

**YÜKSEK FIRIN CURUFU VE KİRECİN KATKI OLARAK  
KİL ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ VE YOL YAPIMINDA  
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**Aydın KAVAK**

Yard.Doç.Dr.  
Kocaeli Üniversitesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
41040 Kocaeli TÜRKİYE

**Gamze BİLGİN**

Öğretim Görevlisi  
Karaelmas Üniversitesi  
AMYO  
67850 Zonguldak TÜRKİYE

**ÖZET**

Bu çalışmanın amacı atık bir malzeme olan curufun yol yapımında kullanılabilirliğinin incelenmesidir. Bu çalışmada bentonit kili Ereğli Demir Çelik Fabrikası'ndan temin edilen yüksek fırın curufu ve kireç ile birlikte stabilize edildikten sonra 0, 7 ve 28 gün kür edilerek numunelerin mukavemetlerdeki değişimler incelenmiştir.

Çalışma iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada 900 mikron boyutlarındaki curuf (bu çimento katkı malzemesi olarak kullanılan curuftur) bentonite eklenmek sureti ile incelenmiş, ikinci aşamada ise kireç ve 150 mikron çapındaki elekten elenmiş curuf eklenmiştir. Bu çalışmaların sonunda özellikle, % 5 curuf ve % 7,5 kireç ile karıştırılan bentonitin serbest basınç değerinde, 28 gün sonunda 25 kata varan artışlar oluşmaktadır. Ayrıca, kırılma anındaki birim deformasyonların % 11 seviyelerinden % 1 seviyelerine düştüğü gözlenmektedir. Curuf, kireç ve bentonit karışımı, bentonitin optimum su muhtevasını belirgin olarak etkilememekle birlikte, kuru birim hacim ağırlığını azaltmakta ve proktor eğrisini düzleştirmektedir. Böylece zemin rijit bir yapıya dönüşmekte ve elastisite modülü artmaktadır.

Karışımların deneylerde kullanılan oranlarda yol yapımında alt temel veya taban zeminde kullanılması, zemindeki deformasyonları azaltarak yol kesitlerinde küçülme, buna bağlı olarak da maliyetlerde azalma sağlayabilecektir.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Curuf, Demir Çelik Fabrikalarında 1 ton çelik üretimi esnasında yaklaşık 300 kg olarak ortaya çıkan bir yan üründür ve ülkemizdeki kullanım alanları, oluşan curuf tepeciklerini eritecek boyutlarda değildir. Karayolu üst yapısında agrega olarak kullanılabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar oldukça olumlu sonuçlar vermiştir.( Ilıcalı,1998) Çimentoda puzolan olarak kullanılan Yüksk Fırın Curufun kimyasal yapısı incelendiğinde çimentoya benzerliği gözlenmiştir. (TS 20, 1992; Erdoğan ve Tokyay, 1997; Onaran, 1997;) Bu ilişki ile kil zeminler üzerinde de iyileştirici etkiler yapabileceği fikri oluşmuştur.

Kirecin kil zemin üzerindeki olumlu etkileri ise bir çok kez ispatlanmış ve özellikle yüksek plastisiteli killerde önemli bir katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır.(Terrel,R.L. ve diğ.,1984)

Veith (2000), Lind, Fällman and Larsson (2000), Glasser ve diğ. (2001), Al-Shab ve diğ. (2002)'nin çalışmalarından ve literatürde yapılan diğer taramalardan özellikle Amerika, (Stewart ve Kalyoncu, 1998) Polonya, (Steekiwicz and Asamska, 1997) Kazakistan, (Aktubinsk, 2002) Finlandiya (Ulla - Maija and Wahlström, 2002) ve İtalya'da(Veith, 2000) değişik curuf tiplerinin zemin stabilizasyonunda kullanılabildiği görülmüştür.

