

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AYDIN İLİ NAZİLLİ İLÇESİ ZEMİNLERİ SIVILAŞMA
DAVRANIŞININ CBS İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa AYDIN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsa VURAL

Haziran 2024

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AYDIN İLİ NAZILLI İLÇESİ ZEMİNLERİ SIVILAŞMA
DAVRANIŞININ CBS İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa AYDIN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 04/06/2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Günay BEYHAN	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

Mustafa AYDIN

04/06/2023

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 gerekli zemin etüt raporlarını temin etmemde yardımlarını esirgemeyen Nazilli Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'ne, Menderes Jeoloji Mühendisliği'ne, Tralles ve Efe Zemin Laboratuvar firmalarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Literatür	2
BÖLÜM 2.	
İLÇENİN KONUM, İKLİM, BİTKİ ÖRTÜSÜ, JEOLojİSİ VE TEKTONİĞİ	8
2.1. Konum	8
2.2. İklim.....	9
2.3. Bitki Örtüsü	10
2.4. Nüfus.....	10
2.5. Nazilli İlçesi Hidrojeolojisi.....	12
2.6. Jeolojisi	13
2.7. Türkiye'nin Tektoniği.....	14
2.8. Aydın İli ve Nazilli İlçesi Tektoniği.....	16
2.9. Bölgede Tarihsel Dönemde ve Aletsel Dönemde Olmuş Hasar Yapıcı Depremler	18
BÖLÜM 3.	
SIVILAŞMA	20
3.1. Sivilaşmanın Tanımı	20
3.1.1. Sivilaşma Türleri	21
3.1.1.1. Akma Türü Sivilaşma	21
3.1.1.2. Devirsel Hareketlilik.....	22
3.1.2. Zemin Sivilaşmasına Etki Eden Faktörler	22
3.1.2.1. Yeraltı Su Seviyesi	22
3.1.2.2. Deprem Büyüklüğü ve Süresi.....	22

3.1.2.3. İnce Dane Yüzdesi	23
3.1.2.4. Zemin Derinliği	23
3.1.2.5. Zemin Tipi	23
3.1.3. Zemin Sıvılaşmasından Dolayı Oluşan Hasar Tipleri	24
3.1.3.1. Akma Göçmesi	24
3.1.3.2. Kum Kaynaması	25
3.1.3.3. Taşıma Gücü Kaybı	26
3.1.3.4. Yanal Yayılma	28
3.2. Hesaplama Kullarılan Yöntem	30
3.3. Haritalandırma Yöntemi	33
3.3.1. Nearest Neighbor (En Yakın Komşu) Yöntemi	34
3.3.2. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW).....	35
BÖLÜM 4.	
ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER.....	38
4.1. Hesaplamalarda Yapılan Kabuller	38
4.2. Sıvılaşma Hesabı Örneği ve Deprem Büyüklüğüne Göre Yorumlama	39
4.3. Haritalandırma Çalışmaları.....	43
4.4. SPTN* Haritaları	46
4.5. Zemin Sınıfı Haritaları.....	52
4.6. İnce Dane İçeriği Haritaları (%)	67
4.7. Yeraltı Su Seviyesi Haritası (YASS).....	72
4.8. Zemin Sıvılaşma Haritası	74
BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR	81

KISALTMALAR

DAFH	: Doğu Anadolu Fay Hattı
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
IDI	: İnce Dane İçeriği
KAFH	: Kuzey Anadolu Fay Hattı
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
SPTN	: Zeminin Standart Penetrasyon Direnci
SPTN* ($N_{1,60}$)	: Düzeltilmiş Standart Penetrasyon Direnci Darbe Sayısı
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi

SİMGELER

C_M	: Tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayı
C_B	: Sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı
C_E	: Enerji oranı düzeltme katsayısı
C_N	: Derinlik düzeltme katsayısı
C_R	: Deney derinliği düzeltme katsayısı
C_S	: Numune alıcı tipi düzeltme katsayısı
cm	: Santimetre
$CRR_{M7.5}$: Moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranı
FS	: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı
G	: Çakıl
GM	: Siltli Çakıl
GP	: Kötü derecelenmiş çakıl
GP-GM	: Siltli, kötü derecelenmiş çakıl
GW	: İyi derecelenmiş çakıl
GW-GM	: Siltli, iyi derecelenmiş çakıl
m	: Metre
ML	: Düşük plastisiteli inorganik silt
M_w	: Tasarım depremi moment büyüklüğü
r_d	: Gerilme azaltma katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
SM	: Siltli Kum
SP	: Kötü derecelenmiş kum
SP-SM	: Siltli, kötü derecelenmiş kum
SPTN* ($N_{1,60}$)	: Düzeltilmiş Standart Penetrasyon Direnci Darbe Sayısı
SW	: İyi derecelenmiş kum
SW-SM	: Siltli, iyi derecelenmiş kum
τ_{deprem}	: Zeminde oluşan kayma gerilmesi
τ_R	: Sıvılaşma direnci
σ_{v0}	: Toplam düşey gerilme (kN/m^2)
σ'_{v0}	: Düşey efektif gerilme (kN/m^2)
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık (kN/m^3)
γ_{doygun}	: Doygun birim hacim ağırlık (kN/m^3)
u_w	: Boşluk suyu basıncı
z	: Derinlik

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1: SPT düzeltme katsayıları (TBDY, 2018).....	31
Tablo 4.1: Sondaj loguna ait bilgiler	39
Tablo 4.2: $M_w=7$ büyüklüğündeki bir depremde GeoteknikPro ile sıvılaşma analizi hesaplaması	42
Tablo 4.3: $M_w=7.5$ büyüklüğündeki bir depremde GeoteknikPro ile sıvılaşma analizi hesaplaması	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Aydın ili ve Nazilli İlçesi lokasyon haritası.....	8
Şekil 2.2: Aydın İli Nazilli İlçesinde aylık hava durumu.....	9
Şekil 2.3: Aydın İli Nazilli İlçesinde günlük yağış ihtimali.....	9
Şekil 2.4: Nazilli İlçesi Nüfus Haritası	11
Şekil 2.5: Nazilli İlçesi Nüfus Haritası yakın plan görüntüsü.....	12
Şekil 2.6: İsabeyli-Nazilli arasında kalan bölgenin jeoloji haritası	14
Şekil 2.7: Türkiye deprem tehlike haritası	15
Şekil 2.8: Türkiye Diri Fay Haritası.....	16
Şekil 2.9: Türkiye Diri Fay Haritası Aydın İli	17
Şekil 2.10: Türkiye Diri Fay Haritası Aydın İli Nazilli İlçesi.....	18
Şekil 3.1: Akma Türü Sıvılaşma	21
Şekil 3.2: Zemin sıvılaşmasından kaynaklı akma göçmesi	24
Şekil 3.3: San Francisco'daki Merced Gölü Kıyısı boyunca 1957 yılında gelişen bir akma kayması	25
Şekil 3.4: Kum Kaynaması ile yüzeyde kum konileri oluşma biçimi	25
Şekil 3.5: Kartalkaya Baraj gölünün çekilmesi ile ortaya çıkan kanal çökellerinde çatlaklar boyunca gelişen kum kaynamaları (Pazarcık, Kahramanmaraş)	26
Şekil 3.6: İskenderun sahil şeridinde yapay dolguda bulunan Nihal Atakaş Cami avlusunda gelişen kum kaynaması	26
Şekil 3.7: Sıvılaşma sonucu taşıma gücünü kaybeden zeminin üzerinde bulunan binanın geriye doğru devrilmesi, (Gölbaşı, Adıyaman)	27
Şekil 3.8: Sıvılaşma sonucu binaların zemin içine gömülmesi (Gölbaşı, Adıyaman)....	27
Şekil 3.9: Yanal yayılma oluşma biçimi	28
Şekil 3.10: Gölbaşı Gölü kenarındaki sosyal tesisin yanal yayılma nedeniyle göl içine kayması sonucu oluşan hasar (Gölbaşı, Adıyaman).....	28
Şekil 3.11: Asi Nehri'nde gelişen yanal yayılma nedeniyle hasar gören yol (Alaattin mahallesi, Antakya).....	29
Şekil 3.12: Asi Nehri'nde gelişen yanal yayılma ve sıvılaşma Hatay stadyumu doğusu- (Antakya, Hatay)	29
Şekil 3.13: Nearest Neighbor (En Yakın Komşu) Yöntemi.....	34
Şekil 3.14: IDW yöntemi ile bilinen noktalardan bilinmeyen noktanın bulunmasına örnek	35
Şekil 3.15: IDW yöntemi ile arama yarıçapı verilerek bilinmeyen noktanın bulunması örneği.....	36
Şekil 3.16: IDW yöntemi ile Denklem 3.14 kullanılarak oluşturulan üç boyutlu örnek	36
Şekil 4.1: Aydın ili Nazilli ilçesi sondaj ve araştırma çukuru noktalarının görüntüsü ...	43
Şekil 4.2: Aydın ili Nazilli ilçesi sondaj ve araştırma çukuru noktalarının yakın plan görüntüsü	44

Şekil 4.3: Aydın ili Nazilli ilçesi sondaj ve araştırma çukuru noktalarının görüntüsü ...	45
Şekil 4.4: 1.5 m' de SPTN* haritası.....	46
Şekil 4.5: 3 m' de SPTN* haritası.....	47
Şekil 4.6: 4.5 m' de SPTN* haritası.....	48
Şekil 4.7: 6 m' de SPTN* haritası.....	49
Şekil 4.8: 7.5 m' de SPTN* haritası.....	50
Şekil 4.9: 9 m' de SPTN* haritası.....	51
Şekil 4.10: 12 m' de SPTN* haritası.....	52
Şekil 4.11: 1.5 m' de zemin sınıfı haritası	53
Şekil 4.12: 1.5 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası.....	54
Şekil 4.13: 3 m' de zemin sınıfı haritası	55
Şekil 4.14: 3 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası.....	56
Şekil 4.15: 4.5 m' de zemin sınıfı haritası	57
Şekil 4.16: 4.5 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası.....	58
Şekil 4.17: 6 m' de zemin sınıfı haritası	59
Şekil 4.18: 6 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası.....	60
Şekil 4.19: 7.5 m' de zemin sınıfı haritası	61
Şekil 4.20: 7.5 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası.....	62
Şekil 4.21: 9 m' de zemin sınıfı haritası	63
Şekil 4.22: 9 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası.....	64
Şekil 4.23: 12 m' de zemin sınıfı haritası	65
Şekil 4.24: 12 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası.....	66
Şekil 4.25: 1.5 m' de yakın plan IDI haritası	67
Şekil 4.26: 1.5 m' de IDI haritası.....	68
Şekil 4.27: 3 m' de IDI haritası.....	69
Şekil 4.28: 4.5 m' de IDI haritası.....	69
Şekil 4.29: 6 m' de IDI haritası.....	70
Şekil 4.30: 7.5 m' de IDI haritası.....	71
Şekil 4.31: 9 m' de IDI haritası.....	71
Şekil 4.32: 12 m' de IDI haritası.....	72
Şekil 4.33: Nazilli ilçesi YASS haritası	73
Şekil 4.34: Nazilli ilçesi zemin sınıvlaşması haritası.....	75

AYDIN İLİ NAZILLI İLÇESİ ZEMİNLERİ SIVILAŞMA DAVRANIŞININ CBS İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Dünya ve ülkemizin bir gerçeği olan depremler telafisi zor olan ve bazı zamanlarda telafisi mümkün olmayan maddi ve manevi kayıplara sebep olmaktadır. Bu sıkıntılara maruz kalan ülkeler yıllarca bu acıların yaralarını sarmakla zaman harcamaktadır. Halbuki yerinde ve zamanında yapılması gereken mühendislik ve uygulamaları dikkate alınarak tasarımlar yapılsa depremlerden kaynaklı zararlar en aza indirilebileceği gibi sosyal ve ekonomik zorluklarla karşılaşmayacaktır.

Depremden kaynaklanan hasara sebep olan önemli bir faktör olan zemin sıvılaşması, özellikle kohezyonsuz, suya doymuş kumlu ve siltli zeminlerde görülmektedir. Bundan kaynaklı olarak, proje tasarımında zemin yapısının önemli olduğu ve zemine uygun proje yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Kapsamlı bir zemin araştırması yapılmadan veya zemin koşulları yanlış değerlendirilerek inşa edilen yapılar, betonarme olarak çok iyi inşa edilmiş olsalar bile önemli temel oturmaları, yapısal devrilmeler ve hasarlarla karşılaşabilmektedirler.

Bu çalışma kapsamında Türkiye deprem kuşağı üzerinde Türkiye Deprem Tehlike haritasına göre deprem riski yüksek olan ve inşaat sektörü açısından yapılaşmada hareketli olan Aydın ilinin 2. büyük ilçesi olan Nazilli ilçesinde zemin sıvılaşma haritası çıkarılmıştır. Literatür taramasında, 1900 ile 2006 yılları arasında büyüklüğü 6'yı aşan dört deprem olduğu belgelenmiştir. Bununla birlikte, 1960'tan önce her yirmi yılda bir en az bir önemli depremin tekrarlandığı görülmüştür. Bu çalışmada Nazilli İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, Menderes Jeoloji Mühendisliği, Tralles Zemin Laboratuvarı ve Efe Zemin Laboratuvar firmalarından alınan 137 adet sondaj ve 64 adet araştırma çukuru noktasındaki veriler Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e uygun GeoteknikPro programıyla sıvılaşma hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen veriler coğrafi bilgi sistemi (CBS) haritalama uygulamalarından MapInfo Programına aktarılarak haritalandırma çalışması yapılmıştır. Bu verilerle Nazilli ilçesine ait zemin sınıflandırması, düzeltilmiş SPT-N, ince tane içeriği (IDI), yeraltı su seviyesi (YASS) ve zemin sıvılaşma haritalandırılması yapılmıştır. Çalışma kapsamında deprem büyüklüğü de sıvılaşma analizleri için önemli bir ölçüt olduğundan yapılan örnek hesaplamalarla deprem büyüklüğünün sıvılaşmaya olan etkisine değinilmiştir. Analizler sonucunda Nazilli'nin şehir merkezinde aşağı Nazilli bölgelerinde genel olarak Siltli Kum (SM) zeminlere rastlanmış ve yeraltı suyundan dolayı bazı bölgelerinde sıvılaşma ihtimali olan zeminlere rastlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin Sıvılaşma Haritası, Nazilli İlçesi, GeoteknikPro, CBS, MapInfo

INVESTIGATION OF LIQUEFACTION BEHAVIOR OF NAZILLI DISTRICT OF AYDIN PROVINCE SOILS WITH GIS

ABSTRACT

Earthquakes, which are a reality of the world and our country, cause material and moral losses that are difficult and sometimes impossible to compensate for. Countries exposed to these troubles spend years healing the wounds of these pains. However, if designs were made taking into account the engineering and applications that should be done on-site and on time, the damages caused by earthquakes could be minimized and social and economic difficulties would not be encountered.

Soil liquefaction, which is an important factor causing damage caused by earthquakes, is especially seen in cohesionless, water-saturated sandy and silty soils. Therefore, it is understood that the ground structure is important in project design and a project should be made suitable for the ground. Structures built without a comprehensive ground survey or by incorrectly evaluating the ground conditions may encounter significant foundation settlements, structural collapses and damages, even if they are very well constructed with reinforced concrete.

Within the scope of this study, a soil liquefaction map was prepared in Nazilli district, which is the second largest district of Aydın province, which has a high earthquake risk according to the Earthquake Hazard Map of Turkey on the earthquake zone of Turkey and is active in construction in terms of construction sector. In the literature review, four earthquakes exceeding magnitude 6 were documented between 1900 and 2006. However, it was observed that at least one major earthquake was repeated every twenty years before 1960. In this study, the data obtained from the Nazilli Directorate of Zoning and Urban Planning, Menderes Geological Engineering, Tralles Soil Laboratory and Efe Soil Laboratory, 137 borings and 64 exploratory pits were used for liquefaction calculations with the GeoteknikPro program in accordance with the Turkish Building Earthquake Regulations (TBER) 2018. The data obtained as a result of the calculations were transferred to the MapInfo Program from geographic information system (GIS) mapping applications and mapping work was carried out. With these data, soil classification, corrected SPT-N, fine grain content (FGC), ground water level (GWL) and soil liquefaction mapping of Nazilli district were made. Since earthquake magnitude is also an important criterion for liquefaction analysis, the effect of earthquake magnitude on liquefaction was mentioned in the study. As a result of the analyses, Silty Sand (SM) soils were generally encountered in the lower Nazilli regions in the city center of Nazilli and soils with the possibility of liquefaction were encountered in some areas due to ground water.

Keywords: Ground Liquefaction Map, Nazilli District, GeoteknikPro, GIS, MapInfo

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Türkiye’de deprem risk haritasına bakıldığında birçok bölgenin deprem riski altında bulunduğu görünmektedir. Ege bölgesinin birçok ili ve bunlardan biri olan Aydın ili de Türkiye Deprem Tehlikesi haritasına göre deprem riski yüksek olan yerlerdendir. Aynı şekilde Türkiye Deprem Tehlikesi haritasına göre deprem riski yüksek olan İzmir ili de 2020 yılında şehir merkezinden uzakta denizde olan sığ bir depremle özellikle Bayraklı bölgesinde yapısal kusurların yanında zeminin alüvyol tabakada olması ve yeraltı su seviyesi yüzeye yakın olmasından kaynaklı olarak zeminin deprem dalgalarını büyütmesine dayanarak sıvılaşmaya bağlı olarak da 6.9 büyüklüğünde bir depremle bu bölgelerde büyük bir yıkım olduğu kanısına varılmaktadır. (DAMER 2020).

Deprem sebebiyle ortaya çıkan yer kuvvetli yer hareketleriyle suya doygun olan gevşek kohezyonsuz zeminler sıvılaşabilmektedir. Deprem titreşimleriyle zemin boşluklarında su basıncının artmasına bağlı olarak efektif zemin gerilmesinin sıfırlanması ve kayma mukavemetinin yok olmasıyla sebebiyle zemin sıvılaşması ortaya çıkmaktadır. Zemin sıvılaşmasına bağlı olarak binaların temellerinde oturmalar ve binaların hasar alıp devrilmeleri gerçekleşebilmektedir (Alkan,2022).

Tarihsel ve aletsel dönemde Nazilli’de birçok deprem olmuştur. Bu bölgede aletsel dönemde Aydın ve Denizli bölgelerinde 1900-2006 yılları arasında yaklaşık 3572 deprem meydana gelmiş ve 1960 yılına kadar 6 ve üzeri büyüklüğünde 4 deprem meydana gelmiştir. 1960 yılından sonra büyüklüğü 6’ dan fazla olan bir deprem ortaya çıkmamıştır (DAD,2007).

Nazilli ilçe sınırları içerisinde doğarak Büyük Menderes Irmağına dökülen ve bu ırmağı besleyen İsabeyli Deresi, Dallica-Gereniz Çayı, Mercan Çayı, Dereköy Çayları, başlıca akarsu kaynaklarıdır (Demirtaş vd., 2011).

Akarsu ve alüvyal yelpaze çökelleri Menderes Nehri ve kuzeydeki dağlık alanlardan Menderes Nehri’ne doğru boşalan dere yatakları boyunca oluştuğu görülmüştür.

Alüvyal çökeller pekleşmemiş ya da az pekleşmiş metamorfik kökenli blok, kum, çakıl, kil ve silten oluşmuştur. Dağlık kesimlere doğru blok ve iri çakıllar, ovaya doğru ise ince çakıl, kum, silt ve killer egemen olarak gözlenmektedir. Alüvyal çökeller, tüm yaşlı birimleri açılı uyumsuz olarak örtmektedirler (Demirtaş vd.,2011). Kum, siltlere bağlı olarak Nazilli'nin bazı mahallelerinde yeraltı suyu seviyesine (YASS) bağlı olarak birçok bölgede sıvılaşma ihtimali olduğu tespit edilmiş ve Nazilli bölgesi sıvılaşma haritasını çıkarmaya yönelik bir çalışma yapılması amaçlanmıştır.

Tüm bu veriler ışığında Aydın ili Nazilli ilçesi Türkiye Deprem Tehlike haritasına göre deprem riski yüksek olması nedeniyle ve gerek ticari açıdan gerek inşaat sektörünün canlı olması sebebiyle ve Aydın ilinin 2. büyük ilçesi olmasından kaynaklı olarak jeolojik yapısında kumlu silt zeminlerin bulunması ve Aşağı Nazilli diyebileceğimiz ova bölgesinde yeraltı su seviyesi (YASS) 'ın yüzeye yakın olmasına bağlı olarak ve bu bölgelerde şehirleşme olmasından dolayı bu tez çalışmasında Nazilli bölgesinin zemin sıvılaşma haritası çıkarılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada Nazilli Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nden ve Jeoloji Mühendisliği firmalarından alınan zemin etüt raporlarındaki 137 adet sondaj noktası ve 64 araştırma çukuru baz alınarak yapılan sıvılaşma hesaplamaları CBS programlarından MapInfo programına aktararak 1.5 m / 3 m / 4.5 m / 6 m / 7.5 m / 9 m / 12 m derinliklerde düzeltilmiş SPTN, tematik zemin sınıfı, ince dane oranı (IDI), yeraltı su seviyesi (YASS), zemin sıvılaşması haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sıvılaşma haritasına bakılarak sıvılaşma ihtimali olan bölgelerde imar alanlarında bir klavuz olması ve zayıf zeminler için önceden tedbir alınması amaçlanmaktadır.

1.1. Literatür

Köleoğlu 1999 Kocaeli depreminde sıvılaşmadan kaynaklı olarak yapıların hasar aldığı görülmüştür. Adapazarı'nın bazı yerlerindeki zeminlerde sondajlar yapılmıştır. Gerek bu sondajlara gerekte bölgede gerçekleşen depremlere ve sonuçlarına bakarak zemin sıvılaşması, zeminlerin özelliklerine göre yapılan uygulamalarla deprem sırasında hasar alıp almamasına karşı karşılaştırmalar yapılmıştır. Önceki araştırma çalışmalarından elde edilen bilgilerden yararlanılarak zemin iyileştirmeleri üzerinde yorumlamalar yapılmıştır. Hesaplamalar neticesinde siltli kumun temiz kuma kıyasla sıvılaşma

ihtimalinin daha fazla olduğunu göstermiş ve killi kumun sıvılaşma eğiliminin oldukça düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Uygulanan gerilme seviyelerine bakılmaksızın, çalışma killi kumların dinamik dayanımının hem siltli hem de temiz kumlarınkini aştığı gözlemlenmiştir. Adapazarı'nda deprem sonucunda il merkezinde sıvılaşmadan kaynaklı olarak birçok binanın temelinde sorunlar çıkmış ve YASS'ın 1-2 m zemin altında olmasından kaynaklı olarak radye temellerin bile sıvılaşma sonucu zarara uğradığı ama kazık temel uygulamalarında herhangi bir hasar olmadığı sonucuna varılmıştır (Köleoğlu, 2002).

Çelik Denizli ilindeki potansiyel sismik olayların beklentisiyle, zemin sıvılaşma potansiyeline ilişkin bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Sıvılaşma duyarlılığını ortaya çıkarmayı amaçlayan analizde, hem hesaplama hem de maliyet açısından ekonomik avantajları olması nedeniyle Standart Penetrasyon Testi (SPT) verileri kullanılmıştır. Sıvılaşma potansiyeline ilişkin olarak 155 sondaj kuyusundan elde edilen veriler, sismik ölçümler ve gözlem çukurlarından yararlanılarak kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Jeolojik harita, GTCO-Accutab sayısallaştırıcı kullanılarak sayısallaştırılmış, çalışmanın hedefleriyle uyumlu hale getirilmiş ve farklı uygulamalar için haritaların oluşturulmasına öncülük edilmiştir. Şehir merkezindeki yeraltı suyu seviyesinin maksimum 10 metreyi aşmadığı tespit edilmiştir. Zeminlerin çakıllı, kumlu, kil ve siltten oluştuğu görülmüştür. İncelenen bölgeden alüvyondaki sondaj profillerinde siltli kum seviyelerin varlığı ve bunun yanında yeraltı su seviyesinin 1-10 m derinliklerde bulunmasından kaynaklı olarak analizler sonucunda sıvılaşma açısından uygun ortamlar olduğu tespit edilmiştir. Havza içerisinde altı farklı bölgede olası deprem bölgesinde $M_w=6.3$ büyüklüğünde bir depremle inceleme alanında hesaplamalar yapılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır ve sıvılaşma potansiyeli haritaları oluşturulmuştur. Bazı sondajlar da sıvılaşma potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır (Çelik, 2003).

Koç Gölçük ve çevresinde depremden kaynaklı sıvılaşma potansiyelini incelemiştir. Gölçük Belediyesi'nden almış olduğu 39 adet sondaj verisine, zemin etüt raporlarına ve laboratuvar deneylerine bağlı olarak kohezyonsuz zeminler için sıvılaşma potansiyeli analizlerinde Seed ve Idriss (1971)'in geliştirmiş olduğu Standart sıvılaşma yöntemini kullanmıştır. Sıvılaşma analizleri LiquefyPro (CivilTech 2002) programı ile yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda 39 sondajdan 20 tanesinde sıvılaşma potansiyeli olabileceği tespit edilmiştir. Sıvılaşmadan kaynaklı olarak zeminlerde 1.41 cm ile 35.05 cm

aralığında oturma gerçekleşebileceği görülmüştür. Sıvılaşma analizlerinin sonuçları ArcGIS ortamına aktarılarak ArcGIS platformunda Gölcük için özel olarak uyarlanmış ve çalışma neticesinde sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlanmıştır (Koç, 2007).

Seven Eskişehir ili Tepebaşı bölgesinde temel zemin özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile incelenmesi çalışmasında 461 adet sondajdan oluşan verileri kullanarak Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), darbe dağılımı haritaları, temel zemini haritaları, temel zemini taşıma gücü haritaları ve sıvılaşma risk haritalarını hazırlamıştır. Sıvılaşma analizi Seed ve Idriss (1971) ve Iwasaki (1984) sıvılaşma analizi yöntemleriyle hesaplamıştır. Haritalar CBS tabanlı MapInfo ile yapılmıştır. Bu çalışma gelecekte yapılacak imar planlarının hazırlanması ve imar planlarının güncellenmesi çalışmalarına katkı sağlayacak niteliktedir (Seven, 2008).

Özdemir ve arkadaşı Tuzla (Adana-Karataş) ilçesinde yapılması planlanan Trafik Gözetleme İstasyonu için yerleşim alanı içerisinde alüvyol zeminlerin olması nedeniyle arazi SPT verilerini kullanarak olası bir deprem durumunda zeminin sıvılaşma potansiyelini incelemiştir. $M_w=7$ büyüklüğünde bir depremle olası sonuçları incelemiştir. Çalışma bölgesinde 1.8 m de yeraltı su seviyesine rastlamışlardır. Çalışma bölgesinde bulunan etkin olan Karataş Osmaniye fayında olası bir depremde yarısının kırılması beklendiği ve böyle bir senaryo geliştirerek depremin $M_w=7$ büyüklüğünde olduğu varsayılarak SPT verileri kullanılarak LiqIT V. 4.7.3 Geologismiki yazılımı kullanılarak sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda Trafik Gözetleme İstasyonunun 60 m yüksekliğinde bir kule olduğu düşünülerek sıvılaşma analizleri sonucunda da yüksek dereceli sıvılaşma beklendiğinden dolayı sıvılaşmadan kaynaklı olarak zeminde oturmalarda gerçekleşebileceği sonucuna varılmıştır. Oturmalarından kaynaklı kulenin zarar alması kaçılmaz olduğu düşünüldüğünde yapım aşamasından önce zemin iyileştirmesi yapılması tavsiye edilmiştir (Özdemir vd., 2011).

Gülerce ve arkadaşları Van ilinde 2011 yılında $M_w=7.2$ büyüklüğünde gerçekleşen deprem sonucunda yapılarda sıvılaşmadan dolayı ciddi hasar olduğunu tespit etmişlerdir. Şev kaymaları, çatlaklar, kum konileri ve yanal ötelenmeler şeklinde hasarlar görülmüştür. Belirli coğrafi bölgelerde elek analizi yapıldıktan sonra, tane

dağılım eğrilerinin sıvılaşma potansiyeline sahip zeminlerin göstergesi olan tane dağılım eğrileriyle ilişkili spektrum içinde kaldığı görülmüştür (Gülerce vd., 2011).

Yürekli Aydın ili Nazilli ilçesindeki zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla 1.5 metrelik düzenli aralıklarla Standart Penetrasyon Testi (SPT) için toplam 110 tane sondaj kuyusu açmıştır. Daha sonra, zeminlerden elde etmiş olduğu SPT-N değerlerini kullanarak Youd ve ark. (2001) tarafından güncelleştirilerek son haliyle sunulan yöntemle sıvılaşma analizlerini gerçekleştirmiş ve bu analiz çalışmalarının bir sonucu olarak sıvılaşma potansiyel indeksi haritalarını ArcGIS 9.3.1 versiyonu ile hazırlamıştır (Yürekli, 2012).

Duman Erzincan ili çevresindeki sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek amacıyla bu çalışmayı gerçekleştirmiştir. Erzincan ilinin Kuzey Anadolu Fay hattına yakınlığından ve potansiyel sismik olaylara karşı herhangi bir olası depremde etkilenebileceğinden bu kapsamda bir çalışma yapılmıştır. $M_w=6$, $M_w=6.5$, $M_w=7$, $M_w=7.5$ deprem büyüklüklerinde senaryolar hazırlanarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. SPT verileri dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Zemin numunelerinin fiziksel özelliklerini belirlemek için teste tabi tutulduğu 63 sondaj kuyusundan elde edilen veriler kullanılarak bir çalışma yürütülmüştür. Sıvılaşma analizleri MATLAB programlama çerçevesinde geliştirilen özel bir program kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler bu özel program aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve farklı büyüklükteki deprem olaylarına karşılık gelen sıvılaşma potansiyeli haritaları oluşturulmuştur. Çalışmalar sonucunda kumlu siltli zeminlerde yeraltı suyuyla birlikte bölgenin sismik özelliklerinden kaynaklı olarak sıvılaşma potansiyelinin artacağı görülmüştür (Duman, 2013).

Alpaslan deprem nedeniyle zeminin sıvı gibi davranış gösterdiği ve yerleşim yerlerinde sıvılaşma görülmesiyle yapıların olumsuz yönde etkileneceği ve ciddi hasarlar alacağı kaçınılmaz olduğu belirtmiştir. Çalışmasında sıvılaşmanın mekanizmasını ve zemin sıvılaşma potansiyelini incelemiştir. Son zamanlarda sıvılaşma hesaplamalarında Standart Penetrasyon (SPT) ve S dalga hızlarının arasındaki ilişkilerin belirlenmesinin oldukça önem kazandığı tespitinde bulunmuştur (Alpaslan,2013).

Demir Bursa ili Gürsu ilçesindeki toprakların jeolojik özelliklerinden yararlanılarak, 131 tane zemin raporunu içeren ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanarak kapsamlı bir veri tabanı oluşturmuştur. Zemin özelliklerindeki değişiklikleri tanımlamak amacıyla

yükseklik, bitkisel toprak derinliği, eğim, yeraltı suyu seviyesi, yeraltı suyu yüksekliği, birleşik zemin sınıflandırma sistemine dayalı zemin türü, Standart Penetrasyon Testi (SPT), enine dalga hızı (V_s), boyuna dalga hızı (V_p) ve sismik hız oranı (V_p/V_s) dijital gösterimlerini kapsayan jeo-mühendislik haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışma, uygun maliyetli arazi kullanım planlaması için değerli ön bilgiler sunarak önemli bir katkı sağlamaktadır (Demir, 2013).

