Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı

15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

SIVILAŞMA TEHLİKESİNİN CBS TABANLI DEĞERLENDİRİLMESİ: WEB TABANLI BİR PLATFORM

A WEB-BASED GIS PLATFORM FOR THE ASSESSMENT OF SOIL LIQUEFACTION

Furkan ÇİÇEK[1], Selçuk TOPRAK[2]

ÖZET

Deprem etkilerine açık yerleşim alanlarında sıvılaşma tehlikesinin hızlı ve bütüncül değerlendirilmesi, afet yönetimi ve kentsel planlama süreçlerinde önemlidir. Türkiye'de gerçekleştirilen mikrobölgeleme ve saha araştırmalarında önemli miktarda SPT ve CPT verisi üretilmesine rağmen, bu verilerin mekansal bütünlük içinde değerlendirilmesini sağlayan entegre yaklaşımlar sınırlıdır. Bu çalışmada, sıvılaşma tehlikesinin mühendislik, kentsel planlama ve afet yönetiminde değerlendirilmesini sağlayan web tabanlı bir CBS platformu sunulmuştur. Platform, kullanıcıların proje alanlarını tanımlamasına, deprem parametrelerini girmesine ve SPT ve CPT verilerini sisteme entegre etmesine olanak sağlamaktadır. Sistem, sıvılaşma tetiklenmesini ve ilgili indeksleri hesaplayarak sonuçların mekansal olarak haritalandırılmasını ve farklı veri setlerinin karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Platform, sıvılaşmaya duyarlı Yalova şehir merkezinde uygulanmış; mikrobölgeleme ve geçmiş deprem gözlemlerine dayalı veriler kullanılarak sıvılaşma tehlikesinin dağılımı değerlendirilmiştir. Sonuçlar, alüvyal birimlerin yaygın olduğu alanlarda yüksek sıvılaşma potansiyeline işaret etmekte ve sıvılaşma potansiyelinin mekansal değişkenliğinin önemini ortaya koymaktadır. Geliştirilen yaklaşım, AFAD, yerel yönetimler ve kurumlar için sıvılaşma tehlikesinin değerlendirilmesinde ve tehlike değerlendirmesine dayalı karar verme süreçlerinde kullanılabilecek pratik bir araç sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *CBS, Sıvılaşma, Tehlike değerlendirmesi, Web tabanlı platform, Yalova*

ABSTRACT

Rapid and comprehensive assessment of liquefaction hazard in earthquake-prone urban areas is important for disaster management and urban planning. Although substantial SPT and CPT data are produced through microzonation and site investigations in Türkiye, approaches enabling their spatially integrated use remain limited. This study presents a web-based Geographic Information System (GIS) platform for liquefaction hazard assessment. The platform allows users to define project areas, input seismic parameters, and integrate SPT and CPT data. It evaluates liquefaction triggering and related indices, enabling spatial mapping and comparison of datasets. The platform was applied to Yalova city center using data from microzonation studies and past earthquake observations. The results indicate elevated liquefaction potential in areas underlain by alluvial deposits and highlight the importance of spatial variability. The proposed approach provides a practical tool for evaluating liquefaction hazard and supporting hazard-informed decision-making for public authorities and local administrations.

Keywords: *GIS, Hazard assessment, Liquefaction, Web-based platform, Yalova*

[1] Lisansüstü Öğrencisi, İnşaat Mühendisliği, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, f.cicek2023@gtu.edu.tr (Sorumlu yazar)
[2] Profesör Doktor, MARTEST-Marmara Afetlerle Baş Edebilir Yapılar için Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kocaeli, Türkiye, stoprak@gtu.edu.tr

1. GİRİŞ

Deprem kaynaklı zemin sıvılaşması, sismik açıdan aktif bölgelerde yapı ve altyapı sistemleri üzerinde önemli hasarlara neden olabilen başlıca geoteknik tehlikelerden biridir. Özellikle suya doygun, gevşek ve orta sıkı granüler zeminlerde çevrimsel yükleme sonucunda boşluk suyu basıncının artması ve efektif gerilmelerin azalması, zeminin rijitlik ve kayma dayanımını önemli ölçüde kaybetmesine neden olabilmektedir (Youd vd., 2001). Türkiye'de 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri ile 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında gerçekleştirilen saha incelemeleri, sıvılaşmanın kentsel alanlar ve mühendislik yapıları üzerindeki etkilerini açık biçimde ortaya koymuştur (GEER, 1999; Ulusay vd., 2024; Toprak vd., 2025a).

Sıvılaşma, yalnızca bina hasarlarına neden olmakla kalmayıp yol, köprü, su ve kanalizasyon hatları gibi altyapı sistemlerinde de ciddi hasarlara yol açabilmektedir (Toprak vd., 2026b). Bu nedenle sıvılaşma tehlikesinin mekansal olarak değerlendirilmesi ve sonuçların bütüncül bir şekilde ele alınması, deprem dirençli kentlerin oluşturulması açısından önem taşımaktadır.

