

## Van'ın Erciş İlçesinin Sıvılaşma Potansiyeli

Levent ERTUŞ<sup>1\*</sup> <sup>1</sup> Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Van\*Sorumlu yazar (Corresponding author): [ertuslevent@gmail.com](mailto:ertuslevent@gmail.com)

Geliş Tarihi (Received): 22.02.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 25.03.2024

### Özet

Erciş ilçesi, Çaldıran Fayı, Van Fayı ve Erciş-Kocapınar Fayı gibi büyük deprem üretme kapasitesine sahip faylarla çevrilidir. Yeraltı suyu seviyesi yüzeye yakın gevşek birimlerden oluşan Kuvaterner yaşlı göl ve akarsu çökelleri üzerine kurulu olan Erciş yerleşimi, bölgesel tektonik ve depremsellik nedeniyle sıvılaşma riski taşımaktadır. Bu çalışma, Erciş yerleşim alanının sıvılaşma potansiyelini belirlemeyi amaçlamaktadır. İlçe merkezinde daha önce yapılmış jeoteknik etüt çalışmalarının verileri kullanılarak mevcut SPT darbe sayılarına dayalı sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiş ve sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanarak potansiyel belirlenmiştir. Elde edilen veriler coğrafi bilgi sistemleri tabanlı yazılımlar kullanılarak haritalanmış ve Erciş yerleşim alanı için sıvılaşma potansiyelini gösteren haritalar oluşturulmuştur. Bu haritalar sayesinde, yeraltı suyunun yüzeye yakın olduğu bölgelerde ve Van Gölü kıyılarında yüksek sıvılaşma potansiyeline işaret eden alanlar belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Erciş, sıvılaşma, sıvılaşma potansiyeli

### Liquefaction Potential in Erciş District of Van

#### Abstract

The district of Erciş is surrounded by major fault lines such as the Çaldıran Fault, the Van Fault, and the Erciş-Kocapınar Fault, which have the capacity to generate large earthquakes. The settlement of Erciş, built on Quaternary-aged lake and river sediments consisting of loose units close to the surface groundwater level, is at risk of liquefaction due to regional tectonics and seismic activity. Therefore this study aims to determine the liquefaction potential of the Erciş settlement. Liquefaction analyses based on the existing Standard Penetration Test (SPT) blow count data from previous geotechnical survey studies conducted in the town center were performed, and liquefaction safety factors were calculated to determine the potential risk. The obtained data has been mapped using Geographic Information Systems (GIS)-based software, and maps showing the liquefaction potential for the Erciş settlement were generated. These maps identify areas with high liquefaction potential, particularly in regions where groundwater is close to the surface and along the shores of Lake Van.

**Keywords:** Erciş, liquefaction, liquefaction potential

## 1. Giriř

Yıkıcı depremlerin sonucunda ortaya çıkan can ve mal kayıplarının çoğunda, yapının sahip olduğu kaliteye ek olarak zeminin özellikleri de büyük bir etkiye sahiptir. Özellikle sıvılaşma sonucu meydana gelen yanal yayılma ve oturma gibi yüzey deformasyonları, deprem etkisi altındaki bölgelerde önemli bir role sahiptir. Yeraltı suyunun sığ olduğu ve zeminin siltli, gevşek kumlu olduğu alanlarda, depremin tekerrürlü etkileriyle ortaya çıkan sıvılaşma, yapıların devrilmesi, yıkılması ve oturması gibi ciddi deformasyonlara neden olabilir.

Deprem gibi doğal olaylar sırasında, zeminin sıvılaşması en önemli faktörlerden biridir. Bu süreç, dinamik yükler altında zemindeki su basıncının artması ve dolayısıyla zeminin taşıma kapasitesinin ani bir şekilde azalmasıyla karakterizedir (Castro ve ark., 1982). Sıvılaşma sürecinde, su doymuş zemindeki boşluklar arasındaki basınç artar, bu da zeminin iç sürtünme direncini azaltır ve etkili gerilmeyi sıfıra indirir. Sonuç olarak, zeminin sahip olduğu taşıma potansiyeli ciddi bir şekilde azalmakta, buna bağılı olarak binalarda yıkıcı hasarlara sebep olabilmektedir.

Bazı büyük deprem hasarlarında, zeminin dayanımını kaybedip akışkan bir hale geldiği gözlemlenir. Bu olay, sıvılaşma olarak adlandırılır. Özellikle tabakaların seviye olarak yeraltı suyu altındaki kısımlarında, zeminin geçici şekilde mukavemetini kaybederek rijit olması gerekirken, viskoz bir sıvı gibi davranış sergilemesiyle kendini gösterir. Sıvılaşma durumunda, zeminin makaslama dayanımı azalır ve bu nedenle yapılar genellikle desteklerini ve stabilitesini kaybederler. Meydana gelen bu olay, genellikle doymuş olan zeminlerde meydana gelir ve özellikle koyul, nehir kıyıları ve diğer su kaynakları çevresinde sıkça görülür (Karanlık, 2006). Bu durumda, zemindeki su basıncı artar ve taneler arasındaki sürtünme kuvveti azalır, böylece zeminin taşıyabileceği kapasite ciddi oranda azalır, bunun sonucunda ise yapılar önemli hasarlar görmektedir.

Sıvılaşmanın yapı temellerinin üzerindeki yükü taşıyamaz hale gelmesine ve yapısal sorunlara yol açabilecek bir durum olduğu ortaya konulmuştur. Özellikle deprem etkisiyle zeminin sıvılaşması, yapısal deformasyonlara ve ciddi hasarlara neden olabilir. Bu durum, yerleşim yerlerinin planlanması ve yapıların tasarımı açısından büyük bir öneme sahiptir. Mollamahmutoğlu ve Babuçu'nun (2006) belirttiği gibi, sıvılaşma eğilimi olan bölgelerde yapıların güvenliği için uygun önlemler alınmalı ve yapısal tasarımlar buna göre yapılmalıdır. Ayrıca, deprem riski taşıyan bölgelerde sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, riskin azaltılması ve toplumun güvenliği için hayati önem taşır. Bu değerlendirme, sadece yapısal mühendislik açısından değil, aynı zamanda kentsel planlama ve afet yönetimi açısından da dikkate alınmalıdır. Çünkü sıvılaşma riski olan bölgelerde yapılan kentsel planlamalar ve afet yönetimi stratejileri, toplumun güvenliği ve yaşam kalitesi açısından önemli bir rol oynar. Bu nedenle, sıvılaşma olgusuyla ilgili doğru önlemlerin alınması ve uygun stratejilerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak sıvılaşma, katı maddenin moleküler düzeninin kaybıyla karakterize edilen bir olaydır. Bu fenomen, genellikle yüksek basınç, titreşim veya sıcaklık gibi dış etkenlerin etkisiyle meydana gelir. Moleküler bağların zayıflaması veya kopması sonucunda, katı maddenin belirli bir sıcaklık ve/veya basınç altında sıvı hâle geçişi gerçekleşir. Sıvılaşmanın olumsuz etkileri, özellikle zemin mühendisliği ve yapısal tasarım alanlarında önemlidir. Zeminin sıvılaşması, yapıların stabilitesini azaltabilir ve deprem gibi doğal afetler sırasında yapıların çökmesine veya hasar görmesine neden olabilir. Ayrıca, endüstriyel süreçlerde de istenmeyen sonuçlara yol açabilir.

