



## Deprem Kaynaklı Tsunami Durumunda Tahliye için Karar Destek Sistemi Önerisi: Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahallelerinde Vaka Analizi

Gizem Efendioğlu<sup>1</sup> ; Şehnaz Cenani<sup>2</sup>   
<sup>1</sup>Özyeğin Üniversitesi; <sup>2</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi  
<sup>1</sup>gizem.efendioğlu@ozyegin.edu.tr ; <sup>2</sup>sdurmazoglu@medipol.edu.tr

### Özet

Uzun bir deprem geçmişine sahip İstanbul, Kuzey Anadolu Fay Hattına yakınlığı dolayısıyla deprem açısından riskli bir konumda yer almaktadır. Yaşanan son depremden itibaren geçirilen süreç içerisinde, İstanbul yakınında bulunan fay hatlarında bir enerji sıkışması olabileceği belirtilmektedir. Bu sıkışma sebebiyle önümüzdeki 30 yıl içerisinde İstanbul'da 7.0 ila 7.4 şiddetleri arasında gerçekleşebilecek büyük bir deprem öngörülmektedir. Depremin neden olabileceği can kayıplarının yanı sıra İstanbul, kıyı şeritlerinde yaşanabilecek bir tsunami tehdidi ile de karşı karşıyadır. Olası bir deprem durumunda tsunamiye karşı 3 dakika içerisinde önlem alınması gerektiği belirtilmektedir. Literatürde İstanbul özelinde yapılan çalışmalarda tsunaminin kıyı şeridine ulaşma süresi 8 dakika olarak belirlenmiştir. Bu nedenle depremin ardından 8 dakikalık süre içerisinde hızlıca kıyı şeridi tahliye edilmelidir. Karar Destek Sistemleri (KDS), afet durumlarında hızlı ve isabetli kararlar alınmasını sağlayan bilgisayar destekli sistemlerdir. Bu sistemler dünyanın çeşitli bölgelerinde gelişebilecek afet durumlarına karşı hazırlıklar için kullanılmaktadır. Bu çalışma, İstanbul'da deprem kaynaklı tsunami durumlarında kullanılacak tahliye rotalarını belirleyen bir KDS önerisi sunmayı amaçlamaktadır. Çalışma, pilot bölge olarak yarımada konumunda bulunan Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahallelerini incelemektedir. Önerilen sistem, anlama, tasarım ve karar verme aşamaları olmak üzere üç aşamada geliştirilmiştir. Anlama aşaması, sorunun analiz edilmesi ve yapılandırılmasını; tasarım aşaması, alternatif çözümler üretilmesini ve son olarak karar aşaması, karar verme durumunu tanımlamaktadır. Bu bağlamda anlama aşamasında pilot bölge analiz edilerek işlevsel, demografik ve coğrafi özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Oluşturulan DEM (Digital Elevation Model) haritası ile tsunami açısından riskli bölgeler belirlenmiştir. Riskli alanlar sonraki aşamada çıkış noktaları için tanımlanırken, varış noktaları için bölgedeki hastane ve toplanma alanları belirlenmiştir. Tasarım aşamasında riskli bölgelerden varış noktalarına tahliye için rotalar geliştirilmiştir. Rotalar oluşturulurken, daha isabetli hesaplamalar yapılabilmesi için gerçek zamanlı trafik yoğunluğu analizleri sisteme aktarılmıştır. Daha güvenli rotaların belirlenebilmesi için ise anlama aşamasında belirlenen tahliye aşamasında riskli olabilecek bölgeler senaryolara dâhil edilmiştir. Araç ile ulaşım ve araçlara erişim olmadığı durumlarda yürüyüş rotaları için iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Son olarak karar aşamasında, deprem kaynaklı tsunami durumlarında tahliye rotalarının oluşturulmasını sağlayacak bir Karar Destek Sistemi önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem kaynaklı tsunami, karar destek sistemleri, tahliye, acil durum planlama.

**APA stilinde kaynak gösterimi:** Efendioğlu, G., & Cenani, Ş. (2021). Deprem kaynaklı tsunami durumunda tahliye için karar destek sistemi önerisi: Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahallelerinde vaka analizi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf.268-279). <https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi>

## Decision Support System Proposal for Evacuation in Earthquake-induced Tsunami: Case Study in Kadıköy Caferağa and Osmanağa Neighborhoods

Gizem Efendioğlu<sup>1</sup> ; Şehnaz Cenani<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Özyeğin University; <sup>2</sup>Istanbul Medipol University

<sup>1</sup>gizem.efendioglu@ozyegin.edu.tr ; <sup>2</sup>sdurmazoglu@medipol.edu.tr

### Abstract

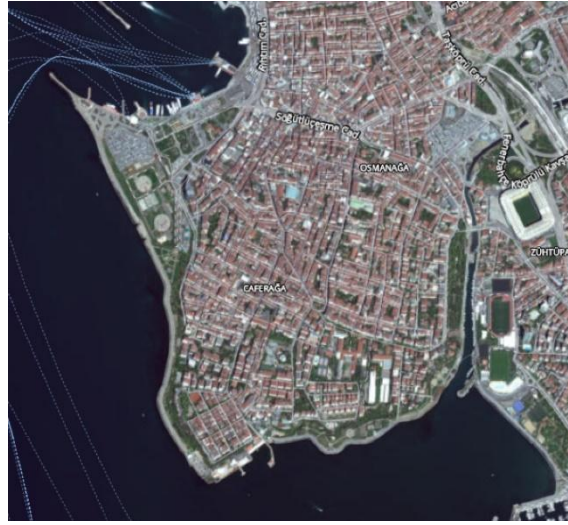
*Istanbul has a long history of earthquakes, since it is close to the North Anatolian Fault. Istanbul is predicted to have a large earthquake of magnitude between 7.0 to 7.4 in the next 30 years. It is stated that the reason for this may be an energy compression in the faults for the elapsed time. Besides the earthquake, Istanbul also has the threat of an earthquake-induced tsunami that may occur along the coastline. After an earthquake, emergency precautions should be taken in 3 minutes against the tsunami. In the studies conducted about Istanbul, after an earthquake, the time for the tsunami to reach the coastline was determined as 8 minutes. For this reason, the evacuation from the coastline should start within 8 minutes after the earthquake. Decision Support Systems (DSS) are computer-aided decision-making systems that enable fast and accurate decisions in disasters and emergency situations. Generally, these systems are used for preparations against disasters. This study aims to present a DSS proposal that determines the evacuation routes to be used in earthquake-induced tsunamis in Istanbul. This study examines Kadıköy Caferağa and Osmanağa Neighborhoods as case study. We developed the system in three phases: intelligence, design and choice. The intelligence phase involves analyzing and structuring the problem; The design phase defines the generation of alternative solutions and finally the choice defines the decision-making situation. In this context, during the intelligence phase, we analyzed the region and evaluated in terms of its functional, demographic and geographical features. With the created DEM (Digital Elevation Model) map, we determined the risky areas in terms of tsunami. At the next stage, we defined the risky areas as starting points, while the hospital and emergency meeting areas in the region as the destination points. During the design phase, routes were developed for evacuation from risky areas to destinations. While creating the routes, real-time traffic density analyzes were transferred to the system in order to make more accurate calculations. Two different scenarios were created for pedestrian and vehicle routes. Finally, in the choice phase, we propose a Decision Support System to create evacuation routes by providing warnings in earthquake-induced tsunami situations.*

**Keywords:** Earthquake-induced tsunami, decision support systems, evacuation, emergency planning.

**Citation in APA style:** Efendioğlu, G., & Cenani, Ş. (2021). Decision support system proposal for evacuation in earthquake-induced tsunami: Case study in Kadıköy Caferağa and Osmanağa Neighborhoods. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö.Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (sf.268-279). <https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi>