Sıvılaşma tetiklenmesinin değerlendirilmesinde, deprem talebini temsil eden Çevrimsel Gerilme Oranı (CSR) ile zeminin sıvılaşmaya karşı direncini ifade eden Çevrimsel Direnç Oranı (CRR) karşılaştırılmaktadır. Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen basitleştirilmiş yöntem temelinde, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) verilerinin kullanıldığı farklı prosedürler geliştirilmiştir. Youd vd. (2001) ve Boulanger ve Idriss (2014) tarafından önerilen yöntemler günümüzde yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar arasındadır. Bunun yanında, tabaka bazında hesaplanan güvenlik katsayılarının (FS) zemin profili boyunca bütünleştirilmesi amacıyla Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI), Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI) ve Sıvılaşma Şiddeti Katsayısı (LSN) gibi göstergeler geliştirilmiştir (Iwasaki vd., 1982; Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005; van Ballegooy vd., 2013).

Kentsel ölçekte gerçekleştirilen mikrobölgeleme ve saha araştırmaları önemli miktarda geoteknik veri üretmektedir. Bu verilerin çok sayıda araştırma noktası için işlenmesi, farklı sıvılaşma yöntemlerinin uygulanması ve elde edilen noktasal sonuçların bölgesel ölçekte değerlendirilmesi önemli miktarda veri yönetimi ve hesaplama işlemi gerektirmektedir. CBS, geoteknik verilerin konumsal olarak yönetilmesi ve noktasal analiz sonuçlarının sürekli mekansal yüzeylere dönüştürülmesi açısından önemli olanaklar sunmakla birlikte, geoteknik analiz ile CBS işlemleri çoğu uygulamada farklı yazılımlar ve veri aktarım süreçleri aracılığıyla yürütülmektedir.

Mevcut sıvılaşma analiz araçları tekil sondaj veya CPT profillerinin değerlendirilmesinde gelişmiş hesaplama olanakları sunmakla birlikte, bölgesel ölçekte çok sayıda araştırma noktasının birlikte yönetilmesi ve sonuçların doğrudan CBS ortamında haritalandırılması çoğu durumda ilave veri aktarımı ve haritalama işlemleri gerektirmektedir. LiqSys, geoteknik veri yönetimi, sıvılaşma analizi ve mekansal görselleştirme aşamalarını tek bir web tabanlı çalışma ortamında bütünleştirerek bu iş akışını otomatikleştirmeyi amaçlamaktadır.

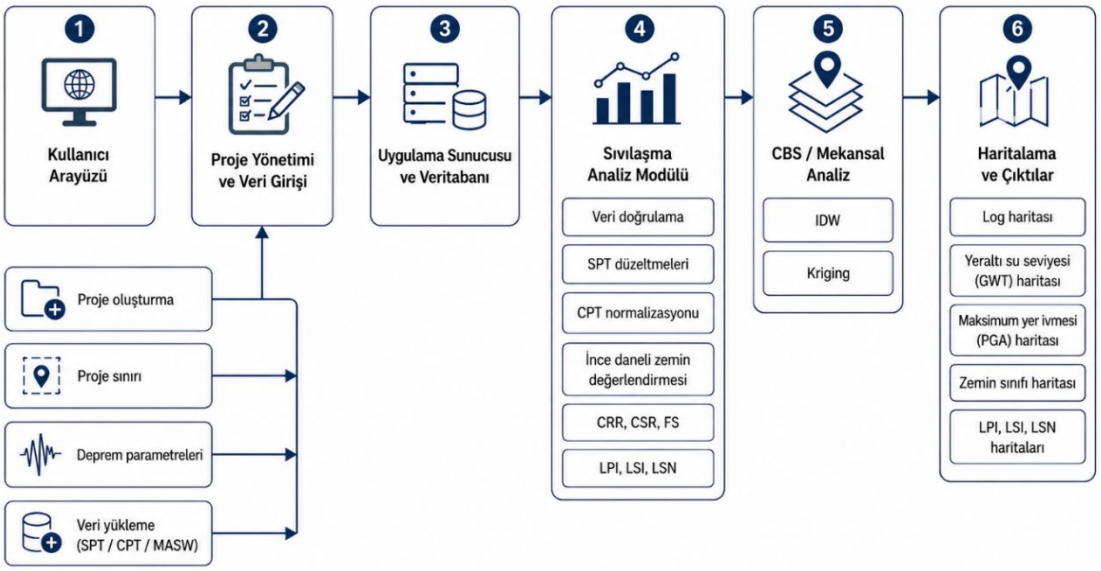
Bu çalışma kapsamında, söz konusu işlemlerin bütünleşik ve otomatik bir ortamda gerçekleştirilebilmesi amacıyla LiqSys adlı web tabanlı bir CBS platformu geliştirilmiştir. Platform; proje ve deprem parametrelerinin tanımlanmasına, SPT ve CPT verilerinin

