

## Yerleşime uygunluğun Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile sorgulanması, Esenler (İstanbul) örneği

T. Fikret Kurnaz<sup>\*1</sup>, Şefik Ramazanoğlu<sup>2</sup>

*24.02.2014 Geliş/Received, 28.03.2014 Kabul/Accepted*

### ÖZ

Yerleşim alanlarının planlamalarında, zemin özellikleri açısından güvenli ve riskli olan bölgelerin tespit edilmesinin gerekliliği, özellikle deprem, heyelan vb. doğal afetler göz önüne alındığında oldukça önem arz etmektedir. Özellikle 1999 Marmara depreminde yaşanan kayıpların ardından, ülkemizde yeni yerleşim alanlarının seçiminde ve mevcut yerleşim alanlarının kullanım açısından planlanmasında, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nden (CBS) yararlanılarak hazırlanan çalışmalar etkin bir rol almaktadır. CBS'nin sağladığı en önemli avantajlarından birisi, oluşturulan veri tabanları içinde farklı türde sorgulamalar yapılabilmesidir. Bu çalışmada, İstanbul'un Avrupa yakasında yer alan Esenler ilçesinin zemin özellikleri jeolojik, jeofizik ve jeoteknik verilerin bir arada kullanımı ile araştırılmış ve yerleşime uygunluk durumu CBS'nin sorgulama özelliği ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede, ilçe zeminlerine ait SPT-N30 darbe sayıları, kayma dalgası hızları (Vs), yerel zemin sınıfları, taşıma gücü (qnet), zemin büyütme ve yamaç stabilite durumları kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, ilçenin kuzey kesimleri, yerleşime uygunluk açısından güney kesimlere oranla çok daha güvenilir jeoteknik koşullara sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Esenler, CBS, sorgulama, yerleşime uygunluk

## The interrogation of settlement suitability by using GIS, a case study in Esenler (Istanbul)

### ABSTRACT

The determination of the safe and risky areas in terms of soil properties is highly important in the planning of residential areas considering the earthquake, landslide, etc. natural disasters. The studies prepared by utilizing from Geographic Information Systems (GIS) take an effective role in our country in the selection of new residential areas and in the planning of the existing residential areas in particularly the losses suffered in after the 1999 Marmara earthquake. Different types of interrogations can be made in the created database that is one of the major advantages of GIS. In this study, the soil characteristics of the Esenler town located in the european side of Istanbul province have been investigated with geological, geophysical and geotechnical data the settlement suitability conditions was evaluated by the interrogation capability of the GIS. The SPT-N30 blow counts, shear wave velocity (Vs), local soil classes, bearing capacity, soil amplification and slope stability conditions belonging to the study area were used in this evaluation. According to the research results, the northern parts of the study area have much more reliable geotechnical conditions compared to the southern parts in terms of the settlement suitability.

**Keywords:** Esenler, GIS, interrogation, settlement suitability

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sakarya - fkurnaz@sakarya.edu.tr

2 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sakarya - sefiker@sakarya.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

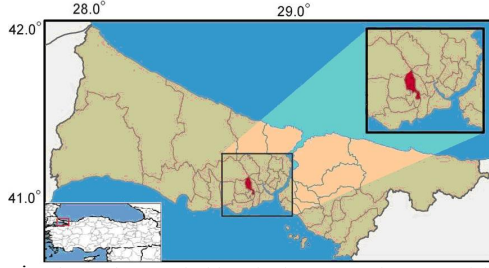
Ülkemiz, aktif bir tektonik kuşak üzerinde bulunmakta olup, deprem, heyelan vb. doğal afetlere elverişli bir topografyaya sahiptir. Bu da, yerleşim alanlarının planlamalarında, zemin özellikleri açısından güvenli ve riskli olan bölgelerin tespit edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle 1999 yılında meydana gelen İzmit ve Düzce depremlerinde yaşanan ağır kayıplar ve zararlar, ülkemizde deprem bilincinin ve olası depremlere karşı alınacak önlemler konusundaki duyarlılığın gelişmesine vesile olmuştur.

Kentsel planlama, mevcut ve beklenen problem çözümleri için, veri toplama, analiz ve sentez yöntemleri ile kısa, orta ve uzun vadeli hedefler belirlemede ve bu hedeflere ulaşmak için uygulanabilir yöntemler tanımlamaktadır [1, 2]. Kentsel planlamada yer seçimi etkileyebilecek en temel kısıtlamalar, jeolojik ve fiziksel kısıtlamalardır. Bu kısıtlamalar, topografya, jeolojik yapı, iklim koşulları, sismoloji, hidrojeolojik özellikler, yapı malzemeleri, zemin kalitesi, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerdir. Tüm dünyada, şehirlerin jeolojik ortamlarının planlanması ve haritalanmasında, kentsel planlamanın önemli bir yeri vardır. Bazı durumlarda çevresel jeoloji ile eş anlamlı olarak bile kabul edilmektedir [3]. Ayrıca kentsel alanların gelişmesi ve kalkınmasında arazi kaynakları ve jeolojik tehlikelerin çalışması olarak da tanımlanır [4]. Kent jeolojisi, akılcı bir arazi kullanım planlaması ve kentsel gelişim için planlamacılar ve politikacılara jeolojik bilgi sağlar. Bu konuda, dünya genelinde bazı şehirler için, planlamaya yönelik olarak yapılmış bir çok kentsel jeoloji çalışması mevcuttur [3-16].

Arazi planlamasına yönelik zemin araştırmalarında, yerel zemin koşullarını açıklayan parametrelerin bölgedeki değişiminin belirlenmesi ve bu parametrelerin analizi sonucu elde edilen veri tabakalarının birleştirilerek aralarındaki ilişkilerin anlaşılması gerekmektedir. Ayrıca, elde edilen tüm veriler coğrafi koordinatlar ile ilişkilendirilmelidir. Bütün bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi ve uygulanabilmesi için istatistiksel veya matematiksel coğrafi analizlere ve verilerin görsel olarak sunumlarının yapılmasının gereksinimi vardır. Bu amaç için kullanılan en iyi araçlardan birisi de Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'dir [17]. Bu sistem, coğrafi konumu olan nesne ve olaylara ait tüm verilerin toplanmasını ve depolanmasını yanı sıra güncelleştirilmesini, sorgulanmasını, sentezlenmesini ve yeni seçenekler üretmesini çok kısa bir sürede yapabilecek nitelikte bir teknolojik sistemler bütünüdür [18]. Kentsel planlama amaçlı zemin araştırma çalışmalarında büyük hacimli veri tabanları ile çalışılmakta ve bu veri tabanlarının hızlı bir şekilde