## AMAÇ

Bu incelemede, Yüksek Fırın Curufunun (Y.F.C) yol alt yapısında, özellikle killi zemini güçlendirme amacı ile kullanılması durumu değerlendirilmiştir. Laboratuvar koşullarında bentonit kili ile hazırlanan numunelere değişik oranlarda Yüksek Fırın Curufu (Y.F.C) ve kireç katılmak suretiyle, Y.F.C. nun kil zemin üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## BÖLÜM 1 KULLANILAN MALZEMELERİN TANIMLARI VE ÖZELLİKLERİ

### 1.1. Curuf

Demir-Çelik fabrikalarında bulunan yüksek fırınlarda, içerisinde yoğun demir filizleri bulunan toprağın 1500<sup>0</sup>C ler de yakılıp, demir filizleri alındıktan sonra, geriye kalan maddeye “Yüksek Fırın Curufu” denir. Y.F.C.ları soğutulmuş şekillerine göre değişik granülometrelere ve yapılara sahip olurlar. Curuflar kızgın halde iken üzerlerine basınçlı olarak soğuk su tutulması ile ani olarak soğutulurlar ve kum boyutunda bir yapıya sahiptirler. En yaygın olarak bilenen ve kullanılan curuf tipidir.

Tablo 1. Potlant Çimentosu ve Y.F.C.nun Karşılaştırmalı Kimyasal Analizi (Erdemir ,2003)

| Kimyasal Yapı (%) | CaO   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO     | MnO   | SiO <sub>2</sub> | SO <sub>3</sub> |
|-------------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|-------|------------------|-----------------|
| Curuf             | 34-41 | 34-36            | 13-19                          | 0,3-2,5                        | 3,5-7   | 1-2,5 | 1-2              | -               |
| Portlant Çimento  | 60-67 | 17-25            | 3-8                            | 0,5-6,0                        | 0,1-4,0 | -     | -                | 1-3             |

## 1.2 Kireç

Bu çalışmada kullanılan, piyasada “ Paketlenmiş söndürülmüş kireç ( inşaat tipi ) ” adı altında 25 kg. lık ambalajlarda satılan, TS 4022’ ye uygun olarak üretilmiş ‘Paksan’ marka kireçtir. Kimyasal formülü  $Ca(OH)_2$  ( Kalsiyumhidroksit ) dir. (Paksan,2003)

## 1.3 Bentonit

Bentonit, volkanik kül veya tuf gibi, camsı volkanik gercin kimyasal ayrışmasıyla ve bozuşmasıyla ortaya çıkan ve son derece küçük kristaller halindeki kil minerallerinden (başlıca montmorillonit grubu) oluşan ve büyük ölçüde kolloidal silisten ibaret, yumuşak, şekillenebilir, gözenekli ve açık renkli bir kayadır. ([www.maden.org.tr](http://www.maden.org.tr))

# BÖLÜM 2 LABORATUAR ÇALIŞMALARI

## 2.1 Uygulanan Deneyle

Laboratuar çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada bentonit ve curuf değişik oranlarda karıştırılmış ve tüm numuneler bu şekilde hazırlanmıştır. Kullanılan Y.F.C nin gradasyonu Tablo 3 de verilmiştir. Bu çalışma sonucunda serbest basınç deneylerinde hiçbir artış gözlenmemiştir ve bu boyutlarda kullanılan curufun uygun olmadığı anlaşılmıştır. (Bilgen,2004)

Literatür araştırmalarında Y.F.C, killer üzerinde kireç ile birlikte değişik oranlarda karıştırılarak kullandığı ve sonucunda killerin mukavemetlerinde artışlar olduğu gözlenmiştir.(Wild, ve diğ., 1998)

Daha sonra Y.F.C 150 mikrondan küçük olacak şekilde öğütülmüş ve karışıma kireç de eklenerek deneyler tekrarlanmıştır. Deneylerin ayrıntıları ve sonuçları Bölüm 2.3 de verilmiştir.

## 2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Serbest basınç deneyleri için ağırlıkça değişik oranlarda bentonit kireç ve curuf karıştırılarak ilk önce her bir karışım için optimum su muhtevası tesbit edilmiş ve bu su muhtevalarında hazırlanan yeni karışımlar, kompaksiyon aletinde yol yapımı standartlara uygun olarak yani üç tabaka halinde herbir tabakaya 25 vuruş olacak şekilde sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılmış karışımlardan serbest basınç deneyleri için 38 mm. çapında, 76 mm. boyunda numuneler hazırlanmıştır. Numuneler hazırlanırken hidrolik çıkartıcı kullanılmıştır. Hazırlanan bu numunelerden bir kısmı, hazırlandığı gün ( 0 günlük ) kırılmıştır. Her bir karışım oranı için en az üç numune kırılmıştır. 7 ve 28 gün kür edilen numuneler de aynı şekilde hazırlanmış ve desikatörlerde kür edilmiştir. Deneyler TSE 1500, TSE 1900, TSE 1901, ASTM D 422 standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

