

Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Düşük Plastisiteli Bir Kilin Mekanik Özelliklerine EtkisiGamze BİLGEN^{1*}

ÖZET: Bu çalışmada, beton dayanımını belirlemek amacı ile test edilmiş olan beton numunesi atıklarının ufalanması ile elde edilmiş olan geri dönüştürülmüş beton agregalarının (GDA) yol ve dolgu yapımında alt temel malzemesi olarak kullanımı üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır. Beton numunesi atıkları laboratuvar ortamında el yordamı ile kırılıp elenmek sureti ile deneyler için gerekli boyutlara indirilmiştir. Bölge civarında temin edilen killi zemin, dolgu yapımında kullanılacak alt temel malzemesi olarak seçilmiştir. 425 mikron boyutundan elenerek (40 nolu elek) hazırlanmış olan GDA, alt temel zemini ile %5, %10 ve %15 oranlarında karıştırılmak sureti ile farklı karışım oranlarında örnekler hazırlanmıştır. GDA'nın killi zeminin mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi için hazırlanan karışımlar üzerinde; standart Proctor, serbest basınç dayanımı (UCS) ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) şeklinde bir seri deney gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçlarına göre GDA düşük plastisiteli killi zeminin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir.

Anahtar kelimeler: Geri dönüştürülmüş beton agregası, killi zemin, zemin ıslahı

Effect of Recycled Concrete Aggregate (RCA) on Mechanical Properties of a Low Plasticity Clay

ABSTRACT: In this study, an experimental research was conducted on the use of recycled concrete aggregates (RCA) obtained by pulverized of broken concrete samples which were used for determining the strength of concrete. Concrete samples were crushed in the laboratory and reduced to the required dimensions for the experiments. The clayey soil provided in the vicinity was chosen as the sub-base material to be used in road and embankment construction. RCA prepared by sieving 425-micron (No: 40) were mixed with sub-base soil at 5%, 10% and 15% thereby samples were prepared in different mixing ratios. Some geotechnical experiments were performed on the mixtures prepared to determine the effect of RCA on the water-density relationship and mechanical properties of clayey soil such as Proctor, Unconfined Compressive Strength (UCS) and California Bearing Ratio (CBR). According to the results of the experimental study, RCA improves the mechanical properties of low plasticity clayey soil.

Keywords: Recycled concrete aggregates, clayey soil, soil stabilization.

¹ Gamze Bilgen (Orcid ID: 0000-0002-2840-7369), Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı MYO, Alaplı, Zonguldak

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Gamze BİLGEN, e-mail: gamzebilgen@beun.edu.tr

GİRİŞ

Katı atıklar, yirmi birinci yüzyılın en büyük evrensel sorunlarından biri olarak tanımlanmaktadır (Tutulmaz, 2012). Katı atıklar üzerindeki yoğun çalışmalar tüm dünya genelinde 1980 li yıllarından bu yana devam etmektedir. Akademik olarak yapılan çalışmalarla paralel, gelişmiş ülkelerde yönetsel olarak da konu ile ilgili ajanslar kurularak, atıkların toplanması, istiflenmesi gibi katı atık yönetimi ile ilgili çalışmalar yapılmış ve düzenli aralıklar ile raporlar hazırlanmıştır. Bu ajansların en önemlilerinden biri olan ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), katı atıkları 5 grupta sınıflandırmaktadır. Bunlar, evsel atıklar, ticari atıklar ve endüstriyel atıklar guruplarını içine alan Kentsel Katı Atıklar (KKA-MSW), inşaat sektörünün yapım, test etme, bakım ve yıkım gibi tüm aşamalarında meydana gelen inşaat ve yıkım atıkları (İYA-C&D), özel atıklar, kimyasal atıklar ve diğer atıklar olarak sıralanmaktadır. İYA lar, KKA ların %30 civarında bir kısmını oluşturmaktadır. (EPA, 2019). EPA raporlarına göre, 2017 yılında sadece ABD de oluşan İYA miktarı 569.4 milyon tondur. İYA, demir yolu, dolgu, otoyol, bina, köprü, su yapıları inşaatları gibi tüm inşaat çalışmalarında meydana gelen atıklar oldukları için çok farklı malzemelerden meydana gelmektedir. Pencereler, sıhhi tesisat armatürleri, kapılar gibi kurtarılmış yapı bileşenlerinin yanında plastik, asfalt, alçı, ahşap, metal, beton ve tuğla atıklarının tümü İYA olarak adlandırılmaktadır (FedCenter, 2020). Bunun yanında, İYA nın %75 oranında bir kısmı beton atığından oluşmaktadır (Demir, 2009).

