	17
Şekil 3.8 : 2000'de A.B.D.'de meydana gelmiş ölümcül kazalara müdahale sürelerinin bölgelere göre değişimi	18
Şekil 3.9 : Gruplara dahil kaza bölgeleri ve grup merkezleri	20
Şekil 3.10 : Belirlenen talep merkezleri.....	21
Şekil 3.11 : 2000-03 senelerinde kaza gruplarda meydana gelmiş kaza sayıları	22
Şekil 3.12 : Bölgede hizmet vermekte olan ATS istasyonlarının yerleşimleri	22
Şekil 4.1 : Temel kapsama modeli	22
Şekil 5.1 : Klasik kapsama ve kapsama olasılık tanımı	29
: ATS sisteminde olaylar zinciri.....	39
Şekil 6.1 : w için birincil ve yedek kapsanan talep değerleri ($S=10dk. p=7$).	48
Şekil 6.2 : w için birincil ve yedek kapsanan talep değerleri ($S=15dk. p=4$).	48
Şekil 6.3 : w için birincil ve yedek kapsanan talep değerleri ($S=20dk. p=4$).	49
Şekil 6.4 : Farklı w değerleri için birincil ve yedek kapsanan talep değerleri ($S=25dk. p=3$)	49
Şekil 6.5 : Kapsanan talep oranının istasyon sayısına bağlı değişimi ($w=1$) .	51
Şekil 6.6 : S değerleri için maksimum kapsanabilecek talep oranları	52
Şekil 6.7 : S değerleriyle maksimum talep kapsanması için gerekli araç sayısı değişimi	54
Şekil 6.8 : $S=20$ ve $w=0.99999$ için istasyon sayısının kapsama ve yedek kapsama oranlarına etkisi	54
Şekil 6.9 : $S=15$ ve $w=0.99999$ için istasyon sayısının kapsama ve yedek kapsama oranlarına etkisi	57
Şekil 6.10 : $\mu= 0.86$ çağrı/saat iken tüm ambulansların meşgul olma olasılıkları	62
Şekil 6.11 : Kurgulanan benzetim modelinin akış şeması	65
Şekil 6.12 : Müdahale sürelerinin servis eşik değerine göre değişimi	65
Şekil 6.13 : Model 1 ve Model 2'nin ortalama müdahale süreleri	66

SEMBOL LİSTESİ

R_{ij}	: i talep ve j servis merkezi arasındaki mesafe
w	: Model 1’de kullanılan birinci amaç fonksiyonunun önem derecesi
P_0, P_1	: Hedef fonksiyonunun önem dereceleri
d_0^-, d_j^+	: Hedeften sapma değerleri
S	: Eşik servis sınırı
a_i	: i bölgesindeki toplam ATS talebi
$x_{merkez}^a, y_{merkez}^a$: a grubunun merkez apsis ve ordinatı
f_i	: i talep bölgesi için ATS’ye ihtiyaç duyulan trafik kazası frekansı
λ_i	: i talep bölgesinde saatte beklenen ATS talep değeri
b_i	: i talep bölgesinde meydana gelen talebin toplam talebe oranı
p	: atanan araç sayısı veya açılan istasyon sayısı
y_i	: i talep bölgesinin kapsamı kapsamadığını belirleyen 1,0 karar değişkeni
u_i	: i talep bölgesinin yedek kapsamı kapsammasını belirleyen 1,0 karar değişkeni
x_i	: i talep bölgesine araç veya istasyon atanmasını belirleyen 1,0 karar değişkeni
P_{ij}	: j istasyonundan i bölgesine belirlenen zaman diliminde ulaşılabilme olasılığı
P	: Olasılık servis eşiği
r_T	: Talep oluşma miktarı
T	: Toplam sunucu sayısı
x_{jT}	: İstasyona kaç adet araç yerleştiğini belirleyen karar değişkeni
c	: ATS istasyon kapasitesi üst sınırı
ε	: Kapsama olasılık eşiği

ACIL TIBBİ SERVİS ARAÇLARI YERLEŞİM ALGORİTMALARI ve UYGULAMAYA YÖNELİK KIYASLAMALARI

ÖZET

Ulaştırma altyapısı bir toplumun refah düzeyinin omurgasıdır. Genel tanımıyla, insanları ve ticari malları güvenli ve etkin bir biçimde bir noktadan diğerine transferi taşınması ulaştırma sistemlerinin temel amacıdır. Bu amacın önemini açık biçimde ortaya koymak için insan hayatının ve sahip olduğu malların tehlikede olabileceği trafik kazalarından daha önemli bir husus gösterilemez.

Problemin acillik boyutuna ek olarak, ulaştırma ağlarında tıkanıklıklara neden olan trafik kazaları, ulaştırma sistemlerinin normal işleyişini engellemekte ve yol kapasitelerinde ciddi düşüslere neden olmaktadır. Bu ise bölgeler arasında iletişimi önleyerek ekonomik kalkınmayı olumsuz etkilemektedir.

Hem acillik hem de ekonomik gerekçelerle kazalara, bir veya birden çok birimin kurtarma, kontrol bir ve/veya hafifletme amaçlı hızlı müdahalesi gerekmektedir. Trafik kapasitesinin en hızlı ve güvenli biçimde geri getirilmesi amaçlı, kazaların tespit edilmesini, bu kazalara müdahale edilmesini ve kazaların kaldırılmasını içeren planlı ve eşgüdümlü program trafik kaza yönetimi (TKY) olarak adlandırılmaktadır. Trafik kazalarının çeşitlilik gösteren yapısı dikkate alındığında, TKY farklı sistem elemanlarını bünyesinde bulundurması ve bu elemanları içine alan denetleyici ve koordinasyonu sağlayıcı stratejik planları oluşturması gerekliliği açık olarak görülmektedir.

New York, Montreal, Riyad ve İstanbul gibi tüm büyük şehirlerin ortak sorunu durumuna gelmiş olan Acil Tıbbi Servis'ler (ATS), insan sağlığı ve hayatı ile doğrudan ilişkili olduğundan genel TKY sisteminde yüksek düzeyde önem taşıyan bir elemandır. Bu nedenle, sistem sorunları ATS yapılarını stratejik planlamanın ilk aşamasında ele alınmalıdır.

Literatürde sistem sorumlularına bu planlarında yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiş birçok ATS yerleşim modeli bulunmaktadır. Bu modellerin çoğunluğuna, arz ve talep arasındaki uzaklıkları veya ulaşım mesafesini servis edebilme için birincil kısıt olarak kabul eden kapsama problemi temel teşkil etmektedir. Çalışmada, bu kapsama problemlerinde deney öncesinde planlayıcı tarafından belirlenen servis parametresinin çözüm sonuçlarına etkisini incelemek amacıyla Hogan ve ReVelle'nin yedek kapsama modeli uygulamaya alınmış ve parametrik analizle servis eşliğinin model tanımını nasıl etkilediği incelenmiştir. Parametrik analiz sonuçları, yedek kapsama modelinin, servis eşik kriterine bağlı olarak farklı sonuçlar ortaya koyabildiğini göstermiştir. Bunun yanı sıra bazı şehirlerden farklı olarak, 20 dakika eşik değerinin bölgeye en uygun kapsama sınırı olduğu tespit edilmiştir.

Parametrik analizlerde gözlenen farklılığın istatistiksel olarak test edilmesi amacıyla bir benzetim modeli kurgulanmış ve dört farklı servis eşiği (12, 14, 15 ve 20 dakika) için yedek kapsama modelinin sonuçları benzetim sistemine alınmıştır. Benzetim sisteminin çıktılarıyla yapılan tek yönlü varyans analizinde (ANOVA), bu süre kısıtları ve sonuçları arasında anlamlı ilişki kurulamamıştır. ANOVA testine ek olarak Tukey HSD ve REGWQ testleri aynı çıktılar için uygulanmış ve benzerlik gösteren çiftlerin olup olmadığı araştırılmıştır. İki testin sonucu da bir birini destekler nitelikte olup hiçbir süre kısıdı sonucu arasında ikili ilişki kurulmamıştır. Böylelikle, testler öncesinde yapılan parametrik analizlerde ortaya konduğu üzere, sistem sorumlularının belirleyeceği servis parametrelerinin yerleşimleri ve müdahale sürelerini önemli biçimde etkilediği ortaya konmuştur.

Çalışmada yedek kapsama modeline ek olarak Alsalloum ve Rand'ın olasılıksal kapsama modeli de ele alınmıştır. Bu model, daha önce uygulandığı gibi parametrik analizlere tabi tutulmuş ve iki modelin örnek bölge için farklı araç yerleşimleri sunduğu gözlenmiştir.

Bunun dışında, finanssal gerekçelerle modellerde geliştirmeye gidilmiş, yedek kapsama modelinden kısıtlı ATS yerleşim modeli, olasılıksal kapsama modelinde ise kısıtlı araç yerleşim modeli oluşturulmuştur. Özellikle geliştirilen kısıtlı araç yerleşim modeli, mevcut talebin daha az sayıda araç ve ATS yerleşimi ile servis sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, geliştirilen modelin kaynak ihtiyacı veya performans için bir alt sınır olarak planlamada kullanılabilmesi gösterilmiştir.

Son olarak, yedek kapsama modeli ve olasılıksal kapsama modeli daha önce kurgulanmış olan benzetim modeline alınmış ve ürettikleri müdahale sürelerine bağlı istatistiksel kıyaslama yapılmıştır. Benzetim çıktılarının analizinde, iki modelin müdahale süreleri arasında anlamlı fark ANOVA testi neticesinde tespit edilmiştir. Farklılığın tespitinden sonra hangi modelin daha düşük müdahale sürelerine sahip olduğunun istatistiksel analizi için Mann Whitney U testi ve Wilcoxon İşaret Testleri kullanılmıştır. Testler sonucunda, olasılıksal kapsama modelinin benzetim sisteminin çıktılarına bağlı olarak ele alınan bölgeye daha olumlu müdahale süreleri sağladığı gözlenmiştir.

EMERGENCY MEDICAL SERVICE LOCATION ALGORITHMS and APPLICATION COMPARISONS

SUMMARY

Transportation infrastructure is the backbone of a nation's prosperity. In general, transporting people and goods safely and efficiently from one where to another is the main purpose of the transportation systems. In order to put the importance of this purpose clearly, any matter which is more important than traffic accidents in which human life and goods may be under risk cannot be manifested.

In addition to the emergency dimension of the problem, traffic accidents causing congestions in transportation networks hinders regular process of transportation systems and brings forth remarkable reductions in road capacities. This affects economic development by preventing communication between areas.

For both emergency and economic grounds, one or more than one units should rapidly interfere for the purpose of rescue, check and/or mitigation. A planned and coordinated program including determination of accidents, rapid interference to these incidents and remove incidents with the purpose of recovering traffic capacity safely and rapidly is called traffic incident management (TIM). As the structure of traffic accidents having diversity is taken into account, it can be clearly seen that TIM should have different system elements in its body and should establish strategic plans including these elements and which are able to inspect and provide coordination.

Emergency Medical Services (EMS) which has become the common problem of the big cities such as New York, Montreal, Riyadh and Istanbul, is an element bearing high level of importance in general TIM system since it is related with human health and life directly. Therefore, the system officers should handle EMS structures at the first stage of strategic planning.

In literature, there are many EMS settlement models which have been developed in order to support system officers in these plans of them. Coverage problem which accepts distance between supply and demand or transportation range as a first limit for service, serves as a basis to the most of these models. In the research, backup coverage model of Hogan and ReVelle has been applied in order to analyze the impact of service parameter determined by the planner before the experiment in these coverage problems on solution results and it has been analyzed how it impacts model definition of service threshold with parametric analysis. The results of parametric analysis revealed that backup coverage model may display different results depending on service threshold criteria. Furthermore, it has been determined that 20 minutes threshold value is the most suitable coverage limit to the area as it is different from some cities.

A simulation model has been built in order to determine the difference observed in parametric analysis statistically and results of backup coverage model has been

included into simulation system four different service threshold (12, 14, 15 and 20 minutes). In one-way variance analysis (ANOVA) carried out with outputs of simulation system, a meaningful relation between these time limits and results could not be established. In addition to ANOVA test, Tukey HSD and REGWQ tests have been applied for the same outputs and it has been researched if there were pairs displaying similarity. Results of both tests supported each other and any bilateral relation could not be established between any time limit results. Therefore, service parameters that the system officers shall determine, significantly impact the location and interference periods, as it was displayed in parametric analysis carried out before tests.

In addition to backup coverage model, Alsalloum and Rand's stochastic coverage model has been also handled in the study. This model has been subjected to parametric analysis as it was applied before and it was observed that two models offer different vehicle settlements for the sample area.

Furthermore, models have been improved for financial reasons, limited EMS settlement model has been made from backup coverage model, limited vehicle settlement model has been made from stochastic coverage model, as well. In particular, improved limited vehicle settlement model has displayed that current demand can be served with less vehicles and with EMS settlement. Therefore, it has been shown that improved model can be used in planning as a lower limit for resource need or performance.

Finally, backup coverage model and stochastic coverage model has taken to simulation model which was built before and compared statistically depending on their interference time that they produce. In analysis of simulation outputs, the meaningful different between interference times of both models has been determined as a result of ANOVA test. After determination of the difference, Mann Whitney U test and Wilcoxon Sign Test have been used for statistical analysis of which model has lesser interference times. As a result of tests, it has been observed that stochastic coverage model provides more positive interference times to the area handled depending on outputs of simulation system.

1. GİRİŞ

Bölgeler arasında irtibatı engelleyen ve ekonomik kalkınmayı olumsuz etkileyen trafik kazaları, karayolunda bir veya birden fazla aracın karıştığı ölüm, yaralanma ve zararlar sonuçlanmış olay olarak tanımlanmaktadır. Trafik kazalarının trafik ağlarında tıkanıklığa neden olarak işletim kapasitelerini yüksek oranda azaltması, bu kazaların en çok vurgulanan olumsuz etkisidir. Sherali ve diğerleri [1], kazaların trafik ağındaki gecikmenin yüzde altmışına eşdeğer olduğunu ortaya koymuştur. Trafik ağlarına ve kazalarına yönelik dikkat çekici diğer bir araştırma da Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı tarafından yapılmıştır. Araştırma kırsal ve kentsel alanlarda meydana gelen kazaların neden olduğu toplam gecikmenin Amerikan ekonomisine senelik zararının bir trilyon dolar olduğu saptamıştır [2]. Başka bir çalışma ülkemizde de durumun farklı olmadığını ortaya koymakta ve yollarda meydana gelen kazaların sosyoekonomik maliyetlerinin 1999 fiyatları ile yılda iki milyar YTL seviyesinde olduğu tahmin edilmektedir [3].

Bunun yanı sıra, bu tezde ele alınan trafik ağında sıradan bir gecikmenin altında yatan nedenin kentsel bölgelerde yüzde ellisinin, kırsal bölgelerde ise tamamının trafik kazaları olduğu belirlenmiştir [4].

Kazalar, trafik sistemlerinin normal işleyişini engelledikleri ve işletim kapasitesini düşürdükleri için erken tespit ve müdahaleyi içeren planlı trafik kaza yönetim stratejisinin gerekliliği açıktır. Bu strateji trafik kazalarının çeşitlilik gösteren yapısı dikkate alındığında, bir veya birden çok organizasyonu içermesi ve bu organizasyonların kurtarma, kontrol ve/veya hafifletme amaçlı hızlı müdahalesini etkin kılmasını gerektirmektedir.

Kazaların tespit edilmesi, cevap verilmesi, kazaların kaldırılması ve trafik kapasitesinin normal düzeye en hızlı ve güvenli biçimde geri getirilmesi amaçlı, planlı ve eşgüdümlü süreç ise Trafik Kazası Yönetimi (TKY) olarak adlandırılmaktadır [4]. Eşgüdümlü olmayan ve planlanmamış bir kaza yönetim

stratejisi ise zamanlı ve uygun acil tıbbi servis araçları, araç çekme servisleri gibi elemanların gönderiminde eksiklikler dolayısıyla toplam tıkanıklığın (gecikmenin) artmasına, araçların ve sistem içerisinde iletilen ürünlerin gereğinden fazla trafik ağında beklemesine neden olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, bu kazaların bir an önce sistemden kaldırılmasını amaçlayan yanıt stratejileri, kazaların sonucunu, kazazedelerin güvenliğini, yardım servislerini ve tüm toplumu ilgilendirmektedir.

Ekonomik gerekçelerin yanı sıra, trafik kazalarında erken müdahale için en önemli unsur kazalara müdahale süreleri ile kazazedelerin sağlığı ve hatta hayatının doğrudan ilişkili olmasıdır. Bazı durumlarda, trafik kazalarında müdahale süresi insan hayatının kurtulup kurtulmayacağı noktasında belirleyici olmaktadır. Fakat Acil Tıbbi Servisler'in (ATS) olaya müdahale etme süreleri kadar kazazedenin nakil süresi düşünüldüğünde TKY'nin bir planlama gerektirdiği açıktır.

Ülke ekonomisine maliyeti dışında Türkiye'de her yıl dokuz bini aşkın kişinin, trafik kazalarında öldüğü ve yaklaşık iki yüz bin kişinin de yaralandığı görülmektedir [3]. Türkiye yollarında her gün yaklaşık yirmi beş kişinin öldüğü ve beş yüzden fazla kişinin de yaralanmakta olduğu ve yaralananlardan bazılarının ömürleri boyunca sakat kaldığı düşünüldüğünde iyi bir TKY sisteminin hem ekonomik hem de toplum sağlığı açısından önemi açıktır.

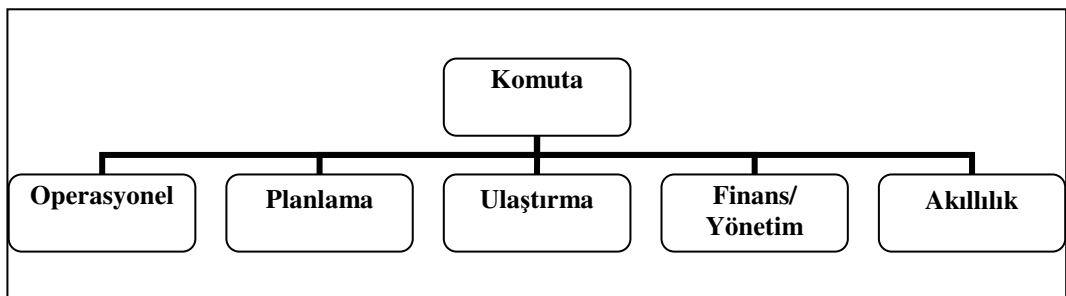
Birçok elemanı içinde barındıran trafik kaza yönetimine sistem düşüncesi ile yaklaşıldığında, bu sistemin temel olarak iki alt sistemden oluştuğu görülmektedir; ileri ulaştırma yönetim sistemleri (advanced transportation systems) ve ileri yolcu uyarı sistemleri (advanced traveler information systems). İleri ulaştırma sistemlerinin temel görevi veri işleme, iletişim ve teknoloji vasıtasıyla mevcut kaza ihtiyaçlarının karşılanması amaçlı trafik kontrol stratejileri geliştirmektir. İleri düzey yolcu uyarı sistemlerinin temel görevi ise trafik enformasyonunu toplamak, gerek seyahat öncesi ve gerekse de seyahat süresince trafikte bulunan kişilere iletmektir [2].

Ulaştırma ve uyarı elemanına ek olarak, Ang-Olson [5], kaza komuta sistemlerinin (incident command center) önemini kontrol ve koordinasyonun tek elden yapılması gerekliliği ile açıklamıştır. A.B.D. İç Güvenlik Bakanlığı'nın Kaza Yönetim Sistemi (The Department of Homeland Security's National Incident Management System or NIMS) kaza komuta sistemini beş fonksiyonun bileşkesi olarak tanımlamaktadır;

Komuta, Operasyon (işletim), Planlama, Ulaştırma, Yönetim ve Finans. Buna ek olarak Ang-Olson [5], altıncı bir fonksiyon olan akıllılıktan (intelligence) bahsetmektedir. Akıllılık olarak adlandırılan fonksiyon, kaza ile ilişkili enformasyonun toplanması, paylaşılması ve yönetilmesi olarak tanımlanan bir bilgi yönetimi sistemi önerisidir. Başka bir ifade ile akıllılık boyutu, geçmiş dönem enformasyonu ile geleceğe dair stratejik planların hazırlanmasında ve bu veri kümesinde oluşan kaza enformasyonun eř zamanlı eklenmesinde en etkin işletimsel akışın izlenmesidir.

şekil 1.1’de akıllılık boyutu eklenen kaza komuta sisteminin temel altı fonksiyonu şöyledir;

- Komuta: olay yeri yönetimi ve kontrol otoritesi;
- İşletimsel: taktiksel işlemlerin gözetlenmesi, yönetilmesi;
- Planlama: kaza yönetim planlarının hazırlanması ve kaynakların durumunun denetimi ile planlanan durumunun korunması;
- Ulaştırma: trafik ağının gözlenmesi, oluşturulan bilginin trafik ağı kullanıcılarına iletilmesi ve gerekli birimlerin gerekli koşulları sağlayacak biçimde gönderimi;
- Finans ve Yönetim: maliyetlerin belirlenmesi ve bu maliyetlerin kayıt altında tutulması;
- Akıllılık: veri toplanması, analizlerle verilerden enformasyon sağlanması, bu enformasyondan deney öncesi bilgi ile analizleri doğrultusunda önlemlerin alınması ve kaza süresince yenilenen enformasyonun eşzamanlı bilgiye dönüştürülerek ilgili birimlere iletilmesi.



şekil 1.1: Kaza komuta sisteminin fonksiyonel yapısı [5]

Acil İlk Yardım Sistem'lerinin (AİS) tüm komuta sisteminin ilk adımı olan planlama aşamasında ele alınması gerekmektedir. Bunun nedeni, trafik kazaları öncesi yapılandırılan AİS, işletimsel (operational) ve ulaştırma elemanlarının yapılandırılması için yapılacak analizlere girdi sağlanması açısından önemli olduğu kadar sonraki bölümlerde örneklerle açıklanacağı üzere AİS elemanları yüksek işletim maliyetleri nedeniyle Finans ve Yönetim elemanı içinde önemlidir.

Bir üretim parametresi olan verimlilik (efficiency) bir kişinin belirli bir işi ne kadar hızlı yaptığı olarak tanımlarsa, bir kalite parametresi olan etkinlik (effectiveness) bu kişinin aynı işi ne oranda iyi yaptığı olarak tanımlanması gerekmektedir. AİS'lerinden biri olan ATS planlaması için yapılan çalışmalar da tam olarak bu verimlilik ve etkinlik dengesi üzerine oturmaktadır.

Bu çalışmalarda, bir yandan AİS içerisinde olabildiğince yüksek verimlilik düzeyiyle kazalara en hızlı müdahaleler sağlanmak amaçlanırken diğer bir taraftan işletim sisteminin maliyeti ile sistem tarafından sunulan hizmet ilişkisinin bir fonksiyonu olarak ölçülen etkinlik düzeyi de korunmaya çalışılmaktadır. Bu temel mantık ile ambulans yerleşim araştırmalarının altında iki ana faktör yatmaktadır; talebe hızlı müdahale ve müdahale için kullanılacak kaynakların belirli bir oranda tutulması. İlk faktör, sunulan hizmeti kullanan toplumun sağlığı ve refahı için kritik rol oynar ki birçok ilk yardım olayında birkaç dakika bir organın kurtarılması veya direkt kişinin hayatı anlamına gelmektedir [6,7]. Bu gerekleyle belirli servisi standardı sağlayan AİS'nin kurulması önemlidir.

Diğer taraftan, AİS yerleşim planının kurulması ve sürdürülmesi oldukça maliyetlidir. Örneğin, Los Angeles Yangın Departmanı 250 milyon dolarlık bütçesinden 55 milyon doları sadece bu hizmeti sağlayan yerleşimlerin senelik harcamalarına tahsis etmektedir [8]. Bu yüksek maliyetlerden dolayıdır ki sistem etkinliğindeki küçük iyileştirmeler, milyonlarca dolarlık tasarruf anlamına gelmekte ve bu iyi yapılandırılmış plan ile hem servis kalite düzeyi belirli sınırlarda tutulabilmekte hem de sağlanacak tasarruf toplumun daha çok gereksinim duyduğu alanlara yatırım olarak dönüştürülebilmektedir [9].

Bu çalışmanın genel amacı, eşgüdümlü kaza yönetim stratejisi çerçevesinde kaza yönetiminin bir parçası olan Acil Tıbbi Servisler'in (ATS) yerleşimlerini kaza

komuta sisteminin akıllık ve planlama elemanları temel alınarak belirlemek için kullanılan algoritmalarından ikisini seçilen bölgeye uygulamak ve çözüm kümeleri üzerinden hem algoritmalar hem de tasarım parametreleri üzerine çıkarımlarda bulunmaktır.

Uygulamada A.B.D.'nin Arkansas Eyaleti'nden alınan kaza ve ambulans verileri kullanılmıştır. Yurtdışından bir bölgenin ele alınmasında üç neden bulunmaktadır. Birincisi, Türkiye'de hizmet veren kurumlardan talep edilen verilerin elde edilmesinde yaşanan güçluktur. İkincisi, bölgenin trafik kazaları yoğunluğu bakımından dikkat çekmesi (Arkansas Eyalet Polisi'nden alınan verilerle yapılan analize göre bölgede senede ortalama 19,000 kaza meydana gelmektedir) ve farklı demografik yapısına karşılık kazaların büyük çoğunluğunun (%93'ünün) İstanbul gibi yoğun kentleşmenin yaşandığı bölgelerdeki gibi büyük şehirlerde veya otoban ağlarında oluşmuş olmasıdır. Üçüncüsü ise bölgede daha önce bu amaçla bir çalışma yapılmamış olmasıdır.

Genel amaç çerçevesinde üç amaç belirlenmiştir.

İlk amaç, ATS planlamalarında sıklıkla kullanılan ve deney öncesinde planlayıcı kurum tarafından belirlenen müdahale eşik süresinin (veya uzaklığının), oluşturulan planları nasıl etkilediğini araştırmaktır. Bu amaçla önce Hogan ve ReVelle'nin yedek kapsama modelinde [10] parametrik inceleme yapılmış ve daha sonra kurgulanan benzetim sistemi ile farklı eşik değerlerinin olası sonuçları, ATS modellerinde sıklıkla kullanılan müdahale süresi kriterine göre incelenmiştir.

Çalışmadaki ikinci amaç ise Hogan ve ReVelle'nin modelini ve olasılıksal formülasyon içeren Alsalloum ve Rand'ın modelini [11] bölge ihtiyaçlarına uygun olarak geliştirmek ve geliştirilen formların bölge üzerine sonuçlarını izlemektir.

Çalışmadaki son amaç ise Alsalloum ve Rand'ın modeli ile Hogan ve ReVelle'nin geliştirilen algoritmalarını kurgulanan benzetim modeline alarak benzetim sisteminde modellerin ürettiği sonuçları istatistiksel analizlerle karşılaştırmaktır.

Tezin geri kalan bölümünde; Bölüm 2'de Kaza Yönetim Sistemleri ve Acil Tıbbi Servisleri ilişkisi verilerek ve Acil Tıbbi Servisler açıklanarak çalışmanın altında yatan temel güdü sunulmuştur.

Bölüm 3’de çalışmada uygulamaya alınan bölge sosyoekonomik açıdan özet biçimde verildikten sonra bölgedeki trafik kazalarına ilişkin verilerden elde edilmiş sonuçlar sunularak bölgenin kaza yapısı incelenmiştir. Elde edilen verilerle ATS’lerin trafik kaza yönetimi içerisindeki yeri vurgulandıktan sonra yapılan araştırmanın kapsamı, yapılan çalışmanın uygulamada kullanılması yönünden tartışılmıştır. Bu bölümde son olarak yukarıda belirtilen genel ve özel amaçlar açıklanmış ve çalışma kapsamında test edilmesi amaçlanan hipotezler sıralanmıştır.

Bölüm 4, Acil Tıbbi Servis’ler üzerine yapılan çalışmaların günümüze kadar gelişimine, literatürde bulunan yerleşim algoritmaları ve uygulamada kullanılan modeller betimsel tanımlarına ayrılmıştır. Bu bölüm içerisinde amaç kısmında bahsedilen parametrik analize temel teşkil eden, planlayıcı tarafından arz talep denge değerinin üstünde veya altında sınırlar belirlenmesinin ATS’ler açısından yorumu da sunulmuştur.

Bölüm 5’de araştırmanın temel unsuru olan iki modelin analitik yapılarının incelenmesine ayrılmış ve matematiksel formların çözüme nasıl ulaştığı açıklanmıştır.

Bölüm 6 ise üç amaca hizmet edecek biçimde yapılandırılmıştır. Birinci olarak, modellerin girdilerinin nasıl belirlendiği ve çözüme gitmek için hangi varsayım ve incelemelerin yapıldığını sunulmuştur. Model çözümlerinin verildiği bu bölümde bir yandan da modellerin nasıl geliştirildiği ile geliştirilen modellerden elde edilen sonuçlar sunulmuş ve parametrik testlerin sonuçları araştırılmıştır. Son olarak, kurgulanan benzetim sistemi ve modellerin benzetim sisteminde çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar istatistiksel testlere tabi tutulmuş ve tezlerin sonuçları yorumlanmıştır.

Bölüm 7’de ise elde edilen sonuçlar bir bütün halinde özetlenmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda yorumlar sunulmuştur.

