



ARMUTALANI (MARMARİS-MUĞLA) BELDESİNİN YERLEŞİM ALANININ
JEOTEKNİK DEĞERLENDİRİLMESİ

(GEOTECHNICAL ASSESSMENT OF THE ARMUTALANI SETTLEMENT AREA
(MARMARIS-MUĞLA))

M. Yalçın KOCA*, Cem KINCAL*

ÖZET/ABSTRACT

Armutalani'nın (Marmaris-Muğla) yer aldığı alüvyon düzlüğünün etrafı graben faylarıyla sınırlanmıştır. Alüvyon düzlüğünün altında Armutalani Melanjı'na ait çörtlü radyolaritler ve yeşil renkli spilitik volkanikler yer almaktadır. Geç Kretase yaşlı Armutalani Melanjı radyolarit ve spilitik volkanitlerden oluşan bir matriks ve bu matriks içerisinde yüzer konumda olan platform tipi karbonat kayalarından oluşmuştur. Bu çalışmanın amacı, Armutalani beldesinin yerleşimi için uygun, önlemleri ve uygun olmayan alanların sınırlarının belirlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak, inceleme alanının 20 paftalık 1/1000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanmıştır. Ayrıca, jeoteknik amaçlı sondajlardan elde edilen Standart Penetrasyon Deney verileri sıvılaşma potansiyeli değerlendirmeleri ve taşıma gücü hesaplamaları için kullanılmıştır. Diğer yandan, kütle hareketi potansiyeli taşıyan ve yüksek topoğrafik eğim değerine sahip alanlar ($\alpha \geq \%36$) belirlenmiş ve mühendislik jeolojisi haritaları üzerine işaretlenmiştir. Ayrıca, akarsu ağızlarını tıkayarak akışı engelleyen sel konileri haritalanmış ve yerleşime uygunluk açısından dikkate alınmıştır. Bu çalışmalar esas alınarak, uygun/uygun olmayan ve önlemleri alanların değerlendirilmesi Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak yapılmıştır. Bu kapsamda, Armutalani yerleşim alanı yerleşime uygunluk açısından üç bölgeye ayrılmıştır.

The Armutalani Municipality Settlement Area which is mainly located on an alluvial-plain, is limited by graben faults all around. Radiolarities interbedded with chert and green ultrabasic rocks belonging to the Armutalani Melange are underlied by the alluvial-plain. The Armutalani Melange is composed of a radiolarite and spilitic volcanic matrix and blocks of platform type carbonate rocks floating in the matrix. The age of the melange is Upper Cretaceous. Geological and geotechnical studies were carried out to determine suitable, provisional and unsuitable areas for settlement in Armutalani (Marmaris). For this purpose, 1/1000 scaled engineering geological maps of the study area consisted of 20 sheets were prepared. In addition, boreholes were drilled at 25 locations and Standart Penetration Tests were carried out through the geotechnical boreholes for bearing capacity calculations and liquefaction potential assessments of the ground. Susceptible areas for mass movements and steep slopes ($\alpha \geq \%36$) were determined and shown on the engineering geological maps. Additionally, flood cones in the mouths of streams which prevents to the stream flows is mapped and these cones are determined for settlement purposes. Based on these studies, the Armutalani settlement area were divided into three zones; as provisional, suitable and unsuitable areas for settlement purposes by using the Geographic Information Systems.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORD

Sondaj, Sıvılaşma, Jeoteknik, Yerleşime uygunluk, Coğrafi bilgi sistemleri
Borehole, Liquefaction, Geotechnics, Settlement suitability, Geographical information systems

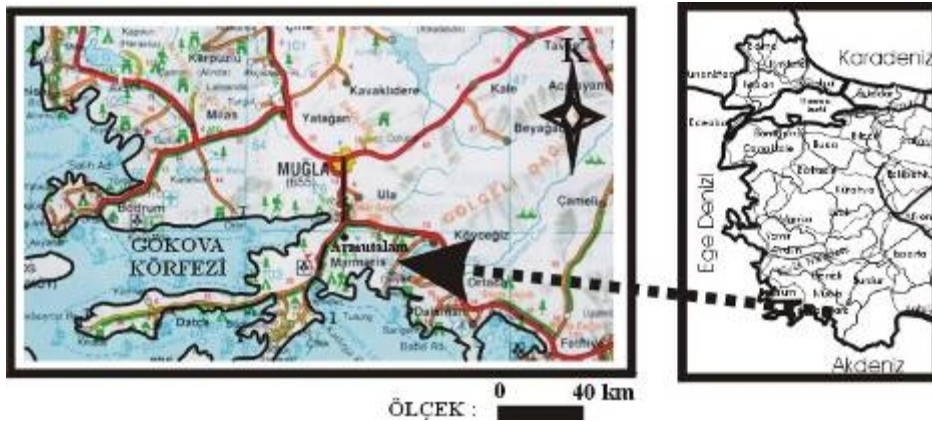
* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fak. Jeoloji Müh. Böl., 35100, Bornova, İZMİR

1. GİRİŞ

Yerleşime uygunluk açısından değerlendirilen Armutalanı Beldesi, Muğla İli, Marmaris ilçesine bağlı olup, Marmaris'in batısında yer alır (Şekil 1). İnceleme alanının üzerinde kurulduğu alüvyon düzlüğü üç tarafından faylarla sınırlıdır. Ana hatları itibariyle mevcut dereler iki yönde ve birbirine yaklaşık dik konumludurlar (Şekil 2). Bahsedilen dereler ya faylara koşut, ya da onlara dik konumda gelişmişlerdir. Derelerin akış yönleri Armutalanı yerleşim merkezine doğru olup, doğuda Marmaris Körfezi'ne ulaşmaktadır.

1/5.000 ölçekli Nazım İmar Planı haritasında Armutalanı 31K paftası üzerinde yer alır. Armutalanı, doğudan Marmaris ilçesi ile, kuzey, güney ve batıdan dağlık alanlarla sınırlıdır [Aktaş Tepe (165,5 m), Berber Tepe (152 m), Çamlıca Tepe (99 m)]. Bu coğrafik özellikleri ile doğu tarafı açık, yatık bir "U" şekline benzer (Şekil 2). Bu şekli oluşturan esas unsur KB-GD yönünde uzanan ve yaklaşık 1,0 km aralıklarla sıralanmış fay zonlarıdır. Özellikle Armutalanı'ndaki konutların büyük bölümünün yer aldığı kesim, Baklacık ve Kızılağaç normal faylarının oluşturduğu çöküntü alanıdır (Şekil 2). Bahsedilen çöküntü alanı (graben) KD-GB yönünde 1250 m, KB-GD yönünde 2-2,5 km kadardır.

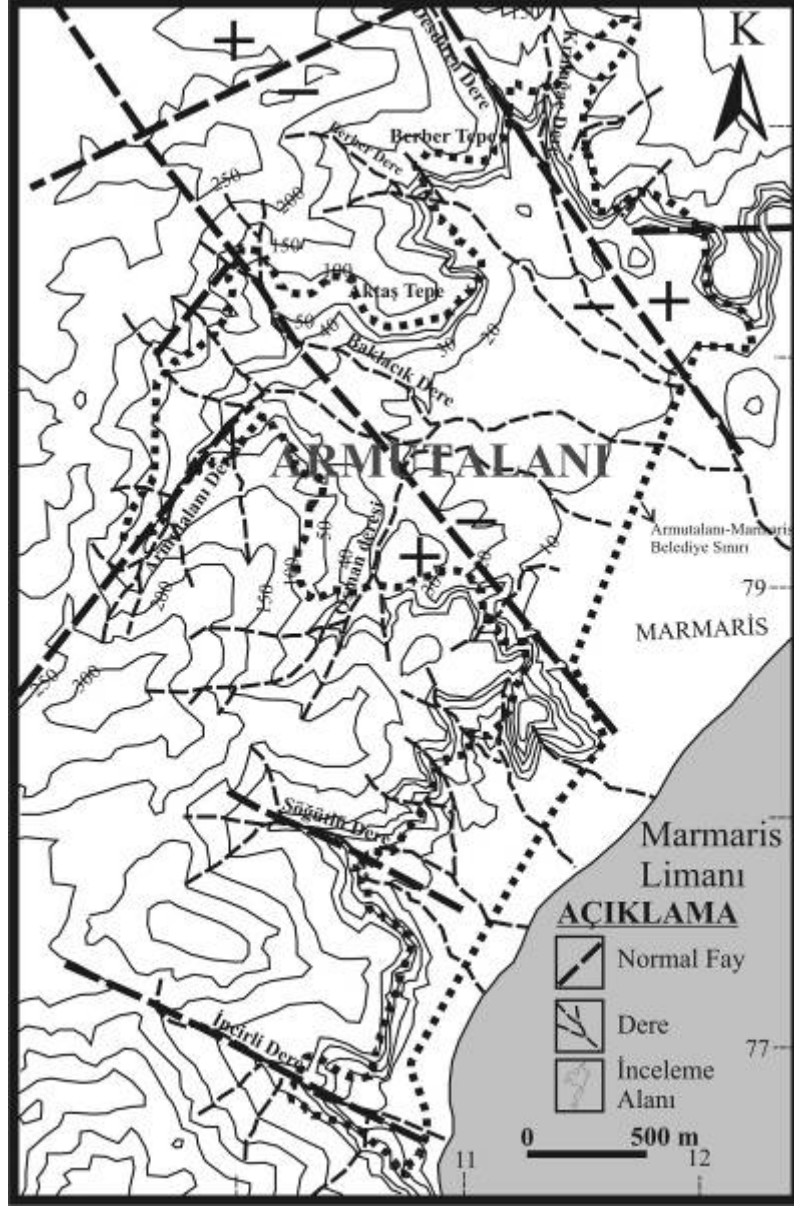
Bölgenin jeomorfolojik yapısını tektonik, kaya tipi ve iklim belirlemiştir. Şekil 2'de gösterilen zayıflık zonları kontrolünde yüzey akaçlaması gelişmiştir. İklimsel değişimlere bağlı olarak derelerle yüksek kotlu kesimlerden denize doğru taşınan malzemeler, dere ağızlarında 5-10 metre yüksekliğe erişebilen birikinti konilerini ve alüvyonel düzlüğü oluşturmuştur. Birikinti konilerinin en önemli özelliği akarsu ağzını tıkayarak akışa bir engel oluşturmasıdır. Birikinti konisini oluşturan çökeller akarsu ağzından itibaren bir yelpaze gibi yayılırlar. Armutalanı Beldesi içindeki birikinti konilerinin çökelleri çoğunlukla kum ve çakıl boyutundaki pekleşmemiş malzemelerden oluşmuştur. Birikinti konilerinin bulunduğu alanlarda yamaç eğimleri %8,7-17,6 arasında değişmektedir.



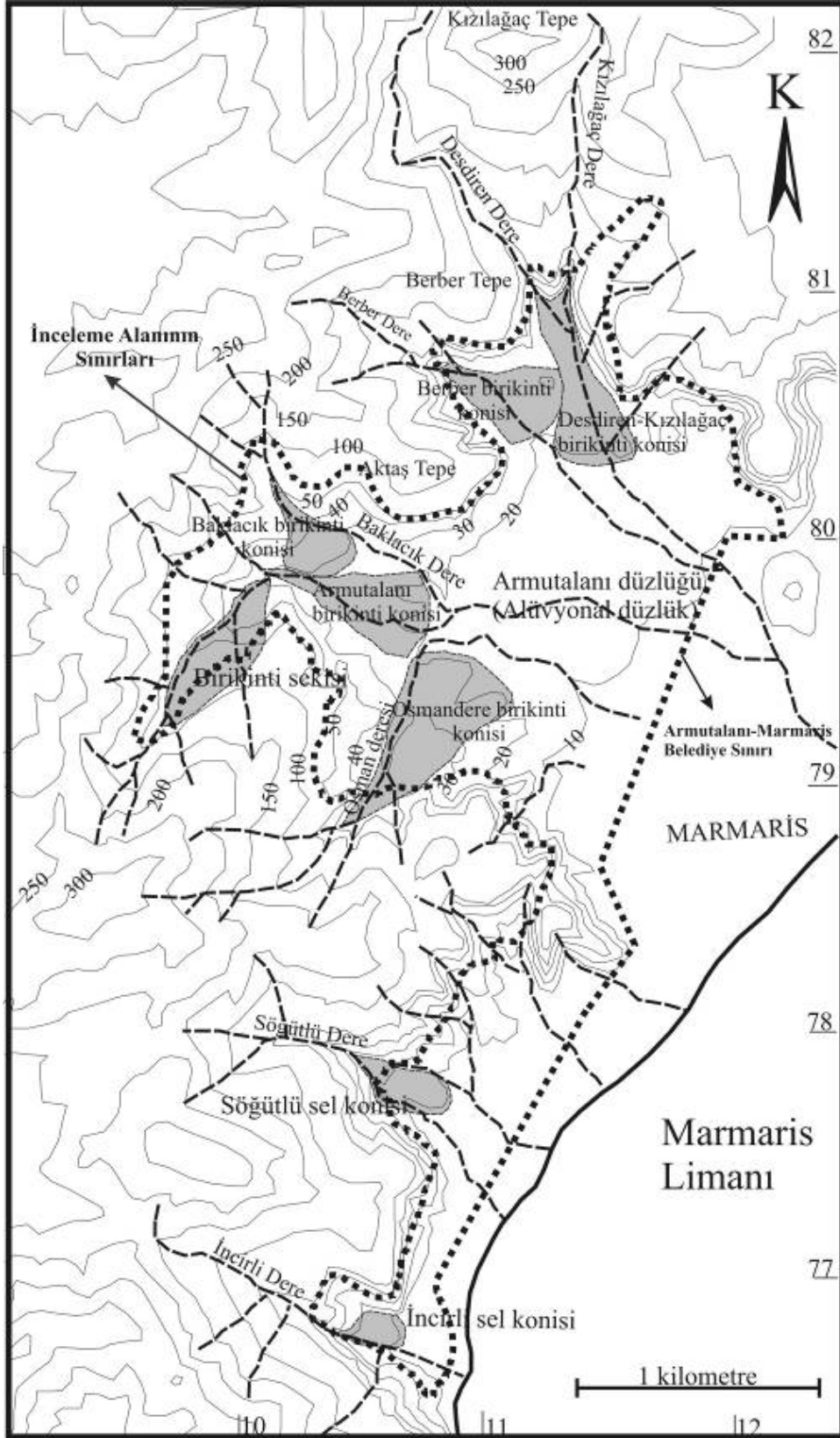
Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası.

