

7.3. Sıvılaşma Potansiyeli Hesaplamaları

7.3.1. Genel

Sıvılaşma potansiyeli hesaplamaları, Çalışma Alanı içerisinde potansiyel olarak sıvılaşabilecek alanların dağılımının ve bu alanların bölgesel özelliklerinin gözden geçirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

TC4, ISSMFE(1993) tarafından yayımlanmış olan “Sismik Jeoteknik Risklerde Zonlama Kılavuzu, (the Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards)”nda aşağıdaki üç aşama, sıvılaşma potansiyeli tahminleri olarak işaret edilmiştir.

- Metod Aşama 1: Jeolojik ve topografik haritalar ile tarihsel afet bilgilerini kullanarak yapılan basit ve sentetik analizler
- Metod Aşama 2: Arazi gözlemlerinin sonuçları, yerel halkla yapılan görüşmeler, ve benzeri verilerle daha detaylı bir analiz
- Metod Aşama 3: Jeolojik araştırmaların sonuçlarının ve nümerik alanizlerin kullanıldığı daha detaylı bir analiz

Çalışmanın diğer değerlendirme maddeleriyle kıyaslandığında, Metod Aşama 3 kalite ve içerik açısından uygun görülmüştür. Sıvılaşma potansiyelinin hesaplanmasının ana içeriği, sismik hareketle zemin mukavemetinin karşılaştırılmasıdır. Bu değerleri belirlemek için birçok prosedür mevcuttur. Zemin özellikleri, basit fiziksel özellik testleri yada detaylı dinamik laboratuvar testleriyle belirlenir. Sismik hareket, bölgenin zemin sınıfıyla ilgili bilgilerin kullanılmasıyla yada hedef depremler için bir tahmini dalgaformu kullanılarak belirlenir. İkinci yol izlenecekse, dalgaformu bir deprem sırasında ivmenin maksimum değerini yada ivmenin zamana bağlı değişimini elde etmek için kullanılır. Prosedür, tahmin hedefleri dikkate alarak belirlenmelidir. Önemli tesislerin dizaynında öngörülmüş olan kritik durumlar söz konusu olduğunda, detaylı prosedürler kullanılarak nokta bazlı analizler gerçekleştirilmelidir. Bu sismik mikrobölgeleme çalışmasında, tüm Çalışma Alanı içerisinde zemin mukavemeti ve sismik hareket aynı kalite düzeyinde belirlenmelidir. Bu bakımdan bazı istatistik metodların kullanılması uygundur.

Çalışmada, zemin özellikleri ve sismik hareket ile ilgili aşağıdaki bilgiler mevcuttur.

Standart Penetrasyon Testleri (SPT) ile birlikte Sondaj kuyusu logları,

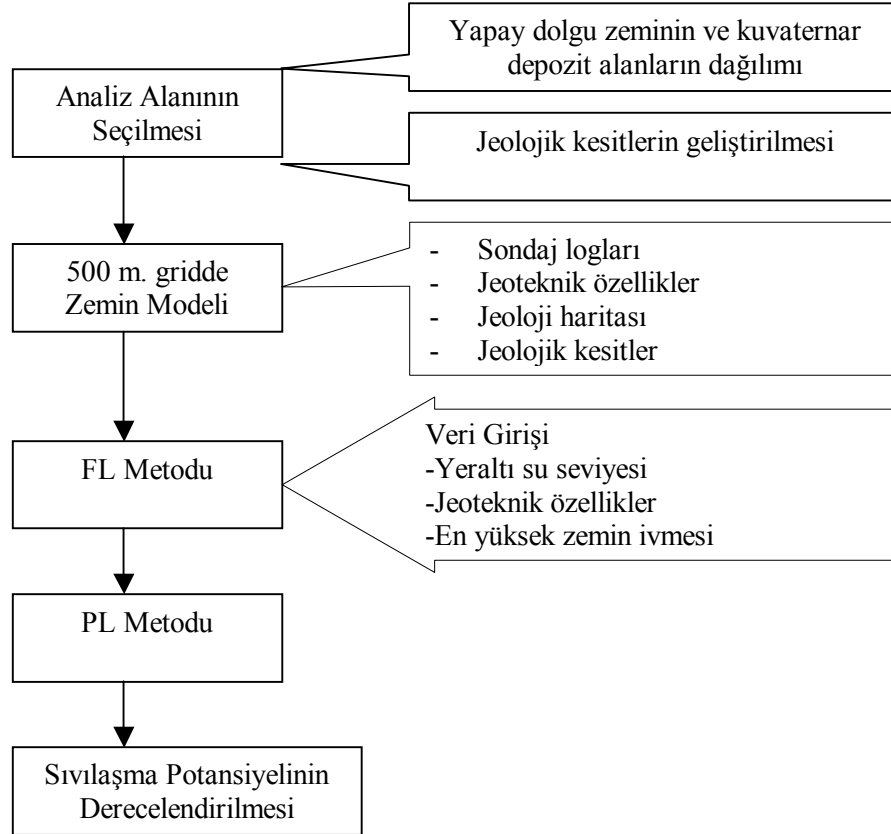
Fiziki zemin özellikleri,

Senaryo depremler için En yüksek zemin ivmesi,

Yukarıdakiler dikkate alınarak, Çalışmada FL metodu ile PL metodunun bir kombinasyonu kullanılmıştır. Bu metod pratik amaçlar doğrultusunda Japonya’da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapay dolgu zemin ve Kuavternar depozit alanlar değerlendirmenin amacıdır. Deprem analizinde kullanılmış olan 500 m grid sistemi modelleme için hazırlanmıştır.

Şekil 7.3.1 ‘de sıvılaşma potansiyeli analizinin akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 7.3.1 Sıvılaşma Analizinin Akış Diyagramı

7.3.2. Hesaplama Metodu

Herbir tabaka için sıvılaşma potansiyeli FL metodu kullanılarak analiz edilir. PL metoduyla da, analiz edilen noktanın bütünü için sıvılaşma potansiyeli FL metodu sonuçları temel alınarak analiz edilir.

FL Metodu (Japanese Design Specification of Highway Bridge, revize 1996)

Değerlendirilecek olan zemin durumu

Zemin yüzeyinden 20 m derinliğe kadar Kuvaternar kumlu zemin

Zemin yüzeyine 10 m'den daha yakın yeraltı su seviyesi

$$F_L = R/L$$

F_L : sıvılaşma dayanım faktörü

$F_L \leq 1.0$: sıvılaşma öngörülür

$F_L > 1.0$: sıvılaşma öngörülmez

R: periyodik kesme mukavemeti etkin örtü basıncı

$$R = C_w \times R_L$$

C_w : deprem tipi için korrelasyon katsayısı

Tip 1 deprem (plaka sınırlı tip, büyük ölçekte)

$$C_w = 1.0$$

Tip 2 deprem (karasal tip)

$$C_w = 1.0 \quad (R_L \leq 1.0)$$

$$= 3.3R_L + 0.67 \quad (0.1 < R_L \leq 0.4)$$

$$= 2.0 \quad (0.4 < R_L)$$

R_L : laboratuvar testlerinden elde edilen periyodik dayanım oranı

$$R_L = 0.0882 (N_a/1.7)^{0.5} \quad (N_a < 14)$$

$$= 0.0882 (N_a/1.7)^{0.5} + 1.6 \times 10^{-6} (N_a - 14)^{4.5} \quad (14 \leq N_a)$$

Kumlu Zemin

$$N_a = c_1 N + c_2$$

$$c_1 = 1 \quad (0\% \leq F_c < 10\%),$$

$$= (F_c + 40) / 50 \quad (10\% \leq F_c < 60\%)$$

$$= F_c / 20 - 1 \quad (60\% \leq F_c)$$

$$c_2 = 0 \quad (0\% \leq F_c < 10\%)$$

$$= (F_c - 10) / 18 \quad (10\% \leq F_c)$$

F_c : ince taneli içerik

Çakıllı Zemin

$$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2.0)\} N_1$$

N: SPT darbe sayısı

N_a : tane boyu için ilişkilendirilmiş olan N değeri

$$N_1: 1.7N / (\sigma_v' + 0.7)$$

D_{50} : ortalama tane çapı (mm)

L: etkin örtü yük basıncı kesme gerilimi

$$L = \alpha / g \times \sigma_v / \sigma_v' \times r_d$$

r_d : basınç azalım faktörü

$$r_d = 1.0 - 0.015x$$

x : zemin yüzeyinin altındaki derinlik (m)

α : en yüksek zemin ivmesi (gal)

g: yerçekimi ivmesi (= 980 gal)

σ_v : toplam örtü basıncı

σ_v' : etkin örtü basıncı

PL Metodu (Iwasaki et al. 1982)

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot w(z) dz$$

$15 < P_L$ Çok yüksek potansiyel

$5 < P_L \leq 15$ Kısmen yüksek potansiyel

$0 < P_L \leq 5$ Kısmen düşük potansiyel

$P_L = 0$ Çok düşük potansiyel

$$F = 1 - F_L \quad (F_L < 1.0)$$

$$= 0 \quad (F_L \geq 1.0)$$

$$w(z) = 10 - 0.5z$$

P_L : sıvılaşma potansiyeli endeksi

F_L : sıvılaşma dayanım faktörü

$w(z)$: derinlik için ağırlık fonksiyonu

z : zemin yüzeyinin altındaki derinlik (m)

7.3.3. Analizler İçin Öndurum

(1) Analiz Edilen Alan

Genellikle sıvılaşma, yumuşak alüvyonlu doymuş kumlu depozitte meydana gelir. Japon Karayolları Köprüleri Dizayn Spesifikasyonu (Japanese Design Specification of Highway Bridge), sıvılaşma potansiyeli değerlendirmesi gerektiren zemin yapısı durumlarını aşağıdaki gibi tanımlamaktadır.

