

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SAKARYA İLİ GEYVE İLÇESİ ZEMİNLERİ SIVILAŞMA
DAVRANIŞININ CBS İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe Eda ÖZDİN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsa VURAL

Haziran 2023

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SAKARYA İLİ GEYVE İLÇESİ ZEMİNLERİ SIVILAŞMA
DAVRANIŞININ CBS İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe Eda ÖZDİN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 21/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı:Doç. Dr. Sedat SERT	BAŞARILI
Üye:Doç. Dr. İsa VURAL	BAŞARILI
Üye:Dr. Öğr. Üyesi Kurban ÖNTÜRK	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Ayşe Eda ÖZDİN

21/06/2023

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. İsa VURAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin veri tabanını oluşturmam için zemin etüd raporlarını temin etmemde yardımlarını esirgemeyen Geyve Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmamın her aşamasında yanımda olan bana manevi destek sağlayan arkadaşım Emine ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	2

BÖLÜM 2.

İLİN KONUM, İKLİM, BİTKİ ÖRTÜSÜ, JEOLojİSİ VE TEKNOTİĞİ.....	5
2.1. Konum	5
2.2. İklim	6
2.3. Bitki Örtüsü	7
2.4. Jeolojisi.....	7
2.5. Türkiye'nin Tektoniği	10
2.6. Sakarya İli'nin Tektoniği	11

BÖLÜM 3.

SIVILAŞMA	14
3.1. Sıvılaşmanın Tanımı ve Sıvılaşma Türleri.....	14
3.1.1. Akma türü sıvılaşma.....	15
3.1.2. Devirsel hareketlilik	15
3.2. Hesaplama da Kullanılan Yöntem.....	16

3.3. Haritalandırma Yöntemi.....	19
3.3.1. Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW).....	19
3.3.2. Üçgenleştirilmiş düzensiz ağ yöntemi (TIN)	21
3.3.3. Doğal komşu enterpolasyon yöntemi (NNI)	22

BÖLÜM 4.

ANALİZLER.....	24
4.1. Örnek Sıvılaşma Hesaplaması.....	24
4.1.1. Zemin parametreleri ve SPTN değerleri	25
4.1.2. Sıvılaşma direnci parametresinin ($N_{1,60f}$) hesaplanması.....	25
4.1.3. Sıvılaşma direncinin (T_R) hesaplanması	25
4.1.4. Zeminde oluşan kayma gerilmelerinin (T_{deprem}) hesaplanması	25
4.1.5. Güvenlik katsayısı hesabı.....	26
4.2. Hesaplamalarda Yapılan Kabuller	26
4.3. Haritalandırma Çalışmaları	27
4.4. Zemin Sınıfı Haritaları	27
4.5. SPTN Haritaları	36
4.6. Doğal Su Muhtevası Haritaları (%).....	43
4.7. İnce Dane İçeriği Haritaları (%).....	50
4.8. Likit Limit ve Plastik Limit Haritaları (%)	57
4.9. Yeraltı Su Seviyesi Haritası (-)	71
4.10. Zemin Sıvılaşma Haritaları	72

BÖLÜM 5.

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	80
-------------------------------	-----------

KAYNAKLAR	83
------------------------	-----------

KISALTMALAR

DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
IDI	: İnce Dane İçeriği
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi
SPTCU	: Standart Penetrasyon Deneyi
SPT-N	: Zeminin Standart Penetrasyon Direnci

SİMGELER

CI	: Orta plastisiteli kil
CH	: Yüksek plastisiteli inorganik kil
CL	: Yüksek plastisiteli kil
C_M	: Tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı
$CRR_{M7,5}$	: Moment büyüklüğü 7,5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranı
FC (%)	: 200 No'lu elekten geçen yüzde
G	: Çakıl
GC	: Killi çakıl
GM	: Siltli çakıl
GP	: Kötü derecelenmiş çakıl
GP-GC	: Killi, kötü derecelenmiş çakıl
GP-GM	: Siltli, kötü derecelenmiş çakıl
GW	: İyi derecelenmiş çakıl
GW-GC	: Killi, iyi derecelenmiş çakıl
GW-GM	: Siltli, iyi derecelenmiş çakıl
M/m	: Metre
MH	: Yüksek plastisiteli inorganik silt
MI	: Orta plastisiteli silt
ML	: Düşük plastisiteli inorganik silt
M_w	: Tasarım depremi moment büyüklüğü
r_d	: Gerilme azaltma katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

SC	: Killi kum
SM	: Siltli kum
SP	: Kötü derecelenmiş kum
SP-SC	: Killi, kötü derecelenmiş kum
SP-SM	: Siltli, kötü derecelenmiş kum
SPTN* ($N_{1,60}$)	: Düzeltilmiş Standart Penetrasyon Testi Darbe Sayısı
SW	: İyi derecelenmiş kum
SW-SC	: Killi, iyi derecelenmiş kum
SW-SM	: Siltli, iyi derecelenmiş kum
τ_{deprem}	: Zeminde oluşan kayma gerşilmesi

TS 1500/2000: Türk standartları İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması

W_L	: Likit Limit
W_N	: Doğal Su Muhtevası (%)
W_P	: Plastik Limit
σ_{v0}	: Toplam düşey gerilme (kN/m^2)
σ'_0	: Efektif gerilme (kN/m^2)
σ'_{v0}	: Düşey efektif gerilme (kN/m^2)
τ_R	: Sıvılaşma direnci
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık (kN/m^3)
γ_{doymun}	: Doygun birim hacim ağırlık (kN/m^3)
ϕ	: Kayma Direnci Açısı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 : Adapazarı yakın çevresinde görölenen kayaçların jeolojik özellikleri.....	9
Tablo 3.1 : Spt düzeltme katsayıları.....	17
Tablo 3.2 : Sondaj loguna ait bilgiler.....	24



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 : Sakarya İli lokasyon haritası.....	5
Şekil 2.2 : Sakarya İli'nde yıllık ortalama sıcaklık dağılışı	6
Şekil 2.3 : Sakarya İli'nde yıllık ortalama yağış dağılışı.	7
Şekil 2.4 : Sakarya İli'nin jeoloji haritası.....	8
Şekil 2.5 : Türkiye deprem tehlike haritası	10
Şekil 2.6 : Türkiye ve çevresinin tektonik haritası.....	11
Şekil 2.7 : Marmara Bölgesi fay haritası.....	11
Şekil 2.8 : Sakarya İli'nin tektonik haritası.....	12
Şekil 2.9 : Kuzey anadolu fayı Geyve-İznik-Gemlik hattı.....	13
Şekil 2.10 : Sakarya İli'nin deprem haritası	13
Şekil 3.1 : Akma sivilaşması	15
Şekil 3.2 : Devirsel hareketlilik.....	15
Şekil 3.3 : IDW yöntemi ile bilimeyen bir noktanın bulunmasına örnek	20
Şekil 3.4 : Formül 3.9 kullanılarak oluşturulan üç boyutlu örnek	21
Şekil 3.5 : TIN metodu ile yüzey oluşturulmasına örnek	21
Şekil 3.6 : Komşu poligonların ağırlıklı ortalaması ile oluşturulan yeni poligon.....	22
Şekil 3.7 : Doğal komşu enterpolasyon yöntemi örneği	23
Şekil 4.1 : Sakarya Geyve İlçesi sondaj görüntüsü	27
Şekil 4.2.a : 1.5m zemin haritası.	28
Şekil 4.2.b : 1.5m yakın plan zemin haritası.	29
Şekil 4.3.a : 3 m zemin haritası.	30
Şekil 4.3.b : 3 m yakın plan zemin haritası.	30
Şekil 4.4.a : 4.5 m zemin haritası	31
Şekil 4.4.b : 4.5 m yakın plan zemin haritası	31
Şekil 4.5.a : 6 m zemin haritası	32
Şekil 4.5.b : 6 m yakın plan zemin haritası	32
Şekil 4.6.a : 7.5 m zemin haritası	33
Şekil 4.6.b : 7.5 m yakın plan zemin haritası	33
Şekil 4.7.a : 9 m zemin haritası	34
Şekil 4.7.b : 9 m yakın plan zemin haritası	34
Şekil 4.8.a : 12 m zemin haritası	35
Şekil 4.8.b : 12 m yakın plan zemin haritası	35
Şekil 4.9 : 1.5 m SPTN* haritası.....	36
Şekil 4.10 : 3 m SPTN* haritası.....	37
Şekil 4.11 : 4.5 m SPTN* haritası.....	38
Şekil 4.12 : 6 m SPTN* haritası.....	39
Şekil 4.13 : 7.5 m SPTN* haritası	40
Şekil 4.14 : 9 m SPTN* haritası.....	41
Şekil 4.15 : 12 m SPTN* haritası.....	42
Şekil 4.16 : 1,5 m W _N haritası.....	43

Şekil 4.17 : 3 m W_N haritası.....	44
Şekil 4.18 : 4.5 m W_N haritası.....	45
Şekil 4.19 : 6 m W_N haritası.....	46
Şekil 4.20 : 7.5 m W_N haritası.....	47
Şekil 4.21 : 9 m W_N haritası.....	48
Şekil 4.22 : 12 m W_N haritası.....	49
Şekil 4.23 : 1.5 m IDI haritası.....	50
Şekil 4.24 : 3 m IDI haritası.....	51
Şekil 4.25 : 4.5 m IDI haritası.....	52
Şekil 4.26 : 6 m IDI haritası.....	53
Şekil 4.27 : 7.5 m IDI haritası.....	54
Şekil 4.28 : 9 m IDI haritası.....	55
Şekil 4.29 : 12 m IDI haritası.....	56
Şekil 4.30 : 1.5 m W_L haritası.....	57
Şekil 4.31 : 1.5 m W_P haritası.....	58
Şekil 4.32 : 3 m W_L haritası.....	59
Şekil 4.33 : 3 m W_P haritası.....	60
Şekil 4.34 : 4.5 m W_L haritası.....	61
Şekil 4.35 : 4.5 m W_P haritası.....	62
Şekil 4.36 : 6 m W_L haritası.....	63
Şekil 4.37 : 6 m W_P haritası.....	64
Şekil 4.38 : 7.5 m W_L haritası.....	65
Şekil 4.39 : 7.5 m W_P haritası.....	66
Şekil 4.40 : 9 m W_L haritası.....	67
Şekil 4.41 : 9 m W_P haritası.....	68
Şekil 4.42 : 12 m W_L haritası.....	69
Şekil 4.43 : 12 m W_P haritası.....	70
Şekil 4.44 : Geyve İlçesi YASS haritası.....	71
Şekil 4.45.a : 1.5 m zemin sıvılaşma haritası.....	72
Şekil 4.45.b : 1.5 m yakın plan zemin sıvılaşma haritası.....	73
Şekil 4.46.a : 3 m zemin sıvılaşma haritası.....	74
Şekil 4.46.b : 3 m yakın plan zemin sıvılaşma haritası.....	74
Şekil 4.47.a : 4.5 m zemin sıvılaşma haritası.....	75
Şekil 4.47.b : 4.5 m yakın plan zemin sıvılaşma haritası.....	75
Şekil 4.48.a : 6 m zemin sıvılaşma haritası.....	76
Şekil 4.48.b : 6 m yakın plan zemin sıvılaşma haritası.....	76
Şekil 4.49.a : 7.5 m zemin sıvılaşma haritası.....	77
Şekil 4.49.b : 7.5 m yakın plan zemin sıvılaşma haritası.....	77
Şekil 4.50 : 9 m zemin sıvılaşma haritası.....	78
Şekil 4.51.a : 12 m zemin sıvılaşma haritası.....	79
Şekil 4.51.b : 12 m yakın plan zemin sıvılaşma haritası.....	79

SAKARYA İLİ GEYVE İLÇESİ ZEMİNLERİ SIVILAŞMA DAVRANIŞININ CBS İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Dünya üzerindeki etkili deprem kuşaklarından olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, pek çok yıkıcı depremler yaşanmıştır ve gelecekte de yaşanabilecek bu depremler sebebiyle ciddi can ve mal kaybına uğrama riski daima mevcuttur. Marmara Bölgesi üzerinden geçen Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) bu bölgede üç kola ayrılmış olarak bulunmaktadır. Bu fay zonunda meydana gelen 17 Ağustos 1999 Marmara depremi sıvılaşma nedeniyle pek çok mühendislik yapısının hasar görmesine neden olmuştur.

Bu çalışmada Sakarya ili Geyve ilçesi zeminleri için örnek bölgeleme ile zemin sıvılaşma haritasının çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Sakarya'nın yüzölçümü olarak en büyük ilçesi olan ve Sakarya Nehri'nin yakınında konumlanmasından dolayı sıvılaşma riski taşıyan alüvyon zemine sahip olma ihtimali bulunan Geyve ilçesi örnek olarak seçilmiştir. Çalışmada Geyve Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nden alınan zemin etüt raporlarındaki 290 adet sondaj noktasına ait veriler ile analizler gerçekleştirilmiştir. Sıvılaşma hesabı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e göre yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen veriler coğrafi bilgi sistemi (CBS) haritalama uygulamalarından MapInfo programına aktarılmıştır. Aktarılan veriler ile Geyve İlçesi'ne ait zemin sınıflandırılması, düzeltilmiş SPT-N (SPTN*), su muhtevası (W_N), ince dane içeriği (IDI), likit limit (W_L), plastik limit (W_P), yeraltı su seviyesi (YASS) ve zemin sıvılaşma haritalandırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin Sıvılaşma Haritası, Sakarya Geyve İlçesi, Zemin Etüdü Raporu, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), MapInfo

INVESTIGATION OF LIQUEFACTION BEHAVIOR OF GEYVE DISTRICT OF SAKARYA PROVINCE SOILS WITH GIS

ABSTRACT

There have been lots of destructive earthquakes in our country, which is located in the Alpine Himalayas, one of the most effective seismic belts on the earth, and there is always a risk of critical life and property loss because of these potential earthquakes in the future. The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) passing through the Marmara region is divided into three columns in this area. The 1999 Marmara earthquake, which took place in this fault zone, significantly damaged the engineering structures as a result of liquefaction.

The objective of this study is to generate a map of the liquified soil with the sampling site for Sakarya, Geyve. In accordance with this purpose, Geyve district is chosen because it is the biggest area as the survey and it is possible to have an alluvial soil that carries the risk of liquefaction due to its location near Sakarya. Several analyses were carried out with data from 290 points in soil survey reports which are taken from the Directorate of Construction and Urbanization Municipality of Geyve. Liquefaction calculation was made according to the Turkey Building Earthquake Regulation (TBER). The gathered information is transferred from geographic information system (GIS) mapping to the MapInfo application. Classification of soil in Geyve district, corrected SPT-N (SPTN*), water content (W_N), fine grain content (FGC), liquid limit (W_L), plastic limit (W_P), ground water level (GWL) and soil liquefaction mapping was designed with the transferred data.

Keywords: Soil Liquefaction Map, Sakarya Geyve District, Soil Investigation Report, GIS (Geographical Information Systems), MapInfo

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Marmara Bölgesi üzerinden geçen ve sıvılaşma nedeniyle pekçok mühendislik yapısının hasar gördüğü 1999 Gölcük depremi gibi büyük deprem riskine kaynaklık eden Kuzey Anadolu Fay Zonu bu bölgede 3 kola ayrılmış olarak bulunmaktadır. Geçtiğimiz 1600 yıl içerisinde Marmara Bölgesi'nde M_s 6.8 ve daha fazla büyüklükte 41 deprem, yalnız son yüzyıl içinde ise M_s 6.8 ve daha fazla büyüklükte 8 deprem ve M_s 5.0 ve daha fazla büyüklükte 53 deprem olmuştur (Url-1).

Başta insan yaşamına ardından ekonomiye büyük zarar veren sıvılaşma deprem gibi tekrarlı gerilmeler altında suya doygun siltli, kumlu , kil içeriği düşük olan zeminlerde boşluk suyu basıncının aniden artmasına paralel olarak zemindeki efektif gerilmenin azalması sonucu zeminin sıvı gibi davranması şeklinde tanımlanabilir (Karavul vd.,2005).

Sakarya Üniversitesi'nde düzenlenen Adapazarı Zemin Çalıştayı'nda Sakarya Nehri'nin Adapazarı Zeminine zararı ile ilgili yapılan önemli tespitlerden biri Adapazarı'nın esas sorununun Sakarya Nehri'nin kontrolsüz akması olduğu ve bu kontrolsüz akmanın Sakarya'nın bazı bölgelerinde sıvılaşmayı meydana getirdiğidir (Url-2).

Tüm bu veriler göz önünde bulundurulduğunda çalışmada Sakarya'nın yüzölçümü olarak en büyük, nüfus yoğunluğu olarak 3. büyük ilçesi olması, Kuzey Anadolu Fayı'nın güney tarafında yer alması ve sıvılaşma tehlikesi oluşturan Sakarya Nehri'nin Geyve İlçesi içinden geçmesi nedeniyle Geyve İlçe'si örnek olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada Geyve Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nden alınan zemin etüt raporlarındaki 290 adet sondaj noktasına ait her 1.5 m / 3 m / 4.5 m / 6 m / 7.5 m / 9 m / 12 m derinliklerdeki veriler CBS programlarından MapInfo programına aktarılarak sondajlara ait her 1.5 m / 3 m / 4.5 m / 6 m / 7.5 m / 9 m / 12 m derinliklerde tematik zemin sınıfı, düzeltilmiş SPTN, W_N , FC, W_L , W_P , yeraltı su seviyesi ve sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan sıvılaşma haritalarına bakılarak sıvılaşma tehlikesi olan bölgelerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Sakarya İlinin depremselliği göz

önüne alındığında oluşturulan sıvılaşma haritası imar alanlarında bir kılavuz olacak, zayıf zeminler için önceden tedbir alınmasını sağlayacaktır.

1.1. Literatür Araştırması

Sert ve arkadaşları Sakarya İli'nde bulunan ve birbirinden değişik zemin özelliklerine sahip Arifiye Geyve ve Güneşler olmak üzere üç farklı bölgede sondaj çalışmaları ve SPTCU deneyi yapmışlardır. Çalışma sonucunda Geyve İlçesi'ndeki zeminlerin çok çeşit göstermediğini ve bu bölgede SPTN değerinin yüksek olmasının daima zeminin sağlamlığından olmadığını zemindeki çakıl yüzdesinin fazla olmasından yahut çimentolanma sonucunda zeminin sağlamlığının yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Geyve İlçesi'nde YASS'nin -0.5 ile -7.0 m arasında olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca sıvılaşma özelliğindeki kum ve silt zeminin çok az görülmesinden dolayı Geyve İlçesi'nde sıvılaşmanın hemen hemen hiç olmadığını belirtmişlerdir (Sert vd., 2005).

Tosun ve arkadaşları Eskişehir'de Zemin Sıvılaşma Potansiyeli adlı çalışmalarında farklı tepe yer ivmesi ve farklı derinlik değerlerinde çalışma alanına ait sıvılaşma potansiyeli haritaları oluşturmuşlardır. Elde ettikleri haritalar doğrultusunda zemin ince dane içeriğinin artışına paralel olarak zeminin sıvılaşma mukavemetinin de arttığı sonucuna varmışlardır (Tosun vd., 2011).

Karavul ve arkadaşları Adapazarı zemininin sıklığı hakkında yaptıkları çalışmada CBS haritalama yöntemi ile haritalandırmalar yaparak Adapazarı merkezindeki yapılaşmanın çok olduğu bölgeye ait zeminin çoğunlukla gevşek sıklık özelliği gösteren malzemelerden oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca çalışmada bu bölgedeki yeraltı su seviyesinin 0,5m-4m arasında değiştiğini belirtmişlerdir (Karavul vd., 2005).

Turoğlu sıvılaşma ve jeomorfoloji ilişkisini ele aldığı çalışmasında sıvılaşmanın suya doymuş zeminlerde deprem gibi yer sarsıntısı etkisiyle zeminin taşıma gücünde meydana gelen azalmayla oluştuğunu söylemiştir. CBS ile sıvılaşma risk analizini yaptığı bu çalışmada Adapazarı'ndaki farklı jeomorfolojik özellikteki zeminlerde sarsıntı veya titreşim etkileri doğrultusunda sıvılaşma riski ihtimalinin ne olacağını göstermiştir. Bataklıklar, terk edilmiş akarsu yatakları, yapay ve sığ dolgu alanlarında yer sarsıntısından kaynaklı sıvılaşma riskinin yüksek olduğunu; plato yüzeyi ve yamaçlarda ise bu riskin olmadığını belirtmiştir (Turoğlu, 2012).

Özaydın yapmış olduğu çalışmada sıvılaşmanın görüldüğü zemin tiplerine yakın zamanda yeni zemin tiplerinin de eklendiğini söyleyerek sıvılaşmanın yol açtığı yapısal zararların tamamı ile açıklığa kavuşturulamadığını belirtmiştir. Ayrıca imar alanlarının belirlenirken sıvılaşma riski olan zeminlerden kaçınılması gerektiğini aksi takdirde imar yapılacak zeminde sıvılaşma tehlikesine karşın gerekli iyileştirmelerin yapılması gerektiğini belirtmiştir (Özaydın, 2007).

Gücek ve arkadaşı Afyonkarahisar İli mevcut zemin şartlarının sıvılaşmaya olan etkisini belirlemek amacıyla TBDY ile uyumlu (ölçeklendirilmiş) 11 farklı deprem kaydı datası ve 124 adet sondaj verisi kullanmışlardır. 4 çeşit deprem yer hareketi düzeyi ile ölçeklendirilmiş 11 deprem kayıtlarından derinliğe bağlı sıvılaşma oranlarının ortalamasını alarak CBS ile sıvılaşma risk haritaları oluşturmuşlardır. Elde ettikleri haritaların mevcut yapıların depreme dayanıklılığı konusunda fikir vereceğini ve yeni yapılacak olan yapılara da yarar sağlayacağını öne sürmüşlerdir (Gücek ve Zorluer, 2021).

Erken ve arkadaşları kum, silt ve kil zeminlerin deprem benzeri dinamik yükler etkisinde iken nasıl davranış göstereceklerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda suya doymuş kum ve düşük plastisiteli silt zeminlerde deprem nedeniyle meydana gelen sıvılaşma sonucu taşıma gücünün yok olduğunu, yumuşak plastik silt ve kil zeminlerde ise taşıma gücünün ciddi oranda azaldığını gözlemlemişlerdir (Erken vd.).

Bayraktar ve arkadaşı yapmış oldukları çalışmada Sakarya İli'nde Gölcük Depremi eşşiddet haritası kullanarak deprem senaryosu hazırlamışlardır. Çalışmalarında deprem senaryosunun yol açacağı hasarları haritalamak için coğrafi bilgi sistemini (ArcGIS) kullanmışlardır. Sakarya İli'nde yaşanacak olası deprem durumunda meydana gelecek hasarın özellikle Adapazarı İlçesi'nde ciddi boyutta olacağını söyleyerek Sakarya İli'ndeki tüm ilçelerde kamuya ait yeşil alanlarda deprem sonrası afetzedelere yardım için çadırkent kurulması gerektiğini belirtmişlerdir (Bayraktar vd.).

Aksu ve arkadaşı yapmış oldukları çalışmada 1999 Gölcük Depremi'nin yol açtığı zemin sıvılaşması sebebiyle Sapanca Bölgesinde hasar görerek çöken binaların ve deprem sonrası meydana gelen konumsal değişimlerin belirlenmesi için deprem öncesi yakın tarihe ait olan fotoğrafları ve deprem sonrası çekmiş oldukları hava fotoğraflarını kullanmışlardır. Deprem sonrası deniz altında kalan yerler olduğunu söyleyen Aksu ve

arkadaşı bu hava fotoğraflarının daha küçük kapsamlı deprem etki alanlarında detaylı analizler için fikir verebileceğini belirtmişlerdir (Aksu ve Toz, 2002).

Güler ve arkadaşı Balıkesir İli Burhaniye İlçesi için elde ettikleri 97 adet sondaj noktasındaki verileri kullanarak coğrafi bilgi sistemi yardımıyla farklı derinliklerde zemin özellikleri için haritalar hazırlamışlardır. İlgili bölge üzerinde etkili olacak fayların uzunlukları ve ilgili alana olan uzaklıklarına göre olabilecek en yüksek yer ivmesini hesaplamışlardır. Oluşturdukları deprem senaryosuna karşılık Sönmez (2003)'in sınıflama indeksi sınıflamasına göre sınıflama duyarlılık haritaları oluşturmuşlardır. Haritalara göre ilgili bölgenin %48'e yakınının çok yüksek, %42'sinin yüksek, %3'ünün az ve kalan kısmının orta seviyede sınıflama şiddetine sahip olduğunu belirtmişlerdir (Güler ve Ceryan, 2015).

Sönmezer ve arkadaşları Kırıkkale Bahçelievler ve Fabrikalar Mahalleleri'nin Zemin parametrelerini belirlemek için yapılan sondajlarda arazi deneyi ve laboratuvar deneyi gerçekleştirerek coğrafi bilgi sistemi ile bu mahallelere ait YASS ve sınıflama haritaları oluşturmuşlardır. Çalışma alanında genel olarak yeraltı su seviyesinin yüksek olduğunu, yapıların bundan kötü yönde etkileneceğini ve bu nedenle YASS'ni düşürmek için yapıların temel çevresine muhakkak drenaj yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca yapmış oldukları sınıflama analizlerinden hareketle bölgenin demiryoluna yakın kısımlarının tamamında sınıflama gözlemlemişlerdir. Bu durumu engellemek için yapılacak temellerde derinliğin yüksek tutulması gerektiğini söylemişlerdir (Sönmezer vd., 2012).

Özdemir ve arkadaşı yapı alanında yapılan arazi deneylerinden elde ettikleri SPT verilerini kullanarak Iwasaki vd.'e göre sınıflama potansiyelini gözlemlemişlerdir. Yapı alanına yakın yerde konumlanan Karataş Fay Zonunun en büyük ivme değerini oluşturacağını düşünerek hesaplamaya dahil etmişler ve $M_w = 7$ olarak yapı alanının yüksek ölçüde sınıflama riski taşıdığını söylemişlerdir. Ayrıca sınıflama nedeniyle yapı alanında oturmaların oluşabileceğini belirtmişlerdir (Özdemir, 2011).

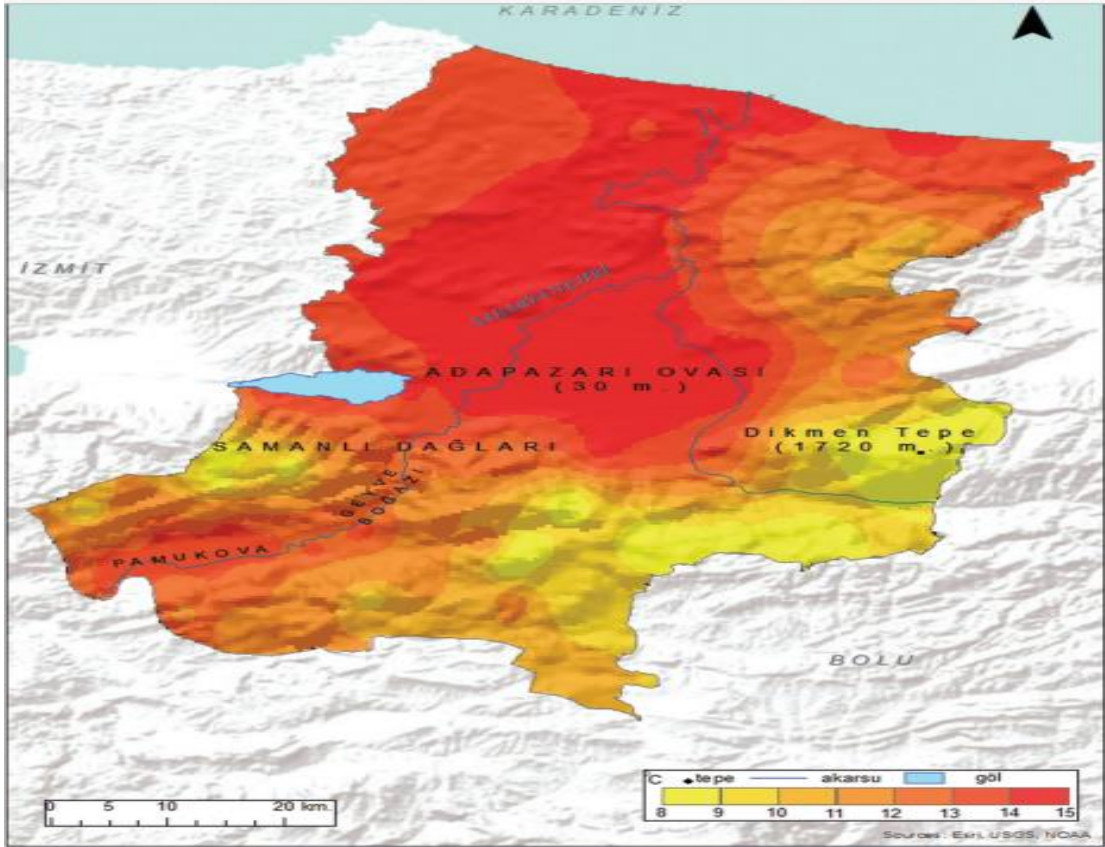
2.1. Konum

[illegible]

5

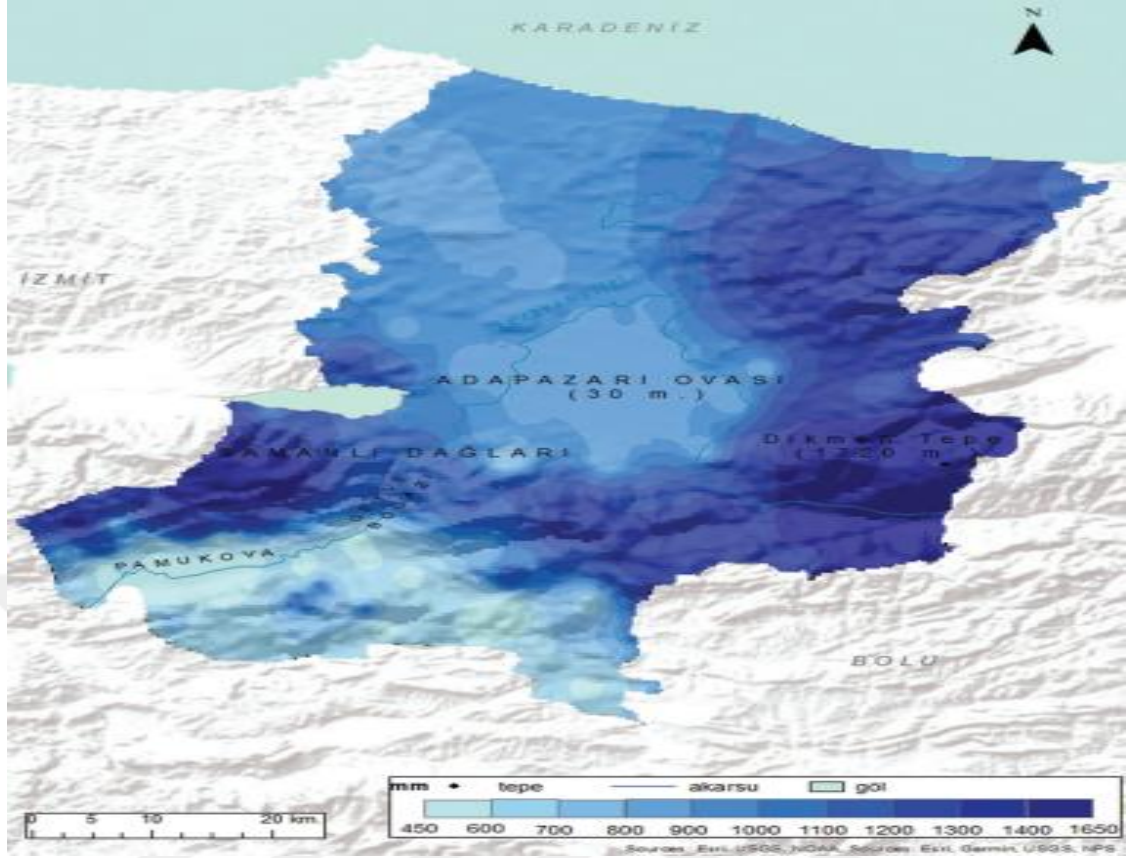
2.2. İklim

Kuzeyinde ve doğusunda Karadeniz ikliminin, batı ve güney kısmında Marmara Bölgesi ikliminin hakim olduğu Sakarya İli'nde yılın en çok 30 gününde sıcaklık 30°C'nin üstünde iken yılın en çok 40 gününde sıcaklık 0°C'nin altındadır. Kimi kesimlerde yağış 632 mm iken kimi kesimlerde 900 mm ile değişkenlik göstermektedir. Şekil 2.2'de Sakarya İli'nin yıllık ortalama sıcaklık dağılışı gösterilmektedir (Url-5).



Şekil 2.2 : Sakarya İli'nde yıllık ortalama sıcaklık dağılışı

Ocak ve Temmuz ayı arasında sıcaklık ortalamaları arasındaki fark oldukça düşüktür. Sıcaklığın en yüksek olduğu Temmuz ayı ve en düşük olduğu Ocak ayı sıcaklık ortalamaları farkı Adapazarı'nda 17.5°C, Geyve'de 19.3°C, Sapanca'da 18°C'dir. Şekil 2.3'te Sakarya İli'nin yıllık ortalama yağış dağılışı gösterilmektedir (İkiel, 2018).



Şekil 2.3 : Sakarya İli'nde yıllık ortalama yağış dağılışı

Şekil 2.3'e bakıldığında Sakarya İli'nin doğu kesiminde yıllık ortalama yağış miktarının daha fazla olduğu gözlenir.

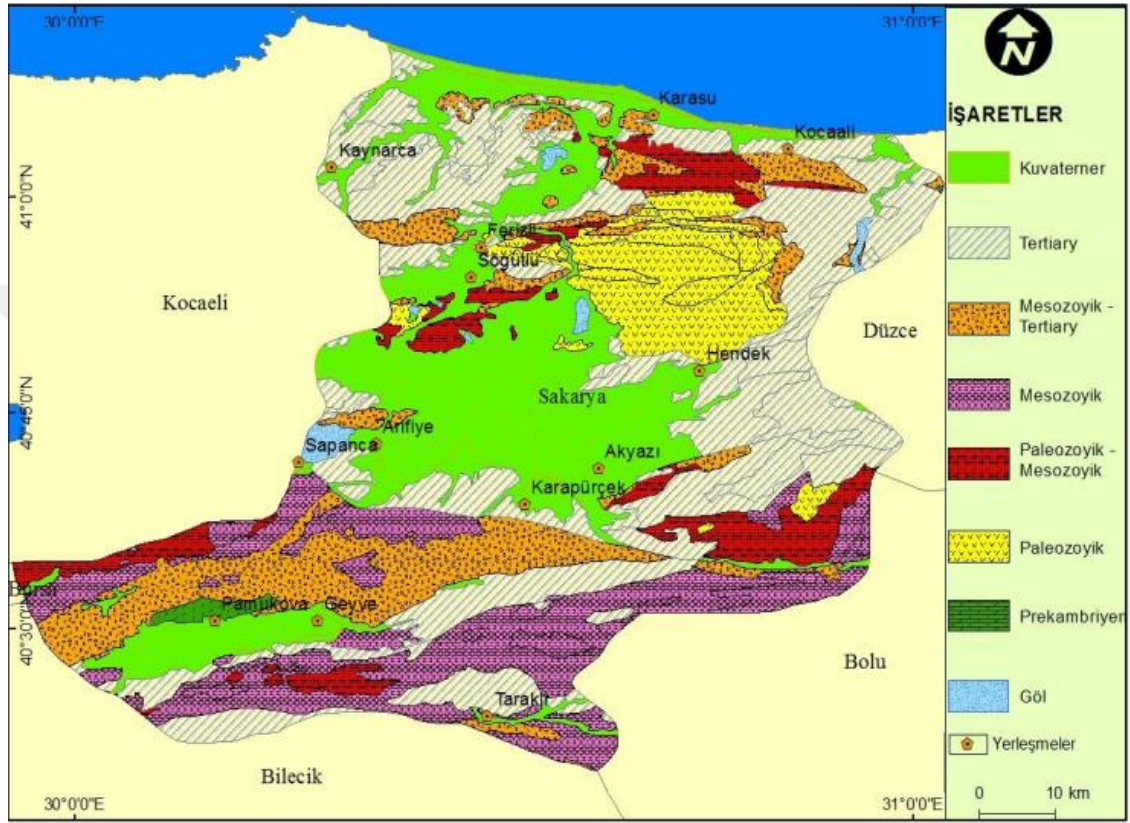
2.3. Bitki Örtüsü

Sakarya İli'nin Kuzey Anadolu kıyı dağlarının uzantısı olan dağları gür ormanlarla, platoları ise makilerle kaplıdır. Kayın çoğu kısımda başta olmak üzere çoğunlukla gürgen, kavak, kestane, ıhlamur, çınar, akçaağaç ve meşe türü görülür. 700 metre yüksekliğin üzerinde iğne yapraklı ağaçlar da bulunur. Çayırılar ve dağ otlakları haricinde platolar ile dağların eteklerinde en önemli çeşitleri böğürtlen, kocayemiş ve kermez meşesi türündeki farklı maki alanları vardır (Url-5).