2. KAZA YÖNETİM SİSTEMLERİ ve ACİL TIBBİ SERVİSLER

Trafik kaza yönetimi; kazaların tespit edilmesi, cevap verilmesi, kazaların kaldırılması ve trafik kapasitesinin normal düzeye en hızlı ve güvenli biçimde geri getirilmesi amaçlı, planlı ve eşgüdümlü bir süreçtir. Bu açıdan dikkat edildiğinde, bir kazanın birden fazla kamu ve özel sektör kurumunu ilgilendirdiği görülmektedir. A.B.D. Ulaştırma Araştırmaları Kurulu Ulusal Akademisi bu çerçevede içerisinde yer alan kurumları şu şekilde sıralamaktadır [4];

- Acil Tıbbi Servisler: Trafik kazaları sonucunda meydana gelen veya gelebilecek yaralanmalara müdahale eden ve ilgili tedbirlerin sunulmasında öncelikli rol oynayan araç, donanım ve personelden oluşan birimlerdir.
- Kanun Uygulayıcılar: Trafik sisteminin belirlenen kanun ve kurallar içerisinde çalışmasını sağlamak amaçlı, gözlemleyici ve müdahale edici birimlerdir.
- Yangın ve Kurtarma: Trafik kazaları neticesinde meydana gelmiş veya gelmesi muhtemel yangın ve kurtarma işlemlerinde müdahale edici birimlerdir.
- Ulaştırma: Kazaya müdahale ile ilgili personel ve donanımın kaza bölgesine ulaştırılmasıyla ve trafik sistemindeki kullanıcıların güvenle seyahat etmeleriyle sorumlu birimlerdir.
- Acil Durum Yönetimi: Kazanın en kısa sürede ağıdan kaldırılmasını, kazazedelerin ve trafik ağını kullanan kişilerin memnuniyetini ve güvenliğini en üst düzeyde tutmak amacıyla kaza öncesi planlama ve sonrasında ilgili birimlerin uyum içerisinde çalışmasını sağlayan birimlerdir.
- Araç Çekme: Kaza sonrası sistemin normal kapasite ile işleyişine geri dönmesi için tıkanıklığa neden olan araç ve kalıntıların belirli alanlara sevkiyatıyla sorumlu birimlerdir.

- Atık Madde Taşıyıcıları: Kazalarda çevreye yayılabilecek olası kimyasal madde atıklarının kaldırılması ile sorumlu birimlerdir.
- Trafik Bilişim Araçları: Ağda meydana gelmiş gecikmenin azaltılması, büyümesinin engellenmesi ve ağın kullanıcılarının güvenliğini ve konforunu sağlamak amacıyla hizmet veren elektronik panolar, ışıklar, radyo haber sistemleri, coğrafi bilgi sistemleri ikaz ekipmanları vb. araçları ve bu araçları yöneten personeli içeren birim veya birimlerdir.

New York, Montreal, Riyad ve İstanbul gibi tüm büyük şehirlerin ortak sorunu durumuna gelmiş olan acil tıbbi servisler ve bu servislerin etkili ve etkin biçimde gönderimi, insan sağlığı ve hayatı ile doğrudan ilişkili olduğu için ana sistem olarak tanımlanan TKY içerisinde yüksek düzeyde önem taşıyan bir elemandır.

TKY içerisinde kamunun düzenleyici, denetleyici ve koordinasyonu sağlamaya yönelik hareket etmesi gereklidir. Bu düşünce ile 1970'lere kadar farklı kamu ve özel kurumların bir araya gelerek gelişi güzel biçimde ele aldığı ve yönettiği TKY içerisinde ATS'ler, ilk defa ABD'nin 1973'de çıkardığı ATS Yasası ile belirli standartlara getirilmeye hedeflenmiştir [9]. Yasa ile farklı coğrafi bölgeler için (kentsel, kırsal, dağlık vs.) sınır servis koşulları belirlenmiş ve ilgili kurumlar tanımlanmış olmasına rağmen halen yapısal sorunlar nedeniyle ABD içerisinde dahi uygulamalar farklılık göstermektedir.

Etkin ve etkili planlamaya ek olarak, bütçe kesintileriyle karşı karşıya kalan birçok kurum, bugün acil tıbbi servislerini tekrar gözden geçirme gereği görmekte ve maliyet-güvenirlilik açılımında iyileştirme amacını benimsemektedirler [12]. Giriş bölümünde verilen Los Angeles Yangın Departmanı örneğindeki gibi toplam bütçeden oldukça fazla pay alan AİS yönetim yapıları bölgelere ve ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, Riyad'da planlama ve işletim Kızıl Haç örgütü tarafından sağlanırken [11], Kuzey Kaliforniya'da bulunan Santa Barbara şehrinde ATS sistemi tamamen özelleştirilmiş olup tek bir kurum tarafından sağlanmaktadır [9]. Ülkemizde ise farklı kurumları bir araya getirmeyi amaçlayan acil müdahale haber alma merkezi kurulma çalışmaları güdüldüğü bilinmektedir. Yönetim yapısındaki farklılıklara rağmen ATS ile ilgili kararlar üç başlık altında toplanabilir;

1. Stratejik Kararlar; Yeni ATS yerleşkesinin belirlenmesi ve inşası, personel edinimi ve eğitimi gibi kararlar bu çatı altında toplanmaktadır.
2. Taktiksel Kararlar; Çalışan çizelgelemesi, belirli bir ambulansın belirli bir andaki yeri, ambulansların yer değişimi ve servis sağlayıcılar arasında belirlenen standartları karşılayacak yapıda olanların anlaşmalı taraf olarak belirlenmesi gibi kararlar bu çatı altında toplanmaktadır.
3. İşletimsel (operational) Kararlar; İlk yardım görevlilerinin izlemesi gereken prosedürlerin belirlenmesi ve çağrılarının gruplandırılması gibi kararlar bu çatı altında toplanmaktadır.

Taktiksel kararlar üzerinde kurulu karar destek sistemlerinin ilk adımı ATS yerleşim planları üzerine kurulmuş modellerin incelenmesi ve bölge şartlarına uyarlaması veya ihtiyaçları tanımlayacak modellerin oluşturulmasıdır. Buna ek olarak incelemede değerlendirileceği üzere bir bölge için olumlu sonuç yaratan bir model, modele ait varsayımlar ve parametreler diğer bir uygulama bölgesi için farklı sonuçlar ortaya koyamayabilir. Bu nokta, çalışmanın incelemeye aldığı bir tanımdır ve sonuç bölümünde tekrar yer verilmiştir.

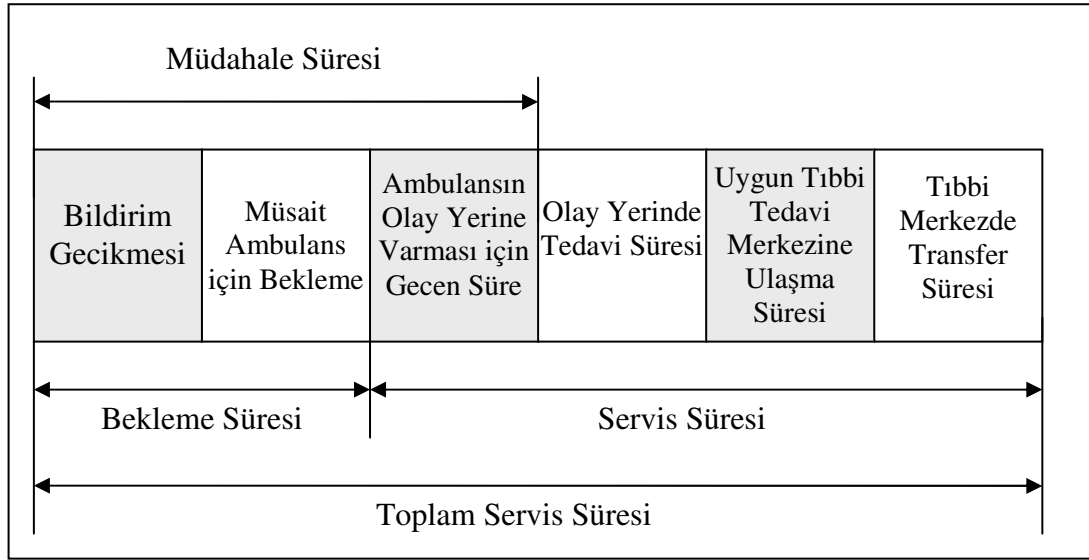
2.1.Acil Tıbbi Servisler

Acil Tıbbi Servisler'in temel görevleri kazaların acillğe göre sıralandırılması (özellikle tıkanmış trafik ağları için), kazazedelerin tedavisi ve ilgili kurumlara naklidir. İnceleme yapılan bölgede kamu servisleri yanında, yangın ve kurtarma şirketleri ve özel servis sağlayıcıları bu görevi yerine getirmektedir. ABD Ulaştırma Bakanlığı'na [4] göre ATS sağlayıcılarının trafik kazalarındaki rolleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

1. Kaza noktasının ve kazazedeler için ulaşım ihtiyaçlarının belirlenmesi
2. İlk yardım ve tıbbi müdahalenin sağlanması;
3. Acil tahliye durumlarında itfaiye, trafik polisi ve hava taşıma arasındaki koordinasyonun sağlanması;

4. Kazazedelerin yaralanma nedenlerinin travma merkezleri için belirlenip belirtilmesi;
5. Kaza alanından tıbbi atığın temizlenmesi.

Gönderim merkezine haberin ulaşmasıyla başlayan ve kazazedelerin tıbbi merkeze transferi ile son bulan olaylar zinciri olarak tanımlanan ilkyardım müdahale sürecinde gecikmeler en önemli performans ölçütüdür. Bu nedenle, sistem tasarımcıları Şekil 2.1’de yer verilen sürelerden birini veya birkaçını performans düzeyi eniyilemesi çalışmalarında kullanmaktadırlar.



Şekil 2.1: ATS gönderim sisteminde olaylar zincirinin kritik servis süreleri ile gösterimi [13]

Şekil 2.1’den görüldüğü üzere, zaman sürecinde ilk gecikme kazanın ilgili kaza sistemine iletilmesi için geçen süredir ki bildirim gecikmesi olarak adlandırılır. İlk yardım çağrısının direkt ilgili bir kuruluşa veya bazı bölgelerde olduğu gibi trafik kaza komuta sistemine dâhil olan ortak bir çağrı merkezine iletilmesi ve görevlendirilmiş ilkyardım aracının hizmet amacı ile yola çıkması için geçen süre ise toplam servis süresinde ikinci gecikmedir. Bu gecikme ile bildirim gecikmesinin toplamı bekleme süresi olarak adlandırılmaktadır.

Bildirim sisteminin yapısına göre, çağrının ortak ilkyardım havuzuna veya bizzat gönderim yapan kuruluşlardan birine yapılması ve servis ile görevlendirilmiş

ambulansın müdahale amacıyla yola çıkmasına kadar geçen süre ile bildirim gecikmesini kapsayan süre bekleme süresi olarak adlandırılır [13].

Literatürde, sistemde bu gönderim gecikmesini ATS merkezinin hazırlılığı (preparedness) olarak tanımlanan bir fonksiyon vasıtasıyla performans kriteri olarak inceleyen çalışmalar bulunmaktadır (örneğin, [14]).

Şekil 2.1’de haber almadan olay yerine varmaya kadar geçen süre ise müdahale süresi (response time) olarak tanımlanır ki zaman duyarlılığı yüksek ATS sistemlerinde performans ölçütü olarak kullanılabilir. Müdahale Süresi içerisinde bildirim gecikmesi dış faktör (exogenous variable) olarak tanımlanmaktadır. Müsait ambulans için bekleme süresi ise müdahale süresinden bağımsız değişken olmadığı için müdahale süresinde yapılan çalışmalarda çoğunlukla ambulansın bulunduğu merkezden olay yerine varması için geçen süre en önemli tasarım parametresi olarak kabul edilir. Bölüm 4’de verilen modeller de bu kritik değer üzerine kurulmuştur.

İlkyardım aracının olay yerine ulaşmasıyla olay yerinde ilk yardım müdahalesi başlamakta ve hastanın ambulansa sevkiyle son bulan süredeki sapmaların ise personel çizelgelerini de içeren modellerde ele alındığı görülmektedir.

Hastanın araca naklinden sonra istisnai durumlar hariç kazazedeler en yakın sağlık kurumuna götürülmektedir ki bu süreyi dikkate alan modellerde, kazanın ATS istasyonuna uzaklığı kadar sağlık merkezlerine uzaklığı da model için önem kazanmaktadır. Bu ulaştırma işleminden sonra ise ilgili ambulans görev bölgesine geri dönmekte ve diğer kazalar için tekrar gönderimi için beklemektedir. Bu bekleme, statik olarak aynı mekanda olabileceği gibi dinamik olarak ağdaki farklı düğümlerin ziyaretiyle de olabilmektedir. Bu yerleşim farklılığı, Bölüm 4 içerisinde verilen literatür araştırmasında açıklanacaktır.

Yukarıda belirtildiği üzere ambulans sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda zaman boyutu servis kalitesi için her zaman eniyileme çalışmalarında kullanılan amaç veya birincil girdi olmaktadır. Literatürdeki çalışmalar arasındaki temel farklar ise Şekil 2.1’de gösterilen sürelerin ele alınmasıyla oluşmaktadır. Örneğin, statik yerleşim algoritmalarında şekilde üçüncü sırada verilen ambulansın yola çıkması ile olay yerine varması sıklıkla ele alınan kısıt olurken personel çizelgeleri

uygulamalarında daha önce belirtildiği gibi hazırlılığı araştırmak amacıyla müsait ambulans bekleme süresi veya ilkyardım sağlayıcı ekibin performans düzeyini sağlamak ve araştırmak amacıyla olay yerinde tedavi süreleri kullanılabilir. Buna ek olarak, bu süreleri bağımsız değişken olarak tanımlayan modeller yanında süreleri farklı parametrelere göre bağımlı değişken olarak tanımlayan modellerde literatürde yer almaktadır. Örneğin, kazaların ağırlığına göre ayrıştırılması ve kaza ciddiyetine göre zaman alt ve üst sınırları belirlenmesini içeren modelleri bu gruplara dâhil edebiliriz.

Bu çalışma kapsamında, müdahale süresi ve daha önce belirtildiği gibi müdahale süresi içerisinde ilkyardım aracının gönderimi ile olay yerine varışı arasındaki süreler dikkate alınmıştır. Bu kritik sürenin ilk yardım hizmetlerindeki önemi Fitzsimmons tarafından şu şekilde açıklanmaktadır,

“... Sadece bir kaç dakika; bir organın veya uzvun kurtarılmasını, felcin tamamıyla veya kısmen engellenmesini veya daha basit bir ifade ile hastanın hayatta kalmasını sağlayabilmektedir.... ATS sağlayıcıları ve sistem kurucular, sistemleri için ne kadar hızlı müdahale yapılabilecekleri ölçütü üzerine sözleşmeler yapmakta ve planlar hazırlamaktadır.” [13]

Mühendislik yönetiminin bu noktadaki temel işlevi ise maliyet boyutunu da göz önünde tutarak, ATS'lerin kaza mahalline olan müdahale süresini ve güvenilirlik düzeyini belirli boyutta tutacak sistemler geliştirerek sosyal boyut içeren probleme mühendislik bakışı açısı getirmektir.

3. UYGULAMA BÖLGESİ ve ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

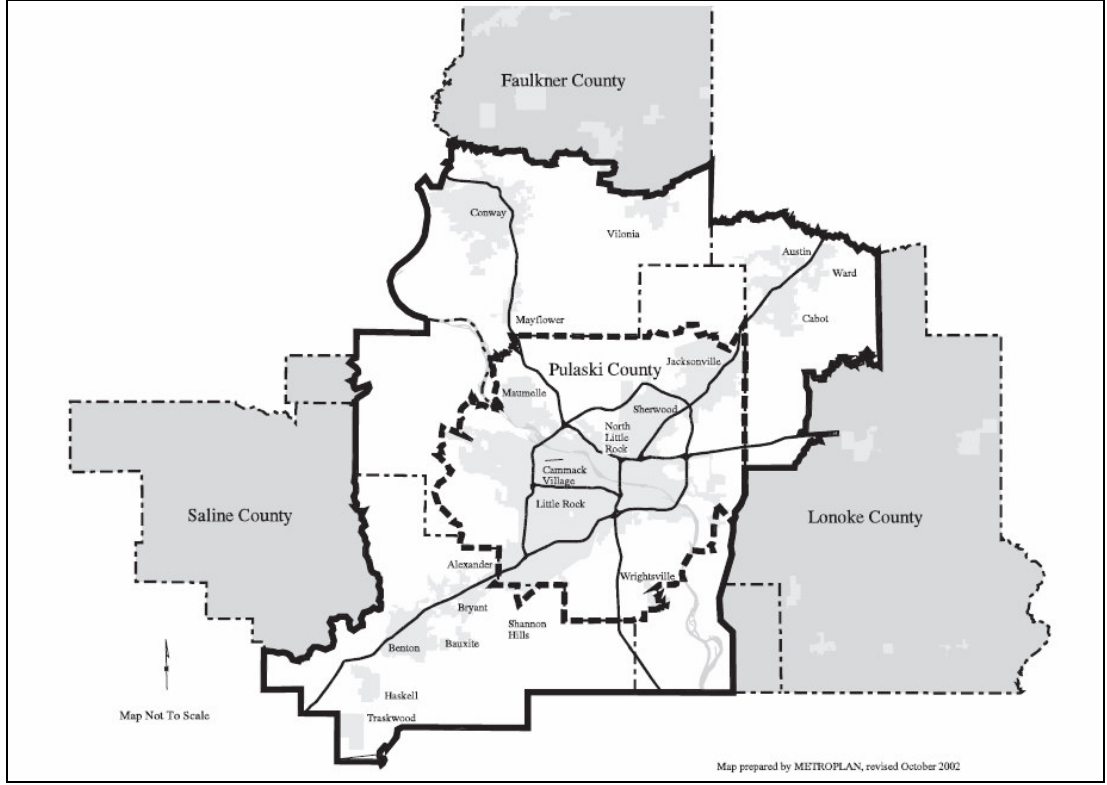
Sosyoekonomik ve sosyokültürel yapılanmaya bağlı açıklanan ulaştırma talepleri, ulaşım ağındaki kullanıcıların farklılığı ve ağın kendi fonksiyonel sınıflandırması ele alındığında, trafik sistemleri oldukça karmaşık yapılardır. Bu nedenle, uygulamada kullanılacak bölgeye ait trafik yapısı ve bu yapı içerisinde ATS'lerin durumu bu bölümde incelenmiştir.

İncelmenin ardından çalışmanın önemi ve kapsamı, genel ve özel amaçlar tanımlanarak ve bu özel amaçların araştırılması için hipotezler tespit edilerek, yine bu bölümde sunulmuştur.

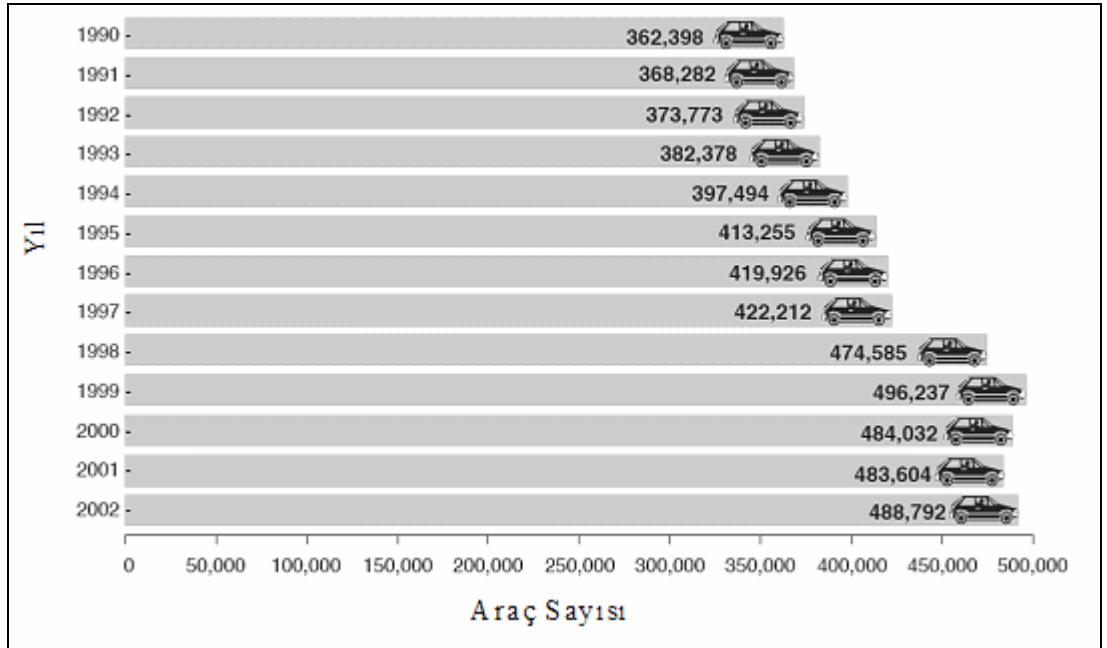
3.1.Uygulama Bölgesi

Uygulamada ABD'nin Arkansas Eyaleti'nin merkez bölgesi olarak tanımlanan ve "Metropolitan of Arkansas" veya kısaca Metropolitan Bölge olarak adlandırılan alandan alınan trafik kaza ve ambulans hizmet verileri kullanılmıştır. Daha önce açıklandığı üzere, denek alanın Türkiye dışından bir bölge seçilmesinin en önemli nedeni Türkiye dâhilindeki yerel yönetimlerden çalışma ile ilgili gerekli verinin elde edilmesinde yaşanan güçluktur.

Ele alınan bölgenin coğrafyası incelendiğinde, Şekil 3.1'de kalın düz çizgi ile ayrılmış olan Pulaski yerel yönetim bölgesi (county), Arkansas Eyaleti'nin başkenti olan Little Rock'ı da içeren, 630 ve 430 numaralı otobanlarının kesişme noktası olması nedeniyle yakınındaki yerel yönetimlere nazaran trafik yoğunluğu bakımında oldukça işlek bir bölgedir. Bu nedenlerle, eyalet genelinde kamunun planlama fonksiyonunu yerine getiren Metroplan Arkansas (www.metroplan.org) tarafından planlamada öncelikli bölge olarak belirlenmiş ve Metropolitan bölge olarak da adlandırılmıştır. Merkez olarak tanımlanan Metropolitan bölge Pulaski dışında Saline, Lonoke ve Faulkner yerel yönetim bölgelerini de içermektedir.



Şekil 3.1: Metropoliten bölge haritası [15]

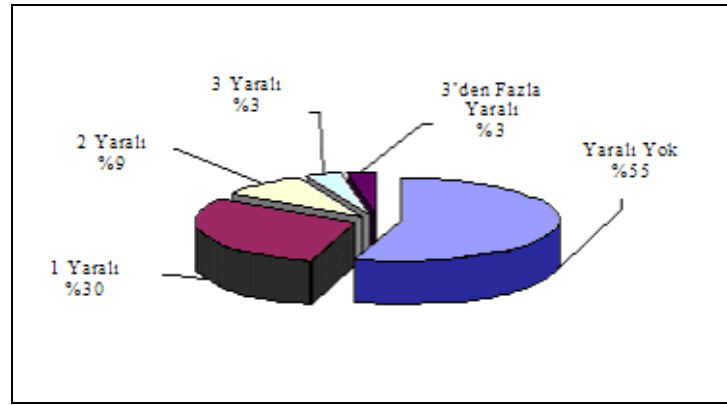


Şekil 3.2: 1990–2002 senelerinde Metropoliten bölgede kayıtlı araç sayısı [15]

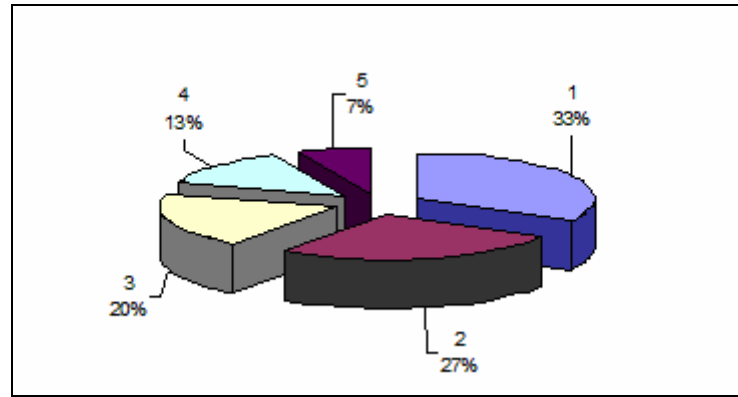
Şekil 3.2’de bölgedeki resmi idareye kayıtlı binek otomobil sayısı senelere göre verilmiştir. Zaman içerisinde araç sayısındaki artış için iki çıkarım yapılabilir; birincisi, bölge kalkınmaktadır ve bölge nüfusunda zaman içerisinde artışa bağlı

olarak kullanılan araç sayısı artmaktadır. İkincisi, araç sayısında beklenen artışın olumlu gözlenmeyen trafik kaza yapısını daha da olumsuz etkileyecektir.

Şekil 3.3’de, Arkansas Eyalet Polisi’nden alınan veri analizi sonucuna göre 2000 ve 2003 seneleri arasında bu bölgelerde meydana gelmiş trafik kazalarında kazazede sayılarının dağılımı verilmiştir. Dikkat çekici unsur; 4 senede meydana gelen 76,000 trafik kazasında, neredeyse her iki kazadan birinde – trafik kazalarının %45’inde – en az bir kazazede bulunmuş ve dolayısıyla ilkyardım aracına ihtiyaç duyulmuş olmasıdır. Diğer bir çıkarım ise yaşanan trafik kazalarında yaralı mevcut ise yaralı sayısının bir olma olasılığı %67’dir. Başka bir deyişle, trafik kazaları sonucunda ortaya çıkan ambulans ihtiyacı tek kazazede yoğunlaşmaktadır.



Şekil 3.3: 2000–03 senelerinde kazalarda yaralı sayısı dağılımları

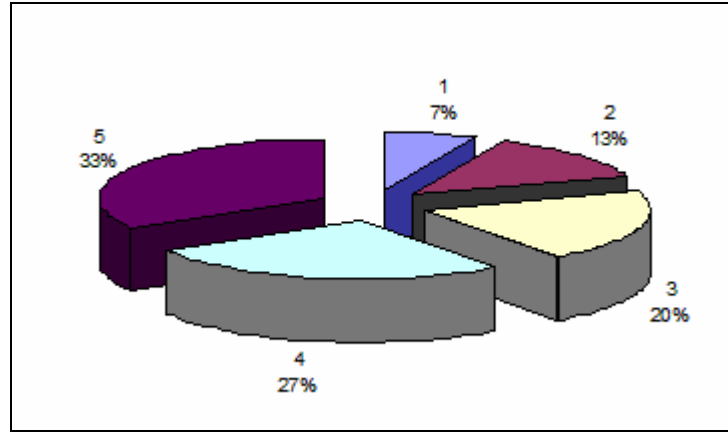


Şekil 3.4: 2000–03 senelerinde, yaralı mevcut kazalarda yaralanma şiddeti dağılımı (5=en şiddetli, 1=en az şiddetli)

Eyalet polisinden alınan trafik kazası verilerinin en önemli özelliklerinden birisi, kazaların yaralanma şiddetine göre ayrılmış olmasıdır (5=en şiddetli, 1=en az şiddetli). Şekil 3.4’de, 2000 ve 2003 seneleri arasında meydana gelmiş mevcut trafik

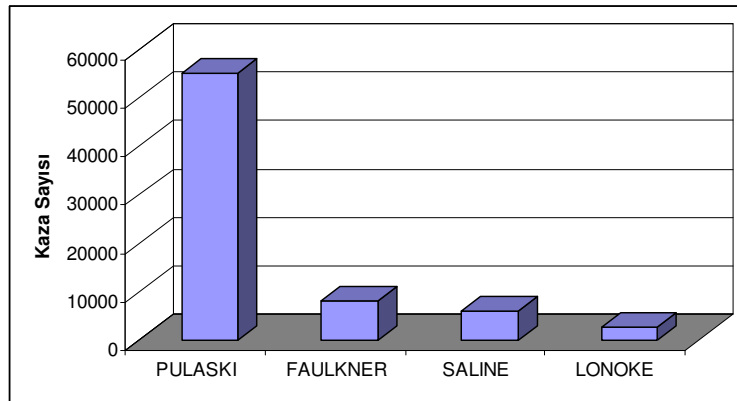
kazalarının %67'sinde yaralı şiddetinin 2 veya daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna ilave edilmelidir ki eyalet polisi yönetmeliğine göre 2 veya daha büyük kaza derecesi kazazedenin muhakkak hastaneye taşınması gerektiğine işaret etmektedir.

Eyalet polisinden alınan verilerin diğer bir özelliği ise kazaların kaza hassasiyetine göre de ayrılmış olmasıdır (5 = en şiddetli, 1 = en az şiddetli). Şekil 3.5'de verildiği üzere, 2000 ve 2003 seneleri arasında meydana gelmiş mevcut trafik kazalarının %80'inde kaza şiddetinin 2'den daha büyük dereceye sahip olduğu görülmektedir.



