

Koni Penetrasyon Testi (CPT) Verileri ile Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Manisa-Saruhanlı Örneği ile Araştırılması

Mehmet ORHAN, Ali ATEŞ
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü,
Geoteknik Anabilim Dalı, Beşevler-Ankara
Geliş/Received : 25.04.2011, Kabul/Accepted : 16.06.2011

ÖZET

Bu çalışma, Manisa/Saruhanlı ilçesinde olası bir deprem etkisinde, yerleşim alanı içerisindeki alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin, arazi Koni Penetrasyon Testi (CPT) verileri kullanılarak belirlenmesini içermektedir. Bu amaçla 28 noktada yapılan CPT verileri kullanılmıştır. İlçenin yaklaşık 33 km güneyinde bulunan 150 km uzunluğundaki "Gediz Grabeni Fay Zonu"nun bölgeyi etkileyebilecek ve en büyük ivmeyi yaratabileceği varsayılarak, araştırmaya esas alınmıştır. Toplam 150 km uzunluğundaki bu fay zonunun, olası bir depremde 1/3'nün kırılması tahmin edilerek, moment magnitüdü 7,1 olan ve normal atımlı faylar ve Türkiye için geliştirilen deprem atenasyon eşitliği kullanılarak 0,28g büyüklüğünde yatay deprem ivmesi oluşabileceği hesaplanmış ve CPT verileri kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre çalışma sahasını temsilen, iki bölgede yüksek, bir bölgede düşük, bir bölgede ise çok düşük dereceli sıvılaşma riski belirlenmiş ve buna göre sıvılaşma risk haritası ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Koni Penetrasyon Testi (CPT), sıvılaşma risk haritası, Saruhanlı

Investigation of the Liquefaction Potential of Soils Using Cone Penetration Test (CPT)

ABSTRACT

This study includes the determination of the liquefaction potential developed for the residential area covered by alluvial deposits using CPT data (cone penetration test) under the effect of the probable earthquake effect in Saruhanlı/Manisa region. For this reason, a total of 28 CPT data were evaluated. Gediz Graben Fault Zone which has a length of 150 km, passes through at a distance of approximately 33 km in the south of Saruhanlı District. it was predicated to affect the region and create the biggest peak horizontal acceleration due to earthquake. In a probable earthquake effect, considering that Gediz Graben may be cracked 1/3 of the total length(150 km), was calculated an earthquake of moment magnitude as $M_w=7,1$. Using attenuation relationships developed for Turkey a peak ground acceleration of 0.28g was calculated for the study site. According to the these results, the liquefaction analysis was performed using the CPT data and two locations were determined as liquefiable and one location less liquefiable, one location is the least liquefiable. The liquefaction hazard map was prepared according to these results.

Keywords: Cone Penetration Test (CPT), liquefaction hazard map, Saruhanlı

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Depremler esnasında suya doygun zemin tabakalarında çevrimli yüklemeler altında oluşan boşluk suyu basıncı artışları zeminde katı fazdan sıvı faza dönüşme olarak nitelendirilebilecek sıvılaşma durumunun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Zeminlerin sıvılaşabilirliği tane boyutu ve dağılımı yanında, jeolojik yaşı ve çökelme koşulları, başlangıç sıklık derecesine bağlı hacim değişim potansiyeli ve su geçirgenliği gibi özellikleri yanında depremin büyüklüğü, süresi uzaklığı gibi sismik faktörlere bağlıdır (1). Zemindeki yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olmasıyla birlikte zeminin gevşek şartlarda olması, zeminin sıvılaşması için etkili olan koşullardandır. Sıvılaşma olayı, pek çok depremde gelişmesine karşın ülkemizde, 1992 Erzincan depre-

miyle dikkate alınmaya başlanmış, 1999 Marmara depreminde meydana gelen sıvılaşma olayları ile bu olgunun önemi tüm kesimlerin ilgisini çekerek önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, Manisa/Saruhanlı ilçesinin imar planlaması kapsamında, İller Bankası tarafından gerçekleştirilen jeolojik-jeoteknik etüt çalışmaları kapsamında elde edilen CPT verileri kullanılarak, bölgede yapılması planlanan yapıların oturtulacağı temellerin alüvyal zeminlerinde, sıvılaşma riski ve yerleşime uygunluk durumu değerlendirilmiştir. Bu amaçla, bölgenin jeolojisinden, depremselliğinden, olası deprem odaklarının uzaklığı ile oluşturacakları yer ivmesi ilişkilerinden, zemine ait granülometri değerlerinden ve CPT verilerinden yararlanılarak sıvılaşma analizleri yapılmış ve Iwasaki vd. (2) kriterleri baz alınarak sıvılaşma haritası hazırlanmıştır.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: orhanm@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2011.14.1, 15-23

