

Araştırma Makalesi / Research Article

$V_{S(30)}$ Tabanlı Yerel Zemin Koşulları ve Deprem Hasar İlişkisi: Van- Abdurrahmangazi Örneği

$V_{S(30)}$ Based Local Soil Conditions and Earthquake Damage Relationship
Van-Abdurrahmangazi Example

Zeynep AYKAÇ¹ , Muge K. AKIN² , Ali Fırat ÇABALAR³ 

¹ Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Erciș Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Van

² Abdullah Gül Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Kayseri

³ Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Gaziantep

Geliş (Received): 14 Nisan (April) 2021 / Düzeltme (Revised): 11 Haziran (June) 2021/ Kabul (Accepted): 21 Haziran (June) 2021

ÖZ

Depremlerin sebep olduğu afet riskinin en aza indirilebilmesi için sadece il ve ilçe bazlı çalışmaların değil aynı zamanda mahalle ve köy gibi küçük bölgeleri kapsayan çalışmaların da yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada Van ilinde 2011 yılında 23 Ekim ve 09 Kasım tarihlerinde gerçekleşen iki depremden yüksek oranda hasar gören mahallelerden biri olan Abdurrahmangazi Mahallesi incelenmiştir. Çalışma alanında yer alan yapılardaki bina koşulları ile mahallenin bulunduğu alanda yer alan zemin koşulları birlikte ele alınmıştır. Zeminlerin dinamik davranışlarının belirlenebilmesi için kayma dalgası hızı (V_s) kullanılmıştır. Çalışma alanında yapılmış sondaj verileri değerlendirilip SPT-N ile V_s ilişkisi için bazı araştırmacılar tarafından geliştirilen 5 farklı ampirik bağıntı kullanılarak kayma dalgası hızları belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak $V_{S(30)}$ değerleri belirlenmiş ve National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP-2000), EUROCODE-8, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)'e göre zemin sınıflandırmaları yapılmıştır. Ayrıca yeni deprem yönetmeliği olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) de dikkate alınmıştır. Bina hasar durumları ile mahallenin bulunduğu alanda yer alan zemin koşulları birlikte değerlendirilmiştir. Depremler sonrasında oluşan bina hasarlarının bu mahalle için zemin koşullarına bağlı olmadan yapısal eksikliklerden ve yapı kalitesinden kaynaklandığı belirlenmiş ve hasar dağılımları bu doğrultuda yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: 2011 Van Depremleri, Yapısal Hasar, Zemin Koşulları, NEHRP-2000, EUROCODE-8, DBYBHY-2007, TBDY-2018

ABSTRACT

In order to minimize the disaster risk caused by earthquakes, not only province and district-based studies, but also studies covering small areas such as neighborhoods and villages should be carried out. In this study, Abdurrahmangazi Neighborhood, one of the districts that was severely damaged by two earthquakes that took place on 23 October and 09 November 2011 in the province of Van, was examined. The building conditions and the ground conditions in the study area where the quarter is located have been considered together. Shear wave velocity (V_s) was used to determine the dynamic behavior of soils. The borehole data obtained in the study area were evaluated and the shear wave velocities were determined by using 5 different empirical relations developed by some researchers for the

relationship between SPT-N and V_s . Using these, $V_{s(30)}$ values were determined and ground classifications were made according to the National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP-2000), EUROCODE-8, the Regulation on Buildings to be Built in Earthquake Zones (DBYBHY-2007). In addition, the new earthquake regulations is Turkey Earthquake Building Regulations (TBDY-2018) were also considered. The building damage conditions and the ground conditions in the area where the quarter is located were evaluated together. It was determined that the building damages after earthquakes were caused by structural deficiencies and building quality for this neighborhood, regardless of the ground conditions, and damage distributions were interpreted accordingly.

Keywords: 2011 Van Earthquakes, Structural Damage, Ground Conditions, NEHRP-2000, EUROCODE-8, DBYBHY-2007, TBDY-2018

GİRİŞ

Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu Fayı ile Kuzey Anadolu Fayı'nın kesiştiği bölgede yer almaktadır. Bu durum Van ilinin deprem değerlendirmesi açısından önemli bir yeri olduğunu göstermektedir. Aktif olan bu faylar Van ilinde Türkiye'nin en büyük depremleri arasına giren birçok depremin meydana gelmesine sebep olmuştur. Ayrıca Van ili ve çevresinde yer alan yerleşim birimlerinde genellikle yumuşak zeminlerin olması, bölgede geçmişteki yıllarda yıkıcı depremlerin yaşanmasına sebep olmuştur. 1976 Çaldıran ($M_w=7.3$), 1988 Van Gölü ($M_w=5.4$), 1999 Erçiş ($M_w=3.8$), 2000 Gevaş ($M_w=5.3$), 2001 Edremit ($M_w=4.7$), 2011 Tabanlı ($M_w=7.2$), 2011 Edremit ($M_w=5.6$), 2020 Saray ($M_w=5.4$) depremleri bunlardan bazılarıdır (AFAD, 2011; KOERİ, 2012; Selçuk ve Üner, 2020).

23 Ekim 2011 tarihinde Tabanlı Köyü'nde saat 13.41'de meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki depremden sonra 09 Kasım 2011 saat 21.23'te dış merkezi Edremit ilçesi olan 5.6 büyüklüğünde bir deprem daha meydana gelmiştir. AFAD'dan elde edilen verilere göre bu depremler sonucunda 644 kişi hayatını kaybetmiş, 1966 kişi yaralanmış ve 17005 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür (AFAD, 2011). 23 Ekim 2011 tarihli Tabanlı depremiyle başlayıp 30 Kasım 2011 Kevenli depremiyle devam eden süre içinde toplam 5281 deprem kayıt edilmiştir (KOERİ, 2012). Van ili

yerleşim alanında meydana gelen hasarın büyük çoğunluğu 9 Kasım 2011 depremine bağlı olarak oluşmuştur. İlk depremde hasar gören yapıların bir kısmı bu depremde yıkılırken, hasar görmemiş binaların bir kısmı da hasar görüp kullanılamaz hale gelmiştir. Bu depremlerden sonra yetkililer tarafından Van ili için hasar dağılımı yapılmıştır. Bu hasar dağılımına göre gerek yapı kalitesi ve gerekse zemin koşulları açısından hasarın etkileri Van ili merkez mahallerinde farklı şekilde gözlenmiştir. Van il merkezi eski göl-akarsu çökelleri üzerinde bulunmasından dolayı 2011 Van depremlerine bağlı olarak farklı hasarların oluşmasına neden olmuştur (Kızılkant vd., 2011; Aydan vd., 2012; Akın vd., 2015; Aykaç, 2016).