2.4. Jeolojisi

Sakarya İli'nin özellikle merkezi ve kuzey kesimini Kuvarterner yaşlı alüvyon oluşturur. Adapazarı, Akyazı, Hendek ovalarını kapsayan bu birimde sıkışmamış,

sertleşmemiş, sitli killi, kumlu ve çakıllı zeminler görülür. Bu alüvyon malzeme Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) hattı doğrultusunda Sakarya ve Mudurnu Nehirleri aracılığıyla taşınarak birikmenin bir sonucudur. Sıkışmamış, sertleşmemiş, siltli, killi, çakıllı ve kumlu zeminler tek tip olarak da görülebilir fakat büyük çoğunlukla çakıl-kum-silt serileri görülmektedir (Karavul vd., 2005).



Şekil 2.4 : Sakarya İli'nin jeoloji haritası

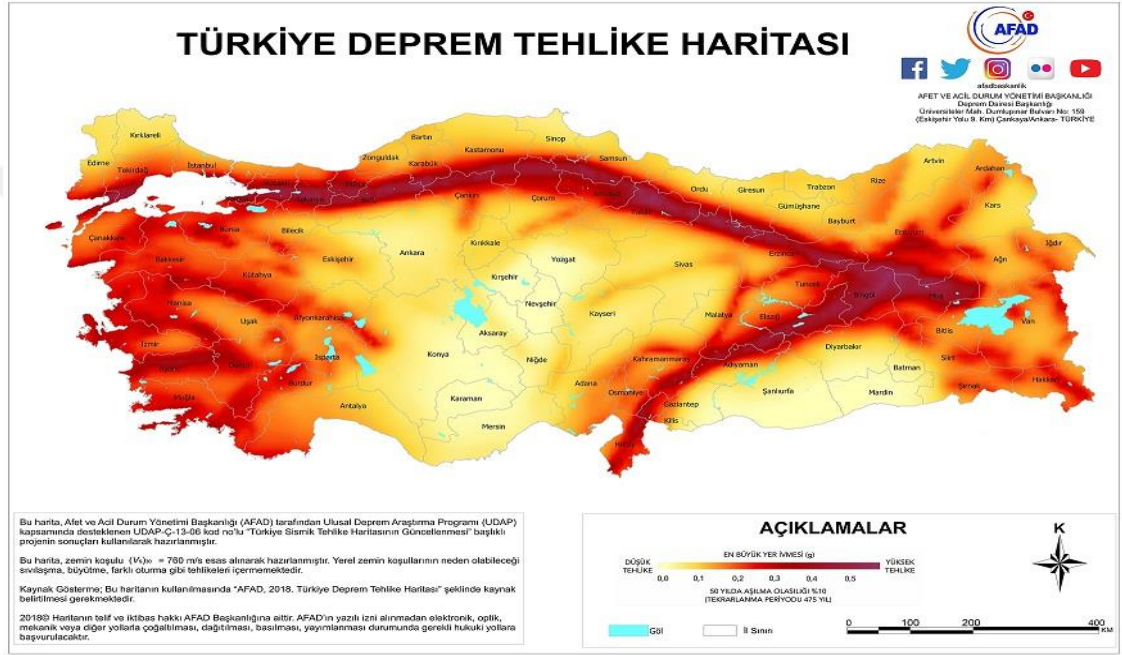
Havza ortalarında daha kalın olan alüvyon kalınlığının havza kenarlarına gelindiğinde incelindiği görülür. Devlet Su İşleri'nin (DSİ) şehir merkezinin kuzeydoğusunda yapmış olduğu 303 m'lik sondaj sonucunda ana kayaya gelinememiştir. Komazawa ve arkadaşlarının 2001 yılında ortaya koydukları jeofizik çalışmalarında alüvyon kalınlığının yaklaşık olarak 1000 m değerinde olduğu sonucuna varmışlardır. Havzanın güney kesiminde Sakarya ve Mudurnu nehirlerinin ovaya ulaştığı bölgelerde epey gevşek pekişmemiş çakıllı birimler daha fazla hakimdir. Havzayı kenardan besleyen alüvyon yelpazeleri havzanın doğu kenarındaki çakıllı birimleri oluşturmuştur. Yatak değişimlerinin doğal bir neticesi olan fasiyes değişimleri Sakarya ve Mudurnu nehirleri boyunca havzanın orta kesimlerinde gözlenir. Tablo 2.1'de bölgede görülen kayaçların jeolojik özellikleri sırasıyla yaşına göre gösterilmiştir (Karavul vd., 2005).

Tablo 2.1 : Adapazarı yakın çevresinde görülen kayaçların jeolojik özellikleri.

Formasyon	Simge	Yaş	Kalınlık	Litoloji ve renk	Oluşum ortamı	Tabakalanma	Yüzeylenme
Hendek Formasyonu	Oh	Alt Ordovisiyen	1500-2000	Grimsi Sarı-Yeşil Renkli Şeyl Ve Kumtaşı Ardalanmalı, Grimsi Yeşil-Mor Renkli Kumtaşı Arakatlı Şeyl	Sığ Deniz	Orta, Kalın	Adapazarı Kuzeydoğusu, Çamdağ
Yılanlı Formasyonu	Dey	Orta Ve Ürt Ordovisiyen-Alt Karbonifer	10-600	Açık-Koyu Gri,Siyah Yer Yer Beyaz Renkli Rekristalize Kireçtaşı, Dolomitik Kireçtaşı,Dolomit	Sığ Deniz-Şelf	İnce, Orta Kalın	Adapazarı Kuzeyi, Kuzeydoğusu
Çakraz Formasyonu	Ptç	Permiyan Triyas	1500	Gri Dolomit,Şeyl,Kırmızı Kumtaşı, Rekristalize Kireçtaşı, Gereçli Çakıltaşı Çamurtaşı	Karasal	İnce, Kalın	Adapazarı Kuzeyi, Taşkısığı Mevkii
Akveren formasyonu	Kta	Meastrihtiyen (Üst Kretase)-Alt Eosen		Sarı, Beyaz, Grimsi Yeşil Yer Yer Kırmızı Renkli Killi Kireçtaşı, Marn, Kıltaşı, Çakıltaşı, Resifal Kireçtaşı, Ve Volkanitler (Andezit, Bazalt)		İnce, Orta Kalın	Adapazarı Kenti Güney Ve Güneybatı Kenarı
Çaycuma Formasyonu	Tç	Alt-Orta Eosen		Sarı, Gri, Grimsi Yeşil Renkli Mika Pullu Kumtaşı Çamurtaşı, Marn, Çakıltaşı, Nummulitli Kırıntılı Kireçtaşı	Yamaç Ve Sığ Deniz Ortamı	İnce Orta Yer Yer KALIN Katmanlı	Adapazarı Batısı
Yığılca Üyesi	Tçy	Alt-Orta Eosen		Koyu Gri, Kahverengimsi Gri, Kırmızımsı Gri Renkli Piroklastik Kayalar, Andezit Ve Bazalt		Orta, Kalın	Adapazarı Batı- Güney Batısı
Örencik Formasyonu	Tör	Pliyosen-Miyosen		Kırmızı, Sarımsı Kırmızı, Kahverengi Renkli Çakıltaşı Kumtaşı, Çamurtaşı Ve Kıltaşı	Akarsu, Sellenme Ve Alüvyon Yelpazesi	Orta-Kalın	Adapazarı Güneyindeki Yüksek Dağların Kuzey Etekleri

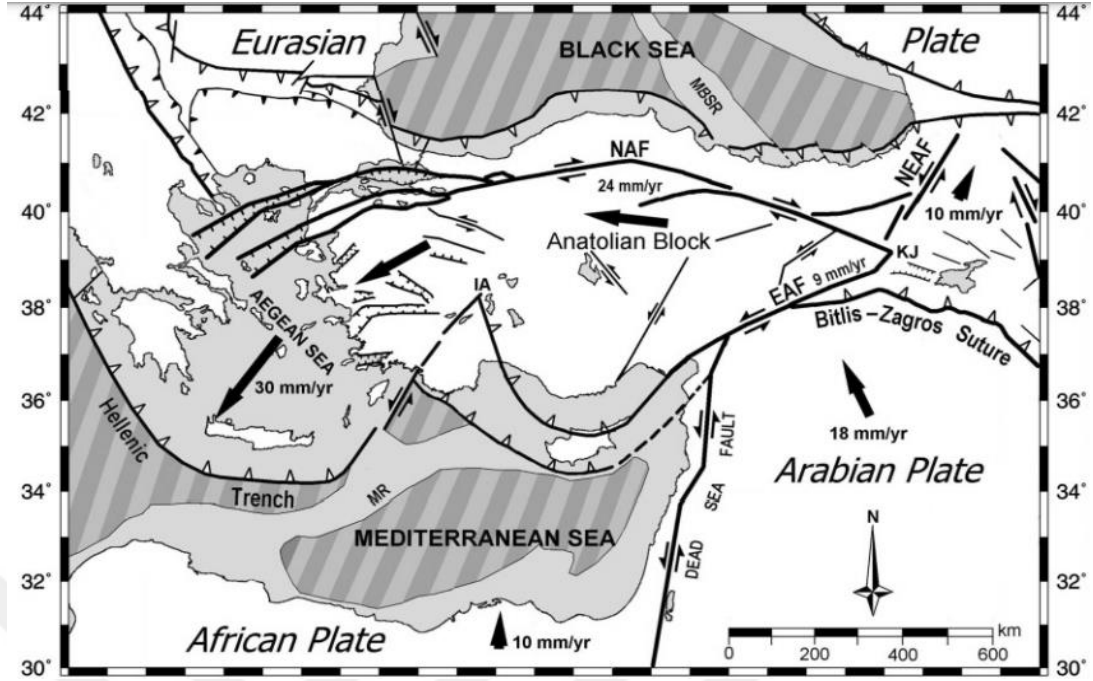
2.5. Türkiye'nin Tektoniği

Dünya üzerindeki etkili deprem kuşaklarından olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde, pek çok yıkıcı depremler yaşanmıştır ve gelecekte de yaşanabilecek bu depremler sebebiyle ciddi can ve mal kaybına uğrama riski daima mevcuttur. Ülkemizin yaklaşık olarak %40'ı birinci derece aktif deprem kuşağı üzerindedir (Url-5). Şekil 2.5.'te Türkiye deprem tehlike haritası görülmektedir.



Şekil 2.5 : Ülkemizin deprem tehlike haritası

Türkiye'nin levha tektoniği incelendiğinde kuzeyinde Avrasya Levhası , güneyinde Afrika ve Arabistan Levhalarının bulunduğu görülür. Avrasya Levhası'nın yerinde sabit kaldığı varsayıldığında Anadolu Levhası'nın güneyde bulunan Afrika ve Arabistan Levhalarının Avrasya Plakasına doğru ilerlemesiyle oluştuğu söylenebilir. Sağa doğrultu atımlı KAFZ ve sola doğrultu atımlı DAFZ bu sıkıştırma hareketinin neticesidir. Şekil 2.6.'da Türkiye ve çevresinin tektonik haritası görülmektedir (Karavul vd., 2005; Url-4).



Şekil 2.6 : Türkiye ve çevresinin tektonik haritası

2.6. Sakarya İli'nin Tektoniği

1999 Gölcük depremi gibi büyük deprem riskine yol açan KAFZ Marmara Bölgesi'nde 3 kola ayrılmış olarak bulunmaktadır (Şekil 2.7).

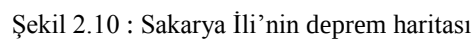


Şekil 2.7 : Marmara Bölgesi fay haritası

İŞARETLER

- Deprem yüzey kırığı
- Kuvaterner fayı
- Doğrultu atımlı fay
- Ters fay/bindirme
- Normal fay
- Olası fay

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 1996 senesinde yayımlamış olduğu Deprem Bölgeleri Haritasına göre Sakarya İli'nin % 95'i I. Derece ve kalan kısmı II. Derece deprem bölgesinde bulunmaktadır (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1996). Şekil 2.10'da Sakarya İli deprem haritası görülmektedir.



BÖLÜM 3. SIVILAŞMA

3.1. Sıvılaşmanın Tanımı

Deprem gibi tekrarlı gerilmeler altında oluşan sıvılaşma pekçok can ve mal kaybına neden olduğu gibi sıvılaşma sonucunda zeminde büyük oturmalar yaşanabilir bu da büyük maddi hasara yol açabilir.

TBDY 2018’de sıvılaşmanın tanımı, zeminden -20 m derinliğe kadar olan ve yeraltı su seviyesinin altında kalan geçirimli (kohezyonsuz) veya geçirimsiz (kohezyonlu) zeminlerin deprem gibi sarsıntılı kuvvet etkisinde boşluk suyu basıncının artışı ile kayma direncindeki azalış olarak tanımlanmıştır. Sıvılaşan zeminler ise kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları şeklinde açıklanmıştır (TBDY, 2018).

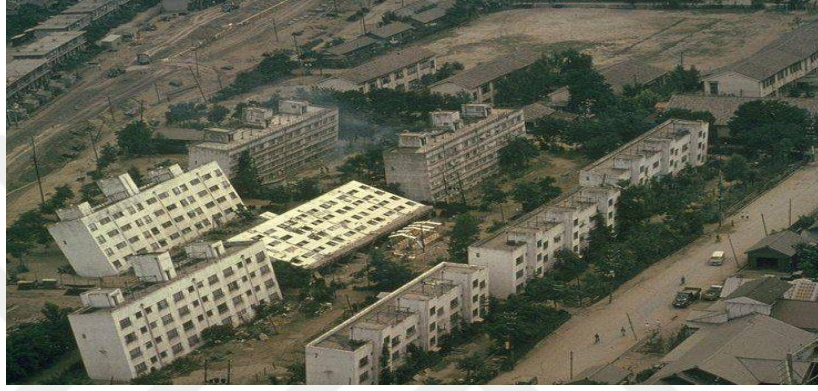
Zemin mekaniğinin babası olarak kabul edilen Karl von Terzaghi (1925)’ye göre “sıvılaşma, suya doymun zeminin çökmesi esnasında zemini meydana getiren katı danelerin ağırlığının zemini kuşatan suya iletilmesi koşulunda gerçekleşebilir. Bunun neticesinde ilgili derinlikte hidrostatik su basıncı artan zeminin hidrostatik basıncı suya batan zeminin birim ağırlığına yakın olur” (Castro, 1969).

Bir başka tanımda ise “sıvılaşma, deprem kaynaklı devirsel kayma gerilmelerine maruz kohezyonsuz (geçirimli) zeminlerde oluşan hızlı mukavemet kaybıdır. Bazen kayma mukavemeti normalin altına düşerken bazen de tamamen yok olur. İki durumda da farklı hasarlara sebep olabilir” (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu,2006).

Yol açtığı hasar türlerine bakıldığında akma türü sıvılaşma ve devirsel hareketlilik olarak iki çeşit sıvılaşmadan bahsedilebilir.

3.1.1. Akma türü sıvılaşma

Önemli ölçüde hasarların gözlemlendiği akma türü sıvılaşma sıvılaşan zeminin dayanımı zeminin statik dengesi için gereken minimum kayma gerilmelerinden küçük olduğunda oluşur (Şekil 3.1.). Genel olarak hızlı ve ani gerçekleşir. Bir defa tetiklenmesinin ardından bütünüyle statik kayma gerilmeleriyle devam ettirilen akma türü sıvılaşma iri zemin kütlelerinin önemli ölçüde yer değiştirmesi ile oluşur (Kramer,1996).



Şekil 3.1. : Akma sıvılaşması

3.1.2. Devirsel hareketlilik

Ciddi ve kalıcı deformasyonların olduğu bu sıvılaşma çeşidi sıvılaşan zeminin mukavemeti zeminin statik dengesi için lazım olan minimum kayma gerilmelerinden büyük olduğu durumlarda gerçekleşir. (Şekil 3.2.) Devirsel hareketlilik sebebiyle meydana gelen ve yapılara ciddi zarar veren yanal yayılma da denilen deformasyonlar deprem boyunca çoğalarak süregelir (Kramer, 1996).



Şekil 3.2 : Devirsel hareketlilik

3.2. Hesaplama Kullarılan Yöntem

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde sıvılaşma potansiyeline sahip zeminler yeraltı suyunun aşığısında kalan çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları olarak açıklanmıştır ve SPTN* (N_{1,60}) değerin 30 cm'de 30 vuruştan az olması durumunda sıvılaşma analizi yapılması gerektiği belirtilmiştir [22]. IDI'nin %35'den, kil oranının %20'den, plastisite indisinin %10'dan ve SPTN* (N_{1,60}) değerin 30 cm'de 20 vuruştan fazla olduğu kumlu zeminlerde ise DTS=4 iken sıvılaşma potansiyeli bulunmadığından DTS=4 olmak koşulu ile bu şartlardan birinin varolduğu durumda sıvılaşma analizi yapılmasına gerek olmadığı söylenmiştir (TBDY, 2018).

Sıvılaşma poansiyeli bulunan zeminlerde sıvılaşma ananalizi yapılması adına arazi çalışmaları ve laboratuvar deneylerinin kullanıldığı pekçok hesap yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 Ek 16B'de açıklanan SPT deney sonuçları alınarak sıvılaşma hesabının yapıldığı yöntem kullanılmıştır. Basitleştirilmiş Yöntem olarak adlandırılan bu yöntem öncelikle Seed ve Idriss(1971) tarafından bulunan ardından Youd vd.(2001) ile beraber toparlanarak son şeklini alan ve literatürde en çok kullanılan yöntemdir (Mollamahmutoğlu ve Babuçu, 2006).

Bu yöntemde sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS), sıvılaşma direncinin (τ_R) zemindeki tekrarlı kayma gerilmesine (τ_{deprem}) bölündüğu denklem 3.1. kullanılarak hesaplanır (TBDY, 2018).

$$\frac{\tau_R}{\tau_{deprem}} \geq 1.10 \quad (3.1)$$

Zemin etüd raporundan elde edilen ham SPT verilerinin düzeltilmesi için denklem 3.2 kullanılmıştır. Düzeltme katsayıları için Tablo 3.1'deki değerler kullanılmıştır (TBDY, 2018).

$$N_{1,60} = N * C_N * C_R * C_S * C_B * C_E \quad (3.2)$$

$N_{1,60}$ = Enerji düzeltilmesi yapılmış SPT darbe miktarı

N = Arazide ölçülen SPT darbe değeri

C_N = Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı

C_E = Enerji oranı düzeltme katsayısı

C_B = Sondaj kuyu çapı düzeltme katsayısı

C_R = Deney derinliği düzeltme katsayısı

C_S = Numune alma yöntemi düzeltme katsayısı

Tablo 3.1 : SPT düzeltme katsayıları (TBDY,2018)

Düzeltilme katsayısı	Değişken	Değer
C_R	3m ile 4m aralığında	0.75
	4m ile 6m aralığında	0.85
	6m ile 10m aralığında	0.95
	10m'den derin	1.00
C_S	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1.00
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1.10-1.30
C_B	Çap 65mm-115mm arasında	1.00
	Çap 150mm	1.05
	Çap200mm	1.15
C_E	Güvenli tokmak	0.60-1.17
	Halkalı tokmak	0.45-1.00
	Otomatik darbeli tokmak	0.90-1.60

Örtü yükü düzeltme katsayısı C_N denklem 3.3 ile hesaplanır.

$$C_N = 9.78 * \sqrt{\frac{1}{\sigma'_{v0}}} \leq 1.70 \quad (3.3)$$

Bu denklemde düşey efektif gerilme (σ'_{v0}) SPT yapıldığı andaki arazi şartlarına göre hesaplanır (TBDY, 2018).

IDI baz alınarak düzeltilmiş SPT vuruş sayısı ($N_{1,60f}$) denklem 3.4 ile hesaplanır.

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60} \quad (3.4)$$

İnce dane içeriği düzeltme katsayıları aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\alpha = 0 ; \beta = 1 \quad (IDI < \%5) \quad (3.5.a)$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190/IDI^2)] ; \beta = 0.99 + IDI^{1.5}/1000 \quad (\%5 < IDI \leq \%35) \quad (3.5.b)$$

$$\alpha = 5 ; \beta = 1.2 \quad (IDI \geq \%35) \quad (3.5.c)$$

Sıvılaşma direnci (τ_R) denklem 3.6 ile hesaplanır.

$$\tau_R = CRR_{M7.5} * C_M * \sigma'_{v0} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'da bulunan ve M_w 7.5 olan depreme karşılık gelen çevrimsel dayanım oranı ($CRR_{M7.5}$) denklem 3.7 ile hesaplanır.

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{(10 * N_{1,60f} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (3.7)$$

Denklem 3.6'da bulunan C_M , $M_w = 7.5$ için denklem 3.8'e göre hesaplanır.

$$C_M = 10^{2.24} / M_w^{2.56} \quad (3.8)$$

Zemindeki tekrarlı kayma gerilmesi (τ_{deprem}) sıvılaşma hesabı yapılan derinlikteki toplam düşey gerilme (σ_{v0}), gerilme azaltma katsayısı (r_d) ve S_{DS} kullanılarak denklem 3.9'dan hesaplanır.

$$\tau_{deprem} = 0.65 * \sigma_{v0} * 0.4 * S_{DS} * r_d \quad (3.9)$$

Gerilme azaltma katsayısı (r_d) sıvılaşma hesabıyla ilgili derinliğe (z) göre denklem 3.10'da verildiği gibi hesaplanır.

$$r_d = 1 - 0.00765z \quad z \leq 9.15m \quad (3.10.a)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad 9.15m < z \leq 23m \quad (3.10.b)$$

$$r_d = 0.744 - 0.008z \quad 23m < z \leq 30m \quad (3.10.c)$$

$$r_d = 0.50 \quad z > 30m \quad (3.10.d)$$

Bu denklemlerde düşey efektif gerilme (σ'_{v0}) ve toplam düşey gerilme (σ_{v0}) değerlerinin nasıl hesaplanacağı aşağıda verilmiştir .

$$\sigma_{v0} = \gamma_n * Z \quad (3.11)$$

$$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_w \quad (3.12)$$

Burada z derinlik, γ_n zeminin doğal birim hacim ağırlığıdır. YASS altında olan zeminlerde γ_n yerine doymuş birim hacim ağırlık değeri (γ_{doy}) kullanılmalıdır (Url-11).

u_w boşluk suyu basıncıdır. Boşluk suyu basıncı denklem 3.13'den hesaplanır (Url-11).

$$u_w = \gamma_w * Z \quad (3.23)$$

YASS üzerindeki zeminlerde su çekme gerilmeleri etkisinde olduğundan u_w değeri negatif olur (Url-11).

3.3. Haritalandırma Yöntemi

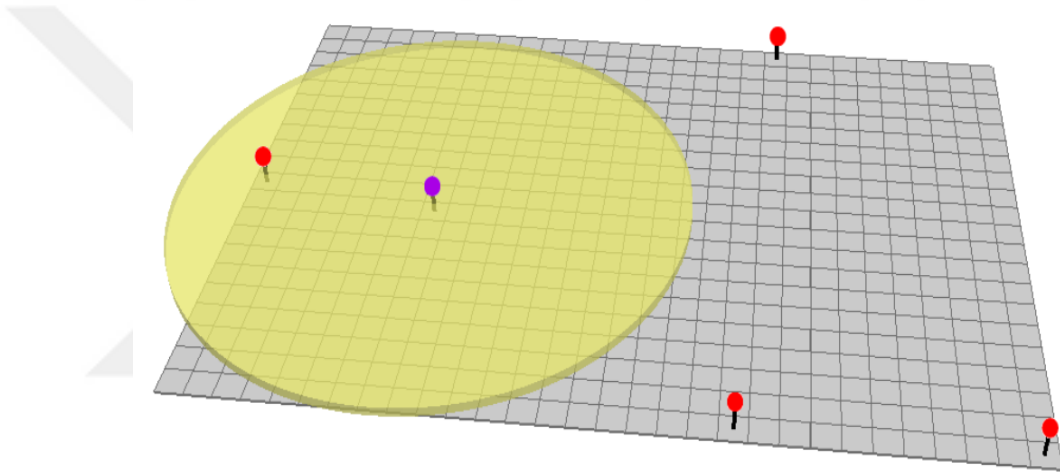
Enterpolasyon, var olan değer noktalarından hareketle bu noktalar arasında, değeri bilinmeyen farklı bir noktadaki tahmini değeri bulmaya yarayan yöntemdir (Url-7). Günümüzde pekçok tematik haritanın oluşturulmasında enterpolasyon yöntemlerinden faydalanılmaktadır (Göğsu ve Hastaoğlu, 2019).

Bu çalışmada CBS programlarından MapInfo programı kullanılarak 290 adet sondaja ait her 1.5 m / 3 m / 4.5 m / 6 m / 7.5 m / 9 m / 12 m derinliklerde tematik zemin sınıfı, düzeltilmiş SPTN, W_N , IDI, W_L , W_P , yass ve sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar oluşturulurken zemin sınıfı haritaları için Doğal Komşu Enterpolasyon Yöntemi (NNI), SPTN* ve sıvılaşma haritaları için Üçgenleştirilmiş Düzensiz Ağ Yöntemi (TIN), diğer haritalar için ise Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW) ile haritalandırma yapılmıştır.

3.3.1. Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW)

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde fayda sağlayan Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Metodu bilinen nokta değerlerinin girilerek bilinmeyen noktadaki değerlerin elde edilmesi prensibi ile çalışır. Tahmin edilecek noktanın değeri bilinen nokta ile

arasındaki noktaların uzaklığı ile orantılı olduğundan tahmini yapılacak noktanın değeri bu uzaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bilinen en az iki nokta değeri girilip tahmin edilmesi istenen bölgenin yarıçapı belirtildiğinde sadece bu bölgeyi kapsayan daire alanındaki noktalar kullanarak bilinmeyen nokta değeri tahmin edilir (Göğsu ve Hastaoğlu, 2019). Şekil 3.3'te görülen örnekteki gibi mor noktayı tahmin etmek için bilinen kırmızı nokta değerleri ve tahmin edilecek yarıçap değeri (enterpolasyon yapılacak alan) girildiğinde sadece bu alan için hesaplama yapılır ve mor noktanın değeri tahmin edilir. Burada dikkat edilecek nokta tahmin yapılırken sadece belirtilen yarıçap içerisindeki alanda bulunan noktaların kullanılacağıdır (Göğsu ve Hastaoğlu, 2019; Url-8)



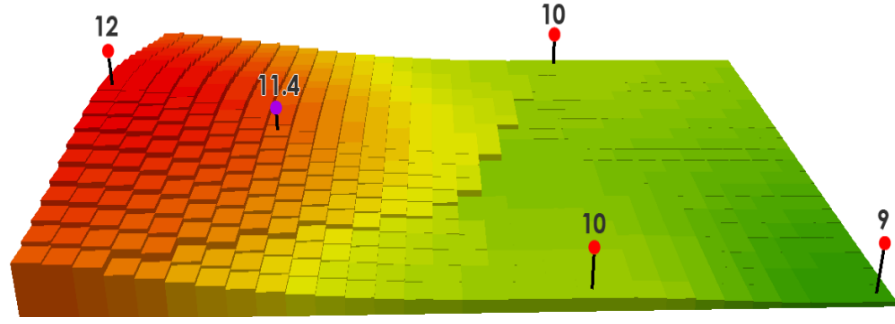
Şekil 3.3 : IDW yöntemi ile bilinmeyen bir noktanın bulunmasına örnek

IDW yönteminde kullanılan formül denklem 3.14'deki gibidir.

$$z_p = \sum_{i=1}^n (z_i / d_i^p) / \sum_{i=1}^n (1 / d_i^p) \quad (3.14)$$

Bu denklemde n bilinen (dayanak) nokta sayısını, z bilinen (dayanak) noktaların özellik değerini (yükseklik, sıcaklık vs.), d enterpolasyon (tahmin) edilecek nokta ile bilinen (dayanak) nokta arasındaki mesafeyi, p ise güç parametresini ifade etmektedir ve literatürde çoğunlukla 2 değerinde kabul edilir (Göğsu ve Hastaoğlu, 2019).

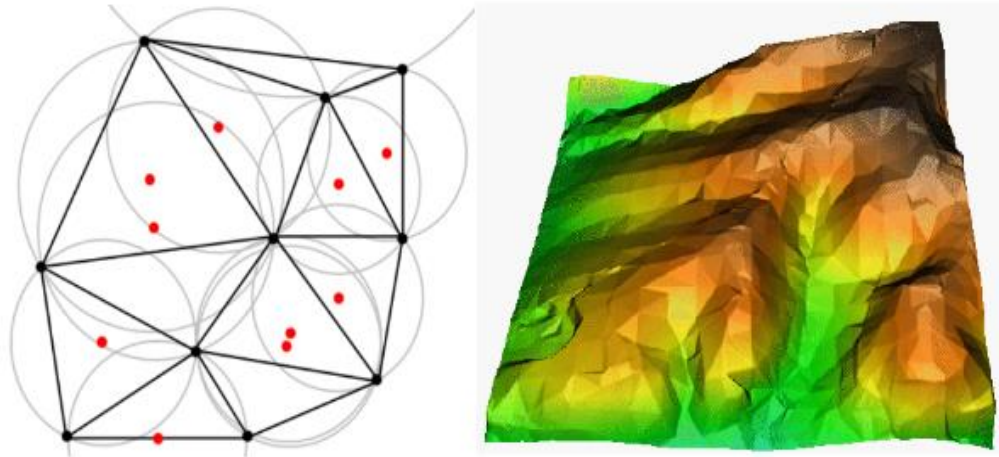
Şekil 3.4'de denklem 3.14'deki formülden hareketle yüksekliği bilinen (dayanak) noktalardan (kırmızı) hareketle yükseklik değeri bilinmeyen noktanın (mor) yükseklik değerinin hesaplandığı üç boyutlu örnek görülmektedir.



Şekil 3.4 : Formül 3.9 kullanılarak oluşturulan üç boyutlu örnek

3.3.2. Üçgenleştirilmiş düzensiz ağ yöntemi (TIN)

Üçgenleştirilmiş düzensiz ağ yöntemi (TIN) birbirine en yakın komşu noktaların herbirinin çevresinde daireler oluşturur ve bu dairelerin kesişim noktaları üst üste binmeyecek şekilde üçgenler oluşturur. Bu üçgenlerin içerisindeki noktaların değerini tahmin eder ve böylelikle üçgen bir yüzey oluşturarak haritalama yapar (Mitas ve Mitsova, 1999).



Şekil 3.5 :TIN metodu ile yüzey oluşturulmasına örnek

Şekil 3.5’de olduğu üzere bilinen kırmızı noktaların etrafında daireler oluşturularak bu dairelerin kesişim noktaları üst üste binmeyecek şekilde üçgensel bölgeler oluşturulur. Oluşturulan bu üçgensel bölgelerin iç kısımları enterpole edilerek hesap yapılır ve yüzey oluşturulur (Url-12).

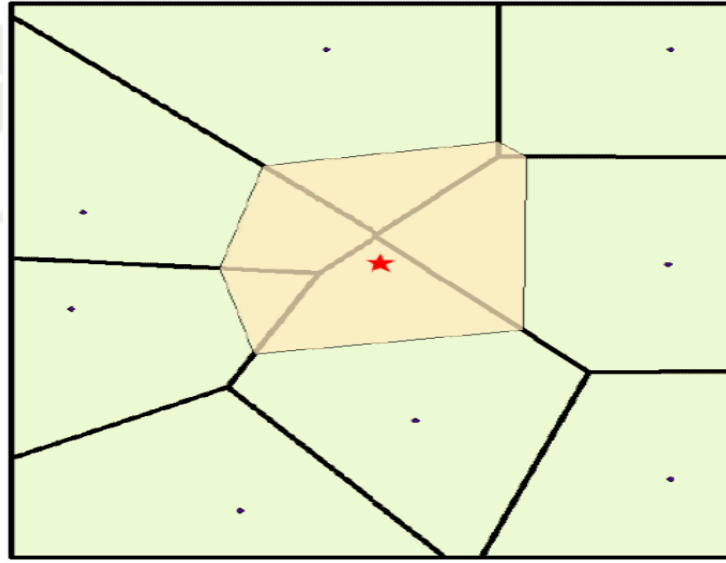
Buraya kadar açıklanan metodlara bakıldığında TIN metodunda oluşturulan üçgen sınırların dışına enterpole yapılmazken (Şekil 3.5), IDW metodunda enterpole yapılarak

bulunan noktadan, enterpole yapılması istenen bölgenin yarıçapı kadar dairesel şekilde taşma yapıldığı anlaşılır (Şekil 3.3).

3.3.3. Doğal komşu enterpolasyon yöntemi (NNI)

Doğal komşu enterpolasyonu, elimizdeki mevcut veri noktalarından hızlı ve güvenilir şekilde ağırlıklı ortalama bir yüzey belirlemeye dayalı bir yöntemdir (Url-9; Url-13).

Doğal komşu enterpolasyon yönteminde (NNI) elde bulunan veri noktalarıyla Voronoi poligonları denilen poligonlar oluşturur. Bu poligonları oluşturan noktaların arasındaki mesafelerin ağırlıklı ortalaması doğrultusunda enterpolasyon yapılarak bir alt küme belirlenir ve bu alt kümeye ilişkin şekil 3.6 ‘daki gibi bir Voronoi Poligonu (beyaz alan) oluşturulur. Bu şekilde oluşan yeni poligonlar geçiş sınırlarını daha iyi ayırarak geçiş sınırlarının detaylandırılmasını sağlar (Fan vd., 2005; Url-13).



Şekil 3.6 : Komşu poligonların ağırlıklı ortalaması ile oluşturulan yeni poligon

Yapılan bu çalışmada zemin sınıfı için doğal komşu enterpolasyon yöntemini (NNI) kullanmamızın nedeni zemin tiplerindeki heterojen geçişleri en iyi gösterecek yöntem olmasıdır (Url-13.)

Robin Sibson tarafınca geliştirilmiş olan ve voronoi poligon sistemine dayanan bu yöntem, oluşturulacak alt kümeyi (poligon) hesaplamak için x,y koordinatları verilen her nokta için oluşan Voronoi poligonlarının ağırlıklı ortalamasını hesaplamıştır. Sibson

oluşan her Voronoi poligonunun hesaba olan katkısını λ (lambda) ile temsil etmiştir. Sibson tarafından kullanılan eşitlik denklem 3.15’de görülmektedir (Sibson, 1981).

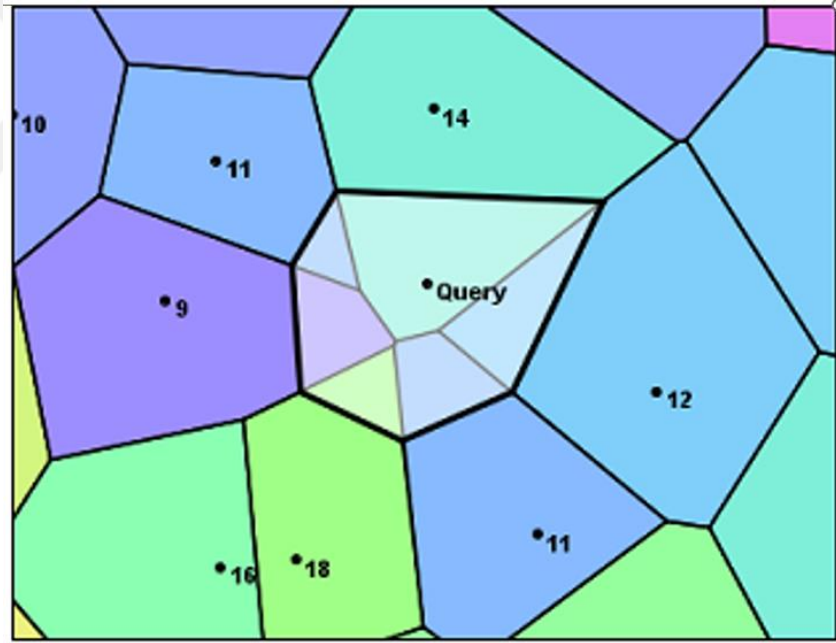
$$\lambda_i(x) = \frac{A(x_i)}{A(x)} \quad (3.15)$$

λ_i : 1’den N’ye kadar olan poligon değerleri

$A(x_i)$: Oluşturulacak yeni poligon ile bilinen poligon arasındaki kesişim alanı

$A(x)$: Oluşturulacak yeni poligonun toplam alanı

Şekil 3.7’de komşu poligonların enterpolasyon ağırlıkları alınarak oluşturulan yeni Voronoi poligonu görülmektedir. Burada her bir numara ile gösterilen poligonların alanları enterpolasyon alanlarıdır. Orta kısımda bulunan beyaz renkli poligon bu enterpolasyon alanların ağırlık ortalaması alınarak (Denklem 3.15) oluşturulan yeni Voronoi poligonudur.



Şekil 3.7 : Doğal komşu enterpolasyon yöntemi örneği

BÖLÜM 4. ANALİZLER

Çalışma kapsamında Geyve İlçesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğünden alınan zemin etüd raporlarındaki her bir sondaja ait 1.5 m / 3 m / 4.5 m / 6 m / 7.5 m / 9 m / 12 m derinliklerdeki zemin sınıfı, düzeltilmiş SPTN, WN, IDI, WL, WP , YASS gibi bilgiler alınmış ve yine bu derinliklerde sıvılaşma riski olan zemin tiplerinde TBDY 2018'e göre sıvılaşma hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda MapInfo programı ile Sakarya İli Geyve İlçesi'ne ait her 1.5 m / 3 m / 4.5 m / 6 m / 7.5 m / 9 m / 12 m derinliklerdeki zemin sınıflandırılması, düzeltilmiş SPTN, WN, IDI, WL, WP , YASS ve zemin sıvılaşma haritalandırılması yapılmıştır.

