

**T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DEPREM SONRASI HAFRİYAT ATIK YÖNETİMİNDE YAPAY
SİNİR AĞI TABANLI EKONOMİK KARAR DESTEK YAKLAŞIMI:
ADİYAMAN İLİ UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULSAMET OKCU

**DANIŞMAN
PROF. DR. HARUN TÜRKMENLER**

ADİYAMAN, 2025

ÖZET

DEPREM SONRASI HAFRIYAT ATIK YÖNETİMİNDE YAPAY SİNİR AĞI TABANLI EKONOMİK KARAR DESTEK YAKLAŞIMI: ADIYAMAN İLİ UYGULAMASI

Abdulsamet OKCU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Aralık/2025, Sayfa: 78

Danışman: Prof. Dr. Harun TÜRKMENLER

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin ardından Adıyaman'ın Merkez ilçesinde oluşan inşaat ve yıkıntı atıklarının yönetimine odaklanmaktadır. Depremden büyük zarar gören Adıyaman Merkez'de dört farklı alanda yaklaşık 9 milyon ton hafriyat atığı toplandığı belirlenmiştir. Bu miktarın yaklaşık 7 milyon tonu, aktif olarak kullanılan Börgenek bölgesi döküm alanında yer almaktadır. Kalan 2 milyon ton atık ise diğer döküm sahalarına dağılmıştır. Çalışma kapsamında, hafriyat atıklarının kaynağında ve toplama bölgelerinde ayrıştırılması süreçleri incelenmiş; Merkez ilçedeki yıkım, taşıma ve döküm sahası seçimi aşamalarında uygulanan yöntemler değerlendirilmiştir. Depremler sonrası ortaya çıkan yaklaşık 21 milyon ton hafriyat atıklarının oransal dağılım ve ortalama fiyatlar üzerinden yapılan hesaplamaları sonucunda devlet ekonomisine katkısı 15,38 milyar TL bulunmuştur. Bu tez kapsamında ayrıca, net ekonomik değerin tahminine yönelik yapay sinir ağı (YSA) tabanlı bir ekonomik karar destek yaklaşımı uygulanmıştır. Bu kapsamda atık miktarları (ton) ve birim fiyatlar (TL/ton) girdileri kullanılarak net ekonomik değer tahmini yapılmış; modelin performansı RMSE, MAE ve R^2 metrikleri ile hesaplanmıştır. Model çıktıları; Gerçek–Tahmin karşılaştırması, hata dağılımı, $\pm 10\%$ hata bandı ve Bland–Altman analizi gibi görsel değerlendirmelerle desteklenmiş; ayrıca permütasyon öznitelik önemi analizi ile değişkenlerin göreceli etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık yönetimi; Yapay sinir ağları; Ekonomik karar destek; Çevresel etkiler; Kahramanmaraş depremleri

ABSTRACT

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK-BASED ECONOMIC DECISION SUPPORT APPROACH IN POST-EARTHQUAKE DISASTER WASTE MANAGEMENT: A CASE STUDY IN ADIYAMAN PROVINCE

Abdulsamet OKCU

Department of Environmental Engineering

Adiyaman University, Graduate Education Institute, December/2025, Page: 78

Supervisor: Prof. Dr. Harun TÜRKMENLER

This study focuses on the management of construction and demolition waste generated in the Central District of Adiyaman following the February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes. It has been determined that approximately 9 million tons of disaster waste were collected in four different areas in Adiyaman Central, which suffered significant damage from the earthquake. Approximately 7 million tons of this amount are located in the Börgenek region landfill, which is actively used. The remaining 2 million tons of waste is scattered across other dumping sites. Within the scope of the study, the processes of sorting disaster waste at its source and in collection areas were examined; the methods applied in the demolition, transportation, and dumping site selection stages in the Merkez district were evaluated. Calculations based on the proportional distribution and average prices of the approximately 21 million tons of demolition waste generated after the earthquakes revealed that the contribution to the state economy was 15.38 billion TL. Within the scope of this thesis, an artificial neural network (ANN)-based economic decision support approach was also applied to estimate the net economic value. In this context, the net economic value was estimated using waste quantities (tons) and unit prices (TL/ton) as inputs; the model's performance was calculated using the RMSE, MAE, and R^2 metrics. Model outputs; supported by visual assessments such as actual-predicted comparisons, error distribution, $\pm 10\%$ error band, and Bland–Altman analysis; the relative effects of variables were also examined using permutation feature importance analysis.

Keywords: Waste management; Artificial neural networks; Economic decision support; Environmental impacts; Kahramanmaraş earthquakes

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasının ortaya çıkmasında büyük katkıları bulunan, fikir ve önerileriyle lisans ve lisansüstü eğitimim ile mesleki gelişimimde her zaman yanımda olan ve bu çalışmanın gerçekleşmesine vesile olan, eğitimim boyunca bilgi, birikim ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden danışmanım Sayın Prof. Dr. Harun TÜRKMENLER'e ve Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÜRKER hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan, sevgi ve ilgilerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, fikir ve önerileriyle yolumu aydınlatan, her anıma destek olan eşim Öğretmen Gülçin OKCU' ya, abim Avukat Yekta OKCU' ya da en içten teşekkürlerimi sunarım.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Adıyaman Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı” yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
Abdulsamet OKCU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	iv
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. ADIYAMAN İLİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER	8
3.1. Adıyaman İli'nin Nüfus Bilgileri	9
3.2. Adıyaman İli'nin Coğrafi Yapısı.....	11
3.3. Adıyaman İli'nin Ekonomi Bilgileri.....	13
3.4. Adıyaman İli'nin Jeolojik Bilgileri.....	14
3.5. Adıyaman İli'nin Depremsellik Durumu.....	15
4. DEPREMLER SONRASI ORTAYA ÇIKAN ATIKLAR VE YÖNETİMİ.....	20
4.1. Depremde Ortaya Çıkan Atık Türleri	22
4.2. Hafriyat Atıklarının Yeniden Kullanımı/ Geri Dönüşümü/Geri Kazanımı.....	26
4.3. Katı Atıkların Bertaraf Yöntemleri	31
4.3.1. Kaynakta azaltma ve geri kazanma	32
4.3.2. Yakma	32
4.3.3. Termal gazifikasyon.....	33
4.3.4. Kompostlaştırma	33
4.3.5. Vahşi depolama	33
4.3.6. Düzenli depolama	34
4.4. Depremler Sonrası Ortaya Çıkan Hafriyat Atıklarının Yönetimi	34
5. MATERYAL VE METOT	37
5.1. Materyal.....	37

5.2. Metot	39
5.3. Yapay Sinir Ağı Tabanlı Ekonomik Karar Destek Modeli ve Performans Değerlendirme Ölçütleri.....	52
5.3.1. Materyal: Veri bileşenleri ve değişken tanımları.....	57
5.3.2. Metot: Senaryo üretimi ve hedef fonksiyonun oluşturulması	57
5.3.3. Yapay sinir ağı mimarisi ve eğitim ayarları.....	58
5.3.4. Veri bölme, normalizasyon ve performans metrikleri	61
5.3.5. Açıklanabilirlik: Permütasyon (permutation) öznitelik önemi	61
5.3.6. Hata analizi ve karar destek görselleştirmeleri.....	61
5.3.7. Uyum kontrolü: Ankraj senaryoları ile tutarlılık testi.....	62
6. BULGULAR	63
6.1. Yapay Sinir Ağı (YSA) Tabanlı Ekonomik Karar Destek Bulguları.....	63
6.1.1. YSA model performansının değerlendirilmesi.....	63
6.1.2. İl, ilçe ve il geneli ölçeğinde ysa tabanlı ekonomik tahminler.....	65
6.1.3. Öznitelik önemi analizi ve ekonomik yorum.....	66
6.1.4. Duyarlılık analizi.....	68
6.1.5. Genel değerlendirme.....	68
7. SONUÇLAR,TARTIŞMA VE ÖNERİLER	70
7.1. Sonuçlar	70
7.2. Tartışma.....	71
7.3. Öneriler.....	73
KAYNAKÇA.....	74
ÖZ GEÇMİŞ	

TABLÖLER DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Adıyaman ili yıllara göre nüfus değişimi	10
Tablo 3.2. Adıyaman ili deprem sonrasında meydana gelen nüfus değişimi	10
Tablo 4.1. İnşaat ve yıkıntı atıklarının sınıflandırılmasına yönelik kategoriler.....	27
Tablo 4.2. İkincil hammadde olarak değerlendirilebilecek malzemelerin uygulama sahaları	28
Tablo 4.3. Avrupa genelindeki ülkelerin ürettiği inşaat ve yıkıntı atığı hacimleri	29
Tablo 5.1. Adıyaman ilinde binaların hasar değerlendirmesi	39
Tablo 5.2. Adıyaman ili besni ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı.....	41
Tablo 5.3. Adıyaman ili çelikhane ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı.....	41
Tablo 5.4. Adıyaman ili gerger ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı	42
Tablo 5.5. Adıyaman ili gölbaşı ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı.....	42
Tablo 5.6. Adıyaman ili kahta ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı.....	43
Tablo 5.7. Adıyaman ili merkez ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı	44
Tablo 5.8. Adıyaman ili samsat ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı	44
Tablo 5.9. Adıyaman ili sincik ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı.....	45
Tablo 5.10. Adıyaman ili tut ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı	45
Tablo 5.11. Adıyaman il merkezi ve ilçelerinde ortaya çıkan toplam hafriyat atığı miktarı.....	46
Tablo 5.12. Hafriyat atıklarının içerisinde bulunan atıkların oransal dağılımı.....	48
Tablo 5.13. Adıyaman ili merkez ilçesinde hafriyat atıklarının içerisinde bulunan atıkların oransal dağılımı ve geri kazanımda kullanım alanları.....	48
Tablo 5.14. Adıyaman ili, kahta, besni, gölbaşı, çelikhane, sincik, gerger, samsat, tut ilçelerinde hafriyat atıklarının içerisinde bulunan hafriyat atıklarının dağılımı.....	49
Tablo 5.15. Adıyaman ili merkez ilçesinin hafriyat atıklarının geri kazanım sonrası ekonomiye katkısının ortalama değerler üzerinden hesaplanması	50
Tablo 5.16. Adıyaman ili, kahta, besni, gölbaşı, çelikhane, gerger, sincik, samsat, tut ilçelerinin hafriyat atıklarının geri kazanım durumunda ortalama değerler üzerinden hesaplanması	51
Tablo 5.17. Adıyaman ili genel hafriyat atıklarının geri kazanım durumunda ortalama değerler üzerinden hesaplanması	52
Tablo 6.1. YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test performans metrikleri	63

Tablo 6.2. Merkez, ilçeler ve il geneli için ysa tabanlı net ekonomik değer tahminleri..... 66



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Adıyaman il haritası	8
Şekil 3.2. Adıyaman ili jeolojik haritası.....	15
Şekil 3.3. Adıyaman ili ve çevresindeki fayların konumu	16
Şekil 3.4. Adıyaman ili deprem bölgesi haritası	16
Şekil 3.5. Adıyaman ili çevresindeki aktif fay hatları (a) ve doğu anadolu fay hattı segmentleri (b).....	17
Şekil 3.6. Adıyaman ilinde ve bölgesinde meydana gelen geçmiş deprem kayıtları	18
Şekil 3.7. Adıyaman İli VS30 Dağılımı (m/s).....	19
Şekil 4.1. Hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atıklarının yönetim hiyerarşisi	35
Şekil 4.2. İnşaat, yıkıntı atıkları ve hafriyat toprağı yönetiminin planlanması	36
Şekil 5.1. Organize sanayi bölgesi döküm alanı	37
Şekil 5.2. Gözebaşı köyü döküm alanı	38
Şekil 5.3. Sitalce döküm alanı.....	38
Şekil 5.4. Börgenek bölgesi döküm alanı.....	39
Şekil 5.5. Depremler sonrası ortaya çıkan atık miktarlarının türlerine göre dağılımı.....	47
Şekil 5.6. YSA tabanlı senaryo üretimi, net ekonomik değer hesaplaması ve modelleme sürecinin genel akış diyagramı	55
Şekil 5.7. YSA tabanlı ekonomik karar destek modelinin girdi yapısı, senaryo temelli uygulama kapsamı ve çıktı bileşenlerinin şematik gösterimi	56
Şekil 5.8(a). Ağ mimarisi (22–24–12–1) “Network Diagram”	59
Şekil 5.8(b). Eğitim performansı (MSE–epoch).....	59
Şekil 5.8(c). Eğitim durumu (gradient, mu, validation checks)	60
Şekil 6.1. YSA modeli için gerçek ve tahmin edilen net ekonomik değerlerin karşılaştırılması (test seti).....	64
Şekil 6.2. YSA tahmin hatalarının dağılımı (test seti)	64
Şekil 6.3. YSA modeli için $\pm 10\%$ hata bandı analizi (test seti)	65
Şekil 6.4. YSA tabanlı net ekonomik değer tahminleri için Bland–Altman analizi.....	65
Şekil 6.5. YSA modeli için öznitelik önemi analizi (ilk 15 değişken).....	66
Şekil 6.6. YSA modeli için öznitelik önemi analizi (sadece atık miktarları)	67
Şekil 6.7. YSA modeli için öznitelik önemi analizi (sadece birim fiyatlar)	67
Şekil 6.8. Metal atık miktarına bağlı olarak net ekonomik değer değişimi	68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	: Alfa
β	: Beta
MW	: Megawatt
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
MKS	: Metre-Kilogram-Santimetre
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
SI	: Syst�me International d'Unit�s (Uluslararası Birimler Sistemi)
Y�K	: Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı
Vs	: Kayma Dalgası Hızı
Mw	: Moment Büyüklük �l�eđi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
JSMCWM	: Japonya Malzeme Döngüleri ve Atık Yönetimi Topluluğu
TL	: Türk Lirası
HT	: Hafriyat Toprağı
İYA	: İnşaat Yıkıntı Atıkları
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
ADNKS	: Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
DAFS	: Doğu Anadolu Fay Sistemi
GKA	: Geri Kazanılmış Agregat
GKB	: Geri Kazanılmış Beton
�DF	: Ölü Deniz Fayı
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
KAF	: Kuzey Anadolu Fay Hattı
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
MTA	: Maden Tetkik Arama
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Türkiye Cumhuriyeti, konumu itibarıyla yüksek sismik aktiviteye sahip fay hatları üzerinde yer almakta ve dolayısıyla sürekli bir deprem riski taşımaktadır. Bu bağlamda, Şubat tarihinde, Kahramanmaraş merkezli olarak ve 04:17 saatlerinde meydana gelen ve büyüklükleri sırasıyla 7.7 Mw ve 7.6 Mw olarak ölçülen iki yıkıcı deprem yaşanmıştır. Bu büyük sarsıntıları takiben, 20 Şubat tarihinde merkez üssü Hatay'ın Yayladağı ilçesi olan 6,4 Mw büyüklüğünde bir deprem daha gerçekleşmiştir. Söz konusu afetler, Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman, Malatya, Gaziantep, Adana, Şanlıurfa, Diyarbakır, Osmaniye, Kilis ve Elâzığ illerini kapsayan geniş bir coğrafyada büyük çaplı hasara ve can kayıplarına yol açmıştır. Son yüzyılın en ağır afetleri arasında konumlanan bu depremlerin 14 milyonu aşkın kişiyi etkilediği, yaklaşık 54.000 vatandaşın yaşamını yitirmesine neden olduğu ve 1280.000 bağımsız bölümün hasar gördüğü tespit edilmiştir. Afetin yarattığı tahribat hem kentsel altyapıda hem de üstyapıda derin izler bırakmıştır. Bu kapsamda, depremden ağır etkilenen illerden biri olan Adıyaman'da da çok sayıda yapı kullanılamaz hale gelmiş veya ciddi hasarlar almıştır. Deprem sonrası ortaya çıkan ve çevre-insan sağlığı açısından büyük önem taşıyan inşaat yıkıntı atıklarının (İYA) yönetimi, çalışmanın temel konusunu oluşturmaktadır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü'nün güncel verileri, yalnızca Adıyaman Merkez ilçesinde acil yıkılacak, ağır, yıkık ve orta hasarlı durumdaki toplam 34.436 bina sayısının olduğunu göstermektedir. Bu yüksek hasar oranı, ortaya çıkan İYA miktarının büyüklüğüne işaret etmektedir.

Buna ek olarak, Adıyaman iline bağlı Kahta, Besni, Gölbaşı, Tut, Samsat, Gerger, Sincik ve Çelikhhan ilçelerinde, acil müdahale gerektiren, ağır, yıkık ve orta hasarlı toplam 19.870 bina bulunmaktadır. Bu bina sayıları temel alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, Adıyaman Merkez ilçesinde yaklaşık 9 milyon ton, diğer ilçelerde ise 12 milyon ton yıkıntı ve inşaat atığı olduğu belirlenmiştir. Etkin bir atık yönetimi stratejisinde, öncelikle geçici depolama sahalarının belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, atıkların döngüsel ekonomiye kazandırılması amacıyla geri dönüşüm ve geri kazanım potansiyellerinin belirlenmesi, bu süreçleri destekleyecek tesislerin (alanların) hızlıca kurulması kritik bir aşamayı teşkil etmektedir. Bunun yanı sıra, atıkların türlerine göre kaynağında ayrıştırılması ve ilgili yönetmeliklere uygun biçimde bertaraf edilmesi gerekmektedir (AFAD, 2023; Aksoy vd., 2023).

Ülkemizde kalkınma, sanayileşme ve kentleşme süreçleriyle paralel olarak inşaat faaliyetleri yoğun bir şekilde yürütülmektedir. Bu süreçte; yeni binaların, konutların,

köprülerin, yolların ve diğer altyapı ile üstyapıların inşası gerçekleştirilmektedir. Ayrıca mevcut yapıların onarımı, bakımı ve yeniden inşa edilmesi gibi işlemler yapılmakta; doğal afetler, özellikle depremler, mevcut yapıların yıkılmasına yol açabilmektedir. Tüm bu süreçler sonucunda büyük miktarda HT ve İYA ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların gelişigüzel bir şekilde çevreye bırakılması hem çevre kirliliğine yol açmakta hem de insan sağlığı açısından ciddi tehditler doğurmaktadır.

Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler, atıkların kontrolü ve yönetimi süreçlerinde çeşitli güçlüklerle karşılaşmaktadır. Özellikle yoğun nüfuslu alanlarda, afet sonrası aniden ortaya çıkan büyük miktarlardaki inşaat ve enkaz atıkları, sökülen ağaçlar, sürüklenen araçlar ve benzeri atık türleri, mevcut atık yönetimi sistemlerine ek bir yük getirmektedir. Bu tür atıkların bertarafı, çevre ve halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır; bu nedenle afet sonrası zararların giderilmesi çalışmalarında atık toplama işlemi kritik bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, afet yönetim sisteminin etkili bir şekilde işlemesi için, afet sonrası oluşacak atıklarla ilgili konuların her yönüyle önceden belirlenmesi gerekmektedir.

Atıkların yönetimi, afet yönetim sisteminde önemli bir yer tutmalıdır. Bu kapsamda atıkların miktarı, taşınma yöntemleri, bertaraf süreçleri, geri kazanım ve geçici depolamaya uygunlukları gibi çeşitli unsurlar değerlendirilmeli; ayrıca geçici depolama tesislerinin kapasiteleri ve bu tesislerde kullanılacak iş makinelerinin özellikleri de dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, tüm bu çalışmalara ilişkin maliyetler, finansal destek, maliyet azaltma stratejileri ve alternatif yöntemler de afet öncesi planlamalarda önemlidir. Afet atık yönetimi, planlama ve kontrol, işin önceliklendirilmesi ve kaynakların etkin yönetimi gibi başlıklar altında ele alınabilir.

Bu konuların gündeme alınması, gerekli önlemlerin alınmasında ve risk analizlerinin gerçekleştirilmesinde oldukça faydalı olacaktır. Farklı ülkelerdeki geçmiş afet deneyimleri ve uygulamaları, bu süreçte yol gösterici nitelikte olabilir. Acil durumlara ve doğal felaketlere karşı hazırlıklı olmak, bu konularla ilgili temel bilgilerin toplanması ve ilgili organizasyonların kurulması, başa çıkma becerilerini geliştirecektir (Alak, 2017).

Artan yıkıntı ve inşaat atıklarının insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması ile bu atıkların ekonomiye kazandırılması, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemiz için de öncelikli bir politika haline getirilmelidir.

Bu araştırmada, Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında oluşan hafriyat atıklarının yönetim süreçleri ele alınmıştır. Bu tez çalışmasında, deprem sonrası ortaya çıkan

hafriyat atıklarının miktarı, bileşimi ve geri kazanım potansiyeline ilişkin veriler esas alınarak, net ekonomik değerin tahminine yönelik yapay sinir ağı (YSA) tabanlı bir ekonomik karar destek yaklaşımı da ele alınmıştır. Bu yaklaşım, deterministik hesaplamaları dışlamadan, farklı olası koşullar altında ekonomik sonuçların nicel olarak değerlendirilmesine imkân tanıyan tamamlayıcı bir araç olarak kullanılmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Afet sonrası ortaya çıkan inşaat ve yıkıntı atıklarının yönetimi, dünya genelinde farklı ülkelerde yaşanan büyük depremlerden sonra önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar, afet atıklarının çevresel etkilerini azaltmak, geri dönüşüm potansiyelini artırmak ve sürdürülebilir bir atık yönetim sistemi oluşturmak amacıyla çeşitli yaklaşımlar geliştirmiştir.

Aktaş (2015), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 2018–2020 yılları arasında Erzurum ilinde ortaya çıkan HT ve İYA türleri ile miktarları incelenmiş; bu malzemelerin geri dönüşüm süreçleri sonucunda elde edilen ürünlerin karayolu yapımında kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmada, benzer akademik literatürdeki bulgular referans alınmış ve Karayolları Teknik Şartnamesi (KTS) standartları ile uyum gözetilmiştir. Bu kapsamda, inşaat ve yıkıntı atıklarının karayolu inşaatlarında kullanılabilirlik potansiyelini saptamak üzere gerekli laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan laboratuvar testleri neticesinde, belirlenen standartlara tam olarak uyulması koşuluyla, HT ve İYA bütünüyle karayolu dolgu katmanlarında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra, temel zemin ile plent-miks alt ve üst tabakalarında, İYA ve geleneksel agrega karışımlarının belirli yüzdelerde kullanıma elverişli olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, karayolu temel ve alt temel tabakalarında geri dönüştürülmüş İYA kullanımıyla birlikte, bu malzemelere yönelik artan bir talep potansiyeli bulunduğunu göstermektedir. 2018, 2019 ve 2020 yıllarında Erzurum’da üretilen İYA miktarlarının, yol projelerinde kullanılabilecek düzeyde olduğu ve bu miktarın malzeme talebini karşılayabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma ayrıca, geri dönüştürülmüş İYA’nın karayolu yapımında kullanımının toplam inşaat maliyetlerini azaltabileceğini ve özellikle yol yapım harcamalarının önemli ölçüde düşebileceğini ortaya koymuştur.

Baycan (2004), 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi sonrasında yaklaşık 110.000 binanın hasar gördüğünü ve bunun sonucunda 13 milyon ton civarında molozun ortaya çıktığını belirtmiştir. Çalışmada, bu atıkların Kocaeli, Sakarya, Yalova ve Bolu illerindeki 17 farklı depolama alanına taşındığı, ancak geri dönüşüm tesislerinin yetersizliği nedeniyle önemli bir kısmının bertaraf edilemediği ifade edilmiştir. Araştırma, yerel yönetimlerin karar alma mekanizmalarının eksikliği nedeniyle yasa dışı döküm alanlarının oluştuğunu, bu durumun hem çevresel hem de ekonomik kayıplara yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca, afet sonrasında atıkların yönetilebilmesi için nakliye organizasyonunun, geçici depolama alanlarının kapasitesinin belirlenmesi ve geri dönüşüm altyapısının oluşturulmasının kritik

olduğu vurgulanmıştır. Benzer şekilde Akıncıtürk (2003), Marmara Depremi sırasında geçici düzenlemelerin olmaması nedeniyle yolların enkazla kapanmasının, tahliye ve müdahale süreçlerini olumsuz etkilediğini rapor etmiştir.

Brown vd. (2011), İtalya’da Nisan ’da gerçekleşen 6,3 Mw büyüklüğündeki L’Aquila depreminin sonucunda yaklaşık 1,5 milyon ile 3 milyon ton arasında yıkıntı materyali ortaya çıktığını raporlamıştır. Araştırma, atıkların büyük oranda beton ve dolgu malzemesinden oluştuğunu ve karmaşık idari süreçler nedeniyle geri dönüşüm faaliyetlerinin gerçekleştirilemediğini göstermektedir. Bu çalışma, afet atık yönetiminin yalnızca çevresel bir konu değil, aynı zamanda kurumsal kapasite, yasal düzenlemeler ve toplumsal farkındalıkla da yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, 2016 Amatrice Depremi örneğinde de kurumsal koordinasyon eksikliğinin afet sonrası toparlanma sürecini yavaşlattığı, ancak bazı bölgelerde hızlı karar alma süreçlerinin sosyo-ekonomik iyileşmeyi hızlandırdığı gözlenmiştir.

Sasao (2016), Mart tarihinde Japonya’da meydana gelen 9,0 büyüklüğündeki Büyük Doğu Japonya Depremi ve buna bağlı oluşan tsunaminin toplam 28 bin ton civarında moloz ortaya çıkardığını bildirmiştir. Bu felaketin ardından Japonya hükümeti, “Tohoku-Pasifik Okyanusu Depremi Sonrası Hasarlı Yapıların Kaldırılmasına İlişkin Kılavuz İlkeler” başlıklı bir rehber yayımlamış ve afet atıklarının ayrıştırılması, geçici depolama alanlarına taşınması ve geri dönüştürülmesi süreçlerinde yerel yönetimlerin sorumluluklarını belirlemiştir. Bu çerçevede, kaç adet kırma-ayırma tesisi ile adet yakma tesisinin oluşturulduğu ve atık yönetim süreçlerinin sistematik bir yapıda uygulandığı görülmüştür. Japonya’daki bu deneyim, afet sonrasındaki atık yönetiminin başarıya ulaşmasında, merkezi düzeyde planlamanın yerel uygulamalarla eş güdümlü ve uyumlu bir şekilde yürütülmesinin temel belirleyici faktör olduğunu göstermektedir.