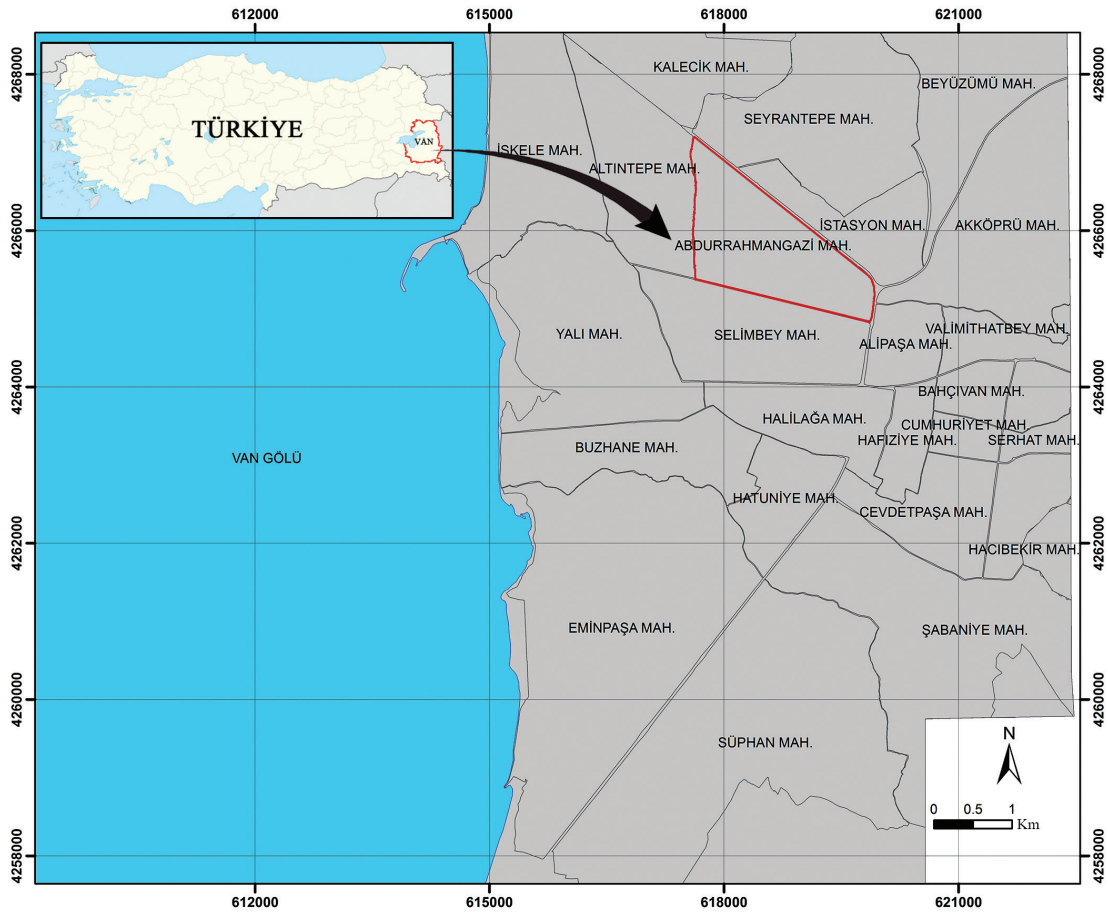
Bu depremler, zeminlerin incelenmesi ve gerekli mühendislik jeolojisi çalışmalarının yapılması gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmada hasar dağılımı Van il merkezinde Abdurrahmangazi Mahallesi için incelenmiştir. İncelenen bu mahallede yer alan yapılardaki bina koşulları ile mahallenin bulunduğu alanda yer alan zemin koşulları birlikte değerlendirilmiştir.

ÇALIŞMA ALANI GENEL ÖZELLİKLERİ VE HASAR DAĞILIMI

Van ili Türkiye'nin doğusunda $38^{\circ}32'31''\text{K}$ $43^{\circ}36'05''\text{D}$ / 38.542°K 43.6015°D koordinatlarında yer almaktadır. Çalışma alanı

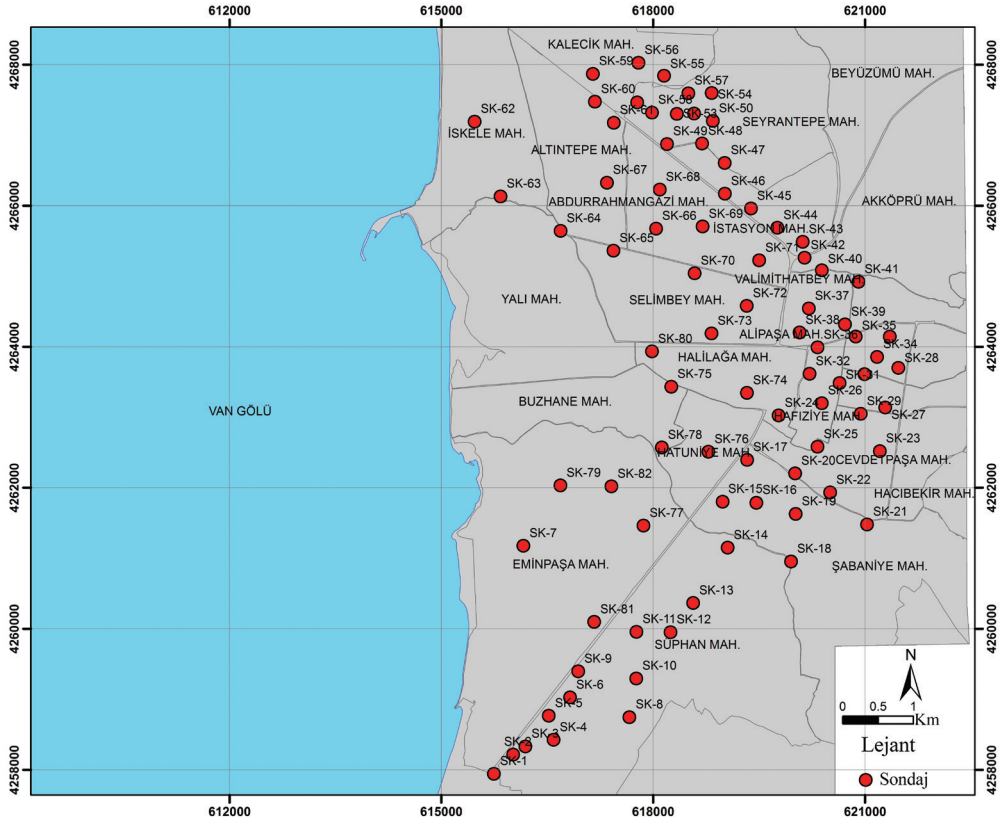
olan Abdurrahmangazi Mahallesi ise Van ili kuzey batısında yer almaktadır (Şekil 1). Yüzölçümü 2833 km² olan mahalle 2019 yılında yapılan nüfus sayımında 18462 kişi ile Tuşba ilçesindeki en yoğun mahallelerden biri olmuştur (URL-1). Depremin meydana geldiği Van Gölü Havzası Doğu Anadolu Platosu'nda yer almaktadır. Bu plato Avrasya ve Arap plakaları arasında gerçekleşen çarpışmanın sonucu olarak oluşmuştur. (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Köse, 2004; Köse, 2005).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılan 82 sondaj verisinden Abdurrahmangazi Mahallesi sınırları içerisinde ve sınıra yakın yer alan sondajlar zemin koşullarını belirlemek amacı ile değerlendirilmiştir (Şekil 2). Mahalle sınırları içinde yer alan sondaj kuyuları incelendiğinde Abdurrahmangazi mahallesinin genel olarak killi birimlerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Yeraltı su seviyesinin de 4.3 ile 10.2 m arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı yerbulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.



Şekil 2. Sondaj dağılımı haritası (Aykaç, 2016).

Figure 2. Borehole distribution map (Aykaç, 2016).

2011 depremleri sonrası resmi kurumlar tarafından binalarda oluşan yapısal hasarlar yıkık-ağır hasarlı, orta hasarlı, az hasarlı, hasarsız olmak üzere dört gruba ayrılmıştır (AFAD, 2011). Taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasar olmayıp; sadece yüzeysel etkiler (sıva çatlağı, sıva dökülmesi vb.) almış binalar “az hasarlı”; taşıyıcı sisteminde oluşan hasarlar onararak güvenli olarak adlandırılacak düzeye getirilebilecek derecede hasarı bulunan binalar “orta hasarlı” olarak sınıflandırılmıştır. Tamamen veya kısmen göçen ve zemin kaynaklı (devrilme, eğilme, batma vb.) sebeplerden onarılamayacak kadar zarar görmüş olan yapılar ise “yıkık-ağır hasarlı” olarak sınıflandırılmıştır

(AFAD, 2011). Van İl Afet Müdürlüğü ve Van Büyükşehir Belediyesinden elde edilen veriler değerlendirildiğinde (Çizelge 1), ağır hasarlı olarak tespit edilen konutlar yaklaşık olarak Abdurrahmangazi mahallesindeki konut sayısının %13.1’i olarak belirlenirken, orta hasarlı ve az hasarlı oranının toplamı % 45.4 ve hasarsız oranı ise %19’dur. Konut sayısının %22.5’lik oranının ise herhangi bir değerlendirmesi yapılamamıştır. Oluşan hasarların büyük bir kısmı “yığma yapı” olarak adlandırdığımız yapılarda meydana gelmiştir. “Betonarme” yapılarda yıkık oranı %0.6 gibi düşük bir oranı oluşturmaktadır.