4.1. Örnek Sıvılaşma Hesaplaması

Bu bölümde Geyve İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nden alınan zemin etüd raporlarından Alifuatpaşa Mahallesi 157 Ada 1 Parselde yapılan bir adet sondaj çalışmasına ait sıvılaşma hesabı adım adım anlatılacaktır. Tablo 3.2'de örnek sıvılaşma hesabı yapılacak zemin etüd raporundaki 2 numaralı sondaj kuyusuna ait bazı bilgiler görülmektedir. Bu bilgilere ilaveten suyun birim hacim ağırlığı (u_w) 9,81 kN/m³ alınmıştır (Url-11).

Tablo 3.2 : Sondaj loguna ait bilgiler

Zemin sınıfı	Derinlik(m)	İnce dane İçeriği (%)	YASS (m)	γ_n (kN/m ³)	γ_{doygun} (kN/m ³)	S_{DS}
SM	6	16.58	3	18	20	1.125

SPT değerleri ile sıvılaşma analizi yaparken ilk olarak zemin parametreleri belirlenir ardından SPT değerlerinin düzeltilmesi yapılır, daha sonra sıvılaşma direnci (T_R) hesaplanır ve son olarak zeminde oluşan kayma gerilmeleri (T_{deprem}) hesaplanarak güvenlik katsayısına göre zeminde sıvılaşma riski olup olmadığı kontrol edilir.

4.1.1. Zemin parametreleri ve SPTN değerleri

Toplu deney sonuç raporuna doğrultusunda denklem 3.11 'den hesaplanan toplam düşey gerilme değeri 114 kN/m^2 , denklem 3.12'den hesaplanan toplam düşey efektif gerilme değeri 84.57 kN/m^2 ve denklem 3.13 'den boşluk suyu basıncı değeri 29.43 kN/m^2 'dir.

4.1.2. Sıvılaşma direnci parametresinin ($N_{1,60f}$) hesaplanması

Denklem 3.3 kullanılarak örtü yükü düzeltme katsayısının değeri $C_N = 1.06$ olarak hesaplanır.

Bu işlem sonucunda $C_N > 1.7$ olduğunda $C_N = 1.7$ kabul edilmesi gerekir (TBDY 2018).

Zemin etüd raporundaki bilgiler doğrultusunda Tablo 3.1'den alınan SPT düzeltme katsayıları $C_R = 0.85$, $C_S = 1$, $C_B = 1$, $C_E = 1$ değerleri denklem 3.2'de yerine koyulduğunda $N_{1,60} = 7.21$ olarak bulunur.

Denklem 3.5.b 'ye göre $\alpha = 2.91$ ve $\beta = 1.06$ olarak hesaplanır.

α ve β değerleri denklem 3.4'te yerine koyulduğunda $N_{1,60f} = 10.55$ olarak bulunur.

4.1.3. Sıvılaşma direncinin (T_R) hesaplanması

Bölüm 4.1.2. de bulunan $N_{1,60f}$ değeri denklem 3.7'de yerine koyulduğunda çevrimsel dayanım oranı $CRR_{M7.5} = 0.14$ olarak elde edilir.

Tasarım depremi moment büyüklüğü (M_w) 7.5 seçildiğinde denklem 3.8'e göre

$C_M = 0.99$ değeri elde edilir.

Sıvılaşma hesaplamalarında tasarım değremini moment büyüklüğü (M_w) her zaman 7.5 seçilmiştir (TBDY 2018).

Denklem 3.6'da elde edilen bu değerler yerine koyulduğunda $T_R = 11.72$ olarak bulunur.

4.1.4. Zeminde oluşan kayma gerilmesinin (τ_{deprem}) hesaplanması

Sıvılaşma hesabı yapılan derinlikteki toplam düşey gerilme (σ_{v0}), denklem 3.10.a'ya göre hesaplanan gerilme azaltma katsayısı (r_d) ve S_{DS} denklem 3.9'da yerine koyulursa $\tau_{\text{deprem}} = 31.81$ olarak hesaplanır.

4.1.5. Güvenlik katsayısının hesabı

TBDY 2018'e göre sıvılaşma tehlikesi olmaması için güvenlik katsayısı minimum 1.1 olmalıdır (Denklem 3.1).

Denklem 3.1'e göre ilgili derinlik için sıvılaşma direnci (τ_R) değeri zemindeki tekrarlı kayma gerilmesine (τ_{deprem}) bölündüğünde güvenlik sayısı $11.72/31.81 = 0.37$ olduğundan sıvılaşma riski vardır.

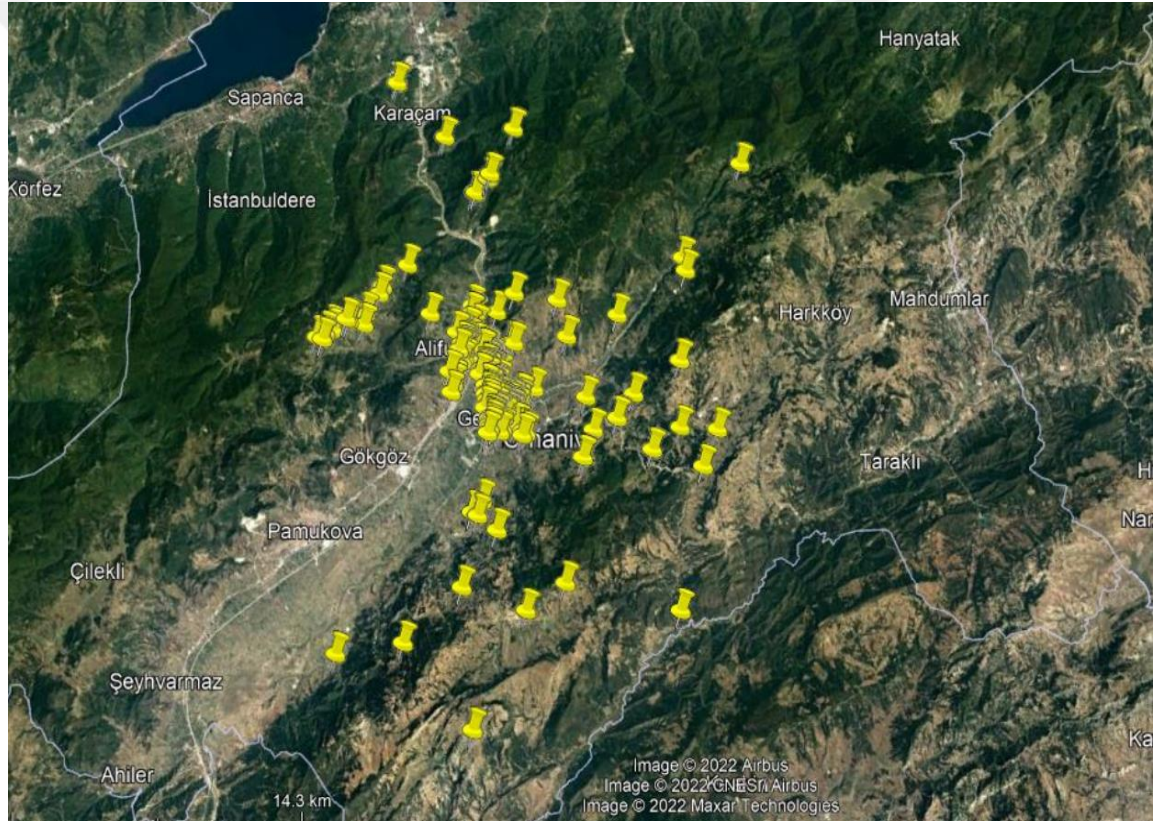
4.2. Hesaplamalarda Yapılan Kabuller

Sıvılaşma hesaplamaları yapılırken zemin etüd raporunda doğal birim hacim ağırlık (γ_n) ve doymuş birim hacim ağırlık ($\gamma_{\text{doymuş}}$) değerleri verilmeyen zemin etüd raporlarında bu değerler için TS 498 standardına göre kabul yapılmıştır (TS498, 1987).

Geyve İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nden alınan zemin etüd raporlarının çoğunda zeminin sertliğinden dolayı sondaj yapılamadığından bu alanın araştırma çukuru ile geçildiği gözlemlenmiştir. Araştırma çukuru ile geçilen raporlarda zeminin sertliği göz önüne alındığında SPTN değerleri 100 olarak alınmıştır. Kilitaşı, kumtaşı, kireçtaşı zemin birimlerinde sıvılaşma olmayacağından bu araştırma çukuru raporları için haritalamada sıvılaşma için güvenlik sayısı değerleri 2 olarak alınmıştır (TBDY, 2018). Araştırma çukuru ile geçildiği gözlenen sert zeminlere ait raporlarda plastik olmayan zemin tipleri için likit limit değerleri 10 olarak alınmıştır. Yeraltı su seviyesine rastlanmayan sondajlarda zeminler yeraltı su seviyesi üzerinde olduğundan sıvılaşma hesabı yapılmamıştır. Çünkü Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde sıvılaşma potansiyeline sahip zeminler yeraltı suyunun aşağısında kalan çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları olarak açıklanmıştır (TBDY, 2018).

4.3. Haritalandırma Çalışmaları

Geyve İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nden alınan zemin etüd raporlarının çoğunda zeminin sertliğinden dolayı sondaj yapılamadığından bu alanların araştırma çukuru ile geçildiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla SPTN*, W_N , IDI, W_L , W_P ve YASS haritaları için örneklem çok küçük bir alanda sınırlı kalmıştır. Bu haritalamalar yapılaşmanın daha yoğun olduğu Gazi Süleymanpaşa, Alifuatpaşa, Orhaniye, Epceler, Camikebir, Tepecikler, Eşme ve Sarıgazi Mahallelerini içeren sınırlı alanı kapsayacak şekilde yapılmıştır. Şekil 4.1'de Sakarya Geyve ilçesi'ne ait sondaj yapılan noktaların işaretleri görülmektedir.

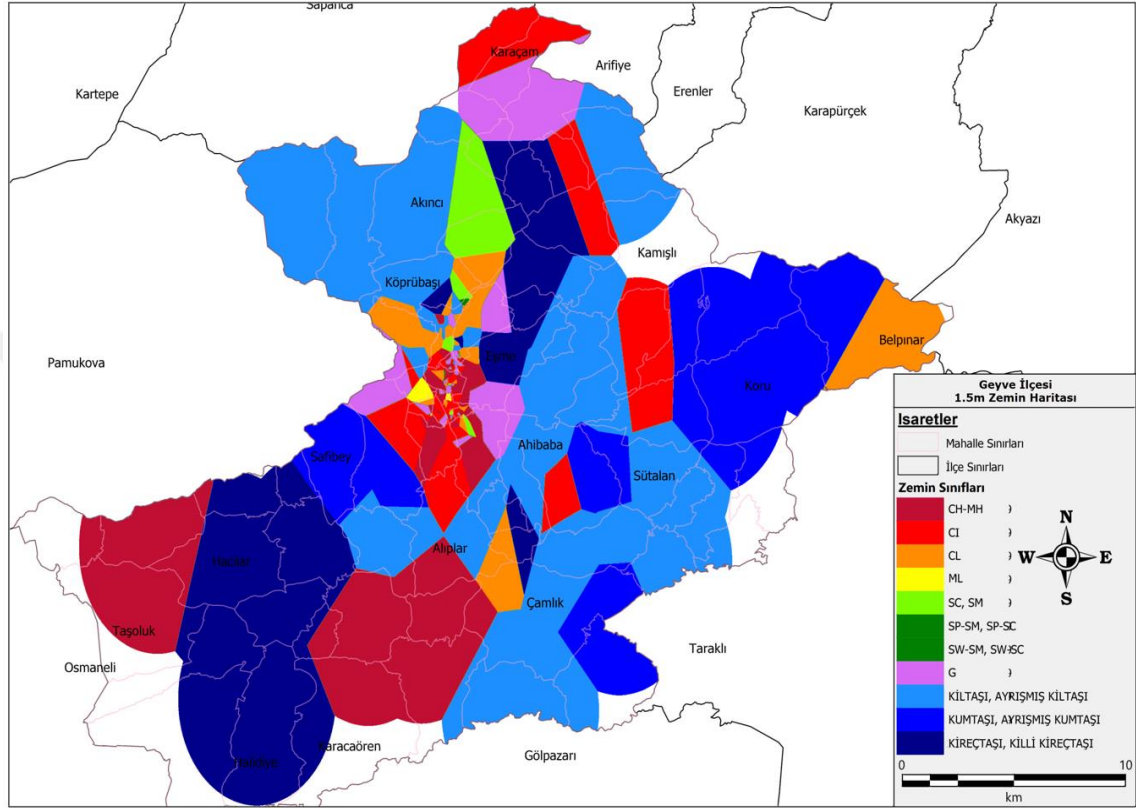


Şekil 4.1 : Sakarya Geyve İlçesi sondaj noktalarının görüntüsü (Google Earth)

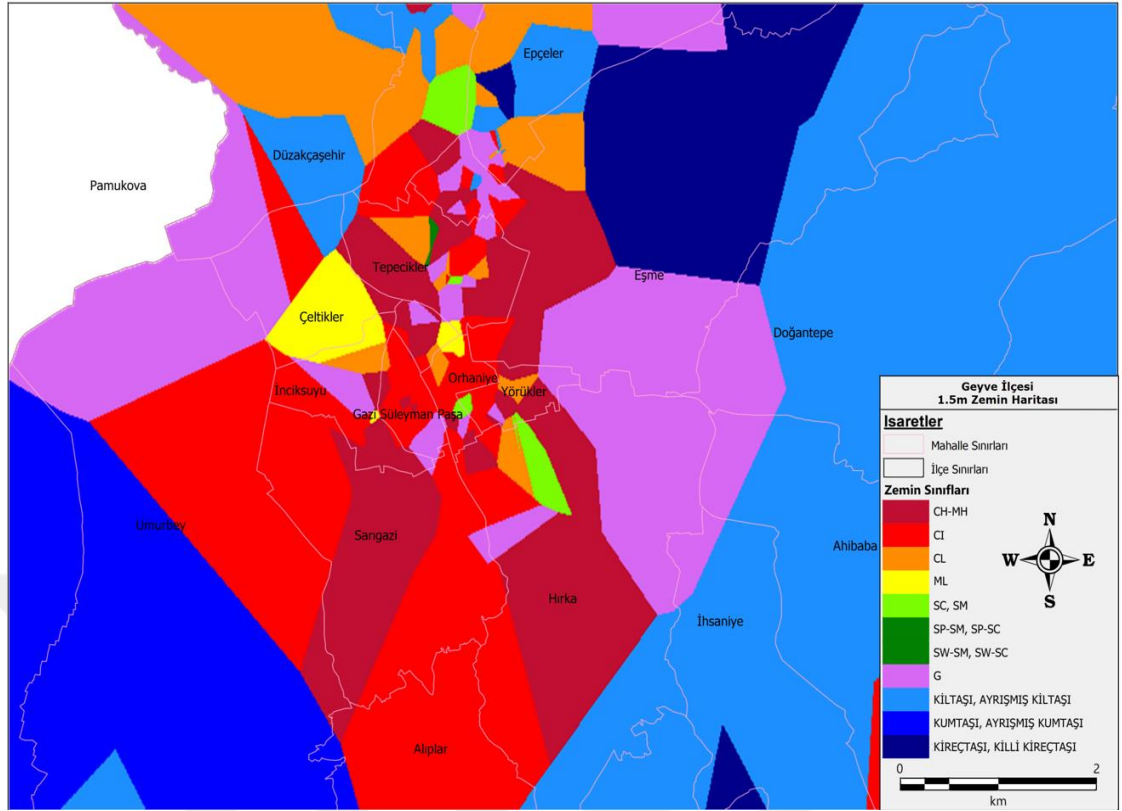
4.4. Zemin Sınıfı Haritaları

Sakarya İli Geyve İlçesi'nin 1.5m zemin haritasında genellikle ince daneli birimler olmakla birlikte kiltası, kumtaşı ve kireçtaşı birimlerinin hakim olduğu görülür. İlçe merkezine bakıldığında karmaşık birbiri içinde çok değişkenlik gösteren bir zemin

profili görülmektedir. Çakıl gibi iri daneli zeminler ise merkez ve kuzey bölgede görülmektedir. Haritalarda beyaz renkle görülen yerler yapılaşmanın bulunmadığı ya da az yapılaşma görülen bölgeler olduğundan bu bölgelerle ilgili bilgiler haritalamada görülmemektedir.

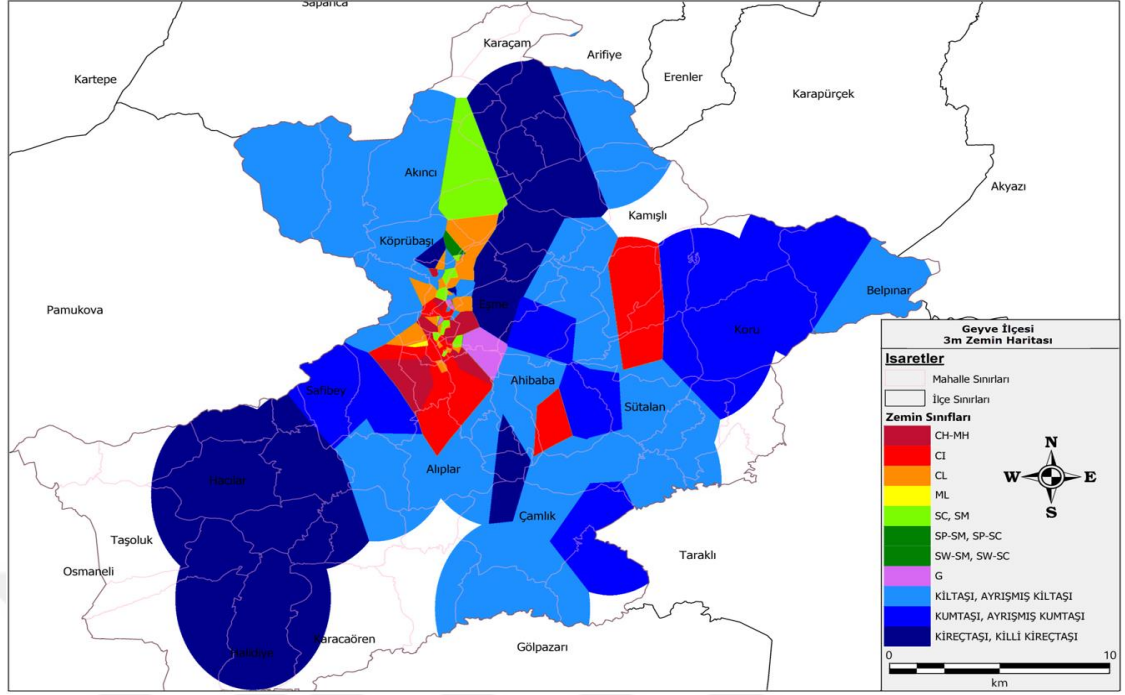


Şekil 4.2.a : 1.5 m zemin haritası

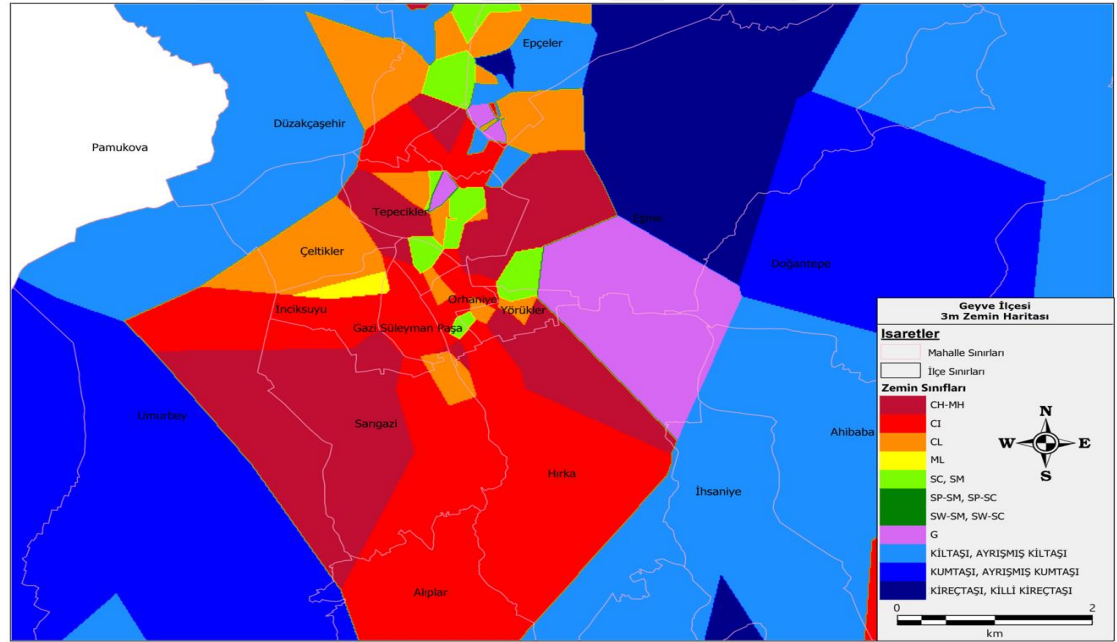


Şekil 4.2.b : 1:50,000 yakın plan zemin haritası

Şekil 4.3’de kumtaşı, kıltaşı ve kireçtaşı zemin birimlerinin yaygın olduğu görülmektedir. İlçe merkezi ve merkezin doğusunda ince daneli orta plastisiteli kil birimler de gözlenmektedir. İlçenin kuzeyinde sitli killi kum birimler bulunmaktadır. İlçe merkezine bakıldığında ise iri daneli çakıl ve ince daneli kil birimler gibi çok değişkenlik gösteren zemin profili görülür.

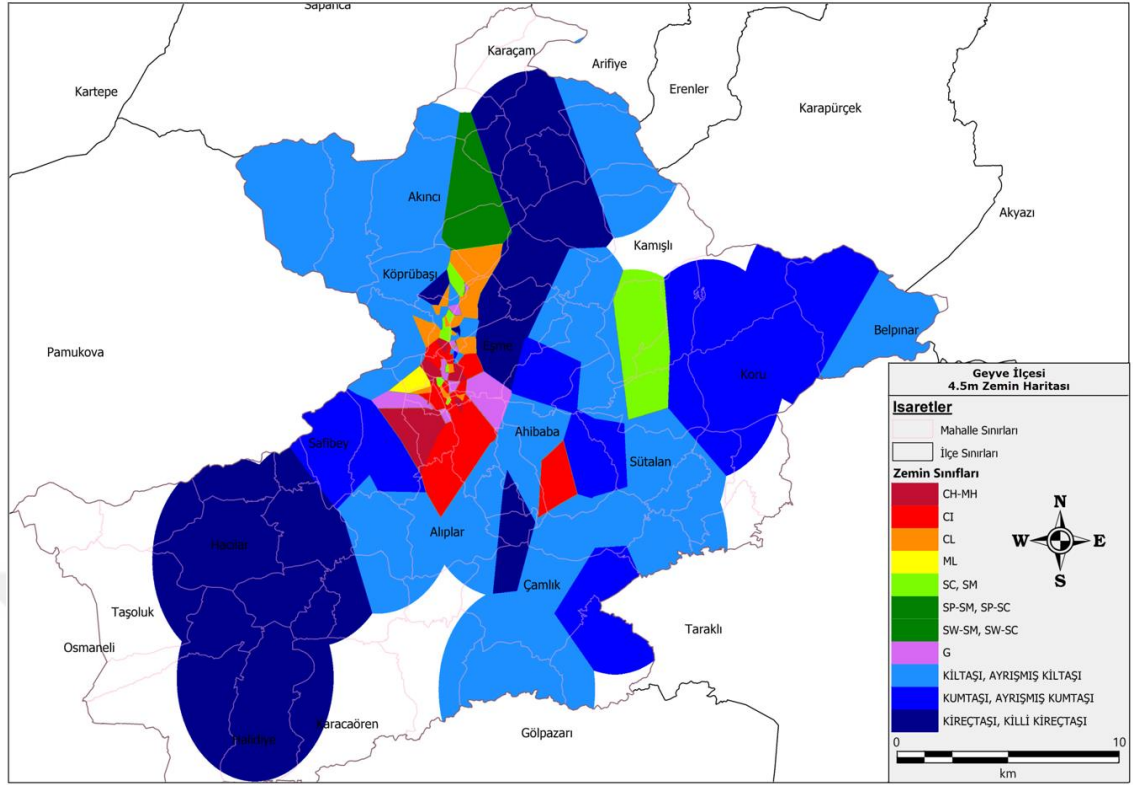


Şekil 4.3.a : 3 m zemin haritası

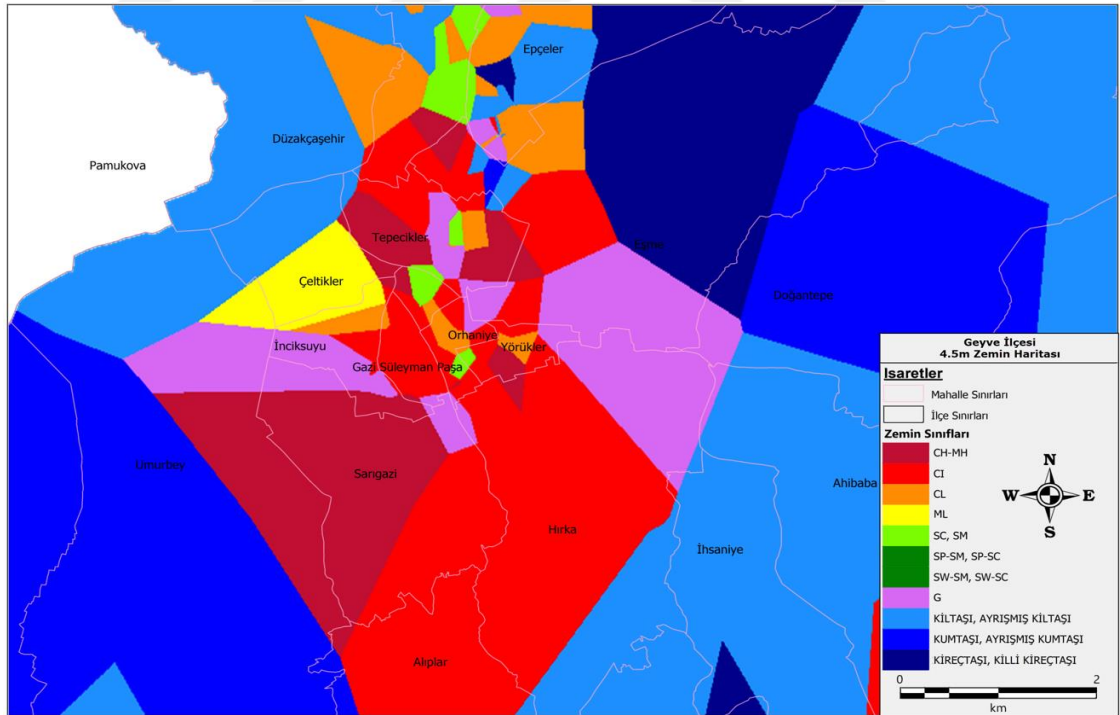


Şekil 4.3.b : 3 m yakın plan zemin haritası

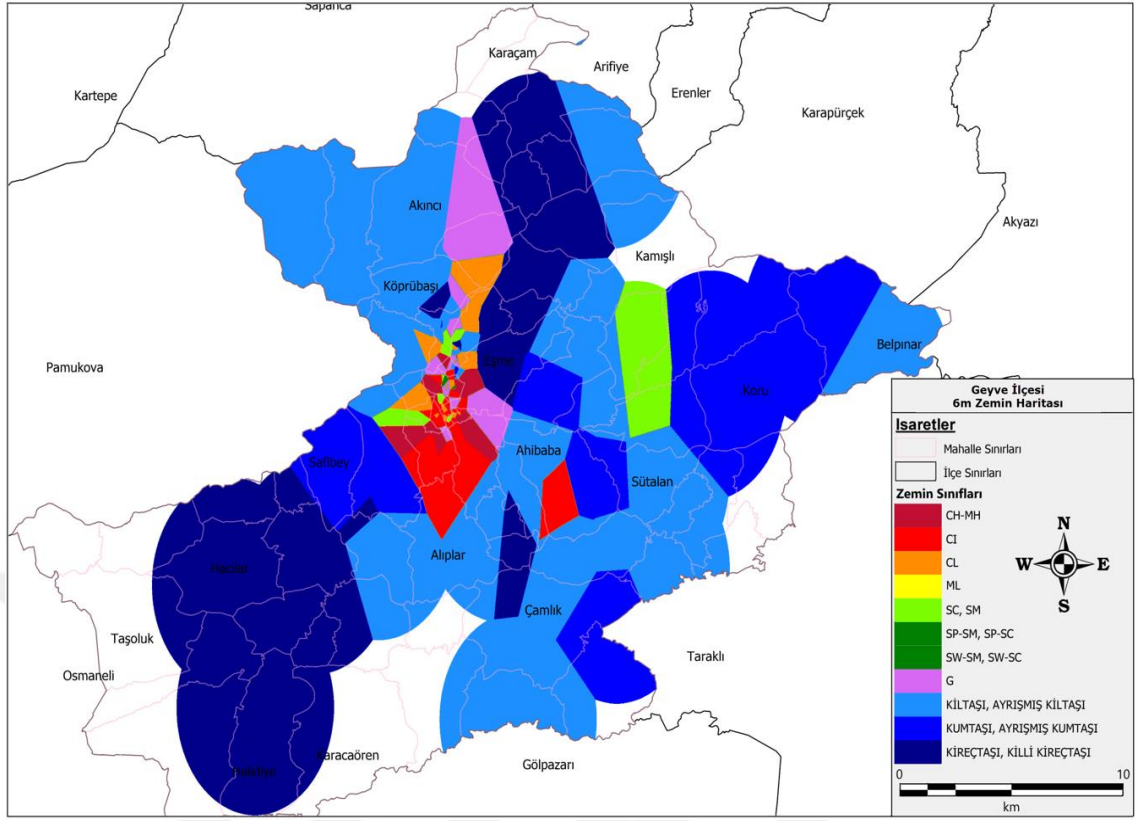
Şekil 4.4 ve şekil 4.5'teki zemin haritalarına bakıldığında ilçe merkezinde iri daneli çakıl birimler görülürken merkezin doğusunda siltli killi kum birimler gözlenmektedir.



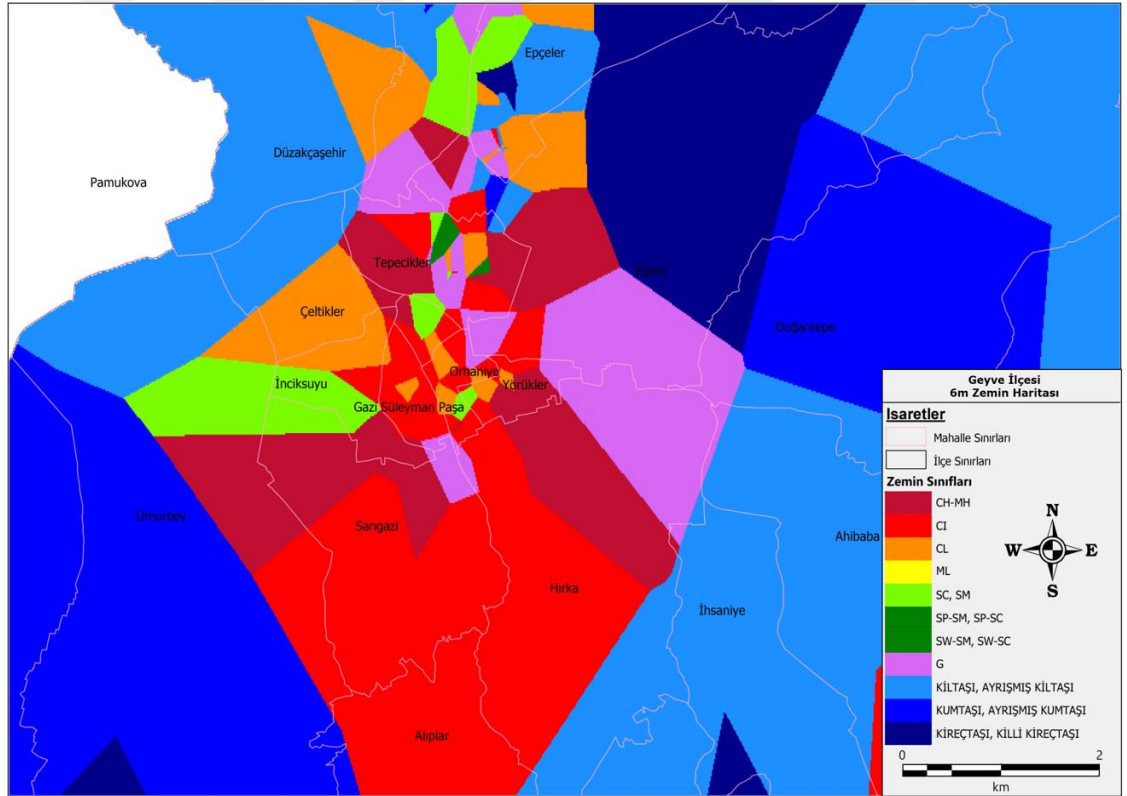
Şekil 4.4.a : 4.5 m zemin haritası



Şekil 4.4.b : 4.5 m yakın plan zemin haritası

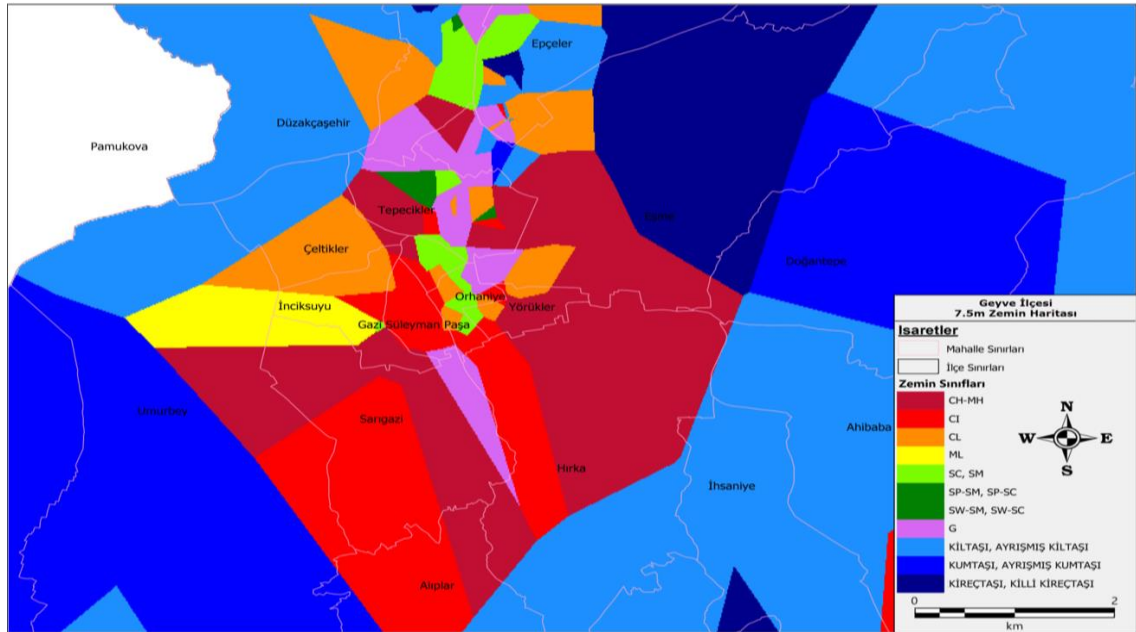
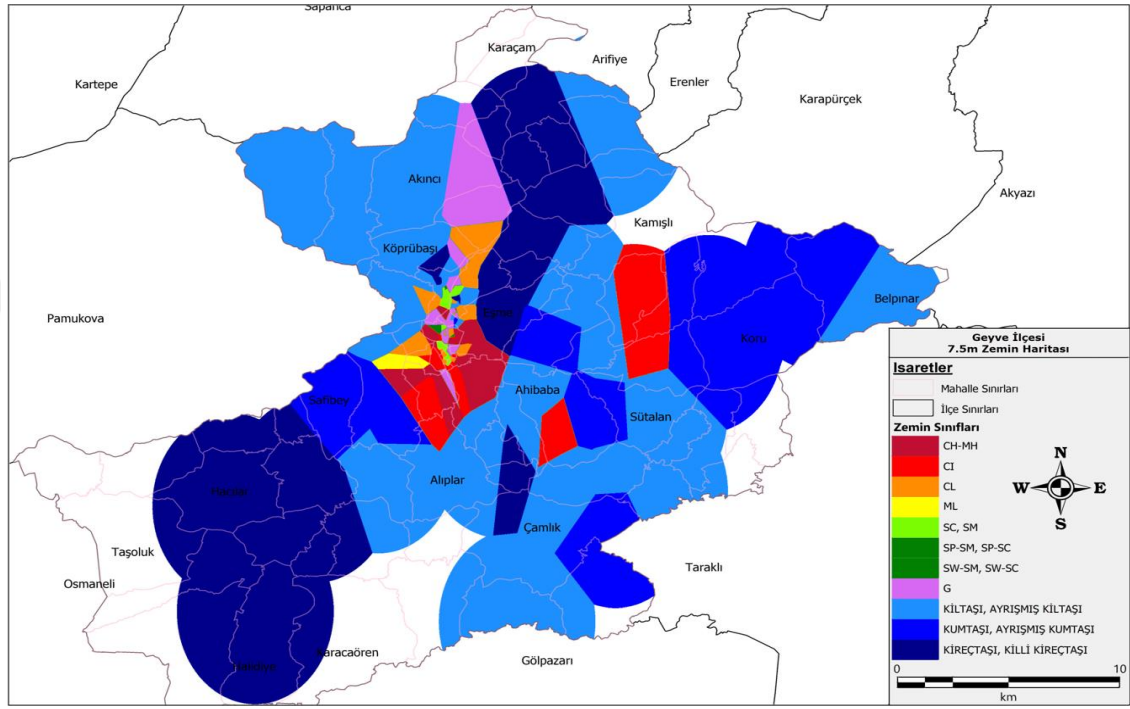


