

Döngüsel Ekonomi Modeli Kapsamında Erzurum İli Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yol Yapımında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Zeynep EREN*

zeren@atauni.edu.tr

Büşra Nazlı ŞEN

busranazlisen@gmail.com

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Özet

Bu çalışmada Erzurum İli'nde 2018-2020 yılları arasında meydana gelen hafriyat toprağı (HT) ve inşaat yıkıntı atıklarının (İYA) türleri ve miktarları değerlendirilerek bunların geri dönüşümü ile elde edilecek malzemelerin karayolu yapımında kullanılabilirliği literatürdeki örnek çalışmalar üzerinden incelenmiştir. Literatürde yapılmış örnek çalışmalar ve Karayolları Teknik Şartnamesi standartları göz önünde bulundurularak inşaat atıklarının karayolu yapımında kullanılabilmesi için gerekli laboratuvar deneyleri belirlenmiştir. Bu standartları sağlamak koşulu ile, inşaat atıklarının çeşitli laboratuvar deneyleri ile karayolu dolgu tabakasında HT ve İYA'nın tamamının kullanılmasının uygun olduğu; ama alttemel tabakası ve plent-mix tabakalarında belli oranlarda İYA, belli oranlarda ise agrega kullanılarak geri dönüşümü ve yeniden kullanımının mümkün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca karayolu temel ve alttemel inşaatı için kullanılacak olan geri dönüştürülmüş İYA'na yönelik potansiyel talep tahmin edilmiş ve Erzurum İli'nde açığa çıkan İYA'ya miktarının 2018, 2019 ve 2020 yılları içinde inşa edilmiş yol yapımında kullanılacak potansiyel malzeme talebini karşılayabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Hafriyat toprağı, inşaat yıkıntı atıkları, karayolu, geri dönüşüm, döngüsel ekonomi modeli

Investigation of Usability of Excavated Soil, Construction and Demolition Wastes in Erzurum City for the Road Construction within the Scope of Circular Economy Model

Zeynep EREN*

zeren@atauni.edu.tr

Büşra Nazlı ŞEN

busranazlisen@gmail.com

Atatürk University, Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Erzurum, Turkey

Abstract

In this research, the types and amounts of excavation soil (ES), construction and demolition wastes (CDW) in Erzurum City were evaluated and the usability of the materials to be obtained by recycling of in highway construction was examined through case studies in the literature. Considering the case studies in the literature and the Highways Technical Specification standards, the necessary laboratory tests were determined for the use of construction wastes in highway construction. With the condition of these standards met, it is defined that the use of construction wastes and all excavation soil is suitable for use in the highway fill layer by conducting various laboratory tests. However, it has been determined that recycling and reuse are possible by using certain proportions of CDW and certain proportions of aggregate in the subbase layer and plant-mix layers. In addition, the potential demand for recycled CDW that can be used for highway basement and sub-base construction has been estimated and it has been seen that the amount of CDW released in Erzurum Province can meet the potential demand for materials that can be used in road construction built in 2018, 2019 and 2020.

Keywords: Excavated soil, construction and demolition waste, highway, recycling, circular economy model

1. Giriş

Türkiye’de son yıllarda nüfus artışı ve kentleşme faaliyetleri, sosyo-ekonomik seviyenin yükselmesi, artan refah anlayışı ile gelişen yaşam koşulları gibi nedenlerle inşaat sektöründe hızlı bir yükseliş kaydedilmiştir. Konut piyasasında yaygınlaşan kentsel dönüşüm faaliyetleri, konut-dışı ticari yapılarda sosyal ihtiyaçlara yönelik yapılanmalar ile kamu kaynaklı büyük altyapı ve dönüşüm projeleri sektördeki büyümeyi etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Ayrıca çevreci yapılar, akıllı bina-ofis sistemleri, modern yaşam alanları, eğlence ve sosyal aktivite merkezleri gibi yeni eğilimler inşaat sektöründeki büyümeyi her geçen gün hızlandırmaktadır. İnşaat sektörü, ülkemizin dolaylı olarak gayri safi milli gelirinin yaklaşık %30’unu oluşturarak lokomotif sektör görevini üstlenmiştir. 2014-2018 yıllarını kapsayan 10. Kalkınma Planı, İnşaat, Mühendislik-Mimarlık Teknik Müşavirlik ve Müteahhitlik Hizmetleri, Özel İhtisas Komisyonu Raporu’nda inşaat sektörünün 2023 yılında; “yapıların kavramsal tasarım, tasarım, yapım, işletme, bakım-onarım ve dönüşüm süreçlerini; yaşam dönemi maliyetlerine göre, sürdürülebilirlik, afetsellik ve çevre üzerindeki etkileri düşünülerek” gerçekleştirileceği ifadesi; bu sektörün yalnızca ekonomik göstergelerle değil çok boyutlu olarak yönetilen bir sektör haline geleceğini ortaya koymaktadır (Anonim, 2014).

İnşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi ekonomik, dayanıklı ve güvenli olması sebebiyle özellikle konut tipi yapıların %99’dan fazlasının inşasında tercih edilen betondur. Betonun %55-80’ini agrega oluşturmaktadır. Agregaya karşı alternatif bir çözüm bulunamadığı sürece beton endüstrisi sürekli olarak doğal agrega tüketimine yönelmektedir. Dünya genelinde tüm maden üretimi içinde %58’lik payla birinci sırayı alan agreganın ortalama kişi başı kullanımı Avrupa’da yıllık 7 ton ve ülkemizde de yaklaşık 4 ton gibi büyük bir miktara ulaşarak sürdürülebilir doğal kaynak kullanımını tehdit etmektedir (Köken vd., 2008).

İnşaat sektöründeki büyümenin ortaya çıkardığı bir diğer problem ise özellikle kent-

sel dönüşüm faaliyetleri ile miktarı her geçen gün artan İYA’nın yarattığı çevre sorunlarıdır. Beton binaların yaşam ömrünün en fazla 50 yıl olduğu göz önünde bulundurulduğunda ise kentsel dönüşüm faaliyetlerinin süreklilik arz edeceği ve inşaat atıklarının her zaman önemli bir atık problemi olacağı gerçeği kaçınılmazdır. T.C. Çevre Şehircilik Bakanlığı resmi verilerine göre ülkemizde yaklaşık 19 milyon konut bulunmakta, bu konutlardan 2000 yılından sonra yapılan 5 milyon konut haricindeki 14 milyon konutun afet riski yönünden incelenmesi ve yapı stoğunun yaklaşık %40’ının ise (6-7 milyon konut) yenilenmesi ya da güçlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir (ÇŞB, 2018). Dolayısı ile belirtilen tüm bu kentsel dönüşüm faaliyetleri ile iki milyar ton İYA’nın ortaya çıkacağı öngörülmektedir. İYA’nın çevreye gelişi güzel atılması öncelikle arazi kullanımını sınırlandırmakta, toprak ve su kaynaklarını kirletmekte, toprağın yapısını değiştirerek topraktaki doğal hayatı tahrip etmekte ve böylelikle toprak kirlenmesine neden olmaktadır. İYA’nın gelişi güzel atıldığı bölgelerin gelecekte yeşil alan olarak kullanılması zorlaşmaktadır. Çünkü rekreasyon çalışmaları esnasında yeşil alana dönüştürülecek dolgu alanlarında sadece bitkisel toprak kullanılması gerekmektedir. Tüm bu çevresel problemler, HT ile İYA’nın ayrılarak geri dönüştürülmesini önemli ve zorunlu bir faaliyet alanı haline getirmiştir. Çünkü İYA’nın en büyük kısmı beton malzemelerden oluştuğu için önemli bir kısmı geri dönüştürülebilir niteliktedir (Çakar ve Tüfekçi 2011; Yürek 2013; Hozatlı ve Günerhan, 2015).