standart veri şablonlarıyla aktarılmasına, farklı sıvılaşma tetiklenme yöntemlerinin uygulanmasına, LPI, LSI ve LSN değerlerinin hesaplanmasına ve sonuçların mekansal olarak haritalandırılmasına olanak sağlamaktadır. Çalışmanın temel katkısı yeni bir sıvılaşma bağıntısı önermekten ziyade, literatürde yerleşik yöntemleri web tabanlı, otomatik ve mekansal olarak bütünleşik bir analiz ortamında bir araya getirmektir. Platformun uygulanabilirliği Yalova il merkezine ait geoteknik veri seti kullanılarak gösterilmiştir.

2. PLATFORMUN GENEL YAPISI

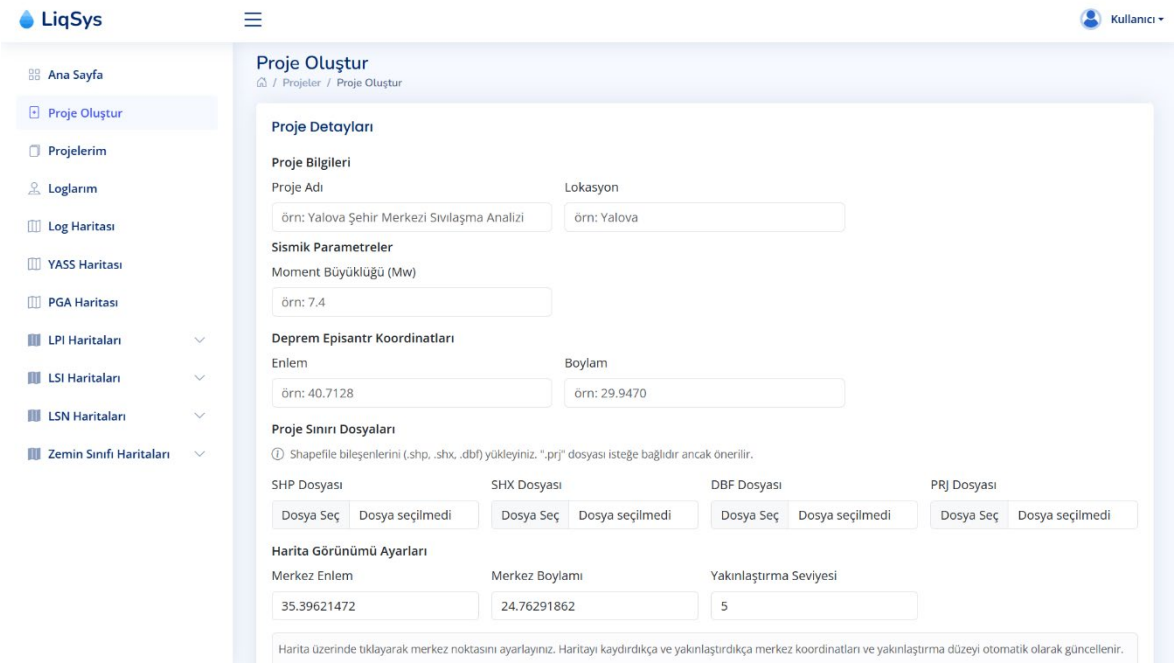
Bu çalışma kapsamında geliştirilen LiqSys, geoteknik arazi verilerinin yönetimi, sıvılaşma analizlerinin gerçekleştirilmesi ve elde edilen sonuçların mekansal olarak değerlendirilmesini aynı çalışma ortamında bir araya getiren web tabanlı bir CBS platformudur. Sistem; proje oluşturma, veri yükleme, analiz ayarları, mühendislik hesapları ve sonuçların harita tabanlı görselleştirilmesini bütünleşik bir iş akışı içerisinde gerçekleştirecek şekilde tasarlanmıştır. Platform Gebze Teknik Üniversitesi sunucu altyapısı üzerinde çalışmakta olup https://liqsys.gtu.edu.tr/ adresinden erişilebilmektedir.

LiqSys, istemci-sunucu mimarisine dayalı olarak geliştirilmiştir. Kullanıcı arayüzünde HyperText Markup Language (HTML), Cascading Style Sheets (CSS) ve JavaScript; harita tabanlı işlemlerde Leaflet kütüphanesi kullanılmaktadır. Sunucu tarafındaki veri işleme ve analiz işlemleri Hypertext Preprocessor (PHP) ile gerçekleştirilirken proje bilgileri, geoteknik araştırma verileri ve hesaplanan sonuçlar MySQL tabanlı ilişkisel veri tabanında saklanmaktadır. Platformun genel sistem mimarisi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. LiqSys platformunun genel sistem mimarisi ve temel bileşenleri.