Şekil 4.5.a : 6 m zemin haritası

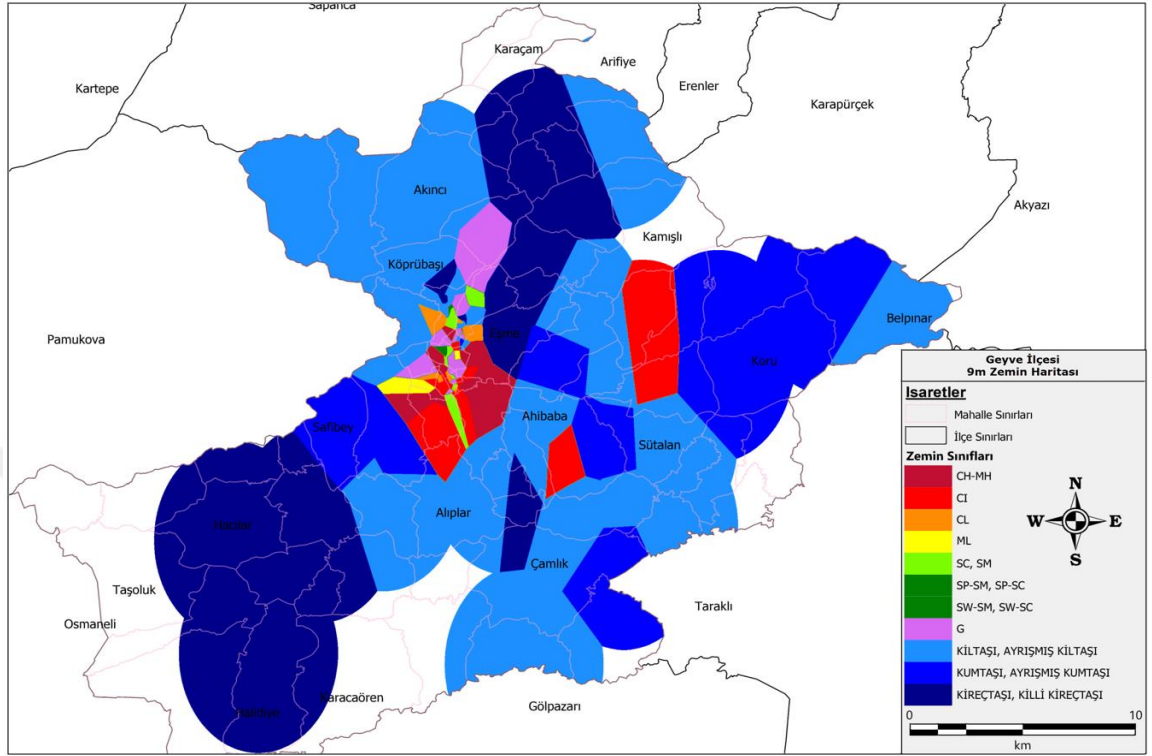


Şekil 4.5.b : 6 m yakın plan zemin haritası

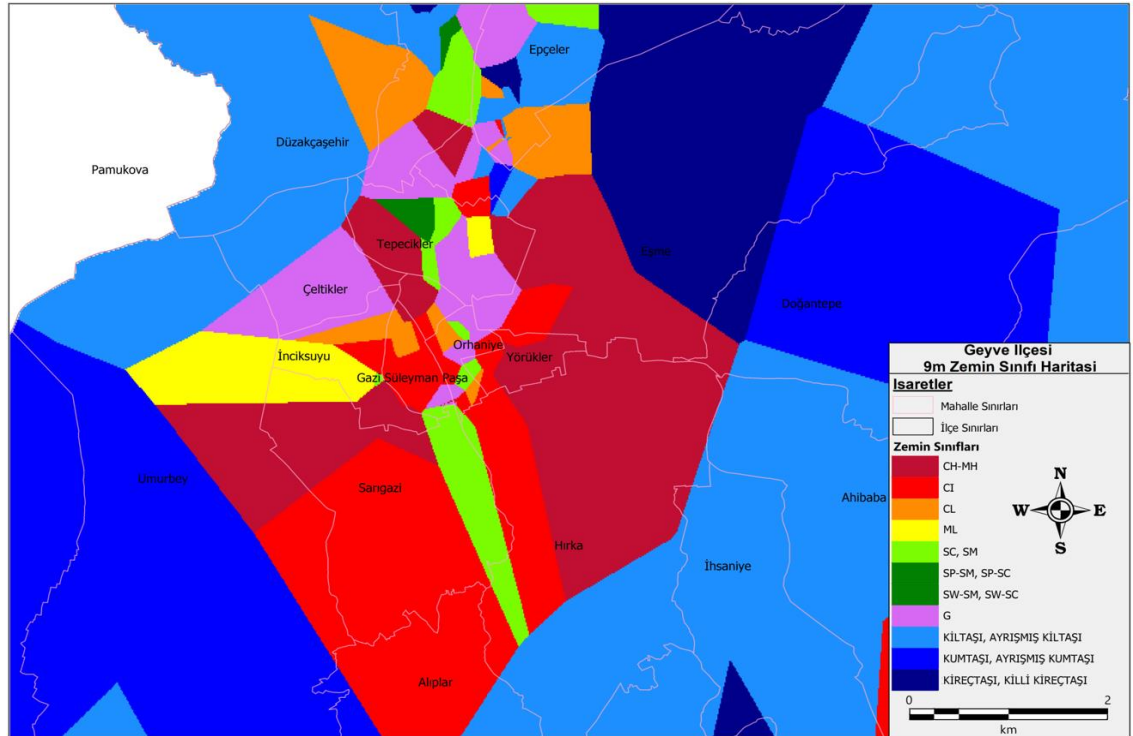
Şekil 4.6 ve şekil 4.7’de ilçe merkezinin kuzeyinde siltli kum biriminin azalarak yerini iri daneli çakıl birimlere bıraktığı, merkezin doğusunda ince daneli kil birimlerin bulunduğu görülmektedir. İlçe merkezinde ise çakıllı siltli killi ve kumlu zeminler şeklinde iri ve ince daneli zeminlerin iç içe olduğu karmaşık bir zemin profili görülmektedir.



İlçenin genellikle yerleşime açık olmayan dağlık arazi bölgelerinde (kuzey, güney, doğu) kumtaşı, kıltaşı ve kireçtaşı birimlerinin yaygın olduğu görülmektedir.

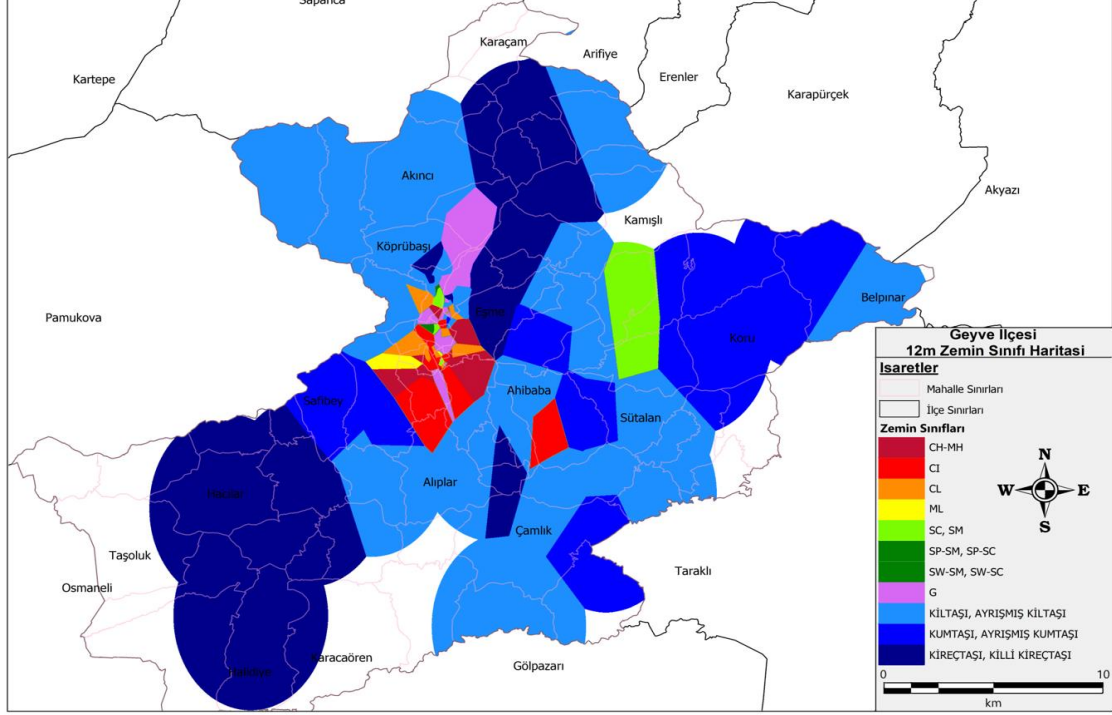


Şekil 4.7.a : 9 m zemin haritası

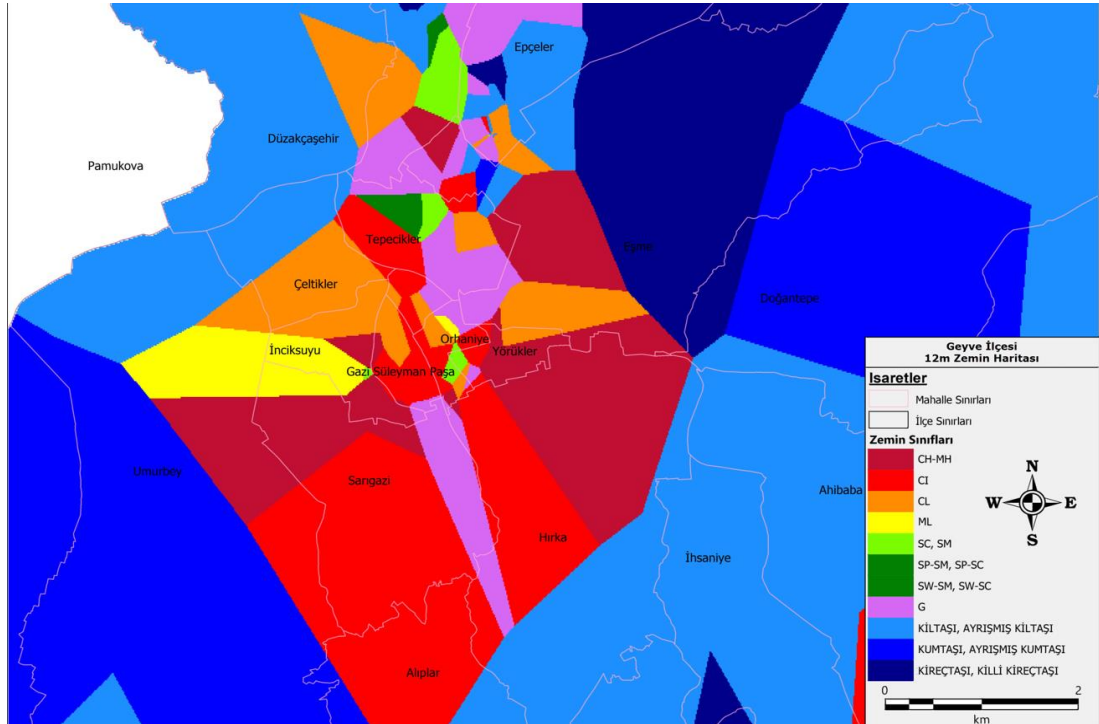


Şekil 4.7.b : 9 m yakın plan zemin haritası

Şekil 4.8’de ilçenin kuzeyinde bulunan iri daneli çakıl birimlerinde azalma olduğu görülmektedir. İlçenin doğusundaki killi birimlerin de azalarak yerini iri daneli kumlu zemine bıraktığı görülmektedir.



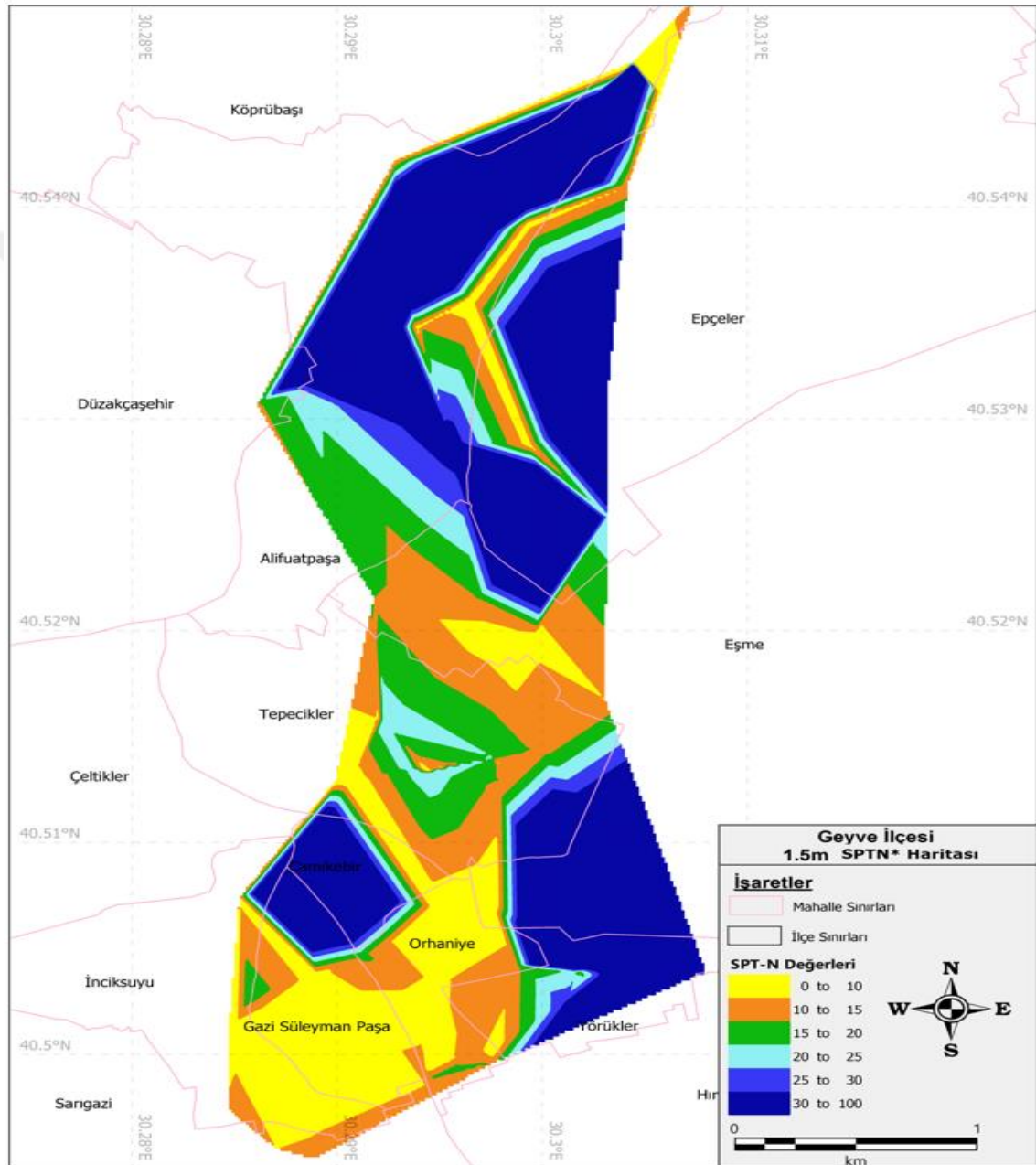
Şekil 4.8.a : 12 m zemin haritası



Şekil 4.8.b : 12 m yakın plan zemin haritası

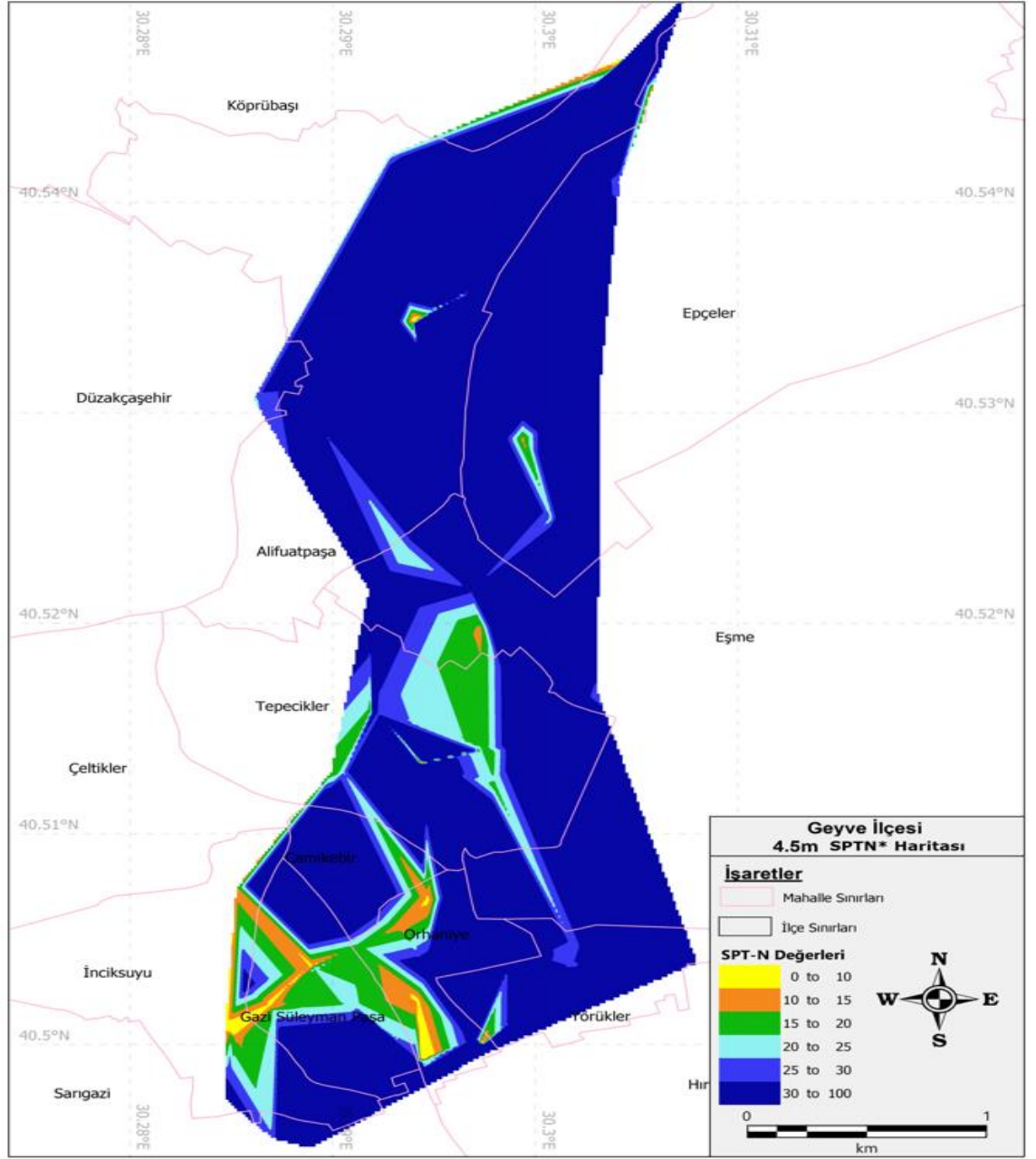
4.5. SPTN* Haritaları

Şekil 4.9'da 1.5 m derinlikte Orhaniye ve Gazi Süleymanpaşa Mahalleleri'nde darbe sayısı 0-15 aralığında iken Alifuatpaşa ve Epçeler Mahallelerinde genellikle 30 vuruşun üzerinde olduğu görülür.

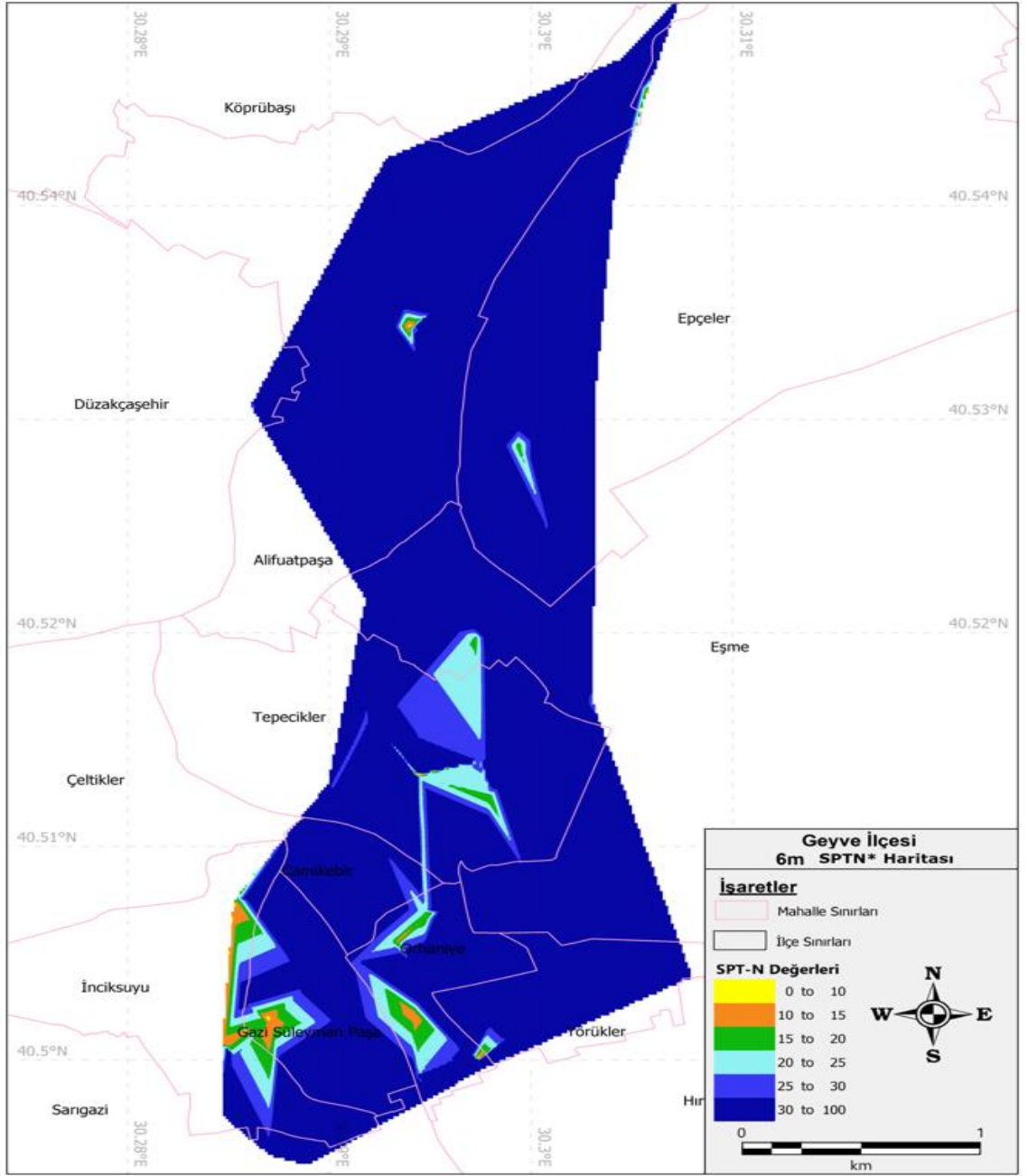


Şekil 4.9 : 1.5 m SPTN* haritası

alanının genelinde SPTN* sayısının genellikle 30 vuruş ve üzerinde olduğu görülmektedir.

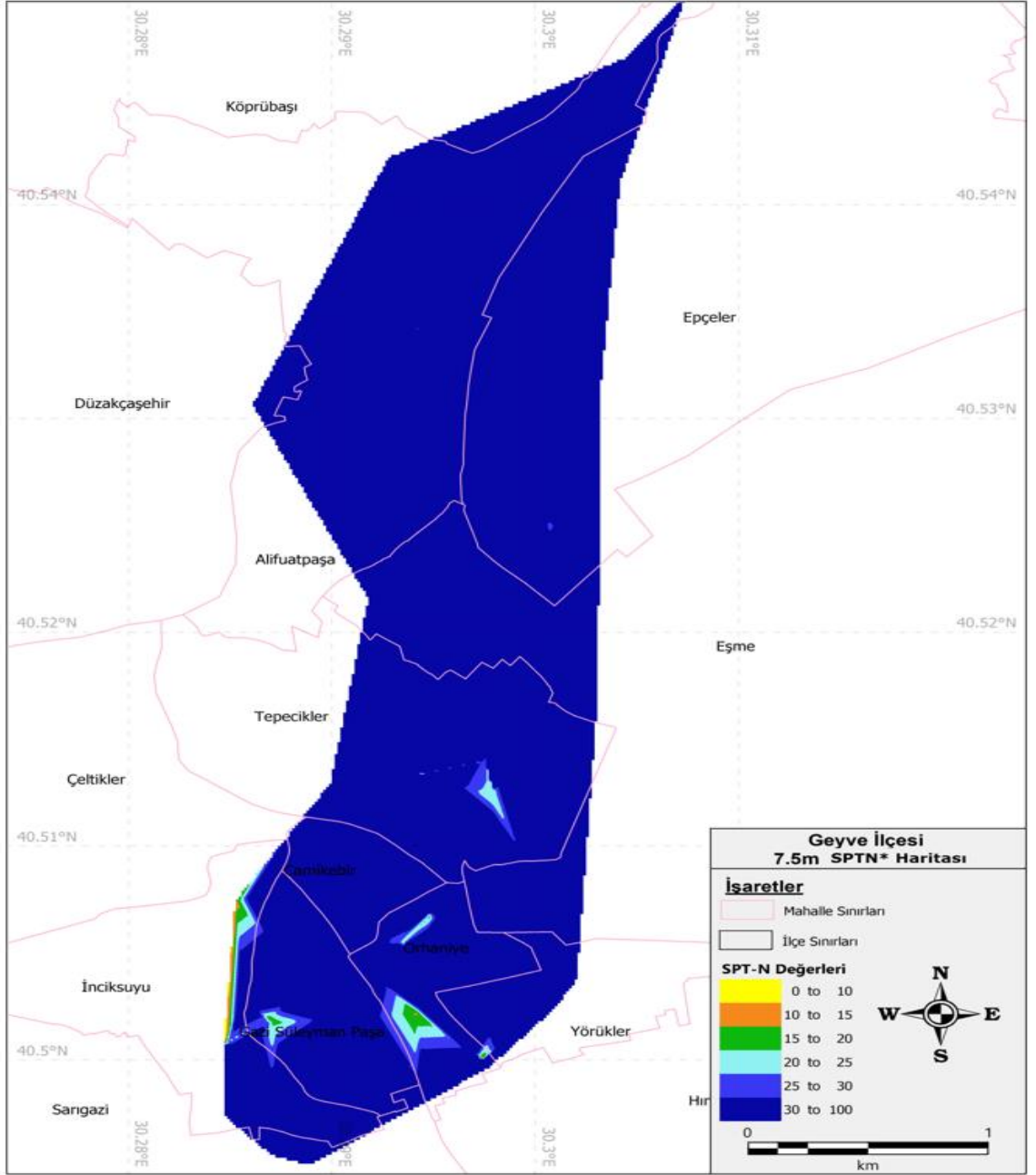


Şekil 4.11 : 4.5 m SPTN* haritası



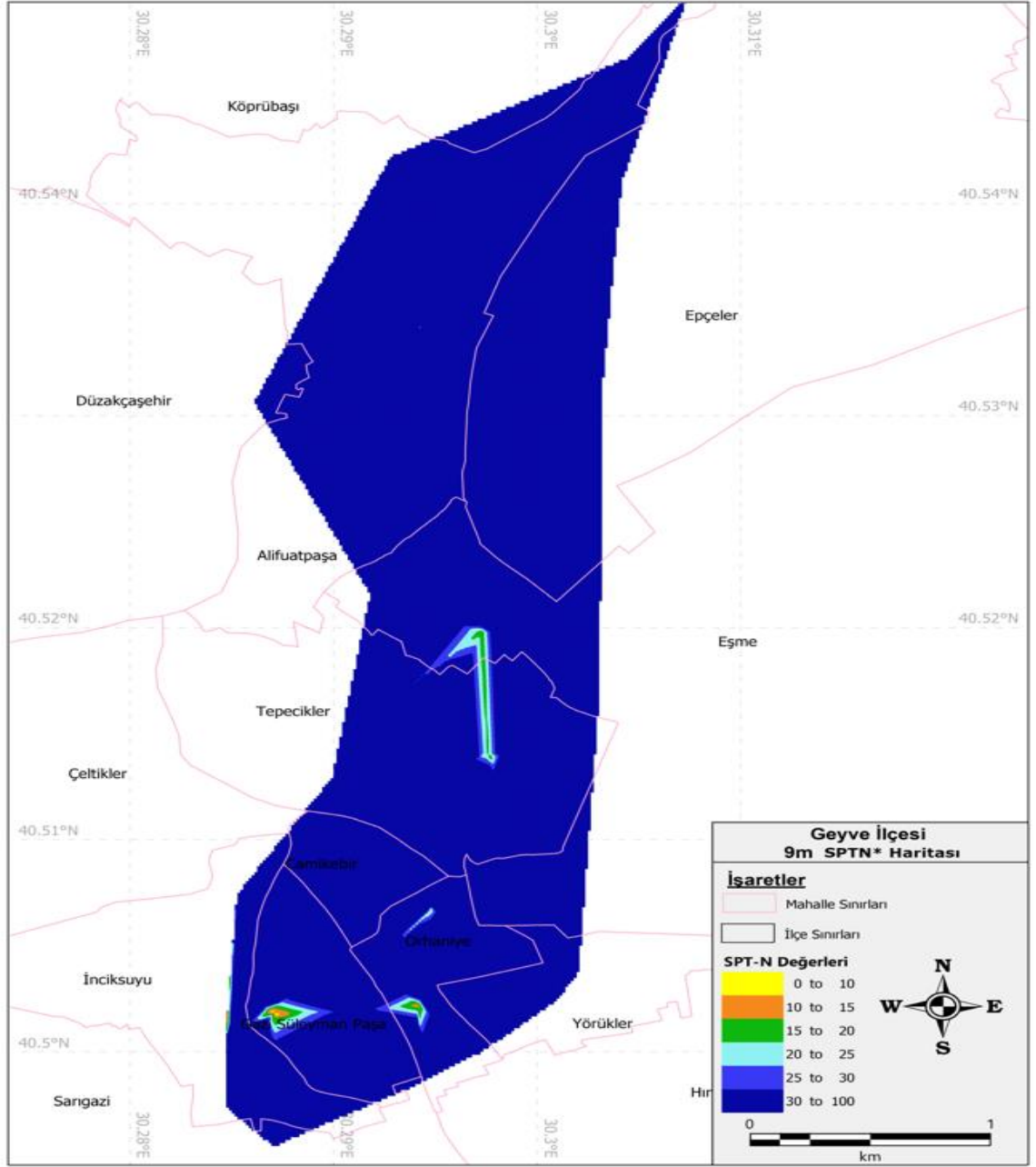
Şekil 4.12 : 6 m SPTN* haritası

Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'te 7,5 m, 9 m ve 12 m derinlikte SPTN*vuruş sayısının derinlik ile birlikte giderek arttığı 30 vuruş altında neredeyse hiç alan olmadığı görülmektedir.

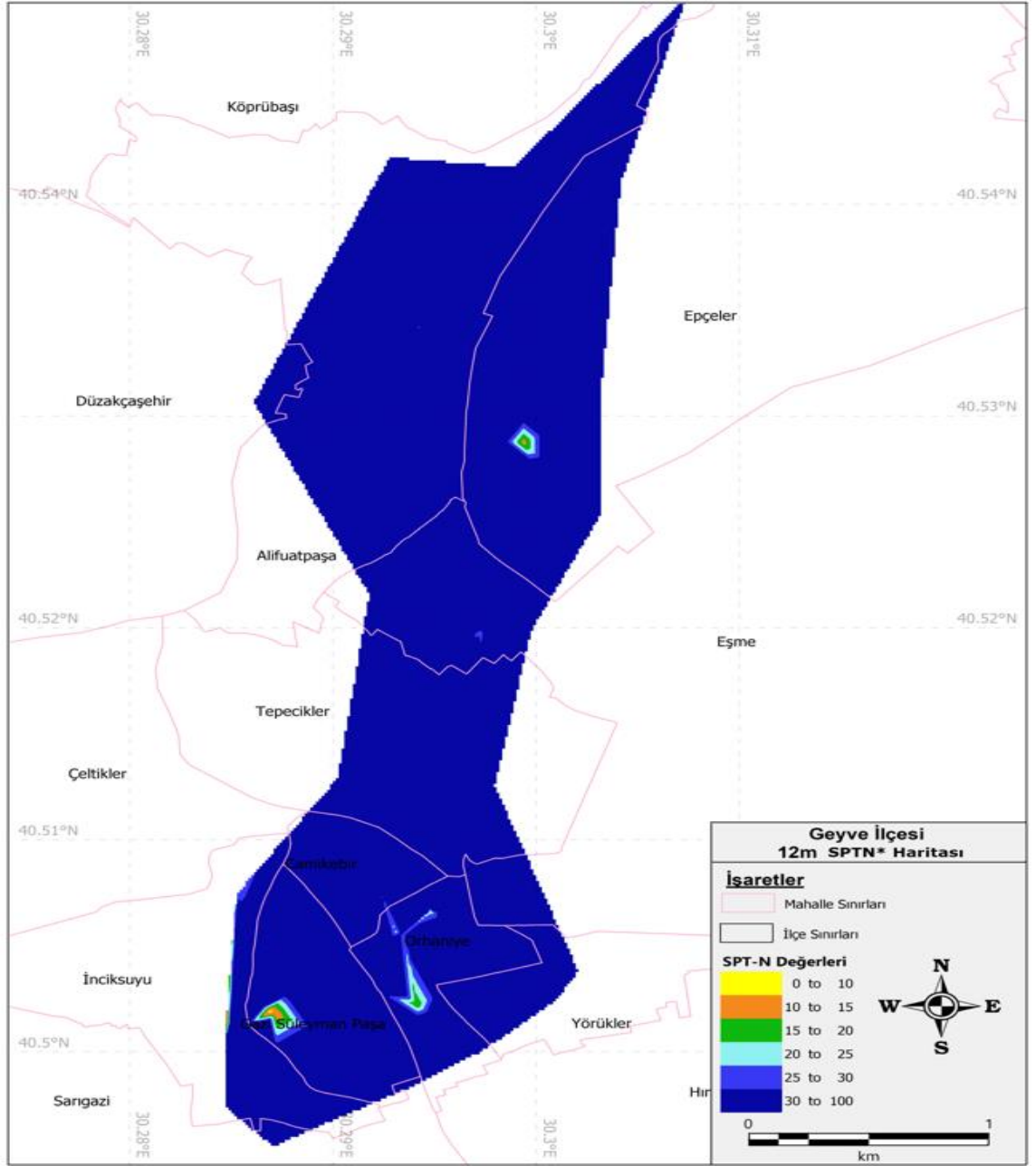


Şekil 4.13 : 7.5 m SPTN* haritası

Aynı derinlikteki zemin haritaları ile mukayese edildiğinde Eşme, Gazi Süleymanpaşa ve Orhaniye Mahallelerinde ince daneli kil birimler görüldüğü halde bu mahallelerin yüksek darbe sayılarına sahip olduğu görülmektedir.



