

BETON KIYI YAPILARINDA DENİZİN GEÇİRİMSİZLİK ÜZERİNE ETKİSİ

M.Süheyl AKMAN
Prof.Dr.Müh.
İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi
İstanbul-Türkiye

Nilüfer ÖZYURT
İnşaat Y.Müh.
İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi
İstanbul-Türkiye

ÖZET

Deniz yapılarında betonun dayanıklılığını sağlamak önemli bir sorundur. Deniz fiziksel ve kimyasal etkilerle betonun hasarına yol açar. Çatlama, kapak atma ve yüzey ayrışması şeklinde ortaya çıkan hasarlara, yüzeysel aşınmalar, sıcaklık ve neme bağlı hacim değişimleri, aşırı yükleme, darbe, vb. fiziksel etkiler sebep olurlar. Ayrıca deniz suyundaki magnezyum iyonları ve çözünmüş CO_2 'nin çimento fazının iç yapısını bozmaları ve özellikle beton içine süzülen klor iyonlarının betonarme çeliğinin korozyonunu hızlandırıp artırması, fiziksel etkilere katılarak hasar düzeyini yükseltirler.

Betonun dayanıklılığında en etkin özellik onun geçirimsizliğidir. Betonun yukarda sayılan farklı nedenler sonucunda çatlaması geçirimsizliği bozar. Çatlamaya yol açan nedenlerden biri, ıslanma-kuruma olayıdır. Deniz suyu yüzeyindeki gel-git bölgesindeki betonda bu durum vardır. Ayrıca ıslanma-kuruma sürecinde deniz suyundaki tuzların kristalizasyonu ve beton iç bünyesinde basınç gerilmeleri oluşturmaları çatlamanın şiddetlenmesine yol açacaktır; böylece sonuçta betonun su ve iyon geçirimsizliği artacaktır.

Bu bildiride mukayeseli olarak deniz suyu ve deiyonize su ile yapılan tekrarlı ıslanma-kuruma deneyleri sonunda su ve iyon geçirimlilikleri ölçülmüş ve deniz suyunun daha büyük geçirimliliklere yol açtığı saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Portland çimentosu, Islanma-Kuruma hasarı, Kristalizasyon, Basınçlı su geçirimliliği, Klor iyon geçirimliliği.

AMAÇ

Bu bildiride, deniz suyu ile ıslanan ve sonra kuruyan ve bu sürece sürekli maruz kalan betonların geçirimliliği üzerinde gerçekleştirilen bir araştırma sunuldu. Islanma ve kuruma sertleşmiş betonda ard arda şişme ve büzölmelere ve dolayısı ile basınç ve çekme gerilmelerinin doğmasına yol açar. Bu etkiler sonucunda çatlaklar belirir ve beton geçirimli hale gelir. Öte yandan deniz suyu ile ıslanma durumunda su içindeki tuzlar ve özellikle NaCl kuruma sırasında kristalleşir ve fazladan basınç gerilmesi oluşturur; böylece ıslanma-kurumanın hasar etkisi artar.

Deniz yapılarında kullanılacak bir betondan beklenen özel niteliklere sahip beton numuneleri üretildi. Bunların bir bölümüne deniz suyu, diğerine deiyonize su emdirilerek ve sonra kurutularak tekrarlı deneyler yapıldı. Böylece deniz suyunun içerdığı tuzların kristalizasyonu sonucu oluşan ıslanma-kuruma hasarındaki artışın mertebesi belirlenmek istendi. Geçirimliliklerde meydana gelen artış, basınçlı su geçirimliliği (DIN 1048) ve hızlı iyon geçirimliliği (ASTM C 1202-97) testleri ile saptandı. Rıhtım, dalgakıran ve iskele ayaklarının su kesim bölgesinde yoğun bir şekilde görölen hasarın sebeplerinden biri olan geçirimlilik artışını deneylerin detaylı bir şekilde açıklaması amaçlandı.

GİRİŞ – BETON YAPILARDA DENİZİN YIKICI ETKİLERİ

Beton ve kargir yapılardaki hasarlar üç ana grupta toplanır: çatlama, parça kopması ve ayrışma. Bunları fiziksel, kimyasal ve biyolojik etmenler oluştururlar(1). Bu etmenlerin tümü beton deniz yapılarında daha şiddetli bir şekilde mevcuttur. Hasarları tek bir nedene bağlayarak incelemek yanlıştır. Deniz yapılarında hasar nedenleri beraberce etkinlik taşırlar, hasarın gelişmesinde, hız kazanmasında ve yıkıcı olmasında rol oynarlar.

Fiziksel sebepleri yüzeysel yıpranma ve çatlak oluşması şeklinde gruplandırabiliriz. Yüzeysel yıpranma aşınma (abrazyon-erozyon) ve kavitasyon sonucu oluşur. Fiziksel sebeplerle oluşan çatlamanın nedenleri ise çeşitlidir: sıcaklık ve nem gradientlerinin veya boşluklarda kristalleşen tuzların oluşturduğu hacımsal değişimler, aşırı yükleme, sünme, darbeleri veya tekrarlı yüklemenin oluşturduğu gerilmeler, donma-çözülme ve yangın gibi aşırı sıcaklık değişimleri.

Kimyasal sebepler deniz suyundaki iyonlarla çimento hamurundaki elementlerin yer değişimi, sertleşmiş çimentodaki bileşenlerin çözülmesi veya yıkanması, hacmi genişleyen yeni ürünlerin meydana gelmesi şeklinde özetlenebilir. İyonların yer değişimi özellikle küçük çaplı Mg^{2+} iyonlarının Ca^{2+} iyonlarının yerine geçmesiyle olur. Mg içerikli yeni ürünler çimentonun ana taşıyıcıları olan hidrate kalsiyum silikatların yok olmasına ve meydana gelen $Mg(OH)_2$ 'nin yıkanarak poroziteyi artırmasına yol açar.

Porozitenin ve buna bağlı olarak permeabilitenin (geçirimsizlik) artması ve taşıyıcı öğelerin yok olması çok önemli hasarlara sebep olur: alkalinite kaybı, kütle kaybı, dayanım ve rijitliğin azalması, ileride oluşacak hasar süreçlerine olanak vermesi. Sertleşmiş çimentodaki hidratların çözülmesi ve yıkanması da benzer hasarlara neden olur. Kimyasal hasar sebepleri arasında üçüncü olarak sayılan genişleyen ürünlerin oluşmasına yol açan reaksiyonların etkileri ise şöyledir: beton iç yapısında gerilmeler meydana gelmesi sonunda dayanım ve rijitlikte azalma, çatlama, parça kopmaları (kapak atma) ve beklenmeyen şekil değiştirmeler(2).

Hasar durumlarını incelemek için tabiatı ile yukarıda genelleme düzeyinde verilen bilgilerin detaylarına inmek zorunludur. Bu bildiride geçirimsizlik özelliğine etkiyen faktörler arasında çatlama problemi ele alındı. Ancak çatlama probleminde de çok sayıda faktör vardır, bunların tümünü inceleyen bir deneysel çalışmaya girilmedi. Islanma-kuruma ve tuz kristalizasyonunun su ve iyon geçirimsizliklerine etkileri ele alındı.

Beton Deniz Yapılarında Çatlama Sebepleri ve Sonuçları

Betonların dayanıklılıklarındaki (dürabilite'ler) en etkin nitelikleri iyon, sıvı, gaz geçirimsizlikleridir. Olay bir difüzyon problemi gibi ele alındığında ancak teorik bir yaklaşımla incelenmiş olur ve betonun heterojen yapısından kaynaklanan düzensiz davranışlarına çözüm getirilemez. Aslında betonun geçirimsizlik özelliğini bozan en belirgin faktörler, çatlakların varlığı, miktarı ve türüdür.

Betondaki çatlaklar üretim aşamasının hemen ardından meydana geldiği gibi sertleşmeden sonra da fiziksel ve/veya kimyasal iç veya dış olaylar etkisinde oluşur ve gelişirler. Çatlaklar genişliklerine göre mikro veya makro düzeyde olabilirler, geçirimsizlik üzerindeki etkileri doğal olarak inceliklerinin, miktarlarının, sürekliliklerinin fonksiyonudur.

Betonların çatlamasına yol açan faktörler oldukça fazladır. Bunların bir kısmı seçikle saptanabilir, bir kısmının teşhisi ise detaylı incelemeleri gerektirir(1).

Betonun bağlayıcı ögesi olan çimento su ile karışınca hidrate olarak katılır ve sonra sertleşir. Bu süreçler sırasında farklı fiziko-kimyasal oluşumlar sonucunda betonun hacmi değişir ve genellikle küçülür. Rötrenin adı verilen bu olay, meydana geldiği aşamaya, bağlı olduğu fiziko-kimyasal oluşuma göre farklı isimler alır: plastik rötrenin, oturma rötresi, otojen rötrenin, kuruma rötresi gibi. Beton yapı elemanı serbestçe rötrenin yaptığında onu zorlayan çekme gerilmeleri doğmaz ve büyük çatlamlar oluşmaz, ancak betonun içindeki agrega taneleri çimento fazının rötresini kısıtlar ve bunun sonunda agrega-çimento fazı arayerlerinde ve çimento fazında gözle görülemeyen çok ince mikro çatlaklar oluşur. Rötrenin çatlaklarını bütünüyle önlemek olanaksızdır.

Rötre mikro-çatlaklarının genişlemesine sebep olan bir fiziksel olay sıcaklık değişimleri olmaktadır. Termik genleşmeler ve onu izleyen daralmalar ve ayrıca yapı elemanında meydana gelen termik gradient'ler çatlamayı artıran etkenlerdir. Termik değişimlerin etkinliği doğal olarak gündüz-gece sıcaklık farkları yüksek olan iklimlerde, deniz suyu ve atmosferi sıcaklıklarının farklı olduğu ortamlarda daha belirgindir. Bunlar dışında hidrasyon ısı ile önce sıcaklığı artan daha sonra bu ısının azalması sonucu soğuyan genç kütle betonlarında oluşan termik rötre de bir diğer çatlama nedenidir.

Kuzey denizlerinde rastlanan önemli bir hasar türü donma ve çözölmeye bağıdır. Donma-çözölme sonucu betonda oluşan basınç gerilmeleri beton iç yapısının heterojenliği nedeniyle kayma ve çekme gerilmeleri de oluştururlar. Çatlak genişliklerini artıran ve parça kopmalarına sebep olan bu etki, suyun beton içine nüfuzu ile mümkündür, yani betonun önceden çatlaklı ve geçirimli olması şarttır.

Çatlamayı artıran mekanik etkiler aşırı yükleme, çarpma, darbe, sünme ve tekrarlı yüklemelerdir. Tekrarlı yüklemeler deniz yapılarında dalgalar yüzünden meydana gelir. Betonun basınç gerilmesi ve sıfır (hatta çekme) gerilme arasında yoran dalgalar önemli çatlama ve parça kopma hasarlarına sebep olurlar.

Tipik bir çatlama nedeni alkali-silis reaksiyonudur. Çimentonun minör bileşenlerinden olan sodyum-potasyum (alkali) oksitler, agregalar içinde aktif nitelikli silisyum oksit (silis) bulunması durumunda genleşen bir sodyum, potasyum, kalsiyum silis jeli oluştururlar. Aktif silis amorf yapılı olan ve kireçle birleşebilen silistir. Kalseduvan, opal vb. kayaçlar bunlara örnektir. Jel su ile şişerek betonu çatlatır ve zamanla bu çatlaklardan dışarı akar. Olayın gelişmesi için çimentoda alkali oksit miktarının yüksek ve agreganın aktif silis olması ve ortamın suyu geçirmesi gerekir. Deniz suyunun sodyum iyonu yönünden zenginliği tehlikeyi artıran bir faktör olmaktadır. Alkali-silis reaksiyonu hasarının onarılması da yoktur(3).

Betonarme deniz yapılarındaki büyük problemlerden biri donatı paslanmasıdır. Beton çatlaklı ise paslanma (korozyon) hızla başlar ve gelişir, paslanma başlayınca çatlaklar görünür hale gelir, genişler, beton kapak atar. Betonarmede donatı korozyonu ile çatlama hasarı arasındaki ilişki sebep ile sonucun art arda sürekli değiştiği bir süreçtir.

Çeliğin korozyonu elektrokimyasal bir olaydır, donatı demirinin hidroksite dönüşmesi yani pas olması için önce iyonlaşarak çözülmesi ve anot haline gelmesi, açığa çıkan elektronların başka bir yere (katoda) taşınarak sarfedilmesi, daha sonra anottaki demirin çevresindeki ortamın OH^- (oxhydril) iyonlarını alarak nötürleşmesi yani hidroksit'e dönüşmesi gerekir. Korozyon süreci kapalı bir elektrik devresinin oluşmasıdır; anottan katoda elektronları taşıyan bir iletkenin (donatının kendisi) ve katot'dan anota OH^- 'ları taşıyan elektrolitik bir ortamın (ıslak beton) varlıkları şarttır. Kısaca donatıyı çevreleyen betonun ıslak ve elektriksel direncinin düşük olması ve oksijenin katoda erişerek, elektron ve suyla reaksiyona girip OH^- üretmesi gerekir.

Korozyonda su ve oksijenin gerekliliği dışında betonun elektriksel direnci de önemli bir parametredir. Bu direnci düşüren bir öge deniz suyunun içerdiği klor iyonları (Cl^-)'dır. Cl^- 'nin korozyonu şiddetlendiren katkısı sadece direnci düşürmekle sınırlı değildir. Çelik yüzeyinde koruyucu pas olarak adlandırılan ince bir tabaka vardır. Beton alkalın yapısı ile bir süre bu tabakayı korur. Donatı yüzeyine erişen Cl^- bu tabakayı tahrip eder, ayrıca betonun alkalın karakterini asit'e döndürür. Hatta Cl^- demirle geçici olarak birleşerek bir klorür meydana getirir, bu klorür OH^- ile reaksiyona girer ve pas oluşturur, bu arada Cl^- tekrar ortaya çıkar ve Cl^- 'nin katalizör olarak geliştirdiği bu süreç devam eder. Deniz suyunun Cl^- nedeniyle oluşturduğu bu çok zararlı etki yapı elemanının göçmesine sebep olur. Ancak salt Cl^- 'nin korozyon nedeni olmadığı unutulmamalıdır. Oksijenin de varlığı şarttır. Bu nedenle de derin bölgelerde korozyon tehlikesi yoktur(3).

Betonlarda çatlama sebep olan bir fiziksel olay da ıslanma-kurumdur. Sertleşmiş bir beton suya bırakılırsa şişer, sudan çıkarılıp kurutulursa rötre yapar yani büzülür. Şişme beton boşluklarında su basıncının artmasına bağlıdır, rötre ise klasik kuruma rötresindeki süreçle aynıdır. Denizlerde su kesim bölgesindeki yapı elemanlarında bu tekrarlı olay meydana gelir ve bu önemli bir çatlama sebebidir.

Çatlama sebepleri arasında suda çözülmüş tuzların beton bünyesine girdikten sonra kristalleşmeleri ve hacimlerinin genişlemesi olayı da vardır. Buna benzer kimyasal bir olay da, çimento bileşenleri ile reaksiyona girerek hacimsel genişlemeye yol açan ürünlerin oluşmasıdır. Beton teknolojisinde bu olayın en bilinen ve çok tartışılan örneği sülfat etkisi olarak anılır. Sularda mevcut alçıtaşının (kalsiyum sülfat), çimentonun trikalsiyum alüminat (C_3A) bileşeni ile oluşturduğu etrenjit çift tuzu (trikalsiyum sülfat alüminat) 32 molekül su ile hidrate olarak büyük bir hacim genişlemesine yol açar. Deniz suyunda da sülfat'lar vardır, bunların da böyle bir etki yapması düşünülür, hatta deniz suyuna maruz beton yüzeylerin de de etrenjit ögelerine rastlanmışsa da bunların kristalleşmediği gözlenmiştir. Bu farklı davranışta deniz suyunun pH'sinin 7-8 mertebesinde olması yani ortamın alkalın karakter göstermemesi etkinlik taşır, çünkü etrenjitin kristalleşmesi ancak alkalın ortamda tamamlanabilmektedir(2).

Bu durumda çimento fazında deniz suyundaki ögelerle genişleyen ürünler oluşması ihtimali zayıftır, aksine deniz suyunda mevcut bazı maddeler (CO_2 ve $MgSO_4$ gibi) çimento hidrate elemanlarını çözmeye ve yıkanmalarına sebep olurlar. Şu halde çirpıntı bölgesinde çatlamaya hatta parça kopmasına yol açan tuzlar, beton boşluklarında kimyasal bir değişikliğe uğramadan kristalleşen tuzlardır. Bunların yarattığı basınçlar çok yüksektir, örneğin NaCl süpersatürasyon derecesi 2 iken 650 atmosfer mertebesinde bir basınç meydana getirmektedir(2). İslanma-kuruma çatlamasında, bu tuz kristalleşme olayının da büyük etkisi olması doğaldır.

Beton deniz yapılarının dırabilitesi konusunda çok önemli bir sorun olan çatlama probleminde ıslanma-kuruma ve kristalleşme faktörlerinin incelenmesi için tarafımızdan bir deneysel çalışma yapıldı. Araştırmanın detayları ve değerlendirmeleri aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır.

İSLANMA-KURUMA ve KRİSTALLEŞMENİN DENEYSEL ETÜDÜ

Betonun ıslanma-kuruma hasarında, ıslanmayı yapan suyun deniz suyu olması durumunda meydana gelen farklılığın tespiti amacıyla sınırlı bir deneysel çalışma İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarında gerçekleştirilmiştir.

Problem beton deniz yapılarını ilgilendirmektedir. Bu bakımdan deneylerdeki betonun birleşim ve kalitesinde uluslararası standartlara uyulması esas alınmıştır (3). Bu nedenle çimento dozajı 350 kg/m^3 ve su/çimento oranı 0.45 olarak saptanmış, agrega maksimum tane çapı 16mm ile sınırlanmış ve granülometri TS 706'daki B eğrisi ile karşılaştırılmıştır. İşlenebilme, karboksilik eter polimer esaslı bir hiperakışkanlaştırıcı ile sağlanmış ve yerleştirme dış vibrasyonla yapılmıştır. Kullanılan çimento PÇ 42.5 kalitesinde idi. Tablo 1. de çimentonun özellikleri, Tablo 2. de betonun birleşimleri gösterilmiştir.

