T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM ETKİSİ ALTINDA BETONARME ELEMANLARIN TEPKİLERİNİN MAKİNE ÖĞRENME İLE MODELLENMESİ

NİHAN YAZICI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2020

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM ETKİSİ ALTINDA BETONARME ELEMANLARIN TEPKİLERİNİN MAKİNE ÖĞRENME İLE MODELLENMESİ

NİHAN YAZICI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE
2020

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

MODELLING THE REINFORCED CONCRETE ELEMENT REACTIONS UNDER THE EARTQUAKE EFFECT WITH MACHINE LEARNING

NİHAN YAZICI

THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAM

THESIS SUPERVISOR

ASSIST. PROF. DR. AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE

2020

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/01/2020 tarih ve 2020/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 13/02/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Nihan Yazıcı'nın tez çalışması İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI Deprem ve Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Anıl Dindar

ÜYE : Dr. Öğretim Üyesi Ahu Mutlu

ÜYE : Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Güllü

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

tarih ve sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Prof. Dr. Ümit DEMİR

Gebze Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Dünya genelinde yapıların, depreme karşı dayanımını ölçmek için deprem verileriyle ilgili hesaplamalar yapılarak depreme nasıl tepki vereceği test edilir. Günümüzde eldeki kayıtlı birçok deprem verisini test etmek haftalar sürebilmektedir. Bu sürecin uzunluğundan ötürü yönetmeliklerde sonucu hesaplamaya yarayan yaklaşımlar vardır. Bu deprem yönetmelikleri, belirli yaklaşımlarla kabul ve istatistiklere göre yapının depreme karşı vereceği tepkiyi tahmin etmeye çalışır. Buna nazaran ilgili deprem yönetmeliğinin test edilmesi, çok kısa vakit alırken yönetmelik "genelleme" ve "öngörü" üzerine olduğu için gerçek yapı davranışını ifade etmeyebilir. Veri bilimindeki son gelişmeler, bilimsel çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesinde akademisyenlere farklı bir bakış açısı kazandırmaktadır. İstatistiksel değerlendirme konularının kısıtlı olduğu inşaat mühendisliği alanında bu eksiklik çokça hissedilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle pratik yaklaşımların inşaat sektöründe geldiği son aşama prefabrikasyondur. Prefabrik üretim; laboratuvar ortamında yapı elemanlarının üretildiği yapı elemanlarını ifade eder. Prefabrik üretimlerin önemli bir parametresi ise deprem kuşağında yer alan ülkemiz için yapıların depreme dayanıklılığıdır. Depreme dayanıklılık testi için İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği laboratuvarından elde edilen tam ölçekli betonarme kolon numunelerinin matematik modelleri geliştirilmiştir. Statik karakterli testlerin sonuçlarına göre gerçek çevrimsel davranış modeli elde edilmiştir. Bu kolonlar, prefabrik yapı sistemlerini temsil etmektedir. Bu çalışma kapsamında Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı kuvvetli yer hareketi veri tabanında bulunan deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır. Elde edilen değerler, betonarme yapı sistem elemanlarından kolon davranışının genel yer değiştirme protokolü olarak ifade edilmesi için bu davranış, makine öğrenmesiyle incelenmiştir. Çalışma sonucunda zaman tanım alanında dinamik analizler yapılarak kullanılan betonarme prefabrik elemanın bölgesel olarak depreme dayanıklılığı test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuvvetli yer hareketi, makine öğrenmesi, doğrusal olmayan dinamik analiz, prefabrik kolon, kayma dalgası hızı, depremsellik

SUMMARY

In order to measure the earthquake resistance of structures around the world, it is tested how earthquake response will be made by calculating the earthquake data. Today, it can take weeks to test many recorded earthquake data. Due to the length of this process, there are approaches in the regulations to calculate the result. These earthquake regulations try to predict the structure's response to earthquakes according to acceptance and statistics with certain approaches. Accordingly, testing the relevant earthquake regulations may not express the actual structure behavior as the regulation is on “generalization” and “prediction” while it takes a very short time. Recent advances in data science give academics a different perspective in evaluating the results of scientific studies. In the field of civil engineering, where statistical evaluation issues are limited, this deficiency is felt widely. With the development of technology, the final stage in which practical approaches come to the construction industry is prefabrication. Prefabricated production; express the structural elements in which the structural elements are produced in the laboratory. An important parameter of prefabricated productions is the earthquake resistance of the buildings for our country in the earthquake zone. Mathematical models of full scale reinforced concrete column samples obtained from Istanbul Technical University Building and Earthquake Engineering laboratories were developed for earthquake resistance test. According to the results of the tests with static character, real cyclical behavior model was obtained. These columns represent prefabricated building systems. Within the scope of this study, nonlinear dynamic analyzes were made in the time domain by using earthquake records in the strong ground motion database of the Disaster and Emergency Management Presidency. This behavior was examined by machine learning in order to express the column behavior of reinforced concrete structure system elements as the general displacement protocol. As a result of the study, the earthquake resistance of the reinforced concrete prefabricated element used in the time definition area was tested regionally.

Key Words: Strong ground motion data set, machine learning, nonlinear dynamic analysis, precast column, shear wave velocity, seismicity

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR'a; bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli eşim Emre YAZICI'ya ve bugüne kadar göstermiş olduğu maddi ve manevi desteklerinden dolayı kıymetli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
1.1. Problem Tanımı	2
1.2. Amaç ve Hedefler	2
1.3. Tezin İçeriği	3
2.TÜRKİYE'DE DEPREMSELLİK	6
2.1. Sismik Tehlike Analizi	6
2.2. Deprem Tehlike Haritası	6
2.3. Deprem Gözlem Ağı	9
2.4. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Yöntemleri	10
3. KUVVETLİ YER HAREKETİ VERİ TABANI	12
3.1. Tarihçe	12
3.2. AFAD Ağının Değerlendirilmesi	13
3.3. AFAD Ağından Elde Edilen Veriler	13
3.4. AFAD Ağındaki Eksik Bilgiler	17
3.4. Makine Öğrenmesi ile Eksik Bilgilerin Bulunması	18
3.4.1 Makine Öğrenmesi	18
3.4.2 V_S30 Değerlerinin Elde edilmesi	19
3.4.3. Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması	20
3.4.4. Çalışmada Kullanılan Yapı Analiz Programı: IDARC2D	23
3.4.5. Çalışmada Kullanılan Programlama Dili	24

3.4.6. Çalışmada Kullanılan Veri Formatları 25

4.PREFABRİK ELEMANLAR VE TASARIMI 28

4.1. Prefabrik Kolon Örneğinin Tanıtılması 28

4.2. Hesap Yöntemi 29

4.3 Çözüm Yaklaşımı 31

4.4. Sayısal Hesaplar 33

4.5. Makine Öğrenmesi ile Tasarım Yaklaşımı 34

4.5.1. Makine Öğrenmesi 34

4.5.2 Kümelendirme 35

4.5.3 Metrikler 37

4.6. Algoritma Çıktıları 38

5.SONUÇ VE ÖNERİLER 41

5.1. Sonuç 41

5.2. Öneriler 41

KAYNAKLAR 42

ÖZGEÇMİŞ 44

EKLER 45

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
AFAD	:	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ANSS	:	Advanced National Seismic System
IDARC	:	Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete
NEHRP	:	National Eartquake Hazards Reduction Program
PGA	:	Peak Ground Acceleration
TBDY	:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDVMS	:	Türkiye Deprem Veri Merkezi Sistemi
UDAP	:	Ulusal Deprem Araştırma Programı
USGS	:	United States Geological Survey
USAG	:	Ulusal Sismik Ağın Geliştirilmesi Projesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Türkiye Deprem tehlike haritası (AFAD)	7
2.2:	Geçmişten günümüze deprem tehlike haritaları.	7
3.1:	Geçmiş depremlerin derinlik-deprem sayısı grafiği.	14
3.2:	Yıllara göre deprem sayısı grafiği.	14
3.3:	Büyüklük- deprem sayısı grafiği.	15
3.4:	TSV formatındaki deprem ivme örneği	16
3.5:	Vs30 verilerinin bulunduğu Türkiye haritası.	19
3.6:	Vs30 karşılaştırma grafiği.	21
3.7:	Çalışmanın akış diyagramı.	24
3.8:	Programlama dili örneği.	25
3.9:	Veri türleri: TSV örneği	26
3.10:	Veri Türleri: XML örneği.	27
4.1:	Prefabrik kolon örneği kesiti.	28
4.2:	TBDY 2018 elastik tasarım spektrumu.	31
4.3:	Deprem davranış tepki kümelerinin oluşturulması.	32
4.4:	Çalışma adımları akış diyagramı.	33
4.5:	K-ortalama kümelendirme görseli	36
4.6:	Kümeleme algoritmalarından örnekler.	37
4.7:	Öklid uzaklığı formülü	37
4.8:	Prefabrik kolonun sismik tehlike haritası.	38
4.9:	Deprem davranış tepki kümeleri.	39

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No.		Sayfa
1.1:	Örnek deprem verisi.	4
1.2:	Örnek deprem kayıt dosyası.	4
2.1:	AFAD örnek PGA değerleri	8
3.1:	AFAD deprem kaydı değerleri	16
3.2:	AFAD kayıtlı istasyonların Vs30 değerleri (Örneklem seçilmiştir.)	17
3.3:	TBDY 2018'e göre yerel zemin sınıfı.	18
3.5:	USGS ham verilerle TBDY göre Vs30 zemin tipleri yüzdeleri.	23
3.6:	Histogram eşitleme yapılmış TBDY'ye göre Vs30 zemin tipleri yüzdeleri.	23
3.7:	AFAD istasyon verileri TBDY göre Vs30 zemin tipleri yüzdeleri.	23
4.1:	TBDY yerel zemin etki katsayıları tabloları.	30
4.2:	Küme merkezleri.	39

1.GİRİŞ

Türkiye, aktif deprem hatlarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Jeolojik durumu, topoğrafik yapısı ve iklimi göz önüne alındığında ülkemizin depremler başta olmak üzere doğal afetleri fazlasıyla yaşayan coğrafyalardan biri olduğunu rahatlıkla ifade edebiliriz [Pampal ve Özmen, 2009]. Türkiye'nin aktif deprem kuşaklarının birinde konumlanmış olması, yapılar üzerinde etkili olmuştur. Aktif fay hatları ülkemizde inşaat yöntemlerinin farklılaşmasında ve geliştirilmesinde etkili olmuştur.

Gelişen inşaat yöntemleri beraberinde prefabrikasyonu da getirmiştir. Özellikle sanayi tipi birçok yapıda, yerinde üretim yerine önceden üretilmiş yapı elemanlarıyla inşaat yapılmaktadır. Söz konusu durumun birçok avantajı olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan biri ise betonarme prefabrik elemanlarda depreme dayanıklılık konusunda yeterli analiz ve deneylerin yapılmamasıdır.

Yaşanan depremler ve etkileri ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımını önemli bir hâle getirmiştir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için geçmişte yaşanan depremler, deprem ve yapı mühendisliğinin önemini her geçen gün artırmıştır. Bu amaçla birçok deprem izleme istasyonu kurulmuştur. Kurulan bu istasyonlarda her geçen gün hem Türkiye'de hem de dünyada çok fazla miktarda "veri" birikmekte ve bu veriler sayesinde çeşitli analizler yapılabilmektedir. Toplanan bu verilerin miktarları ve çeşitlilikleri arttıkça standart istatistiksel yöntemler ile birlikte yapay zekâ yöntemleri de kullanılabilir hâle gelmektedir. Son yıllarda yapay zekânın popüler bir dalı olan makine öğrenmesi ile bir konudaki veriler incelenebilir; çeşitli tahmin, öngörü ve kümeleme modelleri oluşturulabilir hâle gelmiştir. Deprem ve yapı mühendisliğinde, diğer bilim dallarında olduğu gibi makine öğrenmesi kullanılarak deprem gibi büyük verilerin işlenmesi ve analizi mümkündür.

Bu tez çalışması; deprem verilerinin elde edilmesi, Afet ve Acil Durum Başkanlığı (AFAD) veri tabanındaki eksik verilerin elde edilmesi, prefabrik yapı elemanının analizi ve sonuçların kümelenmesi adımlarından oluşmaktadır. Birinci adımda 1976-2019 yılları arasındaki deprem kayıtları üzerinde çalışılmıştır. Bu kayıtlarda büyüklüğü 3.0 ve üzeri olan depremler kullanılmıştır. İkinci adımda 850 istasyonun sadece 258 adedinde V_{s30} değeri eksik olan istasyonlar için bulunmuştur.

İstanbul Teknik Üniversitesinde (İTÜ) daha önce elde edilmiş prefabrik bir kolonun elde edilen bütün depremler ile zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilecektir. Bu analizlerin yapılabilmesi için makine öğrenmesi yöntemi kullanılacak; bir algoritma yardımıyla prefabrik bir yapı elemanının, Türkiye'nin farklı yerlerinde, farklı depremlere ne gibi tepki vereceğinin daha kısa sürede ve optimum bir yaklaşım ile tahmin edilmesi ve modellenmesi mümkün hâle getirilecektir. Türkiye'deki jeolojik yapının ve deprem verilerinin işleme katılarak makine öğrenmesi yöntemleriyle analiz ve modellenmesi sayesinde yüksek hassasiyette ve kısa zamanda çalışabilen / hesaplanabilen, Türkiye'ye özel, deprem davranış tepki kümeleri tespit edilecektir. Böylelikle tasarlanan bir yapının, Türkiye'deki bütün noktalardaki bütün depremlere göre tepkilerini teker teker hesaplamaktansa (30-50 bin adet) sadece ilgili deprem davranış tepki kümelerindeki (yaklaşık 30-50 adet) tepkileri hesaplanıp ilgili yapının depremlere nasıl tepki vereceği tahmin edilmiş olunacaktır.

1.1. Problem Tanımı

Ülkemizde yaygınlaşan yapılaşma ile farklı yöntemler benimsenmiştir ve bu yöntemlerin deprem kuşağında bulunan ülkemizdeki durumu da önem arz etmektedir. Fabrikada üretilen ve şantiyede yapının yapımı sırasında kolaylık sağlayan prefabrik betonarme elemanların sismik performansları, kullanılacağı bölgeye göre hatta o bölgenin depremselliği göz önüne alınarak üretilmelidir. Konuyu bir başka açıdan değerlendirmek gerekirse üretilen elemanın, aktif fayların bulunduğu bölgelerde yeterli performans göstereceği önemli bir parametre olmalıdır.

1.2. Amaç ve Hedefler

Bu tezin amacı; prefabrik olarak üretilen betonarme bir kolonun geçmiş depremler göz önüne alınarak olası bir depremde göstereceği performansı makine öğrenmesi metoduyla tahmin etmek ve üretilen 40×40 cm ölçülerinde bir kolonun, ülkenin aktif fayların bulunduğu bölgelerinde göstereceği performansına göre sismik bir tehlike haritası oluşturmaktır. Böylece ön üretimli betonarme bir kolonun sismik performansı farklı bölgelere göre değerlendirilmiş olacaktır. Bu değerlendirme

sonucunda sismik anlamda kullanımına uygun olmayan bölgelerin belirlenmesi hedeflenmektedir.

1.3. Tezin İçeriği

Bu tez kapsamında standart alınan bir prefabrik kolonun, Türkiye'de meydana gelmiş depremler üzerindeki tepkisi ölçülmüştür. Bu ölçümün yapılabilmesi için kayıtlı deprem verileri elde edilmiştir. Bu veriler standart veri dosyası hâline getirilmiş, zaman tanım alanında standart alınan prefabrik kolonun dinamik analizi yapılmış ve çalışma sırasında istatistiksel yöntemler kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında Türkiye yerleşim alanını da kapsayan 36.5 - 38.5 kuzey enlemleri ile 43 - 45.5 doğu boylamları arasında Ocak 1976-Aralık 2019 tarihleri arasında meydana gelmiş, büyüklüğü $M \geq 3.0$ olan, yaklaşık 30.000 adet deprem kaydı ele alınmıştır. Çalışmada Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) veri tabanı kullanılmıştır.

Ayrıca bu tez kapsamında, Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları (USGC) sitesi kullanılarak bu sitenin açık kaynak olarak paylaşıma açık Vs30 haritasından okunan kayma dalgası hızı değerlerinin sayısal değerlere dönüştürülmesi ilk aşama olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bu veriler AFAD veri bankasından eksik olan koordinatlar için kullanılmış ve AFAD veri bankasından elde edilen deprem kayıtları alınarak, bunların işlenip okunabilecek formatta kaydedilmesini kapsar.

Çalışmada AFAD kuvvetli yer hareketi veri tabanından elde edilen, Tablo 1.1'deki gibi depremlere ait veriler kullanılmıştır [AFAD,2019].