Bu nedenle İYA’nın bertarafı her geçen gün daha fazla önem arz eden bir konu haline gelmektedir. Çünkü İYA geri dönüşüm potansiyeli yüksek bir atık grubunu oluşturmaktadır. Araştırmalar her bir metreküp İYA’nın yüzde altmışının geri dönüştürülebileceğini göstermektedir (Anonim 2021). Evsel katı atıklar içerisinde de İYA’nın dörtte birlik ya da daha fazla bir paya sahip olduğu belirtilmektedir (Ulubeyli vd., 2017; Iacoboaia vd., 2019).

İnşaat yığıntılarının meydana getirdiği moloz yığınlarının yaklaşık %75'inin beton olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu atıkların geri dönüşümü ile doğal kaynakların korunarak doğal kaynakların işlenmesi, çıkarılması ve taşınması için gereken enerji maliyetleri ve çevre zararları azaltılabilecektir. Böylelikle arazi kullanım kapasiteleri artarken hızla büyüyen inşaat sektörünün hammadde ihtiyacı da azalacaktır. İnşaat sektörü hammaddesinin %50'sini doğadan sağlamakta, toplam enerjinin %40'unu tüketmekte ve toplam atıkların ise %50'sini oluşturmaktadır. İYA'nın geri dönüşümü ile elde edilen başta

agrega olmak üzere diğer geri dönüştürülmüş malzemeler; hammaddenin korunması ve çeşitli çevre problemlerinin azaltılması ve/veya ortadan kaldırmasının yanında, agrega üretimi sürecindeki kırma, eleme, depolama, taşıma aşamalarında gereksinim duyulan toplam enerjinin azalmasına da sebep olacağı için, enerji kaynaklarının korunmasına yardımcı olarak iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir katkı sağlayacaktır (Çakır ve Tüfekçi 2011; İpekçi vd. 2017; Cabrera vd., 2021). Tablo 1'de doğal agrega ve geri kazanılan agregaların karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlar gösterilmiştir (Aktaş, 2015).

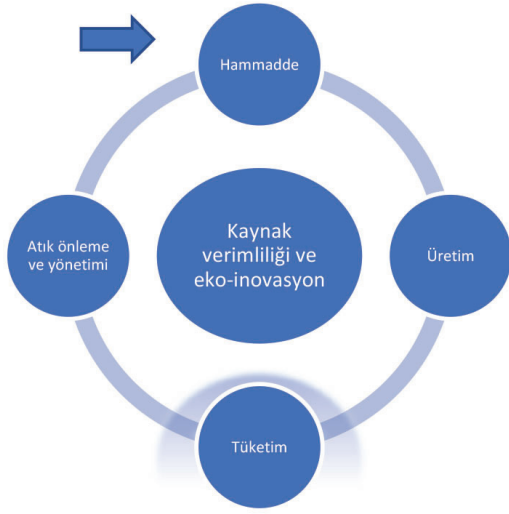
Tablo 1. Doğal agrega ve geri kazanılan agregaların karşılaştırılması

Doğal Agregalar	Geri Kazanılan Agregalar
Çeşitli kayaç kaynaklarından çıkarılır	İnşaat ve yıkıntı atıklarından üretilir
Madencilik faaliyetleri çevresel ıslah gerektirir	Geri dönüşüm, çevre kirliliklerini azaltır
Kalitesi çıkarıldığı kaynağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır	Kalitesi içerisinde bulunan geri dönüştürülmüş maddelerin safsızlığına bağlıdır
Üretim prosesi kırma, eleme ve karıştırma işlemlerinden oluşur.	Üretim prosesi doğal agrega üretimine benzer ancak öncelikle içerisindeki metal, ahşap vb. safsızlıkların ayrıştırılması gerekir
Çıkarılan kaynağın mesafesi taşıma maliyetlerinin yüksek olmasına neden olur	İhtiyaca yakın yerlerde geri dönüşüm tesisi kurularak taşıma maliyetleri düşürülebilir

1.2. Döngüsel ekonomi modeline göre katı atık yönetimi

Katı atık yönetim hiyerarşisinin çevre ve insan sağlığını korumak için iki temel prensibi bulunmaktadır. Bunlardan biri atık oluşumu ve yönetiminden kaynaklanan olumsuz etkileri önlemek ve azaltmak, diğeri ise kaynak verimliliği sağlamaktır. Döngüsel ekonomi modeline göre atık yönetimi hiyerarşisini güçlendirmek için geri dönüşümü artırmak ve düzenli depolama alanlarını azaltmak en önemli iki hedef olarak belirlenmiştir. AB atık yönetim mevzuatına göre geri dönüşüm oran-

larının artırılması gereken en önemli alanlardan biri inşaat sektörünün sebep olduğu atıklardır (EU, 2017). Atık önleme, yeniden kullanım, geri dönüşüm/geri kazanım, yakma ve son olarak düzenli depolamadan oluşan klasik atık yönetim hiyerarşisi ile AB ülkelerinde İYA'nın geri dönüşüm oranlarının hala %40'larda kalması atık yönetimini döngüsel ekonomi modeli içerisinde değerlendirmeyi gerekli kılmıştır (OECD, 2020). Döngüsel ekonomi modeli içerisinde atık yönetimi Şekil 1'deki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 1. Döngüsel ekonomi modeli içerisinde atık yönetimi (EC 2020).