## 2.3 Deney Çalışmaları

Y.F.C.'na, endeks özelliklerini belirlemek amacı ile; elek analizi, kıvam limitleri, dane birim hacim ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3. Y.F.C ait Elek Analizi Sonuçları

|                  |     |      |      |      |      |       |     |      |       |
|------------------|-----|------|------|------|------|-------|-----|------|-------|
| Elek Çapı ( mm ) | 16  | 8    | 6,3  | 2,36 | 0,85 | 0,425 | 0,3 | 0,15 | 0,074 |
| Geçen ( % )      | 100 | 99,1 | 98,3 | 81,3 | 23,5 | 6,6   | 4,1 | 1,8  | 1,0   |

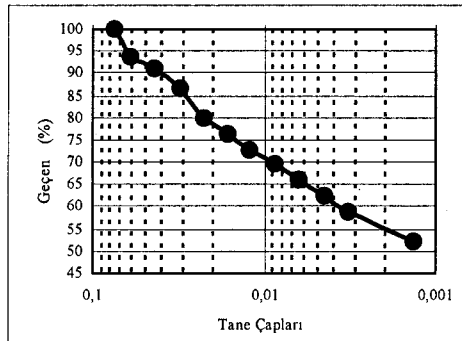
Tablo 4. Y.F.C ait Geoteknik Değerler

|                                              |             |
|----------------------------------------------|-------------|
| Kıvam Limitleri (LL (%),PL (%),PI (%))       | Non-plastik |
| Tabii Su Muhtevası (%)                       | 3           |
| Özgül Ağırlık (< 10 mm) (kN/m <sup>3</sup> ) | 23,60       |
| Özgül Ağırlık(< 150 µm) (kN/m <sup>3</sup> ) | 28,28       |

Bentonite ise; hidrometre, kıvam limitleri, dane birim hacim ağırlık deneyleri uygulanmıştır.

Tablo 5. Bentonite Ait Geoteknik Değerler

|                                                   |       |
|---------------------------------------------------|-------|
| Likit Limit ( LL ) ( % )                          | 107   |
| Plastik Limit ( PL ) ( % )                        | 27    |
| Plastiklik İndisi ( PI ) ( % )                    | 80    |
| Tabii Su Muhtevası ( % )                          | 8     |
| Dane Birim Hacim Ağırlığı ( kN / m <sup>3</sup> ) | 23,28 |
| w <sub>opt</sub> ( % )                            | 34    |
| Max.K.B.A ( kN / m <sup>3</sup> )                 | 12,16 |
| Aktivite ( % )                                    | 80    |



Şekil 1 Bentonite ait Hidrometre Deney Sonucu

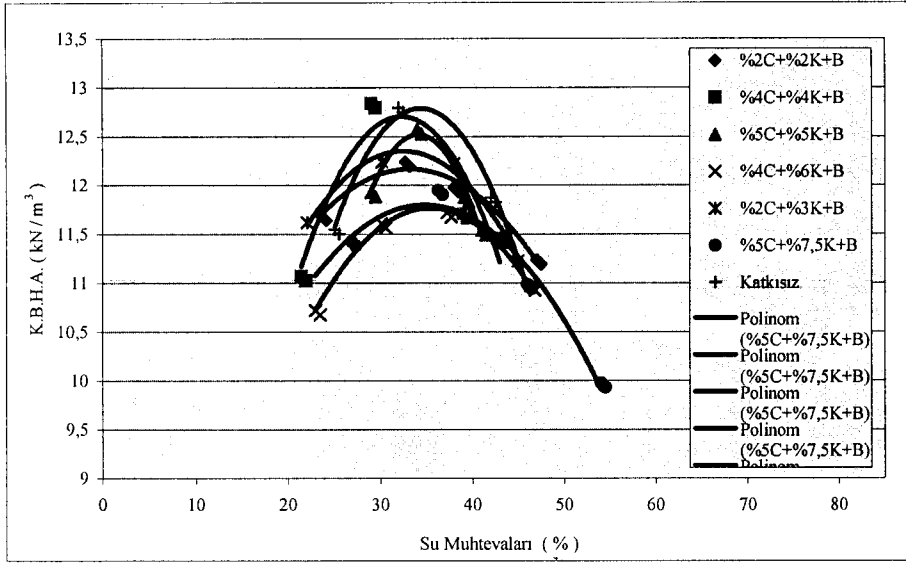
Bölüm 2.1 de belirtildiği üzere I. kısım çalışmalarda; gradasyonu verilmiş olan Y.F.C. bentonitle, düşünülen reaksiyonlara girmemiş ve mukavemetlerde ciddi ve tutarlı bir artış meydana gelmemiştir. Dolayısı ile burada bu deneylerin ayrıntısına girilmeyecek; karışımın yol yapımında kullanılmasının uygun olduğu sonucunu veren çalışmanın ikinci kısmına geçilecektir.

