

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGALARIN TEKRAR KULLANIMI

Selçuk ÇİMEN¹

¹ Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Geliş Tarihi :07.05.2018

Kabul Tarihi :10.06.2018

Nüfusun artması, şehirleşme oranının buna paralel olarak sürekli artış göstermesi yeni yerleşim yerlerine olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanması ancak inşaat sektörünün gelişimiyle karşılanabilir. İnşaat sektörü ulusal ve uluslararası ekonomi için önemli bir paya sahiptir. Bu sektörün en önemli hammaddelerinden biride agregalardır. Neredeyse tüm inşaat yapılarında agrega önemli bir bileşen olarak yerini almaktadır. Bu nedenle de agregaya olan ihtiyaç sürekli artış göstermektedir. Mevcut agrega kaynaklarının gelecek nesiller düşünülmezsizin, iyi bir planlama yapılmadan kullanılması yakın bir zamanda agrega madenciliği açısından büyük bir sorun oluşturacaktır. Agregada hammadde ihtiyacının artış göstermesi inşaat sektörü için çözülmesi gerekli olan önemli bir sorun olarak yerini almıştır. Son yıllarda bu soruna en iyi çözüm olarak, ömrünü tamamlamış her türlü inşaat yapılarında (yol, bina, tesis vb.) kullanılan malzemelerin özellikle agregaların yeniden kullanılması gelmektedir. Yapılan çalışmalardan elde edilen başarılı sonuçlar neticesinde agregaların inşaat sektöründe tekrar kullanılması (geri dönüşüm) hızla artış göstermektedir. Bu çalışmada geri dönüştürülmüş agregaların inşaat sektöründe kullanımıyla ilgili yapılmış araştırmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Agregada; İnşaat Sektörü; Geri Dönüşüm.

ABSTRACT

USE AGAINST RETURNED AGGREGATES IN CONSTRUCTION SECTOR

The increase in population and the increase in the urbanization rate parallel to this increase the need for new settlements. This need can only be met by the development of the construction industry. The construction sector has an important share in the national and international economy. One of the most important raw materials of this industry is aggregates. In almost all construction, aggregate is an important component. For this reason, the need for aggregate is continuously increasing. The use of existing aggregate resources without considering future generations, without good planning, will soon become a major problem for aggregate mining. The increase in the aggregate raw material demand has taken place as an important problem to be solved for the construction sector. In recent years, the best solution to this problem in recent years is the reuse of aggregates characterized by materials used in all kinds of construction structures (roads, buildings, facilities, etc.) that have completed their lives. As a result of the successful results obtained from the work done, the reuse of aggregates in the construction sector (recycling) is increasing rapidly. In this study, we have been informed about investigations on the use of recycled aggregates in the construction sector.

Keywords: Aggregate; Construction Sector; Recycle.

1.GİRİŞ

İnşaat sektörü, dünyada hızlı bir şekilde gelişme göstermesiyle birlikte ülkemizde de bu gelişim gözlenmektedir. İnşaat sektörü tüm ülkelerde ulusal ekonomi açısından birincil sektördür ve bu sektörün en önemli ham maddesi agregalardır. Konut, sanayi tesisleri, hastane gibi bina inşaatlarında, köprü, su yapıları, boru hattı gibi altyapı tesislerinin inşaatında ve özellikle de yol yapımı (üstyapı, altyapı) ile beton üretimi için kullanılan en önemli hammadde agregadır. Agregada kullanılmadan insan hayatını kolaylaştıran birçok yapının inşa edilmesi olanaksızdır. 2000 yılı istatistik verilerine göre 92 milyar €'luk pazar değeri ile petrol, doğalgaz ve kömürden sonra dördüncü sırada yer almaktadır. Agregada madenciliği talep açısından tüm madencilik türleri arasında ilk sıradadır. İnşaat sektörü için küresel agregada talebi 2015 yılında 48 milyar metrik tonu aşacağı öngörülmektedir (The Freedonia Group, 2012). Yapılan son güncel çalışmalarda agregaların Geri dönüştürülmüş plastik, üretilirken veya tüketici tarafından kullanılmakta iken, herhangi bir zararlı emisyon oluşturmaz. Agregalara karıştırılmış küçük Plastik suya veya toprağa zehirli kimyasallar dökmez ve geri dönüşüm kirliliği azaltır. Plastik geri dönüşümü yapılırken, çevre dostu ürünler yaratmaya yardımcı olur ve atık atıklarımızı tonaj atmamıza engel olur (Brooks ve Cetin 2012; Cetin 2013a, b, c; Cetin 2015a, b).

Plastik kullanımı arttığından, yeni yöntem geri dönüşüm gibi bir çözüm düşünülmektedir. Yöntemlerden biri, plastiklerin bir kısmının geri dönüşüm için diğer malzemelerde karıştırılması; Geri dönüştürülmüş plastik daha sonra değerli hale gelir. Bütün plastik malzeme geçirgen kaplamaların geri dönüşümünde bir bağlayıcı olarak kullanılabilir, ki bu da bir gelişme olmuştur (Brooks ve Cetin 2012; Cetin 2013a, b, c; Cetin 2015a, b).

Agrega sektörü önemli ölçüde ulusal inşaat faaliyetleri ile ilgili olması, istihdam potansiyeli, başta inşaat sektörü olmak üzere diğer sektörlerle de etkileşim içinde olması nedeniyle Türkiye ekonomisinin vazgeçilmez sektörlerindedir. Yıllık 290 milyon ton gibi yüksek üretim kapasitesi ve yaklaşık 1.5-2 milyar \$ gibi bir değer ve 35.000 kişilik doğrudan istihdam imkanları ile giderek

artan öneme sahip bir madencilik koludur (Öztürk vd.,2007).

2.AGREGALARDA GERİ DÖNÜŞÜM

Geri Dönüşüm kavramı nüfusun artışına paralel olarak tüketimin artması sonucunda önemini tüm endüstriyel alanlarda hissettiren bir kavramdır. Genel olarak geri dönüşüm, geri dönüştürülebilen her türlü malzemelerin farklı teknikler kullanılarak hammadde olarak imalat süreçlerine tekrar kazandırılması şeklinde tanımlanabilir. Geri dönüşüm sayesinde enerji tasarrufu sağlanır, doğal kaynaklar korunur, atık miktarı azalır ve ekonomiye büyük bir katkı sağlanır.