Döngüsel ekonomi modeli ürünlerin, bileşenlerin ve malzemelerin faydasını mümkün olduğu kadar uzun süre sürdürürken aynı zamanda ekonomik değerlerini korumayı amaçlayan doğası gereği onarıcı bir ekonomik modeldir. Böylelikle hammadde ve enerji girişlerine olan ihtiyaç en aza indirilirken, doğal kaynağı çıkarma, emisyonlar ve atık yönetimini kapsayan çevresel tehditler azaltılır; israfı önlenir, doğal kaynakların yaşam döngüleri boyunca verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi mümkün olur (Gedik, 2020; EEA, 2020). İnşaat sektörü ürettiği atıklar bakımından oldukça döngüsel bir görünüm sergilese de İYA'nın yönetim uygulamaları incelendiğinde, geri kazanımın büyük ölçüde geri doldurma işlemlerine ve yol alt tabanlarında geri dönüştürülmüş agregaların kullanılması gibi düşük dereceli geri kazanıma dayandığı görülmektedir (Zhang vd., 2021). İYA'nın döngüsel ekonomi modelini temel alan yönetimi; atıkların önlenmesi ve atıktaki tehlikeli maddeler azaltılırken geri dönüşümün hem miktarını hem de kalitesini artırma gibi hedeflerden oluşmaktadır. İYA yönetiminin iyileştirilmesi için inşaat sektöründe uygulanabilecek döngüsel eylem örnekleri (EEA, 2020); hammadde, yapım ve tasarım, inşaat hizmet ömrünün uzatılması, bina kimlikleri ve seçici yıkım uygulamaları olarak sıralanmaktadır.

2015 yılında “Döngüsel Ekonomi Modeli”ne geçiş yapan AB, bu model içinde atık yönetimi için öncelikli eylem planını; daha fazla geri dönüşüm ve yeniden kullanım ile hem üretim-yaşam döngülerini kapatmak hem de çevre ve ekonomi için ortak faydalar meydana getirmek olarak açıklamıştır. Bu bağlamda AB, 2030 yılı itibariyle belediye atıkları için %65, ambalaj atıkları için %75 geri dönüşüm oranları gibi net atık azaltım hedefleri belirlemiş; düzenli depolanmaya giden atığın tüm atığa oranını maksimum %10 olarak sınırlandırmış ve ayrı toplanmış atığın düzenli depolanmaya gönderilmesini yasaklamıştır. Döngüsel ekonomi modelinin temel eylem alanlarını üretim, tüketim, atık yönetimi ve ikincil hammaddeler başlıkları oluşturmakta ve öncelikli alanları arasında ise biyokütle ve biyobazlı ürünler, plastikler, kritik hammaddeler, gıda atıkları ve inşaat atıkları yer almaktadır (Veral ve Yiğitbaşoğlu, 2018; MESS, 2012). Bu amaçla 2016 yılında AB üye ülkeleri için “İnşaat ve Yıkım Atıkları Yönetimi Protokolü” hazırlanarak, İYA'nın ve geri dönüştürülmüş malzemelerin (tehlikeli atıklar dahil) doğru yönetimi ile sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde 2020 yılına kadar geri dönüşüm hedeflerinin sağlanmasına yönelik “Atık Çerçeve Direktifi” hedefine ulaşılmasına katkıda bulunulacağı taahhüt edilmiştir (EU, 2016). Bu direktif ile AB ülkelerinde inşaat atıkları içerisinde HT ile İYA'nın ayrı değerlendirildiği görülmektedir. İYA nispeten istikrarlı üretim miktarları ve yüksek geri kazanım oranları ile AB'deki en büyük atık akışını oluşturmaktadır.

Döngüsel ekonomi modeli hedeflerine göre AB ülkelerinin 2020 yılına kadar İYA'nın %70'lik geri dönüşüm hedefini sağlama yolunda ilerlediği ve çoğu ülkenin ise bu hedefi 2016 yılında aştığı belirtilmiştir (EEA, 2020). 2012 yılında AB 28 Ülkeleri, 480 milyon ton HT ve 350 milyon ton İYA olmak üzere yaklaşık 830 milyon ton inşaat atığı üretmiştir (EU, 2017). Bu miktar 2016'da HT hariç 374 milyon tondur (EEA, 2020). AB-28 üye ülkeleri için inşaat sektörü cirosuna göre (milyon avro); Almanya, Macaristan ve Hollanda AB

ortalamasından (164 milyon ton) önemli ölçüde fazla İYA üretmektedir (300 ton/milyon avronun üzerinde); Hırvatistan, Portekiz ve Slovenya ise çok küçük miktarlarda (yaklaşık 20 ton/milyon avro) İYA üretmektedir. Daha büyük miktarlarda atık üreten tüm ülkelerin halihazırda ulusal İYA önleme planlarına sahip olduğu görülürken, Hırvatistan, Portekiz ve Slovenya gibi küçük miktarda İYA üreten ülkelerin atık önleme planlarını benimsemiş olduğu ortaya çıkmaktadır (EU, 2017).

1.2. Ülkemizde hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları yönetimi

Türkiye’de, 2008/98/EC sayılı atık hakkında Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi esas alınarak AB mevzuatına uyum çerçevesinde “Atık Yönetimi Yönetmeliğı” hazırlanmış; 02.04.2015 tarih ve 29314 Sayılı Resmî Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir (ÇŞB, 2015). Bu yönetmeliğe göre kontamine olmamış HT ve İYA’nın çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde yönetimi; 18/3/2004 tarih ve 25406 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan ve ülkemizde atık yönetimi ile ilgili olarak yürürlüğe giren ilk yönetmeliklerden birisi olan “Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliğı”ne göre gerçekleştirilmektedir (ÇŞB, 2004). Yönetmelikte HT ile İYA’nın yönetimi; atığın öncelikle kaynağa azaltılması, kaynağında ayrılarak toplanması, geçici biriktirilmesi, taşınması, tekrar kullanılması, geri kazanılması ve bertaraf edilmesine ilişkin teknik ve idari hususlar ile uyulması gereken genel kuralları içermektedir. Yönetmeliğe göre; atıkların kaynağında en aza indirilmesi, HT ile İYA’nın karıştırılmaması, geri kazanılması ve özellikle alt yapı malzemesi olarak yeniden değerlendirilmesi, sağlıklı bir geri kazanım ve bertaraf sisteminin oluşturulması için atıkların kaynağında ayrılması ve seçici yıkım yapılması esastır.

2020 yılında AB ülkelerinin ve Türkiye’nin İYA geri dönüşüm oranları karşılaştırıldığı zaman; İYA geri dönüşüm oranı AB-27 ülke ortalaması %70’in üzerinde gerçekleşirken; İrlanda, Malta, Hollanda ve

Kuzey Makedonya gibi ülkeler neredeyse %100 geri dönüşüm oranlarına sahip olmuştur. Türkiye ise %5’in altında olan düşük geri dönüşüm yüzdesi ile alt sıralarda yer almıştır. 2014 yılı istatistikleri AB üye ülkelerinde üretilen geri dönüştürülmüş agrega miktarının toplam agrega talebinin %9’unu karşıladığını göstermektedir (EUROSTAT, 2020).

