

Sürdürülebilirlik Çerçevesinde Yeşil Betona Bakış Üzerine Bir Araştırma

İbrahim Pınarcı¹

Özet

Bu çalışma kapsamında küreselleşmekte olan dünyada nüfusla paralel olarak gün geçtikçe artan ve artmaya devam eden konut ihtiyacına bağlı beton tüketimi ve çimento üretim prosesinden kaynaklı olarak meydana gelen karbon emisyonu artışı ve enerji tüketiminin yükselmesi sebebiyle sürdürülebilir yaşama olumsuz yansımaların çözümü noktasında bir bakış açısı sunulmuştur. Hali hazırdaki bu durumun ilerleyen periyotta büyüyerek devam edeceği öngörüsü ile yeşil beton perspektifinde hem mevcut hammaddelerin ekonomiye kazandırılması hem de bahsi geçen sorunlara çözüm olabilecek hammaddelerin ürüne dönüştürülüp kullanılması ile görülebilecek pozitif gelişimlerin derlenerek ortaya koyulması sağlanmıştır. Günümüzde inşaat sektöründe değeri ve önemi hızla artan ve talep görmeye başlayan yeşil betonun, üretiminde kullanılan malzemeler ve bunların geleneksel betona göre kazandırdığı artı özellikler detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Bunlara ilaveten geri dönüşüm ürünlerin inşaat sektörü içinde kullanım şekilleri ve olası sonuçları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Elde edilen tüm bilgiler ışığında yeşil beton türünün araştırılması, tartışılması, geliştirilmesi, sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm noktasında kamu bilinci oluşturulması amaçlanmıştır.

1. GİRİŞ

Beton kullanımı gün geçtikçe artmakta, bununla birlikte dünyada üretim sisteminden kaynaklı olarak karbon emisyonunu ve enerji tüketimini katlamaktadır. Bu oranlar baz alındığında sektör, dünya karbon emisyonunun %8'ini meydana getirirken, toplam enerjinin %3 ünü tüketmektedir. Söz konusu bu yüksek oranda tüketim sürdürülebilir yaşama olumsuz yansımaktadır [1], [2]. Bununla birlikte bağlayıcı olarak kullanılan beton,

1 Öğr. Gör. Dr., Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Pazaryeri Meslek Yüksekokulu, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Bilecik, Türkiye. ibrahim.pinarci@bilecik.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9318-4325

azalmakta olan içme suyu ve agreganın en yüksek tüketicilerindedir [2]–[4]. Oluşan mevcut bu durumun ileride katlanarak artacağı öngörüldüğünde kaynaklar daha hızlı tükenecek ve çevre açısından oluşturacağı zararlı etkilerde artacaktır [5], [6]. Dolayısı ile yeşil betonun kullanımı kaçınılmaz hale gelmektedir. Yeşil betonu konvansiyonel betonlardan ayıran en önemli özellik daha az enerji sarfıyatı ile eldeki farkı malzeme ve atıkların kullanımıyla üretilmesidir [7]. Günümüzde konvansiyonel betonların eksikliklerinin giderilme çabası ve buna karşılık yeşil beton ile gelen birçok avantaj nedeniyle yeşil betonlar inşaat alanında popülerliğini hızla arttırmaya devam ettirmektedir. Bu avantajlar sürdürülebilirlik, zararlı gaz emisyonu düşürülmesi, mevcut kaynakların kullanılabilmesi gibi sıralanabilmektedir. Yeşil betonların kullanılabilirliğinin artmasındaki ana sebep üretiliş yöntemine göre, daha iyi dayanım gücü eldesi, dış etkilere ve iklim şartlarına göre daha fazla dayanıklılık sağlama, rötre ve asit saldırılarına dayanım, taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma gibi işlemlerde kolaylık sağlama, seri üretim, bakım maliyetlerinde düşmesi ve daha uzun süre hizmet vermeye devam etmesi şeklinde özetlenebilir. Yeşil betonlar, mevcut kaynakların sürdürülebilirlik çerçevesinde inovatif bir şekilde kullanılmasına kapı açar. Bu bağlamda gelişmekte olan bu beton türünün araştırılması, tartışılması, geliştirilmesi ve kamu bilinci oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada sürdürülebilir bir çevre için alternatif beton üretimi incelenip değerlendirilerek, sektöre farklı bir bakış açısı kazandırmak hedeflenmektedir.

