

EAF CURUFUNUN AGREGA OLARAK KULLANIMI

Ayşe Ece YILDIZÇELİK
Aslan ÜNAL
Onuralp YÜCEL

İstanbul Teknik Üniversitesi
Çolakoğlu Metalurji A.Ş.
İstanbul Teknik Üniversitesi

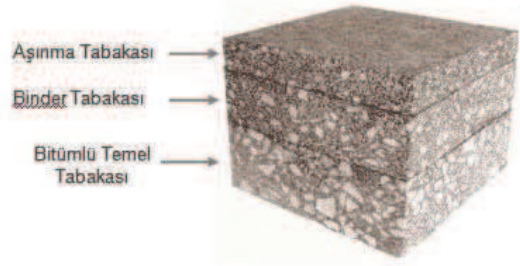
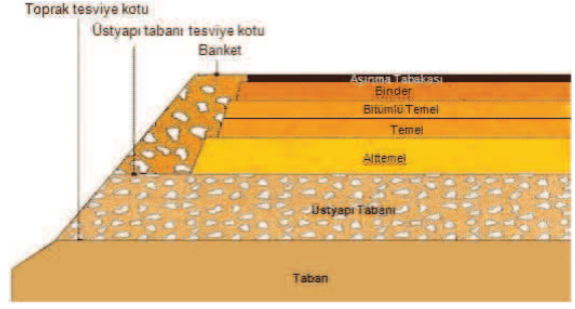
ÖZET

Dünyanın aksine Türkiye’de ki demir-çelik üretiminin üçte ikisi Elektrik Ark Fırını(EAF) ile yapılmaktadır. Demir-çelik üretimindeki artışa bağlı olarak, curufun yeniden kullanımı günden güne daha önemli hale gelmektedir. EAF curufu, asfalt ve çimentoda; agregası, tarımsal uygulamalarda; gübre ve endüstride dolgu malzemesi olarak bir çok kullanım alanına sahiptir. Doğal agregaların asfalt endüstrisinde ham madde olarak kullanılması ciddi çevresel yıkımlara yol açmaktadır. Bu çalışmanın amacı EAF curufunun asfalt agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, sıcak karışımdaki optimumcuruf-doğal agregası-bitüm oranını belirlenmesi ve buna bağlı olarak asfalt yapısının mekanik özelliklerinin incelenmesidir.

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle beraber tüm dünyada çelik üretimi günden güne artış göstermektedir. 2011 yılında 1.49 Gt’ dur [1]. Üretim metotlarına göre çelik üretim prosesini incelersek, dünyada çelik üretiminin %75lik kısmı BOF yöntemi ile yapılırken, bu oran Türkiye’de %35dir [2]. Çelik üretiminin sonucu olarak Türkiye’de yıllık ortalama 5 Mtlukcuruf oluştuğu tahmin edilmektedir [3].

Karayolu inşaatında kullanılan temel malzeme agregadır ve İngiliz standartlarında şu şekilde tanımlanmıştır: “Agregası, asfalt ve beton gibi karışımların temel maddesi olan mineral bileşimidir [4]. Asfalt mineral agregasının, bitümün ve bitümlü bağlayıcıların karıştırılması ile hazırlanmaktadır [5]. Asfalt yapısı üç tabakadan oluşmaktadır ve bunlar aşınma, binderve bitümlü temel tabakaları olarak alandırılmaktadır [5]. Bu tabakalara ait şematik gösterim Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1: Yol ve asfaltın genel yapısı

EAF curufu ve doğal agreganın fiziksel özellikleri çok benzerdir ve karşılaştırmalı olarak Tablo 1 de belirtilmiştir. Görüldüğü gibi su absorpsiyonu dışındaki diğer özellikler benzerdir.

ÖZELLİKLER	EAF CURUFU	Doğal Agregası
Los Angeles Aşınma Katsayısı	13	15-29
Aşınma Direnci	8	8-11
Dona Dayanıklılık Direnci	1.0	0.0-1.7
Tane Gradyasyonu (%kütle)	0.5	0.5
Su Absorpsiyonu (%kütle)	>1	<1
Yığın Yoğunluğu (mg/m ³)	3.4	2.8

Tablo 1: EAF curufu ve doğal agreganın fiziksel özellikleri

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar kendi içinde kimyasal analizler ve fiziksel testler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.

Kimyasal Analizler

EAF cürufunun kimyasal yapısını ve cüruftaki serbest CaO oranını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Serbest CaO miktarı asfaltın kalitesini önemli ölçüde etkileyen parametrelerden biridir.

Fiziksel Testler

Fiziksel testler EAF cürufunun asfalt agregası olarak kullanılabilmesi için gereken özellikleri taşıyıp taşımadığını belirlemek amacıyla yapılmış olan çeşitli testlerden oluşmaktadır. Bu testler kendi içinde üç ana gruba ayrılmıştır: curuf deneyleri, dizayn çalışması ve yüzey deneyleridir.