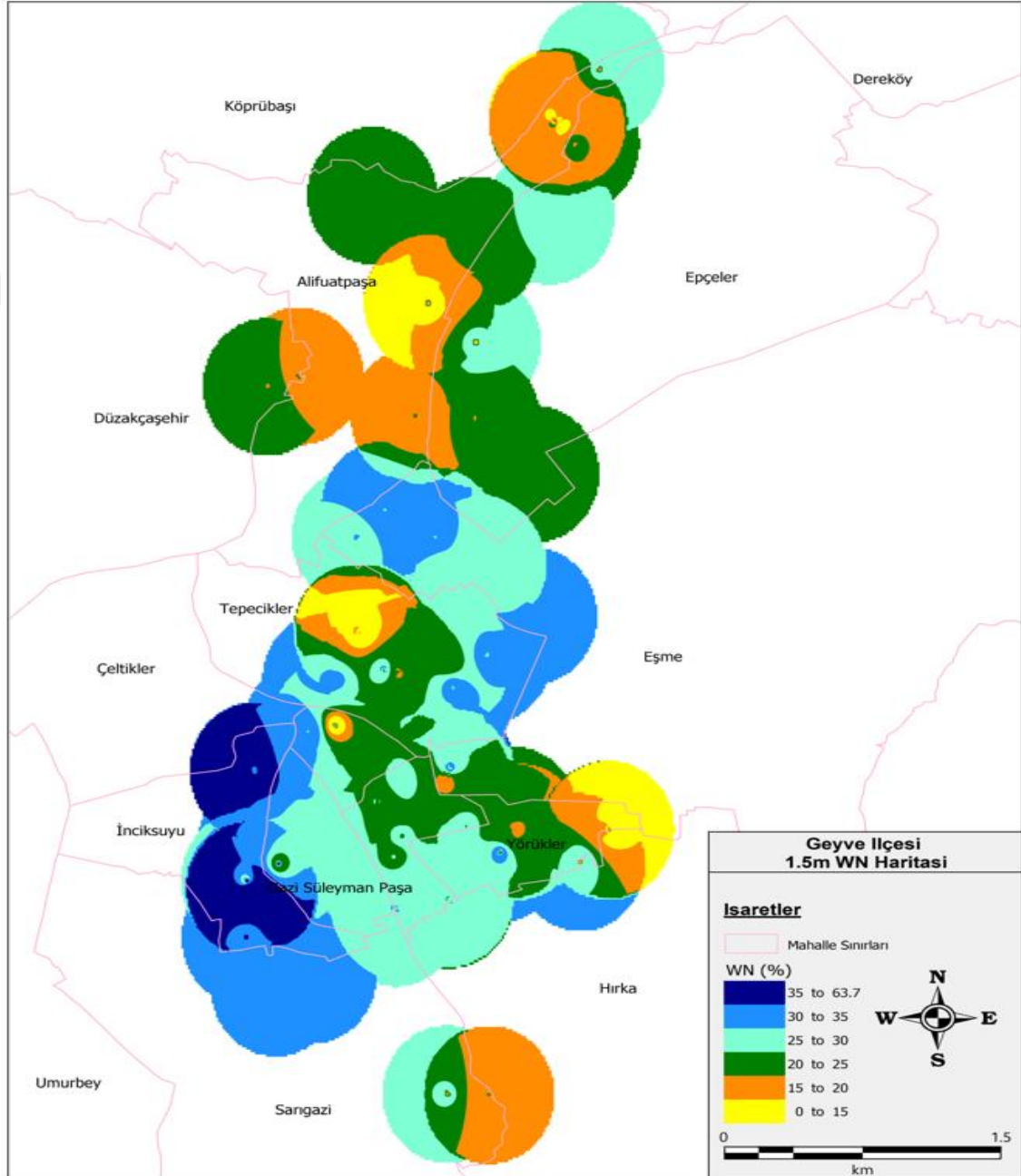
Şekil 4.14 : 9 m SPTN* haritası



Şekil 4.15 : 12 m SPTN* haritası

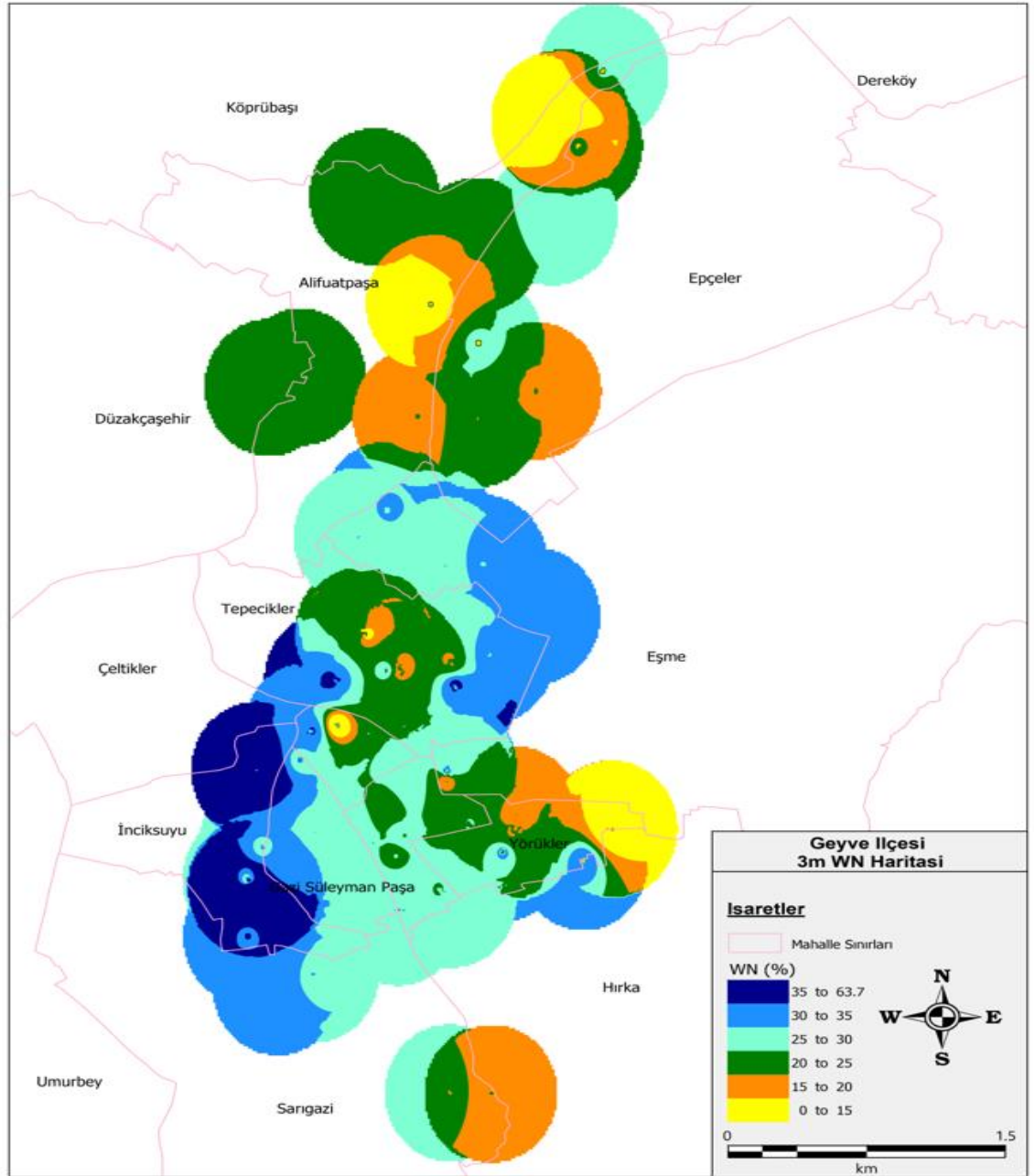
4.6. Doğal Su Muhtevası Haritaları (%)

Şekil 4.16 1,5 m için su muhtevası haritasını göstermektedir. Şekil 4.16'ya bakıldığında 1,5 m derinlik için örneklem bölgesinin güneyinde su muhtevası genellikle %25 ve üzerinde iken örneklem bölgesinin kuzeyinde genellikle %15 ve %25 arasındadır.



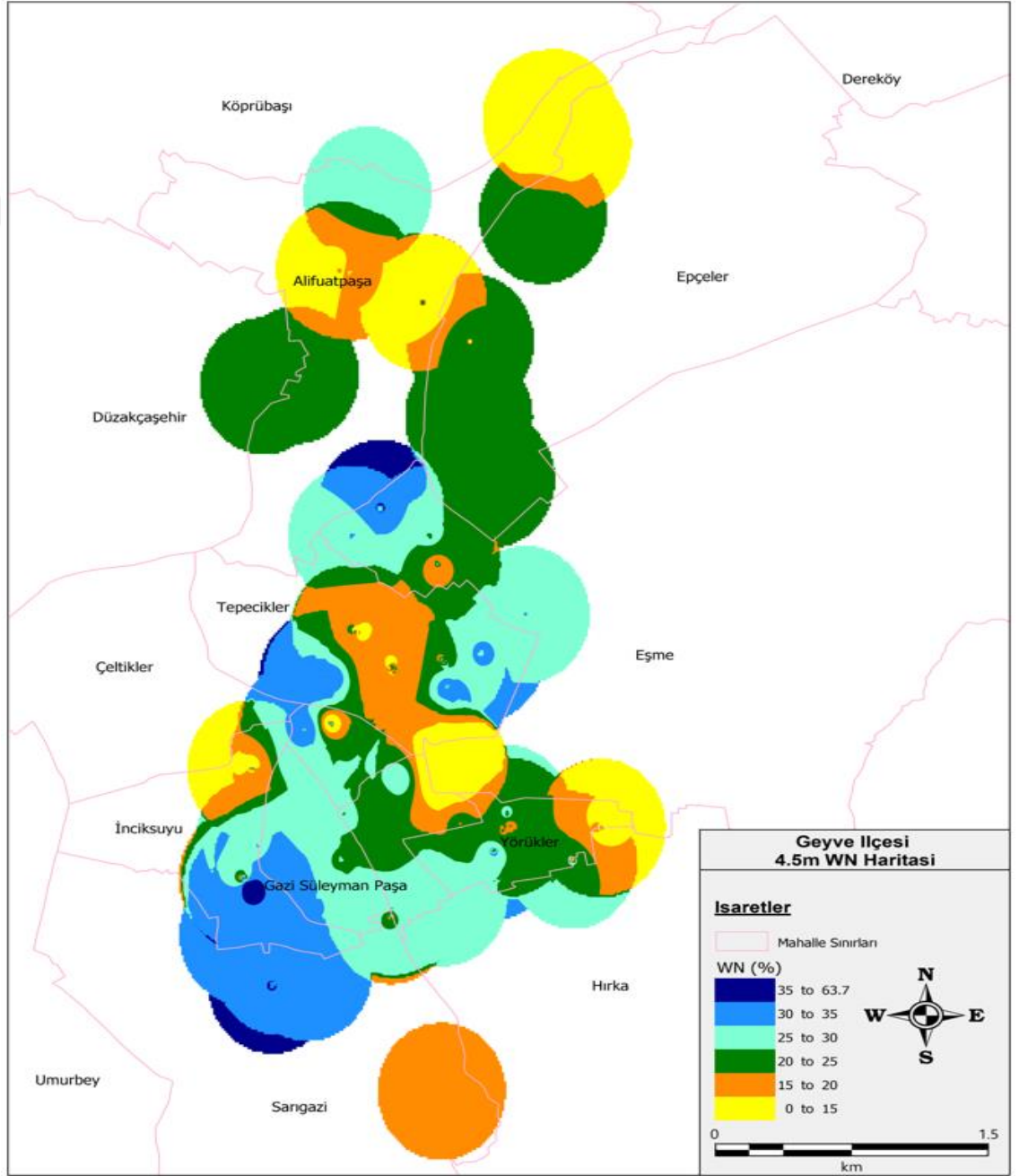
Şekil 4.16 : 1.5 m W_N haritası

Şekil 4.17 3 m derinlikte su muhtevası değerini göstermektedir. Şekil 4.17’de 1,5 m derinliğe nispetle 3 m derinlikte su muhtevası değerinde artış olduğu görülmektedir. Alifuatpaşa Mahallesiindeki su muhtevasının %15 ile 20 arasından %20 ile 25 arasına çıktığı, Orhaniye Mahallesiindeki su muhtevasının %20-25 aralığından %25-30 aralığına çıktığı görülmektedir.



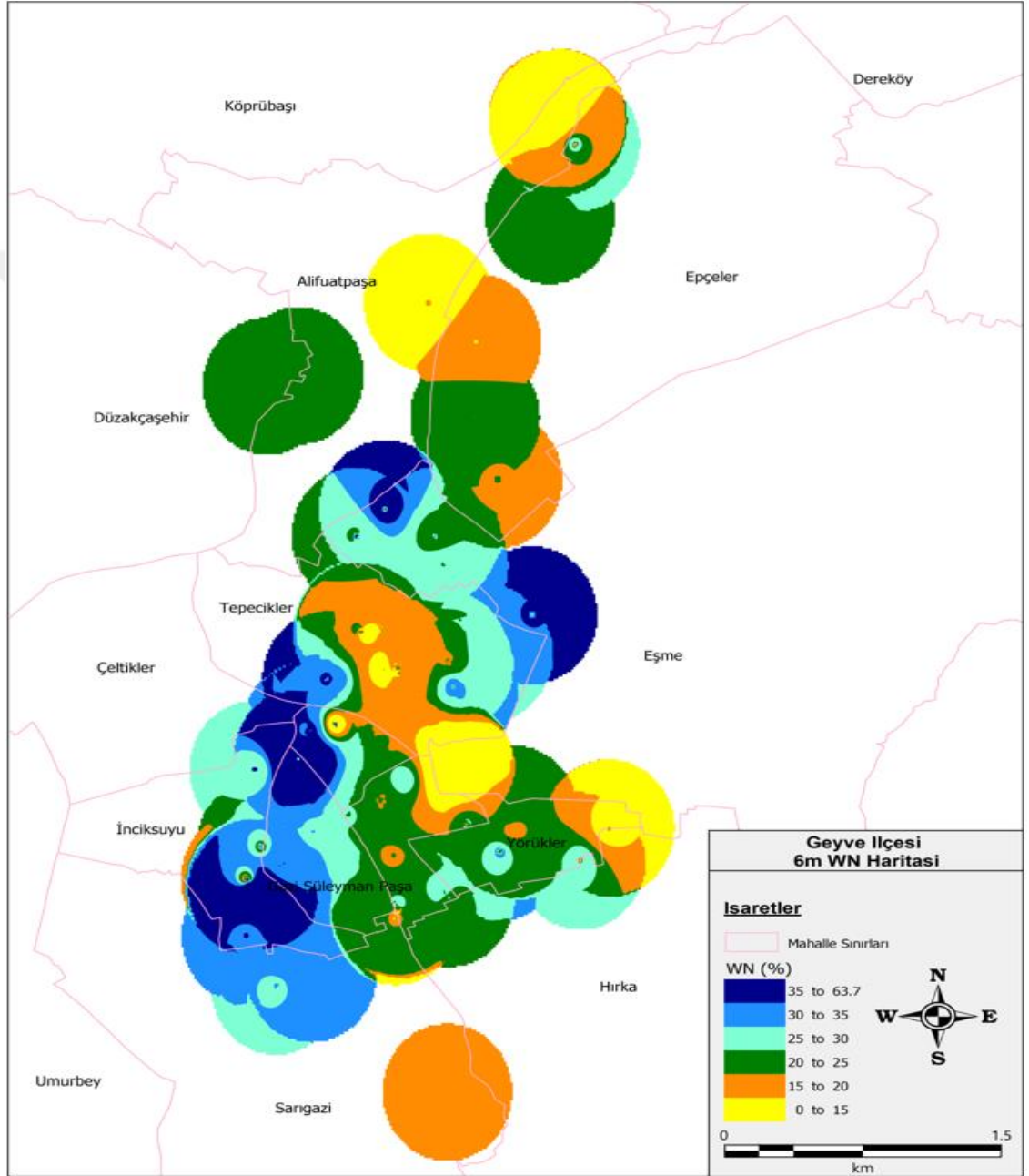
Şekil 4.17 : 3 m W_N haritası

Şekil 4.18’de 4.5 m derinlik için su muhtevası haritasına bakıldığında genel itibari ile su muhtevasında bir azalma olduğu görülmektedir. Örnekleme alanının güneyinde 3 m derinlik için su muhtevası değeri %35 ve üzerinde seyrederken 4.5 m derinlikte su muhtevası değerinin %25 değerine kadar azalmış olduğu görülür. Örnekleme alanının kuzeyinde su muhtevası değeri 3 m derinlik için %30 değerine kadar çıkarken 4.5 m derinlik için bu değerin %15 seviyesine kadar düştüğü görülmektedir.



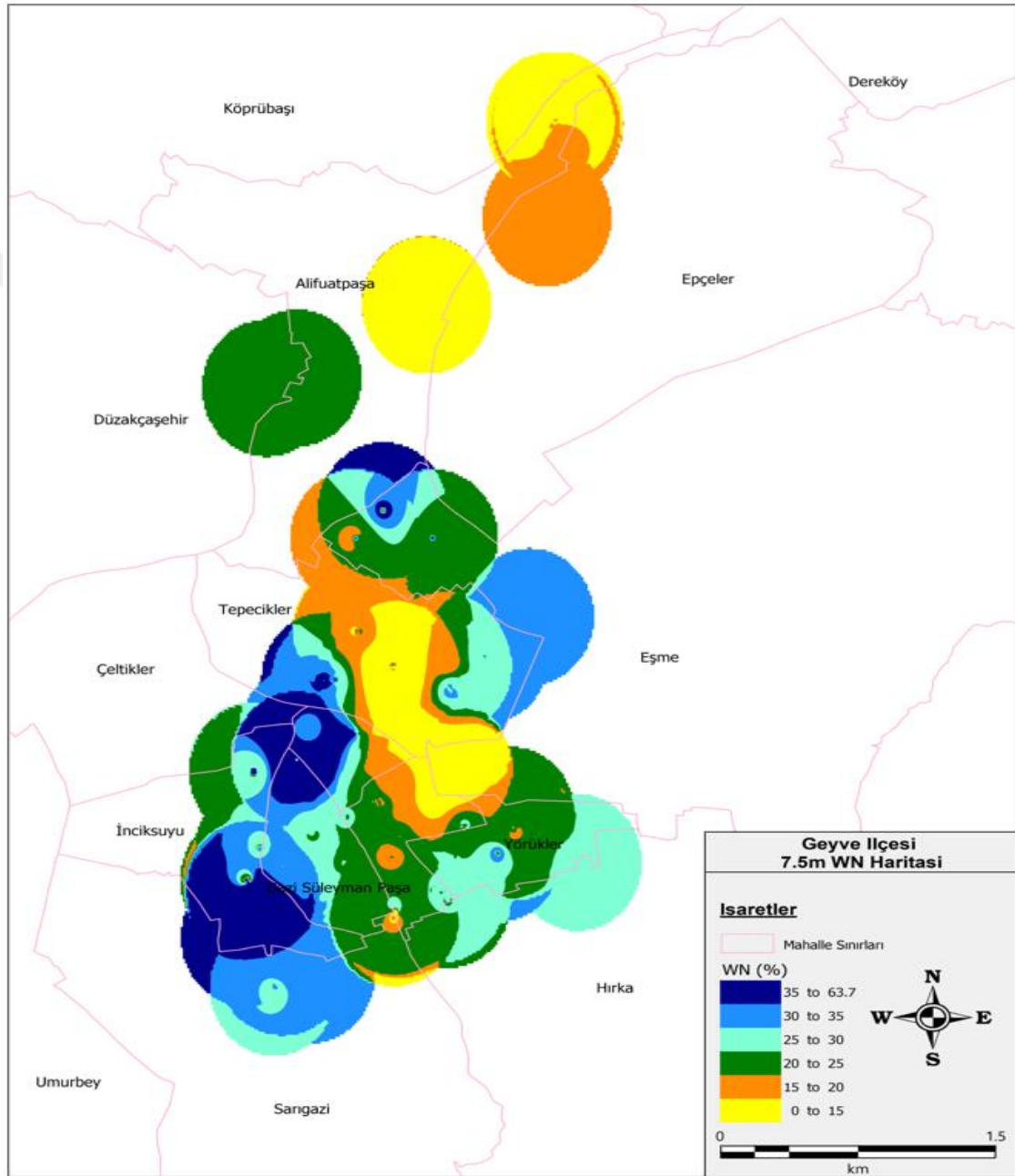
Şekil 4.18 : 4.5 m W_N haritası

Şekil 4.19 ve şekil 4.20’de benzer şekilde su muhtevasında yavaş yavaş azalma olduğu görülmektedir. Şekil 4.19’da 6 m derinlik için hazırlanmıştır. Haritaya bakıldığında örneklem alanının güneyinde su muhtevası değerinin %25-30 aralığından %20-25 aralığına gerilediği görülmektedir. Örneklem alanının kuzey batısında su muhtevası değerinin %25-30 aralığından %0-15 aralığına kadar düştüğü görülmektedir.



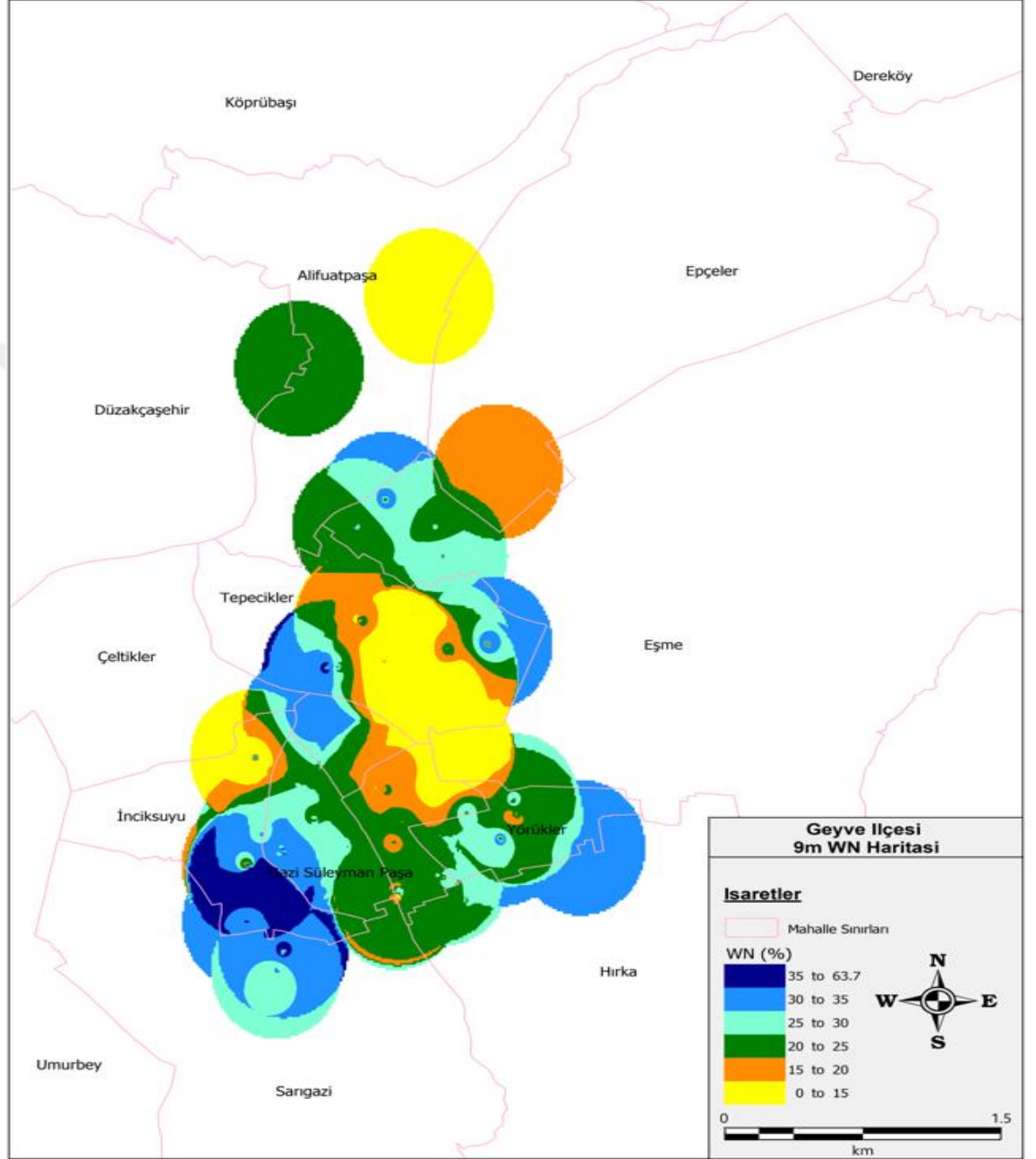
Şekil 4.19 : 6 m W_N haritası

Şekil 4.20’de 7.5 m derinlik için hazırlanan su muhtevası haritası görülmektedir. Haritaya bakıldığında örneklem alanının kuzeyinde su muhtevası değerinin %20-25 aralığından %15-20 aralığına gerilediği görülmektedir. Örneklem alanının güneyinde su muhtevası değerinin şekil 4.19’daki 6 m derinlik için hazırlanan su muhtevası haritası ile hemen hemen aynı oranda seyrettiği söylenebilir.



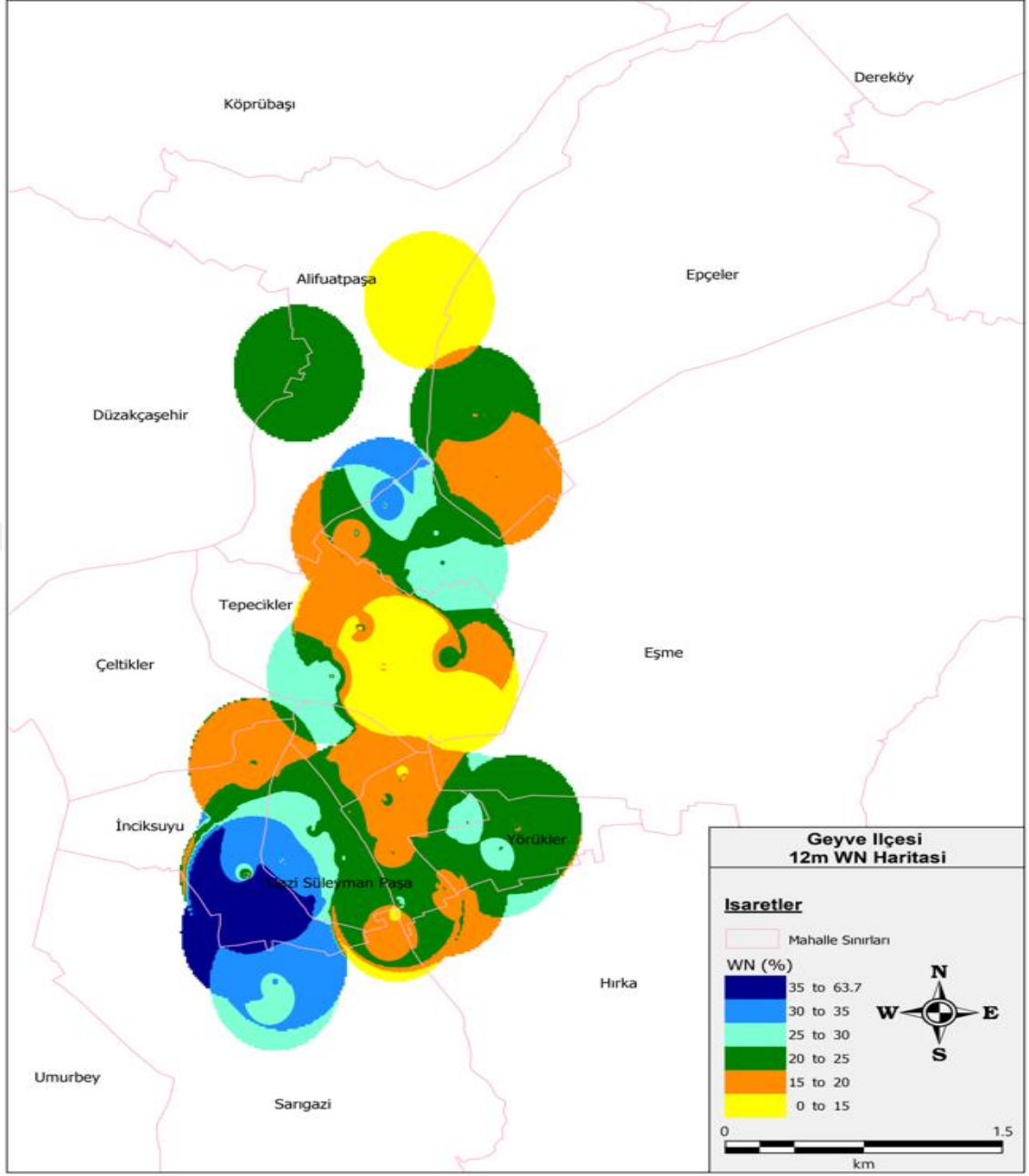
Şekil 4.20 : 7.5 m W_N haritası

Şekil 4.21 ve şekil 4.22’de 9 m ve 12 m derinlik için su muhtevası haritaları görülmektedir. Haritalara bakıldığında derinlik artışına paralel olarak su muhtevasının azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.21 : 9 m W_N haritası

Şekil 4.21 ve şekil 4.22’ye bakıldığında en düşük su muhtevasını temsil eden sarı renkli bölgenin arttığı görülmektedir.



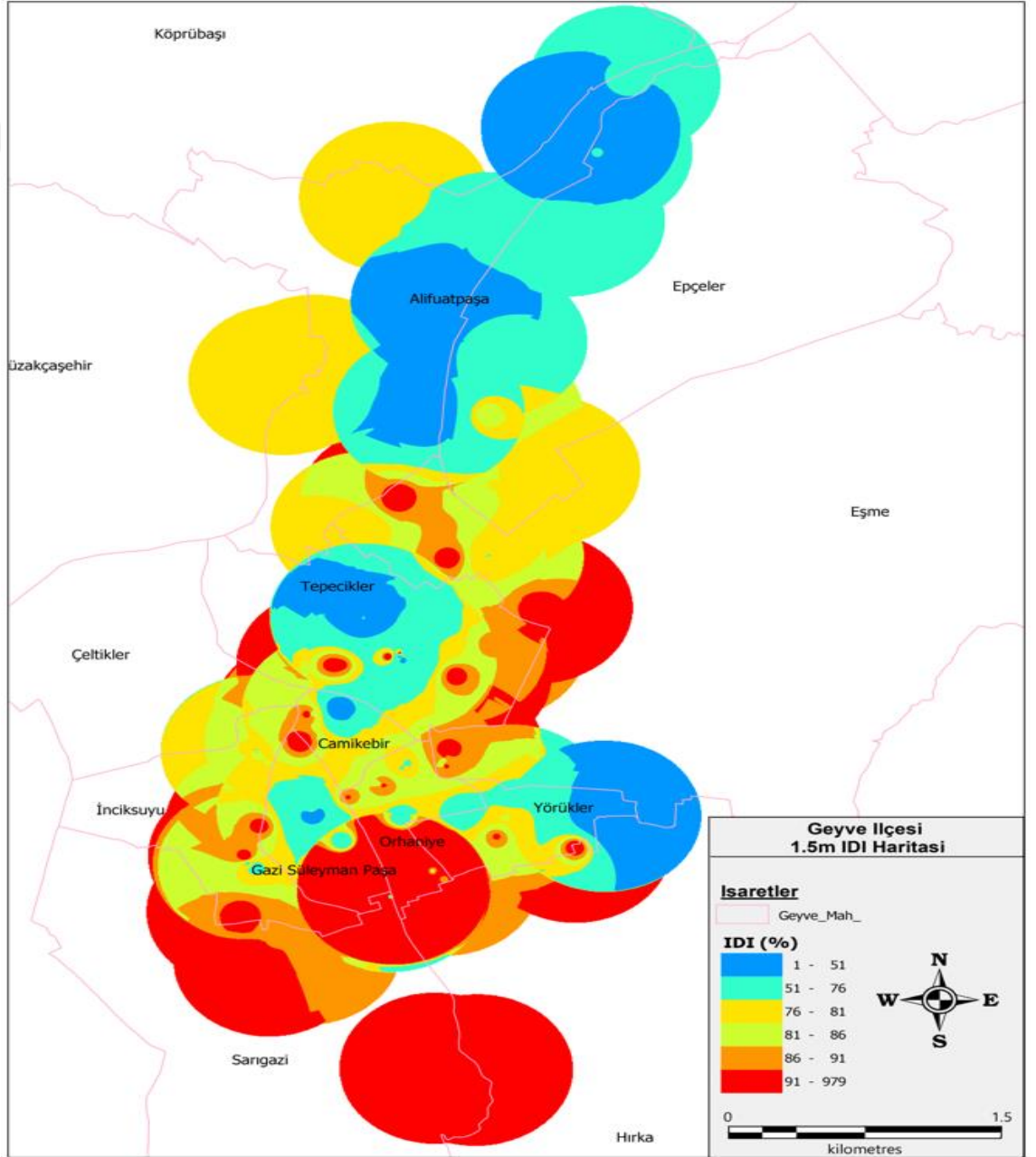
Şekil 4.22 : 12 m W_N haritası

Şekil 4.22'ye bakıldığında düşük su muhtevası değerini temsil eden sarı ve turuncu renklerde artış olduğu görülmektedir.

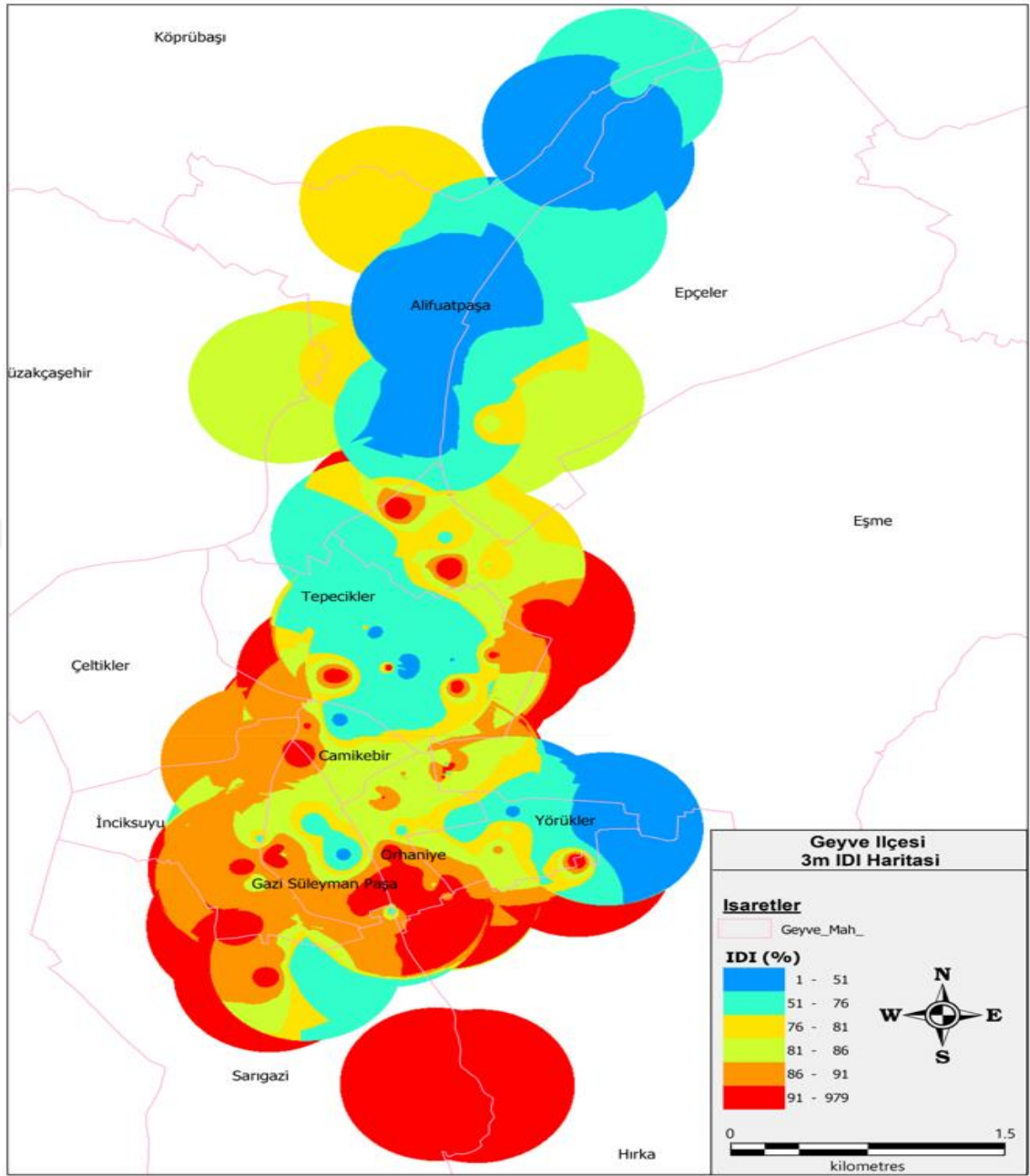
9 m ve 12 m derinlik için oluşturulan tematik haritalarda beyaz renkli kısımların arttığı görülmektedir. Bunun nedeni elimizde bulunan sondaj raporlarında ilgili derinlik için yeterli veri bulunmamasıdır.

4.7. İnce Dane İçeriği Haritaları (%)

Şekil 4.23 ve 4.24 1.5 m ve 3 m derinlik için IDI (0.075 mm den küçük çaplı daneler) yüzdesine göre hazırlanmıştır. Haritalara bakıldığında Alifuatpaşa ve Epçeler Mahalleleri'nde ince dane içeriği daha düşükken örneklem alanının güneyinde kalan Sarıgazi, Gazisüleymanpaşa ve Orhaniye Mahalleleri'nde ince dane içeriği %100'e kadar çıkmaktadır. Haritaların Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'teki ilgili derinlikte zemin haritaları ile karşılaştırıldığında uyumlu oldukları görülmektedir.