Erciş ve çevresi, sıkışmalı tektonik rejim ve doğrudan atım karakterli faylarla etkileşim içinde olduğundan sismik açıdan oldukça riskli bir konumda bulunmaktadır.

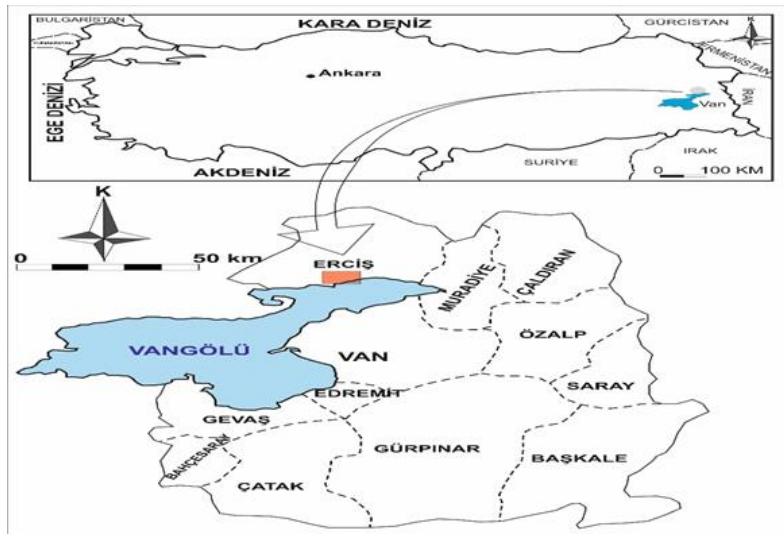
Özellikle Çaldıran Fayı ve Erciş-Kocapınar Fayı'nın etkisi altındadır. Bu nedenle, bölge depremlere karşı hassas bir konumdadır. 23.10.2011 yılında Mw=7.2 meydana gelen Van Depreminde, bu risk somut bir örnek olarak gözlemlenmiştir. Depremde, özellikle Erciş ilçesinde önemli yapı hasarı ve yıkım yaşanmıştır. Ancak, deprem sonrası yapılan çeşitli arazi incelemelerinde, yoğun yerleşim alanı olan Erciş merkezi ve yakın çevresinde sınıvlaşmayla ilişkili yüzey deformasyonlarına rastlanmamıştır. Bu durum, bölgenin sınıvlaşma açısından doğrudan etkilenmediğini göstermektedir. Ancak, Erciş'in batısında bulunan Sınıvlaşmayla ilişkili kum kaynakmaları ve yanal yayılmalar Çelebibağ'ın kırsal alanlarında gözlemlenmiştir. Bu da gösteriyor ki, sınıvlaşma olgusu bölgede heterojen bir dağılıma sahiptir ve farklı alanlarda farklı etkiler gösterebilir.

Erciş ilçe merkezinde 2011 Van depreminde yüzeyde sınıvlaşmayla ilişkili deformasyonlar gözlemlenmemiş olmasına rağmen, bölgede suya doygun iri taneli zeminlerin yoğun olduğu biliniyor. Bu durum, gelecekteki daha büyük ölçekli depremler sırasında sınıvlaşma ve bununla ilişkili yüzey deformasyonlarının ortaya çıkabileceği endişesini artırıyor. Özellikle,

Muradiye istasyonu'nda 23.10.2011 yılında Van ilinde meydana gelen depremin ölçülen yatay ivme değeri yüksek olduğu belirtilmiş. Bu durum, daha büyük depremlerde yüzey deformasyonu riskinin artabileceğini gösteriyor. Bu sebeple, Erciş yerleşiminde gelecekte oluşabilecek büyük depremlerde sınıvlaşma ve buna bağlı yüzey deformasyonlarının olası etkilerinin değerlendirilmesi ve riskli alanların belirlenmesi son derece önemli. Bu değerlendirme, güvenli yapılaşma ve şehir planlaması açısından kritik bir rol oynar. Bu nedenle, sismik olarak tehlikeli bir bölgede bulunan Erciş yerleşimi için sınıvlaşma potansiyelinin sayısal olarak değerlendirilmesi, önleyici önlemlerin alınması ve risklerin azaltılması açısından büyük önem taşır. Bu bağlamda bu çalışma, gelecekteki depremlerin etkilerini azaltmak ve toplumun güvenliğini sağlamak için atılabilecek adımları belirlemeye yardımcı olabilmeyi amaçlamaktadır.

### 1.1. İnceleme alanının tanıtımı

Van Gölü'nün kuzey bölümünde yer alan Erciş yerleşimi, Van merkezine yaklaşık olarak 80 kilometre mesafededir. Ulaşım genellikle karayoluyla sağlanmaktadır (Şekil 1). Erciş, Van ilinin en kalabalık ilçesi olarak bilinmektedir.



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası

Erciş ilçesi genel olarak düz bir topoğrafyaya sahip olmakla birlikte, kuzeydoğu ve doğu kısımları yükseltilerle çevrilidir. Yoğun yerleşim alanları, genellikle eski göl çökellerinin üzerine kurulmuştur. Ancak, nüfus artışıyla birlikte yapılaşmalar günümüz alüvyon tabakalarına doğru kayma eğilimindedir. Batıda, Zilan Çayı tarafında bulunan bölgelerde, eski göl çökelleri ile güncel çökeller arasında ani 4-5 metreye varan seviye farkları bulunmaktadır.

Diğer yandan, yerleşkenin güney kısmında ki topoğrafya, göle taraf hafif bir eğimi bulunmaktadır. Bu alanda güncel göl çökelleri ile eski çökeller arasında sınır belirgin değildir. Zilan Deresi, Deliçay, İrşat, Yekmal Çayı bölgenin kuzeyinden güneye doğru akarak Van Gölü'ne dökülmektedir. Bu akarsular, bölgenin hidrolojik ve coğrafi yapısını belirleyen önemli unsurlardır.