Prensipite, aşağıdaki üç durumda içeren Alüvyonlu doymuş kumlu depozit için sıvılaşma potansiyeli analizi gereklidir.

Mevcut zemin yüzeyinden 20 m. derinlik içinde doymuş kumlu tabaka ile mevcut zemin yüzeyinden 10 m. derinlikte yeraltı su seviyesi.

İnce tane içeriği(FC) %35'den az olan toprak tabakası, yada FC %35'ten fazla olsa da plastisite indeksi %15'ten az toprak tabakası.

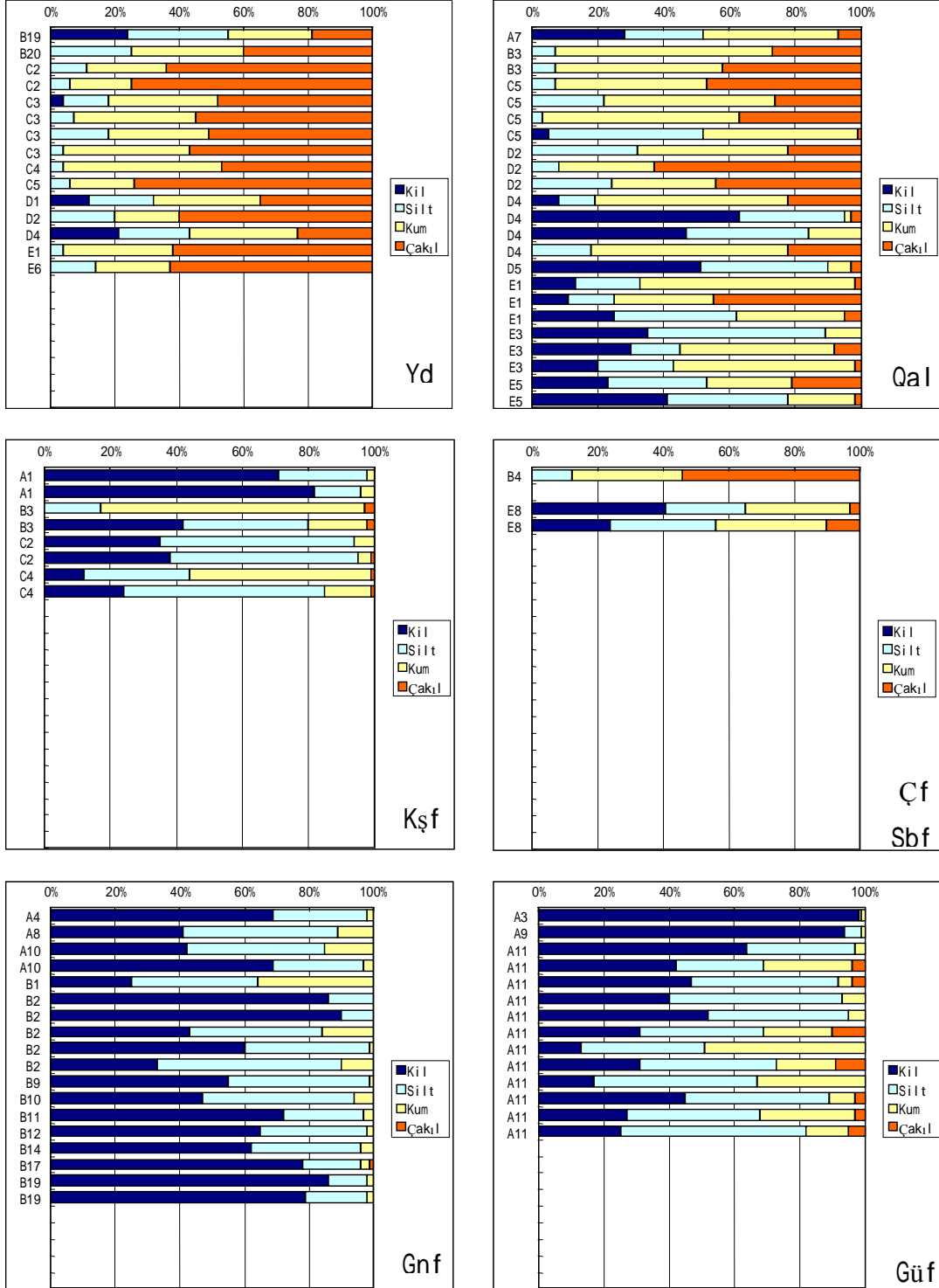
Ortalama parçacık boyutu (D50) 10 mm.'den az olan ve efektif tane boyu 1mm.'den az olan toprak tabakası

Sıvılaşma potansiyeli hesaplanması düşük N değerine sahip yada diyajenezsiz Dilüvyonlu depozit için tavsiye edilir.

Hesaplanacak alanlar aşağıdaki adımlar sonucunda seçilir.

1) Kumlu toprağın çoğunlukla bulunduğu yada yatay olarak süreklilik gösterdiği alanları seç.

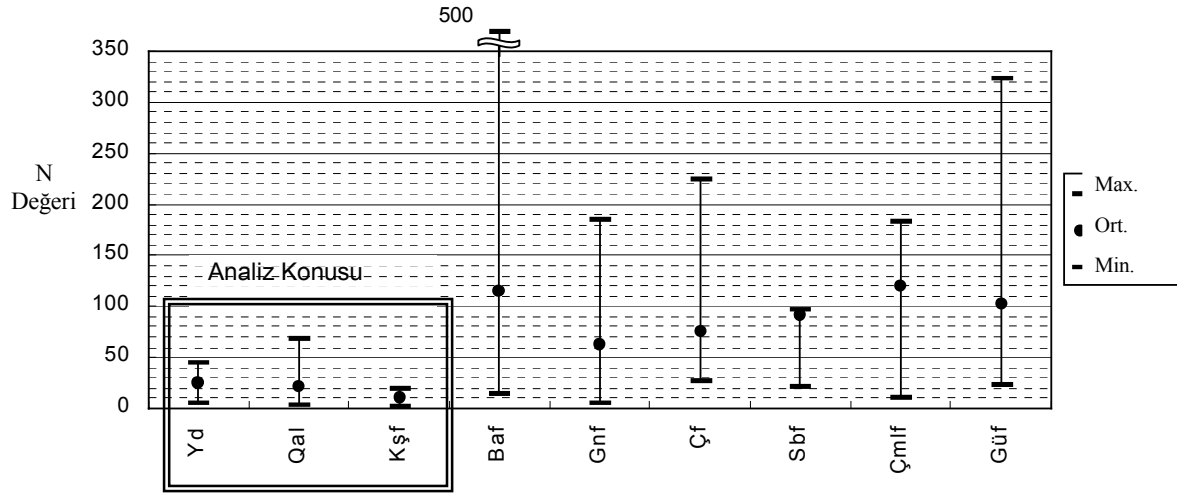
Şekil 7.3.2 'de gösterilen parçacık boyutu dağılımından, Qal, Ksf, Cf ve Sbf kumlu topraktr yada kumlu toprak tabakasına sahiptir.



