

## TSUNAMİ TAHLİYE PLANI HAZIRLIĞINDA UZAKTAN ALGILAMA VE CBS VERİLERİ KULLANIMI

SCHEMA Proje Konsorsiyumu adına E. Alparslan

TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, 41470, Gebze, Kocaeli, Erhan.Alparslan@mam.gov.tr

### ÖZET

Tsunami afetine maruz kıyı kentlerinde tsunami tahliye planlarının hazırlanması, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri verilerinin birlikte kullanılmasını gerektirmektedir. AB 6. Çerçeve Programı projeleri çerçevesinde gerçekleştirilen ve TUBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsünün proje ortağı olduğu kısa adı SCHEMA olan Tehlike Nedenli Acil Yönetim Senaryoları projesi çerçevesinde Fas Rabat, Fransa Mandelieu, Bulgaristan Balçık, İtalya Catania ve Portekiz Setubal kentleri örnek çalışma alanı olarak seçilmiş ve tsunami tahliye planlarının hazırlanabileceği bir coğrafi bilgi sistemi kurulmuştur. Bu sistemde uydu verilerinden çıkarılan bilgiler yanı sıra topografya, batimetri, nüfus dağılımı, caddeler ve ana yollar, sınıflandırılmış konutlar ve risk yaratabilecek tehlikeli alanlar yer almıştır.

**Anahtar Sözcükler:** SCHEMA, Afet Senaryoları, Tsunami Tahliye Planı, Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri.

### UTILIZATION OF REMOTE SENSING AND GIS IN PREPARATION OF A TSUNAMI EVACUATION PLAN

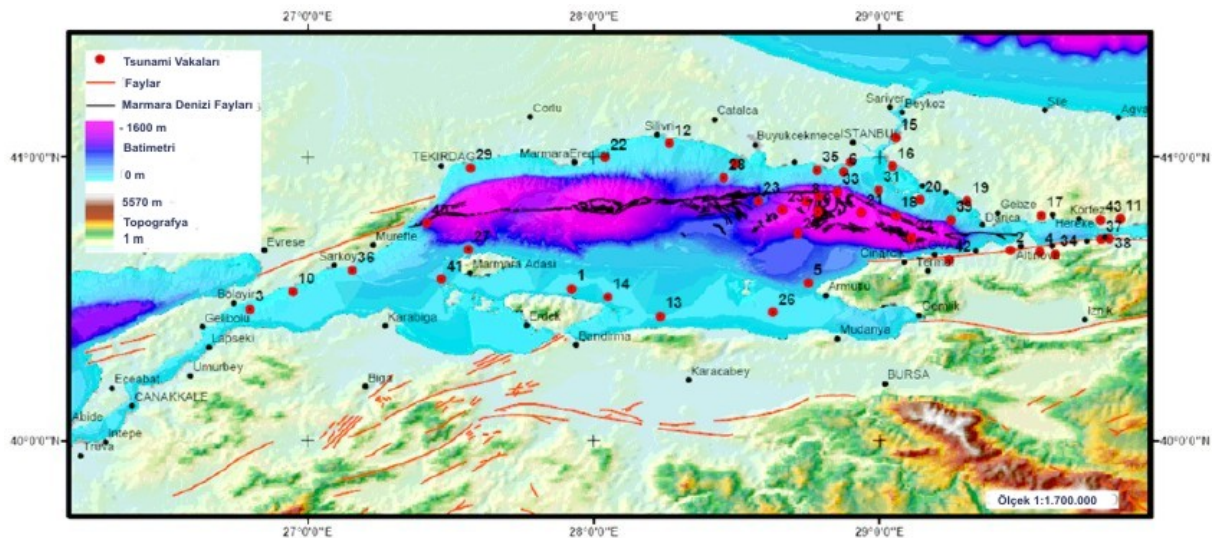
#### ABSTRACT

In coastal towns vulnerable to tsunami threat, preparation of a tsunami evacuation plan necessitates joint use of remote sensing and GIS data. In the EC 6th Frame Project with the acronym SCHEMA and the title "Scenarios for Hazard induced Emergencies Management, in which Earth and Marine Sciences Institute of TUBİTAK MRC was a partner, a GIS was established for the test sites Rabat, Morocco, Mandelieu, France, Balchik, Bulgaria, Catania, Italy and Setubal, Portugal for preparation of a tsunami evacuation plan. This GIS contained, topography, bathymetry, population distribution, roads and major paths, classified houses and hazardous situation information on dangerous areas besides information extracted from satellite images

**Keywords:** SCHEMA, Disaster Scenarios, Tsunami Evacuation Plan, Remote Sensing, Geographic Information Systems

### 1. GİRİŞ

Tsunami tehdidi altındaki kıyı kentlerinde oturanların can güvenliğini korumak için tsunami tahliye planları hazırlamak, halkı tahliye konusunda eğitmek ve güvenli sığınak yerleri belirlemek, belediyelerin, sivil toplum örgütlerinin ve yerel yetkililerin en önemli görevlerinden birisidir.



Şekil 1. Marmara Denzinde 120-1999 yıllarında tarihi tsunami vakaları (Altınok, 2001).

Türkiye’de de tsunami tehdidi altında kıyı kentlerinin bulunduğu gerçeği 1999 Marmara depremi sonrası Gölcük ve Değirmendere’de yaşanan üzücü olaylarla bir daha gözler önüne serilmiştir. Marmara Denizindeki tsunami potansiyeli araştırıldığında, yaklaşık 2000 yıllık bir gözlem döneminde 40’ın üzerinde tsunaminin olduğu ve tsunami dalgalarının İzmit Körfezinde, İstanbul kıyılarında, Gemlik Körfezinde, Kocaeli Yarımadasında ve Gelibolu kıyılarında yoğunlaştığı Şekil 1’de görülmektedir (Altınok, 2001).