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHODS)

2.1. Materyal (Material)

2.1.1. Çalışma Alanının Tanımlanması (Description of Study Area)

Saruhanlı ilçesi Manisa-Balıkesir karayolu üzerinde, Manisa il sınırları içindedir. Çalışma sahasının sınırlarını gösteren bir uydu görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir. İlçe Manisa’nın kuzeyinde, il merkezine 19 km mesafededir. Yerleşim alanı ve çevre morfolojisi düz alanlardan meydana gelmektedir. İlçenin içinden geçen Kara Çay Deresi kısmen ıslah edilerek T11 tahliye kanalı olarak kullanılmaktadır. Gediz Nehri ise çalışma sahasının güney sınırından geçmektedir.



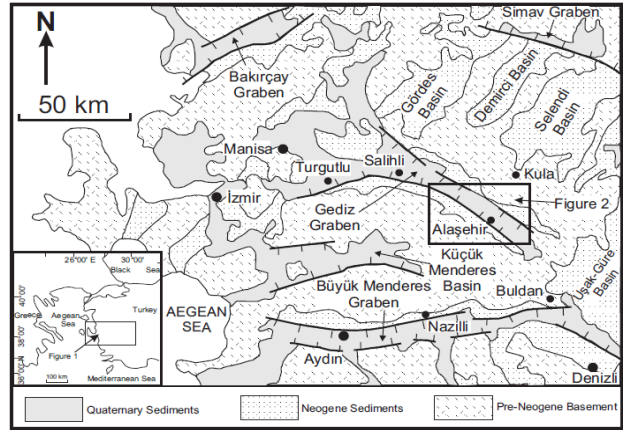
Şekil 1. Çalışma sahasının sınırlarını gösteren bir uydu görüntüsü (3)

2.1.2. Bölgenin Jeolojisi (Geology of the Region)

Türkiye’nin batısında Gediz grabeni en belirgin ve gelişmiş graben havzasına sahiptir (4). Gediz grabeni bölgesinde yer alan kaya birimleri temel Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kırıntılı, karbonatlı sedimentler kayalar ile filiş ve içerisindeki ofiyolitik ve mafik volkaniklerden oluşmaktadır. Neojen ise; volkanik, sedimentler ve plütonik kaya türleri ile temsil edilmektedir (Şekil 2). Menderes masifine ait olan metamorfik kayalar Neojen öncesi taban formasyonu ve horst bloklarının üzerinde yer alan 2000 metre yüksekliğe kadar uzanan formasyonlardan oluşmaktadır (4). Graben dolgusu Neojen öncesi metamorfik kayaların üzerinde yer almaktadır. Gediz grabeni dolgusu ise parçalanabilir kıtasal göl ve nehir çökelleri orijini miosenlerden oluşmaktadır (5)

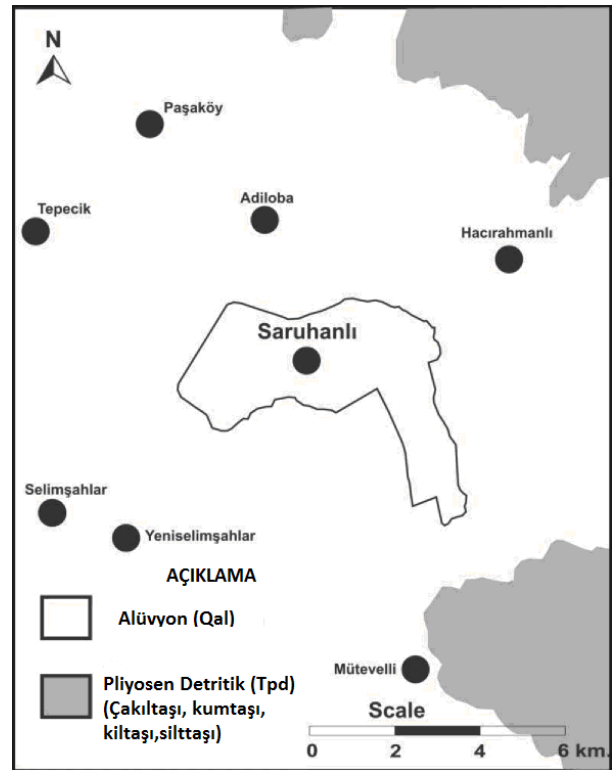
Saruhanlı ve çevresinde Pliyosen detritik (Tpd.: Detritik çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kilaşı) birimleri (pliyosen flüviyal ve pliyosen gölssel) hakimdir (Şekil 3).