Şekil 7.3.2 Partikül Boyutu Dağılımı

2) Yumuşak toprağın çoğunlukta olduğu alanı seç

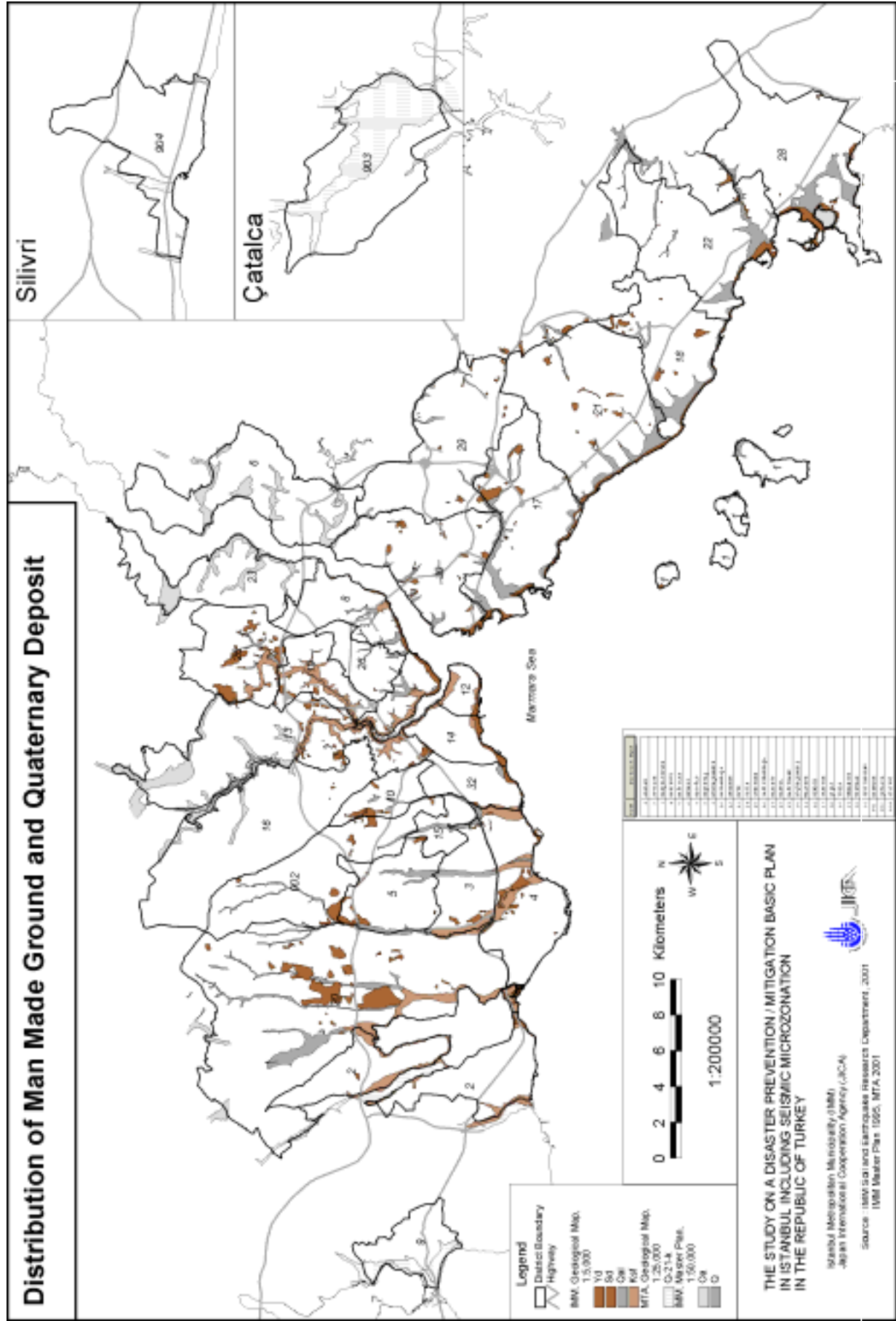
Çf ve Sbf sıvılaşma potansiyeline sahip değildir zira bu tabakalar tersiyer depozittir ve derece sementasyonu, diyajenezden dolayı göreceli olarak yüksektir. Şekil 7.3.3'te her katmanın N değer aralığı gösterilmiştir. Tersiyer depozit (Çf, Sbf) yapay dolgu zeminden ve Kuvaternar depozitten (Qal, Kşf) açık bir şekilde daha yüksek N değerini göstermektedir.



Şekil 7.3.3 Sementasyona Uğramamış Zemin Katmanlarının N Değeri Aralığı

Sıvılaşma zemindeki partiküllerin yeniden düzenlendiği ve depremle birlikte oluşan dairesel vibrasyon ile toprak zeminin basınçla parçalara ayrıldığı bir olaydır. Bu sebepten, sıvılaşma potansiyeli düşük N değerlerine sahip olan yumuşak ve hafif zeminde daha yüksektir. Bundan dolayı, sıvılaşma potansiyeli çalışması sadece yapay dolgu (Yd) ve Kuvaternar depozit (Qal, Kşf) alanlarda gerçekleştirilmiştir.

Şekil 7.3.4 'de yapay dolgu ve kuvaternar depozit alanlar gösterilmiştir.



Şekil 7.3.4 Yapay Dolgu Zemin ve Kuvaternar Deposit Dağılımı

Yapay dolgu ve Kuvaternar depozit bakımından ilçelerin karakteristiği aşağıda gösterilmiştir:

Her bir ilçedeki yapay dolgu ve Kuvaternar depozit ortalama oranı yaklaşık olarak sırasıyla %3 ve %11'dir. Diğer bir deyişle; sıvılaşma potansiyeli ile ilgili olarak çalışılan alan, toplam Çalışma Alanının %14'ünü teşkil etmektedir.(Bkz. Tablo 7.3.1 ve Şekil 7.3.5).

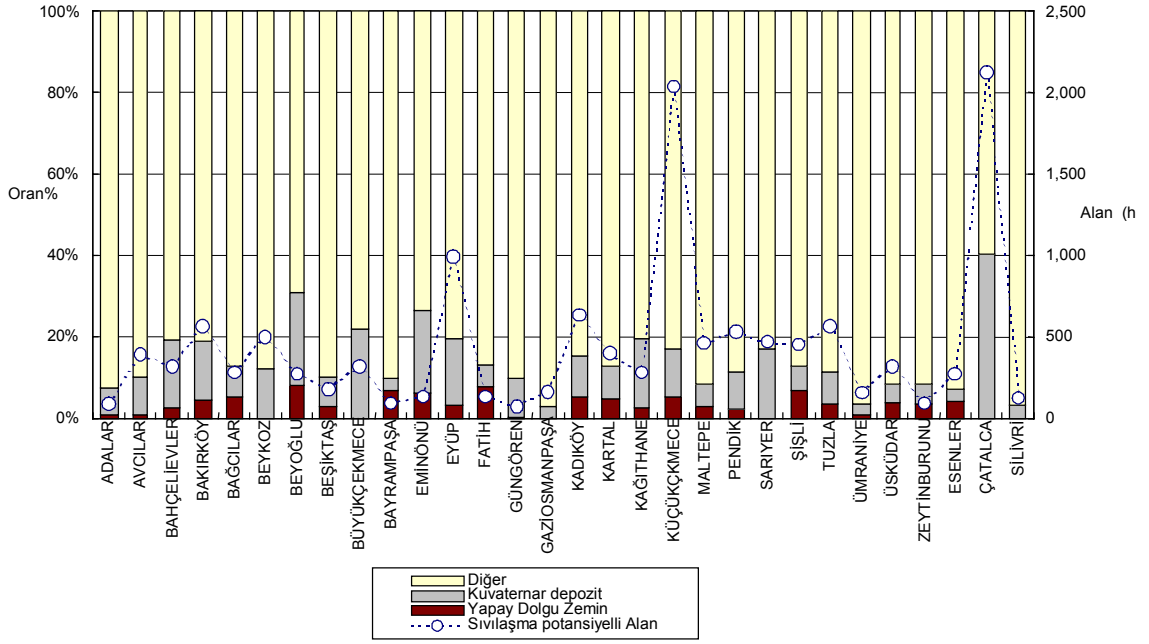
Çatalca ilçesi en yüksek orana sahiptir (yaklaşık 40%). Diğer taraftan, en düşük orana sahip ilçe Gaziosmanpaşa'dır (yaklaşık 3%).