AFAD kuvvetli yer hareketi veri tabanında, ilgili istasyon ve deprem seçildikten sonra deprem ile ilgili temel ve detaylı verilere ulaşılabilmektedir. Temel veriler içinde depremin merkezi, tarihi, derinliği, büyüklüğü, koordinatları, kayıt sayısı, konum, en yüksek ivme değerleri, kayıtçı bilgileri, örneklendirme aralığı, istasyon yüksekliği, istasyon koordinatı ve istasyon kimliği bulunmaktadır.

Tablo 1.1: Örnek deprem verisi.

EARTHQUAKE DATE	Deprem tarihi	2019/08/29 22:15:07 (GMT)
EARTHQUAKE DEPTH (km)	Deprem derinliği	18.23
EARTHQUAKE MAGNITUDE	Deprem büyüklüğü	4.0 Mw
EPICENTER COORDINATES	Merkez koordinatı	36.38600N-35.56000E
NUMBER OF DATA	Kayıt sayısı	5823
PLACE	Konum	Adana Karataş Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü
RAW PGA VALUES (gal)	Ham PGA değerleri	(N-S) 1.475847 (E-W) 1.508801 (U-D) 1.042918
RECORD TIME	Kayıt zamanı	29/08/2019 22:15:05.00 (GMT)
RECORDER SERIAL NO	Kayıtçı seri numarası	T5C05/B242
RECORDER TYPE	Kayıtçı türü	Guralp cmg5td
SAMPLING INTERVAL (sec)	Örneklendirme aralığı	0.01
STATION ALTITUDE (m)	İstasyon yüksekliği	22
STATION COORDINATES	İstasyon koordinatı	36.56801N-35.39008E
STATION ID	İstasyon kimliği	119

Detaylı veriler içerisinde E-W (east-west / doğu-batı), N-S (north-south / kuzey-güney), U-D (Up-Down / dikey-düşey) yönlerindeki deprem ivme kayıtları bulunmaktadır. Depremin periyoduna göre deprem kaydından elde edilen veri uzunluğu da değişmektedir. Aşağıda örnek deprem kayıt dosyası içinde yer alan üç bileşen, ivme verileri gösterilmiştir (Tablo1.2).

Tablo 1.2: Örnek deprem kayıt dosyası.

N-S	**E-W**	**U-D**
0.000051	0.000127	-0.00103
-0.000046	0.000129	-0.001037
0.00013	0.000125	-0.001022
-0.000043	0.000128	-0.001036
0.000132	0.000126	-0.001022
-0.000042	0.000127	-0.001035
0.000132	0.000126	-0.001021
-0.000042	0.000126	-0.001035
0.000132	0.000127	-0.00102

Bir sonraki aşamada prefabrik (ön üretimli) kolonun tasarıma ait bilgileri ve deprem kayıtları IDARC adlı yazılıma girilerek prefabrik kolonun analize sokulan depremde nasıl tepki vereceği çıktısı elde edilir. Sonraki evrede IDARC yazılımdan elde edilen çıktılar verilerin okunabilir hâle getirilmesi işleminden geçirilerek bunların tepe deplasman ivmeleri alınır. Elde edilen veriler ile 40*40 cm boyutlarındaki betonarme prefabrik bir elemanın farklı koordinatlarda sismik tehlike haritası oluşturulmuştur.

2.TÜRKİYE'DE DEPREMSELLİK

2.1. Sismik Tehlike Analizi

Depreme dayanıklı yapı tasarımı sırasında yapının dayanıklılığı kadar yapının uygulandığı bölgenin zemini de çok önemlidir. Jeolojik değerlendirmeler göz önüne alınarak yapılan analizler sırasında kayma dalgası hızı parametresi (Vs30) kullanılır. Bu parametre; zeminlerin bölgesel anlamda değerlendirilmesine olanak sağlar, her bölgede değişiklik gösterir, yapılan sondaj ve çeşitli jeofizik yöntemler ile belirlenir. Ayrıca bu parametre AFAD internet sitesinden elde edilen toplam 850 adet istasyondan sadece 258 tanesinde bulunmaktadır. Bu eksiklik Türkiye genelinde yapılacak bir sismik tehlike haritası çıkarılması sırasında çok önemli bir hâl almaktadır. Toplam sayısına bakıldığında eksik olan V_{s30} parametresinin elde edilmesi gerekmektedir.

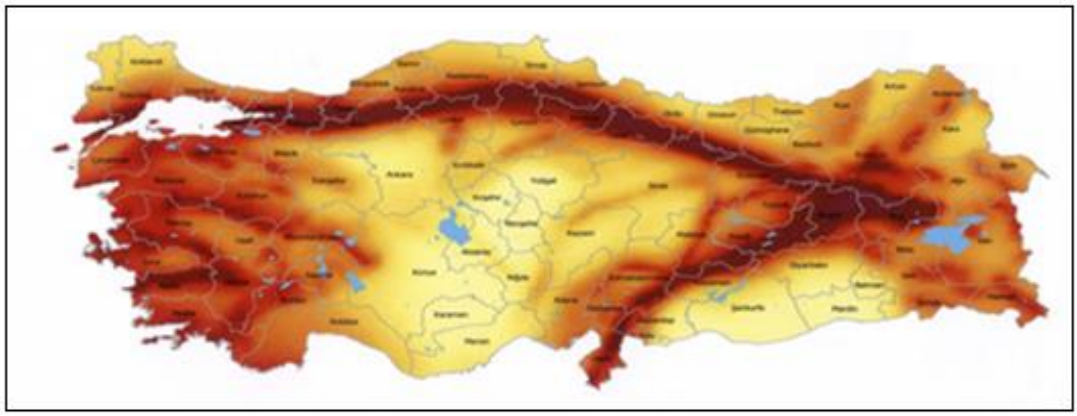
Deprem hareketlerini değerlendirirken genliği belirlemek yer hareketi için öncelikli aşamadır. Bunun için iki önemli parametre, en büyük yer ivmesi (PGA) ve en büyük yatay ivmesidir. Azalım denklemleri göz önüne alındığında PGA en büyük yer ivmesi daha çok tercih edilir [Ambraseys, 2000].

Deprem merkezinden uzaklaşıldıkça uzaklığın fonksiyonu ve jeolojik şartlarla ilişkili olarak zemin titreşimleri azalır. Bu değişim, azalım ilişkileri kullanılarak hesaba katılmaktadır. PGA hesaplamaları sırasında kullanılan azalım ilişkileri; depremin şiddeti, büyüklüğü, uzaklığı, kaynak mekanizması ve yerel zemin koşullarının bir fonksiyonudur [Abrahamson ve Silva, 1997]. Bazı araştırmacılar azalım ilişkilerinde zemin türünü kayma dalgasına bağlı olarak ifade etmişlerdir [Kalkan ve Gülkan, 2004].

2.2. Deprem Tehlike Haritası

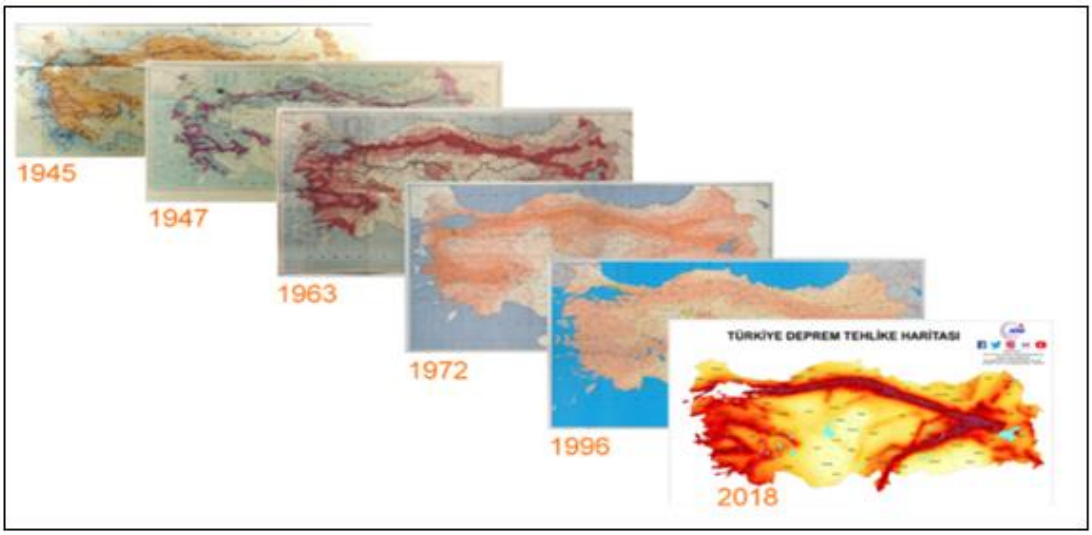
Türkiye deprem tehlike bölgeleri haritası en son 1996 yılında yürürlüğe girmiştir. Güncellenme ihtiyacı üzerine AFAD tarafından 2018'de Resmî Gazete'de yayımlanarak 2019 tarihinde Şekil 2.1'de görüldüğü üzere yenilenmiştir. Yenilenen harita güncel olmasının yanı sıra daha ayrıntılı olarak hazırlanmıştır. Bu haritada eski

haritadan farkı en büyük yer ivmesi değerleri gösterilmiş ve önceki haritada bulunan deprem bölgesi kavramı böylelikle ortadan kaldırılmıştır [AFAD, 2019].



Şekil 2.1: Türkiye Deprem tehlike haritası (AFAD)

Bir risk haritasını derlemek için deprem haritasında nüfustan etkilenen yapıları bilmek, ekonomik kayıpları tespit etmek, depremin çevreye vereceği zararı hesaplamak ve sonuçları gösteren bir harita oluşturmak gerekir. Bu bilgilere dayanılarak deprem tehlike haritasının bir risk haritası olmadığı söylenebilir. Bu harita Vs30 = 760 m/s zemin koşulu kabul edilerek ve tekrarlanma periyodu 475 yıllık yani 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan en büyük yer ivme değerleriyle hazırlanmıştır.



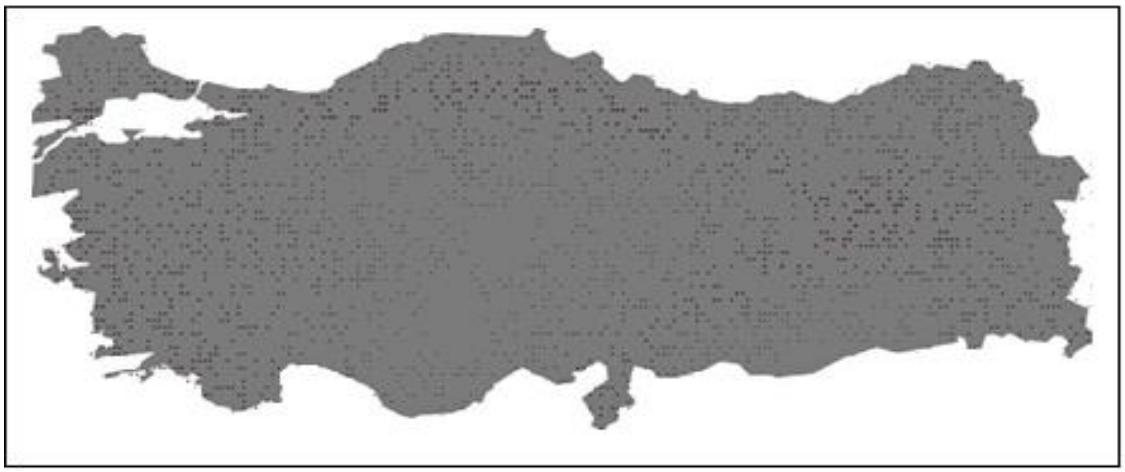
Şekil 2.2: Geçmişten günümüze deprem tehlike haritaları.

Yeni deprem tehlike haritası, AFAD Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) tarafından desteklenen² Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi² başlıklı proje ile kamu ve üniversite iş birliği kapsamında hazırlanmıştır [AFAD, 2019].

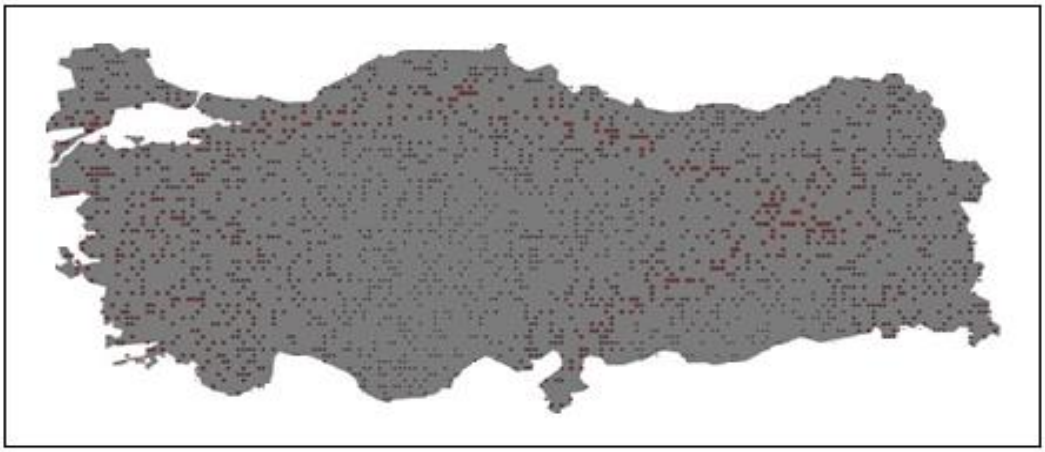
AFAD veri tabanının deprem tehlike verileri olan PGA değerlerinin 50 yılda aşılma olasılığı %2, %10 ve %50 olarak Tablo 2.1 ile Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5'te gösterilmiştir.

Tablo 2.1: AFAD örnek PGA değerleri

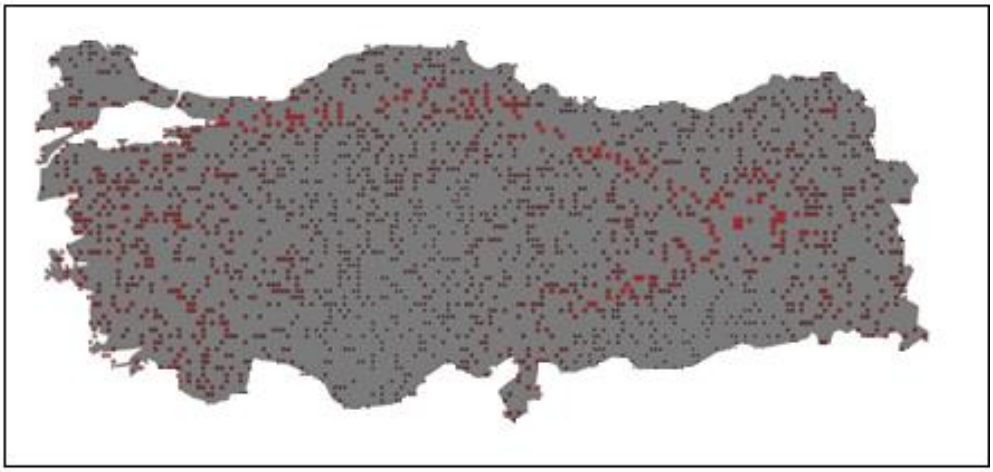
Boylam	**Enlem**	**Pga-2**	**Pga-10**	**Pga-50**	**Pga-68**	**ss-2**	**ss-10**	**ss-50**	**ss-68**	**S1-2**	**S1-10**	**S1-50**	**S1-68**
24.550	39.950	1.382	0.739	0.218	0.137	3.350	1.699	0.525	0.302	0.884	0.424	0.123	0.074
24.550	40.050	0.922	0.528	0.181	0.123	2.380	1.222	0.439	0.288	0.646	0.315	0.108	0.075
24.550	40.150	0.829	0.468	0.167	0.113	2.065	1.080	0.388	0.282	0.602	0.303	0.108	0.069
24.550	40.250	0.712	0.407	0.159	0.105	1.800	0.920	0.379	0.255	0.519	0.268	0.098	0.065



Şekil2.3: Tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem PGA



Şekil2.4: Tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem PGA.



Şekil 2.5: Tekrarlanma periyodu 72 yıl olan deprem PGA.

2.3. Deprem Gözlem Ağı

2004 yılında İstanbul Deprem Şûrasında "Ülke genelinde depremlerin izlenmesi, kaydedilmesi, değerlendirilmesi, arşivlenmesi ve raporlanması, gelişmiş bir ulusal deprem izleme ağının bir parçası olarak yapılmalıdır." içeriği yer almıştır [2].

Bu içerikte Türkiye'de 1989 yılında 12 telemetri istasyonu ile kurulan Deprem Gözlem Ağı belirtilmiştir. Ayrıca söz konusu içerikte Türkiye Deprem İzleme Ağı'nın dönüştürüldüğü birinci sınıf, yüksek kaliteli, gerçek zamanlı verilerle Ulusal Sismik Ağ (USAG) projesinin geliştirilmesi, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye'deki 950 istasyon ve yakınlardaki deprem faaliyetleri bu ağın genel görünümünü sunmaktadır [AFAD, 2019].