Türkiye Hazır Beton Birliğı (THBB) verilerine göre 2014 yılında Türkiye’de 107 milyon m³ hazır beton üretilmiştir. İstanbul’da yapılacak olan kentsel dönüşüm çalışmaları nedeniyle ortaya çıkan yıllık 2,44 milyon m³ (117 milyon ton) beton atığının %50 oranında geri dönüşümünün sağlanması ile önümüzdeki yirmi yılda toplamda 3,2 milyon m³ beton agregası elde edilebileceğı bu miktarın da İstanbul’un yıllık 27 milyon m³ olan beton üretiminin %12’sine karşılık geleceğı tahmin edilmiştir (Aktaş, 2015). ABD’de bazı eyaletlerde inşaat yapımında geri dönüştürülmüş beton agregası kullanmak zorunlu hale getirilmiştir (Kılıç, 2012).

Bu bilgiler ışığında bu çalışmada geri dönüştürülmüş HT ve İYA’nın karayolu yapımında yeniden kullanılabilirliğı araştırılmıştır. Son yıllarda HT ve İYA’nın karayolu dolgu ve temellerinde kullanımı ve performansı ile ilgili bazı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda genel olarak geri dönüştürülmüş HT ile İYA’nın yol yapımında kullanılmasının doğal kaynaklara iyi bir alternatif olabileceğı kabul edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda Erzurum ilinde 2018-2020 yıllarında meydana gelen HT ile İYA’nın geri kazanılabilirliğı ve dönüştürülebilirliğı incelenerek bu malzemelerin karayolu yapımında yeniden kullanılabilirliğı hem miktar hem de kalite yönünden değerlendirilmiştir.

2. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Çalışmada öncelikle Erzurum İli’nde 2017 yılından sonra kontrollü bir şekilde toplanmaya başlanan ve özel depolama sahasında bertaraf edilen HT ve İYA miktarları Erzurum Büyükşehir Belediyesi’nden temin edilmiştir. Bu veriler bir tablo haline getirilerek

Erzurum Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2015 yılı faaliyet raporundan elde edilen inşaat atığı miktarları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir. İYA’nın geri kazanılabilecek kısımlarının yine Erzurum Karayolları 12. Bölge Müdürlüğünden alınan yol yapım bilgileri göz önünde bulun-

durularak, yol yapım malzemesi olarak kullanılabilirliği niteliksel ve niceliksel olarak değerlendirilmiştir. 2018, 2019 ve 2020 yıllarına ait inşaat atığı miktarları ve atık türleri Erzurum Büyükşehir Belediyesi’nden temin edilmiştir.

Tablo 2. Erzurum’da depolanan HT ve İYA miktarlarının yıllar içindeki değişimi (m³).

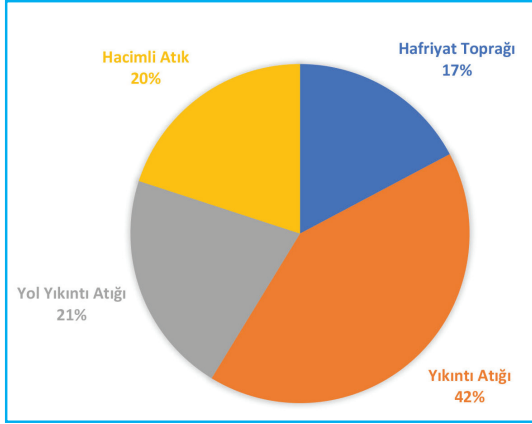
AYLAR	2015	2018	2019	2020
Ocak	734	3056	314	1019
Şubat	742	2255	565	971
Mart	4070	7217	2693	2030
Nisan	10670	13286	3178	1863
Mayıs	17.892	10.223	3.042	3.816
Haziran	15.317	6.494	1.959	4.800
Temmuz	12.055	8.938	3.497	6.106
Ağustos	34.369	7.128	3.477	5.256
Eylül	21.573	8.684	5.054	9.048
Ekim	8.484	6.404	3.183	6.308
Kasım	6.559	2.546	1.679	6.248
Aralık	4.537	2.135	1.316	9.901
Toplam	137.002	78.325	29.957	57.366

Tablo 2’ye göre Erzurum’da depolama sahasında bertaraf edilen inşaat atığı miktarları 2019 yılına kadar azalmış 2020 yılında yeniden artmıştır. 2015 yılında toplam 137.002 m³ inşaat atığı depolama sahasında bertaraf edilirken, bu miktar 2018 yılında 78.325 m³’e, 2019 yılında ise 29.957 m³’e düşerek azalma eğilimi göstermiştir. 2020 yılında ise yeniden artış göstererek 57.366 m³’e yükselmiştir. Henüz 2021 yılı tamamlanmadığı için elde edilen veriler çalışmada kullanılmamış ancak 2021 yılının ilk 7 ayında toplam 25.095 m³ inşaat atığının depolama sahasına kabul edildiği belirtilmiştir. Bu durum, HT ve İYA’dan oluşan toplam inşaat atıklarının (atık izleme ve denetleme sistemlerinin etkin bir şekilde yürütüldüğünün kabulü ile) geri dönüştürülen ve/veya geri kazanılan miktarlarının artması ile ilişkilendirilebilir ancak daha sağlıklı sonuçlar elde et-

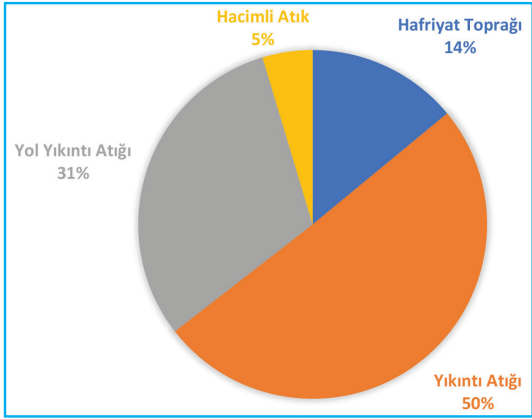
mek için kentteki inşaat faaliyetlerinin veya kentsel dönüşüm çalışmalarının yıllık verilerinin de elde edilmesi gereklidir. Atık verilerine göre Erzurum İli’nde 2015 yılı esas alınarak; depolama sahasında bertaraf edilen inşaat atığı miktarları 2018 yılında %43, 2019 yılında %78 ve 2020 yılında ise %58 oranında azalmıştır. Azalan inşaat atık miktarlarının geri dönüşüm çalışmalarında kullanılması kabul edilse bile; bu atıklarının geri dönüştürülen ve/veya geri kazanılan miktarları ve kullanım alanları ile ilgili net bilgi de mevcut değildir. Dolayısı ile depolanan atık miktarları doğrudan kentteki inşaat faaliyetleri veya kentsel dönüşüm çalışmalarının büyüklüğü ile ilişkilendirilmektedir.