Akarsu yatağının eğiminin birden azaldığı (akarsu ağzı) ve suların yayılarak aktığı kesimde selin kuvveti geniş ölçüde azalmaktadır (Verhoogen vd., 1970). Bunun sonucunda sel artık derine doğru kazamadığı gibi, o zamana kadar taşıdığı çakıl, blok, ağaç gövdesi v.b. gibi çeşitli maddeleri taşıyacak kuvveti de kalmaz. Böylece bu maddeler, zirvesi akış kanalının alt ucunda, tabanı ise vadi tabanında bulunan bir yarım koniyi veya yelpazeyi andıracak şekilde biriktirir ki, buna da birikinti konisi veya birikinti yelpazesi adı verilir (Strahter, 1996). Birikinti konilerinden taşkın alanlarına çamur akması şeklinde kütle hareketleri oluşur. Bu da yerleşim alanlarını tehdit eder (Senirkent Örneği). Her şiddetli yağış sırasında sel kabardığı zaman, akış kanalı derinleştirilir ve aynı zamanda geriye doğru biraz

daha uzatılır. Bu kazma aktivitesinden oluşan döküntü ise birikinti konisine eklenir. Böylece zamanla, o da büyümüş ve yükselmiş olur. Armutalanı Belde'sinin sınırları içinde derelerin sellenme dönemlerinde oluşturduğu 8 adet birikinti konisi belirlenmiş ve haritalanmıştır (Şekil 3).

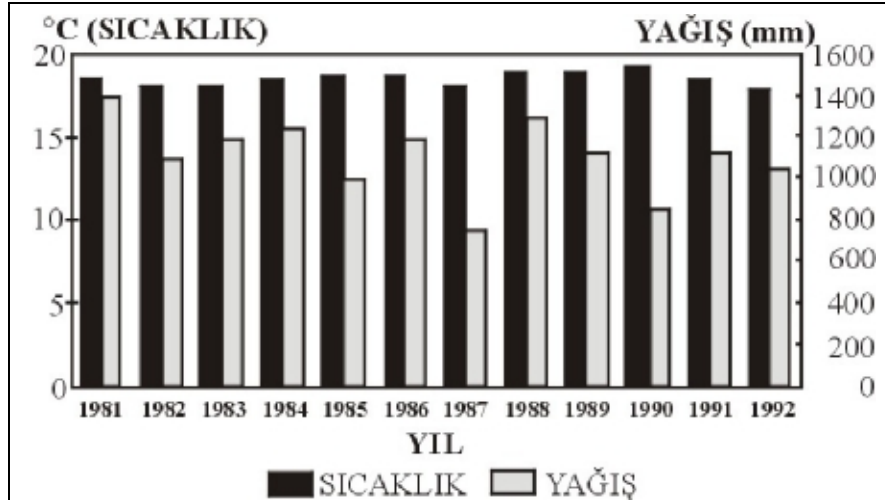


Şekil 2. Armutalanı ve yakın yöresinin morfotektonik haritası (DEÜ, 2001).

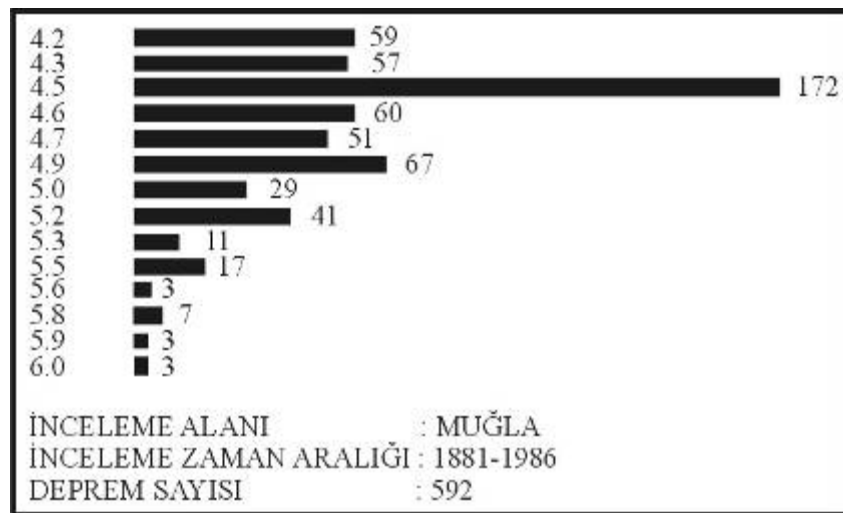


Şekil 3. İnceleme alanındaki birikinti konileri ve alüvyonel düzlük alanlarını gösteren jeomorfoloji haritası (DEÜ, 2001).

Marmaris ilçesinin 1950-1992 yılları arasındaki yıllık yağış verileri incelendiğinde, 30 yıllık periyod için 1950-1980 yılları arası, Ocak ayının ikinci 10 günlük döneminde ortalama yağışın çok yüksek olduğu (ilk 10 günde : 90 mm, ikinci 10 günde : 112,75 mm, üçüncü 10 günde : 90,17 mm) meteoroloji kayıtlarından anlaşılmaktadır. Armutalanı ve yöresinde Ocak ve Aralık ayları yağışın en yoğun olduğu aylardır (292 mm ve 286.40 mm). Bu aylarda sellenme riski yüksektir. 1981-1992 yılları arasında sıcaklık ve toplam yağış ortalamaları Şekil 4'te sunulmuştur. 1981 yılı Ocak ayında Armutalanı Deresi taşmış ve sellenme ile birlikte beldeyi çamur kaplamıştır. 1982-2000 yılları arasında kayda değer bir taşkın ve sel olayı yaşanmamıştır. Ayrıca, turistik tatil yeri olması nedeniyle nüfus artışına koşut olarak yapılaşmanın yoğun bir şekilde artması sellenme olasılığını arttırmaktadır. Derelerin bulunduğu alanlarda özellikle mansab bölgesinde ani yağışlara bağlı olarak sellenme tehlikesi vardır. Armutalanı ve Osman Deresi gibi derin vadilere sahip derelerin beslenme alanları 0,7-1,0 km² mertebesinde (Şekil 3). İnceleme alanı 1. derecede deprem bölgesinde yer almaktadır. Muğla ili çevresinden 1881 ve 1986 yılları arasında gözlenen depremlerin yerleri ve büyüklükleri Şekil 5'te, Armutalanı ve yakın yöresinde son yıllarda $M \geq 5,6$ olan depremlerin tarihleri ve büyüklükleri ise Çizelge 1'de sunulmuştur.



Şekil 4. Sıcaklık ve toplam yağış ortalamaları



Şekil 5. Muğla ve yöresinde meydana gelmiş depremlerin frekans histogramı

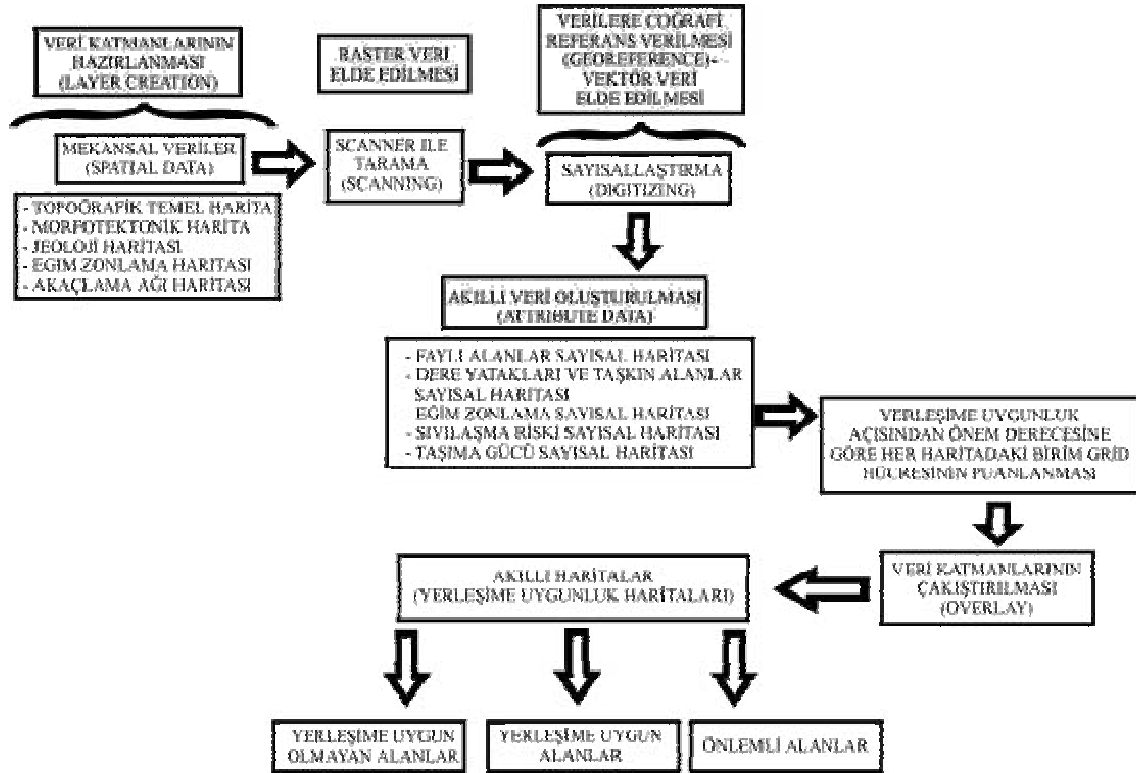
Çizelge 1. Marmaris-Armutalanı ve yakın yöresinde önemli depremlerin büyüklükleri ve tarihleri (1881-1999 yılları arası – Deprem Araştırma Dairesi Kayıtları)

Tarih	Magnitüd
23.05.1961	6.3
02.01.1964	5.6
30.01.1964	5.7
13.06.1965	5.7
05.12.1968	5.7
05.10.1999	5.2

Armutalanı'nın KB'sında Kerme Körfezi civarında Magnitüdü 5.2 olan bir deprem 05/10/1999'da saat 03:53'te saptanmıştır (Koeri, 1999). Depremin etkileri, Marmaris ve Armutalan'da binaların sıvalarının dökülmesi şeklinde çok hafif hasarla atlatılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde Armutalanı ve yöresinde $M = 6.5$ büyüklüğünde bir depremin tekrar etme olasılığı 144.4 yılda bir, $M = 6.0$ büyüklüğünde bir depremin tekrar etme olasılığı 52.9 yılda bir ve $M = 5.5$ büyüklüğündeki depremin tekrar etme olasılığı ise 19.4 yılda birdir. 60'lı yıllarda 5.6'dan büyük magnitüdü deprem sayısı 5'dir (Çizelge 1)(D.A.D., 1996'dan yararlanılarak).

Yerleşime uygunluk açısından tektonik, sismik aktivite ve sellenmeye bağlı dere ağzlarında yeralan birikinti konileri dikkate alınmış parametrelerdendir. Bu çalışmada, Armutalanı beldesine ait jeolojik ve jeoteknik veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri kapsamında "Yerleşime Uygunluk" amacıyla değerlendirilmiştir. Bahsedilen alana ait farklı veri katmanları, arazi gözlemleri, sondajlar ve ofis çalışmaları esas alınarak oluşturulmuştur. Bu haritalar sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Armutalanı yöresine özgü, yerleşime uygunlukta kullanılan veri katmanları; fay sayısal haritası, dere yatakları ve sellenme potansiyeli sayısal haritası, eğim zonlama sayısal haritası, sıvılaşma duyarlılığı sayısal haritası ve taşıma gücü sayısal haritası'dır (Şekil 6).

Haritalar, analog bir coğrafi veritabanı şeklindedirler ve çok önemli sayısal coğrafi veri kaynaklarıdır (Goodchild, 1991). Arazi ve ofis çalışmaları sonucunda elde edilen 1) topoğrafik harita, 2) morfotektonik harita, 3) jeoloji haritası, 4) eğim zonlama ve sellenme potansiyeli haritası ve 5) akaçlama ağı haritası bu çalışma kapsamında mekansal veriler (spatial data) olarak değerlendirilmiştir (Şekil 6). Armutalanı ile ilgili oluşturulan mekansal verilerin herbirinin kendi başına bir katman (layer creation) olabilmesi, ancak tarama ve sayısallaştırma (digitising) sırasında verilere coğrafi referans verilerek mümkün olabilmektedir (coğrafi koordinat sistemine oturtularak) (Eastman, 1992; Marble, 1990; Flowerdew ve Green, 1991). Elde edilen veri katmanları birbiriyle karşılaştırılarak (Eastman, 1992), her veri katmanı üzerinde yeralan coğrafi koordinatlı sayısal veri değerleri, bir başka veri katmanındaki değerlerle toplanmış ve en sonunda tüm veri katmanlarının birlikte irdelenmesiyle Armutalanı Beldesi'nin 'Yerleşime Uygunluk Haritası' elde edilmiştir.



Şekil 6. Bu çalışmada yerleşime uygunluk haritalarının elde edilmesi için oluşturulan akış şeması.

2. İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ

İnceleme alanındaki birimler, yaşlıdan gence doğru, Üst Senoniyen yaşlı Armutalanı melanjı ve Kuvaterner yaşlı pekleşmemiş malzemeden yapıları olan alüvyon ve yamaç molozundan oluşur (Şekil 7).

Armutalanı Melanjı

Armutalanı melanjı, Marmaris ofiyolit napına ait tektonik dilimlerden birini oluşturur (Bernoulli vd., 1974; Şengör ve Yılmaz, 1983; Ersoy, 1991; Şenel ve Bilgin, 1997). Armutalanı melanjı, özellikle Aktaş Tepe'nin güneyinden başlayarak güneybatıya doğru devam eden Datça Yolu boyunca yüzlek verir. Özellikle kırmızı-bordo plaketli çörtlü kireçtaşları, çamurtaşları, renkli radyolaryalı çörtler ve koyu yeşil ultrabazik kayaçlar ile denizaltı volkanitleri Datça yolu boyunca ardalanmalı bir şekilde gözlenir (Şekil 8) Farklı litolojideki bu ardalanmalar normal stratigrafik ardalanmadan çok tektonik dokanıklıdır ve bu litolojiler makaslanma yüzeyleriyle birbirlerinden ayrılırlar. Bu kayaç topluluğu, Armutalanı melanjına ait matriksi oluşturur. Naplaşma hareketleri nedeniyle birbirleriyle karışarak karmaşık bir yapı sunan Armutalanı Melanjı'na ait matriks içinde gelişigüzel dağılmış kireçtaşı, radyolaryalı çört ve kuvarşist blokları inceleme alanının özellikle kuzey ve güney kesimlerinde yüzlek verir (Şekil 8).

