

Atık tuğla malzemesinin plent-miks temel tabakasında kullanılabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi

Burak KILIÇ^{1,*}, Perihan BİÇER²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Müh. Böl., İstanbul, Türkiye.

²Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fak., İnşaat Müh. Böl., Tekirdağ, Türkiye.

Geliş Tarihi (Received Date): 23.10.2021

Kabul Tarihi (Accepted Date): 04.11.2022

Öz

Bu çalışmada Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'e göre tasarımı yapılan plent-miks tip-1 temel tabakasında kullanılmak üzere temin edilen atık tuğla (AT) malzemesinin, doğal agrega (DA) ve Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'de plent-miks temel tabakası için belirtilen limitler ile karşılaştırılarak plent-miks temel tabakası için kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında temin edilen atık tuğla malzemesi için Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'e göre temel tasarımı yapılmıştır. Yapılan temel tasarım gradasyonuna uygun olarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için; özgül ağırlık deneyi, su emme deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi deneyi, kil topakları ve dağılabilen dane oranı tayini, hava tesirine karşı dayanıklılık deneyi, likit limit ve plastik limit deneyi, metilen mavisi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için modifiye proktor ve CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerin sonuçları Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'de belirtilen limit değerleri ve doğal agregadan elde edilen deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda atık tuğla malzemesinin plent-miks temel tabakasında kullanımının uygun olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Plent-miks temel, atık tuğla, doğal agrega

*Burak KILIÇ, muhburakkilic@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3729-2313>

Perihan BİÇER, pbicer@nku.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-4966-4719>

Experimental investigation of the usability of waste brick material in the plant-mix base layer

Abstract

In this study, waste brick (AT) was supplied to be used in the plant-mix type-1 base layer designed according to Turkey Highway Technical Specification 2013 and the usability of waste brick provided was compared experimental with the natural aggregate used in the plant-mix base layer and the specification limit values specified in the Turkey Highway Technical Specification 2013. For the waste brick material provided within the scope of the study, the base design was made according to Turkey Highway Technical Specification 2013. Samples were prepared in accordance with the base design gradation. In order to determine the physical properties on prepared samples; specific gravity test, water absorption test, Los Angeles abrasion test, flakiness index test, determination of clay lumps and friable particle ratio, freeze-thaw test, liquid limit and plastic limit test, methylene blue tests were performed. In addition, modified proctor and California bearing ratio tests were performed to determine the mechanical properties of the samples. The results of the tests have been compared with the limit values specified in Turkey Highway Technical Specification 2013 and the test results obtained from natural aggregate. As a result of the comparison, it was determined that the waste brick material is not suitable for use in the plant-mix base layer.

Keywords: Plant-mix base, waste brick, natural aggregate

1. Giriş

Son yıllarda inşaat sektöründe yaşanan büyüme neticesinde özellikle doğal agregaya olan ihtiyaç artış göstermiştir. Doğal agregaya olan ihtiyaç artışı beraberinden birçok problemi ortaya çıkarmıştır. Ortaya çıkan problemlerin giderebilmek için doğal agregaya alternatif malzeme arayışına başlanmıştır. Bu malzemeler genellikle inşaat ve yıkıntı atıklarıdır. İnşaat ve yıkıntı atıkları genellikle yapıların ve diğer altyapıların inşaatı, yeniden inşası, genişletilmesi, değiştirilmesi, bakımı ve yıkım faaliyetlerinden kaynaklanan atık olarak tanımlanmaktadır. Bu atıklar farklı tipte malzemelerden oluşur ve bir inşaat ya da altyapının parçası olan herhangi bir malzemeyi ve inşaat çalışmaları sırasında kullanılan diğer malzemeleri içerebilen heterojen bir atıktır [1]. Bu atıklar genellikle beton, tuğla, çelik ve asfalt gibi malzemelerden veya bunların birbirleriyle olan karışımlarından oluşmaktadır. Bu malzemelerin içerikleri farklı olduğu için; birbirlerinden ayrı bir şekilde toplanması ve ayrıştırılması gerekmektedir. Böylece bu atıkların geri dönüşümü sağlanarak yeniden kullanımı sağlanabilir. İnşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşümünün önemi, doğal agregaların kıtlığı, büyük hacimli depolama alanlarının yanı sıra diğer çevresel kaygılar nedeniyle artmıştır. Çünkü atık maddelerin geri dönüşümü enerji tasarrufu sağlar, sera emisyonlarını azaltır ve daha sürdürülebilir bir gelecek sunar [2].