## 1. Giriş

İstanbul, Kuzey Anadolu Fay Hattına yakınlığı dolayısıyla deprem açısından riskli bölgelerden birinde yer almaktadır. Uzun bir deprem geçmişine sahip İstanbul'da bilinen en şiddetli deprem 1766 yılında gerçekleşmiştir. 6,9 şiddetindeki depremde 6 metreye varan tsunami dalgaları olduğu kaydedilmiştir (İBB, 2019). İstanbul'da, yakın bir zamanda gerçekleşen 17 Ağustos 1999 tarihli ve İzmit merkezli depremde de tsunami olduğu ve 2,9 metre dalga boyuna ulaştığı kaydedilmiştir. Yaşanan depremlerin devamında geçirilen süreçte, faylarda bir enerji sıkışmasının olabileceği ve yakın zamanda İstanbul'un büyük bir deprem riski ile karşı karşıya olduğu belirtilmektedir. İstanbul'da, gelecek 30 yıl içerisinde 7.0 ila 7.4 şiddet aralığında büyük bir deprem olacağı öngörülmektedir (İBB, 2019). Deprem sonrasında ölümler ilk 72 saat içinde gerçekleşmektedir. Fakat depremin tetikleyeceği bir tsunami çok hızlı bir şekilde can kaybı yaşatma olasılığına sahiptir. Deprem gerçekleşmesi durumunda ilk 3 dakika içerisinde olası bir tsunamiye karşı hazırlıklı olunması gerektiği belirtilmektedir (İBB, 2019).



Şekil 1: Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahalleleri.

Karar Destek Sistemleri (KDS), karar vericilerin yapılandırılmamış sorunları çözmek için veri ve modeller kullanmalarına yardımcı olan bilgisayar tabanlı sistemler olarak tanımlanmaktadır (Sprague, 1989). Bu sistemler, acil durumlar için yapılandırıldığı takdirde, sürece hız kazandırmakta ve isabetli kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır (Herrnberger, 1996; Fedra ve Reitsma, 1990). Bu nedenle acil durumların yapılandırılmamış sorunlarının çözümünde bu sistemlerin kullanımı avantaj sağlamaktadır. Dünyanın çeşitli bölgelerinde gerçekleşebilecek afetlere karşı önlemler için KDS'ler geliştirilmektedir. İstanbul için düzenlenen deprem çalışmaları, tsunami raporları ve risk analizlerine dair çalışmalar geliştirilmektedir. Yapılan çalışmalarda olası bir tsunami ihtimalinde dalgaların kıyıya ulaşma süresi 8 dakika ve kıyı içi ilerleme mesafesi 150 metreye ulaşabileceği belirlenmiştir (İBB, 2020). Bu nedenle hızlı karar alma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kandili Rasathanesi bir tsunami uyarı KDS'si geliştirmiştir (KRDAE, 2019). Fakat İstanbul için oluşturulmuş bir tahliye çalışması bulunmamaktadır. Bu nedenlerle, bu çalışmanın amacı, deprem kaynaklı tsunami durumlarında İstanbul kıyı şeridinde uygulanabilecek tahliye senaryoları geliştirebilmek için bir KDS önerisi sunmaktır. Böylece İstanbul'da bir deprem olması durumunda tsunami riski altındaki bölgelerin uyarılarak en kısa süre içinde bu alanlardaki bireylerin güvenli bir bölgeye tahliyesi amaçlanmaktadır. Bu sayede, sürecin hızlandırılması ve can kayıplarının en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma, pilot bölge olarak yarımada konumundaki Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahallelerini ele almaktadır (Şekil 1).

## 2. Literatür Araştırması

Karar Destek Sistemleri (KDS) acil durumların yapılandırılmamış sorunlarının çözümünde kullanılmakta ve isabetli kararlar alınması için hızlı sonuçlar sağlamaktadır. Literatürde de acil durum yapılandırılmasında ve tahliye süreçlerinde kullanılan mevcut KDS çalışmaları bulunmaktadır. Tahliye süreçleri üzerine geliştirilen çalışmaları iki şekilde incelemek mümkündür. Çalışmaların bir bölümü yapı tahliyelerini konu edinirken, diğer bölümü ise kentin bir bölümünün tahliyesini araştırmaktadır. Yapı tahliye araştırmaları, afet durumlarında yapı içindeki kaçış rotalarını belirlemektedir.

Yapı içinde afete bağlı olarak, anlık olarak gelişen farklı tehlikeler de oluşabilir (Gershon, 2006). Bu tehlikelerden korunabilmek için kullanılan sensörlerle, insanları anlık olarak üretilen rotalara yönlendiren çalışmalar bulunmaktadır (Li ve diğ., 2003; Tseng ve diğ., 2006). Yapı tahliyelerinde çoğunlukla insan davranışları modellenerek kişiye özgü rotalar oluşturulmasını sağlayan etmen tabanlı sistemler kullanılmaktadır. Çağdaş ve Sağlamer'in 1995 yılında gerçekleştirdiği çalışmaya benzer şekilde Liu, Jiang ve Shi (2016) çalışmasında, okullarda öğrencilerin acil durumlarda sınıflardan tahliyesi ile ilgili etmen-tabanlı simülasyon kullanarak alternatif sınıf tahliye senaryoları geliştirmiş ve bu olası senaryoları karşılaştırmıştır.

Büyük ölçekli tahliye araştırmaları ise kentin bir bölümünün veya kentin tahliyesini konu almaktadır. Nükleer felaketler, su baskınları, kasırgalar, volkanik patlamalar veya tsunami gibi birçok afet ile ilgili tahliye planları bulunmaktadır. Nükleer felaketlerle ilgili çalışmalarda, özellikle Çernobil ve Three Mile Island felaketlerinde yaşananlar, senaryoların oluşturulmasında göz önünde bulundurulmuştur (Johnson, 1985; Hobeika ve diğ., 1994). Bu felaketlerde, insanların felaketlerle başa çıkma hareketleri araştırılarak çalışmalar geliştirilmektedir. Johnson (1985), nükleer felaketler esnasında insan davranışlarının modelini geliştirmeye çalışmıştır. Karar vermeye etki eden süreçleri inceleyerek bir tahliye rotası oluşturmuştur. Hobeika ve diğerleri (1994), Virginia'daki nükleer santrallerle ilgili çalışmalarında riskli bölgeler ve sığınaklar belirleyerek, yol haritaları ve trafik analizlerini dikkate alınarak rota önerisinde bulunan bir KDS oluşturmuşlardır. Ghorbanzadeh ve diğ. (2021), Irma kasırgası tahliyesi sırasında otoyollardaki trafik örüntülerini inceleyip tahliye rotalarındaki trafik sıklığı ve gecikme problemlerine ait nedenleri ortaya çıkartmışlardır. Kocatepe ve diğ. (2018) Güney Florida'da özel ihtiyaçlara veya evcil hayvanlara sahip bireylerin tahliyesinin planlanması ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ying, Xin-Gang, Bin ve Rui (2019) ise yeraltı metro istasyonlarında yayalar için taşkın kaynaklı tahliye stratejileri geliştirmek üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Uno ve Kashiya'nın (2008) çalışması taşkın durumlarında bireylerin tahliyesinde coğrafi bilgi sistemi kullanan çok etmenli modele dayalı bir simülasyon sistemi sunmaktadır. Benzer bir şekilde, volkanik patlamalar esnasında (Margulis ve diğ., 2006) ve tsunami esnasında (Hou ve diğ., 2017) tehlikeli bölgelerden sığınaklara rota oluşturan, KDS çalışmaları da bulunmaktadır. Afet durumlarında oluşturulan çalışmalar çoğunlukla benzer stratejiler üzerinden ilerlemektedir. Öncelikli olarak alan analiz edilmekte ve yaşanacak felaket durumunda riskli bölgeler tahmin edilmektedir. Alanın demografik, coğrafi, işlevsel ve turistik özellikleri gibi alana özgü analizler yapılmaktadır. Sonrasında tahliye edilecek güvenli bölgeler belirlenmekte ve bu bölgelere ulaşımı sağlayacak tahliye rotaları belirlenmektedir. Ulaşım rotaları oluşturulurken, trafik durum analizleri yapılmakta, yol durumları, kapasiteleri analiz edilmekte ve gerekli durumlarda simülasyonlar geliştirilmektedir. Çalışmalarda ağırlıklı olarak Coğrafi Bilgi Sistem programları kullanılmakta sonrasında Karar Destek Sistem modelleri her proje özelinde farklılaşmaktadır.