Esin Türkiye Deprem Tehlike haritasına göre deprem riski yüksek olan Balıkesir ili için 97 adet sondaj verisine ve zemin etüt raporlarına dayanarak veri tabanı oluşturmuş ve ESRI ArcGIS (Ver. 10.2.1.) programı ve Coğrafi Bilgi Sistemini kullanılarak analizlerde bulunmuştur. Youd vd. (2001)' ne göre Novalig Ver. 2.53'den yararlanılarak sıvılaşma analizlerini yapmıştır. Farklı derinliklerde yeraltı su seviyesi, eğim, düzeltilmiş SPT haritaları hazırlamıştır. Sonra $M_w=7.2$ deprem büyüklüğü ve en büyük deprem ivmesinin 0.37g ye eşit olduğu bir deprem senaryosuyla sıvılaşma haritası oluşturmuş ve Burhaniye ilçesinin sıvılaşma ihtimalinin yüksek olduğu sonucuna varmıştır. Burhaniye bölgesinde YASS'ın 2 m den az yüzeyde bulunmakta olduğu ve alüvyonlu zeminlerin hakim olduğu bölgelerde genellikle kumlu zeminlerin bulunduğu sonucuna varmıştır (Esin, 2015).

Çaltılı Edirne ili ve çevresinin sıvılaşma potansiyelini incelemiştir. SPT verilerini ve laboratuvar verilerini kullanarak sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir. 77 adet sondaj kuyusu açılarak ve Standart Penetrasyon deneyi (SPT) yapılmış ve zemin numunelerin üzerinde deneyler yapılarak zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Idriss ve Boulanger'in 2008-2010 yılında yapmış oldukları çalışma baz alınarak bu yöntemi kullanan LigSVs programıyla analizler yapılmıştır. Araştırmanın son aşamasında, artan sismik aktivitenin ve odak derinliğinin sıvılaşma potansiyeli üzerindeki etkisini incelemek için çeşitli deprem büyüklükleri dikkate alınarak bir değerlendirme yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda bölge bölge sıvılaşma sonuçları değerlendirme sonucunda belirtilmiştir (Çaltılı, 2017).

Alkan Bilecik ve bazı ilçelerinde özellikle yerleşim yerlerinin 150 km yarıçapında bulunan önemli sismik kaynakları ve bunların jeolojik ve geometrik yapıları bulunarak her birinin magnütük büyüklükleri ve anakayadan oluşturacağı maksimum pik anakaya ivmelerini deterministik yöntemle hesaplamıştır. 2018 TBDY uygun olarak kayma hız

dalgası ve Standart penetrasyon arazi deneylerine bağlı olarak hazırlamış olduğu excel tablosuyla belirli sayıdaki verilerle sıvılaşma analizleri yapmıştır. Ayrıca DEEPSOIL programı ile zeminin ivme büyütme değerlerinin hesaplaması yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Bilecik ilinde yeraltı su seviyesi yüksek olmakla birlikte kumlu siltli zeminlerde sıvılaşma olma ihtimali olduğu, bölgenin kayalık ve killi zeminlerinde sıvılaşma ihtimali olmadığı sonucuna varılmıştır (Alkan,2022).

Özdin Sakarya ili Geyve ilçesinde 290 adet sondaj için zemin etüt raporlarından yararlanarak TBDY 2018'e göre sıvılaşma hesaplamaları yapmıştır. Analizler sonucunda verileri coğrafi bilgi sistemi (CBS) haritalama uygulamalarında MapInfo programına aktarıp zemin sınıfı, dzeltimiş SPT-N (SPTN*), su muhtevası, ince dane içeriği, likit limit ve plastik limit, yeraltı su seviyesi (YASS) ve zemin sıvılaşması haritaları yapılmıştır. Bunun sonucunda sıvılaşma haritalarına bakarak birkaç küçük alan dışında sıvılaşma olmadığı kanısına ulaşılmıştır. Gazisleymanpaşa, Orhaniye ve Alifuatpaşa mahallelerinde 7.5 m derinliğe kadar sıvılaşma riskinin büyük olduğu alanlara ulaşmıştır. İlçe merkezinin olduğu bu alanlarda yoğun bir imarlaşma bulunduğundan gerekli zemin iyileştirmeleri yapılarak yapılaşma sağlanması gerektiği tavsiyesinde bulunulmuştur (zdin, 2023).

BÖLÜM 2. İLÇENİN KONUM, İKLİM, BİTKİ ÖRTÜSÜ, JEOLJİSİ VE TEKTONİĞİ

2.1. Konum

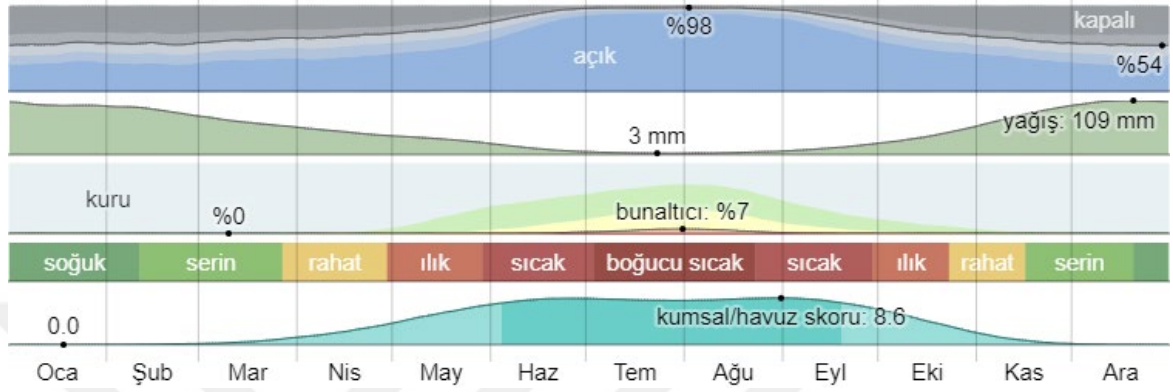
Türkiye'nin batı tarafında Ege Bölgesi'nde bulunan Nazilli, Aydın ilinin en kalabalık ikinci ilçesi olma özelliğine sahiptir. Bu tarihi öneme sahip antik yerleşim, Ege Bölgesi'ndeki en eski yerleşim yerlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Aydın ilçelerinde güneyde Bozdoğan, güneydoğuda Karacasu, batıda Sultanhisar ve doğuda Kuyucak ilçeleriyle kuzeyde de İzmir'in Kiraz ve Beydağ ile Manisa'nın Sarıgöl ve Alaşehir ilçeleriyle komşudur. İl merkezine uzaklığı 45 km civarındadır. Enlem ve boylam koordinatları sırasıyla 37.910757 - 28.328499' dur. İlçenin yüzölçümü 691 kilometrekare ve deniz seviyesinden yüksekliği yani rakımı yaklaşık 80 m' dir (Url-1; Url-2; Url-3).



Şekil 2.1: Aydın ili ve Nazilli İlçesi lokasyon haritası

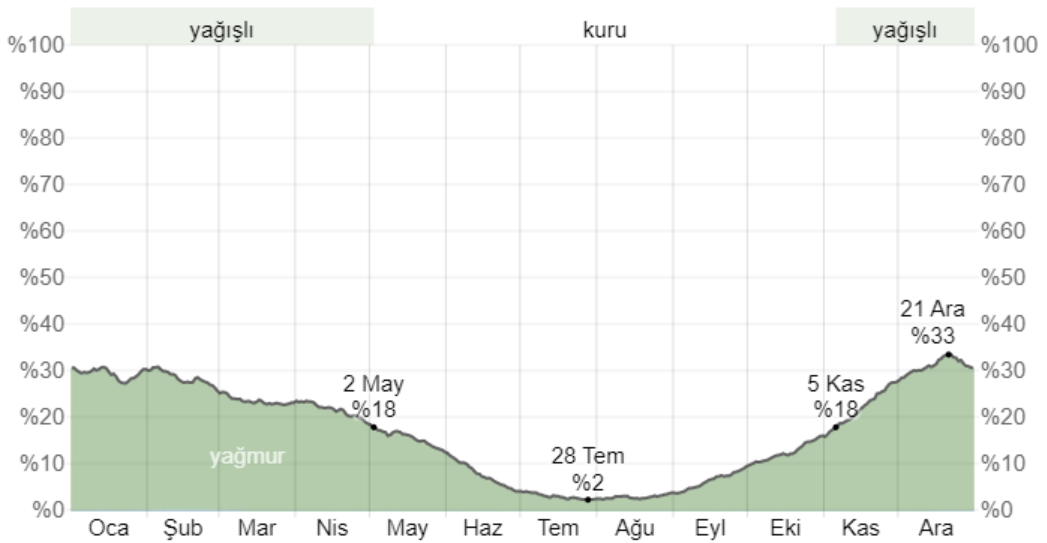
2.2. İklim

Nazilli, kışları ılık, yağışlı ve bulutlu, yazları ise ılık ve kurak geçen Akdeniz iklimine sahiptir. Bölgedeki sıcaklık dalgalanmaları yılın tamamında 3°C ila 36°C arasında değişmektedir (Url-5).



Şekil 2.2: Aydın İli Nazilli İlçesinde aylık hava durumu

Şekil 2.3' de görüldüğü gibi en çok yağış aralık ayında görülmektedir. En bulutlu ay Aralık ayı olup bu ay boyunca gökyüzü %45 oranında kapalıdır ve genellikle bulutlu olmaktadır. En yaygın yağış yağmur olarak görülmektedir. Yılın yağmursuz dönemi 14 Haziran tarihinde başlayarak 14 Eylül'e kadar 3 ay boyunca devam etmektedir. En yağışsız ay Temmuz ayıdır. Kurak geçen zaman 2 Mayısla başlayıp 5 Kasım'a kadar devam etmektedir. 21 Aralık tarihinde genellikle en çok miktarda yağmur görülmektedir (Url-5).



Şekil 2.3: Aydın İli Nazilli İlçesinde günlük yağış ihtimali

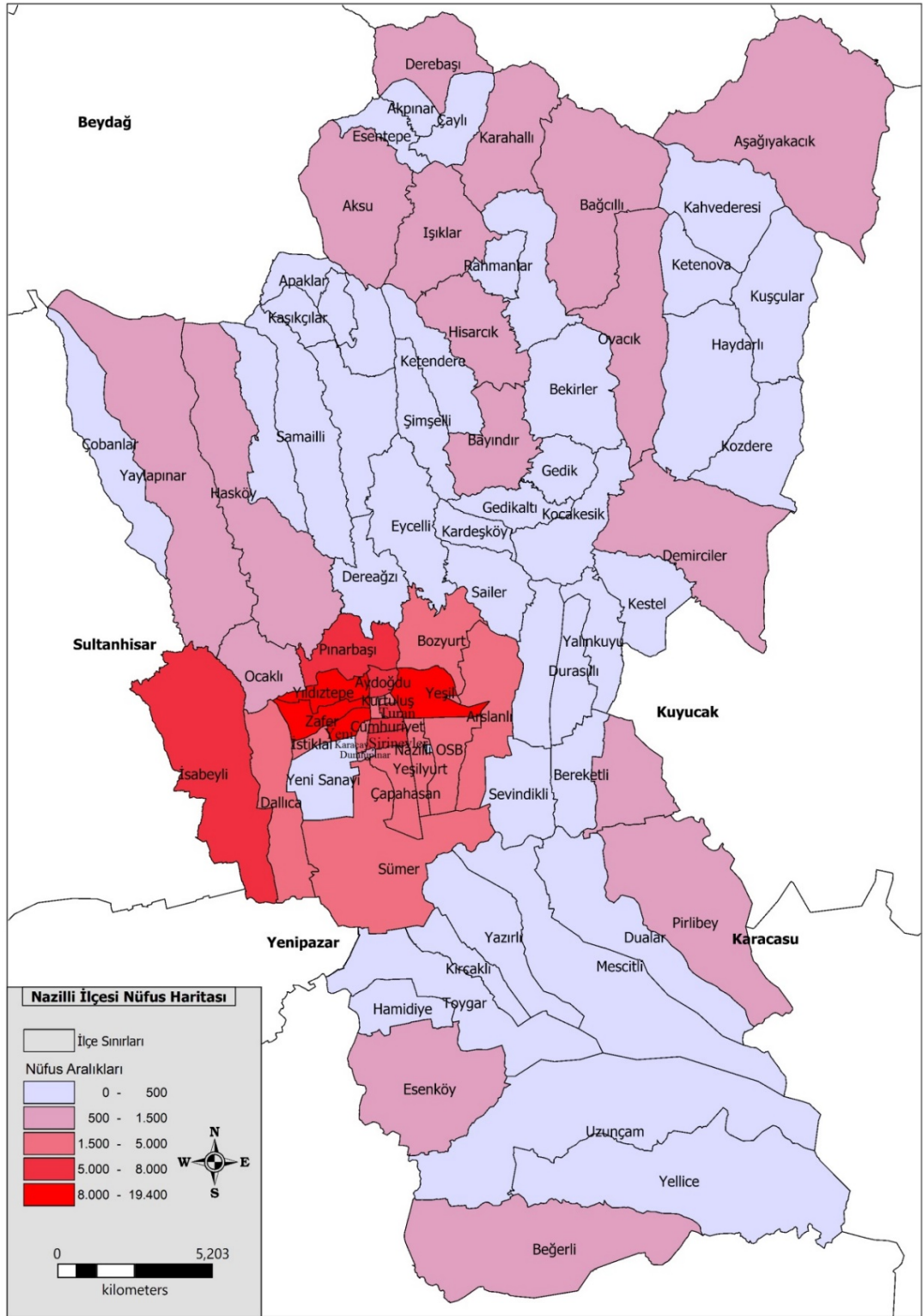
2.3. Bitki Örtüsü

Aydın ilinde Akdeniz iklim özellikleri görülmektedir. Aydın ilinin toprakları %30 oranında ormanlıktır. Yüksek kesimlerde palamut meşesi, karaçam, sedir ağaçları, fıstık çamları, meşe ağaçları görülmektedir. Genellikle zeytin ağaçları, incir, menengiç, narenciye, şeftali, erik, elma vb. birçok ağaç bulunmaktadır. Verimli topraklarından dolayı nüfusun çoğu kesimi tarımla uğraşmaktadır. Zeytincilik ve yağ sanayi önemli bir yer tutmaktadır. Aynı şekilde incir de bölgedeki tarımsal ürünlerden biridir. Nazilli'deki tarımsal ürün ve bitki çeşitliliği, hakim iklim koşullarına, su kaynaklarının mevcudiyetine ve toprağın doğal özelliklerine bağlanmaktadır. Neredeyse iklim özelliklerinden kaynaklı çay ve birkaç bitki haricinde Türkiye'deki birçok ürün Nazilli'de yetişebilmektedir. Nazilli'nin dağ köylerinde zeytin, incir, kestanenin en iyisi yetişmekte ve ovasında da pamuk, mısır ve yonca üretilmektedir (Url-3; Url-6).

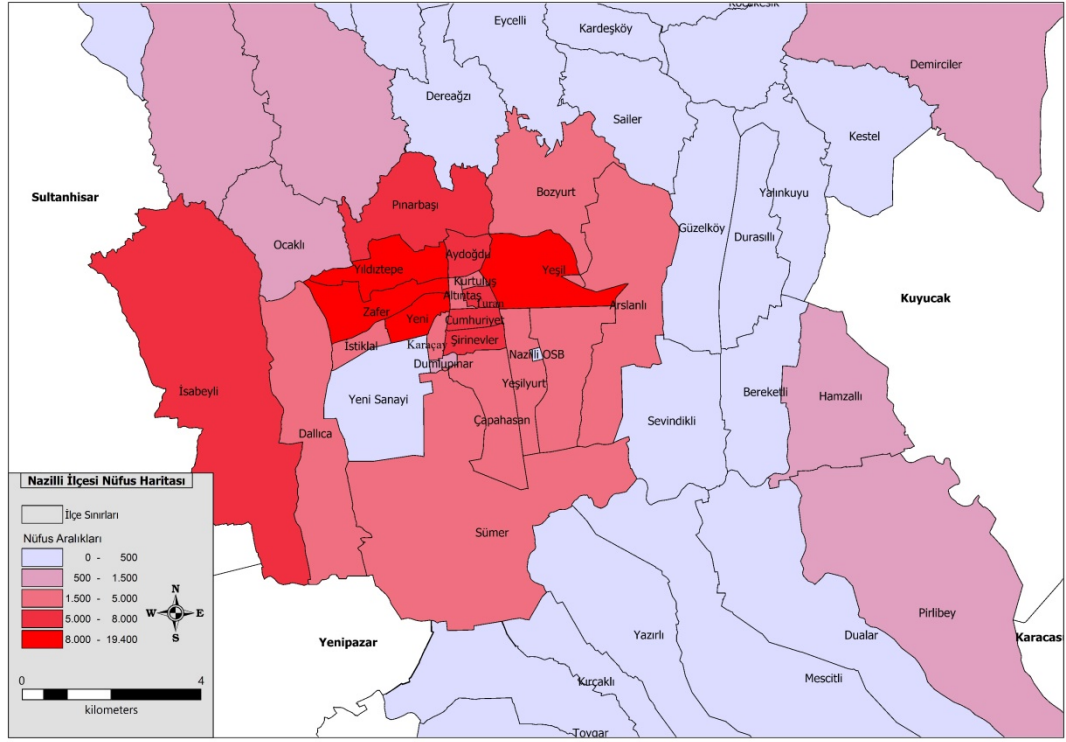
2.4. Nüfus

Aydın ili Nazilli ilçesi 2023 nüfus sayımına göre nüfusu 162074'dür. Nüfusun %85'i Nazilli ilçesinin merkez mahallelerinde yaşamaktadır. Buda Nazilli'nin Aydın'ın en kalabalık 2. ilçesi olması sebebiyle önde gelen ilçelerinden biri olma konumunu pekiştirmektedir (Url-11).

Şekil 2.4 ve Şekil 2.5' de görüldüğü gibi Nazilli ilçesinin nüfusu ilçe merkezinde yoğunlaşmaktadır. Nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu mahalleler Yıldıztepe, Yeşil, Zafer, Yeni, İsabeyli, Cumhuriyet, Aydoğdu, Turan, Şirinevler, Pınarbaşı, Prof. Muammer Aksoy, Çapahasan, Karaçay, Kurtuluş, Dallica, Sümer, Yeşilyurt, Altıntaş, İstiklal, Bozyurt, Arslanlı, Dumlupınar, Yeni Sanayi' dir. Tez çalışmasındaki hesaplamalarda kullanılan sondaj verileri de ağırlıklı olarak bu mahallerden alınmıştır. Bu mahallelerdeki nüfus Nazilli ilçesinin nüfusunun yaklaşık %85' ine denk gelmektedir.



Şekil 2.4: Nazilli İlçesi Nüfus Haritası



Şekil 2.5: Nazilli İlçesi Nüfus Haritası yakın plan görüntüsü

2.5. Nazilli İlçesi Hidrojeolojisi

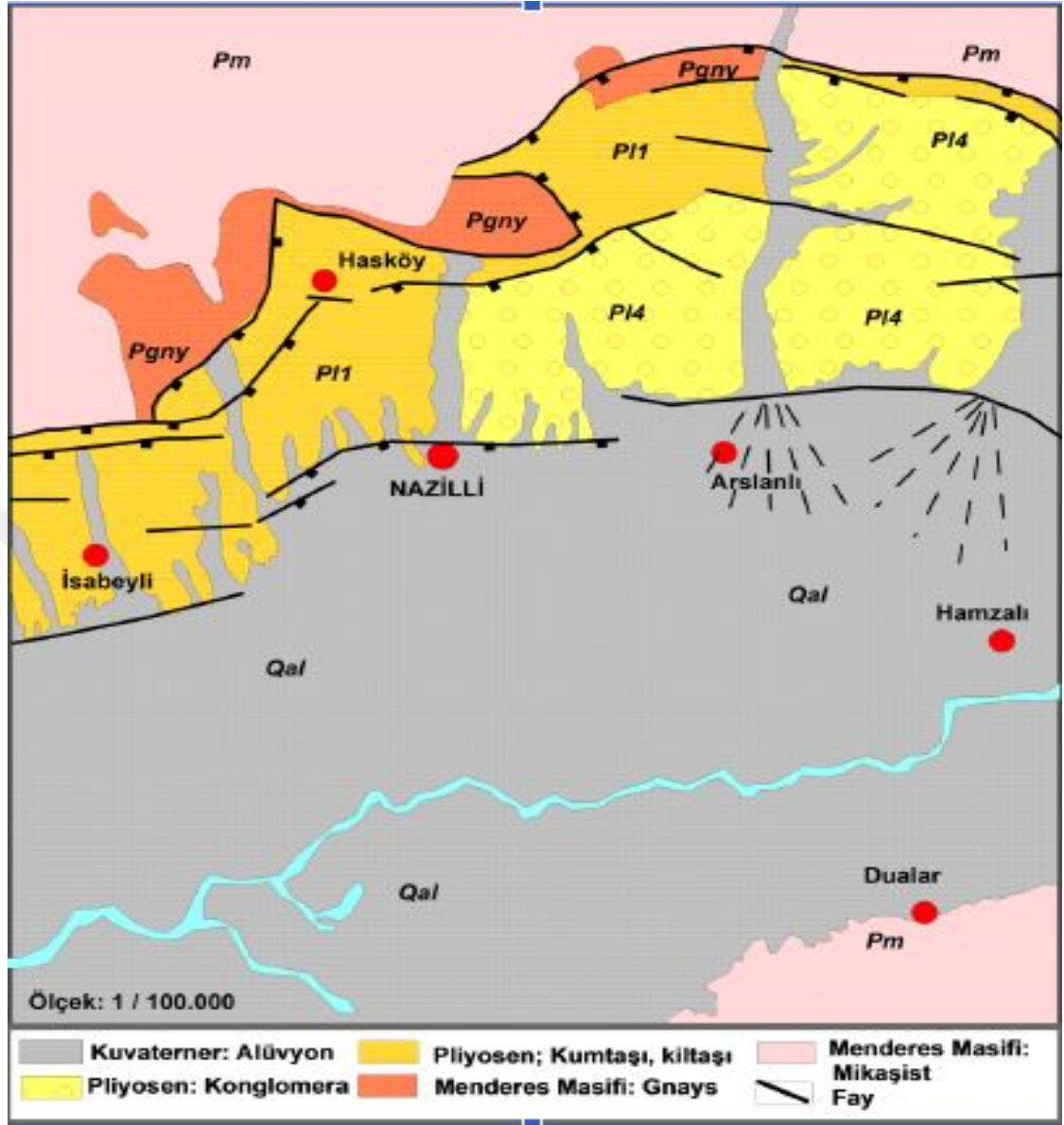
Aydın ilinin Nazilli ilçesini kapsayan çalışma bölgesinde, kuzeydeki dağlık alanlardan havzaya doğru akan kesintisiz bir su kaynağı bulunmaktadır. Ovaya sürekli su sağlanması, Büyük Menderes Nehri'nin havzadan geçmesi sayesinde kolaylaşmaktadır. Ayrıca, Büyük Menderes Nehri'nin beslenmesine katkıda bulunan önemli nehir kaynakları arasında İsabeyli Çayı, Dereköy Çayı, Dalıca-Gereniz Çayı ve Mergen Çayları yer almaktadır. İlçe sınırları içinde doğan bu akarsular Büyük Menderes Nehri'ne dökülmekte ve nehrin debisini arttırmaktadır (Url-4).

Yeraltı su seviyesi yağış miktarına ve havaların sıcaklığına bağlı olarak mevsimsel olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bazı yıllarda yağış miktarının fazla olmasına bağlı olarak YASS seviyesinde yükselme görülebilmektedir. Nazilli ilçesi içinde kış ve ilkbahar aylarında yağış miktarı fazla olmasına bağlı olarak yeraltı su seviyesi yükselmektedir. Yaz aylarında yağış olmaması ve sıcakların fazla olması sebebiyle suyun buharlaşmasına bağlı olarak yeraltı su seviyesinde azalma gerçekleşmektedir. İlkbahar ve sonbahar aylarında yeraltı su seviyesinde 2 m gibi bir değişim olduğu belirtilmiştir (Birand, 1950).

2.6. Jeolojisi

Aydın ili Nazilli ilçesi jeoloji yapısı iri çakıl, kum, silt ve killi birimlerden oluşan Kuvaterner yaşlı taraça (seki) çökelleri, az pekleşmiş ve düşük dayanımlı çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, silttaşı ve marm aralanmasından oluşan Pliyo-Kuvaterner yaşlı Asartepe formasyonu, gevşek, kaba çakıl, kum, kil ve siltli birimlerden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyal yelpaze çökelleri ve gevşek, suya doymuş ince kum, kil ve siltli birimlerden oluşan Menderes Nehri'ne ait olan Holosen yaşlı taşkın ovası-bataklık çökelleri olmak üzere 4 ayrı birimden oluşmaktadır (Yürekli, 2012).

Yıldıztepe, Arslanlı ve Pınarbaşı mahallelerinde görülen Asartepe Formasyonu koyu kahverengi ile açık sarı arasında değişen çamurtaşı, çakıltaşı ve kumtaşı ile karakterize edilir. Çakıl taşı ile ilişkili çakıllar kaba ve blok benzeri bir konfigürasyon sergilerken, daha yüksek kotlarda kaba çakıllar ve kumlar yaygındır. Vadi kenarları boyunca yer alan ve Hamalı ile Kuru dereleri ve Dereköy Çayı yataklarında askıda kalan Kuvaterner yaşlı taraça çökelleri, genellikle iyi derecelenmiş çakıl seviyeleri sergilemektedir. Nazilli ilçesi ağırlıklı olarak Hamalı, Hasköy, Mastavra, Kuru, Dereköy ve Mergen dereleri aracılığıyla dağlık alanlardan ovalara taşınan malzemelerin oluşturduğu Kuvaterner yaşlı alüvyal yelpaze çökellerine sahiptir. Bu çökelti ovalarda geniş alüvyon yelpazelerine yol açmış, kalınlık artışı düşey çökmeye neden olan düşey bindirme faylarına bağlanmıştır. Sonuç olarak, bu alanlarda silt, kil, kaba çakıl ve kum birimler yaygındır. Aydın-Denizli yolunun güney bölgesinden Büyük Menderes Nehri'ne kadar uzanan taşlık düzlükler, ağırlıklı olarak Holosen dönemi taşkın yatağı ve bataklık çökelleri ile karakterize olup, suya doymuş ince taneli kum, silt ve kil birimleri içermektedir. Sümer gibi mahalleleri kapsayan Aşağı Nazilli tanımlanan bölgeler içerisinde bu oluşumların üzerinde yer almaktadır (Yürekli, 2012).

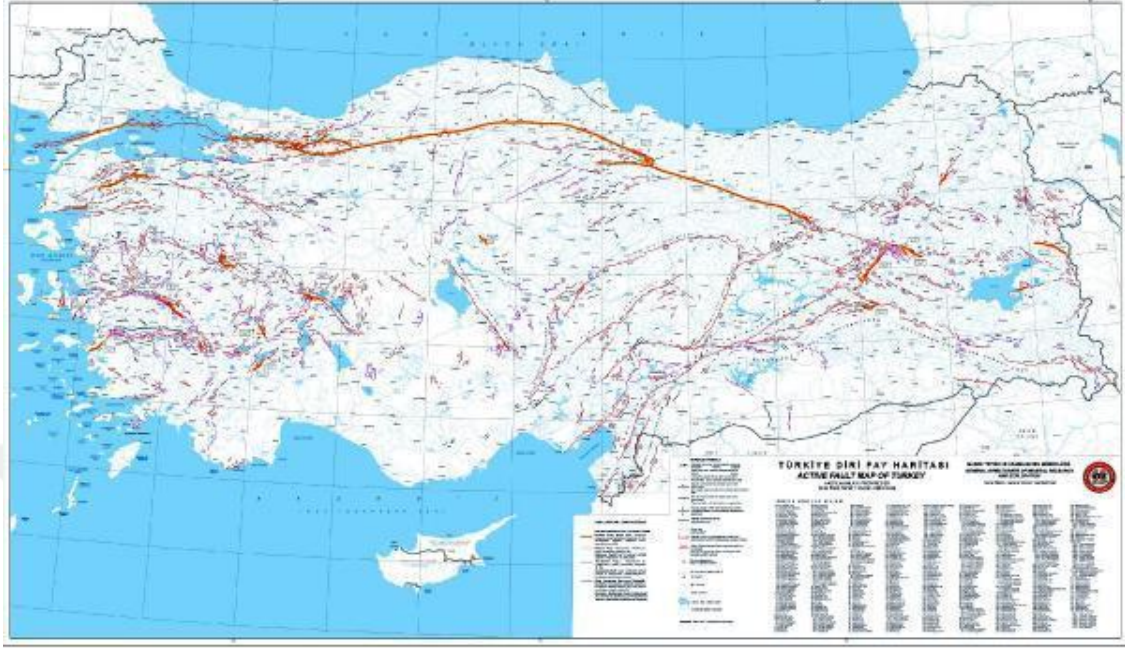


Şekil 2.6: İsabeyli-Nazilli arasında kalan bölgenin jeoloji haritası (DSİ 1975; Demirtaş vd., 2011)

2.7. Türkiye'nin Tektoniği

Türkiye, jeolojik konumu sebebiyle dünya üzerindeki en aktif deprem bölgelerinden birisidir. Dünyanın litosferi hareket halindeki dev levhalardan meydana gelmektedir. Türkiye, iki ana tektonik levhanın Anadolu Levhası ve Arabistan Levhası sınırları arasında yer almaktadır. Ayrıca Türkiye'nin kuzeyini ve güneyini sarmakta olan büyük tektonik hatlar bulunmaktadır. Bunlar Doğu Anadolu Fay Hattı (DAFH) ve Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAFH) dır (Url-7; Url-8).

gözlennmekte ve bu da onu bölgedeki dinamik olarak en aktif fay haline getirmektedir (Url-7).



Şekil 2.8: Türkiye Diri Fay Haritası

2.8. Aydın İli ve Nazilli İlçesi Tektoniği

Türkiye üç önemli fay hattının üzerinde yer almaktadır: Doğu Anadolu Fay Hattı, Kuzey Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay Hattıdır. Ayrıca Aydın ili, Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda da belirtildiği üzere, yüksek sismik tehlikeye sahip bir alan olarak tanımlanmaktadır (Url-7).

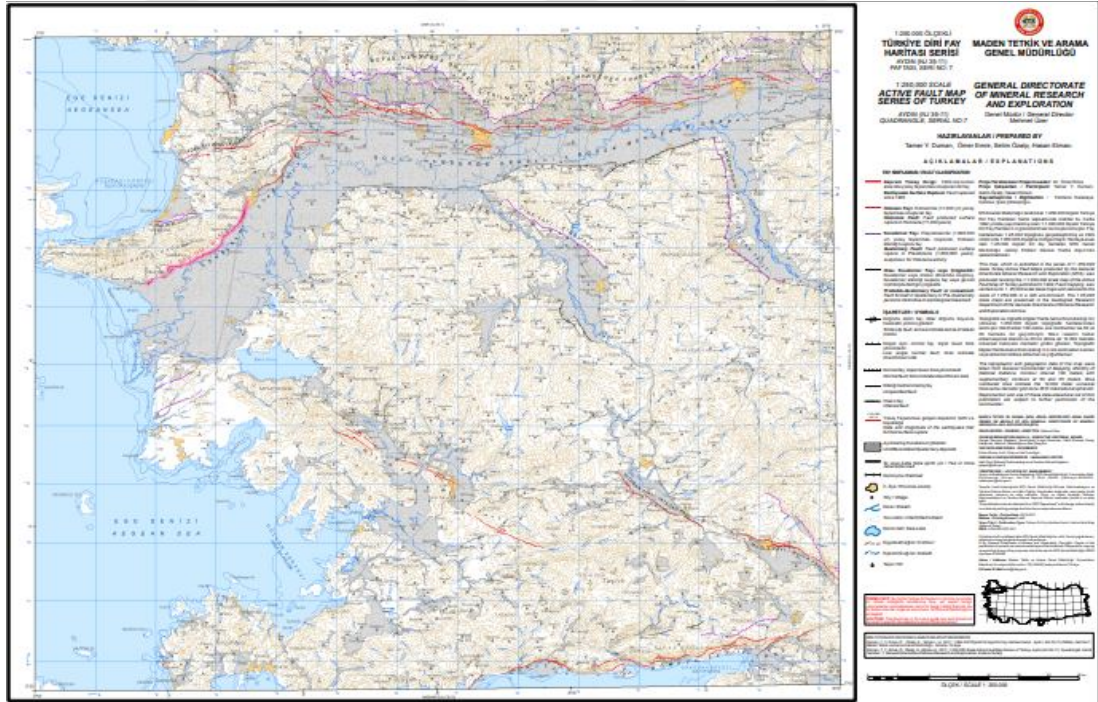
Aydın ili jeolojik yönden Ege Genişleme Sistemini meydana getiren normal fayların bol olduğu bir coğrafyada bulunmaktadır. Aydın ili her iki tarafı da diri olan faylar ile sınırlı olmakla birlikte Büyük Menderes Grabeni ile bilinen çöküntü ovasının kuzey kenarında bulunmaktadır. Aydın'ın kuzeyinde, eski kaya oluşumları ile daha yeni kaya tabakaları ve alüvyon birikintileri arasında yer alan, farklı eğim açılarıyla karakterize edilen belirgin faylar bulunmaktadır. Özellikle Aydın şehir merkezini de kapsayan ve Bozdoğan, Germencik, Nazilli, Köşk, Söke, Sultanhisar ve Kuşadası gibi kent merkezleri aktif olan fay hatlarında ve deprem tehlikesi olan bölgelerde bulunmaktadır(Jeoloji Mühendisleri Odası - Aydın'ın Depremselliği Aydın Raporu-4).