Şekil 2.6: Türkiye deprem ağları.

2.4. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Yöntemleri

Yer kabuğu içindeki kırılmalar ya da yırtılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar hâlinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına deprem denir. Bina ve bina türü yapılara yanal olarak etki ettiği kabul edilen deprem kuvvetlerinin hesabı için değişik yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler gerçekliğe yaklaşılması açısından sırası ile "eş değer deprem yükü yöntemi", "mod birleştirme yöntemi" ve "zaman tanım alanında hesap yöntemi" olarak sıralanabilir. Bu çalışma kapsamında zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır. Zaman tanım alanında hesap yöntemi, yapıların deprem etkileri altında davranışını inceleyen diğer yöntemlere göre sonuçları bakımından yorumlanması daha zor olan yöntemlerden biridir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi, yapı davranışı göz önüne alınarak taşıyıcı sisteme etki eden bir ivme kaydının adım adım uygulanması şeklindedir. Bu uygulama süresince her bir zaman artımıyla birlikte taşıyıcı sistemde oluşan yer değiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklükleri meydana getiren deprem sisteminin en büyük değerleri belirlenir. Bu hesap yönteminde kullanılan ivme kayıtları; yapay yollarla üretilmiş, daha önceden kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri şeklinde belirlenebilir. Buna rağmen kullanılacak ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi zaman tanım alanında hesap yönteminde dikkat edilmesi gereken en önemli aşamadır. Bu hesap yönteminde kullanılacak ivme kaydı seçilirken depremin büyüklüğü, fay tipi, faya olan mesafe,

yerel zemin koşulları, yırtılma yönü ve kaydın spektral içeriği gibi parametreler dikkatli bir şekilde ele alınmalıdır.

3. KUVVETLİ YER HAREKETİ VERİ TABANI

Ülkemiz bulunduğu jeolojik konum itibarıyla deprem kuşağındadır. Bu yüzden deprem konusunda daha hazırlıklı olmak ve bilimsel çalışmalara olanak sağlaması açısından deprem verilerinin değerlendirilmesi, izlenmesi ve raporlanması amacıyla Afet ve Acil Durum Yönetimi Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından (AFAD) 7/24 çalışma esasına dayanan Türkiye Deprem Veri Merkezi Sistemi (TDVMS) kurulmuştur. Türkiye Sismolojik Gözlem Ağı ve Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı sayesinde deprem verilerine daha hızlı ve güvenilir şekilde erişim sağlanmaktadır.

TDVMS kurulması için 2011 yılında çalışmalara başlanmıştır. 2016 yılı itibarıyla tüm yazılım, donanım, veri işlenmesi ve paylaşımı işlemleri AFAD tarafından yönetilmektedir. AFAD-TDVMS, ülkemizde depremleri gözlemlemek ve sismik aktiviteleri incelemek amacıyla kurulan deprem istasyonlarından gerçek zamanlı ve çevrimiçi verileri uluslararası standartlarda tek bir noktada toparlayıp, birleştirip, düzenleyerek üniversiteler, araştırma merkezleri ile çeşitli kurum ve kuruluşların hizmetine sunmaktadır.

3.1. Tarihçe

Doğal afetlerle baş etmek için teknolojik imkânlar gelişmiş, bu imkânlar sayesinde veri girişi artarak deprem bölgeleri haritasının güncellenmesi mümkün olmuştur. Gelişen hesaplama yöntemleri, bilgi altyapısı ve uluslararası projelerle deprem kataloglarının oluşturulmasıyla Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kurulmuştur.

1996 yılında hazırlanması tamamlanan Türkiye deprem bölgeleri haritasının güncellenmesi amacıyla Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kapsamında kamu ve üniversite iş birliği ile desteklenen “Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi” başlıklı projenin sonuçları kullanılarak hazırlanan “Türkiye deprem tehlike haritası” kamu ve kurum kuruluşlarından gelen görüşlerin de değerlendirilmesi ile nihai hâle getirilerek 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Mükerrer Resmî Gazete’de yayımlanmıştır. Yeni harita “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” ile eş zamanlı olarak 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir [AFAD,2019].

3.2. AFAD Ağının Değerlendirilmesi

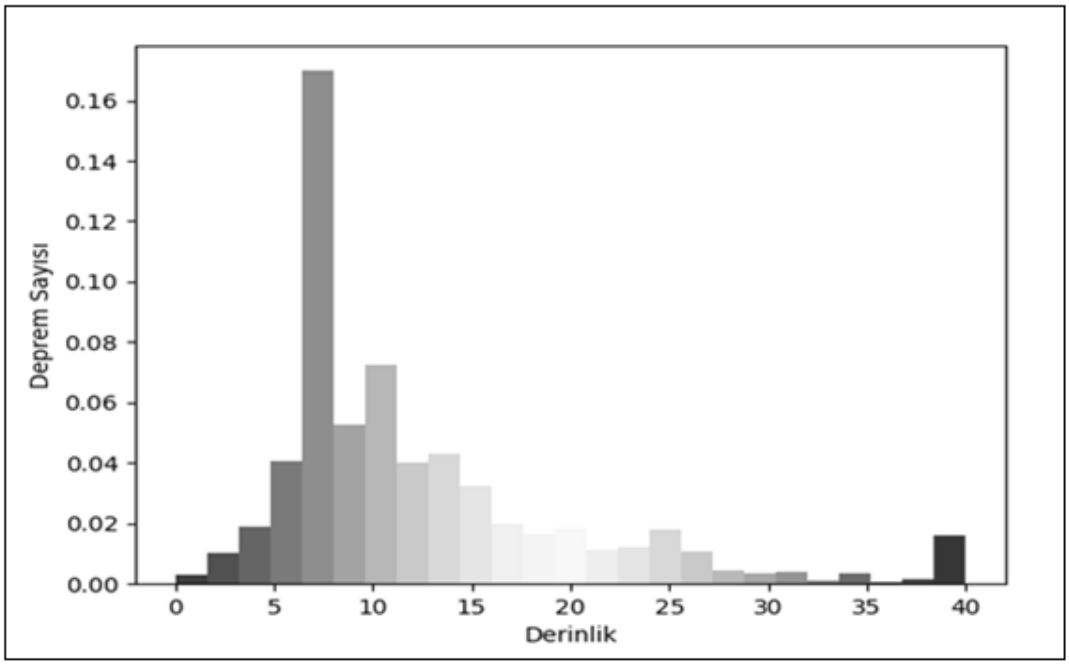
1996 yılında hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası sadece 475 yıl tekrarlanma periyodu "en büyük yer ivmesi" değerini bulunduruyordu. Sonrasında hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası değişik mühendislik kullanım alanları için 43, 72, 475 ve 2475 yıl tekrarlanma periyotları için "en büyük yer ivmesi", "en büyük yer hızı" ve 0.2 ve 1.0 saniyelik periyotlar için hesaplanan "spektral ivme" değerlerini kapsayan 16 farklı türde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) hesap yöntemleri ile uyumlu olarak üretilmiştir [AFAD, 2019].

2019'da Türkiye deprem bölgeleri haritası güncel deprem verileri, katalogları ve matematiksel modeller göz önüne alınarak daha ayrıntılı veriler ile hazırlanmıştır. 2019 yılında hazırlanan haritanın önceki haritadan farkı deprem bölgeleri yerine en büyük yer ivmesi değerini gösteriyor olmasıdır. Deprem tehlikesi bu haritada sarıdan kırmızıya bir renk skalası ile gösterilmektedir.

3.3. AFAD Ağından Elde Edilen Veriler

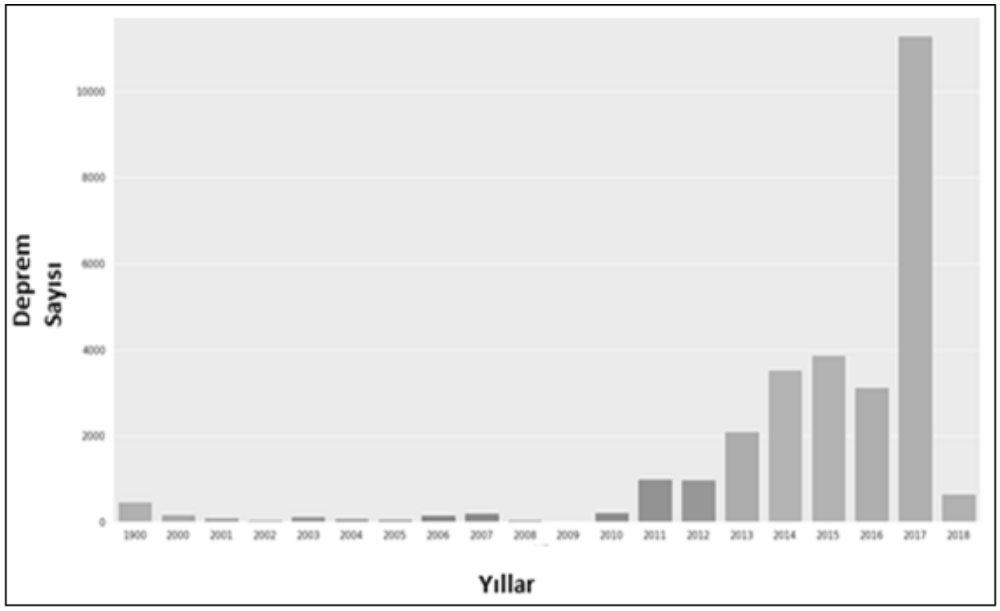
Tasarım için gerekli ivme değerleri farklı yöntemlerle elde edilebilir. Bu yöntemler yapay olarak oluşturulmuş kayıtlar, benzer kayıtlara benzetilerek simülasyon yapılmış kayıtlar ve kaydedilmiş gerçek deprem verileridir. Bu çalışma sırasında AFAD ağından elde edilen gerçek deprem ivme değerleri kullanılmıştır.

Deprem ivme kayıtları deprem parametrelerinin değerlendirilmesinde ve tepki spektrumlarının elde edilmesinde kullanılır. Bu kayıtlar 1976-2019 yılları arasında meydana gelen tüm 41430 adet depremin verilerini içermektedir. Bu kayıtlardan deprem büyüklüğü 3.0 ve üzeri olanlar çalışmada kullanılmıştır.



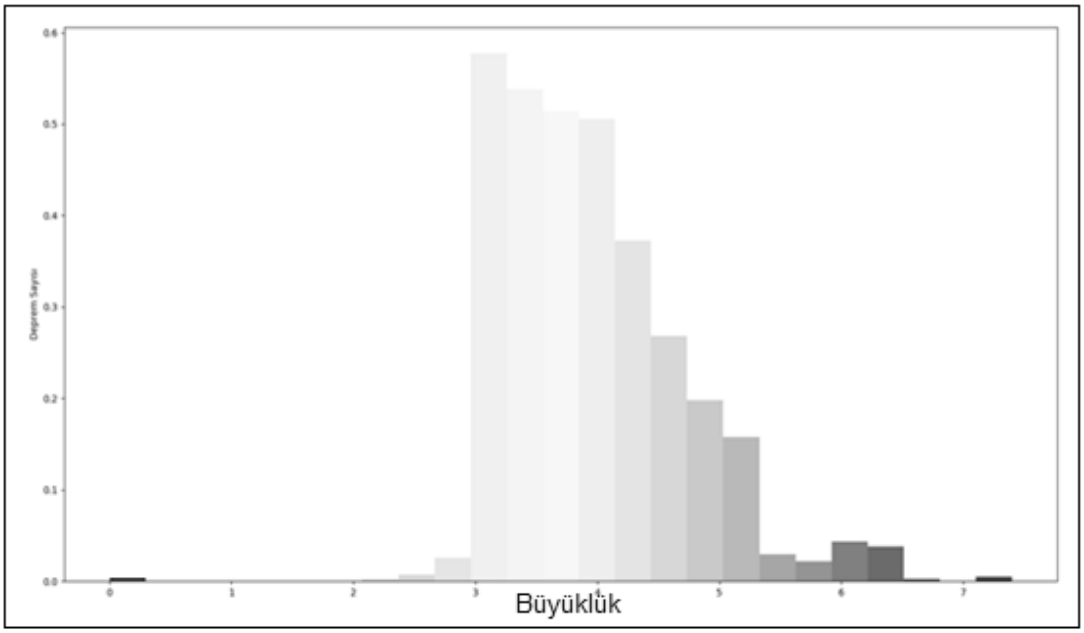
Şekil3.1: Geçmiş depremlerin derinlik-deprem sayısı grafiği.

Şekil 3.1 gerçekleşen depremlerin derinlik histogramını göstermektedir. Bu histogramda 40 km ve üstü derinliklerin sayısı çok az olduğundan derinliklerin hepsi 40 km olarak işaretlenmiştir. Grafikte görüldüğü üzere, en fazla 7 km derinlikte depremler olmaktadır. Grafikteki verilerin dağılımı "normal dağılıma" benzemektedir.



Şekil 3.2: Yıllara göre deprem sayısı grafiği.

Şekil 3.2 ilgili yıllar içinde meydana gelen depremleri gösteren bir histogramdır. Bu histogramda 2000 yılı öncesi veriler çok az olduğu için göz ardı edilmiştir. Görüldüğü üzere kayıtlı deprem hareketleri, deprem gözlem istasyonları arttıkça (bir deprem birden fazla gözlem istasyonu tarafından tespit edilebilmektedir) ve yıllar geçtikçe astronomik bir şekilde artmıştır.



Şekil 3.3: Büyüklük- deprem sayısı grafiği.

Şekil 3.3, depremlerin büyüklük aralıklarını gösteren bir histogramdır. Bu histogramda çok küçük değerler, “0” başlığı altına toplanmıştır. Görüldüğü üzere deprem büyüklük dağılımları, basıklığı çok yüksek olan bir normal dağılıma benzemektedir.

AFAD veri tabanı sitesinden 2000 yılı sonrasındaki veriler indirildikten sonra bu verileri okuyabilmek ve işleyebilmek için python programlama dili ile bir parse (çözümleme) işlemi gerçekleştirilmiştir. İlgili bu python scriptinin çalışma prensibi aşağıda anlatılmıştır:

Her bir AFAD veri dosyasında ikinci ile on beşinci satır arasında, oluşan depremin ve ölçümleme yapılan istasyonun genel bilgileri (istasyon koordinatları, ölçüm cihazları, vb.) bulunmaktadır (Tablo 3.1.).

Tablo 3.1: AFAD deprem kaydı değerleri

PLACE	İSTASYON	BALIKESİR GONEN METEOROLOJİ İSTASYONU
DATE	TARİH	05/07/1983 12:01:27 (GMT)
EPICENTER COORDINATES	KONUM	40.33000N-27.21000E
EARTHQUAKE DEPTH (km)	DERİNLİK	7
EARTHQUAKE MAGNITUDE	BÜYÜKLÜK	5.5ML
STATION ID	İSTASYON KODU	1014
STATION COORDINATES	İSTASYON KONUMU	40.11399N-27.64236E
STATION ALTITUDE (m)	İSTASYON RAKIMI	33
RECORDER TYPE	KAYIT TİPİ	SMA-1
RECORDER SERIAL NO	KAYIT NO	4993
RECORD TIME	KAYIT TARİHİ	05/07/1983 12:01:27 (GMT)
NUMBER OF DATA	KAYIT SAYISI	2939
SAMPLING INTERVAL (sec)	ÖRNEK ARALIĞI	0.005
RAW PGA VALUES (gal)	HAM İVME DEĞERİ	(N-S) 50.107340 (E-W) 46.766860 (U-D) 37.675120

İlgili bu 14 bilgi iki noktadan (:) önce ve sonra olarak bölünüp okunur. Sonrasındaki satırlarda ise TSV formatında, ilgili depreme ait, N-S (kuzey-güney), E-W (doğu-batı), U-D (düşey) deprem ivmeleri bulunmaktadır (Şekil 3.4).

N-S	E-W	U-D
7.146923	-9.749608	-10.346680
7.131615	-10.993110	-10.330220

Şekil 3.4: TSV formatındaki deprem ivme örneği

Yukarıdaki veri formatında, her bir kolon (NS/EW/UD) altında, ilgili depremin sinyal verileri bulunmaktadır. Bu verilerde “sekmelerden” ayrılarak okunup üç ayrı listeye eklenir. İlgili işlemi gerçekleştiren kod, bu tezin ekinde bulunmaktadır.

3.4. AFAD Ağındaki Eksik Bilgiler

Depreme dayanıklı yapı tasarımında zemin ile ilgili en önemli parametrelerden biri, kayma dalgası hızıdır. Zeminin diğer fiziksel özellikleri ile birlikte kayma dalgası hızları, yapı malzemelerinin elastik özellikleri ve böylece yerel depremlerden kaynaklı kuramsal yüklerine temelin sismik tepkisini belirlemede kullanılabilir [Schwarz and Musser, 1972]. Bu önemli parametre olan Vs30, AFAD internet sitesinden elde edilen toplam 850 adet istasyondan sadece 259 tanesinde bulunmaktadır.