Agregalar inşaat sektörü için en önemli hammaddedir. Bununla birlikte kullanım miktarı fazladır. Tüketimin çok olması, buna paralel olarak doğal kaynakların hızla tükenmesi agregaların yeniden kullanımını gündeme getirmiştir. Özellikle beton, yol vb. inşaat yapılarında kullanılan agregalar, geri dönüşüm teknikleri kullanılarak ayrıştırılmış ve tekrar kullanılması sağlanmıştır. Son yıllarda yapılan başarılı çalışmalar geri dönüştürülmüş agregaların kullanım oranının büyük miktarda artmasını sağlamıştır. Çalışmanın bu bölümünde geri dönüştürülmüş agregaların inşaat sektöründe kullanımıyla ilgili yapılmış çalışmalara ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

Bu çalışmada geri dönüştürülmüş betonların agregada olarak yeni beton yollarda kullanımı araştırılmıştır. Washington eyaletinde coğrafi olarak dağılmış üç yerden elde edilen kırılmış kaplamalardan üretilen Geri dönüştürülmüş beton agregaları agregada karakteristikleri, taze beton özellikleri ve sertleşmiş beton özellikleri üzerine testler yapılmak için kullanılmıştır. Farklı kaynaklardan elde edilen Geri dönüştürülmüş agregalar, karışım içerisinde doğal iri agregada yerine %0, %15, %30 ve %45 arasında değişen oranlarda, F tipi uçucu kül kullanılarak üretilen portland çimentosu yerine %0 ila %20 arasında değişen oranlarda kullanılmıştır. Çalışma kapsamında toplamda 20 adet beton karışımı üretilmiştir. Üretilen numunelerin iki tanesinde geri dönüştürülmüş beton agregaları hiç kullanılmamıştır. Üç farklı geri dönüştürülmüş agregada kaynağının her biri için ise 6 karışım serisi hazırlanmış ve bu agregaların beton yollar üzerindeki performansları tespit edilmiştir.

Taze beton numuneleri üzerinde çökme, hava içeriği ve yoğunluk özellikleri tespit etmek amacıyla deneyler yapılmıştır. Test edilen Sertleşmiş beton özellikleri arasında basınç dayanımı, kopma modülü, termal genleşme katsayısı, kuruma büzülmesi ve donma-çözülme dayanıklılığıdır. Ayrıca geri dönüştürülmüş agregalar üzerinde standart agrega deneyleri olarak Los Angeles Aşınma, Alkali-Silika Reaksiyonu, Su emme yüzdesi ve gradasyon bozulması faktörleri tespit edilmiştir. Üç kaynaktan elde edilen geri dönüştürülmüş agregalar ve tüm taze ve sertleşmiş beton özellikleri Washington Eyaleti Karayolları Departmanı şartnamelerindeki kriterleri sağlamaktadır. Hacim olarak %45 oranında Doğal iri agrega yerine kullanılan Geri dönüştürülmüş agregalardan üretilen numuneler üzerinde herhangi bir önemli etkisinin olmadığı görülmüştür. Çalışma sonucunda, yüksek kaliteye sahip geri dönüştürülmüş beton agregalarının Washington Eyaletinde portland çimentosu kullanılarak üretilen yeni beton yollarda iri doğal agregaların yerine belirli oranlara kadar kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Wen vd., 2014).

Köken vd (2008) yaptıkları çalışmada, İnşaat Mühendisleri Odası Konya Şubesi'nden elde edilen 28 günlük silindir basınç dayanımları 20 MPa olan beton numune artıklarından öğütülerek elde edilen malzemenin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında agrega örnekleri üzerinde su emme, birim ağırlık, aşınma mukavemeti, donma-çözülme direnci deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda TS EN 197-1'e göre üretilmiş CEM II/B-M(P-L) 32,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Bu çalışmada Üç farklı deney grubu oluşturulmuştur. Birinci grupta kullanılan agrega %100 geri dönüşüm agregasıdır. İkinci grupta kum (0-4 mm) olarak kırma taş agregası, iri agrega olarak ise geri dönüşüm agregası kullanılmıştır. Üçüncü grup karışımda agreganın %100'ü kırma taş agrega olarak kullanılmıştır. Hazırlanan beton numuneleri preslerde aynı yükleme hızında 7 ve 28 günlük olarak kırılmış ve beton silindir basınç mukavemetleri ve yarmada çekme mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Karışım içerisindeki tüm agreganın geri dönüşüm agregası olarak kullanıldığı 1. karışımın 7 günlük beton basınç mukavemeti ve 28 günlük beton basınç mukavemeti, agregasının tamamı kırma

taş agregası olan 3. Karışımın 7 günlük beton basınç mukavemeti ve 28 günlük beton basınç mukavemetinden sırasıyla %33 ve %34 daha az çıkmıştır. Agregası miktarının % 61'inin geri dönüşüm agregasının kullanıldığı 2. karışımın 28 günlük beton basınç mukavemeti, agregasının tamamı kırma taş agregası olan 3. karışımdan %18 daha az çıkmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, Geri dönüşüm agregalarının beton üretiminde kullanımının artması sonucunda taze betonun işlenebilirliğinin azaldığı, 7 günlük ve 28 günlük beton basınç mukavemetlerinin ve yarmada çekme dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir (Köken vd., 2008).

Demirel ve Şimşek (2015), erken yaştaki atık betonların geri dönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliği ve sürdürülebilirlik açısından incelenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, Kalker kökenli kırma taş agregası ve 7 günlük C30 atık betonundan elde edilen geri dönüşüm agregası kullanılmıştır. Beton karışımlarında CEM I 42.5 R tipi çimento ve Termik Santral uçucu külü kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 14 adet farklı beton numunesinin her birinden 6 adet olmak üzere toplamda 84 adet 100x200 mm boyutunda silindir beton örnekleri hazırlanmıştır. Geri dönüştürülmüş agregalar, karışım içerisinde iri agrega ve ince agrega olarak ağırlıkça % 0, 10, 20, 30, 40, 50 oranlarında kullanılmıştır. Çimento ağırlığının %20'si oranında uçucu kül ve çimento miktarının ağırlıkça %1.2'si oranında süper akışkanlaştırıcı kimyasal kullanılmıştır. Beton numuneleri üzerinde 28 ve 90 günlük basınç değerleri ile, 28 günlük elastisite modülü değerleri deneysel çalışmalarla elde edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, geri dönüştürülmüş agregaların aşınma kaybının azaldığı, su emme miktarı fazla olduğu için taze betonların karışım suyu ihtiyacını artırdığı, geri dönüştürülmüş iri agregalarla üretilen betonların basınç dayanımlarının ince olanlarına göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca çalışma sonucunda genel bir değerlendirme olarak geri dönüştürülmüş agregaların betonda kullanılabileceği sonucu vurgulanmıştır (Demirel ve Şimşek, 2015).