değerlendirilmesi, görüntülenmesi ve sorgulamaların yapılması ancak Coğrafi Bilgi Sistemleri ile sağlanabilmektedir. Günümüzde coğrafya ve coğrafyayı tanımlayan veriler günlük yaşamımızın bir parçasıdır. Hemen hemen her konudaki kararlarımız bu verilerden etkilenmekte, bu veriler ile sınırlanmakta ve yönetilmektedir. Tıpkı makro ölçeklerdeki kararların alınmasında olduğu gibi, günlük kent yaşamında da elektrik, su, altyapı gibi minimum kentsel yaşam standartlarının sağlanması ve yönetilmesi ile gerek doğal, gerekse insan nedenli afetlerin etkilerinin azaltılmasında, bilim adamları ve karar vericiler tarafından bu önemli veriler hızla anlaşılacak zorundadır. Esas amaç, karar verme süreci içerisinde gerek alternatifler üretmek, gerekse de aynı anda farklı senaryoları değerlendirerek tüm süreci hızlandırmaktır. Bu ise ancak Coğrafi Bilgi Sistemleri sayesinde gerçekleşebilir. Coğrafi Bilgi Sistemleri, coğrafi verilerin söz konusu olduğu her alanda uygulanabilir bir yapı sunmaktadır. Coğrafi verinin tanımının ne kadar geniş olduğu hatırlanırsa, CBS uygulama alanlarının da o denli uzun bir liste oluşturacağı sonucuna varılır. Hatta CBS için, kullanıcı sayısı ile doğru orantılı kabul edilebilecek kadar değişik kullanıcıları vardır denilebilir.

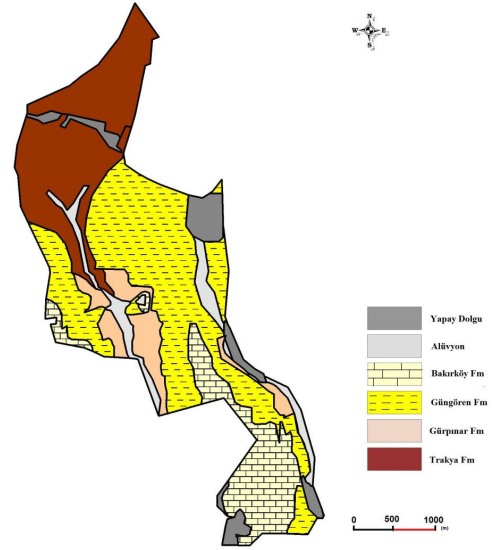
Bu çalışmaya konu olan Esenler ilçesi İstanbul'un Avrupa Yakası'nda yer almaktadır (Şekil 1). Yaklaşık 11 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahip olmasına rağmen 2008 nüfus sayımına göre, ilçede yaklaşık yarım milyon (464.557) kişi yaşamaktadır. Muhtemel İstanbul depreminden asgari düzeyde etkilenmek ve ilçeyi kaçak yapılaşmadan arındırmak için Esenler Belediyesi tarafından kentsel dönüşüm projesi hayata geçirilerek, ilçede mahalle bazında kademeli olarak yeniden yapılaşmaya gidilmesi planlanmaktadır. Bu çalışmada, Esenler ilçesinin mühendislik açısından önem arz eden temel zemin özelliklerini ortaya koyarak, yerleşime uygunluğunun değerlendirilmesi amacı ile, toplam 370 adet sondaj ve 150 adet sismik kırılma çalışmasına ait veriler ile 908 adet örselenmiş, 174 adet örselenmemiş zemin numunesi ve 39 adet kayaç örneği üzerinde yapılan deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler, başta Esenler Belediyesi olmak üzere, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve bölgede zemin etüd vb. faaliyetler gösteren çeşitli firmalardan temin edilmiştir. Eldeki veriler ve araştırma bulgularının sonuçları kullanılarak, CBS tabanlı tematik haritalar oluşturulmuş ve yerleşime uygunluğun değerlendirilmesinde CBS'nin sorgulama yeteneğinden yararlanılarak, amaca yönelik farklı türde sorgulamalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında "MapInfo Professional" ve "Vertical Mapper" olmak üzere iki CBS yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası (Location map of the study area)

## 2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ ( THE GEOLOGY OF THE STUDY AREA)

Çalışma alanında, alttan üste doğru Trakya Formasyonu, Gürpınar Formasyonu, Güngören Formasyonu, Bakırköy Formasyonu ve vadilerde alüvyon mevcuttur. Bunun yanında, arazinin çeşitli yerlerinde, yer yer yapay dolgu alanlar mevcuttur. Şekil 2' de inceleme alanında yapılan sondajlardan ve çeşitli kaynaklardan yola çıkılarak oluşturulan çalışma alanının jeoloji haritası görülmektedir. İnceleme alanının temeli Paleozoik yaşlı Trakya Formasyonu ile kaplıdır. Trakya Formasyonu, inceleme alanının kuzey kesimlerinde yüzeylenmektedir. Arazide Trakya Formasyonu, çoğunlukla kumtaşı, kiltası ve grovak (köşeli kuvars ile feldspat taneleri içeren kumtaşı türü) ardalanması şeklinde istiflenmiştir [19, 20]. Oligosen yaşlı Gürpınar formasyonunun ana litolojisi ise, grimsi yeşil renkli, aşırı konsolide killerden oluşmaktadır. Miyosen yaşlı Güngören Formasyonu, genelde yeşilimsi renkli, çok katı, sert kıvamlı killerden oluşmaktadır. İnceleme alanında geniş bir yayılım göstermektedir [21]. Güngören formasyonunun üst seviyelerini oluşturan Üst Miyosen yaşlı Bakırköy Formasyonu'nun hakim litolojisi, gölsel ortamda çökelmiş, kirli beyaz-krem renkli, yatay katmanlı, genellikle yeşil kil ara tabakalı, zayıf-orta dayanımlı, mactrali kireçtaşları ile marnlardan oluşmaktadır. Alüvyonlar, geç Kuvaterner'de İstanbul yarımadasında mevcut olan çeşitli akarsu ortamlarında depolanmış, gevşek blok-çakıl-kum-silt-kilden oluşan çökellerdir. Bununla birlikte, çalışma alanının bazı kesimlerinde litolojisi heterojen kaya parçaları, bloklar, kumlar ve killerden oluşan yapay dolgu alanları mevcuttur.