Asari vd. (2013), aynı felaket sonrası Japonya Malzeme Döngüleri ve Atık Yönetimi Topluluğu (JSMCWM) tarafından afet sonrası atıkların ayrıştırılması ve bertaraf edilmesine yönelik standartların geliştirildiğini ifade etmiştir. Hazırlanan kılavuz, afet sonrası süreçlerin belediyelere göre farklılık gösterebileceğini, ancak genel olarak yeniden kullanım, çevre koruma, maliyet yönetimi ve geri dönüşümün öncelikli hedefler arasında olması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu çalışma, afet atık yönetiminin yalnızca mühendislik temelli değil, aynı zamanda yönetsel ve stratejik bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır.

Hernández-Padilla ve Angeles (2017), 10 Eylül 2017 tarihinde Meksika’da meydana gelen 7,1 büyüklüğündeki depremin ardından 7021 konutun ağır hasar aldığını ve birçok

yapının tamamen yıkıldığını raporlamıştır. Çalışmada, afet sonrası oluşan atıkların etkili bir şekilde yönetilebilmesi için yasal çerçevenin güçlendirilmesi ve yerel yönetimlerin kapasitesinin artırılmasının önemine dikkat çekilmiştir. Araştırma, özellikle gelişmekte olan ülkelerde afet atık yönetiminin planlama eksiklikleri ve mevzuat yetersizlikleri nedeniyle ciddi zorluklarla karşı karşıya olduğunu ortaya koymaktadır.

Aktaş (2015), tarafından yürütülen çalışmada, Türkiye’de inşaat ve yıkım atıklarının yeniden kullanımına dair mevcut araştırmalar incelenmiş ve bu malzemelerin altyapı projelerinde dolgu veya agrega olarak değerlendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada özellikle İller Bankası projeleri kapsamında, geri kazanılmış beton atıklarının hendek dolgu, beton agregası ve gabion uygulamalarında kullanılmasının uygun olacağı önerilmiştir.

Kaplan ve Soyluk (2023), 6-7 Şubat 2023 tarihlerinde Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında Türkiye genelinde yaklaşık 138 milyon ton inşaat atığının oluşacağını öngörmüştür. Çalışmada, afet sonrası atıkların sürdürülebilir biçimde yönetilebilmesi için ulusal mevzuata dayalı bir sistemin oluşturulmasının önemi vurgulanmış; özellikle beton atıklarının geri kazanımı için gerekli altyapı ve yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Fırat ve Akbaş (2015), Türkiye’de plastik ve kâğıt geri dönüşümünde ilerlemeler kaydedilmesine rağmen, inşaat sektöründe bu konuda ciddi eksiklikler bulunduğunu ortaya koymuştur. Avrupa ülkelerindeki uygulamalarla karşılaştırma yapılarak, inşaat atıklarının geri kazanımının enerji tüketimini ve karbon salımını azaltarak çevresel ve ekonomik fayda sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Eren (2019), Aydın ilinde hafriyat toprağı ile inşaat ve yıkım atıklarının yönetimi için uygulanabilir bir plan geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, kişi başına düşen atık miktarları üzerinden geleceğe yönelik atık tahminleri yapılmış; seçici yıkım uygulamalarının atık hacmini azaltabileceği ve taşıma maliyetlerini düşürebileceği ortaya konmuştur. Ayrıca, üç farklı senaryo çerçevesinde depolama alanı gereksinimleri değerlendirilmiş ve kente özgü sürdürülebilir bir plan önerilmiştir.

Demir (2009), inşaat sektöründe oluşan beton atıklarının geri kazanılmış agregaya dönüştürülme sürecini ele almıştır. Çalışmada, geri kazanılmış beton agregasının (GKA) teknik özellikleri değerlendirilmiş ve bu malzemenin yapı sektöründe yeniden kullanım potansiyeli tartışılmıştır. Ayrıca, GKA kullanımına ilişkin teknik, ekonomik ve çevresel engellerin aşılabilmesi için öneriler sunulmuştur.

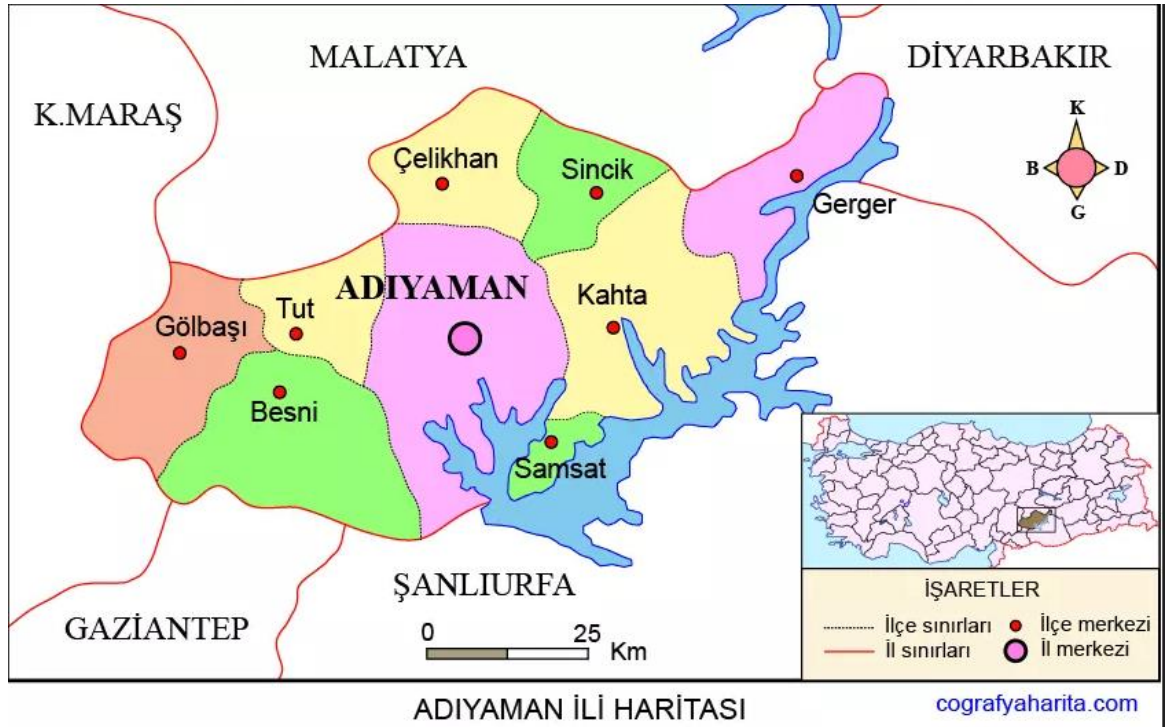
Buzkan ve Erman (2020), inşaat faaliyetlerinin hızla artmasıyla birlikte yapı atıklarının önemli bir çevre sorunu haline geldiğini belirtmiştir. Türkiye’deki yasal düzenlemeleri Avrupa Birliği standartlarıyla karşılaştırarak, mevcut sistemdeki eksiklikleri ve uygulama güçlüklerini analiz etmişlerdir. Çalışmada, etkin bir yasal çerçevenin ve kurumsal denetimin oluşturulmasının, sürdürülebilir inşaat atık yönetimi için temel koşul olduğu sonucuna varılmıştır.

Genel olarak, önceki çalışmalar afet sonrası atık yönetiminin yalnızca teknik bir süreç olmadığını, aynı zamanda çevresel, ekonomik ve yönetsel boyutları olan çok disiplinli bir alan olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, gelecekteki afetlere hazırlık amacıyla sürdürülebilir ve entegre atık yönetim politikalarının geliştirilmesi gerekmektedir.



3. ADIYAMAN İLİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Adıyaman, bilinen tarihin en eski yerleşim yerlerinden biri olarak, tarihçesinin milattan önce 40 binli yıllara kadar uzandığına dair kanıtlar sunan Palanlı Mağarası'ndaki incelemelerle dikkat çekmektedir. Bu bölge, Hititler, Asurlular, Makedonyalılar, Kommagene Krallığı, Doğu Roma İmparatorluğu, Emeviler, Abbasiler, Anadolu Selçuklu, Memlükler ve Osmanlılar gibi pek çok farklı medeniyetin etkisi altında kalmış olup, bu nedenle zengin bir tarihi ve kültürel mirasa sahiptir. Adıyaman, farklı kültürlerin kaynaşp harmanlandığı yüksek bir öneme sahip bir bölge olarak öne çıkmaktadır (KTB, 2019). Şekil 3.1'de Adıyaman il haritası görülmektedir.



Şekil 3.1. Adıyaman il haritası (Kaynak: Adıyaman Valiliği, 2023)

Adıyaman, coğrafi olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Orta Fırat alt bölgesinde yer almaktadır. Kuzeyde Toros Dağları'nın uzantısını oluşturan Malatya Dağları, doğuda Diyarbakır ve Şanlıurfa, güneyde Gaziantep ve batıda Kahramanmaraş illeriyle sınır komşusudur (Darkot, 1989). Adıyaman ilinin kuzey bölümü kısmen Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içinde yer alırken, doğu ve güney kısımları Fırat Nehri ile Atatürk Barajı tarafından çevrelenmiştir. İl, yaklaşık 2600 metre yüksekliğe ulaşan dağ silsileleriyle çevrilidir. Bunun yanı sıra, Adıyaman ve Kâhta ovaları, Fırat Nehri'ne dökülen Kâhta, Ziyaret ve Göksu çayları ile birbirinden ayrılmaktadır (Özkan, 1993).

Adıyaman ilinde, merkez ilçesi de dahil olmak üzere toplam dokuz ilçe ve 406 köy bulunmaktadır. Bu idari birimler sırasıyla Merkez, Besni, Çelikhan, Gerger, Gölbaşı, Kâhta, Samsat, Sincik ve Tut olmak üzere dokuz ilçeden oluşmaktadır. İlin yüzölçümü göller dahil olmak üzere 7.871 km² olup, yalnız kara alanı 7.614 km²'dir. Deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 669 metre olan Adıyaman'da, coğrafi konumuna bağlı olarak kuzey kesimlerde Doğu Anadolu iklimi, güneyde Güneydoğu Anadolu iklimi ve batı kesimlerde kısmen Akdeniz iklimi etkili olmaktadır (Sucu, 1992).

Adıyaman Ovası, dağlarla çevrili olması nedeniyle doğu rüzgârlarının etkisinden altındadır. Kışları sert geçen bu bölge, aşırı soğuk olmayıp, genellikle ılımandır. Yaz aylarında ise çöl sıcaklarının etkisi altındadır. Kış mevsiminde yağışların azlığı, kuraklığa neden olmuşta ve bu durum tarımsal faaliyetlerin gelişimini sınırlandırmaktadır. Ancak, GAP projesi ile birlikte Adıyaman Ovası'nın sulanması, bölgenin verimliliğini artırarak tarımsal üretimin gelişimini sağlamıştır (Halaçoğlu, 1998).

Eski coğrafyacı ve tarihçilere göre, Güneyde Arap Yarımadası'ndan, Kuzeyde ise Toros Dağları'na kadar uzanan Arap çöllerinin sona erdiği noktada, Torosların eteklerinde verimli topraklar bulunmaktadır. Bu topraklar, Arap çöllerini kuzeyden çevreleyen bir ay gibi, yüzyıllar boyunca "Verimli Ay" (Hilal) olarak adlandırılmıştır. Ortadoğu ülkelerinin merkezinde yer alan bu bereketli alanda, Asya, Avrupa ve Afrika kıtalarından gelen ana kara yolları birbiriyle kesişmektedir. Tarih boyunca, Verimli Ay bölgesi, önemli ticaret yollarının kavşak noktaları olarak büyük ticaret ve sanayi şehirlerinin doğumuna tanıklık etmiş; bu şehirler büyüyüp yok olmuş, yerlerine yenileri kurulmuştur. Verimli Ay bölgesinin bir parçası olan Orta Fırat Bölgesi'ndeki Adıyaman şehri, bu verimli alanın en yüksek sınırını oluşturur. Adıyaman, coğrafi özellikleri sayesinde tarihin her döneminde insanların tercih ettiği bir yerleşim yeri olmuştur (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2023).

3.1. Adıyaman İli'nin Nüfus Bilgileri

2023 yılı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, Adıyaman'ın **nüfusu 604.978** olarak belirlenmiştir. Bu nüfusun **306.779'unu erkekler, 298.199'unu ise kadınlar** oluşturmaktadır. Yüzde olarak ise: **%50,71** erkek, **%49,29** kadındır. Adıyaman ilinin en büyük ilçesi 284.839 nüfusu ile Merkez iken, en küçük ilçesi ise 6.898 kişilik nüfusu ile Samsat olarak kaydedilmiştir. Adıyaman ilinin yüzölçümü göller dahil 7.871 km²'dir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından açıklanan Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçlarına göre, Adıyaman **2025 yılı itibarıyla nüfus 611.037** olarak tespit edilmiştir.

Nüfusun **309.540'ı erkekler, 301.497'sini de kadınlar** oluşturmaktadır. Yüzdelik olarak ifade edilirse, nüfusun **%50,66'sı erkek ve %49,34'ü ise kadındır** (TÜİK, 2023).

Adıyaman ili yıllara göre nüfus değişimi Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Adıyaman ili yıllara göre nüfus değişimi (Kaynak: TÜİK, 2023)

YIL	ŞEHİR	KÖY	ŞEHİR	TOPLAM
2007	Adıyaman	253702	329060	582762
2008	Adıyaman	255102	329965	585067
2009	Adıyaman	249858	338617	588475
2010	Adıyaman	243699	347236	590935
2011	Adıyaman	237336	356595	593931
2012	Adıyaman	229880	365381	595261
2013	Adıyaman	224001	373183	597184
2014	Adıyaman	215080	382755	597835
2015	Adıyaman	209302	393472	602774
2016	Adıyaman	205782	404702	610484
2017	Adıyaman	201051	414025	615076
2018	Adıyaman	202624	421889	624513
2019	Adıyaman	194707	431758	626465
2020	Adıyaman	191294	441165	632459
2021	Adıyaman	184921	447227	632148
2022	Adıyaman	176891	458278	635169
2023	Adıyaman	189705	415273	604978

2023 yılındaki depremler sonrasında yapılan ilk ADNKS verilerine göre, yıllık il nüfusunun 30.191 kişi % -4,99 azaldığı tespit edilmiştir. Nüfusu en fazla kaybeden ilçe ise, 31.301 kişi % -9,90 ile Merkez ilçe olmuştur (Adıyaman İl Özel İdaresi, 2023).

Tablo 3.2. Adıyaman ili deprem sonrasında meydana gelen nüfus değişimi (Kaynak: TÜİK, 2023)

İlçe	Nüfus 2022	Nüfus 2023	Fark	NüfusArtışı %
Besni	77.180	76.415	-765	-1
Çelikhan	14.858	14.856	-2	-0,01
Gerger	15.711	15.679	-32	16476,8
Gölbaşı	50.324	47.876	-2.448	-4,99
Kahta	128.961	132.303	3.342	2,56
Merkez	316.140	284.839	31.301	-10,43
Samsat	6.673	6.898	225	3,32
Sincik	15.947	16.477	530	3,27
Tut	9.375	9.635	260	2,74
Adıyaman	635.169	604.978	-30.191	-4,99

3.2. Adıyaman İli'nin Coğrafi Yapısı

Adıyaman ili Orta Fırat alanında bulunmaktadır. Eski coğrafyacılar ve tarihçilere göre, güneydeki Arap Yarımadası ile kuzeydeki Toros Dağları arasında uzanan çöl kesiminin bittiği yerde, Torosların eteklerinde verimli araziler mevcuttur. Arap çöllerini kuzeyden saran bu verimli arazilere binlerce yıldır 'Bereketli Hilal' denir. Ortadoğu ülkelerinin ortasında bulunan 'Bereketli Hilal' topraklarında Asya, Avrupa ve Afrika'dan gelen ana kara yolları birbirini kesişmektedir. Tarih boyunca 'Bereketli Hilal' Bölgesi, ana ticaret yollarının buluşma noktalarında büyük ticaret ve sanayi şehirlerinin doğup geliştiği ve zamanla yok olduğu ya da yenilerinin kurulduğu bir yer olmuştur. 'Bereketli Hilal' bölgesinin bir parçası olan Orta Fırat Bölümü'ndeki Adıyaman kenti, bu bölgenin en üst sınırını oluşturmaktadır. Adıyaman ili, elverişli coğrafi yapısı sayesinde tarih boyunca insanların yaşamayı tercih ettiği bir yerleşme alanı olmuştur (Adıyaman İl Özel İdaresi, 2023).

Bitki örtüsü

Adıyaman, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri arasında bir bağlantı noktası olan bir ildir. Aynı zamanda Akdeniz Bölgesi'nin bazı özelliklerini de barındırmaktadır. Bu nedenle, bitki örtüsü de bu üç bölgenin karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. Yüksek rakımlardaki alanlar genellikle meşe ağaçları ile doluyken, su ve toprak erozyonu nedeniyle çıplak kalan araziler de bulunmaktadır. Yaz mevsimi uzun ve kurak geçtiği için orman içindeki bitki örtüsü neredeyse yok denecek kadar azdır. Tarıma elverişsiz olan yerler çayır, mera, yabani ağaçlar ve maki bitkileriyle kaplanmıştır. Rakım yükseldikçe ağaç türleri çeşitlenmekte ve bazı yerlerde meşelikler görülmektedir. Adıyaman'dadoğan, şahin, baykuş, keklik gibi yaban kuşları yanı sıra tavşan, tilki, çakal gibi yaban hayvanları da yaşam alanlarına sahiptir (Adıyaman İl Özel İdaresi, 2023).

İklim

Adıyaman'ı doğu ve batıya bölen Anti Torosların kuzey kesimindeki dağlık alanın iklimi, güneyindeki iklimden oldukça farklıdır. Güney kesim yaz aylarında sıcak ve kuru, kış döneminde ise ılıman ve yağışlıdır; kuzey kesimi ise yazın serin ve kuru, kışın ise soğuk ve yağışlı bir hava taşır. Doğu Anadolu ile Akdeniz Bölgeleri arasında bir köprü işlevi gören ilin iklimi, bu sebeple diğer illerden ayrılmaktadır.

Atatürk Baraj Gölü'nün oluşmasıyla birlikte, ilin ikliminde bir dengeleme ve nem artışı gözlemlenmiştir. İlde etkili olan rüzgarlar kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlerinden gelmektedir. Adıyaman il merkezi 37°45' kuzey enlemi ile 38°16' doğu boylamında

bulunmaktadır. Adıyaman'ın deniz seviyesinden yüksekliği 669 metredir. Kış aylarında Adıyaman'da sıcaklıklar genellikle sıfırın altına pek düşmez. Yılın en düşük sıcaklıkları -10°C ile -2°C arasında değişirken, bazı yıllarda sıcaklığın sıfırın üzerine çıkmadığı da görülmüştür. Kış aylarındaki minimum sıcaklık ortalamaları 0°C ile 10°C arasındadır.

Belirtilen değerler dış ortam sıcaklıklarını yansıtmamaktadır; dış ortamda sıcaklıklar genellikle bu değerlerden 2-8 derece daha düşük olmaktadır. Yaz aylarında sıcaklıklar genellikle 28-38 °C arasında değişirken, en yüksek sıcaklıklar 35-47 °C aralığında gözlemlenmektedir. Adıyaman'da günlük en düşük ve en yüksek sıcaklık arasındaki ortalama fark yaklaşık 10 °C civarındadır. Rüzgârlar genellikle hafif veya orta şiddette eserken, yılın 10-15 günü boyunca zaman zaman fırtına şeklinde etkili olabilmektedir. Hâkim rüzgâr yönü ise kuzey yönüdür (Adıyaman İl Özel İdaresi, 2023).

Akarsu bilgileri

Fırat Nehri, bölgenin en değerli su kaynağıdır. İlçenin diğer su akıntıları arasında Sofraz Çayı, Ziyaret Çayı, Çakal Çayı, Kalburcu Çayı, Eğri Çayı, Besni Akdere Çayı, Şepker Çayı, Çat Deresi, Gürlevik Deresi ve Halya Deresi bulunur. Ayrıca, Gölbaşı, İnekli, Azaplı ve Abdul harap gölleri de ilin ek su kaynaklarındandır.

Fırat Nehri: Bu nehir, ilin en kıymetli su kaynağıdır. Şanlıurfa'nın sınırını çizer. İl içerisindeki uzunluğu 180 kilometredir. Kâhta, Kalburcu ve Göksu Çayları, nehrin öne çıkan kollarındandır.

Kahta Çayı: Çelikhan bölgesindeki Bulam, Abdül harap ve Recep su kaynaklarını toplayarak Cendere Köprüsünden geçtikten sonra, Eski Kahta ve Alut Arazisinde biriken dağ suyunu da alarak Fırat Nehri'ne ulaşır (45,5 km).

Göksu Çayı: Kahramanmaraş ilinin sınırlarını terk eder. Erkenek, Tut ve Akdere etrafından akar. Sofraz suyunu aldıktan sonra Gümüşkaya'nın batısında Fırat Nehri'ne ulaşır. İl sınırları içerisindeki toplam uzunluğu 90 kilometredir.

Sofraz Çayı: Besni ilçesinin Toklu Köyü etrafından doğar. Hacı Halil Köyü civarından Keysun suyu' nu alarak Akdere yakınlarında Göksu Çayı ile birleşir. İl sınırları içerisinde uzunluğu 51 kilometredir.

Ziyaret Çayı: Cebel ve Zey Köylerinden doğarak İpekli Köyü etrafında Atatürk Barajı Göleti ile birleşir (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2023).

Dağ bilgileri

Kuzey bölgesi, Toros Dağları'nın uzantısı olan Malatya Dağları ile kaplanmıştır. Güney yöndeki alanlarda yükseklikler azalır ve tamamen ova özellikleri gösteren araziler yer almaya başlar. Çelikhan, Tut ve Gerger ilçelerinin büyük bir kısmı dağlık bir yapıya sahiptir.

Merkez, Besni ve Kahta ilçelerinin kuzey kesimleri dağlık yüzeylere sahipken, güney kesimleri ise ova görünümündedir. Samsat ilçesi, ilin en düz arazilerini barındırmaktadır. İlin öne çıkan dağları ve yükseklikleri aşağıda listelenmiştir (Adıyaman Valiliği, 2023).

Ova bilgileri

Güney bölgesine doğru ilerledikçe verimli tarım arazileri ortaya çıkar. Kahta, Samsat, Keysun ve Pınarbaşı ovaları, ilin öne çıkan ovalarındandır (Adıyaman Valiliği, 2023).

3.3. Adıyaman İli'nin Ekonomi Bilgileri

Adıyaman'ın ekonomisi, temel olarak tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Nüfusun yaklaşık %80'i tarım sektöründe çalışmaktadır. Bölgenin verimli toprakları, tarım faaliyetlerini desteklerken, bu alandaki modernleşme de giderek artmaktadır. Bağ ve bahçeler oldukça yaygındır; bölgede 25 farklı üzüm çeşidi yetiştirilmektedir. Bu çeşitler arasında en ünlüsü, Besni'de yetişen "Peygamber Üzümlü" dür. Bağcılık alanında önemli bir ilerleme kaydedilmiştir. Ayrıca, tütün ekimi de yapılmakta ve yüksek verim elde edilmektedir. Antepfıstığı ise bölgenin önemli bir gelir kaynağıdır. Genel olarak tarıma dayalı bir ekonomiye sahip olsa da son yıllarda tekstil, gıda ve mermer sektörlerinde sanayileşme eğilimleri gözlemlenmektedir. Adıyaman, maden kaynakları açısından da zengin bir potansiyele sahiptir; bu yer altı zenginlikleri arasında en önemlisi petrol olup, özel sektör yatırımlarıyla birlikte ülkemizin ham petrol üretiminin yaklaşık %20'si bu bölgede gerçekleştirilmektedir (TÜİK, 2023).

Sanayi

Adıyaman'da sanayi faaliyetleri, 1967 yılında faaliyete geçen devlet kuruluşu Sümerbank Pamuklu Sanayi İşletmesi ile başlamıştır. Bunu takiben, devlet destekli süt ve çimento fabrikalarının kurulmasıyla sanayi alanında belirli gelişmeler kaydedilmiştir. 1988

yılına kadar sanayileşmede kayda değer bir ilerleme sağlanamamışken, bu tarihten sonra Türkiye ekonomisindeki sanayileşme girişimleri ve sanayinin teşvik edilmesi ile birlikte yatırımların hız kazandığı görülmüştür. Özellikle yerel ihtiyaçlar doğrultusunda tarıma dayalı un ve tekstil fabrikalarının sayısında hızlı bir artış gerçekleşmiştir. Adıyaman sanayisi, çoğunluğu orta ve küçük ölçekli olmak üzere toplam 90 işletmeden oluşmaktadır. Bu işletmelerin büyük bir kısmı tarıma dayalı sanayi dallarında faaliyet göstermekte olup, toplam istihdam sayısı 5053 kişidir. Yani her bir işletmede ortalama olarak 56 işçi çalışmaktadır (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2023).

Ticaret

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin diğer illerinde olduğu gibi, Adıyaman'da da iç ticaret büyük ölçüde tarıma dayanmaktadır. Mevcut sanayi yapısı, tarımsal kaynak potansiyeline bağlı olarak gelişim göstermiştir. Şehirde, el sanatları kapsamında kilim, sava ve el dokuma halıları üretilmekte ve hem iç hem de dış pazarlarda satışa sunulmaktadır. Bunun yanı sıra, tarım ürünlerinin işlenmesiyle birlikte tekstil sektöründe iplik ve hazır giyim üretimi yapılmakta ve bu ürünler ihracatçı firmalara satılmaktadır. Ticaret sektörü, sanayi ve kentleşme süreçleriyle çift yönlü bir ilişki içinde olup, sağladığı gelir ve istihdam açısından ilin ekonomik yapısında önemli bir potansiyele sahiptir. Adıyaman'da yetiştirilen tarım ürünlerinden bazıları buğday, arpa, nohut, mercimek, pamuk, tütün, fıstık ve üzüm gibi ürünler yer almakta olup, bu ürünler yakınındaki illere satılmaktadır (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2023).