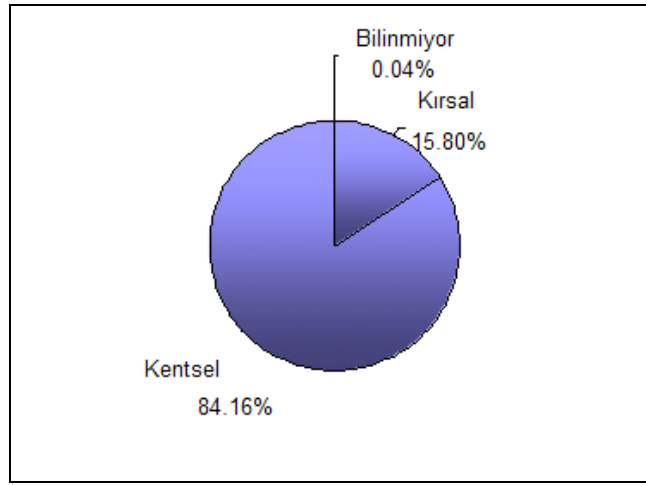
Şekil 3.5: 2000–03 senelerinde kazaların kaza şiddetine göre dağılımı (5;en şiddetli, 1;en az şiddetli)

Metropolitan alana dâhil bölgelerdeki senelik (analiz 2000 senesi için gerçekleştirilmiştir) kaza dağılımı Şekil 3.6'da sunulmuştur. Daha önce belirtildiği üzere bölgede kamu tarafından yürütülen çalışmalar, bölgenin dinamik yapısı nedeniyle Pulaski bölgesinde yoğunlaşmaktadır ki sayısal olarak, trafik kazalarının yaklaşık olarak %77'si bu bölgede meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 3.6: 2000 senesinde meydana gelmiş kazaların politik bölgelere göre dağılımı

Diğer önemli bir bulgu ise kazaların oluştuğu bölgeler üzerinedir. Yapılan veri analizine göre bölgede belirtilen dönemde meydana gelen kazaların %15'i kırsal bölgelerde meydana gelirken, %85'i kentsel bölgelerde meydana gelmektedir. Bu noktada ele alınan bölgedeki yerleşim birimleri arasındaki uzaklıkların uzaysal olarak büyük değerler taşımaya karşın Şekil 3.7'de verildiği üzere kazaların kentsel bölgelerde yoğunlaşmasının saptanması, ele alınan bölgedeki nüfusun kentsel alanlarda kümelendiği sonucuna götürmektedir ki bu düşünce daha önce yapılan analizleri destekler niteliktedir.



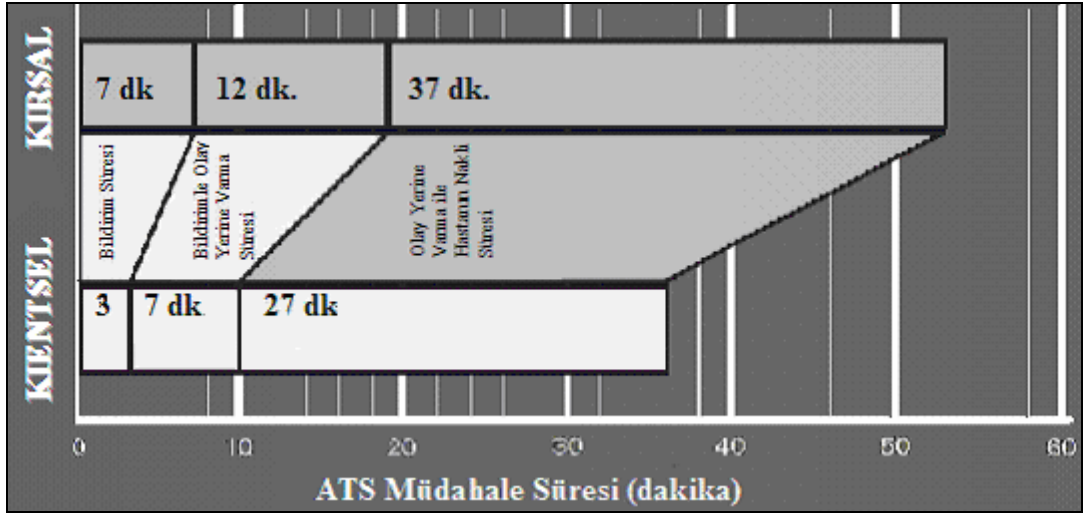
Şekil 3.7: 2000-03 senelerinde kazaların oluştuğu bölgeye göre dağılımı

Bu noktada eklenmesi gerekir ki trafik planlamaları bölge nüfusunu veya bölgede kaza oluşum oranını modellerinde önemli bir parametre olarak kullanmakta ve servis atama problemlerinde bu parametreyi belirleyici unsur olarak seçmekte ve kısıtlı olan kaynaklar daha çok talep bulunan bölgelere kaydırarak çözümler sunulma çalışmaktadır.

Bu enformasyon, kentsel bölgelerde servis kalitesinin daha yüksek olması gerekliliğinin altını çizse dahi yapılan araştırmalar bu öngörü olumsuz etkileyecek bilgiler sunmaktadır.

Bu amaçla yapılan bir çalışmaya göre [16] nispeten düşük oluşma olasılığı bulunan kırsal kesim trafik kazalarında müdahale zamanı kentsel kesimlerde oluşan kazalara göre ciddi oranda artmaktadır. (Şekil 3.8'de görüldüğü üzere, kentsel kesimlerde bildirimden yaralının hastaneye nakline kadar geçen süre için beklenen değer 36 dakika olarak belirlenmişken, kırsal yerleşimlerde bu süre 53 dakika olarak

belirlenmiştir [16]) Müdahale zamanının ATS'ler için önemi daha önce belirtildiği üzere dakikalarla ölçülmektedir ki bunun anlamı karşılanan talebin en çoklaması yapılmasında kriterlerin iyi belirlenmesi ve en kötü senaryolarında göz önünde tutulması gerekmektedir. Daha açık bir ifade Şekil 3.8'de sunulan grafik, kentsel bölgelere atanmış olan kısıtlı kaynağın kırsal kesimlerdeki servis kalitesini dramatik biçimde etkilediğini göstermektedir. Son olarak, bu konuya uygulama bölümünde tekrar değinilecektir.



Şekil 3.8: 2000'de A.B.D.'de meydana gelmiş ölümcül kazalara müdahale sürelerinin bölgelere göre değişimi [16]

3.1.1. Bölgenin Trafik Ağ Yapısı; Bölge Merkezlerinin ve Bölgedeki ATS Yerleşiminin Yapısı

Trafik ağları üzerine yapılan çalışmalarda incelemeye alınacak ağın tanımlanması oldukça önemlidir. Bu hassasiyetin gerekçesini Ziliaskopoulos ve Mahmassani [17] talebin ve servisi tanımlayan düğümlerin ve bu düğüm çiftleri arasındaki uzaklıkların tanımlanmasıyla kullanılan algoritmalarda mesafe değişiminin, analiz sonuçlarını nasıl etkileyebileceğini ortaya koyarak göstermişlerdir.

Bu çalışma kapsamında talep noktalarının belirlenmesi için yine Arkansas Eyalet Polisi'nden alınan 2000–2003 senelerine dair kaza enformasyonunu içeren veri setine başvurulmuştur. Bu veri setinde yaralı bulunan kazalar belirlenmiş ve yaralı bulunan kazaların meydana geldiği şehirler ve bu şehirlerde kaza meydana geliş sayısı tespit

edilmiştir. Daha sonra, bu enformasyon gelişmiş coğrafik bilgi sistemi yazılımı olan TransCAD'e (<http://www.caliper.com/tcovu.htm>) yüklenmiştir.

TransCAD yazılımı vasıtasıyla sırasıyla talepler oluştukları şehirlere göre noktasal olarak ifade edilmiş ve bu noktaların servis istasyonları ile uzaklıkların hesaplanmasında kullanılacak kaza düğümleri (incident nodes) belirlenmiştir. TransCAD'le belirlenen bu düğümler, daha önce bahsi geçen yaralı bulunan mevcut kazalar ile meydana geldiği şehirlerin birbirlerine olan uzaklıklarına göre gruplandırılmış merkezlerdir.

Daha açık bir ifade ile şehirler mesafe olarak yakınlıklarına ve kaza sayılarına göre gruplara ayrılmış ve her grubu temsil edecek merkezler belirlenmiştir. Grup merkezlerinin belirlenmesinde ise cisim ağırlık merkezi modeli (centroid model) kullanılmıştır.

Ağırlık merkezi modelinde, şehirlerdeki kaza frekansları ağırlık olarak kullanılarak ve 3.1 ve 3.2 Eşitlikleri ile grup merkez koordinatları belirlenmiştir.

$$x_{merkez}^a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad \forall a \in A, i \in I \quad (3.1)$$

$$y_{merkez}^a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad \forall a \in A, i \in I \quad (3.2)$$

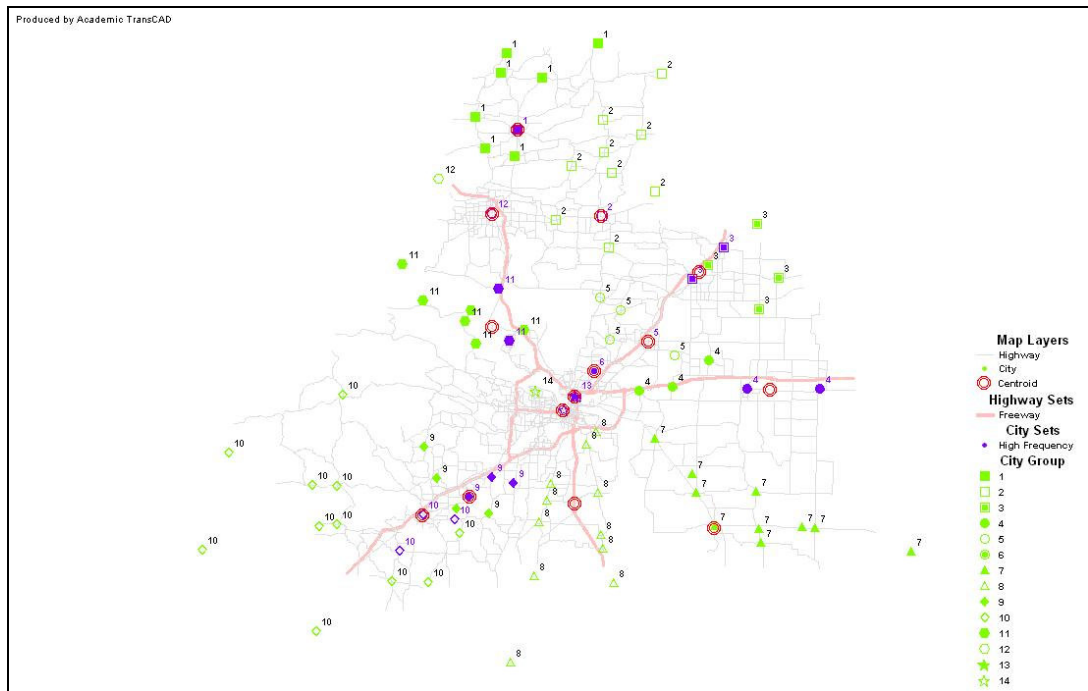
Eşitliklerde; a talep gruplarını, i ise grupları oluşturan şehirleri temsil etmektedir. x_{merkez}^a ve y_{merkez}^a değişkenleri a grubu için koordinatlarını, n benzerlik tespit edilerek gruba dahil edilen şehir sayısını ve nihayet f_i , i bölgesinde tespit edilen ambulansa ihtiyaç olan kaza sayısını temsil etmektedir.

Bu noktada tek olumsuzluk, politik sınırların TransCad yazılımı tarafından göz ardı edilmiş olması ve gruplandırmada bir yerleşim bölgesindeki şehirlerin farklı gruplara dağıtılmış olmasıdır. Fakat politik sınırların ATS çağrı sisteminde gerçekçi bir teşhis

olmadığı ve çağrının ilgili komuta sistemi tarafından en yakın ATS istasyonuna yapıldığı bilinmektedir.

Yapılan kümeleme analizinde diğer bir eksiklik de mevcut olan verinin kazaları şehirlere göre kümelendirmesi ve incelemeyi hassaslaştırmak amacıyla veriyi ayrıştıracak yeterli bilginin bulunmaması olarak gözükmektedir. Fakat bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak sunulmuş mevcut ATS istasyonlarının yerleşim yerlerinin ve Ek A içerisinde sunulan tablolarda verilen şehir merkezleri arasındaki uzaklıkların talebin ayrıştırılmasıyla yapılacak çalışma için gerekli hassasiyeti gösterdiği görülmektedir.

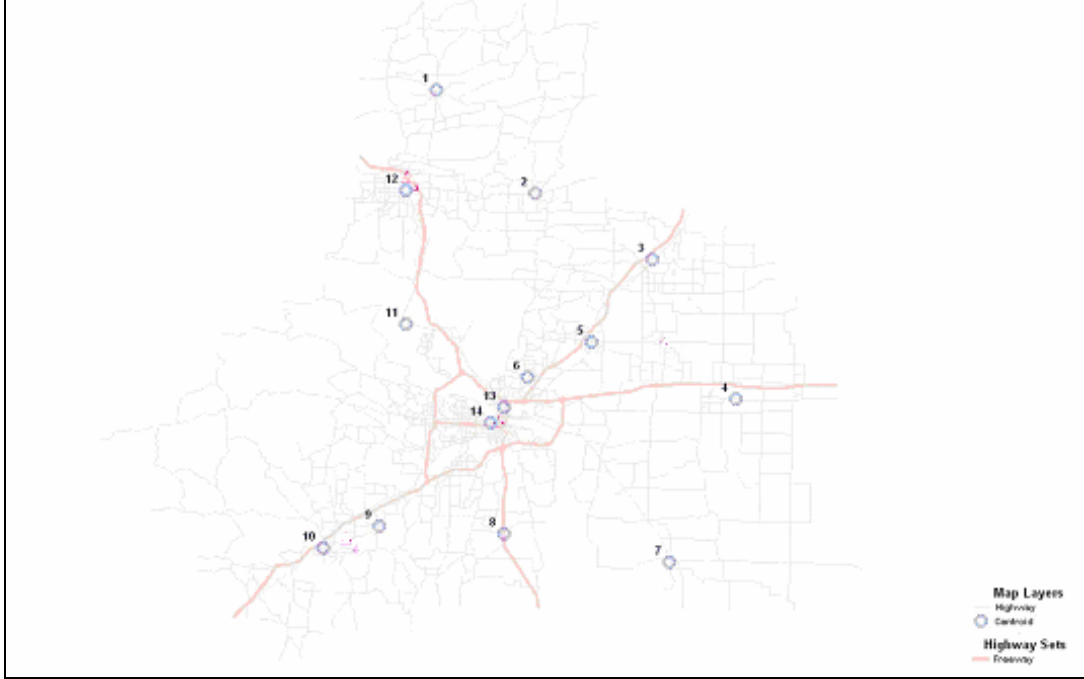
Kümeleme sonucunda oluşan gruplar, gruplara dâhil olan şehirler ve uygulamada kullanılan nicel özellikler ayrıntılı olarak sırasıyla Tablo A.1, Tablo A.2 ve Tablo A.3’de sunulmuştur. Tabloda b_i ile ifade edilenler her bir grubun kaza sayısının toplam kaza sayısı içerisindeki yüzdesidir. λ_i ise her grupta bir günde oluşan kaza sayısını başka bir deyişle oluşum oranını vermektedir.



Şekil 3.9: Gruplara dahil kaza bölgeleri ve grup merkezleri

Şekil 3.9’da bu çalışmada kullanılan şehirler, belirlenen gruplar ve grup merkezleri TransCAD çıktısı olarak sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere, toplam talep 14 gruba ayrılmış ve her grup farklı geometrik şekil ile tasvir edilmiştir. Grup

merkezleri ise kırmızı halka olarak görselleştirilmiştir. Şekil 3.10'da ise belirlenen servis merkezleri daha açık gösterilmek amacıyla grup bileşenleri olmaksızın resmedilmiştir ki bu merkezler ATS ihtiyacı olan talepleri modellemede noktasal olarak temsil etmektedir.

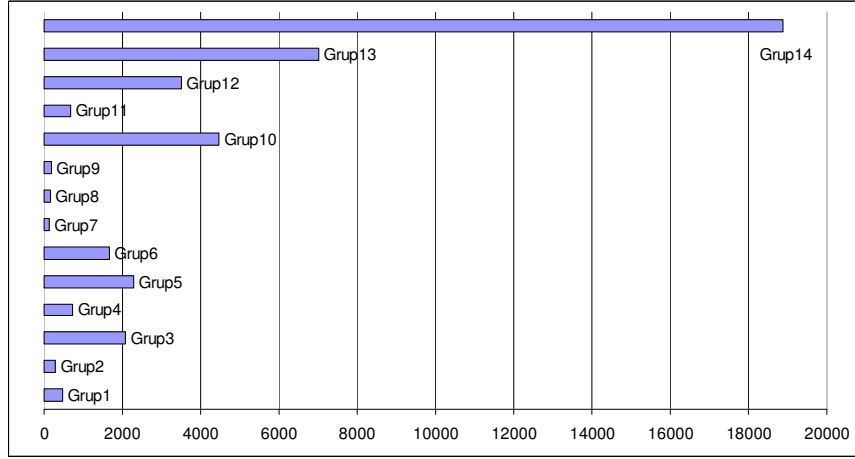


Şekil 3.10: Belirlenen talep merkezleri

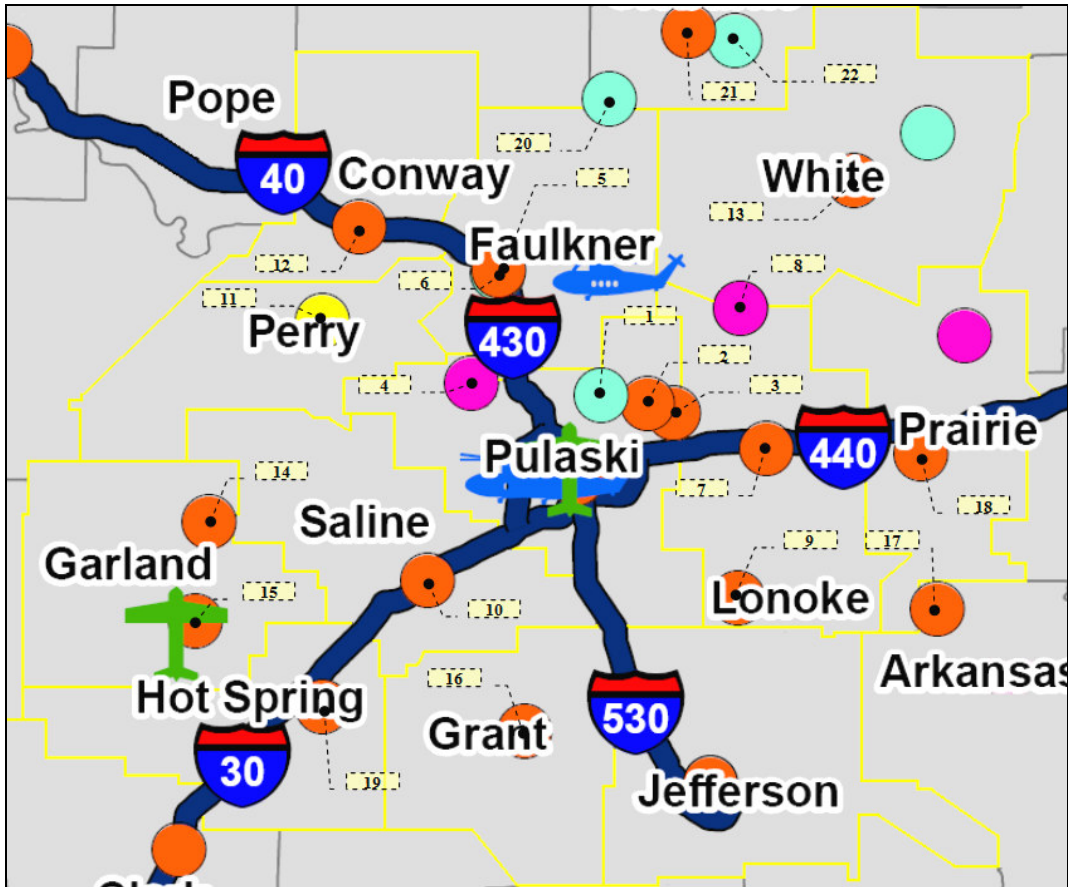
Bu bölümle birlikte politik bölgeler yerine her bölge tanımı ile bu grup merkezleri anılmış olacaktır ki bu noktada artık bölge geneline ek olarak grupları kısaca tanımak gerekmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmaya sonucunda kaza gruplarının 4 sene içerisindeki ambulans gerektiren toplam trafik kazası sayıları ise Şekil 3.11'de sunulmuştur. Şekilden görüldüğü üzere başkent Little Rock'ı kapsayan Grup 14'de kaza sayısı genelin oldukça üzerindeyken komşu şehir North Little Rock'ı içeren Grup 13 kaza sayısı çokluğu bakımından tüm gruplar içerisinde ikinci sıradadır.

Buna ek olarak deney öncesinde bölgedeki ATS istasyonlarının yerleşim yapısı incelenmiştir. Şekil 3.12'de pembe, açık mavi ve kahve renkli dairelerle yerleşim yerleri gösterilen ATS istasyonlarından 22 tanesi talep noktalarına servis sağlayabilecek yerleşim yeri olarak belirlenmiş ve uygulama bölümündeki deneylere dahil edilmiştir. Uygulamaya dahil servis istasyonları numaralandırılmış ve numaralandırma yine Şekil 3.12 içerisinde sunulmuştur. Şekil üzerinde bazı istasyonların seçilmemesinin gerekçesi, bu istasyonların Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da

sunulan talep düğümlerine olan uzaklıklarının bu taleplere servis sağlayamayacak kadar uzak olması ve modellere gereksiz değişken eklenerek çözüm sürelerinin uzatılmasından kaçınılmasıdır.



Şekil 3.11: 2000–03 senelerinde kaza gruplarda meydana gelmiş kaza sayıları



Şekil 3.12: Bölgede hizmet vermekte olan ATS istasyonlarının yerleşimleri

Şekil 3.12’de istasyonların görselleştirilmesinde farklı üç rengin kullanılmasının gerekçesi bu istasyonlarda hizmet vermekte olan ambulansların teknik özelliklerinin (örneğin, karavan tipi veya araba tipi) farklılığıdır. Bu teknik farklılar uygulamada yeterli kaza verisinin olmaması gerekçesiyle göz ardı edilmiştir. Bir diğer göz ardı edilen ATS işletme tipi ise hava müdahale araçlarını barındıran merkezlerdir. Bu istasyonların ele alınmamasının gerekçesi ise trafik kazalarında hava müdahalesine genel olarak ihtiyaç duyulmaması ve bu tip işletmelerin toplam ATS bütçesine büyük maliyetler getirecek olmasıdır.

Şekil 3.12’de dikkat çekici diğer bir unsur servis istasyonlarının kaza oranları yüksek olarak belirlenmiş olan grupları içeren Pulaski Bölgesi’nde yoğunlaşmış olmasıdır. Analiz öncesinde, kazaların büyük kısmına güvence ile servis sağlamanın mümkün olduğu ve analizde bu bölgede servis merkezi seçiminde analizciye çokça seçenek bulunduğu gözlenmektedir ve fakat Bölüm 3.1’de belirtildiği gibi ATS hizmet kalitesi için kaza yoğunluğunun kapsanması kadar en kötü senaryonun da göze alınması gerekmektedir.

Tablo 3.1: Mevcut ATS istasyonlarının koordinatları

ATS İstasyon Numarası	İstasyon Koordinatları	
	x	y
1	468	294
2	502	302
3	524	310
4	371	284
5	392	202
6	389	209
7	590	336
8	572	227
9	572	446
10	338	435
11	260	240
12	288	172
13	656	139
14	176	392
15	166	467
16	410	546
17	717	457
18	707	340
19	262	531
20	534	24
21	568	33
22	472	71

Çalışmada talep ve servis merkezleri arasındaki uzaklığın önemi metin akışı içerisinde (özellikle uygulama bölümünde) açıklanacaktır. Ek A'da verilen şehir ve bölge merkezleri ile bu ATS istasyonları arasındaki uzaklığın belirlenmesi için kullanılan ATS istasyonlarının koordinat değerleri ise Tablo 3.1'de sunulmuştur.

3.2.Araştırmanın Önemi

Son 30 yıl içerisinde, kazalarda sakat ve ölüm sayılarının bölgelere, kaza oranlarına, ilk yardım sistemlerine bağlı oranları sağlık istatistiklerinin en üst tablolarında kendine yer bulmuştur. Yönetim ve planlama personeli ATS ile ilgili bilimsel analizlerini ve ileri düzey karar verme araçlarını içeren kararlar vermek zorunda kalmışlardır [18].

Kararlarda genellikle kalite ve maliyet boyutlarına sağdık kalınması ön planda tutularak acil durumlara hızlı ve etkin müdahale planları oluşturulmuştur. Açıktır ki hızlı ve etkin müdahalede temel unsur, ilk yardım araç ve personelinin olay yerine ve nakil yapılacak merkeze olan uzaklığına bağlıdır [19]. Daha açık bir ifade ile bu zincir içerisinde başarı göstergelerinden birini ilk yardım çağrısına cevap verme süresi olarak tanımlamak mümkündür.

Sistem sorumluları belirlenen müdahale zamanı standardına sağdık kalınmasını iki şekilde sağlamaktadır. Birincisinde, mevcut ilk yardım yerleşimlerinin ve/veya yerleşim yerlerindeki araçların sayısını artırmaya gidebilirler. Fakat bu yöntem, yeni yerleşim birimlerinin kurulması veya yeni tıbbi servis sağlayıcıları ile sözleşmeler yapılması gibi ekonomik kısıtlar göz önüne alındığında finanssal olarak tercih edilmemektedir. İkinci yöntemde ise, mevcut yerleşim birimleri veya servis sağlayıcıları içerisinde eniyileme çalışması yapılarak belirlenen servis kalitesini sağlayan veya servis kalitesinden belirli ödünler verilerek diğer kantitatif parametrelere öncelik verilmesini sağlayan servis sağlayıcıları belirlenir veya belirlenen servis sağlayıcılar işleme açılır veya sözleşme tarafları tespit edilmiş olunur.

Sistem tasarımında ATS'lerin doğası gereği sistemdeki elemanların kapasite sınırlarına dair kısıtlar da bulunmaktadır. Bazı modeller uygulama sadeliği için göz ardı etse bile bir tıbbi servis aracı, zamanın belli bir anında sadece ve sadece bir

çağrıya cevap verebilmektedir [10]. Araçların sınırlı servis kapasitelerinin yanında talebin zaman içerisinde değişen yapısı göz önünde tutulduğunda kapasite olgusunun da planlamada zaman sınırı kadar önemli bir yer tuttuğu anlaşılmaktadır. Kapasitelerin ele alınmadığı planların, sistem dinlenme fazında iken (resting mode) teorik olarak kapsama sağlasa sağladığı düşünülse dahi özellikle yüksek iş yükü olan periyotlarda başarısız kalabileceği açıktır. Örnek olarak, aynı alanda aynı merkezi momente sahip ardı sıra ikinci bir çağrı belirlendiği takdirde, talep teorik uzaklık (veya zaman) standardının içinde bile olsa bu çağrıya servis sağlanamayacaktır. Bu örnek, Patterson'ın çalışmasıyla desteklenmektedir. Patterson'ın çalışmasında [20] hastanelere gelen ve ambulans servisi sağlanan ilk yardım çağrılarının %13'ünden fazlası tıbbi olarak gereksizdir. Başka bir ifade ile ardışık servis oluşumu dışında, acil tıbbi servisin gerekli çağrı için beklemesi yerine gereksiz bir çağrı ile meşgul tutulabilmesi de olasıdır.

Tanımlanan ihtiyaçlar ve sistem kriterlerinden konuda yapılacak çalışmaların ne kadar hassas dengelere sahip olduğu görülmektedir. Bir yandan insan hayatını belirleyebilecek dakikalar diğer taraftan ise sistemin yüksek ilk kurulum ve işletim maliyeti. Bu çalışma ise değişik bölgelerde uygulanmış olan benzer çalışmaları ve bu çalışmaların bölge gereksinimlerine cevap verebilmesi için yapılabilecek gelişmeleri sunması açısından benzer bir sistemin geliştirmesi amacıyla olabilecek kurumlara yöntemler hakkında temel bilgi vermektedir. Buna ek olarak, bu modellerin uygulamayı nasıl etkiledikleri ve ayrıca sistem yöneticilerinin sunulan modelleri uygulamaya almadan önce belirlemesi gereken kriterlerin sonuçları nasıl etkilediği araştırılarak, konunun uygulama boyutu da sunulmaktadır.

Sonuç olarak, yukarıda anlatılanlar çerçevesinde aşağıda ifade edilen araştırmanın genel amacını geliştirmek mümkündür.

Genel Amaç; Trafik kaza yönetiminde uygulanan acil tıbbi servis planlama modellerinin incelenmesi, planlayıcı tarafından belirlenen servis parametrelerinin uygulanan bölgede meydana getirdiği sonuçların incelenerek modellerin uygulanmasında örnek araştırma sunulmasıdır.

3.3.Araştırmanın Kapsamı

Trafik kazalarında ilkyardım müdahalesinde planlama göreviyle sorumlu olan kamu kuruluşları için öncelikli hedef kaynakları en etkin biçimde kullanan etkili müdahale yapısını oluşturmak veya bu yapıyı oluşturacak kurumları belirlemektir. Bu hassas denge araştırmacılar tarafından farklı biçimlerde ele alınarak farklı çözüm önerileri (örneğin, beklenen değerın kapsanması, toplam istasyon veya araç sayısının kısıtlanması) geliştirilmiştir. Tüm bu çözüm önerileri içerisinde ise servisi belirleyen en temel unsur servis edebilme sınırını veya servis etme kalitesini belirleyen talep ile arz arasındaki zaman veya uzaklık parametresidir.

Ekonomik olarak incelendiğinde tek elden planlama sorumluluğu nedeniyle özellikle trafik kazalarında talep grupları ekonomik ifadesi ile fiyat alıcısı durumunda olup belirlenen servis standardına uymak zorundadırlar. Bu noktadan ATS yapısına bakıldığında sistem parametrelerinde karar verici durumundaki kurumların bu denge yapısını belirtildiği gibi öncelikli olarak incelemesi gerekmektedir.