## 1.2. Çalışma alanının jeolojisi

Erciş bölgesinin temelini oluşturan birim, resifal karakterli Adilcevaz Kireçtaşı adı verilen Alt Miyosen yaşlı kireçtaşı birimidir (Akın ve ark., 2015). Bu birimlerin üzerine, Etrüsk ve Girekol Volkanları'na ait lavlar ile volkanosedimenter kırıntılar yerleşmiştir. Volkanizma süreci, Pliyosen'den Kuvaterner'e kadar farklı evrelerde ve çeşitli tiplerde ürünler ortaya koymuştur (Oyan, 2011).

Bu birimlerin üzerinde geniş alanlarda Kuvaterner yaşlı kırıntılar yer alır. Bu kırıntılı birimler, genellikle akarsu, delta ve göl kırıntılarından oluşan iri taneli malzemelerden oluşmuştur (MTA, 2007; 2008).

Çalışma alanının büyük bir kısmı, özellikle Erciş merkezi ve çevresi, göl ve akarsuların getirdiği farklı boyuttaki jeolojik malzemelerin tekrarlanması sonucu oluşmuştur. Bu malzemeler arasında göl çökelleri (eski alüvyon) önemli bir yer tutar. Genellikle ince kum ve silt boyutundaki malzemelerden oluşan göl çökelleri, yer yer kısmen derin seviyeleri temsil eden killi tabakalar da içerebilir. Bu birim genellikle

lamina boyutunda ince tabakalı olup, çoğunlukla yataydır (MTA, 2007; 2008). Alüvyon sahalarında, Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılan derin sondaj kuyularında birimin tespit edilen kalınlığı 188 metre olarak belirlenmiştir. Bu veriler, bölgenin jeolojik yapısını ve alüvyon biriminin kalınlığını daha iyi anlamamıza yardımcı olur.

Akarsu ve delta çökelleri (güncel alüvyon), genellikle ince-iri çakıl ve büyük kum boyutundaki kırıntılardan meydana gelir (MTA, 2007; 2008). Bu çakıllar genellikle yuvarlak-yarı yuvarlak şekillidir ve genellikle 8-10 cm büyüklüğündedir. Bu malzemeler çoğunlukla volkanik birimlerle ve kireçtaşı kökenli malzemelerle ilişkilendirilir.

Bu birim genellikle kötü derecelenmiştir (Akın ve diğerleri, 2015). Akarsu ve delta çökelleri içinde, zaman zaman akıntı yapıları ve çapraz tabakalanmalar gözlemlenebilir. Bu birim ayrıca genellikle taşkın düzlüklerinde silt ve kil boyutundaki malzeme ile birlikte organik madde kalıntılarını da içerir (Akın ve ark., 2015)

Erciş ve çevresine ilişkin detaylı bir çalışma, bölgeyi etkileyen ana fay zonlarının Erciş-Muradiye fayı, Koçapınar fayı, Zilan fayı, Çaldıran fay zonu, Çakırbey fayı ve güneyde Adıgüzel-Özalp fayı ile Van yerleşimi yakınlarındaki Van fayı olduğunu göstermektedir (Şengül ve ark., 2012; Koçyigit, 2012). Erciş fayı olarak da bilinen ana fay, batıda Erciş ilçe yerleşiminin kuzeybatısından başlayıp doğuda Muradiye ovasına kadar uzanmaktadır. Sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakterinde olan bu fay, birbirine paralel ve aynı karakterde birçok kısa faydan oluşmaktadır (Şengül ve ark., 2012). Bu faylar Etrüsk volkanının güncel patlamalarına ve Erciş Ovası'nın oluşumuna katkıda bulunmuştur.

Erciş fayı Muradiye ovası içinde morfolojik bir özellik göstermemekle birlikte, 23 Ekim 2011 Van depremi sonrası bölgesel sismik aktivite sırasında ova kenarında gözlenmiştir (Akın ve ark., 2015). Erciş ilçesinin 15 km doğusunda yol

kenarında gözlenebilen Erciş fayı yaklaşık 85 derece kuzeye eğimlidir ve 30-40 cm kalınlığında çimentolaşmış ezik bir zona sahiptir (Şengül ve ark., 2012). Fay zonu boyunca farklı dönemlerde faylanmaların meydana geldiği ve düşey bindirmelerin bazen 1,5 m'ye ulaştığı açıkça görülmektedir (Akın ve ark., 2015).

Kocapınar Fayı, Erciş ilçesini ve çevresini etkileyen ilçenin batısında konumlanan ve ismini de, Kocapınar beldesinden alan önemli faylardan biridir. Kocapınar Fayı, aletsel dönemde aktiflik gösteren ve yaklaşık 15-20 kilometre uzunluğunda olan bir doğrultu atımlı faydır. Fay, sağ yönlü bir hareketle karakterizedir, yani yan yana iki blok arasında yatay hareket oluşur.

Erciş ovası içerisine doğrudan uzanan bu fay gözlenmemektedir; ancak Kocapınar beldesi güneyindeki dere yatağını takip ederek uzanır. Fay boyunca yoğun su çıkışları gözlenmektedir, bu da fayın aktivitesinin bir göstergesi olabilir. Kocapınar Fayı'nın varlığı, bölgenin jeolojik yapısının ve tektonik aktivitesinin bir sonucudur. Faylar genellikle büyük kara parçalarının hareketi sırasında oluşur ve bu da depremlerin meydana gelme olasılığını artırır. Bu nedenle, Kocapınar Fayı gibi fay hatları, yerel topluluklar için potansiyel tehlike kaynakları olarak önemlidir ve jeolojik risk değerlendirmelerinde dikkate alınmalıdır.

Bölgeyi etkileyebilecek bir diğer önemli fay zonu Çaldıran Fay Zonu'dur. Bu fay zonu halen aktif durumdadır ve 1976 yılında meydana gelen M 7.3 büyüklüğündeki depremde belirgin bir rol oynamıştır. Bu depremde, sağ yönde 3.7 metre üzerinde maksimum atım gerçekleşmiştir. Çaldıran Fay Zonu, özellikle Erciş ilçesinde ciddi hasarlara neden olmuştur. Özellikle Erciş'in kuzeyindeki köylerde büyük yıkımlara yol açmıştır. Bu fay zonu, yaklaşık 60 kilometre uzunluğunda ve kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanır. Sağ yönlü doğrultulu atımlı bir yapıya sahiptir, yani yan yana iki bloğun yatay hareketiyle karakterizedir.

Van fayı ve benzeri kuzey yönlü fayların tekrar aktif hale gelmesi durumunda başta Erciş, Muradiye, Ünseli, Koçapınar, Çelebibağ ve civar köyler olmak üzere kuzeydeki önemli yerleşim yerleri ciddi şekilde etkilenebilir. Bu fayların aktiflik kazanması, bölgede şiddetli depremlerin meydana gelme olasılığını artırabilir.

Kuzeye eğimli bindirme karakterli faylar, bir bloğun diğerinin üstüne doğru hareket ettiği ve bu nedenle kara parçalarının yukarı doğru itildiği faylardır. Bu tür bir hareket, genellikle büyük ölçekli depremlere yol açar ve çevrede ciddi hasarlara neden olabilir.