Kılıç ve Kadayıfçı (2007), yaptıkları çalışmada silis dumanının atık beton agregasından elde edilen betonların özellikleri üzerinde etkilerini araştırmışlardır.

Çalışmada kullanılan atık beton agregası, Isparta-Merkez'de imar nedeniyle yıkılan bir binadan alınan atık beton parçalarından elde edilmiştir. Atık beton agregaları şartname belirtilen gradasyon değerleri temsil edemediği için halihazırda kullanılan agrega numuneleriyle karıştırılarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, 3 farklı numune üzerinde (Atık Agregası-Kırmataş Karışımı, Atık Agregası-Kırmataş-Silis Dumanı Karışımı, Atık Agregası-Kırmataş-Silis Dumanı-Süper Akışkanlaştırıcı Karışımı) elek analizi, taze beton birim hacim ağırlık, taze beton kıvam, tek eksenli basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, atık beton ve kırmataş agregası karışımından elde edilen betonlarda mineral beton katkısı olarak silis dumanının kullanılması, birim hacim ağırlık değerlerini % 2.49-5.39 azaltmış, çökme değerlerini % 22-44 artırmıştır. Basınç dayanım değerlerini ise 7. gün için % 21-32 ve 28. gün için % 10-19 azaltmıştır. Ultrases geçiş hızı değerlerinde de % 2-7 oranlarında azalmaya neden olmuştur. Araştırmacılar çalışma sonucunda, atık beton agregaları kullanılarak üretilen betonlarda silis dumanının dayanım artırıcı katkı olarak kullanılmaması gerektiğini vurgulamışlardır (Kılıç ve Kadayfçı, 2007).

Bu makalede Geri dönüşümlü iri agrega ile doğal değişik oranlara sahip taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin deneysel sonuçlarının karşılaştırmalı bir analizi yapılmıştır. Geri dönüştürülmüş agregalar laboratuvar ortamında teste tabi tutulmuş beton numunelerinin ve prekast beton kolonlarının kırılmasıyla iki farklı şekilde elde edilmiştir. Çalışma üç farklı beton numuneleri test edilmiştir: Birinci beton karışımı tamamen doğal agregalarla üretilen kontrol numunesi, ikinci beton karışımı %50 doğal iri agrega ve %50 geri dönüştürülmüş iri agregadan üretilen beton numuneleri, üçüncü beton karışım numunesi de %100 geri dönüştürülmüş agregalardan üretilen beton numuneleridir. Test edilen beton tiplerinin karışım oranları aynı çimento miktarı, 30 dakika sonrası aynı işlenebilirlik, 32 mm maksimum tane boyutu, agrega karışımları için aynı boyut dağılımı, aynı tip ve kalitede ince agrega, çeşitli tipte ve kalitede iri agrega koşullarına uygun olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında test edilen beton özellikleri; işlenebilirlik, taze betonun birim hacim ağırlığı, hava miktarı, setleşmiş betonun birim hacim ağırlığı, 28 gün sonra su

emme ve aşınma dayanımı, 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, 28 günlük yarmada çekme dayanımı, 28 günlük eğilme mukavemeti, 28 günlük elastisite modülü, 3,4,7,14,21 ve 28 günlük kuruma rötresi, nervürlü ve düz çelik ile betonun arasındaki bağıdır. Bu amaçla beton özelliklerinin tespit edilmesi için 99 adet beton numuneleri üretilmiştir. Bu çalışmada ayrıca incelenen beton numunelerinden üretilen betonarme kirişlerin yükleme testleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçları maddeler halinde aşağıda belirtilen şekilde sıralayabiliriz:

- Geri dönüşüm agregalarının elde edilmiş yöntemi işlenebilirlik üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Doğal ve geri dönüştürülmüş agregalarla üretilen beton numunelerinin işlenebilirliği suya doygun-yüzey kuru geri dönüştürülmüş agregalarla neredeyse aynı olduğu;

- Taze betonun birim hacim ağırlığı geri dönüştürülmüş agrega kullanım miktarı arttıkça az oranda azalma gösterdiği;

- İri agrega çeşidinin betonun hava miktarı üzerinde bir etkisinin olmadığı ;

- Betonun basınç dayanımının kaliteli geri dönüştürülmüş agrega kullanımına bağlı olduğu;

- Betonun su emme miktarının geri dönüştürülmüş agregaların miktarı arttıkça artış gösterdiği;

- Betonun elastisite modülünün geri dönüştürülmüş iri agrega miktarının artışıyla azalma gösterdiği;

- Betonun büzülmesinin, karışım içerisinde %50'den fazla miktarda geri dönüştürülmüş iri agrega kullanımıyla doğal agregalara kıyasla önemli miktarda artış gösterdiği;

- Geri dönüştürülmüş agrega betonu ve çelik arasındaki bağıın geri dönüştürülmüş beton agregası önemli ölçüde etkilenmediği;

sonuçlarına ulaşılmıştır. Bununla birlikte, bunun sağlanabilmesi için, kaliteli geri dönüşümlü beton iri agreganın kullanılması ve bu yeni beton tipi tasarım ve üretimi için özel kuralların dikkatli bir şekilde takibi gereklidir (Malešev vd., 2010).