Bentonit'e, 150 mikrondan elenen Yüksek Fırın Curufu (<150  $\mu\text{m}$ . Y.F.C) ile kireç, ağırlıkça şu oranlarda karıştırılmıştır. %2 curuf -%2 kireç; %2 curuf -% 3 kireç; %4 curuf -%4 kireç; %4 curuf -%6 kireç; %5 curuf -%5 kireç; %5 curuf -%7,5 kireç.

Karışımların optimum su muhtevalarını belirlemek amacı ile kompaksiyon deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçları Tablo 6 da verilmiş olup  $w_{\text{opt}}$  lar da değişimin çok az olduğu gözlenmektedir.

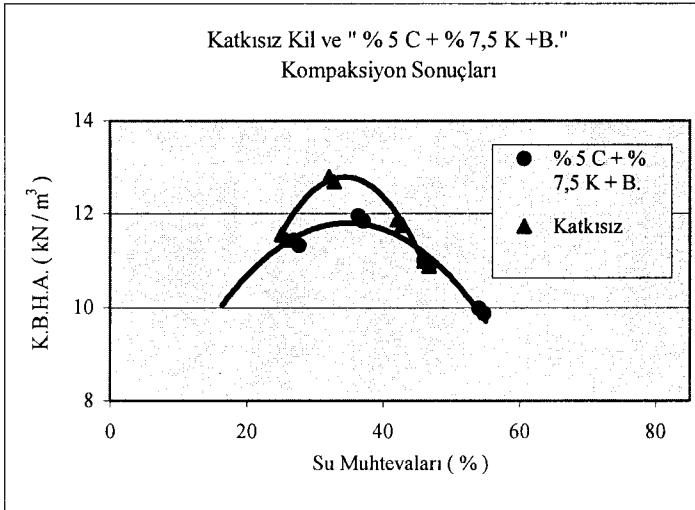
Tablo 6.< 150  $\mu\text{m}$ . Y.F.C + K. +B. Numunelerinin Kompaksiyon Deneyleri Sonuçları

| Curuf (kireç) içerikleri (%) | Katkısız | 2 (2) | 2 (3) | 4 (4) | 4 (6) | 5 (5) | 5 (7,5) |
|------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| $w_{\text{opt}}$ (%)         | 34       | 33    | 33    | 33    | 35    | 34    | 35      |
| Max.K.B.H.A                  | 12,56    | 11,97 | 12,16 | 12,65 | 11,58 | 12,26 | 11,58   |



Şekil 2 < 150  $\mu\text{m}$ . Y.F.C +K.+ B.'in Optimum Su Muhtevalarındaki Değişimler

$w_{\text{opt}}$  lardaki değişimin daha net görülmesi amacı ile katkısız kille % curuf,%7,5 kireç karışımının kıyaslamalı grafiği Şekil 3 de verilmektedir.