Erciş ve çevresi, bu tür fayların etkisine açık bir konumda bulunmaktadır çünkü fay hatları genellikle yakın yerleşim alanlarına yakın geçmektedir. Bu durum, yerel yönetimlerin ve toplumların deprem hazırlığı ve afet yönetimi konularında özellikle dikkatli olmalarını gerektirir.

### 1.3. Yeraltısuyu durumu

Erciş yerleşkesi ve çevresi, genellikle topoğrafya olarak düz bir alana kurulmuştur. Yapılan sondaj kuyularında yer alan yeraltı suyu derinlikleri incelendiğinde, genellikle yeraltı suyunun sığ olduğu gözlenmektedir (0.2 m ile 11 m arasında değişmektedir). Erciş yerleşkesindeki göl çökellerinde yeraltı suyu genellikle 6 m'den daha derinde bulunurken, Van Gölü'ne yaklaşıldıkça 2 m'den daha sığ derinliklere rastlanabilir. Özellikle güncel alüvyon çökellerde yeraltı suyu seviyesi oldukça sığdır (<4 m).

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Çalışma kapsamında, ölçeği 1:25.000 ve paftası J50c3 numaralı olan topoğrafik harita kullanılarak inceleme alanının topoğrafik özellikleri belirlendi. Bu harita üzerinde, sondaj noktalarının konumları doğrulandı. Ayrıca, Mta tarafından hazırlanmış olan, Erciş yerleşkesi ve çevresini kapsayan 1:25.000 ölçeğindeki jeolojik birimlerin dağılımlarını ve bölgede etkili tektonik yapıların tespiti için bu haritalardan istifade edilmiştir.

Çalışmanın odak noktasını, farklı kurumlar tarafından farklı tarihlerde gerçekleştirilen toplam 165 sondaj verisi (Tablo 1) oluşturdu. Sıvılaşma potansiyeli, bu 165 adet sondaj kuyusundan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri, sıvılaşma potansiyelinin

belirlenmesinde kullanılmak üzere yapılmış olan standart penetrasyon deneyi (SPT) neticeleri ve çalışma alanlarındaki zemin birimlerinin tane boyu dağılımları gibi fiziksel özellikler kullanılarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Çalışma amacı için faydalanılan jeoteknik sondajlara ait veriler

SONDAJ NO	KOORDİNAT		Derinlik (m)	Yeraltısı Derinliği (m)	SONDAJ NO	KOORDİNAT		Derinlik (m)	Yeraltısı Derinliği (m)
	X	Y				X	Y		
SK-2	357826	4321522	10	9	SK-47	359972	4318891	20	2.5
SK-3	358992	4320777	16	5	SK-48	359957	4318926	20	2.5
SK-4	359014	4320764	15	5	SK-49	357169	4321219	20	3
SK-5	359029	4320754	15	5	SK-50	357201	4321200	20	3
SK-6	359059	4320749	15	5	SK-51	357211	4321216	20	3
SK-7	358954	4320732	20	4.5	SK-52	357178	4321232	20	3
SK-8	358967	4320752	17	4.5	SK-53	357192	4321214	20	3
SK-9	358985	4320775	20	4.5	SK-54	358372	4316353	24	3.5
SK-10	358969	4320717	18	4.7	SK-55	358409	4316261	24	3.5
SK-11	358985	4320738	19	4.7	SK-56	358498	4316294	24	2.5
SK-12	359003	4320760	20	5	SK-57	358429	4316189	24	2.5
SK-13	358992	4320702	19	5	SK-58	358532	4316223	27	2
SK-14	359006	4320722	20	4.7	SK-59	358430	4316130	27	2
SK-15	359018	4320747	18	5	SK-60	358354	4316255	20	1.5
SK-16	359009	4320692	18	5	SK-61	357188	4319984	15	4.5
SK-17	359021	4320713	19	5	SK-62	357145	4320071	15	4.5
SK-18	359036	4320737	18	5	SK-63	355267	4321835	15	4.5
SK-19	359025	4320683	20	5	SK-64	355297	4321846	15	4.5
SK-20	359042	4320703	19	5	SK-65	359367	4321371	15	2
SK-21	357020	4320555	15	4.5	SK-66	359394	4321364	15	2
SK-22	357099	4320532	15	4.5	SK-67	355779	4324017	15	2
SK-23	357079	4320608	10	4.5	SK-68	356419	4325453	15	2.5
SK-24	359376	4321288	10	9	SK-69	357014	4318726	15	4
SK-25	359406	4321313	10	9	SK-70	353901	4318353	15	4.5
SK-26	357928	4321091	15	4.5	SK-71	353925	4318379	15	4.5
SK-27	357910	4321092	10	4.5	SK-72	357191	4321344	15	4
SK-28	359096	4320136	10	2.5	SK-73	357170	4321320	15	4
SK-29	359082	4320147	10	2.5	SK-74	359374	4321294	10	8.5
SK-30	355460	4322150	10	9	SK-75	358801	4320760	10	9
SK-31	355468	4322168	10	9	SK-76	358178	4317074	40	1
SK-32	360084	4320111	15	11	SK-77	358051	4317219	20	1.5
SK-33	360064	4320151	11	11	SK-78	357808	4317454	20	0.8
SK-34	358058	4321236	15	3	SK-79	359702	4317488	20	0.8
SK-35	358047	4321239	15	3	SK-80	359940	4317906	20	0.2
SK-36	356669	4321287	20	6	SK-81	360781	4317956	20	0.75
SK-37	356688	4321280	20	7.5	SK-82	359872	4318550	20	2.2
SK-38	356714	4321278	20	7.5	SK-83	360527	4318194	40	2
SK-39	356723	4321301	20	10.5	SK-84	353917	4324531	30	0.5
SK-40	356667	4321305	20	10.5	SK-85	354573	4324427	20	1
SK-41	356718	4321362	20	10	SK-86	354969	4324036	30	1
SK-42	356756	4321341	20	10	SK-87	354670	4373997	20	0.5
SK-43	356757	4321372	20	10	SK-88	354023	4323932	20	0.5
SK-44	356721	4321371	20	7.5	SK-89	354190	4323523	20	0.7
SK-45	359941	4318919	20	2.5	SK-90	354812	4323548	20	0.5