2. YEŞİL BETONDA ÜRETİMİ VE YAYGIN KULLANILAN MALZEMELER

Gelişen dünyada belki de en önemli sorunlarda bir tanesi küresel ısınmadır. Toplumlar ekonomik ve sosyal olarak gelişirken endüstrileşme, şehirleşme ve popülasyondaki artışlar gibi sebeplere bağlı olarak tüketim ve çevre kirliliği gibi problemlerde de artış gözükmektedir. Dolayısı ile birbirine bağlı olan bu sebep ve sonuçlar sürdürülebilirlik sorununu gündeme getirmiştir [8].

Beton bileşenlerinden bir veya birkaçı atık malzeme olarak tasarlanan veya imal edilirken çevreye zarar vermeksizin elde edilen betonlar, yeşil beton olarak tanımlanmaktadır [9]. Bir betonun yeşil beton olarak nitelendirilebilmesi için kullanılan çimento içerisindeki ikame oranı, üretim süreci, sonuçta beklenen beton performansı ve çevresel sürdürülebilirliğine katkısının değerlendirilmesi gerekir. Bu betondan beklenen çevreci bir özelliğe sahip olmasıdır. Yeşil beton üretim tekniğinde tekrar kullanma ve dönüştürme esastır. Sonuçta amaçlanan sera gazı oluşumunu azaltmak, kireçtaşı, kil, kum ve doğal malzemelerin tüketimini düşürerek atık malzemelerin kullanılması

ile çevrenin kirlenmesinin azaltılmasıdır. Böylece doğal kaynaklara zarar vermeden sürdürülebilir bir çevre eldesi sağlanabilecektir [10].

Beton teknolojisinde yaygın olarak doğal, endüstriyel, tarımsal ve dönüştürülebilir atıklardan oluşan malzemeler kullanılır. Bunlar Şekil 2.1’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Yeşil beton üretiminde genellikle malzemeler çeşitli karışım yöntemleri ile aktif hale getirilerek kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Yaygın kullanılan yeşil beton malzemeleri [2]

2.1. DOĞAL MALZEMELER

2.1.1. Pomza

Pomza volkanik olaylar sonucu meydana gelmiş dış etkilere karşı dayanıklı, çok gözenekli camsı organik bir kayadır. Oluşması esnasında, yapısındaki gazların bünyeyi ani bir şekilde terk etmesi ve hızla soğumasından dolayı boyutları birbirinden farklı birçok gözenek meydana gelmektedir. Bu boşluklar birbirinden bağımsız olduğu için kalıcılığı, ısı ve ses yalıtımı oldukça iyidir. Türk standartlarına göre birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genelde $1\text{gr}/\text{cm}^3$ ’den küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır [11][12].

Pomza kırma işlemlerinden geçirilerek inşaat sektöründe değişik şekillerde kullanılmaktadır. Son yıllarda inşaat alanında yeşil betonun değer bulması ile hızla kullanımı artmaktadır. Bunun birçok sebebi vardır. Bunlardan bazıları ucuz ve bol miktarda bulunması, kolay şekil verilebilmesi, ısı ve ses iletimini sınırlandırması sayılabilir. Yoğunluğunun normal kuma göre yaklaşık üçte biri kadar olması konvansiyonel betonlara kıyasla pomza ile yapılan betonların daha hafif olmasını sağlamaktadır. Bu durum deprem yükünün azaltılmasını ve elemanın elastikiyetinin azaltılmasını sağlarken, inşaat

maliyetinin de ciddi oranda azalmasına yardımcı olmaktadır. Bunun yanında ısı iletkenlik katsayısı bakımından normal betona göre 6 kat izolasyon sağlayarak enerji tasarrufuna katkı sağlayabilir. Çimento içerisinde puzolonik aktivite bakımından en uygun malzemelerden birisi olarak tanımlanır. Tüm bu özellikleriyle inşaat sektöründe yeşil beton tarzında yapılan imalatlara en yüksek desteği veren malzemelerden birisi olarak önemini arttırmaya devam etmektedir [12], [13].