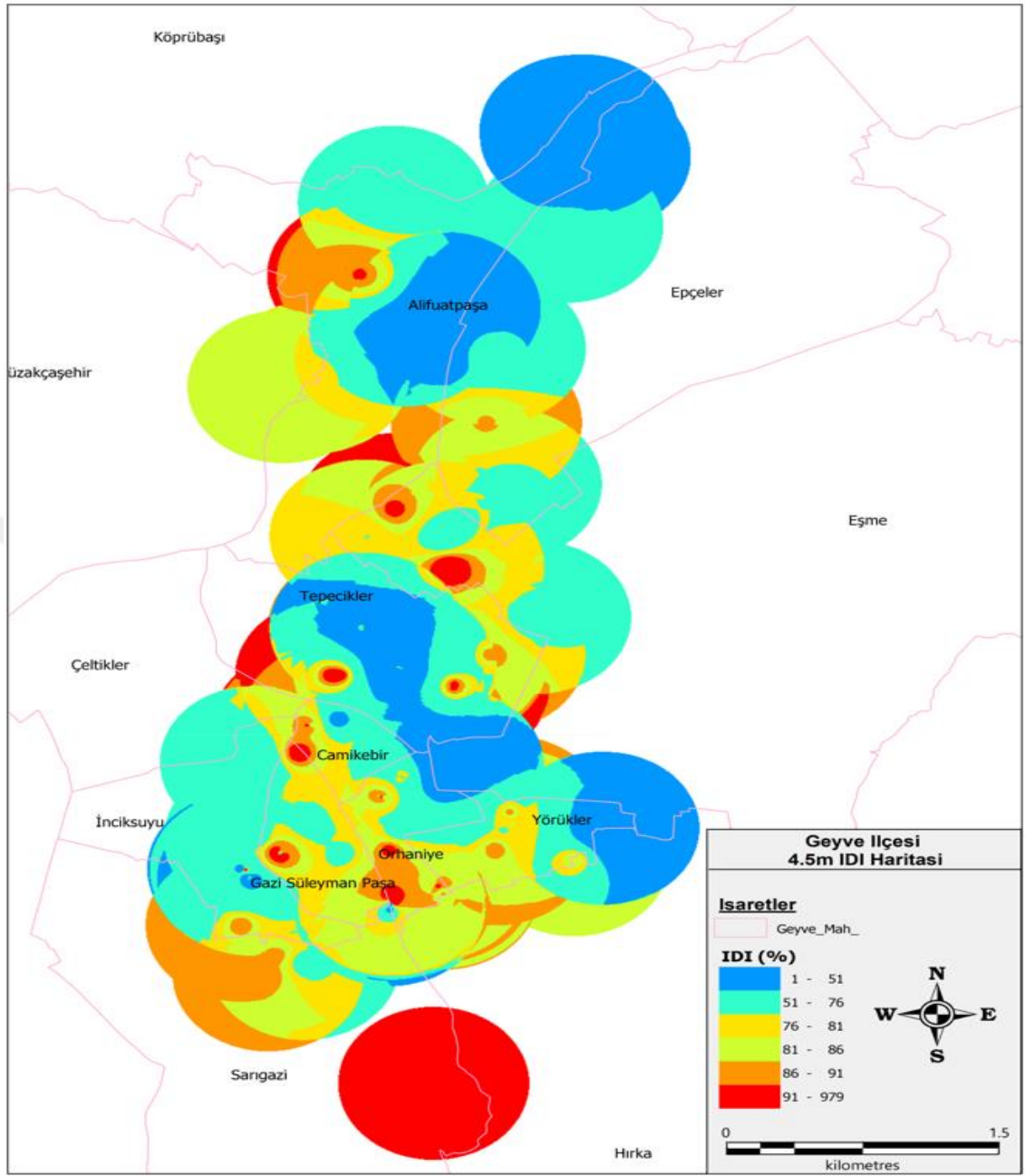


Şekil 4.23 : 1.5 m IDI haritası



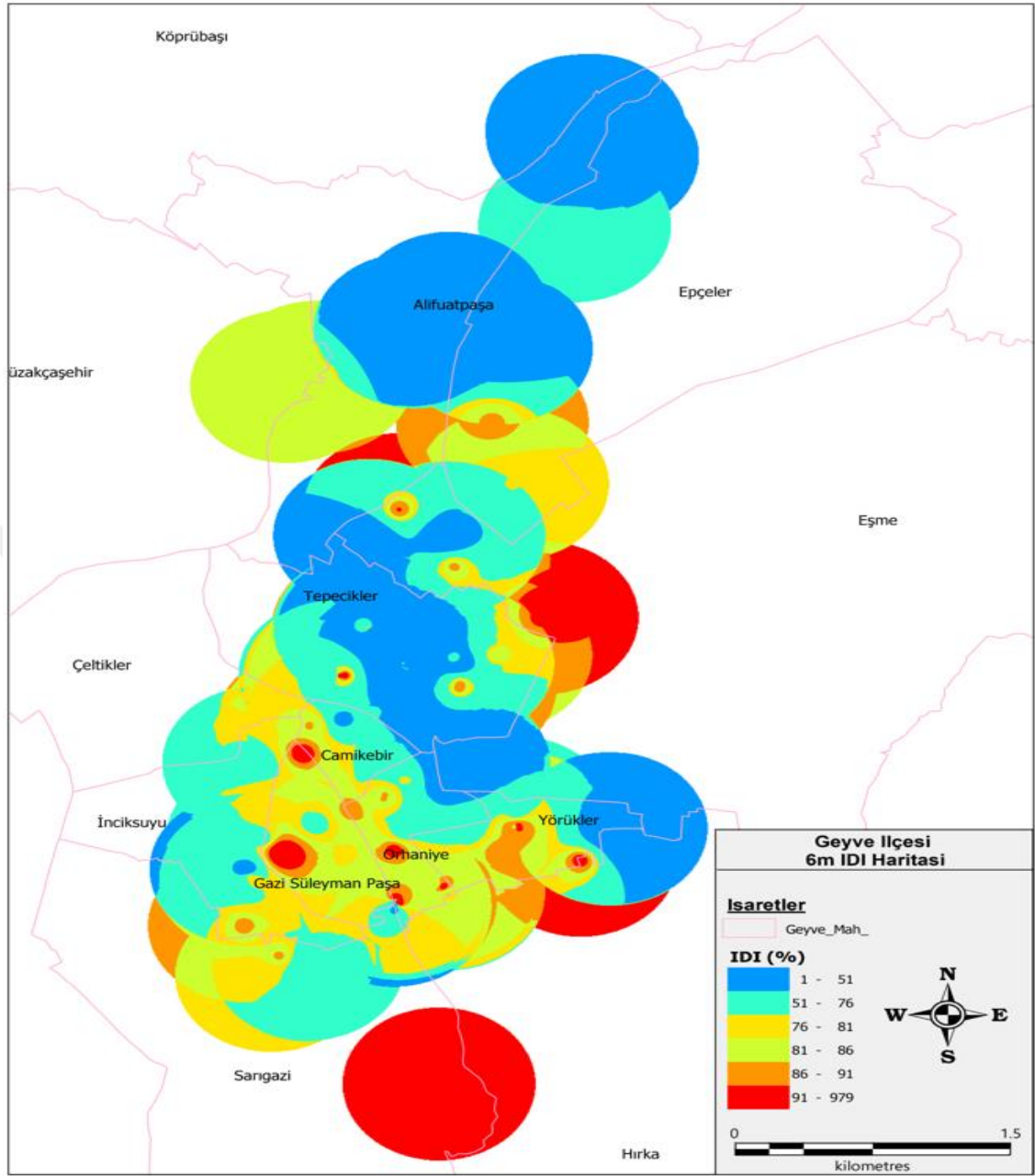
Şekil 4.24 : 3 m IDI haritası

Şekil 4.25, şekil 4.26 ve şekil 4.27’de 4.5 m, 6 m ve 7.5 m derinlik için ince dane içeriğini gösteren haritalar verilmiştir. Haritalar incelendiğinde derinlik arttıkça örneklem alanındaki mahallelerde ince dane içeriği oranının kademeli şekilde azaldığı görülmektedir.



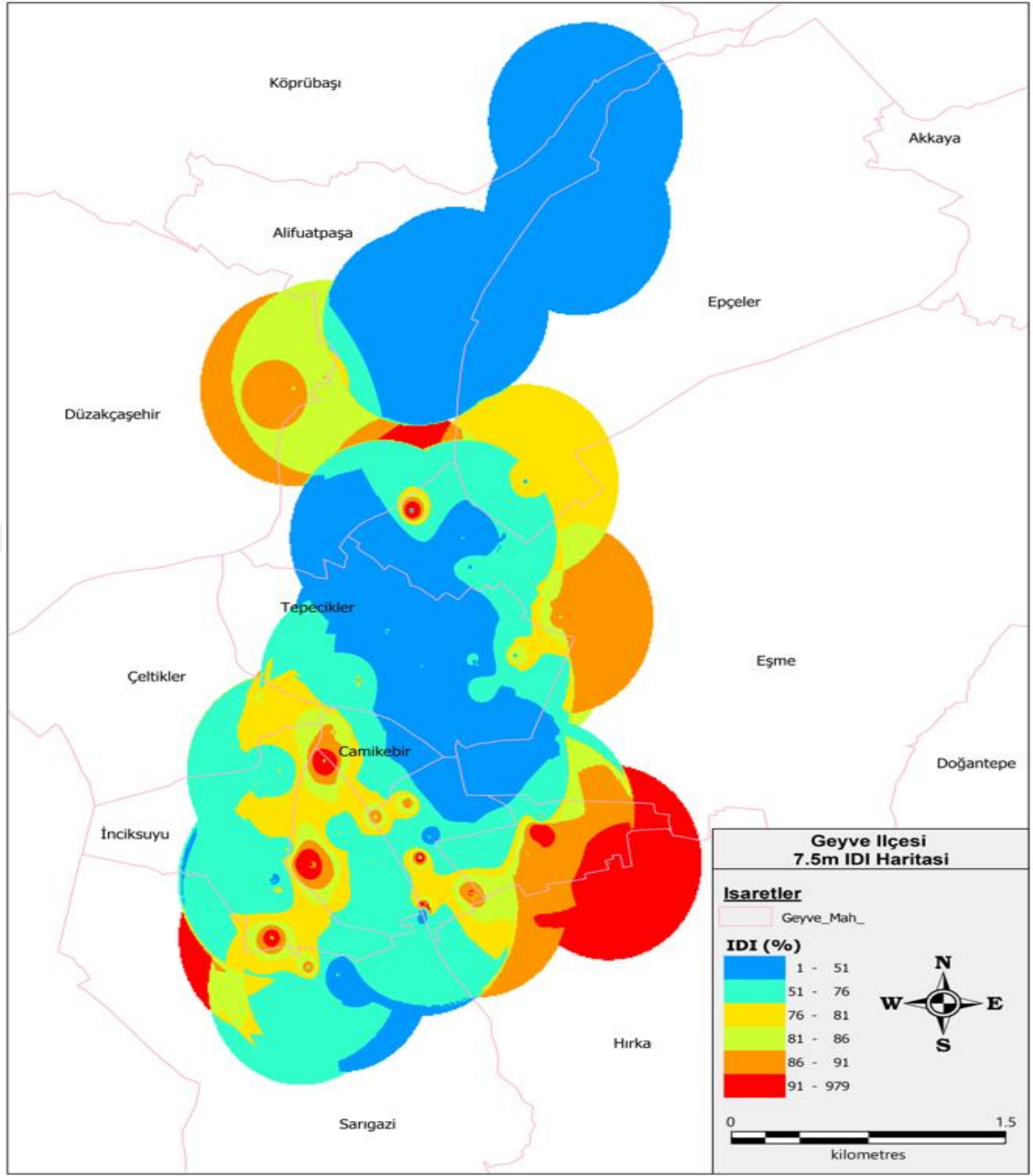
Şekil 4.25 : 4.5 m IDI haritası

Şekil 4.24 ile mukayese edildiğinde 3 m derinlikte %80 ve %90 ve üzerinde ince dane içeriğine sahip alanlarda bu oranın 4.5 m derinlikte %50 seviyelerine düştüğü görülmektedir.



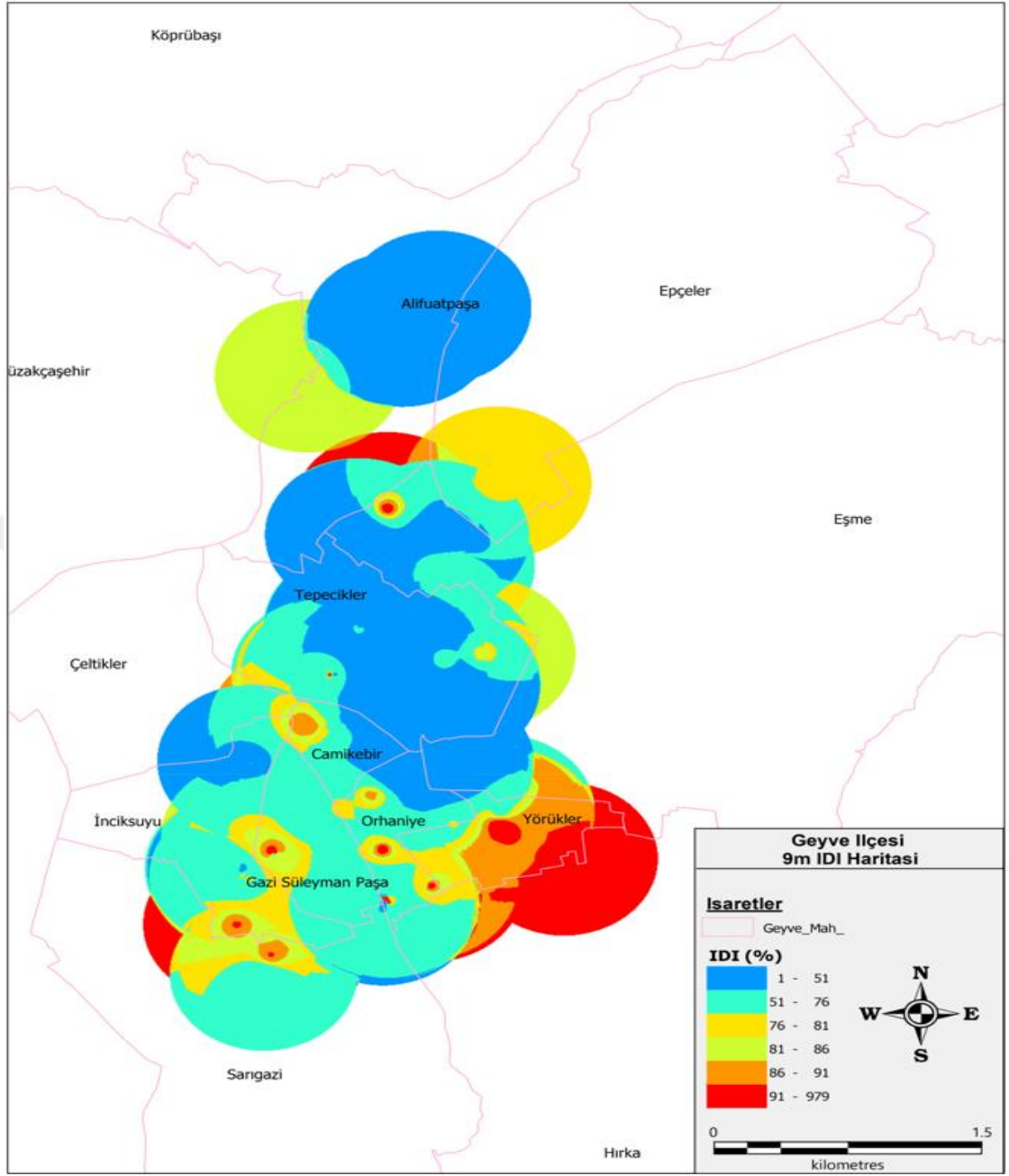
Şekil 4.26 : 6 m IDI haritası

4.5 m derinlik için yapılan ince dane içeriği haritası ile karşılaştırıldığında 6 m derinlik için oluşturulan tematik haritada beyaz renkli kısımların arttığı görülmektedir. Bunun nedeni elimizde bulunan sondaj raporlarında ilgili derinlik için yeterli veri bulunamamasıdır.



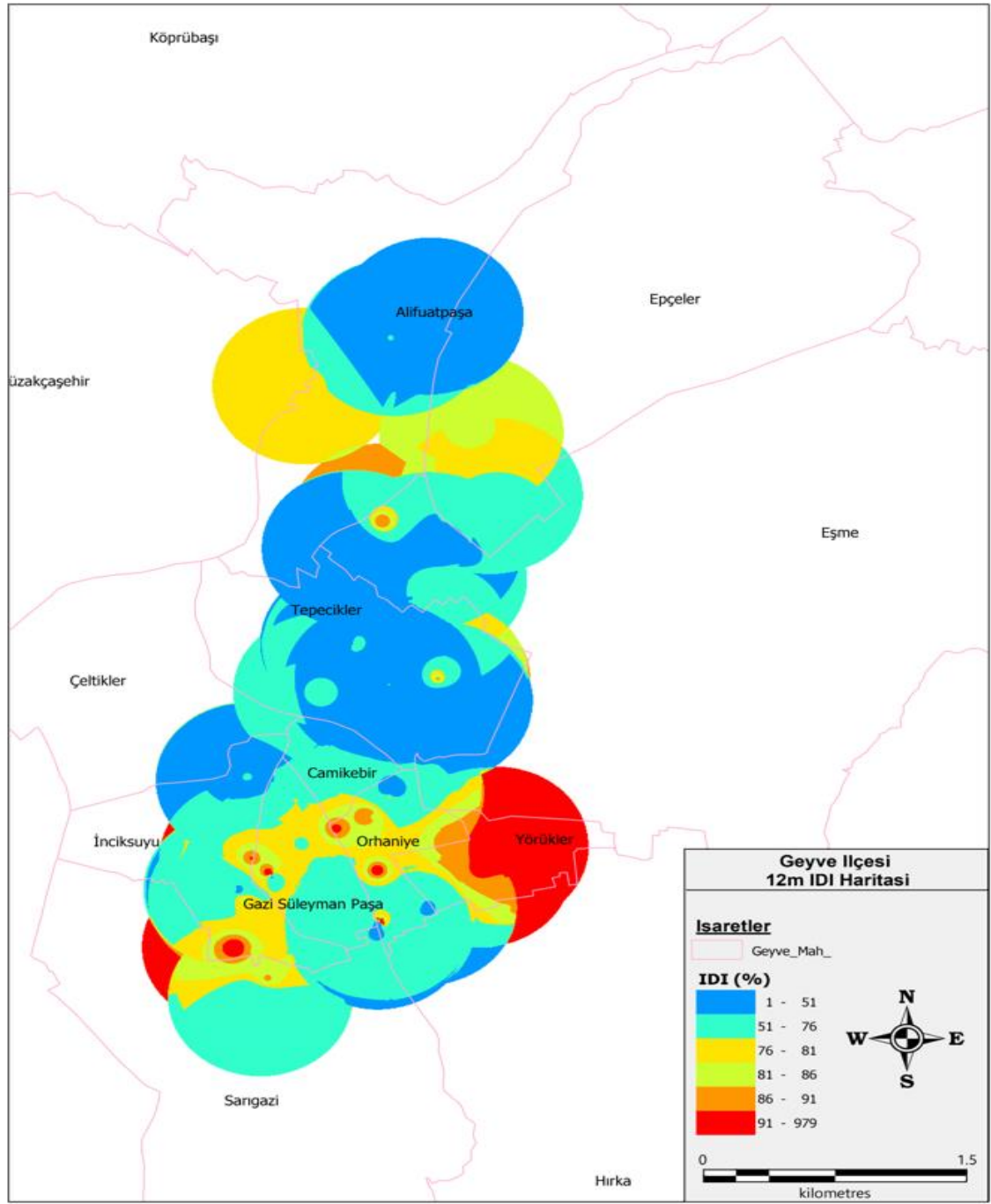
Şekil 4.27 : 7.5 m IDI haritası

Şekil 4.28 ve şekil 4.29’da görülen 9 m ve 12 m derinlik için oluşturulan ince dane içeriği haritalarına bakıldığında şekil 4.27’de görülen 7.5 m derinlik için oluşturulan ince dane içeriği haritaları ile genel itibari ile benzer olduğu söylenebilir.



Şekil 4.28 : 9 m IDI haritası

9 m derinlik için oluşturulan tematik haritaya bakıldığında ince dane oranının çoğunlukla %50 ve alt seviyelerinde olduğu görülmektedir.

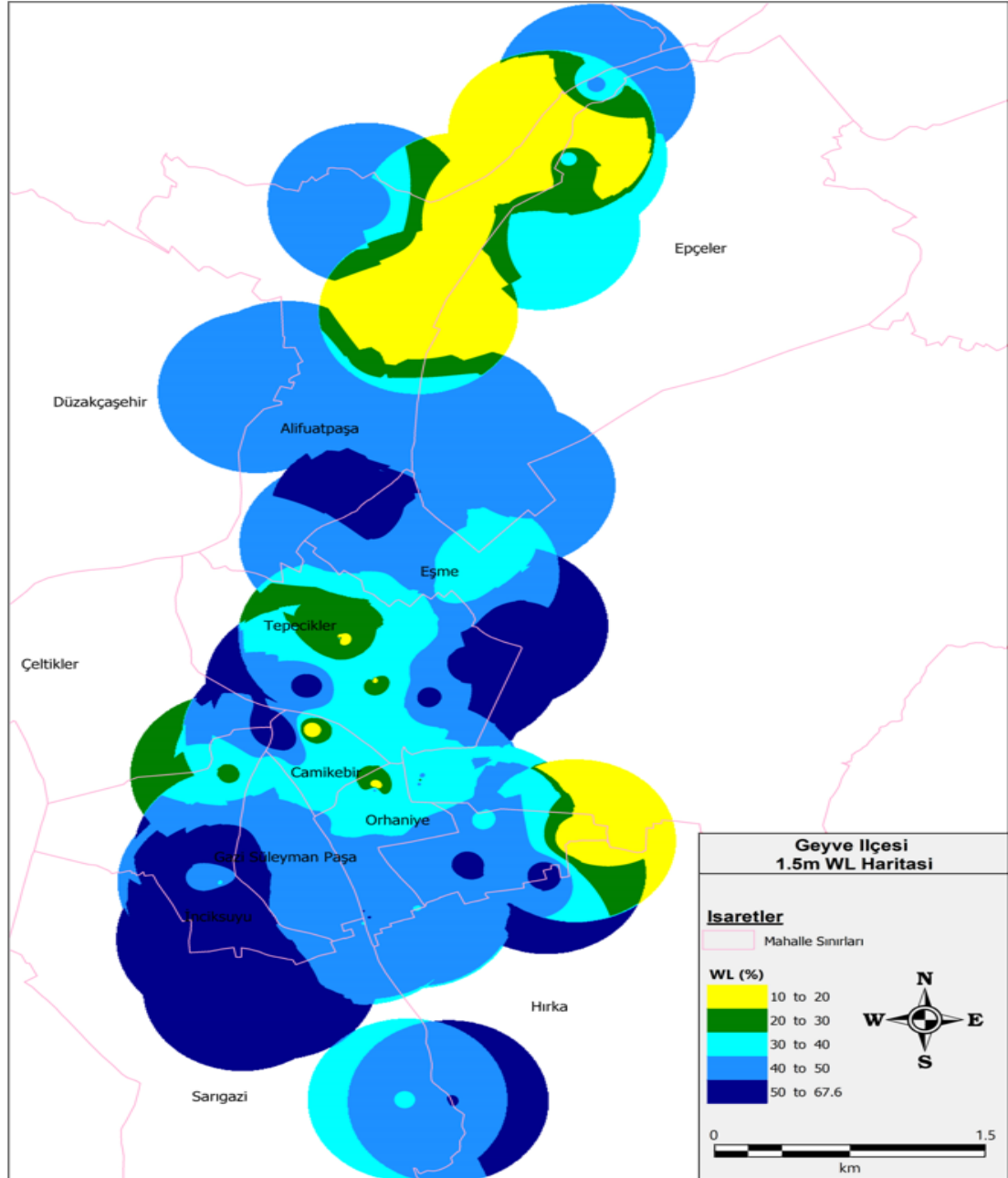


Şekil 4.29 : 12 m IDI haritası

Şekil 4.29'a bakıldığında Gazi Süleymanpaşa ve Orhaniye mahallelerinde daha önceki derinlik değerleri için oluşturulan tematik haritalardaki gibi yaklaşık %80 ince dane oranına sahip zeminlerin halen var olduğu görülmektedir.

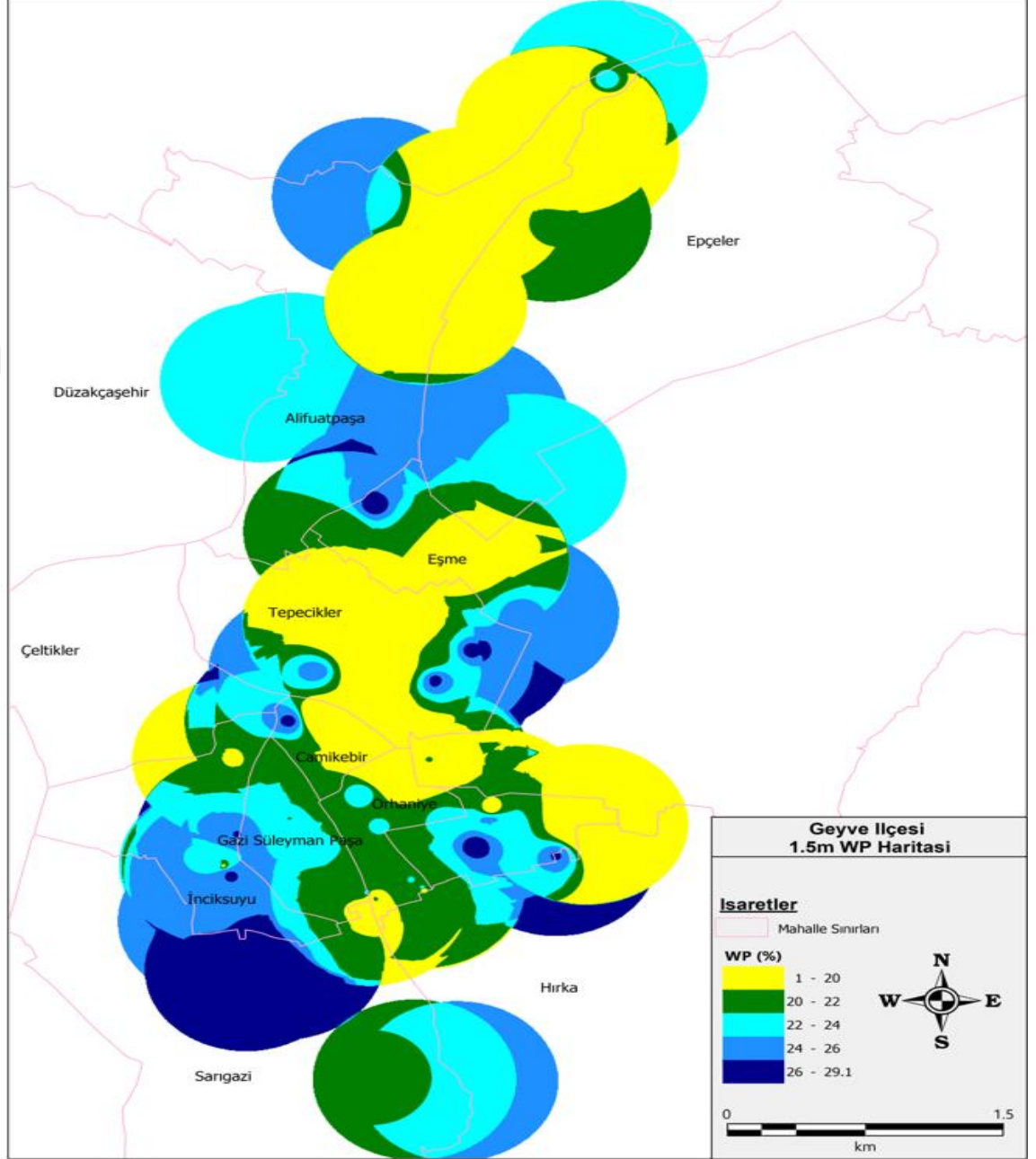
4.8. Likit Limit ve Plastik Limit Haritaları (%)

Şekil 4.30'da zeminin akışkan sıvı durumdan plastik duruma geçtiğindeki minimum su içeriği olan likit limit değeri görülmektedir (Url-10). Şekle bakıldığında 1.5 m derinlik için likit limit değerinin çoğunlukla %40-50 arasında olduğu görülür.

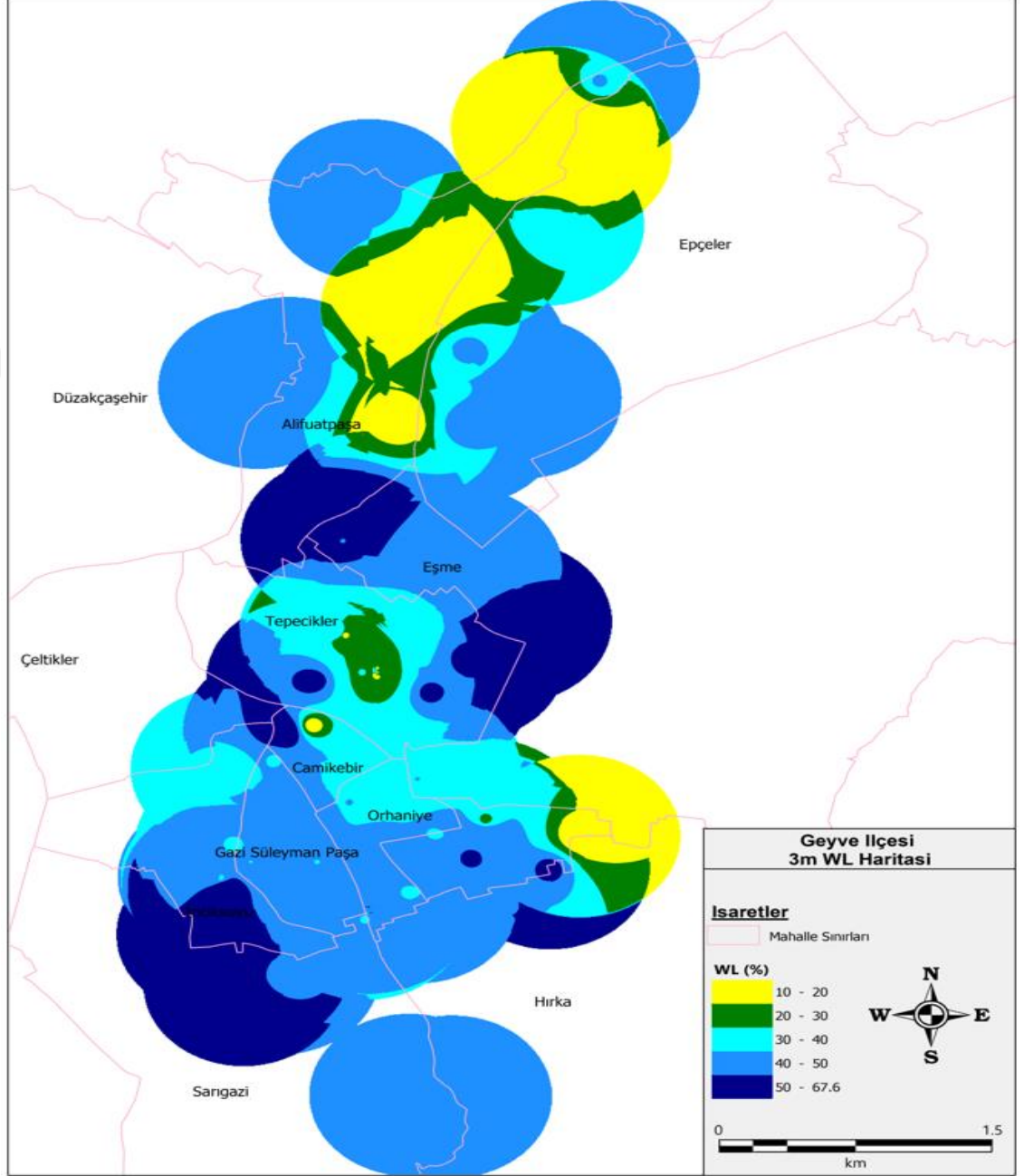


Şekil 4.30 : 1.5 m W_L haritası

Şekil 4.31’de zeminin plastik durumdan yarı plastik duruma geçtiği andaki minimum su içeriği görülmektedir (Url-10). Şekle bakıldığında 1.5 m derinlik için plastik limit değerinin çoğunlukla %24 ve alt seviyelerinde olduğu görülür.

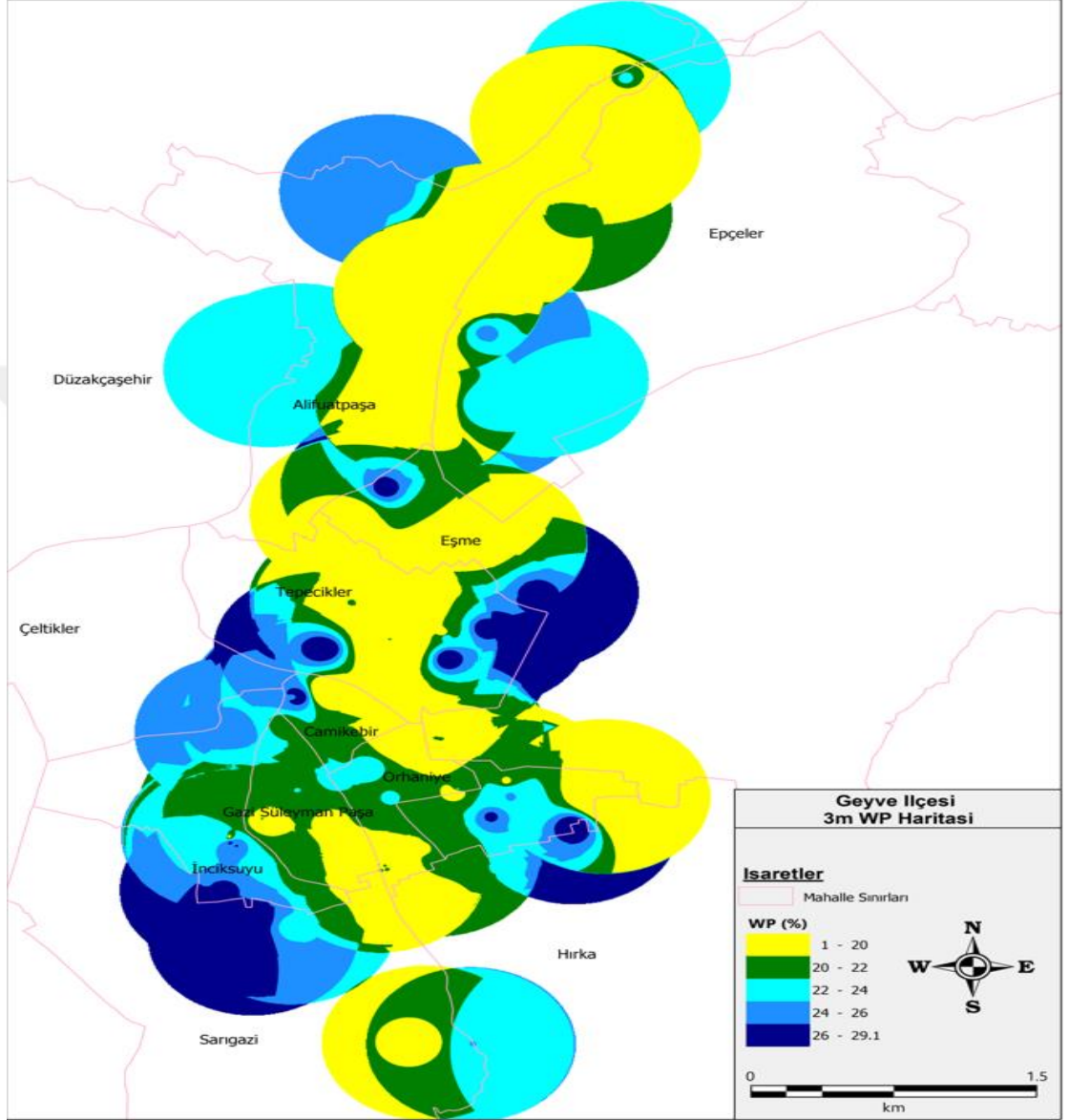


Şekil 4.32’de 3 m derinlik için hazırlanan tematik likit limit haritası görülmektedir. Haritaya bakıldığında örneklem alanının kuzeyinde likit limit değerinin %10 civarında olduğu görülürken güneyinde bu değerin %30 ile %50 arasında değiştiği görülmektedir.