Literatür araştırmaları İstanbul özelinde incelendiğinde, İstanbul için düzenlenen deprem çalışmaları, tsunami raporları ve risk analizlerine dair çalışmalar bulunmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından Japonya'dan Oyo Int. Co. şirketine yaptırılan çalışmada 49 farklı tsunami senaryosu oluşturulmuştur (İBB, 2020). Bu senaryolar fay hattındaki hareketlilik sonucunda hem deprem kaynaklı oluşabilecek tsunamileri hem de denizaltı heyelanı kaynaklı tsunamileri içermektedir. Oluşturulan senaryolar sonucunda sismik kaynaklı tsunamilerin en fazla 4.71 metrelik dalga boyuna ulaşabileceği, İstanbul kıyı bandında 10 km'lik alanda etkili olabileceği, tsunaminin kıyıya erişme süresinin 8 dakika olabileceği ve kıyı içinde ilerleme mesafesinin 150 metreye ulaşabileceği belirtilmektedir. Dolayısıyla İstanbul'da yaşanacak olası bir deprem durumunda 8 dakikalık süre içerisinde tahliyenin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

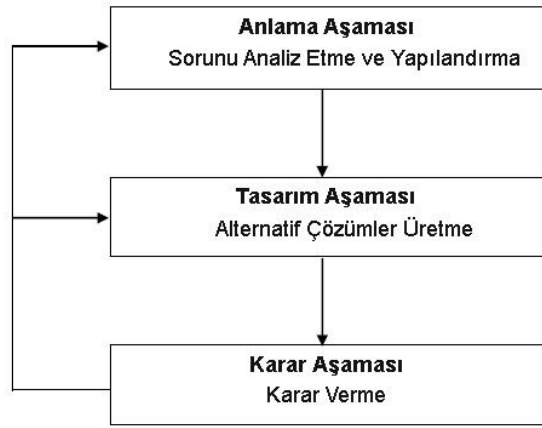
### 3. Metodoloji

Tsunami riski altındaki bölgelerin uyarılarak, bu alanlardaki bireylerin tahliyesini sağlayacak Karar Destek Sistemi için öncelikli olarak karar verme süreci tanımlanmıştır. Simon (1955), karar verme sürecini anlama, tasarım ve karar aşamaları olmak üzere üç aşamada incelemiştir (**Şekil 2**). Anlama aşaması, sorunun analiz edilmesi ve yapılandırılmasını; tasarım aşaması, alternatif çözümler üretilmesini ve son olarak karar aşaması, karar verme durumunu içermektedir. Bu çalışmada Simon'ın karar verme modeli kullanılarak çalışma üç aşamada ele alınmıştır.

Anlama aşamasında, sorunu analiz edebilmek ve yapılandırabilmek için öncelikli olarak tahliye edilecek bölgenin sınırlandırılarak bölgenin tanımlanması gerekmektedir. Bu bağlamda bölgenin coğrafi özellikleri araştırılmalı, eğim haritası oluşturulmalı ve tsunami açısından riskli bölgeler belirlenmelidir. Tahliye edilecek bireylerin sayısının

belirlenmesi için bölgede demografik bir çalışmanın oluşturulması da önem taşımaktadır. Özellikle Kadıköy gibi turizm ve ticaretin yoğun olduğu bölgelerde gece ve gündüz nüfusları arasında büyük farklılıklar gözlemlenebilmektedir. İkamet adresi odaklı nüfus çalışmaları o bölgede yaşayan insan sayısını gösterdiği için gece nüfusu olarak kabul edilmektedir. Fakat gündüz saatlerinde gerçekleşecek bir tsunami olasılığına karşı gündüz nüfusunun da belirlenmesi ve bölgedeki bireylerin güvenli bir şekilde bölgeden tahliye edilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Anlama aşamasında değerlendirilmesi gereken bir diğer konu ise bölgedeki yapıların işlevlerinin analiz edilmesidir. Böylece risk altındaki yapıların, hangi işlevlere ait olduğu belirlenmekte ve nüfuslarına ilişkin daha isabetli tahminler yapılabilmektedir. Ayrıca işlev analizi ile tsunami durumunda kullanılacak hastanelerin ve toplanma alanı olarak kullanılacak alanların konumlarının belirlenmesi de yapılabilmektedir. Acil durumlarda dini tesisler, alışveriş merkezleri ve spor alanları gibi büyük alanlar toplanma alanı gibi kullanılmaya elverişlidir. İşlev analizleri ile bu alanların saptanması ve olası bir acil durumda, alandaki bireylerin toplanma alanlarına yönlendirilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 2: Simon'ın Karar Verme Modeli (Simon, 1955'ten uyarlanmıştır).

İkinci aşama olan tasarım aşamasında, alternatif çözümler üretebilmek için tahliye rotalarının belirlenmesi gerekmektedir. Farklı tahliye rotalarının oluşturulması için anlık trafik durumları, ulaşım yöntemleri ve rotaların risk ağırlıkları önem taşımaktadır. Trafik durumlarının belirlenmesi, trafik sıkışıklıkları veya kaza gibi durumlarda alternatif rotaların oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca ulaşım yöntemlerinin belirlenmesi, hızlı tahliye sürecinde bireylerin erişebilecekleri ulaşım araçlarının tespit edilmesi açısından önemlidir. Bireylerin araç ulaşımı olmayan durumlarda ise yürümek veya koşmak bir alternatif olarak değerlendirilmelidir. Tasarım aşamasında oluşturulacak tahliye rotalarının oluşturulmasında sürece dâhil edilmesi gereken konulardan bir diğeri de rotanın güvenliğidir. Tahliye rotalarının güvenilir olması bireylerin ulaşım esnasında da sağlığını koruması açısından önemlidir. Bu nedenle trafo ve elektrik direği gibi risk oluşturan bölgelerin belirlenmesi ve bu alanların yakınından geçmeyen güvenilir alternatif rotaların oluşturulması sağlanmalıdır.

Karar verme modelinin son aşaması olan karar aşamasında ise tsunami riski değerlendirilmektedir. Bu bağlamda anlık sismik ölçümler sisteme dâhil edilmelidir. Veriler değerlendirilirken, kıyı şeridine yakınlık ve yükseklik gibi risk değerlendirmeleri yapılmalıdır. Risk olması durumunda, anlama ve tasarım aşamasında yapılan tüm işlemler göz önünde bulundurularak rotalar belirlenmekte, belirlenen rotalardan güvenilirlik ve hızlilik değerlerine veren ağırlıklara göre seçim yapılmaktadır. Ayrıca karar verme işlemi, kişinin hangi ulaşım türünü tercih ettiğini veya etmesi gerektiğini de göz önünde bulundurmaktadır.