Genel olarak, geri dönüştürülmüş inşaat ve yıkıntı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanılması, Avrupa Birliğinin bazı ülkelerinde oldukça hızlı, bazı ülkelerinde ise oldukça yavaş ilerlemektedir. İnşaat ve yıkıntı atıkları üzerinde gerçekleştirilen önceki çalışmalar incelendiğinde genel olarak geri dönüştürülmüş beton agregası (RCA), kırılmış tuğla (CB) ve geri dönüştürülmüş asfalt kaplama (RAP) malzemeleri üzerinde

laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Poon ve Chan [3] Hong Kong'ta geri dönüştürülmüş beton agregası (RCA) ve kırılmış kil tuğlasını karayollarında alttemel dolgusu olarak kullanılabilirliğini incelemek için laboratuvar çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada %100 RCA'nın yanı sıra, geri dönüştürülmüş beton agregasının ağırlıkça %25 ve %50'si kadar geri dönüştürülmüş kırılmış kil tuğlası ekleyerek karışım elde etmişlerdir. Ayrıca bu malzemelerin performansını değerlendirebilmek için doğal malzeme üzerinde de deneyler gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar %100 RCA'dan oluşan bir agrega kullanımının, optimum su muhtevasının artmasına ve alttemel malzemenin kuru birim hacim ağırlığının, hammadde değerlerine kıyasla azalmasına yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca, RCA yerine kırılmış kil tuğlası kullanımının, optimum su muhtevasını daha da artırdığını ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını azalttığını belirtmişlerdir. Bunun nedeninin düşük tanecik yoğunluğundan ve kırılmış kil tuğlalarının RCA'ya göre daha yüksek su emmesinden kaynaklandığını belirlemişlerdir. Aatheesan vd. [4] yaptıkları çalışmalarda inşaat ve yıkıntı atığı malzemesi olarak kırılmış tuğlanın (CB) geoteknik özelliklerini alttemel uygulamalarında değerlendirmişlerdir. Geri dönüşüm tesisinden elde ettikleri CB malzemesini karşılaştırabilmek için doğal agrega olarak bazalt agregası kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda bazalt agregası ve CB karışımlarının CBR değerlerinin %90'nın üzerinde olduğunu ve bu bölgelerindeki şartnamede öngörülen %80 CBR değerinin üzerinde olduğunu belirlemişlerdir. Yaptıkları laboratuvar deneyleri sonucunda CB malzemesinin bazalt agregasıyla karıştırılması doğal malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin çok düşük olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca CB karışımlarının potansiyel kullanımını belirlemek için elde ettikleri mühendislik özelliklerini, yol alttemel veya drenaj sistemleri için hafif yapı malzemesinde geçerli olan 24 karayolu teknik şartnamesi ile karşılaştırmışlardır. Buna göre, yol alttemel uygulamaları için doğal agrega karışımlarında %30'a kadar CB'nin güvenle eklenebileceğini belirtmişlerdir. Arulrajah vd. [2] geri dönüştürülmüş kırılmış tuğlanın (CB) karakterizasyonunu ve yol alttemel malzemesi olarak performansının değerlendirilmesi üzerine bir laboratuvar çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bir yol alttemel malzemesi olarak performansını değerlendirmek için geri dönüştürülmüş CB'nin özelliklerini, Avustralya'daki yerel devlet karayolu standartlarına göre karşılaştırmışlardır. Deney çalışmaları olarak dane büyüklüğü dağılımı, dane yoğunluğu, modifiye proktor deneyi, su emme deneyi, CBR, Los Angeles aşınma kaybı, statik üç eksenli ve tekrarlı üç eksenli deneyleri, pH ve organik içerik gibi deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Los Angeles aşınma kaybının değeri, yol alttemel malzemeleri için belirlenen sınırların üzerinde olduğunu ifade etmişlerdir. Geoteknik deney sonuçlarıyla, yol alttemel uygulamalarındaki performansını ve dayanıklılığını artırmak için CB'nin diğer dayanıklı geri dönüştürülmüş agregalarla karıştırılması gerekebileceğini belirtmişlerdir. CB'nin kayma mukavemetinin özellikle daha yüksek nem oranı seviyelerinde, kabul edilebilir sınırların ötesinde azaldığını bulmuşlardır. Tekrarlı yük üç eksenli deneyiyle, CB'nin %65 nem oranı seviyesinde tatmin edici bir şekilde performans göstereceğini ortaya koymuşlardır. Bu deney sonucuna göre sadece %65 su muhtevasına sahip geri dönüştürülebilir CB'nin yol alttemel uygulamalarında kullanım için uygun bir malzeme olduğunu ifade etmişlerdir. Arulrajah vd. [5] yaptıkları diğer bir çalışmada yol alttemel uygulamaları için kırmataş (CR) ve geri dönüştürülmüş beton agrega (RCA) ile karıştırıldığında kırılmış tuğlanın (CB) özellikleri üzerine bir dizi laboratuvar deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışma, dane büyüklüğü dağılımı, dane yoğunluğu, modifiye Proktor deneyi, su emme deneyi, CBR, Los Angeles aşınma deneyi, tekrarlı yük üç eksenli deneyleri, pH ve organik içerik testlerini içermektedir. %10, %15, %20, %25, %30, %40 ve %50 CB, kırmataş veya RCA ile karıştırılmış ve laboratuvar testleri bu karışımlara uygulanmıştır. Sonuçlar, geri dönüştürülmüş beton