Çizelge 1. Abdurrahmangazi Mahallesi yapı hasar dağılımı.

Table 1. Building damage distribution of Abdurrahmangazi.

Yapı hasar durumu/ Kullanım şekli	Hasarsız	Az Hasarlı	Orta Hasarlı	Ağır Yıkık	Değerlendirilmeyen	Toplam
Konut	648	1310	256	452	775	3441
İşyeri	63	224	45	21	47	400
Ticarethane	14	49	6	7	57	133
Depo	27	60	14	15	55	171
Ahır	7	3	0	6	1	17
Diğer		8			6	14
Metruk					2	2
Tespit Edilemeyen					41	41
Toplam	752	1643	321	495	934	4145

Mahallenin yapı hasar durumlarını gösteren Şekil 3 incelendiğinde “Az Hasarlı-Orta Hasarlı (Moderately damaged)” yapıları temsil eden rengin “beyaz”, “Ağır hasarlı (Heavily damaged)” yapıları temsil eden rengin “turuncu” ve “yıkılmış (Collapsed)” yapıları temsil eden rengin “kırmızı” olduğu görülmektedir. Kırmızı rengin ifade ettiği yıkılmış binaların genel olarak mahallenin inceleme alanının güneyinde yer aldığı ve mahallenin hasar dağılımının ağırlıklı olarak turuncu renkte olduğu görülmektedir.

METOT

Depremlerde yapıların üzerinde buldukları zeminin koşulları; yapıları etkileyen depremin özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle yapılarda oluşabilecek hasarları tahmin etmek için önemli aşamalardan biri de; yapılan çalışmalarda zemin tabakalarının etkisinin belirlenmesidir. Zemin tabakalarının etkisi zemin tabakalarının cinsine, kalınlıklarına ve yeraltı su seviyesine bağlı olarak değişir. Bu özelliklerin belirlenebilmesi için inceleme alanında daha önce

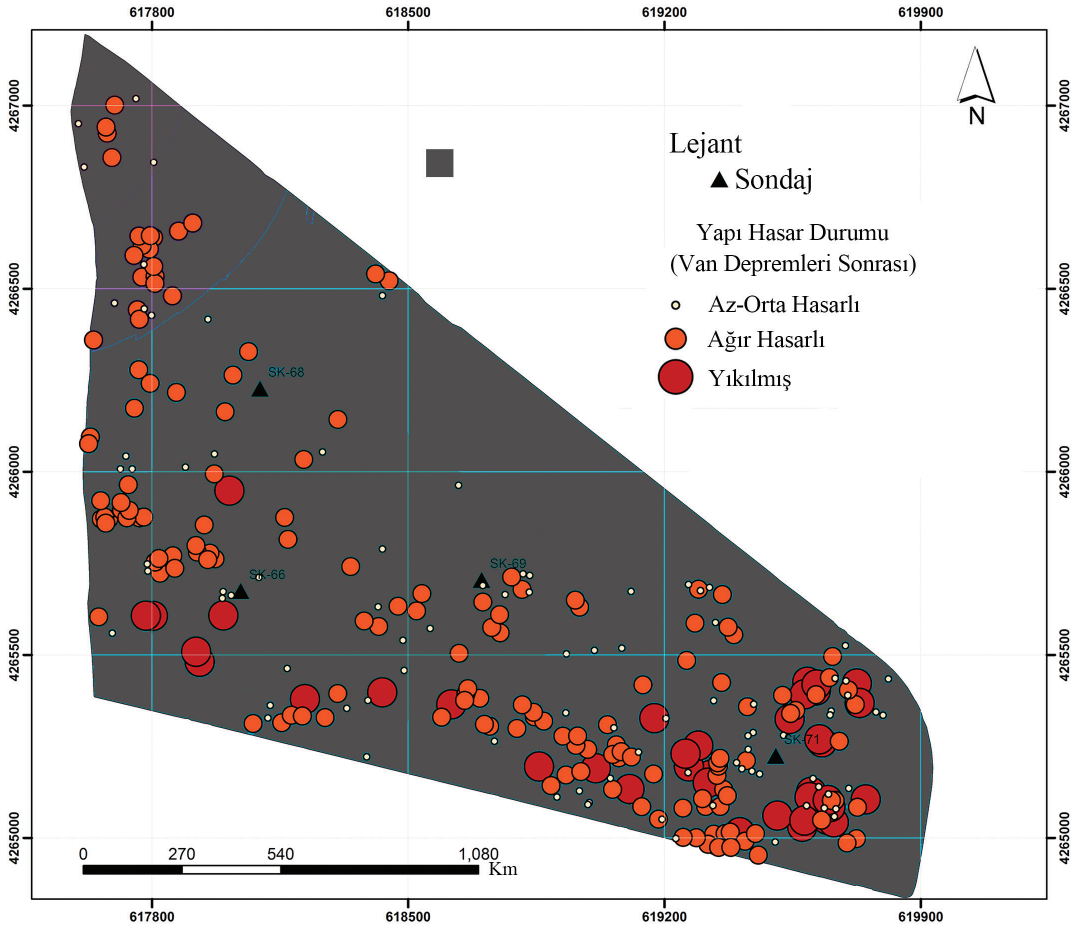
yapılmış veya yeni yapılacak sondajlar sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilebilir. Zeminlerin dinamik davranışında önemli bir rol oynayan kayma dalgası hızı yerinde ölçülerek veya SPT-N sayısı kullanılarak belirlenir. Ancak kayma dalgası hızının yerinde ölçüm çalışmaları hem ekonomik hem de zaman açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Bu sıkıntının ortadan kaldırılması için kayma dalgası hızının arazi penetrasyon deneylerinden hesaplanması doğrultusunda bağıntılar geliştirilmiştir. Bu yüzden pratikte kayma dalgası hızları çoğunlukla, SPT-N sayıları ile hesaplanır. (Ohsaki ve Iwasaki, 1973; Ohta ve Goto, 1978; İyisan, 1996; Hasançebi ve Ulusay, 2007; Akın vd., 2011).

Bu çalışmada, çalışma alanının kapsadığı bölgede yapılmış sondaj logları kullanılmıştır. Bu loglardaki ilk 1.5 m den başlayıp 20 m derine kadar yapılan SPT’ler incelenmiştir. SPT-N değerlerinin 11 ile 38 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. SPT deneyi sonucunda elde edilen bilgiler genel olarak; sınıflandırma ve zeminin sıklık derecesinin belirlenmesi için kullanılır. Ayrıca buna ek olarak; darbe sayısı

(N) ile kayma dalgası hızı (V_s) arasında kurulan korelasyonlar açısından da yararlı olmaktadır. Kayma dalga hızı (V_s), zeminlerin dinamik özelliklerini tanımlamak için gerekli olan temel bir parametredir. Kayma dalga hızının belirlenmesi, zemin sınıflandırması, sıvılaşma potansiyeli, zemin hâkim periyodu ve büyüme değerlerinin hesaplanmasında önemlidir.

Van ili merkezinde çeşitli noktalarda yapılmış sondaj verilerinden inceleme alanı

sınırları içinde kalanlar değerlendirilip SPT-N ile kayma dalgası hızı (V_s) ilişkisi için bazı araştırmacılar tarafından geliştirilen ampirik bağıntılardan faydalanılarak kayma dalgası hızları belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında SPT-N ile V_s hızı arasındaki ilişki için, Ohsaki ve Iwasaki (1973), Ohta ve Goto (1978), İyisan (1996), Hasançebi ve Ulusay (2007) ve Akın vd. (2011)' in tüm zeminler için geçerli olan bağıntıları kullanılmıştır. Bu bağıntılar Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanı yapı hasar dağılımı (Aykaç, 2016).