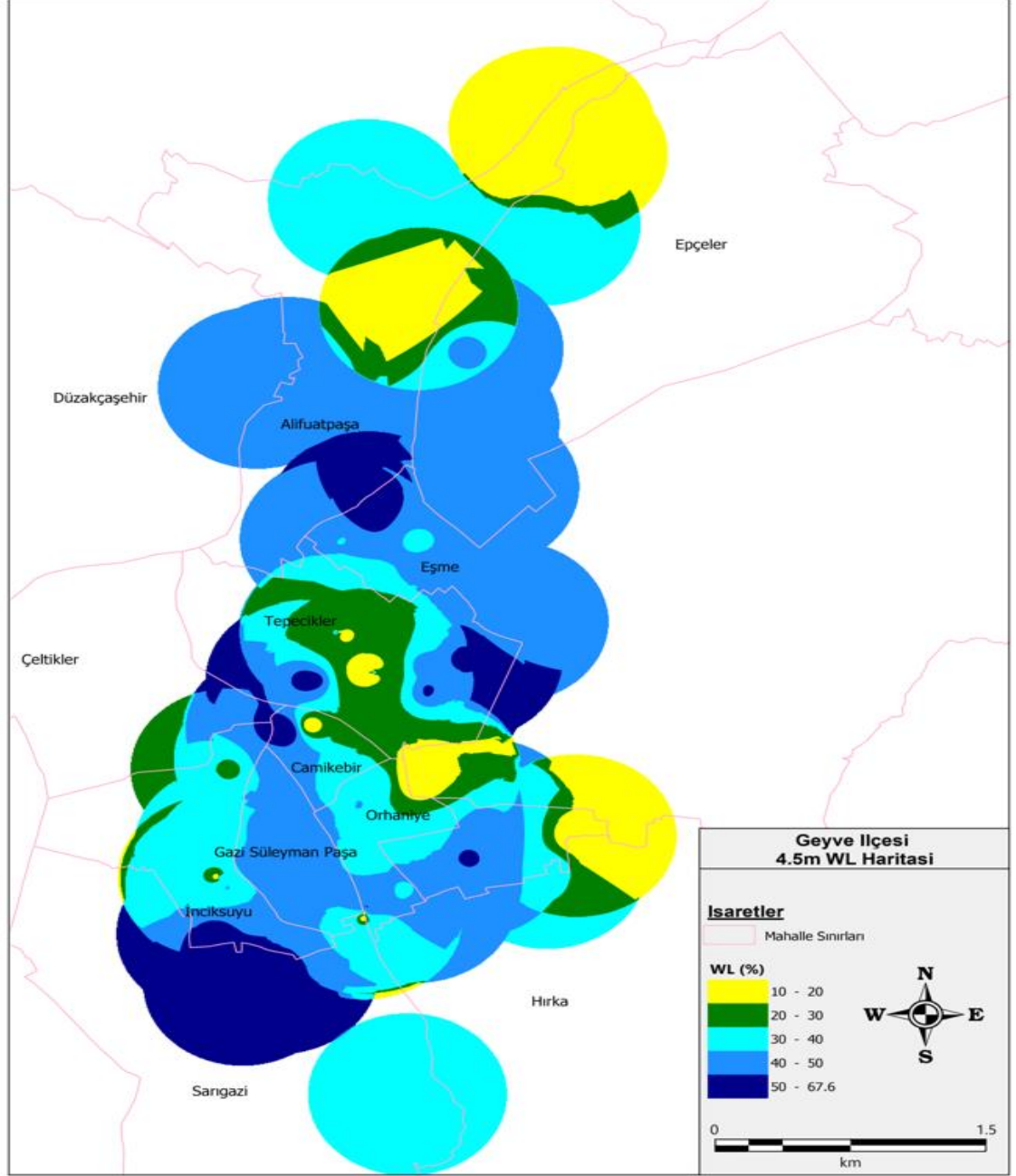
Şekil 4.32 : 3 m W_L haritası

Şekil 4.33’de 3 m derinlik için hazırlanan tematik plastik limit haritası verilmiştir. Harita incelendiğinde örneklem alanında plastik limit değerin genellikle %24’den düşük olduğu görülür.

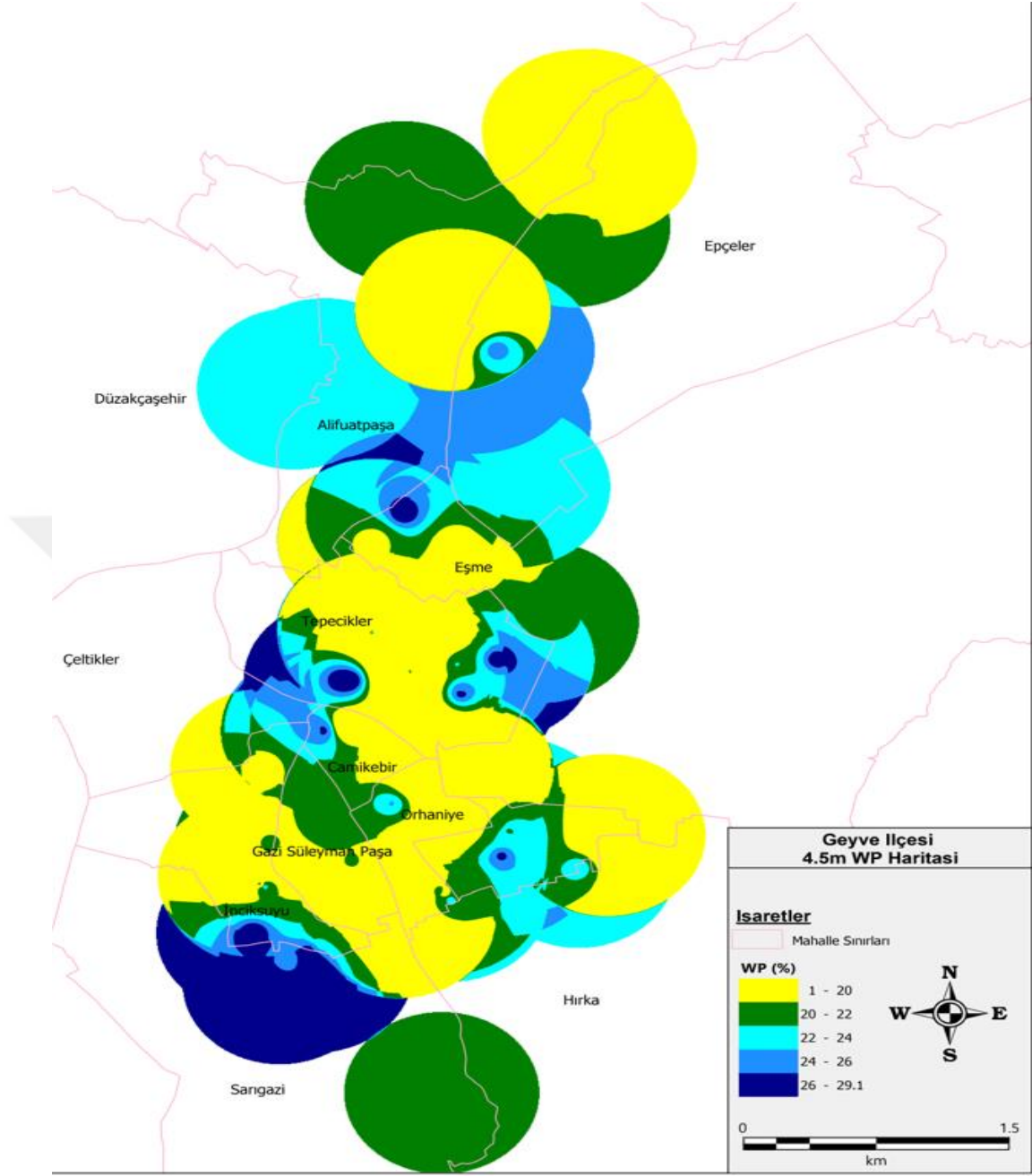


Şekil 4.33 : 3 m W_p haritası

Şekil 4.34-4.37 arasında 4.5 m ve 6 m derinlikler için kıvam limitleri haritaları görülmektedir. Haritalara bakıldığında derinlik arttıkça zeminlerin kıvam limitlerinde azalma olduğu anlaşılmaktadır.

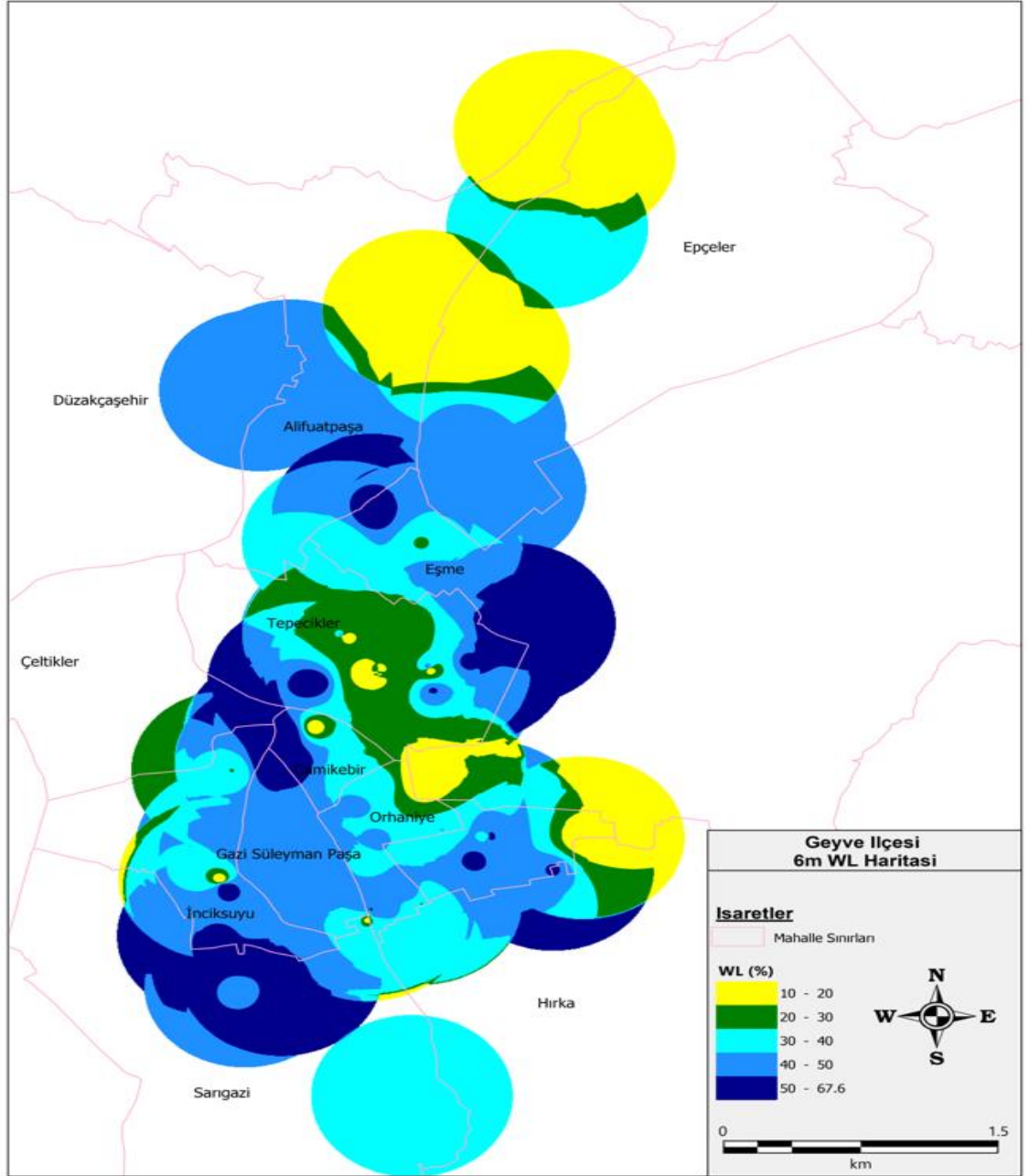


Şekil 4.34 : 4.5 m W_L haritası

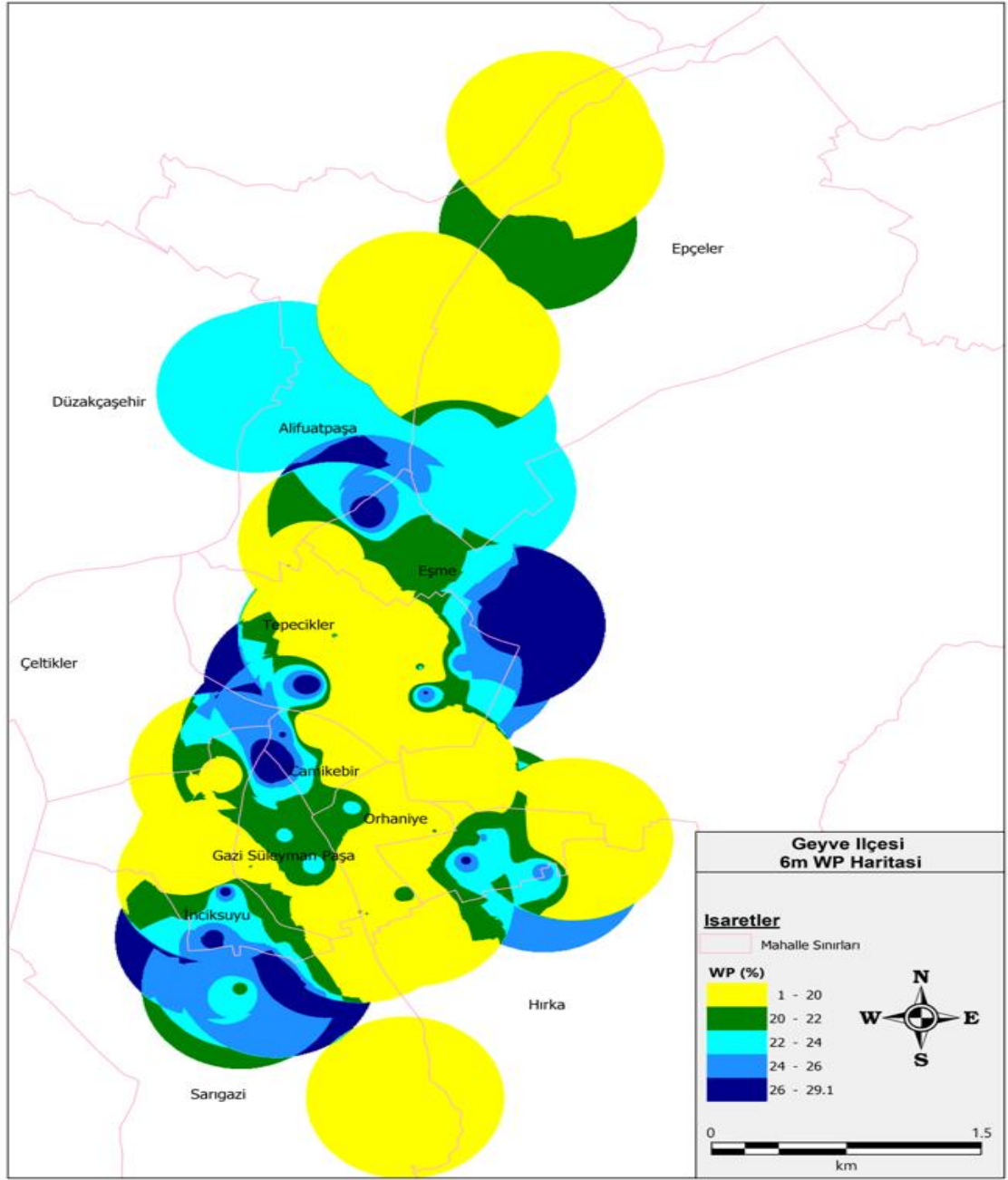


Şekil 4.35 : 4.5 m W_p haritası

Örneklem bölgesi içinde bazı mahallelerde derine doğru gidildikçe az da olsa kıvam limitlerinde artma gözlenebilecek şekilde çoğunlukla düşük ve orta plastisiteli ince daneli tabakalar bulunmaktadır. Örneklem alanı içerisinde çok fazla yüksek plastisiteli zemin bulunmadığı söylenebilir.

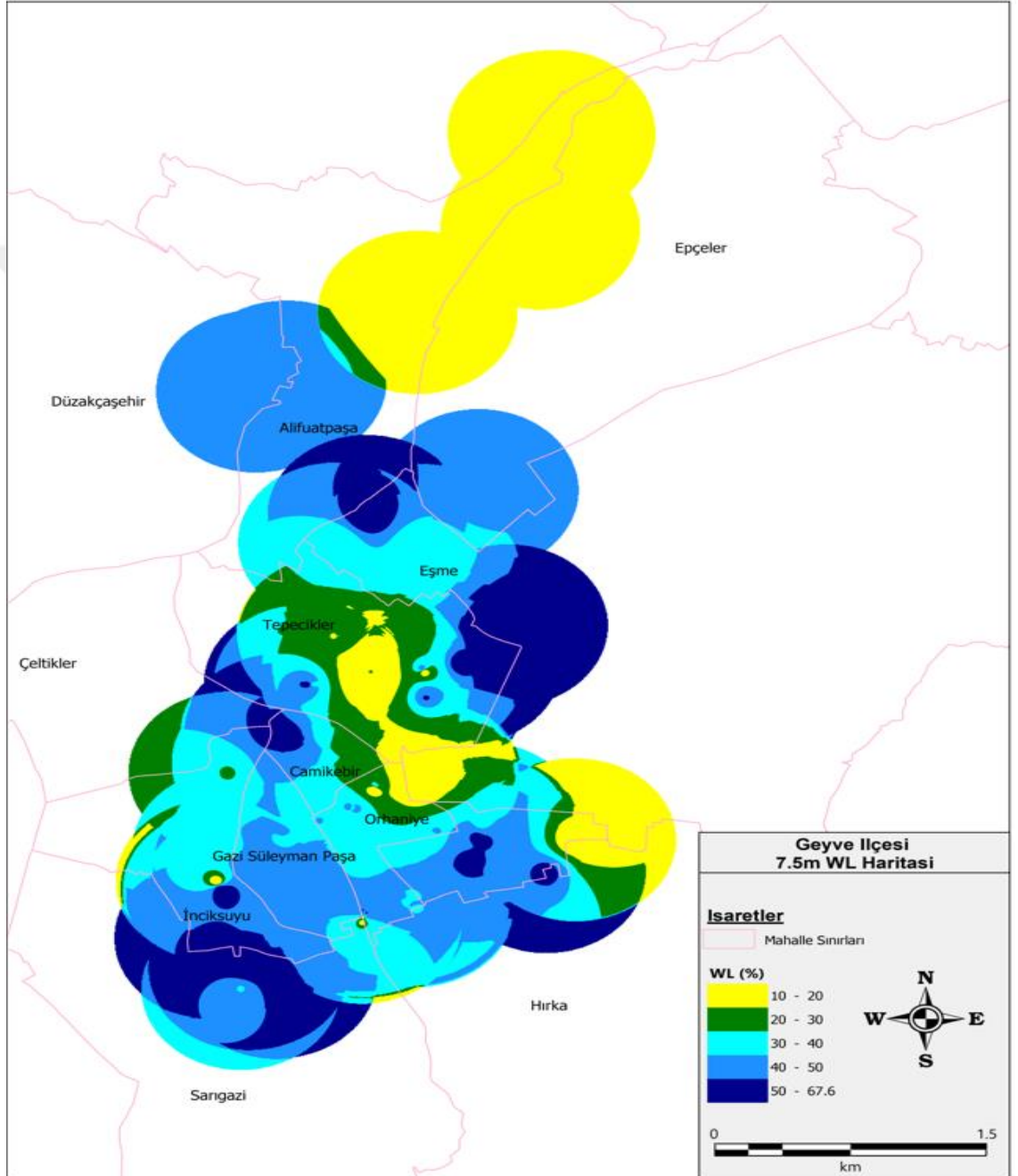


Şekil 4.36 : 6 m W_L haritası

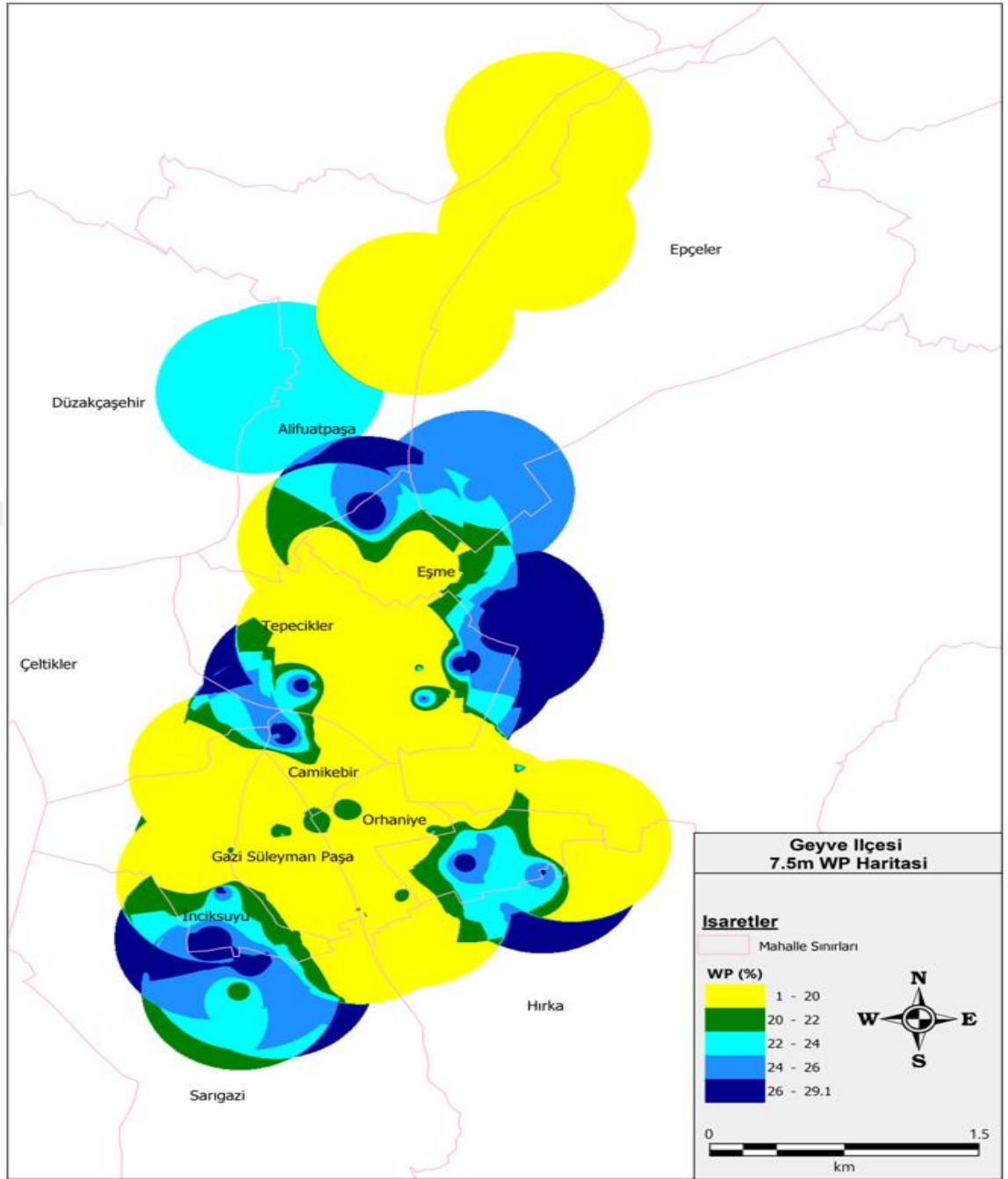


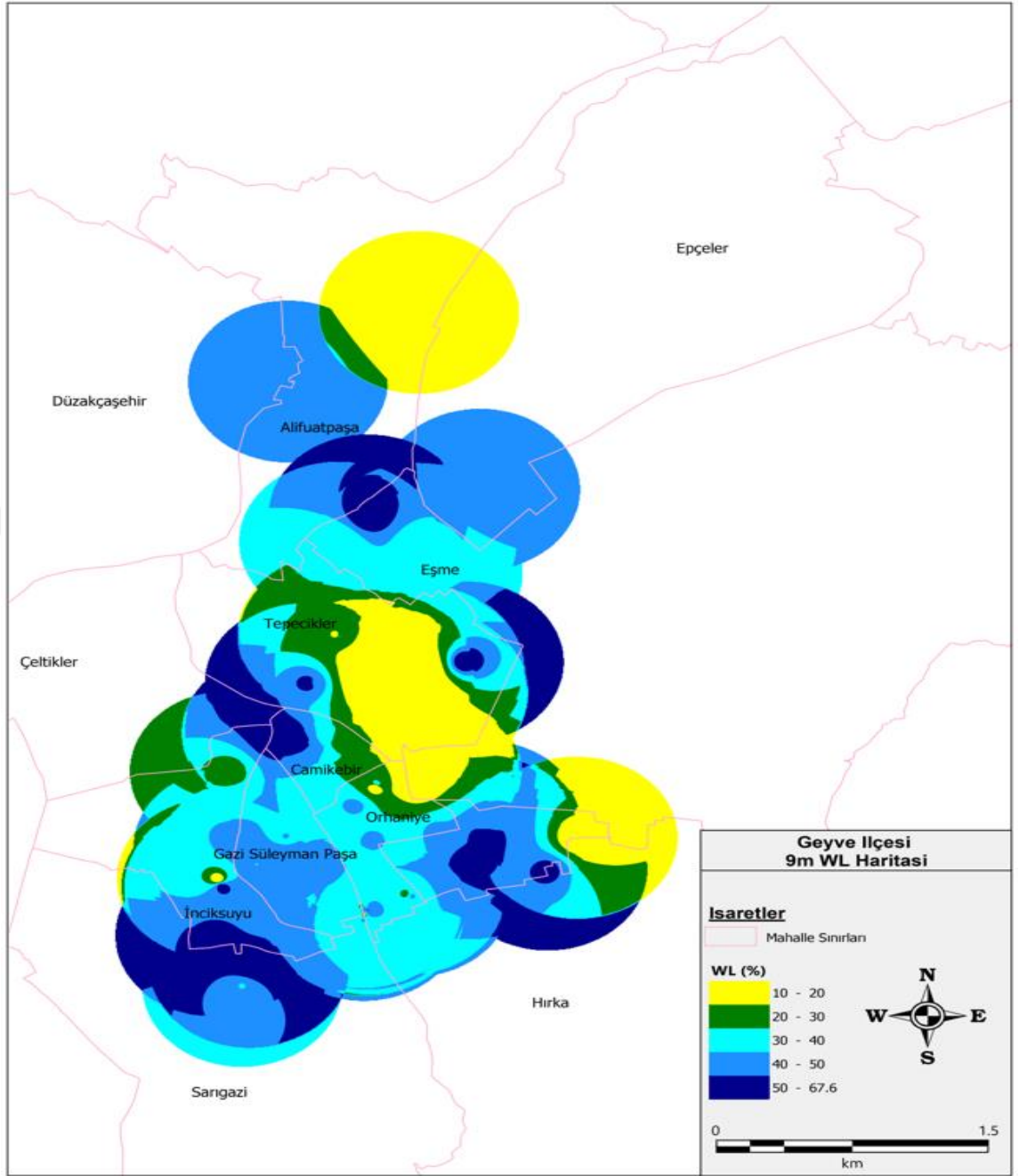
Şekil 4.37 : 6 m W_p haritası

Şekil 4.38-4.43 arasında bulunan haritalar 7.5 m, 9 m ve 12 m derinlik için kıvam limitleri haritalarını göstermektedir. Likit limit haritaları incelendiğinde derinlik arttıkça örneklem alanının güneyinde likit limit değeri %50 seviyesinden %30 seviyesine düşerken kuzey kesimde %10 değerine kadar düştüğü görülmektedir. Bu durumun nedenini derinlik arttıkça ince daneli kil birimlerin sertliğinin artması ile açıklayabiliriz.



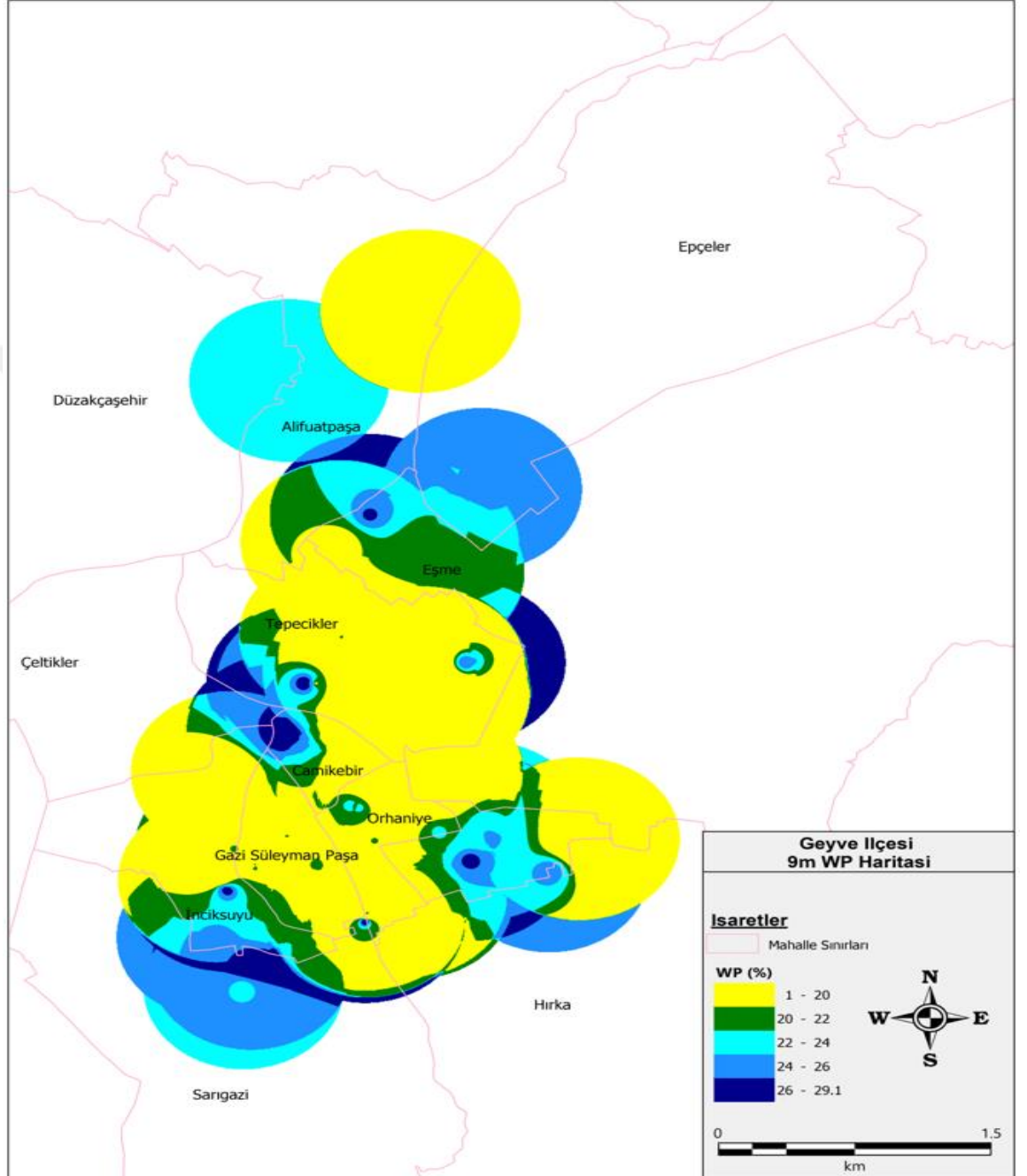
Şekil 4.38 : 7.5 m W_L haritası



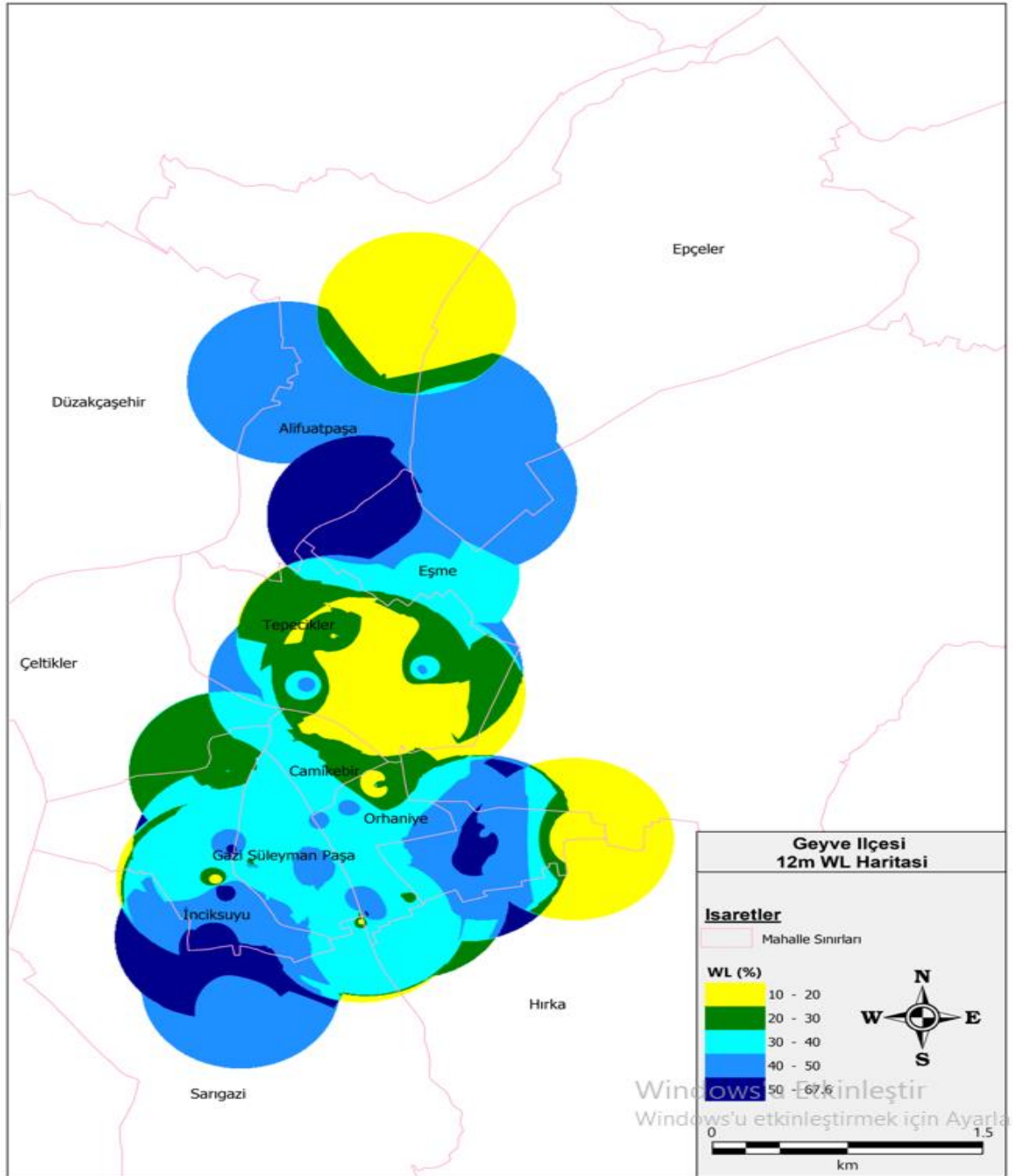


Şekil 4.40 : 9 m W_L haritası

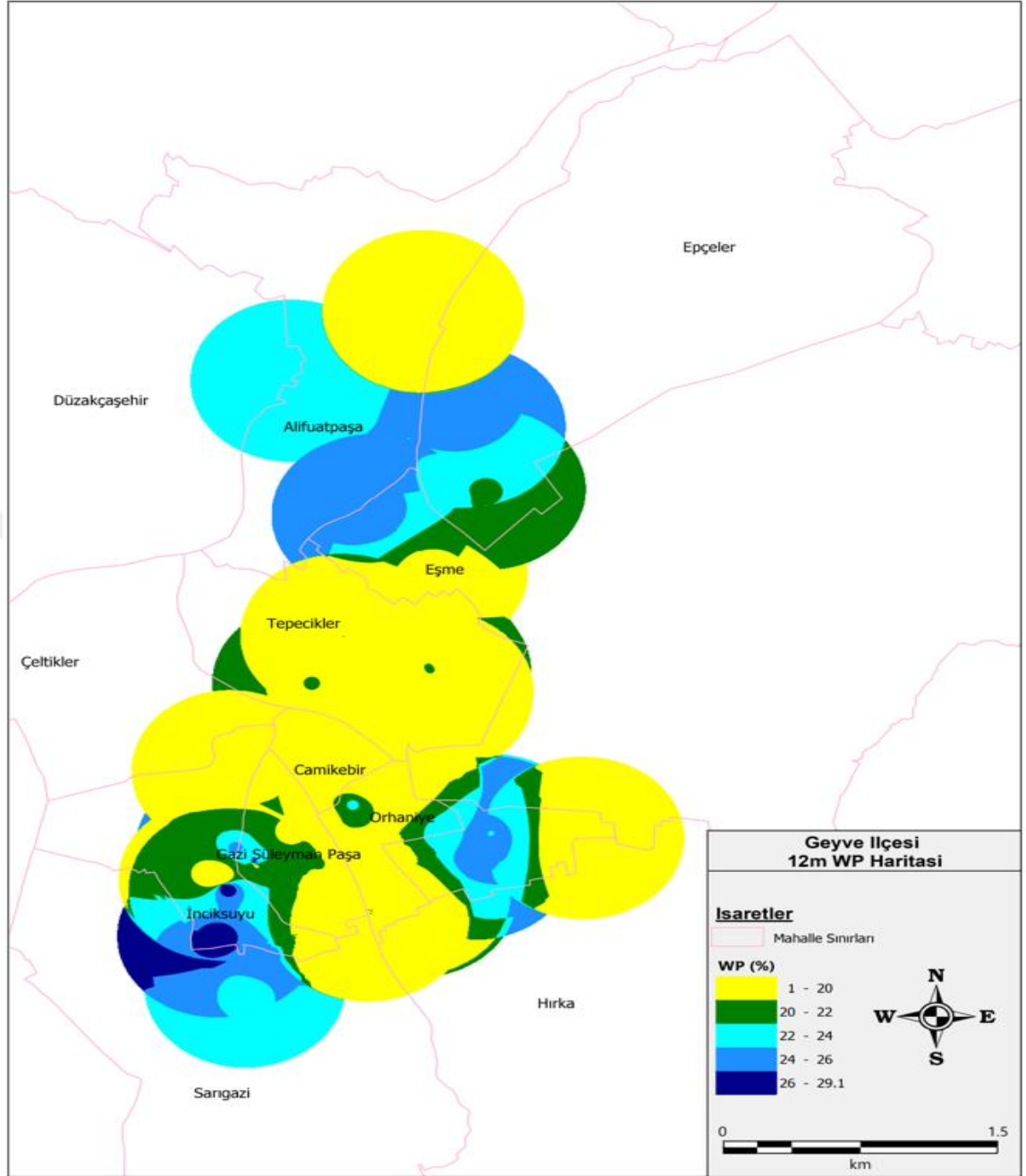
Plastik limit haritaları incelendiğinde derinlik arttıkça plastik limit değerin de azaldığı görülmektedir. Bunu derinlik arttıkça ince daneli kil birimlerin sertliğinin artması ile açıklayabiliriz.