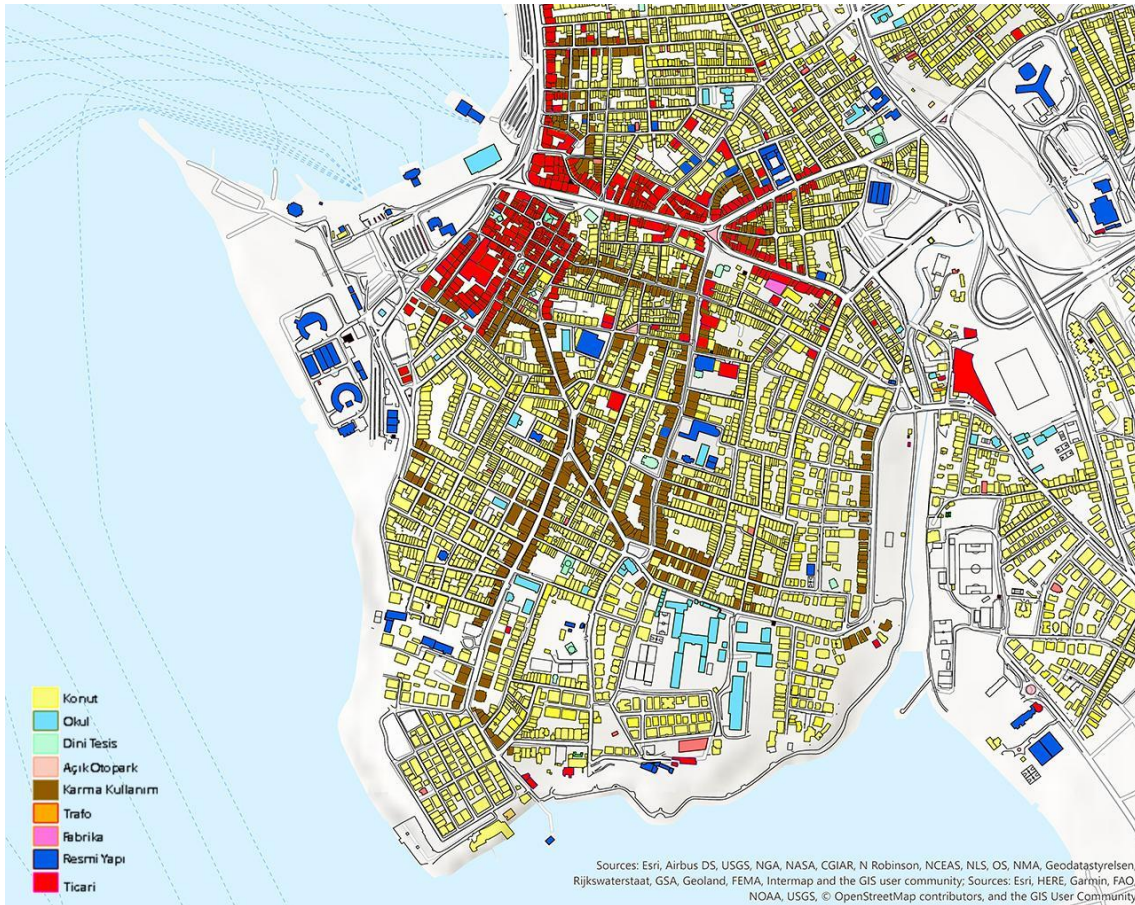
## 4. Model

### 4.1. Anlama Aşaması

Tahliye senaryoları oluşturulurken demografik verilerin belirlenmesi, tahliye işlemleri sırasında kaç kişilik nüfusun bölgeden uzaklaştırılacağına ilişkin bilinmesi hususunda önemlidir. Bu verilerin çeşitli koşullar altında değişebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bölgelerin gündüz ve gece nüfusları birbirinden farklı olmaktadır. Bunun dışında turistik bölgeler, hava koşulları, ticaret gibi birçok unsur gündelik nüfus verilerini etkilemektedir. Bu nedenle alana dair kesin

bir nüfus verisi elde edilemese dahi, bölgenin sahip olduğu koşulların tanınması demografik verilerin analiz edilmesinde faydalıdır. Örneđin ticari unsurların geliştii bir bölgede gündüz nüfusunun gece nüfusundan fazla olacağı kolayca tahmin edilebilir. Benzer bir şekilde yaz turizmine uygun bölgelerin nüfus farklılıklarının gece-gündüz farklılıklarından ziyade mevsimsel farklılıklar yaratacağı düşünülebilir. Bu nedenle bölgenin çeşitli koşullar üzerinden incelenmesi demografik veriler açısından önemlidir.

Kadıköy'ün kıyı şeridinde yer alan mahallelerinden Caferğa ve Osmanağa'nın 2019 yılı verilerine göre toplam nüfusu 33.145'tir (Kadıköy Belediyesi, 2019). Caferğa'da kayıtlı gözükten 23.383 kişilik nüfusun %56'lık büyük bir kısmını orta yaşlı bireyler oluşturmaktadır. Benzer bir şekilde Osmanağa'da bulunan 9.762 kişilik nüfusun da %57'lik kısmını orta yaşlı bireyler oluşturmaktadır. Nüfus sayımları ikametgâh verileri üzerinden sağlandığı için, bu veriler, sadece o bölgede yaşayan insanları içermektedir. Fakat Kadıköy hem ticari hem de turistik açıdan gelişmiş bir bölgedir. Aynı zamanda ulaşım için de Kadıköy sahil şeridi uygun bir aktarma noktasıdır. Bu nedenle nüfus sürekli değişim halindedir. 2017 yılında yapılan bir araştırmaya göre Kadıköy ilçesinde sigortalı çalışan 266.340 kişi bulunmaktadır (Kadıköy Belediyesi, 2019). Bu veriye alışveriş, turizm, ulaşım ve eğitim gibi etmenler dâhil edildiğinde bölgenin gündüz nüfusunun oldukça yoğun olduğu söylenebilmektedir. Caferğa ve Osmanağa'nın yerleşim planı incelendiğinde tsunami riski altındaki sahil kesiminde yerleşimin az olduğu görülmekte ve nüfusun genellikle iç kısımlarda eğimin yüksek olduğu alanlarda bulunduğu bilinmektedir. Fakat yine de ulaşım ve turistik amaçlarla Kadıköy sahilinde yoğun bir nüfusun olduğunu da söylemek mümkündür.

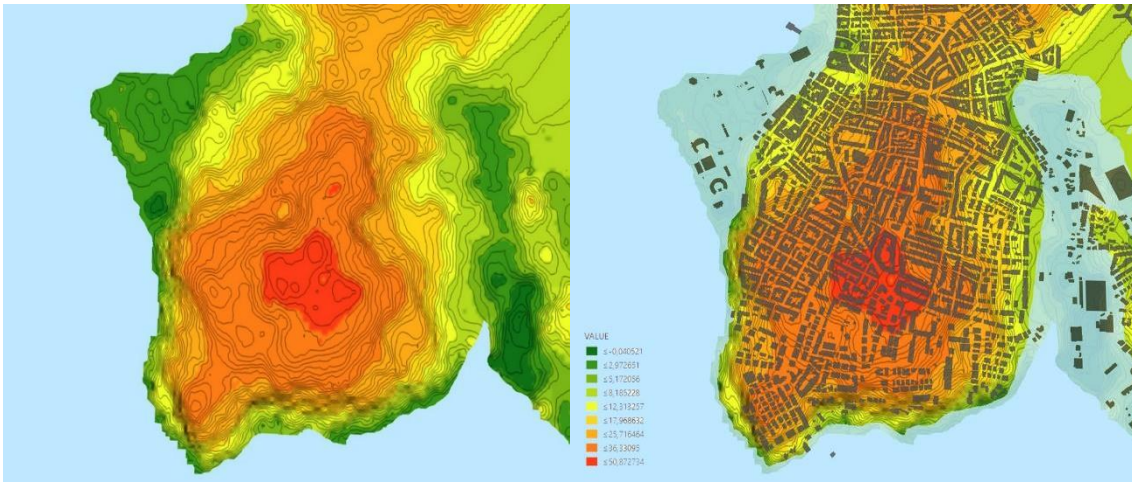


Şekil 3: Bölgedeki yapıların işlev analizi.