Bu gerekçeyle planlayıcıların belirleyeceği servis parametrelerinin (zaman standardı, sistemdeki hizmet verecek ambulans yerleşimi ve ambulans sayısı, vb.) arz talep dengesini nasıl etkileyeceği önceden analiz edilmelidir. Eklenmesi gerekir ki planlayıcının belirleyeceği sınır değerler taban değerlerini tasvir etmekte ve denge noktasının altında belirlenmesi durumunda servis sağlayıcılarına ek maliyet anlamına gelmektedir ve tekrar ATS sistemlerindeki maliyetlerin büyüklüğünün hatırlatılmasında fayda bulunmaktadır.

Parametrelerin arz talep denge noktasının üstünde belirlendiği, aksi durumda ise ekonomi teorisinde belirtildiği üzere talebin denge durumunda sahip olduğu bir kısım fayda servis sağlayıcıya geçecek ve bu parametrelerin çok yukarılarda konulması durumunda servis kalitesi oldukça düşecektir. 1973'de ABD'de çıkarılan ATS Yasasında ve özellikle New York, Riyad, Montreal, Austin gibi Dünya'nın büyük şehirlerinde yapılan tüm çalışmaların temelinde bu ekonomik olgu yatmaktadır.

Bölüm 3.2'de tanımlanan genel amacın yanında ve yukarıda belirtilen gerekçelerle aşağıda tanımlanan çalışmanın özel amaçları tanımlanabilir. Bu özel amaçlara bağlı olarak gerekli durumlarda hipotezler geliştirilmiş olup, sunulan hipotezlere benzetim

modeli uygulaması, matematiksel araştırmalar ve istatistiksel analizler yapılarak cevap aranacaktır.

Özel Amaç 1; Uygulamaya alınan Hogan ve ReVelle'nin yedek kapsama modeli ile Alsalloum ve Rand'ın olasılık temelli modellerinin bölge ihtiyaçlarına uygun olarak geliştirilmesi.

Özel Amaç 2; Uygulama aşamasında belirlenen servis ölçütlerinin uygulama sonuçlarına etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, modellerde parametrik analizler uygulanarak farklı kriterler için çözümler incelenecektir. Buna ek olarak, farklı parametrelerle oluşturulan çözümleri benzetim sisteminde uygulanması ile elde edilecek sonuçların istatistiksel analizleri ile planlayıcının belirleyeceği servis sınırının sistem performansına etkisi olup olmadığı araştırılacaktır. Bu amaçlarla aşağıdaki verilen Hipotez 1 ve Hipotez 2 geliştirilmiştir. Bu hipotezlerin testi için araç yerleşimi kullanılan Hogan ve ReVelle'nin yedek kapsama modeli, ambulans yerleşimi seçim modeline dönüştürülmüştür.

- **Hipotez 1:** Sistem planlayıcısının belirleyeceği servis kapsama eşiği (S) aynı kriterler ile belirlenen istasyonların ürettiği ortalama müdahale süresini etkiler.
- **Hipotez 2:** Kapsama eşiğinin düşürülmesi ile elde edilecek ATS istasyonları daha olumlu olan düşük müdahale süreleri üretir.

Özel Amaç 3; Uygulamaya alınan Hogan ve ReVelle'nin yedek kapsama modeli (Model 1) ile Alsalloum ve Rand'ın olasılık temelli modelinin (Model 2) kurgulanan benzetim modeli ile karşılaştırılıp, bölge için hangi modelin daha iyi sonuçlar oluşturduğu araştırılacaktır. Bu amaçla, aşağıda verilen Hipotez 3 ve Hipotez 4 geliştirilmiştir. Belirtmek gerekir ki Hipotez 3'ün kabul edilmesi durumunda Hipotez 4 araştırılmaya gerek duyulmadan reddedilebilir.

- **Hipotez 3:** Model 1 ve Model 2'yle sağlanan müdahale süreleri birbirinden farklıdır.
- **Hipotez 4:** Model 2 Model 1'den belirlenen güven düzeyinde daha düşük müdahale sürelerine sahiptir.

4. ACİL TIBBİ SERVİS ARACI YERLEŞİM ALGORİTMALARI

Literatürde, son otuz sene içerisinde planlamacılara veya sistem yöneticilerine acil yardım araçlarının yerleşimi kararında yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiş olan ve mutlak optimum veya optimuma yakın araç yerleşimini sağlayan çok sayıda model sunulmuştur. İlk dönemlerde sunulan modeller, servis bölgelerinin bir kez seçilmesi ile ambulansların her çağrı için müsait olduğunu varsaymaktadır. Bu ilk dönem modellerin yerini daha sonra tıkanıklıkların hizmet sağlayan servis sağlayıcılarını meşgul tutacağı düşüncesi ile fazla kapsama modelleri almıştır. Son dönemlerde ise servisin zaman sınırları içerisinde müsaitliğini açık şekilde ifade eden kısıtlara sahip modeller oluşturulmuştur.

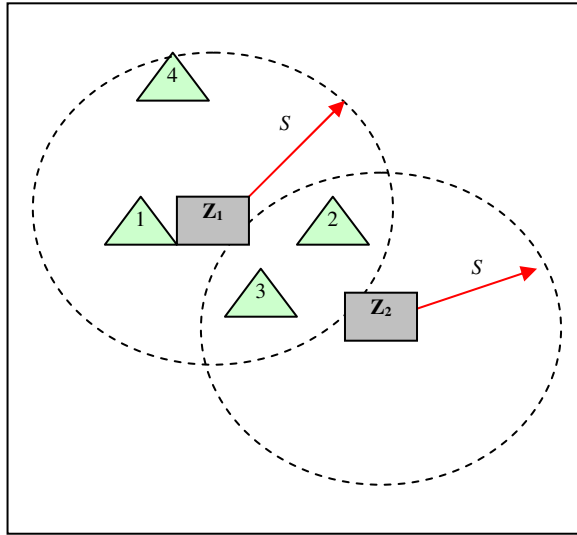
Modern bilgisayar çağından önce ilkyardım servislerinin yerleştirilmesine ilişkin bilimsel çabalar oldukça kısıtlıdır [21]. Bu dönemde sezgisel yargı birincil karar mekanizması olarak kullanılmıştır. Bilgisayarların icadı ve gelişimi ile bilim adamlarının ve mühendislerin daha önce çözülmesi imkânsız problemlere bu yeni araçla odaklandığını görülmektedir [22].

Bu çalışmada ele alınan yerleşim probleminin temelini oluşturan düşünce ilk olarak bir matematikçi olan Evangelista Torricelli tarafından 17. yüzyılda ele alınmıştır. Torricelli, tanım olarak uzaklıkların önemine değinmesi bakımından bir ilktir. Ondokuzuncu yüzyılın başlarında Weber, problemi çözmek amacıyla ilk defa lineer programlamaya başvurmuş fakat iki talep kaynağı ile bir yerleşim bölgesi problemini ancak çözebilmiştir [21].

ATS sistemlerine ilişkin araştırmaların 1980'lerde ciddi biçimde ivmelendiği görülmektedir. Bu artış hem sosyal olarak ilginin konuya odaklanmasına hem de problemi çözmeyi sağlayacak süper bilgisayarların geliştirilmesine bağlanabilir. 1990'lardan sonra ise problemin ele alınışının daha derin, daha karmaşık ve daha gerçekçi olduğunu görülmektedir.

Acil tıbbi sistemlerin üzerine yapılan yerleşim yeri çalışmalarının büyük çoğunluğunun kapsama modeli (coverage model) üzerine kurulduğu görülmektedir. Yöneylem bakışı ile kapsama, tüm elemanların veya grup üyelerinin ilişki veya yakınlık bakımından kapsayıcı (coverer) olarak tanımlanan birimlere en olumlu biçimde atanması olarak tanımlanır. Talep bölgesinin bir ambulans tarafından kapsanması ise bir zaman veya mesafe standardı içerisinde ambulansın mevcut pozisyonundan talep bölgesine ulaşması demektir. Söz konusu standartlar acil servis hizmetlerinin etkin bir şekilde yerine getirilmesini sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekilde 4.1’de örnek olarak, kare ile temsil edilen iki adet servis noktasının (Z_1 ve Z_2) ve üçgenlerle temsil edilen dört adet talep noktasının bulunduğu temel kapsama modeli resmedilmiştir. Kapsama problemlerinde kullanılan ve servis noktasının bir talebe servis edip edemeyeceğini belirleyen servis sınırı, planlayıcı tarafından belirlenen servis parametresi (S) yarıçaplı dairedir. Şekilde verildiği üzere dört talep noktası da birinci servis noktasının mesafe standardı içerisinde olduğu için araç sayısını ve/veya ATS istasyon sayısını en küçükleme amaçlı temel kapsama modeli S_1 istasyonunu işletmeye alacak ve S_2 istasyonunu temel çözümde barındırmayacaktır.



Şekil 4.1: Temel kapsama modeli

Daha önce belirtildiği üzere modelin yapısında belirli bir zaman ve/veya uzunluk birimi (S) güvenli hizmet sınırı olarak tanımlandıktan sonra ambulans merkezlerinin

bu S yarıçaplı dairenin içerisinde her noktaya eşit güven standardı ile hizmet verdiği düşüncesi öngörülür. Temel kapsama modeli farklı şekillerde yorumlanıp farklı ölçütlerle uygulanabilmektedir fakat dış değişkenleri (exogenous variables) fazla dikkate almaması nedeni ile oldukça ilkel bir modeldir [21]. Bu en basit biçimde şu şekilde örneklendirilebilir. Şekil 4.1’de birinci servis noktası, Z_1 , zamanın bir anında sadece bir talebe cevap verebilecek kapasite sınırına sahip ise ikinci servis noktasının, Z_2 , çözüme alınmaması olumlu sonuç ortaya çıkarmayabilir. Kapsama tanımında ikinci bir eksiklik ise servis sınırı içerisindeki her talebin eşit olarak değerlendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin, Şekil 4.1 bir numaralı ve dört numaralı talebe birinci servis noktasından eşit düzeyde servis sağlanacağı prensibini içerir.

Belirtilen ve benzeri eksiklikler göz önünde tutularak son otuz yıl içinde temel kapsama modelini araç yerleşiminde etkinlik ölçütü olarak kullanan çok sayıda acil servis modeli geliştirilmiştir. Bu modellerin büyük bir kısmı ReVelle tarafından incelenmiş ve karşılaştırılmıştır [21,22].

Literatürde yer alan modeller dört başlık altında incelenebilir; temel kapsama modelleri, temel kapsama türevi, çoğul veya ek kapsama modelleri, güvenilirlik düşüncesini benimsemiş olasılıksal modelleri ve sistem genelinde ortalama ulaşma mesafesini (veya zamanını) en küçüklemeyi amaçlayan p-medyan modelleri gibi kapsama düşüncesiyle benzerlik göstermeyen diğer modeller.

4.1.Temel Kapsama Modelleri

Temel kapsama modelleri, Yerleşim Kümesi Kapsama Modeli’nin (Location Set Covering Modeli) geliştiren Toregas ve arkadaşlarının formülasyonu ile başlamıştır. Ambulans yerleşim probleminin ele alındığı bu modelde amaç bütün talep bölgelerini kapsamak şartı ile minimum sayıda kullanılacak araç sayısını ve bu araçların yerleşim yerlerini belirlemektir [23].

Yerleşim kümesi kapsama modelleri 0,1 (binary) tamsayı lineer programlama ile mesafe standardı içerisinde ise kapsama aksi taktirde kapsamama düşüncesi ile çözülmektedir. Bu formülasyonlarda en dikkat çekici unsur, uygulamalarda 0,1 değişkeninin lineer gevşetmesi ile optimal sonucu üretmesidir ki lineer gevşetme ile

sağlanan çözüm hızıyla 1,000 talep ve servis bölgesi içeren problemler çözülmüştür. 20,000 adet talep ve servis bölgesini içeren problemlerin süper bilgisayarlar ile çözülebileceği düşünülmektedir [21].

Yerleşim kümesi kapsama modeli her ne kadar A.B.D.'nde bulunan büyük şehirlerden bir çoğuna uygulanmış olsa dahi bir süre sonra araştırmacılar modelin önemli eksiklikleri nedeniyle yeni çözümler üretme yoluna gitmişlerdir. Bu eksiklerden birincisi çağrı frekansının bu temel model tarafından göz ardı edilmesidir. İkincisi ise modelde daha uzak taleplerin kapsanması için gerekli maliyetin ele alınmamış olmasıdır ki daha önce belirtildiği üzere uygulamada KV'ler için ATS sistemlerinin maliyeti büyük rol oynamaktadır.

Bu eksikliklere dayanarak, Church ve ReVelle mevcut araç sayısının tüm bölgeleri kapsamak için gerekli olan araç sayısından daha azının kullanılmasının değerlendirildiği durumları ele almak amacıyla Yerleşim Kümesi Kapsama Modeli'ni (Location Set Covering Model) genişletmişlerdir. Bu yeni formülasyonda amaç eldeki kısıtlı sayıda araçla kapsanan nüfusu veya acil yardım çağrısı sayısı olarak tanımlanan talebi enbüyükmektir [24]. Bu formülasyon, Maksimum Yerleşim Kapsama Modeli (Maximal Covering Location Model) olarak adlandırılmıştır. Bu modeller yine 0,1 tamsayı programı (binary integer program) ile çözülmekte ve benzer biçimde lineer gevşetmeyle veya kesme teknikleri ile optimal sonuçlar hızlı bir biçimde elde edilmektedir.

Bu yerleşim modelinde sunucu (ambulans) sayısı analist tarafından belirlenerek kapsama sağlanacak nüfus miktarı ölçülebilmektedir. A.B.D.'nin Austin şehrinde gerçekleştirilen ve optimal sayıdaki ambulans ile kapsanan nüfus arasındaki ilişkide kapsanan nüfus oranını %10 veya %20 arttırmanın gerekli yerleşke ve/veya ambulans sayısının ve dolayısıyla maliyetin aşırı arttırılması anlamına gelebileceğini göstererek en uygun yerleşke ve araç sayısının belirlenmesinde bu maliyet unsurunun göz önünde tutulması gerekliliğini göstermiştir [25]. Eaton ve meslektaşları bu çalışmaları ile Yöneylem Araştırma Topluluğu (Operations Research Society) ve Yönetim Bilimleri Enstitüsü (Institute of Management Sciences) tarafından ödüllendirilmiştir [21].

4.2.Ek Kapsama Modelleri

Her ne kadar bu ilk modeller, ilgili çevrecilerce heyecanla karşılanmış olsa dahi araştırmacılar başka bir soru ile bu temel kapsama modellerini sorgulamaya başlamışlardır. “Eğer bir servis sağlayıcı servis standardı dâhilinde bir bölgeden ilkyardım çağrısı geldiği anda başka bir çağrı ile meşgul ise bunu kapsama olarak tanımlamak gerekir mi?” [21].

Araştırmalardan açıkça görülmektedir ki ilk dönem modern ATS yerleşim modelleri zamanın her anında servis bölgeleri kapsamında olan her servis noktasına servis edilebilme gizli varsayımını içermektedir. Bu eksikliği gidermek amacıyla taleplerin ve özellikle yüksek talep gruplarını içeren bölgelerin bir kereden fazla kapsanmasını amaçlayan ek kapsama modelleri geliştirilmiştir. Bu yerleşim modelleri özellikle tıkanmamış sistemlerde temel kapsama dışında uygun biçimde tıkanmaya sebebiyet veren yüksek taleplerin yine servis veya mesafe standardı ile birden fazla kapsanmasını amaçlamaktadır [26]. Sonraki dönem çalışmalarda serviste tıkanmayı, maksimum artış ve minimum kaynakla sağlamak amacıyla temel kapsamadan ödün vererek yapılabileceği gösterilmiştir. Daha açık bir ifade ile ek kapsama modellerinde birincil kapsama olarak adlandırılan temel kapsamadan ödün verilerek bu bölgelerden alınan serverlar talep oranı yüksek bölgelere yedek kapsama sağlaması amacıyla atanır.

Ek kapsama modellerinde birincil kapsama zorunluluğunu formülasyona katmayarak ikincil kapsama ile birincil kapsamadan verilen ödün ilişkisini inceleyen ilk araştırmacılar Hogan ve ReVelle olmuştur. Bu formülasyon sadece ikincil kapsamayı tanımlandığı için yedek kapsama (backup coverage) olarak adlandırılmıştır [10]. Bu çalışmadaki uygulama içerisinde kullanılan ilk model olan yedek kapsama modelinin ayrıntıları Bölüm 5’de sunulmuştur.

Hogan ve ReVelle modellerini New York şehrine uygulamış ve birincil kapsanan nüfustan sadece %1.1 ödün verilerek aynı kaynaklarla toplumun %10.47’sinin ikinci kez kapsanabileceğini göstermişlerdir.

Literatürde, ek kapsama modelleri geliştirilerek üçlü kapsama, çoklu kapsama modelleri de bulunmaktadır. Bu çoklu kapsama modelleri temel olarak yedek

kapsama modelindeki kapsama değişkeninin sayısının artırılması mantığına dayanmaktadır.

4.3.Olasılıksal Kapsama Modelleri

Ambulans yerleşim modellerinin en önemli özelliklerinden biri zamanın herhangi bir anında ihtiyaç duyulan ilkyardım aracının meşgul olma olasılığıdır [13]. Önceki bölümlerde sunulan kapsama modelleri, acil tıbbi servislerinin doğası gereği ortaya çıkan rastsal talep oluşumunu göz ardı etmektedir. Her ne kadar yedek kapsama modelleri bu eksikliği ek serverlar (ambulanslar) ekleyerek çözmeyi amaçlasa da servis edebilme olasılığını açık olarak formülasyonlarında barındırmamaktadırlar. ATS'lerin olasılıksal yapısını daha iyi yansıtmak amacıyla oluşturulan olasılık temelli modeller, bunu özellikle servis araçlarının veya servis istasyonlarının meşgul olma düzeyi ile temsil etmektedir. Buna ek olarak ulaşım mesafesi, çağrıya cevap verme süresi gibi parametrelerde rastsal değişken olarak bu yeni nesil araştırmalarda kendilerine yer bulmaktadır.

Olasılık temelli çalışmalara örnek olarak maksimum servise hazır yerleşim problemi (maximum available location problem) verilebilir. Bu modelde amaç kısıtlı sayıdaki ambulansı, toplumun veya çağrılarının çoğunluğuna cevap vermeye hazır servis sunucusu bulunacak şekilde güvenilirlik olarak tanımlanan zaman standardı ile dağıtmaktır [26]. Belirtilmesi gerekir ki Model 1 gibi formülasyonu Hogan ve ReVelle'ye ait maksimum servise hazır yerleşim probleminde ve bu ailenin türevi olan modellerde, kapsanabilecek çağrı oranı yerine belirli bir noktadaki talebin değişmeyen servis ihtiyaç düzeyi ele alınmakta ve modelde bu kesin talebin alfa güveniyle yukarıda belirtilen biçimde kapsanabilmesi araştırılmaktadır [27]. Galvao ve arkadaşları ise amaç fonksiyonu ile talebin ele alınışı arasındaki bu tutarsızlığı modelin eksikliği olarak ortaya koymuşlar ve ATS iyileştirme çalışmalarında mutlak talebin olasılıksal yapısının değerlendirilmesi gerektiğini savunmuşlardır [28].

Literatürdeki olasılık temelli modellerden en günceli, Riyad şehrinin ATS ihtiyacını çözmek amacıyla Allasloum ve Rand [11] tarafından geliştirilmiştir. Bölüm 5'de ayrıntılı olarak tanıtılacak olan modelin en önemli iki özelliğinden ilki 0,1 olarak tanımlanan, mesafe standardı dâhilinde bulunduğu 1 aksi takdirde 0, kapsama

mantığını geliştirerek kapsama değerini diğer tüm modellerden farklı olarak arz talep arasındaki mesafeye bağlı olarak 0 ile 1 arasında değişeceği prensibini temel almıştır. Bu bağlamda, Allasloum ve Rand'ın modeli hem çağrılarının olasılıksal yapısını temsil etmekte hem de kapsamanın tanımını evet veya hayırın ötesinde standartlar içerisinde kapsama olasılığı olarak değiştirmektedir.

4.4.Diğer ATS Yerleşim Modelleri

Literatürdeki acil tıbbi servis araç yerleşim modellerini ilkyardım aracının servis noktasına bağlı olarak zaman içerisinde konuşlandığı noktaya veya noktalara göre sınıflandırmak da mümkündür. Araçların konuşlandıkları üstlerini değiştirmedikleri, farklı bir ifade ile ilkyardım araçları olarak atandıkları istasyonlara ilkyardım çağrılarına cevap verdikten sonra tekrar geri döndüğü modellere statik modeller denilir. Statik modellerin minimum araç sayısı kriterine bağlı olarak optimal sonucu verdiği şüphelidir. Örneğin, bir ATS istasyonunun en meşgul hizmeti zamanında sistem sahip olduğu tek ambulansı göndermiş ise gönderilmiş olan ambulans geri dönene kadar servis merkezi talepleri geri çevirmek zorunda kalacaktır [9].

Statik modellerin optimal olmadığı belirtilse dahi bir çok bölge statik modellerle yönetilmektedir. Bunun en önemli gerekçesi olarak çoğu sistemin karmaşık olması ve statik modellerle kazanılan ekonomik faydanın, sistem dengesine olumsuz etkisinden az olması gösterilebilir.

Genellikle yangın koruma sistemlerinde ve kar amacı gütmeyen AİS'lerinde kullanılan akışkan modellerde ise statik modellerin tersine servis araçları belli bir istasyonda konuşlanmazlar. Sistemin cevap kabiliyetini en iyiye taşıyabilmek için servis araçları servis ağı içerisinde belirli bölgelerde (örneğin, polis araçlarının sokak köşelerinde beklemesi buna örnek gösterilebilir) veya farklı istasyonlarda bulunur.

Literatürdeki modelleri formülasyonlarına veya uygulanan çözüm tekniklerine göre ayırmak da mümkündür. Genel olarak kesin (deterministik) ve olasılıksal (stokastik) matematiksel programlamalar (yukarıda belirtilen tüm modeller bu iki formdan birini taşır) en çok tercih edilen çözüm teknikleridir.

Acil yardım araçlarının yerleşim noktalarının belirlenmesi amacıyla alınan kararlar yönetsel, yasal ve bazen de politik kısıtlamaların bulunabildiği karmaşık bir karar çevresinde verilmektedirler. Ayrıca yerleşim noktalarını belirleme kararı sadece ele alınan probleme özgü bir dizi kritere bağlı olabilmektedir. Bu nedenle matematiksel programlamada çok amaçlı veya çok ölçütlü modelleme yaklaşımları daha gerçekçi model yapıları sunulmaktadır. Daskin ve Stern [29], ReVelle [30]'nin çok amaçlı modelleme yaklaşımı, acil yardım araçlarını yerleşim problemlerinde kullanan araştırmacılara birkaç örnektir. Amaç programlama (örneğin [11]) ve lexico öncelikli programlama (örneğin, [31]) ise amaç fonksiyonlarının sınırlandırılması için kullanılan bazı özel tekniklerdir.

Uygulamada kapsama mantığına dayanmayan matematiksel modellerde bulunmaktadır. Garfinkel'in ve diğerlerinin [32] sunduğu ve sistem içerisinde en uzak ulaşım mesafesini en küçültmeyi amaçlayarak ATS istasyonlarını belirleyen p-medyan modeli bunlara örnek olarak verilebilir.

Son olarak, literatürde yukarıda verilen modellerde kullanılan mutlak optimum çalışmalarının farklı olarak benzetim çalışmaları da bulunmaktadır. Benzetim çalışmalarına Iskander [18] örnek gösterilebilir. Genel olarak benzetim modellerine başvurulmasının gerekçesi inceleme yapmanın çok zor olduğu, karmaşık sistem ve alt sistemlerin analizini olanaklı kılmasıdır. Fakat benzetim modellerinin her zaman en uygun sonuca ulaştırmamaları gerekçesiyle birincil araç olarak kullanıldıkları araştırma sayısı kısıtlıdır.

5. ARAŞTIRMADA KULLANILAN MODELLER

Bu çalışma kapsamında kapsama temelli modellerini en iyi biçimde yansıtan ve statik yerleşimi öneren iki model ele alınmıştır; Hogan ve ReVelle'nin modeli (Model 1) [10] ve ATS'in doğasını daha iyi yansıttığı savunulan olasılık temelli Alsalloum ve Rand'ın modeli (Model 2) [11]. Bu modeller aşağıda matematiksel yapıları ile tanıtılmıştır.

5.1. Model 1: Yedek Kapsama Modeli

Uygulamada birinci model olarak Hogan ve ReVelle'nin Yedek Kapsama Modeli ele alınmıştır. Yedek veya çoklu kapsama modelinde; belirlenen zaman veya mesafe standardı (S) içerisinde birden fazla hizmet biriminin bulunması diğer bir ifade ile bir talep bölgesinin bir defadan fazla kapsanması incelenmektedir.

Acil tıbbi servis sistemlerinde meydana gelen tıkanıklıklar yani önceden belirlenmiş bir zaman veya mesafe standardı içerisinde bir hizmet aracının bulunamamasının yoğun olduğu durumlar, yüksek hizmet gereksinimi duyan bölgelerin zamanın büyük bir bölümünde kapsanamamasına neden olur. Bu durum, yedek kapsama ve çoklu kapsama modellerinin oluşturulmasındaki ana motivasyon kaynaklarıdır.

Daha önce geliştirilen kapsama modelleri her bir talep bölgesinin en az bir kez kapsanmasını öngördüğü için Hogan ve ReVelle yeni bir model geliştirme gerekliliği duymuştur. Çünkü bu düzeyde bir hizmet sağlamak ekonomik kriterler göz önüne alındığında her zaman mümkün değildir.

Model 1, birinci ve ikinci kez kapsamayı aynı anda optimize etme olanağı sağlamak ve karar vericiye farklı kapsama senaryoları ile bu senaryoların gerektirdiği araç sayılarını sunmaktadır. Bu ise her bir amacın, diğer bir amaca daha fazla ulaşılabilmesi için belli bir oranda feda edilmesi ile sağlanabilmektedir. Başka bir ifade ile modelde acil hizmetin, talebi az olan bölgelerin bir kez kapsanması

yerine talebi yüksek olan bölgelere yedek kapsama sağlayacak biçimde atanması ile söz konusu olabilmektedir.

Yedek kapsama modeli, yerleşim kümesi kapsama modelinin genişletilmiş şekli olarak düşünülebilir. Aşağıda temel formülasyonu sunulan bu model çok amaçlı bir yapıdadır ve sabit bir yatırıma karşılık gelen araç sayısı da kısıt olarak bu modelde yer almaktadır.

$$\text{Maks } Z_1 = \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (5.1)$$

$$\text{Maks } Z_2 = \sum_{i \in I} a_i u_i \quad (5.2)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j - y_i - u_i \quad \forall i \in I \quad (5.3)$$

$$u_i - y_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.4)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (5.5)$$

$$y_i \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (5.6)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (5.7)$$

$$u_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.8)$$

$$y_i \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (5.9)$$

Formülasyonda i ve j sırasıyla talep bölgeleri ve potansiyel yerleşim bölgesi kümeleri, a_i ise i talep bölgesinin nüfusunu göstermektedir.

x_j , j servis istasyonuna yerleştirilecek araç sayısını ifade etmekte ve Eşitlik 5.7’de verildiği gibi en düşük sıfır değerini alabilmektedir. Eşitlik 5.5 ile toplamda kullanılacak araç sayısı (p) belirtiliği üzere belirlenmektedir.

Algoritmada y_i , i talep bölgesinin kapsanıp kapsanmadığını gösteren karar değişkeni, u_i ise i talep bölgesinin yedek (ikinci kere) kapsanıp kapsanmadığını belirleyen 0,1 değişkenidir.

Eşitlik 3.3 ile yeterli araç ataması yapılmaksızın birincil ve ikincil kapsamaların yapılamayacağı, Eşitlik 3.4’leyse birincil kapsama sağlanmadan ikincil kapsama sağlanamayacağı tanımlanmaktadır.

Kapsama standardı ise formülasyonda gizli biçimde $N_i = \{j | R_{ij} \leq S\}$ küme tanımlaması ve Eşitlik 5.3’ün tanımıyla sağlanır. Daha açık bir ifade ile eğer i talep bölgesi ile j servis noktası arasındaki uzaklık (R_{ij}) servis standardından (S) küçük ise i talep bölgesi j talep bölgesi tarafından kapsanabileceği bu iki eşitlik ile sağlanır.

Eşitlik 5.1 ve 5.2 ile verilen iki amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Birinci amaç fonksiyonu kapsanan nüfus miktarını en büyüklemesini, ikincisi ise iki kere kapsanan nüfusun en büyüklemesini hedeflemektedir.

Bu iki amaç fonksiyonunun birlikte kullanılması amacıyla çözüm formülasyonunda Hogan ve ReVelle tarafından Eşitlik 5.10’da verilen amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

$$Z = w \sum_{i \in I} a_i y_i + (1 - w) \sum_{i \in I} a_i u_i \quad (5.10)$$

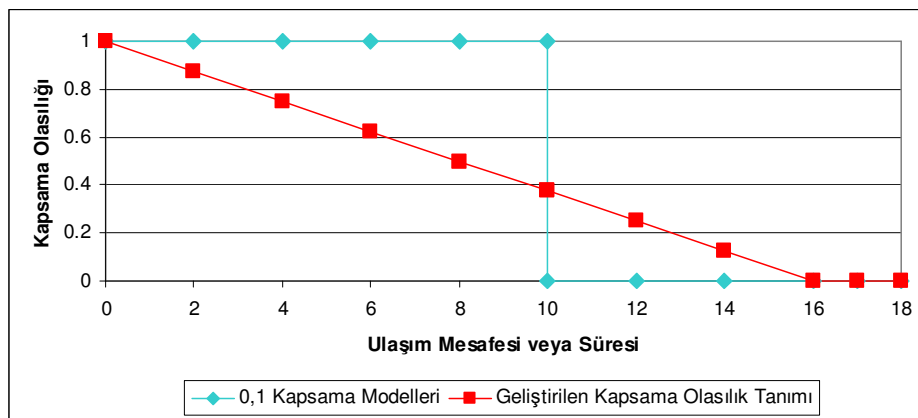
Çözüm formülasyonunda kullanılan amaç fonksiyonunda görüldüğü üzere yedek kapsama, önceliklendirilmiş (preemptive) çok ölçütlü programlama yapısına sahiptir. Çelişen iki amaç fonksiyonunu ağırlıklandırarak çok ölçütlü programlama yapısına kavuşturan önceliklendirilmiş çok amaçlı programlamada [33] (sayfa 595), 0 ve 1 arasında değişen w ilk amaç fonksiyonunun ağırlığını gösterirken $(1 - w)$ ikinci amaç fonksiyonunun ağırlığıdır. Başka bir deyişle, ilk amaca olan kapsamaya atanan ağırlık arttığı sürece ikinci amaç fonksiyonu olan kapsanan bölgelerin tekrar kapsanmasına ayrılan ağırlık azalmaktadır ve bunun terside geçerli olup ikinci amaç

fonksiyonun ağırlıklandırılması aynı zamanda ilk amacın ağırlığını azalmaktadır. Bu tanım uygulamada sunulan parametrik analizin dayandığı tanımsal değerlerden biridir.