Tablo 7.3.1 İlçelere Göre Sıvılaşma Potansiyelli Zemin Dağılımının Özeti

| Kod | İlçe | Alan (ha) | | | | | | | | Oran (%) | | |
|----------|---------------|-------------------|-----|--------------------|------|-------------|--------|--------|--------|-------------------|--------------------|-------|
| | | İMM | | | | Master Plan | MTA | Diğer | Topla | Yapay Dolgu Zemin | Kuvaternar Depozit | Diğer |
| | | Yapay Dolgu Zemin | | Kuvaternar Depozit | | | | | | | | |
| | | Yd | Sd | Qal | Kş f | Oa | Q-21-k | | | | | |
| 1 | ADALAR | 10 | 0 | 73 | 0 | 0 | 0 | 1,016 | 1,100 | 0.9 | 6.7 | 92.4 |
| 2 | AVCILAR | 40 | 0 | 0 | 350 | 0 | 0 | 3,471 | 3,861 | 1.0 | 9.1 | 89.9 |
| 3 | BAHÇELİ EVLER | 42 | 0 | 125 | 154 | 0 | 0 | 1,340 | 1,661 | 2.5 | 16.8 | 80.7 |
| 4 | BAKIRKÖY | 131 | 0 | 80 | 350 | 0 | 0 | 2,390 | 2,951 | 4.4 | 14.6 | 81.0 |
| 5 | BAĞCILAR | 117 | 0 | 163 | 0 | 0 | 0 | 1,914 | 2,194 | 5.3 | 7.4 | 87.2 |
| 6 | BEYKOZ | 0 | 0 | 0 | 0 | 503 | 0 | 3,653 | 4,156 | 0.0 | 12.1 | 87.9 |
| 7 | BEYOĞLU | 74 | 0 | 59 | 143 | 0 | 0 | 614 | 889 | 8.3 | 22.7 | 69.0 |
| 8 | BESİKTAŞ | 51 | 0 | 101 | 27 | 0 | 0 | 1,632 | 1,811 | 2.8 | 7.0 | 90.1 |
| 9 | BÜYÜKÇEKMECE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 321 | 1,153 | 1,474 | 0.0 | 21.8 | 78.2 |
| 10 | BAYRAMPAŞA | 67 | 0 | 27 | 0 | 0 | 0 | 865 | 958 | 7.0 | 2.8 | 90.3 |
| 12 | EMİNÖNÜ | 32 | 0 | 0 | 102 | 0 | 0 | 374 | 508 | 6.4 | 20.0 | 73.6 |
| 13 | EYÜP | 156 | 0 | 9 | 297 | 529 | 0 | 4,059 | 5,050 | 3.1 | 16.5 | 80.4 |
| 14 | FATİH | 81 | 0 | 1 | 55 | 0 | 0 | 909 | 1,045 | 7.8 | 5.3 | 86.9 |
| 15 | GÜNGÖREN | 1 | 0 | 68 | 0 | 0 | 0 | 649 | 718 | 0.2 | 9.5 | 90.3 |
| 16 | GAZİOSMANPAŞA | 4 | 0 | 0 | 4 | 153 | 0 | 5,515 | 5,676 | 0.1 | 2.8 | 97.2 |
| 17 | KADIKÖY | 110 | 114 | 407 | 0 | 0 | 0 | 3,496 | 4,128 | 5.4 | 9.9 | 84.7 |
| 18 | KARTAL | 87 | 56 | 260 | 0 | 0 | 0 | 2,733 | 3,135 | 4.5 | 8.3 | 87.2 |
| 19 | KAĞITHANE | 35 | 0 | 2 | 247 | 0 | 0 | 1,158 | 1,443 | 2.5 | 17.3 | 80.2 |
| 20 | KÜÇÜKÇEKMECE | 657 | 0 | 641 | 434 | 309 | 0 | 10,133 | 12,173 | 5.4 | 11.4 | 83.2 |
| 21 | MALTEPE | 76 | 78 | 309 | 0 | 0 | 0 | 5,066 | 5,530 | 2.8 | 5.6 | 91.6 |
| 22 | PENDİK | 13 | 97 | 424 | 0 | 0 | 0 | 4,197 | 4,731 | 2.3 | 9.0 | 88.7 |
| 23 | SARIYER | 0 | 0 | 0 | 0 | 465 | 0 | 2,309 | 2,774 | 0.0 | 16.8 | 83.2 |
| 26 | ŞİŞLİ | 244 | 0 | 79 | 128 | 0 | 0 | 3,092 | 3,543 | 6.9 | 5.9 | 87.3 |
| 28 | TUZLA | 12 | 164 | 384 | 0 | 0 | 0 | 4,437 | 4,998 | 3.5 | 7.7 | 88.8 |
| 29 | ÜMRANİYE | 47 | 0 | 100 | 0 | 13 | 0 | 4,401 | 4,561 | 1.0 | 2.5 | 96.5 |
| 30 | ÜSKÜDAR | 98 | 42 | 150 | 0 | 29 | 0 | 3,463 | 3,783 | 3.7 | 4.7 | 91.5 |
| 32 | ZEYTİNBURUNU | 39 | 0 | 29 | 29 | 0 | 0 | 1,052 | 1,149 | 3.4 | 5.0 | 91.6 |
| 902 | ESENLER | 154 | 0 | 121 | 0 | 0 | 0 | 3,616 | 3,890 | 4.0 | 3.1 | 92.9 |
| 903 | ÇATALCA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,127 | 3,137 | 5,263 | 0.0 | 40.4 | 59.6 |
| 904 | SİLVİRİ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125 | 3,703 | 3,828 | 0.0 | 3.3 | 96.7 |
| Topla | | 13,435 | | | | | | 85,546 | 98,981 | 13.6 | | 86.4 |
| ortalama | | - | | | | | | - | - | 3.2 | 10.9 | 86.0 |

Kaynak: JICA Çalışma Ekibi

Not: Jeolojik birim alanı 50m kare gridler kullanılarak sayılmıştır. Sayılan birim her bir jeolojik birimdeki 50m grid sayısıdır.



Şekil 7.3.5 İlçelere Göre Sıvılaşma Potansiyelli Zeminlerin Dağılımı

(2) Zemin parametrelerinin oluşturulması

1) Zemin bilgilerinin toplanması

Analiz edilen alan içindeki zemin durumlarıyla ilgili bilgi kaynaklarına göre aşağıdaki veriler kullanılmıştır:

Analiz alanında Çalışma Ekibi tarafından yürütülen sondajları temel alan sondaj logları (No. C1-C5, D1-D5 ve E1-E5) ve laboratuvar testlerinin sonuçları (46 numune).

Aynı alanın mevcut sondaj logları (480 sondaj kuyusu için) ve geçmiş laboratuvar testlerinin sonuçları (93 sondaj kuyusu için, 214 numune).

Geçmiş zemin laboratuvar testlerinin elde edilen sonuçlarının sayısı mevcut sondaj loglarının sayısından çok daha azdır, ve geçmiş sondaj loglarının zemin sınıflandırmalarının çoğu mühendislerin ampirik ve kalitatif değerlendirmelerinin sonucu olarak belirlenmiştir. Bundan dolayı, sadece “Zemin Tanımlaması” bölümünde tanımlanan matriks bilgisi mevcut sondaj loglarından kullanılmıştır.

2) Zemin özelliklerinin sınıflandırılması

Birçok durumda, zemin özelliği dağılımı çok karmaşık bir yapı ortaya koymaktadır, ve Çalışma Alanının özellikle vadilerine dağılmış olan kuvaternar depozit tabaka evrelerinin yatay ve dikey doğrultuda karmaşık olmaları beklenen bir durumdur.

Bununla birlikte zemin bilgisinin sınırlı olmasından dolayı bu karmaşık tabaka evrelerini yansıtan detaylı çalışmanın gerçekleştirilmesi zordur. Bu durumda, sınırlı bilgiyi aşağıda gösterildiği gibi, zemin özelliklerinin sınıflandırılmasının sadeleştirilmesi ile en etkin şekilde kullanarak, mümkün olabilecek en geniş alan için zemin sıvılaşma potansiyelinin çalışılmasına karar verilmiştir:

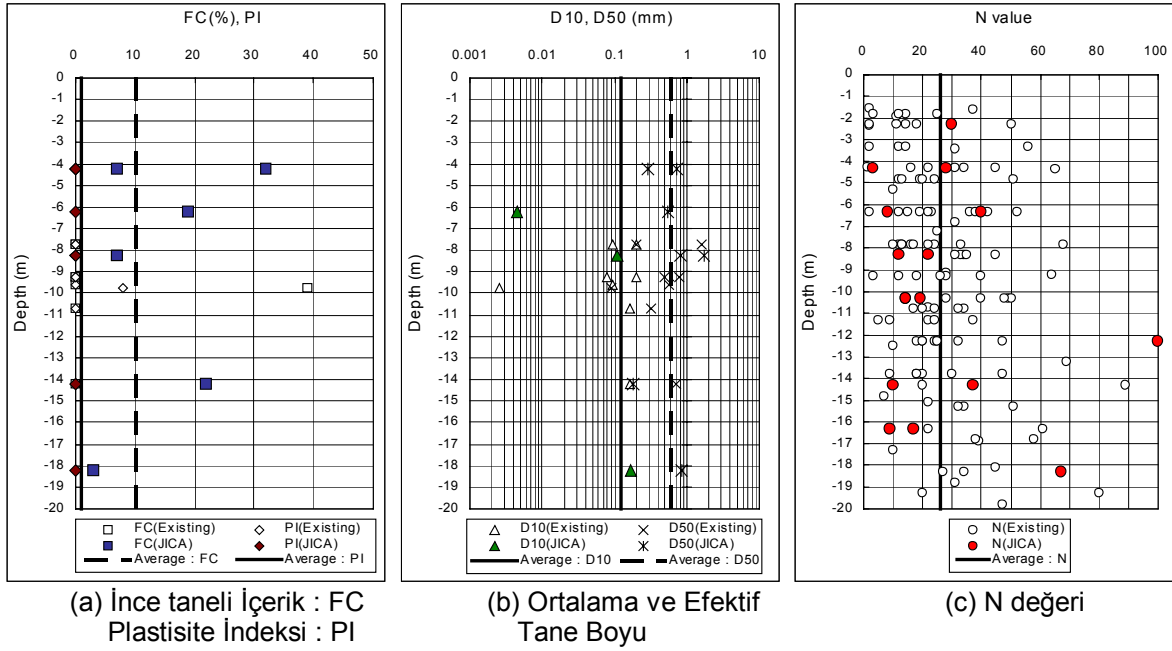
Yapay Dolgu: Yapay dolgu zeminde çeşitli malzemenin kullanıldığı tahmin edilmektedir ve her zemin için bir sabit belirlemek zordur. Bundan dolayı, Yapay Dolgu, ortalama zemin özelliklerine sahip kabul edilerek, başlı başına bir zemin özellik bölümü olarak alınmaya karar verilmiştir.