Tsunami tahliye planlarının hazırlanması, Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı tarafından desteklenen tehlike nedenli acil yönetim senaryoları adlı SCHEMA projesinde ele alınan konulardan birisidir. Projede, Akdeniz, Karadeniz ve Atlantik Okyanusunda yer alan tsunami tehdidi altındaki 5 kıyı kenti seçilmiş, geçmiş afetler de göz önüne alınarak çeşitli afet senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolar çerçevesinde olası bir depremin veya heyelanın tetikleyeceği bir tsunami afetinin yaratacağı zararlar için modelleme yapılmıştır.

Bu bildiri çerçevesinde tsunami tahliye planının amaçlarına değinilecek, hazırlanması için gerekli veriler ve araçlardan bahsedilecek, bu verilerin değerlendirilmesi için neden bir CBS ortamına gerek olduğuna değinilerek, Amerika’nın Oregon eyaletindeki kıyı kentleri için geliştirilmiş tsunami tahliye planlarından örnekler verilecektir.

## 2. TSUNAMİ TAHLİYE PLANININ AMAÇLARI

Tahliye planı herhangi bir acil durumun önemli bir aracı olarak düşünülebilir. Bu planın tasarlanması, dağıtılması, denenmesi ve uygulanması afet yönetim stratejisinin, yani afete hazırlılık ve acil durumda neler yapılacağıın konularındır.

Tsunami afetinde, can kurtarmanın en açık yolu potansiyel saldırı alanlarından tahliyedir. Tsunami tahliye planının ana amacı ise kişilerin en kısa zamanda ve düzenli bir biçimde panik ve kargaşa ortamından, trafik tıkanıklığı ve sıkışıklığından kaçınarak tsunami dalgalarından güvenli bir yere ulaştırılmalarıdır. Kıyı boyunca bir yerden diğer bir yere koşullar çok farklı olabilir ve herhangi bir yerdeki koşullar zamana bağlı olarak değişebilir, ayrıca tahliye yeteneği yaş, cinsiyet ve işe bağımlı olabilir. Bu bakımdan tahliye planları, yerel yetkililerin kullandıkları araçlara ve harekete geçirebilecekleri insan kaynaklarının deneyimine bağlı olarak çok basitten çok ayrıntılıya değişen geniş bir kapsam çeşitliliğinde olabilir.

Kesin olan şudur ki bir tsunami tahliye planı yerel kıyı toplulukları için tasarlanmalı ve herhangi bir özel kıyı kentine uyarlanabilmelidir. Bu planlar, özellikle tetik mekanizmasının yapısı, yani komuta çizgisinin ve atanmış yetkililerin ulusal düzeyde tanımlanabilmesi bakımından bölgesel veya ulusal olarak uygulanamamaktadır.

## 3. TSUNAMİ TAHLİYE PLANININ YAPISI VE BİLEŞENLERİ

Katı şekliyle bir tsunami tahliye planı şunları içermelidir:

- i) bir tsunami ile su basabilecek kıyı alanının belirlenmesi
- ii) tsunami uyarısı zamanında bir tahliye bölgesinde bulunan kişilerin dalgalardan güvenli, ya kıyıdan çok uzakta olup tahliye bölgesi dışında kalan bölgeler ya da deniz seviyesinin çok yukarısında olan yerlere (dikey sığınaklara) ulaşmak için kullanabilecek tahliye yollarının belirlenmesi ve işaretlenmesi
- iii) tsunami tahliye planında kişilere tahliyeyi buyuracak, onaylayacak ve/veya tahliye koşullarını açacak sorumlu yetkiliyi de belirtmelidir.

Bunlar, tahliye planının temel elemanları olup basit olmalarına rağmen doğru dürüst tsunami fiziği, kıyı morfolojisi, kıyı alanı bilgisi ve deneyim olmadan tasarlanması zordur. Bu bakımdan tsunami tehlikesine maruz kıyı kentlerinde temel bir araç olması gereken tsunami tahliye planları ya yoktur ya da bunun yerini “kumsalda iken bir şok hissettiğinizde, kumsalı terk edin ve yükseklerle gidin” gibi asgari tavsiyeler almıştır.

Yukarıda verilen açıklamalar çerçevesinde, tsunami tahliye planı, tsunami acil durumunda toplumun doğru karşılığını belirlemek için kullanılan bir araçtır. Daha geniş anlamda, bir tsunami tahliye planı içerisinde genellikle tsunami hazırlık çemberinde yer alan aktivitelerin tümünün

gerçekten etkili olmasına yarayanlar düşünülebilir. Gerçekten de yetkililer tarafından kabul gören tsunami tahliye planından kıyı toplumunun bütün olanaklarla doğru dürüst bilgilendirilmesi, bir dizi programlı alıştırma ile planı uygulamaya eğitilmeleri ve bir tarafta tsunami tahliye planının kendisi, diğer tarafta kişilerin tepkisi, denemek için tekrarlanmalıdır.

Geçen yıllarda, kıyı toplumlarında, tsunami tehdidinin farkında olma ve hassasiyet artmış ve tsunami programları uygulanmaya başlamıştır. Tsunami tehdidine maruz kıyı kentlerinde oturan veya çalışan kişilerin eğitimine de önem verilmelidir. Amerika'nın Oregon eyaletinde Depoe ve Brookings yerleşim merkezleri için hazırlanmış tsunami tahliye planları Şekil 2a ve 2b'de verilmektedir.