Saruhanlı ilçesinin 85 km güneyinde yapılan Sondaj ve sismik kırılma çalışmaları metamorfik taban kayaların derinliğinin yaklaşık 1750 m olduğunu göstermiştir (8). Gediz grabeni sınırlarına doğru yaklaştıkça bu oluşumun sığ olduğu gözlenmiştir (8). Çökel dolgusu kalınlıklarına gelince Gediz grabeni



Şekil 2. Saruhanlı ve çevresi Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin jeolojisi ve tektoniği (6)

kuzeyinde, güneyine oranla daha ince olduğu keşfedilmiştir. Jeomorfolojiyi de kontrol eden bu faylar graben sisteminde Erken Miyosen-Pliyosen döneminde oluşmuştur (8). Topoğrafik özellikler ve eğimli Neojen çökel katmanları bu fayların Neojen’den sonra aktif olduğunu gösterir (8)

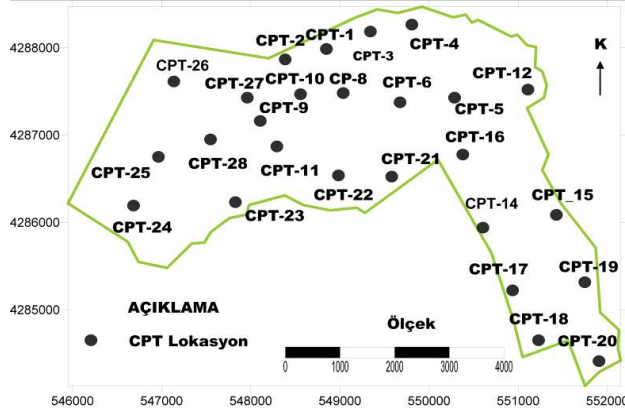


Şekil 3. Saruhanlı ve çevresi bölgesel jeoloji haritası (7)

2.1.3. Arazi Verileri (Field Data)

Çalışmada, geleneksel sıvılaştırma potansiyeli hesaplamalarının yapılması için, arazide yerinde yapılan CPT verileri kullanılmıştır. Bu veriler, İller Bankası tarafından hazırlanan “Saruhanlı (Manisa) Belediyesi Jeoteknik Etüt Gerektiren Alanların (Jega) İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu” nun hazırlanmasında yapılan çalışmalardan elde edilen CPT deney sonuçlarıdır (9). Sözü edilen bu çalışmadan alınan, 28 adet CPT deneyinde (Şekil 4), uç direnci (q_c)

çevre sürtünmesi (f_s) ve boşluk suyu basıncı (u) değerlerinin, hızının 25 mm/sn, 6,5 m ila 12,5m derinliklerinde kaydedildiği görülmektedir (9).



Şekil 4. Çalışma alanındaki CPT lokasyonlarının dağılımı

Arazide lokasyonlardan alınan CPT verileri 1m aralıklarla indirgenerek kaydedilmiş ve Çizelge 1'de örnek CPT-8 verilmiştir.

Çizelge 1. Örnek olarak araziden alınan ve 1 m aralıklarla kaydedilen Lok.8'e ait CPT verileri

Saruhanlı İlçesi CPT verileri						
Lokasyon:No	CPT-8 YASS=1,7m					
Derinlik (m)	q_c (MPa)	f_s (MPa)	γ (kN/m ³)	σ_v' (kPa)	Rölatif Sıklık (D_r)	İnce Tane Oranı
0.025	1.85	0.001	20	0.5	127.56732	12.7579009
1	1.83	0.034	20	20	74.387782	30.23823015
2	4.41	0.062	20	40	89.664967	16.80352688
3	0.79	0.041	20	60	34.564397	59.93747542
4	0.66	0.047	20	80	25.28793	78.09566801
5	1.43	0.041	20	100	44.252178	44.64849601
6	2.14	0.084	20	120	53.194328	44.15280362
7	6.27	0.087	20	140	81.797433	17.63938694
8	1.46	0.036	20	160	38.111329	51.10559027
9	0.99	0.011	20	180	25.28793	54.28228807
10	2.25	0.106	20	200	47.310056	55.91845394
10.55	2.4	0.13	20	211	48.392621	58.12062865

2.1.4. Yer Altı Suyu Durumu (Groundwater Status)

Sıvılaşma potansiyeli olan bölgeleri belirlemede, dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerden birisi de, yer altı suyunun yüzeyden itibaren derinliğidir. Çalışma alanında yer altı suyu, yaz ve kış aylarında mevsimsel olarak değişmektedir. Açılan gözlem çukurlarından anlaşıldığına göre yaz aylarında 4 ila 4,5m, kış aylarında ise, 2 ila 2,5 m aralığında değiştiği gözlenmiştir.