2.1.2. Diatomit

Diatomit birçok alanda endüstriyel hammadde olarak kullanılmaktadır. Volkanik olayların yoğun görüldüğü bölgelerde su içerisinde fotosentezin aktif olarak bulunduğu sığ derinliklerdeki tek hücreli diatome iskeletlerinin ve kil, kum, volkanik kül gibi diğer doğal kalıntılardan meydana gelen bir kayadır. Sertliği mohs ölçeğine göre 4,5-6 arasında değişen kırılğan bir yapıya sahiptir. Boşluk hacmi %95 civarındadır. Bu özelliği ile ağırlığının üç katına kadar su emebilir. Kimyasalların çoğuna karşı dirençlidir. Doğada renk açısından beyazdan griye kadar bir çerçeve içerisinde görülebilir. İçeriğindeki elementlerin çeşit ve miktarına göre beyazdan siyaha kadar farklı renklerde bulunabilir. Diatomitleri endüstride doğal, kalsine ve beyaz kalsine diatomit ismiyle temin etmek mümkündür. Kullanım alanlarına göre genellersek filtre malzemesi, dolgu malzemesi, izolasyon malzemesi, hafif yapı malzemesi, refrakter malzemesi, silika kaynağı olarak sıralanabilir [13], [14].

Çimento üretim teknolojisinde su içeriğinin dengelenmesinde kullanılır. Beton üretiminde ise kısıtlı miktarda kullanımı basınç ve çekme dayanım değerlerinde kayda değer artışlar meydana getirdiği yapılan çalışmalarda görülmektedir. İnşaat teknolojisinde çimento ile ikame edilerek ses ve ısı için izolasyon malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda izolasyon malzemelerinin oluşumundaki boşluklar yüksek oranda radyasyon oluşturur. Hava boşluk hacmi ne kadar fazlaysa radyasyonda aynı oranda artar. Bu durum iri taneli diatomitlerle bertaraf edilir. Bir diğer kullanım alanı hafif yapı malzemesi ve refrakter tuğla üretimidir. Özgül ağırlığının düşüklüğü ve silisyum oranının yüksekliğiyle çimento veya kireçle ikame edildiğinde hafif yapı malzemesi üretimini sağlarken, ısıya dayanıklılık özellikleri ile yangına dayanıklı eleman üretiminde kullanılmaktadır [13], [14].

Tüm bu özellikleri ile yapı sektöründe birçok alanda faydalı olan ve yeşil beton kavramına tam uyum sağlayan bu doğal kayacın kullanımının artırılması her anlamda olumlu sonuçlar getirecektir.

2.1.3 Tras

Yapı üretiminde belki de en önemli malzeme çimentodur. Artan yapı ihtiyacı çimentoya olan talebi de artırmaktadır. Bu sebeple maliyetleri düşürmek ve talebi karşılamak için yeni kaynak arayışı devam etmektedir. Tras puzolanların genel ismi olmasına rağmen ülkemizde özel bir tür doğal kaynağı isimlendirmektedir. Ayrıca %19'un üzerinde doğal puzolan bulunduran çimentolar da traslı çimento olarak anılmaktadır. Tras volkanik tüf olarak bilinen doğal bir kaynaktır. Yalnız iken bağlayıcılık özelliği bulunmaz fakat çimento ve kireç ile karıştırılıp su ile reaksiyona girdiğinde bağlayıcı duruma gelir. Böylece puzolanik bir malzeme kategorisinde yer alır [15].

Çimento içerisinde tras ikamesi ile birçok avantaj elde edilir. Bunlardan bazıları hidrasyon ısısının düşürülmesi, alkali ağrega reaksiyonunun azaltılması dolayısı ile genleşmede azalma, sülfatlı topraklara karşı mukavemet, karbonatlaşmaya karşı direnç, geçirimsizliği sınırlandırarak donatıyı korozyona karşı korumak şeklinde sıralanabilir. Dolayısı ile yapı kütlelerinin dayanım ve dayanıklılık özelliklerini artırmaktadır. Tüm bu özellikler çerçevesinde ülkemizde bol miktarda bulunan bu kaynağın puzolan olarak kullanımı hem ülke ekonomisine hem de yeşil beton sektörüne katkı sağlayacaktır [15].

2.2. ENDÜSTRİYEL ATIKLAR

Çimento üretiminde çok fazla enerji tüketilmesi bununla birlikte çevreye verilen zararların boyutunun azımsanmayacak kadar fazla olması sebebiyle endüstriyel atık malzemeleri kullanılarak çimento üretiminde azalma sağlama çabasını gündeme getirmektedir. Bu anlamda yapılan çalışmaların birçoğunda kullanılan silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu dikkati çekmektedir.