YAŞ		BİRİM	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KUVATERNER		Yamaç Molozu	Ym	50		Koşeli bileşenlerden oluşan pekleşmemiş blok, çakıl, kum, kil boyutundaki Sel konisi zemin ve alüvyonal düzlük çökellerinden oluşan pekleşmemiş kırıntılı zeminler Uyumsuzluk
MESOZOYİK		Kretase				Gri renkli kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı blokları
		Üst Kretase				Bordo kıvrımlı, ince-orta katmanlı çörtlü kireçtaşı blokları
		Üst Senoniyen				Bordo çamurtaşı aradüzeyleri içeren kıvrımlı radyolaryalı çört blokları
		Armutalanı Melanjı				Koyu yeşil ve kırmızı-bordo, makaslanmış ultrabazik kayalar, denizaltı volkanitleri çamurtaşları ve radyolarit içeren karmaşık iç yapılı Armutalanı matrisi
		Kam		300		Sarımsı-gri renkli, yüksek dayanımlı kuvarş şist blokları

Şekil 7. İnceleme alanının stratigrafik kolon kesiti (Ölçeksiz)(DEÜ, 2001).

Alüvyon, Yamaç Molozu ve Birikinti Konileri

Armutalanı yerleşim merkezi ve çevresi, doğu kesimi denizle bağlantılı, diğer kesimleri dağlarla çevrili bir alüvyon ovası niteliğindeki zeminlerin üzerinde kurulmuştur. Alüvyon ovasına ait malzemeler, küçük derelerin yanı sıra, sekiz ana vadide yeralan derelerin sellenme dönemlerindeki etkinlikleri sırasında oluşmuştur. Alüvyon ve yamaç molozundan oluşan pekleşmemiş malzeme inceleme alanının az eğimli ve düzlük kesimlerini oluşturur. Birim, Armutalanı Melanjı'nı uyumsuzlukla örter. Ayrıca, inceleme alanının güneyine doğru gözlenen Söğütlü ve İncirli dereleri de denize doğru uzanan küçük ölçekli birikinti konilerini oluşturmuştur (Şekil 3 ve Şekil 8). Birikinti konilerinin çökelleri genellikle kum ve çakıl boyutunda pekleşmemiş malzemelerden oluşmuştur. Farklı sellenme dönemlerine ait farklı akışların getirdiği malzemelerde çapraz katmanlanma tipiktir.

Bu derelerin daha uzak mesafelere taşıdıkları daha ince taneli malzemeler Armutalanı'nın doğusuna doğru (Marmaris'e ve Ege Denizi'ne doğru) geniş bir alüvyon düzlüğünün gelişimini sağlamıştır.

3. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Armutalanı beldesi yerleşim alanı sınırları içerisinde 25 adet zemin sondajı yapılmıştır (Şekil 8). Bu sondajların yapılmasındaki amaç; çalışma alanının zeminini oluşturan alüvyon içerisindeki değişik zemin gruplarının neler oldukları ve bunların yayılımları, yeraltı seviyesinin tesbiti, sondajların açılması sırasında, zeminin taşıma gücünü belirlemek için her

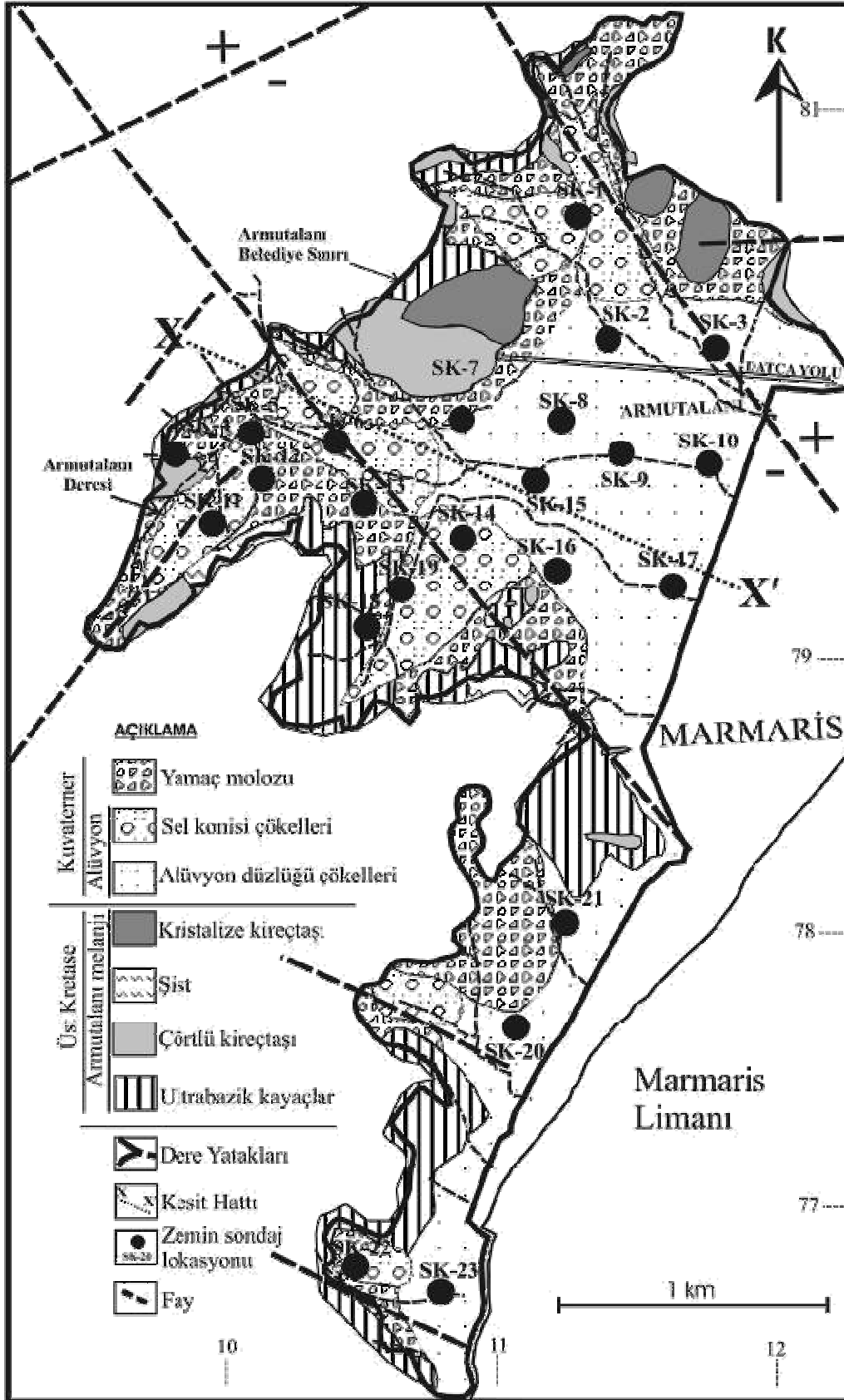
1.5 m’de bir yapılan SPT test sonuçlarının değerlendirilmesidir. Sondaj lokasyonlarının tesbitinde, dört adet sondaj noktası arasında kalan alanın 1/10’undan daha küçük olmamak üzere uygun noktalarda sondajlar açılmıştır. Mühendislik jeolojisi çalışmaları kapsamında sondajlar sırasında gerçekleştirilen Standart Penetrasyon Testleri ASTM D-1586 (American Society for Testing Materials) deney standartları mevcut zemin gruplarının belirlenmesi için yapılan elek analizleri ASTM D-422-63 deney standartları dikkate alınarak yapılmıştır (ASTM, 1972a). Ayrıca, inceleme alanında dinamik koşullarda (deprem etkisi, deprem oluşturan faylar) meydana gelmesi muhtemel afetler, toplanan verilerin değerlendirilmesi ile önceden saptanmaya çalışılmıştır. Mevcut fayların etkileri yeraltısuyu koşulları, sıvılaştırma potansiyeline sahip alanlar, yüksek topoğrafik eğim (>%30), aşırı yağışlara bağlı sellenme potansiyeline sahip sahalar ve mevcut zeminlerin litolojik ve jeoteknik özellikleri dikkate alınarak, ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemleri’nden de yararlanılarak, Armutalanı yerleşim alanı içerisinde “Yerleşime Uygun Alanlar”, “Yerleşime Uygun Olmayan Alanlar” ve “Önlemlenmeli Alanlar” belirlenmiştir (Arazi Kullanım Haritası). Arazi kullanım haritasının elde edilmesinde aşağıdaki sayısallaştırılmış haritaların hepsi birer veri katmanı olarak değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. a) Fay sayısal haritası, b) Dere yatakları ve sellenme potansiyeli haritası, c) Eğim zonlama haritası, d) Sıvılaştırma duyarlılığı haritası, e) Taşıma gücü sayısal haritası.

3.1. Sondaj Çalışmaları

Armutalanı beldesi içerisinde gerçekleştirilen zemin sondajlarında elde edilen SPT-N değerleri üzerinde gerekli düzeltmeler uygulanmıştır. Tij uzunluğu düzeltmesi (C_R), kuyu çapı düzeltmesi (C_B), iç tüp (pirinç tüp) ile ilgili düzeltme (C_S), enerji oranı düzeltmesi (E_E) ve örtü düzeltmesi Robertson ve Wride tarafından önerildiği gibi yapılmıştır (Çizelge 2) (Robertson ve Wride, 1998). Çizelge 2’de yer alan örtü basıncı düzeltmesi Liao ve Whitman tarafından önerilmiş olup basıncın 170 kPa’dan daha küçük durumlarda uygulanmasına dikkat edilmiştir (Liao ve Whitman, 1986).

Çizelge 2. SPT-N30 değerleri için uygulanmış düzeltmeler (P_a : atmosfer basıncı, 98 kPa ve S'_v : düşey örtü basıncı) (Robertson ve Wride, 1998)

Düzeltilme Türü	Ekipman	Düzeltilme Faktörü
C_N (örtü basıncı)	-	$(P_a / S'_v)^{1/2} \leq 170 \text{ kPa}$
E_E (enerji oranı)	Donut tipi Şahmerdan	0,5-1,0
	Otomatik-Trip Donut tipi Şahmerdan	0,8-1,3
C_B (kuyu çapı)	65-115 mm	1,0
	150 mm	1,05
	200 mm	1,15
C_R (tij uzunluğu)	< 3 mm	0,75
	3-4 mm	0,80
	4-6 mm	0,85
	6-10 mm	0,95
	10-30 mm	1,0
C_S (örnekleyici düzeltmesi)	Standart örnekleyici	1,0
	İç tüpü olmayan örnekleyici	1,1-1,3



Şekil 8. İnceleme alanının jeoloji haritası (DEÜ, 2001).

Yapılan sondajların derinlikleri ve her bir sondajda geçilen zemin gruplarının simgeleri Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Sondaj derinlikleri ve düşey zemin profili boyunca gözlenen zemin sınıfları

Sondaj No	Sondaj Derinliği (m)	Zemin Sınıfı (USC-Simge)
SK-1	9,0	GP
SK-2	10,0	0-3 m : GP, 3-6 m : GM-GC, 6-10 m : SC
SK-3	12,0	0-4 m : SM-SC, 4-12 m : GM
SK-4	3,2	GC
SK-5	8,0	0-5 m : GC, 5-8 m : SM-SC
SK-6	8,0	0-2.5 m : GC, 2.5-6 m : SM-SC, 6-8 m : GC-GM
SK-7	9,5	0-4.5 m : GC, 4.5-7 m : GP-GM, 7-9 m : GC
SK-8	11,0	0-2.5 m : GP, 2.5-5 m : GC, 5-11 m : SM-SC
SK-9	11,0	0-3 m : SC, 3-10 m : SM-SC, 10-11 m : GC
SK-10	10,0	0-3.5 m : SM-SC, 3.5-10 m : SC
SK-11	2,5	GP
SK-12	4,5	0-2.5 m : GW, 2.5-9 m : SM-SC
SK-13	9,0	0-2.5 m : SC, 2.5-9 m : SM-SC
SK-14	12,0	SM-SC
SK-15	10,0	0-5 m : SM-SC, 5-10 m : GC-GM
SK-16	10,0	0-2.5 m : GC, 2.5-6.0 m : SM-SC, 6-10 m : GM-GC
SK-17	14,0	SM-SC
SK-18	10,0	0-2 m : GM-GC, 2-10 m : SM-SC
SK-19	3,0	SM-SC
SK-20	9,0	SM-SC
SK-21	9,0	0-3 m : SM-SC, 3-6 m : GM-GC, 6-9 m : GC
SK-22	5,0	0-2.5 m : SW, 2.5-5 m : SM
SK-23	6,0	GP
SK-24	9,5	0-6.5 m : SM-SC, 6.5-10 m : GM-GC
SK-25	9,0	0-3 m : GM-GC, 3-9 m : SM-SC

Şekil 10'da sondajlar sırasında elde edilen SPT değerlerinin düzeltilmesi ile hesaplanan $SPT-N'_{30}$ değerleri verilmiştir. Gerekli düzeltmeleri yapılmış olan kaba taneli zeminlere ait $SPT-N'_{30}$ sayılarına göre zeminin rölatif sıklığı elde edilmiş ve korelatif ilişkilerden yararlanılarak ilgili diğer parametreler (örneğin ϕ : içsel sürtünme açısı, E_s : deformasyon modülü, γ_n : doğal birim hacim ağırlık) yeterli bir doğrulukla elde edilmiştir. Örneğin kumlar için içsel sürtünme açısı ve statik elastisite modülü Das (1995) tarafından önerildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\phi = 28 + 15 \cdot D_R (\pm 2^\circ) \quad \phi = 25 + 28 \cdot (N_{60} / \bar{q})^{1/2} \quad (1)$$

D_R : Rölatif sıklık,

\bar{q} : Efektif örtü basıncı.