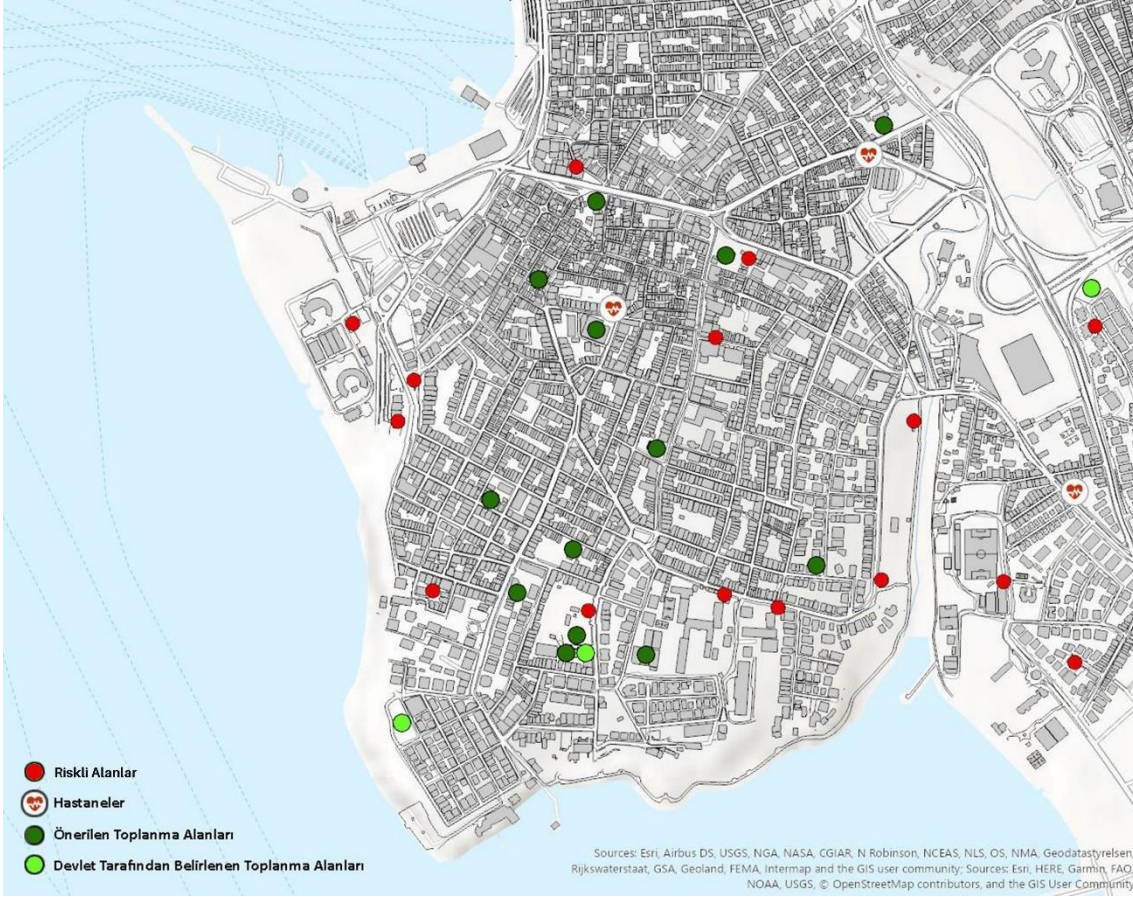
Bölgede bulunan yapıların işlevi incelendiğinde sahilde ulaşımın yoğun olduğu alanların etrafında ticari yapıların yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 3). Sahil şeridinin yapı bakımından az olduğu, kuzeybatısının ulaşım için kullanıldığı, diğer kısımlarının ise park, yürüyüş alanları ile çevrildiği bilinmektedir. Moda ve Bahariye Caddelerinde karma yapıların yoğunlukla bulunduğu, tüm bölgede ise ağırlıklı olarak konutların yer aldığı görülmektedir. Karma yapılar, genellikle alt

katların ticaret, üst katların ise konut olduğu yapıları temsil etmektedir. Gündüz nüfusunun yoğunluklu olarak çekim noktası olarak kabul edilebilecek ticari ve karma yapıların bulunduğu alanlarda yoğunlaştığını söylemek mümkündür.

Olası tsunami durumunda riskli alanları belirleyebilmek için DEM (Digital Elevation Model) oluşturulmuştur (**Şekil 4**). DEM haritası Google Earth üzerinden GPS (Global Positioning System) verilerini ArcGIS programına aktarılarak elde edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, sahil şeridinden eğimin en yüksek olduğu noktaya kadar yaklaşık olarak 50 metrelik bir fark bulunduğu görülmektedir. Eğim haritasında riskli bölgelerin belirlenebilmesi için su baskın haritası oluşturulmuştur. Su baskın haritası verileri, İBB'nin paylaştığı tsunami senaryoları doğrultusunda geliştirilmiştir. Bu senaryolara göre deprem kaynaklı tsunamilerde en yüksek dalga boyunun 4.71 metreye ulaşabileceği belirtilmiştir. (İBB, 2020). Bu veri ile düzenlenen su baskın haritasına göre, kuzeybatı sahil şeridinin ve bölgenin doğusunda yer alan Kurbağalidere etrafındaki bölgenin yoğun olarak baskın altında kaldığı görülmektedir. Kurbağaliderenin batısındaki Yoğurtçu Parkının ve doğusunda yer alan spor tesislerinin ve birkaç konut yapısının riskli bölgede yer aldığı, bölgenin batısında ise su arıtma tesislerinin ve Kuzeybatısında ise ticari yapıların bir kısmının risk altında olduğu görülebilmektedir. Baskın riski altında olduğu belirlenen alanlar, bir sonraki aşamada tahliye rotalarının başlangıç noktası olarak belirlenmiştir.



Şekil 4: DEM ve tsunami baskın haritası.



Şekil 5: Belirlenen afet sonrası toplanma alanları ve riskli alan haritası.

Tahliye rotalarının varış noktalarını belirleyebilmek için bölgedeki toplanma alanları ve hastaneler tespit edilmiştir (Şekil 5). Afet durumunda erişim için küçük polikliniklerden ziyade hastanelere öncelik tanınmıştır. Toplanma alanları için ise öncelikli olarak devletin deprem sonrası belirlediği toplanma alanları incelenmiştir. AFAD (2020)'dan elde edilen veriler doğrultusunda bölgede 3 toplanma alanı olduğu belirlenmiştir. Bu alanların, yüksek yoğunluğa sahip bölge nüfusunu barındırması olanaksızdır. Bu nedenle bu alanların yanı sıra kullanılabilir, başka toplanma alanları da sisteme dâhil edilmiştir. Alternatif toplanma alanları olarak büyük mekânlara sahip oldukları için nüfusun toplanması için elverişli olan alışveriş merkezleri, spor tesisleri ve ibadet yerleri tespit edilmiştir. Bölgede özellikle dini tesislerin fazla olması, afet sonrası kullanım için avantaj sağlamaktadır. Büyük bir alanda, yoğun bir nüfusun eşit bir şekilde dağılmasını sağlayabilmekte ve nüfusun ulaşımını hızlıca gerçekleştirmesine olanak vermektedir.

Anlama aşamasının son analizinde, riskli alan belirlemesi yapılmıştır. Tahliye esnasında bireylerin bir noktadan diğer noktaya güvenli ulaşımı için tehlikeli olabilecek bölgeler belirlenmiştir (Şekil 5). Elektrik direkleri devrilme, akaryakıt istasyonları ve trafolar ise yangın tehlikesi taşımaktadır. Bu nedenle risk haritasında bu bölgeler belirlenerek, sonraki aşamada modelin riskli bölgelerin olmadığı rotaları tercih etmesi sağlanmıştır.