Tablo 3.1'de AFAD kayıtlı istasyonların 25 tanesinin bilgileri verilmiştir. EK-C'de AFAD sitesindeki istasyonların VS30 değerleri belirtilmiştir.

Tablo 3.2: AFAD kayıtlı istasyonların Vs30 değerleri (Örneklem seçilmiştir.)

KODU	İL	İLÇE	ENLEM	BOYLAM	RAKIM (m)	Vs30
118	Adana	SEYHAN	37.03616	35.31843	76	946
119	Adana	KARATAS	36.56801	35.39008	22	485
201	Adıyaman	MERKEZ	37.76179	38.26949	680	391
208	Adıyaman	GOLBASI	37.78694	37.65275	1763	469
301	Afyon	MERKEZ	38.77598	30.53395	1054	226
302	Afyon	DINAR	38.0599	30.15373	862	198
309	Afyon	SULTANDAGI	38.52613	31.2379	1006	388
401	Ağrı	MERKEZ	39.71978	43.0164	1647	295
505	Amasya	GOYNUCEK	40.3925	35.5215	484	372
506	Amasya	MERKEZ	40.64382	35.80388	405	284
507	Amasya	MERZIFON	40.87969	35.45884	757	368
603	Ankara	BALA	39.55831	33.11857	1305	450
604	Ankara	SEREFLIKOCHISAR	38.96246	33.52402	971	291
623	Ankara	BATIKENT	39.96886	32.72712	830	341
624	Ankara	CANKAYA	39.88611	32.85606	1088	728
625	Ankara	SINCAN	39.97212	32.58271	833	213
626	Ankara	YENIMAHALLE	39.99049	32.69525	836	313
627	Ankara	ERYAMAN	39.98178	32.62502	815	255
628	Ankara	UMITKOY	39.88623	32.69155	904	300
629	Ankara	GOLBASI	39.78249	32.8064	1021	528
630	Ankara	MALTEPE	39.92488	32.84688	966	195
631	Ankara	CUBUK_2	40.24085	33.03193	995	218
701	Antalya	MERKEZ	36.8944	30.6667	42	920
702	Antalya	ELMALI	36.737	29.9205	1095	507
705	Antalya	KAS	36.1951	29.6474	25	1113

TBDY 2018 2. bölümde depreme dayanıklı yapı tasarımı için deprem tasarım spektrumlarının tanımlanmasında yerel zemin sınıflarının belirlenmesi açıklanmaktadır. Yerel zemin sınıflandırılması Bölüm 16.4'te belirlenen koşullar ile Vs30 parametresine göre yapılmaktadır (Tablo 3.2). Bu çalışma sırasında Türkiye'nin tamamını içeren hesaplamalar yapılmış olup bu hesaplamalar için her 25 kilometrekareye düşen Vs30 değerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu bağlamda AFAD sitesinden elde edilen Vs30 değerleri yetersiz kalmıştır.

Tablo3.3: TBDY 2018'e göre yerel zemin sınıfı.

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 ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, 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 veya $PI > 20$ ve $w > \%\ 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası $(c_u < 25\ \text{kPa})$ içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir 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.			

3.4. Makine Öğrenmesi ile Eksik Bilgilerin Bulunması

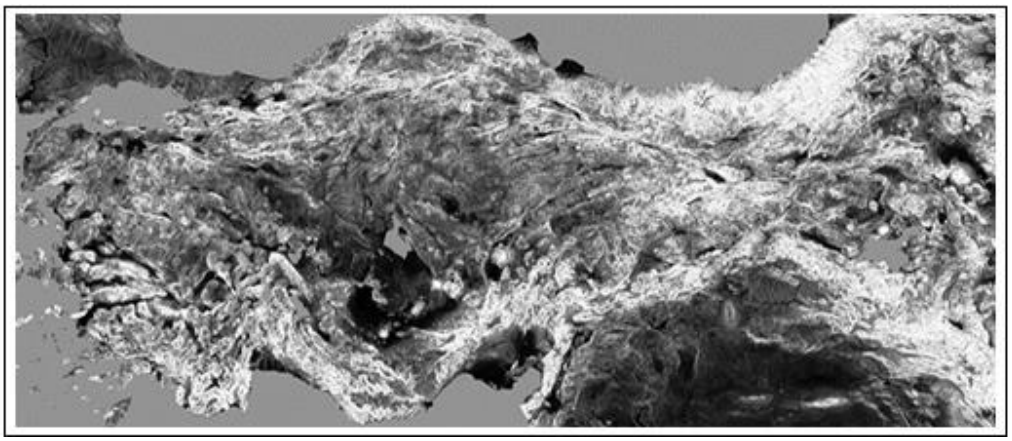
3.4.1 Makine Öğrenmesi

Makine öğrenimi, bilgisayar sistemlerinin açık talimatlar kullanmadan belirli bir görevi yerine getirmek için kullandığı algoritmaların ve istatistiksel modellerin bilimsel çalışmasıdır, açık talimatlar yerine kalıplara ve çıkarımlara dayanır, yapay zekânın bir alt kümesi olarak görülür. Makine öğrenim algoritmaları, görevi gerçekleştirmek üzere açıkça programlanmadan tahminlerde bulunmak veya kararlar

vermek için “eğitim verisi” olarak bilinen örnek verilere dayalı bir matematiksel model oluşturur.

3.4.2 V_S30 Değerlerinin Elde edilmesi

Türkiye için Vs30 değerleri çok az sayıda olduğundan daha detaylı ve sık aralıkta Vs30 değerlerinin toplanması gerekmektedir. Vs30 parametresinin eksikliğinin giderilme amacıyla makine öğrenmesi yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan Vs30 değerleri Birleşmiş Devletler Jeolojik Araştırmaları (USGS) deprem tehlikeleri programından elde edilmiştir. Bu programın internet sitesi üzerinden Vs30 değerlerini paylaştığı bir dünya haritası bulunmaktadır. Buradan Türkiye için Vs30 değerlerini içeren haritanın verileri elde edilmiştir.



Şekil 3.5: Vs30 verilerinin bulunduğu Türkiye haritası.

Çalışma esnasında ilk olarak ilgili veri ve harita (TIFF formatındaki bir resim olarak), USCS sitesinden Türkiye’nin koordinatları (26-45 doğu meridyenleri, 36-42 kuzey paralelleri) girilip, daraltıldıktan sonra indirilmiştir. İndirilen verinin işlenip, kullanılır hâle getirilmesi için TIFF formatındaki resimden ve indirme ile gelen sıkıştırılmış dosya içinde bulunan (XML) parametre dosyasındaki bilgilerden yararlanılarak resim dosyasındaki görüntüdeki piksellerin, görüntü-renk değerleri, VS30 (metre/saniye-skaler) değerlerine çevrilmiştir.

Temel olarak bir görüntüyü (Vs30 değerlerinin olduğu TIFF dosyası) Vs30 (kayma dalgası) değerine çevirebilmek için öncelikle her bir noktanın dünya üzerinde hangi koordinata denk geldiğini bulmak gerekmektedir. Elde edilen görüntü

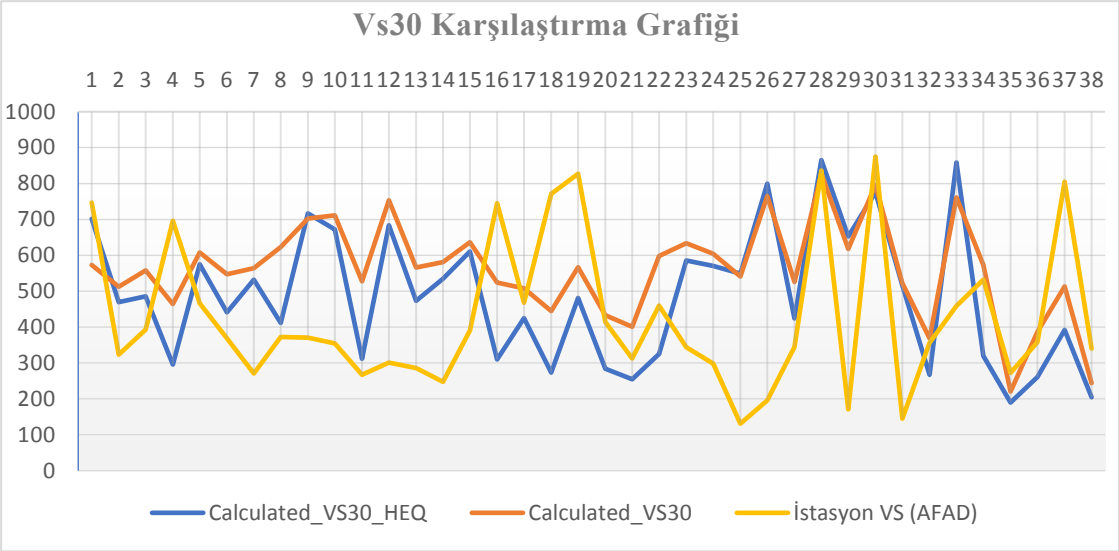
dosyasında, her bir nokta piksel olarak adlandırılır ve bir piksel, bilgisayarın işleyebileceği veya görüntüleyebileceği en küçük görüntü parçacığıdır. Bir resmin genişliği ve yüksekliği, mesafe olarak bilgisayar görüntü dosyalarında piksel olarak belirtilir. Elde edilen görüntü dosyasının da boyutları, 2200 x 700 pikseldir ve içinde 2200×700 = 3,1 milyon adet nokta bulunmaktadır. Görüntüyü elde ederken girilen koordinat değerleri, Türkiye'nin içinde bulunduğu enlem ve boylam değerleri baz alındığı için basit bir oran kullanılarak bir pikselin kaç kilometreye denk geldiği hesaplanabilir.

Resmin genişliği: 2200 pikseldir. Denk gelen koordinat genişliği: 26.00-45.00 doğu meridyenleri R = (45.00-26.00) / 2200 piksel = 0,0086 değerine denk gelmektedir. Sonuç olarak, aşağıya veya sağa doğru gidildikçe her bir pikselde koordinatlar 0.0086 birim değişmektedir. Bu şekilde Türkiye sınırları içinde kalan her bir koordinata denk gelen piksel değerini bulabiliriz.

Bulunan TIFF resmi içindeki piksellerin, renk değerlerine karşılık gelen Vs30 değerlerinin bulunması gerekmektedir. İlgili parametre (XML) dosyasında, minimum ve maksimum Vs30 değerleri tabloda gösterilmiştir.

3.4.3. Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması

Yapılan işlemler neticesinde elde edilen Vs30 değerlerinin, Vs30 değeri bulunan istasyonlarla karşılaştırarak çalışmanın sonucu değerlendirilmesi gerekmektedir. USGS sitesinden elde edilen Vs30 değerlerinin sayısı oldukça fazla olması ve her bir değerin karşılık geldiği koordinatlarda kolaylık sağlamıştır. Vs30 bilgisi olan istasyon koordinatları elde edilen koordinatlarla karşılaştırması sırasında, bir istasyona yakın en az iki Vs30 bilgisi vardır. Şekil 3.6 da görünen grafikte 5-15 aralığındaki verilerin eşitliğinden söz edilemezken 27-38 aralığındaki verilerin azalım artımlarının benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 3.6: Vs30 karşılaştırma grafiği.

Şekil 3.6'te görüldüğü üzere AFAD istasyon verileri ile, hesaplanmış V_{s30} değerleri arasında düşük bir korelasyon bulunmaktadır. Bunun nedeni olarak Vs30'ların hesaplanma yöntemlerinin farklı olması durumu gösterilebilir.

TBDY-2018'de Vs30 verilerinin zemin sınıfları belirmede kullanılması tablosundan yararlanılarak Tablo 3.4'te elde edilen veriler ile mevcut istasyonların zemin sınıfları karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma grafiği Vs30 değerlerinin karşılaştırma grafiğinde olduğu gibi bazı koordinatlarda aynı sonuçlar çıkarken, bazı koordinatlarda birbirinden çok farklı zemin tipleri çıkmıştır.

Yapılan bu çalışmada Vs30 değerlerinin istatistiksel anlamda ifade etmeye edilirse Tablo 3.5'te elde edilen Vs30 değerlerin ham halinin zemin sınıflarına göre sayı ve yüzdeleri hesaplanmıştır. Bu değerler histogram eşitleme işlemi yapıldıktan sonra Tablo 3.6'daki gibi sonuçlara ulaşılmıştır. Tablo 3.7'de istasyonlardan elde edilen Vs30 verilerinin sayı ve oranları bulunmaktadır.

Tabloların sayılarına bakıldığında A zemin tipi her tabloda sıfırdır. B zemin tipi her üç tabloda da farklılık gösterirken, C zemin tipi ham verilerde %67,26 iken histogram eşitleme yapılmış verilerde sıfırlanmıştır. D zemin tipi istasyonlardan alınan verilerde %50 iken ham verilerde oldukça düşüktü. E zemin tipi USGS den elde edilen verilerde sıfır olup bu zemin tipine göre bir veri yoktur. Buna karşın istasyonlarda %3,41 gibi bir oran bulunmaktadır.

Tablo 3.4: TBDY Vs30 değerlerinin zemin sınıfları

Şehir	Bölge	Calculated_VS30_HEQ	Zemin Sınıfı (Calculated_HEQ)	İstasyon VS (AFAD)	Zemin Sınıfı (AFAD)
İzmir	KARSIYAKA	548.59	ZC	131	ZE
İzmir	MAVISEHIR	516.15	ZC	145	ZE
İzmir	BOSTANLI	652.17	ZC	171	ZE
İzmir	MERKEZ	799.51	ZB	196	ZD
Muğla	FETHIYE	535.12	ZC	248	ZD
Aydın	NAZILLI	311.51	ZD	267	ZD
Aydın	MERKEZ	532.02	ZC	271	ZD
Manisa	SALIHLI	189.88	ZD	273	ZD
İzmir	ODEMIS	472.9	ZC	286	ZD
İzmir	KONAK	570.59	ZC	298	ZD
Aydın	KUYUCAK	683.62	ZC	301	ZD
İzmir	BALCOVA	254.5	ZD	313	ZD
Muğla	MILAS	469.28	ZC	323	ZD
Manisa	MERKEZ	205	ZD	340	ZD
Denizli	CAMELI	585.76	ZC	344	ZD
Denizli	BULDAN	424.59	ZC	345	ZD
Aydın	SULTANHISAR	672.32	ZC	355	ZD
Denizli	MERKEZ	267.56	ZD	356	ZD
Manisa	ALASEHIR	261.21	ZD	358	ZD
Aydın	KUSADASI	441.11	ZC	369	ZC
Aydın	KOSK	716.27	ZC	371	ZC
Aydın	KOYCEGIZ	412.05	ZC	372	ZC
Aydın	BUHARKENT	610.81	ZC	390	ZC
Muğla	MARMARIS	485.38	ZC	393	ZC
İzmir	URLA	284.58	ZD	414	ZC
İzmir	YAMANLAR	858.38	ZB	459	ZC
İzmir	GUZELBAHCE	325.29	ZD	460	ZC
Muğla	MERKEZ	575.03	ZC	466	ZC
İzmir	BUCA	424.77	ZC	468	ZC
İzmir	CESME	320.05	ZD	532	ZC
Muğla	YATAGAN	295.74	ZD	696	ZC
İzmir	YESILYURT	309.75	ZD	745	ZC
Muğla	BODRUM	701.66	ZC	747	ZC
İzmir	GUZELYALI	273.73	ZD	771	ZB
Denizli	HONAZ	392.24	ZC	805	ZB
İzmir	PINARBASI	481.33	ZC	827	ZB
İzmir	BAYRAKLI	865.26	ZB	836	ZB
İzmir	MANAVKUYU	775.69	ZB	875	ZB

Tablo 3.4'ten anlaşıldığı üzere bazı istasyonlarda elde edilen veriler farklı zemin sınıflarına karşılık gelmektedir.

Histogram eşitleme yapılmamış (Calculated_VS30)

Tablo 3.5: USGS ham verilerle TBDY göre Vs30 zemin tipleri yüzdeleri.

SINIF	**ZA**	**ZB**	**ZC**	**ZD**	**ZE**
ADET	0	9920	44075	11539	0
YÜZDE	0.00%	15.14%	67.26%	17.61%	0.00%

Histogram eşitleme yapılmış (Calculated_VS30_HEQ)

Tablo 3.6: Histogram eşitleme yapılmış TBDY'ye göre Vs30 zemin tipleri yüzdeleri.