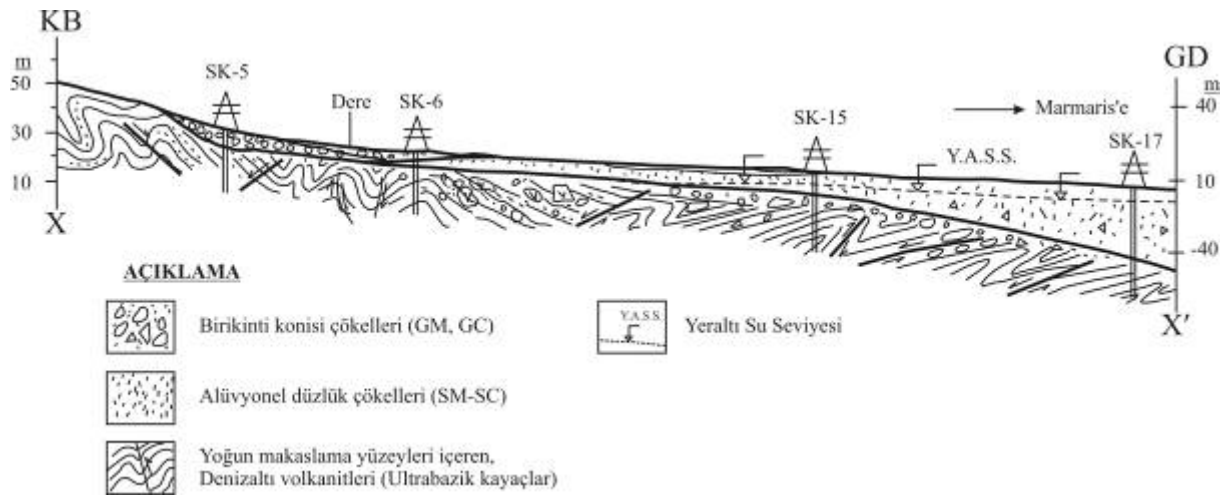
Normal konsolide kumlar için : $[E_s = 500 \cdot (N' + 15)]$, Killi kumlar için : $E_s = 320 \cdot (N' + 15)$, Çakıllı kumlar için : $N' \leq 15$ ise $E_s = 600 \cdot (N' + 6)$ [kPa], Çakıllı kumlar için $N' > 15$ ise $E_s = 600 \cdot (N' + 6) + 2000$, Killi kumlar için : $E_s = 320 \cdot (N' + 15)$ [kPa].

Elastisite modülü değerlerinden yararlanılarak inceleme alanında yaygın olarak yerel kumlu zeminler için toplam oturmalar $\Sigma S = \Delta\sigma + dz/E_s$ formülü gereğince hesaplanmıştır ($\Delta\sigma$: Gerilme artışları, dz : zemin seviyelerine ait kalınlıklar). Bu hesaplamalara göre, taşıma gücü sorunu olan alanlarda bile önemli bir oturma probleminin mevcut olmadığı belirlenmiştir. Emniyetli taşıma gücü değerleri, artan temel genişlikleri ile azalmaktadır. Herhangi bir temel genişliği $[B(m)]$ için 2.5 cm oturma için gereken “qa” değeri aşağıdaki eşitlik yoluyla (kPa olarak) hesaplanmıştır.

$$q_a = \frac{N'}{0,08} \left(\frac{B+0,3}{B} \right)^2 \quad (2)$$

3.2. İnceleme Alanında Mevcut Zemin Grupları

İnceleme alanında egemen zeminler kaba taneli (granüler) özellikteki zeminlerdir (Çizelge 3). 25 adet sondaj noktasından elde edilen jeoteknik zemin profilleri dikkate alındığında, granüler özellikteki zeminlerin GM, GC, GP, GW ve SM-SC sınıfında oldukları anlaşılmaktadır. Batıdan doğuya doğru bir hat üzerinde sırasıyla SK-5, SK-6, SK-15 ve SK-17 nolu sondajlara ait zemin profillerinden batı ve kuzeybatıdaki derelerin bulunduğu alandan Marmaris yerleşim alanı sınırına kadar olan bölgede, 2.5-5.0 metre kalınlığında killi-siltli çakıl ve blokların oluşturduğu bir seviyenin batıdan itibaren kalınlığının incelerek uzandığı görülür (Şekil 9) SK-4, SK-5, SK-6, SK-11, SK-12, SK-18 ve SK-19 nolu sondajlarda 2,5-5 m kalınlığındaki çakıllı bloklu zon geçilmiştir (Çizelge 3). Yukarıda bahsedilen sondajların bulunduğu lokasyonlar, batıdaki en büyük vadiyi oluşturan Armutalan Deresi'nin ve inceleme alanını kuzeyden sınırlayan Datça yol güzergahına dik yönde akan derelerin alüvyon düzlüklerindedir. GM, GC, GP ve GW sınıflarındaki çakıllı-bloklu zeminler inceleme alanının batısında ve kuzeybatısında mevcut derelerin sel taşkınları sırasında sürükleyip bıraktıkları malzemelerdir (Birikinti konileri) (Şekil 9). Çakıllı bölgeden Armutalanı-Marmaris sınırına (doğuya doğru) gidildikçe, SM-SC türü siltli-killi kumlar kalınlığı denize doğru gittikçe (Marmaris'e doğru) artan bir şekilde yüzeylenirler (Şekil 9).



Şekil 9. Şekil 8'de kesit izi gösterilmiş olan KB-GD yönlü jeoloji kesiti

3.3. SPT – N₃₀ Bulguları Kullanılarak Nihai Net Taşıma Gücü Hesabı

Bu durumda SPT – N' derinlik düzeltmeli veriler kullanılarak kare, sürekli ve radye temeller için çökme (nihai) net gerilmeleri aşağıdaki formüller kullanılarak elde edilebilir (Teng, 1962). Sırasıyla, karesel, sürekli ve radye temellerde (B>>6 m),

$$\begin{aligned}
 1. \quad q_{f_{net}} (= q_{ult}) &= \left[2N'^2 BR_w + 6(100 + N'^2) D_f R_w' \right] \times 0.16 \text{ (kPa)} \\
 2. \quad q_{f_{net}} (= q_{ult}) &= \left[3N'^2 BR_w + 5(100 + N'^2) D_f R_w' \right] \times 0.16 \text{ (kPa)} \\
 3. \quad q_{f_{net}} (= q_{ult}) &= \left[0.216N'^2 BR_w + 0.648(100 + N'^2) D_f R_w' \right] \text{ (kPa)}
 \end{aligned} \tag{3}$$

R_w ve R_w' değerleri yeraltı su seviyesinin etkisini dikkate alan parametreler olup mevcut şartlarda 1.00 alınmıştır (suya doymun olmayan ortamlar). D_f: Temel derinliği, N': Düzeltilmiş SPT-N₃₀ sayısı, B: Temel genişliği, q_{ult} : Nihai taşıma gücü. Herhangi bir temelin kayma kırılmasına karşı güvenini ifade eden faktör (F) değeri ise,

γ : doğal birim hacim ağırlığı, D_f : Temel derinliği

$$F = \frac{q_{f_{net}}}{q_{net}} = \frac{q_f - \gamma D_f}{q - \gamma D_f} = \frac{\text{Zeminin nihai net taşıma gücü}}{\text{Temel taban gerilmesi (net yük)}} \tag{4}$$

oranı ile ifade edilmekte olup q_{net} değeri temel seviyesindeki net gerilme artışını ifade eder (Makaslama yenilmesini sağlayan gerilme değeri).

İnceleme alanı, yerleşime önceden açılmış ve yaygın olarak 2-5 katlı binaların yer aldığı bir alandır. Binaların mevcut temellerinin herhangi bir makaslama yenilmesine karşı yeterli güvende olup-olmadığının belirteci güvenlik sayısının (F) değerinin ≥ 3 veya < 3 olmasına bağlıdır. q_{net} değeri ise yukarıdaki formüllerden doğrudan elde edilen temel sürüşme değeri γD_f dikkate alınmadan elde edilen değerdir (contact pressure) (Das, 1995).

Sondajlarda her 1.5 metrede bir yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri sonucu elde edilen SPT-N₃₀ darbe sayıları üzerinde gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra elde edilen SPT-N₃₀ darbe sayılarından yararlanılarak gerçekleştirilen hesaplarla zeminin nihai net taşıma gücü (q_{fnet}) bulunmuştur. Bu değer, temellerden aktarılan mevcut net yüklere oranının yeterli olması, diğer deyişle F ≥ 3 olması gereklidir. Ancak, binalar 2-5 katlı olsa düz temel sistemleri projelendirilirken yerleşim alanındaki tüm binalar için ayrı ayrı temel taban gerilmeleri (zemin emniyet gerilmeleri) bilinmemektedir. Bu nedenle en iyimser olasılıkla binalarda (kazıklı temel düşünülmemektedir) radye temel, tekil veya sürekli temeller (yüzeysel temeller: D_f/B<1) kullanılmış olabilir. Radye temel seçeneği düşünülerek ortalama yük 5 ton/m²=50 kN/m² kabul edilebilir. Ancak büyük olasılıkla bu temel türü yerine daha yüksek temel taban gerilmesi (contact pressure) anlamına gelen σ_z=q_a=0.5-2 kgf/cm² (50-200 kN/m²) arasında seçilmiş olmalıdır. Yapılan çalışmada nihai taşıma gücü değerleri (q_{fnet}) arazi SPT-N bulguları ile elde edildiğinden olası temel taban gerilmeleri değişik değerler alınarak, q_{fnet}/q_a oranının F ≥ 3 olduğu durumlar araştırılmıştır. Böylece, inceleme alanı içindeki değişik zemin gruplarının güven durumları hakkında bir fikir edinilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. 25 Ayır konumda makaslama yenilmesine karşı güven sayısının incelenmesi

Sondaj No	USC (Simgesi)	Nç & h ₁ (m)	qf _{net} (t/m ²)	qf _{net} (t/m ²)	F = qf _{net} /q _a					
					B (m)		q _a (kg/cm ²)			
					1.00	1.50	0.50	1.00	1.50	2.00
SK-1	GP	39	95,35	119,69	19,07	9,53	6,35	4,76		
		3,50 m			23,93	11,96	7,97	5,97		
SK-2	GP	> 50	154,88	194,88	30,97	15,49	10,32	7,74		
		3.0 m			38,97	19,49	12,99	9,74		
SK-3	SM-SC	44	120,57	151,55	24,11	12,05	8,03	6,03		
		4.0 m			30,33	15,16	10,03	7,53		
SK-4	GC	21	29,69	36,74	5,94	2,97	1,98	1,48		
		> 3.0 m			7,34	3,67	2,44	1,84		
SK-5	GC	50	154,88	194,88	30,97	15,49	10,32	7,74		
		5,0 m			38,97	19,49	12,99	9,74		
SK-6	GC	44	120,57	151,55	24,11	12,05	8,03	6,03		
		2,5 m			30,33	15,16	10,03	7,53		
SK-7	GC	50	154,88	194,88	30,97	15,49	10,32	7,74		
		4,5 m			38,97	19,49	12,99	9,74		
SK-8	GP	50	154,88	194,88	30,97	15,49	10,32	7,74		
		2,50 m			38,97	19,49	12,99	9,74		
SK-9	SC	49	148,86	187,26	29,77	14,88	9,92	7,44		
		3,0 m			37,45	18,72	12,48	9,36		
SK-10	SM-SC	15	16,56	20,16	3,31	1,66	1,10	0,83		
		3,5 m			4,03	2,01	1,34	1,00		
SK-11	GP	50	154,88	194,88	30,97	15,49	10,32	7,74		
		2,50 m			38,97	19,49	12,99	9,74		
SK-12	SW	46	131,53	165,38	26,30	13,15	8,76	6,57		
		2,50 m			33,07	16,53	11,02	8,26		
SK-13	SC	20	27,20	33,60	5,44	2,72	1,81	1,36		
		2,50 m			6,72	3,36	2,24	1,68		
SK-14	SM-SC	37	86,11	108,01	17,22	8,61	5,74	4,30		
		> 11,0 m			21,60	10,80	7,2	5,40		
SK-15	SM-SC	10	8,96	10,56	1,79	0,90	0,60	0,45		
		5,0 m			2,11	1,05	0,70	0,52		
SK-16	GC	46	131,53	165,38	26,30	13,15	8,76	6,57		
		2,50 m			33,07	16,53	11,02	8,26		
SK-17	SM-SC	35	77,36	96,96	15,47	7,73	5,15	3,86		
		4,0 m			19,39	9,69	6,46	4,84		
SK-18	GM-GC	18	22,58	27,76	4,51	2,25	1,50	1,12		
		2,0 m			5,55	2,77	1,85	1,38		
SK-19	SM-SC	46	131,53	165,38	26,30	13,15	8,76	6,57		
		>> 3 m			33,07	16,53	11,02	8,26		
SK-20	SM-SC	35	77,36	96,96	15,47	7,73	5,15	3,86		
		>> 8 m			19,39	9,69	6,46	4,84		

Çizelge 4. 25 Ayrı konumda makaslama yenilmesine karşı güven sayısının incelenmesi (devamı)

Sondaj No	USC (Simge)	Nç & h ₁ (m)	q _{f net} (t/m ²)	q _{f net} (t/m ²)	F = q _{f net} /q _a					
					B (m)		q _a (kg/cm ²)			
					1.00	1.50	0.50	1.00	1.50	2.00
SK-21	SM-SC	22	32,30	40,05	6,46	3,23	2,15	1,61		
		3,00 m			8,01	4,00	2,66	2,00		
SK-22	SW	40	100,16	125,76	20,03	10,01	6,67	5,00		
		> 5,0 m			25,15	12,57	8,38	6,28		
SK-23	GP	50	154,88	194,88	30,97	15,49	10,32	7,74		
		> 3,0 m			38,97	19,49	12,99	9,74		
SK-24	SM-SC	50	154,88	194,88	30,97	15,49	10,32	7,74		
		3,50 m			38,97	19,49	12,99	9,74		
SK-25	GM-GC	> 50	154,88	194,88	30,97	15,49	10,32	7,74		
		3,00 m			38,97	19,49	12,99	9,74		

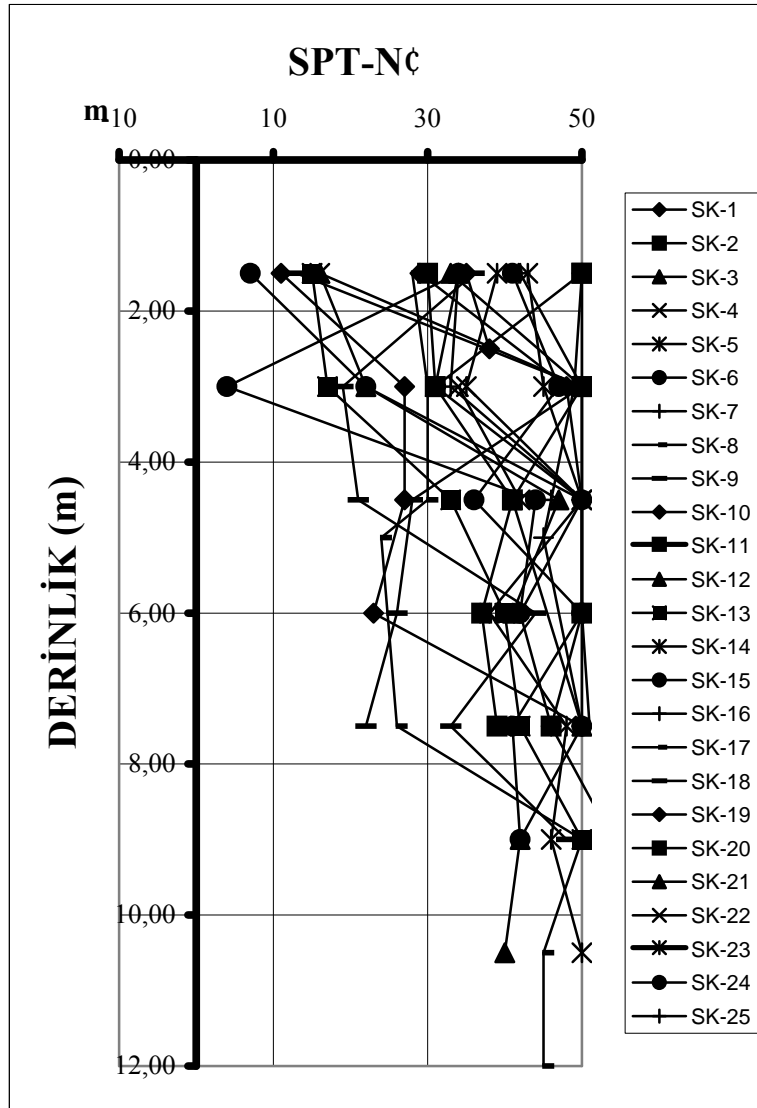
NOT : 1) Taşıma gücü hesapları SPT-N' bulguları ile yapılmıştır. SM-SC, GM-GC, GC, SC türü zeminlerde esasen mevcut olan kohezyon değerlerinin ihmali güvenli tarafta kalınacağı için bu çalışmada uygun görülmüştür.