2.1.5. Deneyde Kullanılan Yazılımlar (Programs used in tests)

Bu çalışmada, arazi verilerinin sıvılaşma potansiyel hesaplamalarında, Liq IT V.4.7.3 Geologismiki (10) yazılımı kullanılmıştır.

2.2. Metot (Methods)

İller bankası tarafından hazırlanan rapordan alınan CPT verileri esas alınarak, Robertson ve Wride (11) yöntemine göre sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre, imara açılacak yapılaşma bölgesinde, sıvılaşma potansiyeli "yüksek", "düşük" ve "çok düşük" özellikli bölgeler belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre imara açılacak bölgenin sıvılaşmaya bağlı oluşan risk alanları ortaya konulmuştur.

2.2.1. Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesindeki Kriterler (Criteria for Determining the Liquefaction Potential)

Analiz sonuçlarını esas alarak zeminlerin sıvılaşma dirençlerinin belirlenmesi, iki değişkenin hesaplanmasını veya tahmin edilmesini gerektirmektedir,

bunlar;

- Zemin tabakasındaki sismik talebi ifade eden devirsel gerilme oranı (DGO),
- Zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren devirsel direnç oranı (DDO).

Depremin gücünü karakterize eden DGO'nun, zeminin direncini karakterize eden DDO'ya oranı ise o zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısını vermektedir (Eş. 1).

$$GK = \frac{DDO}{DGO} \quad (1)$$

Güvenlik faktörünün 1'den küçük olması o bölgenin sivilaşma riski taşıdığını, güvenlik faktörünün 1'den büyük olması ise o bölgenin sivilaşma riski taşımadığını göstermektedir.

2.2.1.1. Seed ve Idriss (1971) Tarafından Geliştirilen "Basitleştirilmiş" Yönteme Göre Devrinsel Gerilme Oranının (DGO) Bulunması (Seed and Idriss (1971) developed by the "simplified" method according to the Cyclic Stress Ratio (DGO) Finding)

Bu yönteme göre deprem esnasında zemin tabakasında oluşacak devrinsel gerilme oranı aşağıda verilen Eş.2'den hesaplanabilmektedir (12).

$$DGO = 0,65 \left\{ \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right\} = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d \quad (2)$$

Burada; (a_{max}) deprem tarafından oluşturulan ve yüzeyde etkiyen en büyük yatay yer ivmesini, (σ_{vo}) toplam düşey gerilmeyi, (σ'_{vo}) efektif düşey gerilmeyi, (g) yerçekimi ivmesini, (τ_{ave}) ortalama devrinsel gerilme dayanımını, (r_d) gerilme azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Efektif Gerilme azaltma katsayısı, Liao ve Whitman (13)'e göre aşağıdaki şekilde belirlenebilir;

$$r_d = 1 - 0,00765z, \quad z \leq 9,15m \quad (3a)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267 z, \quad 9,15m < z \leq 23m \quad (3b)$$

Burada; (z) metre cinsinden derinliktir.

2.2.1.2. Robertson ve Wride (1998)'e göre Devrinsel Direnç Oranı (DDO) Bulunması (Robertson and Wride (1998), according to the Cyclic Resistance Ratio (DDO) Finding)

Bu yöntemde koni penetrasyon test (CPT) uç direncinin (q_c) sivilaşma direncinin belirlenmesinde kullanılması bazı düzeltmeler yapmak gerekmektedir. Robertson ve Wride (11) yönteminde, q_c uç direnci üst tabaka yükü düzeltme katsayısı C_Q kullanılarak aşağıdaki eşitliklerde olduğu gibi normalize edilir.

$$q_{c1} = C_Q (q_c/P_a) \quad (4)$$

$$C_Q = (P_a/\sigma'_{vo})^n \quad (5)$$

Burada; (C_Q) konik penetrasyon direnci için üst tabaka yükü düzeltme katsayısı, (P_a) 100 kPa değerindeki referans gerilmesi, (n) zemin tipi ile değişiklik gösteren sabit, (q_c) ölçülen uç direnç, (q_{c1}) üst tabaka yüküne göre düzeltilmiş birimsiz uç dirençtir. C_Q , sığ derinliklerde düşük efektif gerilme nedeniyle büyük değerler alabilmesine rağmen, uygulamada 1,7'den büyük değerler dikkate alınmaz ve "n" sabiti, zeminin tane özelliklerine bağlı olarak 0,5 ila 1,0 arasında değerler almaktadır (14).