SINIF	**ZA**	**ZB**	**ZC**	**ZD**	**ZE**
ADET	0	18102	0	47432	0
YÜZDE	0.00%	27.62%	0.00%	72.38%	0.00%

İstasyon VS

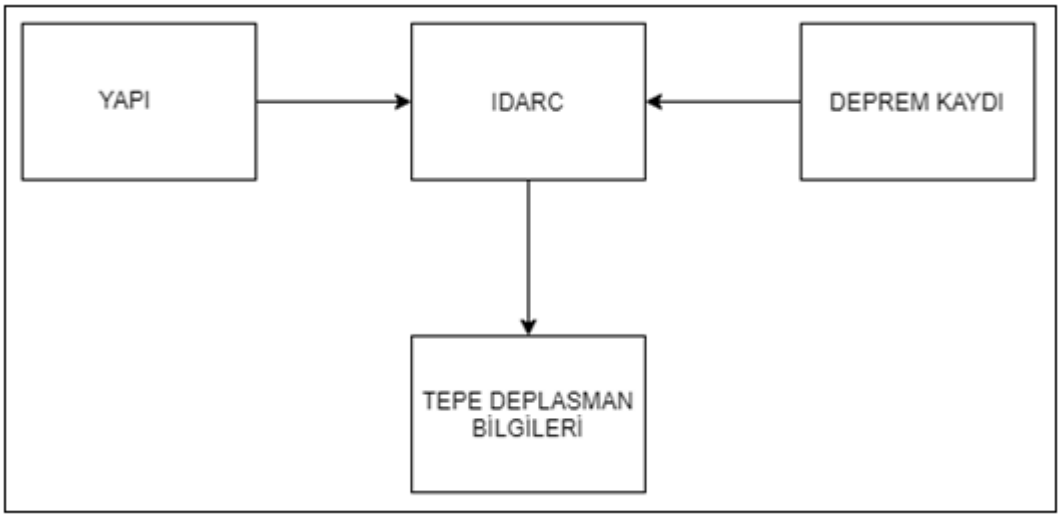
Tablo 3.7: AFAD istasyon verileri TBDY göre Vs30 zemin tipleri yüzdeleri.

SINIF	**ZA**	**ZB**	**ZC**	**ZD**	**ZE**
ADET	0	8	33	44	3
YÜZDE	0.00%	9.09%	37.50%	50.00%	3.41%

3.4.4. Çalışmada Kullanılan Yapı Analiz Programı: IDARC2D

IDARC (betonarme çerçevelerin elastik olmayan hasar analizi yapan açık erişimli kaynak), girilen bir yapının deprem raporu reaksiyonunu hesaplayan bir yazılımdır. Buffalo Üniversitesi New York Eyalet Üniversitesi tarafından geliştirilmiş ve Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü Merkezi tarafından finanse edilmiştir. IDARC, betonarme çerçevelerin analizi de dâhil olmak üzere büyük yapıların deprem tepkisini simüle etmek için güçlü bir analiz aracıdır. Beton ve çelik çerçevelere uygun esnek olmayan eleman modelleri IDARC'den temin edilebilir ve bu doğrusal olmayan modeller makine mühendisliği için geliştirilen ticari yazılımlarda daha az yaygındır. IDARC'nin özellikleri bu nedenle bina inşaatındaki sismik ortamlarda dinamik doğrusal olmayan analizler için çok uygundur.

IDARC, deprem konusundaki araştırmacılar ve uygulayıcılar için çekici bir araç hâline getiren çok çeşitli işlevlere sahiptir. IDARC yapı kütüphanesi kirişler, kolonlar ve kesikli dolgu plakaları gibi birçok yaygın yapı elemanı içerir. Bu elemanlar, histerik reaksiyon gösterme ve plastik mafsallar gibi elastik olmayan esnek elemanları itme yeteneği gibi gerçekçi uygulamalar içerir. IDARC, köprü analizi için optimize edilmiş bir biçimde de mevcuttur. Bu nedenle bu yazılım araçları ailesi, büyük çerçevelerin sismik tepkisini simüle etmek isteyen yapı mühendisleri için çok çeşitli doğrusal olmayan analiz fonksiyonları sunar.



Şekil 3.7: Çalışmanın akış diyagramı.

3.4.5. Çalışmada Kullanılan Programlama Dili

Python, üst seviye (Üst seviye, işlemciye uzak olan anlamına gelmektedir. Bu programlama dilleri başka programlama dilleri üzerine kurulu olduğu için birçok işlemin yapılmasıyla ilgili genel komutlar ve modüller hazır olarak geliştirilmiştir.) genel amaçlı bir programlama dilidir. Yaklaşık 30 yıl önce geliştirilmiş olmasına rağmen son 10 yılda, kolay kullanımı ve yapay zekâ/makine öğrenmesi kütüphanelerindeki zenginliği nedeniyle popüler hâle gelmiştir. Bu tez kapsamında ilgili dosyaları işlemek, okumak, verileri düzenlemek ve ilgili hesaplamaları yapabilmek için python programlama dili seçilmiştir. Python programlama dili ile birlikte kullanılmak üzere popüler olan deprem veri dosyalarını okumak ve işlem yapmak için Pandas,

sayılar işlemler yapabilmek için Numpy kütüphaneleri kullanılmıştır. Python programlama dilinin kurulması, kullanılması ve ek modüllerle çalıştırılması, Windows işletim sistemi altında çok uzun süren ve detaylı ayarlama gerektiren bir iş olduğundan ötürü Anaconda yazılım platformu ile birlikte kullanılmıştır. Anaconda, python programlama dilini ve kütüphanelerini otomatik olarak kolay bir şekilde kurabilen bir yazılım geliştirme platformudur. Bu tez kapsamında Windows işletim sistemi kullanılan bilgisayara önce Anaconda kurulmuştur ve Python programlama dili ve kütüphaneleri Anaconda üzerinde çalıştırılmıştır. Şekil 3.7'de bu çalışma kapsamında, girilen bir koordinattaki Vs30 değerlerinin okunması ve ilgili zemin sınıfının bulunmasına ait programın örnek kodu verilmiştir.

```
# method: getFinalValue
# Returns the final value for our study
# @coords, tuple: Coordinates (boylam, enlem)
# @max_acc, float: Maximum acceleration
# @return, float: The time output value
# @completed
def getFinalValue( coords: tuple, max_acc: float, mag: float ) -> float:
  #: Get the coords
  x = coords[0]
  y = coords[1]

  #: Step 0/Find the VS30 value
  vs30 = DF[ (DF['XonEarth'] > x - 0.05) & (DF['XonEarth'] < x + 0.05) & (DF['
  vs30 = vs30[ 'Calculated_VS30_HEQ' ].mean()

  #: Step 1/Find the VS30 class
  vs30class = None
  if vs30 < 180:   vs30class = 'ZE'
  elif vs30 < 360: vs30class = 'ZD'
  elif vs30 < 760: vs30class = 'ZC'
  elif vs30 < 1500: vs30class = 'ZB'
  elif vs30 >= 1500: vs30class = 'ZA'
```

Şekil 3.8: Programlama dili örneği.

3.4.6. Çalışmada Kullanılan Veri Formatları

Tez çalışması kapsamında kullanılan AFAD deprem verileri, basit bir metin dosyası içinde, saklanan bir verinin her bir kolonunu ayırmak için "tab" yani "sekme" kullanılan dosya formatı (TSV) tipindeki dosyalarda kayıtlıdır. Sekme ile ayrılmış değerler dosyası, değerleri ayırmak için sekme kullanılan sınırlandırılmış metin dosyalarıdır. Dosyanın her satırı bir veri kaydıdır. Her kayıt sekmeyle ayrılmış bir veya daha fazla alandan oluşur. Sekmenin alan ayırıcı olarak kullanılması, bu dosya biçiminin adının kaynağıdır. Bir TSV dosyası genellikle sekmeli verileri (sayılar ve

metin) düz metin olarak saklar, bu durumda her satır aynı sayıda alana sahip olur. TSV dosya formatı tam olarak standartlaştırılmamıştır. Alanları sekmeyle ayırmanın temel fikri açıktır ancak alan verileri ayrıca sekmeler veya hatta gömülü satır sonları da içerebiliyorsa bu fikir karmaşıklaşır.

TIME HISTORY FOR STORY NO. 1

TIME	DISPLACEMENT	STORY DRIFT	STORY SHEAR	ACCELERATION	VELOCITY
.000	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.010	.82025E-04	.82025E-04	.85741E-04	-.15191E-01	.24645E-01
.020	.10526E-02	.10526E-02	.11003E-02	-.13181E+00	.19770E+00
.030	.46848E-02	.46848E-02	.48971E-02	-.40216E+00	.53204E+00
.040	.10937E-01	.10937E-01	.11433E-01	-.63539E+00	.66960E+00
.050	.16662E-01	.16662E-01	.17417E-01	-.66388E+00	.44639E+00
.060	.20253E-01	.20253E-01	.21170E-01	-.69263E+00	.32693E+00
.070	.25220E-01	.25220E-01	.26363E-01	-.10296E+01	.72243E+00
.080	.35107E-01	.35107E-01	.36698E-01	-.15488E+01	.12236E+01
.090	.47901E-01	.47901E-01	.50071E-01	-.18971E+01	.12618E+01
.100	.58506E-01	.58506E-01	.61157E-01	-.19346E+01	.81954E+00
.110	.63914E-01	.63914E-01	.66810E-01	-.17829E+01	.27168E+00
.120	.64085E-01	.64085E-01	.66989E-01	-.15065E+01	-.25803E+00
.130	.56408E-01	.56408E-01	.58964E-01	-.69690E+00	-.14141E+01
.140	.31138E-01	.31138E-01	.32549E-01	.12042E+01	-.37783E+01
.150	-.20526E-01	-.20526E-01	-.12070E-01	.39591E+01	-.64765E+01
.160	-.91872E-01	-.91872E-01	-.86648E-01	.60570E+01	-.74588E+01
.170	-.15918E+00	-.15918E+00	-.15701E+00	.68513E+01	-.57011E+01
.180	-.20137E+00	-.20137E+00	-.20111E+00	.63760E+01	-.27632E+01
.190	-.21980E+00	-.21980E+00	-.22037E+00	.60223E+01	-.12047E+01
.200	-.23334E+00	-.23334E+00	-.23453E+00	.66222E+01	-.16813E+01

Şekil 3.9: Veri türleri: TSV örneği

Genişletilebilir işaretleme dili (XML), belgeleri hem kullanıcı tarafından okunabilen hem de makine tarafından okunabilen bir biçimde kodlamak için bir dizi kural tanımlayan bir işaretleme dilidir.

XML'nin tasarım hedefleri; internetteki basitliği, yaygınlığı ve kullanılabilirliği vurgular. XML farklı insan dilleri için metinlere ve alfabelere desteği olan bir metin veri formatıdır. XML'nin tasarımı belgelere odaklansa bile dil, web hizmetlerinde kullanılanlar gibi isteğe bağlı veri yapılarının temsili için yaygın olarak kullanılır. Şekil 3.9' da çalışma kapsamında kullanılan XML örneği gösterilmiştir.

```xml
<Metadata>
  <MDI key="DataType">Generic</MDI>
</Metadata>
<PAMRasterBand band="1">
  <Histograms>
    <HistItem>
      <HistMin>0.1480965167284012</HistMin>
      <HistMax>33018.171875</HistMax>
      <BucketCount>256</BucketCount>
      <IncludeOutOfRange>1</IncludeOutOfRange>
      <Approximate>0</Approximate>
      <HistCounts>725819877|31|24|13|15|5|5|2|1|4|0|3|6|0|0|0|0|0
|0|0|0|0|0|0|0|0|1|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0
|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0
|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|0|2</HistCounts>
    </HistItem>
  </Histograms>
  <Metadata>
    <MDI key="RepresentationType">ATHEMATIC</MDI>
    <MDI key="STATISTICS_COVARIANCES">3.504558355062481</MDI>
    <MDI key="STATISTICS_EXCLUDEDVALUES"></MDI>
    <MDI key="STATISTICS_MAXIMUM">33018.171875</MDI>
    <MDI key="STATISTICS_MEAN">1.001295199218</MDI>
```


Şekil 3.10: Veri Türleri: XML örneği.

XML tabanlı dillerin tanımlanmasına yardımcı olmak için çeşitli şema sistemleri bulunur. Programcılar XML verilerinin işlenmesine yardımcı olmak için birçok uygulama programlama ara birimi (API) geliştirmiştir.

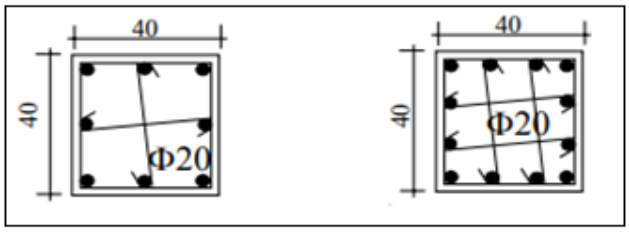
4.PREFABRİK ELEMANLAR VE TASARIMI

Türkiye'de prefabrik betonarme yapı elemanları büyük ölçüde sanayi yapılarında kullanılmaktadır [Tokman ve Eryılmaz, 2004]. Türkiye Prefabrik Birliğinin Haziran 2006'da yayımladığı "2005 Yılı Prefabrikasyon Sektör Raporu"na göre birliğe üye olan firmaların sanayi yapılarının inşaatındaki payı %85'tir. Prefabrik betonarme yapı elemanlarının çeşitliliğinin az olması nedeniyle konut gibi mimari açıdan çeşitlilik gerektiren bina projelerinde sıklıkla kullanılamamaktadır [Gül Polat, 2007].

Türkiye'nin yaklaşık olarak %93'ü deprem bölgesi içerisinde yer almakta ve büyük depremler Türkiye'de sıkça yaşanmaktadır. Bu nedenle Türk inşaat sektöründe yer alan katılımcıların prefabrik betonarme yapı elemanlarını kullanma kararını verirken dikkate aldıkları en önemli faktörlerden biri bu elemanların deprem yükü altındaki performanslarıdır. 1992, 1995 ve 1999 yıllarında meydana gelen depremlerde, prefabrik betonarme yapı elemanı kullanılmış olan birçok sanayi yapısı büyük hasar görmüş ve yıkılmıştır [Celep ve Kumbasar, 2004; Gülal, 2005].

4.1. Prefabrik Kolon Örneğinin Tanıtılması

Bu çalışmada kullanılan 40 x 40 cm ölçülerinde, 4 metre uzunluğundaki 2 adet atölyede üretilmiş prefabrik kolon İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında deneyi yapılan elemandır. Bu yapı elemanlarının ortalama beton basınç dayanımı 25 MPa ve kullanılan donatının akma dayanımı 420 MPa olarak seçilmiştir. Kolonlardan birinde 8Φ20 (%1.5), diğer kolonda ise 12Φ20 (%2.4) boyuna donatı bulunmaktadır. [Yüce, 2011]



Şekil 4.1: Prefabrik kolon örneği kesiti.

4.2. Hesap Yöntemi

TBDY 2018 Bölüm 16'da Tablo 4.1'de bulunan yerel zemin tipini elde ettiğimiz Vs30 ile koordinatlar ile bölgesel olarak belirlenir. AFAD sitesinden elde edilen Türkiye sismik haritasının tablosundan 50 yılda aşılma olasılığı %2, %10 ve %50 olan Ss ve S_1 parametrelerinden Tablo 4.2'e göre Fs ve F_1 hesaplanır. Buradan Denklem 2.1'de yerine koyularak tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} ve S_{D1} elde edilir. Elde edilen tasarım spektral ivme katsayıları yardımıyla yatay elastik tasarım spektrumu elde edilir.

Daha önce bahsi geçen kolonların hesaplarında deprem etkilerini belirlemek üzere TBDY 2018'e uygun yatay elastik tasarım spektrumlarının elde edilmesi gerekmektedir. Spektrumu yönetmeliğe uygun oluşturabilmek için AFAD internet sitesi üzerinden alınan parametreler ile yerel zemin tiplerine ihtiyaç vardır.

TBDY 2018 Tablo 4.1'den yerel zemin tipini elde etmek amacı ile Vs30 değerlerinden faydalanılmaktadır. Her bir koordinat için elimizde bulunan Vs30 değerine göre bu tabloya uygun yerel zemin sınıfı belirlenir. Bu çalışma kapsamında ZF tipi zeminler, TBDY 2018 gereği sahaya özel çalışma yapılması zorunluluğu dolayısıyla kapsam dışıdır.

TBDY 2018 2.3.4'e uygun yatay elastik tasarım spektrumunun elde edilmesi için S_{DS} ve S_{D1} parametrelerinin elde edilmesi gerekir. Her iki parametre ise yönetmelikte Denklem 4.1 kullanılarak elde edilir. Denklem 4.1'de yer alan F_s ve F_1 parametreleri Tablo 4.2'den yerel zemin tipleri ile S_s ve S_1 kullanılarak belirlenir.

$$S_{DS} = S_S F_S \qquad S_{D1} = S_1 F_1 \tag{4.1}$$

Denklem 4.1: S_{DS} ve S_{D1} parametreleri

Tablo 4.1: TBDY yerel zemin etki katsayıları tabloları.