Üretilen betonlar basınç dayanımı belirlenmesi için $\varnothing 150 \times 300 \text{ mm}$ lik silindirlere, su ve iyon geçirimsizliği testleri için $\varnothing 100 \times 200 \text{ mm}$ lik silindirlere yerleştirilmiştir. Dayanım deneyi için 6 adet, geçirimsizlik testleri için 9 adet numune hazırlanmıştır.

Deneylerde kullanılan deniz suyu Marmara Denizi Kuzeyinde Gümüşyaka Beldesinden temin edilmiştir. Toplam salinite İ.T.Ü. Gemi İnşaat Fakültesinin WTW Salinimetresi ile ölçülmüş, kimyasal analizi ise İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümünde yürütülmüştür. Tablo 3. de deniz suyu analiz sonuçları görülmektedir. karşılaştırma amacı ile bir yayında verilen Bodrum bölgesi deniz suyunun analizi de Tablo 3. e eklenmiştir (3).

Geçirimsizlik numuneleri 3 seriden oluşmuştur. Birinci serideki numuneler üretildikten sonra serbestçe kuruma rötresi yapacak şekilde laboratuvar atmosferinde tutulmuşlar ve işleme tabi olmamışlardır. İkinci serideki numunelere deiyonize su vasıtasıyla, üçüncü serideki numunelere ise deniz suyu ile ıslanma-kurutma işlemi uygulanmıştır. 22 tekrardan oluşan bu işlemin sonunda, - birinci serideki numuneler de dahil -, silindirler ortalarından kesilmiş ve ortadan kesilmiş 10 cm yükseklikli silindirlerin üzerinde basınçlı su geçirimsizliği ve hızlı iyon geçirimsizliği testleri yürütülmüştür. Islanma 18 saat suda tutarak, kurutma 6 saat ortam sıcaklığında (yaklaşık 20°C) hava üfleyerek gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler üç numune üzerinde yapılmış ve ortalama değerler elde edilmiştir.

Basınçlı su geçirimsizliği testinde DIN 1048 normu esas alınmıştır. Deney düzeneği Şekil 1.'de gösterilmiştir. Numuneler 48 saat 1 bar basınçlı su etkisinde tutulduktan sonra basınç 3 bara yükseltilmiş, 24 saat beklenmiş, daha sonra 24 saat 7 bar basınçlı su uygulanmıştır. Ortadan yarılan numunelerde suyun nüfuz ettiği yükseklik saptanmıştır (4).

Klor iyon geçirirnililiği dolaylı bir test olan “Hızlı Klor İyonu Geçirirnililiği, RCPT, Rapid Chloride Ion Permeability Test” ile gerçekteştirilmiştir. Bu test ASTM C 1202-97 ve AASHTO T 277 831 standardlarında kabul edilmiştir (5). NaCl ve NaOH çözeltileri arasındaki bir hücrede tutulan 5 cm yükseklik ve 10 cm çapındaki beton disk 60 DC Volt’luk bir elektriksel alana maruz bırakılmakta, 30 dakika aralıklarla geçen akımın şiddeti (amper) ölçülmektedir. Ölçüm 6 saat sürmekte şiddet-zaman diagramındaki alan yardımıyla bu sürede iletilen elektrik yük miktarı (coulomb) hesaplanmaktadır. Elektrik yük miktarı iyon miktarı ile orantılı varsayılarak değerlendirilmeye gidilmektedir. Şekil 2.’de deney düzeni gösterilmiştir.

Su ve klor iyon geçirirnililik deneylerinde elde edilen sonuçlar Tablo 4. ve Tablo 5.’de özetle verilmiştir. Betonların standard silindir dayanımları 7 günde 41 MPa, 28 günde 44 MPa olarak saptanmıştır.

SONUÇLAR

Deneylerde üretilen betonlar basınç dayanımları ve taze haldeki boşluk miktarları dikkate alınırda kalite bakımından yeterli düzeydedir.

Betonların su geçirirnililiği açısından da yeterli oldukları gözlenmektedir. Zira agresif bir suya maruz kalacak betonlarda geçen su yüksekliğinin 30 mm’den az olması öngörölmüştür. Kuru ve işlem görmemiş numunelerde bu değeri 25 mm’dir. Bu değerin ıslanma-kuruma işlemi görmüş numunelerin değeriinden yüksek olması ilgi çekicidir.

Üretilen betonların iyon geçirirnililiği yönünden de nispeten başarılı olduğu söylenebilir. Tablo 6., ABD Devlet Yollarınca önerilen değeriendirmeleri göstermektedir (6). Bu tabloya göre işlem görmüş betonlarda Cl iyon geçirirnililiği düşük, havada kalıp kuruma rötresi yapanlarda ise orta derecede bir geçirirnililik oluşmuştur.

Elektriksel yük geçirirnililikleri yönünden sonuçlar deniz suyunun ıslanma-kuruma hasarını büyük oranda etkilediğini kanıtlamaktadır. Deiyonize suya oranla deniz suyu % 40 oranında aşırı bir geçirirnililik göstermiştir. Bunun kristalizasyondan kaynaklandığı aşıkardır.

Yapılan deneylerde düşük saliniteli suyun kullanılması ve tekrar sayısının 22 ile sınırlı olması kristalizasyon etkisinin ıslanma-kuruma halindeki büyüklüğü hakkında kesin bir yargıda bulunmayı zorlaştırmaktadır. Mamafih deniz suyunun bu hasarı % 50'den fazla artıracığı yüksek bir olasılıkla kabul edilebilir.

İkinci önemli bulgu kuruma rötresi oluşan betonlarda geçirimlilik artışının çok daha etkin olduğu hususudur. Az tekrarlı olan bu deneysel araştırma daha fazla tekrarlar sürdürülürse bu etkinlik farkı azalacak hatta tersine dönebilecektir. Ancak prefabrike elemanlarla yapılacak bir beton deniz yapısında bu faktör çok önemli bir yer tutabilir. Özellikle bu tür prefabrike yapı elemanlarının su ve iyon geçirimliliği kontrollerinin önceden yapılması gereklidir.

KAYNAKLAR

1. Akman, M.S., Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, 2000, s.177.
2. Akman, M.S., Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İ.T.Ü. Rektörlüğü, No:1481, 1992, s.245.
3. Mehta, P.K., Concrete in the Marine Environment, Elsevier Science Publishers Ltd., Essex, ISBN 1-85166-622-2, 1991, p.214.
4. Deutsche Normen, Test Methods for Concrete (DIN 1048), German Committee for Reinforced Concrete of NABau, 1978, p.11.
5. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration (ASTM C-1202-97), 1997, p.6.

6. Whiting, D., "Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete", Final Report No. FHWA/RD-81/119, Federal Highway Administration, August 1981, NTIS No. PB 82140724.

TABLolar

Tablo 1. Çimento özellikleri

Fiziksel Özellikler		Kimyasal Analiz	Test Sonuçları, %	
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.14	SiO ₂ – Çözünen	20.83	
Blaine özgül yüzeyi (m ² /kg)	366	Çözünmez Kalıntı	0.48	
Priz başlangıcı (dk)	160	Al ₂ O ₃	4.88	
Priz sonu (dk)	200	Fe ₂ O ₃	3.53	
Le Chatelier iğnelerinin toplam açılması (mm)	2	CaO	64.08	
Mekanik Özellikler		MgO	1.27	
		SO ₃	2.73	
Gün	Basınç Dayanımı- MPa	Kızdırma Kaybı	1.49	
		Cl	0.0302	
2	25.1	Na ₂ O / K ₂ O	0.30 / 0.75	
7	40.6	Tayin Edilemeyen	0.11	
28	50.8	Serbest CaO	1.09	
		Mineralojik	C ₃ S	52.44
			C ₂ S	20.24
		Bileşim	C ₃ A	6.97
			C ₄ AF	10.74
		Kireç Standardı	94	

Tablo 2. Taze beton bileşimi

Çimento, kg/m ³	349
Su, kg/m ³	157
İnce Kum, kg/m ³	187
Ocak Kumu, kg/m ³	642
Kırmataş I, kg/m ³	631
Çakıl, kg/m ³	410
Hiperakışkanlaştırıcı Katkı, kg/m ³	3.5
Su/Çimento	0.45
Birim Ağırlık, kg/m ³	2380
Hava Boşluğu, %	1.9

Tablo 3. Bu deneyde kullanılan Gümüşyaka(Marmara) deniz suyu ile Bodrum
deniz suyu iyon konsantrasyonları

Yöre	Bodrum	Gümüşyaka
Toplam Salinite (%)	3.9	2.5
Mg ²⁺ , (mg/l)	1440	980
SO ₄ ²⁻ , (mg/l)	2900	1980
Cl ⁻ , (mg/l)	19270	14490
Na ⁺ , (mg/l)	12080	7430
Ca ⁺² , (mg/l)	580	400

Tablo 4. Basınçlı Su Geçirirnililiği Deney Sonuçları

Numune Tipi	Betona Giren Su Yüksekliği (mm)			Ort.
Deiyonize suda ıslanıp-kuruyan numuneler	10	13	14	12
Deniz suyunda ıslanıp-kuruyan numuneler	12	12	17	14
Laboratuar atmosferinde kurutulan numuneler	19	25	30	25

Tablo 5. Hızlı Klor İyon Geçirirnililiği Deney Sonuçları

Numune Tipi	Betondan Geçen Toplam Elektrik Yükü (Coulomb)			Ort.
Deiyonize suda ıslanıp-kuruyan numuneler	1119	1358	1438	1305
Deniz suyunda ıslanıp-kuruyan numuneler	1722	1874	1899	1832
Laboratuar atmosferinde kurutulan numuneler	2646	3005	3071	2907

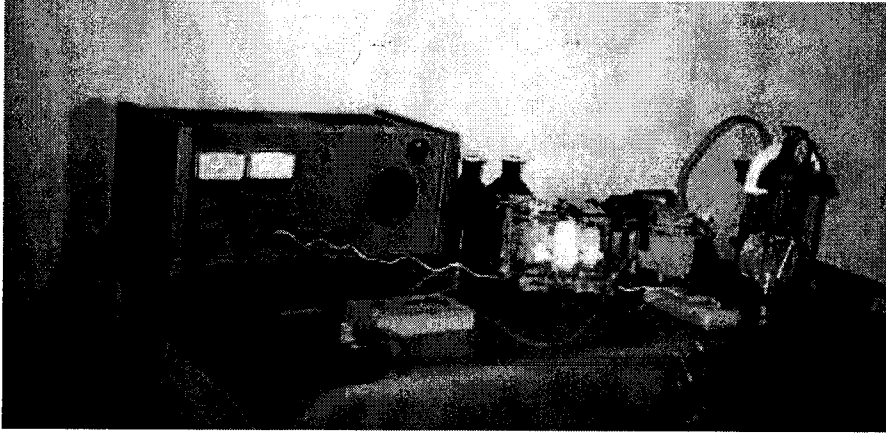
Tablo 6. Hızlı Klor İyon Geçirirnililik deney sonuçlarına göre betonun iyon geçirirnililiği yönünden değerlendirilmesi

Geçen elektriksel yük miktarı, (Coulomb)	Klor İyonu Geçirirnililiği Yönünden Değerlendirme
> 4000	Yüksek
2000-4000	Orta
1000-2000	Düşük
100-1000	ok Düşük
<100	İhmal Edilebilir

ŞEKİLLER



Şekil-1. Basınçlı Su Geçirirli Deney Düzeneği



Şekil 2. Hızlı Klor İyonu Geçirirli Deney Düzeneği

EFFECTS of SEA WATER on CONCRETE IMPERMEABILITY of SHORE STRUCTURES

M.Süheyl AKMAN
Prof.Dr.Eng.
İ.T.Ü. Faculty of C.E.
İstanbul-TURKEY

Nilüfer ÖZYURT
Civil Eng. M.S.
İ.T.Ü. Faculty of C.E.
İstanbul-TURKEY

ABSTRACT

The durability of the concrete for marine structures is the primary property expected from this material. Sea water causes the deterioration of concrete due to many physical and chemical effects. The damages of the concrete may be cracking, spalling and surface desegregation occurred by physical effects like volume changes caused by abrasion, elevated temperatures or humidity, overloading, creep, impact, etc. Furthermore some chemical effects also increase the degree of these damages, as magnesium ions and dissolved CO₂ by changing the microstructure of the cement phase and especially chloride ions diffused in concrete by accelerating and intensifying the corrosion of the steel reinforcement embedded.

Impermeabilities of the concrete to fluids and ions are the most important properties influencing the durability, and on the other hand cracking of the concrete due to different factors mentioned above deteriorate the impermeabilities. One of the reasons of cracking is alternate wetting and drying phenomenon. It is especially occurred on the tidal zone of the shore structures. During the wetting and drying, pore liquid pressure in the concrete increases due to the crystallization of the salts present in sea water, it enhances the severity of damage by extending the width of the cracks and increasing their numbers.

In this study cylindrical concrete specimens were first exposed to wetting and drying using sea water and deionized water, and then water permeability under pressure and chloride ions permeability tests were executed according to DIN and ASTM standards.

It is concluded that the crystallization of the sea water salts thoroughly increases the cracking effect of the wetting and drying phenomenon and generate higher permeability of the concrete to water and chloride ions.

ZEMİN SIVILAŞMASI VE SİSMİK ZEMİN DAVRANIŞI

Kemal Önder ÇETİN

Yardımcı Doç. Dr.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

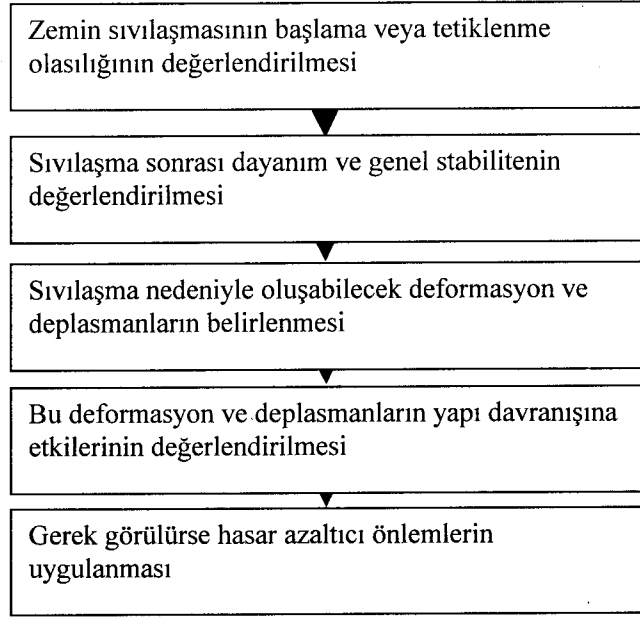
Ankara, Türkiye

GİRİŞ

Zemin sivilaşması binyılın son depremlerinde de (Adapazarı, Düzce, Türkiye; Chi-Chi, Taiwan, 1999) örneklendiği üzere önemli hasar sebepleri arasında kalmaya devam etmektedir. Sivilaşmanın mekanizması ve doğurduğu sonuçların anlaşılmasına yönelik çalışmalar 1964 yılında meydana gelen ve sismik sivilaşma nedenli yıkıcı hasara sebep olan 1964 Niigata-Japonya, 1964 Büyük Alaska-A.B.D. depremleri sonrası hızlanmıştır. Son kırk yılda bu alanda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Başlangıçta, bu ilerleme temiz kumların sivilaşma davranışının anlaşılması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu süreç içinde meydana gelen depremler bizlere yeni dersler, ve de veriler sunmaya devam etmiş buna paralel temiz kumların sivilaşma davranış mekanizmasına ek olarak ;

- i) siltli ve/veya çakıllı zeminlerin sivilaşma potansiyeli
 - ii) sivilaşma sonrası zemin dayanımı ve gerilme – deformasyon davranışı
- gibi konular üzerinde de çalışılmaya başlanmıştır.

Bugün zemin-sivilaşma mühendisliği yarı olgunlaşmış ve de kendi özel uygulamaları olan bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alan Şekil 1’de gösterildiği üzere birçok alt çalışma alanlarını da kapsamaktadır.



Şekil 1. Sıvılaşma değerlendirme aşamaları

Zemin sıvılaşma tetkikinde ilk adım (1) zeminin sıvılaşma potansiyeli ya da riskinin belirlenmesidir. Bu alanda son yıllarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir ve bazılarına ileriki paragraflarda değinilecektir.

Zemin sıvılaşmasının önemli bir potansiyel risk ya da hasar sebebi olabileceği belirlendikten sonraki aşama, sıvılaşma sonuçlarının belirlenmesidir. Bu aşama (2) sıvılaşma sonrası zemin dayanımının belirlenmesine ek olarak sıvılaşma sonrası genel stabilitenin (arazinin, ve/veya yapının) incelenmesini de içermektedir. Son onbeş yılda sıvılaşma-sonrası zemin dayanımının belirlenmesi konusunda önemli gelişmeler olmuştur. Eğer sıvılaşma sonrası stabilite sağlanamazsa, deformasyonlar potansiyel olarak büyük olmakta, sıvılaşmayı önleyici ya da deformasyonları sınırlayıcı önlemler gerektirmektedir.

Eğer sıvılaşma sonrası genel stabilite kabul edilebilir seviyelerde ise bir sonraki aşama (3) deformasyonların belirlenmesidir. Bu aşama uygulamanın yumuşak karnı olmaya devam etmekte ve yeni mühendislik methodlarının geliştirilmesi ve kalibre edilmesine ihtiyaç duymaktadır. Benzer olarak (4) sıvılaşma sonucunda oluşan temel

deformasyonlarının yapı davranışına etkisi ve kabul edilebilir deformasyon ve davranış kriterleri konularında da genel görüşbirliği oluşmamıştır.

Son olarak mühendislik tasarımlarında kabul edilebilir zemin ve/veya yapı davranışının mevcut koşullar altında garanti edilemediği durumlarda (5) zemin ve/veya yapı iyileştirmeleri gerekmektedir. Bu alan da oldukça hızlı ilerleyen ancak henüz genel görüşbirliğinin oluşmadığı bir konumdur. Gelişmekte olan zemin iyileştirme yöntemleri sismik zemin sıvılaşmasına yönelik zengin mühendislik çözümler demeti sunmaktadır. Ancak bu yöntemlerin bazılarının uygulanabilirliği, güvenilirliği kısıtlıdır ve bu makalenin sınırları içinde tüm bu farklı aşamaların tartışılması olası değildir. Bunun yerine sismik zemin sıvılaşması başlığı altındaki bazı önemli gelişmeler sunulacak bu çalışmaların sonuçları, tartışmaya açık konular ve de daha araştırma gerektiren alanlar vurgulanacaktır.