Kuvaternar Depozit: Sıvılaşma incelenirken, zemin özellikleri temel ve ihtiyaci olarak killi toprak, kumlu toprak ve çakılı toprak olarak sınıflandırılmıştır. Mevcut sondaj loglarından alınan etkin verinin matriksler olduğu dikkate alınır, Qal ve Kşf sınıflarının kendi içlerinde üç bölüme ayrılması mantıklıdır. Sonuç olarak, kuvaternar depozit Qal-Kil, Qal-Kum, Qal-Çakıl, Kşf-Kil, Kşf-Kum ve Kşf-Çakıl olarak sınıflandırılmıştır

3) Zemin parametrelerinin oluşturulması

Çalışma için gerekli olan zemin parametreleri N değeri, Birim Ağırlık, İnce Tane İçeriği, efektif tane boyu, ortalama tane çapı ve Plastisite indeksidir. Herbir parametre istatistiki olarak işlenmiş ve herbir zemin sınıflandırması için oluşturulmuştur. Qal-Kum için sabitlerin oluşturulmasında Şekil 7.3.6'de örnek olarak gösterildiği gibi veri dağılımı kullanılmış ve sonuç olarak sabitler oluşturulmuştur.

Zemin özelliği ile ilgili işlenmemiş veri ve grafikler için “Ekler”e bakınız.

**Şekil 7.3.6 Qal-Kum (Örnek)**

7 çeşit zemin sınıfının herbiri için birim ağırlık verisi mevcut olmadığından bu veriler, çeşitli zemin sınıflarının yaklaşık birim ağırlıklarını içeren Tablo 7.3.2 kaynak alınarak oluşturulmuştur. (Japon Karayolları Köprüleri Dizayn Spesifikasyonları “Japanese Design Specification of Highway Bridge”, 1990)..

Tablo 7.3.2 Çeşitli Zemin Tiplerinin Birim Ağırlık, Ortalama Parçacık Boyu ve İnce Partikül İçeriği yaklaşık Değerleri

| Zemin Tipi | Yeraltı Suyu Altındaki Birim Ağırlık ₁₂ (tf/m ³) | Yeraltı Suyu Üstündeki Birim Ağırlık ₁₁ (tf/m ³) | Ortalama Tane Çapı D ₅₀ (mm) | İnce taneli İçerik FC (%) | Jeoloji Sınıflandırması |
|-----------------|---|---|---|---------------------------|-----------------------------|
| Üst Toprak | 1.7 | 1.5 | 0.02 | 80 | - |
| Silt | 1.75 | 1.55 | 0.025 | 75 | - |
| Kumlu Silt | 1.8 | 1.6 | 0.04 | 65 | Qal-Kil, Kşf-Kil |
| Siltli İnce Kum | 1.8 | 1.6 | 0.07 | 50 | - |
| Çok İnce Kum | 1.85 | 1.65 | 0.1 | 40 | - |
| İnce Kum | 1.95 | 1.75 | 0.15 | 30 | - |
| Orta Kum | 2.0 | 1.8 | 0.35 | 10 | - |
| Kalın Kum | 2.0 | 1.8 | 0.6 | 0 | Qal-Kum, Qal-Çakıl, Kşf-Kum |
| Çakıllı Kum | 2.1 | 1.9 | 2.0 | 0 | Yapay Dolgu, Kşf-Çakıl |

Kaynak: Japanese Design Specification of Highway Bridge (Kısmen Uyarlanmış)

Tablo 7.3.3 'te hesaplamalarda kullanılan zemin özellik katsayıları listelenmiştir.

Tablo 7.3.3 Sıvılaşma Analizi için Zemin Özellikleri Özeti

| Jeoloji Sınıflandırması | FC (%) | PI | D ₁₀ (mm) | D ₅₀ (mm) | N | γ_2 (tf/m ³) | γ_1 (tf/m ³) |
|-------------------------|--------|----|----------------------|----------------------|----|---------------------------------|---------------------------------|
| Yapay Dolgu | 22 | 4 | 0.15 | 2.7 | 17 | 2.1 | 1.9 |
| Qal-Kil | 59 | 23 | no data | 0.036 | 21 | 1.8 | 1.6 |
| Qal-Kum | 10 | 1 | 0.12 | 0.58 | 26 | 2.0 | 1.8 |
| Qal-Çakıl | 11 | 3 | 0.11 | 1.3 | 26 | 2.0 | 1.8 |
| Kşf-Kil | 67 | 43 | 0.006 | 0.037 | 12 | 1.8 | 1.6 |
| Kşf-Kum | 6 | 0 | 0.12 | 0.50 | 17 | 2.0 | 1.8 |
| Kşf-Çakıl | 9 | 0 | 0.69 | 4.2 | 27 | 2.1 | 1.9 |

FC : İnce Taneli İçerik
PI : Plastisite İndeksi
D₁₀ : Efektif Tane Çapı
D₅₀ : Ortalama Tane Çapı
N : N değeri
 γ_1 : Yeraltı Suyunun Üstünde Birim Ağırlık
 γ_2 : Yeraltı Suyunun Altında Birim Ağırlık

(3) Yeraltı suyu seviyesi

Mevsimplere ve gel-git seviyelerine bağlı yeraltı su seviyesi değişimleri bilinmemektedir. Bu nedenle hesaplamalarda kullanılan yeraltı su seviyesi, Çalışma Ekibi'nin sondaj çalışmaları süresince ve gözlem sondajlarında gözlemlenen en sığ yeraltı su seviyesi dikkate alınarak GL-1 m (GL:Zemin Yüzeyi) olarak oluşturulmuştur. Bu, açık olarak güvenlik tarafında bir tahmindir.

(4) Zemin Modellemesi

Hernekadar sıvılaşma üzerine yapılacak çalışma daha geniş bir alanı kapsayacak şekilde planlanmış olsada, Çalışma Alanı'nda mevcut zemin verisi sınılıdır ve zemin özellikleri sınıflandırması 7 sınıfta toplanacak şekilde sadeleştirilmiştir. Yüksek riske sahip olan ilçeleri belirlemek için sıvılaşma potansiyeline sahip zemin dağılımını elde etmek, bu çalışmanın amacı olduğundan dolayı, mümkün olan en geniş alanı kapsayacak sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmesiyle ilgili yargıya varmak gereklidir.

Bu noktadan hareketle, Çalışmanın amaçları ve mevcut zemin bilgileri dikkate alınarak aşağıdaki prosedürleri izleme yoluyla zemin modellemesi oluşturulmuştur.

- Zemin tabakalarının kesitleri, Yapay Dolgu ve Kuvaternar Depozit yapıları kapsayan 7 jeolojik sınıf (Qal-Kil, Qal-Kum, Qal-Çakıl, Ksf-Kil, Ksf-Kum and Ksf-Çakıl) temel alınarak hazırlanmıştır.
- Zemin konfigürasyonu ve kesitler temel alınarak üç boyutlu zemin tabakası yapıları belirlenmiştir.

- Sismik hareket hesaplaması için en küçük birim olan 500 m. gridler kullanılarak ve herbir gride ortalama bir zemin yapısı girilerek, zemin tabakalarının model kolonları hazırlanmıştır. (Ref. Şekil 7.3.7).
- Yüzeyden maksimum 20 m derinliğe kadar olan Modeller oluşturulmuştur.