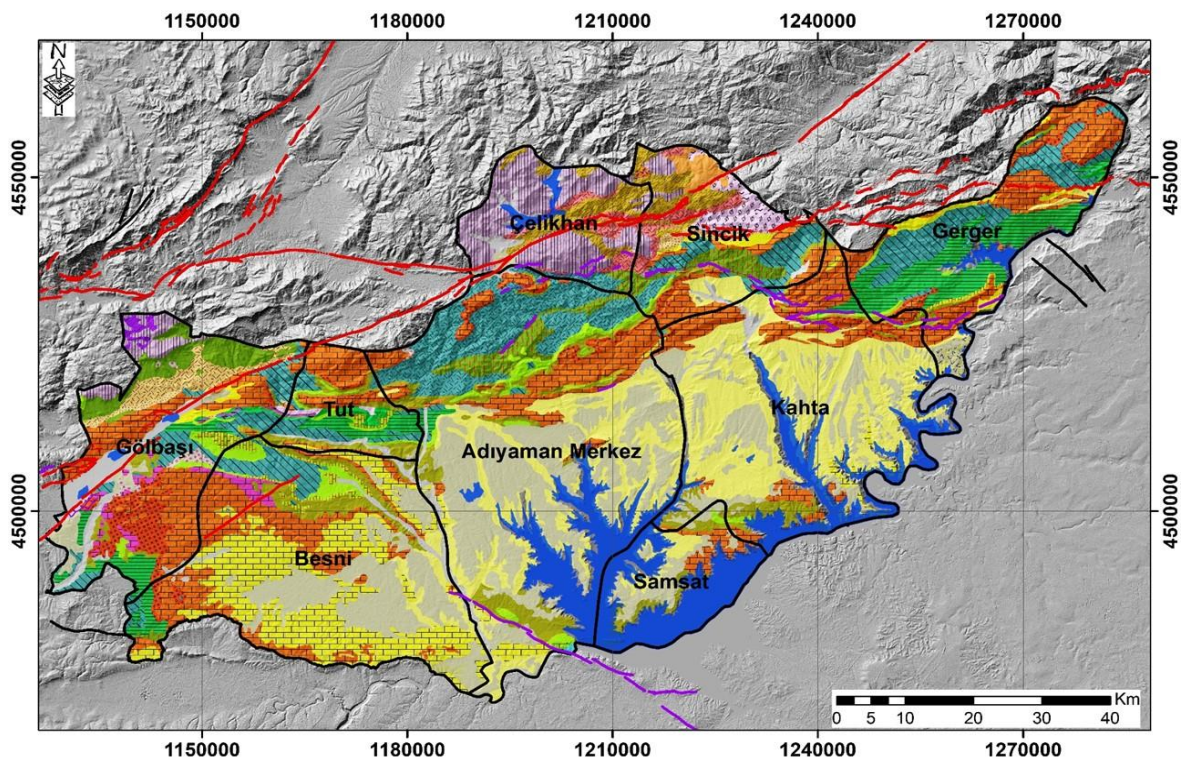
3.4. Adıyaman İli'nin Jeolojik Yapısı

Adıyaman, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde konumlanan bir ildir. Bu bölge, genel olarak üç temel tektonik kuşakla karakterize edilmektedir. İlin güney kesimi Arap Platformu üzerinde konumlanırken, bu platformun üzerine Ekay Zonu uzanmaktadır. Ekay Zonu, Arap Platformu üzerinde yer alan katmanların kuzey bölümünde kendini gösterir ve özellikle doğu-batı doğrultulu ters faylarla dolu yapılar içermektedir.

Arap Platformu, Paleozoyik dönemden Kuvaterner dönemine kadar uzanan değişik fasiyeslerde kalın çökel istifleri barındırır. Naplı alanlar, genellikle ofiyolitik kayaç gruplarını içermekte ve bu bölgelerde gözlemlenen metamorfik birlikler de bu zon ile ilişkilidir. Sincik ilçesinde, jeolojik birimler çoğunlukla naplardan oluşmaktadır.

Adıyaman'ın merkezi ve çevresi, Neojen yaşlı birikmiş sedimanter kayaçlarla Kuvaterner dönemine ait alüvyon birimlerinden oluşmaktadır. Aktif tektonik açıdan önemli bir konumda bulunan Adıyaman, Doğu Anadolu Fay Zonu'na ait Erkenek, Pazarcık ve Pütürge segmentleri ile bu segmentlerin sırasıyla 70, 63 ve 23 km uzunluğunda uzandığı alanlar içermektedir. Buna ek olarak, Güneydoğu Anadolu Bindirmesinin önemli bir parçası olan Gerger segmentinin 'lik bir bölümü ve Narince segmentinin tamamı Adıyaman il sınırları içerisinde bulunmaktadır (Emre vd., 2013).

Şekil 3.2'de Adıyaman ili jeoloji haritası gösterilmiştir.

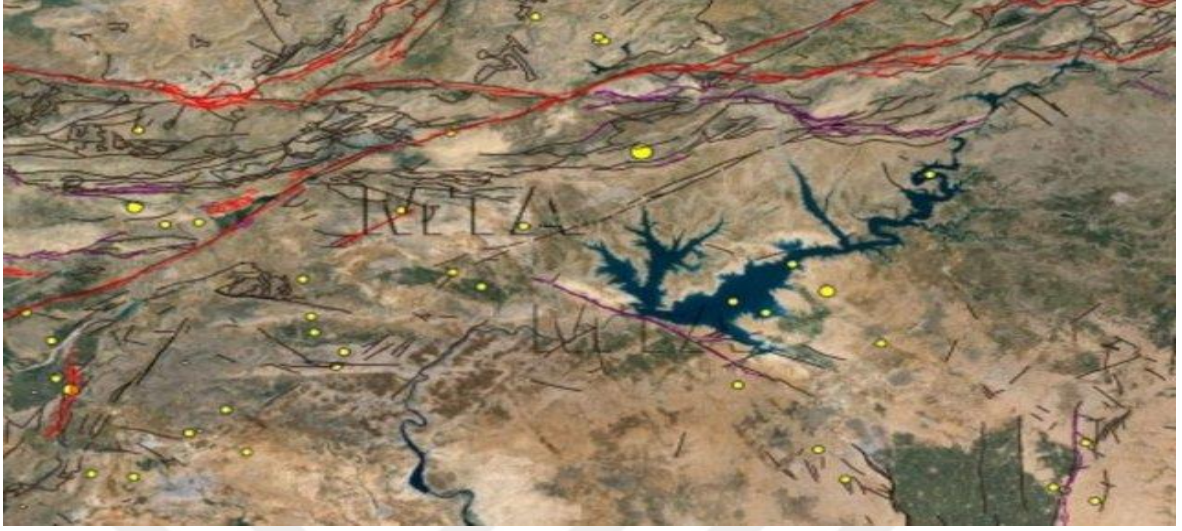


Şekil 3.2. Adıyaman ili jeoloji haritası (Kaynak: Emre vd., 2013)

3.5. Adıyaman İli'nin Depremsellik Durumu

Gölbaşı ilçesi (Adıyaman) ile Türkoğlu ilçesi (Kahramanmaraş) arasında uzanan ve yaklaşık uzunluğunda olduğu varsayılan bölüm, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin (DAFS) bir parçasını oluşturmaktadır. Bu kesim, Gölbaşı'nın doğu yönünde, Harmanlı Perveri ile Türkoğlu arasında bulunan ve genel doğrultusu olan paralel kırık hatlarından meydana gelmekte ve **Gölbaşı-Türkoğlu fayı** olarak isimlendirilmektedir. DAFS'in ana kolu, Erkenek'in kuzeydoğu bölgesinde etkinliğini yitirmesine karşın, Gölbaşı'nın doğusundaki Perveri bölgesinde tekrar aktif hale geçmektedir (Şaroğlu vd., 1987).

Şekil 3.3’de Adıyaman ili ve çevresindeki fayların konumu gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Adıyaman ili ve çevresindeki fayların konumu (Kaynak: MTA, 2023)

Adıyaman'da birinci derece deprem riski taşıyan ilçeler şunlardır: Yayla konak Belediyesi, Koçali, Kuyucak, Çelikhan, Gerger, Taraksu, Gölbaşı, Belören, Harmanlı, Bölük yayla, Damlacık, Sincik ve Tut (MTA, 2023).

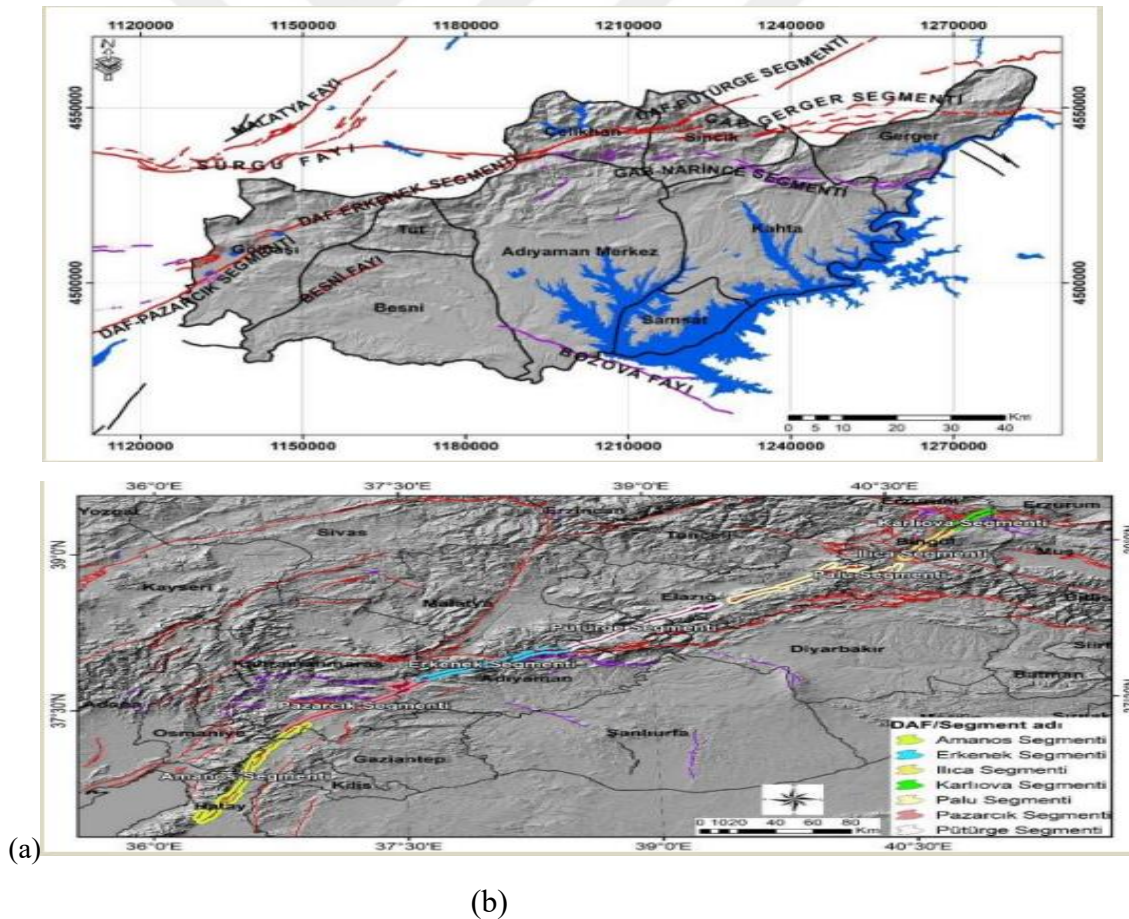
İkinci derece deprem riski bulunan ilçeler ise Akpınar, Bağ pınar, Adıyaman Merkez, Besni, Çakırhöyük, Kızılın, Suvarlı, Şambayat, Kahta, Akıncılar ve Samsat olarak sıralanmaktadır (MTA, 2023).

Şekil 3.4’te Adıyaman ili deprem bölgeleri haritası gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Adıyaman ili deprem bölgeleri haritası (Kaynak: (MTA, 2023)

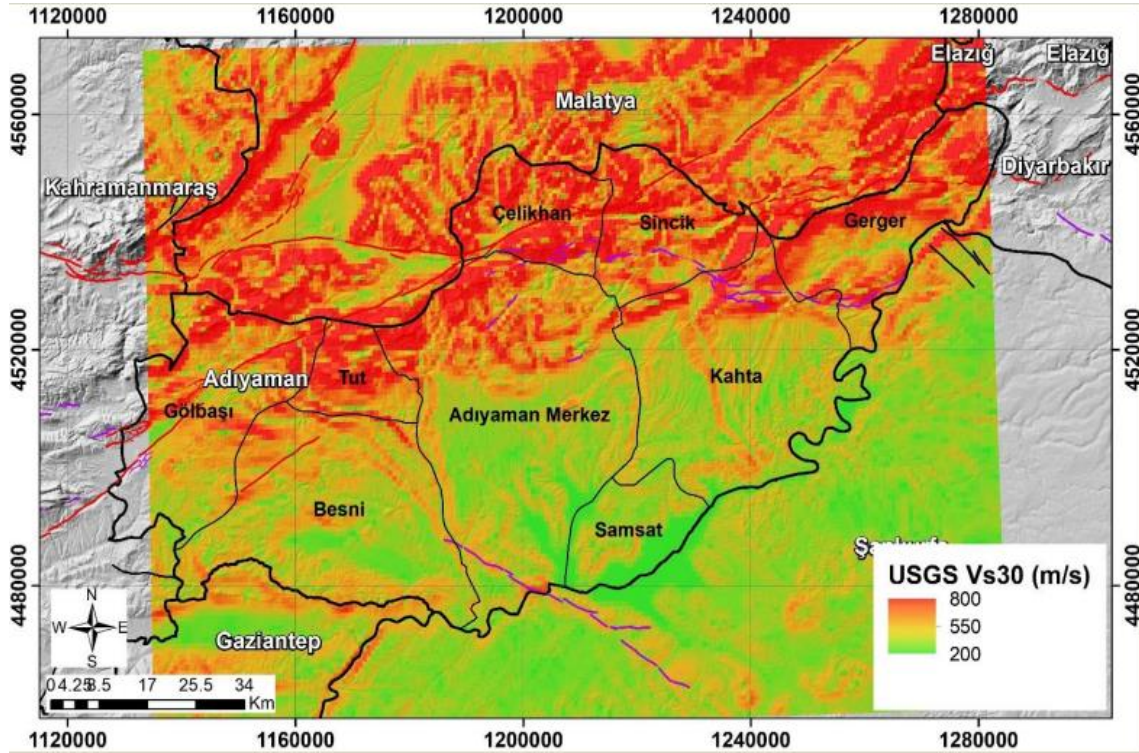
Adıyaman il sınırları dahilinde, bölgenin tektonik yapısını belirleyen birden fazla fay segmenti mevcuttur. Bunlar arasında Doğu Anadolu Fay Sistemi'ne (DAFS) ait Pazarcık, Erkenek ve Pütürge segmentleri ile Güneydoğu Anadolu Bindirmesi üzerinde yer alan Gerger ve Narince segmentleri öne çıkmaktadır. Ayrıca, Besni, Bozova ve Sürge Faylarının bazı kesimleri de bu sınırlar içinde bulunmaktadır (Bkz. Şekil 3.5.(a)). DAFS, Arabistan ve Anadolu plakaları arasındaki sınırı temsil eden, sol-yanal doğrultu atımlı bir karakter sergilemektedir; bu durum, bölgenin yüksek sismik riskini ortaya koyan en önemli özelliktir. Yaklaşık uzunluğa sahip olan bu fay zonu (Özkan, 1993), genel olarak doğu-batı yönünde uzanmaktadır. DAF, kuzeydoğu ucunda Karlıova bölgesinde Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF) ile ve güneybatıda Kahramanmaraş çevresinde Ölü Deniz Fayı (ÖDF) ile kesişim göstermektedir. Sol yanal atım sergileyen bu zon, Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos olmak üzere toplam yedi ana segmentten oluşur. (Şekil 3.5.(b)).



Şekil 3.5. Adıyaman ili çevresindeki aktif fay hatları (a) ve doğu anadolu fay hattı segmentleri (b) (Kaynak: Emre vd., 2013)

gösterilmiştir. Özellikle büyük yıkımların yaşandığı Gölbaşı ve çevresindeki zeminlerde, hızlarının ile aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Başarır vd., 2016).

Şekil 3.7’de Adıyaman ilinin kayma dalgası hızı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Adıyaman ili VS30 dağılımı (m/s) (Kaynak: Başarır vd., 2016)

Vs30 yeraltındaki katmanın dinamik olarak zeminin yerel sınıfının belirlenmesinde yardımcı olur. Zeminlerin sağlamlığı ve dayanıklılığını gösterir.

Vs30 180’den düşük olursa Ze sınıfına girer. 180-360 arası hızda ise Za sınıfına girer. Zemin sağlam sert kayaysa Vs30 değeri yani hızı 1500’ün üzerinde gösterir. Buna Za sınıfı zemin deriz. Kayma dalgası hızı (Vs): Zemin sınıflandırması, sıvılaşma potansiyeli, zemin döküm periyodu ve büyütme değerlerinin hesaplanmasında önemlidir.

4.DEPREMLER SONRASI ORTAYA ÇIKAN ATIKLAR VE YÖNETİMİ

Doğal afetler, toplumlar için sadece can kaybı riski oluşturmakla kalmaz; aynı zamanda önemli maddi, manevi ve çevresel zararlara yol açarak toplumsal işleyişin sekteye uğramasına neden olan doğal olaylardır. Her ne kadar her afetin kendine has yıkıcı etkileri olsa da Türkiye coğrafyasında en sık karşılaşılan ve en büyük tahribatı yaratan doğal afet türü depremdir. Bir sarsıntının büyüklüğü ve etkilediği bölgenin yapısal yoğunluğu, ortaya çıkan moloz ve katı atık hacminin, ilgili toplumun bir yılda ürettiği normal atık miktarını ciddi ölçüde aşmasına yol açabilir. Bu nedenle, deprem sonrasındaki iyileştirme süreçlerinde oluşan atıkların sınıflandırılması, ayrılması, geçici ve kalıcı depolama işlemlerinin yapılması ve yasal mevzuata uygun yöntemlerle nihai bertarafının sağlanması zorunludur. Ülkemizde deprem ve benzeri acil durumlar için özel bir atık yönetimi mevzuatı olmamasına rağmen, mevcut atık yönetmelikleri bu afet durumlarında da geçerliliğini sürdürmektedir. Dünya genelindeki temel yaklaşım, tüm canlıların ve çevrenin sağlığını güvence altına almak adına, deprem öncesinde detaylı bir atık yönetim planı hazırlanması ve bu planın afet anından hemen sonra hızlı ve özenli bir şekilde uygulamaya konulmasıdır.

Saat 04:17'de Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesinde merkez üssü bulunan ve 7,7 Mw büyüklüğünde olan sarsıntı, 6 Şubat tarihinde Türkiye'de meydana gelen depremlerin başlangıcını teşkil etmiştir. Ardından ise, Mw 7,6 büyüklüğündeki ikinci deprem, yine aynı ilçe olan Elbistan'da, saat 13:24'te gerçekleşmiştir. Bu depremler, yaklaşık 110.000 km²'lik bir alanı kapsayarak Kahramanmaraş, Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Adana, Adıyaman, Osmaniye, Hatay, Kilis, Malatya ve Elâzığ olmak üzere toplamda 11 şehri etkilemiştir. 2023 yılı Nisan ayı itibarıyla resmi verilere göre, bu afetten kaynaklanan can kaybı 54.000'in üzerinde olup, 230.000'den fazla bina ya yıkılmış ya da hasar görmüştür. Bu depremler, yirmi birinci yüzyılın en yıkıcı olayları arasında yer almaktadır. Afetin hemen ardından sağlık, ulaşım, iletişim, kanalizasyon, su, doğalgaz ve elektrik tedariki gibi temel kamu hizmetlerinde önemli aksamalar meydana gelmiştir. Yıkıcı nitelikteki depremler, yalnızca büyük can ve mal kaybına yol açmanın ötesinde, ekonomik, kültürel, psikolojik ve sosyolojik alanlarda yarattığı etkilerle uzun vadede yaşam standartlarını düşürmektedir. Depremi doğrudan neden olduğu can ve mal kaybı 'birincil zararlar' olarak nitelendirilirken, felaket sonrasında ortaya çıkan yüksek hacimli moloz ve atıklar ise 'ikincil zararlar' kategorisinde değerlendirilmektedir. Depremi büyüklüğü ve etkilenen alanın yapılaşma

durumu, ortaya çıkan enkaz ve katı atık hacimlerinin, söz konusu toplumun yıllık ürettiği toplam atık miktarını aşmasına yol açabilir (Brown, 2014).

Bu büyük miktardaki atıklar, depremin hemen ardından gerçekleştirilecek acil müdahale ve kurtarma çalışmalarını kısa vadede olumsuz etkileyebileceği gibi, uzun vadede halk sağlığı, canlı yaşamı ve çevre üzerinde ciddi tehditler oluşturabilir. Bu nedenle, depremin ardından yürütülecek iyileştirme sürecinin kritik bir boyutu, felaket sonrası oluşan atıkların yasal düzenlemelere uygun bir biçimde bertaraf edilmesidir. Bu doğrultuda, afet anında yetkili kurumların ve uzman personelin atması gereken adımlar; öncelikle ortaya çıkan atık miktarını doğru bir şekilde tahmin etmek, bu atıkları sınıflandırmak, geçici depolama sahalarında toplamak ve nihayetinde uygun bertaraf veya geri kazanım stratejilerini planlamaktan oluşmaktadır (Asari vd., 2013).

Çevre Koruma Ajansı'na göre (EPA, 2018), bir felaket neticesinde belirli bir bölgede oluşan katı, sıvı ve gaz fazındaki tüm atıklar 'afet atıkları' kapsamında tanımlanmaktadır. Afetlerin türüne bağlı olarak ortaya çıkan atıkların hacmi, içeriği ve potansiyel toksik etkileri farklılık gösterebildiğinden, her afet tipi için özel olarak uyarlanmış atık yönetimi stratejilerinin ve yönergelerinin geliştirilmesi bir gereklilik arz etmektedir (Asari vd., 2013).

Depremelerin ardından oluşan atık akışı, içerik, hacim ve fiziksel form açısından geniş bir çeşitlilik sergilemektedir. Dolayısıyla, bu atıkların sınıflandırma aşamasında; içeriklerin çevre ve canlı yaşamı üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından taşıdığı riskler ve geçici depolama veya nihai bertaraf süreçlerinde ortaya çıkabilecek zararlar detaylıca incelenmeli ve yönetim planları bu analizlere göre şekillendirilmelidir.

Deprem sonrası ortaya çıkan inşaat ve yıkım atıklarının yönetimi, afet öncesinde hassasiyetle planlanması ve afet sonrasında dikkatle uygulamaya konulması gereken yaşamsal bir süreçtir. Bu yönetim süreci başarıyla yürütüldüğünde, oluşan enkaz materyalleri yeniden inşa ve geri kazanım aşamalarında ekonomik değer oluşturmakta ve içeriklerine göre üç ana kategoriye ayrılmaktadır

1. Acil müdahale gerektiren atıklar,
2. Geri kazanılabilir atıklar,
3. Yeniden inşaat sürecinde kullanılabilecek atıkla (Saroğlu vd., 1987).

Deprem sonrasında oluşan atıklar, çeşitli malzeme türlerini içermektedir. Afet atıklarının bileşimi son derece geniştir ve bitki örtüsü kalıntılarını, toprak yığınlarını, araç

enkazlarını, hasarlı konutlardan kaynaklanan tehlikeli evsel atıkları (örneğin elektronik cihazlar, beyaz eşyalar ve mobilya), cam, plastik, metal, beton, demir, kiremit, tuğla ve ahşap gibi yapısal materyalleri içermektedir. Ayrıca altyapı sistemlerindeki (yollar, boru hatları vb.) bozulmalardan kaynaklanan atıklar ile endüstriyel veya toksik kimyasal materyaller de bu kapsamdadır; ne yazık ki, ölü insan ve hayvan kalıntıları da bu atık kütlesi içinde bulunmaktadır. Mevzuat terminolojisine bakıldığında ise, inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan materyaller 'inşaat atıkları' olarak nitelendirilirken; yapısal onarım, tadilat veya doğal afetler sonucunda oluşan materyaller 'yıkıntı atıkları' şeklinde adlandırılmaktadır (MTA, 2023).

İnşaat atıkları, evler, yapılar, köprüler, yollar ve benzeri altyapı ile üstyapıların inşası sırasında ortaya çıkan atıkları ifade etmektedir. Yıkıntı atıkları ise, bu yapıların onarım, yenileme veya yıkım süreçlerinde meydana gelen atıkları kapsamaktadır.

Yıkım ve inşaat atıkları, geniş bir materyal çeşitliliğine sahiptir ve moloz, beton, asfalt, çakıl, kum, tuğla, ahşap, seramik, doğal taşlar ve çatı malzemeleri gibi inorganik bileşenleri içermektedir. Bunlara ek olarak, hurda taşıtlar, elektrikli ve elektronik cihaz atıkları, metaller, cam, flüoresan lambalar, plastikler, yalıtım ürünleri ve halı kalıntıları gibi çeşitli malzemeler bulunur. Bu atıklar aynı zamanda insan sağlığına risk teşkil eden asbest ve kurşun gibi tehlikeli maddeleri de barındırabilir (Demir, 2009).

Yıkılan binalardan kaynaklanan bu atıklar, aynı zamanda evsel atıklar, tıbbi atıklar ve insan ile hayvan kalıntılarını da içerebilmektedir. Bu durum, tehlikeli kimyasallarla birleştiğinde, bu tür atıkları deprem bölgelerinde yönetilmesi gereken en kritik atık sınıfı hâline getirmektedir.