Platformdaki iş akışı, Şekil 2'de gösterilen proje oluşturma arayüzüyle başlamaktadır. Her proje belirli bir çalışma alanını ve deprem senaryosunu temsil etmekte; proje adı ve açıklamasının yanı sıra moment büyüklüğü (M_w), deprem episantr koordinatları ve analiz ayarları tanımlanabilmektedir. Çalışma alanının sınırı sisteme mekansal veri olarak aktarılabilmekte ve daha sonra oluşturulan haritaların bu sınır içerisinde değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Farklı deprem senaryolarının ayrı projeler altında tanımlanabilmesi, aynı geoteknik veri setinin değişen sismik talepler altında yeniden analiz edilmesine olanak vermektedir.



Şekil 2. Proje oluşturma ve analiz parametrelerinin tanımlandığı LiqSys kullanıcı arayüzü.

Geoteknik veriler SPT, CPT ve MASW için hazırlanmış standart veri şablonları aracılığıyla sisteme toplu olarak aktarılmaktadır. SPT veri yapısında penetrasyon direnci ile birlikte enerji oranı, sondaj çapı, örnekleyici tipi, yer altı su seviyesi ve laboratuvar verileri; CPT veri yapısında ise derinliğe bağlı uç direnci ve çevre sürtünmesi gibi ölçümler saklanmaktadır. MASW verileri sıvılaşma tetiklenme hesabında doğrudan kullanılmamakta, V_{S30} değerlerinin belirlenmesi ve yerel zemin sınıflandırmasının desteklenmesi amacıyla değerlendirilmektedir. Yüklenen veriler analiz öncesinde otomatik olarak kontrol edilmekte; zorunlu alanlar, veri biçimleri ve koordinat bilgileri doğrulandıktan sonra ilgili proje veri tabanına kaydedilmektedir.

Sıvılaşma tetiklenme analizlerinde kullanıcı Youd vd. (2001) ve Boulanger ve Idriss (2014) prosedürlerinden yararlanabilmektedir. İnce daneli zeminlerin sıvılaşma duyarlılığının değerlendirilmesi için ise Seed vd. (2003), Bray ve Sancio (2006) ve Boulanger ve Idriss (2006) kriterleri platformda uygulanmıştır. Hesaplama sonucunda her araştırma noktası için CSR, CRR ve FS profilleri oluşturulmakta; bu profillerden LPI, LSI ve LSN indisleri otomatik olarak hesaplanmaktadır. CSR, CRR ve FS sonuçları derinliğe bağlı grafikler halinde görüntülenebilmekte ve yer altı su seviyesi aynı analiz ekranı üzerinde izlenebilmektedir.

LiqSys'in temel özelliklerinden biri, geoteknik ve sismik parametrelerin yalnızca noktasal değerler veya tablolar halinde sunulması yerine CBS tabanlı tematik katmanlara dönüştürülebilmesidir. Platform üzerinden Log Haritası, Yer Altı Su Seviyesi (GWT) Haritası, Maksimum Yer İvmesi (PGA) Haritası, Zemin Sınıfı Haritası ve LPI, LSI ile LSN haritaları oluşturulabilmektedir. LPI, LSI ve LSN değerleri her araştırma noktasında otomatik olarak hesaplanmakta ve ardından mekansal görselleştirme modülüne aktarılmaktadır. Şekil 3'te örneklenen yer altı su seviyesi haritası gibi mühendislik katmanlarının proje verilerinden oluşturulabilmesi, geoteknik veri ile sıvılaşma sonuçlarının aynı harita arayüzünde birlikte yorumlanmasını sağlamaktadır.



Şekil 3. Yalova çalışma alanına ait yer altı su seviyesi dağılımının LiqSys üzerinde gösterimi.

Noktasal değerlerin sürekli mekansal yüzeylere dönüştürülmesinde Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) ve Kriging enterpolasyon yöntemleri kullanılabilmektedir. Kullanıcı harita arayüzünden uygun enterpolasyon yöntemini seçerek sonuç dağılımını inceleyebilmekte; proje sınırı tanımlanmışsa oluşturulan yüzey çalışma alanı sınırında kesilmektedir. Bu yaklaşım, farklı geoteknik ve sismik parametrelerin aynı mekansal çerçevede karşılaştırılmasına ve analiz sonuçlarının bölgesel ölçekte yorumlanmasına olanak sağlamaktadır.

Böylece LiqSys; proje tanımlama, geoteknik veriyi içe aktarma, yöntem seçimi, otomatik hesaplama ve CBS tabanlı sonuç üretimini tek bir web ortamında birleştirerek, özellikle büyük geoteknik veri setlerinin kullanıldığı mikrobölgeleme çalışmalarında tekrarlanabilir ve karşılaştırılabilir bir analiz altyapısı sunmaktadır.