Geri dönüştürülmüş agrega beton çalışmalarına katkıda bulunmak için, doğal agregaların yerine Brezilyada inşaat ve yıkım atıklarının üç temel

bileşimini oluşturan, geri dönüştürülmüş agrega, harç ve kırmızı seramiklerin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Agregada çeşitlerinin yanı sıra, geri dönüştürülmüş agregaların ön ıslatma suyu miktarını sabitlemek için 0.4 ila 0.8 arasında su/çimento oranı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 7 bağımsız değişken belirlenmiştir: Bunlar iri ve ince geri dönüştürülmüş kırmızı seramik agregası, iri ve ince geri dönüştürülmüş harç agregası, iri ve ince geri dönüştürülmüş beton agregası ve su/çimento oranıdır. Çalışmada tüm 7 faktörlerin etkisini görebilmek için toplam 128 adet karışım üretilmiştir. Silindir beton numunelerinin Brezilya standartlarına uygun olarak 28 günlük deformasyon modülü belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre, doğal agregalar yerine kullanılan geri dönüştürülmüş agregalar deformasyon modülünü azaltmıştır ve iri kırmızı seramik geri dönüşümlü agrega ve ince beton geri dönüştürülmüş agrega, betonun deformasyon modülünde sırasıyla en büyük ve en küçük etkiye neden olmuşlardır (Cabral vd., 2008).

Topçu (1993); beton kırıklarının agrega olarak kullanılabilirliği üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın temel amacını BS 16 beton kırığı agregaları kullanılarak, BS 16 ve BS 20 beton kaliteleri elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada BS 16 kalitesindeki beton küp numuneleri laboratuvar ortamında kırılmış ve elenerek gradasyonlara ayrılmıştır. Üretilen taze betonların işlenebilirliğini belirlemek amacıyla birim ağırlık, çökme ve yayılma deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde Schmidt sertliği, serbest basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Beton kalitesine geri dönüştürülmüş beton kırıklarının yanı sıra kum ve çakıl özelliklerinin de etki ettiği,
- Geri dönüştürülmüş beton kırıklarının çeneli kırıcılarda uygun granülometride hazırlanarak kullanılması gerektiği,
- Beton kırığı agregaları iri taneli yapıya sahip olduğu için kullanım miktarı arttıkça işlenebilirlik üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu,
- Beton kırığı kullanılarak üretilen betonların

sertleşmiş birim ağırlıkları normal betonlara göre daha düşük olduğu,

- Silindir ve küp basınç mukavemetleri eski beton kırığı agregası miktarı arttıkça azaldığı,

- Eski beton kırığı kullanılarak istenilen mukavemette betonlar üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Güngör vd.(2009) kazınmış asfalt kaplamaların yeniden kullanımı ile ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmada kazınmış binder tabakasındaki bitüm ayrıştırıldıktan sonra geri kalan agrega 19 mm'lik eleklerden elenmiş ve kırmataş agregalarla birlikte kullanılmıştır. Sakarya Köprülü Kavşağı-Gümüşova (17.Bölge Müdürlüğü Sınırı) Arası Otoyol ve Bağlantı Yolları Üstyapı İyileştirmesi ve Büyük Onarım İşi kapsamında 2007-2008 yılı içinde; 93 000 ton bitümlü temel ve 161 000 ton binder imalatı yapılmış olup yaklaşık olarak 35 000 ton kazınmış asfalt kullanılmıştır. Çalışmada kazıma işlemi yapımı sırasında kazıma kullanılan makinelerin aynı tip ve özellikte olması, kazınmış asfalt kaplama malzemesinin günde en az bir kere numune alınarak bitüm miktarı ve gradasyon kontrolü yapılması gerektiği, kazıma derinliğinin doğru ve düzgün bir şekilde ve süreklilik sağlayacak şekilde sürdürebilecek kapasitede olması gerektiği, kazılan malzemenin statik yük ve hava sıcaklıkları nedeniyle birbirine yapışmasını önlemek amacıyla 3 m.den fazla yükseklikte depolanmaması gerektiği dikkat edilecek konular arasında vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda, agrega kaynaklarının hızlı bir şekilde tükendiği ve buna bağlı olarak yapım maliyetlerinin arttığı belirtilmiş ve bu nedenle bu tarz çalışmaların önemine değinilmiştir. Ayrıca kazınmış asfalt kaplamaların bitümlü temel ve binder tabakalarının yapımında kullanımının başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Gürer (2005); atık mermer parçalarının bitümlü yol kaplamalarında kullanılabilirliği üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada Afyonkarahisar ve çevresinde bulunan mermer ocaklarından temin edilen atıklardan agregalar üretilmiş ve binder tabakasında kullanımı araştırılmıştır. Ayrıca andezit kökenli numuneler ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla halihazırda belediye sınırları içerisinde kullanılan kireçtaşı kökenli agregalarda kullanılmıştır.

DeneySEL çalışmalarında üç farklı gradasyona sahip dört adet agrega ve atık agrega numuneleri üzerinde özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık, darbelenme, Los Angeles Aşınma, Su emme, Çamurlu madde miktarı, elek analizi, Yassılık İndeksi, Vialit yöntemi ile yapışma ve cilalanma deneyleri yapılmıştır. Üretilen asfalt briketleri (numuneleri) üzerinde Marshall Stabilité ve Akma Deneyi, Dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda mermer atıklarından elde edilen agregaların Los Angeles Aşınma kaybının şartnamede belirtilen sınır değerlerinin altında kaldığı, Donma-Çözünme sonrası direnç kaybının diğer agregalara göre yüksek olduğu fakat sınır değerlerinin (%12) altında olduğu, yassılık indeksi değerinin sınır değerleri geçmemekle birlikte yüksek olduğu, hazırlanan asfalt karışımlarının stabilite değeri bakımında diğer kireçtaşı kökenli karışımlara göre yüksek olduğu ve bu değerlerle orta trafik hacmine sahip yollarda kullanılabilceği, optimum bitüm oranları kıyaslandığında şartname sınırları içerisinde kireçtaşı kökenli agregalara yakın değerler verdiği, mermerden oluşan karışımın diğer karışımlara nazaran yorulma ömrünün %45 daha düşük olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Sonuç olarak mermer atıklarından üretilen agregaların orta ve düşük trafik hacmine sahip asfalt kaplamaların binder tabakalarında agrega olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.