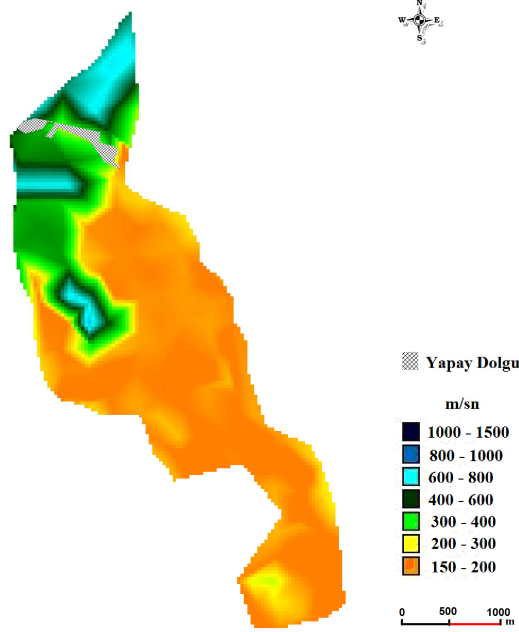


Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Jeolojik map of the study area)

## 3. İNCELEME ALANININ JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN CBS İLE HARİTALANMASI (THE MAPPING OF THE GEOTECHNICAL PROPERTIES OF THE STUDY AREA BY USING GIS)

İnceleme alanının jeoteknik özelliklerinin belirlenmesinde, çalışma alanında yapılmış olan 370 sondaj ve 150 adet jeofizik sismik kırılma çalışmasına ait veriler ile sondajlar sırasında alınmış olan 908 adet örselenmiş, 174 adet örselenmemiş zemin numunesi ve 39 adet kayaç örneği üzerinde yapılan deney sonuçları kullanılmıştır. Oluşturulan veri tabanı ile amaca yönelik CBS tabanlı haritalar oluşturulmuş, zemin özelliklerinin inceleme alanındaki değişimleri incelenmiştir. Mevcut ve yeni yapılan binalarda temel derinliği olarak genelde 2-3 m derinlik seçilmesinden ötürü, bu çalışmada yüzeyden itibaren ilk 5 m derinliğe ait jeoteknik özellikler araştırılmıştır. Bunun yanında, inceleme alanının jeoloji haritasında görülen (Şekil 2) yapay dolgu alanlar, yapılacak analizlerde ve oluşturulacak haritalarda hatalı yorumlara sebebiyet verebileceğinden ötürü çalışma alanı dışında tutulmuştur. Şekil 3'de bu çalışmada verilerinden yararlanılan sondaj ve sismik uygulamalarına ait lokasyon haritaları görülmektedir.



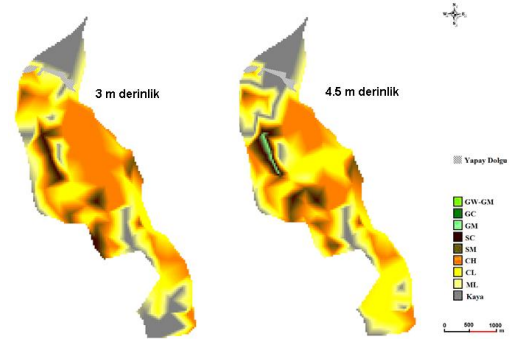


Şekil 5. Yüzeiden 5 m derinlikte kayma dalgası (Vs) hız dağılımı haritası (5 m depth from the surface shear wave (Vs) velocity distribution map)

### 3.3 Zemin Sınıfları (Soil Classes)

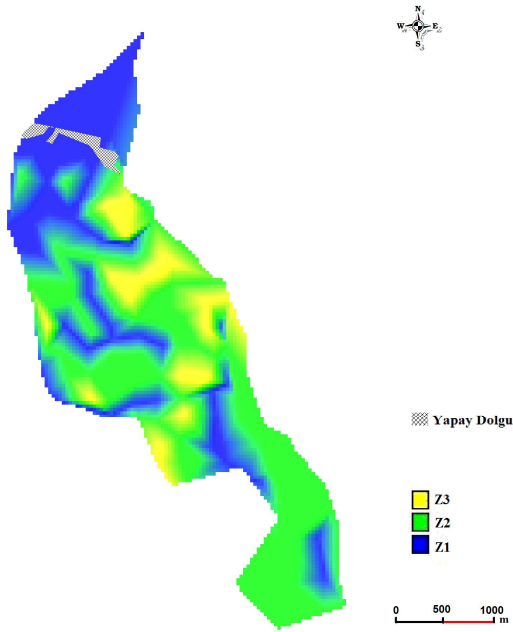
Zeminlerin sınıflandırılması mühendisler arasında kullanılan ortak bir dil olarak düşünülebilir. Bir zemine atanabilecek birkaç harf veya sayı, mühendise ya da teknikere zeminin olası fiziksel özellikleri, hatta mekanik davranışları hakkında çok hızlı bir fikir sağlamaktadır. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (Unified Soil Classification System: USCS), günümüzde kullanılan en yaygın zemin sınıflandırma sistemidir. İnceleme alanında ilk 5 m derinlik için zemin sınıflarının belirlenmesinde 908 adet örselenmiş numuneye ait elek analizi ve kıvam limitleri deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Yüzeiden itibaren ilk 1-2 m'lik dilimde örtü toprak varlığından ötürü 1.5 m derinliğe ait sonuçlar dikkate alınmamıştır. Çalışma alanında Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına göre yapılan sınıflamada 8 adet farklı zemin sınıfı tespit edilmiştir. Bunlar ML, CL, CH, SM, SC, GM, GC ve GW-GM'dir. Zemin sınıflarına ait haritalar oluşturulurken bu 8 farklı zemin sınıfı için ayrı ayrı renkler seçilmiştir. Çalışma alanının çeşitli bölgelerinde, yüzeyde veya derinlere inildikçe kaya birimlerin (kireçtaşı, kumtaşı, grovak gibi) yer almasından ötürü ve çalışma alanında zemin-kaya sınırlarının ayrımını daha net görebilmek amacıyla, oluşturulan haritalarda kaya birimler de sabit bir renk ile simgelenmiştir. 3 m derinlikte yer yer kumlu birimler bulunmakla beraber yüksek plastisiteli killerin kapladığı alanlar çoğunluktadır. 4.5 m derinlikte ise düşük ve yüksek plastisiteli killer dengeli bir şekilde çalışma

alanını kaplarken, çok küçük bir alanda da olsa çakıllı birimlere rastlanılmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Yüzeiden 3 m ve 4.5 m derinlikte zemin sınıflarının dağılım haritası (3 m and 4.5 m depth from the surface of the ground-class distribution map)