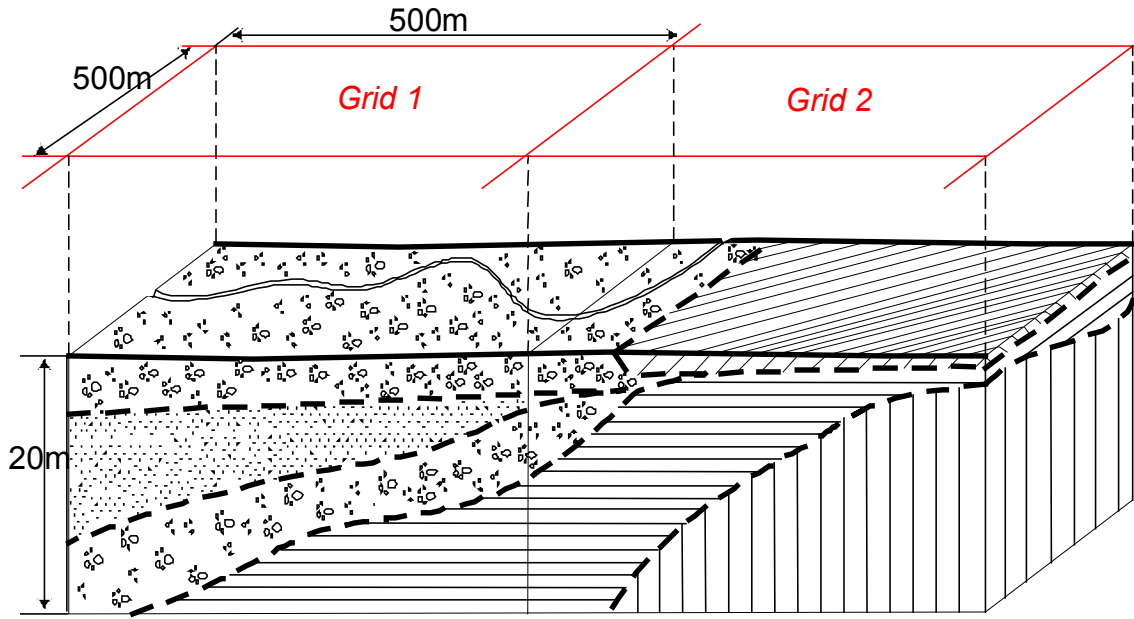
<Örnek>

- Yapay Dolgu yada Kuvaternar Depozit, yada her ikisi birden mütemadi olarak 20 m. yada daha kalın bir zemin tabakası oluşturacak şekilde dağılım gösterdiğinde, yüzeyden 20 m. derinliğe kadar zemin tabakası modellenir.
- Yapay Dolgu yada Kuvaternar Depozit, yada her ikisi birden 20 m.'den daha az bir derinlikte dağılım gösterdiğinde, 20 m.'den daha az derinliğe kadar zemin tabakası modellenir.

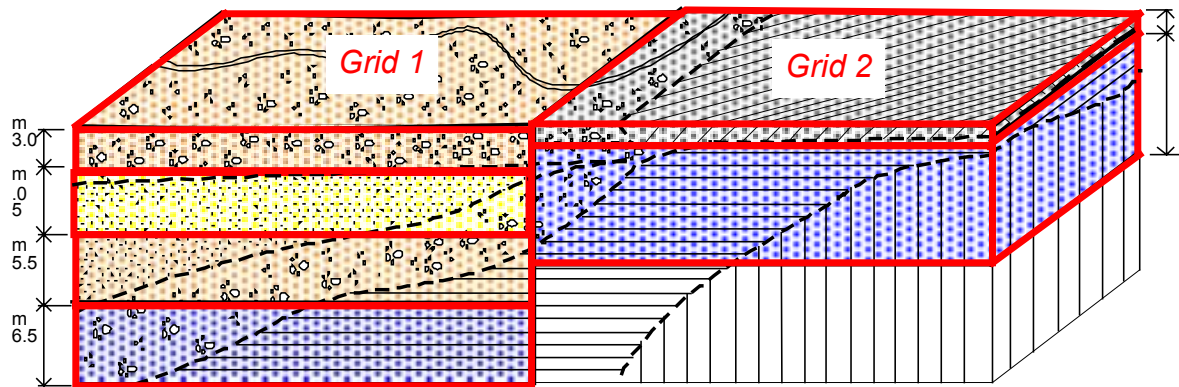
Şekil 7.3.8 'de Yapay Dolgu ve Kuvaternar Depozit yapıların çoğunlukta olduğu alanlardaki 500 m. gridler gösterilmektedir. (1492 grid). Özellikle, zemin verisi mevcut olan ve sıvılaşma çalışması gerçekleştirilmiş spesifik bölgeler kırmızı çizgilerle çerçeveselendirilmiştir. (179 grid).

(5) En yüksek zemin ivmesi

Deprem analizinin sonuçlarından elde edilen en yüksek zemin ivme değerleri hesaplamalara dahil edilmiştir. Sıvılaşma çalışmaları iki durum için gerçekleştirilmiştir, Model C and Model A.



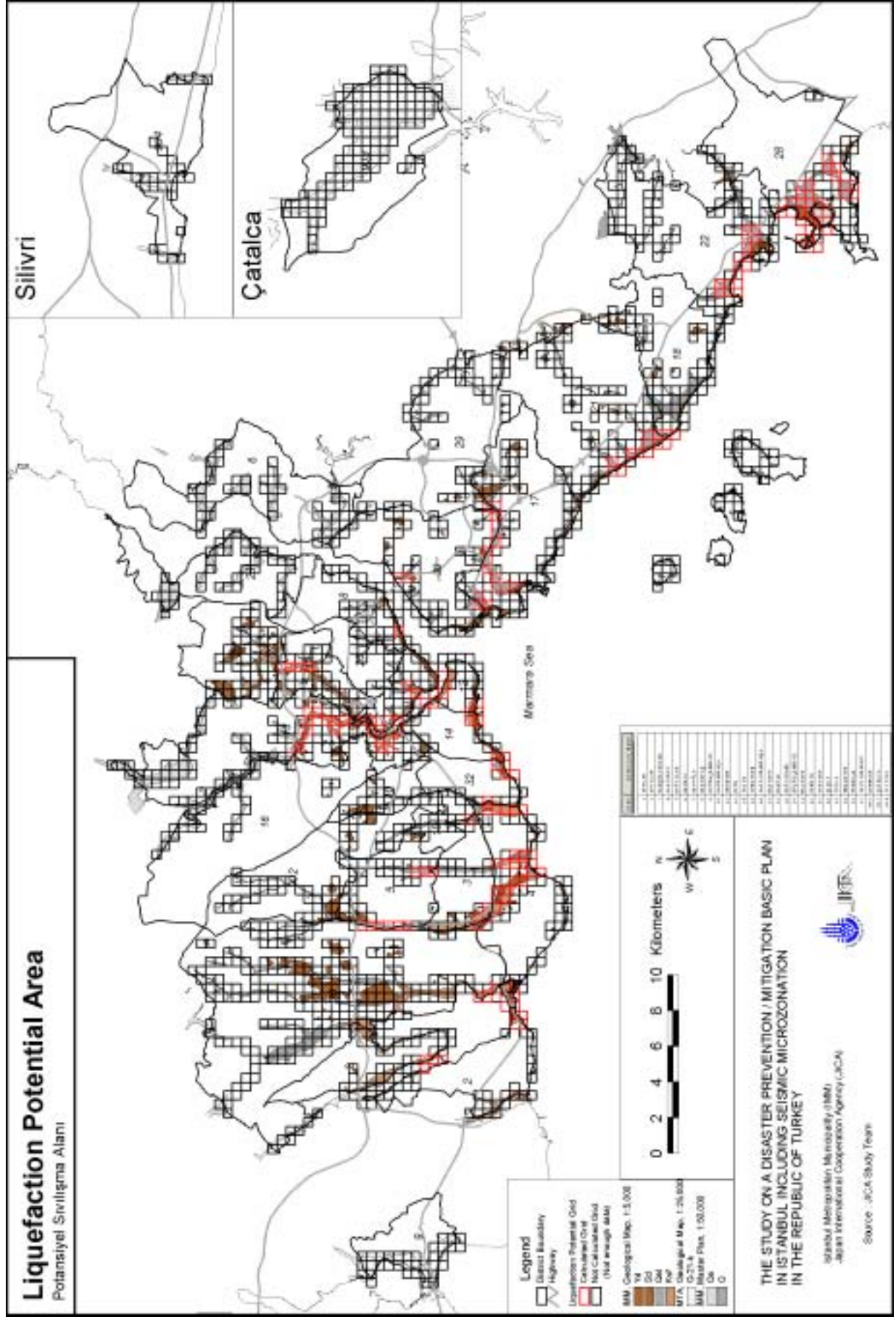
↓
MODELLEME



| Jeoloji Modeli | | | |
|----------------|--------------|-------------------|--------------|
| Grid 1 | | Grid 2 | |
| Zemin | Kalınlık (m) | Zemin | Kalınlık (m) |
| Qal Çakıl | 3.0 | Yapay Dolgu Zemin | 1.5 |
| Qal kum | 5.0 | Qal Kil | 9.5 |
| Qal Çakıl | 5.5 | - | - |
| Qal kil | 6.5 | - | - |

| LEJANT | | |
|--------|--|-----------------------|
| | | Yapay Dolgu Zemin |
| | | Qal-Kil |
| | | Qal-Kum |
| | | Qal- Çakıl |
| | | Tersiyer |
| | | |
| | | Jeoloji Sınırı |
| | | |
| | | Modelleme Blok Sınırı |