agrega ve kırmataşın %25 CB'ye kadar yol alttemel uygulamalarında güvenle karıştırılabilir olduğunu göstermiştir. Tekrarlı yük üç eksenli sonucu, CB içeriğinin, kalıcı deformasyon ve esneklik modülü ile ilgili mekanik özellikler üzerindeki etkilerinin, kuru yoğunluk ve su muhtevası üzerindeki etkilere kıyasla daha düşük olduğunu göstermiştir.

Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar genel olarak incelendiğinde geri kazanılmış agrega olarak inşaat ve yıkıntı atıklarının kullanımını ve kabul edilebilir performansını göstermiştir. Çeşitli tiplerde inşaat ve yıkıntı malzemelerinin karayolları temel/alttemel katmanlarında kullanılmasının, altyapı performansında büyük bir kayıp olmadan doğal agregalara çok iyi bir alternatif olduğunu kanıtlamıştır. Yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçlara göre; seçilen inşaat ve yıkıntı malzemeleriyle elde edilen CBR değerleri, genel olarak doğal agregalarla elde edilenlere benzer olduğu; kırılmış tuğla (CB) gibi bazı geri dönüştürülmüş inşaat ve yıkıntı malzemelerinin yol alttemel uygulamalarındaki performanslarını artırmak için diğer dayanıklı agregalarla karıştırılması gerekebildiği; karışık geri dönüştürülmüş agregalar düşük trafikli yollarda kullanım için iyi bir mekanik performans gösterdiği geri dönüştürülmüş agregaların kalitesini iyileştirmek için etkili uygulamaların çok önemli olduğu bildirilmiştir [1].

Bu çalışmada, Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'e göre tasarımı yapılan plent-miks temel tabakasında kullanılmak üzere inşaat ve yıkıntı atığı olarak atık tuğla (AT) malzemesi ve plent-miks temel tabakasında doğal agrega (DA) olarak kullanılan bazalt agregası temin edilmiştir [6]. Bu malzemelerin tek başına ve AT malzemesinin DA içerisine belirli oranlarda konularak elde edilen karışımların plent-miks temel tabakasında kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçları Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'de belirtilen plent-miks temel tabakası limit değerleri ve çalışmada kullanılan doğal agrega için elde edilen deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır [7].

2. Malzeme

Çalışmada doğada en yaygın olarak bulunan volkanik bir kayaç olan bazalt agregası doğal agrega olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan doğal agrega Çorlu ilçesindeki Karatepe taş ocaklarından Şekil 1'de gösterildiği gibi kırmataş tozu (0-5 mm), mıcır 1 (5-12 mm), mıcır 2 (12-19 mm), mıcır 3 (19-37.5 mm) olmak üzere dört elek grubu şeklinde temin edilmiştir.



Şekil 1. (a) kırmataş tozu (0-5 mm), (b) mıcır 1 (5-12 mm), (c) mıcır 2 (12-19 mm), (d) mıcır 3 (19-37.5 mm)

Deneylerde atık tuğla malzemesi olarak eski yapılarda sıklıkla karşılaşılan harman tuğlası temin edilerek kırımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de temin edilen atık tuğla malzemesi

gösterilmiştir. Konkasör yardımıyla kırımı gerçekleştirilen atık tuğla malzemesi elenerek değişik elek gruplarına ayrılmıştır.