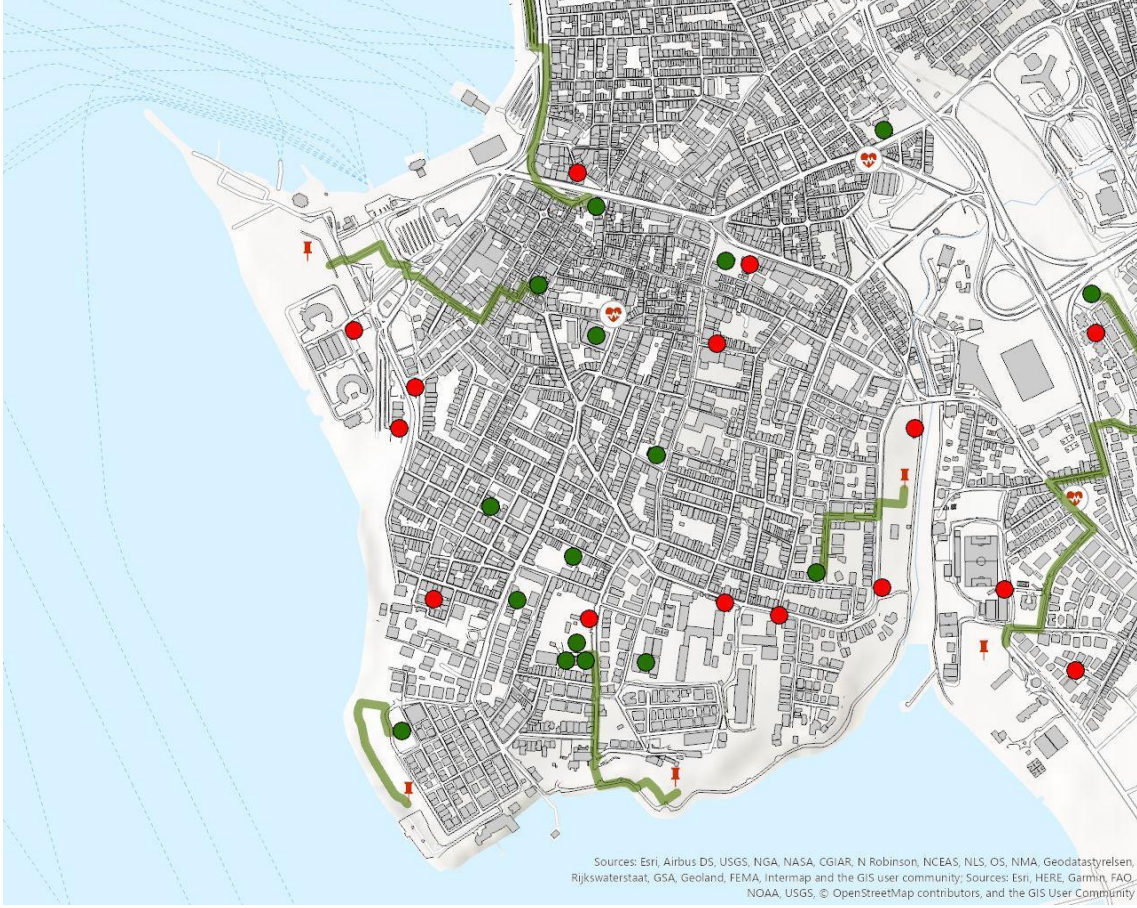
#### 4.2. Tasarım Aşaması

Anlama aşamasında geliştirilen analizler doğrultusunda, bir sonraki aşama olan tasarım aşamasında tahliye rotaları belirlenmiştir. Tsunami baskın haritasına göre bölgedeki riskli alanlar belirlenmiş ve bu alanlar tahliye rotalarının çıkış noktaları olarak işaretlenmiştir. Rotaların varış noktaları ise bölgedeki hastane ve toplanma alanları olarak işaretlenmiştir. Ayrıca tahliye rotalarında riskli alanlar da belirlenerek, rotaların bu alanların yakınından geçmeyeceği düzenlemeler yapılmıştır. Riskli bölgelerin yakınında yer alan ve tehlike altında bulunan yollar işaretlenerek, tahliye rotalarının bu alanlar dışında farklı bir yola öncelik tanınması sağlanmıştır.

Tahliye rotalarının hesaplanmasında anlık trafik verilerinin sisteme dâhil edilmesi, rota hesaplamaları için önemlidir. Trafik durumları mevsimsel durumlara, iş saatlerine veya gündelik olaylara göre değişebilmektedir. Bu nedenle uzun dönemlik trafik verileri elde edilerek, anlık trafik durumlarına dair tahminler yapılabilir. Trafik tahminleri çoğunlukla

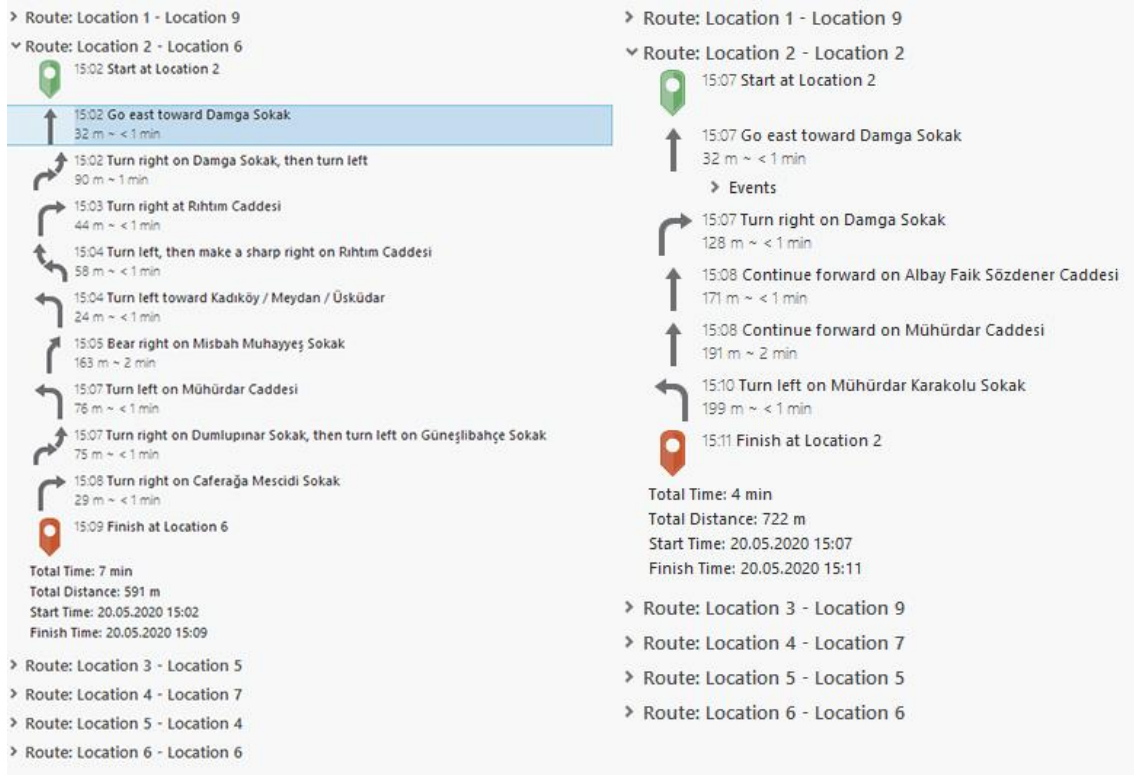


isabetli veriler ortaya koysa da anlık değişimler veya o güne özgü durumlar trafikte farklı yoğunluklar oluşturabilir. Bu nedenle anlık verilerin alınması afet durumlarında doğru rotanın hesaplanması için çok önemlidir. Bu nedenle modele, gerçek zamanlı trafik yoğunluk haritası aktarılarak, o ana ve duruma uygun rotaların oluşturulması sağlanmıştır. Anlık trafik verileri ArcGIS'den elde edilmiştir (ArcGIS, 2020).



Şekil 6: Toplanma alanına giden tahliye rotası denemeleri.

Tahliye rotaları, belirlenen çıkış ve varış noktaları arasında Network Analysis ile oluşturulmuştur. Network Analysis ile riskli bölgede tanımlanan 6 noktanın en yakınlarında yer alan toplanma alanına ulaşım rotaları oluşturulmuştur (Şekil 6). Sistemin oluşturduğu rotaların süre ve uzaklık bilgisine de ulaşmak mümkündür. Aynı rota hem yürüme hem de araç ile olacak şekilde iki farklı senaryo ile oluşturulmuştur. Her iki senaryoda da rota mesafeleri ve süreleri hesaplanmıştır (Şekil 7). Kişinin araç ulaşımı olmadığı durumlarda yürüyüş rotası seçilmekte, diğer durumlarda ise iki rotanın süreleri karşılaştırılmaktadır. Bazı durumlarda yolların darlığı, eğim, tıkanıklık gibi etmenler yürüyüş ile ulaşımın daha kısa sürede gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle hızlı tahliye için süreler karşılaştırılmaktadır. Tahliye rotalarında toplanma alanları dışında tanımlanan bir diğer nokta ise hastanelerdir. Yaralıların hastanelere kısa sürede ulaşım sağlamaları için, yaralı oldukları da göz önünde bulundurularak, hastane rotaları sadece araç ile ulaşımına göre hesaplanmıştır. Bu sisteme yürüme senaryosu dâhil edilmemiştir.