İnceleme alanında yerel zemin sınıfları ise Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (2007) göre belirlenmiştir. Bu yönetmeliğe göre zemin grupları belirlenirken çeşitli parametrelere göre sınıflandırma yapılmaktadır. Bu parametreler Standart Penetrasyon Deneyi sonuçları (N30), kayma dalgası hızı değerleri (Vs), eksenel basınç deneyleri ve kumlu zeminler için relatif sıkılık değerleridir. Bu çalışmada inceleme alanına ait yerel zemin sınıfları belirlenirken zemine ait SPT-N30 değerlerinden yararlanılmıştır. Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre yerel zemin sınıfları, yapı temeli altında kalan zeminin karakterini temsil etmektedir. Buradan hareketle, çalışma alanı için yerel zemin sınıflaması yapılırken yapılar için temel derinliği 3 m olarak alınmıştır. SPT-N30 sonuçlarına göre sınıflama yapılırken zemin gruplarının belirlenmesinde, temel derinliği noktasından itibaren 5 m'lik derinliğin ortalama SPT-N30 değeri kullanılmıştır. SPT-N30 verilerine göre yapılan yerel zemin sınıfları haritasında (Şekil 7) Trakya formasyonu ile temsil edilen alanların büyük kısmı ile birlikte Bakırköy formasyonu ile temsil edilen alanların bir kısmı ve bazı lokal alanların Z1 sınıfı, geri kalan alanların ise yer yer Z3 sınıfı da olmakla beraber genelde Z2 sınıfı olduğu görülmektedir.



Şekil 7. İnceleme alanının yerel zemin sınıfı haritası (Local ground class map of the study area)

### 3.4 Zemin Büyütme Durumu (Soil Amplification Condition)

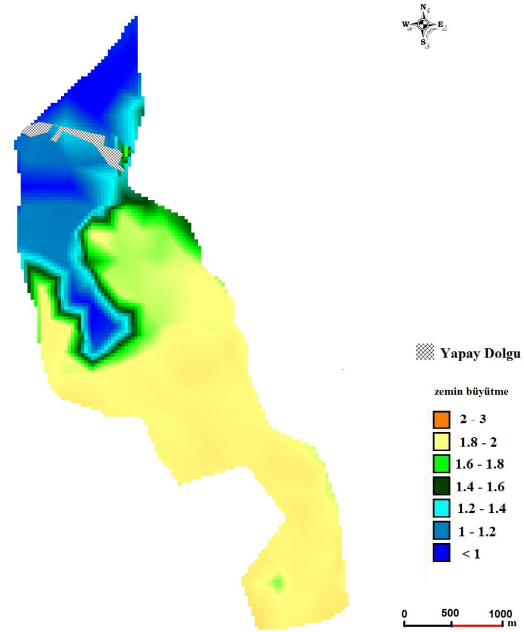
Yumuşak zemin tabakalarının gelen deprem dalgalarını önemli oranda büyüttüğü ve yeryüzünde meydana gelen hasarlarda önemli rol oynadığı uzun süredir bilinmektedir [24, 25]. Yer içinde bir deprem meydana geldiğinde, sismik dalgalar kaynaktan yola çıkarlar ve yer içinde hızla yayılırlar. Sismik dalgaların zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne "yerel zemin etkisi" adı verilir. Genellikle bu değişim, genliklerin artması şeklinde gözlemlendiğinden, yerel zemin etkisi terimi; zemin büyütmesi, zemin transfer fonksiyonu veya zemin tepkisi olarak da adlandırılır [27]. Yerel zemin etkisinin belirlenmesinde en çok istenilen, doğrudan deprem kayıtlarının kullanılmasıdır. Fakat bu veriyi toplamak zaman gerektirir ve depremselliği, sinyal-gürültü oranı yüksek bölgeler için uygundur. Bu nedenle yerel zemin etkisinin belirlenmesinde alternatif yöntemler kullanılabilir. Bunlardan bir tanesi de ortalama kayma dalgası hızına dayalı çalışmalardır. Yer hareketinin gözlemi ve analizlerine dayanan incelemeler ile açığa çıkmıştır ki; belirli bir derinlik için yüzey tabakasının ortalama kayma dalgası hızı, bağıl büyütme ile güçlü bir ilişki göstermektedir [28-30]. Araştırmacılar yüzeyel zeminler için belirli bir derinliğe kadar kayma dalgası hızı ile relatif zemin büyütmesi arasında Tablo 1'de verilen bağıntıları geliştirmişlerdir. Bu bağıntılardaki kayma dalgası hızı, genellikle ilk 30 m'lik zemin profilindeki ortalama değerlerdir. Bu çalışmada, inceleme alanının zemin büyütme durumu Midorikawa

(1987)'e göre hesaplanmış ve elde edilen sonuçlarla Şekil 8'de verilen zemin büyütme haritası oluşturulmuştur. Zemin büyütme değerinin 0 - 2 arasında olduğu durumlar düşük tehlike, 2 - 4 arasında olduğu durumlar orta tehlike ve 4'den büyük olduğu durumlar yüksek tehlike işaret ettiğinden, inceleme alanının kuzey kesimleri, kumtaşı - grovak etkisinden dolayı büyütme açısından düşük seviyede tehlikeye sahiptir. Güney kesimlerde ise orta düzeyde tehlike işaret eden alanların varlığı dikkat çekmektedir.

Tablo 1. Kayma dalgası hızına ( $V_{s30}$ ) bağlı zemin büyütme ilişkileri (Shear wave velocity ( $V_{s30}$ ) amplification dependent relationships)

Araştırmacı	Bağıntı
Midorikawa (1987)	$A = 68V_1^{-0.6}$ ( $V_1 < 1100$ m/s) $A = 1$ ( $V_1 > 1100$ m/s)
Joyner and Fumal (1984)	$A = 23V_2^{-0.45}$
Borcherdt et al. (1991)	AHSA=700/ $V_1$ (Zayıf Yer Hareketi) AHSA=600/ $V_1$ (Kuvvetli Yer Hareketi)

A: En büyük yer hızına göre relatif büyütme katsayısı  
AHSA: 0.4-2 s spektral aralığında ortalama yatay büyütme  
 $V_1$ : 30 m. Derinlik için ortalama kayma dalgası hızı (m/s)  
 $V_2$ : 1 sn. periyotlu dalganın dalga boyunun 0.25'i kadar mesafedeki derinlik için hesaplanan ortalama kayma dalgası hızı.