Geri dönüştürülmüş beton agregası (GDA-RCA) olarak bilinen bu atıkların, inşaat sektöründe tekrar kullanımı ile ilgili pek çok akademik çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Söylemez ve Bayraktar tarafından yapılan bir çalışmada, asfalt yolların aşınma tabakasında GDA kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir (Söylemez ve Bayraktar, 2019). Ok ve Demir tarafından yapılan çalışmada, GDA üzerinde Los Angeles aşınma deneyi yapıldığı ve GDA de önemli bir aşınma kayba olmadığı tespit edilmiştir (Ok ve Demir, 2018). Literatürde bulunan bir diğer çalışmada kullanılan GDA nın yüksek plastisiteli kilin sabit hacimli şişme basıncı azalttığı belirtilmektedir (Çimen ve ark., 2017). Vietnam'da yapılan bir çalışmada, doğal taşın % 20 oranında bir kısmının geri dönüştürülmüş beton agregası ile değiştirilmesinin kırıların taşıma kapasitesini ve performansını etkilemediğini göstermektedir (Gao, 2020). Çin'de yapılan bir araştırmada, betonda RCA kullanımının betonun durabilitesini arttırdığı söylenmektedir (Le ve Nguyen, 2020). İYA ların üretimi ve doğal agregaların yerine kullanımı tüm dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır ve ABD'deki birçok belediye tarafından ayrıca ASTM, EPA gibi resmi kurumlar tarafından da onaylanmıştır (EPA, 2019).

Öte yandan, Türkiye'de yol ve dolgu çalışmalarında kullanılacak olan zeminlerin taşınması gereken özellikler Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından belirlenmiştir. Killi zeminlerin mekanik özelliklerinin zayıf olması, su yoğunluk ilişkileri gibi geoteknik özelliklerinin belirtilen kıstaslara uymadığı ve yol ve dolgu çalışmalarında kullanılmadan önce ıslah edilmesi gerektiği bilinmektedir (Kavak ve Bilgen, 2016). Zemin iyileştirme amacı ile geliştirilen projelerde, üzerinde en çok çalışılan katkı maddeleri arasında uçucu kül (UK), yüksek fırın curufu (YFC) ve kireç gibi malzemeler gelmektedir. Türkiye'de YFC özellikle çimento üretimde etkin bir şekilde kullanılmakta olup, kirecin yol ve dolgu yapımında kullanımı KGM tarafından yayınlanan bir kitapçık ile ayrıntılı olarak tanımlanmıştır (KGM, 2018). Türkiye'de KGM tarafından 2011 yılında yapılan bir araştırmada GDA nın asfalt yapımında kullanımı da araştırılmıştır (KGM, 2018).