3. SIVILAŞMA ANALİZ MODÜLÜ

3.1. Sıvılaşma Tetiklenme Analizi

LiqSys'te sıvılaşma tetiklenmesi, Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen basitleştirilmiş gerilme tabanlı yaklaşım esas alınarak değerlendirilmektedir. Deprem kaynaklı çevrimsel gerilme oranı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$CSR = 0.65\left(\frac{a_{max}}{g}\right)\left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}\right)r_d \quad (1)$$

Burada a_{max} yüzeydeki maksimum yatay yer ivmesini, g yerçekimi ivmesini, σ_{v0} ve σ'_{v0} sırasıyla toplam ve efektif düşey gerilmeleri, r_d ise gerilme azaltma katsayısını ifade etmektedir. Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı genel olarak;

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (2)$$

ilişkisi üzerinden belirlenmektedir. Deprem büyüklüğü ve örtü gerilmesine ilişkin düzeltmeler, kullanılan tetiklenme prosedürüne göre CRR hesabında dikkate alınmaktadır.

Platformda Youd vd. (2001) ile Boulanger ve Idriss (2014) tarafından önerilen SPT ve CPT tabanlı yöntemler uygulanmış ve hesaplanan profiller Şekil 4'te örneklenmiştir. SPT analizlerinde ham penetrasyon direnci; enerji oranı, sondaj çapı, tij uzunluğu, örnekleyici tipi ve efektif örtü gerilmesi etkileri dikkate alınarak normalize edilmekte, ardından ince dane düzeltmeleri uygulanarak ilgili yöntemin CRR bağıntısına aktarılmaktadır. CPT analizlerinde ise uç direnci ve çevre sürtünmesi kullanılarak normalize edilmiş koni direnci ve zemin davranış tipi indeksi (I_c) hesaplanmaktadır. LiqSys uygulamasında $I_c > 2.6$ koşulunu sağlayan CPT katmanları kil benzeri davranış gösterdikleri kabul edilerek sıvılaşma tetiklenme hesabının dışında bırakılmaktadır.



Şekil 4. Bir sondaj için Youd vd. (2001) ve Boulanger ve Idriss (2014) yöntemleriyle elde edilen CSR, CRR ve FS profilleri.

Youd vd. (2001) ile Boulanger ve Idriss (2014) yaklaşımları; penetrasyon direncinin normalizasyonu, ince dane etkisi, r_d, büyüklük ölçekleme faktörü (MSF) ve efektif örtü gerilmesi düzeltmelerinin uygulanışında farklılık göstermektedir. Platformun her iki yöntemi desteklemesi, aynı geoteknik veri setinin farklı analiz prosedürleri altında değerlendirilmesine ve sonuçların doğrudan karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) doğrultusunda $FS < 1.10$ olan tabakalar sıvılaşma tetiklenmesine karşı gerekli güvenlik koşulunu sağlamayan tabakalar olarak değerlendirilmiştir.

3.2. İnce Daneli Zeminlerin Değerlendirilmesi

İnce daneli zeminlerin kum benzeri sıvılaşma davranışı gösterip göstermediğinin değerlendirilmesi amacıyla LiqSys'te Seed vd. (2003), Bray ve Sancio (2006) ve Boulanger ve Idriss (2006) kriterleri kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. Bu kriterlerde plastikite indisi, likit limit ve doğal su muhtevası gibi indeks özellikleri kullanılmaktadır. Ara değerlendirme sınıfında kalan zeminler, LiqSys uygulamasında muhafazakar bir kabul ile potansiyel sıvılaşabilir olarak değerlendirilerek tetiklenme hesabına dahil edilmektedir.

Farklı kriterlerin aynı veri seti üzerinde uygulanabilmesi, kriter seçiminin sonuçlar üzerindeki etkisinin karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır.

3.3. Sıvılaşma Şiddet İndisleri

Tabaka bazında hesaplanan FS değerlerinin zemin profili üzerindeki toplam etkisini temsil etmek amacıyla LiqSys, LPI, LSI ve LSN değerlerini otomatik olarak hesaplamaktadır. LPI, sıvılaşabilir tabakaların kalınlığını, derinliğini ve FS değerini üst 20 m boyunca ağırlıklandırmaktadır (Iwasaki vd., 1982). LPI'ın CPT verilerine uygulanması ve saha performansı Toprak ve Holzer (2003) tarafından değerlendirilmiş, indeksin bölgesel sıvılaşma tehlikesi haritalamasındaki kullanımı ise Holzer vd. (2002) tarafından ortaya konmuştur. LSI benzer yaklaşımı FS'den türetilen sıvılaşma olasılığı üzerinden değerlendirmektedir (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005). LSN ise sıvılaşma sonrası hacimsel birim şekil değiştirmeyi ve tabaka derinliğini dikkate alan deformasyon temelli bir göstergedir (van Ballegooy vd., 2013). Yakın tarihli bir çalışmada, LPI ve LSN değerlerinin gözlenen bina hasar şiddetiyle sistematik olarak arttığı, ancak indekslerin hasar seviyelerini ayırt etme performansının kullanılan CPT tabanlı sıvılaşma tetiklenme yöntemine bağlı olarak değiştiği gösterilmiştir (Toprak vd., 2026a). Bu indislerin her biri araştırma noktası için hesaplanmakta ve CBS modülünde bölgesel sıvılaşma tehlike haritalarının oluşturulmasında kullanılmaktadır.