5.2.Model 2: Olasılıksal Kapsama Modeli

Yedek kapsama modelinki gibi gerekirci matematiksel modeller, belirli kısıtlara ve ölçülebilir performans değerlerine bağlı en iyi (optimal) çözüm üretmeleri yönünden elverişlidir. Fakat ATS'lerin olasılık temelli doğasını yansıtmaya yönünden eksiklikleri bulunmaktadır ki değişkenlerin zaman içerisinde değişimini ele alan olasılıksal modeller bu yapıya ambulansların (sunucuların) meşgul olma ihtimalleri gibi gerçek hayatta rastsallık gösteren parametreleri de ekleyerek daha uygun yanıtlar üretmektedir [28].

Çalışma kapsamında yedek kapsamaya ek olarak, Alsalloum ve Rand'in çok daha yeni olan modeli ikinci model olarak ele alınmıştır. Bu model temel kapsama fenomenini iki şekilde geliştirmektedir. Birincisi, Şekil 5.1'de gösterildiği üzere modelde benzer çalışmalarda 0 veya 1 olarak tanımlanan kapsama yerine, talep bölgesinin ulaşım uzaklığına veya zamana bağlı olarak servis edebilme ihtimallerini kullanmaktadır. Böylelikle, hem servis edebilecek uzaklıkta olan ATS merkezlerinden servis kalitesi en yüksek istasyona atama yapılabilmekte hem de temel kapsama problemleri gibi birincil kapsamayı şart koşan kısıtlar olmadığı için olurlu çözüm her uzaklık koşulunda sağlanabilmektedir.



Şekil 5.1: Klasik kapsama ve kapsama olasılık tanımı [11]

Buna ek olarak, kapsama olasılığının modele eklenmesi ile temel kapsama problemi tanıtılırken, modelin eksikliği olarak belirtilen arz talep arasındaki mesafenin belirli standardın altında olması durumunda, her mesafeden sağlanan servisinin eşit kalitede kabul edilmesi bu kapsama olasılığı bir derecede çözülmektedir.

İkinci olarak, modelle ambulans depoları belirlendikten sonra, ön görülen performans değerini sağlayacak sayıdaki ambulans veya ambulanslar bu merkezlere atanmaktadır. Oysaki birçok benzer modelde, örneğin yukarıda verilen yedek kapsama modelinde ambulans sayısı ile servis sağlayıcı yerleşim yeri birlikte tanımlanmaktadır.

Model 2’de, önceden tanımlanmış sayıdaki ATS istasyonunun optimal yerleşiminde amaç programlama ile çözülmeye gidilmektedir. Özellikle olasılıksal modelin amaç programlama (goal programming) ile formunda oluşturulmuş olmasının iki faydası vardır. Amaç programlama ile belirli parametrelerde her zaman ve tek olumlu çözüm bulunmaktadır [35] (sayfa 416).

Aşağıda çözüm formu verilen modelde ilk amaç belirli bir zaman sınırı içerisinde karşılanan talebin beklenen değerini en büyüklenmesi sağlanacak şekilde ATS istasyonlarının belirlenmesidir. İkinci amaç ise her ATS istasyonunun servis dahilindeki bölgelerde kullanılması gereken araç sayısının belirli güven düzeyiyle en küçüklenmesidir. Daha somut biçimde, ikinci amaç ile taleplerin hedef sınırları dahilinde ve herhangi bir anda en az bir ambulans bulabilmesinin garanti edilmesidir. Amaç programlamaya uygun olarak modelin hedef fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\text{Min } P_0 d_0^- + P_1 \sum_{j=1}^m d_j^+ \quad (5.11)$$

Bu eşitlikte, P_0 ilk amacın önceliğini veya en önde gelen amacı; P_1 ise ikinci amacın önceliği veya daha az önemli görülen amacı göstermektedir. d_0^- ve d_j^+ ise sırasıyla birinci ve ikinci amaçtan sapmayı ifade etmektedir. m indisi ise mevcut ATS istasyon sayısıdır. Amaç kısıtları ise aşağıda verilmiştir. İlk amaç kapsanan nüfustur. Talep istasyonlara göre atanmaktadır ki kapsanan talebin hizmet alma olasılığı da bu amaç kısıdı ile en büyüklenmek istenmektedir.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_i P_{ij} Y_{ij} + d_0^- = 1 \quad (5.12)$$

Burada, i talep bölgeleri $i = 1 \dots n$; j istasyon bölgeleri $j = 1 \dots m$, n toplam talep bölgesi sayısı, ve m toplam potansiyel ATS istasyon sayısıdır.

P_{ij} , j istasyonundan i bölgesine belirlenen zaman diliminde ulaşılabilirlik olasılığı, b_i i talep bölgesi için beklenen talebin toplam beklenen talebe oranıdır. Y_{ij} ise 1,0 değişkeni olup, eğer $P_{ij} \geq P$ ise 1 değerini almaktadır, aksi takdirde Y_{ij} 0'dir. P ise analist tarafından belirlenen olasılık eşik değeridir.

P olasılık eşik değerine sadık kalınarak, belirli bir mesafe sınırları içerisinde bulunan talebe hizmet edilme amaç kısıdı ise Eşitlik 5.13'de verilmiştir.

$$\sum_{1 < S < c} r_T x_{jT} - \sum_{i=1}^n \lambda_i Y_{ij} - d_j^+ = 0 \quad (5.13)$$

Bu eşitlikte r_T talep oluşma miktarı olarak adlandırılır ve merkezdeki hizmet sağlayan server sayısına göre (T) belirlenen güven düzeyinde servis sağlanması için iki çağrı arasındaki en küçük zaman sınırını temsil eder. 5.13'de ise bu servis sınırı ile bölgedeki talep miktarı birlikte ele alınarak gerek duyulan araç sayısı x_{jT} 0,1 değişkeni ile tespit edilmiş olunur. Ayrıca, algoritmanın lineer yapısının bozulmaması için r_T sınır değerleri, deney öncesinde Erlang dağılımının özel bir fonksiyonu olan Erlang Kayıp Formülasyonu (Erlang Loss Formula) veya diğer adıyla Servis Düzeyi (Grade of Service) ile hesaplanır. r_T değerinin hesaplanması Bölüm 6'daki uygulamada, Erlang Kayıp Formülasyonu ise aşağıda ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Bahsedildiği üzere, x_{jT} 0,1 değişkeni olup j servis merkezine yerleşecek araç sayısını belirleyen karar değişkenidir. Daha somut ifade ile, j istasyonunda T adet araç görevlendirilmiş ise x_{jT} değişkeni 1 aksi takdirde 0 değerini almaktadır. İkinci amaç kısıdında verilen λ_i ise i talep bölgesi için bir saatte beklenen talep miktarını temsil etmektedir ve ayrıntılı olarak aşağıda Erlang Kayıp Formülasyonu içerisinde tanımlanmıştır.

Alsalloum ve Rand trafik ağlarında, çağrı merkezlerinde, çizelgelemelerde ve iletişim sistemlerinde verici kapasiteleri gibi kuyruk teorisinin çokça kullanıldığı sistemlerde kullanılan ve Gamma Dağılımı'nın özel bir durumu olan Erlang dağılımı [35] (sayfa 51) sistemde hizmet vermekte olan ambulansların (serverların) bir talebe hizmet vermeleri nedeniyle diğer bir talebe cevap vermeme olasılıklarını veya başka bir deyişle sistemde bir talebin kaybedilmesi olasılığını tanımlamak için kullanmıştır. Servis Düzeyi (Erlang Kayıp Formülasyonu) Eşitlik 5.14'de verilmiştir.

$$P(c) = \frac{\frac{\rho^c}{c!}}{\sum_{i=0,c} \frac{\rho^i}{i!}} \quad (5.14)$$

$$\rho = \lambda / \mu \quad (5.15)$$

Eşitlikteki girdiler ise

- Beklenen talep miktarı (λ_i) parametresi ile poisson dağılımına uymaktadır. Birim zamanda merkeze ulaşan çağrı sayısını tanımlamaktadır. Örneğin, bir saat içerisinde servis merkezine ortalama 500 çağrı alınıyorsa talep miktarı 500 çağrı/saat'tir denir. Talep oluşumunun tersi ($1/\lambda_i$) ise iki çağrı arasında geçen ortalama süreyi vermektedir.
- Servis (μ) üstel dağılmaktadır ve birim zaman içerisinde merkez tarafından karşılanabilen çağrı miktarını tanımlamaktadır. Örneğin, bir talebi karşılamak servis merkezi için ortalama 20 dakika alıyor ise servis 3 çağrı/saat'tir denir. Servis değerinin tersi ($1/\mu$) ise beklendiği üzere bir talebi karşılamak için gerekli süreyi vermektedir.
- Kapasite (c) maksimum sayıdaki mevcut server (bizim çalışmamızda ambulans) sayısıdır ki herhangi bir anda karşılanabilecek en büyük talep miktarı olarak da ifade edilebilir.
- Servis Düzeyi ($P(c)$) fonksiyonu servis kalitesini tanımlamak amacıyla kullanılır. Sistem meşgul zamanlarda (busy hours) ortaya çıkan talebin hangi yüzde ile geri çevrildiğini ölçmektedir. Fonksiyondan görüldüğü üzere, servis kalitesi hat

sayısının bir fonksiyonu olup daha fazla hat (ambulans) ile daha az kayıp sağlanacak ve daha yüksek servis kalitesi sağlanacaktır.

Alsalloum ve Rand'ın modelinin geri kalanı ise Eşitlik 5.16, 5.17 ve 5.18'de verilmiştir.

$$\sum_{j=1}^m Y_{ij} \leq 1 \quad (5.16)$$

Y_{ij} , i talep bölgesinin j talep bölgesine atanması durumunda 1 değerini alan 1,0 karar değişkenidir. 5.16 eşitliği ile bir talep bölgesinin birden fazla servis sağlayıcısından hizmet alması engellenmiş olunur.

$$\sum_{T=1}^c x_{jT} \leq 1 \quad (5.17)$$

Daha önce belirtildiği gibi x_{jT} , j yerleşim yerine atanan hizmet aracı sayısını belirlemektedir ve Eşitlik 5.17 ile matematiksel algoritmanın aynı istasyona farklı sayılarda araç yerleştirmesi engellenmiş olunur. Eşitlik 5.17'de kullanılan c indisi daha önce belirtildiği üzere kapasite sınırını göstermektedir ki eşitlikle servis istasyonlarına barındırabilecekleri araç sayısı için kısıt koymakta mümkündür.

Son olarak, Eşitlik 5.16 ile servis bölgesinde hizmet vermesi istenen istasyon sayısı (p) belirlenir. Başka bir ifade ile toplam araç sayısına da bir üst sınır getirmek mümkün olmaktadır.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{T=1}^c x_{jT} = p \quad (5.18)$$

Tüm algoritma bütünsel olarak ele alındığında, ilk öncelik talebin karşılanmasına verilmekte ve amaç programlamasının yapısı gereğince P_0 ağırlılıyla bu amaçtan yapılan sapma (d_0^-) en küçüklenerek ele alınan topluluğun yüksek olasılıklı merkezlerce kapsanması sağlanmaktadır. Daha sonra, belirlenen merkezlere atanan talep yüküne sadık kalınarak gereksiz araç kullanımından amaç programlamanın

yapısı gereğince, P_1 ağırlıyla bu amaçtan yapılan sapmanın (d_j^+) en küçüklenmesiyle kaçınılmaktadır. Bu işlem her istasyon için denendikten sonra, açık istasyon sayısı belirtilen istasyon sayısına (p) ulaşınca kadar devam etmekte ve bu sayıya ulaşılması ile son bulmaktadır.

6. MODELLERİN UYGULAMA SONUÇLARI

Bu bölümde, Bölüm 5’de tanımlanan iki model Bölüm 3’de tanımlanan bölgeye uygulanmış, iki modelde de geliştirmelere gidilmiş ve elde edilen sonuçlar geliştirmeler ile bu bölümde verilmiştir.

Modellerin özgün ve birinci özel amacın tamamlanması için geliştirilen formlarına uygulanan parametrik analizlerle çalışmanın ikinci özel amacında belirtilen servis eşik değeri tanımının kademeli değişimlere gösterdiği cevapların incelenmesi sağlanmıştır. Çalışmanın ikinci amacında belirtilen Hipotez 1 ve Hipotez 2’in sınanması için ise bir benzetim sistemi kurgulanmış ve Model 2’nin geliştirilen formundan farklı eşik değerleri için elde edilen formlar bu sistemde çalışmaya alınmıştır. Benzetim sisteminden elde edilen sonuçlar ise hipotezlere cevap verecek istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Çalışmanın üçüncü ve son özel amacında belirtilen Model 1 ve Model 2’nin kıyaslanması için geliştirilen Hipotez 3 ve Hipotez 4’ün sınanması için aynı benzetim sistemi kullanılmış ve sonuçlar istatistiksel testlere tabi tutulmuşlardır.

6.1. Model 1 için Uygulama ve Sonuçlar

Hogan ve ReVelle’nin Yedek Kapsama Modeli, Bölüm 3’teki yapısıyla 14 talep grubuna ayırdığımız bölgeye demografik yapılar yerine kaza istatistikleri göz önüne alınarak uygulanmıştır. Formülasyonda yapılan birincil değişiklik, belirtildiği üzere Hogan ve ReVelle tarafından bölge nüfusu olarak tanımlanan a_i parametresi değiştirilerek bölgelerde meydana gelmiş ve Ek A’da verilen Tablo A.1, Tablo A.2 ve Tablo 3’de ayrıntılı olarak sunulan kaza frekanslarının kullanılmasıdır.

Model değişkenin tanımında yapılan bu değişiklikteki amaç, yapılan çalışmanın salt ATS kurgulamasını değil, ATS’lerin trafik kaza yönetimindeki rolünü incelemesidir ve trafik kazalarından alınan verilerin bölgesel talep değerlerine nispeten TKY’nde ihtiyaç duyulan talep yapısını daha iyi yansıtacağı düşünülmüştür.

Değişikliğe ikinci gerekçe ise nüfus değerlerinin ele alınan bu bölgede beklenen ATS talep değerini yeterince iyi yansıtmamasıdır. Bunun nedeni ise Hogan ve ReVelle uygulamalarında New York gibi kentleşmiş bir bölgeyi ele almışlarken, Bölüm 3'te tanımlandığı üzere bu çalışma yarı kentsel bir bölgeye uygulanmıştır. Kentleşme yapısı nedeniyle zaman içerisinde bölge nüfusunda büyük değişiklikler gözlenebilecektir. Daha teknik bir ifade ile mevcut kaza istatistikleri acil tıbbi servis ihtiyacını dinamik trafik ağı için sabit nüfus değerlerine göre daha iyi yansıtmaktadır.

6.1.1. Servis Sınır Parametresinin Model 1 ile Değerlendirilmesi

Belirtildiği üzere maksimum kapsama veya servis etme (S) sınırındaki değişiklikler, arz talep dengesi içerisinde değer tabanı oluşturması nedeniyle her bölge için uygulama öncesinde incelenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, oldukça hassas olan ATS sistemlerinde servis kalitesinde düşüş veya yine ATS sistemlerinde görece yüksek olarak maliyetlerde artış yaşanabilmektedir.

Bu amaçla, sınır değerdeki dalgalanmalar ile birincil ve ikincil kapsamının önceliğini belirleyen ağırlıkların ve sistem genelinde kullanılacak maksimum araç sayısının değiştirilmesi ile çözüm kümeleri oluşturulmuş ve farklı servis parametreleri için elde edilen değerlerden seçilen bazı çözümler yukarıda verilen Tablo 6.1 içerisinde özetlenmiştir. Algoritmaların çözümünde Frontline Premium Solver (<http://www.solver.com/>) kullanılmış olup kısmi tam sayı programı dal sınır algoritması ile tamsayı toleransı 0.05 belirlenerek çözüme gidilmiştir.

Tablo 6.1'de görüldüğü üzere parametrik analizde Model 1'in ilk amaç fonksiyonu olan temel kapsanan talebin en büyüklenmesinin ağırlığına (w) 0.99999999 değeri atanmasıyla çözüm kümeleri oluşturulmaya başlanmıştır. 0.99999999 ağırlığının atanmasının anlamı birincil amaç olan temel kapsanan talebin en büyüklenmesine ikincil amaç olan iki kere kapsanan talebin en büyüklenmesine oranla sonsuz öncelik verilmiş olmasıdır. Bu tanımın tam tersinin de geçerli olduğu daha önce ikinci ağırlık $1 - w$ tanımlanmasıyla w değerinin 0 ile 1 arasında değişen bir sürekli değişken olduğu sunularak üstü kapalı olarak verilmiştir. w değerine 1 değerinin verilmemiş olmasının gerekçesi ise bu ağırlığa 1 değerinin atanması ile kimi değişkenlerin çözüm kümesinden çıkması ve ikincil kapsamaya ilişkin aldatıcı sonuçlar ortaya çıkabilmesidir.

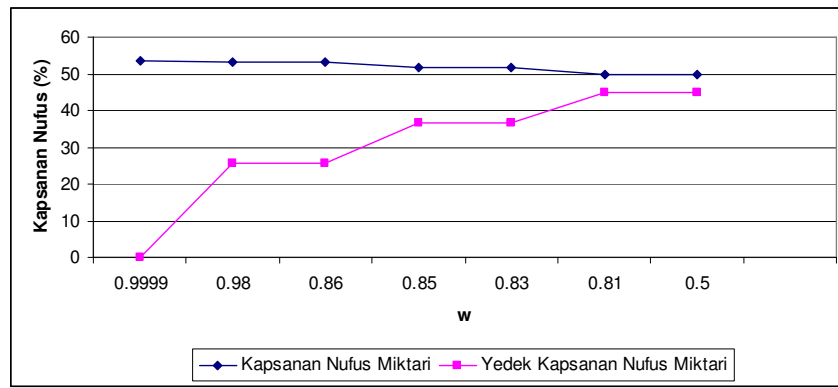
Tablo 6.1’de görüldüğü üzere birincil ağırlığa sonsuz öncelik atanarak başlanan parametrik analiz, birincil ve ikincil amaç fonksiyonlarına atanan önem düzeyi eşit olan 0.5 değerine kadar indirilmiştir. Ayrıca Tablo’da her kapsama eşiği için 44 araç sayısı ve kapsama sonsuz öncelik ataması ile yapılan tekil incelemelerin amacı bu kapsama eşiklerinde, kaynak sınırlaması bulunmaması durumunda, modelin tüm bölgeleri tam olarak kapsayıp kapsayamadığının araştırılmasıdır. Açıkta ki 14 talep bölgesi için 44 araç kısıtlanması getirildiğinde modelin her servis eşiği için kapsayacağı ve yedek kapsayacağı talep eşit olacaktır.

Tablo 6.1: Farklı w , p ve S değerleri ile Model 1 için çözüm kümeleri

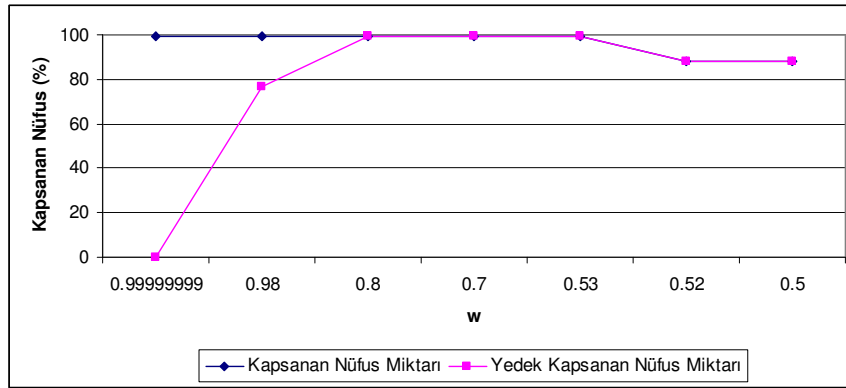
Birincil Ağırlık Değeri	Kapsanan Talep (%)	Yedek Kapsanan Talep (%)	Birincil Ağırlık Değeri	Kapsanan Talep (%)	Yedek Kapsanan Talep (%)
Kapsama eşiği 25 dk.			Kapsama eşiği 20 dk.		
Maksimum araç sayısı 44			Maksimum araç sayısı 44		
w=0.99999999	100	100	w=0.99999999	100	100
Maksimum araç sayısı 3			Maksimum araç sayısı 4		
w=0.99999999	100	73.25	w=0.99999999	100	24.71
w=0.98	100	73.25	w=0.98	100	85.59
w=0.97	100	73.25	w=0.97	100	85.59
w=0.96	99.69	81.52	w=0.96	100	85.59
w=0.95	99.69	81.52	w=0.96	100	85.59
w=0.93	99.69	81.52	w=0.90	100	85.59
w=0.90	99.69	81.52	w=0.81	96.92	96.92
w=0.86	99.69	81.52	w=0.80	96.92	96.92
w=0.85	99.69	87.68	w=0.70	96.92	96.92
w=0.75	99.69	87.68	w=0.65	96.92	96.92
w=0.70	99.69	87.68	w=0.60	96.92	96.92
w=0.50	99.69	87.68	w=0.50	96.92	96.92
Kapsama eşiği 15 dk.			Kapsama eşiği 10 dk.		
Maksimum araç sayısı 44			Maksimum araç sayısı 44		
w=0.99999999	99.6	99.6	w=0.99999999	53.46	53.46
Maksimum araç sayısı 3			Maksimum araç sayısı 7		
w=0.99999999	100	24.71	w=0.99999999	53.46	0
w=0.98	100	85.59	w=0.98	53.15	25.74
w=0.80	100	85.59	w=0.86	53.15	25.74
w=0.70	100	85.59	w=0.85	51.54	36.68
w=0.53	99.6	99.6	w=0.83	51.54	36.68
w=0.52	88.36	88.36	w=0.82	49.84	44.95
w=0.51	88.36	88.36	w=0.70	49.84	44.95
w=0.50	88.36	88.36	w=0.50	49.84	44.95

Tablodan elde edilen bilgiler görselleştirilmesi ve w değerindeki değişimlerle elde edilen, eğer varsa, temel ve yedek kapsama değişimlerinin daha iyi görülmesi için her eşik değeri için değişim grafikleri hazırlanmıştır.

Bu grafiklerden ilki Şekil 6.1’de sunulmuştur. Şekilden görüldüğü üzere, 10 dk. gibi oldukça iddialı servis sınırında 7 adet araç tahsis edilmesine karşın toplam talebin yarısını bile kapsama sınırına alacak atama yapılamamaktadır. Ayrıca, birincil kapsamanın önem derecesinin azaltılıp yedek kapsama amacına verilen önemin nispeten artırılmasıyla model, talebi az olan bölgelerden araçları kaza oranı yüksek bölgelere kaydırmaktadır. En dikkat çekici değer ise w ağırlığının 0.86’dan 0.85’e indirilmesiyle ortaya çıkmakta ve servis talep miktarı olarak kapsanan talep miktarı %3.02 azalırken yedek kapsanarak servis kalitesi artırılan talep miktarı %42.50 artmaktadır.



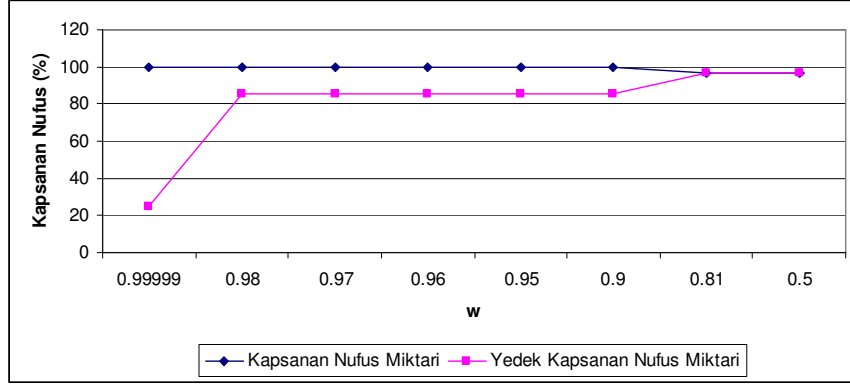
Şekil 6.1: w için birincil ve yedek kapsanan talep değerleri ($S = 10dk$, $p = 7$)



Şekil 6.2: w için birincil ve yedek kapsanan talep değerleri ($S = 15dk$, $p = 4$)

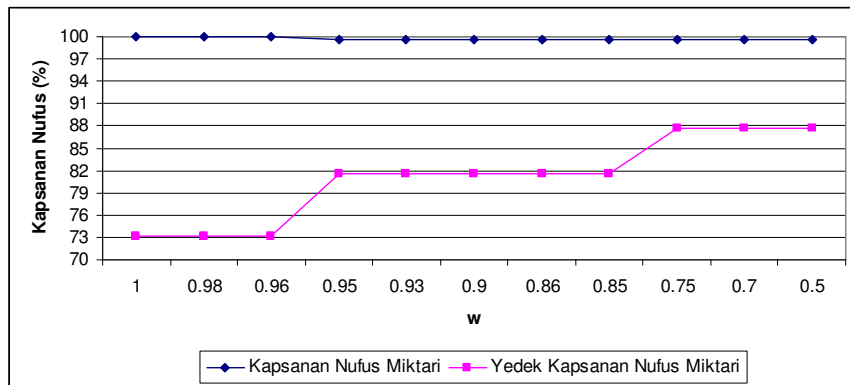
Diğer dikkat çekici unsur, Şekil 6.2 ve 6.3’de sonucu görselleştirilen, kapsama sürelerinin 20 ve 15 dakika seçildiğinde ve birinci amaç fonksiyonu olan birincil kapsamaya, yedek kapsamaya göre sonsuz öncelik verildiğinde yaşanmaktadır. Aynı kaynaklar (araç sayısı) ile sadece yedek kapsamanın ağırlığının artırılması durumunda belirli toleranslar içerisinde talebin tamamı birincil olarak

kapsanmamakta ve yedek kapsanan talep miktarı %344 artmaktadır. Bu noktada işlemde kullanılan matematiksel çözücünün tolerans sınırlarının etkisinin de bulunduğu açıktır.



Şekil 6.3: w için birincil ve yedek kapsanan talep değerleri ($S = 20dk$, $p = 4$)

Şekil 6.4'de ise servis sınırı 25 dk. ve kullanılan araç sayısının 3 olarak belirlendiği senaryo görselleştirilmiştir. Bu senaryo içerisinde servis edebilme sınırı o kadar yüksek seçilmiştir ki sadece 3 ATS aracı ile tüm talep bölgeleri servis sınırı içerisinde dahil edilebilmektedir. Aynı senaryoda tekil kapsama amaç fonksiyonunun ağırlığı (w) 0.97'den 0.96'ya düşürülmesi kapsanan talebi %0.03 azaltırken yedek kapsanan talep oranı %11.29 artmaktadır. Başka bir deyişle birincil kapsamadan yapılan ufak bir değişiklik yedek kapsamının ve dolayısıyla risk değerinin azaltılmasında büyük sonuçlar yaratmaktadır.



Şekil 6.4: w için birincil ve yedek kapsanan talep değerleri ($S = 25dk$, $p = 3$)

Yedek kapsama modeli için son olarak, elde edilen sonuçlar ile bölgenin demografik yapısının incelenmesi gerekmektedir. Servis sınır değerlerinin modellere ve uygulanan bölgelere göre farklılık göstereceği açıktır. Bu nedenle planlayıcılar farklı

bölgelerde farklı sınır değerleri kullanmaktadırlar. Örneğin, Montreal’de 17 [12] olan sınır değeri New York’ta 12 dakika [10] olarak belirlemiştir.

Uygulamaya aldığımız bölge ise gerek bölgenin tanımında gerekse de çalışmanın amaç ve kapsamı ifade edilirken belirtildiği gibi bu ve benzeri yoğun kentleşme yaşanan bölgelerde yerleşim birimleri arasında mesafeler görece olarak uzak olduğundan benzememektedir. Tablo 6.1’de sunulduğu üzere bölgede servis sınırının 10 dakika olarak belirlenmesi talebin yaklaşık olarak yarısını, 15 dakika olarak belirlenmesi ise %10’un üstünde bir kesiminin modelden ihraç edilmesi başka bir deyişle incelemeye alınmaması anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, elde edilen çözüm kümelerinden uygulamaya yönelik en iyi sonuçlar üreten sınır değerinin 20 dakika olduğu saptanmıştır.