Şekil 7.3.7 Zemin Modelinin Şematik Diyagramı



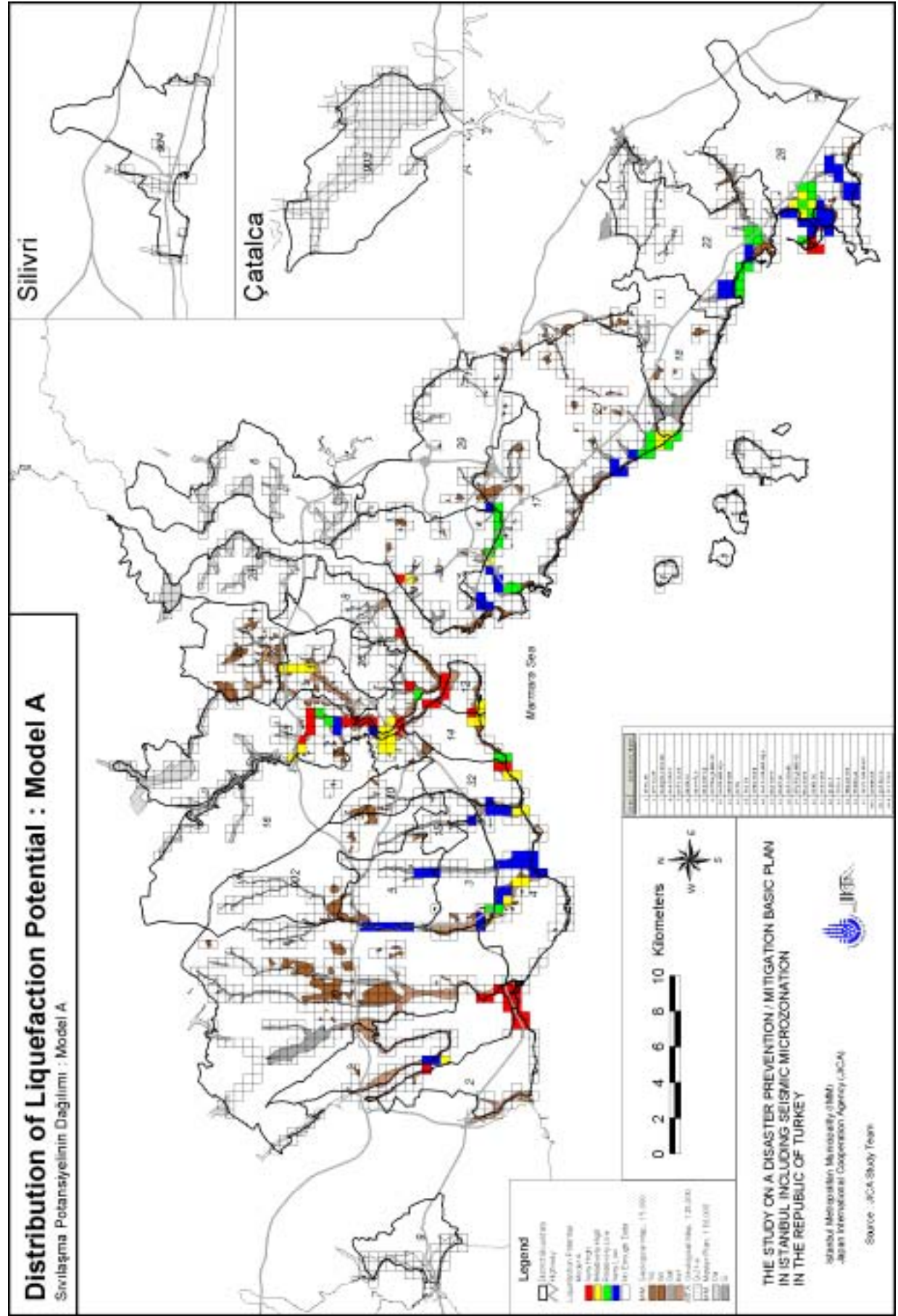
Şekil 7.3.8 Sıvılaşma Potansiyeli Alanı

7.3.4. Sıvılaşma Potansiyeli

Herbir grid için analizin sonuçları Ek'te gösterilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 7.3.4 ve Şekil 7.3.9 - Şekil 7.3.10 arasında özetlenmiştir.

Tablo 7.3.4 Sıvılaşma Analizinin Özeti

| Sıvılaşma Potansiyeli | Kriter | Açıklama | Grid Sayısı | |
|-----------------------|-------------------|---|-------------|---------|
| | | | Model A | Model C |
| Çok Yüksek | $15 < P_L$ | Zemin iyileştirmesi kaçınılmazdır. | 38 | 40 |
| Göreceli Yüksek | $5 < P_L \leq 15$ | Zemin iyileştirmesi gereklidir. Önemli yapıların incelenmesi kaçınılmazdır. | 35 | 42 |
| Göreceli Düşük | $0 < P_L \leq 5$ | Önemli yapıların incelenmesi gereklidir. | 36 | 28 |
| Çok Düşük | $P_L = 0$ | Önlem gerekli değildir. | 70 | 69 |
| Bilinmeyen | - | Zemin bilgisi mevcut değil. | 1,313 | 1,313 |



Şekil 7.3.9 Sivilaşma Potansiyeli Dağılımı : Model A

Deprem Modeli C'nin sonuçları Model A'dan biraz daha yüksek bir sivilaşma potansiyeli göstermektedir.

Sivilaşma potansiyeli farklı alanlarda değişiklik göstermektedir. Bazı alanlar düşük sivilaşma potansiyeli gösterirken diğer bir alan yüksek bir sivilaşma potansiyeli göstermektedir. Yüksek sivilaşma potansiyeli gösteren alanlar aşağıdaki gibidir;

- (1) Küçükçekmece Gölü'nün batısında, K-KD'dan G-GB yönünde yayılan bataklık boyunca uzanan alan
- (2) Küçükçekmece Gölü'nün güneyindeki sulukum
- (3) Zeytinburnu sınırına yakın kıyı kesimi
- (4) Fatih ve Eminönü arasındaki sınıra yakın kıyı kesimi
- (5) Haliç'in kıyı kesimi
- (6) Haliç boyunca uzanan bataklık
- (7) Beyoğlu'ndaki Gazi Hasan Paşa Parkı'na uzanan bataklığın ortasındaki alan
- (8) Beşiktaş iskelesi civarındaki alan
- (9) Avrupa yakasında Boğaziçi Köprüsü'nün kuzeyindeki civar kıyı kesimi
- (10) Tuzla'daki Sakız Adası'nın yarımadasına yakın alan

Tablo 7.3.5 yukarıda belirtilen alanlardaki genel arazi kullanımını göstermektedir.

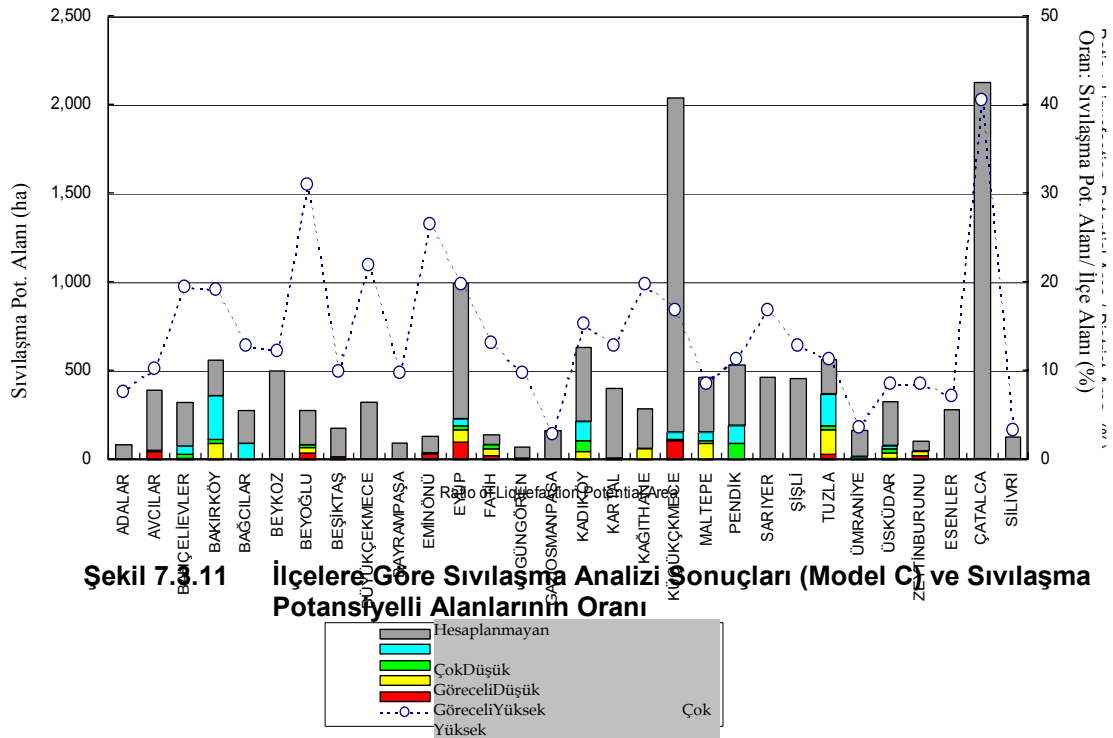
Tablo 7.3.5 Yüksek Sivilaşma Potansiyelli Alanlarda Arazi Kullanımı