Şekil 8. İnceleme alanının zemin büyütme haritası (Amplification map of the study area)

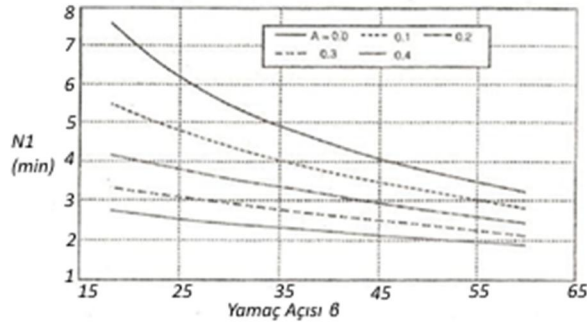
### 3.5 Yamaç Stabilite Durumu (Slope Stability Condition)

Özellikle depremler ve aşırı yağışlar sonucu meydana gelen yamaç yenilmeleri, büyük zararlara neden olabilmektedir. Meydana gelebilecek kitle hareketi nedeniyle, yamaçlar üzerinde veya yamaç eğiminin son bulunduğu alanlarda inşa edilmiş yapılarda, farklı boyutlarda yapısal hasarlar meydana gelebilmektedir. Yamaç duraylılığı; dış hareket ettirici kuvvet ve hareket

etmeyen malzemenin direnci olmak üzere iki faktöre bağlıdır. Dış hareket ettirici kuvvet gravite ve sismik kuvvetler olurken, malzemenin direnci yersel (jeolojik, jeofizik ve jeoteknik) koşullar tarafından kontrol edilmektedir. Günümüzde yamaç yenilmeleri için geliştirilmiş farklı analiz yöntemleri bulunmaktadır. İnceleme alanında yamaç duraylılığının haritalama amaçlı değerlendirmesinde, Uluslararası Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Birliği'nin mikrobölgeleme konusunda hazırladığı Elkitabı'nda [31] önerilen yöntemlerden, Siyahi ve Ansal (1993) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Koppula (1984) tarafından önerilen bir yöntemi, Siyahi ve Ansal (1993) geliştirerek, yamaç duraylılığı için bir bölgeleme yöntemi önermişlerdir. Yöntem, sismik bir katsayı kullanarak, yamaç duraylılığının bir değerlendirmesini içermektedir. Araştırmacılar sonuç olarak,

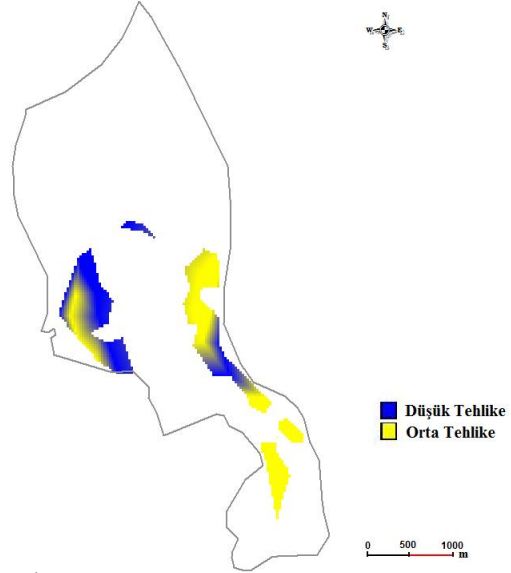
$$GK = \tan \theta N_1 \quad (1)$$

denklemler ile güvenlik parametresi tanımlanmıştır. Güvenlik faktörü (GK); kayma mukavemeti ( $\theta$ ) açısı ve yamaç ile yenilen yüzeyin konfigürasyonunu temsil eden duraylılık sayısı  $N_1$ ' e bağlıdır.  $N_1$ ' in ivme ve yamaç açısına bağlı olarak değişimi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Duraylılık sayısı  $N_1$ 'in ivme ve yamaç açısına göre değişimi (Number of stability, acceleration and slope angle change compared to  $N_1$ )

Hesaplanan güvenlik faktörleri, tehlike seviyeleriyle ilişkili olarak üç grupta değerlendirilmektedir. Güvenlik Faktörünün 1'den küçük olması Yüksek Tehlike, 1 - 2 arasında olması Orta Tehlike ve 2' den büyük olması ise Düşük Tehlike'yi temsil etmektedir [32]. Yöntem, özellikle mikrobölgeleme çalışmalarında yamaç stabilite değerlendirmeleri için geliştirilmiş olup, hızlı ve pratik bir değerlendirme ile depremler sırasında yamaç stabilite sorunları yaşanabilecek alanların belirlenmesi amaçlanmaktadır. İnceleme alanının yamaç tehlikesi, eğimli bölgelere ait kayma mukavemeti açısı, ivme ve eğim açısı bilgileri kullanılarak belirlenmiş ve Şekil 10'da verilen yamaç stabilite haritası oluşturulmuştur.



Şekil 10. İnceleme alanının yamaç tehlikesi haritası (Slope hazard map of the study area)

### 3.6 Taşıma Gücü Durumu (Bearing Capacity Condition)

Bilindiği üzere, depremler sırasında binalarda meydana gelen hasarların bir kısmı taşıma gücü yenilmelerinden kaynaklanmaktadır. Kentsel dönüşüm projesi kapsamında gerekli alt yapının oluşturulmasının ardından inceleme alanı genelinde yeniden yapılaşmaya gidileceğinden yola çıkılarak, bu çalışmada, yüzeysel temeller ve kaya birimler için taşıma gücü değerlendirmelerinde bulunulmuştur. Çalışmada, inceleme alanını oluşturan zemin ve kaya ortamlar ayrı ayrı değerlendirilerek, zemin ortamlar için yüzeysel temellerin taşıma gücü prensibi, kaya ortamlar için ise kayaçların izin verilebilir taşıma gücü prensibi benimsenmiştir.