Zemin cinsini tanımlamak için kullanılan zemin indeksi Eş. 6'dan bulunur.

$$I_z = [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,5} \quad (6)$$

Burada;

$$Q = [(q_c - \sigma_o)/P_a] [P_a/\sigma'_{vo}]^n \quad (7)$$

$$F = [f_s / (q_c - \sigma_o)] \times 100 (\%), \quad (8)$$

(Q) Normalize edilmiş uç direnç, (F) normalize edilmiş sürtünme oranı,

Hesaplamalardaki ince tane oranına göre düzeltme ise aşağıdaki şekilde bulunur.

$$(q_{c1})_{tk} = K_c q_{c1} \quad (9)$$

Burada, (K_c) zeminin granüler yapısını ifade eden düzeltme katsayısıdır ve Eş. 10a ve Eş. 10b kullanılarak Robertson ve Wride (11)'a göre aşağıdaki şekilde bulunur.

$$K_c = 0; I_z \leq 1,64 \quad (10a)$$

$$K_c = -0,403.I_z^4 + 5,581.I_z^3 - 21,63.I_z^2 + 33,75.I_z - 7,88 I_z > 1,64 \quad (10b)$$

Eğer $n=1$ alınarak hesaplanan I_z değeri ($I_z > 2,6$) büyükse zemin killi ve sivilaşmayan zemin olarak kabul edilir. Analiz sona ermiştir. Eğer $n=1$ alınarak hesaplanan I_z değeri ($I_z < 2,6$) küçükse zemin ayrık taneli zemin sınıfına girer, C_Q ve Q , $n=0,5$ alınarak yeniden hesaplanmalıdır. Elde edilen yeni değerler Eş.6'da yerine konularak, I_z değeri yeniden hesaplanır, eğer $I_z < 2,6$ ise zemin granüler yapıdadır n değeri için yapılan tahmin doğrudur ve sivilaşma analizinde kullanılır, yok eğer $I_z > 2,6$ ise zemin muhtemelen plastik yapıdadır $n=0,7$ alınarak I_z tekrar hesaplanır ve sivilaşma analizinde kullanılır.

Bu yöntem zemin indeksinin iterasyon yoluyla bulunmasını içerir. Bu durum Robertson ve Wride (11) yönteminin elle hesaplamalarda tercih edilmemesine neden olmaktadır. Temiz kumlar ve $M=7,5$ büyüklüğündeki bir deprem için sivilaşma direnci aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunmaktadır.

$$DDO_{7,5} = 0,833 [(q_{c1})_{tk}/1000] + 0,0; (q_{c1})_{tk} < 50 \quad (11)$$

$$DDO_{7,5} = 93 [(q_{c1})_{tk}/1000]^3 0,08; 50 \leq (q_{c1})_{tk} < 160 \quad (12)$$

Burada, ($q_{c1})_{tk}$ 100 kPa'lık üst tabaka yüküne göre düzeltilmiş temiz kumlarda konik penetrasyon direncini ifade etmektedir.

3. ARAZİ ve LABORATUVAR ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

(EVALUATION of FIELD and LABORATORY STUDIES)

3.1. Deprem Tasarım Parametrelerinin Hesaplanması (Calculation of earthquake parameters)

İnceleme sahasının yaklaşık 33 km güneyinden Gediz Grabeni fay zone, 100 km güneyinden Büyük Menderes fay zone ve 39 km kuzey-batısından Bergama fay zone geçmektedir (Şekil 5). Burada en yüksek ivme yaratabilecek fay zoneunun, ilçenin 33 km güneyinden geçen Gediz Grabeni fay zone olduğu tespit edilmiştir. Deprem tasarım parametrelerinin bulunması için, çalışma alanını çevreleyen 100 km yarıçapında bir daire çizilerek, daire içinde kalan ve çalışma alanını etkileye-

bileceği düşünülen aktif sismik kaynaklara dik çizilerek bu sismik kaynakların çalışma sahasına en kısa mesafeleri kilometre (km) cinsinden ölçülmüştür (Şekil 5). Çalışma sahasında en yüksek ivme yaratabilecek olan Gediz Grabeni fay zonu, Mark (15) yaklaşımına göre olası bir depremde 1/3'nün kırılacağı yaklaşımıyla, olası tasarım depreminin moment büyüklüğü, Wells ve Coopersmith (16)'in eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$M_w = 4,86 + 1,32 \log L \quad (13)$$

Burada; M_w : Moment büyüklüğü, L: Fay uzunluğu (km).

Bu yaklaşıma göre Fay uzunluğunun, 1/3'nün kırılması durumunda, "Moment Büyüklüğü" 7,1 olarak hesaplanmıştır.