Literatürde yapılan çalışmalar, genel olarak GDA nın beton ve asfalt yapımında agrega olarak kullanımının olumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu çalışmada ise, GDA nın agrega olarak kullanımından ziyade zemin ıslahı amacı ile kullanımı irdelenmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada, düşük

plastisiteli bir kil alt temel malzemesi olarak seçilerek, katkı malzemesi olarak kullanılan 425 mikron altı GDA kullanımının killi zeminin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, beton dayanımını belirlemek amacı ile kırılmış olan atıl durumdaki beton numuneleri GDA olarak kullanılmıştır. $15*15*15 \text{ cm}^3$ boyutlarındaki beton numuneleri laboratuvar ortamında kırılıp ufalanmak sureti ile deneyler için gerekli boyutlara indirilmiştir. Bölge civarında bulunan bir zemin, dolgu yapımında kullanılacak alt temel malzemesi olarak seçilmiştir. Seçilen bu zeminin spesifik gravitesi belirlendikten sonra, sınıflandırılmasının yapılabilmesi için zemin üzerinde elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri gerçekleştirilmiş ve zeminin yanma kaybı (LoI) değerinin belirlenmesi için organik madde tayini yapılmıştır. 425 mikron boyutundan elenerek (No: 40) hazırlanmış olan GDA, alt temel malzemesi olarak belirlenen bu zemin ile %5, %10 ve %15 oranlarında karıştırılmak sureti ile farklı karışım oranlarında örnekler hazırlanmıştır. GDA ların killi zeminin mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi için hazırlanan karışımlar üzerinde; su-yoğunluk ilişkisi belirleme için standart Proctor, basınç dayanımının belirlenmesi için serbest basınç dayanımı deneyi (UCS) ve Kaliforniya Taşıma oranı (CBR) şeklinde bir seri deney yapılmıştır. UCS ve CBR değerleri, karışımlar 7 gün kür edildikten sonra belirlenmiştir. Karışımlar üzerinde yapılan tüm deneyler, katkısız haldeki zemin üzerinde de gerçekleştirilmiştir. Kür süresince numuneler, hava almayacak şekilde plastik torbalarda muhafaza edilmiş ve nem odasında bekletilmiştir. Tüm deneyler, ilgili ASTM standartlarına göre gerçekleştirilmiştir.

Sonuçların daha sade olarak aktarılabilmesi adına, alt temel malzemesi olarak kullanılan zemine (SK) kodu verilmiştir. Çizelge 1 de görüldüğü üzere, %5, %10 ve %15 olarak eklenen GDA sırası ile 1, 2, 3 olarak kodlanmıştır. Böylece, %5 GDA ile hazırlanmış olan karışımın kodu SK1, %10 GDA ile hazırlanmış olan karışımın kodu SK2 ve benzer şekilde %15 GDA ile hazırlanmış olan karışımın kodu SK3 olarak kodlanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kurutulup elenilen alt temel zemininin tamamı 200 nolu elekten geçmiştir ve spesifik gravitesi 2,43 olarak belirlenmiştir. Yakma kaybı deneyi sonrasında (LoI) değerinin %1.3 olduğu görülmüştür. Elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri neticesinde Çizelge 1 görüldüğü gibi, alt temel zeminin sınıfının, birleştirilmiş zemin sınıflandırma (USCS) sistemine göre düşük plastisiteli kil (CL) ve AASHTO sınıflandırma sistemine göre A6 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 1. Karışımların zemin sınıfları

Karışım Kodu	Kil Oranı (%)	GDA oranı (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı	
						USCS	AASHTO
SK	100	0	40	21	19	CL	A-6 (21)
SK1	95	5	39	20	19	CL	A-6 (20)
SK2	90	10	38	20	18	CL	A-6 (19)
SK3	85	15	37	19	18	CL	A-6 (19)