ZEMİN SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Sıvılaşabilir Zeminler

Zemin sıvılaşma analizinin ilk adımı potansiyel olarak sıvılaşabilir zemin tabakalarının söz konusu zemin profilinde bulunup bulunmadığının belirlenmesidir. Bu hangi zeminlerin sıvılaşabilir olduğu gibi önemli bir soruyu doğurmaktadır.

“Temiz” kumların potansiyel olarak sıvılaşabilirliği uzun zamandan beri bilinmemektedir. Ancak siltli ya da siltli killi kumlar ile çakıllı zeminlerin sıvılaşabilirliği konusunda görüş birliği olmadığı gibi bu konularda bir karmaşa da mevcuttur.

İri daneli özellikle de çakıllı zeminlerin sıvılaşabilirliğini tartışalım. İri daneli ve çakıllı zeminlerin tekrarlı sismik yükler altındaki davranışı doğanın 4 numaralı eleği geçenler ve de geçmeyenler diye keyfi ve rastgele bir kuralı olmadığından, kumların bu yükler altındaki davranışından çok da fazla farklılık göstermez. İri daneli ve çakıllı zeminler potansiyel olarak sıvılaşabilirler. Çakıllı zeminlerin sıvılaşabilirliğini gösteren, iyi dökümente edilmiş örnekler mevcuttur (örneğin: Evans, 1987; Harder, 1988; Hynes, 1988; Andrus, 1994). Ancak bu tip zeminler (daha ince daneli kumlu zeminlere göre) davranış

olarak iki önemli farklılık gösterir: (1) Daha geçirimli olduklarından sismik yükleme sırasında oluşan tekrarlı boşluk suyu basıncı daha çabuk dağılabilmektedir; ve (2) oluşumları sırasında iri danelerinden dolayı ağır kütleleri çok nadiren gevşek depositlenme karakteri göstermekte ve dolayısıyla doğada gevşek olarak sıkca rastlanmamaktadır. Kumlu zeminlerin gevşek durumda sıklıkla rastlanmalarına karşın, çakıllı iri daneli zeminlere gevşek halde fazla rastlanılmaz.

Çakıllı zeminlerin bilinen yüksek geçirimlilik avantajı şu durumlarda bozulabilir:

- 1) Daha az geçirimli tabakalar arasında sıkıştığında,
- 2) İnce daneli malzemelerin çakıllı danelerin boşluklarını doldurduğu durumlarda (malzemelerin geçirimliliği ile en iyi bağıntıyı veren D_{50} dane çapı değil D_{10} dane çapıdır.)
- 3) Eğer çakıllı tabaka oldukça kalın ve buna bağlı olarak drenaj mesafesi uzunsa; deprem yükü gibi ani yükler uygulandığında.

Bu gibi durumlarda iri daneli malzemelerin de sıvılaşabileceği bilinmeli ve gerekli sıvılaşma hesapları yapılmalıdır.

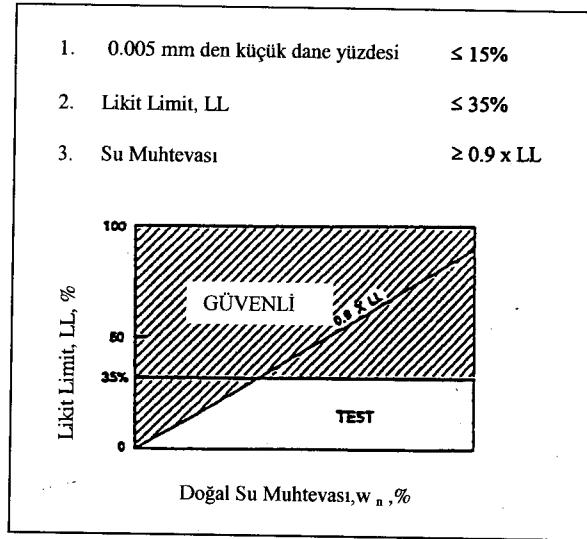
İnce daneli kohezyonlu silt ve kil karışımlarının sıvılaşp sıvılaşmayacağı bir çok ulusal ve uluslararası toplantı da tartışılmış ve tartışılmaya devam etmektedir. Son beş yılda, yaklaşık yirmi uzmanın (NCEER çalışma grubu) sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi konusunda oluşturdukları görüş birliği "National Science Foundation" (NSF) tarafından finanse edilen çalışma grubu özet raporunda sunulmuştur (NCEER, 1997). Bu raporun özet bildirisi ayrıca "ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering"de (Youd ve Idriss, 2001) basılmıştır. NCEER çalışma grubu bu konuya değinmiş ve ince daneli kohezyonlu malzemelerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesine yönelik olarak "Geliştirilmiş Çin Kriterleri" (Finn ve diğerleri, 1994) tartışılmış fakat metodun tahmin kalitesi konusunda bir görüş birliği oluşmamıştır.

Bu konudaki görüş ayrılığı sıvılaşma teriminin tanımındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu makalede sıvılaşma kavramı tekrarlı boşluk suyu basıncı

yükselmesinden kaynaklanan kayma dayanımındaki ve kayma rijitliğindeki azalma olayı için kullanılmaktadır.

Duyarlılık (sensitivite) ya da monotonik yükler altında kayma dayanımındaki düşüş davranışları sıvılaşma tanımı içine dahil edilmemiştir. Bu ayrımı yapmak sayesinde, klasik tekrarlı yükler sebepli sıvılaşma davranışını, çok ilintili (fakat farklı) birim deformasyon yumuşaması ya da sensitivite davranışlarından ayırarak inceleyeceğiz.

Şekil 2. “Geliştirilmiş Çin Kriterlerinin (GÇK) sıvılaşabilir zemin tanımını özetlemektedir. Bu kritere göre aşağıda belirtilen durumlarda zeminler potansiyel olarak sıvılaşabilirler: 1) % 15’ten az killi malzeme içeriyorsa (killi malzeme Çin kriterlerine göre 0.005 mm’den küçük malzeme olarak tanımlanır), 2) Likit limit (LL) $\leq 35\%$, 3) Su muhtevası likit limitin % 90’ına eşit ya da daha fazlaysa.



Şekil 2. Geliştirilmiş Çin kriterleri (Finn vd., 1994)

Andrews ve Martin (2000), Seed ve diğerleri (1984, 1985) veritabanını yeniden değerlendirmiş ve sonucunda, GÇK’yı standart tanımların kullanıldığı haliyle (kil malzeme dane çapı 0.002 mm den küçük malzeme olarak tanımlanmıştır) sunmuştur. Bu çalışmanın bulguları Şekil 3’te özetlenmiştir. Andrews ve Martin, % 10’dan az killi ($< 0.002\text{mm}$) malzeme içeren ve 40 no.lu elekten geçen malzemenin likit limitinin (LL) % 32’den az olduğu durumlarda sıvılaşmanın olası olduğu; kil muhtevası % 10’dan fazla ve

40 no'lu elekten geçen malzemenin likit limitinin % 32'den fazla olduđu durumlarda sivilařma olasılıđının çok dűřűk olduđu ve bu iki uę arasında kalan malzemelerden numune alınarak sivilařabilirliđin belirlenmesi ięin test edilmesini önermektedir.

	Likit Limit ¹ < 32	Likit Limit $\geq$ 32
Kil �eriği ² < 10%	Sivilaşabilir	�leri ęalıřma gerekir (Plastik kil harici boyutlu dane olduđu dűřűn�lerek- Mika gibi)
Kil �eriği ² $\geq$ 10%	�leri ęalıřma gerekir (Plastik olmayan kil boyutlu dane olduđu dűřűn�lerek- maden veya ocak atıđı gibi)	Sivilaşmaz

Not:

1. Casagrande tipi darbe aleti ile belirlenen likit limit
2. Kil 0.002 mm den kűűk dane olarak tarif edilir.

şekil 3. Siltli ve killi kumların sivilaşabilirliği (Andrews ve Martin, 2000)

Bu ęalıřma sonuçları G K'ni bir paręa da olsa basitleştirdiği, benimsenmiş standart malzeme tanımlarını kullandığı için yaygın olarak kullanılabilecektir. Ancak hatırlatmakta fayda vardır ki mühendisler sivilaşabilir malzemelere rastladıklarında tüm ilgilerini bu tür malzemelerin iyileştirilmesine vermekte, sivilaşabilir malzemelerle sıklıkla birlikte bulunan yüksek sensitiviteli kil ve plastik siltlerin yaratabileceği sorunları unutmaktadırlar.

Hem laboratuvar ęalıřmalarından hem de geręek arazi davranışlarından anlaşıldığı üzere belli bir miktarın üzerindeki siltli ($\leq 0.074\text{mm}$; 200 No.lu eleği geçen malzeme miktarı) malzemenin varlığı, genel zemin davranışının bu ince daneli malzemelerin özellikleri tarafından belirlenmesi sonucunu doğurmuştur. Bu sınır, siltli malzemenin % 12-30'dan fazla olduğu durumlar olarak tanımlanabilir. Daha net bir aralığın tanımlanabilmesi malzeme dane ęap dağılımı ve dane özelliklerine bağlıdır.

İyi derecelenmiş zeminler, üniform derecelenmiş veya ayırık dane dağılımlı zeminlerle karşılaştırıldığında daha az boşluk oranına sahip olduklarından, iri daneleri – birbirinden ayırmak için daha az siltli killi malzeme gerekmektedir. Yine benzer olarak killi malzemelerin boşluk oranı siltli malzemelere nazaran daha fazla olduğu için, az miktarda killi malzeme ile daha fazla iri daneli ($>0.074\text{m}$) malzeme boşlukları doldurulabilmektedir.

İnce daneli (siltli ve killi) zemin parçacıklarının iri daneleri birbirlerinden ayıracak ya da genel zemin davranışını kontrol edebilecek miktarlarda olduğu durumlarda, bu tür malzemelerin sıvılaşması ince daneli siltli ya da killi malzemenin plastik olmadığı ya da düşük plastisiteli olduğu ($PI \leq 10 - 12 \%$) durumlarda rastlanır. Aslında düşük plastisiteli silt ve siltli kumlar hem sıvılaşabilir olmaları hem de boşluk suyu basıncının düşmesini engelleyebilecek kadar düşük geçirimsizlik göstermeleri sebebiyle en tehlikeli zemin türleridir.

Siltli killi malzeme oranı $\% 15$ 'ten fazla olan ancak bu ince daneli malzemelerin “orta” plastisiteli ($8 \% < PI < 15 \%$) olduğu durumlar da kesin bir hüküm vermek güçtür. Ancak bu tür zeminlerin “örselememiş” olarak örneklenip, laboratuvar da test edilmesi mümkündür. Yine bu tür kohezyonlu malzemeler için “sensitivite” incelemesi de yapılmalıdır.

Bu noktaya kadar tariflenmeye çalışılan sıvılaşma kriterleri tüm zemin türlerinin sıvılaşma davranışlarının belirlenmesi için yeterli değildir. Örneğin A.B.D.'in güney doğusundaki bir sahadan örneklenen killi silt malzemesinin kil muhtevası $\% 15$ ve plastisite indisinin $\% 30$ olmasına rağmen sıvılaşabilirliği gösterilmiştir. Bu şaşırtıcı davranış, jeolojik olarak yaşlı kumların silt çapına aşınması ve bu silt taneciklerinin etrafının killi malzeme ile kaplanması sonucunda oluşan gevşek formasyon ile açıklanmıştır. Bu tür istisnai davranışların olabileceği unutulmamalı ve mühendislik kararları bu kriterlerin kullanımını desteklemelidir.

Tüm belirtilen kriterlere ek olarak sıvılaşmanın olabilmesi için 1) malzeme doygun (ya da doyguna çok yakın) olmalı, 2) yük hızlı uygulanmalı (drenajsız), su tablasındaki

değişimlerin mevsimsel olduğu ve sulamanın bu koşulları değiştirebileceği ve hızlı yükler için deprem kayma dalgalarının en güzel örnek olduğu unutulmamalıdır.

Sıvılaşma Olasılığının Belirlenmesi

Sismik sebepli zemin sıvılaşma hesaplarının ilk aşaması sıvılaşmanın olabilirliğinin sayısal yöntemlerle belirlenmesidir. Bu amaca yönelik iki yöntem vardır:

- 1) Örselenmemiş numunelerin laboratuvar ortamında test edilmesi,
- 2) Arazi davranışları ile “index” test parametlerine dayalı ampirik bağıntıların kullanılması.

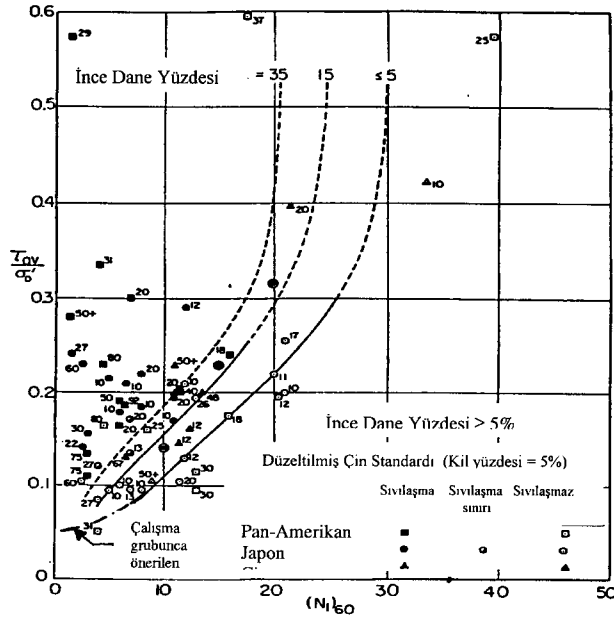
Laboratuvar testlerinin kullanılması numune alımı ve numunenin arazideki gerilmelere konsolidasyonu sırasındaki örselenmeler sebebiyle oldukça zordur. Tekrarlı basit kayma testi her ne kadar arazide oluşan sismik yükleri en iyi modelleyebilen test olsa da her projede uygulanabilirliği testin zor ve pahalı olması bakımından kısıtlıdır. Üç eksenli dinamik testlerin uygulanabilirliği hem sismik arazi yüklerini iyi modelleyememesi, hem de zor ve pahalı olmaları bakımından kısıtlıdır. Örselenme sorunları, dondurularak örnekleme yöntemleri ile alınan numuneler üzerinde tekrarlı basit kayma ya da bükmeli kayma testlerinin uygulanması ile aşılabılır. Ancak deneylerin zorluğu ve ekonomik olmamaları gibi sebepler, bu narin laboratuvar yöntemlerinin tipik mühendislik uygulamalarında kullanımlarını kısıtlar.

Bilindiği üzere arazi testlerinin kullanımı mühendislik uygulamalarında oldukça yaygındır. Mevcut uygulamaları özetleyen yayında (NCEER, 1997) dört değişik arazi deney yöntemi ile sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde yeterli doygunluğa ulaşıldığı vurgulanmıştır. Bu testler 1-) standart penetrasyon deneyi (SPT) 2-) koni penetrasyon deneyi (CPT), 3-) arazi kayma dalga hızının (V_s) ölçülmesi 4-) Becker penetrasyon deneyi. Bu yöntemler arasında en eski ve en sıkça kullanılan yöntem SPT olup, detaylı olarak tartışılacaktır.

SPT'ye Dayalı Mevcut Sıvılaşma Bağlılıları :

SPT'nin sismik sıvılaşma riskinin belirlenmesinde kullanılması 1964 Büyük Alaska ($M = 8+$) ve 1964 Niigata Depremlerine ($M = 7.5$) kadar gitmektedir. Bu iki deprem sonrası sıvılaşma sebepli büyük hasarlar gözlenmiştir. (örneğin: Kishida, 1966; Koizumi 1966; Ohsaki, 1966; Seed ve Idriss, 1971). Birçok araştırmacının katkılarıyla bu alanda önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve kaydedilmeye devam etmektedir.

NCEER çalışma grubunca (NCEER, 1997) özetlendiği üzere, en yaygın kabul gören ve kullanılan deterministik bağıntı Seed ve diğerleri (1984, 1985) tarafından önerilen bağıntıdır. Şekil 4 bu çalışmanın, NCEER çalışma grubu tarafından düşük CSR'larda yapılan düzeltmeyi içeren sürümünü göstermektedir. Bu bağıntı düşey efektif gerilme, enerji, ekipman ve prosedür düzeltmeleri yapılmış SPT "N" değeri (N_{1-60}) ile deprem süresi için düzeltilmiş uniform tekrarlı sismik yükün (CSR) karşılaştırılması ile elde edilmiştir. Şekil 4'de gösterildiği gibi bağıntıda değişkenler N_{1-60} değeri ile sıvılaştırmayı başlatabilecek sarsıntı süresi düzeltmesi uygulanmış minimum tekrarlı yük (CSR_N) ile ince daneli ($\leq 0.074\text{mm}$) malzeme yüzdesi olarak seçilmiştir.