Çalışma kapsamında ayrıca Erzurum’da 2018, 2019 ve 2020 yıllarında depolama sahasında bertaraf edilen inşaat atığı türlerinde-

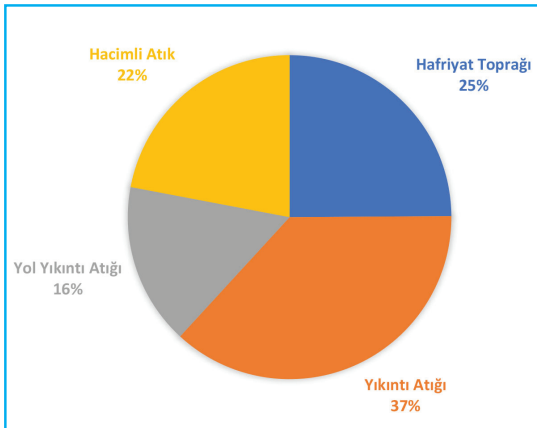
ki dağılım oranları karşılaştırılmıştır. Erzurum Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilen ve atık kabul sahasında depolanan inşaat atıklarının dağılımları Şekil 2, 3 ve 4'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Erzurum İli'nde 2018 yılında depolanan inşaat atığı türlerinin dağılımı



Şekil 3. Erzurum İli'nde 2019 yılında depolanan inşaat atığı türlerinin dağılımı



Şekil 4. Erzurum İli'nde 2020 yılında depolanan inşaat atığı türlerinin dağılımı

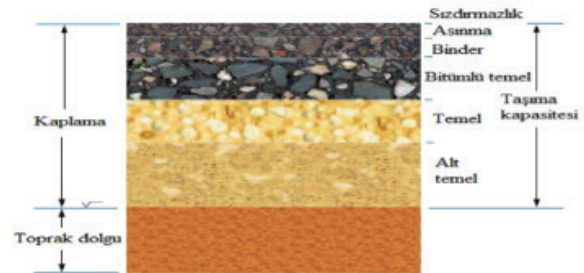
Buna göre 2018 yılında depolama alanlarında bertaraf edilen atık türlerinin yüzdesi sırasıyla yıkıntı atığı %42, yol yıkıntı atığı %21, hacimli atık %20 ve HT ise %17 olarak belirtilmiştir. Benzer şekilde 2019 yılında; yıkıntı atığı %50, yol yıkıntı atığı %31, hacimli atık %5 ve HT ise %14; son olarak 2020 yılında ise, yıkıntı atığı %37, yol yıkıntı atığı %16, hacimli atık %22 ve HT ise %25 olarak belirtilmiştir. 2018 yılı ve 2019 yılı atık depolama sahasında bertaraf edilen atık dağılım oranları karşılaştırıldığında; depolama alanlarında bertaraf edilen yıkıntı atıklarının toplam inşaat atıkları içerisindeki oranının arttığı, buna karşılık HT ve hacimli atık miktarlarının azaldığı görülmektedir. Bu azalmalar HT'nin dolgu malzemesi olarak kullanımındaki artışla ve hacimli atık olarak adlandırılan yüksek oranda yeniden kullanım ya da geri dönüşüm kapasitesine sahip inşaat atıklarının geri kazanım ya da geri dönüşüm tesislerine gönderilmesi ile ilişkilendirilebilmektedir. Ancak depolama sahasında bertaraf edilen yıkıntı atığı miktarının artması, beton agregası olarak kullanılabilir kısının hala etkili bir şekilde geri dönüştürülemediği ve toplam inşaat atıkları içerisindeki asıl değerli hammaddenin kaybedildiği anlamına gelebilmektedir. Bu durum, Erzurum'da beton agregası olarak yeniden kullanım potansiyeline sahip İYA'nın geri dönüştürülmek yerine depolama sahaslarında bertaraf edildiğini, dolayısıyla bu atıkların değerlendirilebileceği geri dönüşüm çalışmalarına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. 2020 yılına gelindiğinde ise, bu yılın pandemi şartları altında geçtiği de göz önünde bulundurularak depolama sahasında bertaraf edilen HT ve hacimli atık oranlarının yeniden artış gösterdiği görülmektedir. 2020 yılı depolama sahasında bertaraf edilen toplam atık miktarının arttığı da düşünülürse HT'nin da inşaat faaliyetlerinin artışına bağlı olarak artış göstermesi normal karşılanabilir ancak bu atıkların dolgu malzemesi gibi basit yeniden kullanım işlemlerine tabi tutulmadığı ve depolama sahasına gönderildiği anlaşılmaktadır. Yine aynı şekilde hacimli atık yüzdesinin artış göstermesi de yeniden kullanım imkanına sahip atıkların geçmiş yıllara göre daha az değerlendirildiği ve daha fazla oranda depolama sahasına gönderildiği anlamına gelmektedir.

Bunların aksine yıkıntı ve yol yıkıntı atıklarının 2020 yılında depolama sahasına gönderilen miktarlarındaki düşüş yine inşaat faaliyetlerinin türüne bağlı olmak koşulu ile yeniden kullanım ya da geri dönüşüm amaçlı değerlendirildiği ile ilişkilendirilmiştir. Ancak tüm bu geri dönüşüm faaliyetleri ya da geri kazanım oranları ile ilgili veri tabanı mevcut değildir ya da bu tür bir bilgiye ulaşılamamaktadır.

Bu nedenle gelecekteki projelere yol gösterici olması adına çalışma kapsamında, Erzurum İli sınırları içerisinde meydana gelen İYA'nın Karayolları Teknik Şartnameleri (KTŞ, 2006; KTŞ 2013) dikkate alınarak karayolu yapımında kullanılabilirliği incelenmiş ve Erzurum Karayolları Bölge Müdürlüğü'nün yol yapım faaliyetleri kapsamında değerlendirilmiştir. Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü, 38.000 km²'lik bir alanda, 2 ilin tamamını (Erzurum, Ağrı) ve 4 ilin de (Artvin, Bayburt, Erzincan, Kars) bir kısmını kapsamaktadır. Bu alan 1.298.261 nüfusa sahip; 1.517 km devlet yolu ve 732 km il yolu olmak üzere toplam 2.249 km'lik karayolu ağına sahiptir. Bayburt 11 km, Kars 12 km, Artvin 25 km, Erzincan 72 km, Ağrı 433 km ve Erzurum 1.696 km'lik yol ağıyla Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü'nün çalışma alanı içerisinde bulunmaktadır. Buna göre 2018 yılında 11 km'si onarım ve yenileme olmak üzere toplamda 529,34 km yol, tünel ve köprü yapılmıştır. 2019 yılında ise 23,85 km yol onarım ve yenileme çalışması ile toplamda 425,12 km yol, tünel ve köprü yapımı gerçekleştirilmiştir. 2020 yılı pandemi yılı olması sebebiyle çalışmalar oldukça azalmış toplamda 60,33 km yol yapım çalışması gerçekleştirilmiştir. 2023 yılına kadar ise 564,17 km daha yol yapım çalışması planlanmıştır. 2018 ve 2019 yıllarında Erzurum Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü sınırları içinde yapılan yol yapım çalışmaları kapsamında taş ocaklarından temin edilen malzeme miktarları 2018 yılında 2.350.000 m³, 2019 yılında 600.000 m³, 2020 yılında ise 480.000 m³'tür. Bu veriler pandemi süreci nedeniyle meydana gelen aksaklıklardan dolayı farklılık gösterebilmektedir. Karayo-