4.1. Depremlerde Ortaya Çıkan Atık Türleri

Evsel tehlikeli atıklar

Ciddi hasar gören veya tamamen yıkılan her bir konut, bağımsız bir birim olarak değerlendirildiğinde, içerisinde bozulmuş gıda maddeleri, ilaçlar, kişisel hijyen ürünleri (kozmetikler dahil) ve temizlik malzemeleri barındırması muhtemeldir. Özellikle bozunma sürecine giren organik materyaller (yiyecekler), mikroorganizmaların etkisiyle bozularak önemli bir sera gazı olan metanın (CH_4) atmosfere salınımına neden olmaktadır (Environmental Protection Agency (EPA), 2018).

Kişisel bakım ve kozmetik ürünleri, günümüzde doğal çevrelerdeki mikroplastik kirliliğin ana kaynakları arasında sayılmaktadır. Hemen hemen her evde bulunan diş

macunları, cilt temizleyiciler, duş jelleri, yüz/vücut peelingleri, ojeler ve göz farları gibi ürünlerin formülasyonunda, ölü cilt hücrelerini giderme işlevi gören eksfoliyant özellikli polietilen (PE), polipropilen (PP) ve diğer poliolefin türevi mikroplastik partiküllere rastlanmaktadır. Ayrıca bebek bezleri, ıslak mendiller ve yüz maskeleri gibi ürünlerde de polipropilen tespit edilmiştir (Duis ve Coors, 2016).

Biyolojik atıklar

Sağlık hizmeti sunan kuruluşlar, araştırma laboratuvarları, haneler ve iş yerleri gibi farklı bağımsız alanlarda bulunan çeşitli canlılara ait biyolojik maddeleri veya bu maddelerle etkileşime girmiş her türlü malzemeyi kapsamaktadır. Örneğin, hastane tesisleri, araştırma laboratuvarları ve veterinerlik klinikleri gibi kurumlarda kesici ve delici enstrüman (bistüri, enjektör, lam-lamel, petri kapları vb.) atıkları, patolojik materyaller (otopsi, cerrahi ve patoloji uygulamalarından çıkan organ, doku ve vücut sıvıları) ve tedavi süreçlerinde kullanılan maddeler (ilaçlar, sitotoksik kemoterapi ajanları, radyoaktif atıklar ve tıbbi cihazlar) bulunmaktadır. Bu alanlarda ayrıca, enfekte atıklar (biyolojik örnekler, besi yerleri, hücre kültürleri ve bunlarla temas etmiş sarf malzemeleri, pipet uçları, çarşaf ve pamuklar) da mevcuttur. Öte yandan, haneler ve işyerlerinde ise vücut sıvıları (kan, idrar ve dışkı) ile bu sıvılarla kontamine olmuş materyaller (çarşaf, petler ve tamponlar) ile karşılaşabilmektedir (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2017).

Boşaltım sistemleri aracılığıyla çevreye karışan farmasötik atıklar, bünyelerinde bulunan yüksek konsantrasyondaki etken bileşenler (antibiyotikler, analjezikler ve psikotropik ilaçlar gibi) sebebiyle önemli çevresel kirleticiler olarak kabul edilmektedir (Şengör vd., 2005).

Üretim ve tüketim döngülerinin sonucu olarak oluşan atık materyaller; enfeksiyon potansiyeli taşımaları, doğada uzun süreli kalıcılık göstermeleri veya biyolojik birikime eğilimli olmaları gibi karakteristik özelliklerinden dolayı çevresel kirleticiler olarak sınıflandırılmaktadır (Agamuthu ve Fauziah, 2011).

Elektronik atıklar

Konut, işyeri, okul ve diğer bağımsız yaşam alanlarında kullanılan geniş bir yelpazedeki cihazlar, bu atık grubunun kapsamına girmektedir. Kapsamındaki cihazlar arasında bilgisayarlar, mobil telefonlar, tabletler, büyük beyaz eşyalar (buzdolabı, fırın, bulaşık ve çamaşır makineleri), televizyonlar, piller, kablolar, küçük mutfak aletleri, arızalı

elektronik ekipmanlar, klima üniteleri, kombiler, güneş panelleri, çanak antenler ve uydu sistemleri sayılabilir. Bu ürünlerin büyük bir kısmı, dış yüzeylerinde plastik veya seramik malzemeler barındırır ve içerdikleri lityum, demir, bakır, alüminyum, kurşun, manganez, çinko, krom, nikel, cıva, kadmiyum ve arsenik gibi çevre ve insan sağlığı için zararlı elementler nedeniyle risk taşımaktadır (Çakiroğulları ve Seçer, 2011).

Araç enkazları

Daha önce bahsedilen elektronik atıkların yanı sıra; kurşun-asit bataryalar, yağ ve motor sistemlerinden kaynaklanan zararlı bileşenler, asit atıkları, petrol türevleri, çeşitli plastikler ve metal parçalar da bu gruba dâhil edilmektedir. Bu tür atıkların, toprak ve su kaynaklarını kontamine etmesini engellemek amacıyla, diğer hurda materyallerden hassasiyetle ayrıştırılması ve yürürlükteki ilgili mevzuatlar doğrultusunda bertaraf edilmesi zorunludur.

Bina ve altyapı yıkıntıları

Altyapı yapıları (boru hatları ve karayolları gibi), depremle oluşan toplam atık yükünde büyük bir paya sahiptir. Bu atıkların temizlenmesi hem maliyet hem de lojistik açıdan (iş gücü ve ekipman gereksinimi) en yoğun çabayı gerektiren süreçlerdendir. Ayrıca, bina yıkıntılarından kaynaklanan enkaz içinde, yüksek çevresel risk taşıyan asbest türleri bulunmaktadır. Asbest, kimyasallara, ısıya ve aşınmaya karşı dirençli olması nedeniyle inşaat ve tekstil endüstrilerinde geniş kullanım alanı bulmuş olan lifli bir mineraldir (Güneş vd., 2017).

Sağlık riskine yol açan bileşenler sadece asbestle sınırlı değildir; arsenik ile işlenmiş ahşaplar ve organik kirletici kimyasallar da tehlike arz etmektedir. Bu durumun yanı sıra, meydana gelen sismik aktiviteler, yüzlerce kilometrelik kanalizasyon sistemleri, su temin yapıları ve diğer yer altı boru hatları üzerinde yıkıcı etkiye sahip olabilmektedir (Environmental Protection Agency (EPA), 2018).

Geri dönüştürülebilir atıklar

Geri kazanım için uygun malzemeler, konutlar, bağımsız ticari birimler ve araçlar gibi farklı kaynaklardan temin edilmektedir. Geri dönüştürülebilir atıkların içeriği; plastikler, cam ve seramik, ambalaj materyalleri, kâğıt atıkları, bazı metal fraksiyonları ve inşaat ve yıkıntı materyallerinden oluşmaktadır. Daha önce belirtilen bu atık kategorilerinin

çoğu geri dönüştürülebilir nitelik taşımakta olmakla birlikte, her atığın geri dönüştürülmesi mümkün veya uygun değildir. Bazı atıkların doğrudan imha edilmesi gerekirken, bazıları geri dönüşüm süreçlerine dahil edilebilmektedir; bu nedenle, atık yönetiminde bu ayrımın özellikle vurgulanması önem arz etmektedir.

Bu kapsamda, evsel plastik atıklar grubuna dâhil olan ev eşyaları ile çeşitli tüketim materyallerinin (temizlik malzemeleri, kozmetik ürünleri, ambalajlı gıdalar vb.) ambalajlarında kullanılan plastik türleri, geri dönüştürülebilir potansiyel taşımaktadır. Ancak plastiklerin gündelik hayatta geniş bir kullanım alanına sahip olması ve farklı çevresel koşullara karşı sergiledikleri yüksek dayanıklılık, bu materyallerin kalıcı çevresel kirleticiler olarak nitelendirilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu özellik, çevre kirliliğiyle mücadelede atılacak adımların kritik önemini vurgulamaktadır (Duis ve Coors, 2016).

Biyolojik atık kategorisi incelendiğinde, sağlık hizmetlerinde birçok plastik ve naylon malzemenin kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan ürünlerin büyük bir kısmının dış kaplamaları, geri dönüştürülebilir malzemelerden oluşmaktadır (Ulucan vd., 2022).

Plastiklerin sayısı ve çeşitliliği ile bu malzemenin dayanıklılığı dikkate alındığında, enkazlardan geri kazanılabilecek malzemeler arasında beton atıklarının ardından en fazla yer kaplayan unsurun plastik olduğu görülmektedir. Ayrıca, hasar görmüş yapılar içerisindeki beton, çakıl, kırma taş ve metal gibi materyaller, gelecekte yeniden kullanım amacıyla geri dönüştürülebilir. Bu strateji, sarsıntılar nedeniyle yıkılan yapıların yeniden inşa edilmesi sürecindeki maliyetleri minimize etmenin yanı sıra, çevresel kirliliğin önlenmesine de ciddi katkılar sağlayacaktır. Ancak bu faydaların yanında, geri kazanılabilir inşaat malzemelerinin bünyelerinde asbest bulunabilme potansiyelinin göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Tarımsal ve endüstriyel atıklar

Tarım faaliyetleri sırasında ortaya çıkan depolama alanları ve kimyasal hammadde üretimi, endüstriyel depolama tesislerinden kaynaklanmaktadır. Bu tür atıklar incelendiğinde, tarımda kullanılan pestisitler, gübreler ve benzeri maddelerin sağlık üzerinde olumsuz etkiler oluşturma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle, bu maddelerin güvenli bir biçimde ayrıştırılması ve bertaraf edilmesi zorunludur. Çevresel kirleticiler olarak pestisitler, vücutta birikme potansiyeli taşımakta, toprak tabakasına süzülme ve tarımsal faaliyetler aracılığıyla besin zincirine geçebilmektedir. Hem akut hem de kronik maruziyetler, sinir sistemini etkilemesi muhtemel olan ve çeşitli sağlık problemlerine neden olabilecek uzun süreli etkiler yaratma riski taşımaktadır. Bu bağlamda,

depremler sırasında çevreye yayılan maddelerin sızması veya enkazın yeterince temizlenememesi, bu bileşenlerin toprak, hava ve suya karışarak yerel canlılar ve ekosistem üzerinde kalıcı zararlar yaratmasına yol açabilmektedir.

Tarım alanlarının yanı sıra, fabrikalar, üretim ve depolama tesisleri de depremlerden etkilenebilecek önemli birimlerdir. Söz konusu alanlar; boya bileşikler, mobilya üretim kimyasalları, uçucu bileşikler, yanıcı ve aşındırıcı (korozif) materyaller, alev geciktirici kimyasallar ile çevreye ve insan sağlığına zarar verebilecek diğer tehlikeli kimyasal maddeleri barındırmaktadır. Bu nedenle, bu tür tesisler için kapsamlı önlemler almak büyük önem taşımaktadır (Kahn vd., 2020).

4.2. Hafriyat Atıklarının Yeniden Kullanım/Geri Dönüşüm/Geri Kazanım

Türkiye'de kalkınma, sanayileşme ve kentleşme eğilimlerine paralel olarak, inşaat ve yapılaşma faaliyetleri yoğun bir ivmeyle devam etmektedir. Bu süreçte, binaların, konutların, köprülerin, yolların ve benzeri altyapı ve üstyapıların inşası ile mevcut yapıların onarımı, tadilatı, yenilenmesi ve yıkımı gerçekleştirilmektedir. Özellikle depremler gibi doğal afetlerin ardından yapılar yıkıldığında, önemli miktarda inşaat ve yıkım atığı ortaya çıkmaktadır. Bu tür atıkların kontrolsüz bir biçimde doğaya bırakılması hem çevre kirliliğine yol açmakta hem de insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmaktadır.

Teknolojinin gelişmesi ve sanayinin yaygınlaşması ile birlikte, hızla artan şehirleşme ve nüfus yoğunluğu hem ülkemizde hem de dünyada insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki baskısını önemli ölçüde artırmaktadır. İnsan ihtiyaçlarının sınırsız bir biçimde ve teknolojik olanaklarla daha yüksek seviyelerde karşılanması, doğal kaynakların aşırı şekilde tüketilmesine ve bunun sonucunda üretilen her ürünün atık hâline gelmesine yol açmaktadır. Söz konusu durum, çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi risklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Sayıştay Başkanlığı, 2007).

İnşaat faaliyetlerinden kaynaklanan atık materyaller, genel itibarıyla dört ana sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma sistemi ve her kategoriye dâhil olan atık türleri, Tablo 'de gösterildiği gibidir (Ölmez ve Yıldız, 2008).

Tablo 4.1. *İnşaat ve yıkıntı atıklarının sınıflandırılmasına yönelik kategoriler (Kaynak: (Ölmez ve Yıldız, 2008))*

Kategori	Atık Türü
Yol yapımı ve bakımında kullanılan malzemeleri	Asfalt, beton, örtü toprağı
Kazı yapımında	Toprak, taş, mıcır
Bina Yıkım sonucu atıklar	İlgili atık türleri, başlıca beton, karışık moloz (agrega), çelik, tuğla, demir ve ahşap malzemelerden (kereste) oluşmaktadır.
Yapı revizyonu sonucu	İlgili atık türleri; ahşap, çatı kaplaması, borular, halılar, plastik, cam, metal ve izolasyon malzemesi gibi çeşitli materyalleri kapsamaktadır.

Yürütölen ulusal ve uluslararası araştırmaların değeriendirilmesi sonucunda, tehlikeli maddelerle kontaminasyon riski taşımayan ve atık kodları ile başlayan tüm inşaat ve yıkıntı atıklarının yeniden değeriendirilme (geri kazanım) potansiyeline sahip olduğı tespit edilmiştir. Bu kaynakların yeniden kullanımı sayesinde hem doğal kaynaklar korunacak hem de depolama maliyetlerinden tasarruf sağlanacaktır (MAM, 2015).

İnşaat ve yıkıntı atıklarının yönetimi, tüm atık akışlarında zorunlu olan hiyerarşik bir sıralamaya tabidir. Bu yapı, kaynakların verimli kullanımı hedefiyle atık azaltma, yeniden kullanma, geri dönüştürme, enerji veya diğeri şekillerde geri kazanma ve düzenli depolama ile nihai bertaraf aşamalarını kapsamaktadır. Çoğı gelişmiş ölkede, atıkların azaltılması, yeniden kullanımı ve geri dönüşümü alanında önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Ölkemizde ise bu tür atıkların yönetimine ilişkin çalışmalar daha yeni bir aşamadır (Ölmez ve Yıldız, 2008).

Yeniden kullanım potansiyeli taşıyan veya geri dönüştürülebilir nitelikteki bazı malzemeler ile bu materyallerin potansiyel kullanım alanları Tablo '4.2'de sunulmuştur.

Tablo 4.2. İkincil hammadde olarak değerlendirilebilecek malzemelerin uygulama sahaları
(Kaynak: MAM,2015)

Geri Kazanılabilir Malzeme	Yeniden Kullanım Alanı
Asfalt	• Parçalanma ve kırma işlemlerinden sonra, malzemenin asfalt karışımlarında agrega olarak kullanımı, • Yaya ve taşıt trafiğine açık alanlarda (kaldırımlar, asfalt ve beton yollar) zemin altı ve temel malzeme olarak kullanımı.
Beton	• Materyalin, yeni beton karışımlarında ana agrega bileşeni olarak kullanımı, • Yaya yolları, kaldırımlar, asfalt ve beton kaplamalı yolların inşasında temel tabaka materyali olarak kullanılması.
Ahşap, tahta	• Malzemenin temizlenip metal çivilerden temizlenmesinin ardından, diğer inşaat uygulamalarında yapısal kereste olarak tekrar değerlendirilmesi
Tuğla	• Yapısal veya çevresel dolgu amaçlı değerlendirilmesi. • Yeniden işleme tabi tutularak yeni tuğla üretimine katkı sağlaması.
İletken Metaller	• Dünya çapında en sık geri kazanılan ve en yüksek ekonomik getiriye sahip malzemelerden biri çeliktir. Çelik üretiminde hurda kullanımı, cevher bazlı üretime göre %90 düzeyinde önemli bir enerji tasarrufu sağlamaktadır.
İletken Olmayan Metaller	• Bu metaller (çinko, bakır ve alüminyum), ergitme (eritme) yoluyla geri kazanılarak yeni üretim aşamalarında hammadde olarak kullanılabilir.
Plastik	• Söz konusu polimerler (PE, PP, PVC), yıkama ve türlerine göre ayrıştırma (sınıflandırma) işlemlerinin tamamlanmasının ardından geri dönüştürülebilir.
Alçı Levhalar	• Yeni alçı taşı levha (alçıpan) imalatında hammadde olarak kullanılması.

Global ölçekte, inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşümü ve yeniden kullanımına yönelik farkındalık ile birlikte uygulamalar, son yıllarda kayda değer bir artış sergilemiştir (Arslan, 2012).

Tablo 4.3'te görüldüğü üzere, atıkların yeniden değerlendirilmesi veya geri kazanımı yalnızca doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda yeni malzeme üretimi, satın alma ve taşıma maliyetlerinin azalmasına da yardımcı olmaktadır. Bu durum, inşaat maliyetlerinin düşmesine doğrudan etki etmektedir.

Tablo 4.3. Avrupa genelindeki ülkelerin ürettiği inşaat ve yıkıntı atığı hacimleri (Kaynak: MAM, 2015)

Ülkeler	İYA Oluşumu (Milyon ton/yıl)	Tekrar Kullanma/Geri Kazanım Oranı (%)
Almanya	72,4	86
Avusturya	6,6	60
Belçika	11,02	68
Fransa	85,65	45
Hollanda	23,9	98
Macaristan	10,12	16
İngiltere	99,1	75

V*(veri yok)

Entegre atık yönetiminin etkinliğini artırma ve doğal kaynak kullanımını azaltma hedefiyle, atıklardan geri kazanılan materyallerin **ikincil hammadde** olarak teşvik edilmesi yüksek önceliklidir. Bu bağlamda, yapım faaliyetlerinde değerlendirilecek katı atıkların içindeki geri dönüştürülebilir bileşenlerin ayrıştırılması zorunludur. İnşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşümünü optimize etmek için, uluslararası iyi uygulama örneklerine benzer şekilde, malzemelerin kaynakta ayrıştırılması ve temiz bir akışla geri dönüşüm endüstrisine aktarımı şarttır. Bu ayrıştırma sürecinin başarılı bir şekilde yürütülmesi için, binaların yıkım evresinde **seçici yıkım** yaklaşımının uygulanması gerekmektedir (Seçici Yıkım Planı Usul ve Esasları, 2023).

Örneğin, Hollanda, geri dönüşüm ve yeniden kullanım oranı yaklaşık %90'a ulaşarak bu alanda dünyada ilk sırada yer almaktadır (MAM, 2015).

Yıkımı onaylanmış yapılarda, geri dönüştürülecek malzemelerin sökümü öncelikli olarak gerçekleştirilir ve bu malzemeler ayrı ayrı depolanır. Söküm işlemi sırasında öncelikli

olarak hedeflenen ana malzeme grupları aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır (<http://makinamarket.com.tr>).

- Kiremit, şingil ve sac levha gibi çeşitli çatı kaplama bileşenleri ve bunlarla ilişkili çatı profilleri,
- Bitümlü çatı örtüleri ve yalıtım (izolasyon) malzemeleri (cam yünü ve taş yünü benzeri ürünler dâhil),
- Yapısal bileşenler olan kapılar, pencereler ve cam unsurlar,
- Mutfak ve banyolara ait depolama üniteleri (dolaplar),
- Zemin kaplama materyalleri (halı, parke, PVC esaslı döşemeler vb. dâhil),
- Isıtma sistemlerine ait petekler, musluklar, lavabolar ve benzeri diğer tesisat elemanları,
- Pano ve kablolar gibi enerji dağıtımına yönelik elektrik donanımları

Yapılan gözlemlere göre, Türkiye'deki yapıların büyük çoğunluğu (%90 civarı) betonarme sistemle inşa edilmiştir. Bu yapılar genellikle çimento/alçı sıvalı tuğla duvarlar, ahşap/PVC kapı-pencere sistemleri ve seramik/mozaik zemin kaplamaları ile karakterize edilir. Tesisat sistemlerinin (elektrik ve su) duvar ve zemin içine gömülü olması, yapıların yıkım sırasında ayrıştırılmasını teknik olarak güçleştirmektedir. Türkiye'nin yüksek deprem riski taşıması ve plansız kentleşmenin hızla yayılması, belediyeleri zorunlu olarak kentsel dönüşüm projeleri hazırlamaya yönlendirmiştir (Önal, 2009).

Ülkemizde yıkım faaliyetleri, yapı yıkım firmaları, hurda toplayıcıları ve ikinci el malzeme sağlayıcıları tarafından yürütülmektedir. Bu aktörler, yıkımdan önce yapının ana strüktürüne zarar vermeden, geri kazanılabilir nitelikteki bileşenleri hassasiyetle ayırmakta ve bu malzemeleri ticari amaçla ikinci el ürün olarak piyasaya sürmektedir (Önal, 2009).

Yıkım müteahhitleri tarafından moloz haline getirilen İYA, bir kısmı belediyelerce belirlenen dolgu alanlarında bertaraf edilirken, büyük bir kısmı ne yazık ki dere yatakları, kıyı şeritleri ve boş araziler gibi izinsiz yerlere kontrolsüzce bırakılmaktadır.

İnşaat ve yıkıntı atıklarının geçmişten günümüze biriken stokunun, çevresel ve halk sağlığı risklerinden arındırılarak ekonomik döngüye kazandırılması, atık miktarını düşürmede etkili olacaktır. Ayrıca bu durum, kent merkezlerindeki depolama sahaları üzerindeki baskıyı azaltırken, kentsel dönüşüm projelerinin sürdürülebilirlik prensiplerine uygun bir zemin oluşturacaktır (MAM, 2015).

25406 sayılı Resmî Gazete 'de 18 Mart 2004 tarihinde yayımlanarak yürürlüğe giren 'Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, toplanan

inşaat ve yıkıntı atıklarının öncelikle altyapı projelerinde değerlendirilmesi bir zorunluluk olarak belirlenmiştir. Bu yönetmelik hükümleri dâhilinde:

- Kaynakların korunması ve atık miktarının azaltılması gibi çevresel hedeflere ulaşmakla birlikte, sürdürülebilir üretimi teşvik etmek ve ekonomik fayda sağlamak amacıyla, inşaat ve yıkıntı atıklarının geri kazanımı kritik bir önem taşımaktadır.

- İnşaat ve yıkıntı atıkları ile hafriyat toprağının yönetimine yönelik stratejiler; atık miktarını kaynağında düşürmeyi, sınıflandırılmış (ayrı) toplamayı, yeniden kullanımı ve geri kazanım faaliyetlerini öncelikli kılmaktadır.

- Hafriyat süreçlerinde organik katman (humuslu toprak) ayrı biriktirilmelidir. Bu materyal, peyzaj düzenlemelerinde (park ve bahçeler) kullanılmak üzere değerlendirilecek olup, kesinlikle nihai bertaraf sahalarına (depolama alanları) yönlendirilmeyecektir.

- Bitkisel üst katmanın dışında kalan hafriyat toprağı; öncelikle dolgu faaliyetleri, rekreasyon sahalarının düzenlenmesi, katı atık depolama tesislerinin günlük örtü malzemesi temini ve benzeri amaçlarla değerlendirilmelidir. Geri kullanıma elverişli olmayan atık fraksiyonları ise, ancak bu aşamadan sonra depolama yoluyla bertaraf edilecektir.

- Geri kazanım potansiyeli bulunmayan inşaat ve yıkıntı atıkları, gerekli boyut küçültme ve ayrıştırma süreçleri tamamlandıktan sonra, 'Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde tanımlanan hükümler doğrultusunda, katı atık düzenli depolama sahalarında günlük örtü materyali olarak değerlendirilebilir.

- İkincil malzeme olarak geri kazanılan asfalt atıklarının temel kullanım alanları; asfalt imalat tesislerinde girdi materyali olarak değerlendirilmesi veya trafik hacmi düşük olan yolların dolgu tabakalarında kullanılmasıdır (Tchobanoglous, 1993).

4.3. Katı Atıkların Bertaraf Yöntemleri

Katı atıklar ister kaynağında ayrıştırılmış ister karışık olarak toplanmış olsun, özelliklerine göre farklı bertaraf yöntemlerine tabi tutulmalıdır. Takip eden kısımda, entegre katı atık yönetim sistemlerinde uygulanan değerlendirme ve nihai bertaraf teknolojilerine yönelik bilgiler sunulmaktadır (Tchobanoglous, 1993).

- 1) Atığın Kaynağında Azaltılması ve Geri Kazanımı
- 2) Yakma işlemi
- 3) Termal Gazifikasyon
- 4) Kompostlaştırma
- 5) Vahşi depolama

6) Düzenli depolama

4.3.1 Kaynakta azaltma ve geri kazanma

Söz konusu yaklaşımın temel hedefi, atık oluşumunu en aza indirmektir. Bu azalma, tüketilen malzeme hacminin düşürülmesi ile sağlanır. Bu metodun ana unsurları arasında; ambalaj malzemesi kullanımını minimize etmek, geri dönüştürülebilir bileşenlerin miktarını yükseltmek ve tek kullanımlık ürünler yerine yeniden kullanılabilir seçenekleri teşvik etmek bulunmaktadır. İlgili sektörler ve kamuoyunun bilinçlendirilmesi sonucunda, kişi başına düşen atık miktarında %25'e varan bir düşüş elde edilmesi beklenmektedir.

4.3.2. Yakma

Toplanan katı atıkların özel tesislerde yakılması, atık hacmini düşürmeye yönelik bir yöntemdir. Bu sistem, yüksek hacim ve ağırlık azaltma kapasitesi sayesinde; özellikle depolama zorluklarının yaşandığı bölgelerde, nihai ürünün stabilizasyonunun zorunlu olduğu hastane atıkları gibi atık türlerinde ve yüksek ısı değere sahip atıklardan enerji geri kazanımı sağlanabildiği durumlarda tercih edilir. Yakma işlemi neticesinde atıkların hacminde yaklaşık %70 ila %80 oranında bir küçülme sağlanabilir. Ancak, katı atıkların yakma yöntemiyle bertarafının ekonomik olarak sürdürülebilir olması için, atıkların yakmaya elverişli olması ve ek yakıt ihtiyacının olmaması esastır.