Yatay deprem ivmesi ise Türkiye'deki depremleri esas alan ve normal atımlı faylar için geliştirilen deprem atenasyon ilişkisi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (17).

$$PGA = 2,18e^{0,0218(33,3M_w - R_e + 7,8427S_A + 18,9282S_B)} \quad (14)$$

Burada; yumuşak zeminler için $S_A=0$, $S_B=1$ alınır, R_e yerleşim alanından ilgili fay zonuna en yakın dikey mesafedir, M_w Deprem büyüklüğüdür. Buna göre, tasarım depreminin meydana getirebileceği "Yatay deprem ivmesi" 0,28g olarak hesaplanmıştır.

rularak, Iwasaki vd. (2) tarafından güvenlik faktörünü de içerecek şekilde "sıvılaşma potansiyeli indeksi" adı verilen bir parametre önerilmiştir. Iwasaki vd. (2) sıvılaşma indeksinin hesaplanması için aşağıdaki eşitlikleri (Eş. 15 ve Eş. 16a-Eş. 16d) önermiştir.

$$LI = \int_0^{20} F(z)W(z)dz \quad (15)$$

$$FL < 1,0 \quad \text{için}; \quad F(z) = 1 - FL \quad (16a)$$

$$FL \geq 1,0 \quad \text{için}; \quad F(z) = 0 \quad (16b)$$

$$z < 20 \quad \text{için}; \quad W(z) = 10 - 0,5z \quad (16c)$$

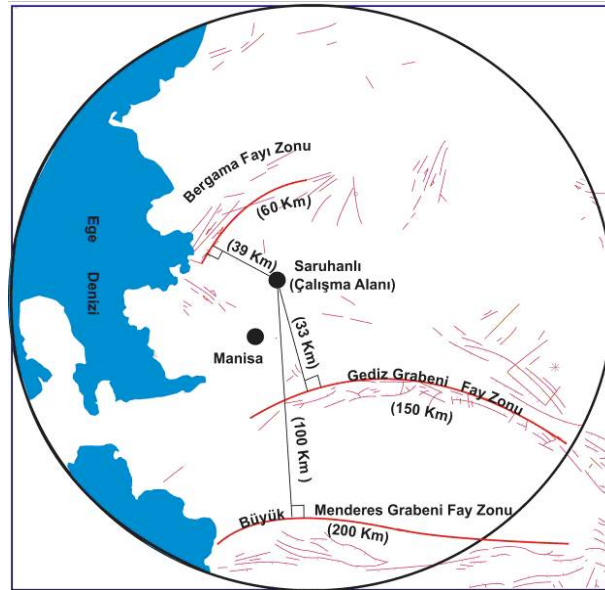
$$z > 20 \quad \text{için}; \quad W(z) = 0 \quad (16d)$$

Burada; (LI) sıvılaşma indeksi, (z) yüzeyden zemin tabakasının orta noktasına olan derinlik (m), (FL) sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörüdür.

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin derecelendirilmesinde Iwasaki vd. (2)'e göre hesaplanan sıvılaşma indeksleri Çizelge 2'deki gibi sınıflandırılabilir.

Çizelge 2. Sıvılaşma potansiyeli indeksine (LI) göre sıvılaşma risk dereceleri (2)

Sıvılaşma İndeksi (LI)	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Çok az
0 < LI < 5	Az
5 < LI < 15	Yüksek
15 > LI	Çok yüksek



Şekil 5. Çalışma sahasına 100 km çap içinde bulunan sismik kaynakların belirlenmesi (18)

3.2. Sıvılaşma Potansiyeli İndeksinin Belirlenmesi ve Sıvılaşma Haritasının Hazırlanması (Determination of Liquefaction and Liquefaction Potential Index Map Preparation)

Güvenlik faktörü, geniş alanlar için göreceli bir değerlendirme yapılmasına ve sıvılaşma potansiyeli açısından sıvılaşma haritalarının hazırlanmasına doğrudan imkan vermemektedir. Bu durum göz önünde bulundu-

Sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilen güvenlik katsayıları, Iwasaki vd. (2) yöntemine göre Eşitlik 15 kullanılarak sıvılaşma indeksleri bulunmuş ve Çizelge 3'de verilmiştir. Bundan sonra bu çizelgedeki indeksler yukarıda verilen (Çizelge 2) sınır değerleri ile karşılaştırılarak ilgili lokasyonlar sıvılaşma derecelerine göre gruplandırılarak Çizelge 4'de verilmiştir. Bu aşamadan sonra Çizelge 3 ve Çizelge 4'de verilen

değerlere göre sıvılaşma haritası hazırlanmıştır (Şekil 6).