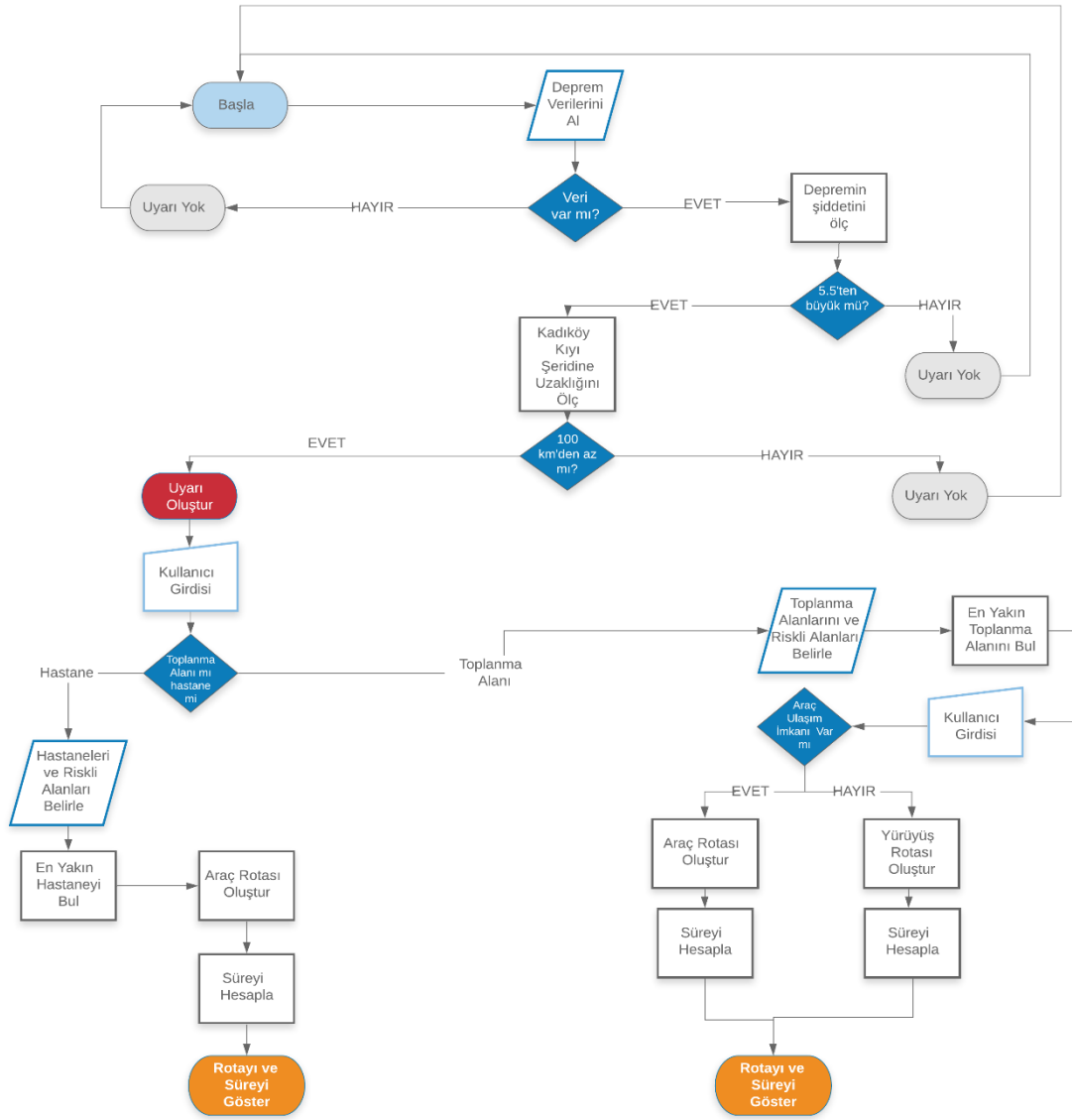


Şekil 7: Rotalara dair farklı senaryolar; solda yürüyerek, sağda araç ile ulaşım rotası.

### 4.3. Karar Aşaması

Karar aşamasında, anlama ve tasarım aşamalarında geliştirilenler doğrultusunda bir karar verme sistemi önerilmiştir (Şekil 8). Bu sebeple hızlı karar verme işlemi sağlayabilmek için, öncelikli olarak tsunamiye neden olabilecek bir depremin var olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu veri ArcGIS'in sunduğu anlık deprem haritası ile sağlanabilmektedir (Meriam, 2019). Anlık deprem haritası 4 ve üzeri şiddetteki deprem verilerini ayıklayarak kullanıcıya iletmektedir. Bu haritanın ArcGIS programına aktarımı mümkündür. Önerilen KDS'de bir tsunami riskinin olup olmadığının saptanabilmesi için 5.5 ve üzeri şiddetli depremler sisteme dâhil edilmelidir. Fakat 5.5 şiddetindeki depremin Kadıköy sahilinde bir tsunamiye neden olabilmesi için, depremin merkez noktasının kıyı şeridinde uzaklığı 100 km'den az olmalıdır. Deprem şiddeti ve merkez mesafesi sınırları Kandilli Rasathanesinin kullandığı tsunami uyarı KDS'si örnek alınarak belirlenmiştir (KRDAE, 2019).

Önerilen KDS'de, 5.5 ve üzerinde bir şiddette ve 100 km'lik bir mesafe içinde bulunan bir deprem algılandığında bu deprem ile ilgili bir uyarı oluşturulması ve sisteme bir uyarı iletilmesi hedeflenmektedir. Uyarı iletildikten sonra rota hesaplamalarının yapılabilmesi için kullanıcı girdisi gerekmektedir. Kullanıcıdan alınan bilgiler doğrultusunda hastane veya toplanma alanı tercihi gerçekleştirilmektedir. Seçim yapıldıktan sonra en yakın hastane/toplanma alanı ve yakın bölgedeki riskli alanlar belirlenir ve bu doğrultuda güvenli ve hızlı rota belirlenir. Araç erişimi olmayan durumlarda yürüyüş seçeneği de işaretlenebilmektedir. Rotalar arasından süreye göre veya kullanıcı tercihinin bağlı kalacak şekilde en uygun rota belirlenecektir. Oluşturulan rota ve hesaplanan süreler kullanıcıya iletilir. Bu sistemin belediye tarafından yönetilmesi durumunda, belediye bireylerin tahliyesi için çıkış noktaları belirleyebilir ve insanları bu bölgeden toplayarak araçlarla güvenli bölgelere ulaşımını sağlayabilir.



Şekil 8: Karar Destek Sistemi akış şeması.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Karar Destek Sistemleri, acil durumlarda hızlı ve doğru kararlar alınmasını sağlayan bilgisayar destekli sistemlerdir. Bu sistemler dünyanın çeşitli bölgelerinde afet önlemlerine karşı geliştirilmektedir. İstanbul'un yakın gelecekte büyük bir deprem riski altında olduğu öngörülmektedir. Ayrıca büyük bir depremin tsunami oluşturabileceği ve tsunami dalgalarına karşı önlemlerin 3 dakika içerisinde alınması gerektiği belirtilmektedir. Bu nedenle tsunami önlemleri için hızlı karar alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma İstanbul'da gerçekleştirilecek deprem kaynaklı tsunami durumlarında uygulanabilecek bir KDS önerisi sunmaktadır. Çalışmada pilot bölge olarak Kadıköy'deki Caferaga ve Osmanağa mahalleleri incelenmiştir.