Şekil 2(a) Depoe Tsunami Tahliye Planı, (b) Brookings Tsunami Tahliye Planı

#### 4. TSUNAMİ TAHLİYE PLANI HAZIRLIĞI CBS'SİNDE GEREKLİ VERİLER

Yüksek tsunami riski taşıyan bir alanda yapılacak ilk risk ve sonuçlar analizi kaçış yolları ağını ve can kurtarma aktiviteleri çerçevesinde tsunami güvenli sığınakların veya binaların belirlenip belgelenmesine yardımcı olacaktır. Eğer böyle bir çalışma daha önceden yapılmışsa mevcut yol ağlarını ve sığınaklar iyileştirme amacı ile yapılmalıdır. Bu işlem sivil korumadan sorumlu yerel yetkililer tarafından yapılmalıdır. Bu işlem sonucunda, tsunami tahliye planı çerçevesinde geçerli bir kaçış yolları ağı ve acil bir durum esnasında kullanılacak güvenli yerler tasarlanacak ve risk altındaki insanların zamanında ve güvenli olarak kurtarılmasını sağlanabilecektir. Bu analiz için gerekli temel tematik bilgi katmanları ilgili bölümlerde detaylandırılacaktır.

##### 4.1. Batimetri

Deniz derinliği ile ilgili veriler olup tsunami dalgasının yüksekliği, su baskınının yayılması ve hızını hesaplamakta kullanılmaktadır.

Çalışma alanlarından Fas, Rabat kenti için batimetri verileri SHOM (Service Hydrographique et Océanographie de la Marine) tarafından 1:153.000 ölçeğinde hazırlanmış kağıda basılı haritalardan sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Bulgaristan'ın Balçık kenti için batimetri verileri ise iki ana kaynaktan temin edilmiştir. Birisi GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) 1 dakika batimetri verisi, diğeri ise Bulgaristan kıyı bölgeleri için mevcut bulunan deniz haritalarından gelen batimetri verileridir. Fransa'nın Mandelieu kenti için 1 arc-minute aralıklı GEBCO batimetri verileri, IFREMER'den (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) ücretsiz temin edilebilen 1000 m ve 250m aralıklı batı Akdeniz morfo-batimetri verileri ile 100 – 25m aralıklı SHOM'dan temin edilen batimetri verileri, Portekiz'in Setubal kenti için SRTM 30 verilerinden hesaplatılan (0,01°, 0,0025°-0,0005° ve 0,0005°) aralıklarındaki batimetri verilerinden yararlanılmıştır. İtalya'nın

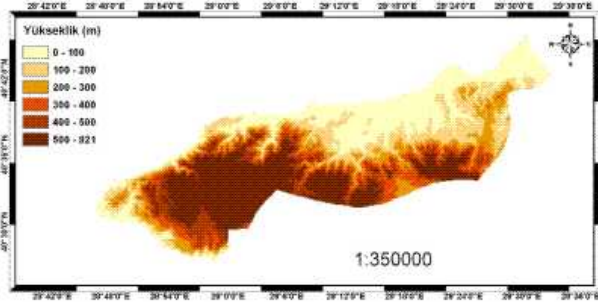


Catania kenti için 1 dakika aralıklı GEBCO batimetri verileri ISMAR (Istituto di Science del Mare, CNR) dan temin edilen İtalyan denizleri sayısal batimetri verileri ve (1:100,000, 1:30.000, 1:10.000) ölçekli IIM (Istituto Idrografica della Marina) deniz haritalarındaki verilerle birleştirilerek elde edilmiştir.

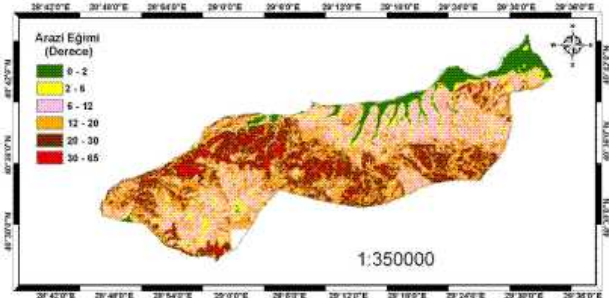
#### 4.2. Topografya

Topografya, su basmasının yanı sıra potansiyel emniyetli yerlerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Kıyı kentlerindeki alçak alanlar su basmasına daha yatkındır. Bu veriler CBS verisi olup, her ülkede yetkili kurumlar tarafından elde edilmektedir. Topografya verileri CBS ortamında işlenerek sayısal yükseklik modeli, arazi eğimi, bakışı ve tepe gölgesi gibi bilgilere de ulaşılabilmektedir.

Örneğin, Fas Rabat kenti için, o ülkenin başlıca araştırma kurumu olan CRTS' de bulunan 1:20.000, 1:10.000 ve 1:5.000 ölçekli haritalardan yararlanılmıştır Bulgaristan'ın Balçık kenti için 1:5.000 ölçeğinde topografya haritaları kullanılarak kıyı kentinin sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Çalışma alanının topografyasını sergilemek için QuickBird uydu görüntülerinden de yararlanılmış, ayrıca GPS arazi tetkikleri de yapılmıştır. Bir diğer çalışma alanı olan Fransa'nın Cannes, Mandelieu kentinin topografyası için 90m çözünürlüklü SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) topografya verilerinden yararlanılmıştır. Ayrıca, Cannes Belediyesinde bulunan fotogrametri verilerden yararlanılarak daha yüksek çözünürlüklü topografya verisi elde edilmiştir. Portekiz, Setubal kenti için 90m çözünürlüklü SRTM topografya verilerinden yararlanılmıştır. İtalya'daki Catania çalışma alanının topografyası SRTM verilerinin 1:10.000 ve 1:2.000 ölçekli Bölgesel Teknik Harita CRT verilerinin birleştirilmesinden elde edilmiştir Ülkemizin topografya verileri 1:90.000 ölçekli olarak SRTM veri kaynağından elde edilebilmektedir. Daha yüksek çözünürlüklü veriler ise 1:25.000 ölçeğinde Harita Genel Komutanlığı tarafından temin edilebilmektedir. Bu veriler, CBS ortamında işlenerek diğer bilgilere ulaşılabilir. Yalova ilinin yükseklik ve eğim verileri Şekil 3a ve 3b'de görülmektedir.