Doğu ve batı yönlü normal faylarla sınırlandırılmış çok sayıda bloktan oluşan Ege Çöküntü Sistemi Nazilli ve çevresini kapsamaktadır. (Demirtaş vd., 1996).

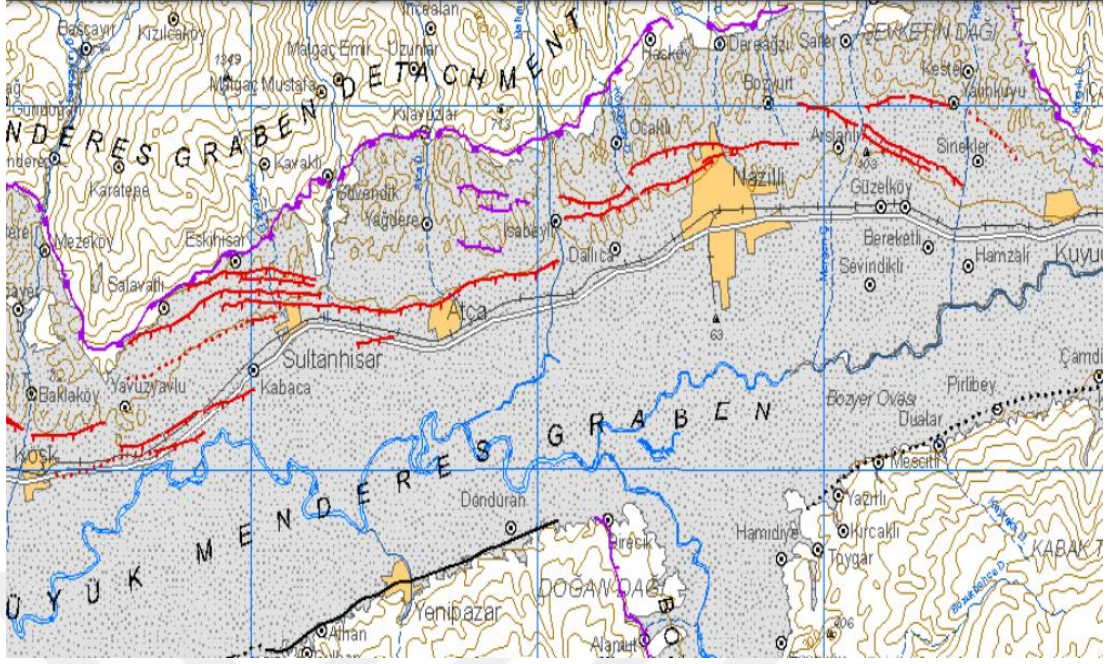
Büyük Menderes grabeni boyunca yapılan paleosismolojik ve arkeosismolojik çalışmalar ile jeolojik ve morfolojik gözlemler, grabenin kuzey kenarında bu doğrultuda aktif olarak faylanmaya rastlanan veriler sunmaktadır (Altunel vd., 2006).

Aydın'ın doğu çevresinden Denizli'ye doğru uzanan Büyük Menderes grabeninde kuzey-güney ve doğu-batı doğrultulu fay setleri oluşmuştur. Kuzey ve güney doğrultulu olanlar Nazilli'nin kuzeyinde, Kuyucak'ın batısında ve Kılavuzlar ile Atça arasında yer almaktadır (Eravcı, 2006).

Aydın ili Nazilli ilçesi Türkiye Deprem Tehlike haritasına göre deprem riski yüksek olan ve özellikle ova kesimlerinde alüvyal zeminlerin bulunması sebebiyle deprem anında sıvılaşmadan kaynaklı olarak da yapılarda ve ilçemizde ciddi maddi ve insani zararlarla karşılaşma durumu olma ihtimali görülebilmektedir. Diri fay hatları da Nazilli'yi kapsayacak şekilde Şekil 2.9 ve Şekil 2.10' da görülmektedir.



Şekil 2.9: Türkiye Diri Fay Haritası Aydın İli



Şekil 2.10: Türkiye Diri Fay Haritası Aydın İli Nazilli İlçesi

2.9. Bölgede Tarihsel Dönemde ve Aletsel Dönemde Olmuş Hasar Yapıcı Depremler

Aydın ilinin Nazilli ilçesi, Türkiye Deprem Tehlike haritasına göre deprem riski yüksek olan yerlerdendir. Hem tarihsel hem de aletsel dönemler boyunca, Nazilli'yi de içine alan geniş bölgede önemli hasara yol açan önemli sismik olaylar yaşanmıştır.

1895 yılında Aydın'da meydana gelen ve VIII şiddetinde olduğu tahmin edilen bir deprem ciddi yapısal hasara yol açmıştır. Can kaybının nispeten az olması, depremin Ağustos ayında meydana gelmesinden olabileceği düşünülmektedir. Bunu takiben, 20 Eylül 1899'da Büyük Menderes vadisini $M_w=6.9$ büyüklüğünde yıkıcı bir deprem vurmuş ve Büyük Menderes Grabeni'nde bir yüzyıl içinde meydana gelen en yıkıcı sismik olay olduğu belirtilmiştir. Vilayet tarafından 26 Eylül'de 1899 Menderes Depremi'nin ardından yaşananları detaylandıran resmi bir rapor titizlikle hazırlanmıştır. Rapora göre sadece Aydın'da 350 ev ve 6 cami yıkılmış, 26 kişi ölmüş ve 11 kişi yaralanmıştır. Sultanhisar, Atça, Köşk ve Nazilli gibi ilçelerde 2052 ev, cami ve kilise yıkılırken, Kuyucak ve Ortakçı'da bu türden 2931 yapı yok olmuştur. Sarayköy de 727 evden 720'sinin yıkıldığı önemli bir yıkım yaşamıştır. Rapor sonucunda toplam 12.932 hanenin yıkıldığını, 724 kişinin enkaz altında kalarak hayatını kaybettiğini ve 738

kişinin de yaralandığını göstermektedir. Yetkililer ölüm oranının nispeten düşük olmasını mevsimsel faktörlere bağlayarak, sıcak hava ve devam eden incir toplama sezonu nedeniyle insanların dışarıda ya da üzüm bağlarında yattıklarından olduğu düşünülmektedir (Güneş, 2005).

1900'den günümüze uzanan aletsel dönem boyunca, Nazilli bölgesini merkez alan 50 kilometrelik bir yarıçap içinde büyüklüğü $M_w=4$ ve üzeri olan toplam 53 deprem kaydedilmiştir (Özpınar, 2019).



BÖLÜM 3. SIVILAŞMA

3.1. Sıvılaşmanın Tanımı

Güçlü sismik faaliyetlerin neden olduğu döngüsel gerilmeler altında zeminin sıvılaşmaya yatkın olmasından ve zeminin sıvılaşması neticesinden dolayı, depremler dünyada ve ülkemizde telafisi zor olan hatta bazı zamanlar da telafisi mümkün olmayan maddi ve manevi zararlara sebep olmaktadır. Bu durum, özellikle zemin oturmalarından kaynaklı olarak önemli zararlara yol açabilmektedir. Sıvılaşma genellikle deprem gibi dinamik yükler altında, gevşek daneli zeminlerde kum ve siltli zeminlerde görülmektedir.

Bir başka deyişle deprem sebebiyle ortaya çıkan yer hareketleriyle suya doymuş gevşek zeminler sıvılaşabilmekte ve deprem titreşimleriyle zemin boşluklarında su basıncının artmasına bağlı olarak efektif zemin gerilmesi sıfırlanıp kayma mukavemeti yok olur ve bunun neticesinde zemin sıvılaşması gerçekleşebilmektedir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)' e göre YASS' ın 20 m' den yüksekte olması ve deprem etkisi altında zemin profillerinin sıvılaşma eğilimli kohezyonsuz veya düşük kohezyonlu ($PI < 12$) zeminler olan plastik olmayan silt, siltli kum, kum, çakıllı kum, silt kum karışımları şeklinde zeminlerin sarsıntı etkisiyle boşluk suyu basıncında artış ve bunun sonucunda kayma direncinde azalış olması olarak açıklanmıştır.

Mollamahmutoğlu ve Babuçcu'ya göre 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).

3.1.1. Sıvılaşma Türleri

İki çeşit sıvılaşmadan bahsedilmektedir. Bunlar akma türü sıvılaşması ve devirsel hareketlilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.1.1.1. Akma Türü Sıvılaşma

Akma sıvılaşması zemindeki statik kayma gerilmesi zeminin sabit durum dayanımından büyük olduğu zaman oluşur. Akma türü sıvılaşma neticesinde akma yenilmeleri olmaktadır. Akma türü sıvılaşma ani ve hızlı şekilde gerçekleşmektedir. Depremin bir defa tetiklemesi sonucunda statik kayma gerilmeleriyle devam ettirilmekte olan akma türü sıvılaşma iri zemin kütlelerinin büyük ölçüde yer değiştirmesi neticesinde oluşur. Akma türü sıvılaşması hafif gömülü yapıların yüzmesi, istinad yapılarında yıkılmalar ve ağır yapılarda batmalar ile devrilmeler şeklinde görülebilmektedir (Kramer, 1996).



Şekil 3.1: Akma Türü Sıvılaşma

3.1.1.2. Devirsel Hareketlilik

Devirsel hareketlilik statik kayma gerilmesinin sabit durum dayanımından daha küçük olduğu durumda, devirsel kayma gerilmesinin sabit dayanımını geçici olarak aşmasıyla gerçekleşir. Kalıcı şekil değiştirmelerine ve ciddi hasarlara neden olabilmektedir. Devirsel sıvılaşmada deprem sırasında şekil değiştirmeler adimsal olarak artmakta ve göçmelere neden olabilmektedir (Kramer, 1996).

3.1.2. Zemin Sıvılaşmasına Etki Eden Faktörler

Zemin sıvılaşmasını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Yeraltı su seviyesi, deprem süresi ve büyüklüğü, ince dane yüzdesi, zemin derinliği, zemin tipi bunlardan bazılarıdır. Sırasıyla aşağıda bunlar incelenmiştir.

3.1.2.1. Yeraltı Su Seviyesi

YASS'ın zeminde yüzeye yakın olması zemin sıvılaşmasıyla doğru orantılıdır. Genellikle yeraltı su seviyesinin zeminden 3-4 metre altında olmasına bağlı olarak deprem etkisiyle zeminde sıvılaşma beklenebilmektedir. 2018 TBDY'e göre 20 metreye kadar olan seviyelerde sıvılaşma ihtimali olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Yeraltı su seviyesinin zaman içerisinde azalıp artmasına bağlı olarak sıvılaşma olma ihtimallerinde değişiklik gözlenebilmektedir.

3.1.2.2. Deprem Büyüklüğü ve Süresi

Sıvılaşmaya sebep olan en önemli faktörlerin başında deprem gelmektedir. Sıvılaşmaya neden olan en yaygın sebep deprem sırasında açığa çıkan sismik enerjidir. Depremin büyüklüğü ve sarsıntı süresi artarsa sıvılaşma olma potansiyeli de artmaktadır. Deprem süresinin ve büyüklüğünün artması sebebiyle zeminde oluşacak deformasyonlarda artış olmakta ve bundan kaynaklı olarak da sıvılaşma potansiyelinde artış beklenmektedir. Deprem büyüklüğünün artmasına bağlı olarak sıvılaşma analizleri kısmında örnekle bu konu üzerinde durulmuştur.

Zeminde sıvılaşmanın gerçekleşmesi için gerekli kritik deprem büyüklüğü $M_w=5$ dir. Sıvılaşmasının en çok görüldüğü ve beklendiği deprem büyüklüğü aralığı da $M_w=5.5$ - $M_w=6.0$ arasında olduğu düşünülmektedir (Çavuş, 2004).

3.1.2.3. İnce Dane Yüzdesi

Zemin sıvılaşması için gerekli olan zemin özellikleri TBDY 2018' göre çakıllı-kum siltli-kum ile plastik olmayan silt ve kum ile beraber silt karışımı olan zemin özelliklerindeki zemin sınıflarında sıvılaşma aranabilmektedir. Bunun yanında kohezyonsuz ve düşük kohezyonlu zeminlerde ($PI < 12$) şeklinde olmalıdır. Böylelikle kumlu ince taneli zeminlerde sıvılaşma miktarı diğer zeminlere kıyasla daha fazla görülebilmektedir (TBDY, 2018).

3.1.2.4. Zemin Derinliği

Zemin sıvılaşmasına etki eden faktörlerden biri olan zemin derinliği TBDY 2018'de madde 16.6.2' de belirtildiği şekilde zemin sıvılaşması 20 metre derinliğe kadar olan kısımlarda aranmaktadır. Bunun en önemli sebebi de zemin sıvılaşması efektif gerilmelere bağlı olduğundan dolayı zeminin derinliği arttıkça efektif gerilmede de artış olmasından kaynaklı olarak sıvılaşma ihtimali o oranda düşük olmakta ve sıvılaşma riski azalmaktadır (TBDY, 2018).

3.1.2.5. Zemin Tipi

Sıvılaşmaya en yatkın zemin türleri kohezyonsuz (plastik olmayan) zemin türleridir. Kohezyonsuz zeminler sıvılaşmadan kaynaklı olarak direnç bakımından en az direnç gösterebilen zeminlerdir. Bundan kaynaklı sıvılaşma temiz kumlarda, plastik olmayan siltli kumlarda, plastik olmayan siltlerde ve sınırlı oranda çakıllı zeminde ortaya çıkabilir. Sıvılaşma en fazla temiz kumlu zeminlerde görülebilmektedir. Zeminde bulunan kumun yapısı gevşek ise zemin boşluklarındaki su artarak basınç oluşturacaktır ve zamanla zeminin dayanımının azalmasına sebep olabilmektedir. Böylelikle zeminde deformasyon kaçınılmaz olabilmektedir. Silt ve kumun birlikte bulunduğu zeminlerde plastisite çok fazladır. Ayrıca plastik olmayan siltler çok kolay sıvılaşabilmektedir. Killi zeminlerde plastisite değerleri ve likit limit değerleri dikkate alınmaktadır. Youd

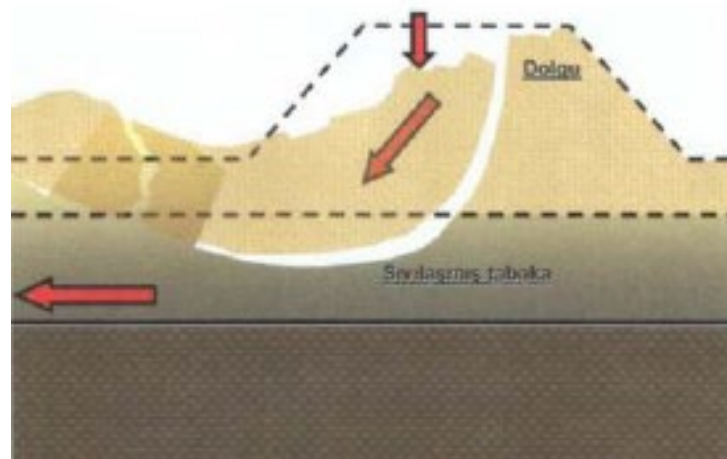
ve Gilstrap (1999) belirlemiş olduğu kriterlere göre, likit limit değerinin 35'den az olması gerekmektedir. akıllı zeminlerde ise iri taneli olduklarından dolayı gevşek halde nadir bulunmaktadırlar. akıllı zeminlerde geçirimsizlik yüksek olması sebebiyle sismik yüklemeler sırasında boşluk suyu basıncını çabuk snmleyeceğinden sıvılaşma çok beklenmemektedir (zpınar, 2019).

3.1.3. Zemin Sıvılaşmasından Dolayı Oluşan Hasar Tipleri

Deprem sonucunda sıvılaşmadan kaynaklı olarak yapısal hasarlar meydana gelmektedir. Yapılarda temel yapı etkileşimi dikkate alınmazsa ileride ciddi sorunlarla karşı karşıya kalınabilmektedir. Deprem sırasında en etkili faktörlerden olan zemin sıvılaşması ciddi hasarlara yol açabilmektedir. Akma türü ve devirsel hareketlilik olan sıvılaşma türlerinden kaynaklı olarak hasar tipleri meydana gelmektedir. Zemin sıvılaşması neticesinde akma göçmesi, kum kaynaması, taşıma gücü kaybı ve yanal yayılma hasar tipleri bunlardan bazılarıdır.

3.1.3.1. Akma Göçmesi

Arazi yapısı nedeniyle yüksek eğimlerle karakterize edilen bölgelerde zemin kütlesinin ani şev hareketlerinden kaynaklanan hasar tipleridir. Akma göçmeleri hızlı ve ani olmaları sebebiyle sıvılaşmanın neden olduğu en hasarlı gçmelerdendir.



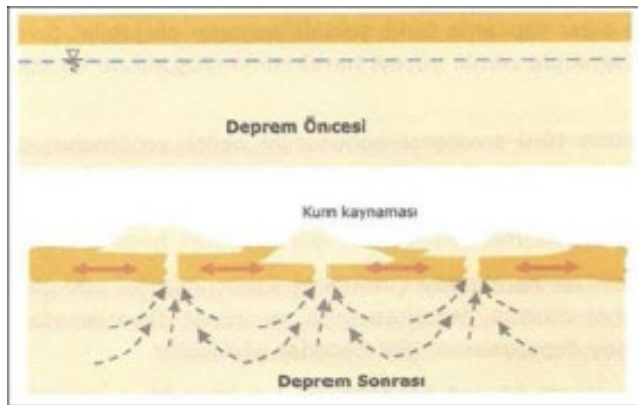
şekil 3.2: Zemin sıvılaşmasından kaynaklı akma göçmesi (Mollamahmutoğlu, 2021)



Şekil 3.3: San Francisco'daki Merced Gölü Kıyısı boyunca 1957 yılında gelişen bir akma kayması

3.1.3.2. Kum Kaynaması

Depremlerden kaynaklı olarak, zemin içindeki yeraltı suyu yüksek basınç uygulayarak efektif gerilmede bir azalmaya yol açar ve genellikle efektif gerilmenin sıfıra veya negatif değerlere düşmesine neden olur. Bu yüksek basınç, zeminin kuvvet uygulamasıyla boşluktaki suyun yüzeye doğru iletimini teşvik eder. Sonuç olarak, zemin yüzeyine doğru yukarı doğru hareketlilik meydana gelir ve sıvılaşmanın neden olduğu koni şeklinde bir birikimin oluşmasıyla sonuçlanır (Mollamahmutoğlu vd., 2006).



Şekil 3.4: Kum Kaynaması ile yüzeyde kum konileri oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu vd., 2006)



Şekil 3.5: Kartalkaya Baraj gölünün çekilmesi ile ortaya çıkan kanal çökellerinde çatlaklar boyunca gelişen kum kaynamaları (Pazarcık, Kahramanmaraş) (Üstün vd., 2023)



Şekil 3.6: İskenderun sahil şeridinde yapay dolguda bulunan Nihal Atakaş Cami avlusunda gelişen kum kaynaması (Üstün vd., 2023)

3.1.3.3. Taşıma Gücü Kaybı

Deprem neticesinde zeminlerde meydana gelen sıvılaşma neticesinde zeminlerde taşıma gücü kaybı yaşanmaktadır. Zeminde drene edilemeyen yeraltı suyunun yüzeye çıkmasıyla boşluk suyu basıncının etkisiyle zemindeki sıvılaşmanın yüzeye doğru hareketi sonucunda zeminde çökme, oturma ve yapıların yan yatması şeklinde ve yapılarda devrilme gibi hasarlar meydana gelmektedir.



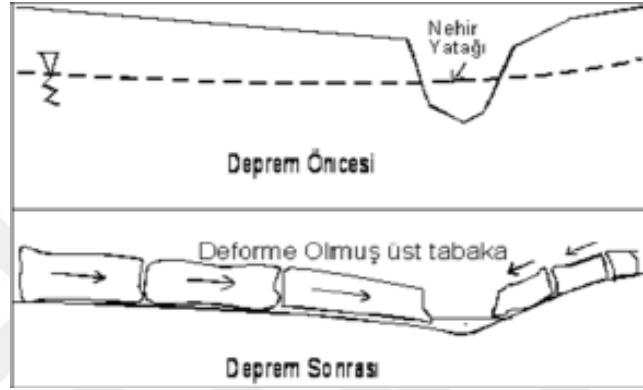
Şekil 3.7: Sıvılaşma sonucu taşıma gücünü kaybeden zeminin üzerinde bulunan binanın geriye doğru devrilmesi, (Gölbaşı, Adıyaman) (Üstün vd., 2023)



Şekil 3.8: Sıvılaşma sonucu binaların zemin içine gömülmesi (Gölbaşı, Adıyaman) (Üstün vd., 2023)

3.1.3.4. Yanal Yayılma

Deprem neticesinde sıvılaşmadan kaynaklı olarak zemin yüzeyinde bulunan yapının alt tarafındaki zeminin yatay olarak şev hareketi yapması sonucunda gerçekleşmektedir. Eğimin az olduğu yamaçlar ile kıyı ve deniz kesimlerinin düz alanlarında genellikle gerçekleşmektedir. Zemin üzerindeki yol yapısı yanıl yayılmalardan dolayı çatlamakta ve sıvılaşan zeminler ya yanıl hareket olarak yada bloklar halinde sürüklenerek hareket etmektedirler.



Şekil 3.9: Yanal yayılma oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu vd., 2006)



Şekil 3.10: Gölbaşı Gölü kenarındaki sosyal tesisin yanıl yayılma nedeniyle göl içine kayması sonucu oluşan hasar (Gölbaşı, Adıyaman) (Üstün vd., 2023)



Şekil 3.11: Asi Nehri'nde gelişen yanal yayılma nedeniyle hasar gören yol (Alaattin mahallesi, Antakya)
(Üstün vd., 2023)



Şekil 3.12: Asi Nehri'nde gelişen yanal yayılma ve sıvılaşma Hatay stadyumu doğusu (Antakya, Hatay)
(Üstün vd., 2023)

6 Şubat 2023 yılında merkez üssü Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesi ve Elbistan ilçesi olan $M_w=7.7$ ve $M_w=7.6$ büyüklüğünde gerçekleşen depremler neticesinde sıvılaşmadan kaynaklı olarak birçok yapı zarar görmüş ve telafisi çok zor ve hatta telafisi mümkün olmayan zararlarla karşılaşmıştır. Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12'de yaşanan deprem neticesinde sıvılaşmadan kaynaklı olarak oluşan hasar tipleri görülmektedir.

3.2. Hesaplama da Kullanılan Yöntem

Zemin sıvılaşmasına eğilimli zeminlerin sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek için hem saha testlerini hem de laboratuvar hesaplamalarını kapsayan çeşitli yöntemler mevcuttur. Zemin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesine yönelik önde gelen yaklaşım, 1971 yılında Seed ve Idriss'in beraberce geliştirmiş oldukları ve daha sonra ortak bir çalışma grubu (Youd vd., 2001) tarafından onaylanan bir formülasyon olan basitleştirilmiş sıvılaşma potansiyeli yöntemine dayanmaktadır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Ülkemizde halen uygulanmakta olan 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2018) belirtilen sıvılaşma risk analizi yöntemi kapsamlı bir şekilde açıklanmış ve ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında TBDY 2018 EK 16B'de açıklanan SPT deney sonuçları dikkate alınarak sıvılaşma hesabının yapıldığı yöntem kullanılmıştır.

TBDY (2018)'e göre, kohezyonsuz veya düşük kohezyona ($PI < 12$) sahip olarak sınıflandırılan siltli kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları ile çakıllı kum gibi özellikler gösteren zeminler ile yeraltı su seviyesinin 20 m'den yüksekte olmasıyla ve deprem etkisinin var olmasıyla sıvılaşma analizi yapılması gerektiği belirtilmiştir. DTS = 4 Deprem Tasarım Sınıfına giren, kil içeriği %20' yi aşan ve plastisite indeksi %10' u aşan kumlu zeminler ile ince dane içeriğinin %35' ten fazla ve düzeltilmiş Standart Penetrasyon Testi (SPT) vuruş $N_{1,60} > 20$ vuruş / 30 cm'den yüksek olduğu kumlu zeminlerde, belirtilen koşullardan herhangi birinin karşılanması halinde sıvılaşma analizi yapılmayabilir (TBDY, 2018).

Bu çalışma kapsamında sıvılaşma hesaplamaları TBDY 2018'e göre yapılmış ve analizler TBDY 2018'e uygun GeoteknikPro programıyla yapılmıştır.

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS), sıvılaşma direncinin (τ_R) zemindeki tekrarlı kayma gerilmesine (τ_{deprem}) bölünmesiyle hesaplanır (TBDY, 2018).

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

Denklemden verilen koşulun sağlanamaması durumunda sıvılaşma beklenir.

Zemin etüt raporlarından alınan ham SPT verilerinin düzeltilmesi için,

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

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

N = Arazide ölçülen SPT darbe değeri

C_N = Derinlik düzeltme katsayısı

C_R = Deney derinliği düzeltme katsayısı

C_S = Numune alıcı tipi düzeltme katsayısı

C_B = Sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı

C_E = Enerji oranı düzeltme katsayısı

Düzeltilme katsayıları için Tablo 3.1 'deki değerler kullanılacaktır.

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
	Çap 200mm	1.15
C_E	Güvenli tokmak	0.60-1.17
	Halkalı tokmak	0.45-1.00
	Otomatik Darbeli tokmak	0.90-1.60

Derinlik düzeltme katsayısı C_N aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

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

Yukarıdaki denklemde görülen düşey efektif gerilme SPT yapıldığı zaman arazi şartlarına göre değişiklik gösterdiğinden aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$\sigma_{v0} = \gamma_n * z \quad (3.4)$$

$$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_w \quad (3.5)$$

Yukarıdaki denklemlerde,

z = Derinlik

γ_n = Zeminin doğal birim hacim ağırlığıdır.

Yeraltı su seviyesi altında (YASS) olan zeminlerde γ_n yerine doymuş birim hacim ağırlık değeri (γ_{doy}) kullanılır.

u_w = Boşluk suyu basıncı

Boşluk suyu basıncı aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$u_w = \gamma_w * z \quad (3.6)$$

Düzeltilmiş SPT vuruş sayısı ($N_{1,60f}$) IDI baz alınarak aşağıdaki denklemde hesabı gösterilmiştir.

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60} \quad (3.7)$$

İnce dane içeriği düzeltme katsayıları aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\alpha = 0 ; \beta = 1 \quad (IDI < \%5) \quad (3.8.a)$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190/IDI)^2] ; \beta = 0.99 + IDI^{1.5}/1000 \quad (\%5 < IDI \leq \%35) \quad (3.8.b)$$

$$\alpha = 5 ; \beta = 1.2 \quad (IDI \geq \%35) \quad (3.8.c)$$

$M_w = 7.5$ olan depreme karşılık gelen $CRR_{M7.5}$ aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

M_w = Tasarım depremi moment büyüklüğü

$CRR_{M7.5}$ = Moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranı

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{(10 * N_{1,60f} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (3.9)$$

Tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı (C_M) aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$C_M = 10^{2.24} / M_w^{2.56} \quad (3.10)$$

Sıvılaşma direnci (τ_R) hesabı denklemi aşağıda gösterilmiştir.

$$\tau_R = CRR_{M7.5} * C_M * \sigma'_{v0} \quad (3.11)$$

τ_{deprem} = Zeminde oluşan kayma gerilmesi

σ_{v0} = Sıvılaşma hesabı yapılan derinlikteki toplam düşey gerilme

r_d = Gerilme azaltma katsayısı

S_{DS} = Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

Zeminde oluşan kayma gerilmesi (τ_{deprem}) denklemi aşağıda gösterilmiştir.

$$\tau_{deprem} = 0.65 * \sigma_{v0} * 0.4 * S_{DS} * r_d \quad (3.12)$$

Gerilme azaltma katsayısı (r_d) sıvılaşma hesabıyla ilgili derinliğe (z) ye göre aşağıdaki denklemlerde görünmektedir.

$$r_d = 1 - 0.00765z \quad z \leq 9.15m \quad (3.13.a)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad 9.15m < z \leq 23m \quad (3.13.b)$$

$$r_d = 0.744 - 0.008z \quad 23m < z \leq 30m \quad (3.13.c)$$

$$r_d = 0.50 \quad z > 30m \quad (3.13.d)$$

Gerekli hesaplamalar yapıp denklem 3.1'deki hesaplama yapıldığında sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS)'nin 1.10 den küçük olmasıyla sıvılaşma riski bulunduğu sonucuna varılmaktadır.

3.3. Haritalandırma Yöntemi

Yapılan bu çalışma kapsamında elde bulunan zemin verileriyle yapılan sıvılaşma analizleri sonucunda Nazilli ilçesinin sıvılaşma durumunu daha net ve kapsamlı bir şekilde sunulması amacıyla haritalandırma çalışması yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) programlarından olan MapInfo programı kullanılarak 137 adet sondaj ve 64 adet araştırma çukuru sonuçlarına göre düzeltilmiş SPTN, zemin sınıfı, ince dane oranı, YASS ve sıvılaşma potansiyeli olan yerlerle ilgili haritalandırma çalışması yapılmıştır. Bu haritalar oluşturulurken zemin sınıfı haritası için Nearest Neighbor (En Yakın Komşu) yöntemi ve düzeltilmiş SPTN, ince dane oranı, YASS ile sıvılaşma potansiyeli haritaları için Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW) kullanılmıştır.

Enterpolasyon (İnterpolasyon), bir yerde bilinen değerlerden bilinmeyeni tahmin ederek bulma yöntemine denir. Bilinen veri noktalarının arasındaki eksik verileri değerleri

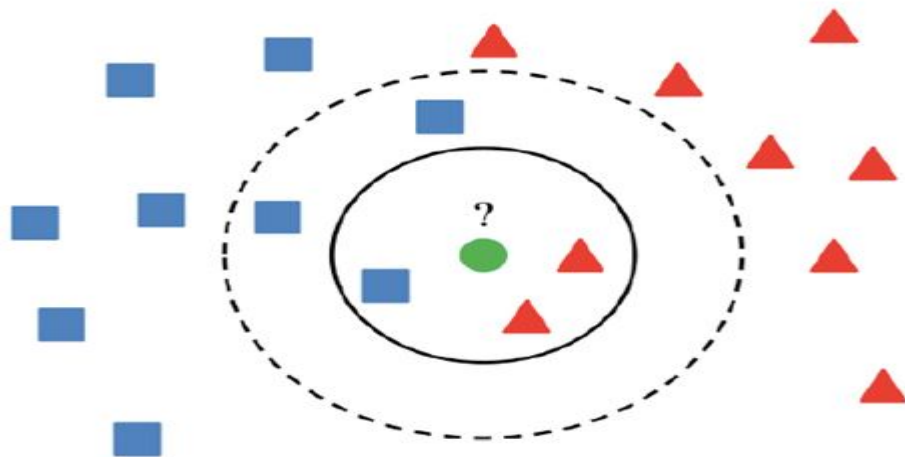
tahmin etmede ve doldurmada önemli bir rol oynar. Enterpolasyon, veri analizinde ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gibi bir çok alanda kullanılmakta olan matematiğin temelinde olan bir yöntemdir (Url-9).