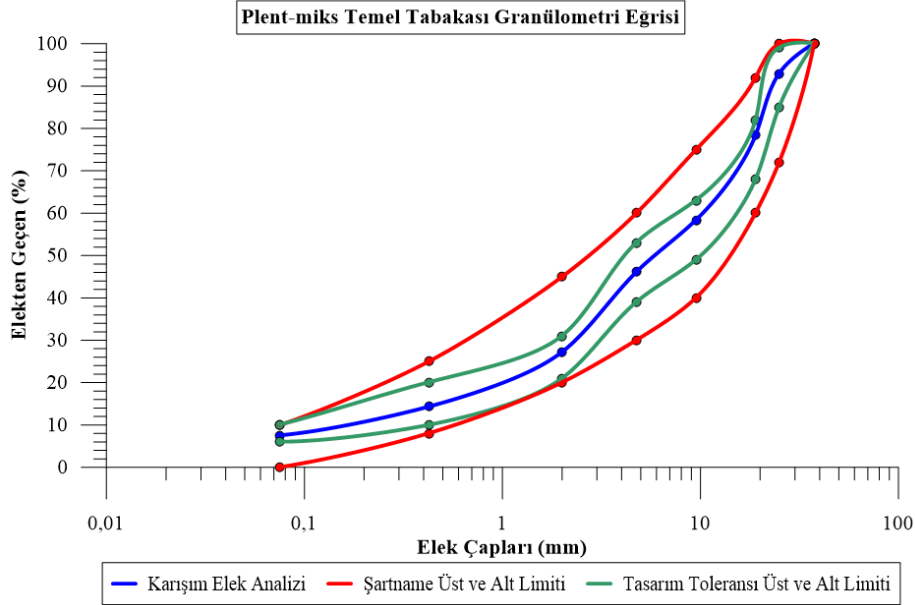
Şekil 2. (a) Atık tuğla malzemesi kırılmamış hali (a) atık tuğla malzemesi 0-5 mm boyutunda, (b) atık tuğla malzemesi 5-12 mm boyutunda, (c) atık tuğla malzemesi 12-19 mm boyutunda, (d) atık tuğla malzemesi 19-37.5 mm boyutunda

3. Deneysel çalışmalar

Malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'e göre plent-miks temel tabakası tasarımı yapılmıştır. Bunun değişik elek gruplarında temin edilen doğal agrega dane boyutu dağılımı kullanılmıştır. Tablo 1'de plent-miks temel tip 1 için verilen şartname limitleri içerisinde kalınarak tasarım yapılmış ve karışım gradasyonu belirlenmiştir. Şekil 3'de ise tasarımı yapılan plent-miks temel tabakasına ait olan granülometri eğrisi gösterilmiştir. Doğal agrega malzemesi için belirlenen karışım gradasyonu aynı zamanda atık tuğla malzemesi içinde kullanılmıştır.

Tablo 1. Plent-miks temel tabakası karışım gradasyonu

Elek Açıklığı		Plent-Miks Temel Tasarımı	Tasarım Toleransı	Karışım Gradasyonu
Mm	İnc			
37.5	1 ½	100	100-100	100
25	1	72-100	86-100	93
19	¾	60-92	71-85	78
9.5	3/8	40-75	52-66	58
4.75	No. 4	30-60	42-56	46
2	No. 10	20-45	27-37	27
0.425	No. 40	8-25	8-18	14
0.075	No. 200	4-8	0-10	8



Şekil 3. Plent-miks temel tabakası granülometri eğrisi

Tasarımı yapılan plent-miks temel tabakasında kullanılacak olan doğal agrega (DA) ve atık tuğla (AT) malzemelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için %100 DA ve %100 AT numuneleri hazırlanmıştır. Ayrıca %100 DA, %100 AT ve DA içerisine %25, %50 oranlarında AT konulması ile oluşturulan numuneler üzerinde gerçekleştirilen modifiye proktor (TS 1900-1) ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi (AASHTO T 193) ile malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir [8, 9].

3.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler

Karayolu plent-miks temel tabakasında kullanılacak olan DA ve AT için bir dizi deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ilk olarak; malzemelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için %100 DA ve %100 AT kullanılarak plent-miks temel tabakası numuneleri oluşturulmuştur. Oluşturulan numuneler üzerinde Karayolu teknik şartnamesine uygun olarak; su emme ve özgül ağırlık deneyi (TS EN 1097-6), Los Angeles aşınma deneyi (TS EN 1097-2), yassılık indeksi deneyi (BS 812), organik madde içeriğinin tayini (TS EN 1744-1), kil topakları ve dağılabilen dane oranı tayini (ASTM C142), hava tesirine karşı dayanıklılık deneyi (TS EN 1367-2), likit limit ve plastik limit deneyi (TS 1900-1), metilen mavisi deneyi (TS EN 933-9) gerçekleştirilmiştir [10, 11, 12, 13, 14, 15, 8, 16].

Çalışmada ayrıca doğal agrega ve atık tuğla birbirleriyle belirli oranlarda karıştırılması sonucunda elde edilen karışım numunelerinin su emme oranları elde edilmiş ve KTŞ 2013 şartname limitleri ile karşılaştırılmıştır.

3.2. Modifiye proktor deneyi ve kaliforniya taşıma oranı deneyi

Kaliforniya taşıma oranı (CBR) ve modifiye proktor deneyleri için sırasıyla AASHTO T 193 ve TS 1900-2 standardı kullanılmıştır [9, 17]. Standarda belirtilen adımlar izlenerek modifiye proktor deneyi gerçekleştirilmiştir.