**Tablo 1.** Çalışma amacı için faydalanılan jeoteknik sondajlara ait veriler (devamı)

SONDAJ NO	KOORDİNAT		Derinlik (m)	Yeraltısı Derinliği (m)	SONDAJ NO	KOORDİNAT		Derinlik (m)	Yeraltısı Derinliği (m)
	X	Y				X	Y		
SK-91	354983	4323306	25	1	SK-136	356704	4320663	20	6
SK-92	354559	4323387	20	1	SK-137	356795	4319798	20	11
SK-93	353875	4323299	20	1	SK-138	357317	4319777	20	3.5
SK-94	353719	4322862	30	1	SK-139	357912	4319726	20	3
SK-95	354339	4322794	20	0.5	SK-140	358420	4319727	25	1.5
SK-96	354721	4322775	20	1	SK-141	358970	4319757	35	0.5
SK-97	355126	4322607	20	1	SK-142	359508	4319756	20	6
SK-98	354573	4322167	23	1	SK-143	357019	4318647	20	4
SK-99	354018	4322284	20	1	SK-144	360580	4319072	20	10
SK-100	353523	4322211	20	1	SK-145	360051	4319213	25	4
SK-101	353914	4321701	20	1	SK-146	359545	4319074	20	1
SK-102	354647	4321637	20	1	SK-147	358993	4319210	30	2
SK-103	354937	4321945	20	1	SK-148	358356	4319044	20	1
SK-104	355029	4321138	24	1	SK-149	357885	4319174	20	1
SK-105	354567	4321032	30	1	SK-150	357603	4318769	20	1
SK-106	354200	4321020	20	1	SK-151	357392	4318330	20	1
SK-107	354147	4320567	20	1.5	SK-152	357865	4318298	25	2
SK-108	354824	4320202	20	1	SK-153	358492	4318374	30	2
SK-109	354589	4319896	20	1	SK-154	358956	4318376	35	1.5
SK-110	354037	4319947	20	1	SK-155	359515	4318468	20	4
SK-111	354458	4319433	20	1	SK-156	360127	4318645	20	1
SK-112	354874	4318973	35	0.5	SK-157	360560	4318641	20	8
SK-113	355303	4319147	20	0.7	SK-158	359586	4317703	20	1
SK-114	355300	4319477	25	1	SK-159	358818	4317838	20	1.5
SK-115	354962	4322970	30	1	SK-160	358426	4317796	20	1
SK-116	354796	4319557	30	1	SK-161	357871	4317693	20	1
SK-117	356980	4320512	20	5	SK-162	357414	4317813	25	1
SK-118	356980	4320471	20	5	SK-163	358457	4317124	20	1
SK-119	357015	4320509	20	5	SK-164	358931	4317107	20	1
SK-120	359316	4321752	20	10	SK-165	359309	4317398	25	4
SK-121	359831	4321831	25	8					
SK-122	358350	4321809	20	8					
SK-123	357826	4321823	25	8					
SK-124	357315	4321804	20	3					
SK-125	356833	4321555	25	10					
SK-126	357348	4321207	25	2					
SK-127	357827	4321115	20	2					
SK-128	358396	4321116	22	8					
SK-129	358946	4321140	20	8					
SK-130	359472	4321121	15	10					
SK-131	359538	4320512	25	10					
SK-132	358984	4320520	25	7					
SK-133	358427	4320486	30	7					
SK-134	357865	4320478	25	6					
SK-135	357278	4320552	20	3					

## 2.2. Yöntem

Toplamda 165 adet sondaj kuyusuna ait veriler derlenmiştir, bu veriler çeşitli kamu kurumları ve özel kuruluşlar tarafından standartlara uygun olarak elde edilmiştir. Bu veriler, Erciş ve çevresinin sıvılaşma potansiyelini belirlemek için kullanılmıştır. Veri tabanı, farklı seviyelerde yapılan Standart Penetrasyon Testi (SPT) deneylerine ait darbe sayıları, yeraltı suyu

seviyeleri, laboratuvar deney sonuçları gibi çeşitli bilgileri içermektedir.

Bu çalışmada, Idriss ve Boulanger (2006) tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak devirsel dayanım oranı ile devirsel gerilme oranı arasındaki ilişki incelendi. Sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörleri göz önünde bulundurularak, çalışmada dikkate alınan 165 kuyunun sıvılaşma potansiyeli Iwasaki ve diğerleri (1982) tarafından önerilen sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) ve Sönmez ve

Gökceoğlu (2005) tarafından önerilen sıvılaşma şiddeti indeksi (LSI) kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sıvılaşma potansiyeli değerlerine göre ArcMap v.10 programı kullanılarak LPI ve LSI değerleri kullanılarak Erciş yerleşimi için iki ayrı sıvılaşma potansiyeli haritası üretilmiştir.

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) verilerine dayalı olarak sıvılaşma analizleri yapılmasında, Idriss ve Boulanger (2006, 2008) yöntemi kullanıldı ve tekrarlı gerilme yaklaşımı esas alındı. Magnitüd derecelendirme faktörü (MSF) etkisi altında, devirsel dayanım oranı (CRR) tekrarlı (devirsel) gerilme oranına (CSR) oranlandı ve bu sayede sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayıları (FS) belirlendi.

$$“FS = \frac{CRR}{CSR} MSF” \quad (1)$$

Yukarıdaki formülasyona göre sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS), 1'den küçük bir değere sahip ise sıvılaşma olayı gerçekleşeceği, 1'e eşit olduğunda sıvılaşma açısından potansiyelle sahip olduğu, 1.2'den büyük olduğunda da sıvılaşma olayı meydana gelmemektedir. (Seed ve Idriss, 1982) (Tablo 2). Ulusay ve Tosun (1999), zeminin sıvılaşma potansiyelinin tespit çalışmaları için genel bir referans olarak sıvılaşma analizlerinde, sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının (FS) aşağıdaki değer aralıklarına göre değerlendirilmesini önermiştir:

- FS < 1: Sıvılaşma potansiyeli yüksek
- 1 ≤ FS < 1.2: Sıvılaşma potansiyeli var, ancak sıvılaşma belirsiz
- FS ≥ 1.2: Sıvılaşma potansiyeli düşük, sıvılaşma olasılığı düşüktür.

**Tablo 2.** Zeminin sıvılaşma potansiyelinin (FS) belli aralıklara göre tanımlanması (Ulusay ve Tosun (1999))

Sıvılaşma Güvenlik Katsayısı	Sıvılaşma
FS ≤ 1	Sıvılaşma gözlenir
1 < FS ≤ 1.2	Potansiyel sıvılaşma
FS > 1.2	Sıvılaşma gözlenmez

Idriss ve Boulanger (2010) yaklaşımının hesaplama ayrıntıları ve genel özellikleri aşağıda sunulmuştur

$$“(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta (N_1)_{60CS}” \quad (2)$$

$$“\Delta (N_1)_{60CS} = \exp\left[1.63 + \left(\frac{9.7}{FC+0.01}\right) - \left(\frac{15.7}{FC+0.01}\right)^2\right]” \quad (3)$$

$$“CRR_{7.5} = \exp\left[\frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126}\right)^2 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6}\right)^4 - 2.8\right]” \quad (4)$$

Idriss ve Boulanger (2010), CSR bağıntısının hesaplanmasında kullanılan bazı değerlerin orijinal versiyonlarına göre aşağıda belirtilen değişiklikleri önermişlerdir.

$$“CSR = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}\right) r_d” \quad (5)$$

$$“r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) M_w]” \quad (6)$$

$$“\alpha(z) = -1.012 + 1.126 \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)” \quad (7)$$

$$“\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)” \quad (8)$$

$\alpha(z)$  ve  $\beta(z)$  derinliğe bağlı olan bir sinoidal korelasyon eğrisini ifade etmektedir.