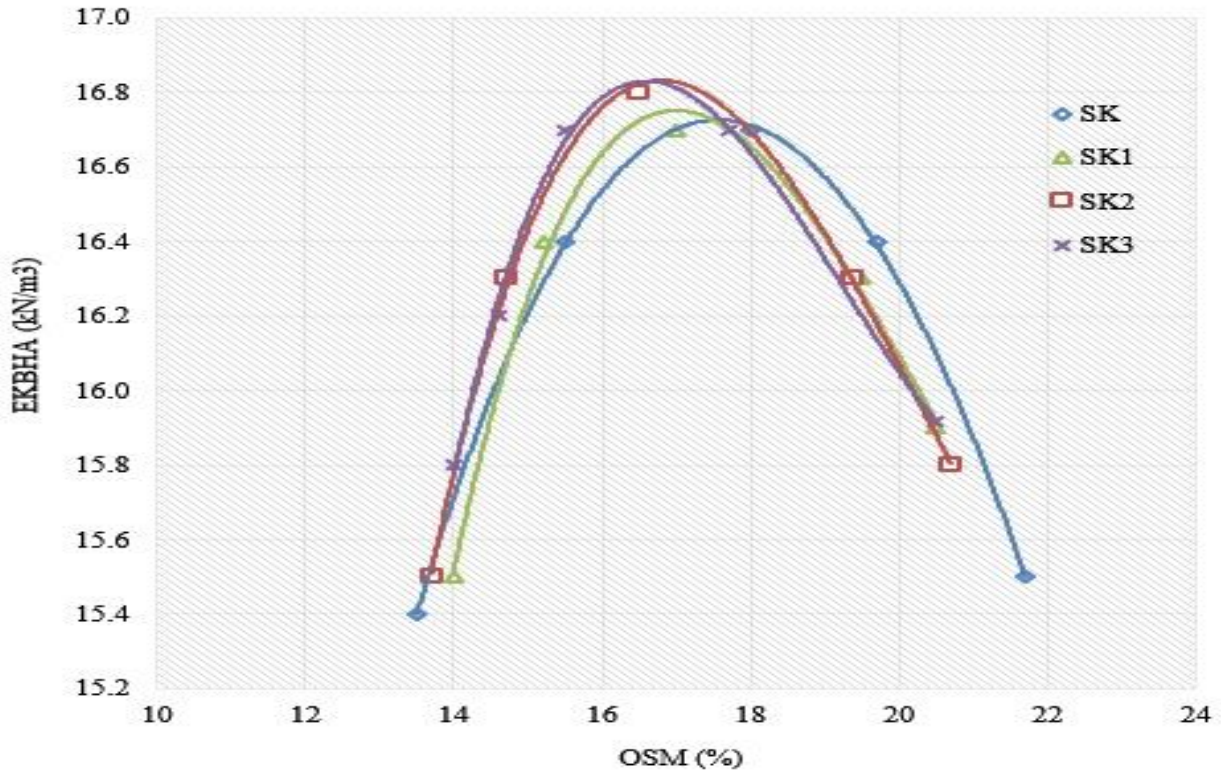
Farklı oranlarda karıştırılan GDA, USCS sınıflandırma sistemine göre killi zeminin sınıfında bir değişikliğe yol açmamıştır. Aynı şekilde, ASHTOO sistemine göre de grup indeksi sayısında küçük bir azalmaya sebep olmakla beraber A6 olan sınıfını değiştirecek bir etki yapmamıştır. Ancak, GDA, zeminin likit limitinde (LL) ve plastisite indisinde (PI) kullanım oranı arttıkça artan bir azalmaya sebep olmuştur. Katkısız halde %40 olarak belirlenen LL değeri %15 oranında GDA ile karıştırıldığında %37

ye düşerken, katkısız halde %19 olan PI değeri %15 oranında kullanılan GDA katkısının etkisi ile %1 lik bir değişimle %18 e düşmüştür.