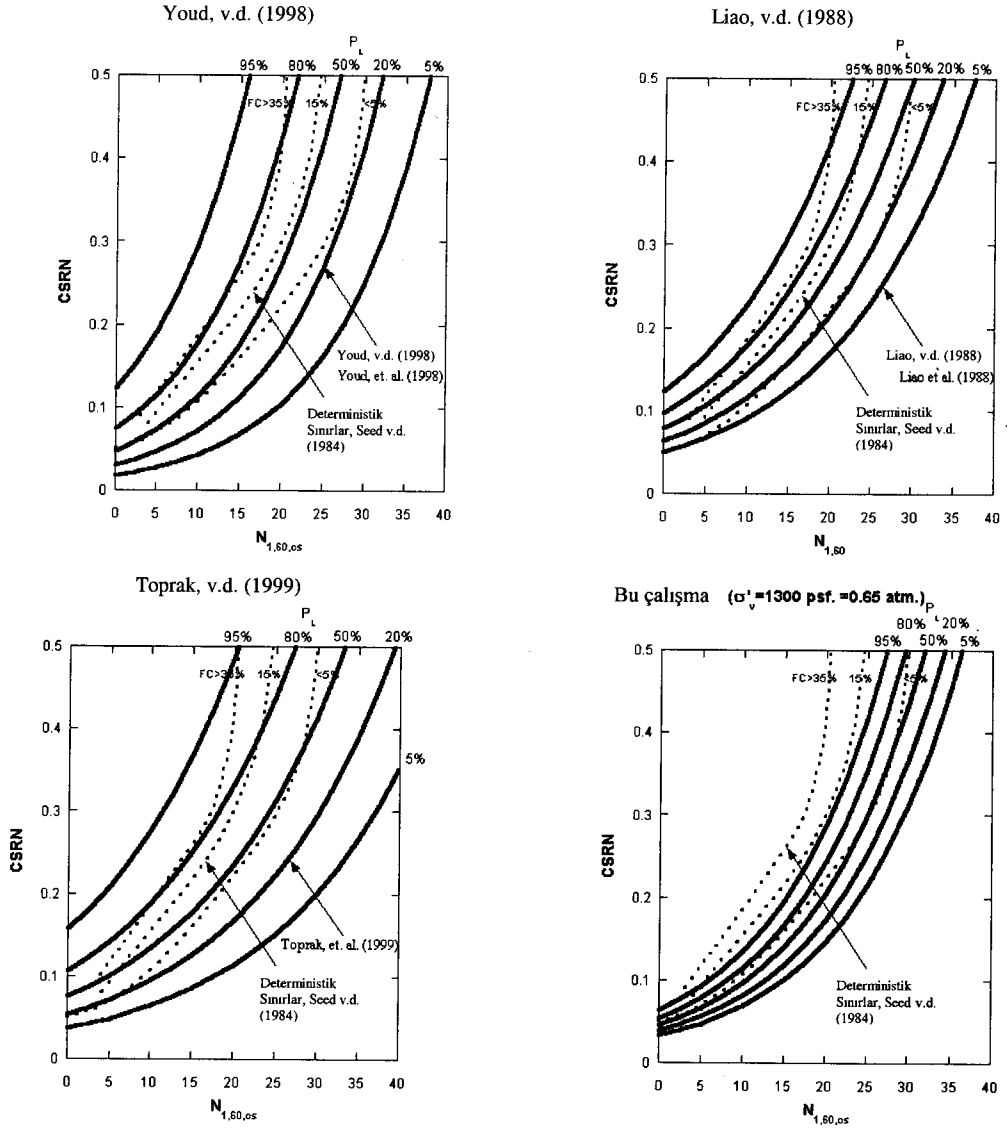
Şekil 4. Değişken ince dane oranı ve 7.5 tan büyük deprem moment büyüklük değerleri için eşdeğer üniform tekrarlı gerilme oranı (CSR_N) ile SPT $N_{1,60}$ vuruş sayısı arasındaki bağıntı. Düşük tekrarlı gerilme oranı değerleri için NCEER çalışma grubunun önerdiği düzeltme eklenmiştir.

Mühendislik uygulamalarında sıkça kullanılsa da bu bağıntı 1984 sonrası meydana gelmiş depremlerden elde edilmiş arazi inceleme sonuçlarından ve yeni teorik çalışmalardan öğrendiklerimizi içermemesi bakımından eskimiştir.

Özellikle bu bağıntının geliştirildiği yıllarda, son yıllarda deprem tasarım hesaplamalarında kullanılmaya başlanan yüksek şiddetli sarsıntı değerlerinde ($CSR_N > 0.25$) çok az sayıda vaka örneği bulunmaktaydı. Ayrıca bağıntı mühendislik kanısı kullanılarak geliştirildiği için sivilaşma olasılığı hakkında bir bilgi vermemektedir.

Buna benzer çalışmalar, olasılıksal modeller kullanılarak Liao ve diğerleri (1988, 1998) ve yakınlarda Youd ve Noble (1997) ve Toprak ve diğerleri (1999) tarafından yapılmıştır. Şekil 5(a) dan (c) ye kadar bu çalışmaların sonuçları sivilaşma olasılık eğrileri olarak gösterilmiştir. Yine aynı şekillerde Şekil 4'te gösterilen Seed ve diğerlerinin deterministik sivilaşma sınır eğrileri kesik çizgilerle karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir. Her şekilde sivilaşma % 5, % 20, % 50, % 80 ve % 95 olasılık eğrileri gösterilmiştir.

Liao ve diğerlerinin çalışmalarında kullandığı deprem sonrası arazi davranış örnekleri veritabanı Seed ve diğerlerinin (1984) veritabanına kıyasla sayıca fazladır, ancak bu fazlalık iyi çalışılmamış örneklerin dahil edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bağıntı, maksimum olabilirlik yöntemi ile geliştirilmiştir. Olasılık fonksiyonun geliştiriliş şekli, farklı belirsizlik kaynaklarının temsil edilmesine olanak vermemekte, dolayısı ile fonksiyonun sonuç belirsizliği fazlaca olmaktadır. Bu durum düşük sivilaşma olasılığının olduğu durumlar için aşırı tutucu tahminler yaratmaktadır. Diğer bir eksiklik ise, Liao ve arkadaşlarının ince daneli malzeme (< 0.074 mm) muhtevasının sivilaşma direncine kanıtlanan etkisini teyit edememeleridir. Sivilaşma direnci siltli ve killi malzeme muhtevasının bir fonksiyonu olarak modellenmeye çalışılmış fakat regresyon analiz sonuçları bu etkiyi reddetmiştir. Dolayısıyla sonuç bağıntısı sadece temiz kumlar ($FC < 12$ % için) geliştirilmiştir.



Şekil 5. Sıvılaşma tetiklenmesini belirleyen modeller arasında doğrudan karşılaştırma

Youd ve Noble tarafından yürütülen çalışmada kullanılan veri tabanı Seed ve diğerlerinin kullandığı veri tabanına ek olarak, 1984 sonrası ve az da olsa öncesi depremlerden arazi davranış hikayelerini de içermektedir. Bu veri tabanında Liao ve diğerlerinin kullandığı güvenilirliği tartışılır örnekler yer almamıştır. Uygulanan temel yöntem “maksimum olabilirlik yöntemi”, aynı kalmış ve dolayısıyla sonuç olasılıksal eğrileri Şekil 5’de gösterildiği üzere düşük sıvılaşma riski olan araziler için aşırı tutucu

olarak belirlenmiştir. İnce daneli malzemelerin sıvılaşma direncine etkisi tahmini olarak uygulanmış, regresyon çalışmasına dahil edilmemiştir.

Toprak ve diğerlerinin kullandığı veri tabanı Youd ve Noble veri tabanına benzer olup uygulanan metodun aynı olması Youd ve Noble için geçerli olan sınırlamaların bu çalışma içinde geçerli olması sonucunu doğurmuştur. Sarsıntı süre (depremin büyüklüğü ile bağıntılı) düzeltilmesi ve ince daneli malzeme muhtevasının etkisi tahmini olarak uygulanmış, regresyon çalışmasına dahil edilmemiştir.

SPT Sonuçlarına Dayalı Yeni Bağıntı Önerisi

Çalışmanın bu kısmı yeni geliştirilen sıvılaşma bağıntısının (Çetin ve diğerleri, 2000, Seed ve diğerleri 2001) sunumuna ayrılmıştır. Bu yeni bağıntılar daha önceki mevcut birçok çelişkili konuyu ortadan kaldırmış ve benzer çalışmalara kıyasla sıvılaşma tahminlerinde çok daha az bir belirsizlikle sonucu tahmin etmiştir. Şekil 5 (d) bu yeni çalışmanın % 5, % 20, % 50, % 80 ve % 95 sıvılaşma olasılık eşeğrileri gösterilmiştir. Kıyaslama yapılabilmesi için Şekil 5 (a) – (b) ve (c)’de kullanılan eksen ölçekleri kullanılmıştır. Bu şekilden anlaşılabileceği gibi, artık sıvılaşabilirlik tahminleri daha keskin yapılabilecektir. Buna ek olarak artık en önemli belirsizlik kaynakları sıvılaşma modelinin kendisi değil kullanılacak $N_{1,60}$ değeri ile CSR değerlerinin belirlenmesi olacaktır.

Bu yeni çalışmanın diğer çalışmalardan temel farkı şöyle özetlenebilir: 1) Genişletilmiş bir deprem sonrası arazi davranış örnekleri veri tabanının oluşturulması, 2) SPT verisini etkileyecek faktörlerin anlaşılmasına yönelik yeni bilgilerin kullanılması, 3) Araziye özel dinamik zemin davranışının anlaşılmasına yönelik yeni bilgi ve yöntemleri kullanılması (örneğin deprem fay kırılma yönü, dinamik arazi davranış analizleri, vb.), 4) Tekrarlı arazi kayma gerilme oranının bulunmasında geliştirilmiş yeni yöntemlerin kullanılması, 5) Veri kalitesine etkiyen faktörlerin, belirsizliklerinin toplanmasına dayanan olasılıksal tabanlı bir veri kalitesi belirleme yönteminin geliştirilmesi (bu yöntemle hesaplanan veri kalite değerine göre iyi çalışılmamış belirsiz örneklerin veri tabanından çıkarılması), 6) Baye’in parametre güncelleştirme yönteminin uygulanması. Bu yöntem (a) sıvılaşma problemini tanımlayan daha çok sayıda değişkenin kullanılmasına imkan verdiği gibi (b) değişik belirsizlik kaynaklarının modellenmesine de olanak tanımıştır.

Sonuç ürünü sismik arazi sıvılaşma tahminlerindeki belirsizliğin büyük bir kısmını ortadan kaldırdığı gibi (1) deprem şiddetiyle bağıntılı süre düzeltme faktörü (2) ince daneli malzemenin muhtevasının sıvılaşma direncine etkisi ve (3) kayma direncinin efektif gerilmeyle olan doğrusal olmayan bağıntısı gibi bazı tartışmalı konuları da açıklığa kavuşturmuştur.

Bu çalışmaların başlangıcında, mevcut veri tabanları incelenmiştir. Buna yeni sıvılaşma arazi örnekleri eklenmiştir. Sonuç olarak yaklaşık 450 sıvılaşma ve sıvılaşmama arazi örnekleri detaylı olarak derlenmiştir. Bu örneklerin kalitesi geliştirilen bir sistemle tarafsız olarak sorgulanmış ve kalite standartlarını sağlamayan örnekler veri tabanından çıkarılmıştır. Sonuç istenen kalite standartları sağlayan 201 yüksek veri kaliteli örneğin bu bağıntının oluşturulmasında kullanımıdır (Çetin ve diğerleri, 2000).

Önceki çalışmalara kıyasla önemli bir ilerleme, maksimum yatay yer ivmesinin hesaplamasında olmuştur. Bu konunun detayları Çetin (2000)'de sunulmuştur. Geliştirilen noktalar (a) fay atım yönünün etkisi, (b) arazi özelliklerinin davranışa etkisi, (c) geliştirilmiş sönümlenme bağıntıları, (d) yeni depremlerden elde edilen kuvvetli yer hareket kayıtları, konularında yeni gelişmelerin uygulanmasından kaynaklanmıştır. Bu çalışmada maksimum yatay yer ivmesi (a_{max}) kaydedilen iki ortogonal yatay ivmenin geometrik ortalaması olarak alınmıştır. Kayıtların yeterli olduğu durumlarda genel sönümlenme bağıntıları depreme özel kayıtlarla geliştirilmiş ve belirsizlikler bu sayede en aza indirgenmiştir. Araziye yakın kayıtların mevcut olduğu durumlarda; araziye özel dinamik davranış analizi yapılmıştır. Her iki durum da da yöresel arazi etkileri gözönüne alınmıştır.

Diğer önemli gelişme tekrarlı kayma gerilme oranının hesaplanmasında kaydedilmiştir. Önceki çalışmalar tekrarlı kayma gerilmesinin hesaplanmasında Seed ve Idriss (1971)'in geliştirdiği "basitleştirilmiş" yöntemi kullanmışlardır. Bu yöntemle göre:

$$CSR_{maks} = \frac{a_{maks}}{g} \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d \quad (1)$$

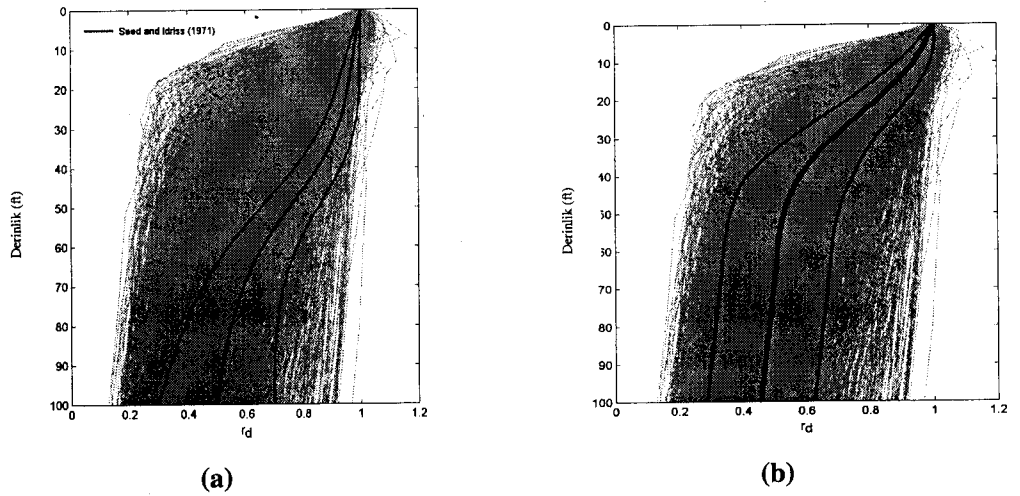
a_{max} : maksimum yatay yer ivmesi

g : yeryüzü ivmesi

- σ_v : toplam düşey gerilme
 σ'_v : yatay düşey gerilme
 r_d : doğrusal olmayan kütle kayma katsayısı

Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilmiş r_d değerleri Şekil 6 (a)'da gösterilmiştir. Bu değerler Seed ve diğerleri (1984); Liao ve diğerleri (1988, 1998) ve Youd ve Noble (1997) ve Toprak ve diğerleri (1999)'nin çalışmalarında kullanılmıştır.

Seed ve Idriss (1971)



Şekil 6. Arazi koşulları ile yer hareketi bileşikleri üzerinde yapılan 2153 sismik arazi davranış analiz sonuçlarından elde edilen r_d eğrileri. Kalın eğriler (a) Seed ve Idriss (1971) tarafından önceden yapılan önermeler, ve (b) 2153 analiz sonucunun ortalama ve ± 1 standard sapma değerleri (Çetin ve Seed, 2000)

r_d değerinin birçok zemin ve deprem kayıt özelliklerine doğrusal olmayan bağımlılığı Çetin ve Seed (2000) in geliştirilmiş r_d bağıntılarına ilham vermiştir. Şekil 6 (a) ve 6 (b)'de görülen çok sayıda açık gri çizgiler 2153 sismik arazi davranış analiz sonuçlarını göstermektedir. Bu analizler sırasında değişik arazi zemin modelleri ile çeşitli yer hareket kayıtları kullanılarak genel dinamik zemin davranış incelenmiştir. Ortalama ve ± 1 standart sapma değerleri Şekil 6 (b)'de koyu çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 6 (b)'de görüldüğü üzere, Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen r_d değerleri belirsizliği gerçekçi olmayan dar bir aralıkta tanımlamış ve olması gerektiğinden daha yüksek r_d değerleri

(özellikle 3 – 15 m derinlikleri arasında) önermiştir. Maalesef sınılaşabilir zemin tabakaları yine bu sığ derinliklerde sıkça rastlanmaktadır. Dolayısı ile Seed ve Idriss (1971) r_d değerleri kullanılarak geliştirilmiş sınılaşma bağıntılarının güvenilirliği kullanılan r_d değerlerinin yüksek eğilimli olmaları sebebiyle zedelenmiştir.

Çetin ve Seed (2000, 2001) r_d değerinin (1) derinliğe, (2) deprem büyüklüğüne, (3) sarsıntı şiddetine, (4) arazi rijitliğine bağlı belirlenmesinde Denklem 2’de özetlenen yeni ampirik bağıntıyı önermiştir. Şekil 7’de 2153 arazi davranış analizi sonuçları değişik deprem şiddeti, sarsıntı şiddeti, zemin stiffness değerlerine göre 12 alt gruba ayrılmıştır. Yine bu şekillerde analiz sonuçları (açık gri çizgiler) ile Denklem 2’de verilen ampirik bağıntı kullanılarak hesaplanan r_d ortalama (ve ± 1 standart sapma r_d değerleri (koyu eğriler) verilmiştir. Bu alt gruplar farklı maksimum yer ivmesi (a_{max}), arazi rijitliği ($V_{s,40ft}$) deprem büyüklüğü ve derinlik değerleri için verilmiştir. ($V_{s,40ft}$ üst 40 feet’teki (=12 m.) zemin ortalama kayma dalga hızının feet/saniye biriminden ifadesidir). Hem Denklem 2 hem de Şekil 7; r_d değerlerinin bulunmasında kullanılabilir.