Curuf Deneyleri

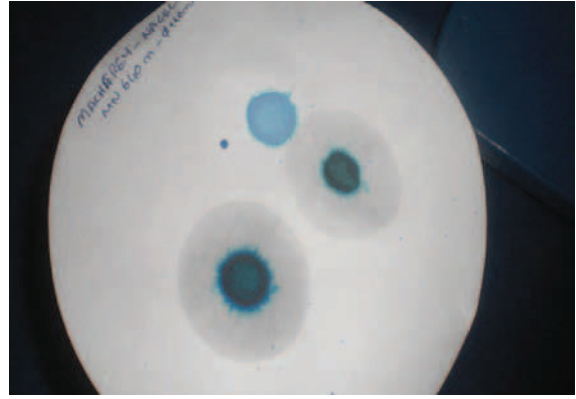
Bu deney gurubunda EAF curufu ve doğal agregası çeşitli parametreler açısından karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda yürütülen deneyler: Los Angeles aşınma testi, donmaya karşı direnç, $MgSO_4$ donma kaybı deneyi, özgül ağırlık ve absorpsiyon deneyi, filler tane yoğunluğu, yassılık indeksi, soyulma mukavemeti ve metilen mavisi testi bulunmaktadır. Şekil 2,3 ve 4 de sırasıyla Los Angeles test cihazı, etüvden çıkmış $MgSO_4$ çözeltisi ve metilen mavisi deneyine ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 2: Los Angeles test cihazı



Şekil 3: Etüvden çıkmış $MgSO_4$ çözeltisi



Şekil 4: Metilen mavisi deney sonucu

Dizayn Çalışması

Bu aşamada üç farklı asfalt tabakası için curuf ve doğal agregası karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımlara bitümün eklenmesinden sonra Marshall briketleri denilen silindirik numuneler oluşturulmuştur. Marshall briketleri Şekil 5 de gösterilmektedir. Bitümlü temel ve binder tabakasının dizaynında 20-37mm, 12- 20mm, 5mm - 12mm, 0-5mm boyutlarında doğal agregası-curuf karışımı ve B 50/70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Briketler 135°C de 2x75 darbeye hazırlanmıştır.



Şekil 5: Marshall briketleri

Aşınma tabakasının dizaynında ise 12 mm-20 mm, 5mm-12mm, 0-5mm boyutlarında doğal agrega-curuf karışımı ve B 50/70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Briketler 135°C de 2x75 darbeyle hazırlanmıştır. Karışımdaki curuf oranları şu şekildedir: kütlece %45 bitümlü temelde, kütlece %35 binder tabakasında ve kütlece %15 aşınma tabakasında kullanılmıştır.

Aşınma Tabakası Deneyleri

Suya hassasiyet testi; su ile temas eden karışımın hasar göstermeye karşı direnci olarak tarif edilir. Bu deneyde Marshall briketlerine (6 adet aşınma tabakası için, 6 adet binder tabakası için) ait kuru ve yaş ağırlıklar, ortalama yarıçap, ortalama yükseklik ve ortalama indirect gerilme kuvveti ölçülmektedir. Bu test aşınma ve binder tabakalarına uygulanmaktadır.



Şekil 6: Tekerlek izi cihazı

Bu guruptaki diğer bir test ise tekerlek izi testidir ve TS EN 12697-22 standartına göre yürütülmektedir. Tekerlek izi test cihazı Şekil 6 da gösterilmektedir. Bu test bitümlü karışımların yük altında kalıcı deformasyona karşı hassasiyetini belirlemek için kullanılmaktadır. Aşınma ve binder tabakalarına uygulanır ve bu tabakalar için test parametreleri sırasıyla Tablo 2 de gösterilmektedir.

Numune Tanımı	Aşınma Tabakası	Binder Tabakası
Testten önceki numune yoğunluğu	2.496gr/cm ³	2.583 gr/cm ³
Test sıcaklığı	60 °C	60 °C
Test numunesinin ortalama kalınlığı	65mm	65.1 mm
Ortam şartları	Sıcaklık: 19.8°C, Nem % 63.7	Sıcaklık: 21.5°C, Nem % 53.2

Tablo 2: Tekerlek izi testinin aşınma tabakası için parametreleri

3. SONUÇLAR

Kimyasal analizlere ait sonuçlar aşağıda Tablo 3 de gösterilmiştir. Serbest CaO değerinin çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