2.2.1. Yüksek Fırın Cürufu (YFC)

Curuflar çeşitli metalurji fabrikalarından elde edilen, endüstriyel atık şeklinde değerlendirilen, yapay puzolan olarak sınıflandırılmaktadır. Kimyasal yapıları ve özellikleri, temin edilen sanayi kuruluşlarının kullandığı temel üretim yöntemine göre birbirlerinden farklılıklar gösterebilmektedir [16].

Yüksek fırın cürufu (YFC), demir imalatı esnasında ortaya çıkan atık bir üründür [17]. Bu üretimde kayda değer miktarlarda YFC atığı oluşmaktadır [18]. YFC esas itibarıyla silis, kalsiyum alümina silis ve bazik esaslı bileşikler içeren ve fırınlarda demir üretimi sırasında ergimiş halde elde edilen bir

atık üründür [19]. Amorf yapıya sahiptir ve yüksek oranda SiO_2 ve Al_2O_3 içermesi nedeni ile puzolanik özellik göstermektedir [18]. Tane boyutu ve karakteristikleri ile camsı madde bileşimi ve oranı, puzolanik aktivitelerinde etkin olan temel faktörlerdir [16].

Yapısında kil ve silt bulunmaması, iyi derecede sürtünme özelliği bulunması ve pürüzlü bir yüzey yapısına sahip olması nedeni ile aderansı yüksektir. Bununla birlikte donma-çözölmeye karşı gösterdiği direnç de oldukça fazladır. Sahip olduğu yoğunluk, düşük su emme oranı ve öğütülüp ikame edildiğinde bağlayıcılığı artırması gibi avantajları, cürufun malzeme bileşimlerinde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Bu artıları ile inşaat sektöründe yeşil beton üretiminde agrega ve puzolan olarak tercih edilmesine sebep olmaktadır. Sektörde kullanılabilirliği üzerine birçok çalışmalar vardır ve mevcut üretim prosesinde “Cürufu Çimento” olarak üretimi oldukça yaygındır [16]

YFC kullanılması ile betonun kimyasal etkilere karşı performansı ve işlenebilmesi artarken, geçirimsizliği azalmaktadır. Türkiye’de kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. YFC kullanımı ile endüstriyel bir atığın değerlendirilmesinin yanında ülke ekonomisine katkı sağlanmış ve aynı zamanda çevre kirliliği önlenmiş olacaktır [20]. Yüksek miktarlarda kalsiyum oksit içeriği ile YFC, kendiliğinden de bir miktar bağlayıcı özelliği bulunmaktadır. Öğütülmüş cüruf, taze betonun işlenebilirliğini artırırken terlemeyi azaltmaktadır [16].

2.2.2. Uçucu Kül (UK)

Uçucu kül toz biçimine getirilen kömürün termik santrallerde yakılması ile oluşan ağırlıklı küre biçiminde camsı parçacıklı oldukça ince ve gri renkte bir endüstriyel atık malzemesidir. Egzoz gazları içerisinde asılı durumdayken aniden katılaşmaktadır bu durum küre şeklinde kalmasına sebebiyet vermektedir. Oluşan ürün elektrostatik çökticiler ya da filtre torbalarında toplanarak elde edilmiş olur. Beton sektöründe üretilen malzemenin dayanım ve dayanıklılık özelliklerine verdiği pozitif katkılarından dolayı ikame malzemesi olarak kullanım sahası bulmaktadır. Bu sayede enerjiden tasarruf ve karbon dioksit salınımında azalma hedeflenmiştir [6][21]. Uçucu küllerin çevreye zarar verdiği bilindiği için bu malzemenin bertaraf edilmesi için birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu şekilde ürünün geri kazanılıp dönüştürülmesi ile hem üreticiye hem de tüketiciye fayda sağlayacaktır [22]. Yapılan çalışmalara göre UK ikameli betonlarda standartlara uyulduğunda %30 civarlarına kadar ikame yapılabilmekte ve referans betonlara göre beklenenden daha fazla işlenebilirlik, daha düşük

hidratasyon ısı, uzun priz süresi, daha az ayrışma ve terleme saptanmıştır. Buna karşın az bir miktar basınç dayanımı düşüklüğü göstermiştir. [8]. UK ikamesi erken yaşlarda hidratasyonu katkısı yavaştır ancak ileri yaşlarda puzolonik aktivitesi devam ettiği için dayanım kazandırmaya devam etmektedir [23], [24]

2.2.3. Silis dumanı

Silis dumanı silikon ve silikon türevi ürünlerin üretimi sonucunda oluşan bir yan atık üründür. Elektrik ark fırınlarının çalışması ile üretilen ve neredeyse çimentodan yüz kat daha ince yapıda kristal yapısı olmayan silikon dioksittir. Birim hacim ağırlığı $200-250 \text{ kg/cm}^3$ olan silis dumanının yoğunluğu $2,2 \text{ gr/cm}^3$ tür [25].