$d < 65 \text{ ft}$

$$r_d(d, M_w, a_{max}, V_{s,40'}^*) = \frac{\left[1 + \frac{-23.013 - 2.949 \cdot a_{max} + 0.999 \cdot M_w + 0.016 \cdot V_{s,40'}^*}{16.258 + 0.201 \cdot e^{0.104 \cdot (-d + 0.0785 \cdot V_{s,40'}^* + 24.888)}} \right]}{\left[1 + \frac{-23.013 - 2.949 \cdot a_{max} + 0.999 \cdot M_w + 0.016 \cdot V_{s,40'}^*}{16.258 + 0.201 \cdot e^{0.104 \cdot (0.0785 \cdot V_{s,40'}^* + 24.888)}} \right]} \pm \sigma_{\epsilon_{r_d}} \quad (2)$$

$d > 65 \text{ ft}$

$$r_d(d, M_w, a_{max}, V_{s,40'}^*) = \frac{\left[1 + \frac{-23.013 - 2.949 \cdot a_{max} + 0.999 \cdot M_w + 0.016 \cdot V_{s,40'}^*}{16.258 + 0.201 \cdot e^{0.104 \cdot (-65 + 0.0785 \cdot V_{s,40'}^* + 24.888)}} \right]}{\left[1 + \frac{-23.013 - 2.949 \cdot a_{max} + 0.999 \cdot M_w + 0.016 \cdot V_{s,40'}^*}{16.258 + 0.201 \cdot e^{0.104 \cdot (0.0785 \cdot V_{s,40'}^* + 24.888)}} \right]} - 0.0014 \cdot (d - 65) \pm \sigma_{\epsilon_{r_d}}$$

$d < 40 \text{ ft}$

$d \geq 40 \text{ ft}$

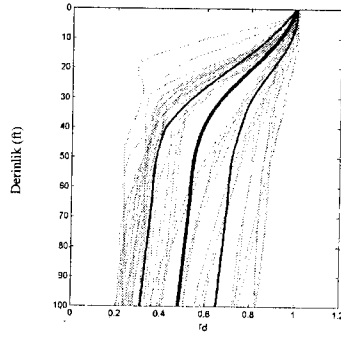
$$\sigma_{\epsilon_{r_d}}(d) = d^{0.850} \cdot 0.0072$$

$$\sigma_{\epsilon_{r_d}}(d) = 40^{0.850} \cdot 0.0072$$

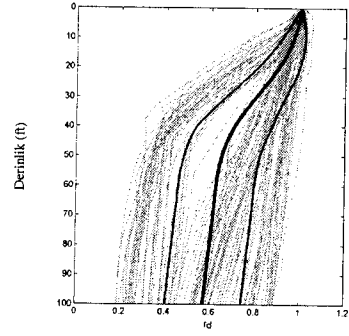
Arazi CSR (ve r_d) değerlerinin özellikle yumuşak ve sert tabaka sınırlarında ani sıçramalar ya da düzensiz değişimler gösterebileceği unutulmamalıdır. Ayrıca CSR değerleri zemin ve kullanılan kuvvetli yer hareketi (KYH) arasındaki etkileşime bağlı olduğu için bu değerler her KYH için farklı olabilir. Bu sebeple mümkün olduğu durumlarda herhangi bir zemin tabakası için CSR değeri araziye ve KYH'ne özel sismik arazi davranış analizleri ile bulunmalıdır. Önerilen yeni sınıflama bağıntısının geliştirilmesinde CSR hesaplamalarında hem önerilen yeni r_d değerleri hem de arazi ve sarsıntıya özel sismik davranış analizleri kullanıldığından, bu bağıntılarda istatistiksel olarak bir sapma bulunmamaktadır. Bu yeni bağıntılarda, yerinde tekrarlı gerilme oranı "uniform'a denk CSR" olarak tanımlanan ve maksimum değer % 65'ine eşit olan değer alınmıştır.

$$CSR_{\text{denk}} = (0.65) \quad CSR_{\text{maks.}} \quad (3)$$

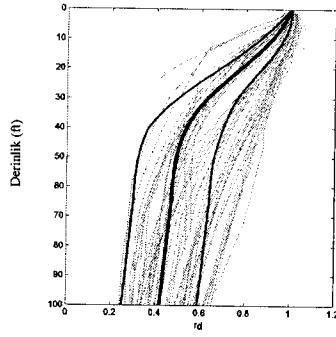
Yerinde CSR_{denk} değeri (a) yeterli zemin verisinin bulunduğu ve (b) uygun kyh kaydının yakındaki istasyonlardaki kayıtlardan geliştirilebileceği durumlarda denk doğrusal yöntem kullanılarak (Shake 90; Idriss ve Sun, 1992) hesaplanmıştır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda CSR_{denk} değeri a_{max} ve 1 ve 2 No.lu denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca CSR_{denk} 'in hesaplamasında olası belirsizlikler istatistik yöntemleri kullanılarak modellenmiştir (Çetin ve diğerleri, 2001).



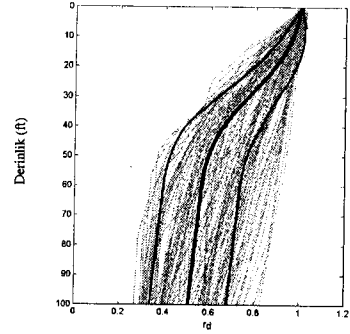
(a) $M_w \geq 6.8$, $a_{\max} \leq 0.12g$, $V \leq 525$ fps



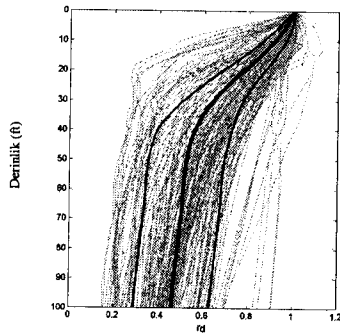
(b) $M_w \geq 6.8$, $a_{\max} \leq 0.12g$, $V > 525$ fps



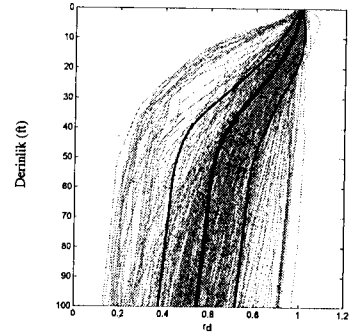
(c) $M_w < 6.8$, $a_{\max} \leq 0.12g$, $V \leq 525$ fps



(d) $M_w < 6.8$, $a_{\max} \leq 0.12g$, $V > 525$ fps

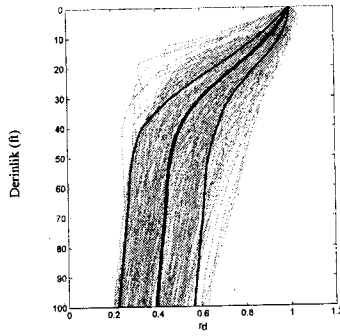


(e) $M_w \geq 6.8$, $0.12 < a_{\max} \leq 0.23g$, $V \leq 525$ fps

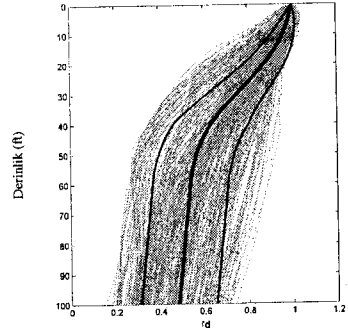


(f) $M_w \geq 6.8$, $0.12 < a_{\max} \leq 0.23g$, $V > 525$ fps

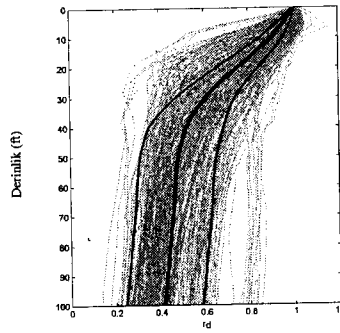
Şekil 7. 12 alt grup için r_d sonuçları ($a_{\max}$, V_s , M_w için seçilen alt gruplara göre). Her grubun V_s , M_w , $a_{\max}$ ortalama değerlerine dayalı yapılan tahminler üzerinde gösterilmiştir. (± 1 standard sapma değerleri de verilmiştir.)



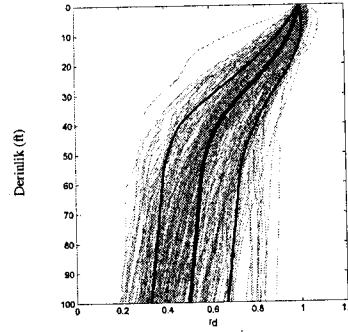
(g) $M_w < 6.8$, $0.12 < a_{max} \leq 0.23g$, $V \leq 525$ fps



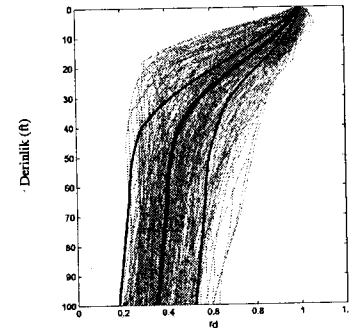
(h) $M_w < 6.8$, $0.12 < a_{max} \leq 0.23g$, $V > 525$ fps



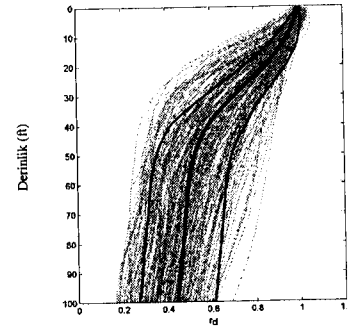
(i) $M_w \geq 6.8$, $0.23 < a_{max}$, $V \leq 525$ fps



(j) $M_w \geq 6.8$, $0.23 < a_{max}$, $V > 525$ fps



(k) $M_w < 6.8$, $0.23 < a_{max}$, $V \leq 525$ fps



(l) $M_w < 6.8$, $0.23 < a_{max}$, $V > 525$ fps

Şekil 7. Devam

Her örnek için, kritik tabaka sıvılaşmaya en uygun tabaka olarak tanımlanmıştır. Mümkün olan durumlarda kaynayan zemin yüzey örneklerinden elde edilen bilgiler kullanılmıştır. Ancak bu bilgilerin kullanılabilirliği sıvılaşan malzemenin yüzeye taşınırken

diğer katmandaki malzemelerle karışması ve de segregasyonu gibi sebeplerden dolayı kısıtlanmıştır.

Veri tabanındaki her arazi davranış örneği için temsili $N_{1,60}$ değeri seçiminde özel bir yöntem uygulanmıştır. Kritik tabakada kaydedilen N değeri (bir veya birden fazla olabilir) öncelikle düşey gerilme, enerji, ekipman ve prosedür farklılıkları için düzeltilmiş ve $N_{1,60}$ değerine karşılık derinlik olarak çizilmiştir. Bir çok durumda kritik tabaka içinde, $N_{1,60}$ değerlerinin bariz şekilde düşük olduğu bir alt tabaka mevcuttur. Bu durumlarda zemin tabakasının tamamı değil belirlenen alt tabaka kritik tabaka olarak seçilmiştir. Bazı durumlarda tabakayı açıkça temsil etmediği görülen, anormal olarak algılanan yüksek $N_{1,60}$ değerleri elenmiştir. Benzer olarak, ancak daha az sıklıkta, kritik tabakayı temsil etmeyen ve lokal olarak yüksek miktarda ince daneli malzeme varlığı ile açıklanabilir düşük $N_{1,60}$ değerleri de elenmiştir. Geriye kalan düzeltilmiş $N_{1,60}$ değerleri kullanılarak kritik tabakayı temsil edecek bir ortalama $N_{1,60}$ değeri ile standart sapma değeri hesaplanmıştır.

Kritik tabakada tek bir $N_{1,60}$ değerinin olduğu durumlarda bu değer ortalama $N_{1,60}$ değeri olarak kullanılmış varyasyon katsayısı, belirsizliğin fazla olduğu N örneklerinde rastlanan tipik değer olan % 20 olarak seçilmiştir.

Belirtildiği üzere tüm N değerleri düşey gerilme durumları için düzeltilmiş ve 1 atm.lik efektif düşey gerilme altında ölçüleceği varsayılan N_1 değerine Denklem 4 kullanılarak çevrilmiştir.

$$N_1 = N \cdot C_N \quad (4)$$

Burada C_N (Liao ve Whitman, 1986) şu şekilde hesaplanır:

$$C_N = \left(\frac{1}{\sigma_v} \right)^{0.5} \quad (5)$$

σ_v , arazide kritik tabakanın orta noktasındaki mevcut düşey efektif gerilmenin atmosfer biriminden değeridir.

Elde edilen N_1 değeri daha sonra farklı enerji, ekipman ve prosedür uygulamaları için Denklem 6'da özetlendiği şekilde düzeltilmelidir:

$$N_{1,60} = N_1 \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E \quad (6)$$

Burada

- C_R : kısa tij düzeltmesi
- C_S : standart olmayan numune alıcı düzeltmesi
- C_B : sondaj çap düzeltmesi
- C_E : tokmak enerji verim düzeltmesi.

C_R , C_S , C_B ve C_E düzeltme katsayıları, NCEER çalışma grup önerilerine çok benzese de birkaç noktada ayrılık gösterir.

Tablo 1, bu çalışmada kullanılan düzeltme katsayılarını özetlemektedir. Kısa tij düzeltmesi (C_R) için NCEER çalışma grubunun basamaklı değer önerilerine kıyasla doğrusal olmayan devamlı bir fonksiyon da kullanılabilir. Bu fonksiyon değerleri NCEER basamaklı önerileri ile basamak orta noktasında tam olarak uyuşmalıdır.

C_S düzeltme katsayısı standart olmayan SPT numune alıcısının kullanıldığı durumlarda, ki bu duruma sıklıkla rastlanmaktadır, uygulanmıştır. Daha açık bir ifade ile SPT numune alıcısında membran öngörülüyorsa ve sondaj sırasında numune alıcının membran boşluğuna membran yerleştirilmediyse bu düzeltme gerekmektedir. Bu boşluk numune alıcı çapını artırmakta dolayısı ile dar bir açıklıktan geçen malzemenin daha geniş açıklıklı içi havzaya ulaşmasıyla gevşeyerek numune alıcı ile arasındaki sürtünmenin azalmasına bu sebeple de daha düşük standart penetrasyon değerinin kaydedilmesine neden olmaktadır (Seed ve diğerleri, 1984 ve 1985). SPT değerindeki düşme gevşek malzemeler ($N_1 < 10$) için % 10, sıkı malzemeler için ise % 30 seviyelerinde olmakta ve C_S katsayısı 1.1 ile 1.3 arasında değişmektedir.

Tablo 1 SPT düzeltmeleri

C_R	Tij uzunluğu düzeltme faktörü																
	3-4 m	0.75															
	4-6 m	0.85															
	6-10 m	0.95															
	10-30 m	1.00															
	> 30 m	< 1.00															
C_S	Numune alıcıda membran boşluğunun öngörüldüğü ancak membranın kullanılmadığı durumlar için düzeltme:																
	$C_S = 1 + \frac{N_{1,60}}{10}$																
	$1.10 \leq C_S \leq 1.30$ gibi sınırlar içinde																
C_B	Sondaj deliği çapı	Düzeltilme (C_B)															
	65 to 115 mm	1.00															
	150 mm	1.05															
	200 mm	1.15															
C_E	E_R (Enerji oranı) SPT çekicinden numune alıcıya iletilen enerjinin yüzde cinsinden oranı - En iyi yaklaşım her darbeye iletilen enerjiyi doğrudan ölçmektir. Mümkün olduğu yerde doğrudan ölçümler yapılmıştır. - Bir sonraki yaklaşımda önceden doğrudan enerji ölçümlerine göre kalibre edilmiş bir çekiç ve mekanik çekiç kaldırma sistemi kullanılmaktadır. - Aksi halde E_R tahmin edilmeli. İyi arazi uygulaması, ekipman ve izleme koşullarında aşağıdaki ölçütler kullanılabilir: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ekipman</th><th>Tahmini E_R (Not 3'e bakın)</th><th>C_E (Not 3'e bakın)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-Safety Şahmerdan¹</td><td>0.4 - 0.75</td><td>0.7 - 1.2</td></tr> <tr> <td>-Donut Şahmerdan¹</td><td>0.3 - 0.6</td><td>0.5 - 1.0</td></tr> <tr> <td>-Donut Şahmerdan²</td><td>0.7 - 0.85</td><td>1.1 - 1.4</td></tr> <tr> <td>-Automatic-Trip Şahmerdan (Donut veya Safety)</td><td>0.5 - 0.8</td><td>0.8 - 1.4</td></tr> </tbody> </table> - Daha düşük kalitede arazi çalışması(düzensiz çekiç düşme mesafesi, çekicinin çubuk üzerinde aşırı sürtünmesi, kedi kafasına bağlı ıslak veya yıpranmış halat v.b.) olduğu durumlarda ayarlamalar yapılmalıdır.		Ekipman	Tahmini E_R (Not 3'e bakın)	C_E (Not 3'e bakın)	-Safety Şahmerdan ¹	0.4 - 0.75	0.7 - 1.2	-Donut Şahmerdan ¹	0.3 - 0.6	0.5 - 1.0	-Donut Şahmerdan ²	0.7 - 0.85	1.1 - 1.4	-Automatic-Trip Şahmerdan (Donut veya Safety)	0.5 - 0.8	0.8 - 1.4
Ekipman	Tahmini E_R (Not 3'e bakın)	C_E (Not 3'e bakın)															
-Safety Şahmerdan ¹	0.4 - 0.75	0.7 - 1.2															
-Donut Şahmerdan ¹	0.3 - 0.6	0.5 - 1.0															
-Donut Şahmerdan ²	0.7 - 0.85	1.1 - 1.4															
-Automatic-Trip Şahmerdan (Donut veya Safety)	0.5 - 0.8	0.8 - 1.4															

- Not:
- (1) Halatlı makara sistemi, halat, makara etrafında iki tur atar, normal düşürme (Japonların "atma" yöntemi değil), halat ıslak veya aşırı yıpranmış değil.
 - (2) Özel Japon "atma" düşürmeli yöntemi, halatlı makara sistemi. (Not 4'e bakınız.)
 - (3) Gösterilen aralık için, aralığın üçte birinin ortasına düşen değerler diğerlerinden daha yaygındır, fakat eğer ki ekipman ve/veya izleme metodları iyi değilse E_R ve C_E gösterilen aralıktan daha fazla değişebilir.
 - (4) Yaygın Japon SPT uygulaması, delik çapı ve SPT vuruş sıklığı için ilave düzeltmeler gerektirir. Tipik Japon halatlı makara sistemi, donut şahmerdanı ve Japon "atma" düşürme yöntemi için toplam $C_B \times C_E$ çarpımı 1.0 ile 1.3 değerleri arasındadır.

Sondaj ap düzeltme katsayısı, C_B NCEER alışma grubu onerilerinde olduğu gibi kullanılmıştır.

Tokmak enerji düzeltme katsayısı, çoğu durumlarda oldukça önemli farklılıklar göstermektedir. NCEER alışma grup nerileri paralelinde kullanılmış, ancak tokmak sistemi özel enerji verisinin olduğu durumlarda bu değerler tercih edilmiştir. Daha iyi verilerin olduğu bu durumlar, doğrudan SPT numune alıcısına aktarılan enerjinin lldğu, ya da tokmak kaldırma ve bırakma sisteminin belli olduğu ya da kalibre edildiği durumlar olarak özetlenebilir.