Taşıma gücüne etkileyen diğer parametreler temel derinliği "D_f" ve temel genişliği "B" dir. Temel derinliğinin artması, kazı ile hafredilen malzeme miktarını arttıracığından temel tabanına gelen gerilmeyi de azaltacaktır. Çünkü, q_a = q müsadde edilebilir - D_f×γ_n 'dir. q_a'nin azalması, "F" yi büyüteceği için güvenliği de arttıracaktır. Bu durum, çalışmada dikkate alınmış ve D_f=30 cm alınmış ve en riskli hal incelenmiştir.

Karesel tekil temeller en basit ve yaygın temel tipidir. Tekil temellerde yeterli güvenlik sağlanmışsa genellikle sürekli temellerde de yeterli güvenlik elde edilir. 1-5 katlı binalar için tekil temel genişliği 1 metre ile 1.5 metre arasında değişmektedir. Temel genişliğinin artması, yükün temel tabanına yayılmasını sonuçlayacağından gerilmelerin azalmasına neden olur. "B"yi arttırmak radye temel uygulamasına (yayıllı temeller) yönelimi meydana getirir ki bu durum bina güvenliği açısından zaten daha uygundur (q_a=0,5 kg/cm²). B=1.0 m (Deprem bölgelerinde 1.0 metreden daha küçük alınmaz) ve B=1.5 metre için incelemelerin yapılması en riskli ve en çok kullanılan durumun belirlenebilmesi içindir.

25 ayrı konumda yeralan sondajlarda taşıma gücü analizleri yapılmış ve F≥ 3 şartı bazı sondajlarda sağlanmış, bazı sondajlarda sağlanamamıştır (F<3). F<3 olan sondajların etki alanları birleştirilerek, taşıma gücü açısından sorunlu alanların sınırı, harita üzerine çizilmiştir (Taşıma gücü sayısal haritası). Araştırma alanında mevcut olan yapılardan zemine aktarılmakta olan değme gerilmeleri (σ_{zem}) tam olarak bilinmediğinden, kullanılmış olan zemin emniyet gerilmesi değerleri 0.50, 1.00, 1.50 ve 2.00 kg/cm² olarak dikkate alınarak bu değerler 25 ayrı sondaj konumundaki SPT-N'₃₀ bulguları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Böylece taşıma gücü açısından olası kritik bölgeler SPT-N'₃₀ dikkate alınarak (F ≤ 3 olduğu bölgeler) bulunmuştur (Çizelge 4). Temel genişlikleri B_{min}=1.00 m ve B=1.50 m ve uygulanmış olabilecek minimum temel derinliği D_f = 0.30 m alınarak karesel tekil temeller için makaslama yenilmesine karşı güven sayıları F=q_{f net}/q_a şeklinde hesaplanmıştır. Bu değerlerin F<3 olması durumunda, makaslama yenilmesine karşı yeterli güvenin olmadığı anlaşılır (sürekli temeller içinde elde edilen sonuçlar benzer olmaktadır) (Çizelge 4).

Güven sayısının incelenmesine yönelik yapılan hesaplarda GC, GM-GC ve SC türü zeminler için olması gereken kohezyon değerleri dikkate alınmayıp, taşıma gücü parametresi olarak nispeten yüksek ϕ açıları nedeniyle SPT-N' değerleri ile çalışılıp güvenli tarafta kalınmıştır (Şekil 10). Bu durum dikkate alınarak Çizelge 4 incelendiğinde; SK-4 ve SK-18 sondaj konumunda yer alan GC ve GM-GC türü çakıllı zeminlerin de $q_a=1, 1.5$ ve 2.0 kg/cm^2 'lik (temel sürşarj değeri dikkate alınmadan elde edilen temel seviyesindeki net gerilm'e değerleri) gerilme değerleri altında hesaplanan "F" güvenlik sayılarının üçten küçük olduğu görülecektir. Ayrıca, SK-10'da; SK-13'te, SK-15'te, SK-18'de ve SK-21'de SM-SC türü zeminler için hesaplanan güvenlik sayılarının $F < 3$ olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4). Güvenlik sayısının " < 3 " olduğu gerek çakıllı, gerekse siltli-killi kumların yer aldığı gridler taşıma gücü açısından sorunlu alanları oluşturmuş ve bu gridlerin birleşiminden ilk defa bu çalışmada taşıma gücü sayısal haritası elde edilmiştir.



Şekil 10. Sondajlarda elde edilen düzeltilmiş SPT-N' değerlerinin derinlikle değişimi.

3.4. Sıvılaşma Potansiyelinin Araştırılması

Zemin sıvılaşması olgusunun mekaniği ilk kez Seed vd. tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir (Seed vd., 1971). Seed vd. (1971) tarafından önerilen sıvılaşma tahmin yöntemi daha sonra Ambraseys ve Sarma (1969), Dobry vd. (1981), Seed ve De Alba (1986), Iwasaki vd. (1984), Tokimatsu ve Yoshimi (1986) tarafından ince tane içeren siltli zeminlerde bu yöntemin uygulanabilmesi için bazı değişiklikler önerilmiştir. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesine yönelik günümüzde sıkça kullanılan yöntemler Çizelge 5'te birarada sunulmuştur. Armutalanı beldesi yerleşim alanında suya doymuş zeminlerin yer aldığı sondaj lokasyonlarında sıvılaşma potansiyeli "SPT-Kriterine", "Ampirik Metoda" ve sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesine yönelik olarak da "Sıvılaşma İndeksi Metoduna" göre incelenmiştir. Armutalanı beldesine yaklaşık 20 km mesafede bulunan Hisarönü fayının 1999 ve daha önceden de çalıştığı ve sismik aktivite oluşturduğu bilinmektedir (Koeri, 1999). Bu çalışmada deprem oluşturan fay Hisarönü fayı olarak kabul edilmiş ve sıvılaşma analizlerinde dikkate alınmıştır. Depremde oluşan en büyük ivmenin değeri oldukça önemli parametrelerden birisi olup, literatürde konuyla ilgili birçok çalışma vardır (D.A.D., 1996; Fukushima vd., 1988; Joyner ve Boore, 1981; Aydan vd., 1996).

Bu çalışmada maksimum yer ivmesi (a_{max}) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (İnan vd., 1996).

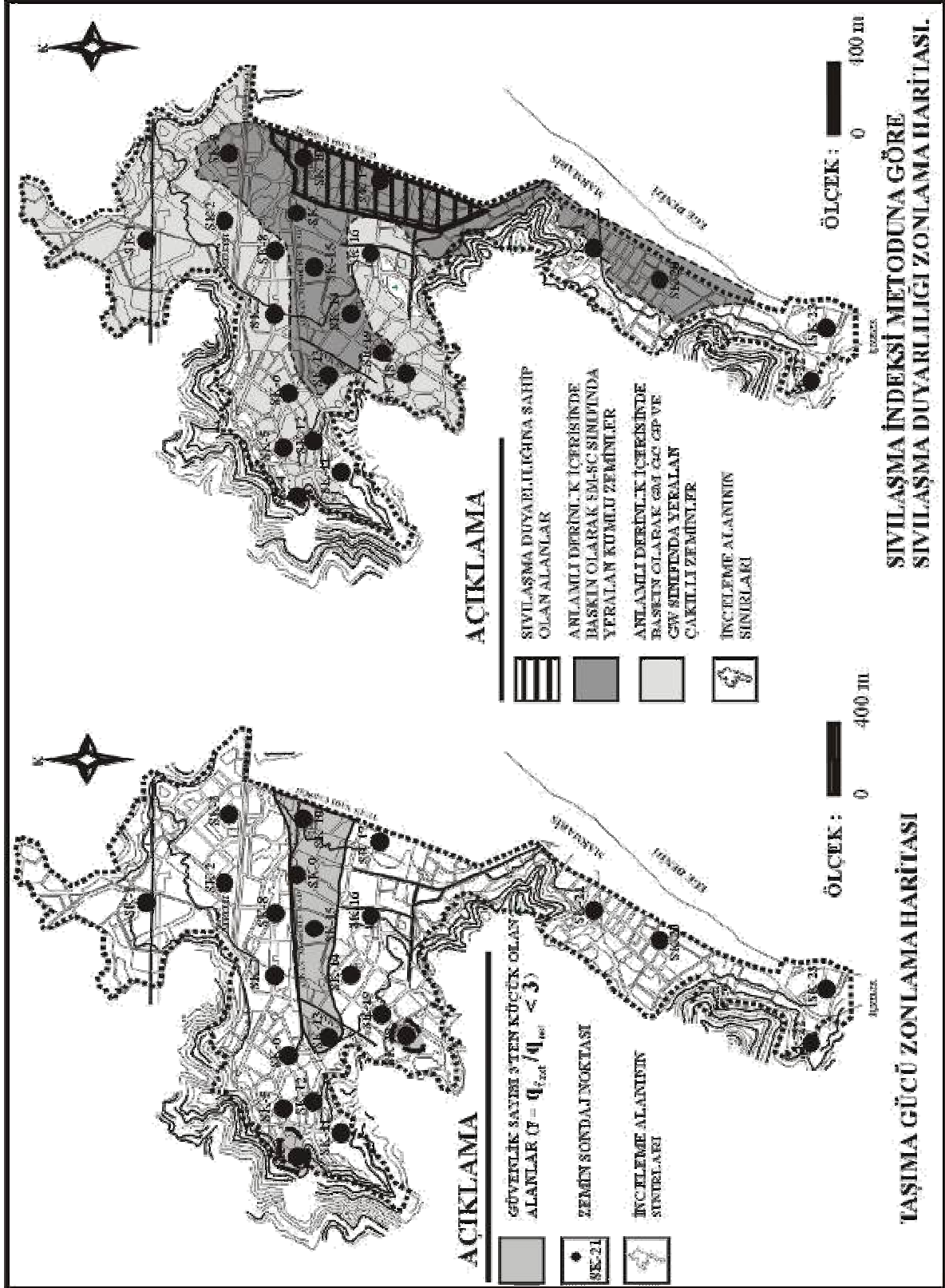
$$a_{max} = 10^{(0,65M_s - 0,9 \log R - 0,44)} \quad (5)$$

$M_s=6.3$, $R=20$ km için $a_{max}=301,9$ gal elde edilmiş ve bu çalışmada maksimum yer ivmesi olarak dikkate alınmıştır. Joyner&Boore (1981)'e göre de a_{max} değeri aynı mertebelerde elde edilmektedir. Yeraltı su seviyesi bahsedilen sondaj lokasyonlarında yaz mevsiminde 3,5-6.0 metre, kış aylarında ise 3,0-3,5 metre arasında ölçülmüştür. Sıvılaşma analizlerinde yeraltı suyu seviyesi 3,0 metre olarak dikkate alınmıştır (Şekil 12 ve Şekil 13). Sıvılaşma potansiyeli analizi yapılırken kullanılan ve SPT- N'_{30} değerlerine bağlı olarak elde edilen jeoteknik parametreler SK-10 ve SK-17 sondajlarına ait zemin profillerinde gösterilmiştir (Şekil 12 ve Şekil 13). Yukarıda bahsedilen üç yöntemle yapılan duyarlılık analizlerinin sonuçları Çizelge 6, 7 ve 8'de sunulmuştur. Her üç yöntem ile yapılan analizlerde yaklaşık aynı sonuçlar elde edilmiştir. Sıvılaşma indeksi metoduna göre yapılan sınıflama dikkate alınarak "Sıvılaşma duyarlılığı haritası" hazırlanmıştır (Şekil 11). Sıvılaşma potansiyeline sahip alanlar, yerleşime uygunluk açısından "Önemli Alanlar" kategorisinde değerlendirilmiştir.

Özellikle Iwasaki vd.'e göre maksimum yer ivmesi 300 gal için yapılan analizlerde, SK-10'da sıvılaşabilen zemin katmanının I_L değeri 1,2 elde edilirken, SK-17'de özellikle 3 metre kalınlığa sahip zemin katmanında I_L değeri 3,4 elde edilmiştir (Iwasaki vd., 1984). Diğer yöntemlerle de SK-17'deki sıvılaşma duyarlılığının SK-10'daki zemin katmanından daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6, 7 ve 8). Ayrıca, SK-17'de zemin yüzeyinde sıvılaşmanın neden olduğu yüzey deformasyonları gelişebilmektedir (Şekil 14). Armutalanı içinde sıvılaşma potansiyelinin mevcut olduğu alanlar düzlük olup, yoğun yapılaşmaya sahiptir. Bu alanlarda yol yarması gibi açıklıklar olmadığı için sıvılaşma analizlerini doğrulayan eski izlere rastlamak mümkün olmamıştır.

Iwasaki vd.'e göre SK-17'de 9.5-12.5 metreler arası SM-SC grubu suya doymuş kumlu zeminlerde SPT- N'_{30} değerlerinin 34-43 aralığında (sıkı kumlar) olmasına karşın "düşük sıvılaşma potansiyelinin" bulunması dikkat çekicidir (Iwasaki vd., 1984). Diğer yöntemlerle yapılan sıvılaşma analizlerinde aynı derinlikteki zemin katmanının sıvılaşma potansiyeli

göstermemesi sıvılaşma analiz yöntemlerinin günümüzde tartışma aşamasında olduğunu göstermektedir.