Şekil 3. Katkısız ve % 5 C + % 7,5 K + B. Kompaksiyon Değerlerindeki Değişimler

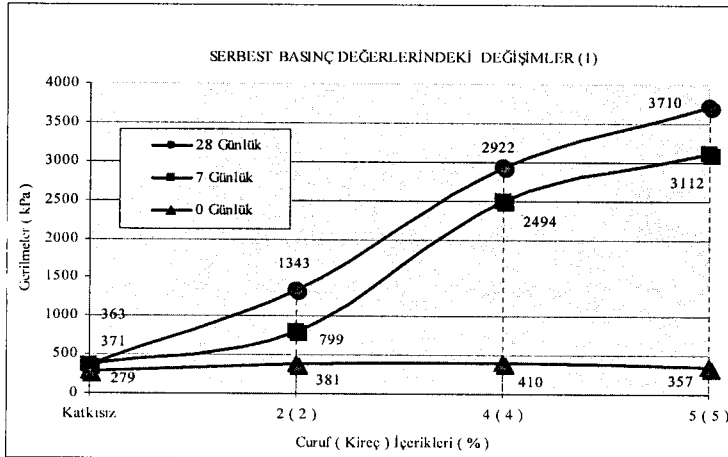


Bulunan optimum su muhtevalarında hazırlanan serbest basınç numuneleri, 0 (sıfır) günlük, 7 (yedi) günlük ve 28 ( yirmi sekiz ) günlük olmak üzere üç bölümde kırılmıştır.

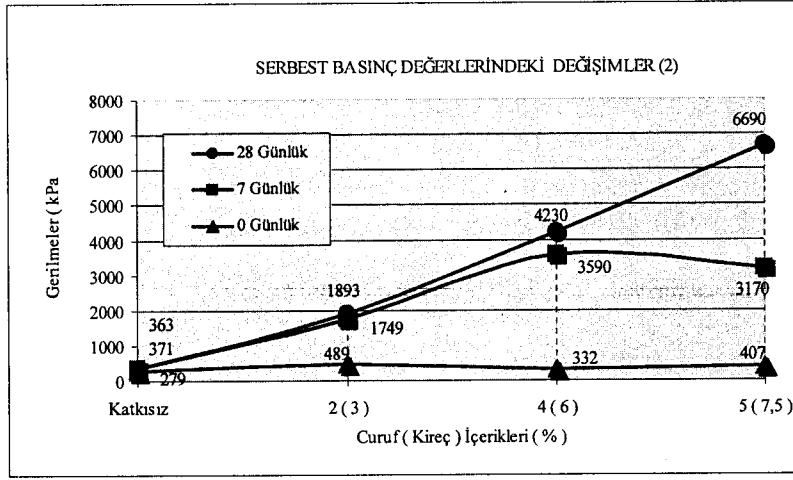
Tablo. 7. < 150  $\mu\text{m}$ . Y.F.C. + K. + B. Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları ( $\text{kN} / \text{m}^2$ )

| Curuf ( kireç )<br>içerikleri ( % ) | Katkısız | 2 ( 2 ) | 2 ( 3 ) | 4 ( 4 ) | 4 ( 6 ) | 5 ( 5 ) | 5 ( 7.5 ) |
|-------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| 0 Gün                               | 280      | 380     | 490     | 410     | 330     | 360     | 480       |
| 7 Gün                               | 370      | 800     | 1750    | 2490    | 3590    | 3110    | 3170      |
| 28 Gün                              | 360      | 1340    | 1890    | 2920    | 4230    | 3710    | 6690      |

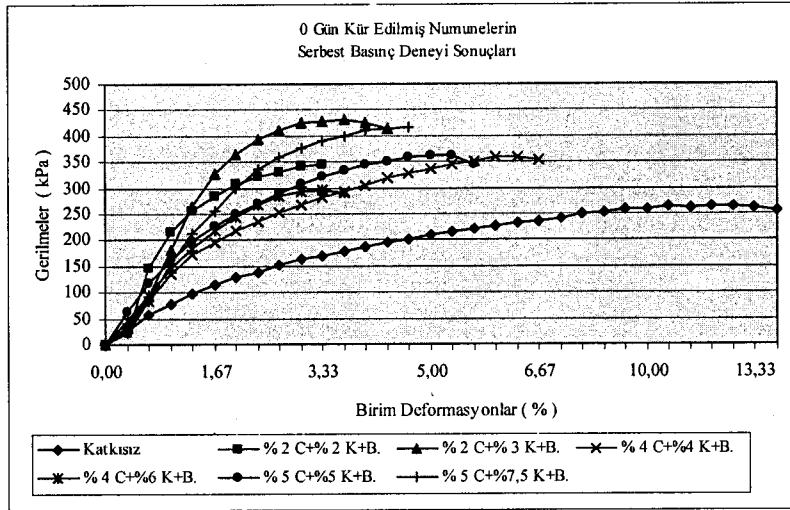
Değişik oranlarda karıştırılmış < 150  $\mu\text{m}$ . Y.F.C. + K. + B. numunelerin, 0 günlük serbest basınç değerlerinde çok büyük değişiklik olmazken, deformasyonda önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. 7 günlük serbest basınç değerlerinde; 0 güne göre 6 kat artış gözlenmektedir. 28 günlük serbest basınç değerleri ise özellikle, % 5 curuf, % 7,5 kireç eklenmiş karışımların, sıfır günlüğüne göre 14 kat, katkısız haline göre ise 24 kat artmıştır.