İnceleme alanında yapılan sondajlar sırasında alınan 91 adet örselenmemiş numune üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen, kohezyon ( $c$ ) ve içsel sürtünme açısı ( $\theta$ ) verileri kullanılarak taşıma gücü hesapları yapılmıştır. Bu çalışma için Terzaghi'nin (1943) önerdiği taşıma gücü teorisi kapsamında aşağıda kare temeller için verilen taşıma gücü denklemi kullanılmıştır.

$$q_u = 1.3cN_c + \gamma D_f N_q + 0.4\gamma B N_\gamma \quad (2)$$

Burada,  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ ,  $\theta$ 'ye bağlı taşıma gücü katsayıları,  $c$ , kohezyon,  $\gamma$ , zeminin birim hacim ağırlığı,  $B$ , temel genişliği ve  $D_f$  ise, temel derinliğidir. Taşıma gücü hesaplamalarında bir model belirlenerek, temel derinliği ( $D_f$ ) 3 m ve  $B=15$  m olan kare temele sahip şekilde inşa edilecek binaların durumu araştırılmıştır. Hesaplamalarda güvenlik sayısı (GS), 3 olarak alınmıştır.

İnceleme alanında kaya birimlerin izin verilebilir taşıma gücü değerlendirmesi için 18 adet kayaç örneği üzerinde yapılan nokta yükü dayanımı deneyi ve 21 adet kayaç örneği üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçlarından yararlanılmıştır. Kayaç malzemelerinin dayanımlarının tespiti, kaya mekaniği için önemli konular arasında yer almaktadır. Özellikle laboratuvar çalışmalarından elde edilen tek eksenli basınç dayanımı, kayaç malzemesinin dayanımını veren en güvenilir yöntemlerden biridir. Ancak bazı durumlarda yeter ve gerek sayıda numuneye sahip olmak mümkün olamamaktadır. Bu durumda ise, Broch ve Franklin (1972) tarafından geliştirilen ve ISRM (1985) tarafından önerilen nokta yük dayanımından faydalanmak mümkündür.

Şekercioğlu (2007) tarafından kayalarda nokta yükü dayanımı (Is) ile tek eksenli basınç dayanımı (qu) arasında;

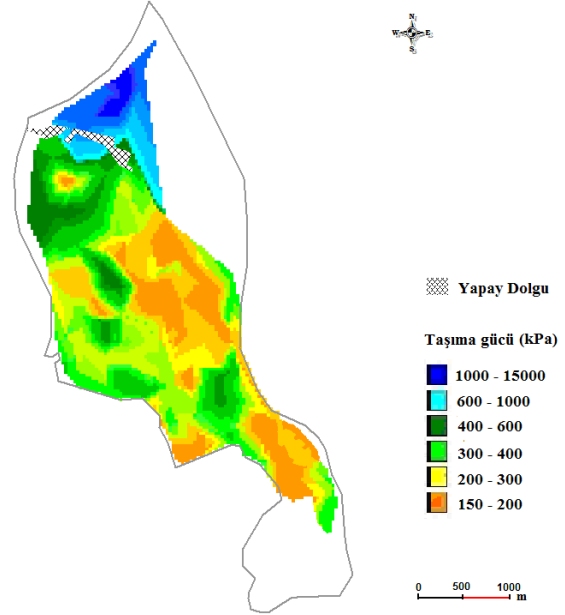
$$q_u = C \cdot I_s \quad (3)$$

şeklinde ampirik bir bağıntı verilmiştir. Burada,  $q_a$  = Kayacın izin verilebilir taşıma basıncı,  $J$  = Kitle faktörü ve  $q_{un}$  = Tek eksenli basma dayanımıdır.

İnceleme alanında zemin ve kaya ortamlar için ayrı ayrı hesaplanan taşıma gücü değerleri, ortak veri tabanında bir araya getirilerek Şekil 11' de görülen taşıma gücü haritası oluşturulmuştur.

#### 4. İNCELEME ALANINDA YERLEŞİME UYGUNLUĞUN CBS İLE SORGULANMASI (THE SETTLEMENT SUITABILITY INTERROGATION BY USING GIS IN THE STUDY AREA)

Coğrafi Bilgi Sistemleri, coğrafi konumu olan nesne ve olaylara ait tüm verilerin toplanmasının ve depolanmasının yanı sıra güncelleştirilmesini, sorgulanmasını, sentezlenmesini ve yeni seçenekler üretilmesini çok kısa bir sürede yapabilecek nitelikte bir teknolojik sistemler bütünüdür.



Şekil 11. İnceleme alanında yüzeyel temeller için hesaplanan güvenli taşıma güçleri ve kaya birimleri için hesaplanan izin verilebilir taşıma güçlerinin aynı haritada görünümü (The same view of the map can be calculated allowing for the safe carrying capacity carrying capacity and rocks in the study area are calculated for shallow foundations)

Her bir coğrafi nesne için veri girilebilmesi özelliği sayesinde, bu veri tabanından yararlanarak değişik türde sorgulama ve konulu haritalar üretiminde önemli kolaylıklar sağlamaktadır.

İnceleme alanında yerleşime uygunluk değerlendirmeleri kapsamında, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin sorgulama yeteneği kullanılarak, farklı türde sorgulamalar yapılmıştır. Birinci grup sorgulamalarda, inceleme alanına ait SPT-N30, Vs hızı ve yüzeyel temeller ile kaya birimleri için hesaplanan taşıma gücü (qnet) verileri kullanarak sorgulamalar yapılırken, ikinci grup sorgulamalarda ise inceleme alanında deprem nedeni ile oluşabilecek zemin büyütme ve yamaç stabilite risklerine ait veriler kullanılarak sorgulamalar yapılmıştır.

#### 4.1 Birinci grup sorgulamalar (The First Group Interrogations)

Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (2007) göre yerel zemin sınıflaması yapılırken, yapı temeli altında kalan zemine ait ortalama SPT-N30 ve Vs hız bilgilerinden yararlanılmaktadır. Öncelikle SPT-N30 ve Vs hızlarına göre zemin grupları belirlenmekte daha sonra tabaka kalınlığına göre yerel zemin sınıfları belirlenmektedir. Buradan hareketle yapı temeli altında kalan 5 m'lik derinliğe ait ortalama SPT-N30 değeri ve Vs hızı verileri kullanılarak belirlenen zemin grupları ile inceleme alanında yüzeyel temeller ve kayaçlar için hesaplanan taşıma gücü değerlerine ait veriler kullanılarak sorgulamalar yapılmıştır.