Şekil 11. Taşıma gücü ve sıvılaşma duyarlılığı zonlama haritaları.

Çizelge 5. Sıvılaşma potansiyelinin tahmininde kullanılan altı yönteme ait analitik parametrelerin birarada gösterilmesi.

Kriterin İsmi	Emniyet Faktörü	Kullanılan Formüller	Zemin Parametreleri	Sıvılaşma Riski	Kaynak
(Threshold Acceleration Criteria) Eşik İvmesi Kriteri	$F_a = \frac{a_t}{a_{\max}}$	$a_t = \frac{\beta V_s V_s^2}{z r_d r_b}$ $V_s \cong 80,6 N^{0,331} m / s^2$	$N, V_s, GWT, e, M, a_{\max}$	$F_a < 1$	Dobry et al., 1981.
SPT-Kriteri	$F_s = \frac{t_s}{t_0}$	$\tau_0 = \sigma_v \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) r_d r_b$ $\alpha = \frac{\tau_s}{\alpha_r}, r_d = 1 - 0,015 z$	$N', V_s, GWT, e, \omega, \rho, \gamma_{\text{humus}}, M, a_{\max}$	$F_s < 1$	Ambraseys, 1969.
Ampirik Method	$F_L = \frac{R}{L}$	$R = 0,08 \sqrt{\frac{N}{\alpha_v^2 + 0,7}} + B$ $B = 0,225 \log \frac{0,35}{D_{50}} \quad L = \frac{\tau_{\max}}{\alpha_v}$	$D_{50}, z, \gamma, h_{wp}, a_{\max}, M, V_s$	$F_L < 1$	Iwasaki et al., 1984.
Sıvılaşma İndeksi Methodu	$I_i = \sum f_i \cdot w_i \cdot h_i$	$f = 1 - F_L \quad w = 10 - z/2 \quad I_i = \sum_{i=1}^n f_i \cdot w_i \cdot h_i$	$D_{50}, z, \gamma, h_{wp}, a_{\max}, M, V_s$	Risk: $\frac{I_i}{100}$ 0-5 düşük 5-15 yüksek 15-100 çok yüksek	Iwasaki et al., 1984.
Tokimatsu-Yoshimi Yaklaşımı	$F_s = \frac{CSR_L}{CSRE}$ (+) (-)	$\frac{t_i}{\alpha_v}, N_a = N_i + \Delta N_f \quad c_N \cdot N = \frac{1,7}{0,7 + \alpha_v} N = N_i$	$N, a_{\max}, M, FC (\%), h_{wp}, z$	$F_s < 1,5$	Tokimatsu-Yoshimi, 1983.
Seed-De Alba Yaklaşımı	$F_s = \frac{CSR_L}{CSRE}$ (+) (-)	$N_i = c_N \cdot N = \frac{3,0}{(2 + \alpha_v)} N$	$N, a_{\max}, M, FC (\%), h_{wp}, z$	$F_s < 1,5$	Seed-De Alba, 1986.

a_t : Sıvılaşmaya neden eşik ivmesi değeri, z : derinlik, r_d : düzeltme faktörü, r_b : $0,1(M-1)$, t_i/t_0 : tekrarlı kayma gerilmesi, a_{\max} : en büyük yatay yer ivme değeri, t_s : Sıvılaşma için gerekli kayma gerilmesi, t_0 : a_{\max} ivmesinin yaratacağı kayma gerilmesi, i : $1-F_L$ ($F_L < 1$), $W_i = 10 - (z_i/2)$, ($z_i < 20$ m.), N : Standart Penetrasyon Darbe Sayısı.

Çizelge 6. SK-10 ve SK-17 için Iwasaki vd. (1984) tarafından geliştirilen inceleme yöntemi ile yapılan sıvılaşma analizi (Sıvılaşma indeksine göre zemin sıvılaşması tahmini)

Sondaj No	Derinlik (m)	F_L (-)	h_i (m)	W_i (-)	f_i (-)	I_L (-)	Kümülatif I_L (-)	Sıvılaşma Duyarlılığı
SK-10	3,5	1,27	3,5	8,25	0,00	0,0	0,0	Yoktur
SK-10	4,5	1,05	1	7,75	0,00	0,0	0,0	Yoktur
SK-10	6,5	0,82	1	6,75	0,18	1,2	1,2	Düşük derecede potansiyel
SK-17	3,5	1,2	3,5	8,25	0,00	0,0	0,0	Yoktur
SK-17	4,5	1,1	1	7,75	0,00	0,0	0,0	Yoktur
SK-17	5,5	0,9	1	7,25	0,11	0,8	0,8	Düşük derecede potansiyel
SK-17	7,5	0,8	2	6,25	0,21	2,6	3,4	Düşük derecede potansiyel
SK-17	9,5	1,2	2	5,25	0,00	0,0	3,4	Düşük derecede potansiyel
SK-17	10,5	1,1	1	4,75	0,00	0,0	3,4	Düşük derecede potansiyel
SK-17	12,5	1,0	2	3,75	0,00	0,0	3,4	Düşük derecede potansiyel

Çizelge 7. SK-10 ve SK-17 için ampirik metoda göre zemin sıvılaşması tahmini

Sondaj No	Derinlik (m)	s_v (t/m^2)	N_1 (-)	t_{max}	$s_v\checkmark$ (t/m^2)	L (-)	R (-)	F_L (-)	Sıvılaşma Duyarlılığı
SK-10	3,5	6,40	32	2,43	5,90	0,41	0,52	1,27	>1 Potansiyel yoktur
SK-10	4,5	8,40	28	3,13	6,90	0,45	0,48	1,05	>1 Potansiyel yoktur
SK-10	6,5	12,40	22	4,48	8,90	0,50	0,41	0,82	<1 Potansiyel mevcuttur.
SK-17	3,5	6,40	30	2,43	5,90	0,41	0,51	1,24	>1 Potansiyel yoktur
SK-17	4,5	8,40	32	3,13	6,90	0,45	0,51	1,11	>1 Potansiyel yoktur
SK-17	5,5	10,40	23	3,82	7,90	0,48	0,43	0,89	<1 Potansiyel mevcuttur.
SK-17	7,5	14,40	23	5,11	9,90	0,52	0,41	0,79	<1 Potansiyel mevcuttur.
SK-17	9,5	18,40	43	6,31	11,90	0,53	0,61	1,15	>1 Potansiyel yoktur
SK-17	10,5	20,40	36	6,87	12,90	0,53	0,57	1,06	>1 Potansiyel yoktur
SK-17	12,5	24,40	34	7,93	14,90	0,53	0,54	1,01	>1 Potansiyel yoktur

Çizelge 8. SK-10 ve SK-17 için Ambraseys ve Sarma (1969) tarafından geliştirilen inceleme yöntemi ile yapılan sıvılaşma analizi (SPT kriterine göre zemin sıvılaşması tahmini)

Sondaj No	Derinlik (m)	s_v (t/m^2)	$s_v\checkmark$ (t/m^2)	N_1 (-)	a (-)	t_0 (t/m^2)	t_s (t/m^2)	F_s (-)	Sıvılaşma Duyarlılığı
SK-10	3,5	6,40	5,90	32	0,359	1,58	2,12	1,34	>1 Potansiyel yoktur
SK-10	4,5	8,40	6,90	28	0,323	2,04	2,23	1,09	>1 Potansiyel yoktur
SK-10	6,5	12,40	8,90	22	0,247	2,91	2,20	0,76	<1 Potansiyel mevcuttur.
SK-17	3,5	6,40	5,90	30	0,341	1,58	2,01	1,28	>1 Potansiyel yoktur
SK-17	4,5	8,40	6,90	32	0,359	2,04	2,48	1,22	>1 Potansiyel yoktur
SK-17	5,5	10,40	7,90	23	0,253	2,48	2,00	0,81	<1 Potansiyel mevcuttur.
SK-17	7,5	14,40	9,90	23	0,253	3,32	2,50	0,75	<1 Potansiyel mevcuttur.
SK-17	9,5	18,40	11,90	43	0,553	4,10	6,58	1,60	>1 Potansiyel yoktur
SK-17	10,5	20,40	12,90	36	0,418	4,47	5,39	1,21	>1 Potansiyel yoktur
SK-17	12,5	21,40	14,90	34	0,388	5,15	5,78	1,12	>1 Potansiyel yoktur

m	SK-10		%	No.4	D_r	c	v	\emptyset	$\bar{\omega}_n$	E_s	\bar{G}	Deprem Zemin Grubu
	Profil	SPT-N'	ω_n	No.200	(%)	(kg/cm ²)				(t/m ²)	(t/m ²)	
0												
1	SM-SC											C
2	N=15	15	9		45			30	0,09			
3						0,20				630-960	305	
4		32	8,4					0,30				
5		28	10,5	60/16								
6	SC											
7	N=(22-30)	22	7,9		55			28	0,09			
8	N=>50	>50				0,30				1184	455	
9								0,35				
10												

m	SK-17		%	No.4	D_r	c	v	\emptyset	$\bar{\omega}_n$	E_s	\bar{G}	LL/PL/PI	Deprem Zemin Grubu
	Profil	SPT-N'	ω_n	No.200	(%)	(kg/cm ²)				(t/m ²)	(t/m ²)		
0				9									
1													B
2		38	13,6		70	0,40		32					
3	SM-SC								0,13	1230	475		
4		35	11										
5		32	11,9										
6		23											
7			15,3	87/43					0,09-0,15			31/18/13	
8		23	11,4						0,12				
9	N=23												
10		43	9,7										
11		36	9,2										
12													
13		34		75/30									
14													Yerel Zemin Grubu : Z2

ACIKLAMA

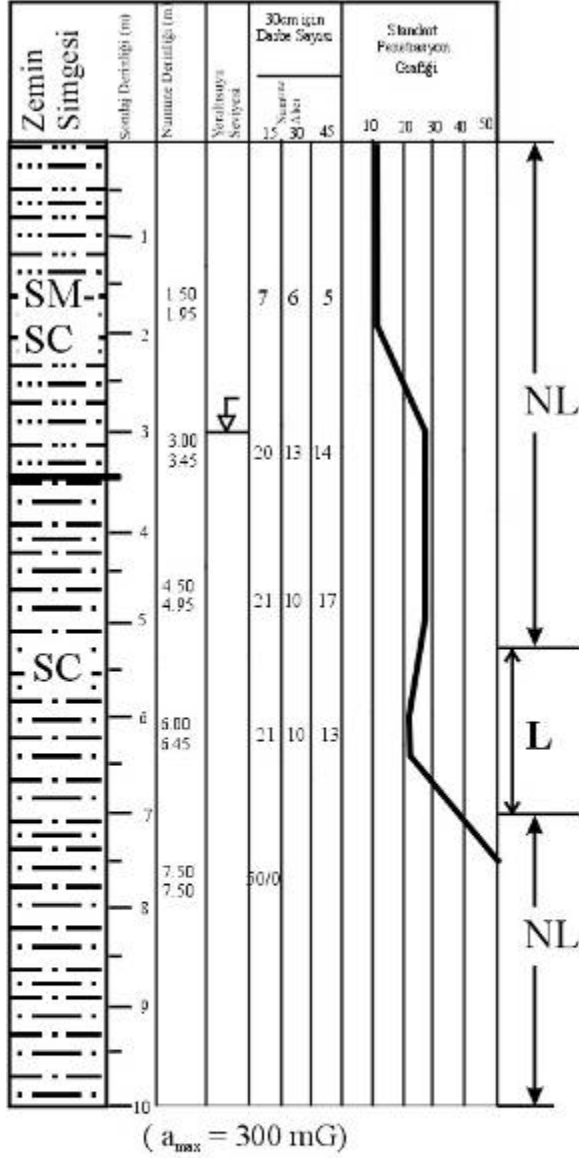
ω_n =Doğal su içeriği, N'=Düzeltilmiş Standart Penetrasyon Sayısı

c ve \emptyset (Kohezyon ve içsel sürtünme açısı) : N' ye göre tahmin edilmiştir.

E_s : Elastisite Modülü (N' değerine göre hesaplanır). τ : Kayma modülü, ν : Poisson oranı.