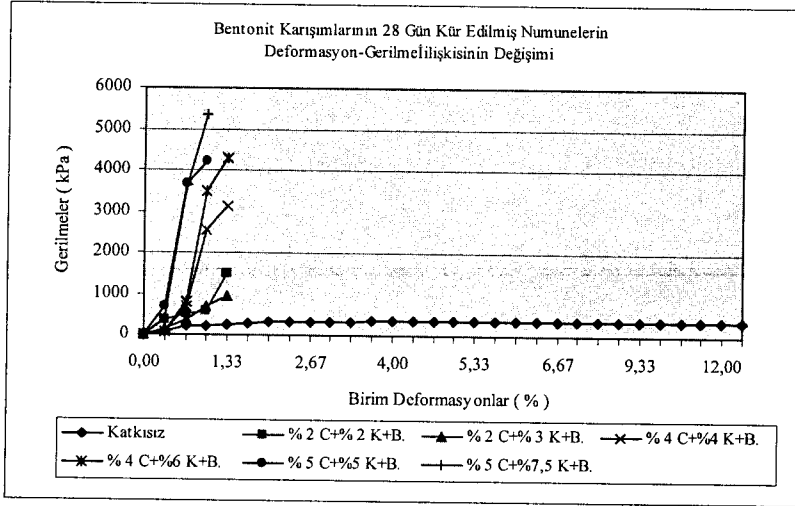
Şekil 4 < 150  $\mu\text{m}$ . Y.F.C +K.+ B.'in Serbest Basınç Değerlerindeki Değişimler



Şekil 5 < 150  $\mu$ m. Y.F.C +K.+ B.'in Serbest Basınç Değerlerindeki Değişimler



Şekil 6 < 150  $\mu$ m. Y.F.C +K.+ B.'in Serbest Basınç Deneyi Sonuçları



Şekil 7 < 150  $\mu$ m. Y.F.C +K.+ B.'in Serbest Basınç Deneş Sonuçları

### 2.3 Deneş Sonuçları Ve Yorumları

Ağırlıkça % 5 oranında 150 mikron boyutunda Y.F.C. ve % 7.5 oranında kireç ile karıştırlan kilin;

- Plastisite İndisinde % 50 civarında azalma oluşmuştur.
- Optimum su muhtevasında ve kuru birim hacim ağırlıklarında önemli bir değişme olmamıştır.
- Birim deformasyon, %11 ler den % 1 lere inmektedir.
- Serbest basınç değeri, 273 kPa' dan 6690 kPa' ya (yaklaşık 25 kat) yükselmektedir.

## SONUÇLAR

Erdemir’de çelik üretimi esnasında üç değişik curuf meydana gelmektedir. Bunlardan bazılarının kara yollarında agrega olarak kullanılabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar olumlu sonuçlar vermiştir.(İlıcılı,1988) Yüksek Fırın Curufunun yol alt yapısındaki kil zemini iyileştirmek amacı yapılan çalışmalardan şu sonuçlar alınmıştır.

YFC nin, elenmeden çimento katkı malzemesi olarak kullanılan boyutta bentonite eklenmesinin, bentonit kilinin serbest basınç değerlerinde önemli bir değişiklik meydana getirmediği görülmektedir.