Savaş (2002); Isparta İlindeki mevcut ocaklardan elde edilen doğal agrega, İzmit deprem sonucunda yıkılan binalardan elde edilen beton atıkları ve Isparta merkezde yıkılan binalardan elde edilen beton atıkları kullanılarak beton numuneleri hazırlanmıştır. Söz konusu malzemeler kullanılarak başlangıç çalışması olarak 5 farklı beton örnekleri üretilmiştir. Atık betonlardan elde edilen numunelere ait sonuçlar standartlara uygun sonuçlar vermediği için bu atıklardan elde edilen agregalar ile beton agregaları karıştırılmıştır ve dört farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Çalışmada agregalar üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler, taze ve sertleşmiş beton numuneleri üzerinde de standart deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak deprem nedeniyle ve imar nedeniyle yıkılan binalara ait atıkların taşıyıcı beton agregası olarak kullanılamayacağı, fakat taşıyıcı olmayan betonlarda, grebetonlarda koşu, bisiklet yolu betonlarında ve stabilize yol dolgularında kullanılabilceği belirtilmiştir.

Dilbas vd. (2015); kentsel dönüşüm neticesinde ortaya çıkan molozların geri dönüştürülerek beton içinde kullanımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmanın amacı, oluşan/oluşacak geri dönüşüm atıklarının değerlendirilmesi ve ayrıca silis dumanının geri kazanılmış agregalı betonda kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, kentsel dönüşüm kapsamında yıkılmış bir binadan elde edilen molozlar geri kazanılmış agrega olarak %0-30-40-70-100 oranlarında beton üretiminde kullanılmıştır. Ayrıca, beton endüstrisinin yaygın olarak kullandığı bir diğer atık-yan ürün olan silis dumanı da çimento ile ağırlıkça yer değiştirmeli olarak %0-5-10 oranlarında kullanılmıştır. Çalışma kapsamında; üç grup halinde on beş beton serisi üretilmiştir. Betonların yoğunluk ve su emme gibi fiziksel özellikleri ve basınç, elastisite modülü ve yarmada çekme gibi mekanik özellikleri araştırılmıştır. Yarmada çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiler irdelenmiş, numunelerin deneysel elastisite modülleri ile çeşitli standartlarda yer alan teorik bağıntılarla hesaplanan elastisite modülleri kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre betonda silis dumanı ile geri kazanılmış agrega kullanımı durumunda, %30 geri kazanılmış agrega ve 5% silis dumanı katkısı uygun karışım oranları olarak elde edilmiştir. Ayrıca, geri kazanılmış agrega kullanımı ile beton elastisite modülü değerinin azaldığı gözlenmiştir (Öztürk vd., 2007).

Özalp vd. (2015); inşaat ve yıkıntı atıklarından geri kazanılan agregaların çeşitli beton elemanlarının üretiminde kullanım kriterlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında agregalar iri ve ince doğal agregalar ile iri ve ince geri dönüştürülmüş agregalar kullanılmıştır. Agregalar üzerinde birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, organik madde tayini, Los Angeles Aşınma ve yassılık indeksi deneyleri yapılmıştır. Çalışmaların birinci bölümünde hazır beton ve bazı prefabrik ürünlerde kullanılabilcek S4 kıvam sınıfına giren karışımlar üretilmiştir. Kıvam sınıfı S4 olan hazır beton tasarımlarında, geri kazanılan beton agregaları toplam yer değiştirmeleri %20, %30, ve %40 olarak belirlenmiştir. Yer değiştirme oranlarında yalnızca ince agregaların yer değiştirmesi, yalnızca iri agregaların yer değiştirmesi ve ince ve iri agregaların eşit oranda birlikte yer değiştirmesi olmak üzere 3 farklı kategoride uygulanmıştır.

- Çalışmanın ikinci kısımda parketaşı, bordür, beton ve betonarme boru gibi ürünlerin üretiminde kullanılan sıfır çökmeli (slampli) beton karışımları hazırlanmıştır. Hazır beton tasarımında beton dayanım sınıfı C 25/30 ve sıfır çökmeli beton tasarımında beton dayanım sınıfı C 30/37 olarak belirlenmiştir. Beton deneyleri olarak basınç deneyi, yarmada çekme deneyi ve Hızlı Klor Geçirimsizliği Deneyi yapılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında parke taşı üretimi için inşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen agregalar doğal agrega yerine 0-5 mm boyutları için %20, 5-12 mm boyutları için %20 oranında yer değiştirilerek, Bordür üretimi için geri kazanılan ince agregalar doğal agregalar yerine toplamda iki farklı gradasyon için %50 oranında yer değiştirilerek , beton ve betonarme boruların üretimi için geri kazanılan agregalar (0-5) mm ve (5-12) mm boyutlarına %10'ar olmak üzere toplamda %20 oranında doğal agregalarla yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:
- Basınç dayanımı tayini için yapılan deneylerde 28 günlük sonuçlar incelendiğinde; geri dönüştürülmüş agregaların yer değiştirme oranı ile dayanım kaybı arasında lineer bir ilişki olduğu;
 - Sıfır çökmeli denemelerinde, karışım yer değiştirme %25 olan numunelerin basınç mukavemetlerinde ortalama %11 düşüş, %15 yer değiştirme oranlı numunelerde ise ortalama %4 mukavemet düşüşü olduğu;
 - İri agregalarla yapılan yer değiştirme ile, ince agregalara kıyasla daha yüksek dayanım sonuçları verdiği;
 - Hazır beton ile ilgili denemelerde farklı yer değiştirme oranları yarma-çekme mukavemetini doğrudan etkilemediği;
 - Sıfır çökmeli denemelerde, iri agrega yer değiştirme yapılan numuneler, ince agrega yer değiştirmesi yapılan numunelere göre daha yüksek sonuçlar elde edildiği;
 - Geri kazanılan agrega yer değiştirme oranlarının azalması ile hızlı klor geçirimsizliğinde azalma gözlemlendiği;
 - Toplam yer değiştirme oranlarının yanında
- boyutsal yer değiştirme geçirimsizlik özelliklerine etki etmediği;
- Geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak üretilen parke taşlarında yer değiştirme oranında %43 yarma mukavemeti değeri düşüşü olduğu;
 - Bordürlerin eğilme mukavemetlerinde %14-%22 oranında bir azalma olduğu;
 - Beton boruların üretiminde kullanılan karışımlarının küp basınç dayanımlarında yaklaşık %22, betonarme boruların üretiminde kullanılan karışımların küp basınç dayanımında ise yaklaşık %18 mukavemet kaybı olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda genel bir değerlendirme olarak, betonda geri kazanılan agrega kullanımının özellikle betonun mekanik ve dürabilite özellikleri açısından kayıplara neden olduğu, doğal agrega ile yer değiştirme oranlarının azaltılması ile bu olumsuz etkilerin de azaldığı belirtilmiştir (Öztürk vd., 2007).
- Qasrawi et al.,(2012) Betonda iri agrega olarak geri dönüştürülmüş beton yıkıntılarının kullanılması araştırılmıştır. Çalışmada doğal iri agrega olarak bölgesel kaynaklardan elde edilen kireçtaşı kökenli agregalar kullanılmıştır. Beton yıkıntıları laboratuvar ortamında kullanılan deney numuneleri kırılmış, standart elekler kullanılarak iri agregalar elenmiş, elenmiş parçacıklar doğal agregalarınkine benzer bir gradasyon elde etmek için bir araya getirilmiştir. Bu sayede, betonun özellikleri üzerinde gradasyon değişikliğinin olası etkisinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada geleneksel beton karışımları için 0.45, 0.55 ve 0.65 oranlarında su/çimento oranı kullanılmıştır. Tüm karışımlar betonun orta düzey işlenebilirliği (çökme 8-12 cm) elde etmek için ayarlanmış ve hazırlanmıştır. Tüm karışımlar için işlenebilirliği test etmek amacıyla ASTM C 143 temel alınarak çökme (slump) deneyi yapılmıştır. 100 mm uzunluğa sahip küp numuneleri hazırlanmış, uygun kür ortamında saklanmış ve 28 gün sonunda basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca 100x100x500 mm boyutlarında prizma numuneleri hazırlanmış ve bu numunelerde 28 gün sonunda eğilme çekme mukavemeti deneyleri yapılmıştır.