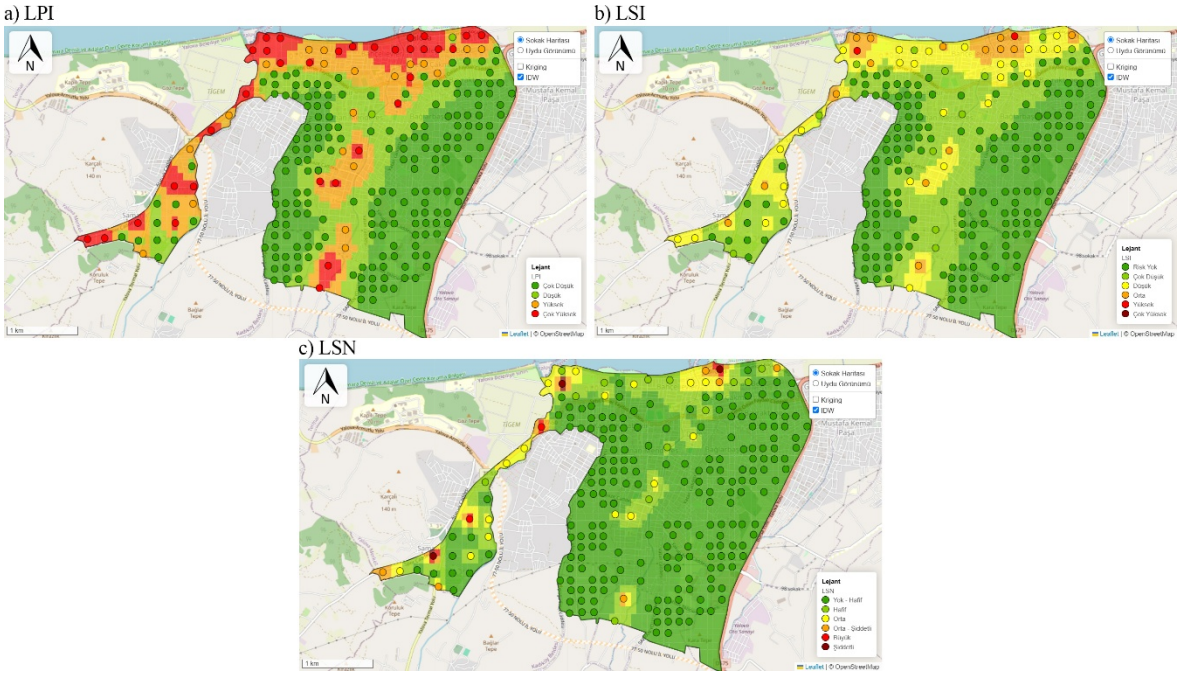
4. UYGULAMA ÇALIŞMASI

LiqSys'in analiz ve haritalama modüllerinin gerçek bir geoteknik veri seti üzerinde uygulanabilirliğini göstermek amacıyla Yalova il merkezi örnek çalışma alanı olarak kullanılmıştır. Yalova, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na yakınlığı, genç alüvyal birimleri, sığ yer altı suyu koşulları ve 1999 Kocaeli Depremi sırasında gözlenen sıvılaşma etkileri nedeniyle uygun bir uygulama alanı oluşturmaktadır.

Uygulamada Yalova Belediyesi mikrobölgeleme çalışmasından elde edilen 273 sondaj ve 3.793 SPT kaydını içeren veri seti (Sönmez Mühendislik, 2016) ile 1999 Kocaeli Depremi sonrasında Yalova Limanı çevresinde PEER tarafından gerçekleştirilen dört CPT profili (PEER, 2000) LiqSys'e aktarılmıştır. Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan sondaj konumlarına karşılık gelen PGA değerleri alınmış (AFAD, 2018), büyüklük parametresi ise referans deprem senaryosu için $M_w = 7.5$ olarak tanımlanmıştır. Sıvılaşma tetiklenmesi Youd vd. (2001) ve Boulanger ve Idriss (2014) yöntemleriyle gerçekleştirilmiş; ince daneli zeminlerin değerlendirilmesinde Bray ve Sancio (2006) kriteri kullanılmıştır.