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Belirlenen parametreler Denklem 4.2 ve 4.3'te kullanılarak Şekil 4.2'de gösterilen yatay elastik tasarım spektrumu elde edilir.

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6\,\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} (0 \leq T \leq T_A) \tag{4.2.a}$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} (T_A \leq T \leq T_B) \tag{4.2.b}$$

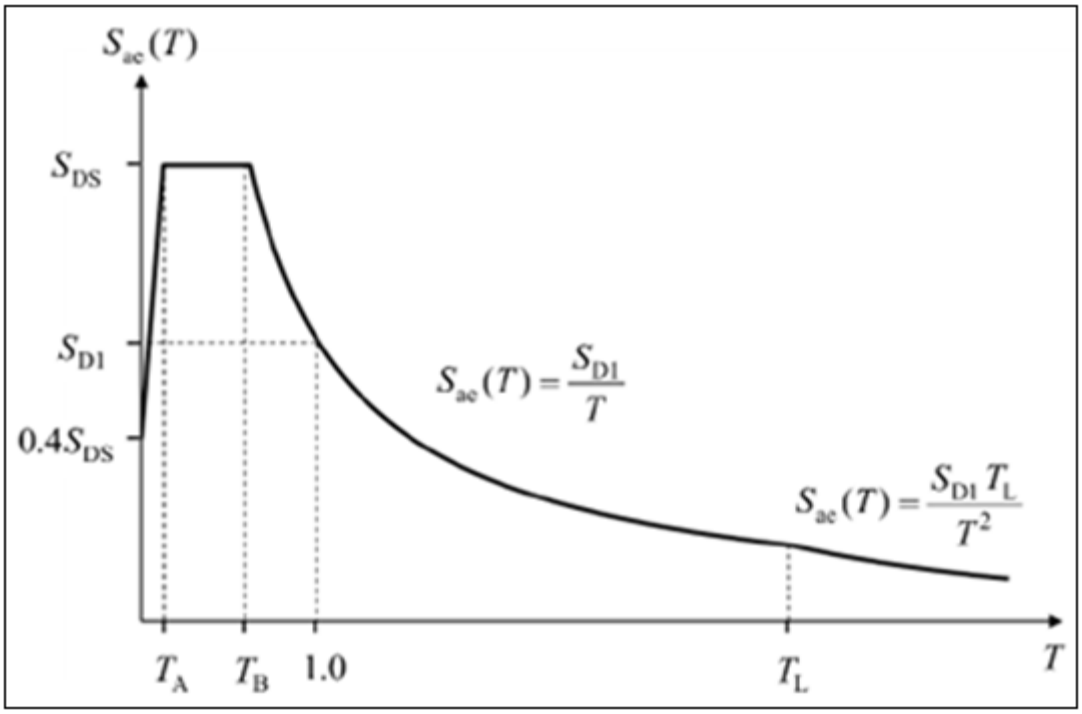
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} (T_B \leq T \leq T_L) \tag{4.2.c}$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} (T_L \leq T) \tag{4.2.d}$$

Denklem 4.2: TBDY yatay elastik tasarım spektrumun elde edilmesi.

$$T_A = 0.2\,\frac{S_{D1}}{S_{DS}}; T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{4.3}$$

Denklem4.3: TBDY periyotların elde edilmesi.



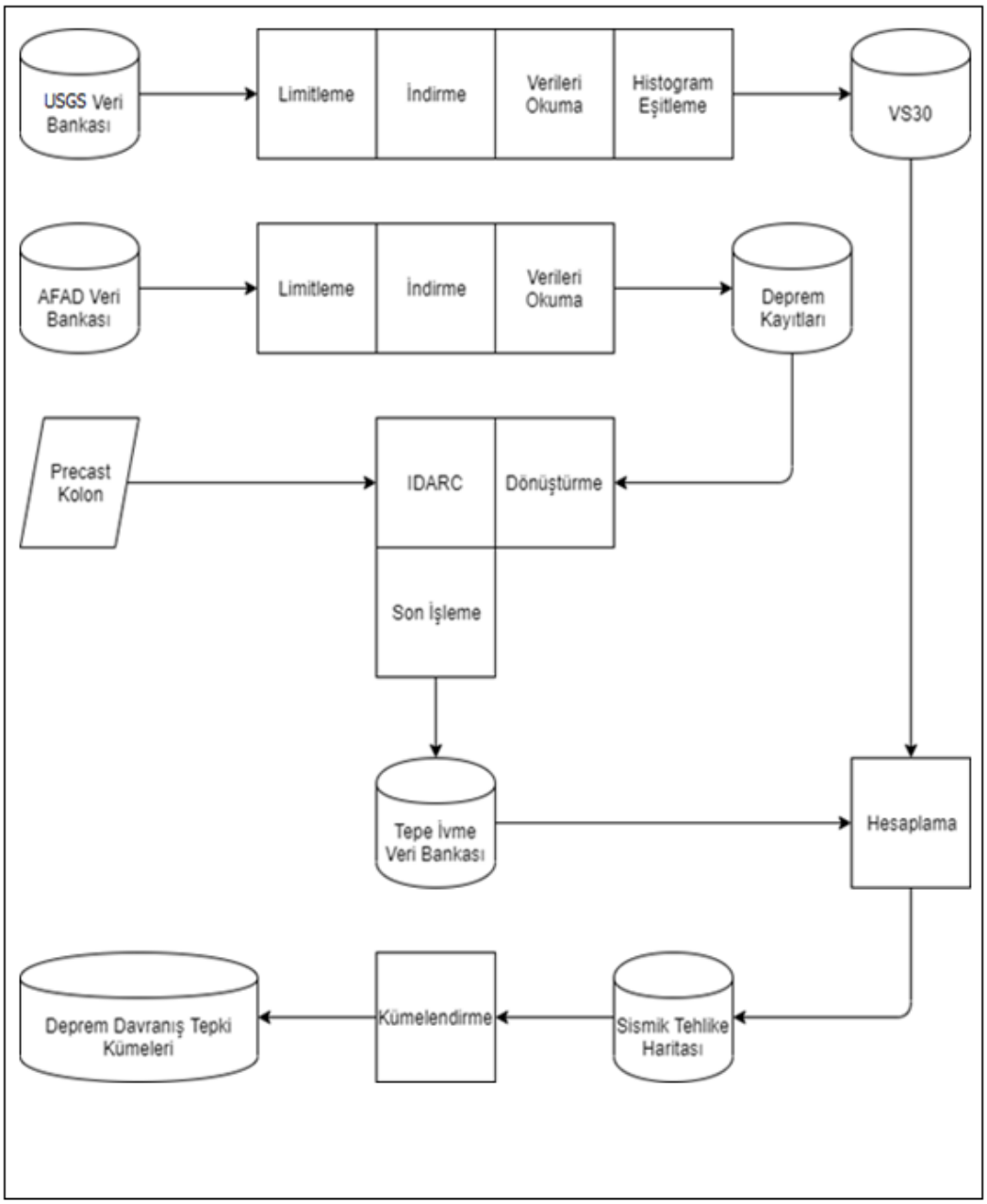
Şekil 4.2: TBDY 2018 elastik tasarım spektrumu.

Bu çalışma kapsamında AFAD sitesinden elde edilen Türkiye sismik haritasının tablosundan 50 yılda aşılma olasılığı %2, %10 ve %50 olmak üzere DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için gerçekleştirilir.

4.3 Çözüm Yaklaşımı

Bu tez kapsamında standart alınan bir prefabrik kolonun, Türkiye'de 2019-Aralık ayına meydana gelen depremler üzerindeki tepkisi gözlenmiştir. Şekil 4.3'te USGC'den elde edilen Vs30 haritasından okunan değerlerin sayısal değerlere dönüştürülmesi bölümü akış diyagramında bulunmaktadır. Sonraki aşamada AFAD Veri bankasından 2019 Aralık ayına kadar deprem kayıtları alınıp, işlenip okunabilecek formatta kaydedilmiştir. Sonrasında prefabrik kolon ve deprem kayıtları IDARC adlı yazılıma girilerek prefabrik kolonun, kaydedilmiş depremlerdeki davranışı elde edilmiştir. IDARC yazılımdan elde edilen analiz sonuçları son işleme sürecinde geçirilerek tepe deplasman ivmeleri alınır. İlgili bu python kodu, sırasıyla şu işlemleri gerçekleştirmektedir: İlk olarak, IDARC'ın sonuçlar klasöründe ilgili deprem ve kolon için elde edilen (EW-STORY-TH.out) ve (NS-STORY-TH.out)

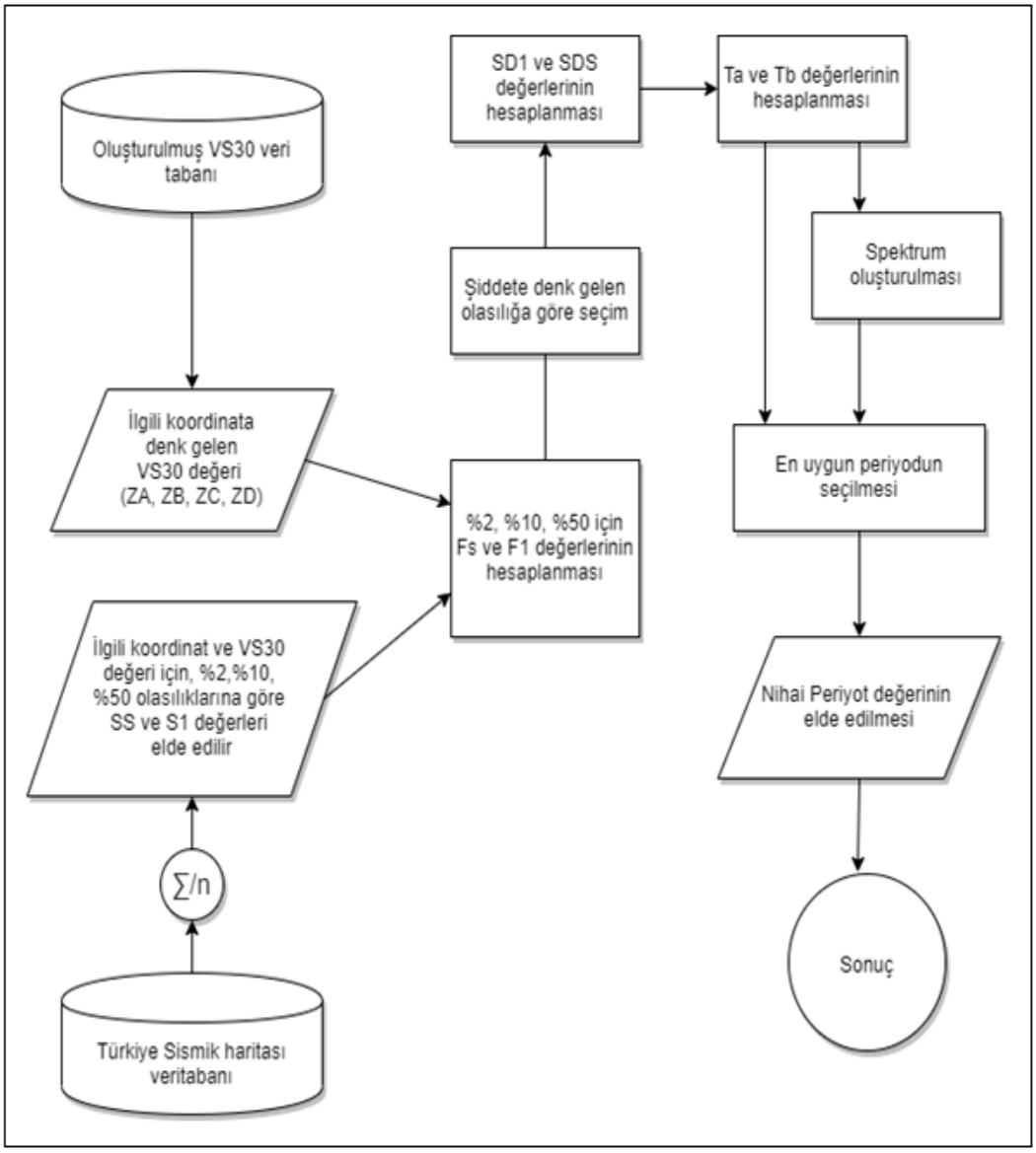
dosyaları açılır. Bu dosyalar içinde (TSV formatında), “ACCELERATION” yani “İVME” kolonu altına denk gelen bütün veriler içinde, mutlak değeri en büyük olan veriler alınır. Bir sonraki adımda tepe deplasman ivmesi hesaplaması yapılır. Şekil 4.3’te belirtilen, sayısal hesaplama işleminin yapılması için bütün hesaplama sürecinin gerçekleştirileceği bir python kodu hazırlanmıştır.



Şekil 4.3: Deprem davranış tepki kümelerinin oluşturulması.

4.4. Sayısal Hesaplar

Çalışma sırasında geliştirilen algoritma ile hesap adımlarını içeren yapılan sayısal hesapları ifade eden akış diyagramı Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil4.4: Çalışma adımları akış diyagramı.

IDARC'de elde edilen her bir dosya için;

- İlk adım olarak (EW-STORY-TH.out) ve (NS-STORY-TH.out) dosyalarından elde edilen maksimum tepe deplasman ivmesi değerleri elde edilir ve bu iki değerin maksimum olanı seçilir.

- IDARC'a girdi olarak verilen deprem bilgi dosyasındaki istasyonun koordinatlarına göre en yakın bölgelerin ortalama Vs30 değeri bulunur.
- Vs30 değerine göre yerel zemin sınıfı hesaplanır.
- Deprem tehlike veri tabanından ilgili PGA, SS ve S1 değişkenleri bilgileri elde edilir.
- SS ve S1 değişkenleri için %2, %10, %50 olasılıklara göre ilgili hesaplamalar yapılır.
- Zemin sınıf ve SS, S1 değişkenlerinin değerlerine göre FS ve F1 değişkenlerinin %2, %10, %50 olasılıklara göre ilgili hesaplamalar yapılır.
- Deprem veri dosyasındaki deprem büyüklük verisine göre ilgili deprem olma olasılığı aralığı için F1, FS, S1, SS değerleri seçilir.
- Hesaplanan F1, F2, S2 ve SS değerlerine göre SDS ve SD1 değerleri hesaplanır.
- Belirtilen SD1 ve SDS değerlerinden TA ve TB noktaları değerleri hesaplanır.
- Belirtilen TA, TB noktaları ve SDS, SD1 değerleri için Şekil 4.2'de gösterilen TBDY elastik tasarım spektrumu oluşturulur.
- IDARC çıktı dosyalarından ilgili periyotlara ve oluşturulan spekturuma göre ivme değerleri elde edilir.
- Son aşama olarak; eğer periyoda denk gelen ivme değeri, IDARC'tan elde edilen tepe ivmesi değerinden küçük ise yapının dayanıklı olduğu, aksi durumda yapının dayanıksız olduğu sonucu elde edilir.

4.5. Makine Öğrenmesi ile Tasarım Yaklaşımı

4.5.1. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, bir sistemin kural veya formülünün bir veri kümesinden öğrenilmesi demektir. Kuralı, formülü veya hesabı bilinmeyen bir sistemin veya olayın, ilgili olaya ait bilgilere bakılarak çeşitli algoritmalar yardımıyla hesaplanması, formülize edilmesi veya öğrenilmesine makine öğrenmesi adı verilir. Kuralı bilinen bir sistem için bilgisayar programları geliştirilir ve program, ilgili veri girişi yapıldığında içinde yazılı olan koda göre ilgili hesaplamayı gerçekleştirir ve bunun sonucu olarak bir veya birden fazla çıktı değer üretir.

Örnek olarak yönetmelikte bir yapı elamanının statik analizinin hesap adımları belirtilmiştir. Bu adımlarla kodlanarak boyutlandırması yapılan yapı elemanının kapasite değerleri hesaplanabilir. Kuralı veya formülü bilinmeyen veya tanınmayan problemler için sistemlerin bir girdisi ve buna karşılık gelen çıktısı bulunmaktadır. Örneğin bir yapı elemanının dinamik analiz sonucu bir sistem girdisi olup bu sonuca bakılarak oluşması muhtemel bir depremde nasıl performans göstereceği sistemin çıktısıdır. Bu sistemde hangi davranışların nasıl değerlendirileceği hakkında bir kural veya formül bulunmamaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları, bu girdi ve çıktıya bakarak ilgili girdiden çıktıyı elde edebilecek bir kural veya formül oluşturmaya çalışmaktadır.

Gözetimsiz öğrenme, önceden belirlenmiş etiketler olmadan veri kümesinde önceden bilinmeyen kalıpları bulmaya yardımcı olan kendi kendine organize edilen bir öğrenim türüdür. Kendi kendini örgütleme olarak da bilinir ve verilen girdilerin olasılık yoğunluklarının modellenmesine izin verir.