3.3.1. Nearest Neighbor (En Yakın Komşu) Yöntemi

Nearest Neighbor metodu, veri noktalarının raster yüzeyindeki bilinmeyen hücre değerlerini en yakın komşu pikseller ile hesaplayarak oluşturur. Bu metod ile toprak çeşitliliği için sahadan rastgele toplanan kumlu, kireçli, killi vb. toprak numunelerinin ölçüldüğü noktaların dışında kalan noktalara en yakın numune noktası ile aynı değer verilerek bir dağılım haritası çıkarmak için kullanılabilir (Url-10).

Zemin sınıfı haritalandırılmasında zemin sınıflarında mahalle aralarında keskin geçişler olduğundan heterojen zemin sınıflarındaki geçişleri daha anlaşılır bir biçimde görebilmek amacıyla bu yöntem tercih edilerek kullanılmıştır.

Hem sınıflama problemleri için hem de lineer olmayan regresyon problemleri için tercih edilen kullanılan bir yöntemdir. Bağımlı olan ve bağımsız olan değişkenler üzerinden yapılan hesaplamalar neticesinde bir tahmin etme işlemiyle bağımlı değişkeni bilinmeyen bağımsız değişkenlerin veya tam tersi şeklinde aralarındaki vektörel uzaklıkların hesaplanması neticesinde yeni bağımsız değişkenin veya bağımlı değişkenin tahmin ile bulunup dağılıma dahil edilmesidir (Url-12).



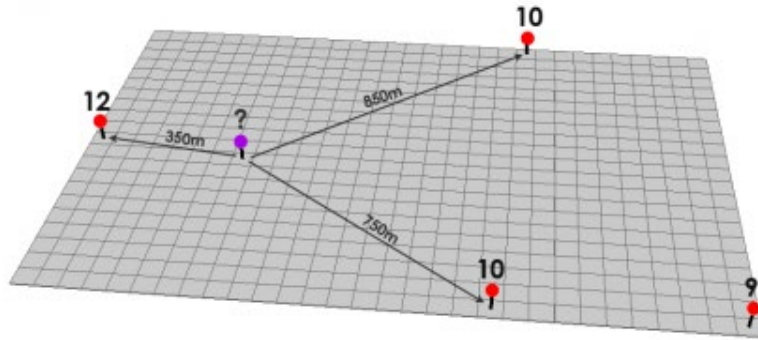
Şekil 3.13: Nearest Neighbor (En Yakın Komşu) Yöntemi

3.3.2. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW)

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon yöntemi genellikle kullanılmaktadır. Hesap kolaylığı ve çözüm doğruluğundan kaynaklı olarak genellikle kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde tahmin edilecek nokta değeri, bu nokta civarında bulunan komşu noktaların uzaklığı ve büyüklüğünün bir fonksiyonu olup, komşu noktaların tahmini yapılacak değer üzerindeki etkisi mesafedeki değişime bağlı olarak değişmektedir. Yani bilinen bir nokta değerini baz alınarak sisteme girilerek bilinmeyen noktadaki değerlerin bulunması şeklinde çalışan bir yöntemdir. Elimizde olan bilinen iki nokta girilerek bulunması istenen yani tahmin edilmesi istenen bölgenin yarıçapı belirtilerek yalnızca bu bölgeyi kapsayan daire alanındaki işaretlenen noktalar kullanılarak bilinmeyen nokta değerinin tahmin edilmesidir (Göğsu ve Hastaoğlu, 2019).

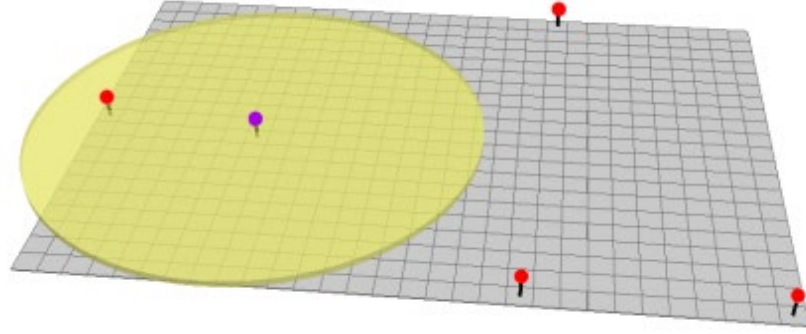
Bu metod ile daha detaylı bakacak olursak belirtilen arama yarıçapı içinde yer alan tüm numune değerlerinin ortalamasını alarak bilinmeyen hücre değerlerinin uzaklıkları ile ters orantılı olarak hesaplayıp raster yüzeyini tahmin ederek bulunur. Kaynağa yakın olan alanlar daha yüksek değerler alırken, kaynağa uzak olan alanlar daha düşük değerler alacak şekilde hesaplama yapılmaktadır (Url-10).

Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi ile aşağıdaki belirtilen noktalarda belirli olan yüksekliklerden faydalanarak formülasyonu kullanarak bilinmeyen noktanın yükseltisi hakkında bilgi sahibi olmamız sağlanmıştır.



Şekil 3.14: IDW yöntemi ile bilinen noktalardan bilinmeyen noktanın bulunmasına örnek

Bu örnekte en yakındaki üç noktayı kullanarak diğer noktayı bulma amaçlanmaktadır.



Şekil 3.15: IDW yöntemi ile arama yarıçapı verilerek bilinmeyen noktanın bulunması örneği

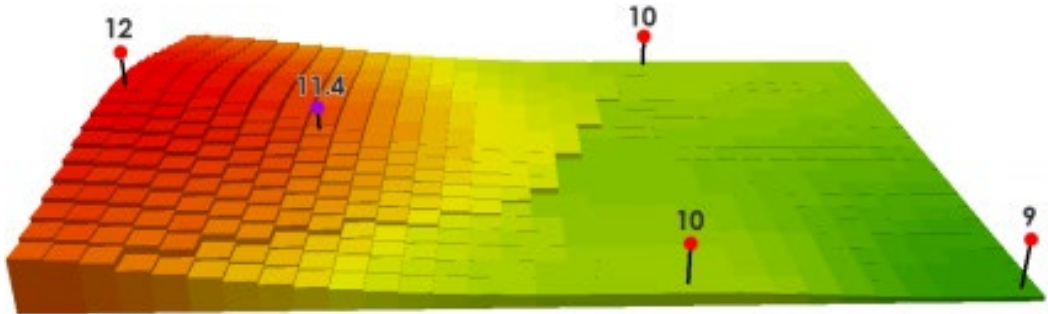
Arama yarıçapı belirtilerek arama yarıçapındaki bilinen noktalar kullanılarak enterpolasyon yapılır (Url-13).

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i / d_{ip}^p)}{\sum_{i=1}^n (1/d_{ip}^p)} \quad (3.14)$$

Denklem 3.14' te değişkenler şu şekilde tanımlanmıştır: n bilinen (dayanak) noktaların sayısını, d enterpolasyon edilecek (tahminde bulunulacak) nokta ile bilinen nokta arasındaki mesafeyi, z bilinen (dayanak) noktalarla ilişkili özellik değerini (yükseklik, sıcaklık vb.) ve p mevcut literatürde geleneksel olarak 2 olarak kabul edilen güç parametresini ifade etmektedir (Göğsu ve Hastaoğlu, 2019).

Denklem 3.14' e göre Şekil 3.14' deki belirtilen noktalarda gerekli hesaplamalar yapılarak,

$$z = \frac{((12/350^2) + (10/750^2) + (10/850^2))}{((1/350^2) + (1/750^2) + (1/850^2))} = 11.4 \text{ olarak bulunur.}$$



Şekil 3.16: IDW yöntemi ile Denklem 3.14 kullanılarak oluşturulan üç boyutlu örnek

Şekil 3.16' da denklem 3.14 kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda kırmızı noktalarda belli olan yüksekliklerden yola çıkarak mor noktanın yükseklik değerinin hesaplanması sonucunda ortaya çıkan sonuca göre yüksekliği görülmektedir.

Düzeltilmiş SPTN, ince dane oranı, YASS ile sınılaşma potansiyeli haritaları Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi ile oluşturulmuştur.



BÖLÜM 4. ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada Nazilli Belediyesi İmar ve Şehircilik İl Müdürlüğü ile Menderes Jeoloji firması ile Tralles ve Efe Zemin Laboratuvarlarından alınan zemin etüt raporları baz alınarak her bir sondaja ait 1,5 m / 3 m / 4,5 m / 6 m / 7,5 m / 9 m / 12 m derinliklerde zemin sınıfı, düzeltilmiş SPTN, IDI, YASS ve sıvılaşma ihtimali olup olmaması hakkında TBDY 2018'e göre hesaplamalar yapılarak haritalar oluşturulmuştur. Hesaplamalarda GeoteknikPro programı kullanılarak sıvılaşma analizi hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda Nazilli bölgesinde gerçekleşen depremler baz alınarak hesaplamalarda deprem büyüklüğü $M_w=7$ ve $M_w=7.5$ olarak alınmıştır. Bazı bölgelerde sondaj cihazı çalışması için uygun olmadığından araştırma çukurlarıyla zemin etüt raporları hazırlanmıştır. Bu bölgelerde Nazilli ilçesini daha detaylı inceleyebilmek açısından bu verilerde 1.5 m' de olan araştırma çukurlarında zemin sınıfı ve ince dane oranı çalışması verileri bulunduğu ve bu verilerde kullanılarak 1.5 için olan sondajlarki verilerle yapılan haritalardan zemin sınıfı ve IDI haritalandırmasına dahil edilmiştir. Yapılan hesaplamalar MapInfo programı ile haritalandırılmıştır.

4.1. Hesaplamalarda Yapılan Kabuller

Sıvılaşma hesaplamaları yapılırken zemin etüt raporlarında verilmeyen doygun birim hacim ağırlık değerleri TS 498' e göre genelde Nazilli' deki zeminler iyi derecelenmiş kum, siltli kum ve kum- çakıl zemin sınıfında ve orta sıkı özellikte olduğundan 20 kN/m³ olarak kabul edilmiştir (TS498, 1987).

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre sıvılaşma potansiyeline sahip zeminler çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımlarının yeraltı su seviyesinin aşağısında kalan zeminler olarak belirtilmiştir (TBDY, 2018). Bu nedenle, yeraltı su seviyesi olmayan sondajlarda zeminler yeraltı su seviyesi üzerinde olduğundan sıvılaşma hesabı yapılmamıştır.

Hesaplamalarda birim çevirmelerde suyun özgül ağırlığı 9,807 kN/m³ olarak alınmıştır.

4.2. Sıvılaşma Hesabı Örneği ve Deprem Büyüklüğüne Göre Yorumlama

Bu kısımda elimizde bulunan zemin etüt raporlarında Çapahasın Mahallesi içinde olan bir sondaja ait veriler kullanılarak sıvılaşma hesaplaması yapılmıştır. Deprem büyüklüğü $M_w=7$ olarak hesaba katılmıştır. Aynı zamanda deprem büyüklüğüne göre sıvılaşma potansiyeli artacağından hesaplamaların sonunda $M_w=7.5$ büyüklüğünde de hesaplama yapılmış ve iki büyüklüğe göre karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca hesaplamamızda kullandığımız GeoteknikPro programıyla aynı parsele ait hesaplama yapılmış ve sonuçların karşılaştırılması sağlanmıştır. Zemin etüt raporundaki sondaja ait bazı bilgiler aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.1: Sondaj loguna ait bilgiler

Zemin sınıfı	Derinlik(m)	İnce Dane İçeriği (%)	YASS(m)	γ_n (kN/m ³)	γ_{doymun} (kN/m ³)	S _{DS}
SM	4,5	26,1	3	18,81	20	1,159

SPT ile sıvılaşma analizi yapılırken ilk zemin parametreleri belirlenerek SPT değerlerinin düzeltilmesi yapılır. SPTN 30' da değeri sondaj logunda 4,5 m'de 17' dir. Sıvılaşma direnci (τ_R) hesaplanır ve ardından zeminde oluşan kayma gerilmeleri (τ_{deprem}) hesaplanarak güvenlik katsayısına göre zeminde sıvılaşma riskinin olup olmadığının kontrolü yapılır. Hesaplamalara 3.2 numaralı bölümde değinilmiştir. Oradaki sıvılaşma hesaplamaları denklemlerine göre aşağıda sondajdaki 4,5 m kotundaki sıvılaşma hesaplaması yapılmıştır.

Denklem 3.4'e göre,

$$\sigma_{v0} = \gamma_n * Z$$

$$\sigma_{v0} = 18,81 * 3 + 20 * 1,5 = 86,43 \text{ kN/m}^2$$

Denklem 3.6'ya göre,

$$u_w = \gamma_w * Z$$

$$u_w = 1,5 * 9,807 = 14,7105 \text{ kN/m}^2$$

Denklem 3.5' e göre düşey efektif gerilme,

$$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_w$$

$$\sigma'_{v0} = 86,43 - 14,7105 = 71,7195 \text{ kN/m}^2$$

Denklem 3.3' e göre derinlik düzeltme katsayısı,

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

$$C_N = 9.78 * \sqrt{\frac{1}{71,7195}} = 1,155 \leq 1.70 \text{ olur. Eşitlik sağlandığından } C_N=1,155 \text{ alınır.}$$

Denklem 3.2'ye göre enerji düzeltmesi yapılmış SPT darbe miktarı,

$$N_{1,60} = N * C_N * C_R * C_S * C_B * C_E$$

$$N_{1,60} = 17 * 1,155 * 0,85 * 1 * 1 * 1 = 16,69 \text{ olur.}$$

Denklem 3.7' ye göre ince dane oranına göre düzeltilen $N_{1,60f}$,

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190/IDI)^2] ; \beta = 0.99 + IDI^{1.5}/1000 \quad (5\% < IDI \leq 35\%) \quad (\text{Denklem 3.8.b.)}$$

$$\alpha = 4,398 \quad ; \quad \beta = 1,123$$

$$N_{1,60f} = 4,398 + 1,123 * 16,69 = 23,15 \text{ olur.}$$

Denklem 3.9' a göre çevrimsel dayanım oranı,

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

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - 23,15} + \frac{23,15}{135} + \frac{50}{(10 * 23,15 + 45)^2} - \frac{1}{200} = 0,26 \text{ bulunur.}$$

Denklem 3.10' a göre deprem büyüklüğü $M_w=7$ olarak şekilde deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı,

$$C_M = 10^{2.24} / M_w^{2.56}$$

$$C_M = 10^{2.24} / 7^{2.56} = 1,193 \text{ olur.}$$

Denklem 3.11' e göre sıvılaşma direnci,

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

$$\tau_R = 0,26 * 1,193 * 71,7195 = 22,25 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Denklem 3.13.a' ya göre gerilme azaltma katsayısı 4.5 m derinliğe göre,

$$r_d = 1 - 0.00765z$$

$$r_d = 1 - 0.00765*4,5 = 0,97 \text{ olur.}$$

Denklem 3.12'ye göre zeminde oluşan kayma gerilmesi,

$$\tau_{\text{deprem}} = 0.65 * \sigma_{v0} * 0.4 * S_{DS} * r_d$$

Denklem 3.12'deki S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı AFAD' ın hazırlamış olduğu deprem tehlike haritasından inceleme alanının koordinatları kullanılarak elde edilmiştir.

$$\tau_{\text{deprem}} = 0.65 * 86,43 * 0.4 * 1,159 * 0,97 = 25,26 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Denklem 3.1'e göre sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı,

$$FS = \frac{\tau_R}{\tau_{\text{deprem}}} \geq 1.10$$

$FS = \frac{22,25}{25,26} = 0.88$ olarak bulunur. Denklemde verilen eşitlik sağlanmadığından $M_w=7$ büyüklüğünde bir depremde 4.5 m de sıvılaşma beklenir.

Aynı sondajda deprem büyüklüğünü $M_w=7.5$ olarak alırsak,

Denklem 3.10' a göre deprem büyüklüğü $M_w=7.5$ olacak şekilde deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı,

$$C_M = 10^{2.24} / M_w^{2.56}$$

$$C_M = 10^{2.24} / 7.5^{2.56} = 1 \text{ olur.}$$

Denklem 3.11' e göre sıvılaşma direnci,

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

$$\tau_R = 0,26 * 1 * 71,7195 = 18,65 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Denklem 3.13.a' ya göre gerilme azaltma katsayısı 4.5 m derinliğe göre,

$$r_d = 1 - 0.00765z$$

$$r_d = 1 - 0.00765*4,5 = 0,97 \text{ olur.}$$

Denklem 3.12'ye göre zemindeki tekrarlı kayma gerilmesi,

$$\tau_{\text{deprem}} = 0.65 * \sigma_{v0} * 0.4 * S_{DS} * r_d$$

$\tau_{\text{deprem}} = 0.65 * 86,43 * 0.4 * 1,159 * 0,97 = 25,26 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunur.

Denklemler 3.1'e göre sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı,

$$FS = \frac{\tau_R}{\tau_{\text{deprem}}} \geq 1.10$$

$FS = \frac{18,65}{25,26} = 0.74$ olarak bulunur. Denklemlerde verilen eşitlik sağlanmadığından $M_w=7.5$

büyükliğünde bir depremde 4.5 m' de sıvılaşma beklenir.

Yukarıdaki hesaplamalarda Richter ölçeğine göre $M_w=7$ büyüklüğünde ve $M_w=7.5$ büyüklüğünde depremde sıvılaşma beklenmektedir. Deprem büyüklüğünün artmasına bağlı olarak sıvılaşma potansiyelinde artış olduğu görülmüştür.

GeoteknikPro programı ile yapılan sıvılaşma analizleri ile de aynı sonuçlara ulaşıldığı Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'de görülmektedir.

Tablo 4.2: $M_w=7$ büyüklüğündeki bir depremde GeoteknikPro ile sıvılaşma analizi hesaplaması

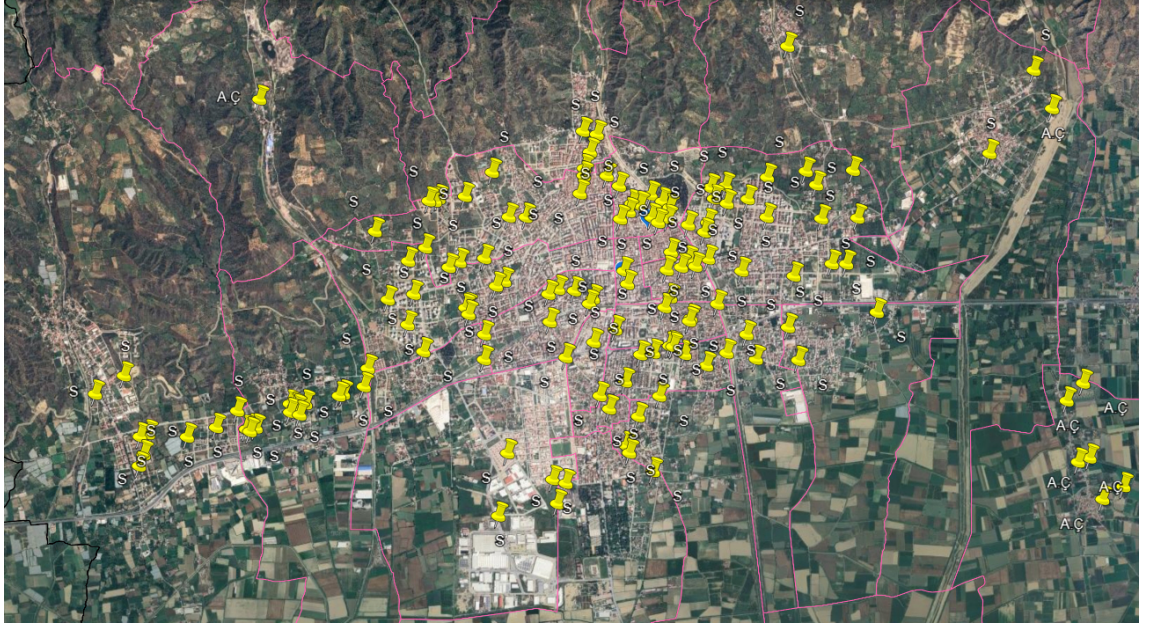
SPT	$N_{1,60f}$	$CRR_{M7.5}$	σ'	σ	rd	τ_R	τ_{deprem}	Sıvılaşma	KOT(m)	Sonuç	Cins	YASS Durumu	PI
spt1	12,66	0,14	2,88	2,88	0,99	0,47	0,86	0,55	1,5	yok	SM	YASS yok	NP
spt2	10,98	0,12	5,75	5,75	0,98	0,84	1,69	0,49	3	var	SM	YASS var	NP
spt3	23,15	0,26	7,31	8,81	0,97	2,26	2,56	0,88	4,5	var	SM	YASS var	NP
spt4	16,71	0,18	8,87	11,87	0,95	1,88	3,41	0,55	6	var	SM	YASS var	NP
spt5	11,62	0,13	10,43	14,93	0,94	1,59	4,24	0,37	7,5	var	SM	YASS var	NP
spt6	18,37	0,20	11,99	17,99	0,93	2,80	5,05	0,56	9	var	ML	YASS var	NP
spt7	26,38	0,32	13,55	21,05	0,89	5,21	5,67	0,92	10,5	var	ML	YASS var	NP
spt8	25,24	0,30	15,11	24,11	0,85	5,35	6,20	0,86	12	var	SM	YASS var	NP
spt9	27,96	0,37	16,66	27,16	0,81	7,32	6,66	1,10	13,5	yok	SM	YASS var	NP
spt10	28,7	0,40	18,22	30,22	0,77	8,62	7,04	1,22	15	yok	SM	YASS var	NP
spt11	28,59	0,39	19,78	33,28	0,73	9,25	7,36	1,26	16,5	yok	SM	YASS var	NP
spt12	29,34	0,43	21,34	36,34	0,69	10,88	7,59	1,43	18	yok	SM	YASS var	NP
spt13	27,72	0,36	22,90	39,40	0,65	9,83	7,76	1,27	19,5	yok	SM	YASS var	NP

Tablo 4.3: $M_w=7.5$ büyüklüğündeki bir depremde GeoteknikPro ile sıvılaşma analizi hesaplaması

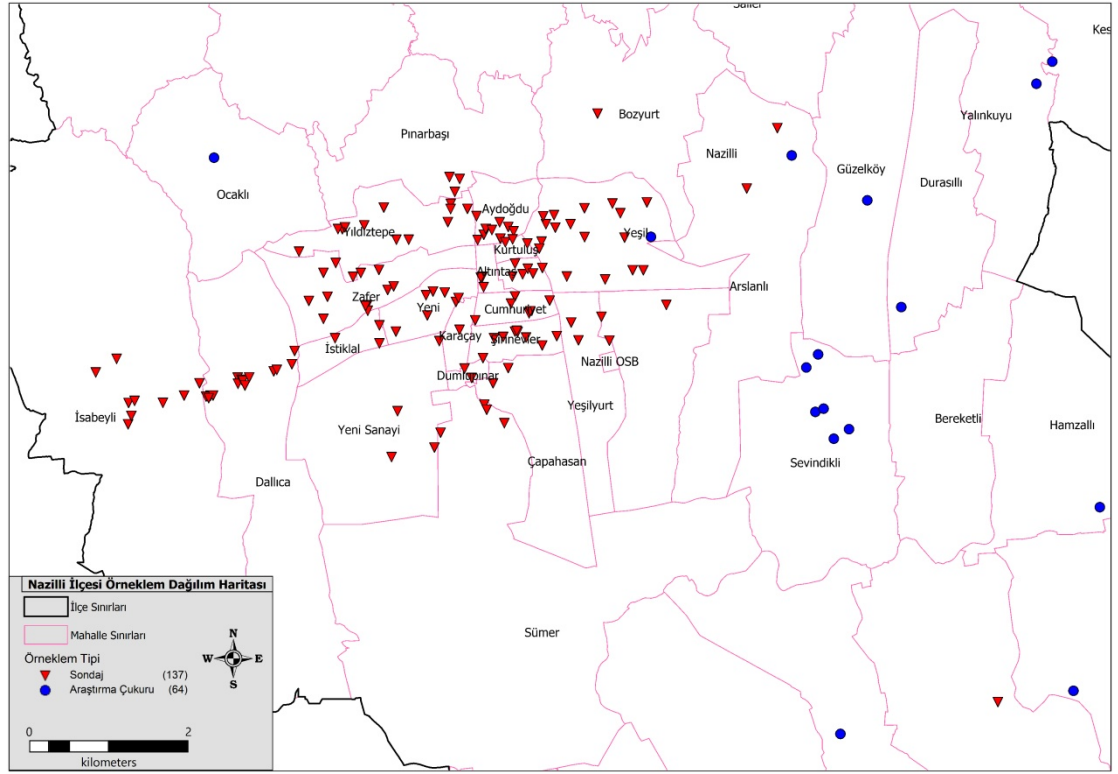
SPT	$N_{1,60f}$	$CRR_{M7.5}$	σ'	σ	rd	τ_R	τ_{deprem}	Sıvılaşma	KOT(m)	Sonuç	Cins	YASS Durumu	PI
spt1	12,66	0,14	2,88	2,88	0,99	0,40	0,86	0,46	1,5	yok	SM	YASS yok	NP
spt2	10,98	0,12	5,75	5,75	0,98	0,70	1,69	0,41	3	var	SM	YASS var	NP
spt3	23,15	0,26	7,31	8,81	0,97	1,89	2,56	0,74	4,5	var	SM	YASS var	NP
spt4	16,71	0,18	8,87	11,87	0,95	1,58	3,41	0,46	6	var	SM	YASS var	NP
spt5	11,62	0,13	10,43	14,93	0,94	1,33	4,24	0,31	7,5	var	SM	YASS var	NP
spt6	18,37	0,20	11,99	17,99	0,93	2,35	5,05	0,47	9	var	ML	YASS var	NP
spt7	26,38	0,32	13,55	21,05	0,89	4,36	5,67	0,77	10,5	var	ML	YASS var	NP
spt8	25,24	0,30	15,11	24,11	0,85	4,48	6,20	0,72	12	var	SM	YASS var	NP
spt9	27,96	0,37	16,66	27,16	0,81	6,13	6,66	0,92	13,5	var	SM	YASS var	NP
spt10	28,7	0,40	18,22	30,22	0,77	7,23	7,04	1,03	15	var	SM	YASS var	NP
spt11	28,59	0,39	19,78	33,28	0,73	7,75	7,36	1,05	16,5	var	SM	YASS var	NP
spt12	29,34	0,43	21,34	36,34	0,69	9,12	7,59	1,20	18	yok	SM	YASS var	NP
spt13	27,72	0,36	22,90	39,40	0,65	8,24	7,76	1,06	19,5	var	SM	YASS var	NP

4.3. Haritalandırma Çalışmaları

Nazilli İmar ve Şehircilik Müdürlüğü ve Menderes Jeoloji firması ile Tralles ve Efe Zemin Laboratuvarlarından alınan zemin etüt raporları baz alındığında bazı mahallelerde köy yerleşimi olduğundan ulaşımdan kaynaklı ve sondaj makinasının çalışması için uygun alan olmamasından kaynaklı olarak araştırma çukurları ile yapılmış ve diğer mahallelerde sondajlar yapılmıştır. 137 adet sondaj ve 64 adet araştırma çukuru sonuçlarına göre düzeltilmiş SPTN, zemin sınıfı, ince dane oranı, yeraltı su seviyesi ve sıvılaşma potansiyeli olan yerlerle ilgili haritalandırma çalışması hazırlanmıştır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de Aydın Nazilli ilçesinde elimizde olan verilere dayanarak hazırlanan sondaj ve araştırma çukurlarının koordinatlarının işaretlemeleri görülmektedir. Şekil 4.1’de Google Earth haritasında sondaj noktalarının işaretlenmesine bakarak sondaj işareti olmayan yerlerin genelinde yerleşim yeri olmadığı buna bağlı olarak sondaj verisi bulunmadığı gözlenmiştir.

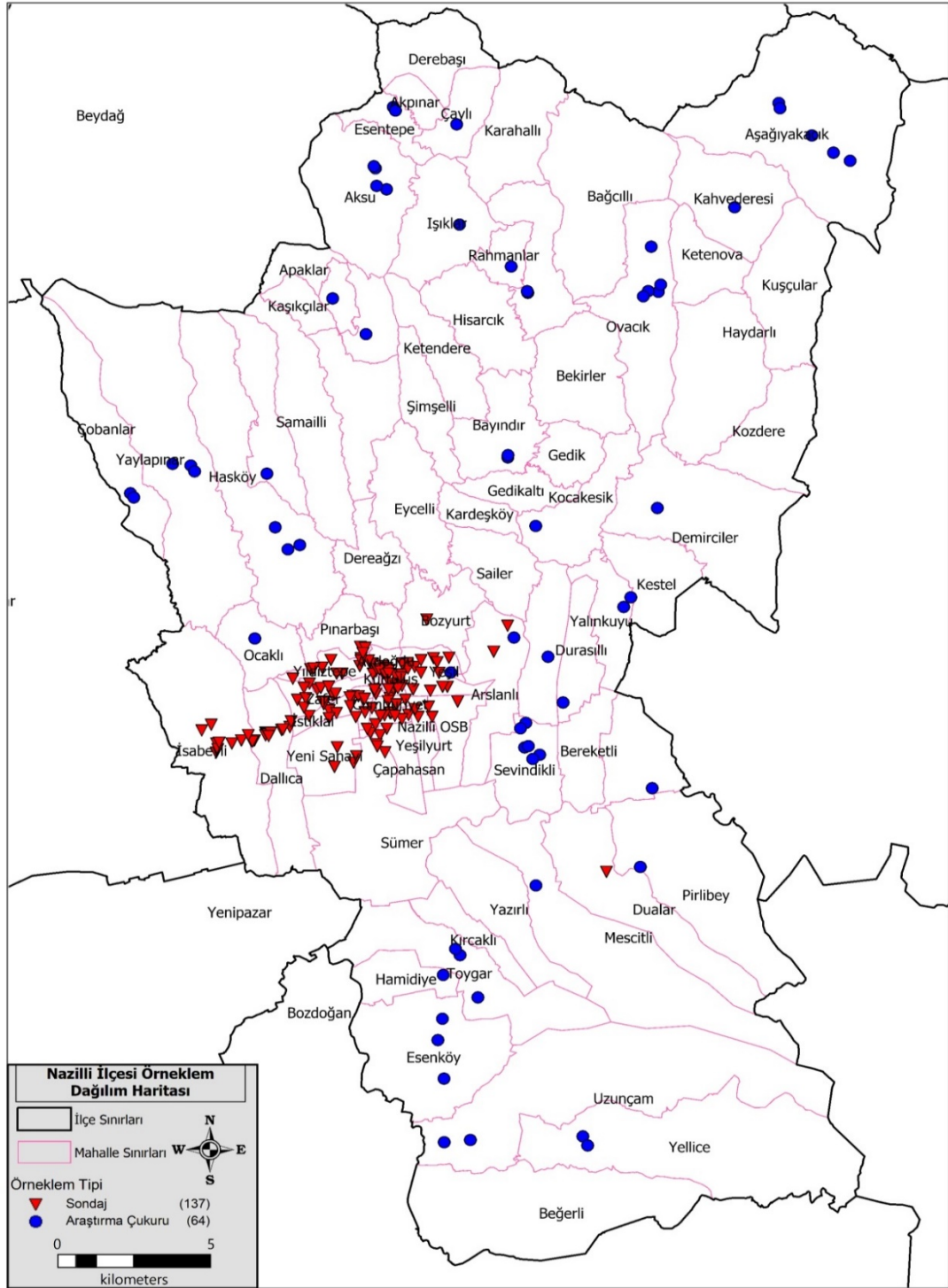


Şekil 4.1: Aydın ili Nazilli ilçesi sondaj ve araştırma çukuru noktalarının görüntüsü (Google Earth)



Şekil 4.2: Aydın ili Nazilli ilçesi sondaj ve araştırma çukuru noktalarının yakın plan görüntüsü

Şekil 4.2’ de Aydın ili Nazilli ilçesine ait elde bulunan sondaj ve araştırma çukuru verileri koordinatlarına göre MapInfo programı ile örneklem dağılım haritası oluşturulmuştur ve Şekil 4.2’de yakın plan görüntüsü olarak görülmektedir. Elde bulunan veriler ile hazırlanan Şekil 4.1’deki haritaya bakıldığında yerleşim yerlerinin geneline kapsadığı görülmektedir. Araştırma çukurlarındaki verilerde sondaj makinasının çalışması uygun olmayan köy yerleri ve ulaşım imkanı olmayan yerler olduğu belirtilmiştir. Ayrıca zemin ve temel uygulama esasları ve rapor formatına dair tebliğ kapsamında resmi gazetede yayınlanan Kategori 1 için uygun raporlar olmasından kaynaklı olarak sadece 1.5 m’ de zemin sınıfı ve ince dane oranı hakkında veriler bulunmaktadır. Bu verilerde dikkate alınarak 1.5 m’deki zemin sınıfı ve IDI haritalarında bu verilerde kullanılmıştır.