Çizelge 2. Standart Proctor ve Dayanım deneyleri sonuçları

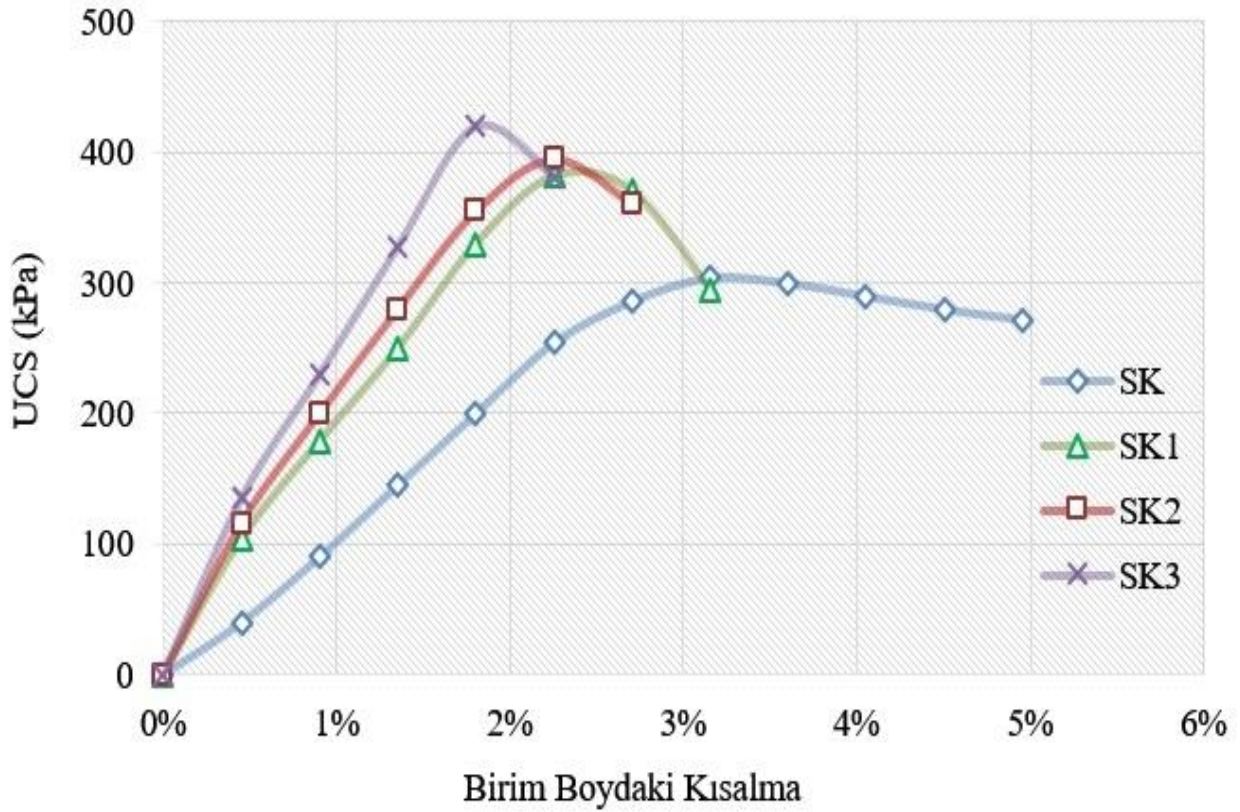
Karışım Kodu	OSM (%)	EB-KBHA (kN/m ³)	UCS (kPa) (7 gün)	CBR (%) (7 gün)
SK	17.5	16.70	304	9
SK1	17.0	16.74	382	11
SK2	16.5	16.80	395	12
SK3	16.3	16.82	420	13

Standart Proctor, deneyi sonuçları Çizelge 2 ve deneyden elde edilmiş olan optimum su muhtevası (OSM) ve buna bağlı en büyük kuru birim hacim ağırlık (EB-KBHA) değerleri Şekil 1 de görülmektedir. Alt temel zeminin optimum su muhtevası %17.5 ve bu su muhtevasındaki EB-KBHA değeri 16.70 kN/m³ olarak tayin edilmiştir. GDA kullanımının, oranı arttıkça artan bir şekilde OSM değerlerinde azalmaya ve EB-KBHA değerlerinde artışa sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Standart Proctor deneyi sonuçları

Alt temel zeminin 7 günlük kür sonrası UCS değeri 304 kPa ve CBR değerleri Çizelge 2 de görüldüğü gibi %9 olarak belirlenmiştir. %15 oranında kullanılan GDA katkılı karışımda bu kür süresi sonundaki UCS değeri 420 kPa olarak belirlenirken CBR değeri ise %13 olarak tayin edilmiştir. GDA kullanımı, oranı arttıkça artan bir şekilde UCS ve CBR değerlerinde bir artışa sebep olmaktadır. Şekil 2 de görüldüğü gibi GDA katkılı karışımlarda UCS değerleri artarken, birim boydaki değişim azalmaktadır.