lu altyapısının dışarıdan getirilen toprakla oluşturulmuş bir toprak gövdeden meydana getirildiği durumlarda HT'nın özellikleri göz önünde bulundurularak bu amaçla yeniden kullanımı mümkün olabilmektedir.

Karayolları Genel Müdürlüğü bilgilerine göre yapısı önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergâh boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü karayolu olarak tanımlanmıştır. Öncelikle, Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ, 2006; KTŞ, 2013; KBM, 2010) yer alan bazı terimlerin bilinmesi gerekmektedir. Bunlar Şekil 5'te gösterilmiş olup; toprak dolgu, alttemel, temel, granüler temel, kaplama tabakası, sathi kaplama, bitümlü temel ve asfalt betonu, binder ve aşınma (BSK Kaplama) tabakaları olarak belirtilmektedir.



Şekil 5. Karayolları üstyapı katmanları (Şevik, 2016).

Literatür çalışmaları incelendiğinde İYA'nın yol yapımında kullanılabilirliğinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda yararlanılan başlıca deneyler; elek analizi, yassılık indeksi, Los Angeles deneyi (aşınma yüzdesi), su emme deneyi, Optimum su içeriği, CBR deneyi, soyulma mukavemeti, plastisite indeksi, Metilen mavisi ve donma deneyleridir (KBM, 2010; Çağrııcı, 2016; Ok ve Demir, 2018, Sönmez vd., 2013; Atabey, 2019). Ok ve Demir (2018), yaptıkları çalışmada depreme dayanıksız bir binadan elde edilen karışımın yol yapımında kullanılmak üzere uygunluğunu araştırmışlardır. Bu karışım %36,33 beton, %10,33 tuğla,

%52,53 agrega, %0,11 cam ve diğer malzemeler (metaller, yüzmeyen ahşap, plastik, kauçuk, alçı) içermektedir. Bu karışımlar uygun gradasyona getirildikten sonra uygulanan deneyler ile elde edilen karışık İYA'nın özellikleri; Karayolları Teknik Şartnamesi'ndeki değerlerle karşılaştırılmış ve İYA'ndan elde edilen karışık malzemenin yassılık indeksi, Los Angeles aşınma yüzdesi ve CBR kriterlerini sağladığı, fakat su emme yüzdesinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Su emme yüzdesini azaltmak için karışıma su emme yüzdesi düşük olan doğal ince bir malzeme kullanılması önerilmiştir (Ok ve Demir, 2018). İstanbul Büyükşehir Belediyesi tesislerinde toplanarak bir araya getirilen ve geri dönüşüm yoluyla kazanılan İYA'nın fiziksel özellikleri belirlenerek Karayolları Teknik Şartnamesi kriterlerine göre değerlendirildiği başka bir çalışmada ise; İYA'nın karayolu üst yapısında plent-mix temel ve bitümlü temel tabakalarında agrega malzemesi şeklinde kullanımı incelenmiştir. Sonuç olarak, hem plent-mix temel hem bitüm temel tasarımı için hazırlanan karışımlar elek analizi ile belirli elek açıklıklarından geçirilerek, her bir elek açıklığından geçen karışım yüzdelерinin şartnamedeki değerleri karşıladığı görülmüştür. Bu malzemeler bağlayıcısı su olan plent-mix absorpsiyon dışında temel için istenilen kriterleri sağlamakta ancak bağlayıcısı bitüm olan bitümlü temel tabakasında %20 oranında kullanımda tasarım kriterlerini zorladığı, agregalar arası boşluk değeri şartname limitlerini karşılamamakla birlikte, bitüm içeriğinde %0,4'e kadar fazlalığa sebep olduğu, bunun sonucu olarak ise bitümlü temel üretim maliyetlerini %6,5 oranında artırdığı belirlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı çalışma sonucunda inşaat atıklarının bitümlü tabakalar yerine, alttemel ve dolgu tabakalarında kullanılması önerilmiştir (Sönmez vd., 2013). İYA'nın karayolu dolgu, alttemel ve temel tabakalarında kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir diğer çalışma ise yine iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiş; ilk aşamada İSTAÇ A.Ş.'den seçici yıkımla elde edilen sadece beton bloklardan (BBK) oluşan İYA kullanılmıştır. İkinci aşamada ise karışık İYA kullanılmıştır. Yol tabakalarında

kullanılmak istenen agreganın ve karışık İYA ile BBK'dan oluşan İYA'nın laboratuvar deneyleri ile elde edilen fiziksel özellikleri belirlenmiş ve KTŞ ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda hem karışık İYA hem de BBK'dan oluşan İYA fiziksel özelliklerinin KTŞ'de yer alan binder ve aşınma tabakası standart değerlerini karşılamadığı görülmüştür. Bu karışımların kaba agreganın absorpsiyonun yüksek olması asfalt karışımında kullanılan bitüm miktarını artırmakta ve böylelikle maliyet de artmaktadır. Ayrıca; dolgu, alttemel ve plent-mix temel tasarımları sonucunda karışımların optimum su içeriği oldukça yüksek bulunmuştur. Bunun geri dönüşüm malzemesinin absorpsiyon değerinin yüksek olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. İYA'nın dolgu malzemesi hariç asfalt karışımların hiçbirinde tek başına %100 oranında kullanılmayacağı tespit edilmiştir. İYA'nın asfaltın altındaki dolguda tamamen kullanılabilmesi, Alttemel ve plent-mix temel tabakalarında ise belirli oranlarda kullanılabilmesi belirlenmiştir (Çağrı, 2016). Literatür çalışmalarından da görüleceği üzere, İYA inşaatın tasarım aşamasından başlayarak söküm ve yıkım işlemlerine kadar gelişen süreçlerden kaynaklanan oldukça değişken içeriklere sahip olabilmektedir. Bu nedenle bu atıklardan elde edilen geri dönüştürülmüş malzemelerin karayolu yapımında kullanılmasından önce belirlenen laboratuvar testlerine tabi tutularak, standartlara uygunluk değerlerinin belirlenmesi gereklidir. Çalışmanın son aşamasında ise Erzurum İli'nde 2018, 2019 ve 2020 yıllarında açığa çıkan İYA'nın miktar bakımından karayolu yapımında kullanılacak malzeme talebini karşılayıp karşılamadığı literatür çalışmaları esas alınarak hesaplanmıştır.