6.1.2. Model 1’in Yerleşim Yeri Algoritmasına Dönüştürülmesi

Hogan ve ReVelle’nin temel kapsama ve yedek kapsama takasını uygulayarak geliştirdiği model, her ne kadar modelin talep tanımı nüfus değeri yerine kaza oranı olarak değiştirilseye de, talepte zaman içerisinde oluşan değişimleri yeterli oranda ele almamaktadır ve araç yerleşiminde talebin zaman içerisinde değişen doğasını yeterince yansıtamamaktadır. Bu nedenle Model 1’de geliştirmeye gidilerek modelin araç yerleşimi yerine ATS yerleşim yeri seçim modeline dönüştürülmüştür. Buradaki amaç, modelin maliyet servis düzeyi dengesini yansıtmaması ve araştırmacıya mutlak eniyileme yanında bir anlamda benzetim sistemlerine benzer biçimde farklı ağırlıklara bağlı çözümler getirerek KV’ye seçenekler sunması açısından başarılı görülen formunun korunup modelin eksikliği olan sunucu meşgul olasılığını değerlendirmenin modelin kapsamı dışına çıkarılmasıdır. Başka bir deyişle her ne kadar sıkça karşılaşılan bir durum olmasa da modele bu meşgul olasılığı tanımı, yerleşim yerleri seçildikten sonra atanacak araç sayısı tanımı eklenilerek geliştirilebilme olanağı sağlanmaktadır. Buna ek olarak, olasılıksal formda olan Model 2 ile ileriki bölümlerde karşılaştırma da iki model arasındaki dengesizlik bir anlamda azaltılmış olmaktadır.

Modelin geliştirilmesi amacıyla orijinal algoritmada j servis noktasına atanan araç sayısını temsil eden x_j değişkeni 0,1 değişkenine dönüştürülmüş ve özgün

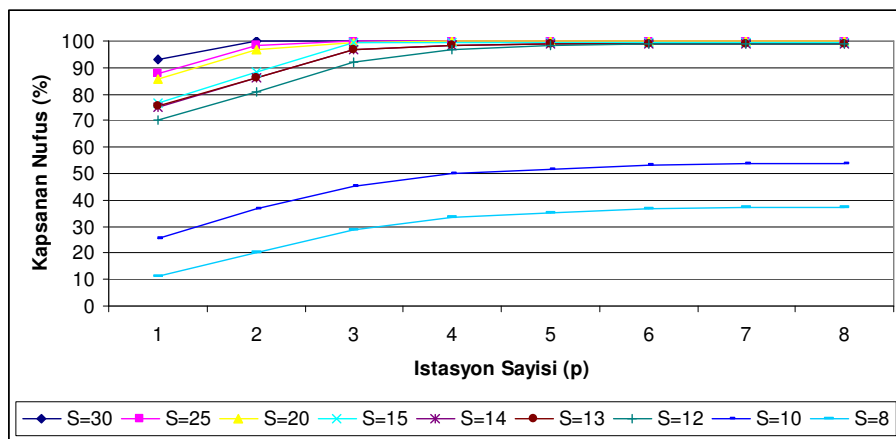
algoritmaya 6.1 eşitliğinde sunulan lineer olarak gevşetilmiş kısıdın eklenmesi ile bu dönüşüm tamamlanmıştır.

$$x_j \leq 1 \quad \forall j \quad (6.1)$$

x_j değişkeninin tanımının değiştirilmesi aynı zamanda orijinal formülasyonda bölgeye tahsis edilen araç sayısı (p) tanımını da değiştirmektedir. Yeni formülasyonda bu değer bölgede açılmasına izin verilen istasyon sayısı olarak değişmektedir. Algoritmadaki diğer kısıt ve amaç değerleri ise aynı kalmaktadır.

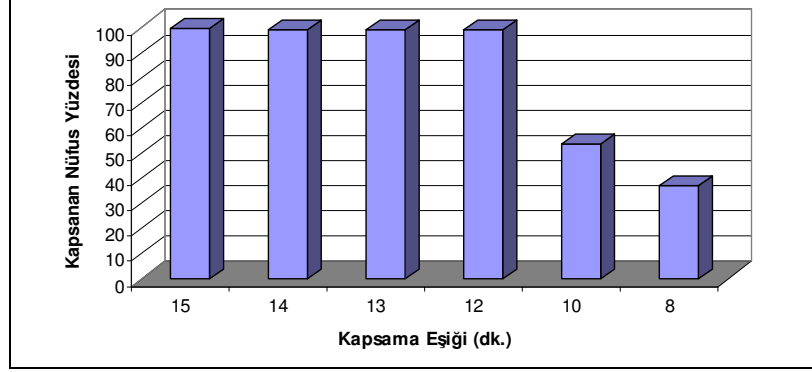
Bölüm 6.1.1’de yapılan parametrik analiz, tekil kapsama modeli olarak ($w = 1$) ve temel kapsamaya sonsuz öncelikler atanarak ($w = 0.99999$) yerleşim yeri seçim modeline dönüştürülen model için de tekrarlanmış ve elde sonuçlar Tablo Ek B’de sunulan Tablo B.1, Tablo B.2 ve Tablo B.3’te özetlenmiştir.

Şekil 6.5’de dokuz kapsama eşik değerinin ve farklı istasyon sayısına göre oluşturduğu eşik değeri dâhilinde kapsanan talep oran değişimi izlenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere kapsama sınır değerinin 13 dakikanın altına çekilmesiyle model toplam talebin %60’ının altındaki kesim için eniyilemeye gittiği görülmektedir. Servis eşik süresi 12 dakika ve üzerindeyken ise model, talebin %98’inden fazlasını belirlenen istasyon sayısına bağlı olarak modelin tanımına eklemektedir.



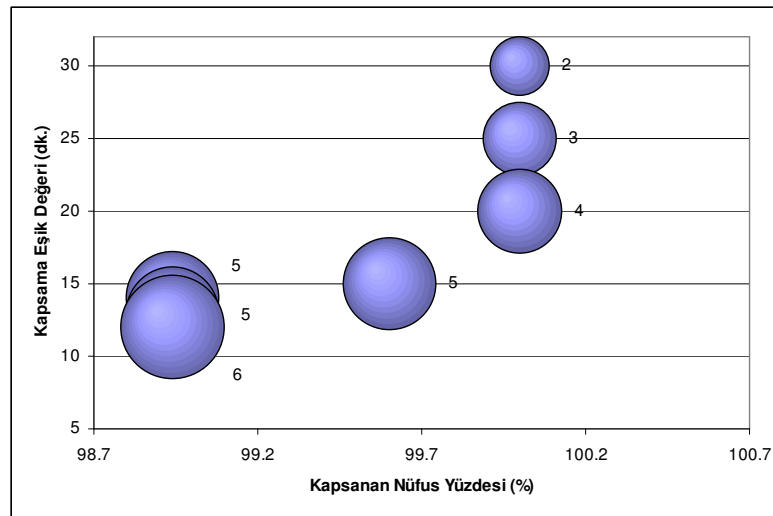
Şekil 6.5: Kapsanan talep oranının istasyon sayısına bağlı değişimi ($w = 1$)

Ek B’de verilen çözüm kümelerinden alınan verilerle oluşturulan Şekil 6.6’da bu durum daha açık olarak görülmekte ve kapsama eşiğinin 12 dakikanın altına düşmesi ile kapsama eşiğine alınan talep miktarının %50’ye kadar gerilediği görülmektedir.



Şekil 6.6: S değerleri için maksimum kapsanabilecek talep oranları

Şekil 6.7’de ise sınır eşik değerleri değiştirilerek oluşturulmuş çözümlerde kapsanması mümkün maksimum talep yüzdesi için gerekli minimum istasyon sayısı incelenmiştir. Şekilde, apsis kapsanabilecek maksimum talep yüzdesini, ordinat kapsama eşik değerini dakika cinsinden ve balonların yanında verilen değerler (aynı zamanda balon alan oranları) gerekli istasyon sayılarını temsil etmektedir. Görüldüğü üzere servis sınır değeri 30 dakika. iken 2 ATS istasyonu ile tüm talep kapsanabilirken, sınır değerinin düşürülmesi hem açılması gerekli istasyon sayısını artırmakta hem de (daha önce belirlenen 20 dakika servis sınırının altına inilmesi ile) kapsanabilecek talep yüzdesini düşürmektedir.



Şekil 6.7: S değerleriyle maksimum talep kapsanması için gerekli araç sayısı değişimi

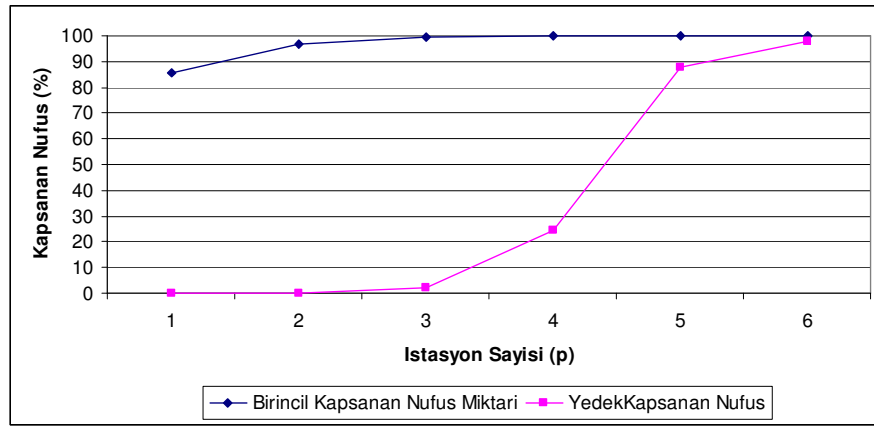
Tablo 6.2’den de görüldüğü üzere geliştirilen yerleşim modelinin 15, 20 ve 25 dakika kapsama sınırları için çözüm kümeleri oluşturulmuştur. Çözüm kümelerinde p değerinin artırılmasıyla çözüme giren istasyonlar ve bu istasyonlara atanan talep bölgeleri de tabloda sunulmuştur. Mesafe standardı değerlerinin 15, 20 ve nihayet 25 dakika olarak seçilmesindeki gerekçe bir önceki Bölüm 6.1.1’de yapılan çalışmada bu mesafelerin bölgede uygun sonuçlar ortaya koymuş olması ve kıyaslamada benzer süre değerleri için yapılacak olmasıdır.

Tablo 6.2: Farklı p ve S değerleri ile geliştirilen Model 1 için çözüm kümeleri ($w=0.999999$)

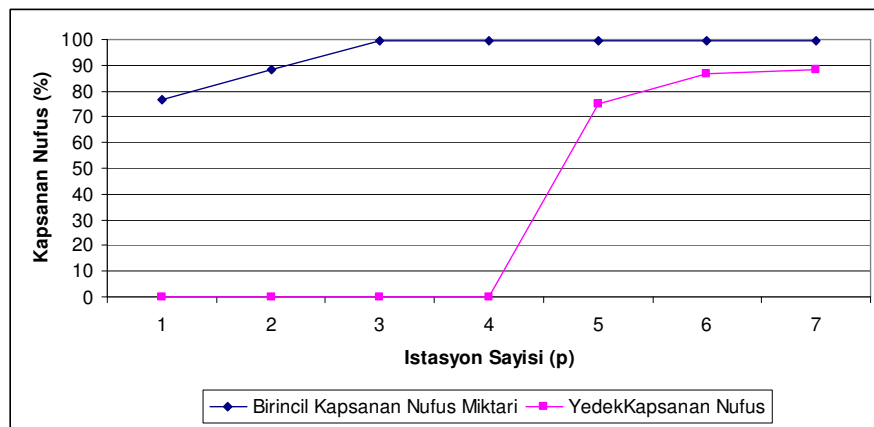
p	Acil Servis No.	Kapsanan Bölgeler	Yedek Kapsanan Bölgeler	Kapsanan Talep Miktarı (%)	Yedek Kapsanan Talep (%)
S = 25dk					
1	1	2,3,4,5,6,8,11,12,13,14	-	87.68	0
2	1,10	2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	8,13,14	98.61	61.27
3	3,4,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,5,6,8,9,11,13,14	100	73.25
4	1,3,4,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,3,4,5,6,8,9,11,12,13,14	100	88.1
5	1,3,4,10,16	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	100	98.62
6	3,4,5,7,10,16	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	100	100
S = 20dk					
1	1	2,3,5,6,11,12,13,14	-	85.59	0
2	1,10	2,3,5,6,8,9,10,11,12,13,14	-	96.92	0
3	2,5,10	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	2,11	99.69	2.28
4	1,5,7,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,3,5,6,11,12	100	24.71
5	1,2,5,9,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,3,4,5,6,8,11,12,13,14	100	87.68
6	1,2,5,9,10,19	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,3,4,5,6,8,10,11,12,13,14	100	98.12
S = 15dk					
1	3	3,4,5,6,13,14	-	76.74	0
2	3,5	1,2,3,4,5,6,11,12,13,14	-	88.36	0
3	3,5,10	1,2,3,4,5,6,9,10,11,12,13,14	-	99.29	0
4	3,5,9,10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	99.6	0
5	3,5,9,10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	3,5,6,13,14	99.6	75.04
6	10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	1,2,3,5,6,11,12,13,14	99.6	86.67
7	10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	1,2,3,4,5,6,11,12,13,14	99.6	88.36

Aynı tablodan görüldüğü üzere geliştirilen model öncelikli olarak talep frekansları en yüksek olan (özellikle grup 13 ve 14) grup merkezlerini kapsayacak ATS yerleşim

merkezlerini seçmekte ve daha sonra bu merkezlere ek olarak en çok bölgeyi kapsayan istasyonu görevlendirmektedir. Model bunu yaparken belirlenen mesafe standardını sürekli olarak güncellemektedir. Bunun en güzel örneği, mesafe standardı 25 ve 20 iken model tarafından ilk seçilen 1 numaralı ATS istasyonu olurken hizmet kapsamının daraltılarak 15 dakikaya düşürülmesiyle 3 numaralı istasyon çözüme giren ilk ATS merkezi olmaktadır. Tabloda sunulan parametrik analiz Şekil 6.8 ve 6.9'da sırasıyla 20 ve 15 dakika için görselleştirilmiştir. Şekil 6.8'de açıkça sergilendiği üzere servis sınırı 20 dakika iken 3 istasyon yerine 4 istasyon seçilmesiyle hem bölge genelinde bütünsel kapsama hem de yedek kapsanan talepte %983.77'lik artış sağlanmaktadır.



Şekil 6.8: $S = 20$ ve $w = 0.99999$ için istasyon sayısının kapsama ve yedek kapsama oranlarına etkisi



Şekil 6.9: $S = 15$ ve $w = 0.99999$ için istasyon sayısının kapsama ve yedek kapsama oranlarına etkisi

Şekil 6.9'da verilen 15 dakika servis sınırı incelemesinden görülmektedir ki bu servis sınırı için talebin %99.29'u üç istasyon ile karşılanırken dördüncü istasyonun

açılması ile kapsanan talep sadece %0.31 artmakta üç istasyonla olduğu gibi yedek kapsama ise sağlanamamaktadır. Beşinci ambulans merkezinin açılmasıyla ise hiç sağlanamayan yedek kapsam %75'e çıkmaktadır. Bu açıdan bakıldığında sistemde 4 istasyon açmanın marjinal faydası çok düşük olmasına karşına 5. istasyon sistemde oluşabilecek tıkanıklıklara karşı riski %75 azaltmaktadır.

6.2.Model 2 için Uygulama ve Sonuçlar

Yedek Kapsama modeli dışında ikinci olarak Bölüm 5'te tanıtılan Alsalloum ve Rand'ın olasılıksal modelinin ele alınan bölgeye uygulanması için modelin en önemli girdilerinden biri olan servis oranının (μ) belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Arkansas Acil Tıbbi ve Travma Servis Merkezi'nden (<http://www.healthyarkansas.com/ems/>) ATS merkezlerinden yapılan gönderilere dair alınan (2005 senesinde Pulaski bölgesi için) veri kümesine başvurulmuştur.

Yapılan inceleme sonucunda bir sene boyunca bölge genelinde yapılan ambulans görevlendirme sayısı 22,541 olarak hesaplanmış ve bu değerden bir saat içerisinde yapılan servis oranı değeri 0.86 çağrı/saat olarak hesaplanmıştır. Başka bir deyişle, ATS merkezlerine gelen bir çağrının yerine getirilerek işlemin tamamlanması 1.16 saat olarak bulunmuştur.

Bu noktadaki tek eksiklik elde edilen verinin sadece Pulaski bölgesini kapsıyor olması ve dolayısıyla hesaplanan servis oranının Pulaski bölgesinde hizmet vermekte olan ambulans istasyonlarına ait olmasıdır. Konu hakkında başka bilgi elde edilememiş olmasının ve Pulaski bölgesindeki yoğun kaza oranları değerlendirilerek hesaplanan Pulaski bölgesine ait servis oranının tüm bölgelerde aynı kabul edilmesinin en kötü senaryoyu yansıtacağı sonucuna varılmıştır.

Modelin girdisi olan mesafeler ise her ATS istasyonu ve daha önce TransCad yazılımıyla üretilen her grup merkezi için hesaplanmıştır. Bu hesaplama için öncelikle daha önceden belirlenmiş olan koordinatlar kullanılmıştır. Fakat ulaşım ağlarının doğrusal olmaması nedeniyle koordinatlar ile hesaplanan Öklid uzaklığının gerçek uzaklığı yansıtmayacağı açıktır. Gerçek uzaklıkların hesaplanması için ise internet ortamında topluma açık coğrafi ve ulaşım enformasyon sağlayan Google

Map'ten (<http://maps.google.com/>) daha önce koordinatlarını belirlediğimiz 15 şehir çifti için gerçek ulaşım mesafeleri alınmış ve bu ulaşım mesafeleri ile koordinatlar yardımıyla hesapladığımız uzaklıklar arasında lineer regresyon analizine gidilmiş ve koordinat sistemi ile ölçülen uzaklık ile gerçek uzaklık arasında Eşitlik 6.2'de verilen lineer bağıntı bulunmuştur. Bu Eşitlikte R_{ij}^r düğümler arasında düzeltilen mesafeleri, R_{ij}^c ise koordinatlarla hesaplanan mesafeleri göstermektedir.

$$R_{ij}^r = 2.58538687 + 0.94509066R_{ij}^c \quad (6.2)$$

Lineer regresyon kullanılan verilerin benzerliği ve hesaplamada yapılabilecek yanlışlığı belirlemek amacıyla varyans testine (ANOVA) başvurulmuştur. Tablo 6.3'de görüldüğü üzere gerçek mesafe değerleri ile hesaplanan değerlerin benzerliğini kabul etme ile alınan riskin 0.0001'den küçük çıkması lineer bağıntının güvenilirlikle kullanılabileceğini desteklemiştir.

Tablo 6.3: ANOVA tablosundan seçilmiş bölümler

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Beklenen Değer Kareleri	F	Pr > F
Model	1	4113.665	4113.665	100.713	< 0.0001
Hata	8	285.919	40.846		
Toplam Düzeltilen	9	4399.584			

Son dönüşümle, her arz talep arası uzaklık hesaplanmış ve 22x14'lük matris oluşturulmuştur. Bu uzaklıklardan, ambulansların ortalama hızı 80 km/h kabul edilerek (bu varsayımın test edilmesi gerekmektedir fakat mevcut uzaklık sınırları ve talep oluşumu göz önüne alındığında yeterince tutarlı gözükmemektedir) arz ve talep düğümleri arasındaki ulaşım süreleri belirlenmiştir.

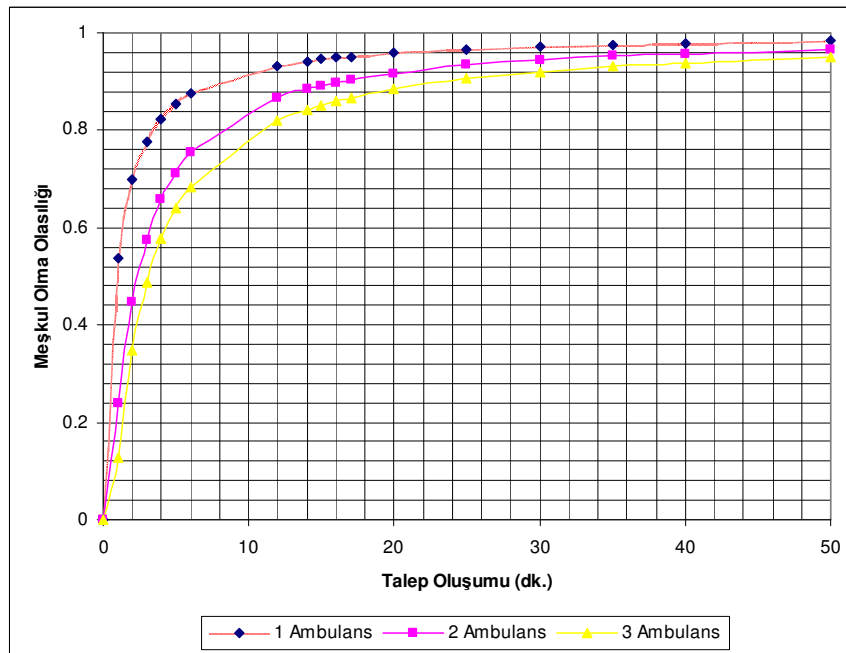
Model 2'nin en önemli özelliğinin, servis sınırları dâhilinde ise kapsanır aksi taktirde kapsanmaz olan temel kapsama tanımını geliştirerek kapsama olasılıkları kullanmış olduğu daha önce belirtilmiştir. Belirlenen ulaşım sürelerinin sonraki adım olan ulaşma olasılıklarına (P_{ij}) dönüşümünde ise talebe ulaşım kritik değeri 18 dakika seçilmiştir ve saptanan ulaşım süreleri 18 dakikadan büyük ise 0, aksi taktirde 1 olarak tanımlanmıştır. Kritik değer 18 dakika seçilmesindeki gerekçe Bölüm

6.1.1’de kapsama sınır değeri için yapılan analizde anlamlı saptanan kapsama sınır değerini 15 dakika ile 20 dakika arasında saptanmış olmasıdır.

Süre tanımlarına 0,1 atamasının ardından 1 değeri alan sürelerin kapsama olasılıklarını belirlemek için Eşitlik 6.3’de verildiği gibi 0,1 doğrusallaştırması uygulanmıştır.

$$P_{ij} = 1 - \frac{R_{ij}}{18} \quad (6.3)$$

Çözüm öncesi son adım, eşik talep oranlarının (r_s) bulunmasıdır. Daha önce belirtildiği üzere Pulaski bölgesi için hesaplanan servis oranı, 0.86 çağrı/saat, tüm bölgeler için aynı kabul edilmiş ve bir ATS istasyonunda en fazla üç adet ambulansın hizmet verebileceği kabul edilmiştir. Bu tanımlarla Eşitlik 5.14’te verilen Erlang Kayıp Formülasyonu uygulanarak bir ATS istasyonunda yer alabilecek her ambulans sayısı için servis düzeyi eğrileri Şekil 6.10’da gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Eşik talep oranının belirlenmesi için son karar güven düzeyinin belirlenmesidir. Karar verici kurumun belirleyeceği bu güven düzeyi, bir ATS istasyonun zamanın herhangi bir anında kaç ihtimalle her gelen çağrıya geri çevirmeden cevap verilemeyeceğini tanımlamaktadır.



Şekil 6.10: $\mu = 0.86$ çağrı/saat iken tüm ambulansların meşgul olma olasılıkları

Şekil 6.10’da bu güvenilirlik tersi olan meşgul olma olasılığı ile tanımlanmış olup çalışmada güven düzeyi %90 olarak (%90 ihtimalle bir istasyona gelen çağrı geri çevrilmeyecektir) belirlenmiş ve güven düzeyleriyle talep sınır değerleri hesaplanarak Tablo 6.3’te sunulmuştur.

Tablo 6.4: Ambulans sayılarına bağlı r_T değerleri

İstasyonda konuşlanan ambulans sayısı	1	2	3
Sınır talep oluşma oranı (r_T)	0.2	0.49	0.91

Amaç programımızın girdileri belirlendikten sonra, son aşama modelin çözümüdür. Ek C’de verilen Tablo C.1 ve Tablo C.2’de farklı amaç fonksiyon ağırlıkları için çözüm kümeleri sunulmuştur. Model 2 formülasyonunda ilk hedef fonksiyonunun önem derecesi P_0 ve ikinci hedef fonksiyonunun önem derecesi P_1 ile tanımlanmakta olup Model 1’de kullanılan w ve $1-w$ ağırlıkları arasındaki ters ilişki bu iki önem düzeyi içinde geçerlidir.

Çözümler, istenilen performans değerine sadık kalınarak ve değişik öncelikler için araştırılmıştır. Tablo C.1 ve Tablo C.2’de rastlanılan en önemli bulgu modelin talep bölgeleri ile Model 1’de kullanılan beklenen talebi (a_i) ve olasılıksal talepleri (λ_i) birbirinden ayırmasıdır. Bunun en güzel örneği, Model 2 yoğun çağrı alınan talep bölgeleri, 13 ve 14’ü farklı istasyonlara atayarak ambulans performans düzeylerini belirli bir seviyede tutmaya çalışırken Model 1 bu nüfusları kapsamasında böyle bir fark gözetmemekte ve sadece yedek kapsamada yoğun talep bölgelerini bir arada kapsayan istasyonları seçmektedir.

Bölüm 6.1’de kapsama eşiğinin (S) çözüme etkisi yapıldığı gibi bu model içerisinde kapsama standartları arasında parametrik incelemeye gidilmiş ve kabul edilir kapsama sınırlarına kesitler getirilerek (örneğin, %30’dan daha az kapsama sağlayan yerleşkenin bu bölgeye kapsama sağlayamayacağı) modelin çözüm kümesinde oluşan değişiklikler incelenmiştir. Başka bir ifade ile karar vericinin kapsama olasılık eşiği ε değerini tanımlamasının sonuca etkisi araştırılmıştır. Servis olasılık tanım değerinin, belirlenen yerleşke sayısı ile kullanılan araç ve modelin atama yaptığı talep yüzdesine etkisi Tablo 6.5’de sunulmuştur.

Tablo 6.5: ϵ değerlerine bağlı atama yapılan talep oranı ve kullanılan araç sayısı değişimi

Kapsama Olasılık Eşiği (ϵ)	Maksimum Yerleşke Sayısı	Kullanılan Araç Sayısı	Atama Yapılan Talep (%)	Kapsama Olasılık Eşiği (ϵ)	Maksimum Yerleşke Sayısı	Kullanılan Araç Sayısı	Atama Yapılan Talep (%)
0.4	1	3	73.42	0.7	1	3	73.42
	2	4	83.93		2	4	83.93
	3	5	95.4		3	5	92.63
	4	6	95.7		4	6	92.94
	5	7	95.7		5	7	94.63
0.5	1	3	73.42	7	9	94.63	
	2	4	83.93	22	24	94.63	
	3	5	95.4	0.8	1	3	73.42
	4	6	95.7		2	4	83.93
	22	24	95.7		3	5	92.63
0.6	1	3	73.42		4	6	92.94
	2	4	83.93	5	7	94.63	
	3	5	93.7	20	22	94.63	
	4	6	94.63	22	24	94.63	

Tablo 6.5’den görüldüğü gibi servis kalitesini artırmak amacıyla modele kapsama olasılığına eşik değeri getirilmesiyle kapsama içerisine alınabilecek (atama yapılan) talep azalmaktadır. Bu değişim, %40’ın altında kapsama olasılığı tanıyan istasyonların servisten çıkarılmasıyla model talebin en fazla %95.7’sine belirlenen kısıt dâhilinde servis sağlayacak çözüm üretirken bu değer eşik değerinin %60’a yükseltilmesiyle talep değerinin %94.63’e gerilemesiyle gösterilebilir.

Kapsama eşiğinin sonuçlar üzerine diğer bir etkisi, eşik değişimleri ile maksimum oranda nüfusa atama yapılabilecek minimum sayıdaki yerleşke sayısının değişimidir. Kapsama eşiği 0.4 ile 0.6 arasında ile hem servis standardı sabit tutulmakta hem de en az 4 istasyon ile atamaya yapılabilecek maksimum talep modelin servis kapsamına girmektedir. Fakat servis eşiğinin 0.6 veya 0.8 alınması ile talep kapsamının en büyüklmesi için en az 5 istasyon ihtiyacı duyulmaktadır. Bu noktada son olarak eklenmesi gerekir ki bu standartla birlikte artan yerleşke sayısı gerek duyulan araç sayısını da altıdan yediye yükseltmektedir.

Sonuç olarak çözüm kümeleri göz önünde tutulduğunda Model 2 çağrılarının değişken yapısını ele alarak hem servis merkezlerini hem de servis merkezlerinde konuşlanan araçları başarıyla gruplamaktadır.

6.2.1. Model 2'ye Araç Sayısı Limitinin Uygulanması

İktisadi amaçlarla, modelde geliştirmeye gidilmiş ve sistem genelinde kullanılabilinecek toplam araç sayısına bir kısıt getirilmiştir. Bu kısıtlamadaki gerekçe, modern bir ilk yardım aracının ATS bütçesine ilk maliyetinin bir istasyon kadar olması ve daha önemlisi bir ambulansın işletme maliyetinin gerekli personel ve bakım gibi yan maliyetler de göz önünde tutulduğunda toplam bütçeye dramatik şekilde etkilemesidir. Daha açık bir ifade ile toplam ve değişken maliyetleri göz önünde tutması gereken KV için ambulans kısıtlamalarının sunulması oldukça önemlidir.