CBR deneyi yaş veya kuru şekilde yapılabilir. Çalışmada, Karayolu teknik şartnamesine uygun olarak yaş CBR deneyi uygulanmıştır. Şekil 4'de numunelerin suda bekletilmesi gösterilmiştir. Suda bekletildikleri süre zarfında numunelerin şişme

miktarları kontrol edilmiştir. 4 günün sonunda numuneler sudan çıkarılarak standarda belirtilen adımlar izlenerek yaş CBR deneyi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Numunelerin suda bekletilmesi

Deney sonuçlarının değerlendirilebilmesi için yük-penetrasyon eğrileri çizilmiştir. Çizilen yük-penetrasyon eğrisi üzerinden 2.5 mm ve 5.0 mm penetrasyona tekabül eden değerler alınarak bunların standart değerlere oranı belirlenmiştir [18].

4. Deney sonuçları ve tartışma

Bu çalışma kapsamında temin edilen atık tuğla (AT) malzemesinin, doğal agregası (DA) yerine plent-miks temel tabakasında kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda AT ve DA malzemeleri üzerinde Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'e uygun olarak bir dizi laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen deney sonuçları aşağıda maddeler halinde değerlendirilmiştir.

- Malzemeler üzerinde gerçekleştirilen özgül ağırlık deneyi sonucunda AT ve DA için elde edilen özgül ağırlık sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde AT malzemesi için elde edilen özgül ağırlık değerinin DA malzemesi için elde edilen özgül ağırlık değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni AT malzemesinin gözenekli ve boşluklu bir yapıya sahip olmasıdır. Bu durum literatürde atık tuğla malzemesinin daha düşük dane yoğunluğuna ve daha yüksek su emme kapasitesine sahip olması ile açıklanabilir [3]. Ayrıca AT malzemesi geçmiş çalışmalarda temel/alttemel malzemesi olarak kullanılan kırılmış tuğla (CB) malzemesi ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Geçmiş çalışmalarda CB malzemesi için elde edilen kaba agregası özgül ağırlık değerleri; 26.19 kN/m³ [2], 26.7 kN/m³ [5], 26.8 kN/m³ [19] olarak bulunmuştur.

Tablo 2. Özgül ağırlık deney sonuçları

Malzeme		Zahiri Özgül Ağırlığı (kN/m ³)	Kuru Özgül Ağırlığı (kN/m ³)	Yüzey Kuru Suya Doygun Ağırlığı (kN/m ³)
Doğal Agregata (DA)	Kaba Agregata	27.7	26.6	26.9
	İnce Agregata	28.7	23.7	25.5
Atık Tuğla (AT)	Kaba Agregata	26.0	17.5	20.7
	İnce Agregata	27.8	18.3	21.7

- Malzemeler üzerinde gerçekleştirilen su emme deney sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. AT malzemesinin su emme yüzdesi Karayolu Teknik Şartnamesi 2013’de belirtilen %3 limit değerinin üzerindedir. Ayrıca AT malzemesi DA’ya göre daha yüksek bir su emme yüzdesine sahiptir. Bunun nedeni AT malzemesinin gözenekli bir yapıya sahip olması ile açıklanabilir. Bu malzemelere ek olarak DA içerisine belirli oranlarda AT konularak elde edilen numunelerde gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen su emme yüzdeleri %100 AT numunesine göre daha düşük olmasına karşın şartname limitini sağlayamamıştır. Geçmiş çalışmalar incelendiğinde CB malzemesi için elde edilen su emme yüzdeleri %7.02 [19], %6.2 [20] olarak belirlenmiştir. Bu değerler çalışmada kullanılan AT malzemesi için elde edilen değerden düşüktür. Bu farklılık çalışmalarda kullanılan atık tuğla çeşitlerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Çünkü tuğlaların içerikleri farklı bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle temel/alttemel tabakasında AT malzemesi kullanılacaksa çok iyi bir şekilde su emme değerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 3. Su emme deney sonuçları

Malzeme	Su Emme, %	Şartname Limiti
% 100 DA	1.1	≤ 3
%75 DA + %25 AT	4.15	≤ 3
%50 DA + %50 AT	7.97	≤ 3
% 100 AT	16.98	≤ 3