4.5.2 Kümelendirme

Bu tez kapsamında, kümelendirme algoritması olarak k-ortalama algoritması kullanılacaktır. K-ortalama algoritması, bir veri kümesi içerisinde K tane küme merkezi oluşturarak veri kümesi içerisindeki bütün verileri, bu K adet merkeze atama yapar. N (çok sayıda) adet örneğin olduğu bir veri kümesi düşünüldüğünde bu N adet veri noktası içinden K (tahmini olarak seçilen 2-50 arası) tane veri noktası rastgele seçilir ve bu noktalar, K tane küme merkezi olarak atanır. Daha sonra veri kümesi içerisinde kalan diğer bütün noktalar, bu K tane merkez noktalardan hangisine en yakın ise o kümenin "elemanı" gibi atama yapılır. Sonraki evrede her bir kümeye atanan veri noktalarının ortalama değerleri ile birlikte küme merkezi hareket ederek elemanlarının orta noktasına geçer. K-ortalamadaki ortalama ifadesi K tane kümenin, elemanlarının ortalamasına doğru hareket etmesinden gelmektedir.

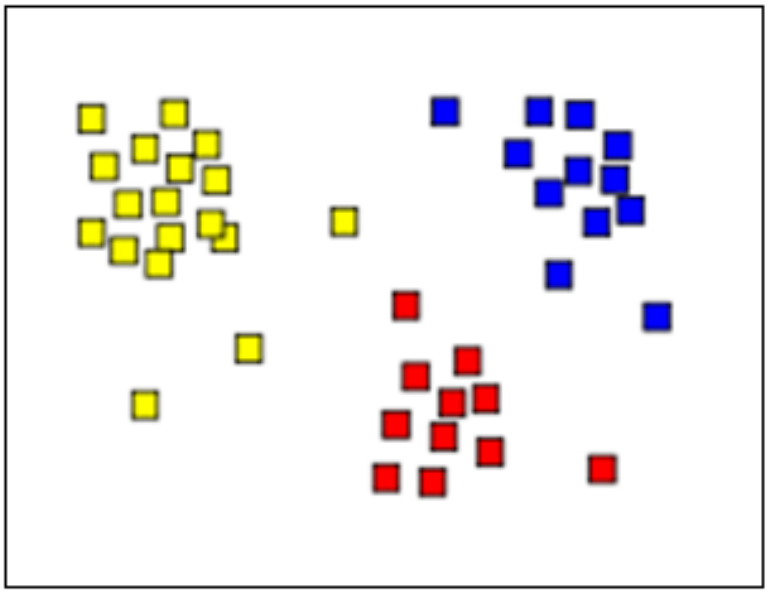
Küme analizi veya kümeleme, bir grup nesneyi aynı gruptaki nesnelerin (küme olarak adlandırılır) diğer gruplara (kümeler) kıyasla birbirine daha yakın olacak şekilde gruplandırma görevidir. Küme analizi, keşifsel veri madenciliğinin ana görevidir ve makine öğrenimi, örüntü tanıma, görüntü analizi, bilgi alma,

biyoinformatik, veri sıkıştırma ve bilgisayar grafikleri gibi birçok alanda kullanılan istatistiksel veri analizi için ortak bir tekniktir.

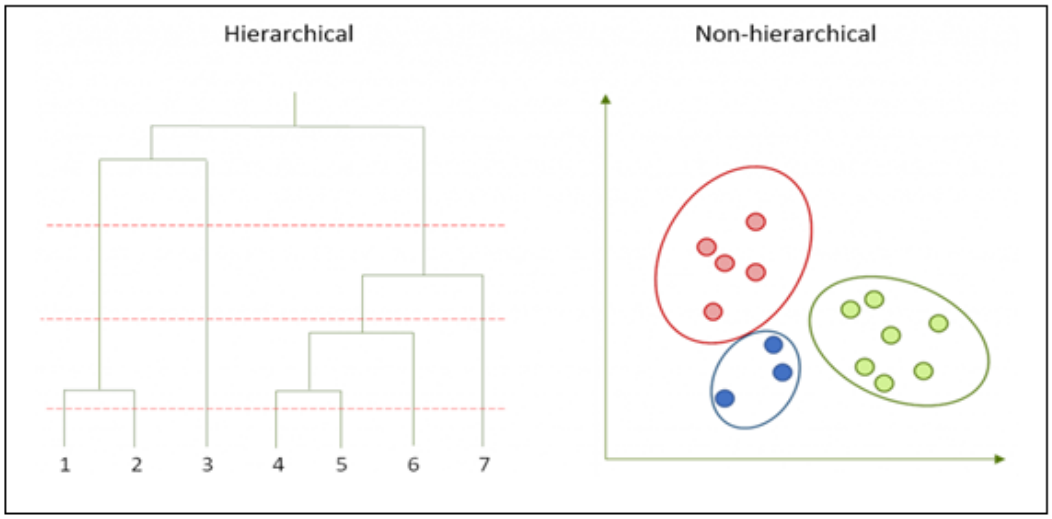
Küme analizinin kendisi belirli bir algoritma değil, çözülmesi gereken genel görevdir. Kümeyi neyin oluşturduğuna ve bunları nasıl verimli bir şekilde bulacağına dair anlayışlarda önemli ölçüde farklılık gösteren çeşitli algoritmalar ile elde edilebilir. Popüler küme kavramları, küme üyeleri arasında küçük mesafeler, veri alanının yoğun alanları, aralıklar veya belirli istatistiksel dağılımları içeren grupları içerir. Kümeleme bu nedenle çok amaçlı bir optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir.

Uygun kümeleme algoritması ve parametre ayarları (kullanılacak mesafe işlevi, yoğunluk eşiği veya beklenen küme sayısı gibi parametreler dâhil), ayrı ayrı veri kümesine ve sonuçların amaçlanan kullanımına bağlıdır. Bu şekilde küme analizi otomatik bir görev değil, deneme ve başarısızlığı içeren tekrarlı bir bilgi keşfi veya etkileşimli çok amaçlı optimizasyon sürecidir. Sonuç istenen özellikleri elde edene kadar genellikle veri ön işlemi ve model parametrelerini değiştirmek gerekir.

Şekil 4.5'te bir düzlem veya uzay üzerindeki nesnelerin veya kayıtların dağılımlarına, uzaklıklarına göre kümelendirilmiş hâli gösterilmiştir. Şekildeki her bir renk, bir kümeyi temsil etmektedir.



Şekil 4.5: K-ortalama kümelendirme görseli



Şekil 4.6: Kümeleme algoritmalarından örnekler.

4.5.3 Metrikler

Uzaklık metriği, iki nokta veya vektör arasındaki mesafeyi ölçmeye yarayan bir ölçüttür. Belirli bir uzaydaki iki nokta veya vektör arasındaki mesafeyi birim olarak ölçer. Bir harita üzerindeki iki nokta arasındaki uzaklığın ölçülüp bulunması gibi uzaklık metrikleri özellikle kümeleme işlemlerinde veri kümesi içerisindeki verilerin arasındaki mesafeleri ölçmek için kullanılır.

İki nokta arasındaki uzaklığı ölçen en bilinir yöntem "öklid" uzaklığıdır. Öklid uzaklığı, iki nokta arasındaki (2 boyutlu -> x ve y gibi, 3 boyutlu -> x, y, z gibi) uzaklığı aşağıdaki formül (Şekil 4.7) ile hesaplayarak ölçmektedir.

Bu tez kapsamında kullanılan K-ortalama kümeleme algoritması, veri kümesi içerisinde kümeleri bulmak ve uzaklıkları hesaplamak için "öklid" uzaklığıdır.

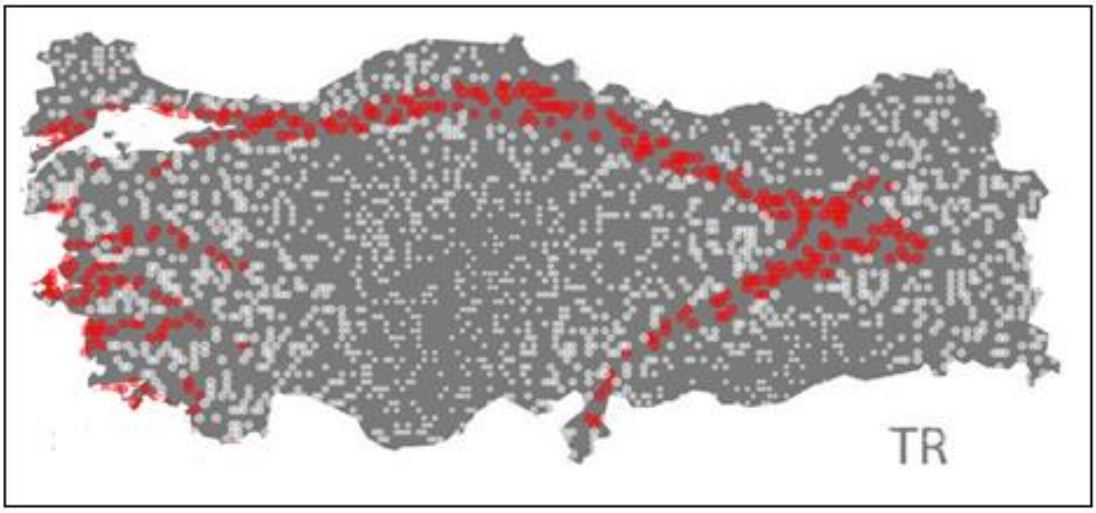
$$d(\mathbf{p},\mathbf{q}) = d(\mathbf{q},\mathbf{p}) = \sqrt{(q_1-p_1)^2+(q_2-p_2)^2+\cdots+(q_n-p_n)^2}$$
$$= \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(q_i-p_i)^2}.$$

Şekil4.7: Öklid uzaklığı formülü

4.6. Algoritma Çıktıları

Bu çalışma kapsamında hazırlanan kümelendirme algoritmasına girdi (bir algoritmanın kullanacağı argümanlar) olarak verilen değerler ile elde edilen sismik tehlike haritası Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Bu haritada görünen kırmızı ve gri noktalar depremler verilerini ifade eder. Gri noktalar tehlikeli olmayan analiz sonuçlarını ifade eder. Kırmızı moktalar ise; hesaplanan ivme değerinin IDARC'ta hesaplanan maksimum tepe ivmesi değerinden büyük olduğu yani sistemin o periyottaki depremde dayanamayacağı noktalardır.

Bu haritaya bakıldığında 40x40 cm boyutlarında prefabrik bir kolonun Türkiye koordinatları içinde sismik tehlike haritası oluşturulmuştur.



Şekil4.8: Prefabrik kolonun sismik tehlike haritası.

Oluşturulan sismik tehlike haritası daha az noktayla ifade edilmesi işlemi için kümelendirme algoritması hazırlanmıştır. Algoritma ile ne kadar noktada küme merkezi elde edileceği kullanıcı tarafından belirlenir. Bu çalışma kapsamında yapılan denemeler sonucu 25 adet nokta bu çalışma için uygun görülmüştür. Algoritma çıktısı olan 25 adet noktaya küme merkezi ifadesi kullanılmıştır. Küme merkez noktalarının enlem ve boylam koordinatları Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Küme merkez noktaları sismik tehlike haritasının daha az nokta ile ifade edilmesine olanak sağlayarak, kolona ait daha az noktadan oluşan tehlike haritası elde edilmiştirtir.

Tablo 4.2: Küme merkezleri.

Küme	Boylam	Enlem
1	27.9	38.95769231
2	36.39285714	40.71857143
3	41.22115385	39.39615385
4	27.92916667	36.59583333
5	32.45	40.85833333
6	38.95384615	38.31153846
7	29.8875	36.125
8	35.09333333	40.99
9	28.19	40.758
10	36.51363636	36.75909091
11	26.58061224	38.83979592
12	33.878125	41.028125
13	40.17985075	39.08880597
14	29.21956522	40.70652174
15	38.875	39.97916667
16	26.69615385	40.53461538
17	28.92045455	36.65227273
18	29.21666667	39.01666667

Hazırlanan kümelendirme algoritmasının sonucunda elde edilen 25 adet kümenin, küme merkez koordinat değerleri harita üzerinde Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

Şekil 4.9: Deprem davranış tepki kümeleri.

Kümelendirme sonucunda elde edilen haritada, kullanılan prefabrik kolonun sismik performansının değerlendirmesine bağlı olarak kırmızı noktalar yetersiz kaldığı bölgeleri ifade etmektedir. Kolonun elde edilen sismik tehlike haritası ile karşılaştırıldığında daha az nokta ile benzer tehlike haritası oluşturulmuştur. Bu oluşturulan haritaya deprem davranış tepki kümeleri ifadesi kullanılmıştır.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Çalışma kapsamında ülkemizdeki prefabrik olarak üretilen ve yerinde uygulama yapılan betonarme bir elemanın her bölge ve her deprem kuşağındaki performansının bulunması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Türkiye'de 1976-2019 tarihleri arasında deprem büyüklüğü 3.0 ve üzeri oluşmuş 30.000 adet deprem kullanılmış olup bu verilerinin elde edilmesi makine öğrenmesi yöntemiyle yapılmıştır. Bu depremler standart veri formatına getirilerek çalışma kolaylığı sağlanmıştır. Analizler aşamasından önce 575 istasyonda eksik olan kayma dalgası hızı değeri ulusal deprem izleme istasyonu (AFAD) verilerinden elde edilmiş olup farklılıklar kabul edilip, analiz sırasında hesaplanan Vs30 değerleri kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen ivme değerlerinden en büyüğü alınarak TBDY 2018'e göre elde edilen spektral ivme değerleriyle karşılaştırılıp prefabrik kolonun koordinatlara göre analiz sonucu elde edilmiştir. Bu sonuçlar kümelendirme yöntemiyle farklı koordinatlarda 25 ayrı küme merkezi olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu küme merkezleri yapının yaklaşık olarak hangi koordinatlarda yetersiz kaldığını daha fazla veriyi ifade eden daha az sayıda çıktı ile ifade etmektedir.

5.2. Öneriler

Yapılan işlemler ve yönetmelik yaklaşımları düşünüldüğünde analiz sırasında yapılan çok sayıda deprem ile değerlendirilmesinde makine öğrenmesi ile işlemler hızlandırılmış olup inşaat mühendisliği analiz ve hesaplamalarda bu yöntem çok yardımcı olacaktır. AFAD veri tabanına eklenen deprem dataları göz önüne alındığında, Türkiye'nin deprem kuşağında bulunması inşaat mühendisliğini kaçınılmaz olarak hızlandırılmış yöntemlere sevk etmektedir.

Eksik olan Vs30 dataların farklı hesaplanma yöntemlerine göre tamamlanması ve makine öğrenmesi için daha fazla veri gerekmektedir. Çalışmaya buradan devam edilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Abrahamson N., Silva W. (2008). Summary of the Abrahamson and Silva NGA ground-motion relations. Earthquake spectra, 24(1), 67-97.

[2] Ambraseys N. N., Douglas J., Sarma S. K., Smit P. M. (2005). "Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration", Bulletin of Earthquake Engineering, 3(1), 1-53.

[3] Bommer J. J., Douglas J., Strasser F. O. (2003). Style-of-faulting in ground-motion prediction equations. Bulletin of Earthquake Engineering, 1(2), 171-203.

[4] Kalkan E., Gülkan P. (2004). "Empirical attenuation equations for vertical ground motion in Turkey". Earthquake Spectra, 20(3), 853-882.

[5] Kalkan E., Gülkan P. (2004). Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey. Earthquake Spectra, 20(4), 1111-1138.

[6] Kadiroğlu F. T., Kartal R. F., Kılıç T., Kalafat D., Duman T. Y., Azak T. E., Emre Ö. (2018). "An improved earthquake catalogue (M≥ 4.0) for Turkey and its near vicinity (1900–2012)". Bulletin of Earthquake Engineering, 16(8), 3317-3338.

[7] Polat G., Damcı A. (2007). Türk İnşaat Sektöründe Prefabrik Betonarme Yapı Elemanlarının Kullanımını Etkileyen Faktörler. İnşaat Yönetimi Kongresi.

[8] Pampal S., Özmen B. (2009). Depremler Doğal Afet midir. Depremlerle Baş.

[9] Pampal S., Özmen B. (2007). "Türkiye'nin deprem gerçeği: deprem bölgeleri haritaları ve deprem yönetmeliklerinin tarihsel gelişimi", Gazi Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi.

[10] Schwarz S. D., Musser Jr, J. M. (1972). "Various techniques for making in situ shear wave velocity measurements–a description and evaluation", In Proc Int Conf on Microzonation for safer Construction–Research and Application.

[11] Tokman B., Eryilmaz M. G. (2004). Prefabrike beton endustrisinin dunu, bugunu, yarini. Yapi, 271, 95-100.