Modelin belirtilen şekilde geliştirilmesi için bir ambulans sadece açık olan işletmeye atanabilir anlamına gelen ikinci amaç kısıdı genişletilmiş ve Eşitlik 6.4'de verilen kısıt modele eklenmiştir.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{T=1}^c T x_{jT} \leq \delta \quad \forall j \in J, T \in C \quad (6.4)$$

Eşitlik 6.4'de verilen δ değişkeni sistem genelinde kullanılabilinecek maksimum ambulans sayısını temsil etmektedir. Aynı zamanda modelde Eşitlik 5.16 ile toplam depo sayısına getirilen katiyet aşağıda verilen kısıt ile değiştirilerek, başka bir deyişle lineer gevşetme uygulanarak, modelin kendi sınırlarını optimum düzeyde belirlemesi sağlanmıştır. Diğer değişkenler, değişkenlerin tanımları ve fonksiyonlar ise daha önceki form ile aynıdır.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{S=1}^c x_{jS} \leq p \quad (6.5)$$

Geliştirilen model bölgeye uygulandığında elde edilen sonuçlardan seçilen çözüm kümeleri Tablo 6.6'da sunulmuştur. Görüldüğü üzere geliştirilen formülasyon ile ambulans ve talepler daha çok gruplanmaktadır. Aynı zamanda, bölgedeki mevcut talebin, belirlenen güven sınırları dâhilinde, daha az sayıda ATS merkezi ve daha az sayıda ambulans ile karşılanabileceği de gösterilmiştir. Üzeri çokça çizildiği üzere ATS planlayıcısı için çok maliyetli olan model uygulaması, Erlang Kayıp Modelinin ve olasılıksal modelin en iyi özelliği, talebin oluşma aşamasında rastsallaştırma

yönünü de içermesidir. Dolayısıyla gerçekliği Model 1'e kıyasla fazladır. Bu amaçla model, kaynak ihtiyaçlarına sınır getirmede veya performans düzeyinin belirlenmesinde alt sınır olarak kullanılabilir.

Tablo 6.6: Geliştirilen Model 2 için parametrelere bağlı çözüm kümeleri ($P_0=0.5$)

Parametreler	Açılan ATS Merkez No.	Atanan Araç Sayısı	Atanılan Talep Bölgeleri
$p=10, \delta=1$	1	1	3,5,6,11
$p=5, \delta=6$	1	3	2,3,4,8,11,13,14
	10	1	4,6,9,10
$p=2, \delta=7$	1	3	1,2,4,8,11,13,14
	10	1	4,6, 9,10

6.3. Benzetim Sistemi ve Sonuçlar

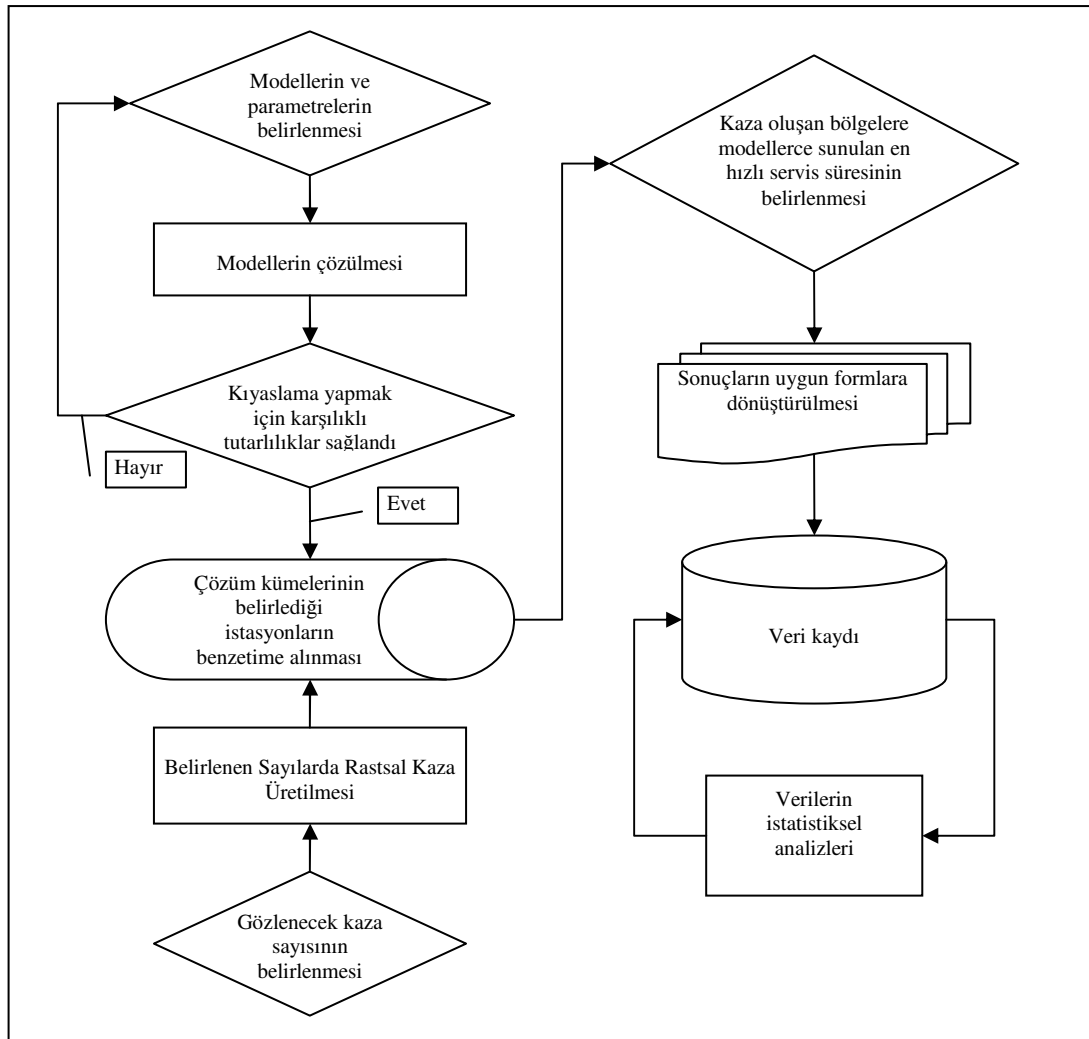
Bu bölümde ele alınan modellere çalışmanın amacında belirtilen özel amaçlardan ikinci ve üçüncüsüne ve belirtilen hipotezlere cevap aramak amacıyla Şekil 6.11'de akışı sunulan statik benzetim modeli kurgulanmıştır. Benzetim modelini yapısı ise aşağıda açıklanmıştır.

Benzetim çalışmasında ilk adım uygulamaya alınacak modellerin ve parametrelerinin son aşama olan kıyaslama da tutarlı olacak biçimde belirlenmesi gerekliliğidir. Her iki modelin de çok ölçütlü programlama formuna sahip olması ve amaç fonksiyon ağırlıkları barındırması ilk adımda kullanılacak ağırlıkları diğer parametreler gibi zorunlu kılmaktadır. Benzetim modelinin ikinci aşamasında ele alınan modeller seçilen parametrelerle çözülüp modellerce belirlenen ATS istasyonları çalışmaya alınmaktadır. Kıyaslama yapılacak modellerden elde edilen çözümler tanımsal olarak değerlendirilmekte ve uygulamada bu modeller arasında tutarlılık sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu tutarlılıkta aranan kriter oluşturulan parametreler ile elde edilen sonuçların araştırmacıların kendi uygulamalarında ortaya koydukları araştırma prensibini yansıtması ve elde edilen istasyon sayıları arasında büyük farklılıklar olmamasıdır.

Bir yandan çözümler geliştirilirken diğer taraftan ATS ihtiyacı duyulan kazalar rastsal olarak ve meydana gelmiş kaza oranları dikkate alınarak oluşturulmakta ve kazaların meydana geldiği şehirler belirlenmektedir. Rastsal oluşan kaza yerleri ile

modellerin bu taleplere en hızlı servis sağlayabildiği istasyonlardan ambulans gönderimi yapılmaktadır. Bu işlem sürdürülürken her kaza için modellerin sunduğu müdahale süreleri belirlenen formda kaydedilmektedir. Son olarak kaydedilen bu formlar son adımda uygulama amacına göre XLSTAT yazılımı (<http://www.xlstat.com/en/home/>) ile istatistik analize tabi tutulmaktadır. Çalışmada kullanılan istatistiksel analizler, sonuçları ile birlikte verilmiştir.

Benzetimde modellerin çözüm kümelerinde kullanılan gruplar ayrıştırılarak kaza oluşum yerleri kümeleme analizi sonucunda oluşturulan grup merkezleri yerine grubu oluşturan şehirler olarak kullanılmıştır. Bunun gerekçesi ise kapsama modelinin eksikliği olarak belirtilen talep noktalarının servis eşik değerinin altında bulunması durumunda eşit kalite düzeyi sağlayacağı düşüncesinin benzetim modelinden çıkarılmak istenmesidir.



Şekil 6.11: Kurgulanan benzetim modelinin akış şeması

6.3.1. Servis Sınır Eşiğinin Müdahale Süresine Etkisi

Servis sınır eşiğinin talep kapsama oranlarına, istasyon ve araç sayılarına olan etkisi Bölüm 6.1 ve Bölüm 6.2’de yapılan parametrik analizle sunulmuş ve farklı servis eşiklerinde modellerin farklı kapsama tanımlarına sahip oldukları ortaya konmuştur.

Bu bölümde ise farklı kapsama eşiklerinin araç yerleşim modeline dönüştürülen Model 1’e uygulanması ile model tarafından yerleşim yeri olarak seçilen istasyonların genel servis süresine etkisi olup olmadığı 3000 çalışma için benzetim modeli ile incelenmiştir. Benzetim modelinde karşılaştırmak üzere seçilen model parametreleri ise $w=1$ olan servis süreleri sırasıyla 12, 14, 15 ve 20 dakika olarak dört çözüm kümesi halinde teste dahil edilmiştir. $w=1$ seçilmesinin gerekçesi modelin yedek kapsamayı ele almayarak sadece servis sağlanan talep oranını en büyüklümesi istenmesidir. Dakika parametrelerinin seçiminde, bu parametrelerin 6.1’de analiz edilmiş olması ve farklı kümeleri içermeleri rol oynamıştır.

İstatistiksel analizde öncelikle müdahale sürelerinde farklılık olup olmadığının incelenmesi için grupların tek değişken değerlerine ayrıldığı durumlarda çok bağımsız grup verilerinin değerlendirilmesi için kullanılan tek yönlü varyans analizine başvurulmuştur.

Servis eşiği 20 dakikanın karşılaştırma değişkeni olarak belirlenerek yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 6.6’da özetlenmiştir. Burada kullanılan test Fisher F testi olup araştırmamızda F değerinin olasılığı 0.0001 bulunmuştur. Bunun anlamı varyans testinde sıfır hipotezi olan “servis eşiği değerinin müdahale süresine etkisi yoktur” reddedilmekte ve karar ile alınan risk sadece %0.1’dir.

Tablo 6.7: ANOVA tablosundan seçilmiş bölümler

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Ortalama Kareleri	F	Pr > F
Model	3	201867.255	67289.085	118.769	< 0.0001
Hata	11996	6796374.776	566.553		
Düzeltilen Toplam	11999	6998242.030			

Varyans testi ile sınır eşikleri ile elde edilen servis süreleri arasında dikkate değer farklılık olduğu saptanmıştır. Fakat bir adım daha ileri gidilerek müdahale süreleri içerisinde gruplandırılabilir benzerliklerin olup olmadığı, en çabuk ve en yavaş müdahale süresini belirlemek amacıyla ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

Literatürde birçok ikili karşılaştırma modeli bulunmaktadır, bu modeller en çok kullanılanı hiç kuşkusuz Tukey HSD testidir. Tukey testi, farklılıklar bulunduğu farkın tespiti için güçlü bir yöntem olmasına karşın özellikle birinci tip hatalarda eksiklikleri bulunmaktadır [35] (sayfa 469). Bu nedenle, Tukey testine ek olarak son dönemlerde sıklıkla kullanılmaya başlanan, Ryan-Einot-Gabriel-Welsch testi veya diğer adıyla REGWQ prosedürü de ikili karşılaştırılma için kullanılmıştır. İki testte de anlamlılık düzeyi %95 kullanılmış olup sonuçlar Tablo 6.8 ve Tablo 6.9’de özetlenmiştir.

Tablo 6.8: Tukey HSD tablosundan seçilmiş bölümler

Karşılaştırma	Fark	Ortalamaların Standart farkı	Kritik Değer	Pr > Fark	Anlamlı Fark
S=15dk. ve S=20dk.	11.208	18.237	2.569	< 0.0001	Evet
S=15dk. ve S=12dk.	7.067	11.499	2.569	< 0.0001	Evet
S=15dk. ve S=14dk.	4.074	6.629	2.569	< 0.0001	Evet
S=14dk. ve S=20dk.	7.134	11.608	2.569	< 0.0001	Evet
S=14dk. ve S=12dk.	2.993	4.870	2.569	< 0.0001	Evet
S=12dk. ve S=20dk.	4.141	6.738	2.569	< 0.0001	Evet
Tukey kritik değeri			3.634		

Tablo 6.9: REGWQ tablosundan seçilmiş bölümler

Karşılaştırma	Fark	Standart fark	Kritik değer	Pr > Fark	Alfa	Anlamlı fark
S=15dk.ve S=20dk.	11.208	18.237	2.569	< 0.0001	0.050	Evet
S=15dk.ve S=12dk.	7.067	11.499	2.344	< 0.0001	0.050	Evet
S=15dk.ve S=14dk.	4.074	6.629	2.344	< 0.0001	0.050	Evet
S=14dk.ve S=20dk.	7.134	11.608	2.344	0.000	0.050	Evet
S=14dk.ve S=12dk.	2.993	4.870	2.237	< 0.0001	0.025	Evet
S=12dk.ve S=20dk.	4.141	6.738	2.237	< 0.0001	0.025	Evet

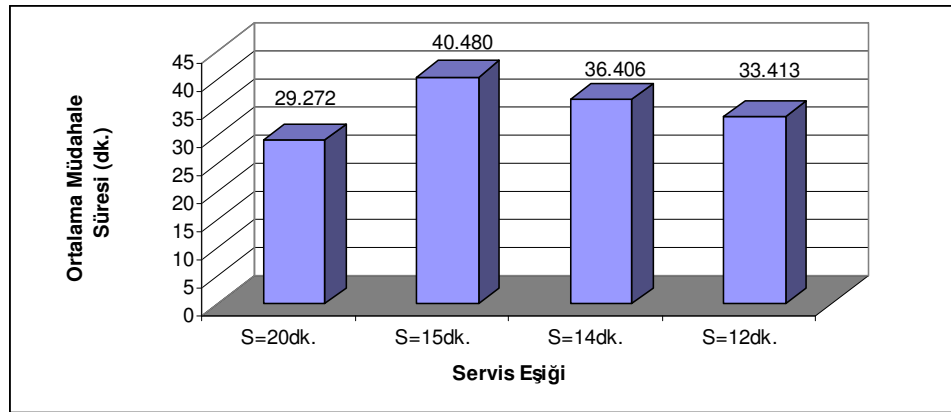
Tablo 6.8’de sunulan Tukey tablosu incelendiğinde kritik değer 3.634 olarak belirlendiği ve karşılaştırılan tüm ortalamaların standart farkı değerlerinin bu kritik değerden büyük çıktığı görülmüştür. Daha açık bir ifade ile Tukey HSD testi her

servis eşiği için belirlenen müdahale sürelerinin farklı olduğunu tespit etmiş ve hiçbir ikili için gruplama çıkarımı yapmamıştır.

Tablo 6.9’da sunulan REGWQ testinde ikili karşılaştırmalarda elde edilen standart farkları belirlenen kritik değerden büyük çıkmış ve sonuçların Tukey testi ile elde edilen sonuçları doğrulamakta olduğu gözlemlenmiştir. Başka bir ifade ile %95 güvenle ele alınan hiçbir örneklemin bir değerine benzediği söylenemez.

Bu durum benzetim modeli sonuçları analizi neticesinde elde edilen bulguların, deney tasarımından ifade edilen araştırma hipotezlerinden Hipotez 1’i desteklediğini göstermektedir.

Hangi parametreye sahip grubun daha hızlı veya daha yavaş müdahale süresi ürettiğinin belirlenmesi için artık modellerin ortalama müdahale sürelerinin incelenmesi gerekmektedir. Şekil 6.12’de kullanılan kapsama eşikleri ve iki istasyon kısıdı ile elde edilen çözüm kümelerinin kullanılması ile sistemde beklenen müdahale süreleri sunulmuştur. Şekilde şaşırtıcı olarak en hızlı müdahale kapsama eşiğinin 20 dakika için elde edildiği ve diğer üç parametre için bu değer kademeli olarak düştüğü görülmektedir. Şekil daha önce saptanan planlamacının belirlemesi gereken servis standardının çözüme ciddi biçimde yansıtacağı düşüncesini açık biçimde desteklemektedir.



Şekil 6.12: Müdahale sürelerinin servis eşik değerine göre değişimi

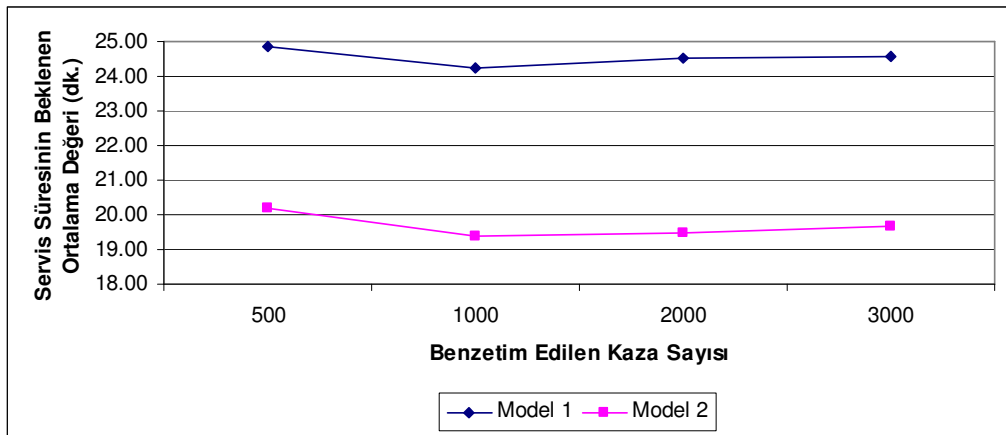
Bu durum benzetim modeli sonuçları analizi neticesinde elde edilen bulguların, deney tasarımından ifade araştırma hipotezlerinden Hipotez 2’yi desteklediğini göstermektedir.

6.3.2. Model 1 ve Model 2'nin Müdahale Süreleri ile Karşılaştırılması

Bölüm 6.1 ve 6.2'de Model 1 ve Model 2 oluşturdukları çözüm kümeleri üzerinden tanımsal olarak değerlendirilmiştir. Bu bölümde ise iki modelin özgün formları ile belirlenen parametrelerle oluşturulan çözüm kümelerinin kurgulanan benzetim sistemine uygulanmış ve iki modelin ürettiği müdahale süreleri incelenerek istatistiksel kıyaslamalar sonuçları sunulmuştur.

Benzetim sisteminde Model 1 için $w = 0.999999$, servis eşiği 15 dakika ve maksimum yerleşke sayısı 5 için üretilen çözüm kümesi ele alınırken Model 2 için $P_0=0.5$ ve yerleşke sayısına sınır getirilmeyen çözüm kümesi kullanılmıştır. Belirtilen parametrelerin kullanılma gerekçesi ise, Model 1 için kullanılan yerleşke sayısının belirtilen parametrelerle Hogan ve ReVelle'nin çalışmalarında araştırdıkları dengeyi en iyi yansıtan sonuçları veriyor olmasıdır. Ayrıca Model 1'de temel kapsamaya sonsuz öncelik atanarak ikinci modele getirilmeyen istasyon sayısı düzensizliği dengelenmek istenmiştir. Model 2 için kullanılan parametreler ise Alsalloum ve Rand'ın çalışmalarında kullandıkları parametrelerdir.

Benzetim modeli, belirtilen çözüm kümeleri için sırasıyla 500, 1000, 2000 ve 3000 kez çalıştırılmış ve iki çözüm kümesinin belirlediği istasyonların ortalama ambulans servis sürelerine etkisi Şekil 6.13'de sunulduğu biçimde gözlenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere benzetim sistemine göre Model 1'in müdahale süresi 24.22 ile 24.86 dakika arasında Model 2'nin müdahale süresi daha olumlu tanımlanabilecek şekilde daha küçüktür olup 19.20 ile 20.18 dakika arasında benzetim çalıştırma sayısına göre değişim göstermiştir.



Şekil 6.13: Model 1 ve Model 2'nin ortalama müdahale süreleri

Tablo 6.10: Betimletici istatistik tablosundan seçilen bölümler

İstatistik	Model1	Model2
Gözlem sayısı	3000	3000
Minimum	6.442	4.218053
Maksimum	74.094	44.50239
Minimum frekansı	155	6
Maksimum frekansı	1	1
Aralık	67.652	40.28434
İlk çeyrek	22.827	15.50767
Medyan	28.589	21.236
Toplam	73697.972	58931.32
Ortalama	24.566	19.64377
Varyans (n)	83.672	59.37333
Standard sapma (n)	9.147	7.705409
Standard hata	0.167	0.140704
Ortalama alt sınırı (95%)	24.238	19.36789
Ortalama üst sınırı (95%)	24.894	19.91966

Üç bin benzetim çalışması sonucunda Model 1 ve Model 2 için ortaya çıkan müdahale sürelerine dair tanımlayıcı istatistiği Tablo 6.10’da sunulmuştur. Tabloda gözlenen en önemli bulgu, modeller için ortalama servis süreleri ve servis sürelerinin %95 güven düzeyindeki beklenen alt ve üst limitleridir. Görüldüğü üzere Model 2 ile oluşturulan yerleşim yapısı 20 dakikanın altında müdahale süresi ortaya koyarken Model 1 için bu süre 24 dakikanın üstüne çıkmaktadır. Aynı zamanda gözlemlerde sunulan minimum ve maksimum servis süreleri de anlamlı bulgulardır. Aynı tabloda görüldüğü üzere Model 2 hem en yavaş müdahale süresi kriteri için en küçük değeri, 44.50 dakika, barındırarak pişmanlığın en küçüklenmesinde (mini-maks) hem de en hızlı müdahale süresi kriteri için yine en küçük değeri, 4.22 dakika, barındırarak en hızlı servis sağlamada Model 1’e göre üstünlük göstermiştir.

Tabloda açıklanması gereken önemli bir nokta Model 1 ile 15 dakika servis sınırı tanımlanmasına karşın servis süresinin beklenen değerinin 25 dakikaya kadar çıkmış olmasıdır. Hiç şüphesiz değeri bu kadar artıran neden Modellerin merkezlere olan uzaklıkları ile tanımlanıp çözüme gidiliyor olması ve bunun yanında Model 1’de kullanılan 0,1 kapsama tanımıdır. Daha açık bir ifade ile Model 1, 0,1 kapsama tanımı ile 15 dakika kapsama çemberinin hemen üstünde yer alan kitle merkezli talep ile 15 dakika kapsama çemberinin içerisinde yer alan talep arasında bir yarım yapmamakta ve talep bileşenlerine ayrıldığında (disaggregate) oluşan müdahale süreleri servis eşiğinin üstüne çıkabilmektedir. Model 2 ise bölüm 5.2’de belirtildiği

gibi kapsama tanımını kapsama olasılığı olarak geliştirerek salt bölge merkezine uzaklıklar değil bu uzaklığın çevresine de servis yapma kıyaslamasını modeline eklemektedir.

İki modelin ürettiği müdahale sürelerinde anlamlı bir benzerlik olup olmadığının istatistiksel analizi için ise tek yönlü varyans testine başvurulmuştur. Varyans analizi sonucunda çoklu belirleyicilik katsayısı 0.31 bulunmuştur. Çoklu belirleyicilik katsayısı, modellenen değişkenlerin (servis sürelerinin) açıklayıcı değişkenlerle (Model 1 ve Model 2) ne oranda ilişki kurduğunu göstermektedir ki 0.31 gibi göreceli olarak düşük bir değer servis süresi değişiminin modellerin farklılığıyla sadece %31 oranda tanımlanabileceği gösterilmiştir. Varyans analizi sonuç tablosundan seçilmiş bölümler Tablo 6.10'da sunulmuştur. Tabloda verildiği üzere varyans analizi sonucunda Fisher F testinde F tanım değerinin olasılığı 0.0001 bulunmuştur. Bunun anlamı varyans testinde sıfır hipotezi olan "Model 1 ve Model 2'nin müdahale süresine etkisi yoktur" u reddedilmekte ve reddedilmesiyle alınan risk %0.1'dir. Böylece Model 1 ve Model 2 ile üretilen müdahale sürelerinde anlamlı bir farkın olduğunu güvenle söyleyebiliriz.

Bu durum benzetim modeli sonuçları analizi neticesinde elde edilen bulguların, deney tasarımından ifade edilen araştırma hipotezlerinden Hipotez 3'ü desteklediğini göstermektedir.

Tablo 6.11: ANOVA tablosundan seçilmiş bölümler

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Ortalama Kareleri	F	Pr > F
Model	1	201867.255	77461.112	1338.066	< 0.0001
Hata	2998	6796374.776	57.890		
Düzeltilen Toplam	2999	6998242.030			

ANOVA testinin anlamlı fark bulmasıyla sonraki son hipotezimiz, Hipotez 4, olan Model 2'de olasılıksal olarak Model 1'den daha küçük müdahale sürelerinin test edilebilir olduğu görülmüştür.

Bu noktaya kadar yapılan istatistiksel analizler ele alınan verilerin normal dağılıma veya en azından bir gruplaşma gösteren (uni-modal) dağılımlara uyması koşulunu içermektedir. Ele aldığımız gibi gerçek veri yapılarındaki gibi dağılım hakkında fazla

fikir sahibi olmadığımız durumlarda parametrik olmayan testler kullanılmaktadır. Bu parametrik testlerden, iki bağımsız örneği tek faktör ile karşılaştırmada sıklıkla kullanılan Mann-Whitney ve Wilcoxon İşaret testleri olasılıksal analizlerde değişkenlerden birinin diğerinden büyük olup olmadığı için kullanılmaktadır [35] (sayfa 568). Birbirine oldukça benzeyen bu iki testin temel farkı Mann-Whitney testi iki bağımsız değişkenin oluşturduğu sonuçların farkları ile sıralama yaparken Wilcoxon İşaret testinin sonuçlarının birebir kıyaslamasıdır. Bu bilgiler ışığı altında daha önce ortalama değeri olarak daha hızlı müdahale süreleri geliştirdiği izlenen Model 2'nin olasılıksal olarak Model 1'den daha düşük müdahale sürelerine sahip olup olmadığının tespiti için “Mann-Whitney U” ve “Wilcoxon İşaret” sol kuyruk testleri 0.05 önem düzeyi ile uygulanmıştır. Tablo 6.10'da iki testin sonuçları sunulurken iki teste kullanılan hipotez testleri aşağıda sunulmuştur.

Mann-Whitney U testinde kullanılan hipotezler;

- H_0 ; Model 1 ve Model 2'den alınan iki örneklemin yer parametreleri (location parameters) farklı değildir,
- H_1 ; Model 2'den alınan örneklemlerle Model 1'den alınan örneklem farkı sıfırdan küçüktür.

Wilcoxon İşaret testinde kullanılan hipotezler,

- H_0 ; Model 1 ve Model 2'den alınan iki örneklemin dağılımları birbirinden farklı değildir,
- H_1 ; Model 1'den alınan örneklemin dağılımı Model 2'den alınan örneklemin soluna kaymaktadır.

Tablo 6.12: Mann-Whitney U ve Wilcoxon İşaret testi tabloları

Wilcoxon İşaret		Mann-Whitney U	
V	583302	U	2489082
Beklenen Değer	2223607.5	Beklenen Değer	4500000
Varyans (V)	2200564213	p-değeri (sol kuyruk)	< 0.0001
p-değeri (sol kuyruk)	< 0.0001	alfa (α)	0.05
alfa (α)	0.05		

Tablo 6.10'dan görüldüğü gibi uygulanan her iki testte elde edilen p değerleri belirlenen önem düzeyinden (α) küçük çıkmış ve iki testte de sıfır hipotezleri %95 güvenle reddedilerek, Model 2'nin Model 1'e göre daha olumlu sonuçlar ürettiğini destekleyen alternatif hipotezler kabul edilmiştir.

Bu durum benzetim modeli sonuçları analizi neticesinde elde edilen bulguların, deney tasarımından ifade edilen araştırma hipotezlerinden Hipotez 4'ü desteklediğini göstermektedir.

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, temel kapsama modelinin geliştirilmiş iki formu ele alınmıştır. Bu iki formdan birincisi Hogan ve ReVelle'nin yedek kapsama modeli (Model 1), diğeri Alsalloum ve Rand'ın olasılıksal kapsama modelidir (Model 2).

Model 1 ve Model 2 çok amaçlı matematiksel formülasyona sahip olup iki amacı (Model 2 için hedefi) matematiksel tanımlarında taşımaktadırlar. Birbiriyle çelişen iki amaç veya hedefi içeren iki model, bir amacın diğere tercihini belirleyen önem dereceleri ile ağırlıklandırılarak çözüme gitmektedirler ki özellikle Model 1'de ağırlıklandırmalar için yapılacak parametrik analizlerle ve finanssal gerekçelerle kısıtlı olan kaynağın farklı biçimlerde nasıl dağıtılabileceği gösterilmiştir. Bunun en güzel örneklerinden biri servis sınırı 10 dakika ve araç sayısı 7 adet için sunulmuştur. Elde edilen sonuca göre, Model 1'de birinci amaç olan servis sınırı içerisine dahil edilen talebin en büyüklenmesine 0.86 ağırlık (toplam ağırlığın %86) yerine azaltılarak 0.85 ağırlık atanmasıyla servis sınırı içerisine alınan nüfusta %3.02'lık düşüş olması fakat formülasyonda ikinci amaç ile ifade edilen iki kere kapsanan talepte %42.50'luk artış oluşmasıdır. Başka bir deyişle servis sınırı içerisinden toplam talebin çok küçük bir kısmı çıkarılırken talebin zaman içerisinde değişen yapısı ve ağda oluşacak tıkanıklar nedeniyle servis sağlanamayabilinecek talepte aynı kaynakla büyük düşüş sağlanabileceği gösterilmiştir.