Silis dumanı inşaat teknolojisinde kullanımı olan bir malzemedir. Daha çok puzolan olarak kullanılmasının yanında dolgu malzemesi olarak kullanımı bulunmaktadır. Çimentonun hidratasyonu ile açığa çıkan hidratasyon ürünleri ile reaksiyona girebilmekte ve dayanıma katkı sağlamaktadır [26]. En önemli özelliklerinden bir tanesi macunsu hale gelen yapısı sayesinde çimento hamuru ile agrega arasındaki bağı kuvvetlendirmekte, ince yapısıyla boşlukları doldurmaktadır

Silis dumanı yüzey özelliklerine, dayanım ve dayanıklılık getirdiği için çimentoda puzolan ikame malzemesi olarak kullanımı üzerine birçok çalışmalar yapılmaktadır. Bu şekilde hem çevreye hem de ekonomiye fayda sağlanmaya çalışılmaktadır. Elde edilen faydalar değerlendirildiğinde betonda, daha yüksek basınç ve eğilme dayanımı, yüksek elastiklik modülü, daha hafif beton, daha az geçirimsizlik gibi geliştirici özellikler sayılabilmektedir [27].

Bahsi geçen bu özellikleri açısından beton sektöründe kullanımının artırılması ile hem çevreye katkı sağlanacak hem de atık bir malzeme bertaraf edilebilecektir. Dolayısı ile ülke ekonomisine katkı sağlanmış ve yeşil beton desteklenmiş olacaktır.

2.3. TARIMSAL ATIKLAR

Tarımsal atıklar üretimlerinden sonra ortada kalan kabuk, yaprak ve sap gibi kısımlardır. Bu ürünlerin değerlendirilmesi ve çevreden yakma dışındaki yöntemlerle uzaklaştırılabilmesi için birçok bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan en çok rağbet görenlerinden bir tanesi çimento içerisinde sınırlı bir miktarda ikame edilmeleridir [24], [28]. Pirinç, Fındık, Fıstık kabuklarının külü ve Mısır koçanı külü başta olmak üzere birçok tarımsal atık puzolonik özellikleri sebebiyle kullanılmaktadır.

Pirinç kabuğu silika minerali bakımından oldukça zengindir. Bu tür atıkların yakma derecesi değişken olmakla beraber 400 °C - 900 °C aralığında değişim göstermekte ve hızla soğutulularak amorf bir yapı elde edilip puzolan olması sağlanmaktadır. Ayrıca özgül ağırlıkta ve yüzey alanında düşme olduğu için hem yeşil hem de hafif beton elde edilmektedir. [29].

Söz konusu atıklar çevre sorunu oluşturmasının yanında depolama sorunları da meydana getirmekte ve ek maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple birçok atık ürün özelliğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Ancak atık malzemelerin de bir değeri vardır ve atıklar katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilir [30]. Son zamanlarda ABD. ve Kanada başta olmak üzere birçok ülkede ağaç tozu dolgulu kompozit malzemelerin kullanımı artmaya başlamıştır [31].

Yıllık bitkilerden elde edilen kabuklar ya da atıklar, inşaat sektörü için yeni ürünlere dönüştürülerek ekonomik değer elde edilebilir ve bir kaynak oluşturulabilir. Doğal kaynakların gün geçtikçe azalmaya başladığı bu dönemde, tarımsal atıkların kullanımı ile ürün çeşitliliğine, hammadde sayısının arttırılmasına ve çevre kirliliğinin azaltılmasına yarar sağlanacaktır [32].

Fındık, fıstık, hindistan cevizi gibi bitkilerin kabuklarının kullanımı ile konut açığı problemi elbette çözülemez ancak konutta zamanla oluşabilecek yapı fiziki sorunlarının çözümünde başarılı, nitelikli, birim hacim ağırlığı düşük, ısıl direnci yüksek, mekanik mukavemetleri yeterli düzeyde olan, ekonomik, kolay uygulanabilen, üretim süreci kısa kompozit malzeme üretmek mümkün olabilir [32].