Termal bertaraf (yakma) yönteminin uygulanması esnasında çevreye olası zararları engellemek ve hava kirliliğini önlemek amacıyla özel çevresel önlemler alınması gerekmektedir. İşlem sonucu oluşan küllerin uzaklaştırılması sırasında ise, içerdikleri toksik potansiyel dikkate alınarak özel hassas tedbirlerin geliştirilmesi zorunludur. Ayrıca, yakma reaksiyonlarından sonra geriye kalan inorganik atıkların nihai bertarafı için düzenli depolama süreçlerinin oluşturulması gerekmektedir

4.3.3. Termal gazifikasyon

Organik atıkların yüksek ısı ve oksijenli koşullar altında sentez gazına dönüştürülmesine termal gazifikasyon adı verilir. Üretilen bu gazın ana bileşenleri hidrojen (H_2) ve karbon monoksit (CO) iken, kalan kısım metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) ve diğer gazlardan meydana gelmektedir. Termal gazifikasyon, piroliz, konvansiyonel gazifikasyon ve plazma gazifikasyonu şeklinde üç ana teknoloji altında sınıflandırılabilir

Geleneksel yakma tekniklerinin aksine, gazifikasyon farklı bir süreç sunar. Yakma reaksiyonları sonucunda karbondioksit (CO₂) ve su buharının yanı sıra dioksin ve furan gibi toksik bileşikler oluşabilmektedir. Buna karşılık, termal gazifikasyon prosesleri, dioksin ve furan emisyonlarını önemli ölçüde minimize etme avantajına sahiptir. Dioksin ve furan, temel olarak karbon ve oksijen atomlarından oluşan moleküllerdir. Bu bileşenlerle ilgili araştırmalar genellikle klorlanmış türler arasında yer alan **poliklor dibenzo-diyoksin (PCDD)** ve **poliklor dibenzo-furan (PCDF)** bileşenlerine odaklanmaktadır.

Yapılan bilimsel çalışmaların sonuçları, 75 adet PCDD ve 135 adet PCDF türünün tanımlandığını göstermektedir. Dioksin ve furanların toksik özellikleri, klor ve brom gibi halojenleri içeren kimyasal reaksiyonlar sonucunda artmaktadır.

Gazifikasyon sürecinden elde edilen gazlar, metanol üretimi ve elektrik enerjisi elde etme gibi iki temel alanda değerlendirilebilmektedir. Gazifikasyonun ikincil ürünleri sayılan kül, cüruf ve eriyik atıklar ise, geri kazanım potansiyeli yüksek materyaller olarak kabul edilmektedir (Toraman ve Topal, 2003).

4.3.4. Kompostlaştırma

Organik atıkların (yiyecek artıkları, selüloz, meyve ve sebze atıkları, bahçe kalıntıları) biyokimyasal işlemlerle stabilize edilmiş ve mineralleşmiş, toprağa benzer bir maddeye dönüştürülme sürecine kompostlama denilmektedir.

4.3.5. Vahşi depolama

Vahşi depolama, atıkların açık alanlara rastgele bırakılması anlamına gelmektedir. Türkiye’de yaygın olarak uygulanan bu yöntem, çöplerin hiçbir önlem alınmadan belirli alanlara boşaltılmasını içermektedir. Bu kontrolsüz bertaraf yöntemi çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Atıklar geniş alanlara yayılarak çevre kirliliğine ve görsel açıdan olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ayrıca, rüzgârın etkisiyle çöp sahalarında toz bulutları oluşmakta ve bu durum, açığa çıkan gazlarla birleşerek hava kirliliğine katkıda bulunmaktadır.

Atıkların organik kısımları, mikroorganizmalar tarafından parçalanarak metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂) içeren depo gazlarının oluşmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, bu gaz karışımlarının bileşenlerinde bulunan ağır hidrokarbonlar, etilmerkaptan (C₂ H₅SH), karbon monoksit (CO), hidrojen (H₂) ve hidrojen sülfür (H₂S) gibi bileşikler de zararlı çevresel etkilere sebep olmaktadır. Düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntı suları ise, yeraltı ve yüzey su kaynaklarına karışarak bu kaynakların kirlenmesine yol açan önemli

bir faktördür. Düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntı suları ise, yeraltı ve yüzey su kaynaklarına karışarak bu kaynakların kirlenmesine yol açan önemli bir faktördür. Bunun yanı sıra, vahşi depolama alanları fareler, sinekler ve diğer zararlı canlılar için uygun yaşam ve üreme ortamı sağlamaktadır; bu durum, kuşlar ve diğer hayvanlar aracılığıyla bulaşıcı hastalıkların yayılmasına katkıda bulunmaktadır (Bayer, 2005).

4.3.6. Düzenli depolama

Şehirlerde evsel atıkların yönetimi ve nihai bertarafı, belediyelerin karşılaştığı temel çevre sorunlarından biridir. Bertaraf için çeşitli teknolojiler olmasına karşın, gelişmekte olan ülkelerde maliyet etkinlikleri sebebiyle düzenli depolama sahaları öncelikli olarak kullanılmaktadır. Bu depolama metodu, atıkların sızdırmazlık katmanı bulunan sahalarla yerleştirilmesini, hacim azaltma amacıyla sıkıştırılmasını ve belirlenen aralıklarla yüzeylerinin örtülmesini içermektedir. Bununla birlikte, depolama yöntemleri esnasında organik atıkların ayrışması ve yağmur sularının atık yığınının süzülmesi nedeniyle sızıntı suları (filtrat) oluşumu gözlemlenmektedir. Bu sızıntılar yeterince işlenmediği takdirde, toprak kirliliği, yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarının kontaminasyonu gibi ciddi çevresel problemler meydana gelmektedir. Sızıntı suyunun bileşimi çeşitli etkenlere bağlı olarak değişmekle birlikte, genellikle yüksek Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) değerleriyle ilişkili uçucu yağ asitleri içerir. Ayrıca, yüksek amonyak azotu, pH ve renk değerlerine sahip olması, bu suların çevreye salınmadan önce mutlaka arıtılmasını zorunlu kılmaktadır.

4.4. Depremler Sonrası Ortaya Çıkan Hafriyat Atıklarının Yönetimi

Tehlikeli ve tehlikesiz atık türleri (evsel ve tıbbi atıklar dâhil) üzerinde uygulanan; atık miktarını azaltma, kaynaktan ayrıştırma, depolama, geri kazanım ve bertaraf etme gibi tüm süreçleri kapsayan disipline Atık Yönetimi adı verilmektedir.

Sağlıklı bir atık yönetim sisteminin temel unsurları arasında, atıkların öncelikle kaynağında önlenmesi, üretilen atıkların kaynağında ayrıştırılması ve geri dönüşüm potansiyeli taşıyan atıkların ekonomiye kazandırılması yer almaktadır. Bu süreç, depolanacak atık miktarını azaltmayı ve geri dönüştürülemeyen atıkların çevre ile insan sağlığına zarar vermeyecek biçimde depolanmasını sağlamayı hedeflemektedir (Ölmez ve Yıldız, 2008).

Etkin bir entegre atık yönetimi uygulamasında, belirlenen amaçlara ulaşılabilmesi adına teknolojik araçlar, yönetsel stratejiler ve yöntemler titizlikle belirlenmelidir. Bu

aşama, atık yönetiminin bütün bileşenlerini tek bir sistem olarak ele almayı ve çevresel olduğu kadar ekonomik sürdürülebilirliği de sağlamayı hedeflemektedir (Atık Yönetimi Eylem Planı , 2008-2012).

Verimli ve entegre bir atık yönetim sistemi, birbirleriyle bağlantılı ve bağımsızlıktan uzak bir hiyerarşik yapı çerçevesinde aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atıklarının yönetim hiyerarşisi (Kaynak: Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023)

Bu hiyerarşik sıralama, atık yönetim sisteminin önceliklerini de belirlemektedir. Atık yönetimindeki temel amaç, öncelikle atık oluşumunun önüne geçmektir. Bu birincil hedef başarılmadığı takdirde, odak noktası bir sonraki aşama olan atık azaltma stratejilerine kaydırılır. Atık azaltma sürecini takiben, sırasıyla yeniden kullanım, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı yöntemleri devreye girer. Bu hiyerarşinin en son ve en az tercih edilen basamağını ise nihai bertaraf işlemi oluşturmaktadır.

Türkiye’de atık yönetimi alanı, 1930’lu yıllar itibarıyla yürürlüğe konan yasal düzenlemelerle birlikte şekillenmeye başlamıştır. Bu süreçte, çevre konularında çalışan kurum ve kuruluşların sayısında düzenli bir artış kaydedilmiştir. Ancak, yeni kurumların oluşturulması mevcut kuruluşların yetki ve sorumluluklarını değiştirmemiş, bu durum yetki çatışmalarına yol açmış ve ilgili kurumlar arasında etkin iş birliği ile koordinasyon eksikliği nedeniyle sistemin verimliliği olumsuz etkilenmiştir. Ayrıca, finansman desteğinin

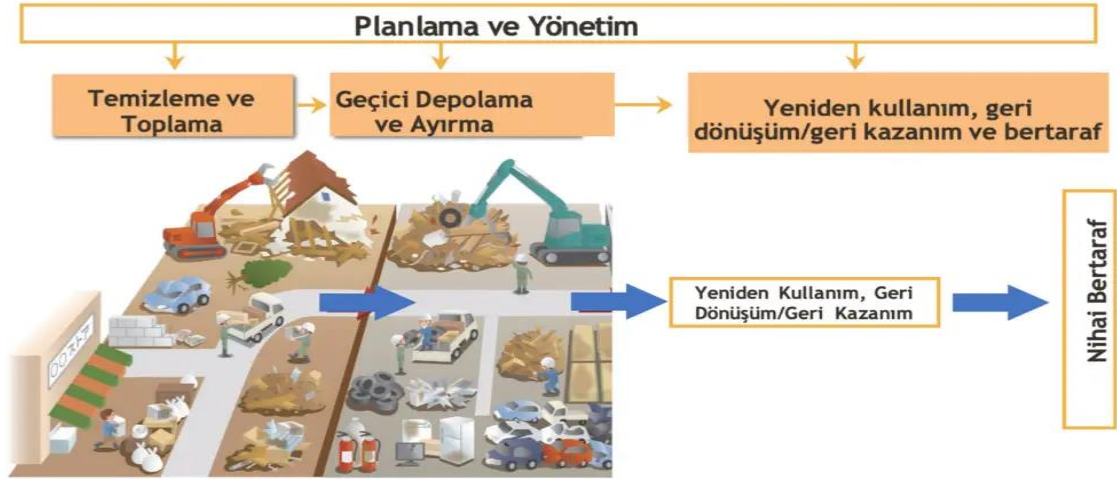
yetersizliği ve teknik bilgi ile donanım eksiklikleri gibi etkenler, günümüzde sağlıklı bir atık yönetim sisteminin kurulmasını engellemektir (Sayıştay Başkanlığı, 2007).

Afetler sonucu oluşan atıkların yönetimi, Türkiye'de hukuki düzenlemelerle güvence altına alınmıştır. Bu alandaki temel yasal metinler şunlardır: 1983 tarihli 2872 sayılı Çevre Kanunu, 2004 yılında yayımlanan Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Kontrol Yönetmeliği ve 2015 yılında yürürlüğe giren Atık Yönetimi Yönetmeliği (Buzkan ve Erman, 2020).

Afet yönetim planlarının en kritik bileşenlerinden biri, deprem gibi doğal felaketler sonrasında ortaya çıkan atıkların etkin yönetimidir (Lorca vd., 2015).

Afet atığı yönetiminin verimli olması, iki aşamada (afet öncesi ve sonrası) yürütülmesine bağlıdır. Ön afet döneminde tehlikeyi minimize etmeye ve iyileşmeyi hızlandırmaya yönelik koruyucu planlar yapılır. Afet sonrasında ise enkaz yönetimi, idari sorumlulukların belirlenmesi ve düzenleyici uygulamalar kritik hale gelir. Atık bertarafı için gerekli acil müdahale zinciri, yerel yönetimler ve düzenli depolama alanlarının organizasyonu gibi farklı aktörleri içermektedir (Takashima, 2016).

İnşaat ve yıkıntı atıkları ile hafriyat toprağına yönelik yönetim planlaması ve stratejileri, Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. İnşaat, yıkıntı atıkları ve hafriyat toprağı yönetiminin planlanması (Kaynak: Takashima, 2016)

5. MATERİYAL VE METOT

Bu bölümde depremler sonrası Adıyaman ilinde oluşan hafriyatların çeşitleri, miktarları ve bunların değerlendirilme imkanları üzerinde durulmuştur.

5.1. Materyal

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli depremlerin ardından, Adıyaman'da oluşan hafriyat atıklarının yönetimi önemli bir konu haline gelmiştir. Depremler, doğal afetler arasında en büyük yıkıma neden olan afetler olarak bilinmektedir. Bu tür afetlerin ardından meydana gelen yapısal yıkımlar, oluşan hafriyat atıklarının yönetmeliklere uygun biçimde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Depremi en şiddetli biçimde etkilediği yerleşim birimlerinden Adıyaman ilinde, oluşan hafriyat atıklarının yönetimi Valilik makamı tarafından organize edilmiş ve koordine edilmiştir. Yetkili kurumlar tarafından, Adıyaman Merkez ilçesinde hafriyat atıklarının dökümü için dört farklı döküm alanı belirlenmiş; bu alanlarda hangi tür atıkların bulunduğu tespit edilmiş ve dökülen atık miktarları hesaplanmıştır. Adıyaman ili Merkez ilçesinde hafriyat döküm alanı olarak belirlenen 4 döküm sahası şu şekildedir.

1. Merkez Adıyaman'da üretilen hafriyat atıkları, şehrin kuzeyindeki Organize Sanayi Bölgesi'ne yönlendirilmektedir. Söz konusu döküm sahası, şehir merkezine ortalama 150-200 metre mesafede bulunmaktadır (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Organize sanayi bölgesi döküm alanı (**Kaynak:** Anadolu Ajans, 2023)

2. Hafriyat atıkları, şehrin doğusunda, Göze başı Köyü yönünde, Kahta istikametinde yolun sol tarafına dökülmektedir. Bu döküm alanının şehir merkezine uzaklığı yaklaşık 10 km'dir (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. Göze başı köyü döküm alanı (**Kaynak:** Anadolu Ajans, 2023)

3. Adıyaman Merkez'in kuzeydoğusunda yer alan Sitilce eski çöp alanı, hafriyat atıklarının boşaltıldığı alanlardan biridir. Bu döküm alanının şehir merkezine uzaklığı yaklaşık 200 metredir (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Sitilce döküm alanı (**Kaynak:** Anadolu Ajans, 2023)

4. Börgenek mevki, Adıyaman Merkez'in batısında, Gölbaşı istikametinde bulunmaktadır ve hafriyat atıklarının döküldüğü bir diğer bölgeyi teşkil etmektedir. Bu döküm noktasının kent merkezine olan mesafesi yaklaşık 10 kilometre olarak ölçülmüştür (Şekil 5.4.).



Şekil 5.4. Börgenek bölgesi döküm alanı (Kaynak: Anadolu Ajans, 2023)

5.2. Metot

Adıyaman ili Merkez ilçesin de ve Adıyaman ilinin diğer ilçeleri olan Kahta, Besni, Gölbaşı, Tut, Sincik, Samsat, Çelikhan, Gerger ilçelerinde yetkili makamlar tarafından belirlenen hafriyat döküm alanlarında ortaya çıkan atığın miktarı Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1’deki değerler kullanılarak ortaya çıkan atıkların miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 5.1. Adıyaman ilinde binaların hasar değerlendirmesi (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023)

İLÇE	YIKIK	ACİL YIKILACAK	AĞIR	ORTA	AZ HASARLI	HASARSIZ	TESPİT YAPILAMADI	GİRİLEMEDİ	TOPLAM TESPİT SAYISI	TOPLAM ACİL+AĞIR+YIKIK+ORTA
	BİNA	BİNA	BİNA	BİNA	BİNA	BİNA	BİNA	BİNA	BİNA	BİNA
BESNİ	804	303	3044	722	6148	7203	150	22	18396	4873
ÇELİKHAN	311	148	844	108	1333	1390	110	8	4252	1411
GERGER	209	46	1036	60	1121	2357	99	11	4939	1351
GÖLBAŞI	1097	282	2564	552	3144	3842	68	5	11554	4495
KAHTA	616	197	2910	590	6318	12572	76	8	23287	4313
MERKEZ	2599	1012	8480	2475	20781	10795	190	30	46362	14566
SAMSAT	90	44	294	38	311	1224	3	3	2007	466
SİNCİK	225	189	1186	90	984	1236	22	3	3935	1690
TUT	251	122	776	122	1076	1073	11	1	3432	1271
TOPLAM	6202	2343	21134	4757	41216	41692	729	91	118164	34436

Tablo 5.1’de Adıyaman İl genelinde ve ilçelerinde acil, ağır, yıkık, orta hasarlı bina sayıları kullanılarak ortaya çıkan atık miktarları hesaplanmıştır (Tablo 5.2-Tablo 5.10).

Adıyaman ilinin merkezi ve ilçelerinde ortaya çıkan toplam hafriyat atığı miktarları eşitlik 5.1-5.4’e göre hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Tahmini Daire Sayısı (Adet)} &= [\text{Yıkık} + \text{Acil} + \text{Ağır} + \text{Orta Hasarlı} \\ &\quad \text{Bina Sayısı}] * \text{Ortalama Kat Sayısı (Adet)} * \text{Kat Başına} \\ &\quad \text{Düşen Daire Sayısı (Adet)} \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Tahmini Atık Malzeme Miktarı (Ton)} &= [\text{Yıkık} + \text{Acil} + \text{Ağır} + \text{Orta} \\ &\quad \text{Hasarlı Bina Sayısı}] * \text{Ortalama Kat Sayısı} \\ &\quad (\text{Adet}) * \text{Kat Başına Düşen Daire Sayısı (Adet)} \\ &\quad * \text{Ortalama Daire Başı Beton + Eşya Atık} \\ &\quad \text{Malzeme Miktarı (Ton)} \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\text{Ortalama Kamyon Kapasitesi (25 Ton/ 1.6 m}^3\text{) (m}^3\text{)} = 25/1.6 \quad (5.3.)$$

$$\begin{aligned} \text{Tahmini Çıkan Atık Malzeme Kamyon Sayısı (Adet)} &= [\text{Yıkık} + \text{Acil} + \text{Ağır} \\ &\quad + \text{Orta Hasarlı Bina} \\ &\quad \text{Sayısı}] * \text{Ortalama Kat Sayısı} \\ &\quad (\text{Adet}) * \text{Kat Başına Düşen} \\ &\quad \text{Daire Sayısı (Adet)} * \text{Ortalama} \\ &\quad \text{Daire Başı Beton + Eşya Atık} \\ &\quad \text{Malzeme Miktarı (Ton)} / \\ &\quad \text{Ortalama Kamyon Kapasitesi} \\ &\quad (25 \text{ Ton/ } 1,6 \text{ m}^3\text{) (m}^3\text{)} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Tablo 5.2. *Adıyaman ili besni ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)*

YIKIK+ ACİL YIKILACAK+ AĞIR HASARLI+ ORTA HASARLI BİNA SAYISI (ADET)	ORTALAMA KAT SAYISI (ADET)	KAT BAŞINA DÜŞEN DAİRE SAYISI (ADET)	TAHMİNİ DAİRE SAYISI (ADET)	ORTALAMA DAİRE BAŞI BETON+EŞYA ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	TAHMİNİ ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	ORTALAMA KAMYON KAPASİTESİ (25 TON/1,6m ³) (m ³)	TAHMİNİ ÇIKAN ATIK MALZEME KAMYON SAYISI (ADET)
4873	3	2	29.238	100	2.923.800	15,625	187.123,20

Besni ilçesinde deprem öncesinde tespit edilen bina sayısı 18.396 adettir. (Tablo 5.1) Deprem sonrası hasar alan (Acil + Yıkık + Ağır +Orta Hasarlı) bina sayısı 4.873 adettir. (Tablo 5.1) Bu değerler üzerinden yapılan hesaplamada %26,49 oranında binanın hasar aldığı görülmektedir. Tablo 5.2’de yapılan hesaplamalarda tahmini atık malzeme miktarı 2.923.800 ton’ dur. Ortalama kamyon kapasitesi 15,625 m³’tür. Bu değerlerden tahmini ortaya çıkan atık malzemenin taşınmasındaki kamyon sayısı 187.123,20 adet çıkmaktadır. Bu da atığın yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.3. *Adıyaman ili çelikhhan ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)*

YIKIK+ ACİL YIKILACAK+ AĞIR HASARLI+ ORTA HASARLI BİNA SAYISI (ADET)	ORTALAMA KAT SAYISI (ADET)	KAT BAŞINA DÜŞEN DAİRE SAYISI (ADET)	TAHMİNİ DAİRE SAYISI (ADET)	ORTALAMA DAİRE BAŞI BETON+EŞYA ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	TAHMİNİ ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	ORTALAMA KAMYON KAPASİTESİ (25 TON/1,6m ³) (m ³)	TAHMİNİ ÇIKAN ATIK MALZEME KAMYON SAYISI (ADET)
1411	3	2	8.466	100	846.600	15,625	54.182,40

Çelikhhan ilçesinde deprem öncesinde tespit edilen bina sayısı 4252 adettir. (Tablo 5.1) Deprem sonrası hasar alan (Acil + Yıkık + Ağır +Orta Hasarlı) bina sayısı 1411 adettir.

(Tablo 5.1) Bu değerler üzerinden yapılan hesaplamada %33,18 oranında binanın hasar aldığı görülmektedir. Tablo 5.3’de yapılan hesaplamalarda tahmini atık malzeme miktarı 846.600 ton’ dur. Ortalama kamyon kapasitesi 15,625 m³’tür. Bu değerlerden tahmini ortaya çıkan atık malzemenin taşınmasındaki kamyon sayısı 54.182,40 adet çıkmaktadır. Bu da atığın yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.4. Adıyaman ili gerger ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 alınarak hesaplanmıştır)

YIKIK+ ACİL YIKILACAK+ AĞIR HASARLI+ ORTA HASARLI BİNA SAYISI (ADET)	ORTALAMA KAT SAYISI (ADET)	KAT BAŞINA DÜŞEN DAİRE SAYISI (ADET)	TAHMİNİ DAİRE SAYISI (ADET)	ORTALAMA DAİRE BAŞI BETON+EŞYA ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	TAHMİNİ ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	ORTALAMA KAMYON KAPASİTESİ (25 TON/1,6m ³) (m ³)	TAHMİNİ ÇIKAN ATIK MALZEME KAMYON SAYISI (ADET)
1351	3	2	8.106	100	810.600	15,625	51.878,40

Gerger ilçesinde deprem öncesinde tespit edilen bina sayısı 4939 adettir. (Tablo 5.1) Deprem sonrası hasar alan (Acil + Yıkık + Ağır +Orta Hasarlı) bina sayısı 1351 adettir. (Tablo 5.1) Bu değerler üzerinden yapılan hesaplamada %27,35 oranında binanın hasar aldığı görülmektedir. Tablo 5.4’de yapılan hesaplamalarda tahmini atık malzeme miktarı 810.600 ton’ dur. Ortalama kamyon kapasitesi 15,625 m³’tür. Bu değerlerden tahmini ortaya çıkan atık malzemenin taşınmasındaki kamyon sayısı 51.878,40 adet çıkmaktadır. Bu da atığın yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.5. Adıyaman ili gölbaşı ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)

YIKIK+ ACİL YIKILACAK+ AĞIR HASARLI+ ORTA HASARLI BİNA SAYISI (ADET)	ORTALAMA KAT SAYISI (ADET)	KAT BAŞINA DÜŞEN DAİRE SAYISI (ADET)	TAHMİNİ DAİRE SAYISI (ADET)	ORTALAMA DAİRE BAŞI BETON+EŞYA ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	TAHMİNİ ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	ORTALAMA KAMYON KAPASİTESİ (25 TON/1,6m ³) (m ³)	TAHMİNİ ÇIKAN ATIK MALZEME KAMYON SAYISI (ADET)
4495	3	2	26.970	100	2.697.000	15,625	172.608,00

Gölbasi ilçesinde deprem öncesinde tespit edilen bina sayısı 11.554 adettir. (Tablo 5.1) Deprem sonrası hasar alan (Acil + Yıkık + Ağır +Orta Hasarlı) bina sayısı 4495 adettir. (Tablo 5.1) Bu değerler üzerinden yapılan hesaplamada %38,90 oranında binanın hasar aldığı görülmektedir. Tablo 5.5’de yapılan hesaplamalarda tahmini atık malzeme miktarı 2.697.000 ton’ dur. Ortalama kamyon kapasitesi 15,625 m³’tür. Bu değerlerden tahmini ortaya çıkan atık malzemenin taşınmasındaki kamyon sayısı 172.608,00 adet çıkmaktadır. Bu da atığın yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.6. Adıyaman ili kahta ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)

YIKIK+ ACİL YIKILACAK+ AĞIR HASARLI+ ORTA HASARLI BİNA SAYISI (ADET)	ORTALAMA KAT SAYISI (ADET)	KAT BAŞINA DÜŞEN DAİRE SAYISI (ADET)	TAHMİNİ DAİRE SAYISI (ADET)	ORTALAMA DAİRE BAŞI BETON+EŞYA ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	TAHMİNİ ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	ORTALAMA KAMYON KAPASİTESİ (25 TON/1,6m ³) (m ³)	TAHMİNİ ÇIKAN ATIK MALZEME KAMYON SAYISI (ADET)
4313	3	2	25.878	100	2.587.800	15,625	165.619,20

Kahta ilçesinde deprem öncesinde tespit edilen bina sayısı 23.287 adettir. (Tablo 5.1) Deprem sonrası hasar alan (Acil + Yıkık + Ağır +Orta Hasarlı) bina sayısı 4313 adettir. (Tablo 5.1) Bu değerler üzerinden yapılan hesaplamada %18,52 oranında binanın hasar aldığı görülmektedir. Tablo 5.6’da yapılan hesaplamalarda tahmini atık malzeme miktarı 2.587.600 ton’ dur. Ortalama kamyon kapasitesi 15,625 m³’tür. Bu değerlerden tahmini ortaya çıkan atık malzemenin taşınmasındaki kamyon sayısı 165.619,20 adet çıkmaktadır. Bu da atığın yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.7. Adıyaman ili merkez ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)