İYA'dan elde edilen geri dönüştürülmüş malzemelerin karayolu yapımında kullanılabilirliğinin sağladığı faydalar; finansal, sosyal ve çevresel değerlerden meydana gelmektedir. Sosyal ve çevresel faydalar, sera gazı emisyonlarının azaltılması, hammadenin korunması, çevre kirliliklerinin engellenmesi, depolama sahalarının ömrünün uzatılması ile ilgili olurken; finansal faydaları ise çoğunlukla inşaat atıklarının geri dönüşüm

tesislerinde işlenmesi, kullanılması ve böylece doğal hammadde talebine olan ihtiyacın azaltılmasına yöneliktir. Literatürde karayolu temel ve alttemel inşaatı için kullanılabilir olan geri dönüştürülmüş İYA'ya yönelik potansiyel talep yeni inşa edilen yol alanlarına ve malzeme hacmine dayalı olarak tahmin edilmiş ve Eşitlik (1)'de açıklanmıştır (Hoang vd., 2021):

$$R=L \times G \times T \times D \quad (1)$$

Burada; R, geri dönüştürülmüş beton agregalarına olan potansiyel talebi (ton); L, yeni yapılan yolları (km); W, ortalama yol genişliği (m); T, yol temel ve alttemel tabakalarının kalınlıkları toplamı (m); D, ise daha önce yapılan çalışmalarda yapılan laboratuvar sıkıştırma testleri sırasında belirlenen yol malzemeleri için geri dönüştürülmüş

beton agregalarının ortalama maksimum kuru yoğunluk değerini (literatürde 1,85 ila 2,13 ton/m³ arasında) ifade etmektedir. Bu çalışma için Karayolları Genel Müdürlüğü standartlarından yola çıkılarak ortalama 2,2 ton/m³ alınmıştır. Ayrıca, yine Karayolları Genel Müdürlüğü standartlarına göre W=24 m ve T ise 0,15+0,15=0,3 m kabul edilmiştir. Bu kabuller ile Eşitlik (1)'e göre Erzurum İli'nde 2018, 2019 ve 2020 yıllarında inşa edilen karayolları için potansiyel geri dönüştürülmüş beton agregaları talepleri hesaplanmıştır. Maçın ve Demir (2018) yılında yaptıkları çalışmada İYA'nın yoğunluğunu İstanbul için ortalama 1,61-1,7 ton/m³ olarak belirlemişlerdir. Bu çalışma için 1,65 ton/m³ kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2'deki Erzurum İli'nde 2018-2020 yıllarında açığa çıkan İYA miktarı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Potansiyel Geri Dönüştürülmüş Malzeme Talebi ve İYA Miktarı Karşılaştırması

Yıllar	İnşa Edilen Karayolu, L (km)	Açığa Çıkan İYA Miktarı, m ³	Açığa Çıkan İYA Miktarı, ton	Potansiyel Geri Dönüştürülmüş Malzeme Talebi, R (ton)
2018	529,34	32.509	53.639,85	8.384,75
2019	425,12	15.118	24.944,70	6.733,90
2020	60,33	21.407	53.321,55	966,62

Tablo 3'ten görüleceği üzere Erzurum İli'nde açığa çıkan sadece İYA miktarı bile 2018, 2019 ve 2020 yılları içinde inşa edilmiş yol yapımında kullanılabilir potansiyel malzeme talebini karşılamaktadır. 2023 yılı yol yapım hedefi olan 564,17 km'lik kısım da göz önüne alındığında yol inşası için doğal hammaddeye sürekli olarak ihtiyaç duyulduğu ve bunun gerekli laboratuvar testleri yapılarak İYA'dan karşılanabileceği öngörülmektedir.

3. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada belediye atıklarının genellikle %25-30'u gibi büyük bir yüzdesini oluşturan inşaat atıklarının geri dönüştürülerek karayolu yapımında kullanılabilirliği Er-

zurum'da oluşan HT ve İYA örneğinden yola çıkılarak incelenmiştir. Bu amaçla Erzurum Büyükşehir Belediyesi tarafından kontrollü bir şekilde toplanan ve özel depolama sahasında bertaraf edilen HT ve İYA'nın 2018, 2019 ve 2020 yılları içerisindeki oranları değerlendirilmiştir. Öncelikle bu atıkların geri kazanım, yeniden kullanım veya geri dönüşüm oranları ile ilgili herhangi bir veri olmadığı için kentte üretilen tüm inşaat atıklarının depolama sahasında bertaraf edildiği kabul edilmiştir. Bu nedenle bu atıkların döngüsel ekonomi modeli içerisinde geri dönüşümü veya geri kazanımı ile sürdürülebilir bir şekilde değerlendirilmesi için projelere ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Geri dönüşüm projeleri olmaksızın kentte devam eden kentsel

dönüşüm çalışmaları göz önüne alındığında bu inşaat atıklarının artabileceği ve buna bağlı olarak depolama sahasının ömrünün kısa sürede dolacağı da öngörülmektedir.

Bu amaçla çalışmada bu atıkların karayolu yapımında kullanılabilmesi için örnek çalışmalarda ve KGM tarafından yayınlanan KTŞ'de yer alan yol yapımında kullanılacak malzemelerin tabii tutulduğu deneylerin bir derlemesi yapılmıştır. Elde edilen malzemelerin deneyler sonrası karayolu standartlarına uygunluğunun sağlanıp sağlanmadığı ise literatürdeki gerçek uygulama örnekleri üzerinden açıklanmıştır. Literatür taramaları sonucu görülmüştür ki HT, İYA'nın geri dönüştürülerek yol yapımında kullanılabilir olması için deney çalışmalarında KTŞ'de belirtilen standartların sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmalarda yalnızca yola ait katmanlardan dolgu tabakasında HT ve İYA'nın %100 kullanılmasında hiçbir sakınca görülmemiştir. Buna rağmen alttemel tabakası ve plent-mix