Tarımsal atıklar bu çerçevede değerlendirildiğinde puzolonik özelliğe sahip olduklarından beton içerisinde ikamesi ile dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik özelliklerinde iyileşme görülmüş, dolayısı ile alkali silika reaksiyonu, geçirimsizlik, kimyasal saldırılara direnç artmıştır [29].

2.4. DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR ATIKLAR

2.4.1. Cam

Gelişmekte olan inşaat sektöründe sürdürülebilirliğin devamı için alternatif geri dönüşüm ürünlerinin geliştirilmesi çalışmaları hız kazanmıştır. Atık malzemeler değerlendirildiğinde genel toplamın yaklaşık %4' ünü cam atıklar oluşturmakta ve bunun çok az kısmı geri dönüşüm olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle mevcut bu oranın arttırılmasının ekonomiye ve çevreye çok büyük pozitif etkileri olacaktır. Cam dönüştürüldüğünde kalitesinden herhangi bir taviz vermeyen özelliğe

sahiptir. Dönüştürülmüş camlar birçok alanda kullanılabilir. Bunlardan bazıları cam ve aşındırıcı imalatında hammadde olarak, çimento içerisinde puzolonik katkı maddesi olarak, ulaşım ve park alanlarında fiberglas hammaddesi olarak, yol çizgilerinde yansıtıcı şekilde sıralanabilir. Camın ana hammaddeleri kum, silika ve kireçtaşıdır. Bunların dengeli bir şekilde bileşimi ile üretimi gerçekleştirilir. Bu kombinasyonun içerisine kırıntı denen dönüştürülmüş cam da ilave edilebilir. Ancak cam toplama alanlarına gelen malzemenin karışık özellik ve renklerde olması stabil bir özellik ve renkte yeni üretimin yapılmasını sınırlandırmaktadır. Bu yüzden atık camın betonda veya çimentoda ikame ürünü olarak kullanılması daha uygun görülmektedir [33], [34].

Camın beton teknolojisinde kullanımı Alkali-Silika Reaksiyonuna sebep olabilmekte böylece betonun kalıcılığına ve buna bağlı olarak da dayanımında değer düşmelerine sebep olabilmektedir. Yapılan çalışmalar ikame oranının maksimum %20 seviyelerinde tutulduğunda ve çapı 1 mm. üzerinde cam agregası kullanıldığında bu sorunun nispeten çözüldüğünü göstermektedir [34].

Bu anlamda cam dönüşüm ürünlerinin yeşil beton üretiminde kullanılması hem ekonomik hem de ekosistem açısından büyük faydalar sağlayabileceği görülmektedir.

2.4.2. Plastik ve Kağıt

Küresel dünyada atıkların çeşitliliği, artan miktarı ve bunların bertaraf edilmesi konusunda arayışlar gündeme gelmiş bu sebeple akademiye birçok çalışma yapılmaya başlanmıştır. Bu anlamda kağıt ve plastik gibi dönüştürülebilir atıkların, yeşil yapı temalı projelerde kullanılması gün geçtikçe önemini arttırmıştır [35].

İnşaat sektörü içerisinde özellikle yeşil bina mantığında imal edilen yapılarda, kağıt ve plastik kullanım alanı bulmaktadır. Bunlardan bazıları geri dönüştürülmüş kağıt ve alçıdan elde edilmiş paneller, çatıda kiremitlerin üretiminde plastik, kağıt ve kumaş gibi evsel atıkların kullanımı, pencerelerde provinil içerikli öğütülmüş işleme tabi camdan elde edilmiş iç tarafı boşluklu estetik elemanlar, yapının drenajını sağlayabilmek için kullanılan borularda, döşeme ve kaplama sistemlerinde kullanılan kauçuk ürünlerde, poliüretan köpük ile üretilmiş bölme duvarlarındaki kullanımlar sayılabilir. Ayrıca yapıda ahşap ile ilgili üretimin büyük bir kısmında kullanılan mdf' de geri dönüşüm malzemelerden üretilmektedir [36].