YIKIK+ ACİL YIKILACAK+ AĞIR HASARLI+ ORTA HASARLI BİNA SAYISI (ADET)	ORTALAMA KAT SAYISI (ADET)	KAT BAŞINA DÜŞEN DAİRE SAYISI (ADET)	TAHMİNİ DAİRE SAYISI (ADET)	ORTALAMA DAİRE BAŞI BETON+EŞYA ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	TAHMİNİ ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	ORTALAMA KAMYON KAPASİTESİ (25 TON/1,6m ³) (m ³)	TAHMİNİ ÇIKAN ATIK MALZEME KAMYON SAYISI (ADET)
14.566	3	2	87.396	100	8.739.600	15,625	559.334,40

Merkez ilçesinde deprem öncesinde tespit edilen bina sayısı 46.362 adettir. (Tablo 5.1) Deprem sonrası hasar alan (Acil + Yıkık + Ağır +Orta Hasarlı) bina sayısı 14.566 adettir. (Tablo 5.1) Bu değerler üzerinden yapılan hesaplamada %31,42 oranında binanın hasar aldığı görülmektedir. Tablo 5.7’de yapılan hesaplamalarda tahmini atık malzeme miktarı 8.739600 ton’ dur. Ortalama kamyon kapasitesi 15,625 m³’tür. Bu değerlerden tahmini ortaya çıkan atık malzemenin taşınmasındaki kamyon sayısı 559.334,40 adet çıkmaktadır. Bu da atığın yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.8. Adıyaman ili samsat ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)

YIKIK+ ACİL YIKILACAK+ AĞIR HASARLI+ ORTA HASARLI BİNA SAYISI (ADET)	ORTALAMA KAT SAYISI (ADET)	KAT BAŞINA DÜŞEN DAİRE SAYISI (ADET)	TAHMİNİ DAİRE SAYISI (ADET)	ORTALAMA DAİRE BAŞI BETON+EŞYA ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	TAHMİNİ ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	ORTALAMA KAMYON KAPASİTESİ (25 TON/1,6m ³) (m ³)	TAHMİNİ ÇIKAN ATIK MALZEME KAMYON SAYISI (ADET)
466	3	2	2.796	100	279.600	15,625	17.894,40

Samsat ilçesinde deprem öncesinde tespit edilen bina sayısı 2007 adettir. (Tablo 5.1) Deprem sonrası hasar alan (Acil + Yıkık + Ağır +Orta Hasarlı) bina sayısı 466 adettir. (Tablo 5.1) Bu değerler üzerinden yapılan hesaplamada %23,22 oranında binanın hasar aldığı görülmektedir. Tablo 5.8’de yapılan hesaplamalarda tahmini atık malzeme miktarı 279.600 ton’ dur. Ortalama kamyon kapasitesi 15,625 m³’tür. Bu değerlerden tahmini ortaya çıkan

atık malzemenin taşınmasındaki kamyon sayısı 17.894,40 adet çıkmaktadır. Bu da atığın yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.9. *Adıyaman ili sincik ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)*

YIKIK+ ACİL YIKILACAK+ AĞIR HASARLI+ ORTA HASARLI BİNA SAYISI (ADET)	ORTALAMA KAT SAYISI (ADET)	KAT BAŞINA DÜŞEN DAİRE SAYISI (ADET)	TAHMİNİ DAİRE SAYISI (ADET)	ORTALAMA DAİRE BAŞI BETON+EŞYA ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	TAHMİNİ ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	ORTALAMA KAMYON KAPASİTESİ (25 TON/1,6m ³) (m ³)	TAHMİNİ ÇIKAN ATIK MALZEME KAMYON SAYISI (ADET)
1690	3	2	10.140	100	1.014.000	15,625	64.896,00

Sincik ilçesinde deprem öncesinde tespit edilen bina sayısı 3935 adettir. (Tablo 5.1) Deprem sonrası hasar alan (Acil + Yıkık + Ağır +Orta Hasarlı) bina sayısı 1690 adettir. (Tablo 5.1) Bu değerler üzerinden yapılan hesaplamada %42,95 oranında binanın hasar aldığı görülmektedir. Tablo 5.9’da yapılan hesaplamalarda tahmini atık malzeme miktarı 1.014.000 ton’ dur. Ortalama kamyon kapasitesi 15,625 m³’tür. Bu değerlerden tahmini ortaya çıkan atık malzemenin taşınmasındaki kamyon sayısı 64.896,00 adet çıkmaktadır. Bu da atığın yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.10. *Adıyaman ili tut ilçesinde ortaya çıkan hafriyat atığı miktarı (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 alınarak hesaplanmıştır)*

YIKIK+ ACİL YIKILACAK+ AĞIR HASARLI+ ORTA HASARLI BİNA SAYISI (ADET)	ORTALAMA KAT SAYISI (ADET)	KAT BAŞINA DÜŞEN DAİRE SAYISI (ADET)	TAHMİNİ DAİRE SAYISI (ADET)	ORTALAMA DAİRE BAŞI BETON+EŞYA ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	TAHMİNİ ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	ORTALAMA KAMYON KAPASİTESİ (25 TON/1,6m ³) (m ³)	TAHMİNİ ÇIKAN ATIK MALZEME KAMYON SAYISI (ADET)
1271	3	2	7.626	100	762.600	15,625	48.806,40

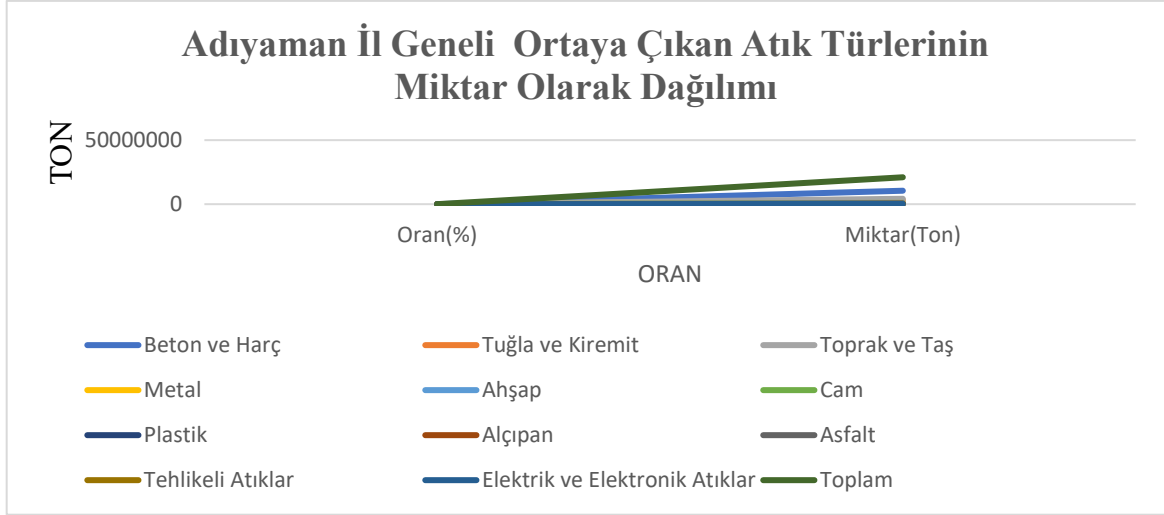
Tut ilçesinde deprem öncesinde tespit edilen bina sayısı 3432 adettir. (Tablo 5.1) Deprem sonrası hasar alan (Acil + Yıkık + Ağır +Orta Hasarlı) bina sayısı 1271 adettir.

(Tablo 5.1) Bu değerler üzerinden yapılan hesaplamada %32,29 oranında binanın hasar aldığı görülmektedir. Tablo 5.10’da yapılan hesaplamalarda tahmini atık malzeme miktarı 762.600 ton’ dur. Ortalama kamyon kapasitesi 15,625 m³’tür. Bu değerlerden tahmini ortaya çıkan atık malzemenin taşınmasındaki kamyon sayısı 48.806,40 adet çıkmaktadır. Bu da atığın yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.11. *Adıyaman il merkezi ve ilçelerinde ortaya çıkan toplam hafriyat atığı miktarı*
(Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)

YIKIK+ ACİL YIKILACAK+ AĞIR HASARLI+ ORTA HASARLI BİNA SAYISI (ADET)	ORTALAMA KAT SAYISI (ADET)	KAT BAŞINA DÜŞEN DAİRE SAYISI (ADET)	TAHİMİNİ DAİRE SAYISI (ADET)	ORTALAMA DAİRE BAŞI BETON+EŞYA ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	TAHİMİNİ ATIK MALZEME MİKTARI (TON)	ORTALAMA KAMYON KAPASİTESİ (25 TON/1,6m ³) (m ³)	TAHİMİNİ ÇIKAN ATIK MALZEME KAMYON SAYISI (ADET)
34.436	3	2	206.616	100	20.661.600	15,625	1.322.342,40

Adıyaman il geneli deprem öncesinde tespit edilen bina sayısı 118.164 adettir. (Tablo 5.1) Deprem sonrası hasar alan (Acil + Yıkık + Ağır +Orta Hasarlı) bina sayısı 34.436 adettir. (Tablo 5.1) Bu değerler üzerinden yapılan hesaplamada %29,14 oranında binanın hasar aldığı görülmektedir. Tablo 5.11’de yapılan hesaplamalarda tahmini atık malzeme miktarı 20.661.600 ton’ dur. Ortalama kamyon kapasitesi 15,625 m³’tür. Bu değerlerden tahmini ortaya çıkan atık malzemenin taşınmasındaki kamyon sayısı 1.322.342,40 adet çıkmaktadır. Bu da atığın yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Adıyaman İli deprem öncesi ve sonrası binaların durumları ile ilgili bilgiler Şekil 5.5’te verilmiştir.



Şekil 5.5. Depremden sonrası ortaya çıkan atık miktarlarının türlerine göre dağılımı
(Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)

Adıyaman ili Merkez ilçesinde belirlenen 4 adet hafriyat atığı döküm sahasında Tablo 5.7 ‘deki değerler kullanılarak eşitlik 5.1-5.4’teki hesaplamalar ile yaklaşık olarak 9 milyon ton hafriyat atığı olduğu hesaplanmıştır. Bu atıkların yaklaşık olarak 7 milyon tonu Börgenek bölgesi döküm sahasında, 2 milyon tonu da diğer 3 döküm sahasında olduğu belirlenmiştir. Bu döküm sahalarında toplanan hafriyat atıklarının içerisinde hangi tür atık çeşitlerinin olduğu, miktarları, bu atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2023 yılı verilerinden yararlanarak belirlenmiştir. İnsan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması durumunda ekonomiye katkısının ne kadar olacağı da belirlenmiştir.

Tablo 5.12’de hafriyat atıklarının içerisinde bulunan atıkların oransal dağılımı verilmiştir.

Tablo 5.13’de Adıyaman ili Merkez ilçesinde hafriyat atıklarının içerisinde bulunan atıkların oransal dağılımı ve geri kazanımda kullanıldığı alanlar verilmiştir.

Tablo 5.12. *Hafriyat atıklarının içerisinde bulunan atıkların oransal dağılımı (Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023)*

Atık Türü	Oran(%)
Beton ve Harç	50(%)
Tuğla ve Kiremit	15(%)
Toprak ve Taş	20(%)
Metal	5(%)
Ahşap	5(%)
Cam	2(%)
Plastik	1(%)
Alçıpan	2(%)
Asfalt	1(%)
Tehlikeli Atıklar	<1(%)
Elektrik ve Elektronik Atıklar	<1(%)
Toplam	100(%)

Tablo 5.13. *Adıyaman ili merkez ilçesinde hafriyat atıklarının içerisinde bulunan atıkların oransal dağılımı ve geri kazanımda kullanım alanları ((Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)*

Atık Türü	Oran(%)	Miktar(Ton)	Geri Dönüşüm Ürünü
Beton ve Harç	50	4.500.000,00	Dolgu malzemesi,agrega
Tuğla ve Kiremit	15	1.350.000,00	Yeniden kullanılabilir malzeme
Toprak ve Taş	20	1.800.000,00	Peyzaj malzemesi,dolgu
Metal	5	450.000	Hurda metal
Ahşap	5	450.000	Yakıt,biyokütle enerjisi
Cam	2	180.000	Cam kırığı,yeniden üretim
Plastik	1	90.000	Plastik granül
Alçıpan	2	180.000	Yeniden kullanım,alçı tozu
Asfalt	1	90.000	Geri dönüştürülmüş asfalt
Tehlikeli Atıklar	<1	45.000	Bertaraf maliyeti(Zarar)
Elektrik ve Elektronik Atıklar	<1	45.000	Değerli metal geri kazanımı
Toplam	100	8.730.000	

Yapılan hesaplamalar sonucunda Adıyaman il merkezi ve ilçelerinde yaklaşık 21 milyon ton hafriyat atığı olduğu tespit edilmiştir. Bu atıkların yaklaşık 12.360.000 milyon tonu Kahta, Besni, Gölbaşı, Tut, Sincik, Samsat, Gerger, Çelikhan ilçelerinde bulunduğu Tablo 5.14’de görülmektedir.

Tablo 5.14.Adıyaman ili kâhta, besni, gölbaşı, çelikhan, sincik, gerger, samsat, tut ilçesinde hafriyat atıklarının içerisinde bulunan atıkların oransal dağılımı (**Kaynak:** Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)

Atık Türü	Oran(%)	Miktar(Ton)
Beton ve Harç	50	6.000,00
Tuğla ve Kiremit	15	1.800,00
Toprak ve Taş	20	2.400,00
Metal	5	600.000
Ahşap	5	600.000
Cam	2	240.000
Plastik	1	120.000
Alçıpan	2	240.000
Asfalt	1	120.000
Tehlikeli Atıklar	<1	120.000
Elektrik ve Elektronik Atıklar	<1	120.000
Toplam	100	12.360.000

Tablo 5.15 ‘de Adıyaman Merkez ilçesinde hafriyat atıklarının oransal dağılım ve ortalama fiyatlar üzerinden yapılan hesaplamalar sonucu devlet ekonomiyeye katkısı 6.381.000.000 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.15.Adıyaman ili merkez ilçesinin hafriyat atıklarının geri kazanım da devlet ekonomisine katkısı ortalama değerler üzerinden hesaplanması (**Kaynak:** Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)

Atık Türü	Oran (%)	Miktar (Ton)	Geri Dönüşüm Ürünü	Birim Fiyat (TL/Ton)	Toplam Değer (TL)
Beton ve Harç	50	4.500.000	Dolgu malzemesi, agregası	50-100	337.500.000
Tuğla ve Kiremit	15	1.350.000	Yeniden kullanılabilir malzeme	100-200	202.500.000
Toprak ve Taş	20	1.800.000	Peyzaj malzemesi, dolgu	30-50	72.000.000
Metal	5	450.000	Hurda metal	9000-11000	4.500.000.000
Ahşap	5	450.000	Yakıt, biokütle enerjisi	300-500	180.000.000
Cam	2	180.000	Cam kırığı, yeniden üretim	200-400	54.000.000
Plastik	1	90.000	Plastik granül	6000-8000	630.000.000
Al çıpan	2	180.000	Yeniden kullanım, alçı tozu	50-100	13.500.000
Asfalt	1	90.000	Geri dönüştürülmüş asfalt	150-300	20.250.000
Tehlikeli Atıklar	<1	45.000	Bertaraf maliyeti (Zarar)	500-1000	33.750.000
Elektrik ve Elektronik Atıklar	<1	45.000	Değerli metal geri kazanımı	5000-1000	337.500.000
Toplam	100	8.730.000			6.381.000.000

Adıyaman ili Kahta, Besni, Gölbaşı, Tut, Samsat, Çelikhan, Sincik, Gerger ilçelerinin hafriyat atıklarının oransal dağılım ve ortalama fiyatlar üzerinden Tablo 5.16’da görüleceği üzere yapılan hesaplamalar sonucunda ekonomiye katkısı 9.003.000.000 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.16.Adıyaman ili kâhta, besni, gölbaşı, çelikhan, gerger, sincik, samsat, tut ilçelerinin hafriyat atıklarının geri kazanım durumunda ortalama değerler üzerinden hesaplanması (**Kaynak:** Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)

Atık Türü	Oran (%)	Miktar (Ton)	Geri Dönüşüm Ürünü	Birim Fiyat (TL/Ton)	Toplam Değer (TL)
Beton ve Harç	50	6.000.000	Dolgu malzemesi, agrega	50-100	450.000.000
Tuğla ve Kiremit	15	1.800.000	Yeniden kullanılabilir malzeme	100-200	270.000.000
Toprak ve Taş	20	2.400.000	Peyzaj malzemesi, dolgu	30-50	96.000.000
Metal	5	600.000	Hurda metal	9000-11000	6.000.000.000
Ahşap	5	600.000	Yakıt, biokütle enerjisi	300-500	240.000.000
Cam	2	240.000	Cam kırığı, yeniden üretim	200-400	72.000.000
Plastik	1	120.000	Plastik granül	6000-8000	840.000.000
Al çıpan	2	240.000	Yeniden kullanım, alçı tozu	50-100	18.000.000
Asfalt	1	120.000	Geri dönüştürülmüş asfalt	150-300	27.000.000
Tehlikeli Atıklar	<1	120.000	Bertaraf maliyeti (Zarar)	500-1000	90.000.000
Elektrik ve Elektronik Atıklar	<1	120.000	Değerli metal geri kazanımı	5000-1000	900.000.000
Toplam	100	12.360.000			9.003.000.000

Adıyaman ili genel olaraktan hafriyat atıklarının oransal dağılım ve ortalama fiyatlar üzerinden Tablo 5.17’de görüleceği üzere yapılan hesaplamalar sonucunda ekonomiye katkısı 15.384.000.000 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.17.Adıyaman ili genel hafriyat atıklarının geri kazanım durumunda ortalama değerler üzerinden hesaplanması (**Kaynak:** Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023 verilerinden alınarak hesaplanmıştır)

Atık Türü	Oran (%)	Miktar (Ton)	Geri Dönüşüm Ürünü	Birim Fiyat (TL/Ton)	Toplam Değer (TL)
Beton ve Harç	50	10.500.000	Dolgu malzemesi, agrega	50-100	787.500.000
Tuğla ve Kiremit	15	3.100.000	Yeniden kullanılabilir malzeme	100-200	472.500.000
Toprak ve Taş	20	4.200.000	Peyzaj malzemesi, dolgu	30-50	168.000.000
Metal	5	1.050.000	Hurda metal	9000-11000	10.500.000.000
Ahşap	5	1.050.000	Yakıt, biyokütle enerjisi	300-500	420.000.000
Cam	2	420.000	Cam kırığı, yeniden üretim	200-400	126.000.000
Plastik	1	210.000	Plastik granül	6000-8000	1.470.000.000
Al çıpan	2	420.000	Yeniden kullanım, alçı tozu	50-100	31.500.000
Asfalt	1	210.000	Geri dönüştürülmüş asfalt	150-300	47.250.000
Tehlikeli Atıklar	<1	165.000	Bertaraf maliyeti (Zarar)	500-1000	123.750.000
Elektrik ve Elektronik Atıklar	<1	165.000	Değerli metal geri kazanımı	5000-1000	1.237.500.000
Toplam	100	21.000.000			15.384.000.000

5.3. Yapay Sinir Ağı Tabanlı Ekonomik Karar Destek Modeli ve Performans Değerlendirme Ölçütleri

YSA, biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek geliştirilen ve çok sayıda girdi değişkeni ile çıktı arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri öğrenebilen veri odaklı modelleme yöntemleridir. YSA'lar; özellikle karmaşık, belirsizlik içeren ve klasik deterministik

yaklaşımlarla temsil edilmesi güç olan problemlerde etkin bir tahmin ve karar destek aracı olarak kullanılmaktadır.

Bir YSA modeli temel olarak giriş katmanı, bir veya daha fazla gizli katman ve çıkış katmanından oluşur. Giriş katmanında modele ait bağımsız değişkenler yer alırken, gizli katmanlar bu girdiler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri öğrenir. Çıkış katmanı ise problem türüne bağlı olarak tahmin edilen hedef değişkeni üretir. Bu çalışmada YSA, deprem sonrası hafriyat atıklarının geri kazanımına bağlı net ekonomik değerin tahmini amacıyla kullanılmıştır.

Bir YSA nöronunun matematiksel ifadesi eşitlik 5.5-5.6' daki gibi tanımlanabilir: (Bhokal, 2017).

$$z_j = \sum_{i=1}^n w_{ji} x_i + b_j \quad (5.5)$$

$$y_j = f(z_j) \quad (5.6)$$

Burada; x_i giriş değişkenlerini, w_{ji} bağlantı ağırlıklarını, b_j bias terimini, $f(\cdot)$ ise aktivasyon fonksiyonunu ifade etmektedir. Bu yapı sayesinde YSA, girdiler ile çıktı arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan bağıntıları öğrenebilmektedir.

Performans Değerlendirme Metrikleri: YSA modelinin tahmin başarımını değerlendirmek amacıyla birden fazla performans metriği kullanılmıştır. Bu metrikler, modelin hata büyüklüğünü ve açıklayıcılık düzeyini birlikte analiz etmeye olanak sağlamaktadır.

Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error, MSE): MSE, YSA eğitim sürecinde kullanılan temel hata fonksiyonudur (Eşitlik 5.7) (McAuley ve Harris, 2011).

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)^2 \quad (5.7)$$

Kök Ortalama Karesel Hata (RMSE): RMSE, hata büyüklüğünü çıktı değişkeniyle aynı birimde ifade ederek yorumlanabilirliği artırmaktadır (Eşitlik 5.8) (Mantovani, 2022).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)^2} \quad (5.8)$$

Ortalama Mutlak Hata (MAE): MAE, büyük hatalara karşı daha dengeli bir ölçüm sunmaktadır (Eşitlik 5.9) (Mantovani, 2022).

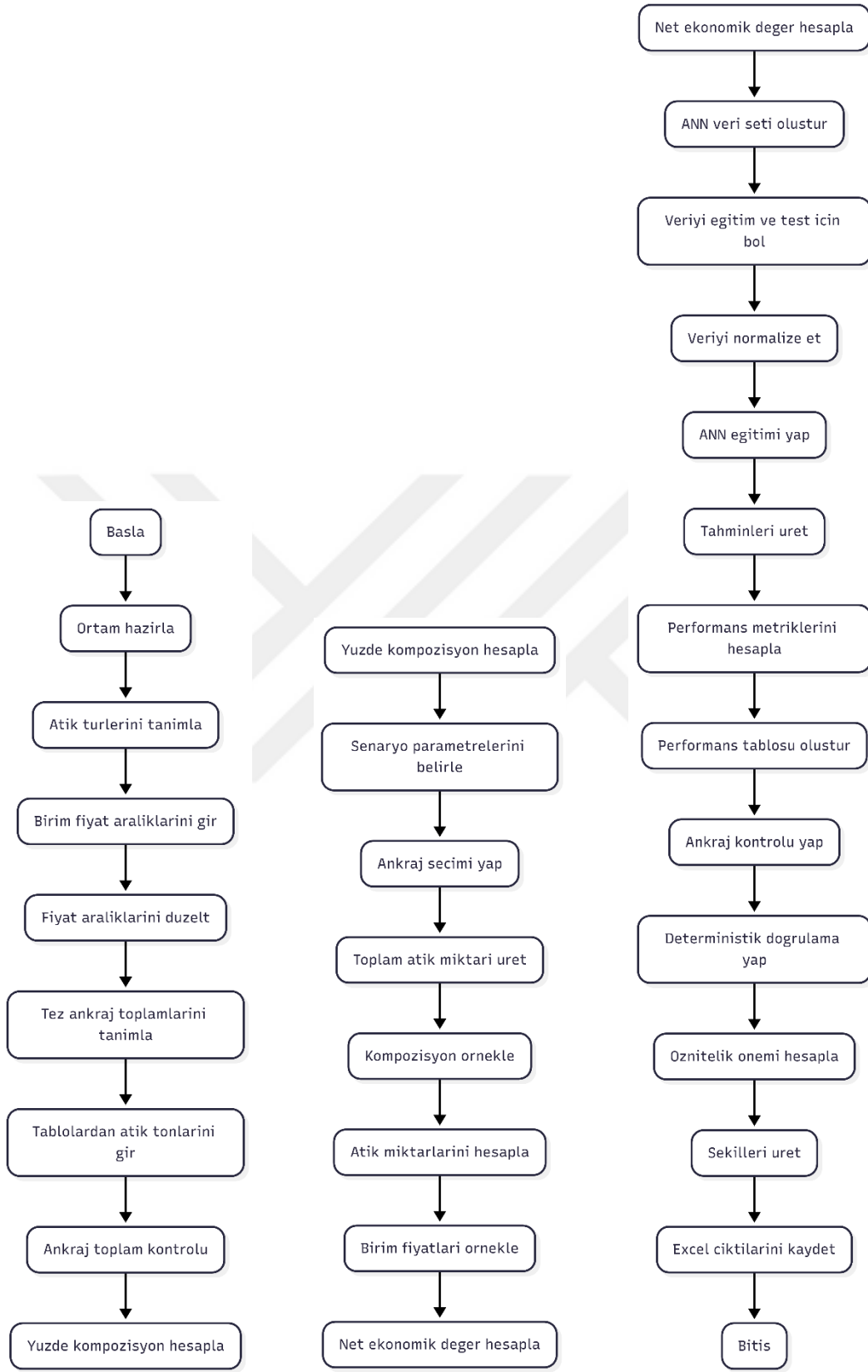
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |y_k - \hat{y}_k| \quad (5.9)$$

Belirleme Katsayısı (R^2): R^2 değerinin 1'e yaklaşması, modelin hedef değişkeni yüksek doğrulukla temsil ettiğini göstermektedir (Eşitlik 5.10) (Zhang, 2017).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)^2}{\sum_{k=1}^N (y_k - \bar{y})^2} \quad (5.10)$$

Bu çalışmada kullanılan YSA tabanlı ekonomik karar destek yaklaşımının genel iş akışı Şekil 5.6'da verilmiştir. Akış diyagramında; tez kapsamında belirlenen atık türleri, birim fiyat aralıkları ve ankraj toplamaları esas alınarak senaryo tabanlı veri kümesinin oluşturulması, net ekonomik değerin hesaplanması, YSA modelinin eğitimi ve performans değerlendirme adımları bütüncül olarak sunulmaktadır.