Baye, parametre yenileme analizi BUMP (Geyskens ve diğerleri, 1993) programı kullanılarak yapılmış ve her arazi deprem davranış örnekleri için hesaplanan CSR ve $N_{1,60}$ değerleri noktasal değerler olarak değil bir istatistiksel dağılım olarak modellenerek bu değişkenlerdeki belirsizliğin de modellenmesi sağlanmıştır. Bu değişkenlere ek olarak, silt ve kil muhtevası, deprem şiddeti, düşey efektif gerilme de modelin diğer değişkenleri olarak seçilmiştir. Analiz detayları etin ve diğerleri, 2000 de sunulmuştur. Sonuçlar şekil 5 (d), şekil 7'den 13'e gösterilmiş ve ayrıca 6'dan – 12'ye kadar olan denklemlerde özetlenmiştir.

şekil 9 (b), önerilen tekrarlı yük sayısı düzletilmiş, denk üniform tekrarlı kayma gerilme oranına karşılık, ince daneli malzem için düzletilmiş penetrasyon direncini ($N_{1,60,CS}$) göstermektedir. Bu şekil düşey efektif gerilmenin 0.65 atm olduğu durumlar için verilmiştir. Grlen eř olasılık eğrileri, % 5, % 20, % 50, % 80 ve % 95 sıvılaşma riskine karşılık gelmektedir. Tüm arazi örnekleri için temsili ortalama $N_{1,60}$ ve CSRN değerleri gösterilmiş, yine bu değerler tekrar sayısı ve ince daneli malzeme etkileri için dzletilmiştir. Ayrıca kesik çizgilerle Seed ve diğerlerinin (1984) sıvılaşma sınır eğrisi karşılaştırma amacına yönelik olarak sunulmuştur. Bu şekilde grldğu üzere Seed ve diğerlerinin (1984) temiz kumlar ($FC < 5\%$) için önerdiği eğri yaklaşık % 50 sıvılaşma riskine karşılık gelmektedir. Ancak bu karşılaştırmanın yapılması Seed ve diğerlerinin (1984) nerdiği sıvılaşma sınır eğrisinin geliştirmesinde farklı (daha yüksek) r_d değerleri kullanıldığından doğru değildir. Bu yeni bağıntının geliştirilmesi amacına yönelik olarak CSR hesaplamalarında 53 örnek için arazi ve sarsıntıya özel sismik analiz yöntemleri ve geriye kalan 148 örnek için yeni geliştirilen r_d bağıntısı kullanılmıştır. Buna bağıntılı

olarak, yeni bağıntının geliştirilmesinde kullanılmış CSR değerleri Seed ve diğerlerinin (1984) kullandığı değerlerden yaklaşık % 5 ile % 15 arasında daha küçüktür ve bu yüzden birebir bir karşılaştırmanın yapılması uygun değildir.

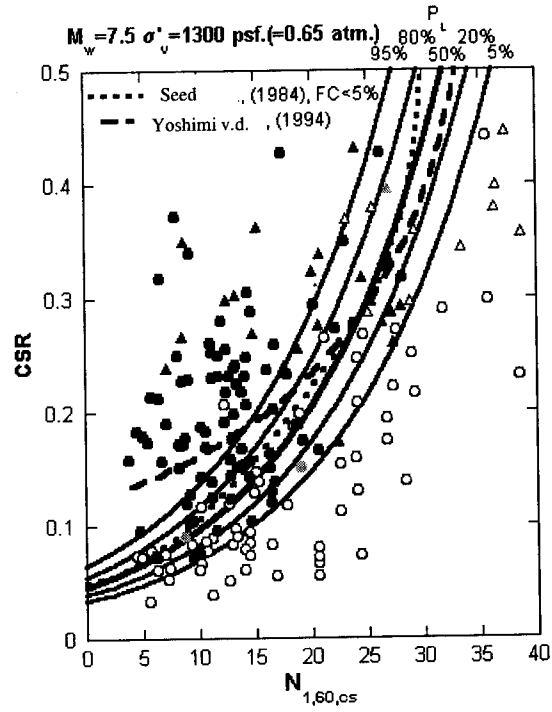
Seed ve diğerlerinin (1984) kullandığı r_d değerleri tutucu (yüksek değerli) olduğundan mühendislik problemlerinde aşırı tutucu çözümler üretmenin dışında fazla sorun yaratmamaktadır. Ancak bu durum probleme özel sismik zemin davranış analizleri kullanılarak CSR değerinin hesaplandığı (barajların analizinde olduğu gibi) durumlarda (araziye özel zemin davranış analizi sonucunda hesaplanan CSR değeri ile Seed ve diğerlerinin (1984) önerdiği sıvılaşma sınır eğrilerine gidildiği durumlar) emniyetsiz tarafta kalan sonuçlar üretmektedir.

Yine Şekil 9 (a)'da gösterildiği üzere, dondurulmuş alüvyon kum örnekleri üzerinde tekrarlı gerilme testleri uygulanarak elde edilmiş sıvılaşma sınır eğrisi sunulmuştur. Bu eğri gevşek zeminlerin laboratuvar ortamındaki erime ve yeniden konsolide edilme aşamaları sırasında sıkışması sonucunda emniyetsiz tarafta kalan öneriler vermektedir. Ancak yeniden konsolidasyon sırasındaki sıkışma sıkı malzemeler için önemli seviyelerde olmadığından yüksek $N_{1,60}$ değerli zeminlerin davranışı için önemli bir veri sunmaktadır. Bu aralıkta önerilen yeni bağıntıyla tam bir uyum gösterdiği görülmektedir.

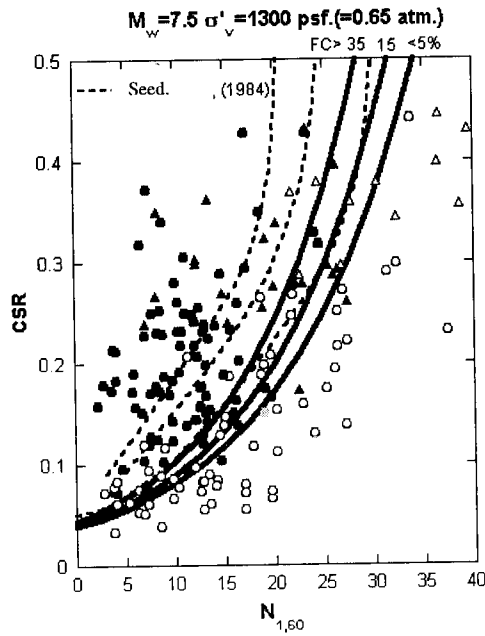
Benzer olarak Şekil 5 (d)'de gösterildiği üzere de diğer olasılıksal bağıntılarla kıyaslandığında yeni sıvılaşma bağıntısı, tahmin belirsizliklerini oldukça azaltmaktadır.

İnce Daneli (Siltli-killi) Malzemeler için Düzeltmeler

Şekil 9 (b)'de düşey efektif gerilmenin 0.65 atm.'e normalize edildiği, değişik ince dane muhtevaları için önerilen ve % 20 sıvılaşma riskine karşılık gelen sıvılaşma sınır eğrileri gösterilmiştir. Bu şekilde x-ekseni olarak temiz kum da ölçüleceği varsayılan $N_{1,60,CS}$ değeri yerine, silt ve killi malzeme miktarı için düzeltme uygulanmamış $N_{1,60}$ değeri seçilmiş, bunun yerine değişik oranlardaki ince daneli malzemeler için farklı sıvılaşma sınır eğrileri önerilmiştir. Yine bu şekilde Seed ve diğerlerince (1984) önerilmiş sınır eğrileri de karşılaştırma amacına yönelik olarak sunulmuştur.



Şekil 9(a) : $M_w=7.5$ ve $\sigma'_v=0.65 \text{ atm.}$ için olasılıksal SPT tabanlı sıvılaşma sınır eğrileri, ve Seed v.d. (1984) tarafından önerilen temiz kumlar için ilişki



Şekil 9(b) : $M_w=7.5$ ve $\sigma'_v=0.65 \text{ atm.}$ için deterministic SPT tabanlı sıvılaşma sınır eğrileri, ince dane düzeltmesi gösterilmiştir.

Önerilen bağıntıların geliştirilme aşamalarında, enerji, prosedür ve düşey gerilme düzeltmeleri uygulanmış N-değerlerine ($N_{1,60}$), ince daneli (siltli killi) malzemelerin hem ölçülen N değerine hem de sıvılaşma direncine etkilerini hesaba katmak ve temiz kum'da ölçüleceği varsayılan değere ($N_{1,60,CS}$) normalize etmek amacıyla yönelik olarak “ince dane-oran” düzeltmesi uygulanmıştır.

$$N_{1,60,CS} = N_{1,60} \cdot C_{ince-dane} \quad (7)$$

Önerilen “ince dane” düzeltmesi de Baye parametre yenileme analiz sonuçlarına dayandırılmıştır. Buna göre ince dane düzeltme katsayısı silt ve daha ince malzeme oranı % 5’den daha az olduğu durumlarda 1’dir, ve maksimum değerine bu oranın % 35 ve daha fazla olduğu durumlarda ulaşır. Şekil 9 (b)’de gösterildiği üzere en yüksek ince dane düzeltmesi $N_{1,60}$ değerinde +6 tokmak / 30cm lik artırım ($FC \geq 35\%$ ve CSR’ın yüksek olduğu durumlarda) sağlamaktadır. Yine bu şekilde vurgulandığı üzere önerilen en yüksek ince dane düzeltmesi, Seed ve diğerlerinin (1984) önerdiği en yüksek değer olan +9.5’den daha küçüktür. Sonuç olarak önerilen $C_{ince-dane}$ düzeltme değeri aşağıda vermiştir:

$$C_{ince-dane} = (1 + 0.004.FC) + 0.05\left(\frac{FC}{N_{1,60}}\right) \quad (8)$$

limit $FC \leq 35\%$

Bu bağıntı da FC, 0.074 mm çaptan daha küçük malzemenin kuru ağırlığının yüzdesel ifadesidir ve de tamsayı olarak kullanılır (örneğin %15 ince dane oranı için, 15 olarak denkleme girilir) ve $N_{1,60}$ ’nin birimi tokmak/30cm’dir.

Deprem Büyüklüğü Bağıntılı Süre Düzeltmesi

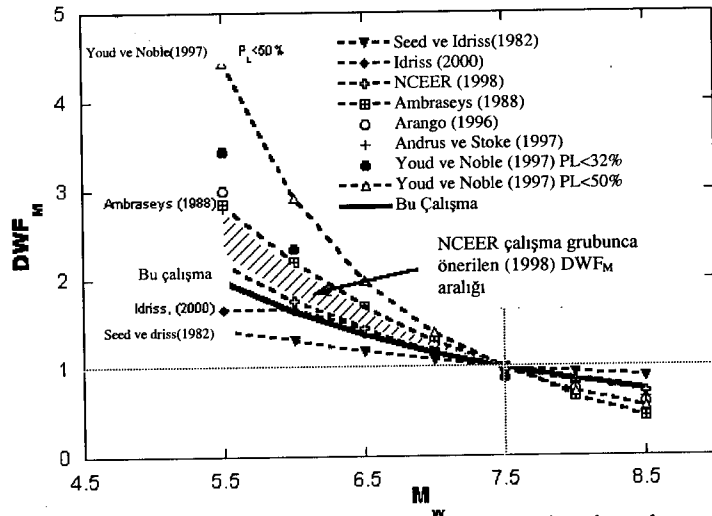
Şekil 9 (a) ve (b)’de sunulan olasılıksal ve deterministik (% 20 sıvılaşma riskine karşılık gelen sınır eğrisi) bağıntıların “denk uniform tekrarlı gerilme oranının” süre (ya da denk tekrar sayısı) farklılıklar için düzeltilmesi (CSR_N) gerekir. Genellikle bu düzeltme CSR’ın 7.5 şiddetindeki bir depremin üreteceği ortalama süre’ye çevrilmesi şeklinde aşağıda verildiği üzere yapılır.

$$CSR_N = CSR_{eq,M=7.5} = CSR_{eq} / DWF_M$$

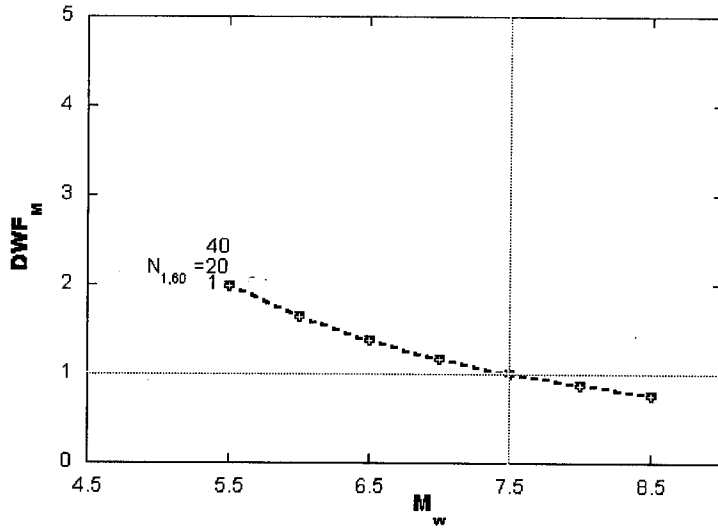
(9)

Süre düzeltme katsayı (DWF_M) değerinin belirlenmesi ciddi tartışmalar yaratmış birçok araştırmacı farklı yöntem (tekrarlı laboratuvar testleri ve/veya arazi davranış örnekleri) sonuçlarını kullanarak önerilerde bulunmuşlardır. Şekil 10.(a) bu önerileri özetlemektedir. Taralı alan NCEER Çalışma Gurubu'nun (NCEER; 1997) önerisini belirtmektedir. Bu çalışmaların konusu kapsamında, "süre" düzeltme katsayısı Baye'in yenileme analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca "süre" düzeltme katsayısının yoğunlukla ($N_{1,60}$ ile bağıntılı) bağıntısı sorgulanmıştır. Şekil 10 (a) ve (b) süre düzeltme katsayısının $N_{1,60}$ değeriyle olan değişimini özetlemektedir. Şekil 10 (b)'de görüldüğü üzere bu değişim göreceli olarak önemsiz bulunmuştur.

Şekil 10 (a) ve (b) de özetlenen süre düzeltme katsayısı NCEER çalışma grubunca önerilen değerlerden bir parça düşük, Idriss (2000)'in önerdiği değerlerden çok az fazladır. Idriss'in önerileri yüksek-kalite tekrarlı basit kesme laboratuvar test sonuçlarına ve kaydedilen kuvvetli yer sarsıntılarında hesaplanan denk tekrar sayısı hesaplamalarına dayanmaktadır. Bu iki çok farklı yöntemle (laboratuvar ile arazi davranış veri tabanı) geliştirilmiş modellerin sonuçlarının benzerliği her iki yöntem sonucunu da destekler niteliktedir.



Şekil 10. Deprem büyüklüğüyle orantılı süre düzeltme katsayısı



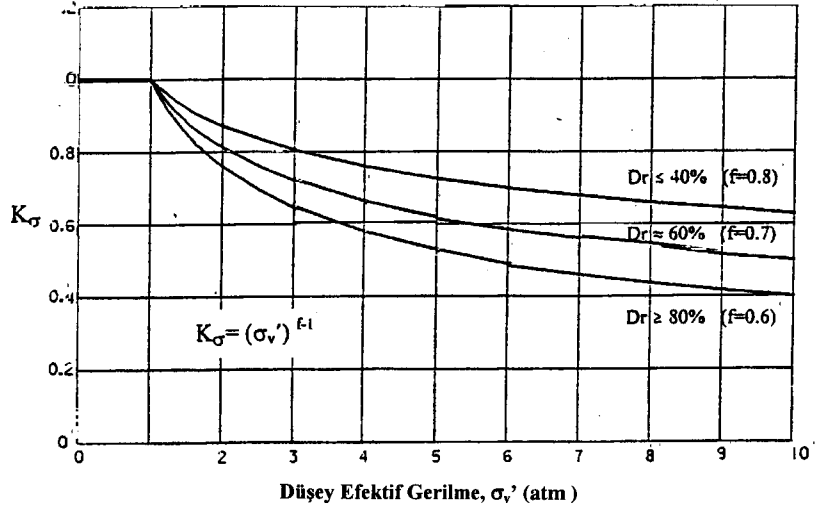
Şekil 10. Devam

Efektif Gerilme Düzeltmesi

Önceki arazi davranış temelli araştırmalarda doğrudan çözümlenememiş diğer bir konu da aynı CSR altında zeminlerin sıvılaşma riskinin artan efektif gerilmelerle artması idi. Bu N değerinin 1 atm. efektif gerilmeye normalizasyonuna (4 No.lu denklem) ek olarak önerilmektedir. Normalize edilmiş sıvılaşma direncinin, efektif gerilmedeki (σ'_v) artışa paralel azalması laboratuvar testleri ile kanıtlanmıştır. Bu davranış “kritik durum” zemin davranış teoremlerine de uygundur. (zeminler efektif gerilme arttıkça da az dilatasyon davranışı gösterir). Şekil 11, NCEER çalışma grubunun sıvılaşma direncini 1 atm’e normalize eden K_σ düzeltme katsayısı ile ilgili önerilerini özetlemektedir.

$$CSR_{siv} = CSR_{siv, 1atm} \cdot K_\sigma \quad (10)$$

Mevcut arazi davranış örnekleri K_σ değeri konusunda çok hassas olmayıp, efektif gerilmelerin 0.3 – 1.3 atm aralığında yoğunlaştığı veri tabanı kullanılarak K_σ değeri Baye’in yenileme kuralı yardımıyla bulunabilir. Bu yeni değerler Şekil 12’te $\sigma'_v = 0.3-1.5$ atm aralığında geçerli olmak üzere verilmiştir.