Sonuç olarak; deprem magnitud büyüklüğü **7,1** ve yatay deprem ivmesinin **0,28 g** şartlarında bir depremin olması durumunda, Çizelge 3, 4 ve aşağıdaki

haritaya (Şekil 6) bakıldığında 8 ve 25 nolu lokasyonların yüksek düzeyde ve 23 nolu lokasyonun düşük, 19 nolu lokasyon ise, çok düşük düzeyde sıvılaşma riski taşıyan bölgeleri temsil ettiği görülmektedir.

Çizelge 3. Çalışma alanı için hesaplanan sıvılaşma indeksleri (2)

CPT No	Yeraltı Su Seviyesi (m)	CPT Koordinatlar		Robertson & Wride (1998) Sıvılaşma İndeksi (LI)	Sonuç
		X	Y		
1	3,3	549240	4288270	1,7	Az
2	2,2	548480	4287920	2,62	Az
3	3,3	549820	4288260	2,19	Az
4	3,3	550070	4288260	3,16	Az
5	3,4	550230	4287400	4,56	Az
6	2,8	549710	4287430	1,52	Az
7	2,8	549540	4286900	3,18	Az
8	1,7	549120	4287570	5,51	Yüksek
9	3,3	548280	4287170	2,2	Az
10	3,25	548740	4287590	2,1	Az
11	1,8	548670	4286790	1,39	Az
12	2,45	551000	4287430	4,98	Az
13	2,45	551160	4287010	2,63	Az
14	5,2	550770	4285710	2,92	Az
15	5,2	551570	4286000	0,66	Az
16	3,3	550490	4286600	0,02	Az
17	4	551070	4285130	0,74	Az
18	4	551290	4284680	0,58	Az
19	4	551800	4285230	0,04	Çok Az
20	4,4	551770	4284320	0,41	Az
21	3,3	549590	4286460	0,83	Az
22	2,8	549150	4286500	0,62	Az
23	2,3	547840	4286270	2,6	Az
24	2	546800	4286190	2,72	Az
25	3,8	546810	4286700	7,8	Yüksek
26	1,3	547170	4287470	0,92	Az
27	3,8	547950	4287320	2,23	Az
28	1	547570	4286840	2,63	Az

Çizelge 4. Lokasyonların sıvılaşma derecelerine göre gruplandırılması (2)

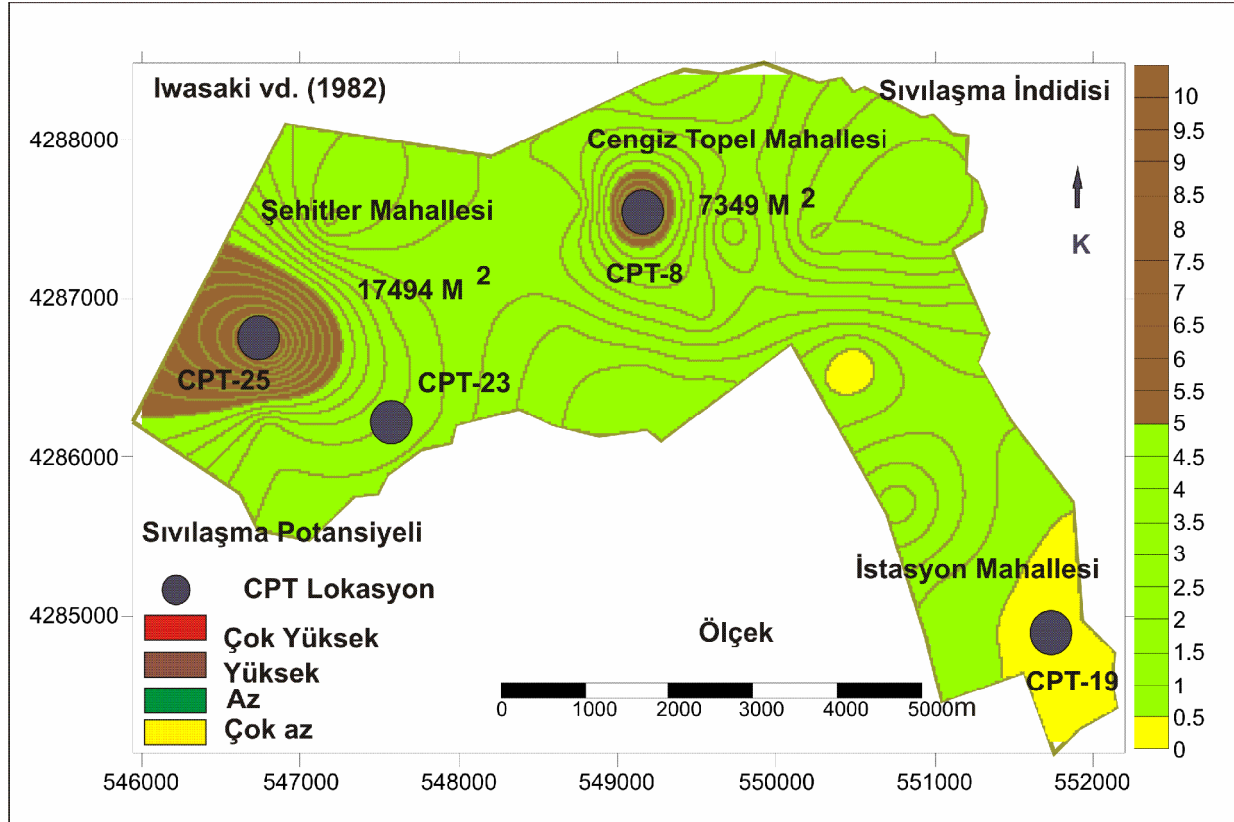
CPT No.	Çok Yüksek	Yüksek	Az	Çok Az
1	Yok	Yok	Var	Yok
2	Yok	Yok	Var	Yok
3	Yok	Yok	Var	Yok
4	Yok	Yok	Var	Yok
5	Yok	Yok	Var	Yok
6	Yok	Yok	Var	Yok