Beton atıkları kullanılarak hazırlanan numunelerde, sadece iri agregalar atık olarak %25, %50, %75 ve %100 oranlarında karışım içerisinde doğal agregalar yerine kullanılmış, diğer değişkenler sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Beton atıklarının karışım içerisinde iri agregalar olarak kullanılabilmesi ve bu durumun atıkların bertaraf edilmesi için önemli olduğu;
- Beton atıklarının iri agregalar olarak karışım içerisinde kullanımının, kullanım yüzdesine ve gradasyona bağlı olarak karışımın dayanımında bir azalmaya neden olduğu;
- Karışım içerisinde atık kullanımının, basınç dayanımını çekme dayanımına göre daha fazla etkilediği;
- Atık kullanımının, betonun işlenebilirliği üzerinde etkisi olduğu;
- Bu tür malzemelerin kullanılmadan önce ilave denemeler yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Muscalu ve Andrei (2011); beton yollarda geri dönüştürülmüş agregaların kullanımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın amacı, beton yolların yapımı için, en uygun fiziksel-mekanik özelliklere sahip geri dönüştürülmüş agregaların üretimini sağlamaktır. Çalışmada, Romanya'nın 4 farklı bölgesinde bulunan binaların (özellikle endüstriyel) atıkları kullanılmıştır. Atıklar 0 ila 30 mm arasında değişen boyutlarda 7 farklı kategoriye ayrılmıştır. Bunlardan 150 ila 300 mm arasında boyutlara sahip kırılmış çimento betonları, beton yolların altyapı inşaatında kullanımının uygun olacağına karar verilmiştir. Diğer atıklar laboratuvar ortamında çeneli kırıcılar kullanılarak 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm ve 16-25 mm boyutlarında elenmiş ve gruplandırılmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan atıkların fiziksel ve mekanik özelliklerini daha iyi kıyaslayabilmek için, 2 farklı doğal agregalar numuneleri de kullanılmıştır. Agregalar örnekleri üzerinde Los Angeles Aşınma, MikroDeval Aşınma, Absorpsiyon Faktörü (Katsayısı), Kırılma Faktörü deneyleri yapılmıştır. Çalışmada sonuç olarak, atık agregalar kullanılarak üretilen numuneler, beton yollarda doğal agregalar numuneleriyle üretilenlerle benzer sonuçlar verdiği, geri dönüştürülmüş agregalar için sürekli

gradasyona sahip örneklerin elde edilmesinin özellikle çimento beton plakaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, ayrıca literatüre de atıf yapılarak maksimum %30 oranında geri dönüştürülmüş agregaların doğal agregaların yerine kullanılabilmesi ve bunu sertleşmiş betonun performans karakteristiklerinin etkilenmediği belirtilmiştir.

James vd (2011); Beton yollarda geri dönüştürülmüş agregalar ve Uçucu külün kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan geri dönüştürülmüş agregalar yıkılmış beton yapılarından, uçucu kül ise yanmış kömürden elde edilmiş ve beton yapıların yapısal ve yapısal olmayan performansları üzerinde olası etkileri gösterilmeye çalışılmıştır. Betonun dayanım ve yoğunluk gibi fiziksel özellikleri 3 temel bileşen olan su, çimento ve agregalar kullanılarak belirlenmiştir. İri ve ince doğal agregalar ile iri geri dönüştürülmüş agregalar üzerinde özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, su emme, Los Angeles Aşınma deneyleri yapılmıştır. Beton karışımları için önemli bir parametre olan su/çimento oranı 0.55 ve 0.45 olarak kullanılmıştır. Her bir beton karışımı için, silindirik numuneler ve prizmatik kırışlar hazırlanarak basınç, elastik modül ve çekme dayanımları belirlenmiştir. İlk karışım 14,28 ve 56 gün olmak üzere kısa dönem performansı test etmek için, ikinci karışım Su/çimento oranı 0.55 kullanılarak 56,72 ve 112 gün olmak üzere uzun dönemli performansı test etmek için, su/çimento oranı 0,45'e azaltılarak 56,72 ve 112 günlük uzun dönem performansı test etmek için hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar maddeler halinde:

- Taze betonun çökme, birim ağırlık, hava miktarı ve sıcaklık gibi özellikleri geri dönüştürülmüş agregalar ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan numunelerle benzer olduğu;
- %25 oranında geri dönüştürülmüş iri agregalar içeren karışımların basınç dayanımları çok az miktarda düşüş olduğu;
- Geri dönüştürülmüş iri agregalar içeren beton karışımlarında uçucu kül miktarı arttığında, basınç dayanımının sürekli arttığı ve geri dönüştürülmüş iri agregalar ve uçucu kül kullanılmayan kontrol numunelerinden biraz daha yüksek çıktığı;

- 14 ve 28 günlük elastik modülü değerlerinin, geri dönüştürülmüş iri agrega ve uçucu kül içeren üç farklı karışımda azalma gösterdiği; 56 günlük değerlerin kontrol numuneleriyle aynı olduğu, 112 günlük numunelerin ise eşit ve/yada biraz daha az olduğu;
 - 28 günlük eğilme dayanımı geri dönüştürülmüş iri agrega ve uçucu kül içeren tüm numunelerde azalma gösterdiği; 56 ve 112 günlük değerlerinde kontrol numunelerine göre düşük olduğu;
 - %25 oranında geri dönüştürülmüş iri agrega ve %15 oranında uçucu kül kullanılarak hazırlanan karışımların dayanımları, doğal agrega kullanılarak hazırlanan karışımlarla önemli bir farklılık olmadığı;
 - Geri dönüştürülmüş iri agrega ve uçucu külün beton kaplamalarda kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.
- Leite vd(2011) yol kaplamaları için geri dönüştürülmüş inşaat ve yıkım atığının değerlendirmek amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışmanın temel amacını, geri dönüştürülmüş agregaların kaplama uygulamalarında özellikle düşük hacimli yolların temel ve alttemel tabakalarında kullanımı oluşturmaktadır. Geri dönüştürülmüş malzemeler standart laboratuvar deneyleriyle ve tekrarlı üç eksenli deneyleriyle uygunluğu değerlendirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca geri dönüştürülmüş agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde sıkıştırma etkisi (proktor deneyi) araştırılmıştır. Agregalar örnekleri üzerinde su emme, gradasyon analizi, tane şekli, Kalifornia taşıma oranı, esneklik modülü ve kalıcı deformasyon testleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan agregalar Brezilyanın Sao Paulo kentindeki geri dönüşüm plantlerinden temin edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:
- Su emme değeri malzemenin doğallık durumuna göre çeşitlilik gösterdiği;
 - Tuğla ve kiremit gibi çok gözenekli seramik malzemelerin büyük oranda bulunduğu geri dönüştürülmüş agregaların su emme yüzdelerinin önemli miktarda artış gösterdiği;
 - Çimento esaslı malzemeler ağırlıklı olarak kübik taneler içerirken, daha az gözenekli seramik malzemeler çoğunlukla düz taneler içerdiği;
 - Tane boyut dağılımı sıkıştırma işlemi sırasında oldukça değişiklik gösterdiği;
 - Kırılma potansiyelini doğrulamak için, uygun sıkıştırma enerjisinin kullanılması ve sıkıştırma işleminden sonra geri dönüştürülmüş agreganın kontrol edilmesi;
 - Modifiye kuvvet kullanılması, orta düzeydeki kuvvet uygulaması ile elde edilen CBR değerleri ile karşılaştırıldığında, geri dönüştürülmüş agregaların taşıma kapasitesinde önemli bir artış gösterdiği;
 - Geri dönüştürülmüş agregalardan elde edilen esneklik modülü değerleri ile iyi derecelenmiş kırılmış agregadan elde edilen değerler karşılaştırıldığında her iki malzemenin de benzer davranış gösterdiği;
 - Yüksek derecede sıkıştırma kuvvetinin kullanılmasının geri dönüştürülmüş agregaların esneklik modülü değerlerinde %10-20 arasında bir azalma gerçekleştirdiği;
 - Sıkıştırma kuvvetinin geri dönüştürülmüş agregaların kalıcı deformasyon dirençlerini etkilediği; malzeme yüksek enerjiyle sıkıştırıldığında aynı gerilme düzeyinde kalıcı deformasyonda hafif bir azalma gözlemlendiği; belirtilmiştir. Ayrıca çalışma sonucunda özetle, geri dönüştürülmüş agregaların fiziksel ve mekanik davranışları üzerinde bileşim ve sıkıştırma enerjisinin (kuvveti) önemli faktörler olduğu, geri dönüştürülmüş malzemelerin uygulamadan önce ve sonra kontrol edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.
- Gurukanth S. vd. (2012); bitümlü yüzey kaplamalarda geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanımının etkileri üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kullanılan doğal agregalar Hindistan'ın belirli bölgelerinden elde edilmiş ve 20 mm altında tane boyutuna sahip agregalar kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş agregalar Bangalore bölgesindeki bir medikal okulun yıkıntılarında elde edilmiştir. Çalışmada sadece beton numuneleri kullanılmış herhangi bir tuğla atığı kullanılmamıştır.

Beton kirişler ve plakalar içerisindeki donatı çıkarılması için kaya delici matkaplar kullanılmıştır. Beton yıkıntılarından geri dönüştürülmüş agrega örnekleri hazırlanması için çeneli kırıcıda kırılmıştır. Tüm agregalar yıkanmış ve oda sıcaklığında kurumadan önce 24 saat su içinde bekletilmiştir. Yıkıntı malzemedan elde edilen toz harç dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş ve doğal agregalar üzerinde kırılma deneyi, Los Angeles Aşınma, Uzun ve Yassılık Oranı, Köşeli Agrega Sayısı, Birim Ağırlık, Su emme deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan tüm malzemeler için fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için Marshall Stabilite ve Akma Deneyi yapılmıştır. Bu amaçla 7 farklı karışım hazırlanmıştır. Karışım içerisindeki doğal agrega miktarı, geri dönüştürülmüş agregalarla %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranlarında değiştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar:

- Geri dönüştürülmüş agregaların bitümlü yüzey kaplamalarda kullanımının ekonomik olarak uygun olacağı;

- Geri dönüştürülmüş agregaların karışım içerisindeki miktarındaki artış, Marshall stabilite değerini azalttığı, optimum bitüm miktarını artırdığı, bitümlü karışımın kuru yoğunluğunu azalttığı,