- AT ve DA malzemelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen diğer deneylerin sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde AT malzemesinin organik madde içeriği deneyi ve metilen mavisi deney sonuçlarının Karayolu Teknik Şartnamesi 2013’de belirtilen limitleri sağladığı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan DA ve AT üzerinde gerçekleştirilen diğer bir deney olan plastik limit deneyi sonucunda ise iki malzemenin de plastik özellik göstermediği belirlenmiştir. Malzemeler plastik olmayan sınıfa girdiğinden dolayı likit limit deneyi gerçekleştirilememiştir. Ancak her iki malzemedeki plastik özellik göstermediğinden şartname limitini sağlamıştır. Diğer deneylerde ise AT malzemesinin şartname limitlerinin üzerinde değerler aldığı belirlenmiştir. AT malzemesi DA ile karşılaştırıldığında aşınma değerinin, yassılık indeksi değerinin, kil topağı ve dağılabilen dane oranının ve hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyinden elde edilen kayıp yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum AT malzemesinin hem trafik yükleri altında hem de çevresel etkiler

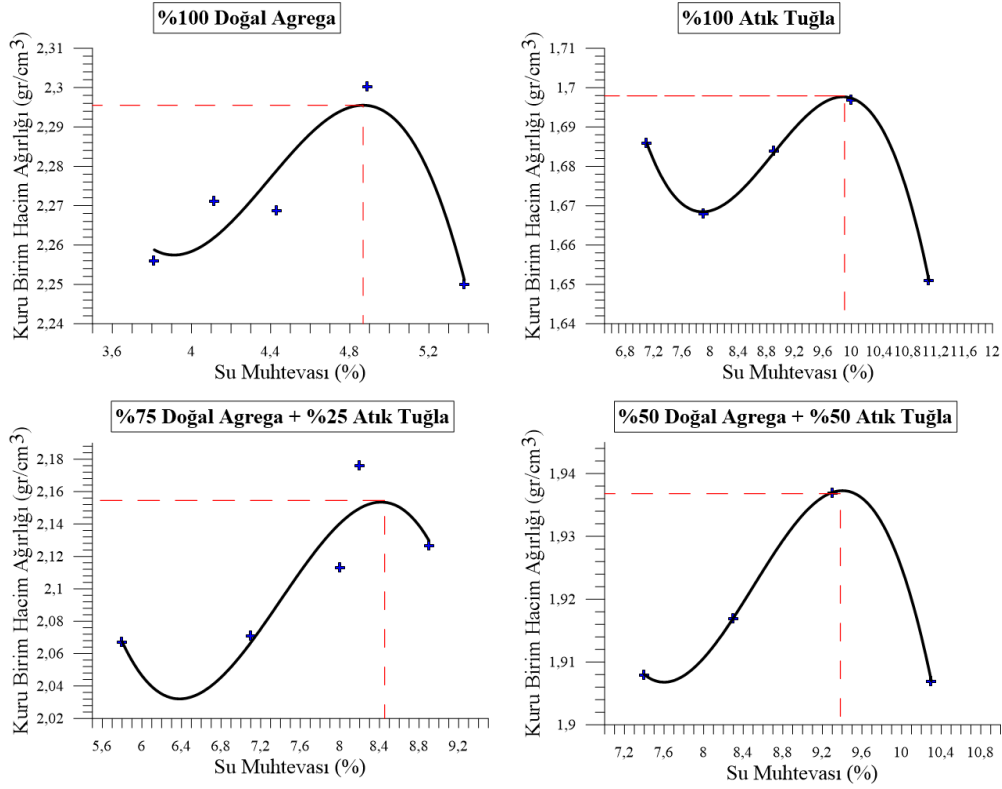
sonucunda oluşacak olan deformasyonunun DA'ya göre daha yüksek olmasına neden olacaktır. Bu nedenle DA yerine AT kullanılacaksa AT malzemesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin çok iyi bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir.

Tablo 4. Malzemelerin fiziksel özellikleri

Deney	Malzeme		Şartname Limiti
	Doğal Agregata (DA)	Atık Tuğla (AT)	
Los Angeles Aşınma Deneyi, %	10.84	82.84	≤ 35
Kil Topağı ve Dağılabilen Dane Oranı, %	0.37	1.22	≤ 1.22
Organik Madde İçeriği	Negatif	Negatif	Negatif
Yassılık İndeksi Deneyi, %	21.06	31.17	≤ 30
Plastik Limit Deneyi	NP	NP	NP
Metilen Mavisini Deneyi, gr/kg	4.5	1.0	≤ 4.5 ≤ 3.0
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi, %	11.64	47.4	≤ 20