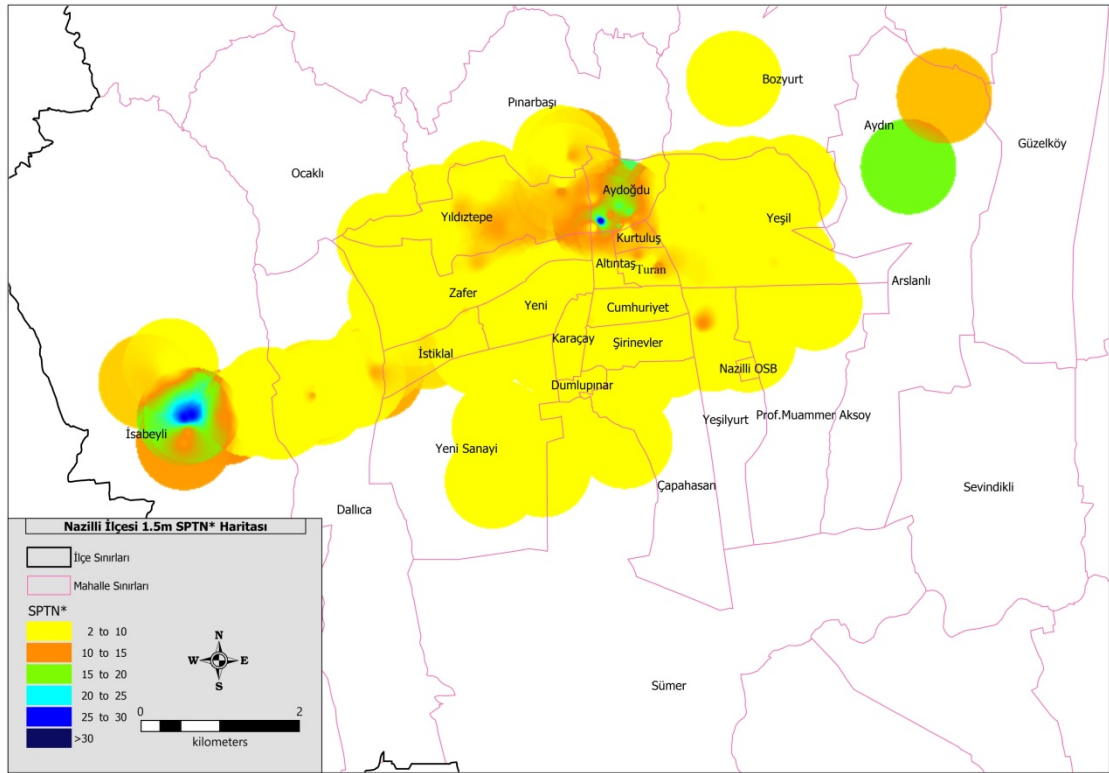
Şekil 4.3: Aydın ili Nazilli ilçesi sondaj ve araştırma çukuru noktalarının görüntüsü

Şekil 4.3'de görülen haritada aynı şekilde Şekil 4.2'deki hazırlanmış haritanın dikey hali olmakta olup daha geniş şekilde mahalleleri göstermektedir.

4.4. SPTN* Haritaları

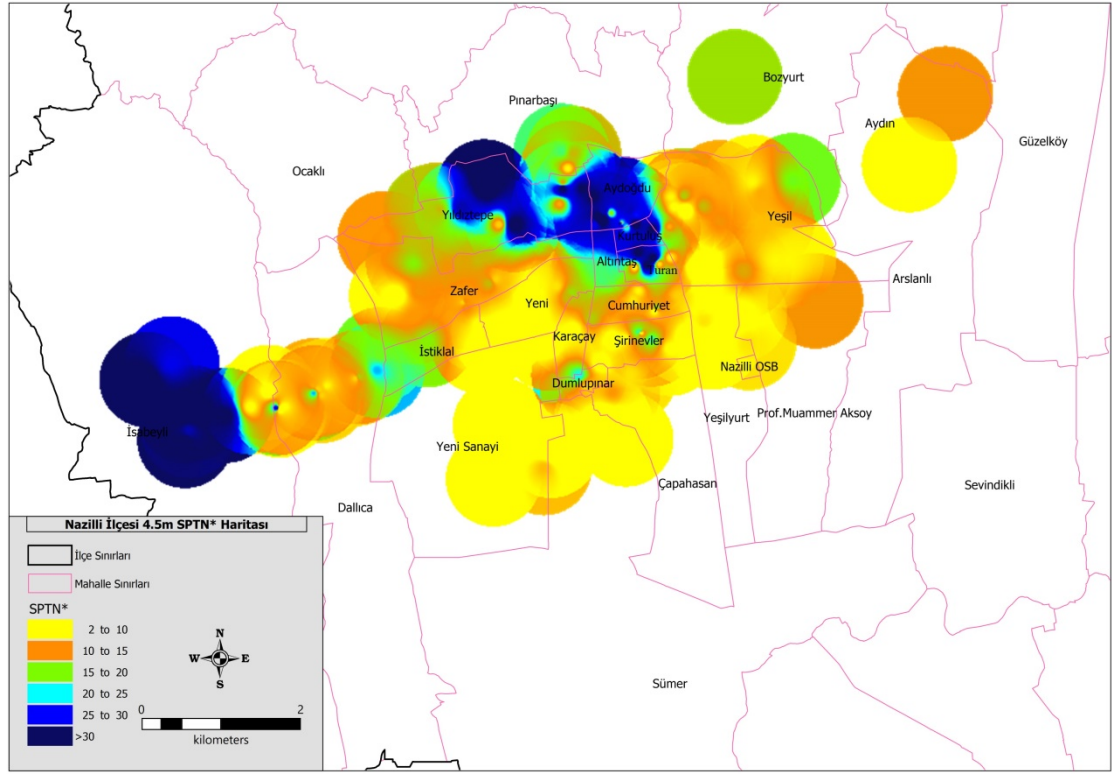
Araştırma çukurlarında SPTN olmaması nedeni ile sadece sondajlardaki mevcut SPTN verilerine göre düzeltilmiş değer olan SPTN* haritalandırmaları bu bölümde sunulmuştur.

Şekil 4.4'de 1.5 m'de Dumlupınar, Çapahasın, Yeni Sanayi, Karaçay, Cumhuriyet, Şirinevler, Sümer, Nazilli OSB, Yeni, Bozyurt ve Prof. Muammer Aksoy Mahalleleri'nde darbe sayısı 0-10 aralığında olduğu görülmektedir. İstiklal ve Pınarbaşı Mahallesi'nde vuruş sayısının 0-15 aralığında olduğu görülmektedir. İsabeyli, Aydoğdu ve Arslanlı Mahalleleri'nde vuruş sayısının 0-30 arasında değiştiği görülmektedir. Dallica, Zafer, Yıldıztepe, Turan, Yeşil, Altıntaş ve Kurtuluş Mahallerinde vuruş sayısının 0-20 arasında değiştiği gözlenmektedir.



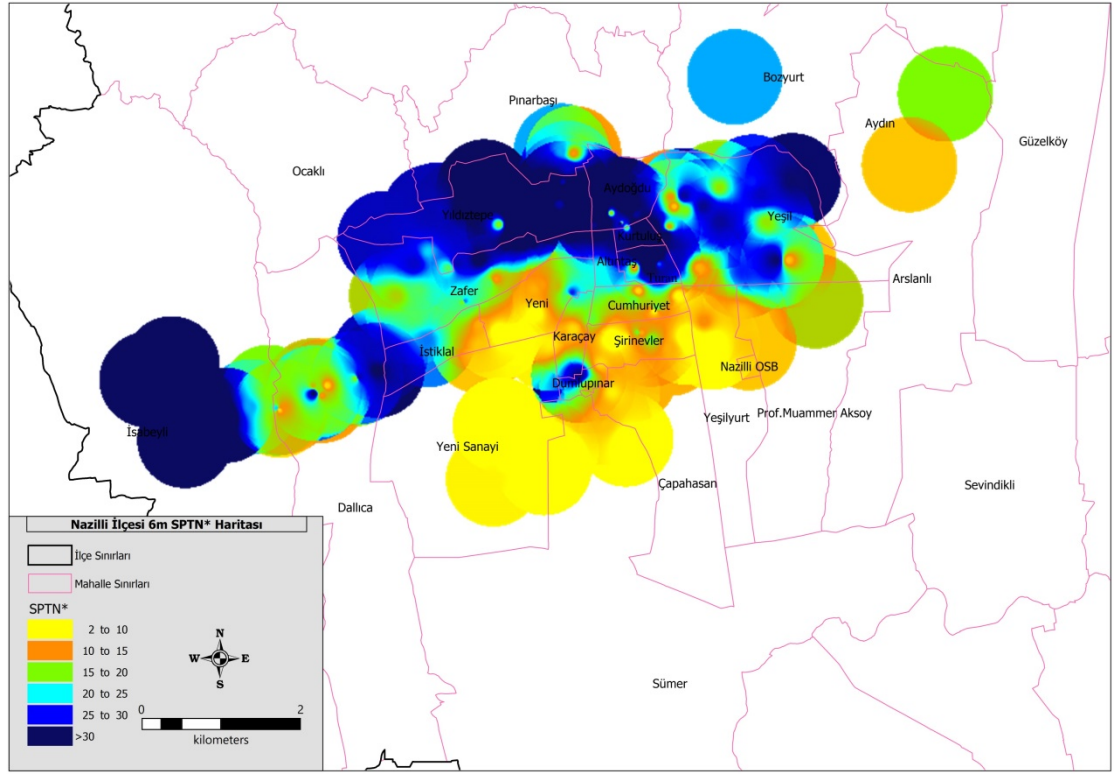
Şekil 4.4: 1.5 m' de SPTN* haritası

Şekil 4.5'de 3 m'de Dumlupınar, Çapahasın, Yeni Sanayi, Karaçay, Cumhuriyet, Şirinevler, Sümer, Nazilli OSB, Yeni, Prof. Muammer Aksoy Mahalleleri'nde darbe sayısı 0-15 aralığında olduğu görülmektedir. İstiklal ve Arslanlı Mahallesi'nde vuruş sayısının 0-20 aralığında olduğu görülmektedir. İsabeyli, Aydoğdu, Kurtuluş, Turan



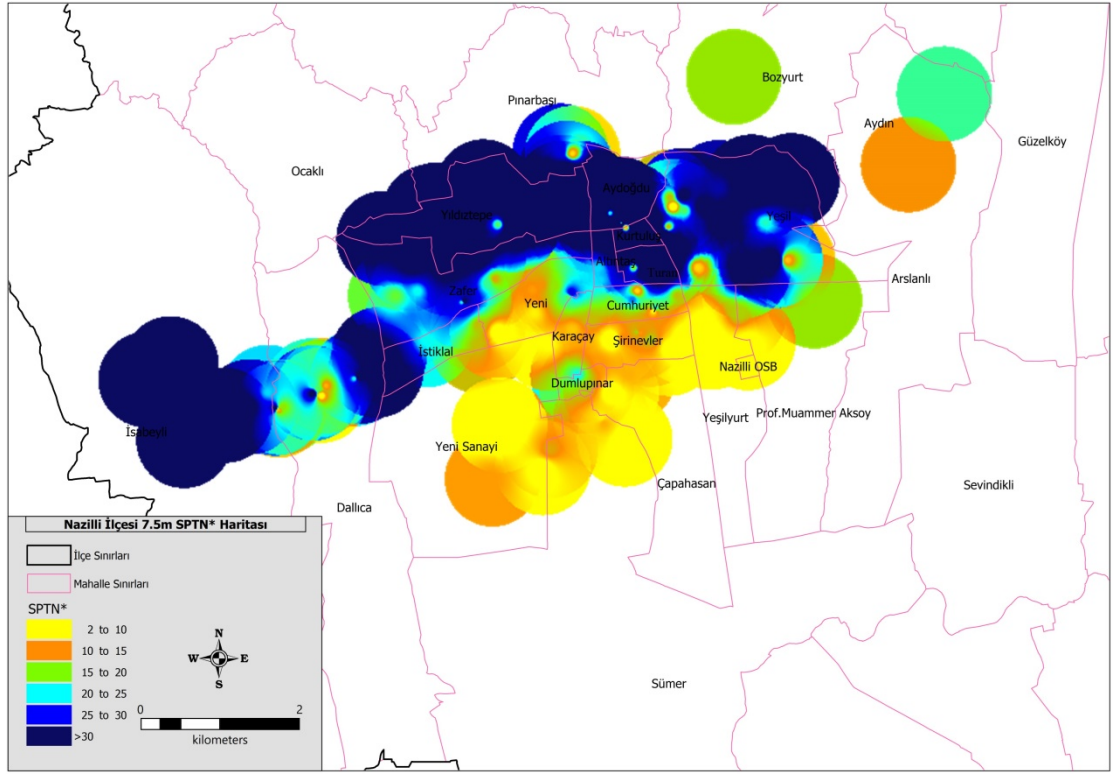
Şekil 4.6: 4.5 m' de SPTN* haritası

Şekil 4.7' de 6 m' de Yeni Sanayi, Çapahasan, Karacay, Cumhuriyet, Sümer, Nazilli OSB, Yeni, Arslanlı, Prof. Muammer Aksoy Mahalleleri'nde darbe sayısı 0-20 aralığında olduğu görülmektedir. Şirinevler, İstiklal ve Dumlupınar Mahalleleri'nde darbe sayısının 10-30 aralığında olduğu görülmektedir. İsabeyli, Aydoğdu, Turan, Kurtuluş Mahalleleri'nde vuruş sayısının genellikle 30' dan fazla olduğu gözlenmektedir. Dalıca, Zafer, Yeşil, Pınarbaşı Mahalleleri'nde vuruş sayısının genellikle 15-30 arasında değiştiği gözlenmektedir. Yıldıztepe, Bozyurt ve Altıntaş Mahalleleri'nde vuruş sayısının genellikle 25 üzerinde olduğu görülmektedir.



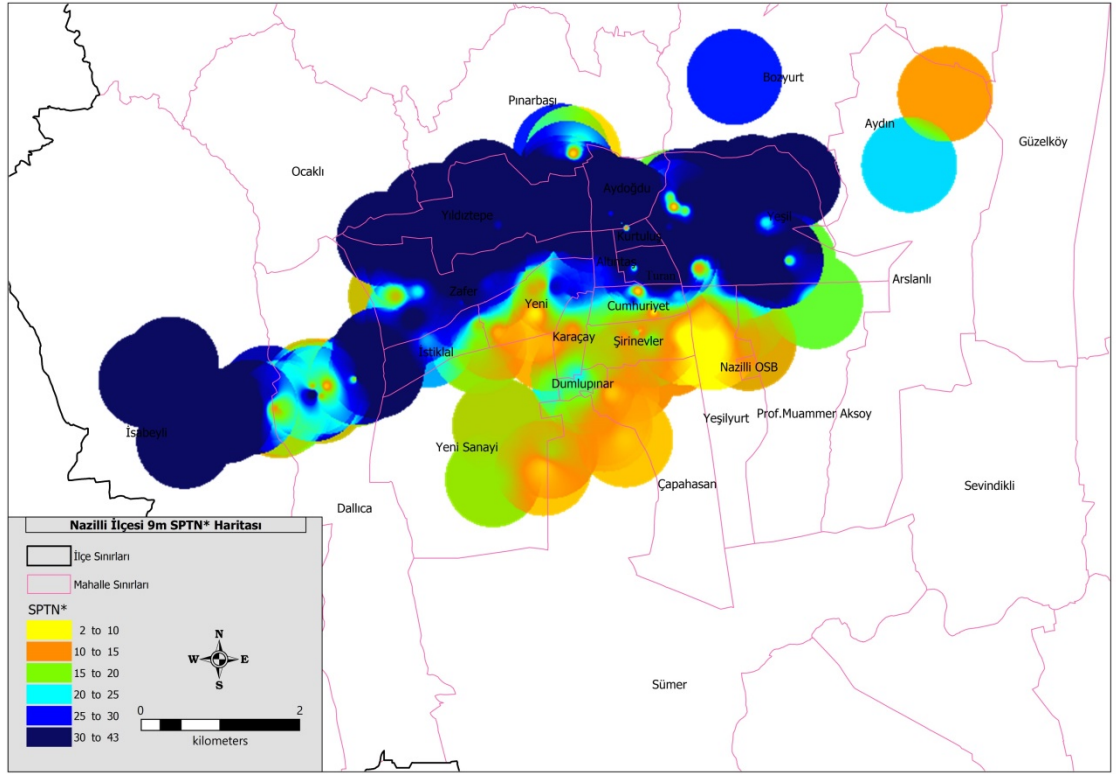
Şekil 4.7: 6 m' de SPTN* haritası

Şekil 4.8' de 7.5 m'de Yeni Sanayi, Çapahasın, Karaçay, Cumhuriyet, Sümer, Nazilli OSB, Yeni, Şirinevler, Arslanlı, Prof. Muammer Aksoy Mahalleleri'nde darbe sayısı 0-15 aralığında olduğu görülmektedir. İstiklal ve Dumlupınar Mahalleleri'nde darbe sayısının 15-30 aralığında olduğu görülmektedir. İsabeyli, Aydoğdu, Kurtuluş Mahalleleri'nde vuruş sayısının genellikle 30'dan fazla olduğu gözlenmektedir. Dallica, Zafer, Yeşil, Pınarbaşı Mahalleleri'nde vuruş sayısının genellikle 15-30 arasında değiştiği gözlenmektedir. Yıldıztepe, Turan ve Altıntaş Mahalleleri'nde vuruş sayısının genellikle 25 üzerinde olduğu görülmektedir. Bozyurt Mahallesi'nde vuruş sayısının 20 ve üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8: 7.5 m' de SPTN* haritası

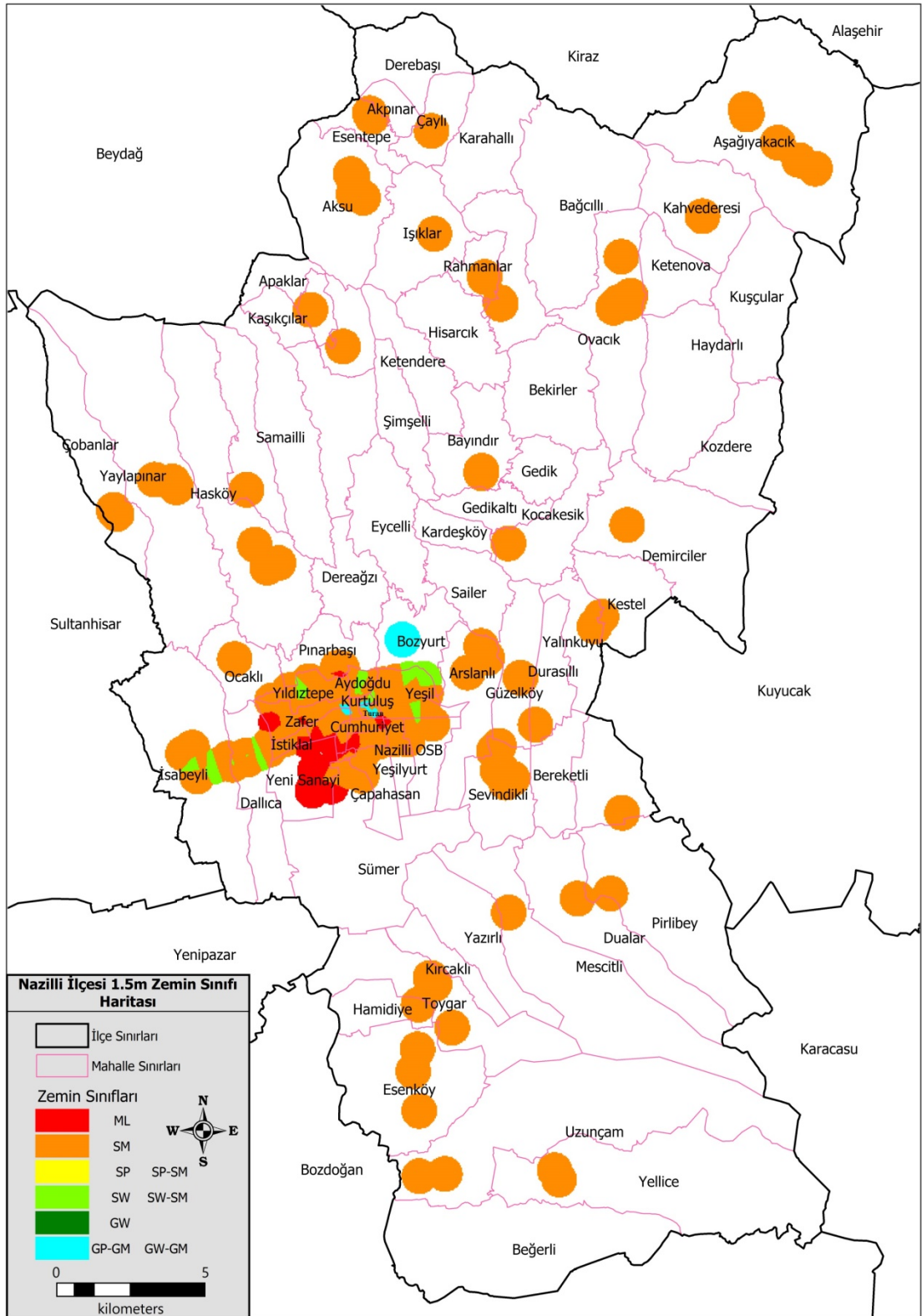
Şekil 4.9' da 9 m'de Yeşilyurt Mahallesi'nde darbe sayısı 0-15 aralığında olduğu görülmektedir. Yeni Sanayi, Çapahasın, Karacay, Cumhuriyet, Sümer, Nazilli OSB, Yeni, Şirinevler, Arslanlı, Prof. Muammer Aksoy Mahalleleri'nde darbe sayısı 10-20 aralığında olduğu görülmektedir. İstiklal ve Dumlupınar Mahalleleri'nde darbe sayısının 15-30 aralığında olduğu görülmektedir. Dalıca, Zafer, Yeşil, Pınarbaşı Mahalleleri'nde vuruş sayısının genellikle 15-30 arasında değiştiği gözlenmektedir. İsabeyli, Aydoğdu, Kurtuluş, Yıldıztepe, Turan, Bozyurt ve Altıntaş Mahalleleri'nde vuruş sayısının genellikle 25 üzerinde olduğu görülmektedir.



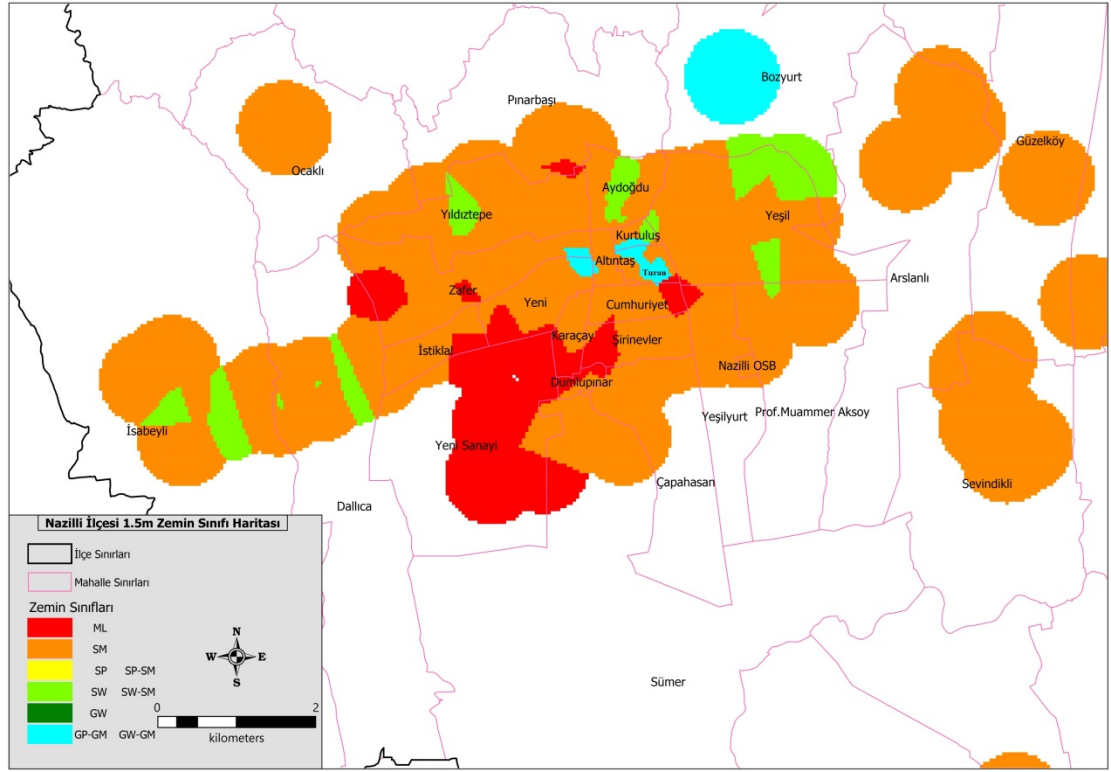
Şekil 4.9: 9 m' de SPTN* haritası

Şekil 4.10' da 12 m'de Yeşilyurt Mahallesi tarafında darbe sayısı 0-15 aralığında olduğu görülmektedir. Yeni Sanayi, Çapahasan, Karaçay, Cumhuriyet, Sümer, Nazilli OSB, Yeni, Şirinevler, Arslanlı, Prof. Muammer Aksoy, Dumlupınar Mahalleleri'nde darbe sayısı 10-20 aralığında olduğu görülmektedir. Dallica, Pınarbaşı Mahalleleri'nde vuruş sayısının genellikle 15-30 arasında değiştiği gözlenmektedir. Zafer, Yeşil, İsabeyli, Aydoğdu, Kurtuluş, Yıldıztepe, Turan, Bozyurt ve Altıntaş Mahalleleri'nde vuruş sayısının genellikle 25 üzerinde olduğu görülmektedir.

Zemin etüt raporlarından alınan verilerle oluşturulan farklı derinliklerdeki düzeltilmiş SPTN* haritalarına bakarak genellikle darbe sayılarının 30 altında olduğu görülmektedir. Derinliğin artmasıyla birlikte neredeyse her mahallede darbe sayısının arttığı görülmektedir. Özellikle yeraltı suyu olan İzmir Denizli karayolunun aşağı tarafı olan aşağı Nazilli diye adlandırılan bölgede darbe sayılarının yolun yukarı tarafında kalan mahallelere kıyasla daha düşük değerlerde olduğu gözlenmiştir. İleride göreceğimiz sıvılaşma potansiyeli haritasında sıvılaşma potansiyeli olan mahallelerde darbe sayısının düşük olduğu da görülmektedir.