- Karışım içerisindeki hava miktarının, daha fazla geri dönüştürülmüş iri agrega kullanımıyla yükseldiği;

- Geri dönüştürülmüş agrega miktarının artmasıyla bitümle dolu boşluk miktarını azalttığı;

- Geri dönüştürülmüş agregaların doğal agregalar yerine %20 oranında kullanımıyla karışımın Marshall stabilite değerinde önemli bir azalma olmadığı ve yine karışımın bağlayıcı miktarında büyük bir artış göstermediği;

- Geri dönüştürülmüş agregaların kullanılmadan önce yorulma ve durabilite davranışlarının belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

3. SONUÇLAR

Dünya nüfusunun artışıyla birlikte tüketim artmış ve mevcut kaynaklar hızlı bir şekilde tükenmeye başlamıştır. Hammadde ihtiyacı artış

göstermesine rağmen planlama yapılmadan kullanımı sürdürülebilirlik açısından büyük bir sorun teşkil etmektedir. Geri dönüşüm bu sorun için en önemli çözüm yöntemi olmuştur.

Agregalar inşaat sektörü için en önemli hammadde kaynağıdır. İnşaat sektöründeki gelişmelerle birlikte mevcut yapılardan beklenti artmış ve özellikle kaliteli hammaddelere olan ihtiyaç daha da önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada inşaat sektörü için en önemli hammadde kaynaklarından olan agregaların geri dönüştürülerek kullanımı hakkında yapılmış çalışmalar hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Çalışmalar incelendiğinde geri dönüştürülmüş agregaların kullanımıyla başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu sayede mevcut kısıtlı hammadde kaynakları daha etkin bir şekilde kullanılarak ekonomiye büyük bir katkı sağlanacaktır. Bu çalışmaların daha da artarak geri dönüştürülmüş agregaların kullanımının yaygınlaşmasıyla ülke ekonomisine büyük katkı sağlanacağı aynı zamanda çevresel açıdan atıkların oluşturduğu kirliliğin ortadan kalkması bakımından çok önemli olduğu düşünülmektedir.

4. KAYNAKLAR

Brooks, R., Cetin, M. (2012) Application of construction demolition waste for improving performance of subgrade and subbase layers, Int. J. Res. Rev. Appl. Sci 12 (3), 375-381

Cabral, A. E. B., Schalch, V., & Ribeiro, J. L. D. (2008). Influence of the type of recycled aggregate from construction and demolition waste on the module of deformation of recycled aggregate concrete. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 1(2), 171-192.

Cetin, M. (2013a) Chapter 27: Landscape Engineering, Protecting Soil, and Runoff Storm Water. In Tech-Open Science-Open Minds. Book: Advances in Landscape Architecture-Environmental Sciences. Eds: Murat Ozyavuz, , ISBN 978-953-51-1167-2, pp.697-722.

Cetin, M. (2013b) Landscape Engineering, Protecting Soil, and Runoff Storm Water, Advances in Landscape Architecture

- Cetin, M. (2013c) Pavement design with porous asphalt, , Unpublished Ph.D. Thesis, Temple University Philadelphia, USA.
- Cetin, M. (2015a) Chapter 55: Using Recycling Materials for Sustainable Landscape Planning. ST. Kliment Ohridski University Press, SOFIA. Book: Environment and Ecology at the Beginning of 21st Century. Eds: Recep Efe, Carmen Bizzarri, İsa Cürebal, Gulnara N. Nyusupova, ISBN:978-954-07-3999-1, pp.783-788.
- Cetin, M. (2015b) Consideration of permeable pavement in landscape architecture, Journal of Environmental Protection and Ecology 16 (1), 385-392
- Demirel, C., & Şimşek, O. (2015). Erken Yaşdaki Atık Betonların Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Üretiminde Kullanılabilirliği ve Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3(1).
- Gurukanth, S., D'souza, D. N., Avinash Babu S., Vivek A. K., & Srikanth, M Naik., (2012). Effect of Use of Recycled Concrete Aggregates in Bituminous Concrete Surface Course, Proc. of Int. Conf. on Advances in Design and Construction of Structures.
- Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S., Çalışkol, A. & Yönter, G. (2009). Kazınmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı KGM Uygulamaları. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara.
- Gürer, C. (2005). Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Değerlendirilmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- James, M. N., Choi, W., & Abu-Lebdeh, T. (2011). Use of recycled aggregate and fly ash in concrete pavement. Am. J. Eng. Applied Sci, 4, 201-208.
- Kılıç, İ., & Kadayıfçı, A. (2007). Geri Dönüştürülmüş Atık Betonlarda Silis Dumanının Etkileri. Trakya Univ J Sci, 8(2), 115-121.
- Köken, A., Köroğlu, M.A., & Yonar, F. (2008). Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Selçuk-Teknik Dergisi, 7(1), 86-97.
- Leite, F.C., Motta, R.S., Vasvancelos, K.L. & Bernucci, L., (2011). Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. Construction and Building Materials, 25(6), 2972-2979.
- Malešev, M., Radonjanin, V., & Marinković, S. (2010). Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. Sustainability, 2(5), 1204-1225.
- Muscalu, M. T., & Andrei, R. (2011). Use of recycled aggregates in rigid pavement construction. Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura, 57(2), 69.
- Öztürk, Ö., Çelikkol, M., & Erkan, M. (2007). Türkiye Agregası Sektör Raporu. Türkiye hazır beton Birliği, Hazır Beton Dergisi, Kasım-Aralık, 52-56.
- Qasrawi, H., Marie, I., & Tantawi, H. (2012). Use of recycled concrete rubbles as coarse aggregate in concrete. In 5th Jordanian International Civil Engineering Conference, 17th-19th January, Jordan (pp. 281-287).
- Savaş, Ö. (2002). Atık betonların geri kazanımı. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.
- Topçu, İ.B., (1993). Beton Kırıklarının Agregası Olarak Kullanıldığı Betonlar. Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi. Ankara.
- Wen, H., McLean, D. I., Boyle, S. R., Spry, T. C., & Mjelde, D. G. (2014). Laboratory Evaluation of Recycled Concrete As Aggregate in New Concrete Pavements. Pullman: Washington State University Department of Civil & Environmental Engineering.