Şekil 3a. Yalova İli Yükseklik haritası

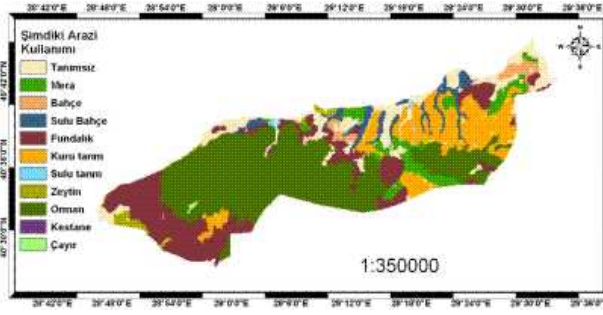


Şekil 3b. Yalova ili eğim haritası

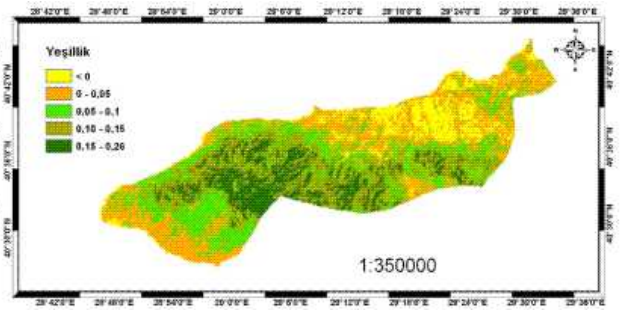
#### 4.3. Arazi Kullanımı

Arazi kullanım tipleri arazinin kumsal, yol, yapılı alan, otlak, yoğun çalılık, su yüzeyi, vs olması tsunami dalgalarının vereceği hasar konusunda bilgi verebilir. Bu bakımdan CBS ortamında, tsunami tehdidine maruz kıyı kentlerindeki güncel arazi kullanımının bulunması gerekir. SCHEMA projesinde Quickbird uydu görüntülerinden yararlanılarak Corine arazi kullanımına uygun biçimde çalışma alanlarının güncel arazi kullanımı elde edilmiştir.

Ülkemizde, bir çalışma alanının şimdiki arazi kullanımı, bulunduğu ilin toprak verilerinden elde edilebilir. Toprak verileri ülkemizde Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından 1:25.000 ölçeğinde sayısal paftalarla elde edilebilir. Sayısal paftalar CBS ortamında birleştirilerek, çalışma alanlarının sınırlarından kesilebilir. Şimdiki arazi kullanımı öznitelikler ver tablosundan alınarak CBS ortamında bir veri katmanı olarak yaratılabilir. Şimdiki arazi kullanımı, çalışma alanının uydu verisinden türetilen arazi kullanımı ile ilgili bilgilerle karşılaştırılarak güncellenebilir. Toprak verileri içinde olan şimdiki arazi kullanım bilgisi eğitilmiş biçim tanımlama yöntemine farklı arazi sınıfları ile ilgili eğitim bilgisi vererek katkıda bulunabilir. Uydu verisinden türetilen normalize fark bitki indisi görüntüsü, şimdiki arazi kullanımı sınıflarındaki bitki durumu hakkında bilgi verebilir.



Şekil 4a. Yalova İli Şimdiki Arazi Kullanımı



Şekil 4b. Yalova ili yeşillik haritası

Tsunami tahliye planı hazırlarken arazinin tipi, yani kumsal, yol, yapılı alan, otlak, yoğun çalılık veya su yüzeyi bulunması önem taşır. Kıyı kentlerimizden, Yalova ilinin şimdiki arazi kullanımını Şekil 4a'da ve püsküllü takke (Tasseled Cap) dönüşümüyle hesaplanmış yeşillik haritası ise Şekil 4b'de görülmektedir.

#### 4.4. Nüfus Dağılımı

Her mahalle ve sokakta yaşayan incinebilir insan sayının belirlenmesinde kullanılır. Bu amaçla tahliye alanındaki kentler bölgelere, mahallelere veya sokaklara bölünür. Nüfus dağılım haritasında her alt bölüm (bölge, mahalle, sokak) nüfus büyüklüğü sınıfı olarak gösterilir ve o bölgede oturan, çalışan veya terk eden kişi sayısına göre nitelendirilir. Ayrıca, her idari bölgedeki belirli yaş gruplarındaki kişi sayısı, diğer mevcut bilgiler, örneğin her idari bölgedeki özel araba sayısı tutulabilir. Bu bilgiler, özellikle tsunami tahliye aşamasında değerlendirilecek CBS verileridir ve ilgili idari birimlerden sayısal ortamda temin edilerek CBS ortamına taşınabilir.

#### 4.5. Yollar ve Ana Geçişler

SCHEMA projesi çalışma alanları için yol ağı haritası Quickbird uydu görüntüleri kullanılarak 1:5.000 ölçeğinde elde edilmiştir. Yollar daha sonra enlerine göre 5m, 5-10m, 10-15m, 15-20m ve 20m den daha fazla olarak sınıflandırılmıştır.

Kaçış yolu olarak kullanılacak seçili yollar, caddeler ve sokaklar CBS ortamında belirlenmelidir. Bu yollar ayrıca kapasitelerine göre sınıflandırılmalı ve analizlerde kolaylık sağlaması açısından niteliğine göre renklendirilmelidir. Pratik nedenlerden ötürü sadece caddeler ve belirli genişlikteki yollar tsunami tahliyesi için göz önüne alınmalıdır. Tsunami tahliye planı hazırlarken herhangi bir yolun kullanılabilirliğini değerlendirebilmek için yolun asfaltla kaplı olup olmadığı, eni, kaç şeridi bulunduğu, hem yaya hem araç olarak yük kapasitesi ve ortalama yaya/araç sürati bilgilerinin yol nitelik bilgileri arasında bulunması gerekir.