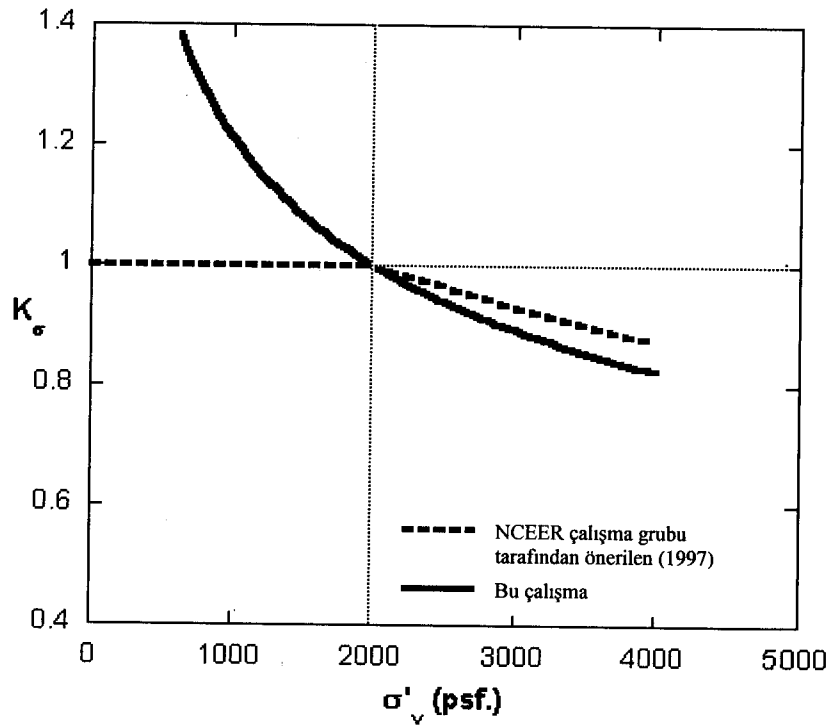
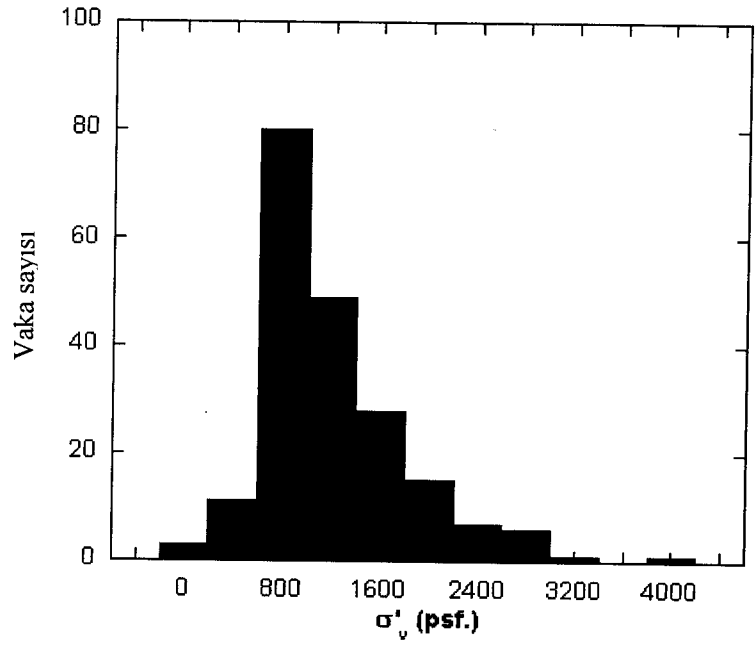
Şekil 11. K_σ önerisi (NCEER, 1997)

Bu yeni değerler Şekil 11'de özetlenen değerler ile iyi bir uyum göstermektedir. K_σ değeri aşağıda verilen denklem kullanılarak bulunabilir.

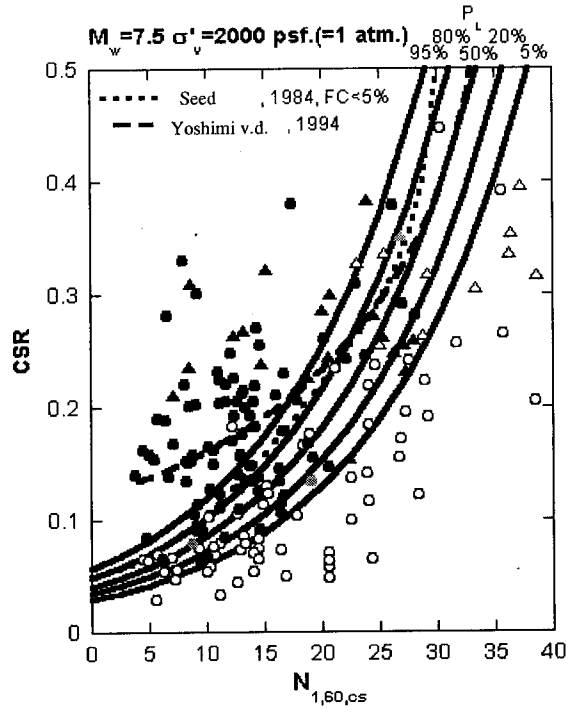
$$K_\sigma = (\sigma_v^1)^{f-1} ; \quad \sigma_v^1 \text{ atmosfer biriminden} \quad (11)$$

Bu denklemde $f = 0.6 - 0.8$ ($N_{1,60,CS}$ değeri 1-40 tokmak/30 cm için) arasında değişmektedir. Bu çalışmalar dahilinde önerilen K_σ değeri 0.3-1.5 atm. aralığında geçerli olduğundan, $\sigma'_v > 2$ atm olduğu durumlar için Şekil 11 kullanılmalıdır.

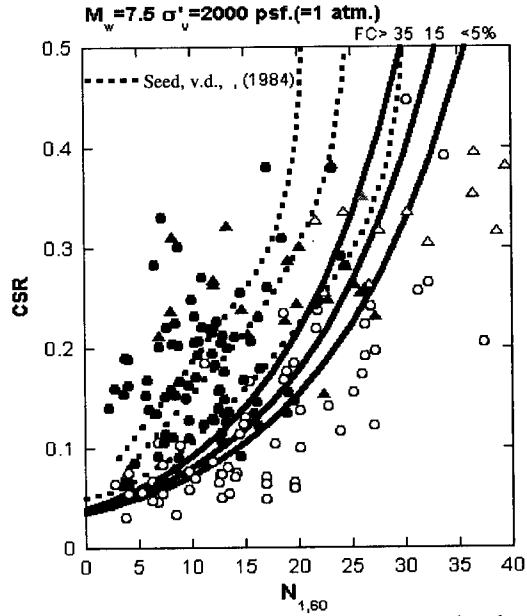
Seed ve diğerlerinin (1984), Liao ve diğerleri (1988,1998), Youd ve Noble (1997), ve Toprak ve diğerleri (1999)'nin önerdiği sıvılaşma sınır eğrileri efektif düşey gerilmenin 1 atm. olduğu sınır eğrilerini temsil etmektedir. Seed ve diğerlerinin önerdiği sıvılaşma sınır eğrileri her ne kadar $\sigma'_v = 1$ atm. için önerilse de bu değere bir normalizasyon yapılmamış sadece arazi davranış örneklerinin sığ derinlikleri temsil ettiği belirtilmiştir. Ancak kullandıkları veri tabanındaki örneklerin σ'_v ortalaması 0.65 atm olup bu değere karşılık gelen sıvılaşma sınır eğrilerinin 1 atm için önerilmesi emniyetsiz sonuçlar vermektedir. Bu durum diğer araştırmacıların çalışmaları için de aynen geçerlidir.



Şekil 12. Çetin, vd. önerdiği K_σ değerleri, ve karşılaştırma için NCEE çalışma grubunca önerilen değerler ($n = 0.7$, $D_R \approx 60\%$ için)



Şekil 13(a) : $M_w=7.5$ ve $\sigma'_v=1.0$ atm. için olasılıksal SPT tabanlı sivilaşma sınır eğrileri, ve Seed v.d. (1984) tarafından önerilen temiz kumlar için ilişki



Şekil 13(b) : $M_w=7.5$ ve $\sigma'_v=1.0$ atm. için deterministik SPT tabanlı sivilaşma sınır eğrileri, ince dane düzeltmesi gösterilmiştir.

Bu sorundan kaçınmak için tüm CSR değerleri Denklem 10 ve 11 kullanılarak $\sigma'_v = 1$ atm'den küçük ya da büyük diye bakılmaksızın, $\sigma'_v = 1$ atm olduğu efektif gerilme durumuna normalize edilmiştir. Sığ derinlikler için K_σ değer limiti : $K_\sigma \leq 1.5$. Şekil 13 (a) ve 13 (b) önerilen yeni bağıntıyı CSR değeri 1atm'e normalize edilmiş ve tüm düzeltmeler uygulanmış haliyle sunmaktadır.

Önerilen bağıntı önceki paragraflarda verildiği gibi parçalı olarak (Denklem 7'den 11'e, Şekil 9'dan 13'e) kullanılabileceği gibi Denklem 12'de sunulduğu gibi bir bütün olarak da kullanılabilir.

$$P_L(N_{1,60}, CSR, M_w, \sigma'_v, FC) = \Phi \left[\frac{\left(N_{1,60} \cdot (1 + 0.004 \cdot FC) - 13.32 \cdot \ln(CSR) - 29.53 \cdot \ln(M_w) - 3.70 \cdot \ln(\sigma'_v) + 0.05 \cdot FC + 44.97 \right)}{2.70} \right] \quad (12)$$

Burada P_L ondalık sayı olarak (0,3 0,4 gibi) sıvılaşma olma olasılığı ve Φ standard kümülatif normal dağılımdır. Denklem 12'de, FC ondalık sayı (5,35 gibi) ve σ'_v psf birimindedir. Bilinen bir sıvılaşma olasılığı için tekrarlı dayanım oranı şu şekilde ifade edilir:

$$CRR(N_{1,60}, M_w, \sigma'_v, FC, P_L) = \exp \left[\frac{\left(N_{1,60} \cdot (1 + 0.004 \cdot FC) - 29.53 \cdot \ln(M_w) - 3.70 \cdot \ln(\sigma'_v) + 0.05 \cdot FC + 44.97 + 2.70 \cdot \Phi^{-1}(P_L) \right)}{13.32} \right] \quad (13)$$

Bu denklemde $\Phi^{-1}(P_L)$ standard kümülatif normal dağılımın tersidir. (ortalama=0 ve standard sapma=1). Microsoft Excel'de bu fonksiyon "NORMINV(P_L ,0,1)" formülü ile elde edilir.

YENİ SPT TABANLI SIVILAŞMA BAĞINTILARININ TAVSİYE EDİLEN KULLANMA YÖNTEMİ

Önerilen yeni olasılıksal bağıntı iki şekilde kullanılabilir. Denklem 12 ve 13’de özetlendiği üzere bir bütün olarak kullanıldığı gibi, alternatif olarak parça parça da kullanılabilir. Bunların yapılabilmesi için ilk aşama N değerinin 4, 5, 6 denklemleri kullanılarak $N_{1,60}$ değerine düzeltilmesidir. Elde edilen $N_{1,60}$ değeri tekrar Denklem 7 ve 8 (ya da Şekil 13) kullanılarak $N_{1,60,CS}$ değerine düzeltilmelidir. Benzer olarak arazi denk uniform tekrarlı gerilme oranı (CSR_{denk}) hesaplanmalı ve deprem şiddetiyle bağıntılı süre düzeltme katsayısı ile (DWF_M) düzeltilmelidir.

$$CSR_{denk, M=7.5} = CSR_{denk} / DWF_M \quad (14)$$

Elde edilen $CSR_{denk, M=7.5}$ değerine Denklem 11’da belirtilen efektif gerilme düzeltilmesi aşağıda verildiği şekliyle uygulanmalıdır.

$$CSR = CSR_{denk, M=7.5 \text{ latm}} = CSR_{denk, M=7.5} / K_\sigma \quad (15)$$

Bu aşamalar sonuçlandığında elde edilen $N_{1,60,CS}$ ve $CSR_{eq, M=7.5 \text{ latm}}$ değerleri Şekil 13’de kullanılarak sıvılaşma riski olasılıksal olarak elde edilebilir.

Deterministik sıvılaşma direncinin bulunması amacına yönelik olarak bir önceki aşamada belirtilen aşamalar (ince-dane düzeltmesi hariç) aynen uygulanmalı ve elde edilen $CSR_{eq, M=7.5 \text{ atm}}$ ve $N_{1,60}$ değerleri Şekil 13 (b)’de kullanılmalıdır. Şekil 13 (b) yeni olasılıksal sıvılaşma sınır eğrilerinde %20 sıvılaşma riski için geliştirilmiş olanına karşılık gelmektedir. Ancak bu eğri $CSR > 0.4$ olduğu aralık için (a) arazi davranış örneklerinin bu aralıkta yeterli sayıda olmaması (b) bu aralıktaki sıkı kumların ($N_{1,60} \geq 30$ tokmak/30cm) dilatasyon davranışı göstermesi ve sıvılaşma sonucundaki deformasyon potansiyelinin sınırlı olması sebeplerinden dolayı daha dikleştirilmiş ve bu aralıktaki öneri kesik çizgilerle gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Andrews, D. C. A. and Martin, G. R. (2000) "Criteria for Liquefaction of Silty Soils." 12th World Conference on Earthquake Engineering, Proceedings, Auckland, New Zealand.
2. Andrus, R. D. (1994). "In-situ characterization of gravelly soils that liquefied in the 1983 Borah Peak Earthquake." Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin.
3. Çetin, K. Ö. (2000), "Reliability-based Assessment of Seismic Soil Liquefaction Initiation Hazard", Ph.D. Dissertation, University of California at Berkeley.
4. Çetin, K. O., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, L. F., and Kayen, R. E. (2000), "SPT-Based Probabilistic And Deterministic Assessment Of Seismic Soil Liquefaction Initiation Hazard", Research Report No. 2000/05, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
5. Çetin, K. Ö. and Seed, R. B. (2000), "Earthquake-Induced Nonlinear Shear Mass Participation Factor, r_d ", University of California, Berkeley, Geotechnical Engineering Research Report No: UCB/GT- 2000/08, June 2000.
6. Çetin, K. Ö and Seed, R. B. (2001), "Nonlinear Shear Mass Participation Factor, r_d for Cyclic Shear Stress Ratio Evaluation", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, (in review).
7. Evans, M. D. (1987). "Undrained cyclic triaxial testing of gravels : the effect of membrane compliance." Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley.
8. Finn, W. D. L., Ledbetter, R. H., and Wu, G. (1994) "Liquefaction in Silty Soils: Design and Analysis." Ground Failures under Seismic Conditions, Geotechnical Special Publication 44, ASCE, New York, pp. 51-76.

9. Geyskens, P., Der Kiureghian, A., Monteiro, P. (1993), "Bayesian Updating of Model Parameters", Structural Engineering Mechanics and Materials Report No. UCB/SEMM-93/06, University of California at Berkeley.
10. Harder, L. F. (1988). "Use of Penetration Tests to Determine the Cyclic Loading Resistance of Gravelly Soils During Earthquake Shaking." Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley.
11. Hynes, M. E. (1988). "Pore pressure generation characteristics of gravel under undrained loading." Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley.
12. Idriss, I. M. (2000), "Personal Communication"
13. Idriss, I. M., Sun, J. I., (1992), "Users Manual for SHAKE91, A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits, Program Modified Based on the Original SHAKE Program Published in December 1972, by Schnabel, Lysmer and Seed, August.
14. Kishida, H. (1966), "Damage to Reinforced Concrete Buildings in Niigata City with Special Reference to Foundation Engineering", Soils and Foundations, Vol. VII, No. 1.
15. Koizumi, Y (1966), "Change in Density of Sand Subsoil caused by the Niigata Earthquake", Soils and Foundations, Vol. VIII, No. 2, pp. 38-44.
16. Liao, S. S. C., Lum, K. Y. (1998), "Statistical Analysis and Application of the Magnitude Scaling Factor in Liquefaction Analysis", Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III, Vol. 1, 410-421.
17. Liao, S. S. C., Veneziano, D., Whitman, R.V. (1988), "Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 4, pp. 389-409.

18. Liao, S. S. C., Whitman, R. V. (1986), "Overburden Correction Factor for SPT in Sand", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 112, No. 3, March 1986, pp. 373-377.
19. NCEER (1997), "Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Edited by Youd, T. L., Idriss, I. M., Technical Report No. NCEER-97-0022, December 31, 1997.
20. Ohsaki, Y. (1966), "Niigata Earthquakes, 1964, Building Damage and Soil Conditions", *Soils and Foundations*, Vol. 6, No. 2, pp. 14-37.
21. Seed, H. B., Idriss, I. M. (1971), "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, Vol. 97, No SM9, Proc. Paper 8371, September 1971, pp. 1249-1273.
22. Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., Chung, R. M. (1984), "The Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations", *Earthquake Engineering Research Center Report No. UCB/EERC-84/15*, University of California at Berkeley, October, 1984.
23. Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., and Chung, R. M. (1985). "Influence of SPT Procedures in soil liquefaction resistance evaluations." *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 111(12), 1425-1445.
24. Seed, R. B., Cetin, K. O., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, L. F. Jr., and Kayen, R. E. (2001) "SPT-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential." Submitted to the *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
25. Toprak, S., Holzer, T. L., Bennett, M. J., Tinsley, J. C. (1999), "CPT- and SPT-based Probabilistic Assessment of Liquefaction Potential, Proceedings of Seventh U.S.-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Liquefaction.

26. Yoshimi, Y., Tokimatsu, K., Ohara, J. (1994), "In-situ Liquefaction Resistance of Clean Sands Over a Wide Density Range", *Geotechnique*, Vol. 44, No. 3, pp. 479-494.
27. Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, W. D. L., Harder, L. F. Jr., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson, W. F. III., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., and Stokoe, K. H., II. (1997) Summary Paper, Proc., NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, NCEER-97-0022.
28. Youd et al. (2001) Personal Communication.
29. Youd, T. L., Noble, S. K. (1997), "Liquefaction Criteria Based on Statistical and Probabilistic Analyses", *Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, December 31, 1997, pp. 201-205.