Önerilen sistemde kullanıcılara deprem kaynaklı olası tsunami hakkında uyarı iletilmesi ve kullanıcılardan alınan konum, araca erişim, yaralı durumu gibi bilgiler doğrultusunda kişiye özel rota oluşturulmaktadır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında kullanıcı konum servisleri ve etkileşim için kullanıcı arayüzü sağlayacak bir telefon uygulaması geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca telefon uygulaması kullanıcılardan gelen verilerin işlenmesi amacıyla da kullanılabilir. Depremde hasar alan bölgelerin bildirilmesi, kapanan veya sıkışan yolların anlık olarak işlenmesi için bu veriler sisteme dâhil edilebilir. Bölgedeki kullanıcılar geri bildirimde bulunabilir.

Çalışma sadece deprem kaynaklı tsunami durumlarında uygulanabilecek Kadıköy Caferaga ve Osmanağa bölgelerine özgü bir tahliye çalışmasını içermektedir. Tsunami sadece deprem kaynaklı olmayabilir, deniz altında oluşan heyelanlar da tsunami riski doğurmaktadır. Çalışmanın kapsamı genişletilerek, tüm tsunami tiplerine uygulanabilir. Ayrıca bu çalışma, bölgede deprem kaynaklı bir hasar olmadığı varsayımı ile oluşturulmuştur. Binaların zarar görmesi durumunda, deprem bölgesinden uzaklaşmak isteyen kişilerin toplanma alanlarına ulaşımı da sisteme dâhil edilebilir. Kullanıcıların hasarlı bölgeleri üzerinde işaretlemesi veya riskli binaların analiz aşamasına dâhil edilmesi ile önerilen sistemin geliştirilmesi mümkündür.

## Teşekkür

Bu çalışma 2019-2020 eğitim yılı bahar döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı'nda "Mimari Tasarımda Karar Destek Sistemleri" doktora dersi kapsamında geliştirilmiştir. Dersin yürütücüsü Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a katkıları ve destekleri için teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- AFAD (2020, June 5). *Toplanma Alanlarına Erişim – Accessing to the meeting area*. Istanbul Governorship Provincial Disaster and Emergency Management Presidency. Retrieved June 5, 2020, from <https://istanbul.afad.gov.tr/toplanma-alanina-erisim>
- ArcGIS (2020, June 7). *World Traffic Service*. ArcGIS Online, Esri. Retrieved June 7, 2020, from <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=ff11eb5b930b4fabba15c47feb130de4>
- Coutinho-Rodrigues, J., Sousa, N., & Natividade-Jesus, E. (2016, September). *Design of evacuation plans for densely urbanised city centres*. Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer. (pp. 160-172). Thomas Telford Ltd. <https://doi.org/10.1680/jmuen.15.00005>
- Çağdaş, G., & Sağlamer, G. (1995). A simulation model to predict the emptying times of buildings. *Architectural Science Review*, 38(1), 9-19. <https://doi.org/10.1080/00038628.1995.9696771>
- Fedra, K. and Reitsma, R.F. (1990). *Decision support and Geographical Information Systems*. Geographical information systems for urban and regional planning. Report No. RR-90-009, ACA, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), <http://pure.iiasa.ac.at/3369/1/RR-90-09.pdf>
- Gershon, R. R. M. (2006, June). *The world trade center evacuation study: Lessons for other high rise office buildings*. NFPA World Safety Conference & Exposition.
- Ghorbanzadeh, M., Burns, S., Rugminiamma, L. V. N., Ozguven, E. E., & Huang, W. (2021). Spatiotemporal Analysis of Highway Traffic Patterns in Hurricane Irma Evacuation. *Transportation Research Record*, 1-14. <https://doi.org/10.1177%2F03611981211001870>
- Herrnberger, V. (1996, June). Radiological Emergency Management, Paul Scherrer Institut- PSI. Retrieved June 5, 2020, from [http://www.psi.ch/~beer/rem\\_home.html](http://www.psi.ch/~beer/rem_home.html)
- Hobeika, A. G., Kim, S., & Beckwith, R. E. (1994). A decision support system for developing evacuation plans around nuclear power stations. *Interfaces*, 24(5), 22-35. <https://doi.org/10.1287/inte.24.5.22>
- Hou, J., Yuan, Y., Wang, P., Ren, Z., & Li, X. (2017). Development of a decision support system for tsunami evacuation: application to the Jiyang District of Sanya city in China. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 17(3). 335-343. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-335-2017>
- İBB (2019). *İstanbul Deprem Çalıştayı – İstanbul Earthquake Workshop*. İstanbul Planning Agency. İstanbul Metropolitan Municipality. <https://depremezmin.ibb.istanbul/calismalarimiz/tamamlanmis-calismalar/istanbul-deprem-calistayi-2019/>
- İBB (2020, May 20). Tsunami Tehlike Analizi Raporu - Tsunami Hazard Analysis Report. İstanbul Metropolitan Municipality Directorate of Earthquake and Geotechnical Investigation. Retrieved May20, 2020, from <https://depremezmin.ibb.istanbul/calismalarimiz/tamamlanmis-calismalar/tsunami-olusmasi-durumunda-olasi-senaryolar/>
- Johnson Jr, J.H. (1985). A model of evacuation-decision making in a nuclear reactor emergency. *The Geographical Review*, 75, pp. 405-18. <https://doi.org/10.2307/214409>
- Kadıköy Municipality (2019). *Kadıköy Şehir Sağlık Profili –Kadıkoy City Health Profile*. Strategy Development management. <https://www.kadikoy.bel.tr/Kurumsal/kadikoy-sehir-profili>
- Kocatepe, A., Ozguven, E. E., Horner, M., & Ozel, H. (2018). Pet-and special needs-friendly shelter planning in south florida: A spatial capacitated p-median-based approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 1207-1222.
- KRDAE (2019). *Tsunami Bilgi Notu – Tsunami Information Report*. Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/?s=tsunami+bilgi+notu>
- Li, Q., De Rosa, M., & Rus, D. (2003, September). *Distributed algorithms for guiding navigation across a sensor network*. International conference on mobile computing and networking (pp. 313-325). <https://doi.org/10.1145/938985.939017>

- Liu, R., Jiang, D., & Shi, L. (2016). Agent-based simulation of alternative classroom evacuation scenarios. *Frontiers of Architectural Research*, 5(1), 111-125. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2015.12.002>
- Meriam, E. (2019). *Live Earthquake Mapping for Everyone*. ArcGIS Blog- ArcGIS Living Atlas. Retrieved June 7, 2020, from <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-living-atlas/mapping/earthquake-mapping-in-real-time-for-everyone/>
- Margulis, L., Charosky, P., Fernandez, J., & Centeno, M. A. (2006, June). *Hurricane evacuation decision-support model for bus dispatch*. The Fourth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCET '2006), Breaking Frontiers and Barriers in Engineering: Education, Research, and Practice (pp. 21-23).
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99-118. <https://doi.org/10.2307/1884852>
- Sprague, R.H. (1989). A Framework for the Development of Decision Support Systems. in: R.H. Sprague and H.J. Watson (Eds.), *Decision Support Systems: Putting Theory Into Practice*, Prentice-Hall, London, 9-35. <https://doi.org/10.2307/248957>
- Tseng, Y. C., Pan, M. S., & Tsai, Y. Y. (2006). Wireless sensor networks for emergency navigation. *Computer*, 39(7), 55-62. <https://doi.org/10.1109/mc.2006.248>
- Uno, K., & Kashiyama, K. (2008). Development of simulation system for the disaster evacuation based on multi-agent model using GIS. *Tsinghua Science and Technology*, 13(S1), 348-353. [https://doi.org/10.1016/S1007-0214\(08\)70173-1](https://doi.org/10.1016/S1007-0214(08)70173-1)
- Windhouwer, C. J., Sanders, C. J., & Kluder, G. A. (2005, April). Decision support system emergency planning, creating evacuation strategies in the event of flooding. B. Van de Walle and B. Carlé (Eds.), *The 2nd International ISCRAM Conference*. Royal Flemish Academy of Belgium, Brussels.
- Ying, Z., Xin-Gang, J., Bin, J., ve Rui, J. (2019). Simulation of pedestrians' evacuation dynamics with underground flood spreading based on cellular automaton. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 94, 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.03.001>