Acil yol ağları önemli altyapılar olup, onlara verilecek hasar, bir tsunami vakasından sonraki acil iyileştirme çalışmalarını büyük ölçüde etkiler ve hastanelere, tıp merkezlerine, sığınak alanlarına, hava alanlarına ve etkilenen alanlara erişimi engeller (Amini, 2007; Kiremidjian, 2007). Hasar yol ağı yüzeyinin çatlaması, bölgesel yükselme veya çökme, yol ağı tıkanıklığı, hatta yolun bir kısmının yok olmasıyla gerçekleşir. Yeni ve bakımlı yollar eski yollara nazaran tsunami dalgalarına karşı daha dirençlidir. Asfaltla kaplanmamış yollar kolaylıkla dalga kuvvetiyle değişebilir ve kesilebilir olması nedeniyle asfaltla kaplanmamış yollardan daha incinebilirdir. Dar yollar değişebilir, su basabilir ve hasar görebilir olmaları nedeniyle daha hassastır (Pitilakis vd., 2005). Kolaylıkla enkaz birikintileri ile, hasar görmüş bina parçaları, kırılmış yer altı su boruları, vs. ile tıkanabilir. Tsunami esnasında demiryolları ya kırılır ya da selle sürüklenir. Örneğin, Güneydoğu Asya tsunamasında, Galle bölgesinin kuzeyindeki Kahawa kentinde, en yakın kumsaldan 190m uzaklıkta demiryolundan geçen bir tren sürüklenmişti (Tomita vd., 2005).

#### 4.6. Sınıflandırılmış Bina Tipleri

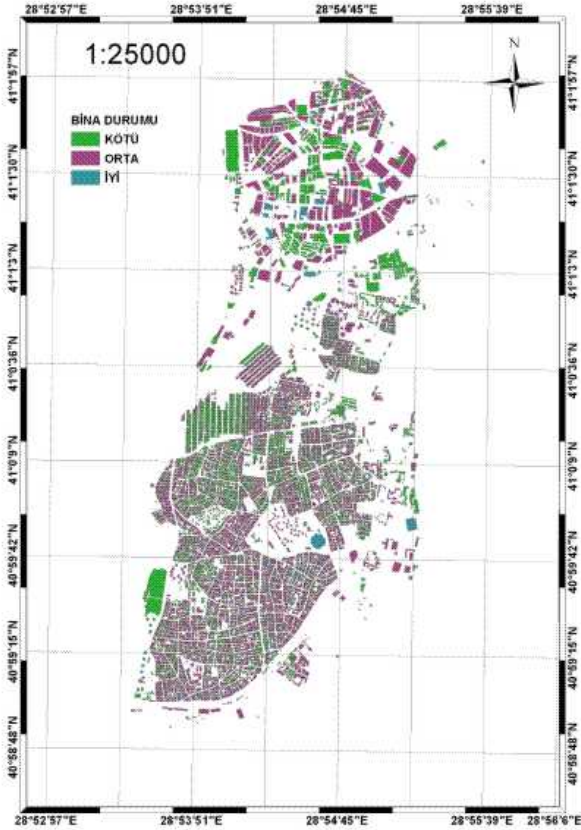
Yapıldıkları malzemeye göre sınıflandırılmış bina haritası, incinebilir ev tiplerini ortaya çıkarmaya yardımcı olacaktır (Leone vd., 2006; Reese vd., 2007; Peiris, 2006). Örneğin deprem sonrası yıkılmadan kalmış binalar dikey sığınak olarak kullanılabilir. Dikey sığınak olarak seçilen binalar gelen tsunami dalgalarının taşıdığı yüzen enkaz ve kocaman nesnelere verebileceği ağır hasara dayanıklı olmalıdır.

SCHEMA projesinde kullanılan bina tipleri tablosu Tablo 1’de verilmektedir.

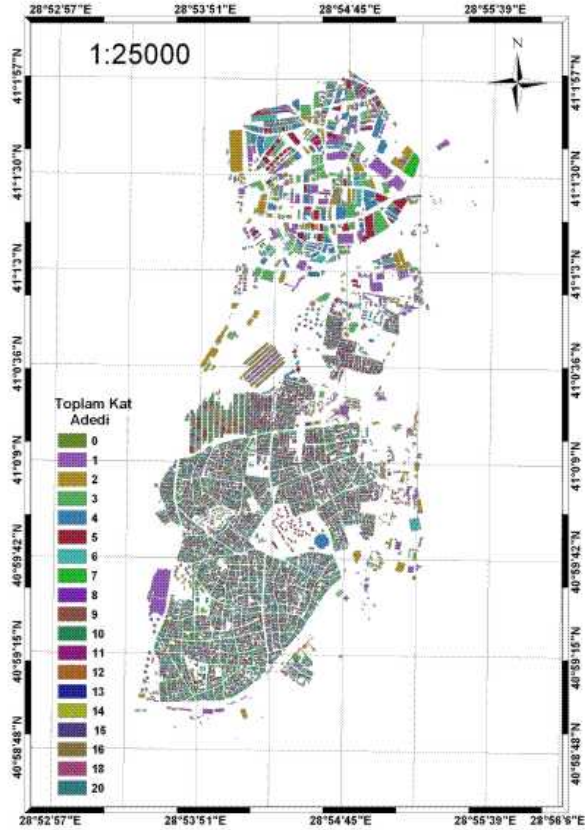
**Tablo 1.** Bina Tipleri Tablosu (SCHEMA D1.3)