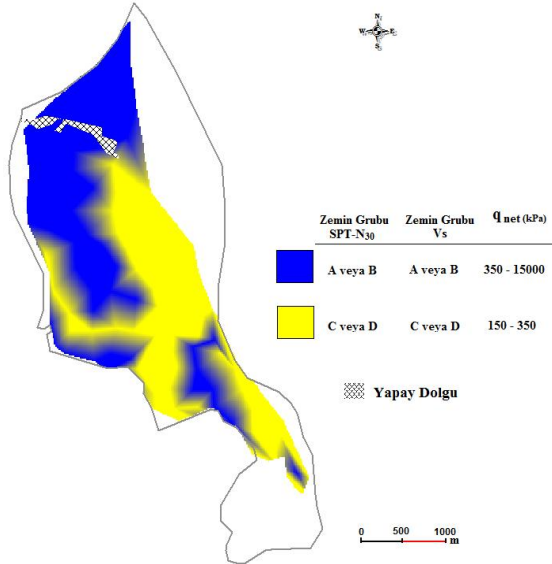
Sorgulamalar yapılırken;

1- SPT-N30 değeri ve Vs hızına göre zemin grubu C veya D, taşıma güçleri ise 150 -350 kPa arasında olanlar ile  
2- SPT-N30 değeri ve Vs hızına göre zemin grubu A veya B, taşıma güçleri ise 350 – 15000 kPa arasında olanlar ayrı ayrı sorgulanmıştır (Şekil 12).

Sorgulamalar neticesinde elde edilen veri tabanları birleştirilerek Şekil 13’ de görülen sorgulama haritası oluşturulmuştur. Haritadan da görüleceği üzere inceleme alanında Trakya formasyonuna ait kumtaşı ve grovak ile Bakırköy formasyonuna ait kireçtaşlarının egemen olduğu alanlar, yerleşim açısından diğer alanlara göre daha uygun bir görüntü çizmektedir.

Şekil 12. Birinci grup sorgulamalara ait sorgulama (Belonging to the first group questioning inquiry)

Şekil 14. İkinci grup sorgulamalara ait sorgulama ekranları (Screens belonging to the second group questioning inquiry)



Şekil 13. Birinci grup sorgulamalara göre yerleşime uygunluk haritası (Settlement suitability map according to the first group inquiry)

#### 4.2 İkinci grup sorgulamalar (The Second Group Interrogations)

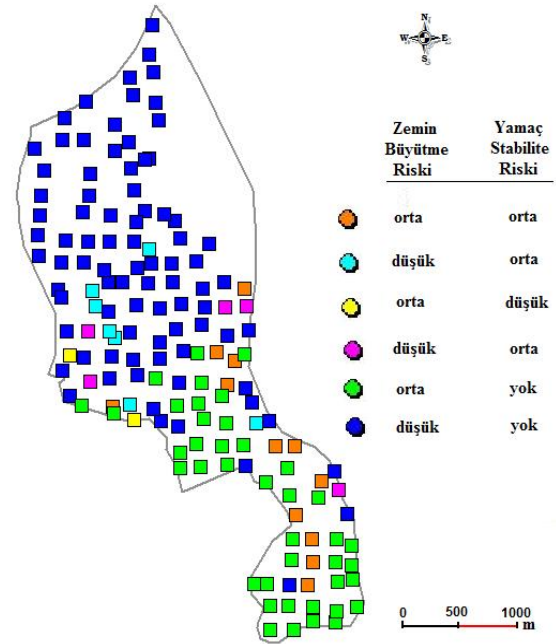
Deprem dalgalarının yayınımlı sırasında yerel zemin koşullarına göre meydana gelen zemin büyütmesi ve yamaç stabilitesi sorunları yerleşim alanlarında çeşitli hasar ve zararlara neden olabilmektedir. Buradan hareketle, inceleme alanının zemin büyütme ve yamaç stabilitesi açısından değerlendirilmesi aşamasında elde edilen veri tabanları kullanılarak 6 farklı durum için sorgulama yapılmıştır.

Sorgulamalar,

- 1- büyütme riski orta, yamaç stabilite riski orta
- 2- büyütme riski düşük, yamaç stabilite riski düşük
- 3- büyütme riski orta, yamaç stabilite riski düşük
- 4- büyütme riski düşük, yamaç stabilite riski orta
- 5- büyütme riski orta, yamaç stabilite riski yok
- 6- büyütme riski düşük, yamaç stabilite riski yok

olacak şekilde ayrı ayrı yapılmıştır. Şekil 14'te sırasıyla her sorgulama sonucunda ortaya çıkan sorgu ekranları görülmektedir.

Sorgulamalar neticesinde elde edilen veri tabanları tek bir veri tabanında birleştirilerek Şekil 15'de görülen sorgulama haritası oluşturulmuştur. İnceleme alanının güney kesimlerinde kalan bazı lokal alanlarda zemin büyütme ve yamaç stabilite riskinin orta düzeyde olduğu alanlar mevcuttur. İnceleme alanının kuzey kesimleri ise zemin büyütme açısından düşük riske sahiptir ve yamaç stabilite tehlikesi de bulunmadığından yerleşim açısından uygundur.



Şekil 15. İkinci grup sorgulamalara göre yerleşime uygunluk haritası (According to the second group questioning settlement suitability map)

#### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, İstanbul'un Avrupa yakasında yer alan Esenler ilçesinin zemin özellikleri, jeolojik, jeofizik ve jeoteknik verilerin birlikte kullanımı ile detaylı olarak irdelenmiş ve inceleme alanının yerleşime uygunluğu Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan araştırma, analiz ve hesaplama sonuçları, CBS tabanlı haritalar ile sunulmuştur. CBS'nin sağladığı en büyük yararlarından birisi, elde edilen veri tabanları kullanılarak istenilen amaca yönelik olarak farklı sorgulamalar yapılabilmesidir. Bu çalışmada inceleme alanının yerleşime uygunluğunun araştırılması amacıyla, hazırlanan veri tabanları üzerinde farklı türde sorgulamalar yapılarak yerleşime uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Buna göre, inceleme alanının kuzey kesimlerinde, ayrışmamış kumtaşı ve grovak ile temsil edilen alanlar ile muhtelif kesimlerde ayrışmamış kırıntılı taşı ile temsil edilen alanlar, mühendislik özellikleri ve izin verilebilir taşıma gücü değerleri göz önüne alındığında yerleşim açısından uygundur. Bazı lokal alanlarda görülen ve bu çalışmada inceleme alanı dışında tutulan kontrolsüz dolgu alanlar ise yerleşime uygun değildir. Bu alanların yerleşim amaçlı kullanılabilmesi için dolgu tabakalar kaldırılmalı, yapı temelleri, alttaki birimler üzerine oturtulmalıdır. Bunların dışında kalan alanlar ise önemli uygun alan olarak değerlendirilebilir. İnceleme alanında zemin ortamlarının genelini kil zeminlerin oluşturmasından ötürü, zeminin şişme ve oturma karakteristikleri inşaat aşamasına geçilmeden arazi ve laboratuvar çalışmaları ile belirlenmelidir.