Model 1 her ne kadar ikinci sunucu tanımını içerse dahi talebin olasılıksal yapısını açık biçimde ele almamaktadır. Aynı zamanda, sunucu tanımı ile araç sayısını kapasite olarak tanımlamakta fakat tam olarak bir istasyona yerleştirilmesi gerekli araç sayılarını belirtmemektedir. Buna ek olarak, ATS araçlarının işletim maliyetleri oldukça yüksektir. Bu gerekçelerle, Model 1 geliştirilmiş ve ATS istasyon belirleme modeline dönüştürülmüştür. Geliştirilen formda kapsama problemlerinin temelini teşkil eden servis eşiği tanımı test edilmeye başlanmıştır.

Yapılan parametrik analizlerde deney öncesinde belirlenen servis eşiğinin (S) sonuçları nasıl değiştirdiği gözlenmiştir. Daha açık bir ifade ile servis eşiğinin değiştirilmesiyle hem kapsama içerisine alınabilecek maksimum talep oranının hem de bunun sağlanması için gerekli araç ve/veya istasyon sayısının nasıl değiştiği gösterilmiştir. Bunun en güzel örneği, kapsama eşiği 12 ve 13 dakikayken gözlenmiştir. İki eşik değeri için kapsanabilecek maksimum nüfus sayısı eşitken bu kapsama oranını sağlayan minimum araç sayısı 12 dakika servis eşiği için 6, 13 dakika için ise 5'dir.

Buna ek olarak planlamacının belirleyeceği maksimum istasyon sayılarının sonuçları nasıl etkilediği geliştirilen Model 1 için araştırılmıştır. Bu analizde elde edilen en güzel örnek servis eşiği 15 dakika ve birinci amaca sonsuz öncelik verilmesi için gözlenmiştir. Bu örnekte, 5 istasyon yerine 4 istasyon açılması ile dört istasyon ile hiç sağlanamayan yedek kapsanan talebin %75'i beşinci istasyon ile temel kapsama oranı düşmeden sağlanabileceği gösterilmiştir.

Kaynakların artışı ile sağlanan servis artışı ilişkisine başka örnekler vermek mümkündür fakat daha önce bahsedildiği üzere kurumlar bugün bütçe kısıtlamalarına gitmektedir ki ATS'lerde kısıtlanan bütçeler içindedir. Bu nedenle, başka bir çalışma ile mali analizlerin yapılması faydalıdır. Bu mali analizlerde fayda maliyet ilişkisinin hem açılacak istasyonları hem de işletmeye alınacak araçları içerecek biçimde ortaya konmasında fayda görülmektedir.

Parametrik analizlerle servis eşiğindeki değişimin kapsama sağlanabilecek nüfusa etkisi ortaya konduktan sonra bu servis eşiğinin ATS planlarında önemli bir performans ölçütü olan müdahale sürelerine etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. Bu amaçla bir benzetim sistemi kurgulanmış ve dört farklı servis eşiği benzetim içerisinde çalıştırılmış ve ürettikleri müdahale süreleri istatistiksel olarak test edilmiştir. Eşik değerlerinin ürettiği müdahale sürelerinin benzer olup olmadığının belirlenmesi için ANOVA, eşik değerlerinin ürettiği servis sürelerinin ikili kıyaslanması için ise Tukey HSD ve Wilcoxon işaret testleri kullanılmıştır. Testler sonucunda servis sürelerinin müdahale süresini etkilediği ve müdahale süreleri ortalamaları incelendiğinde servis eşiğinin küçültülmesi ile daha hızlı müdahale sağlanmadığı belirlenmiştir.

Bu noktada, ATS sistem yöneticilerinin planlama öncesinde eldeki kaynaklar, amaçlar ve bölge şartları doğrultusunda ilk olarak bu eşik değerini analiz ederek belirlemeleri gerekliliği ortaya konmuştur. Bu en güzel biçimde, Montreal için 17 [12] ve New York için 12 dakika [10] belirlenmiş eşik değerlerinin değil 20 dakika servis eşliğinin bölge için daha olumlu sonuçlar doğurabileceğinin ortaya konmuş olmasıyla açıklanabilir.

Çalışmada ikinci olarak Model 2 ele alınmıştır ve çözüm kümeleri incelendiğinde modelin en önemli özelliğinin beklenen talep ile olasılıksal talebi, yoğun talep bölgelerine atanan istasyonları bölgeler talebe benzer uzaklıkta olsa dahi farklı seçerek, sağladığı görülmüştür.

Bunun yanında, Model 1 için sunulan aynı gerekçelerle Model 2 için de geliştirmelere gidilmiştir. Model 2 tanımsal olarak yerleşim yerlerini belirlemekte ve daha sonra seçilen bu yerleşim yerlerine talebin olasılıksal değişimini de göz önünde tutarak araç atamaktadır. Bu yönden dikkat edildiğinde Model 2 içerisinde açık ifade edilen bir araç kısıtlaması bulunmamaktadır. Model 2 tekrar ele alınarak formülasyona bir araç kısıdı eklenmiş ve modelde tanımsal değişiklikler yapılarak KV'nin bu araç sayısını belirleyebilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen modelin çözüm kümeleri dikkate alındığında toplam talebin hem daha az araç hem de daha az istasyon sayısı ile karşılanabileceği gösterilmiştir. Bu noktada, geliştirilen modelin benzer bir planlama yapmak isteyen kurumlarca alt sınır olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmada son olarak, Model 1 ve Model 2 kurgulanan benzetim sistemine alınmış ve belirlenen parametrelerde ürettikleri müdahale sürelerine göre istatistiksel olarak kıyaslanmışlardır. İstatistiksel analizlerde iki modelin müdahale sürelerinin farklı olup olmadığının testi için yine tek yönlü varyans testi kullanılmışken modellerden hangisinin daha kısa müdahale sürelerine sahip olduğunun tespiti için parametrik olmayan iki test, Mann-Whitney U ve Wilcoxon İşaret testi kullanılmıştır. Testler neticesinde iki modelin bölgeye sağladığı müdahale sürelerinin farklı olduğu ve Model 2'nin belirlenen parametrelere ve benzetim modeli çıktılarına göre ele alınan bölgeye daha olumlu müdahale süresi sağladığı ve ortalama olarak 5 dakika daha hızlı servis sunduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Sherali, H.D. and Subramanian, S.**, 1999. Opportunity Cost-Based Models for Traffic Incident Response Problem, *Journal of Transportation Engineering*, **125 (3)**, 176-185.
- [2] **Petrites, S.D. and Davis H.E.**, 1998. Intelligent Transportation Systems ITS Projects Book., US Department of Transportation. Washington, D.C., January 1998.
- [3] **Bulut, A., Çandır, M., Yıldız, S., Altın, R., Altındal, B., Kakillioğlu, T., Özer, B., Bumin, M.A. and Hedman, K.O.**, 2001. Ulusal Trafik Güvenliği Raporu, Ankara, Türkiye.
- [4] **Farradyne, P.D.**, 2000. Traffic Incident Management Handbook, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, **Publication No. DOT.T.01.01**, Washington DC, USA.
- [5] **Ang-Olson, J.**, 2006. Simplified guide to the incident command system for transportation professionals, US Department of Transportation Federal Highway Administration. Report No. FHWA-HOP-060004, Washington, ABD.
- [6] **Pozen, M., Fried, D. and Voigt, G.**, 1977. Studies of ambulance patients with isochemic heart disease, *American Journal of Public Health*, **67**, 527-541.
- [7] **Reines, H.**, 1984. The effect of transit time on mortality from major trauma, 44th Annual Session of the American Association for the Surgery Trauma, New Orleans, ABD.
- [8] **Current, J. and Storbeck, J.**, 1988. Capacitated Covering Models, *Environment and Planning*, **15**, 153-164
- [9] **Sorensen P.A.**, 2001. Locating resources for the provision of emergency medical services, *PhD Thesis*, University of California Santa Barbara, Santa Barbara, CA.
- [10] **Hogan, K. and ReVelle, C.**, 1986. Concepts and applications of backup coverage, *Management Science*, **32.**, 1434-1444.
- [11] **Alsalloum, O.I. and Rand, G.K.**, 2006. Extensions to Emergency Vehicle Location Models, *Computer and Operations Research*, **33**, 2725-2743.

- [12] **Goldberg J., Dietrich R., Chen J.M., Mitwasi, M.G., Valenzula T., Criss, E.**, 1990. Validating and applying a model for location medical services in Tuscon AZ, *European Journal of Operational Research*, **49**, 308-324.
- [13] **Fitzsimmons, J.A.**, 1973. A Methodology for Emergency Ambulance Employment, *Management Science*, **19**, 627-636.
- [14] **Corringan, W.A.**, 2005. Travel time estimation for emergency medical vehicles with applications to location models, *PhD Thesis*, University of California Santa Barbara, Santa Barbara, CA.
- [15] **Xiao, W.**, 2004. CARTS: Central Arkansas regional transportation strategy, Metroplan of Arkansas, Mayıs 2004.
- [16] **Torbic, D., Chew, J., Light, M., Kirkwood, H., Miller D., Pfefer, R., Neuman, T.R., Slack, K.L., Hardy, K.K.**, 2005. NCHR Report 500: A Guide for Enhancing Rural Emergency Medical Services, *Transportation Research Board of National Academies*, Report 500, Volume 15, Washington DC, USA.
- [17] **Ziliaskopoulos, A.K. and Mahmassani, H.S.**, 1993. Time-Dependent, shortest-path algorithm for real-time intelligent vehicle highway system applications, *Transportation Research Record*, **1408**, 94-100.
- [18] **Iskander, W.H.**, 1989. Simulation modeling for emergency medical services, *Proceedings of the 1989 Winter Simulation Conference*, Washington, ABD, 4-6 Aralık.
- [19] **Cherrie, W.W. and Dickson K.W.**, 2006, e-government integration with web services and alerts: a case study on an emergency route advisory system in Hong Kong, *Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences*, Hawaii, ABD, 4-7 Ocak.
- [20] **Patterson, P.D.**, 2004. Potentially inappropriate utilization of emergency medical services across rural and urban Areas, *PhD Thesis*, Arnold School of Public Health University of South Carolina, Columbia, CA.
- [21] **ReVelle, C.**, 1991. Siting ambulances and fire companies, *Journal of the American Planning Association*, **57**, issue 4.
- [22] **ReVelle, C. and Snyder, S.**, 1995. Integrated Fire and Ambulance Siting: A deterministic model, *Socio-Economic Planning Science*, **29**, 261-271.
- [23] **Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. and Bergman, L.**, 1971. The location of emergency service facilities, *Operations Research*, **19**, 1363-1373.
- [24] **Church, R.L. and ReVelle, C.**, 1974. The Maximal Covering Location Problem, *Papers Regional Science Association*, **32**, 101-118.
- [25] **Eaton, D., Hector, M., Sanchez, U., Lantigua, R. and Morgan, J.**, 1986. Determining ambulance deployment in the Santo Domingo,

Dominican Republic. *Journal of the Operational Research Society*, **37**, 113-126.

- [26] **Daskin, M.S. and E. Stern.**, 1981. A Multi-Objective Set Covering Model for EMS Vehicle Deployment, *Transportation Science*, **15**: 137.
- [27] **ReVelle, C. and Hogan. K.**, 1989. The Maximum Availability Location Problem, *Transportation Science*, **23**, 192-200.
- [28] **Galvao, R.D., Chiyoshi, F.Y., Morabito, R.**, 2005. Towards unified formulations and extensions of two classical probabilistic location models. *Computers & Operations Research*, **32**, 15-33.
- [29] **Daskin, M.S., Hogan, K. and ReVelle, C.**, 1988. Integration of Multiple, Excess, Backup, and Expected Covering Models, *Environment and Planning*, **15**, 15-35.
- [30] **ReVelle, C.**, 1989. Review, Extension and Prediction in Emergency Siting Models, *European Journal of Operations Research*, **40**, 58-69.
- [31] **Pirkul, H. and Schilling, D.A.**, 1988. Siting of Emergency Medical Facilities with Workload Capacities and Backup Coverage, *Management Science*, **34**, 896-908
- [32] **Garfinkel, R.S., Neebe, A.W. and RAO, M.R.**, 1977, The m-Center Problem: Minimax Facility Location, *Management Science*, **13B**, 1133-1142
- [33] **Hillier, F.S. and Lieberman, G.J.**, 2005. Introduction to Operations Research, McGraw Hill, 8th Edition, New York, US.
- [34] **Scharge, L.**, 2001. Optimization Modeling with LINGO, LINDO Systems Inc., 4th edition, Chicago, IL.
- [35] **Tamhane, A.J. and Dunlop, D.D.**, 2000. Statistics and Data Analysis, Prentice Hall, New Jersey, US.

EK. A

Çalışmada kullanılan şehirler; şehirlere dair kaza istatistikleri; şehirlerin bağlı oldukları bölgeler; şehirlerin çalışmada yapılan kümeleme analizine göre dahil oldukları kaza grupları; şehirlerin ve kaza gruplarının merkez koordinatları; gruplara ait toplam ambulans ihtiyacı olan kaza sayıları, bu gruplarda meydana gelmiş ambulans ihtiyacı olan kazaların toplam kazalara oranı (b_i) ve son olarak bu kaza merkezlerinde bir saatte talep oluşma oranı (λ_i) tablo boyutları gerekçesiyle üçe ayrılıp sunulan Tablo A.1, Tablo A.2 ve Tablo A.3 içerisinde özetlenmiştir.

Tablo A.1: Kaza gruplarının tanımsal özellikleri ve ambulans ihtiyacı duyulan kaza istatistiksel verileri (kaza grubu 1, 2, 3)

GRUP NO	BÖLGE ADI	ŞEHİR ADI	ŞEHİR KAZA SAYISI	ŞEHİR KOORDİNATLARI		MERKEZ KOORDİNATLARI		GRUP KAZA SAYISI	b_i	λ_i
				x	y	x	y			
1	FAULKNER	BONO	4	400	97	413	141	457	0.011	0.013
		GREENBRIER	277	413	141					
		GUY	35	388	156					
		TWIN GROVES	9	475	74					
		WOOSTER	34	432	102					
		SPRING HILL	2	381	130					
	VAN BUREN	QUITMAN	71	411	162					
		DAMASCUS	25	406	82					
2	FAULKNER	ENOLA	17	484	231	479	208	283	0.007	0.008
		HAMLET	4	487	174					
		MT VERNON	22	442	210					
		VILONIA	116	479	208					
		BARNEY	2	486	175					
		HOLLAND	7	480	158					
		NAYLOR	7	509	144					
		OTTO	2	480	136					
	WHITE	ROSE BUD	79	519	188					
		EL PASO	27	524	98					
3	LONOKE	AUSTIN	20	562	244	555	251	2081	0.049	0.059
		CABOT	1428	548	256					
		WARD	147	572	232					
		WOODLAWN	11	598	280					
		BUTLERVILLE	4	617	256					
	WHITE	BEEBE	471	599	215					

Tablo A.2: Kaza gruplarının tanımsal özellikleri ve ambulans ihtiyacı duyulan kaza istatistiksel verileri (kaza grubu 4, 5, 6, 7, 8, 9)

GRUP NO	BÖLGE ADI	ŞEHİR ADI	ŞEHİR KAZA SAYISI	ŞEHİR KOORDİNATLARI		MERKEZ KOORDİNATLARI		GRUP KAZA SAYISI	b_i	λ_i
				x	y	x	y			
4	LONOKE	CARLISLE	117	646	340	609	340	721	0.017	0.021
		FURLOW	42	532	338					
		LONOKE	561	590	340					
	PULASKI	GALLOWAY	1	506	342					
5	LONOKE	SOUTH BEND	7	535	314	514	304	2288	0.054	0.065
	PULASKI	GRAVEL RIDGE	47	493	280					
		JACKSONVILLE	2216	484	301					
		MACON	18	478	268					
6	PULASKI	SHERWOOD	1658	472	326	472	326	1658	0.039	0.047
7	LONOKE	COY	14	553	421	564	447	131	0.003	0.004
		ENGLAND	67	564	447					
		HUMNOKE	24	600	449					
		KEO	14	602	459					
		STUTTGART	3	597	420					
		ALLPORT	2	643	448					
		BLAKEMORE	1	633	446					
		TOMBERLIN	1	549	407					
		SCOTT	2	520	380					
	ARKANSAS	FAYETVILLE	3	718	462					
8	PULASKI	HENSLEY	6	473	376	457	430	168	0.004	0.005
		SWEET HOME	14	438	414					
		COLLEGE STATION	8	465	385					
		IRON SPRINGS	24	475	422					
		PARKERS	1	477	454					
		WOODSON	1	478	464					
		WRIGHTSVILLE	34	436	428					
	SALINE	EAST END	1	429	443					
	JEFFERSON	READFIELD	77	488	491					
	GRANT	SHERIDAN	1	426	486					
		SOUTH HILL	1	408	552					
9	SALINE	SALEM	3	392	436	379	421	181	0.004	0.005
		BROOKS	2	342	385					
		SHANNON HILLS	79	379	421					
		BRAYNT	22	392	408					
		AVILLA	1	351	408					
	PULASKI	ALEXANDER	74	410	412					

Tablo A.3: Kaza gruplarının tanımsal özellikleri ve ambulans ihtiyacı duyulan kaza istatistiksel verileri (kaza grubu 10, 11, 12, 13, 14)

GRUP NO	BÖLGE ADI	ŞEHİR ADI	ŞEHİR KAZA SAYISI	ŞEHİR KOORDİNATLARI		MERKEZ KOORDİNATLARI		GRUP KAZA SAYISI	b_i	λ_i
				x	y	x	y			
10	SALINE	WOODLAND	3	278	345	340	438	4473	0.105	0.128
	HOT SPRINGS	HOT SPRINGS	4	257	528					
	SALINE	MALVERN	1	274	417					
		NANCE	2	261	446					
		BENTON	1009	340	438					
		HASKELL	501	364	441					
		BAUXITE	501	322	465					
		TRASKWOOD	3	316	487					
		CROWS	2	255	415					
	OWENSVILLE	1	273	445						
	GRANT	TULL	3	345	490					
GARLAND	HOTSPRINGSVİLLAGE	2443	191	390						
11	FAULKNER	MAYFLOWER	256	400	263	394	279	688	0.016	0.02
	FAULKNER	MORGAN	21	377	278					
	PULASKI	MAUMELLE	373	406	303					
		MONNIE SPRINGS	2	381	306					
		NATURAL STEPS	10	372	287					
		ROLAND	12	418	294					
	PERRY	BIGELOW	14	341	273					
12	FAULKNER	CONWAY	3517	393	206	393	206	3518	0.083	0.1
	CONWAY	MENIFEE	1	352	179					
13	PULASKI	NORTH LITTLE ROCK	7010	458	347	458	347	7010	0.165	0.2
14	PULASKI	LITTLE ROCK	18894	449	358	449	358	18895	0.444	0.539
		CAMMACK VILLAGE	1	427	343					

EK. B

Farklı araç sayısı (p), kapsama eşiği (S) ve ilk amaç fonksiyonu ağırlığına bağlı olarak Model 1'in belirlediği, açılması gerekli acil servis istasyonları, bu istasyon ve araçlarla temel ve yedek kapsama sağlanan talep merkezleri, kapsama ve yedek kapsama sağlanan talep oranları tablo boyutları gerekçesiyle üçe ayrılıp Tablo B.1, Tablo B.2 ve Tablo B.3 içerisinde sunulmuştur.

Tablo B.1: Model 1 için farklı p , S ve w değerleri ile elde edilen çözüm kümeleri (servis eşiği 30, 25, 20 dk.)

p	Acil Servis	Kapsanan Bölgeler	Yedek Kapsanan Bölgeler	Birincil Kapsanan Talep Miktarı	Yedek Kapsanan Talep
$S = 30\text{dk.}$					
$w = 1$					
1	4	1,2,5,6,8,9,10,11,12,13,14	-	93.1	-
2	1,4	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	-	100	-
$w = 0.999999$					
1	4	1,2,5,6,8,9,10,11,12,13,14	-	93.1	0
2	1,4	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	1,2,5,6,8,9,11,12,13,14	100	82.59
3	1,4,10	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	1,2,5,6,8,9,10,11,12,13,14	100	93.1
4	1,2,4,10	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	100	100
$S = 25\text{dk.}$					
$w = 1$					
1	1	2,3,4,5,6,8,11,12,13,14	-	87.68	-
2	1,10	2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	-	98.61	-
3	3,4,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	-	100	-
$w = 0.999999$					
1	1	2,3,4,5,6,8,11,12,13,14	-	87.68	0
2	1,10	2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	8,13,14	98.61	61.27
3	3,4,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,5,6,8,9,11,13,14	100	73.25
4	1,3,4,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,3,4,5,6,8,9,11,12,13,14	100	88.1
5	1,3,4,10,16	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	100	98.62
6	3,4,5,7,10,16	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	100	100
$S = 20\text{dk.}$					
$w = 1$					
1	1	2,3,5,6,11,12,13,14	-	85.59	-
2	1,10	2,3,5,6,8,9,10,11,12,13,14	-	96.92	-
3	2,5,10	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	-	99.69	-
4	1,5,7,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	-	100	-
$w = 0.999999$					
1	1	2,3,5,6,11,12,13,14	-	85.59	0
2	1,10	2,3,5,6,8,9,10,11,12,13,14	-	96.92	0
3	2,5,10	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	2,11	99.69	2.28
4	1,5,7,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,3,5,6,11,12	100	24.71
5	1,2,5,9,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,3,4,5,6,8,11,12,13,14	100	87.68
6	1,2,5,9,10,19	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	2,3,4,5,6,8,10,11,12,13,14	100	98.12

Tablo B.2: Model 1 için farklı p , S ve w değerleri ile elde edilen çözüm kümeleri (servis eşiği 15, 14, 13, 12, 10 dk.)

p	Acil Servis	Kapsanan Bölgeler	Yedek Kapsanan Bölgeler	Birincil Kapsanan Talep Miktarı	Yedek Kapsanan Talep
$S = 15\text{dk.}$					
$w = 1$					
1	3	3,4,5,6,13,14	-	76.74	-
2	3,5	1,2,3,4,5,6,11,12,13,14	-	88.36	-
3	3,5,10	1,2,3,4,5,6,9,10,11,12,13,14	-	99.29	-
4	3,5,9,10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	99.6	-
5	3,5,9,10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	99.6	-
$w = 0.999999$					
1	3	3,4,5,6,13,14	-	76.74	0
2	3,5	1,2,3,4,5,6,11,12,13,14	-	88.36	0
3	3,5,10	1,2,3,4,5,6,9,10,11,12,13,14	-	99.29	0
4	3,5,9,10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	99.6	0
5	3,5,9,10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	3,5,6,13,14	99.6	75.04
6	2,3,5,6,9,10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	1,2,3,5,6,11,12,13,14	99.6	86.67
7	1,3,5,6,7,9,10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	1,2,3,4,5,6,11,12,13,14	99.6	88.36
$S = 14\text{dk}$					
$w = 1$					
1	2	3,5,6,13,14	-	75.04	-
2	2,5	1,3,5,6,11,12,13,14	-	86	-
3	2,5,10	1,3,5,6,9,10,11,12,13,14	-	96.94	-
4	2,5,7,10	1,3,4,5,6,9,10,11,12,13,14	-	98.63	-
5	2,5,7,9,10	1,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	98.94	-
6	2,5,7,9,10	1,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	98.94	-
$S = 13\text{dk}$					
$w = 1$					
1	2	3,5,6,13,14	-	75.4	-
2	2,5	1,3,5,6,11,12,13,14	-	86	-
3	2,5,10	1,3,5,6,9,10,11,12,13,14	-	96.93	-
4	2,5,7,10	1,3,4,5,6,9,10,11,12,13,14	-	98.63	-
5	2,5,7,9,10	1,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	98.94	-
6	2,5,7,9,10	1,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	98.94	-
$S = 12\text{dk}$					
$w = 1$					
1	1	5,6,13,14	-	70.15	-
2	1,6	1,5,6,11,12,13,14	-	81.11	-
3	1,6,10	1,5,6,9,10,11,12,13,14	-	92.04	-
4	1,2,6,10	1,3,4,5,6,9,10,11,12,13,14	-	96.94	-
5	3,5,9,10	1,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	98.63	-
6	2,5,7,9,10	1,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	98.94	-
7	2,5,7,9,10	1,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	-	98.94	-
$S = 10\text{dk}$					
$w = 1$					
1	1	5,6,13	-	25.74	-
2	1,10	5,6,9,10,13	-	36.68	-
3	1,5,10	5,6,9,10,12,13	-	44.95	-
4	1,5,8,10	3,5,6,9,10,12,13	-	49.84	-
5	1,5,7,8,10	3,4,5,6,9,10,12,13	-	51.54	-
6	1,4,5,7,8,10	3,4,5,6,9,10,11,12,13	-	53.15	-
7	1,4,5,7,8,9,10	3,4,5,6,7,9,10,11,12,13	-	53.46	-
8	1,4,5,7,8,9,10	3,4,5,6,7,9,10,11,12,13	-	53.46	-

Tablo B.3: Model 1 için farklı p , S ve w değerleri ile elde edilen çözüm kümeleri (servis eşiği 8 dk.)

p	Acil Servis	Kapsanan Bölgeler	Yedek Kapsanan Bölgeler	Birincil Kapsanan Talep Miktarı	Yedek Kapsanan Talep
$S = 8dk$					
$w = 1$					
1	10	9,10	-	10.94	-
2	1,10	5,6,9,10	-	20.21	-
3	1,5,10	5,9,10,12	-	28.48	-
4	1,5,8,10	3,5,6,9,10,12	-	33.37	-
5	1,5,7,8,10	3,4,5,6,9,10,12	-	35.06	-
6	1,4,5,7,8,10	3,4,5,6,9,10,11,12	-	36.68	-
7	1,4,5,7,8,9,10	3,4,5,6,7,9,10,11,12	-	36.99	-
8	1,4,5,7,8,9,10	3,4,5,6,7,9,10,11,12	-	36.99	-

EK.C

Birinci hedef fonksiyonunun ağırlığı değiştirilerek, istasyon sayısına kısıtlama getirilmeden Model 2 ile elde edilmiş çözüm kümeleri tablo boyutları gerekçesiyle ikiye ayrılıp Tablo C.1 ve Tablo C.2 içerisinde sunulmuştur.

Tablo C.1: Model 2 için farklı P_0 değerleri ile elde edilmiş çözüm kümeleri ($P_0=0.99999, 0.95, 0.99, 0.7, 0.6, 0.5$)

İstasyon No	Kapsanan Bölgeler	Atanan Araç Sayısı	Kapsanan Talep Miktarı	Toplam Araç Sayısı	İstasyon No	Kapsanan Bölgeler	Atanan Araç Sayısı	Kapsanan Talep Miktarı	Toplam Araç Sayısı
$P_0=0.99999$					$P_0=0.7$				
2	1,4,11,14	3	100	25	2	2,4,11,14	3	83,52	24
7	7	1			7	6,7	1		
8	3,5	1			8	3,5	1		
9	6,8	1			9	8	1		
10	9,10	1			10	9,10	1		
12	12	1			12	12	1		
21	13	2			21		1		
22		1			22	1	1		
Diğer tüm istasyonlara tek araç atanmıştır					Diğer tüm istasyonlara tek araç atanmıştır				
$P_0=0.95$					$P_0=0.6$				
2	1,4,11,14	3	100	25	2	2,4,6,11,13,14	3	100	25
3		1			3		2		
6		2			6		1		
7	7	1			7	7	1		
8	3,5	1			8	3,5	1		
9	6,8	1			9	8	1		
10	9,10	1			10	9,10	1		
12	12	1			12	12	1		
21	13	1			21		1		
Diğer tüm istasyonlara tek araç atanmıştır					Diğer tüm istasyonlara tek araç atanmıştır				
$P_0=0.99$					$P_0=0.5$				
2	2,4,11,14	3	83,52	24	2	2,4,11	1	100	24
4		1			4	13,14	3		
5		1			5	3	1		
7	7	1			7	7	1		
8	3,5	1			8	5	1		
9	6,8	1			9	6,8	1		
10	9,10	1			10	9,10	1		
12	12	1			12	12	1		
22	1	1			22	22	1		
Diğer tüm istasyonlara tek araç atanmıştır					Diğer tüm istasyonlara tek araç atanmıştır				

Tablo C.2: Model 2 için farklı P_0 değerleri ile elde edilmiş çözüm kümeleri ($P_0= 0.8, 0.00001$)

İstasyon No	Kapsanan Bölgeler	Atanan Araç Sayısı	Kapsanan Talep Miktarı	Toplam Araç Sayısı	İstasyon No	Kapsanan Bölgeler	Atanan Araç Sayısı	Kapsanan Talep Miktarı	Toplam Araç Sayısı
$P_0=0.8$					$P_0= 0.00001$				
2	2,4,11,14	3	83,52	24	2		1	100	24
5		1			5	13,14	3		
7	6,7	1			7		1		
8	3,5	1			8	3,5	1		
9	8	1			9	6	1		
10	9,10	1			10	10	1		
12	12	1			12	12	1		
22	1	1			22	1,2,4,7,8,9,11	1		
Diğer tüm istasyonlara tek araç atanmıştır					Diğer tüm istasyonlara tek araç atanmıştır				

ÖZGEÇMİŞ

9 Ekim 1980'de İstanbul'da doğdu. İlkokul öğrenimini Bahçelievler Mevlana İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini ise Adile Mermerci Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında liseden mezun olup, aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2002 yılında mezun oldu. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalına bağlı olan Mühendislik Yönetimi Yüksek Lisans Programına başladı.

2006 yılında hayatını Ayşegül Yayla ile birleştiren İldeniz Yayla, şu anda eğitim sektöründe faaliyet göstermekte olan yabancı bir firmada asistan olarak çalışmaktadır.