**DÜNYA LİMAN ÖRNEKLERİ İLE
TÜRKİYE LİMANCILIK POLİTİKASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

Yalçın YÜKSEL
Prof. Dr.
YTÜ
İstanbul, Türkiye

Esin ÇEVİK
Doç. Dr.
YTÜ
İstanbul, Türkiye

Adnan AKYARLI
Prof. Dr.
Öztüre, A.Ş.
İzmir, Türkiye

Ahmet Cevdet YALÇINER
Doç. Dr.
ODTÜ
Ankara, Türkiye

Işıkhan GÜLER
Dr.
Yüksel Proje, A. Ş.
Ankara, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada Dünya limancılığındaki gelişmeler, özellikle konteynerleşme üzerinde durulmuştur. Bu gelişmelerle birlikte Türkiye’de ki durum kısaca irdelenmiş ve Türkiye limanlarında yapılması gereken reformlar ve politikaların ne olması gerektiği ve politilaların ne olması gerektiği vurgulanmıştır.

GİRİŞ

Ülkelerin ekonomik kalkınmasında, planlamanın bölgesel kalkınma boyutunda yapılması daha hızlı uygulanabilen bir model olarak düşünülmelidir. Bu kapsam, üç kısımda irdelenebilir ;

1. Bölgesel kalkınma (ekonomik ve sosyal)
2. Ulaşım planlanması (limanlar, iç ulaşım bağlantıları)
3. Alt projeler
 - Mevcut limanlar (işletme ve kapasite geliştirilmesi)
 - Yeni limanlar

Bölgenin dengeli ve sürekli bir ekonomi ile kalkınması, ülke genelindeki ekonomik kalkınmaya hız kazandıracaktır. Bu kalkınmada ana girdiler;

- (i) sanayi endüstri
- (ii) tarım sektörleri

olarak alınabilir. Büyük ölçekteki ekonomik gelişme, ancak tarım ve balıkçılık endüstrisinin yanı sıra, üretime yönelik büyük ve küçük ölçekli sanayinin gelişmesine olanak sağlayacak yatırımların bölgesel boyutta bütünleştirilerek tasarlanması ve uygulanması ile mümkündür. Böyle bir planlamada ise en etken parametre bölge içi ve dışı ulaşımıdır.

Sanayi bölgelerinin her türlü üretimlerinin ve büyük hacimdeki yüklerinin stoklama bölgelerine kara ulaşımı (**demiryolu ve karayolu**) ve **deniz ulaşımının (limanlar)** bütünleşerek oluşturduğu yeterli bir taşıma ağı ile en verimli ve en hızlı şekilde taşınması gereklidir.

Bölgesel Kalkınma Planlamasında kullanılacak temel veriler ise aşağıda kısaca sıralanabilir.

- A. Bölge illeri için genel bilgiler
- Nüfus, çalışan insan sayısı,
 - Coğrafi bilgiler,

- Yol, su, enerji ve benzeri olanaklar,
- Alan kullanım planı,
- Yerleşim, orman, sanayi, ticari alanlar

B. Bölgesel ürünler,

1- Sanayi Kuruluşları

- mevcut (tür, konum, kapasite, işgücü)
- planlanan (tür, konum, kapasite, iş gücü)

2- Tarım

- mevcut üretim (tür, konum, kapasite, iş gücü)
- planlanan üretim (tür, konum, kapasite, iş gücü)

3- Balıkçılık

- mevcut
- planlanan

4- Diğer (el sanatları, orman ürünleri)

C- Bölgesel ulaşım ağı

- Karayolu bağlantıları
- Demir yolu bağlantıları
- Liman bağlantıları

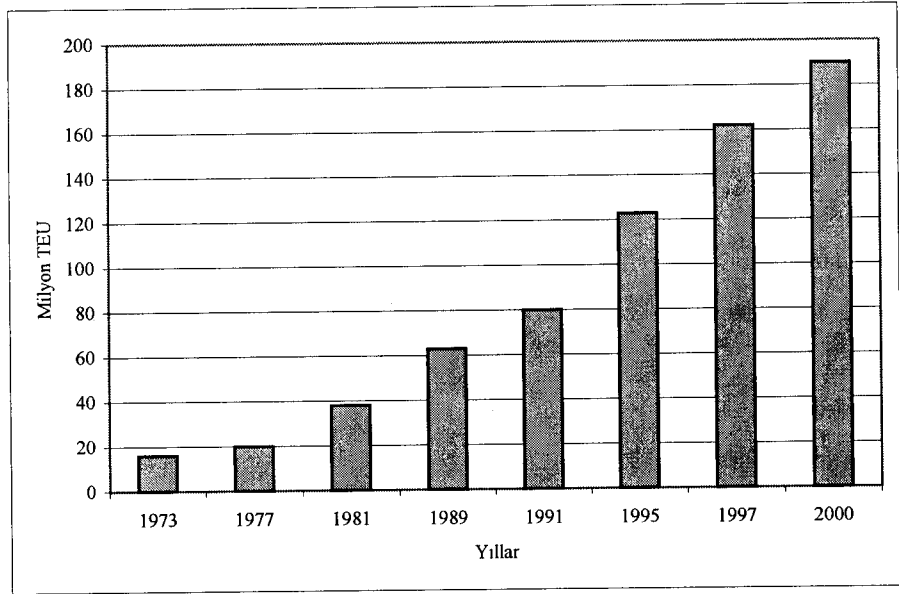
Yukarıdaki nedenler doğrultusunda ülke ve bölge boyutundaki kalkınmada, deniz yolu ile yapılan ticaretin gelişmesi için Limanların çağdaş anlamda planlanması ve işletilmesini (terminal işletmeciliği, yerel yönetimlerin katkısı gibi) gerektirmektedir. Limanlar pazarlanmalıdır, bunun için her limanın belirli stratejileri olmalıdır. Limanların artık ihtisas terminallerine sahip olduğu da günümüz dünyasının bilinen bir gerçeğidir ve Türkiye’de de Limanların bu doğrultuda yeniden planlanması verimliliği hızla artıracaktır.

Dünya Limanlarında Gelişmeler

Dünyada deniz taşımacılığının büyük bölümü artık konteyner gemileri ile yapılmaktadır, bu nedenle ihtisas terminalleri kurulurken bu gerçek gözönünde tutulmalıdır. Dünyadaki

konteyner taşımacılığının gelişmesi Şekil 1’de gösterilmiştir. Ancak hatalı planlama rekabet ortamını olumsuz yönde etkileyebileceğinden bu tip terminallerin kurulmasında yukarıda bahsedilen bölgesel planlama esaslarına dikkat edilmelidir.

Sektörün bu doğrultuda gelişmesi uluslararası taşımacılığı hızla artıracaktır. Dünyada taşımacılık yapan gemi filolarındaki gelişme Tablo 1’de gösterilmiştir (burada TEU bir konteyner birimini göstermektedir).



Şekil 1 Dünya konteyner taşımacılığı.

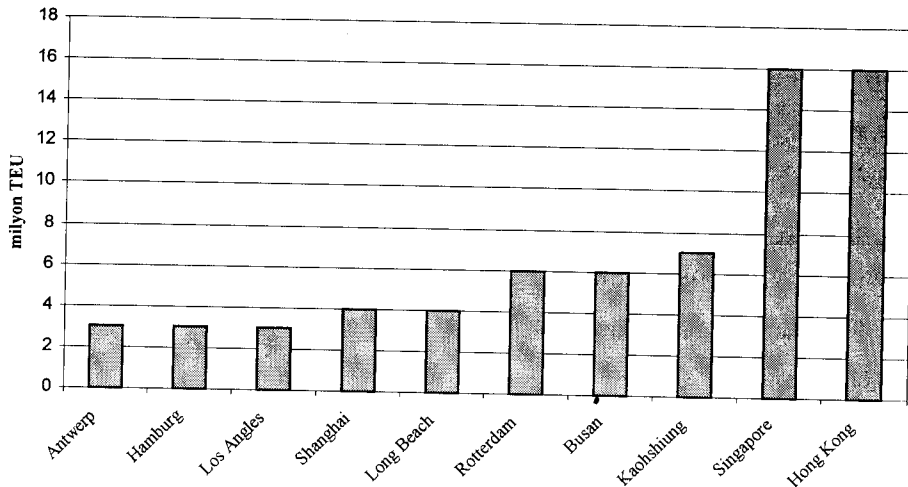
Tablo 1 Dünya konteyner gemi filosu istatistiği

	1982	1999
Toplam konteyner gemisi filosu	688 gemi	2.423 gemi (%252 artis)
Toplam kapasite	756.002 TEU	4.225.609 TEU (%459 artis)

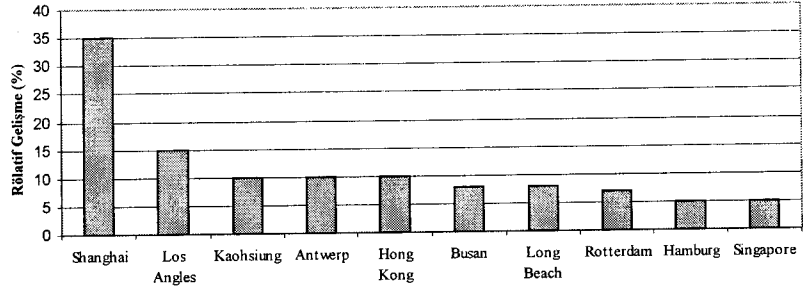
Gelişmiş ülkelerde yapılanmış olan ihtisas terminallerinin sahip olduğu pazarlar nedeniyle kendi ülke ekonomilerine çok önemli maddi girdiler sağlamanın yanı sıra ülkede yeni teknolojilerin gelişmesine, denizcilik sektörünün güçlenmesine ve modern sanayinin daha fazla gelişmesine neden olmaktadır. Örneğin Rotterdam Limanı'nın sadece Rotterdam Belediyesine 1999 yılında kazancından ödediği 45.000.000 US \$ dir. Böyle bir rakkamın bölgesel kalkınma ve ulusal ekonomiye nasıl bir güç vereceği son derece açıktır. Bu limanın Kazakistan'dan gelen bir malı depolayıp Bulgaristan'a taşıması örneği limanların nasıl pazarlandığına açık bir göstergesidir. Dünyada konteyner taşımacılığı yapan başlıca limanlar Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 3'den görüldüğü gibi Uzak Doğu Limanlarında bu yöndeki gelişmenin ne kadar çarpıcı olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 2 Başlıca firmalara ait Post-panamax tipi gemi ve konteyner filosu (1999-2000)

Taşımacı Firma	Gemi Sayısı / TEU Kapasitesi	Taşımacı Firma	Gemi Sayısı / TEU Kapasitesi
P&O/Nedloyd	4 / 6690	OOCL	8 / 4960
Maersk	9 / 6000 ve 3 / 6418	NOL	4 / 4918
Sea – Land	9 / 4354 ve 6 / 6200	APL	6 / 4832
NYK	5 / 5700	MOL	5 / 4700
Hyundai MM	7 / 5551	Cho Yang	4 / 4545
Evergreen	13 / 5364	DSR Senator	6 / 545
Hanjin	5 / 5300	MISC	2 / 4469
Cosco	6 / 5200	Hapag Lloyd	6 / 4422
Yang Ming	5 / 5500	CMA / CGM	2 / 4000



Şekil 2- Dünya konteyner limanları (1998)



Şekil 3 Dünya konteyner limanlarındaki rölatif gelişme % (1998-99)

Türkiye Limanlarında Reformlar

Türkiye’de mevcut limanlarda yeniden yapılanma için aşağıda ana hatlarıyla kısaca belirtilen reformların yapılması gerekmektedir;

- Limanlara hizmet veren iç ulaşım ağının geliştirilmesi, uluslararası ticaretin bu anlamda rekabet düzeyinin artırılması.
- Liman kullanımında bilgisayar işletmeciliğinin ivedi olarak devreye sokulması (Internet üzerinden ticaret, EDI)
- Liman işletmeciliğinde gemi yanaşma, elleçleme araçlarının yönlendirme ve yönetilmesi, yükleme ve boşaltma sürelerinin izlenmesi gibi konular, ve modelleme tekniği ile kapasite analizleri ve planlaması işleri için yazılım ve donanım altyapısının ve eğitimli personel desteğinin ivedi olarak yerleştirilmesi
- Özellikle Deprem bölgelerinde (İstanbul) limanlara ait acil eylem planlarının hazırlanması ve güvenlik sistemlerinin kurulması (VTS sistemi; Boğazlar ve RISC; acil güvenlik sistemi; TÜPRAŞ ve gemi kazaları örnekleri).
- İzmit ve İskenderun Körfezi ile İzmir’in devlet koordinasyonunda, çevreye dost biçimde dünyanın etkin ticaret ve sanayii merkezi haline getirmek (Rotterdam, Hamburg ve Antwerp örnekleri).
- Deniz yapılarındaki mevcut tasarım problemleri, yönetmelik eksiklikleri, depremde ortaya çıkan aksaklıklar ve bunun gelecekte de devam etmesinin engellenmesi için standartlaşma. Gelecekte olması muhtemel depremlere karşı önlemler, acil yardımların

denizden ulaştırılması amacıyla sismik performansı yüksek yanaşma yapılarının inşa edilmesi ve mevcut yapıların restorasyonu.

- Yönetim karmaşasının ortadan kaldırılması ve yetkilerin paylaşılması sağlanmalıdır (kamu kurumlarındaki karmaşa, DLH, TCDD, Bayındırlık, Karayolları, Yerel yönetimler arasındaki yetki karmaşası gibi).
- 19 Ağustos 1999 depreminin Deniz Yapıları ve Kıyı Alanlarındaki etkileri ile kamu ve özel sektör işletmeleri üzerindeki etkilerinin (işletme kayıpları) azaltılması amacı ile çalışmaların yapılması.
- Denizcilik ve liman sektöründe çalışanlara çağdaş anlamda eğitim verilmesi.
- Tablo 3’de görüldüğü gibi Dünyada Limanları farklı modellerde işletmektedir. Tecrübeler göstermiştir ki kiralık limanlar ülke ekonomilerine daha fazla katkı sağlamaktadır. Yani Devlet alt yapıyı yapar ve doğru hazırlanmış bir kontrat ile üst yapının yapılanmasını da sağlayacak bir işletmeciye terminalleri makul süreler için kiralar.
- Siyasi kaygılar taşımayan özerk bir *Liman Otoritesi*’nin kurulması yatırım ve işletmeciliğin daha etkin yapılmasını sağlayabilir.

Tablo 3 Liman işletme modelleri

Tip	Alt Yapı	Üst Yapı	Terminal İşletmesi	Diğer Fonksiyonlar
Kamu Limanları (Public Service Port)	Kamu	Kamu	Kamu	Kamu
Takım Liman (Tool Port)	Kamu	Kamu	Özel	Kamu
Kiralık Liman (Landlord Port)	Kamu	Özel	Özel	Özel
Özel Liman	Özel	Özel	Özel	Özel

SONUÇLAR

Ulaşım endüstrisi, ülkelerin ekonomik kalkınmasında en önemli faktörlerden biridir. Deniz taşımacılığı çok büyük taşıma kapasitesinin kullanılabilmesi ve ucuzluğu nedeniyle dünya ticaret hacminin en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle yeni limanların yapılması ya da mevcut limanların genişletilmesi gündeme gelmektedir. Özellikle SSCB'nin Bağımsız Devletler Topluluğuna dönüşmesinden sonra yeni kurulan Cumhuriyetlerle ticari ilişkilerin gelişmesi açısından da yeni limanların yapılması veya mevcut limanların genişletilmesi zorunluluk kazanmaktadır. Türkiye gibi gelişmekte ancak kısıtlı yatırım kaynakları olan ülkelerde, çok pahalı yatırımları gerektiren liman tasarımları aşamasında ihtiyaçların doğru saptanması ve en ekonomik çözümlerin bulunması gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle mevcut limanlar yukarıda bahsedilenlerin ışığı altında rehabilite edilmelidir.

Yeni bir liman yapılmasının veya mevcut olanların iyileştirilmesi planlanması durumunda, 4 ana parametreye dikkat etmek gerekmektedir. Bu parametreler sırasıyla;

- a) Liman içi, liman girişi ve limanın yaklaşım kanalının, limanı kullanacak gemiler için yeterli boyutlarda (derinlik ve alan) olması,
- b) **Yeterli kara alanı bulunması**
- c) Yükleme/ boşaltma gibi zorunlu işlerle gemi yanaşma olaylarının ekonomik ve yılboyu sürekli olarak yapılabilmesi,
- d) **Limanı iç bölgelere bağlayacak kara/demir/deniz/iç su yolları ağlarının kurulmasıdır.**

Yukarıda da belirtildiği gibi **sadece liman yapılması, sorunu çözmemektedir.** Bu limanlarda yükleme boşaltmanın en verimli biçimde yapılması, depolama iç bölgelere veya iç bölgelerden limana taşıma için gerekli olan alt yapı için planlama ve uygulamaların yapılması gerekmektedir.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için doğru yerde yeterli büyüklükte yeni limanlar yapılması, ülke ekonomisine katkıda bulunması açısından çok önemlidir. Bunu gerçekleştirmek için de liman yeri ve özelliklerinin bulunması konusunda planlama çalışması yapılması zorunlu olmaktadır.

Makro açıdan bakıldığında liman projeleri, limanlar ile şehirler arasındaki ulaşım ağı, bölgenin doğal kaynakları, üretim için gerekli hammaddenin sağlanması, üretilen maddelerin de taşınması açısından birlikte ele alınması gerekmektedir.

Karadeniz, Akdeniz, Ege ve Marmara denizinde bulunan mevcut limanlar bölgelerin ihtiyacını yeterli düzeyde karşılayamamaktadır. Bunun sonucu olarak da Bölgelerin gelişme hızı yeterli düzeyde değildir. Mevcut limanların kapasite arttırımı ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır. Ancak bu çalışmalardan önce de bölgesel kaynakların güncel ve gelecekteki yük hacmi için ortaya çıkacak taleplerin tahmin edilmesi ve bu verilere göre liman kapasite analizleri yapılması ve ulaşım ağlarının planlanması zorunludur.

Çok sayıda farklı işlemin yer aldığı **birleşik ulaşım sisteminin** bir parçası olarak, **limanın bir durak noktası** olduğu dikkate alınırsa, limanın sağladığı olanakların, liman sistemi içinde yük akışının, sistemde herhangi bir kapasite eksikliği nedeniyle kesilmeyecek düzende tasarlanmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

A Study on Turkey Harbor Politics and World Harbors

In this study, the developments on world harbor developments especially containerization were studied. Together with these developments the situation of Turkey were put into use and the reforms that should be made and the politics that must be, were stressed.