- AT, DA ve karışım numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için gerçekleştirilen modifiye proktor deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası eğrileri Şekil 5'de gösterilmiştir. Bu eğriler kullanılarak elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su muhtevası değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde %100 AT numunesinin %100 DA numunesine göre optimum su muhtevası değerinin büyük olduğu, kuru birim hacim ağırlığının ise küçük olduğu belirlenmiştir. Karışım numuneleri incelendiğinde ise DA içerisindeki AT oranı azalmasıyla optimum su muhtevasının azaldığı, maksimum kuru birim hacim ağırlığının ise arttığı belirlenmiştir. Bu durum AT malzemesinin su emme değerinin yüksekliği ile açıklanabilir. Benzer durum geçmiş çalışmalarda da elde edilmiştir. Geçmiş çalışmalarda bu durumun nedeni olarak ise atık tuğla malzemesinin daha düşük dane yoğunluğuna ve daha yüksek su emme kapasitesine sahip olması öne sürülmüştür [3]. Geçmiş çalışmalarda CB malzemesi için elde edilen optimum su muhtevası değerleri %10. [2], %11.38 [3] olarak bulunmuştur. Buna ek olarak CB malzemesi %50, %25 oranlarında kırma taş malzemesi içerisine katılarak oluşturulan numunelerin optimum su muhtevası değerleri her iki karışım içinde %9.20 [2] olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında %100 AT numunesi için elde edilen optimum su muhtevası değerleri geçmiş çalışmalarda CB malzemesi için elde edilen optimum su muhtevası değerlerinden daha düşük elde edilmiştir. DA içerisine %50 AT konularak elde edilen numunenin optimum su muhtevası değeri önceki çalışmalarda kırma taş içerisine %50 oranında CB konulması ile elde edilen numunenin optimum su muhtevasına daha yakın bir sonuç elde edilmiş ve CB malzemesinin maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri; 20.2 kN/m³ [5],

19.9 kN/m³ [19] olarak bulunmuştur. Geçmiş çalışmalarda kırma taş içerisine %50, %25 oranında CB konulması ile elde edilen numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri sırasıyla 21.4 kN/m³ ve 21.3 kN/m³ olarak bulunmuştur [5]. Literatür sonuçları incelendiğinde çalışmada kullanılan AT malzemesinin maksimum kuru birim hacim ağırlığının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yalnızca %75 DA + %25 AT malzemesinin maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri, geçmiş çalışmalarda belirlenen maksimum kuru birim hacim ağırlık değerine yakın bir değer almıştır.



Şekil 5. Malzemelerin kuru birim hacim ağırlık- su muhtevası eğrileri

Tablo 5. Modifiye proktor deney sonuçları

Numuneler	Optimum Su Muhtevası (%)	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlığı	
		gr/cm ³	kN/m ³
% 100 DA	4.86	2.295	22.50
%75 DA + %25 AT	8.45	2.154	21.12
%50 DA + %50 AT	9.38	1.936	18.98
%100 AT	9.90	1.697	16.64

- DA, AT ve DA içerisine belirli oranlarda AT konulmasıyla oluşturulan numuneler üzerinde gerçekleştirilen yaş CBR deneyi sonucunda numuneler için elde edilen CBR değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde %100 AT numunesinin Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'de plent-miks temel tabakası için belirtilen %120 CBR değerinden daha düşük bir değer aldığı belirlenmiştir. Ancak DA içerisine %50, %25 oranlarında AT konularak oluşturulan numunelerin CBR değerleri şartname limitinin üzerindedir. Karışımlar için elde

edilen CBR değerleri incelendiğinde %50 DA + %50 AT numunesi için elde edilen CBR değerinin %100 DA için elde edilen CBR değerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak %100 AT numunesinin CBR değerinden yüksektir. Bu karışım numunesinde DA, AT malzemesinin mukavemet özelliklerini iyileştirmiştir. Aynı şekilde %75 DA + %25 AT numunesi incelendiğinde bu numune için elde edilen CBR değerinin %100 DA için elde edilen CBR değerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu karışım numunesinde ise AT malzemesi DA'nın mukavemet özelliğini artırmıştır. Geçmiş çalışmalar incelendiğinde ise CB malzemesinin CBR değerinin %123- %138 [5], [4] olarak elde edilmiştir. Ayrıca kırma taş ile %50 CB karışımının CBR değeri %127- %138 [5] olarak, kırmataş ile %25 CB karışımının CBR değeri ise %97- %151 [5], %127- %143 [4] olarak bulunmuştur. Geçmiş çalışmalarda CB malzemesi için elde edilen CBR değerlerine bakıldığında çalışmada kullanılan AT malzemesinin taşıma gücünün daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak çalışmada kullanılan AT malzemesinin DA ile karıştırılması sonucunda oluşturulan karışım numunelerinin CBR değerleri literatürde elde edilen değerlere; %50 DA + %50 AT karışım numunesinde benzer bulunurken diğer karışım numunelerinde ise daha yüksek CBR değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6. CBR değerleri