tabakalarında belli oranlarda İYA, belli oranlarda ise kalker agrega kullanılarak HT ve İYA'nın yeniden kullanımı sağlanabilmektedir. Fakat HT, İYA'nın yolun daha üst katmanlarından bitümlü temel tabakasında kullanılması yol yapım maliyetini önemli ölçüde arttıracığından uygun bulunmamıştır. Sonuç olarak Erzurum İli'nde 2018, 2019 ve 2020 yıllarında açığa çıkan İYA miktarı ile potansiyel geri dönüştürülmüş İYA malzeme talebi karşılaştırılması yapılarak yol yapımında geri dönüştürülmüş İYA'nın kullanılmasının Erzurum İli'nde 2018, 2019 ve 2020 yıllarında inşa edilen toplam karayolu maliyetlerini azaltmaya olan katkısı vurgulanmıştır. Yol yapım maliyetlerinin büyüklüğü göz önüne alındığında, belirli oranlarda geri dönüştürülmüş İYA'nın yol temellerinde kullanımı ile maliyetlerin önemli ölçüde düşürüleceği; Erzurum İli'nde açığa çıkan HT ve İYA'nın bu talebi karşılayabileceği belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Aktaş Z. (2015). Bina Yıkım Atıklarının Altyapı Projelerinde Değerlendirilmesi. *Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi*, Ankara.
- Anonim (2014). T.C. Kalkınma Bakanlığı, İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Teknik Müşavirlik ve Mühendislik Hizmetleri, Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018. *Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, Ankara.
- Anonim (2021). İnşaat Atıklarının Asfaltta Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılması, <https://www.khl-group.com/events/demolition-conference-turkey>, (Erişim tarihi: 11.05.2021).
- Atabey V. (2019). Metilen Mavisi Deneyi, <https://volkanatabey.com.tr/metilen-mavisi-deneyi/>, (Erişim tarihi: 04.01.2021).
- Cabrera M., López-Alonso M., Garach L., Alegre J., Ordoñez J., Agrela F. (2021). Feasible Use of Recycled Concrete Aggregates with Alumina Waste in Road Construction, *Materials*, 14, 1466.
- Çağrıncı A. (2016). İnşaat Ve Yıkıntı Atıklarından Elde Edilen Geri Dönüşüm Malzemelerinin Karayolu Üstyapısında Kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Çakır Ö., Tüfekçi MM. (2011). Geri Kazanılmış Agregalı Beton, *Cementürk Dergisi*, 45-56.
- ÇŞB (2004). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hafriyat Toprağı, İnşaat Ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, *25406 Sayılı Resmî Gazete*.
- ÇŞB (2015). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atık Yönetimi Yönetmeliği, *29314 Sayılı Resmî Gazete*.
- ÇŞB (2018). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kentsel Dönüşümde 50 Soru 50 Cevap, <https://kastamonu.csb.gov.tr/kentsel-donusumde-50-soru-50-cevap-i-5086>, (Erişim tarihi: 03.01.2021).
- EC (2020). Green growth and circular economy. Environment, European Commission, https://ec.europa.eu/environment/green-growth/index_en.htm (Erişim tarihi: 03.02.2021)
- EEA (2020). Construction and Demolition Waste: Challenges and Opportunities in a Circular Economy, <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-management/construction-and-demolition-waste-challenges>, (Erişim tarihi: 12.12.2020).
- EU (2016). EU Construction & Demolition Waste Management Protocol, Avrupa Komisyonu, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/attachments/1/translations/en/renditions/native> (Erişim tarihi: 02.02.2021).
- EU (2017). Resource Efficient Use of Mixed Wastes, Improving management of construction and demolition waste Final Report, Avrupa Komisyonu, https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/CDW_Final_Report.pdf, (Erişim tarihi: 28.01.2021).
- EUROSTAT (2020). Recovery rate of construction and demolition waste, https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/cei_wm040, (Erişim tarihi: 05.01.2021).
- Gedik Y. (2020). Döngüsel Ekonomiye Anlamak, *Turkish Business Journal*, 1 (2), 13-40.
- Hozatlı B., Günerhan H. (2015). Muğla İli Koşullarında Betonarme ve Aşşap İskeletli Binalara Ait Yaşam Döngüsü Analizi, *Mühendis ve Makina*, 56 (660), 52-60.
- Iacoboaia C., Aldea M., Petrescu F. (2019). Construction And Demolition Waste – A Challenge For The European Union? *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 14 (1), 30-52.

- İpekçi CA., Coşgun N., Karadayı TT. (2017). İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi, *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10 (2), 43-50.
- KBM (2010). Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü 2010 yılı Teknik Sunum Semineri Kitabı, 150-200.
- Kılıç N. (2012). Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı, İzmir Ticaret Odası Ar&Ge Bülteni, <http://www.izto.org.tr/portals/0/large-bulten/6kentseldonusumatagi.pdf>, (Erişim tarihi: 30.12.2020).
- Köken A., Köroğlu M.A., Yonar F. (2008). Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 7 (1), 86-97.
- KTŞ (2006). Karayolu Teknik Şartnamesi, Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler, *T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı*, Ankara.
- KTŞ (2013). Karayolu Teknik Şartnamesi, Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler. *T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı*, Ankara.
- MESS (2012). Atık Yönetimi Hakkında AB Müktesebat Rehberi, https://www.mess.org.tr/media/filer_public/6b/58/6b583c70-1daa-4bc5-96b5-9c988df39db1/mess_atik_yonetimi_ab_mevzuat_rehberi.pdf, (Erişim tarihi: 01.01.2021).
- OECD (2020). Environment at a Glance Indicators - Circular economy, waste and materials. <https://www.oecd.org/environment/environment-at-a-glance/Circular-Economy-Waste-Materials-Archive-February-2020.pdf>, (Erişim tarihi: 03.02.2021).
- Ok B., Demir A. (2018). Yapım Yıkım Atıklarının Yol Temellerinde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 224-236.
- Sönmez İ., Yıldırım SA., Nacar FH. (2013). İnşaat Molozlarının Yol Üstyapı Malzemesi Olarak Kullanılması, İsfalt, *İstanbul Asfalt Fabrikaları San. Ve Tic. A.Ş.*, Üsküdar, İstanbul.
- Şevik S. (2016). Sürdürülebilir Üstyapılar için Çok Fonksiyonlu Güneş-Asfalt Enerji Üretim ve Kar-Buz Önleme Sisteminin Modellenmesi, *TÜBAV Bilim*, 9 (1), 1-16.
- Ulubeyli S., Kazaz A., Arslan V. (2017). Construction And Demolition Waste Recycling Plants Revisited: Management Issues, *Procedia Engineering*, (172), 1190-1197.
- Veral, ES., Yiğitbaşıoğlu H. (2018). Avrupa Birliği Atık Politikasında Atık Yönetiminden Kaynak Yönetimi Yaklaşımına Geçiş Yönelimleri ve Döngüsel Ekonomi Modeli, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 6 (1), 1-19.
- Yürek, CS. (2013). Kentsel Dönüşüm Uygulamaları - Hukuki, İdari ve Teknik Altyapısı, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 58/2013-4 (478), 28-38.
- Zhang HL., Tang Y., Meng T., Zhan LT. (2021). Evaluating the crushing characteristics of recycled construction and demolition waste for use in road bases, *Transportation Geotechnics*, 28, 100543.