Şekil 12. SK-10 ve SK-17 konumundaki sondajlara ait jeoteknik veriler

SK-10

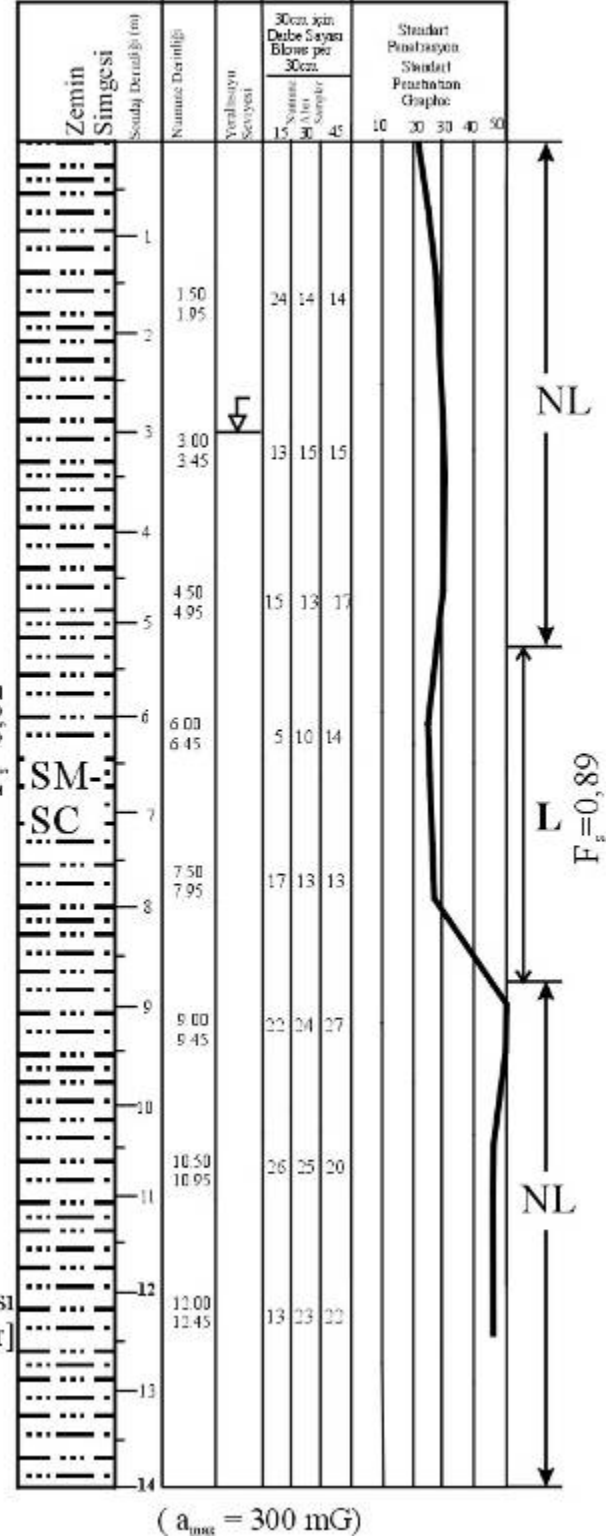


NL : Sıvılaşma duyarlılığı yok

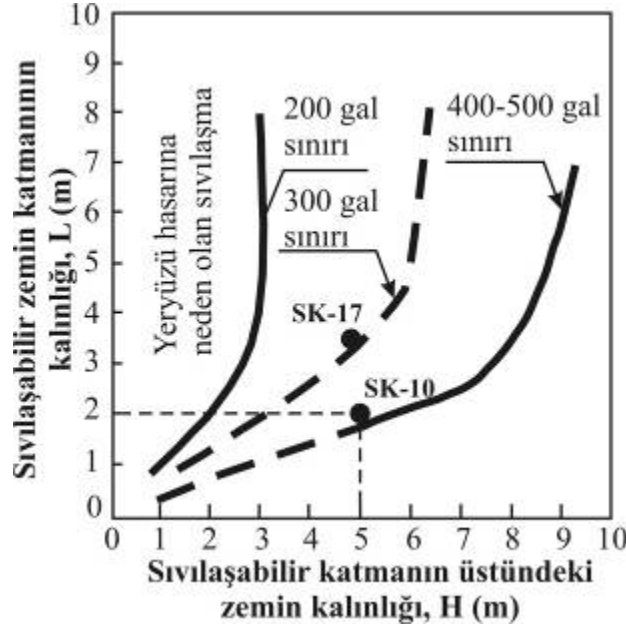
L : Sıvılaşma duyarlılığı var

 a_{max} : Maksimum yer ivmesiFs : Sıvılaşma duyarlılığına karşı güvenlik sayısı
[Iwasaki ve diğ.(1984)'e göre değerlendirilmiştir]

SK-17



Şekil 13. Sıvılaşma duyarlılığının değerlendirilmesi için dikkate alınmış sondajlardaki zemin durumu



Şekil 14. Sıvılaştırmanın yüzey etkilerinin oluşup-oluşmaması arasındaki ayrımın yapılabilmesi için Ishihara (1985) tarafından önerilen sınır eğrileri

3.5. Yerleşime Uygunluk Haritalasının Hazırlanması

3.5.1. Haritaların Gridlenmesi

Çalışma alanının üzerine $20 \times 20 = 400$ adet hücreden oluşan bir grid ağı maskelenmiş ve çalışma alanını kapsayan 178 tanesi ayrılmıştır. Bu alanları belli bir referansa oturtmak için, her bir hücrenin bir koordinatı olması gerekmektedir. Bu işlem için, yatay yönde A'dan T'ye kadar ve dikey yönde 1'den 10'ye kadar gridlere numara verilmiştir (Şekil 15). Daha sonra bu 178 alana düşen bahsedilen beş değişik harita çeşitleri için ayrı ayrı puanlama yapılmıştır. Puanlama yapılırken gözetilen ölçüt, coğrafi lokasyondaki jeolojik-jeoteknik verinin yerleşime uygunlukta ne kadar önem taşıdığıdır. Tehlike arzeden alanlar yüksek puanla, riski daha az olan alanlar düşük ve risk görülmeyen/beklenmeyen alanlar ise sıfır puanla nitelendirilerek, "Akıllı Haritalar" hazırlanmıştır. Burada, grid ağını oluşturan her bir hücrenin artık bir koordinatı (A3, B7, C9, ... gibi) ve bir sayısal nicelik değeri (attribute) (0, 4, 5 ... gibi) vardır.

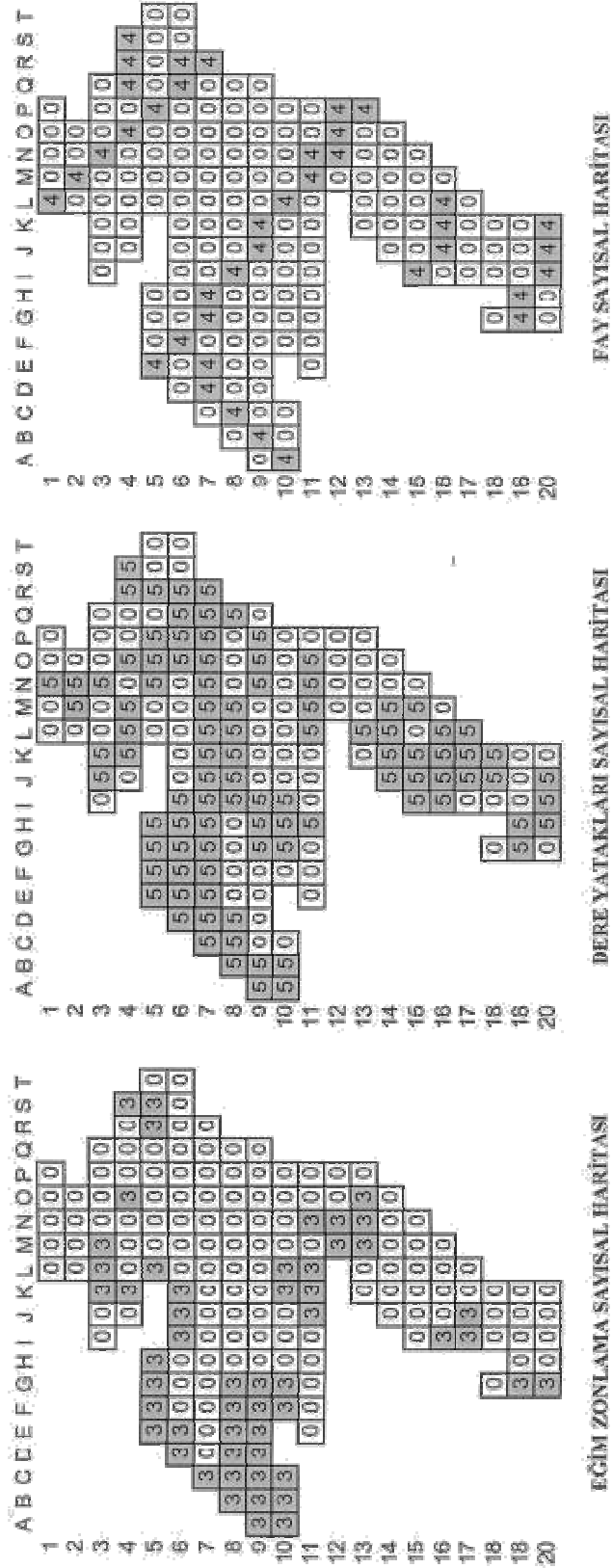
3.5.2. Oluşturulan veri katmanlarının puanlanması

a) Fay Sayısal Haritası, bu harita içerisinde ana fay hatları ve bunların etki sahaları olarak belirlenen alanlar dört (4) puanla, onların dışındaki alanlar ise sıfır (0) puanla numaralanmıştır (Şekil 15). Toplam alanın % 21.9'ünü kaplar.

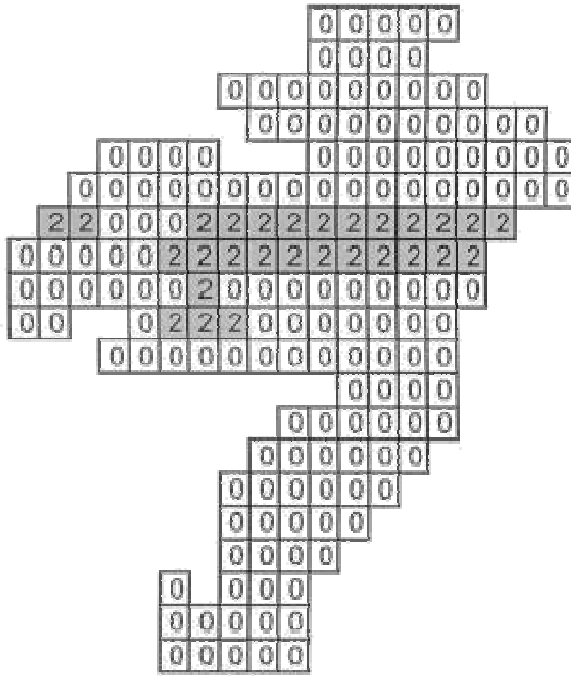
b) Dere Yatakları ve Sellenme Potansiyeli Sayısal Haritası, bu haritada ise Armutalanı'nı sellenme açısından geçmişte tehdit etmiş ve günümüzde de tehdit etme potansiyeli bulunan ana dere yatakları belirlenmiş ve bu alanlar beş (5) puan ve dışındaki alanlar sıfır (0) puanla sayısallaştırılmışlardır (Şekil 15). Toplam alanın %53.9'ünü kaplar.

c) Eğim Zonlama Sayısal Haritası, hazırlanmış olan eğim zonlama haritası, yerleşime uygunluk çalışmasında basite indirgeyip, daha rahat analiz etmek için 20° ve daha yüksek

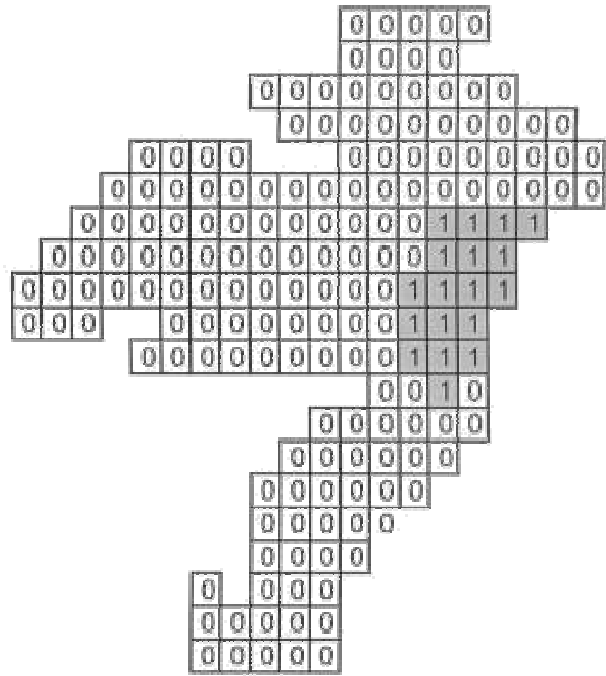
yamaç açısına sahip alanlar üç (3) puanla, 20°'den daha düşük eğim açısına sahip alanlar ise sıfır (0) puanla sayısallaştırılmışlardır (Şekil 15). Toplam alanın %29,8'ini kaplar.



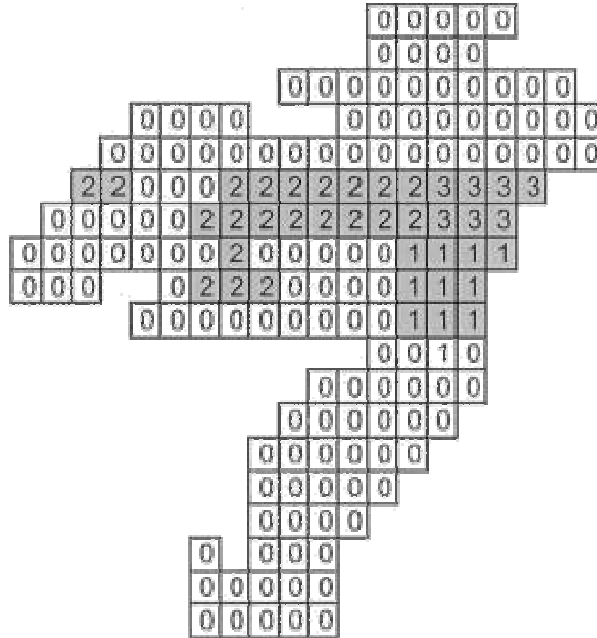
Şekil 15 : Mekansal verilerin sayısallaştırılması ve etki puanlaması sonucu elde edilen “Eğim Zonlama”, “Dere Yatakları ve Sellenme Riski” ve “Fay” Sayısal Haritaları.



TAŞIMA GÜCÜ SAYISAL HARİTASI

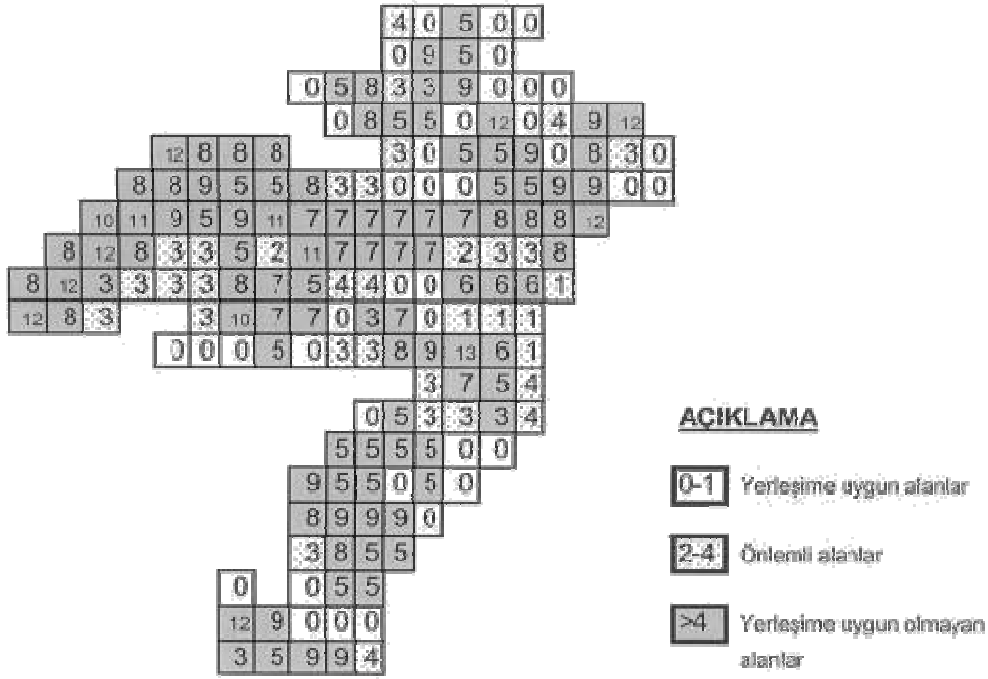


SIVILAŞMA RİSKİ SAYISAL HARİTASI



ÖNLEMLİ ALANLAR+YERLEŞİME UYGUN ALANLAR
SAYISAL HARİTASI (0=Yerleşime Uygun, 1-2-3=Önlemlili Alanlar)