Numune	1. CBR Değeri	2. CBR Değeri	Ortalama CBR Değeri	Şartname Limiti
%100 DA	%156	%171	%164	≥ 120
%75 DA + %25 AT	%180	%220	%200	≥ 120
%50 DA + %50 AT	%135	%126	%131	≥ 120
%100 AT	%80	%95	%88	≥ 120

5. Sonuçlar

Tasarımı yapılan plent-miks temel tabakasında kullanılacak olan atık tuğla malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde; çalışmada kullanılan atık tuğla malzemesinin hem fiziksel hem de mekanik özellik olarak plent-miks temel tabakası için Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'e göre tek başına yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Ancak atık tuğla malzemesinin doğal agrega ile karıştırılması sonucunda oluşturulacak olan plent-miks temel tabakalarının daha iyi bir performans göstereceği belirlenmiştir. Yine de doğal agrega içerisine belirli oranlarda atık tuğla malzemesi konularak oluşturulacak karışımların fiziksel özelliklerinin çok iyi bir şekilde belirlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca geçmiş çalışmalarda kırılmış tuğla (CB) malzemesi için elde edilen deney sonuçları ile çalışmada kullanılan atık tuğla malzemesi deney sonuçları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bunun nedeni çalışmada kullanılan atık tuğla malzemesi ile geçmiş çalışmalarda kullanılan atık tuğlaların malzeme içeriklerinin farklı olmasıdır. Atık malzemelerin içeriklerinin bölgeden bölgeye göre değiştiği düşünüldüğüne göre atık tuğlanın çok iyi bir şekilde diğer atıklardan ayrıştırılması ve temel/alttemel tabaka malzemesi olarak atık tuğla kullanılacaksa fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra geoteknik özelliklerinin çok iyi bir şekilde belirlenmesi temel/alttemel tabakası için büyük önem taşımaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: NKUBAP. 06. YL. 19. 228).

Kaynaklar

- [1] Vieira, C. S. and Pereira, P. M., Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: a review, **Resources, Conservation and Recycling**, 103, 192-204, (2015).
- [2] Arulrajah, A., Piratheepan, J., Aatheesan, T. and Bo, M. W., Geotechnical properties of recycled crushed brick in pavement applications, **Journal of Materials in Civil Engineering**, 23, 1444-1452, (2011).
- [3] Poon, C. S. and Chan, D., Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base, **Construction and Building Materials**, 20, 578-585, (2006).
- [4] Aatheesan, T., Arulrajah, A., Bo, M. W., Vuong, B. and Wilson, J., crushed brick blends with crushed rock pavement systems, **Waste and Resources Management**, 163, 29-35, (2010).
- [5] Arulrajah, A., Piratheepan, J., Bo, M. W. and Sivakugan, N., geotechnical characteristics of recycled crushed brick blends for pavement sub-base applications, **Canadian Geotechnical Journal**, 49, 796-811, (2012).
- [6] Kılıç, B., İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Plent-Miks Temel Tabakasında Kullanılabilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, (2020).
- [7] Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları Teknik Şartnamesi, KGM Yayını, Ankara, 2013.
- [8] TS 1900-1, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2015.
- [9] AASHTO T 193-10, The California Bearing Ratio, **American Association of State Highway and Transportation Officials**, Washington, 2012.
- [10] TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2013.
- [11] TS EN 1097-2, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2010
- [12] BS 812-105. 1, Part 105: Methods for Determination of Particle Shape-Section 105. 1 Flakiness Index, **British Standards Institution**, London, 1990.
- [13] TS EN 1744-1:2009+A1, Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 1: Kimyasal Analiz, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2013.
- [14] ASTM C142, Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles In Aggregates, **American Society for Testing and Materials**, West Conshohocken, 2017.
- [15] TS EN 1367-2, Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2011.

- [16] TS EN 933-9+A1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini İçin Metilen Mavisi Deneyi, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2014.
- [17] TS 1900-2, İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri – Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2006).
- [18] Kumbasar, V. ve Kip, F., **Zemin mekaniği problemleri (6. Baskı)**, Çağlayan Basımevi, İstanbul, Türkiye, (1999).
- [19] Mohammadinia, A., Arulrajah, A., Sanjayan, J., Disfani, M. M., Bo, M. W. and Darmawan, S., Laboratory evaluation of the use of cement-treated construction and demolition materials in pavement base and subbase applications, **Journal of Materials in Civil Engineering**, 27(6), 04014186, (2015).
- [20] Arulrajah, A., Disfani, M. M., Horpibulsuk, S., Suksiripattanapong, C. and Prongmanee, N., Physical properties and shear strength responses of recycled construction and demolition materials in unbound pavement base/subbase applications, **Construction and Building Materials**, 58, 245-257, (2014).