### 2.2.1. Sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI)

Iwasaki ve ark. (1982) tarafından belirlenen Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI), sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, devirsel gerilme metoduyla İlgilidir (Liyanapathirana ve Poulos, 2005). LPI tabakaların sıvılaşan ve sıvılaşma olmayan kalınlığı, derinliği Sıvılaşma Güvenlik Faktörlerine bağlıdır. Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi, sıvılaşabilir tabakaların potansiyel sıvılaşma durumunu değerlendirmek için bir ölçüt sunar. Aşağıda verilen denklemle her tabakanın sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) hesaplanabilir. Ayrıca, bir kuyuya ait olan Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI) değeri, tüm tabakaların tek tek LPI değerlerinin toplamına eşittir.

$$“LPI = \int_0^z F(z)W(z)dz” \quad (9)$$

Burada, "z" yüzeyden sonra sıvılaşan seviyenin metre cinsinden tabaka derinliğini, "F(z)" sıvılaşma güvenlik katsayısını ve "W(z)" ağırlık faktörünü ifade eder. Bu değerler aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenir.

**Tablo 3.** Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI) ve sıvılaşma riski dereceleri (Iwasaki ve ark., 1982)

Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI)	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Çok düşük
$0 < LPI \leq 5$	Düşük
$5 < LPI \leq 15$	Yüksek
$LPI > 15$	Çok yüksek

### 2.2.2. Sıvılaşma şiddeti indeksi (LSI)

Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI), LPI yöntemine kıyasla farklı sınır değerlerine sahiptir (Tablo 4). Sönmez ve Göçeoğlu (2005), sıvılaşma potansiyel indeksi bağıntısına Eşitlik 14.a'yı ekleyerek Sıvılaşma Şiddeti İndeksini önermişlerdir. Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI)

$$“P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{FS}{0.96}\right)^{4.5}} \quad FS \leq 1.411 \text{ için}” \quad (14.a)$$

$$“P_L(z) = 0 \quad FS > 1.411 \text{ için}” \quad (14.b)$$

$$“W(z) = 10 - 0.5z \quad z < 20 \text{ m}” \quad (14.c)$$

$$“W(z) = 10 - 0.5z \quad z < 20 \text{ m}” \quad (10)$$

$$“FS \leq 1.0 \text{ ise } F = 1 - FS” \quad (11.a)$$

$$“FS > 1.0 \text{ ise } F = 0” \quad (11.b)$$

Derinlik olarak 20 metreden sonra sıvılaşma olayının vuku bulmamasından dolayı, "z" değerinin 20 m'den küçük olduğu durumlar için kullanılmasının temel nedeni olarak geçmişte meydana gelen depremlerin incelenmesi gösterilebilir.

$$“FS = 0 \text{ } z = 20 \text{ metre için } LPI = 100 \text{ (max)}” \quad (12.a)$$

$$“FS \geq 1 \text{ koşulunda ise } LPI = 0 \text{ (min)}” \quad (12.b)$$

Farklı zemin seviyelerini içeren bir yığında, her bir seviye için sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) değeri ayrı ayrı hesaplanır. Her bir zemin seviyesi için hesaplanan LPI değeri, o seviyenin üstünde bulunan diğer seviyelerin LPI değerlerinin toplamına eşittir. Sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI)'nin toplam karşılığı belirlendikten sonra, zeminin sıvılaşma riskini değerlendirmek için sıvılaşma potansiyeli indeksi hesaplanır (Iwasaki ve ark., 1982) (Tablo 3).

hesaplanması için gerekli olan denklem aşağıda verilmiştir.

$$“LSI = \int_0^z P(L)W(z)dz” \quad (13)$$

Yukarıdaki eşitlikte verilmiş olan  $P_L$  (sıvılaşma olasılığı) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

Andrews ve Martin (2000) tarafından belirlenen bir zemin için  $FS > 1.411$  şartını sağlayan durumlarda, kil içeriği ve likit limiti temel alınarak bir duyarlılık ölçütü

kullanılarak "sıvılaşmaz" olarak değerlendirilmiş ve sıvılaşma alt sınırı 1.411 olarak kabul edilmiştir.

**Tablo 4.** Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI) sınıfları (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005)

Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI)	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Sıvılaşmaz
$0 < LSI < 15$	Çok düşük
$15 \leq LSI < 35$	Düşük
$35 \leq LSI < 65$	Orta
$65 \leq LSI < 85$	Yüksek
$85 \leq LSI < 100$	Çok yüksek

Bu veriler ışığında Erciş içi ve çevresi için 165 adet sondaj kuyusu için hesaplanan Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI) ve Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI) değerleri temel alınarak CBS tabanlı ArcMap 10 yazılımı kullanılarak iki ayrı sıvılaşma potansiyeli haritası hazırlanmıştır.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Erciş yerleşkesi için sıvılaşma potansiyelinin ortaya konulması

SPT-N darbe sayıları ile çalışma alanı için sıvılaşma güvenlik faktörlerini ve sıvılaşma potansiyelini belirlemek için, önceki jeoteknik araştırmalardan elde edilen veriler toplanmış ve zemin tipi, SPT-N parametreleri ve yeraltı suyu derinliğinin dikkate alındığı bir hesaplama bölümüne geçilmiştir. Bu aşamada, literatürde yüzeyden başlayarak ilk 20 m'lik bölgenin sıvılaşma açısından önemli olduğu belirtildiği için sondaj kuyularının ilk 20 m'si dikkate alınmıştır. Hesaplamalar, yeraltı suyunun üzerindeki seviyelerin doygun olmadığı varsayımına dayandırılmış ve hesaplamaya dahil edilmemiştir.

Sıvılaşma potansiyeli endeksi (LPI) sıvılaşabilen ve sıvılaşmayan katmanların kalınlığına, sıvılaşma güvenlik faktörüne ve derinliğine bağlı olarak belirlenir. Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI), denklem 10, 11.a ve 11.b'den elde edilen değerlerin denklem 9'da yerine konulmasıyla hesaplanabilir. Bu işlem her bir seviyedeki LPI değerini hesaplar ve

özetler ve ardından saha için LPI değerini belirler ve Tablo 3'ü kullanarak yorumlar.