Figure 3. Building damage distribution map of the study area (Aykaç, 2016).

Çizelge 2. Araştırmacılar tarafından geliştirilen ampirik bağıntılardan SPT-N ile V_s ilişkisi.

Table 2. The relationship between SPT-N and V_s from the empirical relations developed by the researchers.

Araştırmacı	V_s (m/s) (Tüm Zeminler)
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s = 81.4N^{0.39}$
Ohta ve Goto (1978)	$V_s = 85.35N^{0.348}$
Iyisan (1996)	$V_s = 51.5N^{0.516}$
Hasançebi ve Ulusay (2007)	$V_s = 90N^{0.309}$
Akın vd. (2011)	$V_s = 59.44N^{0.109}Z^{0.426}$

(N: darbe sayısı, V_s : kayma dalgası hızı, z: derinlik)

Zemin sınıflandırması genel olarak, kayma dalga hızının (S) 30 m derinliğe kadar olan ortalama hızına ($V_{s(30)}$) dayanmaktadır. Çalışma kapsamında ilk olarak Çizelge 2’de yer alan araştırmacıların tüm zeminler için geçerli olan bağıntıları kullanılarak V_s değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan V_s değerleri kullanılarak zemin sınıflandırılması için gerekli olan $V_{s(30)}$ değerlerinin hesaplanması yapılmıştır. Bunun için; Boore (2004) tarafından geliştirilen $V_{s(30)}$ ve $V_{s(d)}$ arasındaki ilişkiyi tanımlayan eşitlik (1) kullanılmıştır.

$$\log V_{s(30)} = a + b \log V_{s(d)} \quad (1)$$

Burada a açıklayıcı (bağımsız) değişken ve b bağımlı değişkendir. Bu değişkenlerin derinliklere (d) bağlı olarak aldığı değerler Çizelge 3’te verilmiştir. Böylece, $V_{s(d)}$ değerlerini kullanarak derinliği 30 m’den az ve 10 m’den büyük olan alanlar için $V_{s(30)}$ belirlenmiş olacaktır.

Çizelge 3. Eşitlik 1’in katsayıları (Boore, 2004).

Table 3. The coefficients of Equation 1 (Boore, 2004).

d	a	b
10	4.2062E-02	1.0292E+00
11	2.2140E-02	1.0341E+00
12	1.2571E-02	1.0352E+00
13	1.4186E-02	1.0318E+00
14	1.2300E-02	1.0297E+00
15	1.3795E-02	1.0263E+00
16	1.3893E-02	1.0237E+00
17	1.9565E-02	1.0190E+00
18	2.4879E-02	1.0144E+00
19	2.5614E-02	1.0117E+00
20	2.5439E-02	1.0095E+00
21	2.5311E-02	1.0072E+00
22	2.6900E-02	1.0044E+00
23	2.2207E-02	1.0042E+00
24	1.6891E-02	1.0043E+00
25	1.1483E-02	1.0045E+00
26	6.5646E-02	1.0045E+00
27	2.5193E-02	1.0043E+00
28	7.7322E-02	1.0031E+00
29	4.3143E-02	1.0015E+00

Araştırmacıların SPT-N ve V_s hız dağılımı için geliştirdiği bağıntılar kullanılarak elde edilen S-dalgası hız değerleri kullanarak oluşturulacak zemin sınıflandırmaları için çeşitli sınıflama kriterleri mevcuttur. Bu çalışmada; Ulusal Deprem Tehlike Azaltma Programı (National Earthquake Hazard Reduction Program-NEHRP), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007), ve EUROCODE-8'e göre zemin sınıflandırma sistemleri kullanılmıştır. Ayrıca 2018'da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) de dikkate alınarak ilgili yerel zemin sınıflamasına uygun olarak da değerlendirme yapılmıştır.

Ulusal Deprem Tehlike Azaltma Programı (NEHRP), yeni binaların ve diğer yapıların depreme dayanıklı tasarım ve inşası için uyulması gereken koşulları belirleyen, Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilen bir yönetmeliktir. NEHRP; 30 metre derinliğe kadar olan ortalama kayma dalgası hızına (V_{s30}) dayanan bir zemin sınıflandırma sistemidir (Çizelge 4).

Deprem yer hareketlerinde olası zemin davranışlarını daha ayrıntılı ortaya koyabilmek için D sınıfına karşılık gelen $180 < V_s < 360$ m/s aralığın kendi içinde bölünebileceği önerilmiştir (BSSC, 2003). Buna göre D sınıfı;

- D1 $300 < V_s \leq 360$ m/s
- D2 $250 < V_s \leq 300$ m/s
- D3 $220 < V_s \leq 250$ m/s
- D4 $200 < V_s \leq 220$ m/s
- D5 $180 < V_s \leq 200$ m/s

gibi aralıklarda verilmiştir. Bu çalışmada da bu bölümeleme dikkate alınmış ve zemin sınıflandırması buna göre yapılmıştır.

EUROCODE-8 (Çizelge 5) tarafından önerilen zemin sınıflandırma yönetmeliği, NEHRP sınıflandırmasına oldukça benzemektedir. EUROCODE-8 zemin sınıflarının tanımlamaları incelendiğinde NEHRP'e oranla daha detaylı tanımlamaların olduğu görülmektedir

Çizelge 4. NEHRP'de yer alan zemin sınıf tanımları (BSSC, 2003).

Table 4. Definition of NEHRP site classes (BSSC, 2003).

Zemin Sınıfı	Genel açıklama	$V_{s(30)}$ (m/s)
A	Sert kaya	> 1500
B	Kaya	$760 < V_s \leq 1500$
C	Çok yoğun toprak ve yumuşak kaya	$360 < V_s \leq 760$
D	Sert toprak	$180 \leq V_s \leq 360$
E	Toprak veya 3 m'den fazla yumuşak kil içeren herhangi bir profil,	≤ 180

Çizelge 5. EUROCODE-8'deki zemin sınıfı tanımları (TS EN, 2003).

Table 5. Definition of EUROCODE-8 site classes (TS EN, 2003).

Zemin Sınıfı	Genel Açıklama	$V_{s(30)}$ (m/s)
A	Kaya veya kaya benzeri jeolojik oluşumlar	>800
B	Çok yoğun kum, çakıl veya çok elenmiş kil	$360 < V_s \leq 800$
C	Yoğun veya orta yoğun kum, çakıl veya çok elenmiş kil birikintileri	$180 \leq V_s \leq 360$
D	Gevşek-orta az kohezyonlu toprak birikimi	≤ 180
E	C veya D tipi V_s değerlerine sahip bir yüzey alüvyon tabakasından oluşan bir toprak profili	

Çizelge 6. DBYBHY-2007'de alt sınıf tanımları (DBYBHY, 2007).

Table 6. Subclass definitions of DBYBHY-2007 (DBYBHY, 2007).

Alt Sınıflar	Litolojik Tanımlar	N	V_s (m/s)	q_u (kPa)
A	Kaya grubu 1	-	>1000	>1000
	Çok yoğun kum, çakıl vb.	>50	>700	-
	Sert kil, siltli kil vb.	>32	>700	>400
B	Kaya grubu 1	-	700-1000	500-1000
	Yoğun kum, çakıl, vb	30-50	400-700	-
	Çok sert kil, silt vb	16-32	300-700	200-400
C	Kaya grubu 3	-	400-700	< 500
	Orta yoğun kum, çakıl, vb.	10-30	200-400	-
	Sert kil, siltli kil vb.	8-16	200-300	100-200
D	Yüksek su tablalı, yumuşak derin alüvyon tabaka	-	< 200	-
	Gevşek kum, çakıl vb.	< 10	< 200	-
	Yumuşak kil, siltli kil vb.	< 8	< 200	< 100

DBYBHY-2007 sınıflandırması, NEHRP ve EUROCODE-8'den çok farklı bir sınıflandırma sistemine sahiptir. Zemin sınıfı, sıg toprak veya kayaların kalınlığı kullanılarak litolojik tanımlara ve V_s , N veya q_u (serbest basınç dayanımı) için ölçülen değerlere göre kategorize

edilerek belirlenir. Bu kategoriler alt sınıf olarak adlandırılır. Alt sınıflara yönelik litolojik, geoteknik ve sismik tanımlar Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6'daki alt sınıf ve kalınlığı en az 3 m olan bir alan Çizelge 7'de verilen tanımlara göre sınıflandırılmıştır.