Çizelge 4. (Devam) Lokasyonların sıvılaştırma derecelerine göre gruplandırılması (2)

7	Yok	Yok	Var	Yok
8	Yok	Var	Yok	Yok
9	Yok	Yok	Var	Yok
10	Yok	Yok	Var	Yok
11	Yok	Yok	Var	Yok
12	Yok	Yok	Var	Yok
13	Yok	Yok	Var	Yok
14	Yok	Yok	Var	Yok
15	Yok	Yok	Var	Yok
16	Yok	Yok	Var	Yok
17	Yok	Yok	Var	Yok
18	Yok	Yok	Var	Yok
19	Yok	Yok	Yok	Var
20	Yok	Yok	Var	Yok
21	Yok	Yok	Var	Yok
22	Yok	Yok	Var	Yok
23	Yok	Yok	Var	Yok
24	Yok	Yok	Var	Yok
25	Yok	Var	Yok	Yok
26	Yok	Yok	Var	Yok
27	Yok	Yok	Var	Yok
28	Yok	Yok	Var	Yok

Ayrıca arazide sıvılaştırılan lokasyonları temsilen örnek olarak Lokasyon 8'e ait CPT verilerinin Liqit

v.4.7.3 Geologismiki [10] analiz çıktıları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Robertson ve Wride (11) sonuçlarına göre bölgenin sıvılaştırma haritası

- Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 14 (2), 11-23, 2003.
- 9) Bulut, İ., Sağlam, M., Bektaş, İ.A., Şahin, M.S., Demir, M., Uran, Ş., Üçkardeşler, C., Güner, F., Araz, A.H., Saruhanlı (Manisa) Belediyesi Jeoteknik Etüt Gerektiren Alanların (Jega) İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, İller Bankası Rapor No. ILB-I/45-039-004, Ankara, 1-53, 2006.
 - 10) İnternet: LiqIT 4.7.3 Geologismiki (2006), Sıvılaşma Analizi Yazılımı” www.geologismiki.gr (2006).
 - 11) Robertson, P.K., and Wride, C.E., Evaluating cyclic liquefaction potential using the Cone Penetration Test, Canadian Geotechnical Journal, 35(3), 442-459, 1998.
 - 12) Seed, H.B., Idriss, I.M., Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 97(9), 1249-1273, 1971.
 - 13) Liao, S.S.C. And Whitman, R.V., Overburden Correction Factors For SPT In Sand, Journal Of Geotechnical Engineering, ASCE, 112 (3): 373-377, 1986.
 - 14) Youd, T. L., et al., Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils, J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10), 817-833, 2001.
 - 15) Mark, R. K., Application Of Linear Statistical Model Of Earthquake Magnitude Versus Fault Length In Estimating Maximum Expectable Earthquakes, Geology, 5: 464- 466, 1977.
 - 16) Wells, D.L. and K.J. Coppersmith, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bull, Seismol, Soc, America., 84, 974-1002, 1994.
 - 17) Ulusay, R., and Tuncay., E., and Sonmez, H., and Gokceoglu C., An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey, Engineering Geology. 74: 265–291, 2004.
 - 18) Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1992.