Ayrıca, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde genellikle kullanılan diğer bir yöntem olan Sıvılaşma Şiddeti İndeksi hesaplanır iken, Eşitlik 14.a, 14.b ve 14.c'deki değerler bulunur ve ardından Eşitlik 13'e yerine konarak her bir seviye için LSI değeri hesaplanır. Sonrasında, elde edilen LSI değerleri Tablo 4 kullanılarak yorumlanır (Tablo 5).

#### 3.2. Erciş yerleşkesinin sıvılaşma potansiyeli endeksi (LPI)

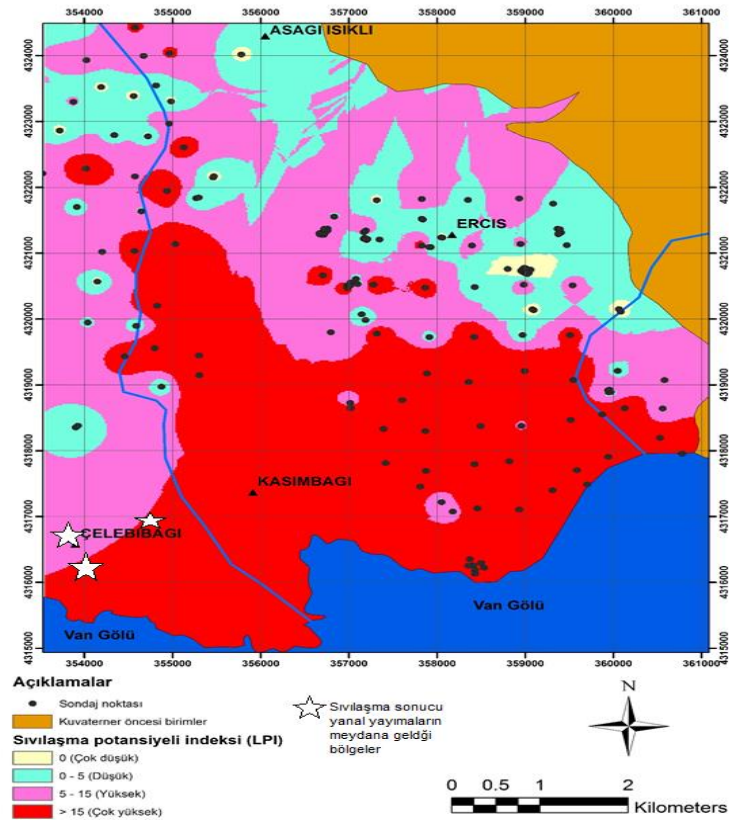
Şekil 2'de Erciş ilçe merkezinde (LPI) yöntemine kullanılarak hazırlana haritaya göre, Erciş bölgesinin batısında kalan Zilan ve İrşat Deresi'nin mevcut alüvyonlarında, düşük su tablası ve gevşek kumlu zeminler nedeniyle sıvılaşma potansiyelinin yüksek ve çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, Erciş yerleşkesinin konumlandığı bölgedeki eski alüvyonlu arazide sıvılaşma potansiyelinin genellikle çok düşük ve ihmal edilebilir düzeyde olduğu, ancak bazen dalgalanmaların olduğu tespit edilmiştir. Erciş İlçe merkezinden Van Gölü'ne doğru gidildikçe sıvılaşma potansiyeli artmaktadır. Zilan Deresi boyunca düşük sıvılaşma potansiyeline sahip kuyular bulunmasına rağmen, LPI yöntemine göre bu alandaki sıvılaşma potansiyeli yüksek bulunmuştur. Çelebibağ'ın kuzeyi ve Zilan Deresi'nin batısında sıvılaşma potansiyeli çok düşük ila düşüktür (Akın ve ark., 2015).

**Tablo 5.** Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (Iwasaki ve ark., 1982) ve Sıvılaşma Şiddeti İndeksi Excel hesaplama sayfası örneği (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005)

Derinlik (m)	SPT-N	Zemin türü (USCS)	İnce tane oranı (FC) (%)	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	CSR	CRR	Güvenlik katsayısı (FS)	Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI)*	Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI)**
1.5	44	SP-SM	15	38.6	0.26	n.a.	n.a.	0.00	0.00
3	34	CL	6	n.a.	0.31	n.a.	n.a.	0.00	0.00
4.5	44	SP-SM	10	37.2	0.36	2.00	2.00	0.00	0.00
6	34	SP-SM	30	27.4	0.38	0.79	2.00	0.00	0.00
7.5	23	SP-SM	10	17.8	0.40	0.20	0.50	4.41	8.37
9	23	SP-SM	10	17.6	0.40	0.19	0.48	4.03	7.37
10.5	44	SP-SM	10	32.1	0.41	0.77	1.90	0.00	0.00
12	34	SP-SM	33	23.7	0.41	0.42	1.04	0.00	2.24
13.5	44	SP-SM	33	29.9	0.40	1.11	2.00	0.00	0.00
15	6	SP-SM	30	3.6	0.40	0.11	0.27	2.33	3.18
16.5	56	SP-SM	12	36.3	0.39	1.72	2.00	0.00	0.00
18	57	SP-SM	68	36.5	0.38	1.68	2.00	0.00	0.00
19.5	44	SP-SM	68	26.6	0.38	0.57	1.51	0.00	0.00
<b>Toplam Sıvılaşma Potansiyeli</b>								<b>LPI 10.77</b>	<b>LSI 21.16</b>
								<b>Yüksek</b>	<b>Düşük</b>

\* Iwasaki ve ark. (1982)

\*\* Sönmez ve Gökçeoğlu (2005)

**Şekil 2.** Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI) yönteminden yararlanılarak oluşturulan Erciş ve çevresine ait sıvılaşma potansiyeli haritası

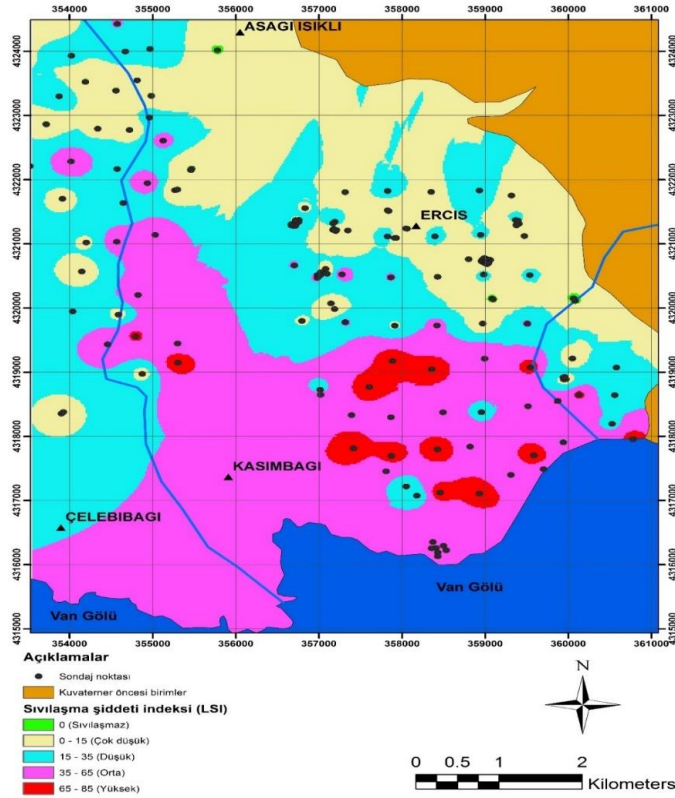
### 3.3. Erciş yerleşkesinin sıvılaşma şiddeti indeksi (LSI)