Aykaç, Akın, Çabalar

Çizelge 7. DBYBHY-2007’de yerel zemin sınıfı tanımları (DBYBHY, 2007).

Table 7. Definition of DBYBHY-2007 site classes (DBYBHY, 2007).

Yerel Zemin Sınıflandırması	Alt zemin sınıfları
Z1	Altsınıf (A) zemini Altsınıf (B) zemini $h1 \leq 15$ m
Z2	Altsınıf (B) zemini $h1 > 15$ m Altsınıf (C) zemini $h1 \leq 15$ m
Z3	Altsınıf (C) zemini $15 < h1 \leq 50$ m Altsınıf (D) zemini $h1 \leq 10$ m
Z4	Altsınıf (C) zemini $h1 > 50$ m Altsınıf (D) zemini $h1 > 10$ m

(h1: en üst zemin tabaka kalınlığı)

Çizelge 8. Yerel zemin sınıfları (TBDY, 2018).

Table 8. Definition of local site classes (TBDY, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(V _s) ₃₀ [m/s]	(N ₆₀₍₃₀₎) [darbe/30 cm]	(c _u) ₃₀ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	50 >	> 250
ZD	Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları PI > 20 ve w>% 40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (c _u < 25 kPa) içeren profiller.	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI > 50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde (TBDY-2018) yer alan deprem tasarım spektrumlarının tanımlanmasında esas alınacak yerel zemin sınıfları için Çizelge 8’de verilen

yerel zemin sınıfları kullanılmaktadır. İlgili yerel zemin sınıfları üst 30 metrede yer alan ortalama V_{s(30)}, N₆₀₍₃₀₎ ve c_{u(30)} (kohezyon) değerlerini dikkate alarak sınıflama sağlamaktadır.

$V_{s(30)}$ DAĞILIM HARİTALARI VE ZEMİN SINIFLANDIRMA

Çizelge 2'de verilen bağıntılar kullanılarak, ilk olarak mahalle sınırları içinde yer alan sondaj verilerinin V_s değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu V_s değerleri kullanılarak $V_{s(30)}$ değerleri hesaplanmış ve bu değerler Çizelge 9'da verilmiştir. Hesaplanan bu değerlerin 240 ile 360 m/s arasında değiştiği belirlenmiştir.

Bu değerlerden faydalanılarak her araştırmacı için zemin sınıfları tespit edilmiştir (Çizelge 10). Buna ek olarak her bir araştırmacı için $V_{s(30)}$ hız dağılım haritaları çizilmiş ve hız dağılım haritaları üzerinde hasar dağılımlarına da yer verilerek karşılaştırılma yapılmıştır. Çizilen haritalarda mahalle sınırları içinde yer alan dört sondaj verisinin yanısıra diğer 82 sondajdan mahalle sınırına yakın bölgelerde yer alan sondajlara ait veriler de kullanılmıştır. Ayrıca yakın sondaj değerleri birlikte ele alınarak haritalar hazırlanmış ve belirlenen uygun değer

aralıklarına göre renk zonları oluşturulmuştur.

Ohsaki ve Iwasaki (1973) Yaklaşımı

Ohsaki ve Iwasaki (1973) bağıntısı kullanılarak hesaplanan V_s değerlerinin 270 ile 360 m/s arasında değiştiği belirlenmiştir. Hesaplanan bu değerler ile elde edilen $V_{s(30)}$ hız dağılım haritası incelendiğinde inceleme alanının orta kesiminde yani merkezinde, $V_{s(30)}$ en küçük değer olan 300 değerini alırken, mahallenin güney doğu kesimi ise en yüksek değer olan 350 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Bu değerler göz önünde bulundurularak yapılan sınıflandırmalarda; NEHRP-2000 zemin sınıfı D1 ve D2, EUROCODE-8 zemin sınıfı C, DBYBHY-2007 zemin sınıfı ise C- Z3 olarak belirlenmiştir. TBDY yerel zemin sınıflamasına göre ZD grubu orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarını içeren zemin grubunda yer almaktadır

Çizelge 9. Çizelge 2 kullanılarak hesaplanan $V_{s(30)}$ değerleri.

Table 9. $V_{s(30)}$ values calculated using Table 2.

Sondaj	Derinlik (m)	YASS (m)	Ohsaki ve Iwasaki (1973)	Ohta ve Goto (1978)	Iyisan (1996)	Hasançebi ve Ulusay (2007)	Akın vd. (2011)
SK-66	20	4.3	302	279	281	261	275
SK-68	20	6.5	296	273	273	256	273
SK-69	20	6.3	277	258	251	243	269
SK-71	20	10.2	357	323	349	297	289

Aykaç, Akın, Çabalar

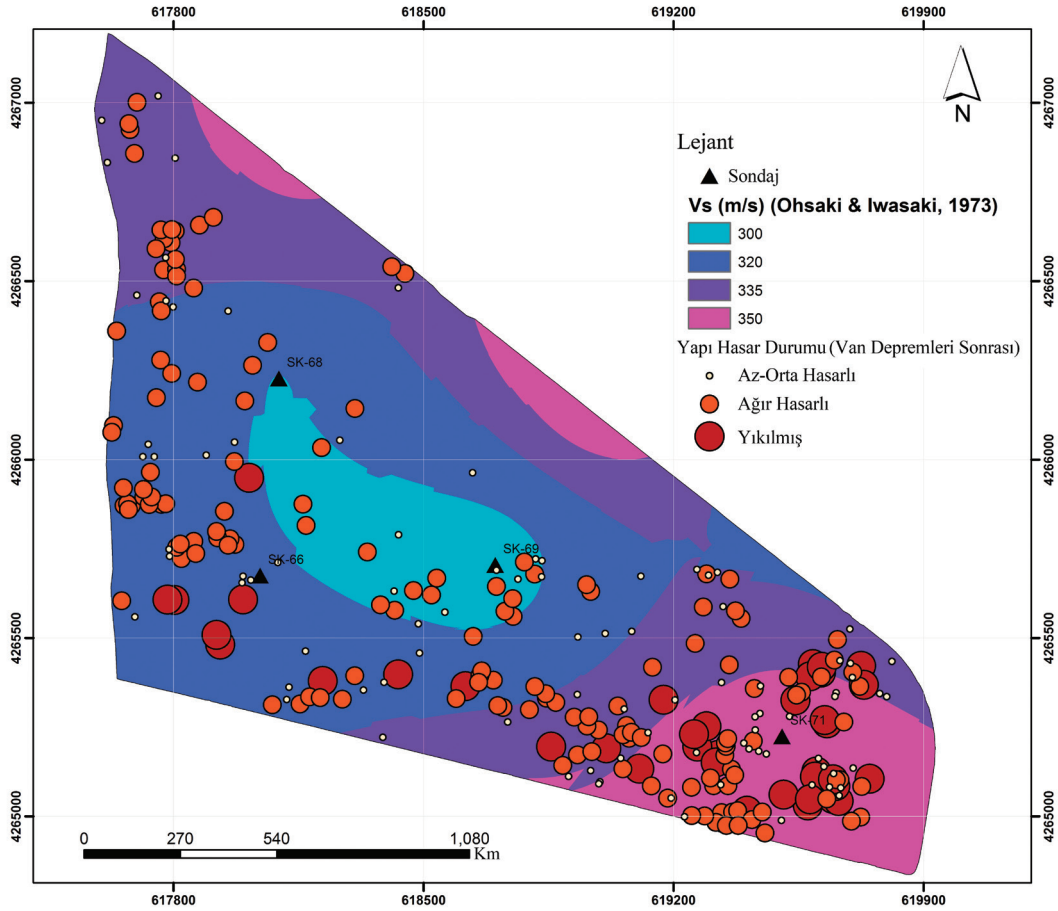
Çizelge 10. V_{s(30)} değerleri ile belirlenen zemin sınıfları.Table 10. Site classes determined by V_{s(30)} values.