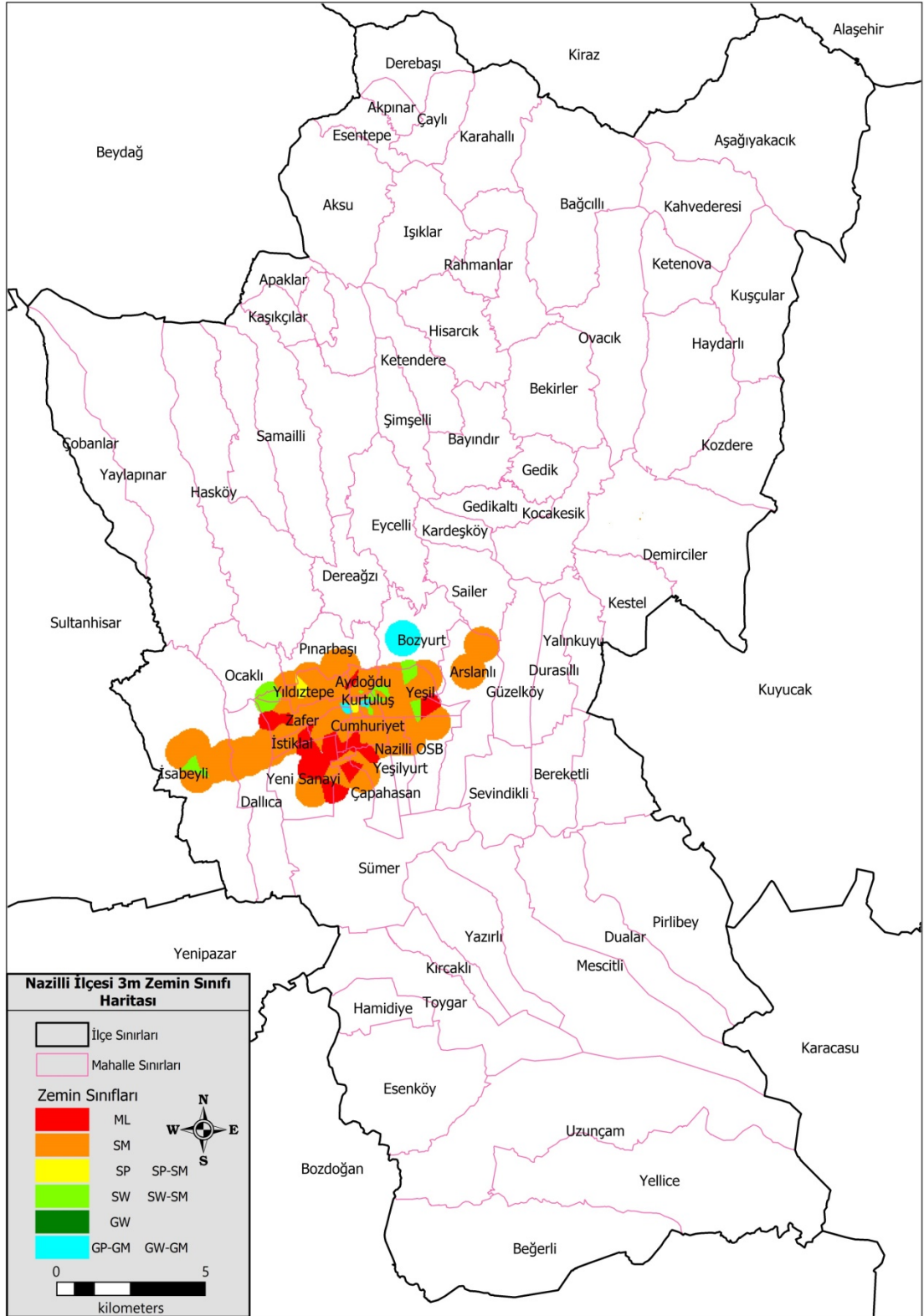


Şekil 4.11: 1.5 m' de zemin sınıfı haritası

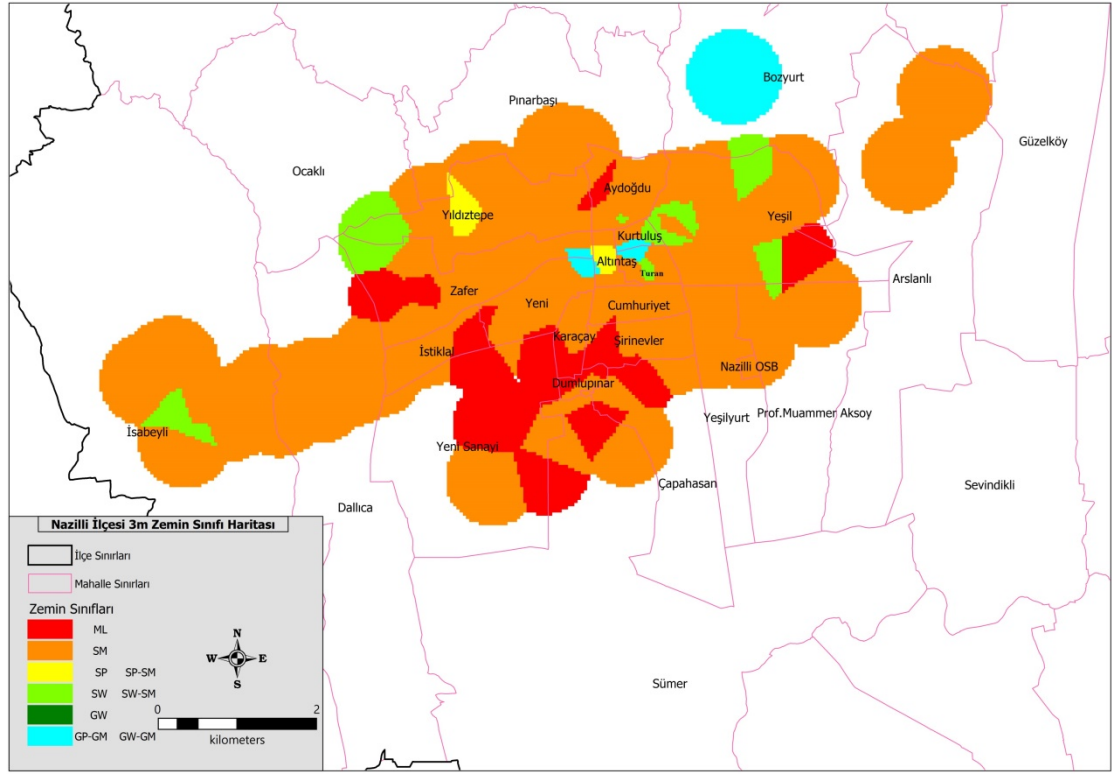


Şekil 4.12: 1.5 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12' de 1.5 m'de araştırma çukurlarının olduğu mahallelerde SM yani siltli kumlu zeminlere rastlanmıştır. 1.5 m'de yakın plan zemin haritalamasında daha detaya inildiğinden dolayı araştırma çukurları görülmektedir. Genellikle tüm mahallelerde siltli kumlu zeminler görülmektedir. İstiklal, Yeni, Cumhuriyet, Şirinevler, Dumlupınar, Yeni Sanayi, Sumer, Nazilli OSB, Prof. Muammer Aksoy, Çapahasan, Zafer, Yeni Mahalleleri'nde genellikle SM siltli kum ve ML düşük plastisiteli inorganik siltlere rastlanmıştır. Yukarı mahallelerde ilçenin kuzeyinde kalan mahallelerde siltli kumun yanında SW iyi derecelenmiş kum, SP-SM siltli kötü derecelenmiş kum, SW-SM siltli iyi derecelenmiş kuma rastlanılmıştır. Turan Mahallesi'nde GW-GM siltli iyi derecelenmiş çakıl da görülmektedir. Bozyurt Mahallesi'nde de GM siltli çakıl ve SW iyi derecelenmiş kum görülmektedir.

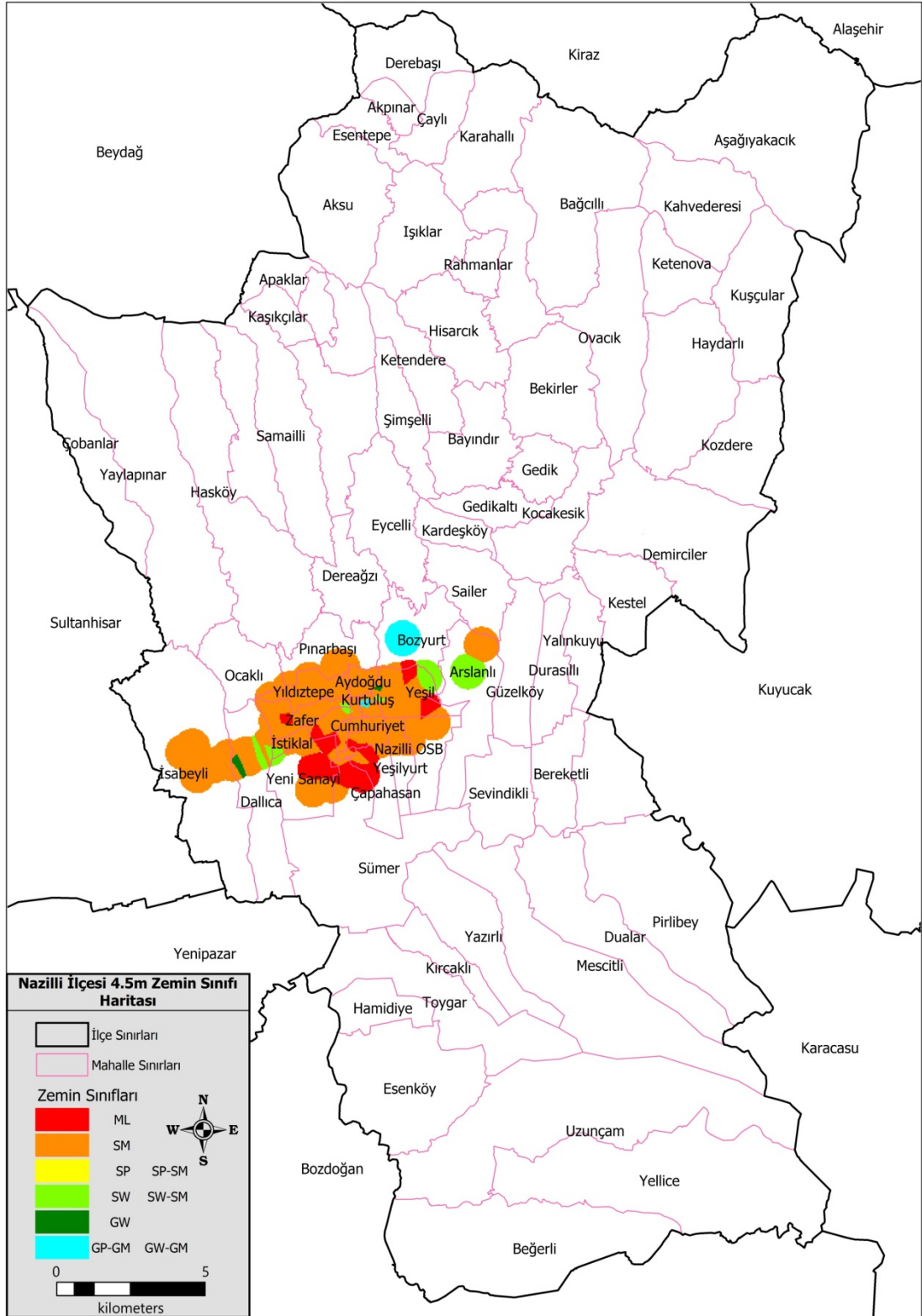


Şekil 4.13: 3 m' de zemin sınıfı haritası

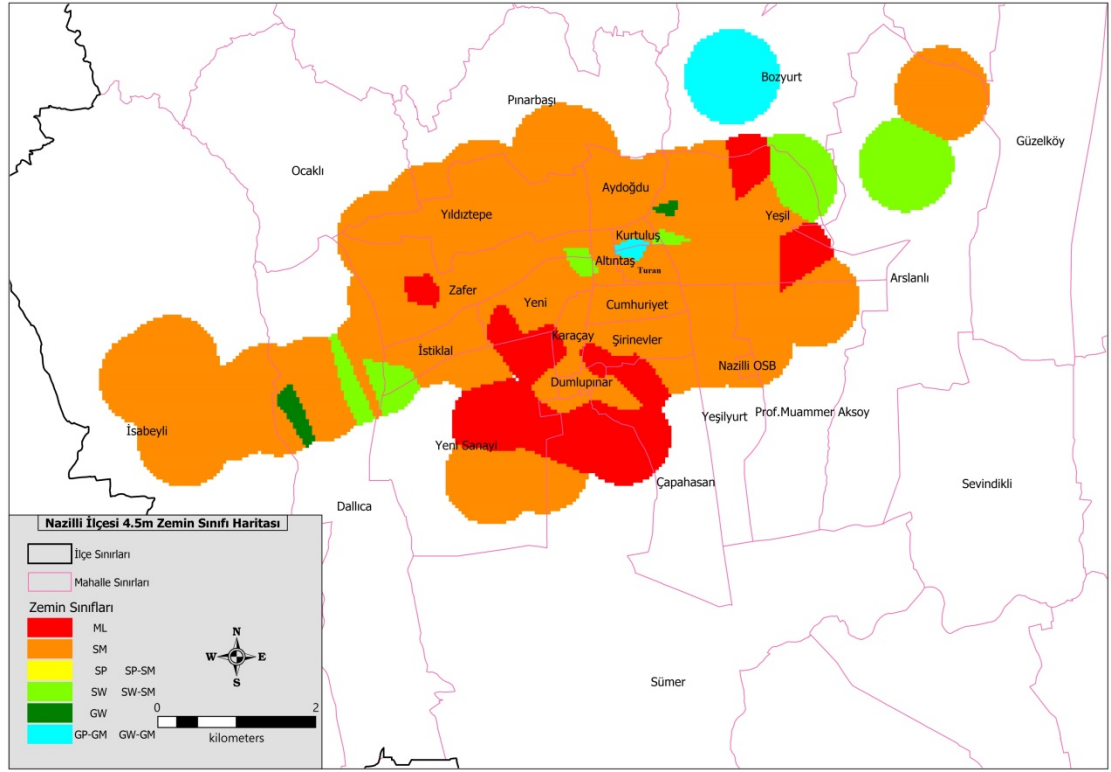


Şekil 4.14: 3 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te 3 m'de genellikle tüm mahallelerde siltli kumlu zeminler görülmektedir. İstiklal, Yeni, Cumhuriyet, Şirinevler, Dumlupınar, Yeni Sanayi, Sümer, Nazilli OSB, Prof. Muammer Aksoy, Çapahasan, Zafer, Yeni Mahalleleri'nde genellikle SM siltli kum ve ML düşük plastisiteli inorganik siltlere rastlanmıştır. Yukarı mahallelerde ilçenin kuzeyinde kalan mahallelerde siltli kumun yanında SP-SM siltli kötü derecelenmiş kum, SP kötü derecelenmiş kum, SW iyi derecelenmiş kum, SW-SM siltli iyi derecelenmiş kuma rastlanılmıştır. Yıldıztepe Mahallesi ve İsabeyli Mahallesi'nde siltli kumun yanında SP-SM siltli kötü derecelenmiş kum, SP kötü derecelenmiş kum görülmektedir. Turan Mahallesi'nde GP-GM siltli kötü derecelenmiş çakıl da görülmektedir. Ayrıca Altıntaş, Kurtuluş ve Turan Mahalleleri'nde GW iyi derecelenmiş çakıllar da görülmektedir. Bozyurt Mahallesi'nde siltli çakıllar ve siltli kumlar görülmektedir.

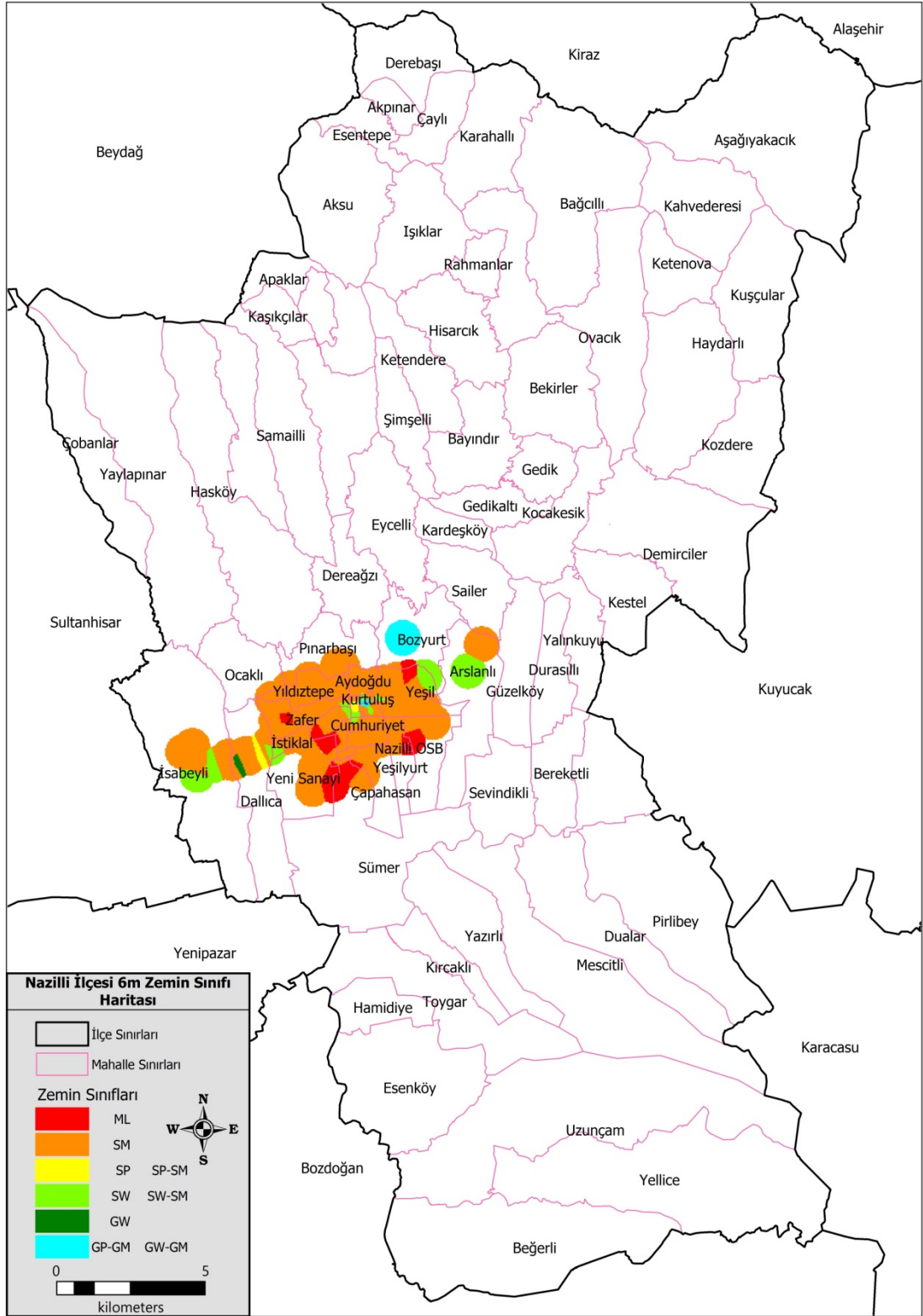


Şekil 4.15: 4.5 m' de zemin sınıfı haritası

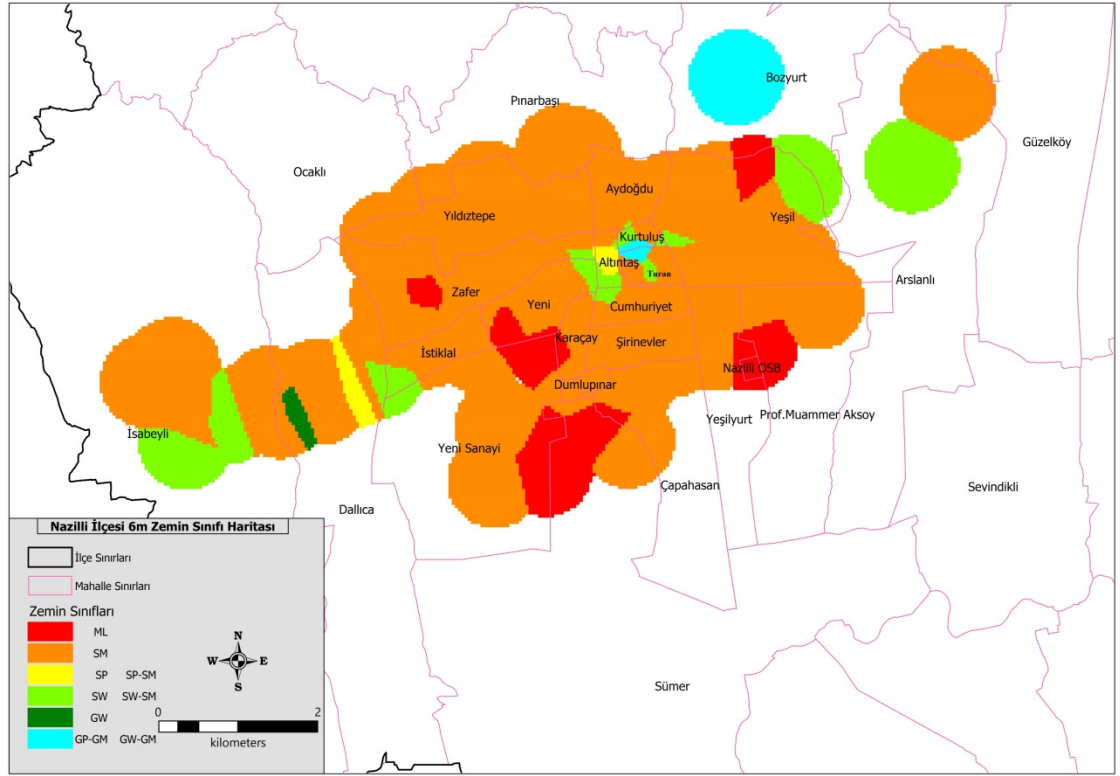


Şekil 4.16: 4.5 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da 4.5 m'de genellikle tüm mahallelerde siltli kumlu zeminler görülmektedir. Sumer, Çapahasın ve Yeni Sanayi Mahalleleri'nde siltli kumun yanında ML düşük plastisiteli inorganik siltler görülmektedir. Turan ve Kurtuluş Mahalleleri'nde siltli kumun yanında GW-GM siltli iyi derecelenmiş çakıllar da görülmektedir. Dalıca Mahallesi'nde siltli kumun yanında SW iyi derecelenmiş kum ve GW iyi derecelenmiş çakıl görülmektedir. Bozyurt Mahallesi'nde siltli çakıllar, siltli kumlar ve düşük plastisiteli inorganik siltler görülmektedir. Arslanlı Mahallesi'nde siltli kumun yanında SW iyi derecelenmiş kum görülmektedir.

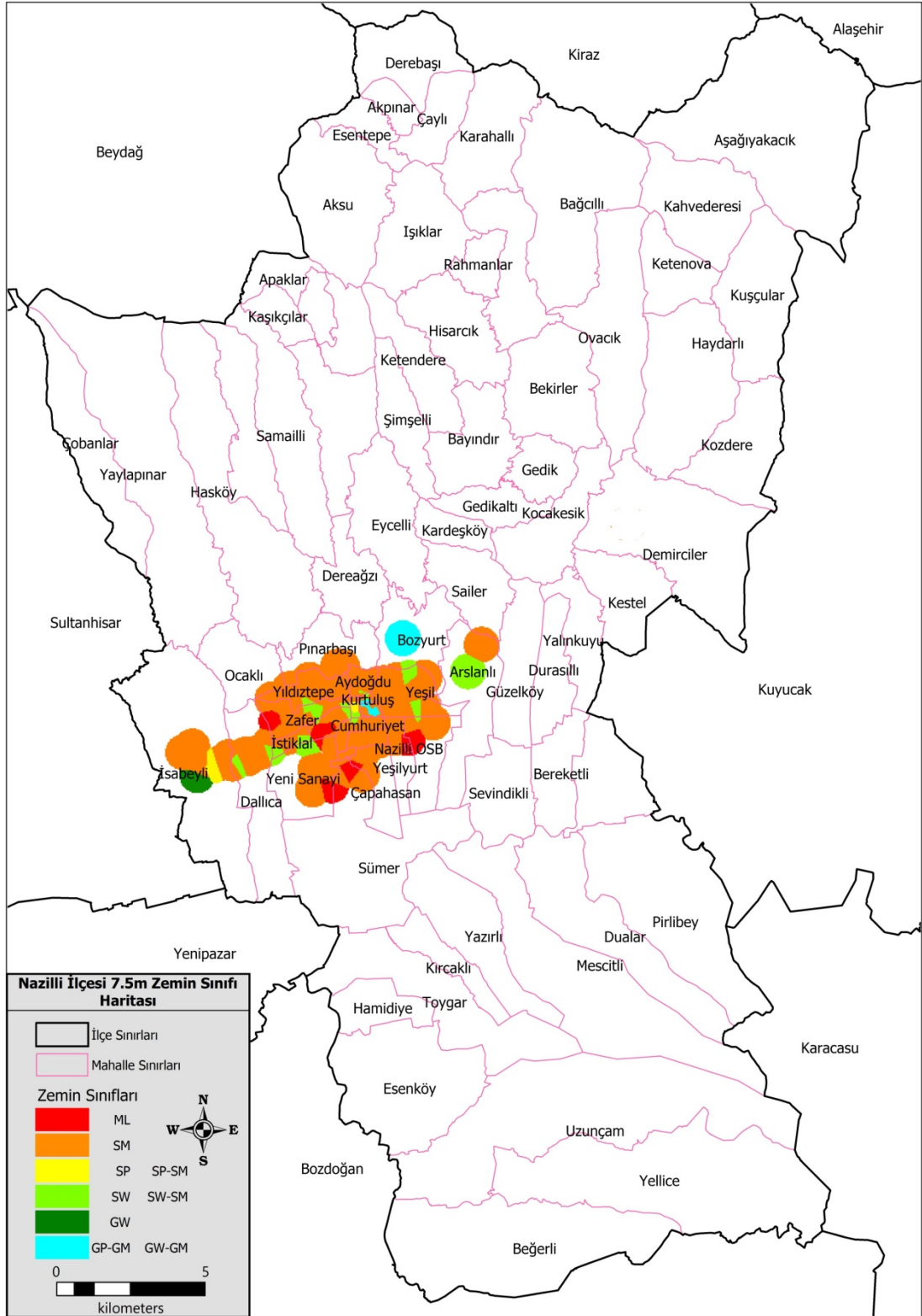


Şekil 4.17: 6 m' de zemin sınıfı haritası

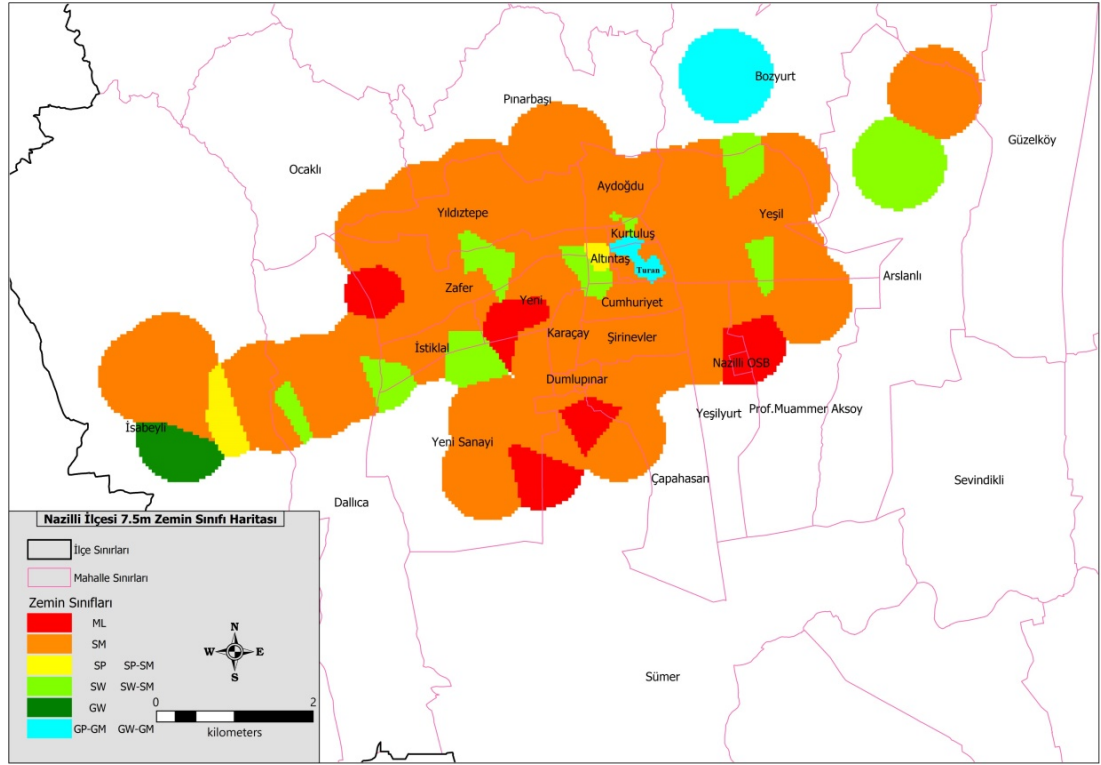


Şekil 4.18: 6 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de 6 m'de genellikle tüm mahallelerde siltli kumlu zeminler görülmektedir. Sümer, Nazilli OSB ve Yeni Sanayi Mahalleleri'nde siltli kumun yanında ML düşük plastisiteli inorganik siltler görülmektedir. Turan ve Kurtuluş Mahalleleri'nde GW-GM siltli iyi derecelenmiş çakıllar ile SW-SM siltli iyi derecelenmiş kumlar ve SW iyi derecelenmiş kum görülmektedir. Dallica Mahallesi'nde siltli kumun yanında SP kötü derecelenmiş kum ve GW iyi derecelenmiş çakıl görülmektedir. Bozyurt Mahallesi'nde siltli çakıllar, siltli kumlar ve düşük plastisiteli inorganik siltler görülmektedir. Arslanlı Mahallesi'nde siltli kumun yanında SW iyi derecelenmiş kum görülmektedir. İsabeyli Mahallesi'nde siltli kumun yanında SW iyi derecelenmiş kum da görülmektedir.