Şekil 2. Serbest basınç dayanımı deneyi sonuçları

SONUÇ

Yapılan çalışmada, geri dönüştürülmüş beton agregasının, düşük plastisiteli bir kilde katkı olarak kullanımı durumunda kilin mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre geri dönüştürülmüş beton agregası, kullanım yüzdesi arttıkça daha etkili bir şekilde:

- Killi zeminlerin likit limit ve plastisite indisi değerlerinde azalmaya sebep olmaktadır.
- Zeminin optimum su muhtevasını azaltırken birim hacim ağırlığını arttırmaktadır. Başka bir deyişle, daha az su ile daha yüksek yoğunlukta bir zemin elde etmemize yardımcı olmaktadır.
- UCS ve CBR değerlerinde başka bir deyişle zeminin dayanım özelliklerinde artış sağlamaktadır.

Deneysel veriler göstermektedir ki, atıl durumdaki beton dayanım test numunelerinden elde edilen geri dönüşüm beton agregalarının, düşük plastisiteli killerde mekanik özellikleri iyileştirmek adına kullanımı uygundur.

KAYNAKLAR

- Çimen Ö, Günaydın H. İ, Keskin S. N, 2017. Yüksek plastisiteli kil zeminin mühendislik özelliklerine inşaat atıklarının etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23:3, 250-253.
- Demir İ, 2009. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9:2, 105-114.
- FedCenter.gov, Construction and Demolition (C&D) Debris. <https://www.fedcenter.gov/assistance/facilitytour/construction/debris/> (Erişim tarihi: 5.01.2020)
- Gao D, 2020. Durability of Steel Fibre-Reinforced Recycled Coarse Aggregate Concrete. Construction and Building Materials, 232, 117-119.
- Kavak A, Bilgen G, 2016. Reuse of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) in lime stabilized embankment materials. International Journal of Engineering and Technology, 8:3, 11.

- KGM, 2013. Karayolu Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü.
https://www.tamyol.com.tr/UserFiles/Content/KGM_Teknik_Sartnamesi_2013.pdf
(Erişim tarihi: 5.01.2020).
- KGM, 2018. Karayolları Genel Müdürlüğü, Kgm-Arge-K-18-01 Karayolları Genel Müdürlüğü.
<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/ARGE%C3%87al%C4%B1%C5%9Fmalar%C4%B1/KGM%20AR-GE%20Projeleri%202018.pdf> . (Erişim tarihi: 5.01.2020).
- Le A. T, Nguyen T. H, 2020. A Study on Behaviour of Reinforcement Concrete Beam Using the Recycled Concrete. CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure. Springer, Singapore, pp. 379-384.
- Ok B, Demir A, 2018. Yapım Yıkım Atıklarının Yol Temellerinde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7:1, 224-236.
- Söylemez H, Bayraktar O, Y, 2019. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Asfalt Agregası Olarak Kullanılma Stratejisi. 3. Uluslararası Bilimsel Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu, Ankara, 2019.
- Tutulmaz O, 2012. Sürdürülebilir Kalkınma: Sürdürülebilirlik için Bir Çözüm Vizyonu. Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11:3, 601-626.
- United States Environmental Protection Agency, 2019. Advancing Sustainable Materials Management: 2017 Fact Sheet Assessing Trends in Material Generation, Recycling, Composting, Combustion with Energy Recovery and Landfilling in the United States. Available: <https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials>. (Erişim tarihi: 5.01.2020).
- United States Environmental Protection Agency, Estimating 2003 Building-Related Construction and Demolition Materials Amounts, Available: <https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials>. (Erişim tarihi: 5.01.2020).