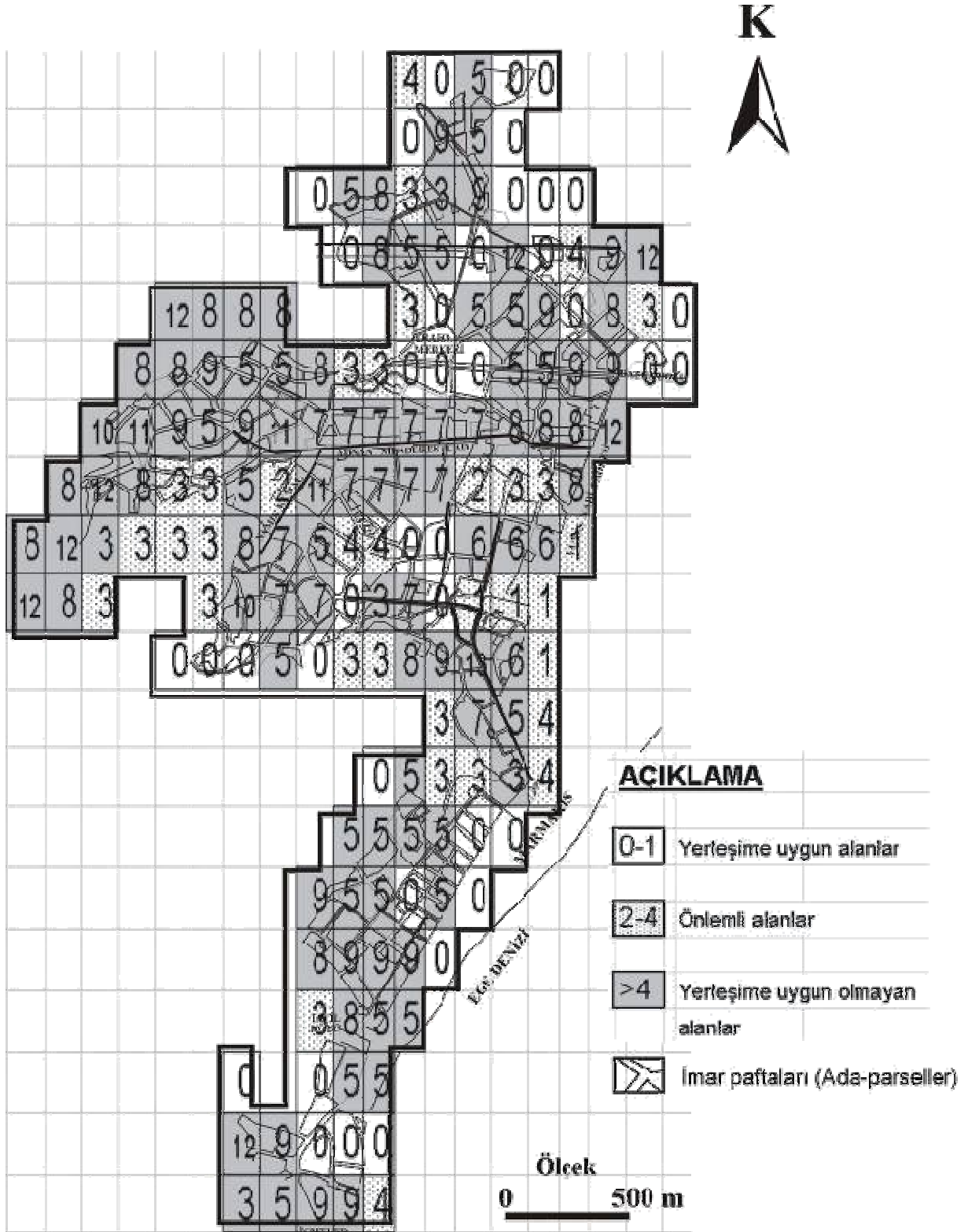
Şekil 16. Taşıma gücü ve sıvılaşma riski sayısal haritalarının çakıştırılmasından elde edilen “Önlemlili Alanlar” sayısal haritası.



Şekil 17. Yerleşime Uygunluk Haritası.

d) Sıvılaşma Duyarlılığı Sayısal Haritası, Araziye gerçekleştirilen karotlu zemin sondajları sırasında geçilen zeminler deneştirildikten sonra farklı metodlarla sıvılaşma analizleri yapılmış ve sıvılaşmaya potansiyeli taşıyan alanlar zonlanmıştır. Daha sonra bu harita sayısallaştırılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri içerisinde bir veri katmanı olarak kullanılmıştır. Sıvılaşma Potansiyeli olan alanlar oluşturulan grid sisteminde bir (1) puanla numaralandırılmış ve diğer alanlara sıfır (0) puan verilmiştir (Şekil 16). Toplam alanın %10,1'ini kaplar.

e) Taşıma Gücü Sayısal Haritası, Sondajlar sırasında elde edilen SPT-N₃₀ değerleri çeşitli düzeltmelerden sonra SPT-N'₃₀ düzeltilmiş değerleri haline getirilmiştir. Bu değerler kullanılarak sondajda ilerlenen zemin seviyeleri için ayrı ayrı taşıma güçleri hesaplanmıştır. Taşıma gücü açısından sorunlu görülen alanlar iki (2) ile numaralandırılmış ve diğer alanlara sıfır (0) puan verilerek sayısallaştırma tamamlanmıştır (Şekil 16). Toplam alanın %15,7'sini kaplar. Taşıma gücü ve sıvılaşma potansiyeli sayısal haritalarının karşılaştırılmasından elde edilen ve sadece önemli alanları gösteren sayısal harita Şekil 16'da sunulmuştur. Önlem alınması durumunda yerleşime açılacak alanlar ve yerleşime uygun alanlar birarada Şekil 17'de sunulmuştur. Ayrıca, Şekil 18'de imar paftaları üzerine Yerleşime Uygun ve Önemli Alanlar kategorisinde zonlar işaretlenmiş olarak birarada sunulmuştur. Bahsedilen alanlar toplam alanın %43,8'ini kapsamaktadır.



Şekil 18. Yerleşime uygun ve önemli alanların imar paftaları üzerindeki konumu.

4. SONUÇLAR

1. Armutalanı beldesinin 1/5000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanarak Armutalanı Melanjını oluşturan litolojiler haritalanmıştır. Melanjın içerisinde şist bloklarının varlığı ilk defa belirlenmiş ve haritalanmıştır.
2. Armutalanı'nı çevreleyen derelerin ağızlarında yeralan ve tıkaç görevi gören sel konilerinin varlığı tesbit edilmiş ve haritalanmıştır. Sel konilerinin varlığı geçmiş dönemlerde Armutalanı ve Baklacık gibi geniş beslenme alanlarına sahip derelerde aşırı yağışlara bağlı sellenmelerin geliştiğine işaret etmekte olduğu belirlenmiştir.
3. Armutalanı'nın yerleşime uygunluk haritasını hazırlamak amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri'nden yararlanılmıştır. Elde edilen veri katmanları birbiriyle karşılaştırılarak, her bir veri katmanı üzerinde yeralan coğrafi koordinatlı sayısal veri değerleri, bir başka veri katmanındaki değerlerle toplanmış ve en sonunda tüm veri katmanlarının birlikte irdelenmesiyle "**Yerleşime Uygunluk Haritası**" elde edilmiştir (Şekil 18).

Bu haritada, beş (5) puan ve beş puandan yüksek puana sahip alanlar "Yerleşime Uygun Olmayan Alanlar" olarak, bir (1) ve dört (4) puanlar arası "Önlemlenilen Alanlar" ve sıfır "0" puana sahip alanlar ise "Yerleşime Uygun Alanlar" olarak belirlenmiştir.

Önlemlenilen alanlar, taşıma gücü sayısal haritası ile sivilaşma duyarlılığı haritasının birleşiminden oluşup, toplam alanın %21.3'ünü kaplar. Yerleşime uygun olmayan alanlar toplam alanın %56.2'sini kaplamaktadır. "Yerleşime uygun alanlar" ve "Önlemlenilen alanlar"ın toplamı ise tüm alanın %43.8'ini kaplar.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, 1/1000 ve 1/25000 ölçekli jeoloji haritalarının hazırlanması sırasında emekleri geçen D.E.Ü. Jeoloji Mühendisliği bölümü öğretim üye ve yardımcılarından Prof. Dr. Sacit ÖZER, Prof. Dr. Osman CANDAN, Yrd. Doç. Dr. Ersin KORALAY, Yrd. Doç. Dr. Hasan SÖZBİLİR ve Ar .Gör. Bilal SARI'ya katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirler.

KAYNAKLAR

- Ambraseys N., Sarma S. (1969): "Liquefaction of Soils Induced by Earthquakes", Bulletin of the Seismological Soc. of America, vol. 59, no.2, p. 651-664.
- American Society for Testing Materials (1990): "Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils (D 1586-84)". In : Annual book of ASTM standards, sect 4, vol 04, 09. ASTM, Philadelphia, 1092 pp.
- ASTM (1972a): "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils". D. 4222-63, 112-114 p.
- Aydan Ö., Sezaki M., Yazar R. (1996): "The seismic characteristics of Turkish earthquakes" 11th WCEE, Acapulco, CD-2, paper no : 1025.
- Bernoulli D., Graciansky P.C., Monod O. (1974): "The extension of the Lycian nappes-SW Turkey into the southeastern Aegean Island", Eclog. Geol. Helv., 61 (1), 39-90.
- İnan E., Çolakoğlu Z., Koç N., Bayülke N., Çoruh E. (1996): "1976-1996 Yılları Arası İvme Kayıtları Olan Deprem Kataloğu", Deprem Araştırma Dairesi (DAD), T.C. Bayındırlık ve İskan Bak. Afet İşl. Gen. Müd., Ankara.
- Das M.B. (1995): "Principles of Foundation Engineering", PWS Publishing Company, third edition, Boston, USA, p. 828.
- DEÜ (2001): "Muğla İli, Marmaris İlçesi Armutalanı Beldesi Yerleşim Alanına Ait Jeolojik- Jeoteknik Etüd Raporu", 176 sayfa, D.E.Ü. Müh.Fak. Matbaası, İzmir.

- Dobry R., Stokoe K.H., Ladd R.S., Yound T.L. (1981): "Liquefaction Susceptibility from S-wave Velocity", ASCE Nat. Conv., Preprint 81-544, St. Louis, Missiuri.
- Eastmen J. R. (1992): "Idrisi User's Guide", Clark Univ. Graduate School of Geography.
- Ersoy Ş. (1991): "Datça (Muğla) Yarımadasının Stratigrafisi ve Tektoniği", Türkiye Jeol. Bült., 34, 2, 1-14.
- Flowerdew R., Grren M. (1991): "Data Integration: Statistical methods for Transforming Data Between Zonal Systems", In Masser, I. And Blakemore, M.(EDS.). Handling Geographical Information: Methodology and Potential Applications, John Willey & Sons Inc., New York.
- Fukushima Y., Tamaka T. Kataoka S. (1988): "A New Attenuation Relationship for Peak Ground Accelaration Derived from Strong Motion Accelograms", 9th WCEE, Tokyo.
- Goodchild M.F. (1991): "The Technological Setting of CBS", In maguire, D.J. Goodchild, M.F. ve Rhind, D.W. (Eds.). Geographical Information Systems, Principles and Applications., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Ishihara K. (1985): "Stability of Natural Deposits During Earthquakes", In : Proc.11th Int. Conf. On Soil Mech. And Found Engng., vol.1, AA Balkema, Rotterdam, p. 321-376.
- Iwasaki T., Arakawa T., Tokida K.I. (1984): "Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction during Earthquakes", Journal of Soil Dynamic and Earthquake Engineering, Vol.3, No.1, p. 49-58.
- Joyner W.B., Boore D.M. (1981): "Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong Motion Records including Records from the 1979 Imperial Valley, California Earthquake", Bull. Seis. Soc. Am. 71 (6), p. 2011-2038.
- Koeri (1999): "<http://koeri.boun.edu.tr/seismo/991005Marmaris.htm>", Boğaziçi Ü. Deprem Araş. Enstitüsü.
- Liao S.S.S., Whitman R.V. (1986): "Overburden Correction Factors for SPT in Sand", Journal of Geotechnical Eng. ASCE, 112 (3), 373-377 p.
- Marble D.F. (1990): "Geographic Information Systems: an Overview", In Peuquet D.J. ve Marble D.F. (Eds.) Introductory Readings in GIS, Taylor & Francis.
- Robertson P.K., Wride C.E. (1998): "Evaluating Cyclic Liquefaction Potential using the Cone Penetration Test", Canadian Geotechnical Journal, 35(3), p. 442-459.
- Seed H.B., De Alba P. (1986): "Use of SPT and CPT Test for Evaluating the Liquefaction Resistance of Sands", Clemence, Proceeding in situ 86, Virginia Tech., Blacksburg, VA (Geotechnical Special Publication 6), p. 281-302, ASCE.
- Seed H.B., Idriss I.H., Dezfulian H. (1967): "Relationship between Soil Conditions and Building Damage in the Caracas Earthquake of July 29", Earthquake Engineering Research Center, Report No. EERC 70-2, University of California, Berkeley, USA, 1970.
- Strahter A. (1996): "Introducing Physical Geography", New York.
- Şenel M., Bilgin Z.R. (1997): "1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları", Marmaris-L6 Paftası, No: 19, MTA Ankara.
- Şengör A.M.C., Yılmaz Y. (1983): "Türkiye'de Tetis'in Evrimi: Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım", Türkiye Jeol. Kur., Yerbil. Özel Dizi No: 1, 75s.
- Teng W.C. (1962): "Foundation Design", Prentice-Hall, sec. 6.5, p. 118, U.S.A.
- Tokimatsu K., Yoshimi Y. (1983): "Emprical Correlation of Soil Liquefaction based on SPT-N Value and Fines Content", Soils and Foundation, vol. 23, no. 4, p. 56-74.
- Verhogen F.J., Turner E.J., Weiss L.E., Wahrhaftig C. (1970): "The Earth and Introduction to Physical Geology", New York.
- Wahrhaftig C. (1970): "The Earth and Introduction to Physical Geology", New York.
- Yılmaz R. (2003): "Temel İnşaatı Ders Notları", Ege Üniv., Müh., Fak., İnş. Müh. Bölümü, İzmir (Baskıda).