[12] Yüce S. Z., Karadoğan H. F., Yüksel, E. (2011). "Yer değiştirme çevrimleri etkisinde bırakılan kare kesitli prefabrike betonarme kolonların davranışı", ITU Journal Series D: Engineering, 10(5).

[13] Web 1, (2019), http://tdvm.afad.gov.tr/anasayfa, (Erişim Tarihi: 09/12/2019).

[14] Web 2, (2019), https://www.afad.gov.tr/deprem-gozlem-aglari, (Erişim Tarihi: 07/12/2019).

[15] Web 3, (2019), https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/us/ (Erişim tarihi: 01/05/2019)

[16] Web 4, (Elde edilen Vs30 (kayma dalgası hızı) değerlerine bu linkten ulaşılabilir.),https://github.com/nhncvdr/machinelearningearthquake/blob/master

[17] Web 5, (Kullanılan kodlar linkten açık kaynak olarak ulaşılabilir.) https://github.com/usgs/earthquake-global_vs30

ÖZGEÇMİŞ

Nihan Yazıcı 1988 yılında Ankara'da doğdu. 2007 yılında başladığı Zonguldak Karaelmas Üniversitesi İnşaat Mühendisliğini 2014 yılında başarıyla tamamlayarak 2018 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Deprem ve Yapı Anabilim Dalında başladı.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Nihan Yazıcı, Emre Yazıcı, Ahmet Anıl Dindar (2019) Machine Learning Applications in Determination of Soil Conditions of the Monitoring Stations / Sürekli İzleme İstasyonlarının Zemin Sınıflarının Belirlenmesinde Makine Öğrenme Uygulamaları-IESKO 2019 VI. International Earthquake Symposium Kocaeli 2019 September 25-27, 2019, Kocaeli, Turkey

Ek B: Diğer Ekler

Tablo B1.1 AFAD sitesindeki İstasyonlar ve Vs30 verileri

No	Sehir	Bolge	Kod	Enlem	Boylam	Rakim	VS30
1	Muğla	BODRUM	4809	37.033	27.44	25	747
2	Muğla	DATCA	4812	36.712	27.688	25	
3	Muğla	GULLUK	4817	37.24	27.603	10	
4	Muğla	OREN	4819	37.031	27.971	10	
5	Muğla	MILAS	4806	37.303	27.781	52	323
6	Aydın	DIDIM	918	37.37	27.264	47	
7	Muğla	SELIMIYE	4814	37.399	27.657	63	
8	Muğla	BOZBURUN	4815	36.689	28.046	10	
9	Muğla	MILAS_2	4822	37.442	27.646	128	
10	Muğla	MILAS_3	4823	37.442	27.644	129	
11	Aydın	SARIKEMER	920	37.56	27.375	58	
12	Muğla	MARMARIS	4810	36.839	28.245	19	393
13	Muğla	YATAGAN	4807	37.34	28.137	684	696
14	Aydın	KARPUZLU	919	37.56	27.836	108	
15	Muğla	YERKESIK	4808	37.139	28.287	661	
16	Muğla	MERKEZ	4801	37.214	28.356	638	466
17	Muğla	ULA	4821	37.106	28.414	615	
18	Aydın	CINE	917	37.605	28.058	81	
19	Aydın	SOKE	911	37.762	27.391	67	
20	Muğla	KAVAKLIDERE	4818	37.444	28.358	897	
21	Aydın	INCIRLIOVA	922	37.854	27.708	34	
22	Aydın	KUSADASI	905	37.86	27.265	24	369
23	Aydın	GERMENCIK	921	37.875	27.592	66	
24	Aydın	MERKEZ	910	37.845	27.8	65	271
25	Muğla	KOYCEGIZ	4811	36.97	28.687	17	372
26	Aydın	KOSK	916	37.857	28.05	81	371
27	Muğla	DALAMAN	4816	36.772	28.799	20	
28	Aydın	SULTANHISAR	915	37.884	28.151	74	355
29	Denizli	BEYAGAC	2018	37.233	28.895	705	
30	İzmir	TIRE	3539	38.102	27.721	90	
31	Aydın	NAZILLI	914	37.913	28.343	82	267
32	Denizli	KALE	2019	37.442	28.844	1055	
33	İzmir	TORBALI	3532	38.159	27.36	39	
34	Aydın	KUYUCAK	913	37.912	28.465	93	301
35	İzmir	MENDERES	3533	38.257	27.13	127	

Tablo B1.1: Devam.

36	İzmir	ODEMIS	3509	38.216	27.965	112	286
37	İzmir	SEFERIHISAR	3536	38.197	26.838	34	
38	Muğla	FETHIYE	4803	36.626	29.124	3	248
39	İzmir	GAZIEMIR	3538	38.319	27.123	168	
40	Denizli	TAVAS	2020	37.571	29.069	958	
41	İzmir	BUCA	3517	38.376	27.194	136	
42	Aydın	BUHARKENT	912	37.974	28.746	212	390
43	İzmir	YESILYURT	3525	38.372	27.108	106	745
44	İzmir	BUCA	3512	38.401	27.152	79	468
45	İzmir	GUZELYALI	3506	38.394	27.082	26	771
46	İzmir	PINARBASI	3511	38.421	27.256	76	827
47	İzmir	URLA	3523	38.328	26.771	76	414
48	İzmir	BALCOVA	3510	38.409	27.043	3	313
49	İzmir	GUZELBAHCE	3516	38.371	26.891	17	460
50	Denizli	CAMELI	2014	37.074	29.346	1297	344
51	İzmir	ÇAMDİBİ	3522	38.436	27.199	68	249
52	İzmir	KONAK	3518	38.431	27.144	7	298
53	Denizli	MERKEZ	2012	37.77	29.08	395	
54	Denizli	MERKEZ_KINIKLI	2011	37.737	29.101	482	
55	İzmir	KARSIYAKA	3519	38.453	27.111	10	131
56	İzmir	MERKEZ	3513	38.458	27.167	2	196
57	Muğla	SEYDIKEMER	4820	36.649	29.354	139	
58	Denizli	BULDAN	2013	38.045	28.834	621	345
59	İzmir	BAYRAKLI	3514	38.476	27.158	197	836
60	İzmir	BOSTANLI	3515	38.465	27.094	4	171
61	İzmir	MANAVKUYU	3520	38.478	27.211	184	875
62	İzmir	MAVISEHIR	3521	38.468	27.076	1	145
63	Denizli	MERKEZ	2002	37.812	29.111	332	356
64	Denizli	ACIPAYAM	2017	37.434	29.35	906	
65	Denizli	ASAGISAMLI	2009	37.913	29.038	156	
66	İzmir	YAMANLAR	3524	38.497	27.107	64	459
67	Manisa	TURGUTLU	4507	38.507	27.706	88	
68	İzmir	CESME	3528	38.304	26.373	17	532
69	Manisa	SARIGOL	4511	38.24	28.691	208	
70	Manisa	SALIHLI	4506	38.483	28.123	111	273
71	Burdur	GOLHISAR	1506	37.147	29.509	1000	
72	Manisa	ALASEHIR	4503	38.355	28.514	200	358
73	Denizli	HONAZ	2016	37.804	29.24	368	805

Tablo B1.1: Devam.

74	Manisa	MERKEZ	4501	38.613	27.381	106	340
75	İzmir	MENEMEN	3526	38.578	26.98	6	205
76	Antalya	KALKAN	716	36.269	29.413	78	
77	Manisa	SARUHANLI	4508	38.732	27.557	38	
78	İzmir	FOCA	3534	38.662	26.759	13	328
79	Manisa	GOLMARMARA	4509	38.707	27.92	103	
80	İzmir	KARABURUN	3527	38.639	26.513	60	207
81	Manisa	KULA	4510	38.546	28.643	665	
82	Burdur	TEFENNI	1505	37.316	29.779	1153	367
83	Burdur	SOGUT	1508	37.036	29.821	1412	
84	İzmir	ALIAGA	3535	38.796	26.963	17	
85	Uşak	ESME	6402	38.408	28.977	822	
86	Denizli	CAL	2024	38.087	29.395	844	
87	Antalya	ELMALI	702	36.737	29.921	1095	507
88	Manisa	GORDES	4505	38.94	28.284	670	629
89	Manisa	SELENDI	4512	38.742	28.865	440	
90	İzmir	KINIK	3508	39.088	27.375	71	558
91	İzmir	BERGAMA	3537	39.11	27.171	52	
92	Burdur	KOZLUCA	1507	37.494	30.134	1119	
93	Denizli	CIVRIL	2025	38.296	29.737	837	
94	Antalya	FINIKE	712	36.302	30.148	1	299
95	Manisa	DEMIRCI	4504	39.035	28.648	853	336
96	Antalya	KORKUTELI	707	37.001	30.35	1303	
97	Antalya	KUMLUCA	708	36.375	30.292	36	285
98	Balıkesir	SINDIRGI	1015	39.24	28.171	234	238
99	Balıkesir	SAVASTEPE	1016	39.38	27.654	284	
100	Isparta	KECIBORLU	3205	37.93	30.296	1001	
101	Kütahya	SIMAV	4309	39.093	28.978	828	259
102	Balıkesir	BIGADIC	1008	39.398	28.127	148	300
103	Antalya	KEPEZ	717	36.95	30.642	194	
104	Uşak	BANAZ	6403	38.736	29.757	921	
105	Kütahya	GEDIZ	4304	38.995	29.4	735	343
106	Antalya	MERKEZ	701	36.894	30.667	42	920
107	Balıkesir	BURHANIYE	1019	39.498	26.975	55	
108	Antalya	LARA	709	36.879	30.722	47	
109	Afyon	SANDIKLI	308	38.437	30.252	1056	357
110	Balıkesir	MERKEZ_2	1017	39.65	27.857	262	662
111	Kütahya	DUMLUPINAR	4311	38.852	29.981	1237	

Tablo B1.1: Devam.

112	Kütahya	EMET	4306	39.336	29.249	853	304
113	Çanakkale	AYVACIK	1716	39.6	26.408	256	
114	Çanakkale	AYVACIK	1721	39.544	26.19	147	
115	Çanakkale	AYVACIK	1720	39.529	26.121	160	
116	Balıkesir	KEPSUT	1023	39.682	28.167	117	
117	Balıkesir	BALYA	1021	39.747	27.576	248	
118	Kütahya	CAVDARHISAR	4313	39.196	29.62	1012	
119	Antalya	SERIK	711	36.918	31.088	35	534
120	Çanakkale	BAYRAMIC	1718	39.813	26.586	89	
121	Çanakkale	EZINE	1704	39.774	26.346	68	403
122	Kütahya	ALTINTAS	4312	39.058	30.106	1028	
123	Çanakkale	YENICE	1707	39.929	27.259	275	324
124	Balıkesir	SUSURLUK	1020	39.917	28.164	53	
125	Çanakkale	BOZCAADA	1708	39.842	26.053	195	
126	Balıkesir	MANYAS	1024	40.047	27.974	25	
127	Kütahya	MERKEZ_2	4307	39.405	30.014	952	
128	Bursa	KELES	1613	39.915	29.232	1060	412
129	Çanakkale	KEPEZ	1714	40.113	26.422	128	
130	Çanakkale	BIGA	1703	40.232	27.263	24	304
131	Çanakkale	MERKEZ	1701	40.141	26.399	1	192
132	Çanakkale	MERKEZ_2	1713	40.162	26.412	53	
133	Kütahya	DOMANIC	4314	39.806	29.617	873	
134	Bursa	KARACABEY	1633	40.215	28.363	59	
135	Konya	AKSEHIR	4205	38.338	31.417	1020	
136	Çanakkale	GOKCEADA	1711	40.191	25.908	78	
137	Çanakkale	LAPSEKI	1715	40.363	26.692	24	
138	Konya	BEYSEHIR	4208	37.678	31.747	1143	
139	Balıkesir	ERDEK	1018	40.409	27.788	21	
140	Bursa	NILUFER	1621	40.227	28.976	119	
141	Bursa	YILDIRIM	1620	40.182	29.13	193	459
142	Bursa	OSMANGAZI	1627	40.226	29.075	91	249
143	Afyon	EMIRDAG	310	39.005	31.144	1005	
144	Çanakkale	GELIBOLU	1710	40.423	26.667	40	286
145	Eskişehir	SEYITGAZI	2609	39.446	30.697	999	407
146	Bursa	DEMIRTAS	1628	40.273	29.096	143	488
147	Antalya	ALANYA	714	36.555	31.987	12	
148	Antalya	ALANYA	713	36.543	32.004	1	
149	Bursa	GEMLIK	1629	40.425	29.167	2	229

Tablo B1.1: Devam.

150	Bursa	YENISEHIR	1641	40.277	29.652	235	
151	Bursa	ORHANGAZI	1619	40.422	29.291	132	348
152	Bursa	MUSKULE	1639	40.378	29.542	250	
153	Bursa	ORHANGAZI	1631	40.486	29.308	120	
154	Konya	YUNAK	4204	38.821	31.726	1144	
155	Yalova	KURTKOY	7713	40.591	29.209	122	
156	Yalova	SUGOREN	7709	40.559	29.326	432	
157	Yalova	CINARCIK	7707	40.638	29.079	59	
158	Yalova	SOGUCAK	7710	40.59	29.267	219	358
159	Yalova	MERKEZ	7708	40.658	29.247	2	196
160	Antalya	GAZIPASA	704	36.235	32.316	394	
161	Antalya	GAZIPASA_2	718	36.268	32.317	21	
162	Edirne	KESAN	2203	40.868	26.632	55	
163	Yalova	CIFTLIKKOY	7711	40.659	29.327	12	
164	Bilecik	YENIPAZAR	1106	40.177	30.521	626	
165	Sakarya	MEKECE	5408	40.454	30.049	89	
166	Tekirdağ	MARMARA	5906	40.973	27.932	452	
167	Yalova	ALTINOVA	7712	40.693	29.509	4	
168	Kocaeli	KARAMURSEL	4111	40.684	29.589	30	300
169	İstanbul	TUZLA	3418	40.815	29.275	5	
170	İstanbul	KARTAL	3405	40.911	29.157	17	
171	İstanbul	SILIVRI	3408	41.073	28.256	31	639
172	Sakarya	GEYVE	5404	40.519	30.293	82	
173	Kocaeli	IHSANIYE	4123	40.715	29.848	5	
174	Kocaeli	KORFEZ	4115	40.743	29.78	7	
175	Kocaeli	BASISKELE	4116	40.72	29.866	3	
176	Kocaeli	BASISKELE	4104	40.68	29.97	109	770
177	Kocaeli	BASISKELE	4105	40.674	29.969	177	289
178	Kocaeli	ARSLANBEY	4117	40.67	30.027	100	
179	Kocaeli	KULLAR	4121	40.723	29.97	39	
180	Kocaeli	KARABAS	4107	40.76	29.932	12	305
181	Kocaeli	KARTEPE	4128	40.725	30.024	47	
182	Kocaeli	TEPETARLA	4118	40.722	30.078	57	
183	Kocaeli	KOSEKOY	4122	40.748	30.026	17	
184	Kocaeli	ALIKAHYA	4102	40.785	30.026	126	1000
185	Sakarya	SAPANCA	5403	40.691	30.27	45	
186	Sakarya	ARIFIYE	5407	40.703	30.358	57	
187	İstanbul	CEKMEKOY	3419	41.061	29.358	66	

Tablo B1.1: Devam.

188	Karaman	ERMENEK	7002	36.64	32.892	1285	
189	Edirne	UZUNKOPRU	2204	41.293	26.69	51	
190	Sakarya	MERKEZ	5401	40.736	30.381	46	412
191	Kırklareli	LULEBURGAZ	3902	41.357	27.325	47	
192	Mersin	ANAMUR	3307	36.082	32.842	44	
193	Sakarya	AKYAZI	5406	40.67	30.623	52	272
194	Sakarya	HENDEK	5405	40.796	30.735	173	
195	Karaman	MERKEZ	7001	37.172	33.226	1060	538
196	Düzce	GOLYAKA	8109	40.781	31.014	123	
197	Düzce	AYDINPINAR	8106	40.767	31.112	143	338
198	KKTC	SADRAZAMKOY	99004	35.388	32.95	28	408
199	Düzce	MERKEZ	8107	40.839	31.113	143	
200	Düzce	BEYCILER	8104	40.861	31.18	152	398
201	Düzce	KONURALP	8105	40.903	31.152	195	914
202	Düzce	MERKEZ	8108	40.861	31.23	250	487
203	Bolu	MERKEZ_2	1411	40.685	31.617	720	
204	Mersin	AKKUYU	3302	36.161	33.576	17	
205	Düzce	YIGILCA	8111	40.961	31.449	330	
206	KKTC	LEFKOSA	99013	35.197	33.331	133	
207	KKTC	LEFKOSA	99012	35.183	33.368	144	309
208	Bolu	YENICAG	1410	40.771	32.037	1002	
209	KKTC	YENIERENKOY	99007	35.525	34.175	122	575