A) Ahşap, (kereste) plaj veya deniz önü bir bazen iki katlı hafif yapılar	B) Güçlendirilmemiş tuğlalı, çimento harçlı duvarlı kağır binalar
C1) Genellikle müstakil bina, güçlendirilmiş sütunlu tuğla kağır dolgulu villalar	C2) Eski sanayi ve konut binaları
D1) Güçlendirilmemiş beton konut veya ticari bina, büyük villalar veya 1-3 katlı toplu binalar	E1) Güçlendirilmiş beton binalar, 1-3 katlı konutlar veya kolektif yapılar veya binalar, park yerleri, okullar
E2) Güçlendirilmiş beton bina konut veya toplu yapılar veya büro, park yeri, okullar ve üçten çok katlı binalar	F) Liman ve sanayi binası, güçlendirilmiş beton, çelik iskelet, hangar
G) Diğer tarihi binalar, idari binalar	

Binaların içinde buldukları koşul, iyi, orta ve kötü durumda bulunmaları, bina yüksekliği ve kat sayısı, bina sahibinin kamu veya özel olması ve bina kullanım şeklinin mesken, okul, otel, hastane vs. olması tsunami tahliye planı hazırlarken kullanılacak veriler arasındadır. Bu bilgileri günümüzdeki mevcut yüksek çözünürlüklü (70 cm) Quickbird vb. uydu verilerinden elde etmek mümkün değildir. Uydu verileri ancak düzenli tek tip binaları, örneğin derme çatma binaları bloklar olarak ayırt etmekte faydalıdır. Bunun yerine belediyelerin görevlendireceği bir arazi ekibinin görevlendirilmesi ve her bina hakkındaki bilgileri önce kağıt ortamında toplaması, daha sonra bilgisayar ortamında kurulacak bir CBS’ ye bina bilgilerini işlemesi gerekmektedir. İstanbul’un Zeytinburnu ilçesinde bu şekilde toplanmış verilerden CBS ortamında elde edilen binaların bulunduğu koşul haritası Şekil 5a’da, bina kat sayısı haritası ise Şekil 5b’de yer almaktadır.



Şekil 5a. Zeytinburnu bina koşulu haritası



Şekil 5b. Zeytinburnu bina toplam kat sayısı haritası



#### 4.7. Tehlike Oluşturan Sanayi Tesisleri

Tsunami dalgası darbesiyle tetiklenecek bir potansiyel teknolojik tehlikeye sahip bütün sanayi tesisleri belirlenerek bir CBS ortamında nokta koordinatları bilgi katmanı olarak tutulmaları ve özellikle dikey tahliye noktalarının bu tehlikeden alabileceği zararlar bir senaryo çerçevesinde göz önünde bulundurulmalıdır.

#### 4.8. Yüzen Nesnelere



**Şekil 6.** Solda tsunami dalgalarıyla yer değiştiren güç üreten araç, sağda ise yer değiştiren yakıt tankı. Bu ağır nesnelere yolları üzerindeki evlere hasar verdi. (Saatçioğlu vd., 2005)

Tsunami dalgasıyla birlikte yüzen enkaz dalga basıncı da göz önünde bulundurulursa binalara etkisi çok yıkıcı olabilir. 2004 Hint Okyanusu tsunamisinde binalar ve altyapılar üzerinde gözlemlenen hasarlar kısmen tekneler, otomobiller, kamyonlar, balıkçı araçları vs. gibi yüzen nesnelere tarafından yapılmıştı. Örnek olarak, Şekil 6'da görülen, Endonezya Banda Aceh'de büyük bir güç üreten ve yakıt tankı tsunami dalgaları tarafından 3,5 km kara içine sürüklenerek, yolu üstündeki oturan binalara zarar vermişti (Saatçioğlu vd., 2005).

Yüzen nesnelere çarpmasıyla binalarda oluşacak basıncı ve kuvveti kestirmek zor olmasına rağmen dalgalar tarafından nelerin sürükleneceği kestirilebilir. Yüksek çözünürlüklü Quickbird uydu görüntüleri kullanarak kıyı kentlerindeki potansiyel olarak hareket edebilir nesnelere belirlenerek CBS ortamında bir bilgi katmanı oluşturulabilir. Bu nesnelere tsunami dalgası geldiğinde sürüklenecek marinalarda bulunan yüzen tekneler, kumsaldaki küçük balıkçı sandalları, park yerlerindeki otomobiller, açık depolarda saklanan malzemeler olabilir.