	NEHRP	EUROCODE-8	DBYBHY-2007	TBDY-2018
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	D1-D2 (Sert toprak)	C (Yoğun veya orta yoğun kum, çakıl veya çok elenmiş kil birikintileri)	C-Z3 (Orta yoğun kum, çakıl, vb.)	ZD (Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları)
Ohta ve Goto (1978)	D1-D2 (Sert toprak)	C (Yoğun veya orta yoğun kum, çakıl veya çok elenmiş kil birikintileri)	C-Z3 (Orta yoğun kum, çakıl, vb.)	ZD (Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları)
Iyisan (1996)	D1-D2 (Sert toprak)	C (Yoğun veya orta yoğun kum, çakıl veya çok elenmiş kil birikintileri)	C-Z3 (Orta yoğun kum, çakıl, vb.)	ZD (Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları)
Hasançebi ve Ulusay (2007)	D2-D3 (Sert toprak)	C (Yoğun veya orta yoğun kum, çakıl veya çok elenmiş kil birikintileri)	C-Z3 (Orta yoğun kum, çakıl, vb.)	ZD (Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları)
Akın vd. (2011)	D2 (Sert toprak)	C (Yoğun veya orta yoğun kum, çakıl veya çok elenmiş kil birikintileri)	C-Z3 (Orta yoğun kum, çakıl, vb.)	ZD (Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları)

Ohta ve Goto (1978) Yaklaşımı

V_s değerlerinin hesaplanması için kullanılan bir diğer bağıntı olan Ohta ve Goto (1978) bağıntısında V_s değerleri 250 ile 325 m/s arasında hesaplanmıştır. İnceleme alanı olan mahallenin merkezi ve merkezinin batı kesimi küçük renk zonu değeri olan 285 m/s olarak belirlenirken, mahallenin güney doğu kesimi ise en yüksek değer olan 315 m/s'ten büyük

olarak 323 m/s olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Bu değerler göz önünde bulundurularak yapılan sınıflandırmalarda; NEHRP-2000 zemin sınıfı D1 ve D2, EUROCODE-8 zemin sınıfı C, DBYBHY-2007 zemin sınıfı ise C- Z3 olarak belirlenmiştir. TBDY yerel zemin sınıflamasına göre ZD grubu orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarını içeren zemin grubunda yer almaktadır.



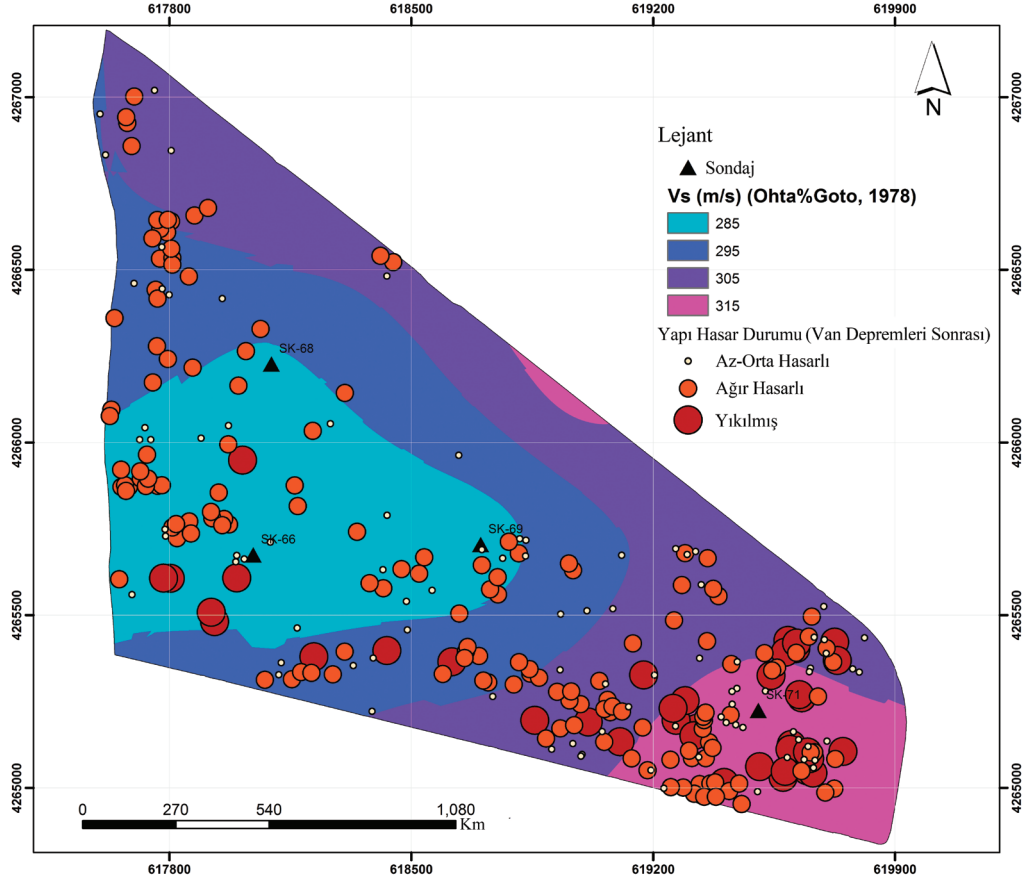
Şekil 4. Ohsaki ve Iwasaki (1973)- $V_{s(30)}$ hız dağılım ile yapı hasar haritası.

Figure 4. The distribution of $V_{s(30)}$ for Ohsaki and Iwasaki (1973) and building damage map.

İyisan (1996) Yaklaşımı

İyisan (1996) kullanılarak hesaplanan V_s değerlerinin 250 ile 350 m/s arasında değiştiği ve mahallenin orta kesimin en düşük, doğu kesiminin ise en yüksek değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 6). V_s değerleri göz önünde bulundurularak yapılan sınıflandırmada; NEHRP-2000 zemin

sınıfı D1 ve D2, EUROCODE-8 zemin sınıfı C, DBYBHY-2007 zemin sınıfı ise C- Z3 olarak belirlenmiştir. TBDY yerel zemin sınıflamasına göre ZD grubu orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarını içeren zemin grubunda yer almaktadır.