Platform tarafından CSR, CRR ve FS profilleri ile LPI, LSI ve LSN değerleri otomatik olarak hesaplanmış, noktasal sonuçlardan CBS tabanlı tematik haritalar oluşturulmuştur. LPI, LSI ve LSN dağılımlarının aynı veri setinden otomatik olarak üretilmesi, farklı sıvılaşma şiddet göstergelerinin aynı çalışma ortamında karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle LSN, sıvılaşma sonrası hacimsel birim şekil değiştirme ve tabaka derinliğini dikkate alan deformasyon temelli yapısıyla LPI'dan farklı bir değerlendirme sunmaktadır. Mevcut platformda sıvılaşma kaynaklı oturma ayrı bir çıktı olarak hesaplanmamakta; deformasyon etkileri LSN üzerinden değerlendirilmektedir. Oturma hesabı ve mekansal gösterimi sonraki geliştirme aşamalarında ayrı bir modül olarak eklenebilir. Yalova'ya ilişkin önceki çalışmada sıvılaşma tehlikesinin özellikle kıyı kesimleri, Safran Deresi çevresi ve çalışma alanının bazı batı kesimlerinde yoğunlaştığı ve kullanılan tetiklenme yöntemine bağlı olarak yerel farklılıklar oluşabildiği ayrıntılı olarak

gösterilmiştir (Toprak vd., 2025b). Yalova uygulaması, LiqSys'in geoteknik ve sismik veri yönetimi, tetiklenme analizleri, sıvılaşma şiddet indislerinin hesaplanması ve mekansal görselleştirmeyi aynı web tabanlı CBS ortamında bütünleştirdiğini göstermektedir. Böylece farklı analiz çıktıları, Şekil 5'te gösterildiği gibi, harici bir CBS yazılımına aktarılmadan karşılaştırılabilmektedir.



Şekil 5. Youd vd. (2001) yöntemi ve IDW enterpolasyonu kullanılarak Yalova çalışma alanı için LiqSys üzerinde oluşturulan sıvılaşma şiddet indisi dağılımları: (a) LPI, (b) LSI ve (c) LSN.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada geoteknik veri yönetimi, sıvılaşma tetiklenme analizi, sıvılaşma şiddet indislerinin hesaplanması ve mekansal haritalama işlemlerini tek bir çalışma ortamında birleştiren web tabanlı LiqSys platformu sunulmuştur. Platform, SPT ve CPT verilerinin standart veri yapılarıyla işlenmesini, Youd vd. (2001) ve Boulanger ve Idriss (2014) yöntemlerinin uygulanmasını ve LPI, LSI ve LSN sonuçlarının CBS tabanlı olarak değerlendirilmesini otomatik hale getirmektedir.

Yalova uygulaması, veri yükleme aşamasından noktasal sıvılaşma analizlerine ve bölgesel haritalamaya kadar olan iş akışının aynı platform içerisinde gerçekleştirilebildiğini göstermiştir. Farklı tetiklenme yöntemlerinin ve ince daneli zemin kriterlerinin aynı veri tabanı üzerinde uygulanabilmesi, yöntem seçiminin sonuçlara etkisinin karşılaştırmalı olarak incelenmesine de olanak sağlamaktadır.

LiqSys'in temel katkısı yaygın olarak kullanılan mühendislik prosedürlerini standartlaştırılmış, otomatik ve mekansal olarak bütünleşik bir yapıda sunmaktır. Bununla birlikte, üretilen bölgesel haritaların doğruluğu saha verilerinin yoğunluğu, dağılımı ve kalitesi ile kullanılan ampirik yöntemlerin belirsizliklerine bağlıdır. Bu nedenle platform çıktıları sahaya özgü ayrıntılı geoteknik incelemelerin veya nihai tasarım analizlerinin yerine geçmemekte; bölgesel sıvılaşma tehlikesinin ön değerlendirilmesi, öncelikli alanların

belirlenmesi ve farklı analiz koşullarının karşılaştırılması için bir karar destek aracı olarak kullanılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, SATREPS-MARTEST Projesi kapsamında yürütülen araştırmaların bir parçası olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, LiqSys platformunun yayına alınması için gerekli sunucu altyapısını sağlayan Gebze Teknik Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

AFAD (2018), "Türkiye Deprem Tehlike Haritası", Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, https://tdth.afad.gov.tr/

Boulanger, R.W. ve Idriss, I.M. (2006), "Liquefaction Susceptibility Criteria for Silts and Clays", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 132(11), 1413-1426.

Boulanger, R.W. ve Idriss, I.M. (2014), "CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedures", Report No: UCD/CGM-14/01, Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, California, USA.