| Alan | Arazi Kullanımının Genel Özellikleri |
|------|--|
| a | Bataklık. Bina yok. |
| b | Sulukumun ortasından çevreyolu geçmektedir. Az ve orta katlı ticari binalar ve konutlar bulunmaktadır. |
| c | Çoğunlukla park ve açık alan olarak kullanılmaktadır. Kentsel planlama alanında az sayıda bina mevcuttur. |
| d | Yoğun olarak az ve orta katlı ticari binalar ve konutlar mevcuttur. |
| e | Körfez boyunca uzanan alan liman olarak kullanılmaktadır. Yollarla liman arasındaki alan park olarak ve karada kalan kısım genelde ticari bölge olarak kullanılmaktadır. |
| f | Nehir boyunca zayıf toprak. Çoğunlukla park yada yeşil alan olarak kullanılmaktadır. |
| g | Çoğunlukla park yada yeşil alan olarak kullanılmaktadır. Birçok az katlı konut bulunmaktadır. |
| h | Bir liman mevcuttur. Yollar ile deniz arasındaki kısım park olarak ve karada kalan kısım genelde ticari bölge olarak kullanılmaktadır. |
| i | Alan park ve yeşil alan olarak kullanılmaktadır. |
| j | Sahil endüstri bölgesi olarak kullanılmaktadır. |

Kaynak: JICA Çalışma Ekibi

Tablo 7.3.6 ve Şekil 7.3.11 ilçe bazında sıvılaşma potansiyeli analizinin sonuçlarını göstermektedir. Tablodaki alan, jeolojik zemin yapısı üzerindeki 500 m. grid sonuçlarını yansıtmak üzere hesaplanmıştır.

- Sıvılaşma analizi yapılan alanın sıvılaşma potansiyeli alanına oranı %17 dir.
- Sıvılaşma analizi yapılmamış olan ilçeler; Adalar, Büyükçekmece, Bayrampaşa, Sarıyer, Şişli, Esenler, Çatalca ve Silivri'dir.
- Potansiyelin “Çok Yüksek (Model C)” olarak değerlendirildiği alanların 40 ha.’dan geniş olduğu ilçeler Küçükçekmece, Eyüp, Avcılar ve Beyoğlu’dur.



Sıvılaşma değerlendirmesinin sonuçları ışığında gelecekte yapılması gereken işler aşağıda belirtilmiştir:

- Tercihen yüksek sıvılaşma potansiyeli gösteren alanlar için daha kesin değerlendirme gerçekleştirmek amacıyla detaylı çalışmalar yapılmalıdır.
- Dolgu alanları yada Alüvyonlu zemindeki bu çalışmada değerlendirme yapılmamıştır, veri toplanması ve ek zemin çalışması bu alanların değerlendirmesinin yapılması için gerçekleştirilmelidir.
- Bu çalışmanın amacı yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip alanların işaretlenmesidir. Bundan dolayı, yapay dolgu ve Alüvyonlu zeminde bulunan önemli tesisler için özel detaylı çalışma yapılması gereklidir.

- Bu çalışmanın amacı yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip alanların işaretlenmesidir. Bundan dolayı, yapay dolgu ve Alüvyonlu zeminde bulunan önemli tesisler için özel detaylı çalışma yapılması gereklidir.

Tablo 7.3.6 İlçelere Göre Sıvılaşma Analizi Sonuçları

| Kod | İlçe | Yapay Dolgu ve Kuvaternar Depozit (ha) | Sıvılaşma Potansiyeli Alan (ha) | | | | | | | | | | Hesaplanan alan /Sıvılaşma Pot. Alanı (%) |
|-----|----------------|--|---------------------------------|-----------------|----------------|------------|---------------|------------|-----------------|----------------|------------|---------------|---|
| | | | Model A | | | | | | Model C | | | | |
| | | | Çok Yüksek | Göreceli Yüksek | Göreceli Düşük | Çok Düşük | Hesap yok | Çok Yüksek | Göreceli Yüksek | Göreceli Düşük | Çok Düşük | Hesap yok | |
| 1 | ADALAR | 84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 84 | 0 |
| 2 | AVCILAR | 390 | 45 | 0 | 0 | 11 | 334 | 45 | 0 | 7 | 4 | 334 | 14 |
| 3 | BAHÇELI EVLER | 321 | 0 | 11 | 17 | 51 | 242 | 0 | 11 | 17 | 51 | 242 | 25 |
| 4 | BAKIRKÖY | 561 | 0 | 96 | 23 | 246 | 196 | 0 | 96 | 23 | 246 | 196 | 65 |
| 5 | BAĞCILAR | 280 | 0 | 0 | 0 | 91 | 189 | 0 | 0 | 0 | 91 | 189 | 32 |
| 6 | BEYKOZ | 503 | 0 | 0 | 0 | 0 | 503 | 0 | 0 | 0 | 0 | 503 | 0 |
| 7 | BEYOĞLU | 275 | 41 | 29 | 15 | 2 | 188 | 41 | 29 | 15 | 2 | 188 | 32 |
| 8 | BEŞİKTAS | 179 | 18 | 0 | 0 | 0 | 160 | 18 | 0 | 0 | 0 | 160 | 10 |
| 9 | BÜYÜKÇEKMECE | 321 | 0 | 0 | 0 | 0 | 321 | 0 | 0 | 0 | 0 | 321 | 0 |
| 10 | BAYRAMPASA | 93 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93 | 0 |
| 12 | EMİNÖNÜ | 134 | 31 | 10 | 0 | 0 | 93 | 31 | 10 | 0 | 0 | 93 | 31 |
| 13 | EYÜP | 991 | 95 | 73 | 27 | 38 | 757 | 103 | 65 | 27 | 38 | 757 | 24 |
| 14 | FATİH | 137 | 26 | 34 | 22 | 0 | 55 | 26 | 34 | 22 | 0 | 55 | 60 |
| 15 | GÜNGÖREN | 70 | 0 | 0 | 0 | 4 | 66 | 0 | 0 | 0 | 4 | 66 | 6 |
| 16 | GAZİ OSMANPAŞA | 161 | 0 | 3 | 0 | 0 | 158 | 0 | 3 | 0 | 0 | 158 | 2 |
| 17 | KADIKÖY | 631 | 0 | 15 | 95 | 104 | 418 | 0 | 48 | 62 | 104 | 418 | 34 |
| 18 | KARTAL | 402 | 0 | 4 | 3 | 0 | 395 | 0 | 4 | 3 | 0 | 395 | 2 |
| 19 | KAĞITHANE | 285 | 0 | 60 | 0 | 0 | 225 | 0 | 60 | 0 | 0 | 225 | 21 |
| 20 | KÜÇÜKÇEKMECE | 2,041 | 108 | 7 | 0 | 39 | 1,886 | 108 | 7 | 0 | 39 | 1,886 | 8 |
| 21 | MALTEPE | 464 | 0 | 42 | 65 | 45 | 312 | 0 | 90 | 17 | 45 | 312 | 33 |
| 22 | PENDİK | 534 | 0 | 0 | 94 | 98 | 341 | 0 | 0 | 94 | 98 | 341 | 36 |
| 23 | SARIYER | 465 | 0 | 0 | 0 | 0 | 465 | 0 | 0 | 0 | 0 | 465 | 0 |
| 26 | ŞİŞLİ | 451 | 0 | 0 | 0 | 0 | 451 | 0 | 0 | 0 | 0 | 451 | 0 |
| 28 | TUZLA | 561 | 13 | 79 | 100 | 178 | 190 | 32 | 133 | 26 | 178 | 190 | 66 |
| 29 | ÜMRANİYE | 160 | 0 | 0 | 1 | 11 | 148 | 0 | 0 | 1 | 11 | 148 | 7 |
| 30 | ÜSKÜDAR | 320 | 9 | 16 | 35 | 14 | 246 | 9 | 33 | 18 | 14 | 246 | 23 |
| 32 | ZEYTİNBURUNU | 97 | 23 | 20 | 1 | 5 | 47 | 23 | 20 | 1 | 5 | 47 | 51 |
| 902 | ESENLER | 275 | 0 | 0 | 0 | 0 | 275 | 0 | 0 | 0 | 0 | 275 | 0 |
| 903 | ÇATALCA | 2,127 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,127 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,127 | 0 |
| 904 | SİLİVRİ | 125 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125 | 0 |
| | Toplam | 13,435 | 409 | 500 | 499 | 938 | 11,089 | 436 | 644 | 335 | 931 | 11,089 | 17 |