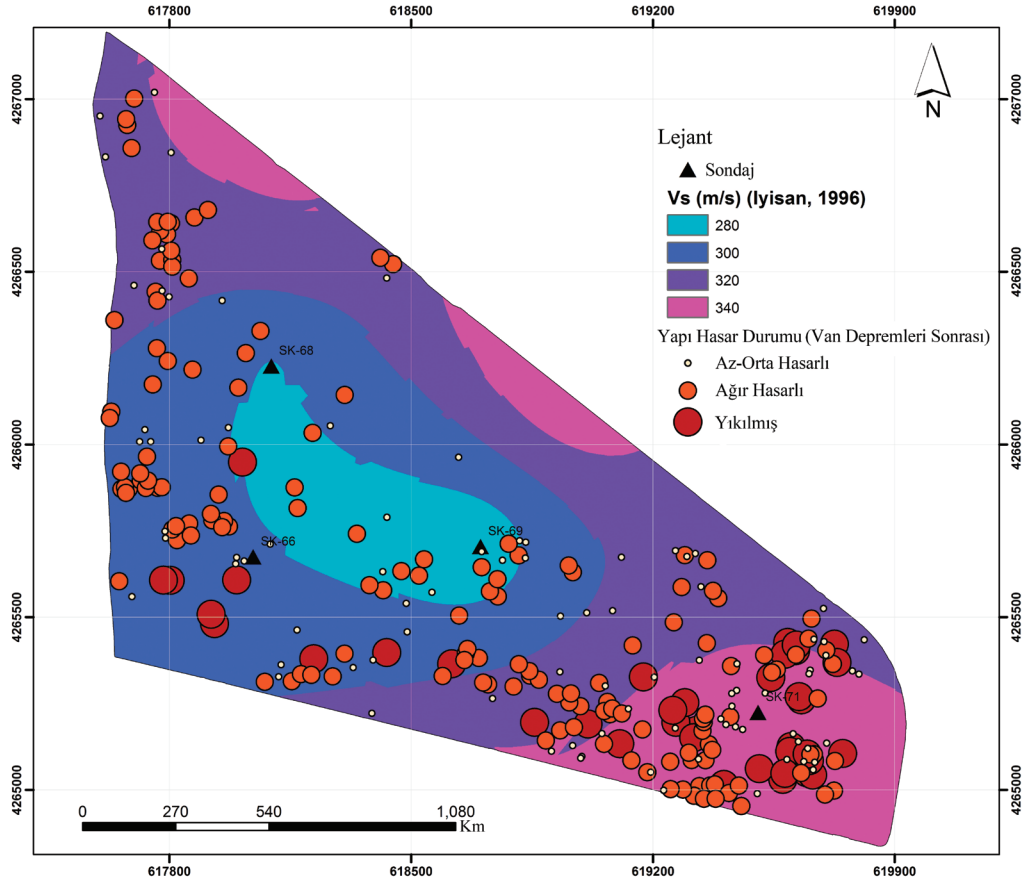
Şekil 5. Ohta ve Goto (1978) - $V_{s(30)}$ hız dağılım ile yapı hasar haritası.

Figure 5. The distribution of $V_{s(30)}$ for Ohta and Goto (1978) and building damage map.

Hasançebi ve Ulusay (2007) Yaklaşımı

Hasançebi ve Ulusay (2007) bağıntısı kullanılarak hesaplanan V_s değerlerine bağlı olarak çizilen Şekil 7'deki harita incelendiğinde, haritanın Ohsaki ve Iwasaki (1973) ile İyisan (1996) bağıntıları ile şekil olarak benzerlik gösterdiği görülmektedir. Fakat hesaplanan değerlerin bu iki bağıntıdan daha farklı ve küçük değerler olduğu belirlenmiştir. Hesaplamalara göre en küçük değer mahallenin orta kesiminde yer alırken, en yüksek değer

mahallenin güneydoğu kesimini oluşturmuştur. Bu değerler göz önünde bulundurularak yapılan sınıflandırmalarda; NEHRP-2000 zemin sınıfı diğer bağıntılardan farklı olarak yalnızca D2 ve D3 iken, diğer iki sınıflandırma benzerlik göstererek EUROCODE-8 zemin sınıfı C, DBYBHY-2007 zemin sınıfı ise C- Z3 olarak belirlenmiştir. TBDY yerel zemin sınıflamasına göre ZD grubu orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarını içeren zemin grubunda yer almaktadır.



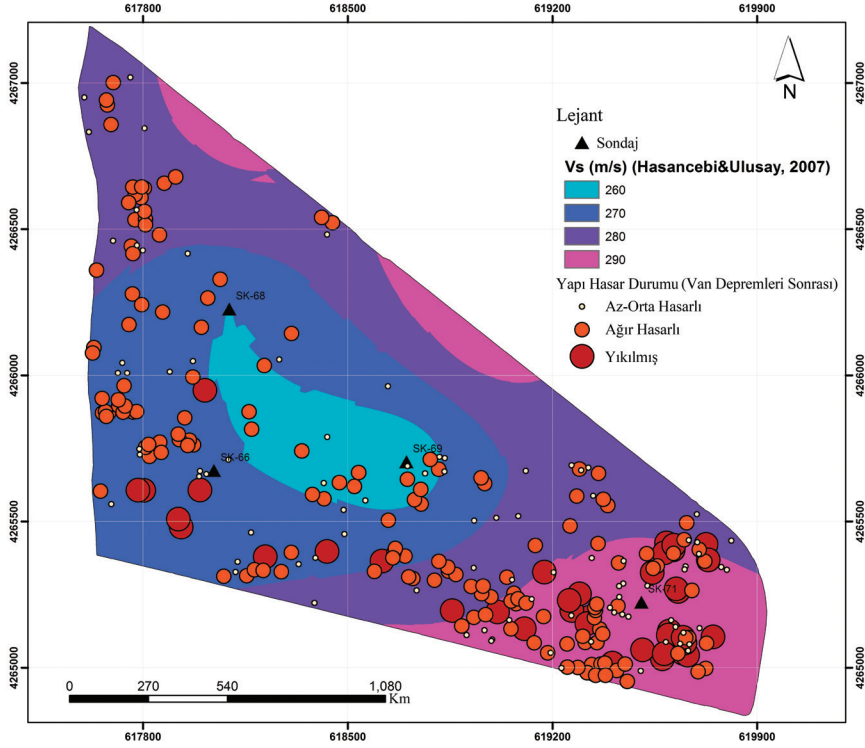
Şekil 6. İyisan (1996)- $V_{s(30)}$ hız dağılım ile yapı hasar haritası.

Figure 6. The distribution of $V_{s(30)}$ for İyisan (1996) and building damage map.

Akın vd. (2011) Yaklaşımı

Akın vd. (2011) bağıntısı kullanılarak hesaplanan V_s değerlerinin diğer dört araştırmanın bağıntısına göre daha küçük değerler olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8 incelendiğinde, V_s değerleri diğer bağıntılardan farklı olarak maksimum değerini yani 295 m/s değerinin incelenen mahallenin kuzey batısında ve 260 m/s değeri ise genel olarak inceleme alanında

ağırlıklı olarak hesaplanmıştır. V_s değerleri göz önünde bulundurularak yapılan sınıflandırmada; NEHRP-2000 zemin sınıfı D2, EUROCODE-8 zemin sınıfı C, DBYBHY-2007 zemin sınıfı ise C- Z3 olarak belirlenmiştir. TBDY yerel zemin sınıflamasına göre ZD grubu orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarını içeren zemin grubunda yer almaktadır.



Şekil 7. Hasacebi ve Ulusay (2007)- $V_{s(30)}$ hız dağılım ile yapı hasar haritası.

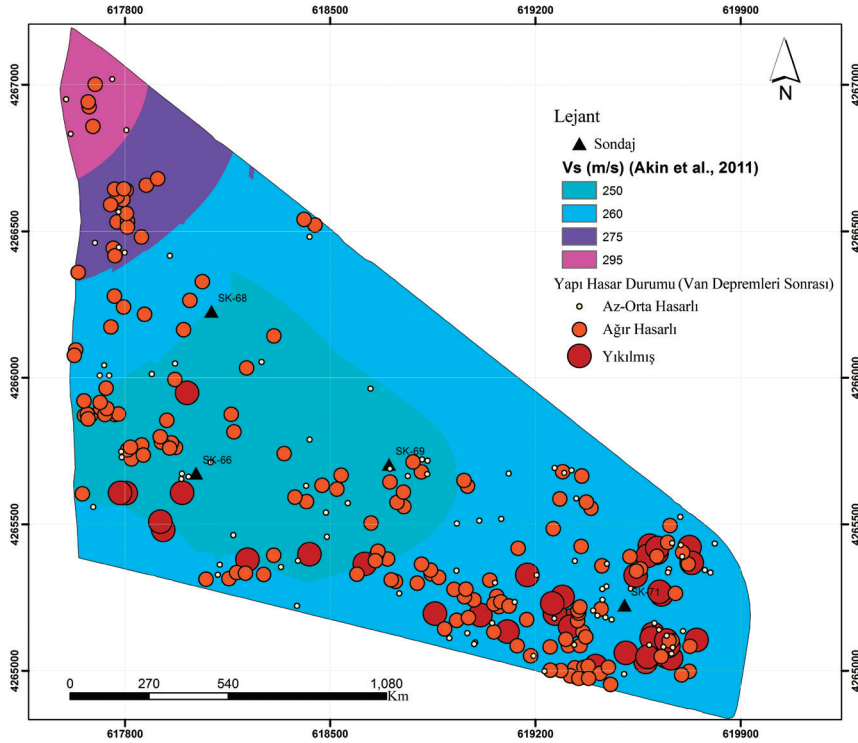
Figure 7. The distribution of $V_{s(30)}$ for Hasacebi and Ulusay (2007) and building damage map.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Van ili aktif faylar üzerinde yer alan ve Türkiye'nin en büyük depremleri arasına giren birçok depremin meydana geldiği bir il olduğundan, bu çalışma kapsamında Van il merkezinde bulunan Abdurrahmangazi Mahallesi için zemin özellikleri jeofizik yöntemler kullanılarak araştırılmaya çalışılmıştır. Van depremleri öncesi ve sonrası Abdurrahmangazi Mahallesi için hasar dağılımı incelenmiş, hasar dağılım haritaları ve $V_{s(30)}$ dağılım haritaları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında daha önce yapılan uygulamalar sonucunda elde edilen verilerden ve daha önce yapılmış çalışmalardan faydalanılmıştır. SPT-N ve V_s tespiti için sondaj