Bray, J.D. ve Sancio, R.B. (2006), "Assessment of the Liquefaction Susceptibility of Fine-Grained Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 132(9), 1165-1177.

GEER (1999), "Initial Geotechnical Observations of the August 17, 1999, Kocaeli Earthquake: A Report of the Turkey-US Geotechnical Earthquake Engineering Reconnaissance Team", Yayın No: 3.1, Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Association.

Holzer, T.L., Toprak, S. ve Bennett, M.J. (2002), "Liquefaction Potential Index and Seismic Hazard Mapping in the San Francisco Bay Area, California", 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Boston, Massachusetts, USA, 21-25 July 2002.

Iwasaki, T., Arakawa, T. ve Tokida, K. (1982), "Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction During Earthquakes", Proceedings of the Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Southampton, United Kingdom, 925-939.

PEER (2000), "Geotechnical Site Investigation at Selected Lateral Spread Sites (Phase 4: Yalova)", Pacific Earthquake Engineering Research Center, https://apps.peer.berkeley.edu/publications/turkey/adapazari/phase4/yalova/index.html.

Seed, H.B. ve Idriss, I.M. (1971), "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol 97(9), 1249-1273.

Seed, R.B., Cetin, K.O., Moss, R.E.S., Kammerer, A., Wu, J., Pestana, J., Riemer, M., Sancio, R.B., Bray, J.D., Kayen, R.E. ve Faris, A. (2003), "Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Framework", Keynote Presentation, 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, Long Beach, California, USA.

Sönmez, H. ve Gökçeoğlu, C. (2005), "A Liquefaction Severity Index Suggested for Engineering Practice", Environmental Geology, Vol 48(1), 81-91.

Sönmez Mühendislik (2016), "Yalova Belediyesine Ait 1170 Hektar Sahanın İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt Raporu", Yalova Belediyesi için Hazırlanan Teknik Rapor, Yalova, Şubat 2016.

TBDY (2018), "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Resmî Gazete.

Toprak, S. ve Holzer, T.L. (2003), "Liquefaction Potential Index: Field Assessment", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 129(4), 315–322.

Toprak, S., Zulfikar, A.C., Mutlu, A., Tugsal, U.M., Nacaroglu, E., Karabulut, S., Ceylan, M., Ozdemir, K., Parlak, S., Dal, O. ve Karimzadeh, S. (2025a), "The Aftermath of 2023 Kahramanmaras Earthquakes: Evaluation of Strong Motion Data, Geotechnical, Building, and Infrastructure Issues", Natural Hazards, Vol 121, 2155-2192.

Toprak, S., Çiçek, F., Tunç, Ş.C., Övünç, E.E., Bingöl, M. ve Karakoç, F.B. (2025b), "Sıvılaşma Tehlike Analizi ve Potansiyel Haritalarının Oluşturulması: Yalova İl Merkezi", 10. Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 8-10 Ekim 2025.

Toprak, S., Jinguuji, M., Manav, Y., Manav, R. ve Nacaroglu, E. (2026a), "Correlation of Building Damages with LPI and LSN in Hinode Area During the 2011 Great East Japan Earthquake", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol 85, 503. https://doi.org/10.1007/s10064-026-05156-y

Toprak, S., Wham, B.P., Nacaroglu, E., Sakamoto, M., Tunc, S.C., Davis, C.A., Uckan, E., Dal, O., Ceylan, M., Senturk, A.E., Kaya, E.S. ve Ince, M.B. (2026b), "Assessment of Infrastructure Failures in the 2023 Kahramanmaras Earthquakes", ASCE OPEN: Multidisciplinary Journal of Civil Engineering, Vol 4(1).

Ulusay, R., Aydan, Ö. ve Kumsar, H. (2024), "Ground Liquefaction Caused by 6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes of Türkiye and Some Assessments on Its Extent and Impacts on Built Environment", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol 83, 447.

van Ballegooy, S., Lacrosse, V., Jacka, M. ve Malan, P. (2013), "LSN – A New Methodology for Characterising the Effects of Liquefaction in Terms of Relative Land Damage Severity", Technical Report, Tonkin & Taylor Ltd., Christchurch, New Zealand.

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., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. ve Stokoe, K.H. (2001), "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 127(10), 817-833.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
a_{max}	Maksimum yatay yer ivmesi	LSN	Sıvılaşma Şiddeti Katsayısı
CRR	Çevrimsel direnç oranı	MSF	Büyüklük ölçekleme faktörü
CSR	Çevrimsel gerilme oranı	M_w	Moment büyüklüğü
FS	Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı	r_d	Gerilme azaltma katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi	σ_{v0}	Toplam düşey gerilme
I_c	Zemin davranış tipi indeksi	σ'_{v0}	Efektif düşey gerilme
LPI	Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi	V_{S30}	Ortalama kayma dalgası hızı
LSI	Sıvılaşma Şiddeti İndeksi		