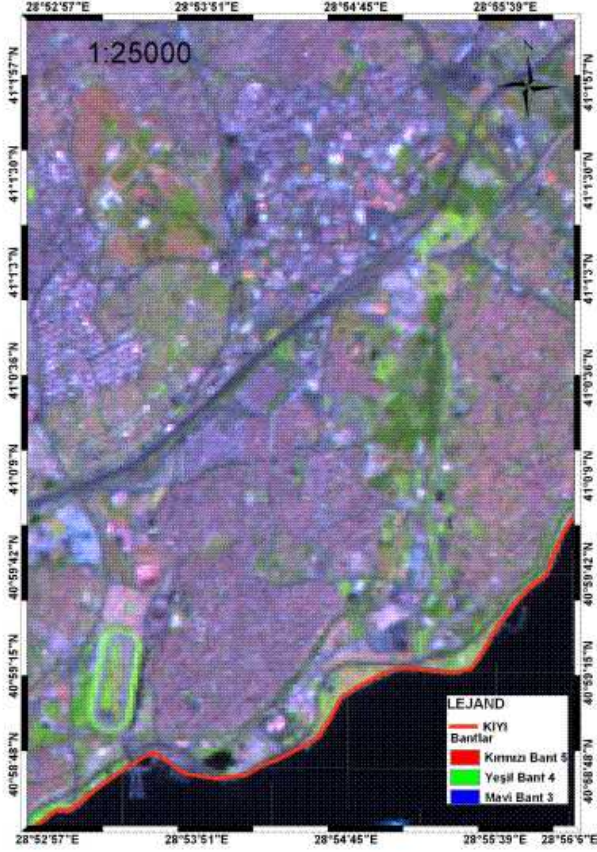
#### 4.9. Kıyıya Uzaklık

Tsunami dalgası geldiğinde kıyıya yakın bölgeler, su altında kalır. Kıyıdan uzaklaştıkça tsunami dalgaları altında kalma riski azalır ve bu bölgeler yatay sığınma ve toplanma noktaları olarak kullanılabilir. Zeytinburnu ilçesinin Haziran 2005 tarihli Landsat uydu görüntüsü (Bant 5 4 3) bileşimi Şekil 7a'da, bu görüntüden sayısallaştırılmış kıyı çizgisi ve kıyıdan uzaklık bölgeleri ise Şekil 7b'de verilmektedir.

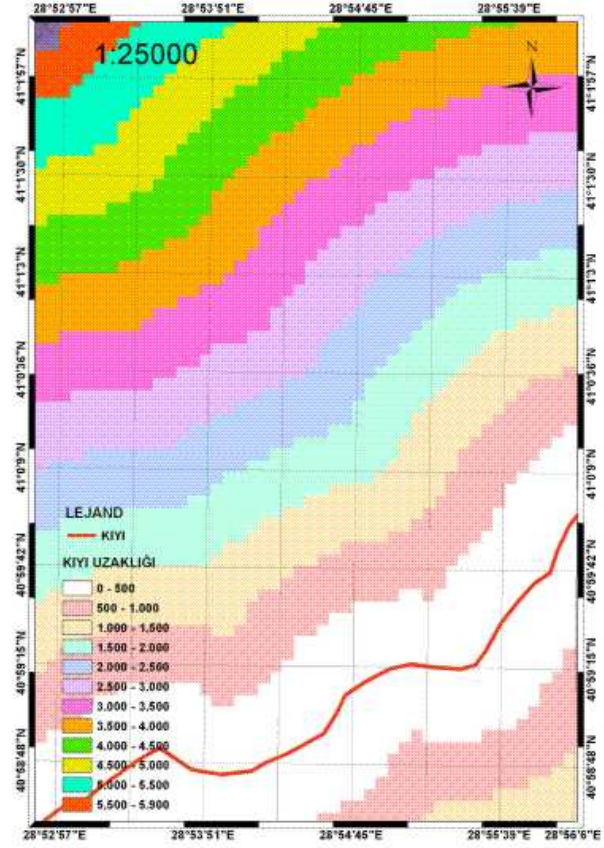
### 5. CBS ORTAMINDA GERÇEKLEŞTİRİLECEK ÇALIŞMALAR

CBS ortamına yukarıda bahsedilen veriler yerleştirildikten sonra tsunami tahliye planının hazırlanması aşamasında yapılması gereken çalışmalar aşağıda listelenmiştir: Bunlardan ilk üç çalışma, eldeki verilerle tsunami yayılma benzetimi yapan özel programlarla hesaplanmıştır. Bu programlar, TIDAL, ComMIT, MOHID, FUNWAVE ve UBO-TSUFID yazılımlarıdır (SCHEMA, D1.3, 70)

- İlk dalganın beklenen varış zamanının hesaplanması: İlk yıkıcı tsunami dalgasının beklenen en kısa varış zamanı hesaplama yönteminin anahtar girdisidir çünkü tahliye konuşlanmasının sağlayacağı tepki zamanını tanımlar. Pratikte ilk dalganın varış zamanı ve uyarının verildiği zaman arasındaki zaman aralığıdır.
- Beklenen dalga yüksekliğinin hesaplanması: Birkaç geri dönüş süresine göre hesaplanabilir. Beklenen dalga yüksekliği bütün modelin anahtar parametrelerinden biridir.



Şekil 7a. Zeytinburnu ilçesi Landsat 2005 uydu görüntüsü



Şekil 7b. Deniz kıyısına uzaklık bölgeleri

- Su baskınına uğrayacak yerlerin haritası sayısal yükseklik haritasının beklenen dalga yüksekliği ile çarpılması ile bulunur. Su baskını haritasında farklı dalga boyları olabilir, çünkü ilk darbeye dalga maksimum yüksekliğe ulaşır, daha sonra yumuşayabilir. Kestirilen su baskını alanı tahliye alanı veya tsunami tehlike bölgesi olarak düşünülebilir, su altında kalmayan alan ise güvenli yerleri belirler. Yatay sığınaklar su basan alanlar dışındaki alanlardır. Arazi yükseltileri, tepeler, tümsekler toplanma noktaları olarak göz önüne alınabilir.
- Dikey sığınma yerlerinin belirlenmesi: Su baskını haritası ile bina haritası birlikte analiz edilerek bulunur. Dikey sığınaklar gelen dalgaların maksimum seviyesinin oldukça yukarısında (+5m) bir yükseklikte olmalıdır. Güvenilir yükseklik maksimum dalga yüksekliğinden %30 daha fazla (+1m) olarak tahesaplanabilir.
- Tsunamiden etkilenecek nüfusun belirlenmesi: Su baskını ile nüfus dağılım katmanı üst üste getirildiğinde riske maruz kişiler tanımlanabilir ve risk/acil durum haritası yaratılabilir. Yol ağı tahliye veya yardım için hastanelere ve acil tesislere ulaşabilmek için mevcut veya geçilebilir yolları gösterir. Riske maruz kişiler haritası su baskını haritasına göre tamamen su altında kalan veya kısmen etkilenen bölgeleri gösterir. Çeşitli bölgelerdeki nüfus dağılımı gösteren harita su baskını haritasıyla karşılaştırıldığında, bölgelerde ne kadar insanın etkileneceği belirlenebilir. Benzer şekilde okullar, hastaneler, huzur evlerinden hangilerinin etkileneceği belirlenebilir.