verileri değerlendirilerek bazı araştırmacılar tarafından geliştirilen beş farklı ampirik bağıntı kullanılarak Abdurrahmangazi Mahallesi için kayma dalgası hızları elde edilmiş ve buna bağılı olarak yerel zemin koşullarını belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ampirik bağıntılardan elde edilen kayma dalga hızları kullanılarak yerel zemin koşulları 4 farklı sınıflandırmaya göre belirlenmiştir. D zemin grubu sert zemini temsil etmektedir. DBYBHY-2007'ye göre ise, inceleme alanının geneli için zemin grubu C, yerel zemin sınıfı Z3 olarak belirlenmiştir. EUROCODE-8 kriterlerine göre sınıflandığında inceleme bölgesinin tamamı C tipi zemin sınıflarında yer almaktadır.



Şekil 8. Akın vd. (2011)- $V_{s(30)}$ hız dağılım ile yapı hasar haritası.

Figure 8. The distribution of $V_{s(30)}$ for Akın et al. (2011) and building damage map.

Yeni deprem yönetmeliği'ne göre de tamamı ZD grubunda yer alan zeminler olarak değerlendirilmiştir.

Hazırlanan $V_{s(30)}$ haritaları incelendiğinde, her ampirik yaklaşım için en orta bölgede değerlerin düşük çıktığı, ancak $V_{s(30)}$ değerlerinin dağılımlarına ve yaklaşımlardaki farklılıklara göre alanda değişik dağılımlar gösterdiği gözlenmiştir. Özellikle Akın vd., (2011) yaklaşımına bağlı olarak elde edilen verilere göre $V_{s(30)}$ değerlerinin daha düşük olduğu ve derinliği de dikkate alan bu yaklaşımın daha kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bu yaklaşımla elde edilen harita değerlendirildiğinde ağır hasara sahip ve yıkılan binaların da daha çok yoğunlaştığı mahallenin güneydoğu tarafında diğer SPT-N değerini ele

alan ampirik yaklaşımlara göre daha düşük $V_{s(30)}$ değeri verdiği belirlenmiştir.

İlgili çalışma alanındaki hasar dağılımı incelendiğinde, deprem sonrası hasarın genel olarak mahallenin doğusunda olduğu gözlemlenmiş ve ağır hasarlı olarak tespit edilen konutların bulunduğu alanlarda zemin koşullarından kaynaklı bir hasar dağılımının olmadığı belirlenmiştir. Yapısal hasarın temel nedeni zemin koşullarına bağlı olmadan betonarme taşıyıcı sistemleri olan yapılarda malzeme kalitesinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmalar neticesinde detaylı analizler yapılarak bölgenin yerel zemin koşulları ve elde edilen bulgular dikkate alınarak uygun yapılaşmaya gidilmeli, mevcut yapılar da bu kriterler ışığında yeniden değerlendirilmelidir. Ayrıca mevcut yapıların

incelenerek gerekli önlemlerin alınması deprem zararlarının azaltılması yolunda alınacak tedbirlerden biri olacaktır.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2011. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (<https://www.afad.gov.tr/afet-raporu--van-depremi>)
- Akın, M. K., Kramer, S. L., Topal, T., 2011. Empirical correlations of shear wave velocity (V_s) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey). *Engineering Geology*, 119(1-2), 1-17.
- Akın, M. K., Akın, M., Akkaya, İ., Özvan, A., Üner, S., Selçuk, L., Tapan, M., 2015. Mikrobölgeleme çalışmasına altlık oluşturmak üzere Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs zemininin dinamik özelliklerinin belirlenmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39(1), 1-26.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Konagai, K., 2012. Site investigation and engineering evaluation of the Van earthquakes of October 23 and November 9, 2011. *Japan Society of Civil Engineers, JSCE*, 148.
- Aykaç, Z., 2016. Evaluation of Relationship between Local Site Conditions and Earthquake Damage: After 2011 Van Earthquakes, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, Yüksek Lisans Tezi, 75 s (yayımlandı)
- Boore, D.M., 2004. Estimating $V_s(30)$ from shallow velocity models (Depths <30 m). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94 (2), 591–597.
- BSSC, Building Seismic Safety Council, 2003. NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA 450), Part1: Provisions, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report FEMA 368), Washington, DC.
- DBYBHY-2007, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Hasançebi, N., Ulusay, R., 2007. Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66(2), 203–213.
- İyisan, R., 1996. Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results, Chamber of Civil Engineers of Turkey. *Teknik Dergi* 7, 1187–1199.
- Kızılkıran, A., Koçak, A., Çoşar, A., Güney, D., Selçuk, M. E., Yıldırım, M., 2011. Yıldız Teknik Üniversitesi 23 Ekim 2011 Van Depremi Teknik İnceleme Raporu (<http://www.ek.yildiz.edu.tr/images/images/yayinlar/vandeprem.pdf>).
- KOERI, 2012. Son Depremler, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi.
- Köse, O., 2004. Van Gölü yakın çevresinin coğrafyası. Van Gölü Havzası Jeotraversleri Çalıştay Kitapçığı, DAJEO-2004, 1-6.
- Köse, O., 2005. Van Gölü'nün Oluşumu, Gelişimi, Doğal Çevre Gelişimindeki Yeri. In: Köse, O., Gökdere A.F., Tolluoğlu, D. (eds). Program Kitapçığı, 12.Ulusal Kil Sempozyumu-KİL 2005, 05-09 Eylül 2005, Van. pp. 33-48.
- Ohsaki, Y., Iwasaki, R., 1973. On dynamic shear moduli and Poisson's ratios of soil deposits. *Soils and Foundations*, 13(4), 61-73.
- Ohta, Y., Goto, N., 1978. Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6(2), 167-187.
- Selçuk A.S., Üner S., 2020. 25 Haziran 2020 Saray (Van) Depremi Özet Raporu, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Afet Yönetimi ve Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi ([https://www.yyu.edu.tr/images/files/Saray\(Van\)_depremi.pdf](https://www.yyu.edu.tr/images/files/Saray(Van)_depremi.pdf)).
- Şengör, A. M. C., Kidd, W. S. F., 1979. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55(3-4), 361-376.
- Şengör, A. C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-241.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, Mart 2018.
- TS EN 1998-1 Standartı, 2003. Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapıların projelendirilmesi, Bölüm 1: Genel kurallar, Sismik etkiler ve binalar için kurallar.
- URL-1: <https://www.nufusu.com/tusba-van-mahalleleri-nufusu> (Erişim tarihi: 31 Mayıs 2021).