Sıvılaşma Şiddeti İndeksine göre genellikle yerleşim merkezinin güney

kısımlarında bulunan alanlarda sıvılaşma potansiyeli yüksek olduğu tespit edilmiştir. Zılan Çayı ve İrşat Derelerinin Van Gölü'ne aktığı alüvyon sahasında sıvılaşma

potansiyeli genellikle orta derecede olarak tayin edilmiştir. Eski göl çökellerinde ise sıvılaşma potansiyelinin çok düşük ve düşük olduğu gözlemlenmiştir. Merkezi kısımlarda ise sıvılaşma potansiyelinin hiç olmadığı alanlar olduğu görülmektedir. LSI

yöntemi sıvılaşma potansiyelinin Van Gölü'ne yaklaştıkça arttığını göstermesine rağmen, LPI yönteminin aksine, Van Gölü kıyı şeridi boyunca orta derecede bir sıvılaşma potansiyelinin olduğu bulunmuştur (Şekil 3) (Akın ve ark., 2015).



Şekil 3. Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI) yönteminde yararlanılarak oluşturulan Erciş ve çevresine ait sıvılaşma potansiyeli haritası

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Erciş bölgesinin sahip olduğu zemin parametreleri ve tektonik açıdan incelendiğinde, çalışma alanının büyük ölçüde sıvılaşma potansiyelinin olduğu sonucuna ulaşılabilir. Van Gölü'nün kıyı şeridi boyunca gevşek kumlu topraklar ve sığ yeraltı suyu nedeniyle sıvılaşma potansiyeli yüksek, ilçenin orta kesiminde orta ila yüksek ve kuzey bölgelerinde düşüktür. Değerlendirmeler, eski alüvyonun sıvılaşma potansiyelinin genellikle orta-düşük olduğunu belirlemiştir.

Erciş ilçesindeki yerleşim alanlarında Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI) hesaplamaları Sönmez ve Gökçeoğlu'nun

(2005) formülü dikkate alınarak yapılmıştır. Van Gölü'nün kıyı bölgelerinde, güncel alüvyondaki sıvılaşma potansiyeli orta ila yüksek, eski alüvyondaki sıvılaşma potansiyeli ise çok düşük ila düşüktür.

#### Açıklama

Bu çalışma 2017 yılında "Erciş (Van) Yerleşiminde Sıvılaşmayla İlişkili Olası Yüzey Deformasyonlarının Değerlendirilmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden derlenmiştir.

## Kaynaklar

- Akın, M., Akın, M.K., Akkaya, İ., Özvan, A., Şengül, M.A., 2015. Erciş (Van) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Proje No: 2014 HIZ-MIM167.
- Castro, G., Poulos, S.J., France, J.W., Enos, J.L., 1982. Liquefaction induced by cyclic loading. Report Submitted to the National Science Found, Washington D.C., 80 p.
- Durmaz, S.G., Soyaslan, İ.İ., 2023. Zemin sıvılaşmasını denetleyen koşulların ve sıvılaşma nedenli deformasyonların incelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(2): 401-411.
- İTÜ, 2011. October 23 2011 M7.2 Tabanlı-Van earthquake. İTÜ Report of Faculty of Civil engineering. ([www.eedmi.itu.edu.tr/Van\\_Depremi/index.html](http://www.eedmi.itu.edu.tr/Van_Depremi/index.html)), (Erişim Tarihi: 10.02.2024).
- Idriss, I.M., Boulanger, R.W., 2006. Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26: 115–30.
- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., Sato, H., 1982. Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. *Proceedings of the 3rd International Conference on Microzonation*, 3(2): 1310-1330.
- JMO, 2011. Van depremleri (Tabanlı-Edremit) raporu. TMMOB *Jeoloji Mühendisleri Odası* Yayın No.110, 48 p.
- Karanlık, S., 2006. Hatay Altinkoy çevresinin zemin sıvılaşma riskinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Köse, Ö., Aras, A., Babayiğit, S., Mercan, Ç., 2011. Van Depremi (23 Ekim 2011, M:7.2), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Raporu.
- Mollamahmutoğlu, M., Babuçcu, F., 2006. Zeminlerde Sıvılaşma: Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, Gazi Kitapevi.
- MTA, 2007. Van İlinin Yer Bilim Verileri, Ankara.
- MTA, 2008. Van K50 Paftası Jeoloji Haritası, Ankara.
- METU/EERC, 2011. 23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van depremi sismik ve yapısal hasara ilişkin saha gözlemleri. Ankara, Rapor No: METU-EERC 2011-4, 76 p.
- MTA, 2011. 23 Ekim 2011 Van Depremi Saha Gözlemleri ve Kaynak Faya İlişkin Ön Değerlendirmeler. ([http://www.mta.gov.tr/v2.0/deprem/2011\\_Van-Depremi\\_Ön\\_Degerlendirmeler.pdf](http://www.mta.gov.tr/v2.0/deprem/2011_Van-Depremi_Ön_Degerlendirmeler.pdf)), (Erişim Tarihi: 10.02.2024).
- Oyan, V., 2011. Etrüsk volkanı ve yakın çevresinin (Van Gölü kuzeyi) volkanostratigrafisi, petrolojisi ve magmatik evrimi. Doktora tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Sonmez, H., Gokceoglu, C., 2005. A liquefaction severity index suggested for engineering practice. *Environmental Geology*, 48: 81–91.
- Şengül, M.A., Koral, H., Altuncu S., 2012. 9 Kasım 2011 Van Depremi olası kaynak fayı ve etkileri. *16. Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) Çalıştayı*, Bildiri Özleri Kitabı, İstanbul, 38.

**Atıf Şekli:** Ertuş, L., 2024. Van'ın Erciş İlçesinin Sıvılaşma Potansiyeli. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 9(2): 360–372.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.11743304>.

**To Cite:** Ertuş, L., 2024. Liquefaction Potential in Erciş District of Van. *MAS Journal of Applied Sciences*, 9(2): 360–372.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.11743304>.