Alüvyon alanlarda yapılacak binalar için ise parsel bazında sivilaşma risk analizi ve oturma hesapları yapılmalı, uygun temel tipi seçilmelidir. Eğitim değerlerinin % 20 - % 25 arasında değiştiği veya daha fazla olduğu bazı lokal alanlardaki yapılaşmalarda meydana gelebilecek yamaç stabilitesi sorunlarına karşı, bu alanlar kalıcı iksa tedbirleriyle desteklenmelidir.

#### Teşekkür (Acknowledgements)

Bu çalışmanın hazırlanmasında, özellikle çalışmada kullanılacak verilerin temini aşamasında yardımlarını esirgemeyen Esenler Belediye Başkanı M.Tevfik Gökse, Başkan Yardımcısı O.Öğuz Türk ve belediye çalışanlarına teşekkürü bir borç biliriz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. L. Costa, J. Mesones, A. D. Cin, T. Franchini ve J. Lourenzo, «Risk in planning a new paradigm. Risk Assessment and Management: Planning for Uncertain Future,» *33rd World Planning Cong*, Ogaki, Japan , 1997.
- [2] B. S. Şengezer, «Afet Etkilerinin Azaltılması Hedefinin Planlamada Önemi ve Rolu, Kentleşme ve Jeoloji Sempozyumu,» *Kentleşme ve Jeoloji Sempozyumu*, İstanbul, 1998.
- [3] V. R. Baker, *A progress report. Environmental Geology 1:75-88*. Skargren, E.I. & Oberg, B. (1998) 'Predictive factors for 1-year outcome of low-back and neck pain in patients treated in primary care: Comparison between the treatment strategies chiropractic and physioth, cilt 77, Colorado, 1975, pp. 201-208.
- [4] D. Fuchun, L. Yuhai ve D. Sijing, *A case study of Tongchuan City, Shaanxi Province, China. Engineering Geology 38:165-175*. Robinson, T. (2001), 1994.
- [5] E. G. Akpokodje, *The importance of engineering geological mapping in the development of the Niger Delta basin. Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 1979.
- [6] M. Amous, *Geotechnical site investigations for possible urban extensions at Suez City, Egypt using GIS. Arabian Journal of Geosciences* , 2013.
- [7] J. E. Bowles, «Physical and Geotechnical Properties of Soils. 2nd edn. McGraw-Hill,» New York, 1984.
- [8] R. Chowdhury ve P. Flentje, «Perspectives for the future of geotechnical engineering. Proceedings of the International Conference on Civil Engineering for the New Millennium: Opportunities and Challenges,» *Bengal Engineering College*, Shibpur, India, 2007.
- [9] F. Dai, C. F. Lee ve X. H. Zhang, *GIS-based geoenvironmental evaluation for urban land-use planning: A case study. Engineering Geology*, 2001.
- [10] M. E. Day, J. Kacem ve M. Dlala, *Liquefaction susceptibility mapping using geotechnical laboratory tests*, International Journal of Environmental Sciences and Technology, 2009.
- [11] S. W. Edbrooke, C. Mazengarb ve W. Stephenson, «Geology and geological hazards of the Auckland urban area,» *Quaternary International* , New Zealand, 2003.
- [12] R. J. Haworth, «The urban geology of Darwin,» *Quaternary International*, Australia, 2003.
- [13] J. F. Nott, «The urban geology of Darwin,» *Quaternary International*, Australia, 2003.
- [14] A. Özsan, A. Öcal, M. Akın ve H. Başarır, «Engineering geological appraisal of the Sulakyurt dam site,» *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* , Turkey, 2007.
- [15] C. E. Willey, «Urban geology of the Toowoomba conurbation,» *Quaternary International*, Australia, 2003.
- [16] J. Woodward, *An introduction to geotechnical processes*, 2005, p. 328.
- [17] H. Demir, *Küçükçekmece-Halkalı Yerleşim Bölgesinin Yerel Zemin Koşullarına Göre Depremselliğinin İncelenmesi*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [18] P. A. Burrough, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Oxford University Press, 1998.
- [19] O. Kaya, *İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi*, 1971.
- [20] M. Vardar ve H. Bayraktar, *İstanbul Metrosu Araştırma Galerisi Örneğinde In-Situ Dayanım ile İTU-MJKM Sınıflaması*, İstanbul: Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, 1993, pp. 13-28.
- [21] C. Sayar, «The geology of the Golden Horn (Haliç) and surrounding region,» *University, National Symposium on the Golden Horn*, 1976.
- [22] H. T. Durgunoğlu ve E. Toğrol, *Penetration testing in Turkey: State-of-the-art report*, 1974, p. 137.
- [23] T. A. Başokur, «Yapı yeri incelemelerinde makaslama dalgası hız kesitinin ReMi yöntemi ile saptanması,» *Kocaeli Üniv. Deprem Sempozyumu*, 2005.
- [24] J. Milne, «Seismology, first Ed., Kegan Paul, Trench, Trube,» London , 1898.
- [25] B. Gutenberg, *Effects on ground on earthquake motion*, 1957.

- [26] H. D. Wood, *Distribution of apparent intensity in San Francisco, in the California earthquake of April 18, 1906, report of the State Earthquake Investigation Commission*, Washington: Carnegie Institute, 1908.
- [27] E. Yalçınkaya, *Zemin Özelliklerinin Yer Hareketine Etkisi: 1 Ekim 1995 Dinar ve 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi Örnekleri*, İstanbul: İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2002.
- [28] S. Midorikawa, «Prediction of seismic Map in Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake,» *Journal of Structural Dynamics*, cilt 33, pp. 43-48, 1987.
- [29] W. b. Joyner ve T. Fumal, «Use of measured shear wave velocity for predicting geological site effects on strong motion,» *Proc. 8th World Conf. On Earthquake Eng*, 1984.
- [30] R. D. Borcherdt, C. M. Wentworth, A. Janssen, T. Fumal ve J. Gibbs, «Methodology for predictive GIS mapping of special study zones for strong ground shaking in the San Francisco Bay region,» *Proceedings of the Fourth International Conference on Seismic Zonation*, Standford-California, 1991.
- [31] *International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering (ISSMFE) (1993) Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards*, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1993, p. 3.
- [32] *Seismic Microzonation for Municipalities*, World Institute for Disaster Risk Management, 2004.