Şekil 4.41 : 9 m W_p haritası



Şekil 4.42 : 12 m W_L haritası

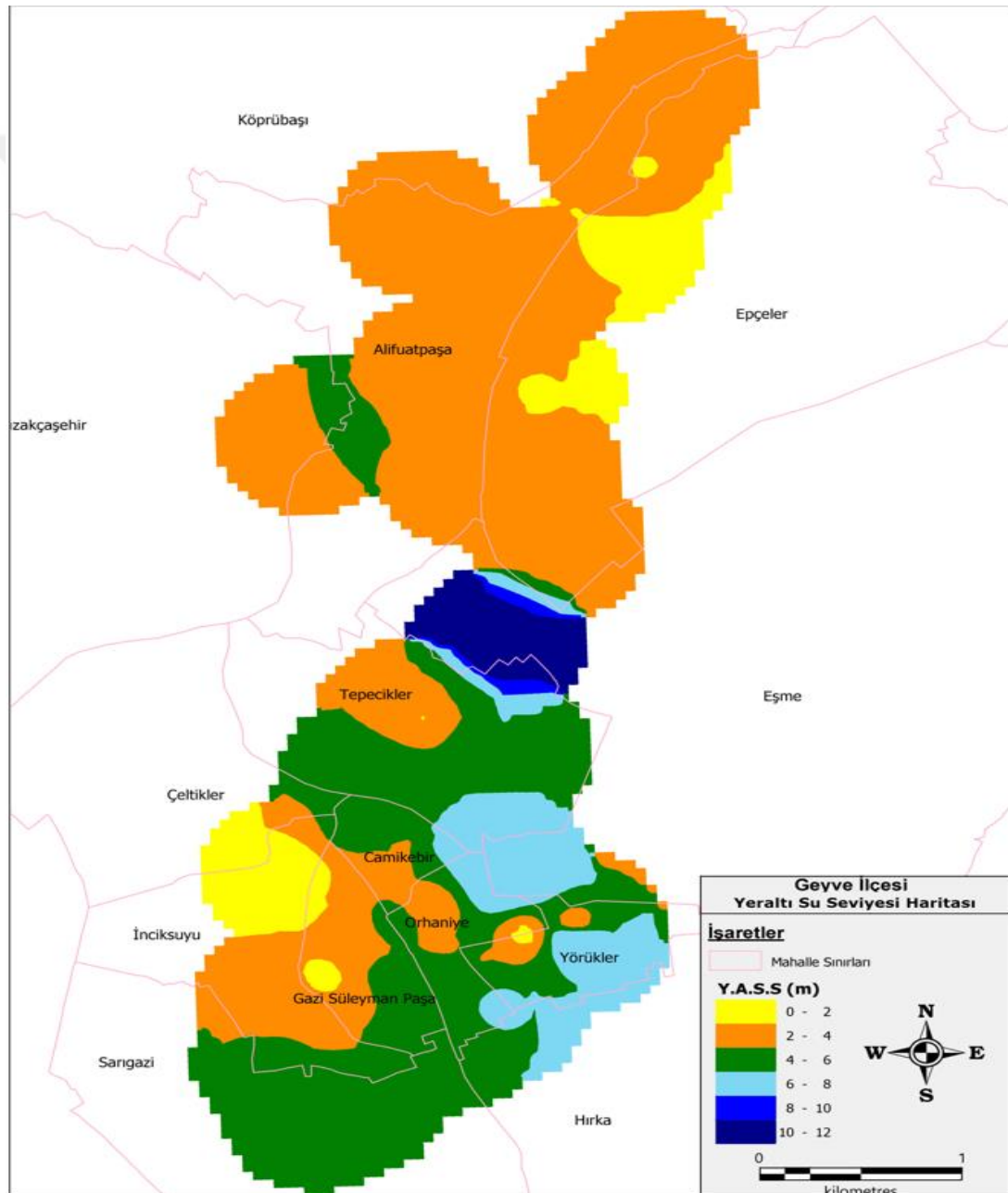


Şekil 4.43 : 12 m W_p haritası

Zemin haritaları ile kıvam limitleri haritaları birlikte değerlendirildiğinde haritaların birbiriyle uyumlu oldukları görülür. Şöyle ki zemin haritalarında da görüldüğü üzere merkez mahallelerde zemin sınıfı çok karmaşık iç içe düzensiz şekilde değişmektedir. Yakından incelendiğinde derinlik arttıkça çakıl ve kum birimler görülmeye başlansa da merkez mahalleleri genel itibarıyla kil birimlerin oluşturduğu zemin haritalarında görülmektedir.

4.9. Yeraltı Su Seviyesi Haritası (-)

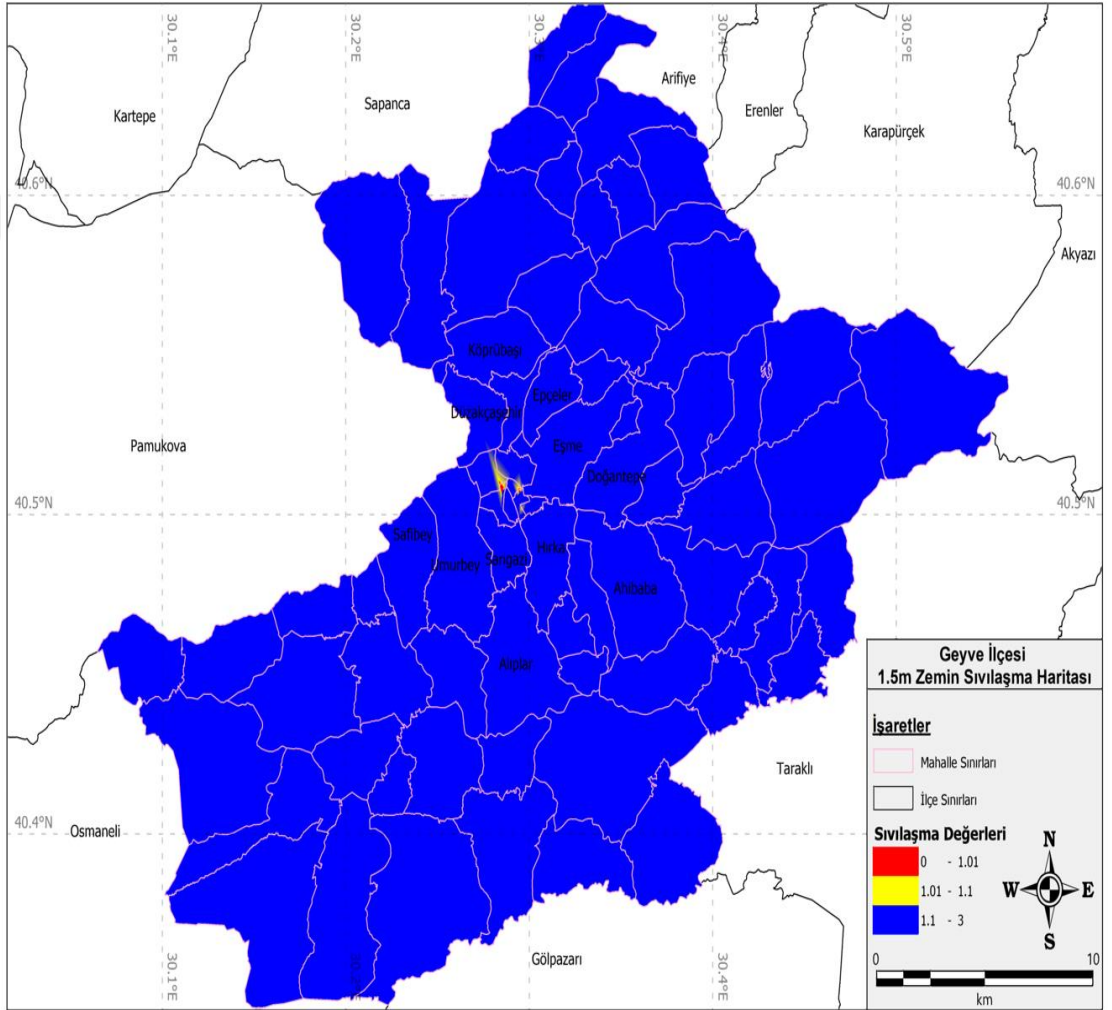
Şekil 4.44 Geyve İlçesi yeraltı su seviyesini göstermek için hazırlanmıştır. Eldeki mevcut verilerle oluşturulan haritaya bakıldığında örneklem alanını kapsayan mahallelerin güneyinde yeraltı su seviyesinin genellikle 2-4 m arasında olduğu, örneklem alanını kapsayan mahallelerin kuzeyinde ise genellikle 4-6 m arasında olduğu görülmektedir. Bölgenin kuzey doğusunda yeraltı su seviyesi artışının dağlık alanların varlığıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.44 : Geyve İlçesi YASS haritası

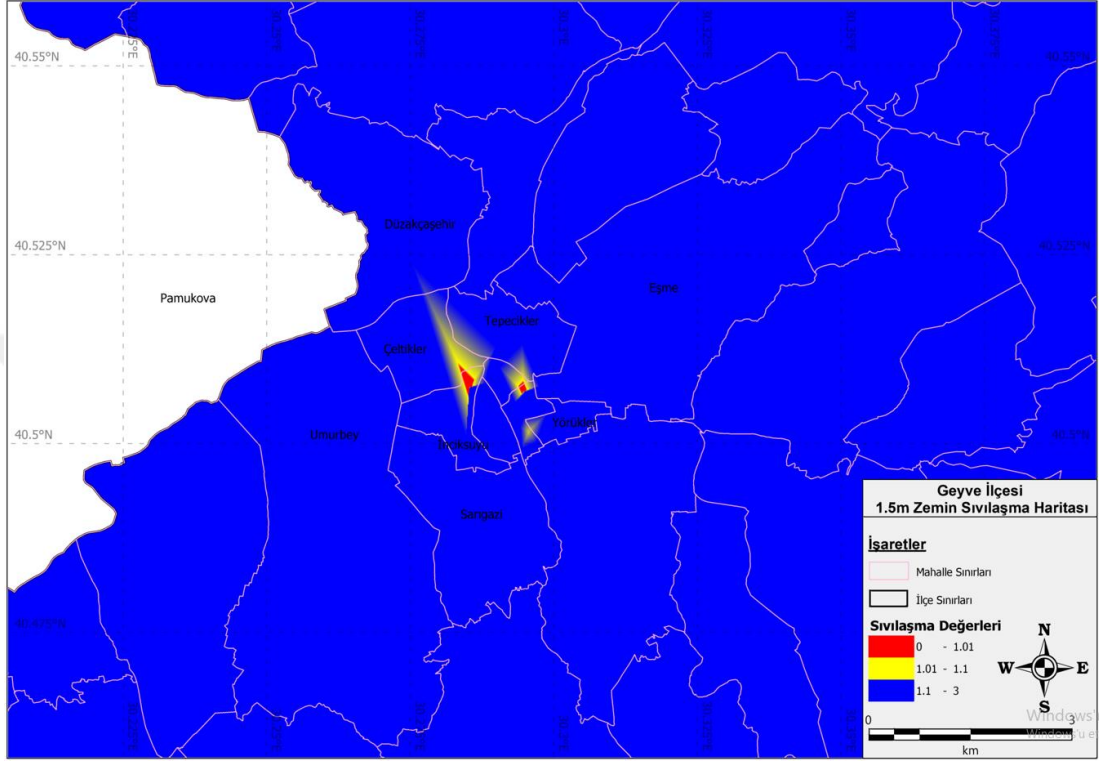
4.10. Zemin Sıvılaşma Haritaları

Şekil 4.45'te verilen haritalar 1.5 m derinlik değerinde zemin sıvılaşma haritasını göstermek amacıyla yapılmıştır. Haritalara bakıldığında Orhaniye ve Gazi Süleymanpaşa Mahalleleri'nde sıvılaşma hesabı sonucu güvenlik katsayısının (FS) birden küçük olduğu sıvılaşma riski yüksek birer adet sondaj olduğundan bu kısımlar kırmızı olarak görülmektedir.



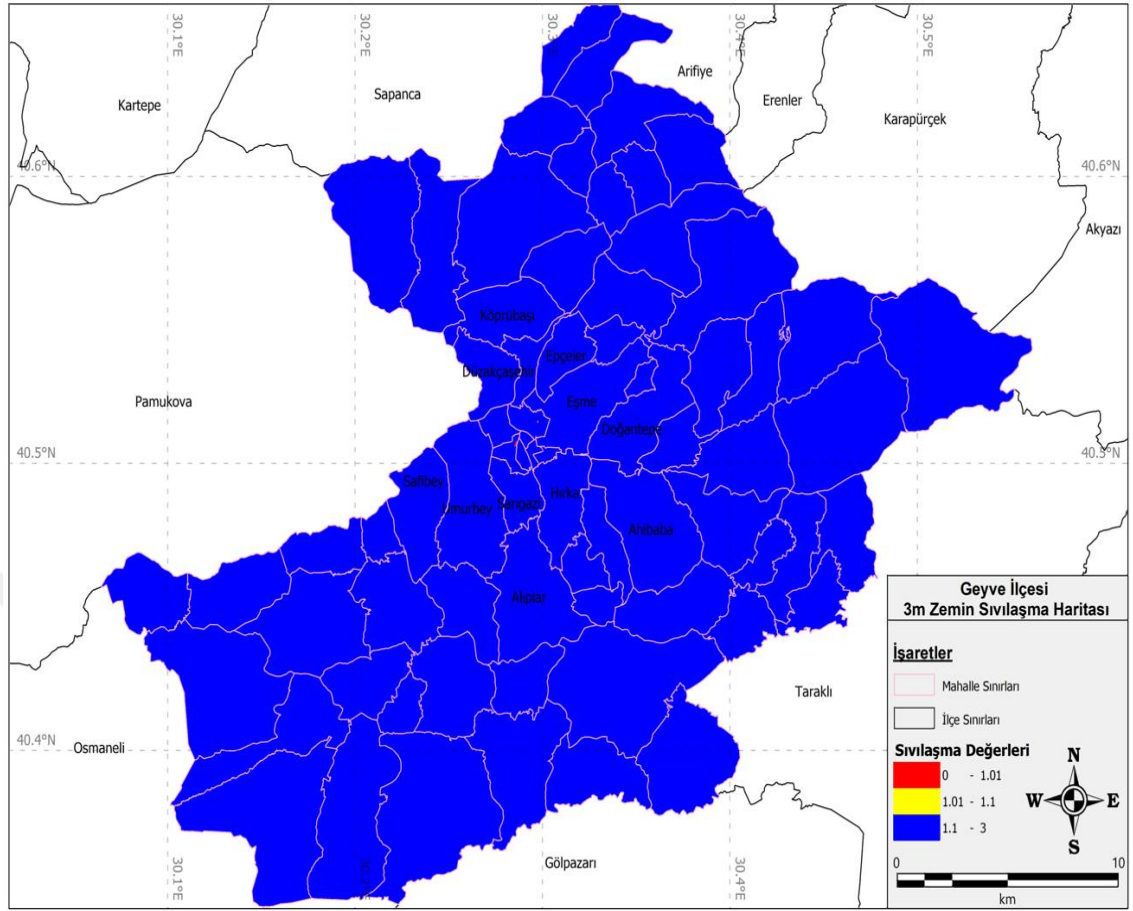
Şekil 4.45.a : 1.5 m zemin sıvılaşma haritası

Ayrıca Gazi Süleymanpaşa Mahallesi'nde sıvılaşma hesabı sonucu güvenlik katsayısının (FS) 1-1,10 arasında olduğu sıvılaşma riski az olan iki adet sondaj noktasından dolayı bu bölgeler de sarı renkli olarak görülmektedir. Bu 4 sondaj dışında ilçenin kalan kısmında 1,5 m derinlik için sıvılaşma riski olmadığı görülür.

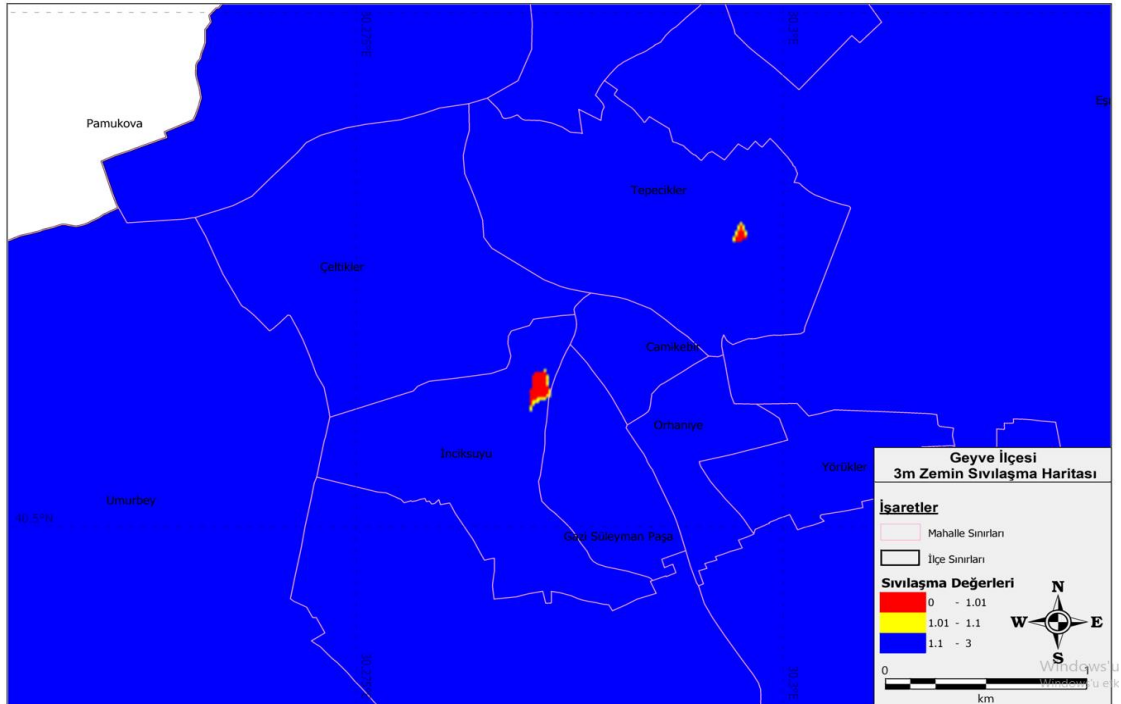


Şekil 4.45.b : 1.5 m yakın plan zemin sıvılaşma haritası

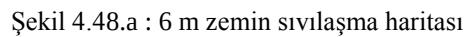
3 m derinlik için oluşturulan şekil 4.46'daki haritalara bakıldığında sıvılaşma hesabı sonucu güvenlik katsayısının birden küçük olduğu sıvılaşma riski yüksek birer adet sondaj olduğundan haritada bu bölgeler kırmızı renkle görülmektedir. İlçenin kalan kısmında sıvılaşma riski bulunmadığından buraların da mavi renkli olduğu görülmektedir. Sıvılaşma riski bulunan sondaj sayısı bir adet olduğundan kırmızı renkli kısım nokta şeklinde görülmektedir. Yakın plan sıvılaşma haritasında sıvılaşmanın olduğu alan daha detaylı görünmektedir.



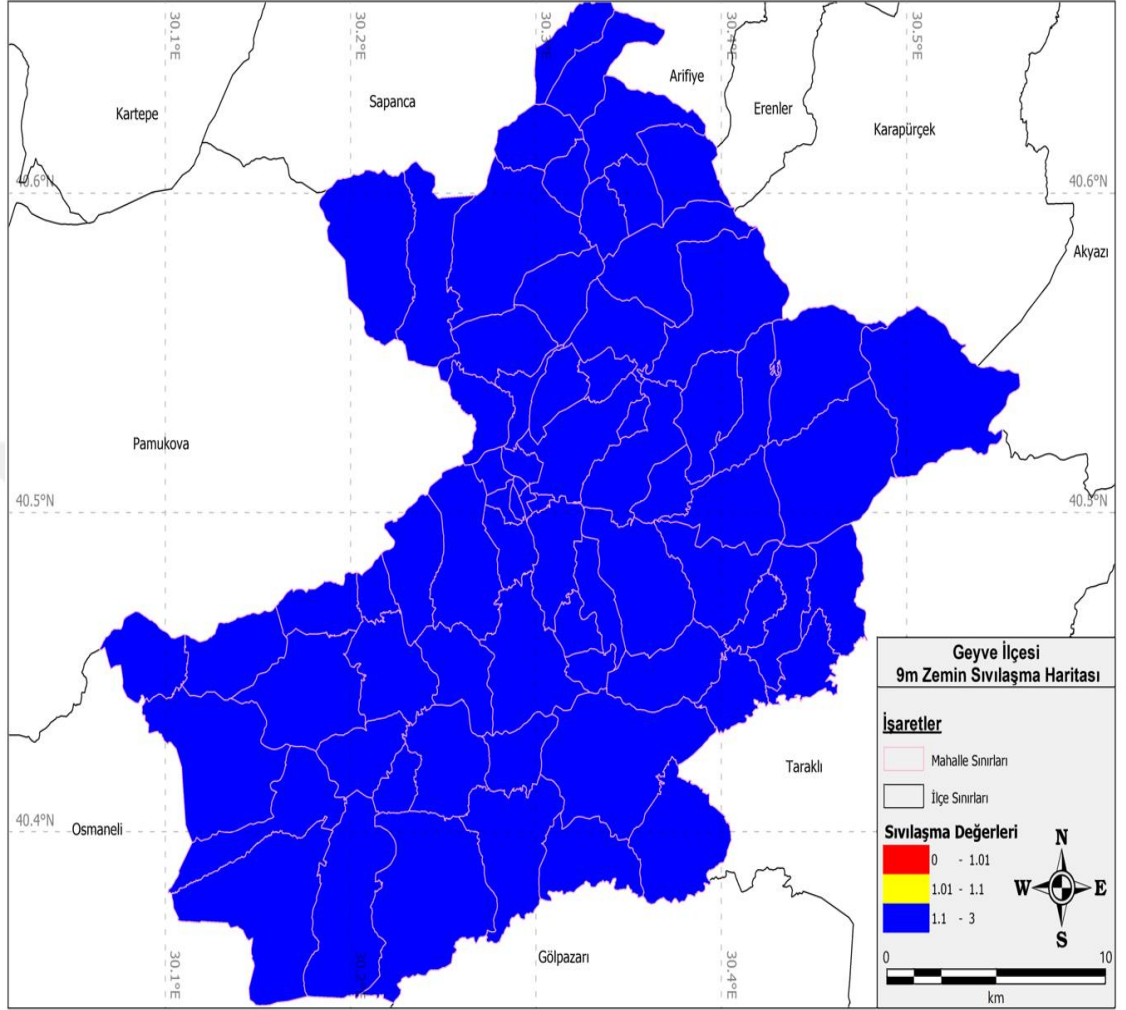
Şekil 4.46.a : 3 m zemin sıvılaşma haritası



Şekil 4.46.b : 3 m yakın plan zemin sıvılaşma haritası



9 m derinlik için oluşturulan Şekil 4.50 incelendiğinde Geyve İlçesi için bu derinlikte sıvılaşma tehlikesi olan herhangi bir bölgenin varlığından söz edilemeyeceği anlaşılr.



Şekil 4.50 : 9 m zemin sıvılaşma haritası

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez doğrultusunda çalışma bölgesi olarak Sakarya İli Geyve İlçesi seçilmiştir. Seçilen bölgede tematik haritalamalar yapmak için bölgede daha önceden yapılan zemin etüd çalışmalarından elde edilen raporlardaki sondaj verilerinden yararlanılmıştır.

Sakarya İli Geyve İlçesi için hazırlanan zemin haritalarına bakıldığında ilçe genelinde kumtaşı, kıltaşı ve kiraçtaşı şeklinde sert zemin birimlerinin hakim olduğu görülür. İlçede yerleşimin en çok olduğu merkez mahallelere (Alifuatpaşa, Gazi Süleymanpaşa, Orhaniye, Camikebir, Eşme, Sarıgazi) bakıldığında 6 m derinliğe kadar iri daneli kum ve çakıl birimlerinin yanında genellikle ince daneli kil ve silt birimlerin hakim olduğu iç içe karmaşık bir zemin profili görülür. 6 m derinlikten sonra ise ilçe merkezindeki mahallelerde iri daneli (çakıl) ve sert zemin (kıltaşı, kiraçtaşı) birimlerinde artış olduğu görülmektedir.

Geyve İlçesi için hazırlanan zemin haritalarından hareketle Geyve İlçesi'nde sıvılaşma potansiyeli bulunan ince daneli zemin biriminin (silt) çok az olduğu söylenebilir. Dolayısıyla TBDY 2018 ile yapılan sıvılaşma analizinin yeterli olduğu kabul edilmiştir.

Geyve İlçesi için hazırlanan ve yerleşimin en çok olduğu merkez mahalleleri kapsayan düzeltilmiş SPTN haritalarına bakıldığında 1,5 m derinlikte çalışma alanının çoğunluğunun 20 darbe sayısı altında olduğu görülmektedir. 3 m derinlikte darbe sayılarında artış olduğu gözlemlenmiştir. 3 m derinlikten sonra ise çalışma alanının hemen hemen tamamının 30 ve üzeri darbe sayısına sahip olduğu görülmektedir. Düzeltilmiş SPTN haritaları zemin haritaları ile mukayese edildiğinde 6 m derinliğe kadar görülen ince daneli zeminlerin sert ve sıkı zeminler olduğu söylenebilir. Ayrıca 6 m derinlikten sonra zemin haritalarında iri daneli zemin (çakıl) ve sert zemin birimlerinde artış olduğu bilindiğinden zemin haritaları ile düzeltilmiş SPTN haritalarının birbiri ile uyumlu olduğu görülür.

Geyve İlçesi için hazırlanan su muhtevası haritalarına bakıldığında örneklem alanında 6 m derinliğe kadar %25 ve üzerinde değişen su muhtevası değerinin 6 m derinlikten sonra kademeli olarak azaldığı ve %20'nin altında seyrettiği görülmektedir. Ayrıca mevcut veri sayısında azalma olduğundan derinlik arttıkça örneklem alanındaki beyaz renkli kısımların da arttığı görülmektedir.

Hazırlanan ince dane içeriği haritaları incelendiğinde ince dane oranının 4.5 m derinliğe kadar %76 ve üzerinde olduğu görülür. Örneklem alanında 4.5 m derinlikten sonra ise bu değer %76 'nın altına düşerek derinlik arttıkça da azaldığı görülmektedir. Alifuatpaşa Mahallesi'nde ince dane oranının genellikle tüm derinlik değerlerinde %50 değerinin altında olduğu görülür. Bunu sebebini iki şekilde açıklayabiliriz . Birincisi mahallenin zemin profilini çakıl ve kum gibi iri daneli zeminler ile sert kıltaşı birimlerinin oluşturmasıdır. İkincisi ise Sakarya Nehri'nin bu mahalle üzerinden geçmesiyle nehir hattı boyunca taban seviyelerinde iri daneli zeminlerin hakim olmasıdır.

Geyve İlçesi için hazırlanan kıvam limitleri haritalarına bakıldığında derinlik artışına bağlı olarak iri daneli zeminlerde artış olduğundan likit limit (W_L) değerlerinde düzenli olmasa da bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Aynı durum plastik limit (W_P) haritaları için de geçerlidir. Ayrıca derinlik arttıkça beyaz renkli kısımların artmasının sebebi eldeki mevcut verinin yetersiz bağlıdır.

Hazırlanan yeraltı su seviyesi haritasına bakıldığında ilçenin büyük kısmında yeraltı su seviyesi 6 m'den daha sığ (genellikle 2-4 m) derinlikte olduğu görülmektedir. Dağlık alanların olduğu bölgelerde yeraltı su seviyesine 6-10 m'den sonra rastlanmaktadır.

Sakarya İli Geyve İlçesi için hazırlanan sıvılaşma haritalarına bakıldığında bazı küçük alanlar dışında ilçede sıvılaşma riskinin olmadığı görülmektedir. Yakın plan haritalarına bakıldığında yerleşimin yoğun olduğu Alifuatpaşa, Gazisüleymanpaşa ve Orhaniye Mahallelerinde 7.5 m derinliğe kadar sıvılaşma riskinin yüksek olduğu alanlar görülmektedir. İlçe merkezini oluşturan bu bölgelerde yoğun imar alanları bulunduğundan sıvılaşma riskine karşın gerekli zemin ve yapı iyileştirmelerinin yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Bu haritaların doğusunda Burhaniye-Bağcaz arasında bulunan ve sıvılaşma riski görülen alan dağlık arazi olduğundan ve yerleşim yeri bulunmadığından bu bölgede

sıvılaşma meydana gelse bile insan yaşamı açısından tehlike arz etmeyeceği düşünülmektedir. Fakat imar yapılması durumunda bu bölgede de detaylı zemin incelemeleri ile zemin iyileştirme işlemlerinin yapılması öngörülmektedir. Ayrıca ilçe merkezinin dışındaki kısımlarda dağlık araziler bulunduğundan eldeki verilerden hareket ederek bu alanlarda sıvılaşma riski olmayacağı öngörülmüştür.

Eldeki mevcut veriler üzerinden hazırlanan bu çalışma genel literatüre uygun olmasına rağmen mevcut verilerin yetersiz olduğu düşünüldüğünden Geyve İlçesi'nin tümünde kapsayıcı nitelikte bir çalışma olarak değerlendirilmeyip daha tutarlı veri elde etmek için parsel bazında daha detaylı sıvılaşma analizi yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Aksu, O., & Toz, G. (2002). Zemin sıvılaşmasına yönelik fotogrametrik uygulamalar. *İTÜ Dergisi*, 1(2), 286-294.
- Bayraktar, H., & Hossin, A. *Sakarya ilinin depreme duyarlı bölgelerinde CBS tabanlı hasar tahmini*. Resilience, 5(2), 173-185.
- Castro, G., (1969). *Liquefaction of sands, Harvard soil mechanics series*. Harvard Univ., 81.
- Erken, A., Özay, R., Kaya, Z., Ülker, M.B.C., & Elibol, B. Depremler sırasında zeminlerin sıvılaşması ve taşıma gücü kayıpları, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 431.
- Fan, Q., Efrat, A., Koltun, V., Krishnan, S., & Venkatasubramanian, S. (2005). *Hardware-Assisted Natural Neighbor Interpolation*. ALNEX/ANALCO (pp. 111-120).
- Göğsu, S., Hastaoğlu, K. Ö., (2019). Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yönteminde güç fonksiyonu etkisinin incelenmesi, *17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 25-27 Nisan, Ankara.
- Gücek, S., & Zorluer, İ. (2021). Bir Boyutlu Analiz Yöntemiyle Sahaya Özel Sıvılaşma Risk Haritalarının Oluşturulması: Afyonkarahisar Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4), 908-921.
- Güler, E., & Ceryan, Ş. (2015). Burhaniye (Balıkesir) yerleşim alanının sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi. *Yerbilimleri*, 36(2), 81-96.
- İkiel, C., (2018). *Sakarya'nın Fiziki, Beşeri ve İktisadi Coğrafya Özellikleri*. Yeni Anadolu Yayıncılık, Sakarya Üniversitesi, 190-2018.
- Karavul, C., Kurnaz, T. F., Beyhan, G., & Kıyak, A. (2005). Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak adapazarı zemin sıklık durumunun haritalanması. *Deprem Sempozyumu*. Sakarya.
- Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Civil Engineering and Mechanics Series, 653 pages.
- Kurt, S., & Duman, E. (2016). Sakarya İli'nde kentsel gelişim sürecinin arazi kullanımı ve jeomorfolojik birimler etkisi üzerindeki etkisinin zamansal değişimi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (34), 268-282.
- Mitas, L., Mitsova, H. (1999). *Spatial interpolation. Geographical information systems: principles, techniques, management and applications*, GeoInformation international, Wiley 481-492.

- Mollamahmutoğlu, M., & Babuçcu, F. (2006). *Zeminlerde sıvılaşma analiz ve iyileştirme yöntemleri*. Gazi Kitabevi.
- Özaydın, K., (2007). Zeminlerde sıvılaşma. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- Özdemir, A. (2011). Standard penetrasyon deneyi (SPT) ile tuzla (Adana-Karataş) trafik gözetleme istasyonu zemininin sıvılaşma potansiyelinin araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2), 1-14.
- Sert, S., Özocak, A., Arel, E., & Bol, E. (2005). Sakarya Bölgesinde yerel zemin özelliklerinin hasar büyüklüğüne etkisi, Arifiye-Geyve-Güneşler örneği. *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, 1214-1224.,
- Sibson, R. (1981). A brief description of natural neighbour interpolation. *Interpreting multivariate data*, 21-36.
- Sönmezer, Y. B., Çeliker, M., & Kılınç, M. Y. (2012). Kırıkkale ili bahçelievler ve fabrikalar mahallelerinin sıvılaşma potansiyelinin coğrafi bilgi sistemlerinde analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(1), 33-40.
- T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, (1996). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*, Ankara.
- Tosun, H., Seyrek, E., Orhan, A., Savaş, H., & Türköz, M. (2011). Soil liquefaction potential in Eskişehir, NW Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(4), 1071-1082.
- TS498, *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar, Ankara (1987), (Çizelge 1).
- Turoğlu, H. (2012). Zemin sıvılaşmasının 17 ağustos 1999 depreminde Adapazarı'ndaki hasara etkisi. *Coğrafya Dergisi*, (12).
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara (2018).
- Url-1 < <https://haber.sakarya.edu.tr/sakarya-ve-cevresi-icin-deprem-tehlikesi-uzerine-bir-yazi> >, erişim tarihi 10.06.2022
- Url-2 < <https://www.sakaryayenihaber.com/adapazari-icin-aci-tespit-sivilasma> >, erişim tarihi 15.06.2022
- Url-3 < <https://www.sehirhafizasi.sakarya.edu.tr/sakaryanin-cograf-yapisi/> >, erişim tarihi 17.06.2022
- Url-4 < <https://iujfk.files.wordpress.com/2011/06/tektonik-birlikler.pdf> >, erişim tarihi 19.06.2022
- Url-5 < <https://sakarya.ktb.gov.tr/TR-112516/sakarya-genel-bilgiler.html> >, erişim tarihi 22.06.2022
- Url-6 < <http://www.aym.sakarya.edu.tr/2015/12/17/fay-hatti-icin-bir-uyari-da-sauden-guney-koluna-dikkat/> >, erişim tarihi 19.06.2022
- Url-7 < <https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nterpolasyon> >, erişim tarihi 9.10.2022

- Url-8 < <https://gisgeography.com/inverse-distance-weighting-idw-interpolation> >, erişim tarihi 8.11.2022
- Url-9 < <https://gwlucastrig.github.io/TinfourDocs/NaturalNeighborIntro/index.html> >, erişim tarihi 19.11.2022
- Url-10 < <https://avys.omu.edu.tr/lessons/1/6/2722-932001/291321-126233> >, erişim tarihi 4.12.2022
- Url-11
<http://www.kursatozcan.com/ders_notlari/toprak_mekanigi/ik/8_zeminlerde_girilme_dagilis.pdf>, erişim tarihi 17.12.2022
- Url-12
<https://docs.qgis.org/2.18/en/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html>, erişim tarihi 20.12.2022
- Url-13
<<https://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Natural%20Neighbor%20Interpolation>>, erişim tarihi 27.12.2022