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde yeşil beton ve dolayısı ile yeşil bina üretiminin gün geçtikçe dünya çapında yaygınlaştığı ve ciddi anlamda önem kazandığı görülmektedir. Doğal, üretim artışı veya geri dönüşüm ürünü olarak elde edilen bu kaynaklar nasıl elde edildiği ve üretim yönteminden bağımsız olarak kullanımı her şekilde ülkelerin ekonomilerine fayda sağlayacağı açıkça görülmektedir. Elde edilen bilgiler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Pomza, diatomit ve tras gibi doğal olarak elde edilen malzemeler ile yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi endüstri artığı ürünlerin çimento teknolojisinde ikame veya agrega malzemesi olarak kullanımının betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri üzerinde birçok olumlu getirisini olduğu görülmektedir.
- Tarımsal atıkların ortadan kaldırılması, yakılarak yada çürütülerek gerçekleştirilmektedir. Ancak bu atık veya kabukların aslında ekonomik bir değeri olan silis içerdiğini yapılan çalışmalar göstermektedir. Bu anlamda bu malzemelerin ekonomik değere dönüştürülmesi her ne kadar çok fazla sektöre artı getirmeyeceği düşünülse de yeşil üretim teknolojisi bakımından dönüştürülerek değerlendirilmesi noktasında az bir miktarda olsa çimento üretimi ve enerjiden tasarruf sağlanacağı düşünülmektedir.
- Cam, plastik ve kağıt atık ürünler karışık toplanıp dönüşüm merkezlerinde işleme alınmaktadır. Bu sebepten sabit bir ürün kalitesi elde edilememesine rağmen cam ürünlerin silisyum kaynağı olmasından dolayı beton üretiminde kullanıldığı ve olumlu dayanım sonuçları elde edildiği görülmüştür. Plastik ve kağıttan elde edilen birçok ürününde yeşil bina konseptine uygun olarak kullanıldığı bilinmektedir.

Bu sonuçlar çerçevesinde ismi geçen atık veya doğal ürünlerin kullanımının sınırlı oranda olsa da çimento üretimini azaltabileceği, enerjiden tasarruf ve ülke ekonomisine destek sağlayabileceği ayrıca yeşil bina teknolojisine katma değer oluşturacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak inşaat teknolojisinde bu türde kullanımların desteklenerek çevreye dost üretimlerin gerçekleştirilmesi yerinde olacaktır.

4. KAYNAKLAR

- [1] Damtoft J. S., Lukasik J., Herfort D., Sorrentino D. and Gartner E. M. (2008). Sustainable development and climate change initiatives. *Cem Concr Res.*, c: 38, s: 2. doi: 10.1016/j.cemconres.2007.09.008.
- [2] Sivakrishna A., Adesina A., Awoyera P. O. and Kumar K. R. (2020). Green concrete: A review of recent developments. *Materials Today: Proceedings.*, c: 27. doi: 10.1016/j.matpr.2019.08.202.
- [3] Karthik S., Rao P. R. M., Awoyera P. O., Gobinath R. and Karri R. R. (2018) Alkalinity and strength properties of concrete containing macro silica and ground granulated blast furnace slag., *IET Conference Publications.*, c: 2018. s: 750. doi: 10.1049/cp.2018.1603.
- [4] Murthi P., Awoyera P., Selvaraj P., Dharsana D., and Gobinath R. (2018) Using silica mineral waste as aggregate in a green high strength concrete: workability, strength, failure mode, and morphology assessment. *Australian Journal of Civil Engineering.*, c: 16, s: 2, doi: 10.1080/14488353.2018.1472539.
- [5] Karthika V., Awoyera P. O., Akinwumi I. I., Gobinath R., Gunasekaran R. and Lokesh N. (2018). Structural properties of lightweight self-compacting concrete made with pumice stone and mineral admixtures. *Revista Romana de Materiale/ Romanian Journal of Materials.*, c: 48, s: 2.
- [6] Anandaraj S., Rooby J., Awoyera P. O. And Gobinath R.. (2019). Structural distress in glass fibre-reinforced concrete under loading and exposure to aggressive environments. *Constr Build Mater.*, c: 197, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.090.
- [7] Awoyera P. O., Akinmusuru J. O. and Ndambuki J. M., (2016). Green concrete production with ceramic wastes and laterite. *Constr Build Mater.*, c: 117. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.108.
- [8] Mehta P. K. (2010). Sustainable cements and concrete for the climate change era - A review., *2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies.*
- [9] Obla K. H. (2009). What is green concrete?. *Indian Concrete Journal.*, c: 83, s: 4.
- [10] Suhendro B. (2014). Toward green concrete for better sustainable environment., *Procedia Engineering*, c: 95., doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.190.
- [11] Pınarçı İ. And Kocak Y. (2022). Hydration Mechanisms and Mechanical Properties of Pumice Substituted Cementitious Binder., *Constr and Build Mater.* c:335 s:127528., doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127528
- [12] Dinçer İ., Orhan A. ve Çoban S., (2015). Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu., Nevşehir.