Şekil 5.6. YSA tabanlı senaryo üretimi, net ekonomik değer hesaplaması ve modelleme sürecinin genel akış diyagramı

YSA tabanlı ekonomik karar destek yaklaşımında kullanılan girdi değişkenleri, model mimarisi, senaryo temelli uygulama kapsamı ve elde edilen çıktı türleri Şekil 5.7’de şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde, atık miktarları ve birim fiyatlara dayalı girdilerin yapay sinir ağı modeli aracılığıyla net ekonomik değere dönüştürülmesi ve model çıktılarının değerlendirilmesine ilişkin temel bileşenler bütüncül olarak sunulmaktadır.



Şekil 5.7. YSA tabanlı ekonomik karar destek modelinin girdi yapısı, senaryo temelli uygulama kapsamı ve çıktı bileşenlerinin şematik gösterimi

5.3.1. Materyal: Veri bileşenleri ve değişken tanımları

Bu çalışmada, deprem sonrası hafriyat/enkaz yönetiminde geri kazanımın ekonomik değerini hızlı biçimde öngörebilmek için senaryo-tabanlı bir veri yapısı kurgulanmıştır. Modelin girdileri iki ana grupta ele alınmıştır:

- Atık miktarları (ton): 11 atık türüne ait miktarlar (*Beton Harç, Tuğla Kiremit, Toprak Taş, Metal, Ahşap, Cam, Plastik, Alçıpan, Asfalt, Tehlikeli, E-Atık*)
- Birim fiyatlar (TL/ton): Aynı 11 atık türü için geri kazanım/ekonomik değer hesaplarında kullanılan birim fiyatlar.

Dolayısıyla toplam 22 adet girdi bulunmaktadır (11 miktar + 11 birim fiyat). Model çıktısı ise:

- Net ekonomik değer (TL): geri kazanılabilir fraksiyonlardan elde edilen toplam gelirden, tehlikeli atık maliyetinin düşülmesiyle hesaplanan net değer.

Çalışmamızda Merkez–İlçeler–İl geneli toplam enkaz büyüklükleri ve geri kazanım sonrası ekonomik katkı çerçevesi tanımlanmıştır (il genelinde ~21.000.000 ton ve hesaplanan katkı ~15.384.000.000 TL). YSA modeli bu çerçeveyi “hızlı tahmin/karar destek” perspektifiyle sayısallaştırmak üzere kurgulanmıştır.

5.3.2. Metot: Senaryo üretimi ve hedef fonksiyonun oluşturulması

Gerçek saha koşullarında atık bileşiminin ve birim fiyatların belirsizliği nedeniyle, tek bir deterministik hesap yerine çok sayıda olası senaryo üretilerek model eğitilmiştir. Senaryo üretimi iki “ankraj” bilgisine dayandırılmıştır:

Toplam enkaz miktarı ankrajları (ton): Merkez toplamı, İlçeler toplamı, İl geneli toplamı (*Bu üç seviye, kodda anchorTotals olarak kullanılmıştır.*)

Atık bileşimi ankrajları: Merkez–İlçeler–İl geneli için 11 atık türünün ton cinsinden dağılımları esas alınmış; bunlar yüzde bileşime çevrilerek senaryo üretiminde başlangıç kompozisyonu olarak kullanılmıştır.

Her bir senaryoda:

- Seçilen ankraja bağlı toplam miktar, belirli bir ölçekleme oynaklığıyla türetilmiş,
- Kompozisyon yüzdeleri ankraj kompozisyonunun çevresinde küçük sapmalarla örneklenmiş,
- Birim fiyatlar ise tezde verilen aralıklardan rassal olarak çekilmiştir (kodda aralık ters yazılmışsa otomatik düzeltilmiştir).

Bu girdilerle hedef değerler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

- Tehlikeli atık maliyeti (TL): (Eşitlik 5.11)

$$C_{haz} = Q_{haz} \times U_{haz} \quad (5.11)$$

- Brüt geri kazanım geliri (TL): (tehlikeli atık hariç) (Eşitlik 5.12)

$$R_{gross} = \sum_{i \neq haz} Q_i \times U_i \quad (5.12)$$

- Net ekonomik değer (TL): (Eşitlik 5.13)

$$V_{net} = R_{gross} - C_{haz} \quad (5.13)$$

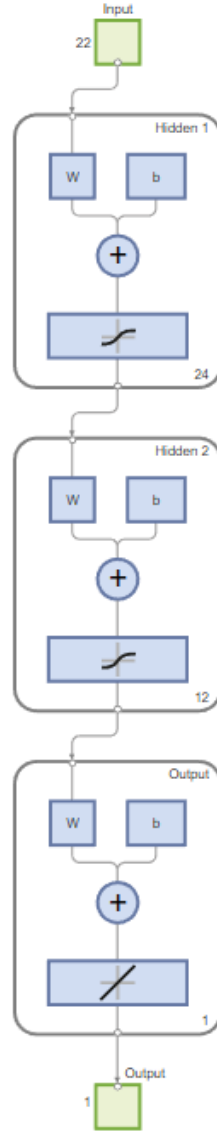
5.3.3. Yapay sinir ağı mimarisi ve eğitim ayarları

Net ekonomik değer in doğrusal olmayan girdilerle ilişkisini öğrenmek için ileri beslemeli regresyon YSA kullanılmıştır. Eğitim, MATLAB Neural Network Toolbox ortamında yürütülmüştür. Ağ yapısı:

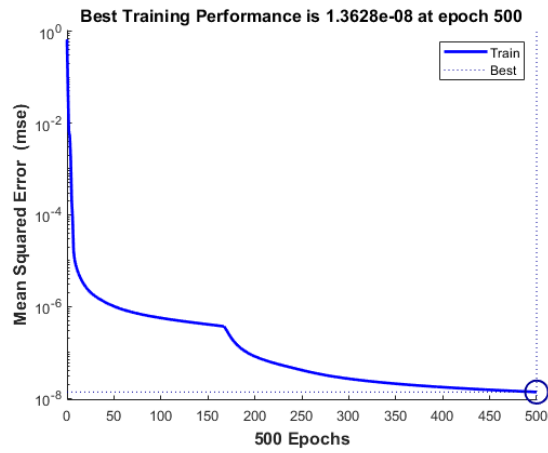
- Girdi katmanı: 22 değişken
 - Gizli katmanlar: 2 katman, sırasıyla 24 ve 12 nöron
 - Çıktı katmanı: 1 değişken (Net ekonomik değer)
- Eğitim algoritması:
- Levenberg–Marquardt (trainlm)
 - Performans ölçütü: MSE (Mean Squared Error)
- Eğitim ilerlemesi ve ağ mimarisi, MATLAB çıktılarıyla izlenmiştir:
- Eğitim 500 epoch'ta tamamlanmıştır (maksimum epoch'a ulaşılmıştır),
 - En iyi eğitim performansı (MSE) $\sim 1.36 \times 10^{-8}$ 1.36×10^{-8} mertebesinde (epoch 500).

Bu çalışmada, deprem sonrası hafriyat atıklarının geri kazanımına dayalı net ekonomik değer in tahmini amacıyla ileri beslemeli bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Model, atık türlerine ait miktarlar (ton) ile bu atıkların birim ekonomik değerlerini (TL/ton) birlikte değerlendirerek, geri kazanım gelirleri ve tehlikeli atık maliyetleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi öğrenmeyi hedeflemektedir.

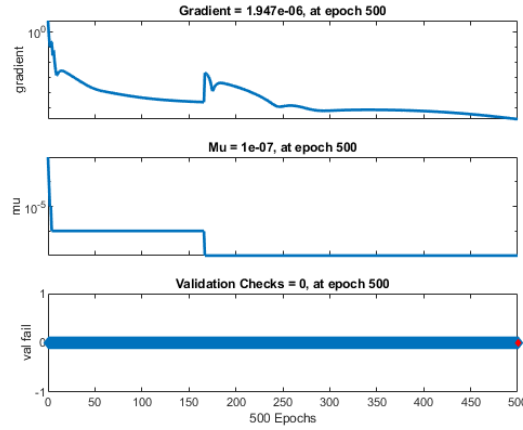
YSA modelinin mimarisi, eğitim süreci ve yakınsama davranışı MATLAB ortamında ayrıntılı olarak izlenmiş; ağ yapısı, hata fonksiyonunun epoch'a bağlı değişimi ve eğitim algoritmasının içsel durum değişkenleri grafiksel olarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda, ağ mimarisi ve eğitim sürecine ilişkin temel çıktılar Şekil 5.8(a)– (c)'de sunulmaktadır.



Şekil 5.8(a): Ağ mimarisi (22–24–12–1) “Network Diagram”



Şekil 5.8(b): Eğitim performansı (MSE–epoch)



Şekil 5.8(c): Eğitim durumu (gradient, mu, validation checks)

Şekil 5.8(a)'de, net ekonomik değerin tahmini için kullanılan yapay sinir ağının mimarisi gösterilmektedir. Ağ, 22 giriş değişkeni ile başlamakta olup, iki gizli katman içermektedir. Birinci gizli katmanda 24, ikinci gizli katmanda ise 12 nöron bulunmaktadır. Çıkış katmanı tek nörondan oluşmakta ve modelin çıktısı olarak net ekonomik değer (TL) üretilmektedir. Bu yapı, atık miktarları ve birim fiyatlar arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkilerin öğrenilmesine olanak sağlayacak şekilde seçilmiştir. Ağ, ileri beslemeli bir yapıdadır ve ağırlıklar ile bias terimleri eğitim sürecinde Levenberg–Marquardt algoritması ile optimize edilmiştir.

Şekil 5.8(b), eğitim sürecinde ortalama karesel hata (Mean Squared Error, MSE) değerinin epoch sayısına bağlı değişimini göstermektedir. Grafik incelendiğinde, hatanın ilk epoch'larda hızlı bir şekilde azaldığı, ilerleyen epoch'larda ise daha yavaş fakat kararlı bir yakınsama sergilediği görülmektedir. Eğitim, maksimum epoch sayısı olan 500 epoch sonunda tamamlanmış; en düşük eğitim hatası değeri yaklaşık 1.36×10^{-8} mertebesinde elde edilmiştir. Bu durum, ağın eğitim verisi üzerindeki öğrenme sürecini başarıyla tamamladığını ve hata fonksiyonunun belirgin bir kararlılık düzeyine ulaştığını göstermektedir.

Şekil 5.8(c)'de, eğitim algoritmasına ait üç temel durum değişkeni birlikte sunulmaktadır: gradyan büyüklüğü, Levenberg–Marquardt algoritmasında kullanılan μ (mu) parametresi ve doğrulama kontrol sayısı (validation checks). Gradyan değerinin epoch ilerledikçe küçülmesi, hata fonksiyonunun minimumuna yaklaşıldığını göstermektedir. μ parametresinin düşük seviyelere inmesi, algoritmanın Gauss–Newton davranışına yakınsadığını ve eğitim sürecinin kararlı bir bölgede devam ettiğini işaret etmektedir.

Doğrulama kontrol sayısının sıfır olarak kalması ise, bu çalışmada doğrulama kümesinin erken durdurma amacıyla kullanılmadığını ve eğitimin belirlenen epoch sayısına kadar sürdürüldüğünü göstermektedir.

5.3.4. Veri bölme, normalizasyon ve performans metrikleri

Senaryolardan oluşturulan veri kümesi, model genellemesini değerlendirmek üzere rastgele bölünmüştür:

Eğitim: %70, Doğrulama: %15, Test: %15

Girdiler ve çıktı, yalnızca eğitim verisine göre mapminmax ile normalize edilmiş; doğrulama/test kümelerine aynı dönüşüm uygulanmıştır. Model başarımı aşağıdaki metriklerle raporlanmıştır:

RMSE, MAE, R^2

Bu metrikler eğitim, doğrulama ve test kümeleri için ayrı ayrı hesaplanarak tablo halinde sunulmuştur.

5.3.5. Açıklanabilirlik: Permütasyon (permutation) öznitelik önemi

Ekonomik karar destek açısından “hangi değişkenlerin net değeri daha fazla etkilediğini” göstermek için permütasyon öznitelik önemi kullanılmıştır. Yaklaşımda her bir özellik, test verisi üzerinde karıştırılarak MSE’deki bozulma ölçülmüş ve skorlar normalize edilmiştir.

5.3.6. Hata analizi ve karar destek görselleştirmeleri

Modelin karar destek amaçlı kullanılabilmesi için yalnızca tek bir başarı metriği yerine, hatanın davranışı ayrıca analiz edilmiştir:

Gerçek–Tahmin (test) saçılımı (1:1 doğrusu ile)

Hata histogramı (test hatalarının dağılımı)

$\pm 10\%$ hata bandı kapsama oranı:

Test örneklerinde göreceli hatanın $\%10$ ’u aşmadığı örnek oranı “kapsama” olarak raporlanmıştır.

Bland–Altman analizi: Tahmin–gerçek farklarının yanlılık (bias) ve uyum limitleri (LoA) ile incelenmesi sağlanmıştır.

Duyarlılık analizi (Metal miktarı $\rightarrow$ net değer): Metal miktarı değiştirilirken diğer girdiler ortalama düzeyde tutularak net değerdeki değişim eğrisi elde edilmiştir.

5.3.7. Uyum kontrolü: Ankraj senaryoları ile tutarlılık testi

YSA'nın tez tablolarındaki "Merkez-İlçeler-İl geneli" toplamlarına karşı makul davranıp davranmadığını kontrol etmek için, ankraj ton değerleri ve birim fiyatların orta değerleri kullanılarak YSA çıktısı ayrıca raporlanmıştır. Buna ek olarak, aynı ankraj tonlarıyla yapılan deterministik (formül tabanlı) net değer hesapları ile tezde verilen toplamlar arasındaki farklar tablo halinde gösterilmiştir. Bu kontrol, YSA'nın "senaryo üretimi + öğrenme" çerçevesinin tez verisiyle uyumlu bir zemin üzerinde çalıştığını göstermeyi amaçlar.



6. BULGULAR

6.1. Yapay Sinir Ağı (YSA) Tabanlı Ekonomik Karar Destek Bulguları

Bu bölümde, deprem sonrası hafriyat atık yönetiminde geri kazanımın net ekonomik değerinin tahmini amacıyla geliştirilen yapay sinir ağı (YSA) tabanlı ekonomik karar destek modelinden elde edilen bulgular sunulmakta ve tez kapsamında daha önce yapılan deterministik ekonomik değerlendirmelerle birlikte tartışılmaktadır. YSA modeli; 11 atık türüne ait miktarlar (ton) ve aynı atık türlerine ait birim fiyatlar (TL/ton) olmak üzere toplam 22 girdi değişkeni kullanılarak eğitilmiş ve çıktı olarak net ekonomik değer (TL) üretmiştir.

6.1.1. YSA model performansının değerlendirilmesi

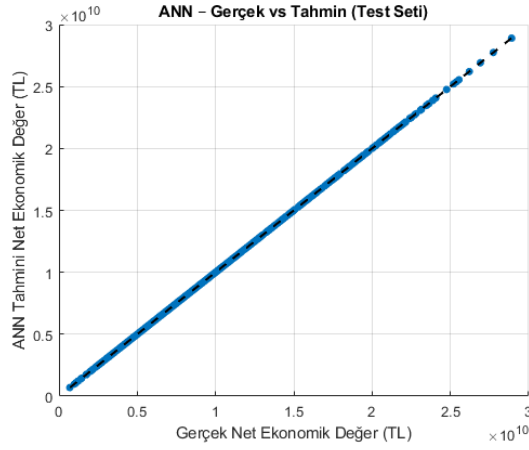
YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test aşamalarında elde edilen performans metrikleri Tablo 6.1’de sunulmuştur. Test seti sonuçlarına göre modelin belirleme katsayısı (R^2) 0,999999724 olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık test seti için RMSE değeri 2.536.208,90 TL ve MAE değeri 1.686.776,43 TL’dir. Net ekonomik değerın milyarlar TL mertebesinde olduğu dikkate alındığında, bu hata değerlerinin görece olarak düşük seviyede kaldığı görülmektedir.

$\pm 10\%$ bağıl hata bandı analizi sonucunda test verilerinin tamamının (%100) bu bant içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. Bu durum, modelin farklı senaryolar altında kararlı ve tutarlı tahminler üretebildiğini göstermektedir. Bland–Altman analizinde ortalama fark (bias) 42.885,98 TL olarak hesaplanmış, üst ve alt uyum sınırları sırasıyla -4.929.444,98 TL ve 5.015.216,95 TL olarak belirlenmiştir. Bias değerinin sıfıra oldukça yakın olması, YSA tahminlerinde belirgin bir sistematik sapma bulunmadığını göstermektedir.

Tablo 6.1. YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test performans metrikleri

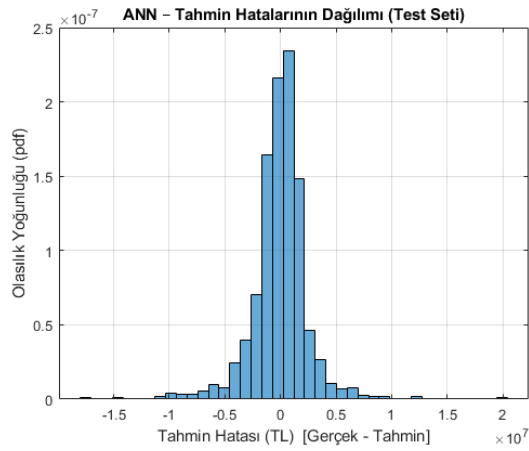
RMSE_Train	MAE_Train	R2_Train	RMSE_Val	MAE_Val	R2_Val	
1905594.668	1400268.763	0.999999848	2644162.764	1746900.708	0.999999684	
RMSE_Test	MAE_Test	R2_Test	Coverage_10pct	BA_Bias	BA_LoA_Lower	BA_LoA_Upper
2536208.904	1686776.43	0.999999724	100	42885.98323	-4929444.978	5015216.945

YSA modelinin test seti için gerçek ve tahmin edilen net ekonomik değerler arasındaki ilişki Şekil 6.1’de gösterilmektedir. Noktaların 1:1 doğrusu etrafında yoğunlaşması, modelin yüksek tahmin doğruluğunu görsel olarak da doğrulamaktadır.



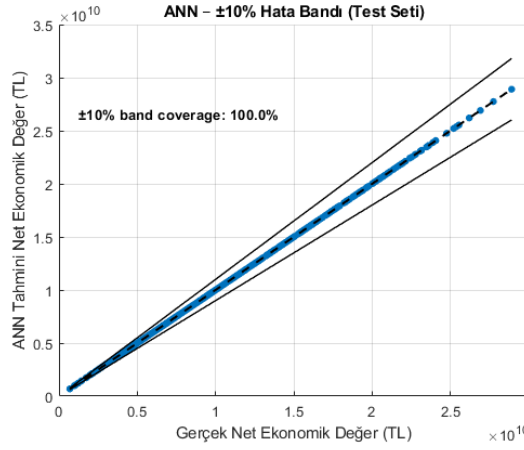
Şekil 6.1. YSA modeli için gerçek ve tahmin edilen net ekonomik değerlerin karşılaştırılması (test seti)

Tahmin hatalarının dağılımı Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Hataların sıfır etrafında simetrik bir dağılım sergilemesi, model tahminlerinde belirgin bir yanlılık bulunmadığını göstermektedir.



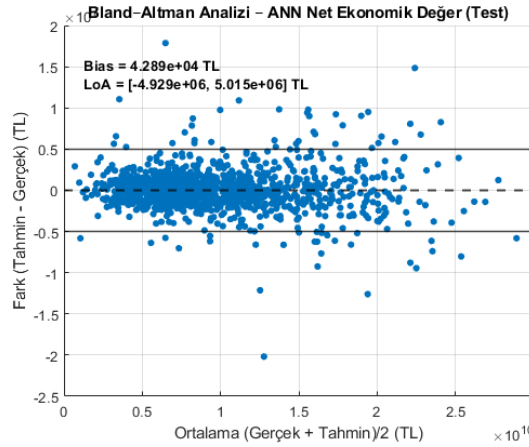
Şekil 6.2. YSA tahmin hatalarının dağılımı (test seti)

Tahminlerin bağıl hata davranışı Şekil 6.3’de verilen $\pm 10\%$ hata bandı ile incelenmiştir. Tüm test örneklerinin bu bant içerisinde kalması, YSA modelinin karar destek amaçlı kullanım açısından güvenilir bir performans sunduğunu göstermektedir.



Şekil 6.3. YSA modeli için $\pm 10\%$ hata bandı analizi (test seti)

YSA tahminlerindeki sistematik farkların değerlendirilmesi amacıyla Bland–Altman analizi uygulanmış ve sonuçlar Şekil 6.4’te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, tahmin hatalarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde dağıldığını göstermektedir.



Şekil 6.4. YSA tabanlı net ekonomik değer tahminleri için Bland–Altman analizi (test seti)

6.1.2. İl, ilçe ve il geneli ölçeğinde ysa tabanlı ekonomik tahminler

Tezde daha önce Tablo 5.15, Tablo 5.16 ve Tablo 5.17’de verilen toplam hafriyat miktarları esas alınarak, YSA modeli ile üç farklı mekânsal ölçekte (merkez, ilçeler ve il geneli) net ekonomik değer tahminleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.2’de sunulmuştur.

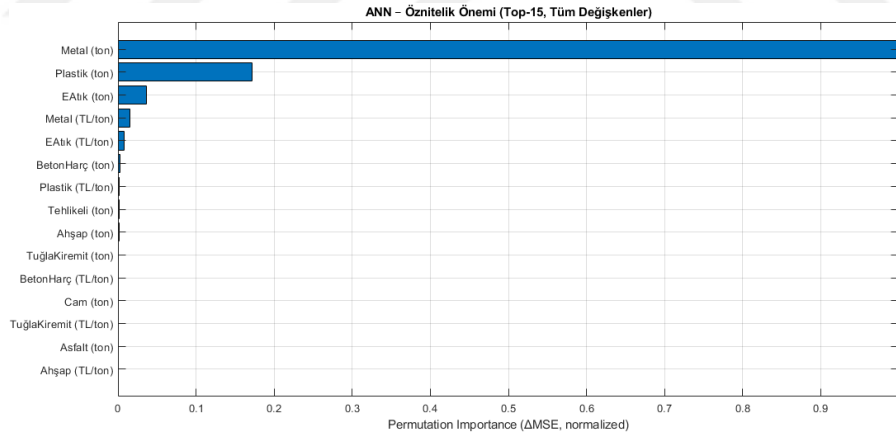
Tablo 6.2. Merkez, ilçeler ve il geneli için ysa tabanlı net ekonomik değer tahminleri

Scenario	Total_Debris_Ton	YSA_Net_Economic_Value_TL
Merkez (Tablo 5.15)	8730000	6110461715
İlçeler (Tablo 5.16)	12360000	8282531031
İl Geneli (Tablo 5.17)	21000000	14385485333

Tablo 6.2 incelendiğinde, toplam hafriyat miktarındaki artışa paralel olarak net ekonomik değerin de arttığı görülmektedir. Özellikle il geneli senaryosu, geri kazanım potansiyelinin ekonomik açıdan oldukça yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. YSA sonuçlarının, tez kapsamında deterministik yöntemle hesaplanan ekonomik toplamlarla aynı büyüklük mertebesinde olması, modelin gerçekçi tahminler ürettiğini göstermektedir.

6.1.3. Öznitelik önemi analizi ve ekonomik yorum

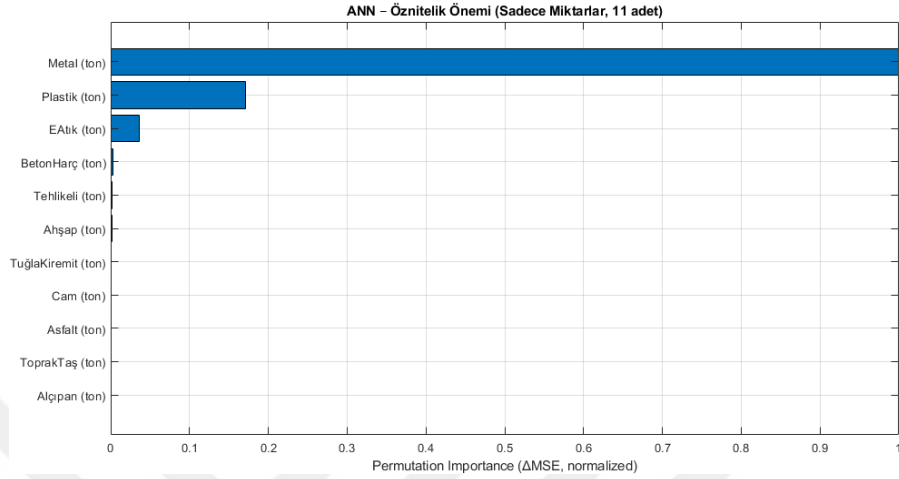
YSA modelinde kullanılan değişkenlerin net ekonomik değer tahminine olan etkileri, permütasyon temelli öznitelik önemi analizi ile değerlendirilmiştir. Tüm değişkenler için hesaplanan ilk 15 öznitelik önem değeri Şekil 6.5’te sunulmuştur.