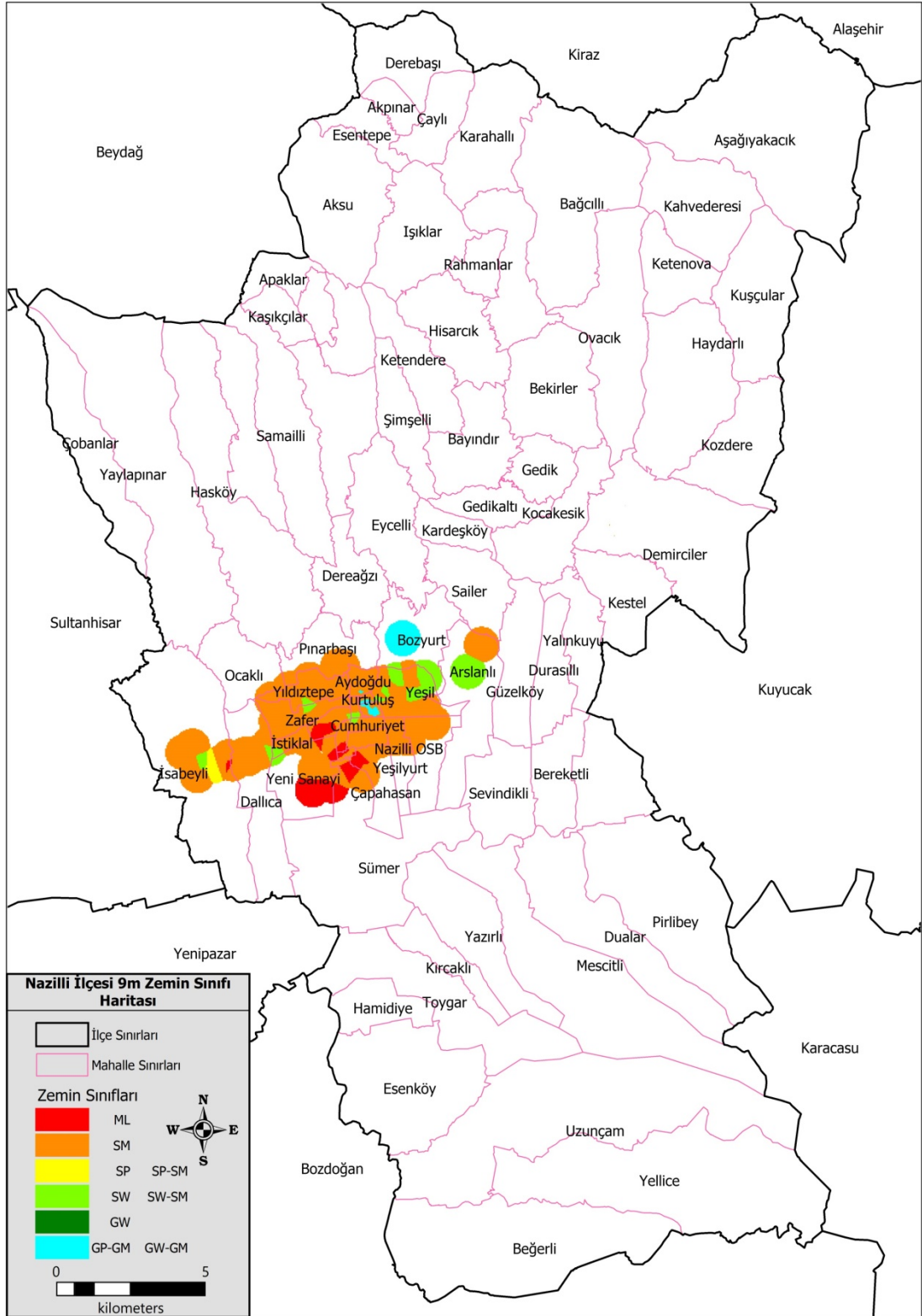


Şekil 4.19: 7.5 m' de zemin sınıfı haritası

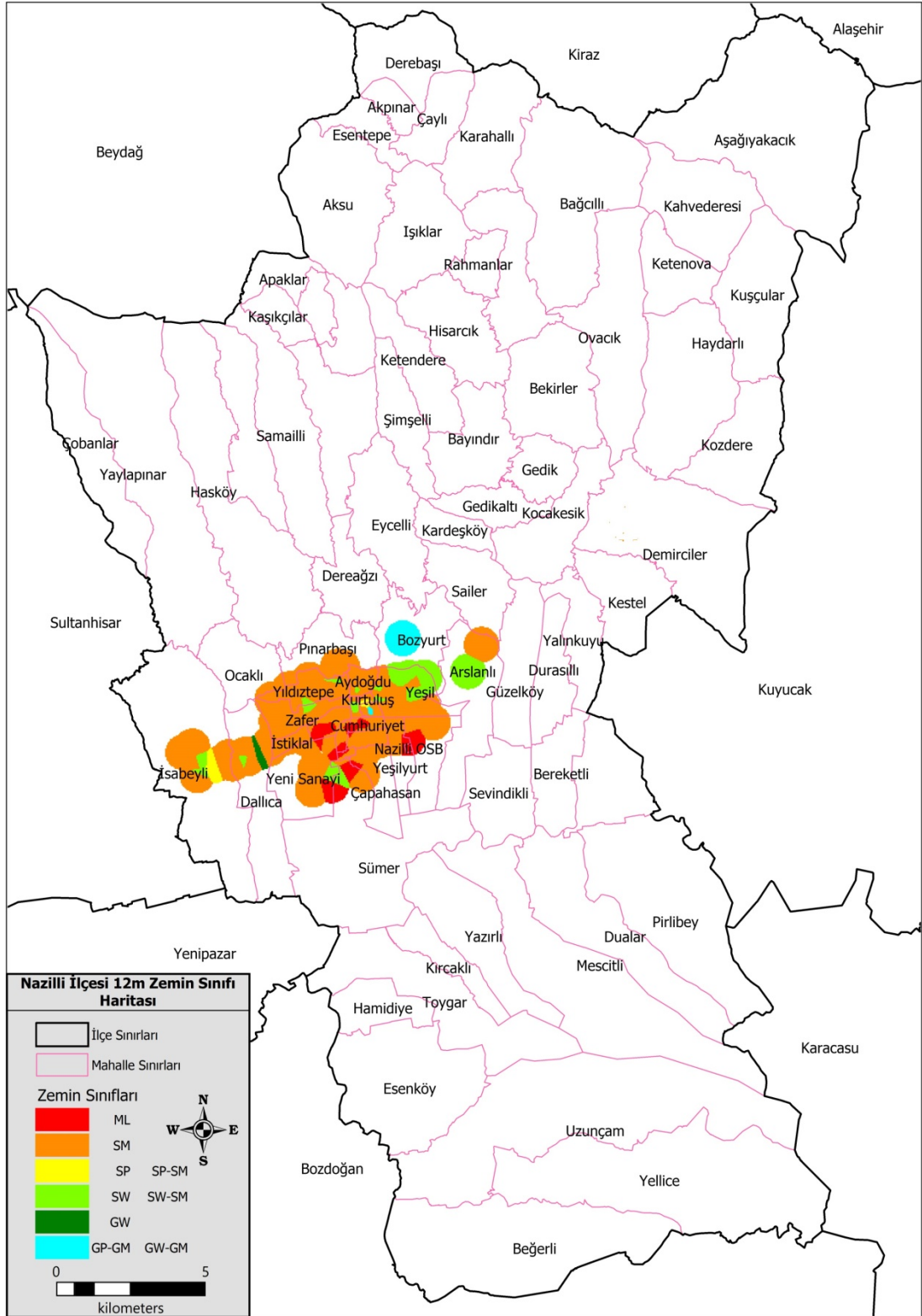


Şekil 4.20: 7.5 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası

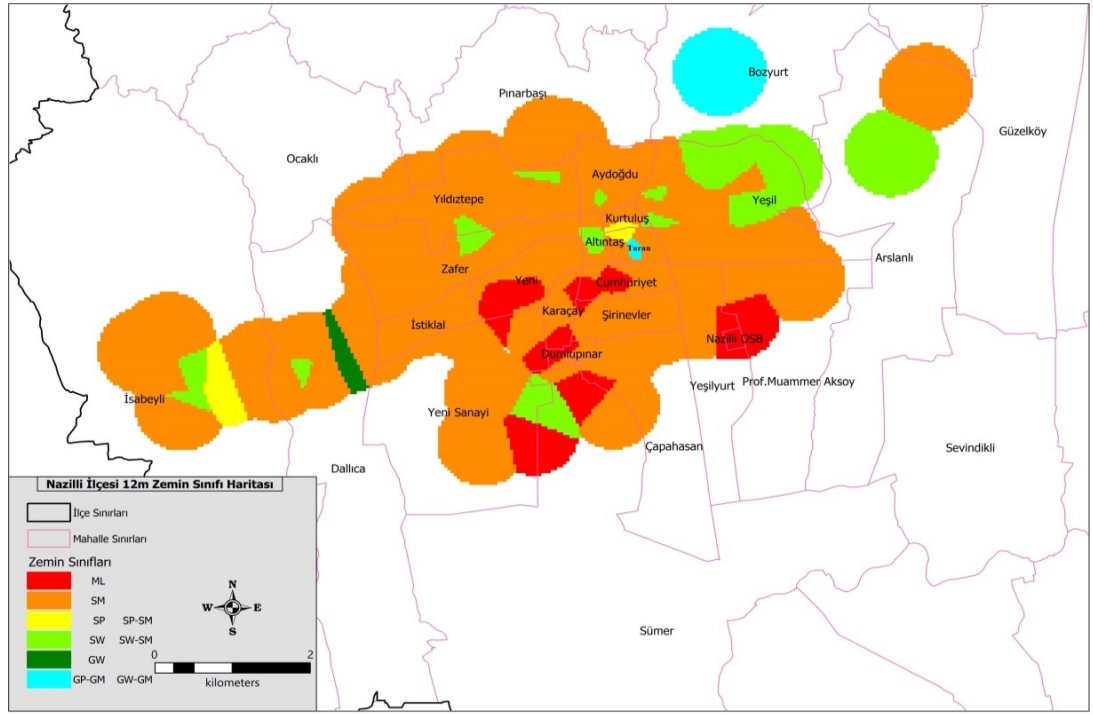
Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de 7.5 m'de genellikle tüm mahallelerde siltli kumlu zeminler görülmektedir. Sumer, Çapahasan ve Yeni Sanayi Mahalleleri'nde siltli kumun yanında az da olsa ML düşük plastisiteli inorganik siltler görülmektedir. Turan ve Kurtuluş Mahalleleri'nde SW iyi derecelenmiş kum ve GW-GM siltli iyi derecelenmiş çakıllar görülmektedir. İsabeyli Mahallesi'nde siltli kumun yanında SP kötü derecelenmiş kum ile GW iyi derecelenmiş çakıl görülmektedir. Dalıca Mahallesi'nde siltli kumun yanında SW iyi derecelenmiş kum görülmektedir. Bozyurt Mahallesi'nde siltli çakıllar ve siltli kumlar görülmektedir. Arslanlı Mahallesi'nde siltli kumun yanında SW iyi derecelenmiş kum görülmektedir. Aydoğdu Mahallesi'nde az da olsa SW-SM siltli iyi derecelenmiş kum görülmektedir.



Şekil 4.21: 9 m' de zemin sınıfı haritası



Şekil 4.23: 12 m' de zemin sınıfı haritası



Şekil 4.24: 12 m' de yakın plan zemin sınıfı haritası

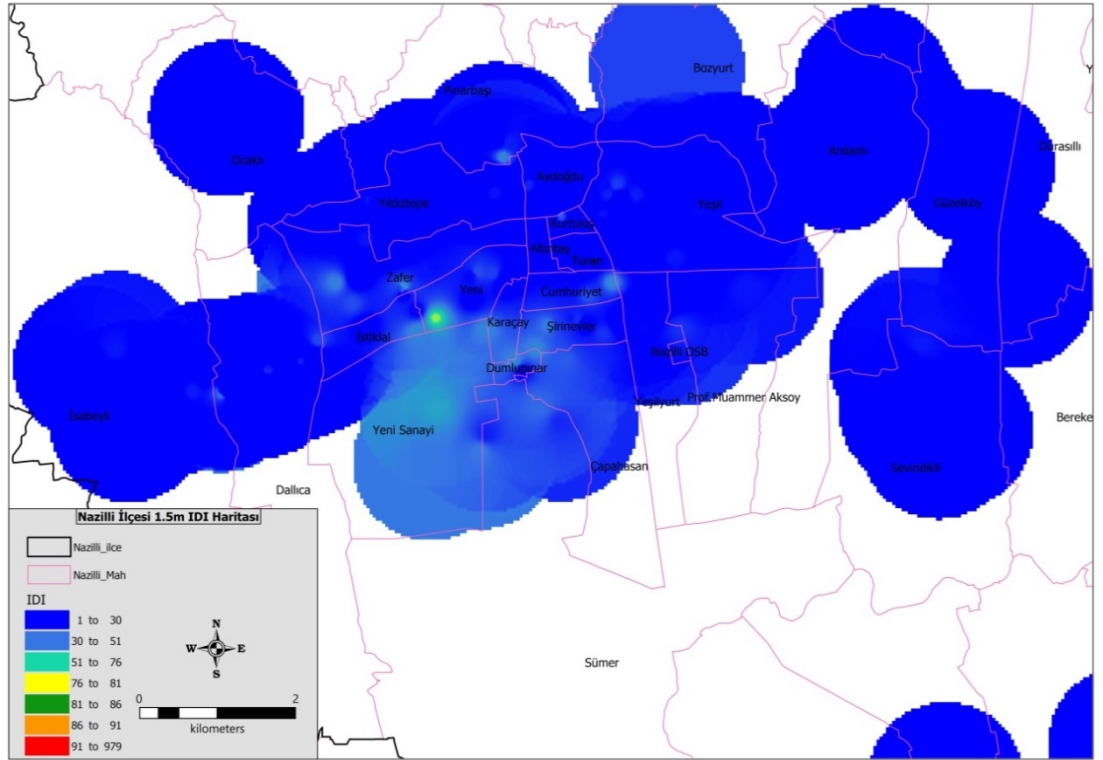
Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te 12 m'de genellikle tüm mahallelerde siltli kumlu zeminler görülmektedir. Sümer, Çapahasın, Cumhuriyet, Karaçay, Nazilli OSB ve Yeni Sanayi Mahalleleri'nde siltli kumun yanında ML düşük plastisiteli inorganik siltler görülmektedir. Turan Mahallesi'nde GW-GM siltli iyi derecelenmiş çakıl ve SP-SM kötü derecelenmiş kum görülmektedir. Altıntaş Mahallesi'nde SW iyi derecelenmiş kum da görülmektedir. İsabeyli Mahallesi'nde siltli kumun yanında SP kötü derecelenmiş kum ile SW iyi derecelenmiş kum görülmektedir. Dallica Mahallesi'nde siltli kumun yanında SW iyi derecelenmiş kum ile GW iyi derecelenmiş çakıl da görülmektedir. Bozyurt Mahallesi'nde siltli çakıllar, siltli kum ve siltli kötü derecelenmiş çakıllarda görülmektedir. Arslanlı Mahallesi'nde siltli kumun yanında SW-SM siltli iyi derecelenmiş kum görülmektedir. Zafer Mahallesi ve Yeşil Mahalle'de siltli kumun yanında az da olsa SW iyi derecelenmiş kum ve SW-SM siltli iyi derecelenmiş kum görülmektedir. Yıldıztepe ve Aydoğdu Mahalleleri'nde de siltli kumun yanında az da olsa SW iyi derecelenmiş kum görülmektedir.

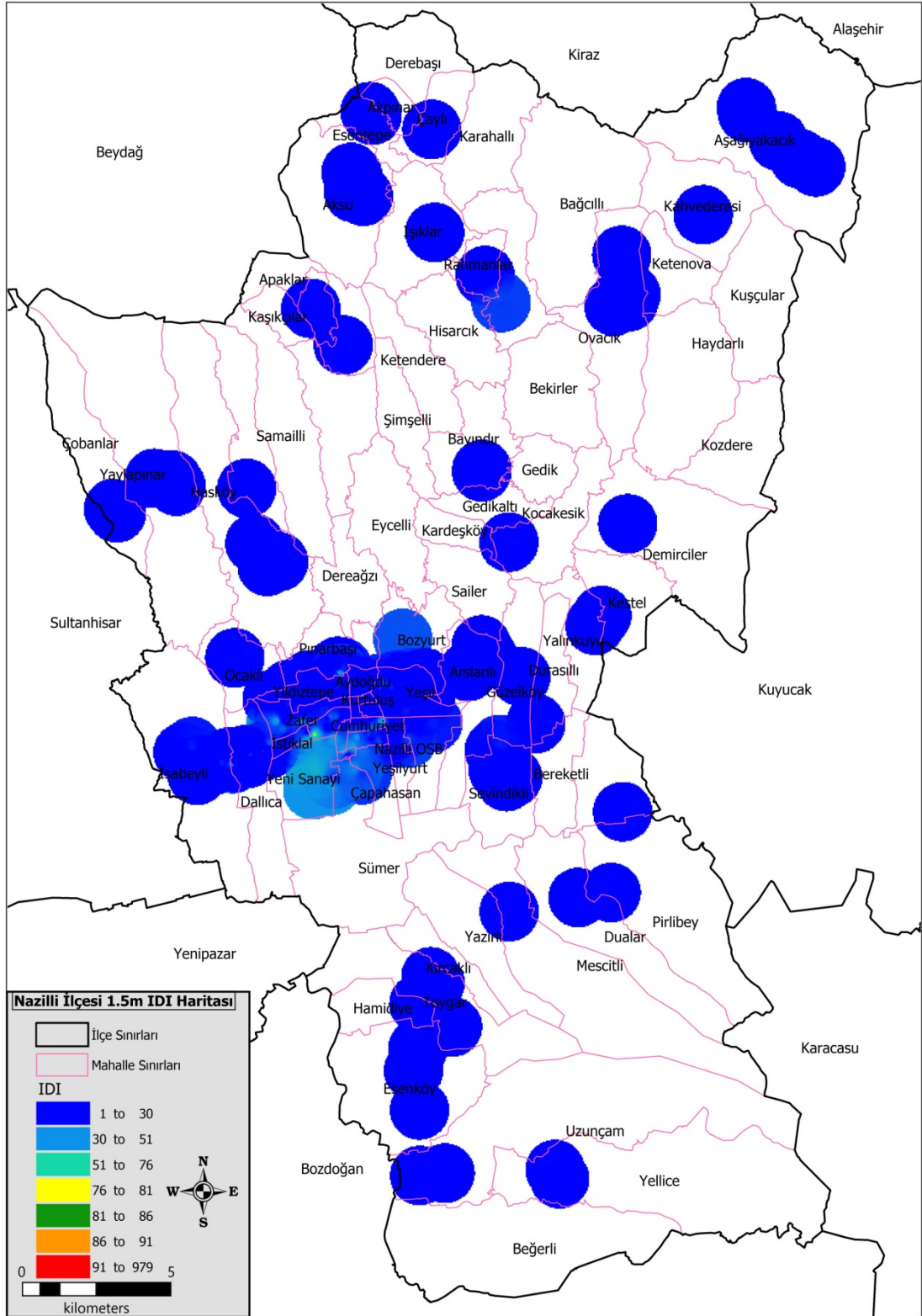
Genel olarak bakıldığında Nazilli genelinde zeminlerde siltli kum zemin sınıfına daha fazla rastlanmaktadır. Nazilli'nin kuzey bölgelerine doğru ara ara iri daneli çakıllı ve kumlu zeminlere rastlandığı görülmektedir.

4.6. İnce Dane İçeriği Haritaları (%)

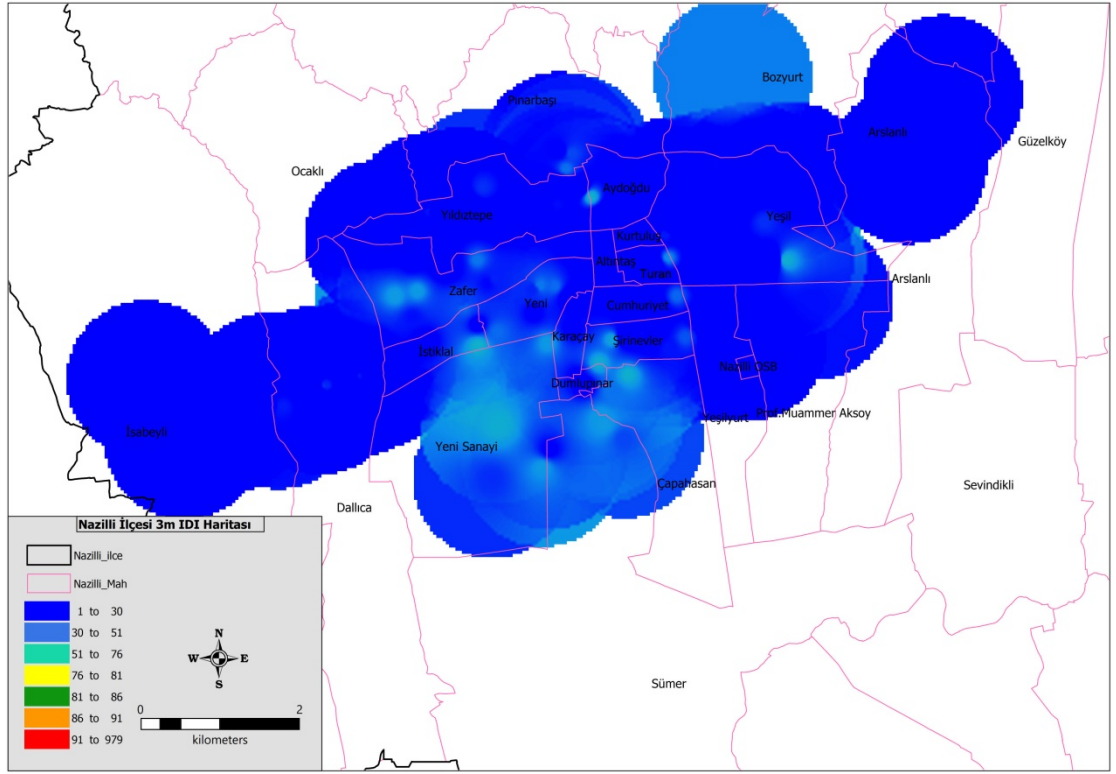
Zemin etüt raporlarından alınan verilerle ince dane içeriği haritalandırması hazırlanırken sondajlarda bir parselde ait yapılan farklı sondajlarda farklı derinliklerde ince dane içeriği deneyleri yapıldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak farklı sondajlardaki derinlikler birleştirilerek haritalandırma yapılmıştır. İnce dane içeriği IDI 0.075 mm den küçük çaplı daneler yüzdesine göre hazırlanmıştır. 1.5 m’de araştırma çukurlarında ince dane içeriği deneyleri hesaplaması yapıldığından genel olarak Nazilli’nin o bölgelerinde de 1.5 m için ince dane içeriği hakkında daha detaylı haritalandırma ortaya çıkarmak için bu verilerde kullanılmıştır.

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da 1.5 m’de ince dane oranının Nazilli’nin genelinde %50’ den aşağıda olduğu , hatta genelinde %30’dan aşağılarda olduğu görülmektedir. Aşağı Nazilli tarafında ince dane oranının daha yüksek olduğu görülmüştür.

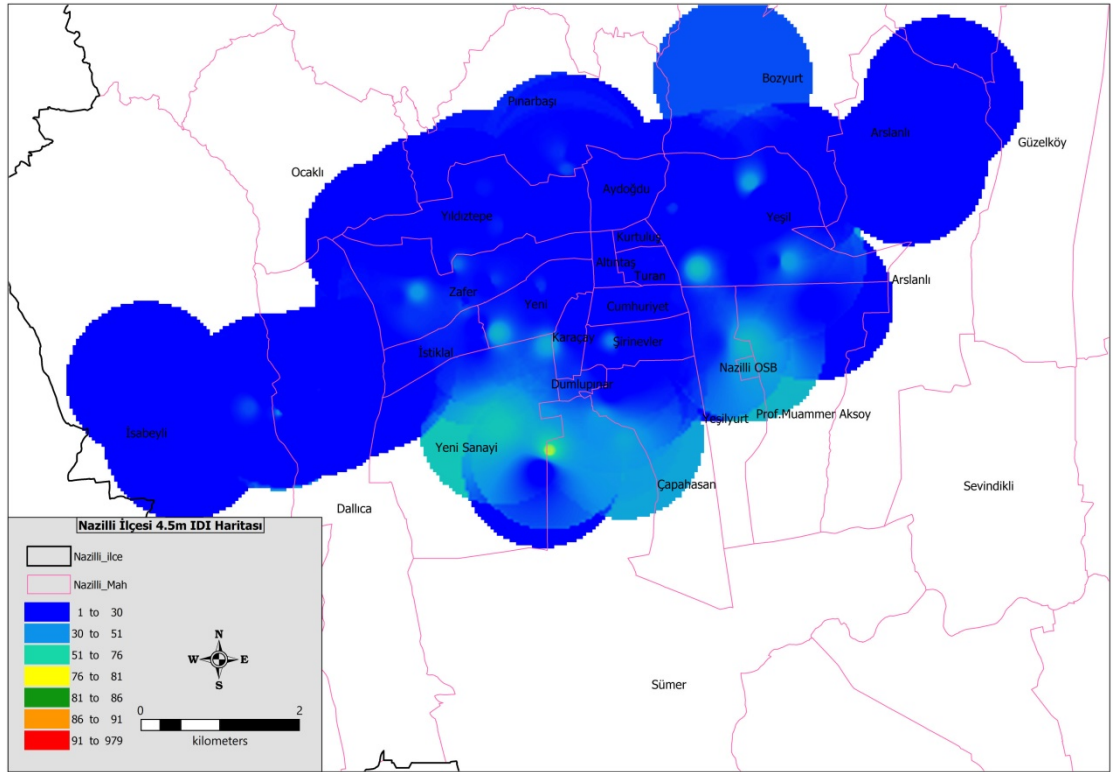




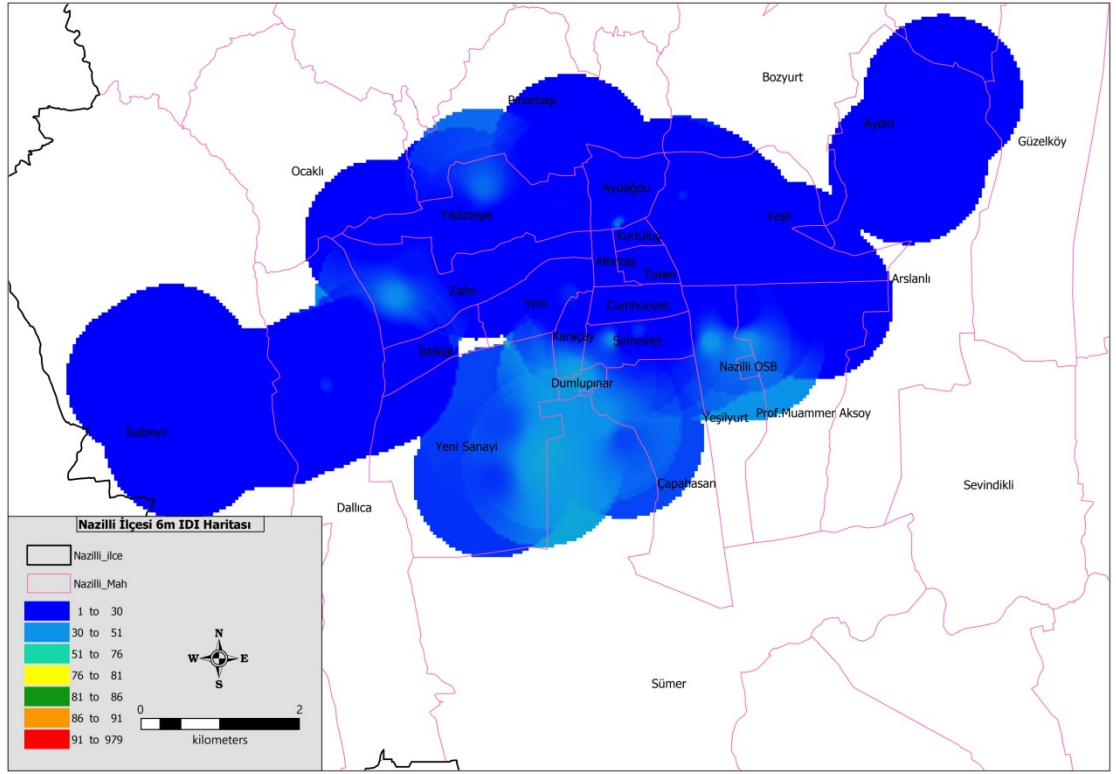
Şekil 4.26: 1.5 m' de IDI haritası



Şekil 4.27: 3 m' de IDI haritası

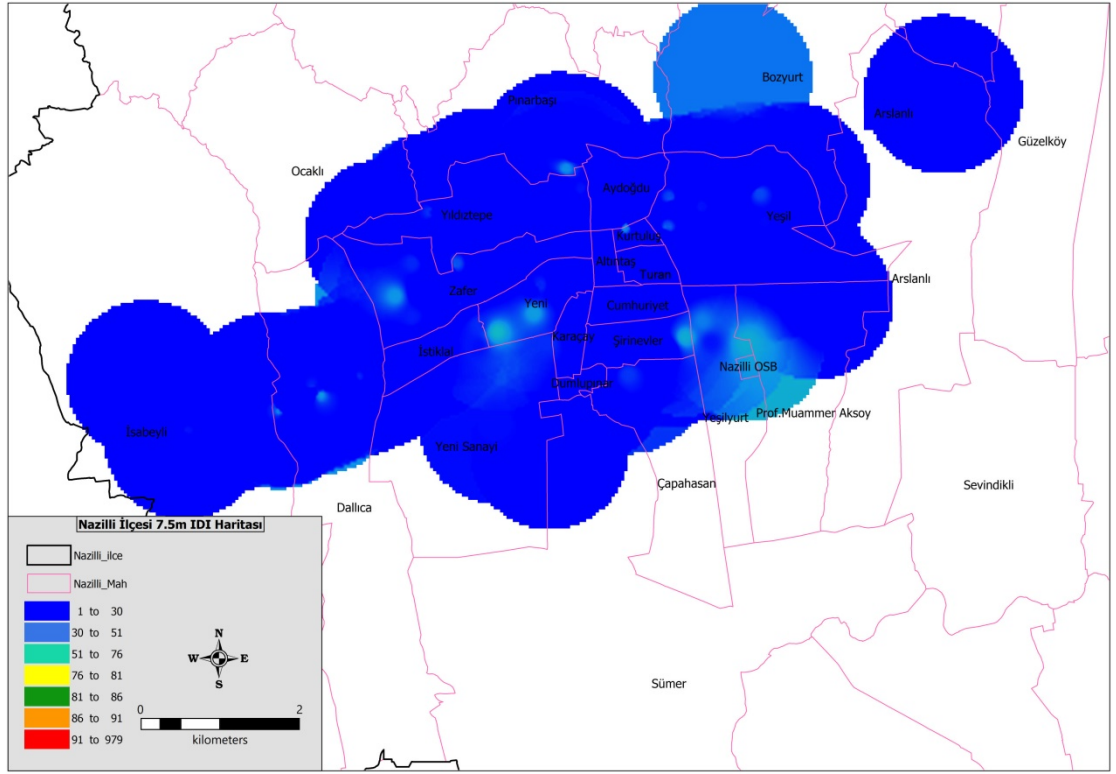


Şekil 4.28: 4.5 m' de IDI haritası

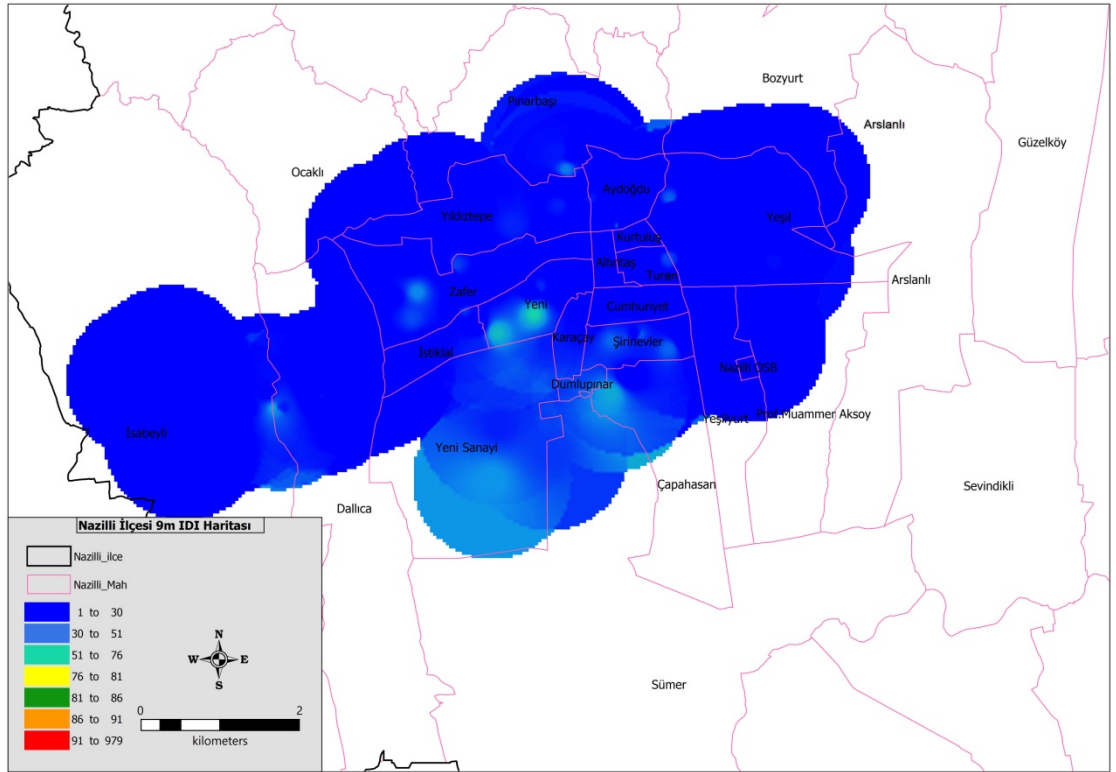


Şekil 4.29: 6 m' de IDI haritası

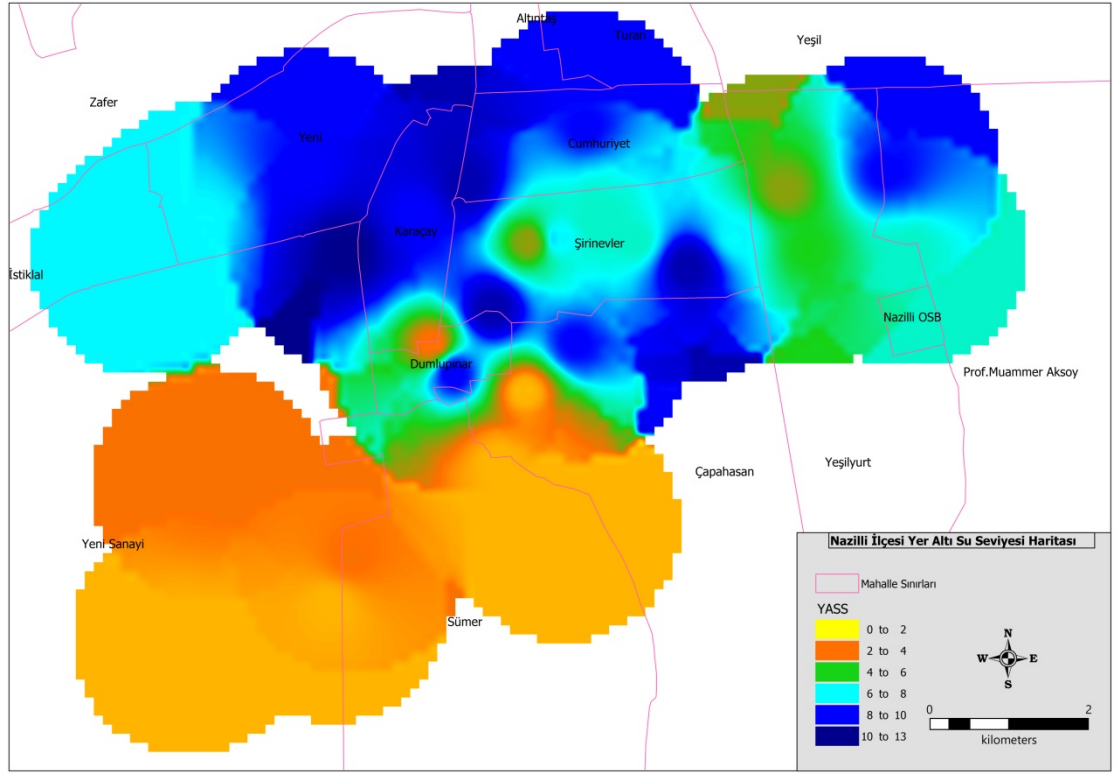
Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da 3 metre, 4.5 metre ve 6 metrede araştırma çukurlarında ince dane ile ilgili veriler bulunmadığından haritalandırmada gözükmemiştir. Genel olarak bakıldığında çoğu mahallede ince dane içeriği %30'un altında olduğu gözükmektedir. Dallica, İsabeyli ve Yeni Mahallerde bazı sondaj noktalarında ince dane içeriği %30-%50 arasında olduğu az da olsa görülmektedir. Prof. Muammer Aksoy, Karacay, Sümer, Yeni, Yeşil ve Zafer Mahallesi'ndeki bazı sondajlarda ince dane içeriği %50'nin üzerinde çıktığı görülmektedir. Ama bu sondajlar elimizdeki verilerin çok çok azdır. Haritalandırmada bu sonuçlar net bir şekilde gözükmemektedir.