- [13] Pınarcı İ., (2022). Diatomit ve pomza ikameli çimentoların hidrasyon reaksiyonlarının ve yüzey özelliklerinin spektroskopik yöntemlerle araştırılması., Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri ABD., Düzce.
- [14] <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/diatomit>. (2023). Erişim Tarihi: 01 Mart 2023.
- [15] <https://cimsa.com.tr/formulhane/beyaz-cimento/tras-nedir-trasli-cimento-nasil-olur>. (2023). Erişim Tarihi: 01 Mart 2023.
- [16] Dorum A., Koçak Y., Yılmaz B. ve Uçar A. (2009). Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine ve Hidrasyona Etkileri., *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c: 19, s: 47-58.
- [17] Binici H., Eken M., ve Dinçer A. (2013). Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Curufu Katkılı Betonların Bazı Durabilite Özellikleri., *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c: 28(1), s: 11-20.
- [18] Tokyay M. ve Erdoğan K. (2003). Curuflar ve Curuflu Çimentolar, Araştırmaların Gözden Geçirilmesi Raporu., Ankara.
- [19] Erdoğan Ş. ve Kurbetçi Ş. (2003). Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, c: 426, s: 115-120.
- [20] Topçu İ. B. ve Canbaz B. (2008). Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufu Harçlarda Donma Çözülme., *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim.Fak.Dergisi*, c: 21, s: 2.
- [21] Özsoy E.F. (2022). Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Curufu İçeren Alkali Aktive edilmiş kompozitlerin Yüksek Sıcaklığa Karşı Mekanik Özelliklerinin Araştırılması., Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [22] Ahmaruzzaman M. (2010). A review on the utilization of fly ash., *Progress in Energy and Combustion Science*, c: 36, s: 3. doi: 10.1016/j.pecs.2009.11.003.
- [23] Kocak Y.ve Nas S. (2014). The Effect Of Using Fly Ash On The Strength And Hydration Characteristics Of Blended Cements, *Constr Build Mater.*, c: 73, s: 25-32.
- [24] Şenol A. F. (2022). Yeşil Beton Teknolojisinde Atık Malzemelerin Kullanımı ve Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi., 1st International Conference on Innovative Academic Studies., Konya.
- [25] Yıldız K. (2008). The Performance of Silica Fume Admixed Concrete Under the Effect of Ammonium Sulfate., *E-Journal of New World Sciences Academy*, c: 3, s: 2.
- [26] İter E. (2007). CEM I 42.5 Çimentolu Yüksek Dozajlı Betonlarda Silis Dumanının Etkinliği., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [27] Osmañcelebiođlu B. (2022). Silis Dumalı Katkılı Geopolimer Harçların Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [28] Mo K. H., Alengaram U. J., Jumaat M. Z., Yap S. P. and Lee S. C. (2016). Green concrete partially comprised of farming waste residues: A review., *Journal of Cleaner Production*, c: 117.2016., doi:10.1016/j.jclepro.2016.01.022.
- [29] Özdemir İ. (2020). Piriñ Kabuğu Külü İkameli Çimento Harçlarının Hidratasyon Gelişiminin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması., Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- [30] Akyıldız A. (2012). Beton Üretiminde Bor Atıklarının Puzzolan Materyal Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması., Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdađ.
- [31] Yıldırım A. (2007). Öğütülmüş Fındık Kabuđunun Polipropilen Matrisli Kompozitlerde Kullanılabilirliği., Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [32] Çelik Ç. ve Gürdal E. (2005). Yerfıstığı kabuğunun agrega olarak kullanım olanakları, *İTÜ Dergisi mimarlık, planlama, tasarım*, c: 4(1), s. 37-46.
- [33] Annakoa M. A. İ. (2019). Geopolimer Betonda Cam Tozu Kullanımının Araştırılması., Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Ün.v, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- [34] Altuncu Y. T., Öcal C., Saphođlu K., İnce H. H. ve Çevikbaş M. (2021). Genleştirilmiş Cam Agregalı Harçlarda Alkali Silika Reaksiyonu'nun (ASR) İncelenmesi., *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, c: 33(2), s: 579-586.
- [35] Öntürk K. ve Vural İ. (2014). Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması., *Isites2014.*, Karabük
- [36] İpekçi C. A., Coşkun N. ve Tıkansak T. Karadayı. (2017). İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi., *TÜBAV Bilim*, c: 10(2), s. 43-50.