SCHEMA projesinde yaya olarak, araçla(otobüs) veya hem yayan hem otobüsle tsunamiden tahliye düşünülmüştür. Asya, Güney pasifikte yatay ve/veya dikey sığınaklara yayan tahliye düşünülmüştür. SCHEMA projesinde de tahliye için çekirdek olarak yayan tahliye düşünülmüştür. Ancak, Catania ve Mandelieu gibi şehir merkezlerinde araçla tahliye senaryoları öngörülen afet senaryosuna göre incelenecektir. Fakat tsunami dalgasının geliş zamanı çok küçük olduğu için yaya tahliye analizine odaklanılacaktır.



SCHEMA projesinde tahliye planlaması ve tahliye yollarının belirlenmesi için tahliye gereksinimlerine en uygun olan yayan tahliye göz önüne alınmıştır. Bu bakımdan tahliye planlanmasında ele alınan işlemlerden birisi tahliye edilen grubun en yakın güvenli yere yayan ulaşması için gereken tahliye zamanını ve tsunami uyarısı durumunda bu zamanının gerçekçi olup olmadığını belirlenmesidir. Bir takım uzaklık maliyetiyle ilgili analiz tahliye planı içinde yer alıp bu analizler hem yayan hem de araçlarla tahliyede kullanılmıştır. Maliyet kavramı ise hareket noktasından (oturulan yerden veya işyerinden) bir sığınağa ulaşma zorluğudur. En basit çözüm hareket noktasına en yakın sığınığın seçilmesidir. Fakat bazı durumlarda, sığınak ile hareket noktası arasında nehir, sel alanı, bir blok bina veya yol orta kaldırımı gibi geçilemeyen engeller bulunabilmektedir. Maliyet yüzey analizinde bu zorluğun etkisi her hücre için zaman cinsinden hesaplanmaktadır.

## 6. SONUÇLAR

Tsunami tahliye planının hazırlanması çalışmasında uzaktan algılama ve CBS verileri yoğun olarak kullanılmaktadır. Tsunami senaryosunun hazırlanması için tsunami dalgasının kıyıya ilk geliş zamanına ve su baskını altında kalacak alanların belirlenmesine gereksinim vardır. Tsunami tehdidi altında olan kıyı kentlerinde oturanların veya işyeri olup bu bölgelerde çalışanların can güvenliği açısından risk bölgelerinden tahliyesi ve en yakın güvenilir yatay veya dikey sığınma yerlerine yayan veya araçla en kısa zamanda götürülebilmeleri gerekmektedir. Bunun için o bölgenin CBS ortamında hazırlanabilecek topografya, batimetri ve yüksek çözünürlü uydu verilerinden elde edilebilecek kıyı çizgisi, arazi örtüsü, farklı bina tipleri, yol ağı, kıyıya uzaklık ve yol ağı gibi bilgilere gereksinimi bulunmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Altınok, Y. ve Ersoy Ş.,** 2000, Tsunamis observed on and near the Turkish Coast, *Natural Hazards*, 21, 185-205
- Amini Hosseini K., Jafari M.K,** 2007. Development Guidelines for Disaster Risk Management in Tehran. Proceedings of 5th International Conf. on Seismology and Earthquake Engineering, May 2007, Teheran, Iran 123, pp.123-129.
- SCHEMA Consortium,** 2009, Lessons learnt from Asia test site, SCHEMA project, Report D1.3
- SCHEMA Consortium,** 2009, State of the art, Report D1.1
- Kiremidjian A., Moore J., Fan Y.Y., Yazlali O., Basoz N., Williams M.** 2007. Seismic Risk Assessment of Transportation Network Systems, *Journal of Earthquake Engineering* 11 (3), 371 – 382.
- Leone F., Denain J.C., Vinet F. and Bachri S.,** 2006. Analyse spatiale des dommages au bâti de Banda Aceh (Sumatra, Indonésie) : contribution à la connaissance du phénomène et à l'élaboration de scénarios de risque tsunami. Scientific report of Tsunarisque (2005-2006) programme.
- Peiris, N.,** 2006. Vulnerability functions for tsunami loss estimation. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland
- Pitilakis K., Alexoudi M., Argyroudis S., Anastasiadis A.,** 2005. Seismic risk scenarios for an efficient seismic risk management : the case of Thessaloniki (Greece). Advances in earthquake engineering for urban risk reduction. Turkey, 30 May–1 June 2005. [www.seru.metu.edu.tr/Istanbul/Presentations/pitilakis.pdf](http://www.seru.metu.edu.tr/Istanbul/Presentations/pitilakis.pdf).
- Reese S., Cousins W.J., Power W.L., Palmer N.G., Tejakusuma I.G. and Nugrahadi S.,** 2007. Tsunami vulnerability of buildings and people in South Java-field observations after the July 2006 Java tsunami. *Natural Hazards and Earth systems sciences*, 7, 573-589
- Saatcioglu M., Ghojarah A. and Nistor I.,** 2006. Performance of structures in Thailand during the december 2004 great Sumatra earthquake and Indian ocean tsunami. *Earthquake Spectra, Special Issue III*, 22, S355-S375.
- Tomita T., Arikawa T., Yasuda T., Imamura F., Kawata Y.,** 2005. 2004 Indian Ocean Tsunami in South-West Coast of Sri Lanka and Its Damage. Technical Memorandum of Public Works Research Institute.pp.35-40.