Boyut (mm)	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	C	Serbest CaO
0-5	39.26	25.45	16.82	5.79	7.53	1.27	0.26
5-9	39.95	24.68	17.20	5.01	7.57	0.26	0.24
9-12	38.62	24.75	17.38	4.84	7.79	0.26	0.25
12-25	43.44	23.77	16.23	4.94	7.73	0.39	0.22

Tablo 3: EAF curufuna kimyasal analiz sonuçları (% Ağırlıkça)

Los Angeles aşınma testi (%25), donmaya karşı direnç, MgSO₄ donma kaybı deneyi (%1), özgül ağırlık ve absorpsiyon deneyi (3.37g/cm³ ve %2.18), filler tane yoğunluğu (3.37g/cm³), yassılık indeksi (ort.<%2.5), ve metilen mavisi testinin (1 mm) sonuçları Karayolları Teknik Şartnamesi ile uygunluk göstermektedir. Soyulma mukavemeti değeri %15-20 arasında bulunmuş olup karayolları teknik şartnamesinde belirtilen değerlerin (>%50) dışındadır.

Tüm asfalt tabakaları için Marshall metoduna göre hesaplanan optimum bitüm değerleri Tablo 4 de gösterilmiştir. Partikül boyutu küçüldükçe optimum bitüm miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Optimum Bitüm %	Bitümlü Temel	Binder Tabakası	Aşınma Tabakası
	3,97 ± 0,5	4.37 ± 0.5	4.87 ± 0.5
Pratik Özgül Ağırlık, [gr/cm ³]	2,609	2.583	2.496
Stabilite, [kg]	1510	1640	1670
Boşluk, [%]	5,20	4.80	4.25
Asfaltla (bitüm) dolu boşluk, [%]	60,0	65.0	71.0
V.M.A., (Agregalar arası boşluk) [%]	13,70	14.30	14.90
Akma, [mm]	3,50	3.6	4.20
Max. Teorik Özgül Ağırlık [DT]	2,757	2.717	2.609

Tablo 4: Bitümlü temele ait Marshall deneyi sonuçları

Suya hassasiyet deneyine ait sonuçlar Tablo 5 de belirtilmektedir. Marshall briketlerinde yer yer kırıklar mevcuttur ancak agregalarda herhangi bir kırık gözlenmemiştir.

Numune Tanımı	Aşınma Tabakası	Binder Tabakası
Kuru numunenin ort. yoğunluğu	2.421 gr/cm ³	2.548 gr/cm ³
Yaş numunenin ort. yoğunluğu	2.410 gr/cm ³	2.540 gr/cm ³
Kuru numunelerin ortalama dolaylı gerilme gücü (ITS_d)	1060.2 kPa	1012.9 kPa
Yaş numunelerin ortalama dolaylı gerilme gücü (ITS_d)	832.8 kPa	663.6 kPa
Dolaylı gerilme gücü oranı ($ITSR$)	% 65,5	% 65,5

Tablo 5: Suya hassasiyet deneyinin sonuçları

Tekerlek izi testinin sonucunda aşınma tabakası kalınlığında % 5.95 lik ve binder tabakasında % 5.50 lik azalma meydana gelmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Los Angeles aşınma testi, donmaya karşı direnç, MgSO₄ donma kaybı deneyi, özgül ağırlık ve absorpsiyon deneyi, filler tane yoğunluğu, yassılık indeksi, ve metilen mavisi testinin sonuçları Karayolları Teknik Şartnamesi ile uygunluk göstermektedir. Doğal kaynaklarımızın gün geçtikçe azaldığı ve özellikle agrega kaynaklarının her geçen gün tükendiği görülmekte, kaynaklarımızın daha etkin ve verimli kullanılmasının önemi tartışılmaz hale gelmektedir. Bu nedenle alternatif agrega kaynakları araştırılmalı ve özellikle ileride daha büyük sıkıntılarla karşılaşılacağı öngörülerek Asfalt kaplamalarda Bitümlü Temel ve binder tabakalarında belirli oranlarda curuf kullanımı dikkate alınmalıdır.

Teşekkür

Değerli katkılarından dolayı Çolakoğlu Metalurji A.Ş ve ISFALT A.Ş'ye teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

1. <http://www.worldsteel.org/statistics/statistics-archive/2011-steel-production.html>, 09/01/2013
2. <http://www.recyclingdergisi.com/HaberlerDetay.aspx?ID=34>, accessdate 20/03/2013
3. <http://www.karyapsan.com.tr/asfalt-ansiklopedisi.aspx>, accessdate 24/05/2012
4. M. Ilıcalı , Asphaltand Applications, ISFALT, Turkey, 2001
5. T. Sofilic, A.Mladonavic, U. Sofilic, Characterization of EAF steelslag as aggregateforuse in roadconstruction, <http://www.aidic.it/CISAP4/webpapers/17Sofilic.pdf>,access date 20/02/2012