Şekil 6.5. YSA modeli için öznitelik önemi analizi (ilk 15 değişken)

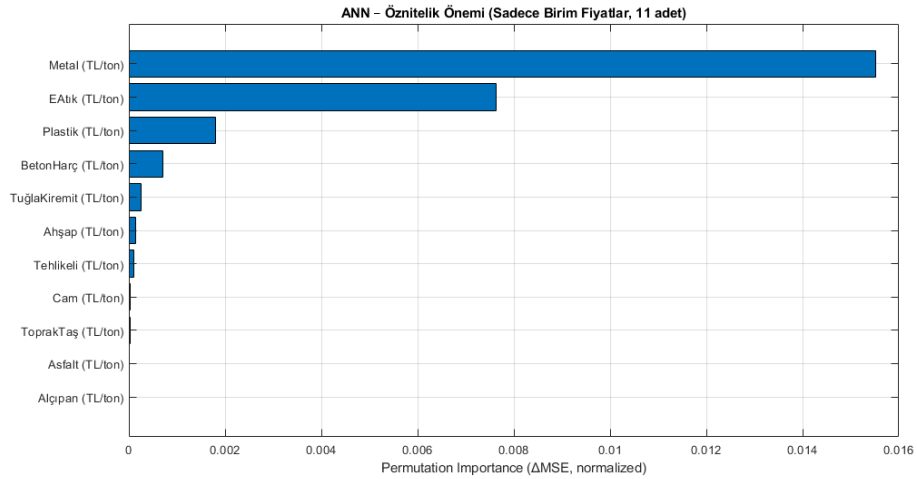
Şekil 6.5’te görüldüğü üzere, net ekonomik değerin tahmininde en baskın değişken metal atık miktarı (ton) olarak belirlenmiştir. Bunu plastik ve e-atık miktarları izlemektedir. Bu sonuç, yüksek birim ekonomik değere sahip atık türlerinin ekonomik çıktıyı belirlemede kritik rol oynadığını göstermektedir.

Atık miktarlarının etkisini daha ayrıntılı incelemek amacıyla yalnızca miktar değişkenleri dikkate alınarak yapılan öznelik önemi analizi sonuçları Şekil 6.6’da verilmiştir.



Şekil 6.6. YSA modeli için öznelik önemi analizi (sadece atık miktarları)

Benzer biçimde, yalnızca birim fiyat değişkenlerinin etkisini gösteren öznelik önemi analizi sonuçları Şekil 6.7’de sunulmuştur.

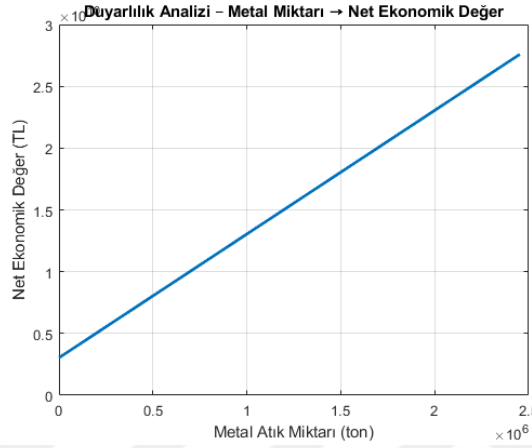


Şekil 6.7. YSA modeli için öznelik önemi analizi (sadece birim fiyatlar)

Bu sonuçlar, miktar değişkenlerinin birim fiyatlara kıyasla net ekonomik değerin tahmininde daha baskın bir role sahip olduğunu göstermektedir.

6.1.4. Duyarlılık analizi

Modelin belirli bir değişkene karşı verdiği tepkiyi incelemek amacıyla metal atık miktarı için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Metal atık miktarındaki değişime karşılık YSA tarafından tahmin edilen net ekonomik değerler Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Metal atık miktarına bağlı olarak net ekonomik değer değişimi

Şekil 6.8 incelendiğinde, metal atık miktarındaki artışın net ekonomik değeri yaklaşık doğrusal bir biçimde artırdığı görülmektedir. Bu durum, metal atıkların geri kazanım sürecinde ekonomik açıdan stratejik bir öneme sahip olduğunu ve ayrıştırma/geri kazanım süreçlerinde öncelikli olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

6.1.5. Genel değerlendirme

Bu bölümde elde edilen bulgular birlikte değerlendirildiğinde, yapay sinir ağı (YSA) tabanlı ekonomik karar destek yaklaşımının deprem sonrası hafriyat atık yönetiminde net ekonomik değerin tahminine yönelik sonuçlar ürettiği görülmektedir. Model, deterministik hesaplamalarda kullanılan atık miktarı ve birim fiyat bilgilerinin senaryo tabanlı biçimde ele alınmasıyla, merkez, ilçe ve il geneli ölçeklerinde ekonomik değerlendirmelerin nicel olarak yapılmasına imkân tanımaktadır.

Bu çalışmada kullanılan YSA modeli, tez kapsamında sunulan gerçek hafriyat miktarları, atık türü dağılımları ve birim fiyat aralıkları esas alınarak oluşturulan senaryo tabanlı bir veri kümesi üzerinde eğitilmiştir. Böylece, oluşturulan senaryolar tezde tanımlanan ekonomik ve fiziksel sınırlar içerisinde tutulmuş; farklı koşullar altında net ekonomik değerin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 6.1’de sunulan eğitim, doğrulama ve test performans metrikleri ile $\pm 10\%$ hata bandı ve Bland–Altman analizlerinden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, modelin tahmin hatalarının sayısal göstergeler ve görsel analizlerle raporlandığı görülmektedir. Bu kapsamda, YSA tabanlı yaklaşım deterministik hesaplamaları dışlamadan, onları tamamlayıcı bir araç olarak ele alınmakta; farklı ölçeklerde ekonomik sonuçların incelenmesine yönelik nicel bir çerçeve sunmaktadır.



7. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

7.1.Sonuçlar

Afet sonrası oluşan inşaat atıklarının mevcut bertaraf yöntemleri, çevresel ve ekolojik kayıpları derinleştirmekte; bu durum, toplum üzerindeki ek yükü azaltmak için acilen yeni, bütüncül ve sürdürülebilir atık yönetim stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Adıyaman ilinin genelinde depremler öncesi 118.164 adet bina bulunmaktaydı. 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli meydana gelen depremler sonrası hasar görüp yıkılan bina sayısı Adıyaman ili genelinde 34.436 adettir. Yıkılan binalardan yaklaşık 21 milyon ton atık ortaya çıktığı hesaplanmıştır. Bu atıkların yaklaşık 9 milyon tonu Adıyaman Merkez ilçesinde, geriye kalan 12 milyon ton atık ise diğer ilçelerden ortaya çıkmıştır. Adıyaman Merkez ilçesinde ortaya çıkan atıklar yetkili makamlar tarafından belirlenen 4 farklı döküm alanına taşınmıştır. Bu 4 farklı döküm alanlarından en yoğun olarak kullanılan Börgenek döküm sahasıdır. Buradaki atık miktarı yapılan hesaplamalar sonucunda 7 milyon ton, geriye kalan 2 milyon ton atığın ise diğer 3 döküm alanına taşındığı bulunmuştur.

Adıyaman merkez ve diğer ilçelerinde ortaya çıkan atığın içerisindeki atık türleri ve miktarları belirlenmiştir. Bu atıkların geri dönüşümü ve geri kazanımı sonucu ekonomiye katkısının ne kadar olduğu hesaplanmıştır.

Adıyaman Merkez ilçesinde ortaya çıkan yaklaşık 9 milyon ton İYA'nın yapılan hesaplamalar sonucu ekonomiye katkısı geri kazanım yapıldığı takdirde 6,38 milyar TL olarak hesaplanmıştır. Diğer ilçelerde ise ortaya çıkan yaklaşık 12 milyon ton İYA'nın ekonomiye olan katkısı 9,03 milyar TL olarak hesaplanmıştır.

Adıyaman İl genelinde ortaya çıkan İYA'nın geri kazanım yapılması durumunda ekonomiye toplam katkısı 15,38 milyar TL olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda çevre ve insan sağlığı üzerindeki katkıları da düşünüldüğünde atık yönetiminin ne kadar hassas bir konu olduğu ortaya çıkmıştır. Bu tez kapsamında ayrıca, senaryo tabanlı bir veri yapısı üzerinde eğitilen YSA modeli kullanılarak net ekonomik değer tahmini gerçekleştirilmiş; modelin performansı RMSE, MAE ve R² metrikleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 6.1'de sunulmuştur. Modelin hata davranışı; Gerçek–Tahmin karşılaştırması, hata dağılımı,

$\pm 10\%$ hata bandı ve Bland–Altman analizi ile Şekil 6.1–Şekil 6.4’te verilmiştir. Öznitelik önemi analizi sonuçları ise Şekil 6.5–Şekil 6.7’de sunulmuştur.

7.2.Tartışma

Afet atığı hacmi ve yönetim zorluklarının karşılaştırılması literatür incelendiğinde, afet sonrası ortaya çıkan inşaat ve yıkıntı atıklarının yönetilmesinin zor olduğu görülmektedir.

Baycan, (2004) çalışmasında 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi sonrasında yaklaşık 110.000 binanın hasar gördüğünü ve bunun sonucunda 13 milyon ton civarında molozun ortaya çıktığını belirtmiştir. Çalışmada, bu atıkların Kocaeli, Sakarya, Yalova ve Bolu illerindeki 17 farklı depolama alanına taşındığı, ancak geri dönüşüm tesislerinin yetersizliği nedeniyle önemli bir kısmının bertaraf edilmediğini ifade etmiştir. Araştırma, yerel yönetimlerin karar alma mekanizmalarının eksikliği nedeniyle yasa dışı döküm alanlarının oluştuğunu, bu durumun hem çevresel hem de ekonomik kayıplara yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca, afet sonrasında atıkların yönetilebilmesi için nakliye organizasyonunun, geçici depolama alanlarının kapasitesinin belirlenmesi ve geri dönüşüm altyapısının oluşturulmasının kritik olduğu vurgulanmıştır (Baycan, 2004).

Hernández-Padilla ve Angeles, (2017) çalışmasında 10 Eylül 2017 tarihinde Meksika’da meydana gelen 7,1 büyüklüğündeki depremin ardından 7021 konutun ağır hasar aldığını ve birçok yapının tamamen yıkıldığını raporlamıştır. Çalışmada, afet sonrası oluşan atıkların etkili bir şekilde yönetilebilmesi için yasal çerçevenin güçlendirilmesi ve yerel yönetimlerin kapasitesinin artırılmasının önemine dikkat çekilmiştir (Hernández-Padilla ve Angeles, 2017).

Kaplan ve Soyluk, (2023) 6-7 Şubat 2023 tarihlerinde Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında Türkiye genelinde yaklaşık 138 milyon ton inşaat atığının oluşacağını öngörmüştür. Çalışmada, afet sonrası atıkların sürdürülebilir biçimde yönetilebilmesi için ulusal mevzuata dayalı bir sistemin oluşturulmasının önemi vurgulanmış; özellikle beton atıklarının geri kazanımı için gerekli altyapı ve yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Kaplan ve Soyluk, 2023).

Bu tez çalışmasında Adıyaman ili özelinde yapılan hesaplamalar, 6-7 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerde hasar gören 34.436 binadan yaklaşık 21 milyon ton İYA oluştuğu hesaplanmıştır.

Adıyaman ilinde oluşan 21 milyon tonluk atık hacmi, 1999 Marmara Depremi'nin dört il genelinde oluşturduğu toplam 13 milyon tonluk atık hacminden %60 fazladır. Bu durum, Kahramanmaraş depremlerinin yıkım şiddetinin ne kadar büyük oranda olduğunu ve atık yönetiminin ne kadar zor olduğunu göstermektedir.

Kaplan ve Soyluk'un, (2023) yaptığı çalışmada elde ettiği sonuçlar dikkate alındığında, altyapı ve lojistik bakımından afet sonrası atık yönetiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Baycan'ın, (2004) hem de Hernández-Padilla ve Angeles'in (2017) vurguladığı geri dönüşüm tesislerinin yetersizliği, yasal boşluklar ve yerel kapasite eksikliği sorunlarının, Adıyaman'da çok daha büyük çevresel ve ekonomik riskler taşıyacağı açıktır.

Bu tezde kullanılan YSA tabanlı ekonomik karar destek yaklaşımı, tez kapsamında belirlenen atık bileşimi ve birim fiyat aralıkları çerçevesinde oluşturulan senaryolar altında net ekonomik değerin tahmin edilmesine yönelik bir uygulama olarak ele alınmıştır. Model performansı ve hata analizi sonuçları Tablo 6.1 ve ilgili şekillerde sunulmuştur.

7.3.Öneriler

Afet öncesi ve sonrası atık yönetimine ilişkin öneriler aşağıda sıralanmıştır.

1.Afet öncesi ve sonrası atık yönetim sürecine topluluk katılımını ve atık ayrıştırma verimliliğini artırmak amacıyla, yerel halka yönelik kapsamlı eğitim ve bilinçlendirme programları geliştirilmelidir.

2. Afet öncesi uygun atık bertaraf yerlerinin belirlenmesi, yerin durumu, yüzey şekilleri ve atık düzeyinin seviyesi dikkate alınmalıdır.

3. Afet atıkları için belirlenecek geçici veya kalıcı depolama tesislerinin konumu, çevresel riskleri minimize etmek amacıyla, tarımsal nitelikli arazilerden, yüzey ve yeraltı su kaynaklarından ve mevcut yerleşim bölgelerinden yeterli güvenlik mesafesinde olacak şekilde planlanmalıdır.

4. Deprem bölgelerinde, deprem öncesi ve sonrası inşaat süreçlerine yönelik ayrıntılı düzenlemelerin hazırlanması ve afet atıklarının toplanması ile geri dönüştürülmesine dair prosedürlerin yasal metinler aracılığıyla kesinleştirilerek mevzuata entegre edilmelidir.

5. Afet atıklarının türlerine göre ayrıştırılması ve güvenli depolanması amacıyla tasarlanmış yeterli kapasitedeki özel alanların inşa edilmesi, bu alanlara atıkların, uzman personel ve uygun araçlar kullanılarak güvenli bir biçimde iletimi sağlanmalıdır.

6. Geri dönüşüm ve yeniden kullanım planlamalarında, çevresel etkilerin en aza indirilmesi, halk sağlığının korunması ve ekonomik değer yaratılması temel prensipler olarak benimsenmelidir.

7.Geri dönüşümü mümkün olmayan atıklar için güvenli alanlar kurulmalı, doğaya ve insan sağlığına zarar vermeyecek bir şekilde yok edilmelidir.

8. Atıkların geri kazanılması, tekrar kullanılabilir malzemelerin uygun şekilde değerlendirilmesi için özel geri dönüşüm merkezleri oluşturulmalıdır.

9. Tarihi eserlerin yer aldığı bölgeye ait bir koruma stratejisi ve planları oluşturulmalıdır.

10. Ulusal ve uluslararası düzeyde bir iş birliği ağı kurulmalıdır.

11. Tez kapsamında kullanılan yapay zekâ tabanlı ekonomik karar destek yaklaşımı, karar vericilerin farklı senaryolar altında ekonomik çıktıyı değerlendirebilmesine yardımcı olacak şekilde süreçlere entegre edilebilir.

KAYNAKÇA

- AFAD, (2023). 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 Depremlerine ilişkin Ön Değerlendirme Raporu. Deprem Daire Başkanlığı Ankara, s.11.
- Aksoy, M.H., İspir, M, & Yeşil, E., (2023). Impact of Tilt Angle on The Performance of Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Alak, A.2017
- Aktaş Z., (2015). Bina Yıkım Atıklarının Altyapı Prejelerinde Değerlendirilmesi.Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi, Ankara.
- Asari M., Sakai S., Yoshioka T., Tojo Y., Tasaki T., Takigami H., Watanabe K. Strategy for separation and treatment of disaster waste: A manual for earthquake and tsunami disaster waste management in Japan. Journal of Material Cycles and Waste Management 2013; 15(3): 290-299.
- Agamuthu P., Fauziah SH. Pharmaceuticals in the environment, a prescription for disaster? Waste Management and Research 2011; 29(4): 349-350.
- Arslan, Hakan, Coşgun, Nilay ve Salgın, Burcu, (2012). Construction and Demolition Waste Management in Turkey. Luis Fernando Marmolejo Rebellon (editör). Waste Management- An Integrated Vision. s.l.: InTech.
- Atık Yönetimi Eylem Planı, (2008-2012). Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetim Genel Müdürlüğü, Mayıs 2008.
- Adıyaman Valiliği., (2023). Erişim tarihi 13 Eylül 2025.<https://www.adiyaman.gov.tr>
- Adıyaman İl Özel İdaresi., (2023). Erişimtarihi13Eylül2025.
<https://www.adiyamanilozelidaresi.gov.tr>
- Bayer Y., Katı Atıkların Kompostlaştırılması ve İstanbul Geri Kazanma ve Kompost Tesisi Örneği, YTÜ Lisans Tezi, 2005 İstanbul
- Buzkan, C., ve Erman, O., (2020). Yapısal Atıkların Geri Dönüşüm Sorunu ve Türkiye’deki Durumun Mevzuat Bakımından Değerlendirilmesi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(1), 76-89
- Başarır Baştürk, N., Özel, N.M., Altınok, Y., Duman, T.Y., (2016). Türkiye ve Yakın Çevresi için Geliştirilmiş Tarihsel Dönem (MÖ 2000- MS 1900-) Deprem Katalogu. Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı, MTA Özel Yayınlar Serisi-35, 249
- Brown C. Waste management following earthquake disaster. In: Beer, M., Kougiumtzoğlu, I., Patelli, E., Au, IK. (Eds) Encyclopedia of Earthquake Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014; 1-16.

- Baycan, F., (2004). Emergency PIYSAing for Disaster Waste: A Proposal based on the experience of the Marmara Earthquake in Turkey. 2004 International Conference and Student Competition on post-disaster reconstruction "PIYSAing for reconstruction" Coventry, UK, April 22-23, 2004.
- Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı., (2023). SBB. Erişim Adresi: (09 Temmuz2023).<https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaraş-ve-HatayDepremleri-Raporu.pdf>
- Ceyda BUZKAN ve Onur ERMAN. Yapısal Atıkların Geri Dönüşüm Sorunu ve Türkiye’deki Durumun Mevzuat Bakımından Değerlendirilmesi, Araştırma Makalesi / Research Article, Doğ Afet Çev Derg, 2020; 6(1): 76-89, DOI: 10.21324/dacd.570141
- Çakiroğulları GÇ., Seçer S. Poliklorlu bifeniller ve sucul yaşam. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 2011; 3(1): 73-87.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı., (2023). Erişim tarihi:13 Temmuz 2023, <https://www.csb.gov.tr>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü., (2023). Erişim tarihi:13 Temmuz 2023, <https://www.csb.gov.tr>
- Demir, İ. (2009). İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi. AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2009-02, 105-114.
- Darkot, B., (1989). “Hısn-ı Mansur”. İslam Ansiklopedisi. (VII, 454-455). İstanbul: MEB Yayınları.
- Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. Environmental Sciences Europe 2016; 28(1): 1-25.
- Duygu Yapıcı EREN. (2019) hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının alternatif yönetimleri ve aydın ili ölçeğinde incelenmesi Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı
- Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş ve Şaroğlu F, (2013). Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye, 89 S.
- Environmental Protection Agency (EPA)., 2018. Earthquake resilience guide for water and waste water utilities. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-02/documents/180112>

- Esra KAPLAN, Asena SOYLUK. Deprem Sonrası Atık Yönetimi: Atık Betonun Geri Dönüşümü ve Mimaride Kullanımı için Öneriler Journal of Architectural Sciences and Applications JASA, 2024, 9 (Special Issue), 140-162
- Fatih Kürşat FIRAT, Fahri AKBAŞ. İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm Çalışmalarının Geliştirilmesi ve Ekonomi Üzerine Etkileri. Çevre ve Enerji Dergisi, 2015
- Güneş M., Güneş A., İlbeyli N., Kaya B. Asbest maruziyet ve etkileri asbest mineralojisi. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 2017; 10(1): 1-5.
- Halaçoğlu, Y. (1988). “Adıyaman”. DİA, (I, 377-379). İstanbul: TDV Yayınları.
- Hernández-Padilla, F. ve Anglés, M., (2017). Earthquake waste management, is it possible in developing countries: Case study: 2017 Mexico City seism. Sustainability. 2021; 13(5):2431.
- Hazine ve Maliye Bakanlığı Türkiye İstatistik Kurumu., (2023) Erişim tarihi:13 Eylül 2025, <https://www.tuik.gov.tr>
- Hempton, Mark., (1985). Structure and deformation history of the Bitlis Suture near Lake Hazar, SE Turkey. Geological Society of America Bulletin- GEOL SOC AMER BULL. 96. 10.1130/0016-7606(1985)96
- İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Dönüşümü ve Kullanım Kriterlerinin Belirlenmesi Projesi. Ankara: MAM, 2015.
- İnternet: Makina-Market. Yıkıntı atıkları için “dönüşüm” projesi URL: <http://makinamarket.com.tr/icerik/8688/yikinti-atiklari-icin-donusum-projesi>, Son Erişim Tarihi: 30.06.2015.
- IFRC., (2022). Disaster recovery and reconstruction in Italy- a legal and policy survey,
- İsmail DEMİR, (2009) İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi, Demir/AKÜ Fen Bilimleri Dergisi 2009-02 105 -114
- KTB, (2019). Kültür ve Turizm Bakanlığı, Adıyaman İl Müdürlüğü, Genel Bilgiler, <https://adiyaman.ktb.gov.tr/TR-61334/genel-bilgiler.html> (Erişim Tarihi: 07.07.2019).
- Kahn LG., Philippat C., Nakayama SF., Slama R., Trasande L. Endocrine-disrupting chemicals: implications for human health. Lancet Diabetes Endocrinol, 2020; 8(8): 703-718.
- Kültür ve Turizm Bakanlığı, (2023). Adıyaman ili genel tanıtımı. Erişim tarihi 13 Eylül 2025, <https://www.ktb.gov.tr>
- Lorca, A., Çelik, M., Ergun, O., Keskinocak, P., (2015). A decision support tool for post-disaster debris operations. Procedia Engineering 107, 154-167.

- Ministry of the Environment Disaster Waste Management Information Site Guidelines for Disaster Waste Management after the Great East Japan Earthquake, 2023
- Mantovani, J. L., (2022). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. <https://doi.org/10.5194/gmd-2022-64>
- Ölmez, E., Yıldız, Ş., (02-06Kasım 2008). İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli. Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları '08 Sempozyumu'nda sunuldu. İstanbul.
- Önal, M.T., (2009). Yapısal Atıkları Azaltma Yönünde Türkiye Koşullarına Uygun Yapı Yıkım Yönetim Sisteminin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Gebze.
- Özkan, S., (1993). “Kummuh/Kumaha”. Tarihi İncelemeleri Dergisi. VIII, 65-80.
- Öztürk M.,(2017), Afetlerde atık yönetimi mekanizması, <http://tucev.org/dosyalar/files/afetlerde-atik-yonetimi.pdf>, [Erişim 12 Temmuz 2018].
- Sasao, T., (2016). Cost and efficiency of disaster waste disposal: A case study of the Great East Japan Earthquake. Waste management, 58, 3-13.
- Seçici Yıkım Planı Usul ve Esasları. Erişim tarihi 13 Eylül, 2025
- So, nu, & Bhokal, R. P., (2017). Study of Artificial Neural Network. International Journal of Mathematics Trends and Technology, 47(4), 253–259. <https://doi.org/10.14445/22315373/IJMTT-V47P535>
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. Ve Boray, A., (1987). Türkiye'nin diri fayları ve depremselliği. MTA Rapor No: 8174.
- Şengör AMC., Tüysüz O., İmren C., Sakıncı M., Eyidoğan H., Görür N., Le Pichon X., Rangin C. The north anatolian fault: a new look. YSAual Review of Earth and Planetary Sciences, 2005; 33: 37-112.
- Sayıştay Başkanlığı, (2007) Türkiye'de Atık Yönetimi, Ulusal Düzenlemeler ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Performans Denetimi Raporu. Ankara: T.C. Sayıştay Başkanlığı. (2007). Erişim tarihi 13 Eylül 2025, <https://www.sayistay.gov.tr>
- Tchobanoglous G., Thesien H., and Vigil S.A., Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues. Mc-Graw Hill, 1993 New York
- Toraman Ö.Y., ve Topal H., Katı Atık ve Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesinde Alternatif Termal Teknolojiler ve Uygulamaları, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi. Cilt18, No 1, 2003 Ankara

- Takashima, S., (2016). 2016 Kumamoto Earthquake report on Fukuoka City's disaster relief activities in the areas affected by the disaster. A report prepared by the Mayor of Fukuoka City. http://www.city.fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/54071/1/report_20160512_en.pdf. [Erişim tarihi: 8 Temmuz 2017].
- United Nations Office for The Coordination of Humanitarian Affairs Section EP. Disaster waste management guidelines. <https://www.unocha.org/sites/unocha/files/DWMG.pdf>. Erişim Tarihi: 15.03.2023.
- U.S. EPA. Documentation for greenhouse gas emission and energy factors used in the waste reduction model-management practices chapters. https://www.epa.gov/sites/default/files/202012/documents/warm_background_v15_10-29-2020.pdf. Erişim Tarihi: 15.03.2023.
- URL1: www.mta.gov.tr Erişim tarihi 13 Eylöl 2023, <https://www.mta.gov.tr>
- URL2: <https://firmarehberim.com/anadolu-ajansi-adiyaman-buros-u-adiyaman-merkez> Erişim tarihi 23.03.2023
- Ulucan M., Alyamac KE. A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic, and environmental. *Waste Management*, 2022; 146: 53- 65.
- United Nation Environment Programme, Office of the Coordination of Humanitarian Affairs Environment Unit. Disaster waste management guidelines., 2011. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27291/DisaterWM_guidelines.pdf9
- Zeki AKTAş. Bina yıkım atıklarının altyapı projelerinde değeriendirilmesi uzmanlık tezi, 2015.
- Zhang, D., (2017). A Coefficient of Determination for Generalized Linear Models. *The American Statistician*, 71(4), 310–316. <https://doi.org/10.1080/00031305.2016.1256839>
- Wu, S., McAuley, K. B., & Harris, T. J. (2011). Selection of simplified models: I. Analysis of model-selection criteria using mean-squared error. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 89(1), 148–158. <https://doi.org/10.1002/CJCE.20406>
- Xiao, J., Deng, Q., Hou, M., Shen, J. & Gencel, O., (2023). Where are demolition wastes going: reflection and analysis of the February 6, 2023 earthquake disaster in Turkey. *Low-carbon Materials and Green Construction*, 1(1), 17.