Şekil 4.30: 7.5 m' de IDI haritası



Şekil 4.31: 9 m' de IDI haritası



Şekil 4.33: Nazilli ilçesi YASS haritası

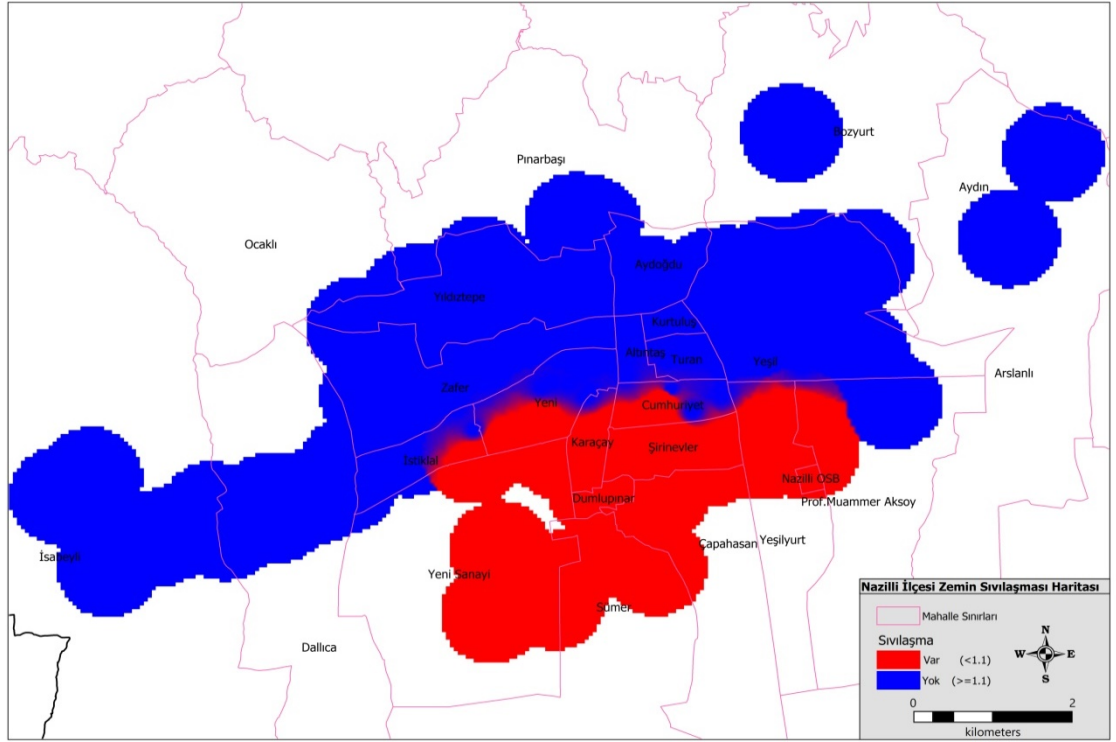
Yeraltı su seviyesi haritalandırılmasında genellikle açılan sondaj kuyuları 15 ile 20 metrededir. Eldeki verilerde yeraltı su seviyesi olmayan sondajlar haritalandırmada beyaz olarak görülmüştür. Yeraltı su seviyesine rastlanan mahalleler Yeni Mahallenin alt tarafları, İstiklal, Cumhuriyet, Dumlupınar, Karaçay, Nazilli OSB, Prof. Muammer Aksoy, Şirinevler, Yeni Sanayi, Sümer, Çapahasan ve Yeşilyurt Mahalleleridir. Yeraltı su seviyesi haritasından da anlaşılacağı üzere kuzeyden güneye doğru gittikçe yeraltı su seviyesinin yüzeye yaklaştığı çok açık bir şekilde görülmektedir. Cumhuriyet Mahallesi'nde yeraltı su seviyesi 5-12 m arasında değişmektedir. Çapahasan Mahallesi'nde yeraltı su seviyesi 3-10 m arasında değişmektedir. Dumlupınar Mahallesi'nde yeraltı su seviyesi 4-10 m arasında değişmektedir. Karaçay Mahallesi'nde yeraltı su seviyesi 5-13 m arasında değişmektedir. Prof. Muammer Aksoy ve Nazilli OSB Mahalleleri'nde yeraltı su seviyesi 6-10 metrelerde görülmektedir. Yeni Mahalle'de yeraltı su seviyesi 8-10 m arasında görülmektedir. Sümer Mahallesi'nde yeraltı su seviyesi 3 metrelerde görülmektedir.

4.8. Zemin Sıvılaşma Haritası

Sıvılaşma haritaları oluşturulurken hesaplamalarda TBDY 2018' e uygun olarak sıvılaşma analizi hesaplamaları yapılmıştır. Sıvılaşma analizlerinde $M_w=7$ ve $M_w=7.5$ deprem büyüklükleri baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Sıvılaşma analizi potansiyeli olup olmamasına göre eldeki sondaj verileri dikkate alınarak sıvılaşma potansiyeli haritası oluşturulmuştur.

Yeraltı su seviyesinden kaynaklı olarak yeraltı su seviyesinin 3 ile 13 metre arasında olmasından ve yeraltı su seviyesi olan yerlerde SPTN darbe sayılarında küçük değerlerde olmasından dolayı $M_w=7$ ve $M_w=7.5$ deprem büyüklüklerinde Şekil 4.34' de görüldüğü gibi sıvılaşma potansiyeli olan mahalleler gösterilmiştir.

Şekil 4.34' da görüldüğü üzere sıvılaşma haritası oluşturulurken elde bulunan 137 adet sondaj verisi baz alınarak sıvılaşma analizi hesaplamaları yapılmıştır. Haritalamada beyaz görülen bir çok mahallede sondaj verisi elde bulunmamaktadır. Ayrıca bu beyaz görülen yerlerin birçoğunda yerleşim yeri bulunmadığı Şekil 4.1' de görülmektedir. Şekil 4.1' de Aydın ili Nazilli ilçesi sondaj ve araştırma çukuru noktalarının görüntüsü olan haritada ve Şekil 4.3'de mahallelerin bir çoğunda yerleşim yeri olmadığı olan yerlerde de eldeki verilerden bu mahallelerde araştırma çukurları ile zemin raporları hazırlanmış olduğu görülmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu Zemin ve Temel Etütü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı'nda belirtildiği gibi araştırma çukurları ile zemin çalışması yapılan yerlerin etüt kategorilerinden Kategori 1' e girmiş olduğu ve bu şartlara göre çalışma yapıldığı eldeki zemin etüt raporlarından görülmüştür. Eldeki verilerle Şekil 4.34' da da görüldüğü gibi Nazilli'nin genelinde yapılaşmanın ve nüfusun %85' inin yaşadığı bu mahallelerde sıvılaşma haritası oluşturulmuştur. Sıvılaşma haritası oluşturulurken 2018 TBDY' e göre yapılan sıvılaşma analizi hesaplamalarında $M_w=7$ ve $M_w=7.5$ deprem büyüklüklerinde Şekil 4.34 'de olduğu gibi zemin sıvılaşması olan mahallelerde değişiklik olmamıştır. Ancak deprem büyüklüğünün $M_w=7.5$ olmasıyla FS sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının $M_w=7$ büyüklüğündeki depreme göre daha küçük değerlerde olduğu ve sıvılaşma potansiyelinin daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.34: Nazilli ilçesi zemin sıvılaşması haritası

Yapılan sıvılaşma hesaplamaları sonucunda güvenlik katsayısı (FS)'nin 1.1 den küçük olmasıyla sıvılaşma olan mahalleler haritada gösterilmiştir. Haritada beyaz olan bölgelerde elimizde veriler olmadığından ve çoğu bu beyaz bölgelerde de yerleşim yeri olmamasından kaynaklı olarak çalışmaya dahil edilememiştir. Yeraltı su seviyesine, zemin sınıfına ve ince dane içeriğine göre haritadaki kırmızı bölgelerde sıvılaşma beklenmesinin gayet normal olduğu ve hesaplamalar ve haritalandırma neticesinde de daha net olarak ortaya koyulduğu görülmüştür. Yeni Sanayi, Sumer, Çapahasan, Nazilli OSB, Yeşilyurt, Dumlupınar, Karacay, Şirinevler Mahalleleri ile İstiklal, Yeni, Cumhuriyet Mahalleleri'nin güney taraflarında ve Prof. Muammer Aksoy'un küçük bir kısmında sıvılaşma beklenmektedir.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında çalışma bölgesi olarak Aydın ili Nazilli ilçesi seçilmiştir. Seçilen bölgede haritalandırma çalışması oluşturabilmek için daha önceden bölgede yapılmış olan zemin etüt raporlarından yararlanılmıştır.

Ülkemizin ve dünyanın deprem gerçeği göz önünde bulundurulduğunda gerek ülkemizde gerek dünyanın farklı bölgelerinde gerçekleşen depremler incelendiğinde zemin çalışması yapılmasının önemi her zaman ve ortamda dile getirilmeye başlanmıştır. Her ne kadar statik betonarme proje sağlam yapılsa da zemin hakkında bilgi sahibi olmadan yapılan çalışmanın sağlıklı bir uygulama olmadığı İzmit-Kocaeli depremi ve son olarak da Kahramanmaraş depremlerinde bir kez daha karşımıza çıkmış bulunmaktadır. Nazilli bölgesi de Türkiye Deprem Tehlike Haritası' na göre deprem riski yüksek olan yerlerden birisi olmasında dolayı yapılan hesaplamalar ve haritalandırma çalışmalarıyla bölge hakkında bilgi vermek amaçlanmış ve olası bir deprem sonucunda meydana gelebilecek hasarın tahmininde büyük bir katkı sağlaması amaçlanmıştır. Bu çalışma ile yeni imar çalışmaları ve yapılaşma çalışmalarına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmada zemin etüt raporlarından alınan 137 adet sondaj verisi ve 64 adet araştırma çukuru verisi kullanılmıştır. Nazilli'nin 26 mahallesindeki sondaj verileri kullanılmıştır. 30 mahallede köyiçi olan bu mahallelerde araştırma çukuru ile zemin çalışmaları yapılmıştır. Sondaj verilerinin bulunduğu yerler Nazilli'nin yüzde %85 nüfusunun yaşamış olduğu mahalleler olup yapılaşmanın geneli buralarda olduğu görülmüştür. Diğer mahallelerin köyiçi mahalleler ve genelinde de dağlık zeminler olduğu görülmüştür. Köyiçi mahallelerde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu Zemin ve Etüt Uygulama Esasları ve Raporları Formatı'nda etüt kategorilerinden Kategori 1' e girmiş olduğu ve bu sebeple 1.5 metrelerde araştırma çukurlarıyla zemin çalışması yapıldığı görülmüştür. Kategori 1' e göre yapılacak yapıda

bodrum kat olmaması ile zemin ve 1 normal kat olan ve yapı yüksekliği 7.5 metreyi geçmeyecek şekilde 300 m² inşaat alanını geçmeyen konut tipi yapılar olması veya bodrum olması durumunda bodrumun 3 metreyi geçmemesi, bodrum ile zemin ve 1 normal katın olduğu 10.5 metreyi geçmeyen toplam inşaat alanı 500 m²' yi geçmeyen derin temel sistemi ve zemin iyileştirilmesi gerektirmeyen konut tipi yapılarda uygulanmaktadır. Araştırma çukuru ile çalışma yapılan yerler eldeki zemin etüt raporlarında zeminin sondaj makinası çalışması için müsait olmayan yerler şeklinde belirtilmiştir. Köyiçi mahallelerin geneli dağlık bölgelerde bulunduğu görülmüştür. Araştırma çukuru ile zemin çalışması yapılan mahallelerde yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Eldeki verilerle araştırma çukuru ile zemin çalışması yapılan mahallelerde zemin sıvılaşması beklenmemektedir. Ama zemin etüt raporlarında 1.5 metrede kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerde bulunduğu belirtildiğinden deprem sırasında yapı yükseklikleri 6.5 metrelerde olsa bile özellikle zemin sıvılaşması olan Aydın-Denizli karayolunun alt tarafında olan araştırma çukurlarında ovada olan kesimlerde zemin oturmalarının önüne geçilebilmesi ve şartların gözönünde bulundurulması daha kapsamlı sondaj çalışmaları yapılması tavsiye edilmektedir.

Hazırlanan düzeltilmiş SPTN* haritalarına bakıldığında özellikle 1.5 m derinlikte çalışma alanının genelinde 15 darbe sayısının altında olduğu görülmektedir. İsabeyli, Aydoğdu, Arslanlı, Yıldıztepe ve Kurtuluş mahallelerinde bu 20-30 darbe düzeyine kadar çıkmaktadır. Özellikle 6 m' den sonra düzeltilmiş SPTN* darbe sayılarında mahallerin genelinde darbe sayısının 15 üzerinde olduğu ama sıvılaşma potansiyeli olan mahallerde hala düzeltilmiş SPTN* darbe sayılarının 20 altında olduğu görülmüştür. 7.5 m ve üzerinde düzeltilmiş SPTN darbe sayılarında Nazilli – Denizli karayolunun üst tarafında yani Nazilli' nin kuzeyinde 25 hatta genelinde 30 üzerinde olduğu görülmüştür. Aşağı Nazilli yani Nazilli' nin güneyinde 7.5 m' de düzeltilmiş SPTN* darbe sayıları genellikle 20 altında olduğu görülmüştür. 12 m' de düzeltilmiş SPTN* darbe sayılarının Nazilli' nin kuzeyindeki mahallelerin çok büyük çoğunluğunda 30 üstünde olduğu görülmüştür. 12 m' de düzeltilmiş SPTN* darbe sayılarının aşağı Nazilli bölgesinde sıvılaşma potansiyeli olan Yeni Sanayi, Sümer, Dumlupınar, Yeni Mahallenin alt tarafları, Karaçay, Şirinevler, İstiklal, Yeşilyurt, Cumhuriyet, Çapahasan, Nazilli OSB ve Prof. Muammer Aksoy mahallelerinde 25 altında olduğu görülmüştür.

Haritalandırmalara bakıldığında düzeltilmiş SPTN* haritalandırmasının ince dane oranı ve zemin sınıflarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

Nazilli ilçesi için hazırlanan zemin sınıfı haritalarında genellikle çalışma bölgesinde siltli kumlu zeminlerin olduğu görülmüştür. Nazilli' nin kuzey mahallerinde Nazilli-Denizli karayolunun üst tarafındaki mahallelerde siltli kumun yanında SW iyi derecelenmiş kum, GW iyi derecelenmiş çakıl, GW-GM siltli iyi derecelenmiş çakıllara, SW-SM siltli iyi derecelenmiş kumlu zeminlere rastlanmıştır. Nazilli' nin güneyinde Nazilli-Denizli karayolunun alt tarafındaki mahallelerde siltli kumun yanında ML düşük plastisiteli inorganik siltli zeminlere rastlanılmıştır. İnce dane oranları aşağı bölgelerde daha yüksek olduğu görülmüştür.

Nazilli ilçesi için hazırlanan ince dane içeriği haritalarında ince dane oranının %35 altında olduğu görülmektedir. Derinliğin artmasıyla birlikte ince dane oranında azalma olduğu haritalarda görülmektedir.

Nazilli ilçesi için hazırlanan yeraltı su seviyesi haritalandırılmasında aşağı Nazilli bölgesindeki mahallelerde Yeni, İstiklal, Cumhuriyet, Dumlupınar, Karaçay, Nazilli OSB, Prof. Muammer Aksoy, Şirinevler, Yeni Sanayi, Sümer, Çapahasın ve Yeşilyurt mahallelerinde yeraltı suyuna rastlanılmıştır. Yeraltı su seviyesi haritasından da anlaşılacağı üzere kuzeyden güneye doğru gittikçe yeraltı su seviyesinin yüzeye yaklaştığı çok açık bir şekilde görülmektedir. Cumhuriyet Mahallesi'nde yeraltı su seviyesi 5-12 m arasında değişmektedir. Çapahasın Mahallesi'nde yeraltı su seviyesi 3-10 m arasında değişmektedir. Dumlupınar Mahallesi'nde yeraltı su seviyesi 4-10 m arasında değişmektedir. Karaçay Mahallesi'nde yeraltı su seviyesi 5-13 m arasında değişmektedir. Prof. Muammer Aksoy ve Nazilli OSB Mahalleleri'nde yeraltı su seviyesi 6-10 metre arasında görünmektedir. Yeni Mahalle'de yeraltı su seviyesi 8-10 m arasında görünmektedir. Sümer Mahallesi'nde yeraltı su seviyesi 3 metrelerde görünmektedir. Eldeki sondaj verilerine dayanarak Nazilli'nin kuzeyinde Nazilli-Denizli karayolunun üst tarafında yeraltı suyuna rastlanmadığı görülmüştür. Ancak sondajlardaki SPTN darbe sayılarının 35 den küçük olmaları da göz önünde bulundurularak ilerleyen yıllarda bu çalışmadaki 15 m ve 20 m sondajlardaki yeraltı su seviyesi görülmeyen mahallelerde yeraltı su seviyesinde yükselme görülmesi

durumunda deprem anında sıvılaşma riski oluşturmaması için yapılaşma yapılmadan yapı yapılacak her parselde sondaj çalışması yapılması tavsiye edilmektedir.

Nazilli ilçesinin nüfus çoğunluğu ve yapılaşmanın genelini Nazilli'nin merkez mahallerinde olduğu görülmektedir. Nüfusun %85' i bu mahallelerde yaşamaktadır. Ayrıca Nazilli merkez nüfusunun %27' si Nazilli-Denizli karayolun alt tarafında, %58' i Nazilli-Denizli karayolun üst tarafında tarafında ikamet etmektedir. Buna bağlı olarak sıvılaşma ihtimali olan mahallelerde ve bu bölgelerde yeni yapılacak imar çalışmalarında zeminden kaynaklanacak durumlar göz önüne alınarak çalışmalar yapılması tavsiye edilmektedir.

Nazilli' nin 26 mahallesinde elde bulunan 137 adet sondaj verisinde TBDY 2018' e göre yapılan sıvılaşma hesaplamaları sonucunda 12 mahallede bulunan 31 adet sondaj verisinde $M_w=7$ ve $M_w=7.5$ büyüklüklerindeki depremlerde zemin sıvılaşması olduğu tespit edilmiştir.

Nazilli ilçesi sıvılaşma haritasına bakıldığında aşağı Nazilli yani Aydın-Denizli karayolunun alt tarafındaki mahallelerde TBDY 2018'e göre yapılan sıvılaşma analizi hesaplamaları sonucunda oluşturulan haritalarda Yeni Sanayi, Sümer, Çapahasan, Nazilli OSB, Yeşilyurt, Dumlupınar, Karaçay, Şirinevler Mahalleleri ile İstiklal, Yeni, Cumhuriyet Mahalleleri'nin güney taraflarında ve Prof. Muammer Aksoy mahallesinin küçük bir kısmında genellikle güney kısmında sıvılaşma olma potansiyeli olduğu hesaplamalar sonucunda görülmüştür. Bu mahallelerde yerleşim alanları olduğu ve yeni yapılacak imar çalışmalarında sıvılaşma riski göz önüne alınarak gerekli zemin ve yapı iyileştirmelerinin yapılması gerektiği düşünülmektedir. Aşağı Nazilli'de Yeni Sanayi, Sümer, Çapahasan, Yeşilyurt, Nazilli OSB, Prof. Muammer Aksoy Mahalleleri'nin güney taraflarında yeni imara açılması planlanan alanlarda potansiyel sıvılaşma ihtimali olma durumu olabileceğinden yapılacak imar çalışmalarında konut, işyeri ve fabrika tarzı yapılarda gerekli şartlar gözetilerek 2018 TBDY'e göre zemin çalışmaları ve yapı çalışmaları yapılması tavsiye edilmektedir.

Çalışma kapsamında $M_w=7$ ve $M_w=7.5$ büyüklüğündeki deprem anında aynı zeminde sıvılaşma analizi hesaplaması yapıldığında deprem büyüklüğünün artmasına bağlı olarak sıvılaşma potansiyelinin arttığı görülmüştür. Sıvılaşma haritası oluşturulurken 2018 TBDY' e göre yapılan sıvılaşma analizi hesaplamalarında $M_w=7$ ve $M_w=7.5$

deprem büyüklüklerinde Şekil 4.34 'de olduğu gibi zemin sıvılaşması olan mahallelerde değişiklik olmamıştır. Ancak deprem büyüklüğünün $M_w=7.5$ olmasıyla FS sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının $M_w=7$ büyüklüğündeki depreme göre daha küçük değerlerde olduğu ve sıvılaşma potansiyelinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Sıvılaşma potansiyeli olan bölgelerde yapılaşma yapılamaz gibi bir durum söz konusu değildir. Bu bölgelerde depremlerden kaynaklı yaşanabilecek olumsuzlukların önüne geçilebilmesi için yapılaşma öncesinde jeolojik çalışmalar yapılarak zemin etüt hesaplamaları sonucunda zeminin özelliklerine göre, özellikle gevşek zeminlerde zemin sıklığının artması için zemin iyileştirilmesi gerekiyorsa ilk olarak zemin iyileştirme çalışması yapılmalı ve inşaat çalışmasına o şekilde devam edilmesi sağlanmalıdır.

Sıvılaşma potansiyeli olan bölgelerde her ne kadar Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e uygun gerekli statik betonarme hesaplamalar yapılarak inşaat çalışması yapılsada zeminde deprem anında sıvılaşma bekleniyorsa yapı betonarme olarak ne kadar iyi olsada zeminden kaynaklı olarak yapıda oturmalar ve deprem anında devrilmeler olabildiği yaşanan depremlerde sıklıkla görülmüştür. Bu nedenle zemin çalışmalarına gerekli önem verilmeli zemin yapılaşma açısından tehlikeliyse gerekli olan zemin iyileştirme çalışması yapılması gerekmektedir.

Bölgenin sismik olarak aktifliği göz önünde bulundurularak yeni imar çalışmalarında ve bölgenin daha kapsamlı incelenmesine yardımcı olunması amacıyla hazırlanmış olan bu çalışmada yapılaşma öncesi yapı yapılacak her parsel için detaylı sondaj çalışması yapılması tavsiye edilmektedir. Yıllar içerisinde yeraltı sularının kullanımı ve mevsim koşullarından dolayı yeraltı suyu seviyelerindeki değişimler göz önünde bulundurularak her çalışma öncesi detaylı sondaj çalışması yapılması tavsiye edilmektedir.

Elde olan mevcut veriler üzerinden hazırlanan bu çalışma genel literatüre uygun olmakla birlikte mevcut veriler yetersiz olduğu düşünüldüğünden Aydın ili Nazilli ilçesinin tümünde kapsayıcı bir çalışma olarak değerlendirilmeyip daha tutarlı veri elde etmek için yapılacak yapılaşmalarda parsel bazında daha detaylı sıvılaşma analizi yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Alkan, M.S. (2022), *Bilecik Bölgesi Sismik Tehlikesinin ve Zemin sıvılaşma potansiyelinin belirlenerek sıvılaşma risk haritasının oluşturulması*, (Yüksek Lisans Tezi), Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Alpaslan, N., (2013), Zemin sıvılaşması ve Mekanizması, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 3, 67-89.
- Altunel E., Akyüz H.S., Karabacak V., Yalçiner C.Ç. ve Yönlü Ö., (2006). Büyük Menderes Fay Zonu'nun Paleosismolojisi ve Arkeosismolojisi. Ön Bulgular. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, Sözlü Sunum, İzmir.
- Birand, Ş. A. (1950). Nazilli Çevresinde Görülen Tuz Çökelekleri ile Karasular üzerinde Jeolojik Müşahedeler. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 2(2), 22-27
- Çaltılı, E. (2017), *Edirne ilindeki zeminlerin standart penetrasyon deneyi (SPT) kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çavuş, U.Ş. (2004). *Deprem Sebebiyle Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin "Bulanık Mantık Modellemesi (Fuzzy Logic Modelling)" ile Değerlendirilmesi*. (Doktora Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çelik, S. B., (2003). *Denizli İl Merkezi Zeminlerinin Jeolojik, Jeoteknik Açından İncelenmesi ve Sıvılaşma Duyarlılığının Belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Demir, G. (2013). *Gürsu (Bursa) Yerleşim Alanındaki Temel Zeminlerin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Demirtaş R. ve Yılmaz R., (1996). Türkiye'nin Sismotektoniği. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 91.
- Demirtaş R. ve Güneş Y., (2011)., Aydın İli, Nazilli İlçesi, İsabeyli Belediyesi İmar Planına Sınırları içerisinde geçen Büyük Menderes Çöküntüsüne ait Fay zonunun Aktif tektonik ve Yüzey Faylanması Tehlike Zonu Açısından Değerlendirilmesi.
- Deprem Araştırma Dairesi, (2007). Batı Anadolu Çöküntü Bölgesi'nin Paleosismoloji Projesi. Sonuç Raporu, Ankara, Rapor No: 5691-1.
- Duman, E.S. (2013). *Erzincan İl Merkezi ve Çevresindeki Zeminlerin Standart Penetrasyon Deneyi Verileri Kullanılarak Sıvılaşma Potansiyelinin*

- Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Eravcı B., (2006). *Büyük Menderes Grabeni İçindeki Aktif Fayların Jeolojisi ve Paleosismisitesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Esin, G. (2015), *Coğrafi Bilgi Sistemi kullanılarak Burhaniye (Balıkesir) yerleşim alanının sıvılaşma duyarlılık haritasının oluşturulması*, (Yüksek Lisans Tezi), Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- 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.
- Gülerce, Z., Yılmaz, M.T., Huvaj, N., Sağlam, S., & Sandıkkaya, A. (2011). 23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri. METU/EERC Rapor No:2011-04 Raporu, 76s.
- Güneş G., 2005. Tarihte Aydın Depremleri (XIX. Yy'ın İki Büyük Depremi 1895 ve 1899 Depremleri). Aydın Eski Eserleri Sevenler Derneği Aylık ve Tarih ve Kültür Dergisi, 1: 11.
- Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall Civil Engineering and Mechanics Series, 653 pages.
- Koç, G. (2007). *Gölcük ve Çevresinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Köleoğlu, E. (2002). *Sıvılaşma potansiyeli değerlendirmeleri ve sıvılaşma analizi kriterlerinin karşılaştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2023). Jeoloji Etütleri Daire Başkanlığı.
- Üstün, A.B., Altuntaş, G., Demirörs, U. ve Karayazı, O. (2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri ve 20 Şubat 2023 Defne (Hatay) Depremi Sonucu Gelişen Sıvılaşma Yapıları Saha Gözlemleri ve Değerlendirmeler.
- Mollamahmutoğlu, M., ve Babuçcu, F. (2006). Zeminlerde sıvılaşma analiz ve iyileştirme yöntemleri. Gazi Kitabevi.
- 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.
- Özdin, A.E. (2023), *Sakarya İli Geyve İlçesi zeminleri sıvılaşma davranışının CBS ile incelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.
- Özpinar, O. (2019), *Aydın ili Efeler ilçesi Ovaeymir mahallesinin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Deprem Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi-DAMER - 30 Ekim 2020 $M_w=6.6$ Ege Denizi Seferihisar (İzmir) Depremi İnceleme ve Değerlendirme Raporu

- Seed, H. B., Idriss, I. M., ve Arango, I. (1983). Evaluation of liquefaction potential using field performance data. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(3), 458-482.
- Seven S. (2008). *Eskişehir İli Tepebaşı Bölgesinin Temel Zemini özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, (1996). Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Ankara.
- TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. (2020). Fay üzerinde yaşayan illerimiz: Aydın Raporu-4 https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/fd48ca94ad36dac_ek.pdf.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara (2018).
- TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar, Ankara (1987), (Çizelge 1).
- Yürekli, H. (2012), *Nazilli (Aydın) ilçesi kent merkezi ve yakın çevresindeki zeminlerin jeolojik ve jeoteknik incelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Url-1 < <https://www.lafsozluk.com/2009/01/nazilli-nerededir-nereye-baglidir-nazilli.html> >, erişim tarihi 05.01.2024
- Url-2 < <http://www.nazilli.gov.tr/tarihce> >, erişim tarihi 05.01.2024
- Url-3 < <https://tr.wikipedia.org/wiki/Nazilli> >, erişim tarihi 05.01.2024
- Url-4 < <http://www.aydindogumluyuz.com/2009/05/nazilli-iclesinden-derleme-bilgiler.html> >, erişim tarihi 05.01.2024
- Url-5 < <https://tr.weatherspark.com/y/95340/Nazilli-T%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca#Sections-Precipitation> >, erişim tarihi 05.01.2024
- Url-6 < <http://www.aydinvakfi.org.tr/cografibilgi.html> >, erişim tarihi 05.01.2024
- Url-7 < <https://www.cnnturk.com/turkiye/turkiye-fay-hatti-haritasi-2024-mta-diri-fay-hatlari-hangi-illerden-geciyor-afad-turkiye-deprem-tehlike-haritasi-sorgulama> >, erişim tarihi 05.01.2024
- Url-8 < [https://sertifika.subu.edu.tr/turkiyenin-tektonik-yapisi-neden-deprem-ulkemiz#:~:text=T%C3%BCrkiye%2C%20iki%20ana%20tektonik%20levhan%C4%B1n,Anadolu%20Fay%20Hatt%C4%B1%20\(DAFH\).](https://sertifika.subu.edu.tr/turkiyenin-tektonik-yapisi-neden-deprem-ulkemiz#:~:text=T%C3%BCrkiye%2C%20iki%20ana%20tektonik%20levhan%C4%B1n,Anadolu%20Fay%20Hatt%C4%B1%20(DAFH).) >, erişim tarihi 05.01.2024
- Url-9
<[https://www.basarsoft.com.tr/enterpolasyon/#:~:text=Nearest%20Neighbor%20\(En%20Yak%C4%B1n%20Kom%C5%9Fu,kom%C5%9Fu%20pikseller%20ile%20he saplayarak%20olu%C5%9Fturur.](https://www.basarsoft.com.tr/enterpolasyon/#:~:text=Nearest%20Neighbor%20(En%20Yak%C4%B1n%20Kom%C5%9Fu,kom%C5%9Fu%20pikseller%20ile%20he saplayarak%20olu%C5%9Fturur.)>, erişim tarihi 11.02.2024
- Url-10 < <https://www.basarsoft.com.tr/enterpolasyon/> >, erişim tarihi 11.02.2024

Url-11 < <https://www.nufusune.com/nazilli-ilce-nufusu-aydin> >, erişim tarihi 11.02.2024

Url-12 < <https://tahayagma.medium.com/knn-k-nearest-neighbors-k-en-yak%C4%B1n-kom%C5%9Fu-algoritmas%C4%B1-d9185686126b> >, erişim tarihi 11.02.2024

Url-13 < <https://gisgeography.com/inverse-distance-weighting-idw-interpolation/> >, erişim tarihi 11.02.2024