Curufun elenerek belli bir boyutun altına indirilmesi ( < 150 µm. ) ve değişik oranlarda kireçle karıştırılması durumunda, bentonit kili ile reaksiyona girdiği açık olarak anlaşılmaktadır. Kullanılan kireç ve curuf miktarı, literatür taramasında incelenen çalışmalardaki yüzdeler baz alınarak belirlenmiştir. ( Veith, 2000 , Wild ve diğ., 1998 )

Proktor deneyleri sonuç grafiklerinde, çimento katkı malzemesi olarak kullanılan boyuttaki curufun, ağırlıkça % 10’ dan fazla oranlarda kullanılmasının, bentonit kilinin optimum su muhtevasında azalmaya ve kuru birim hacim ağırlıklarında artışa neden olduğu görülmektedir. Bunun yanında, 150 mikrondan elenmiş curufun, kireçle birlikte bentonite eklenmesi halinde ise, optimum su muhtevası değişmemekte, kuru birim hacim ağırlıkları azalmakta ve proktor eğrisi düzleşmektedir.

Bentonit kili % 5 curuf ve % 7,5 kireç ile karıştırıldığında serbest basınç değeri 28 gün sonunda yaklaşık 25 kat artış göstererek, 273 kPa dan 6690 kPa değerine yükselmiştir. Kırılma anında oluşan birim deformasyonlar ise

%10–11 mertebelerinden, %1 mertebesine düşmektedir. Böylelikle zemin rijit bir yapıya dönüşmekte ve elastisite modülü artmaktadır.

Curuf ve kireç karışımlarının deneylerde kullanılan oranlarda yol kesitlerine uygulanması halinde, yolda oluşabilecek deformasyonlar azalacak ve yol kesitleri küçülecektir. Bu da yol yapım maliyetlerinde azalma sağlayabilir. Bu konunun ayrıntıları başka bir çalışma olarak ele alınacaktır.

Bu çalışma, curufun öğütülüp elenerek toz halinde yol kesitlerinde kullanılabilmesini göstermektedir. Düşük oranlarda kullanılan curufun, öğütülüp elenerek toz halinde torbalanması, rahatlıkla taşınabilme imkanı sağlayacaktır. Böylelikle fabrikalar uzak yerlerde de ekonomik kullanımı mümkün kılabilir.

Her bir ton çelik üretiminde ortaya çıkan 300 kilo curufun kullanım alanlarının genişletilmesi, curuf atığı yığınlarını azaltacaktır. Ayrıca yol inşaatı sektörüne ucuz bir hammadde sağlayacaktır.

Bu çalışmada, yüksek plastisiteli saf bir kil olan bentonit kullanılmıştır. Değişik kil cinsleri ve doğal killer için de buna benzer çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Ilıcalı M, “Karayolu Üstyapısında Erdemir Curufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması ” Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi,1998,İstanbul,59 sayfa
2. Türk Standartları, Çimento-Yüksek Fırın Curuflu Çimentolar, Türk Standartları Enstitüsü, 1992.
3. ERDOĞAN, T. Y., Atık Malzemelerin İnşaat Sektöründe Kullanımı - Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Curuf Ve Kullanımı. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Senpozyumu Bildiriler Kitabı. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, 1995, Ankara, Sayfa 1-13
4. Onaran K., Malzeme Bilimi; İ.T.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Basımevi, İstanbul,1983.
5. TERREL, R. L., EPPS, J.A., BARENBERG, E.J, MITCHELL, J.K., THOMPSON, M.R., Soil Stabilization in Pavement Structures A User’s Manual Pavement Design and Construction Considerations. Federal Highway Administration Department of Transportation, 1, 1984, Washington. , p 11-12
6. VEİTH, G., “Essay Competition Green, Ground End Great Soil Stabilization With Slag”. Building Research & Information, 28, 2000, England, . p 70-72
7. LİND, B.B, FALLMAN, A.M., LARSSON L.B.,. Environmental Impact Of Ferrochrome Slag in Road Construction. Waste Management, 21, 3, 2001 Sweden. p 255 – 264,
8. AL-RAWAS, A.A, TAHA., R., NELSEN, J. D., AL-SHAB, T. B., A “Acomparative Evaluation of Various Additivies Used in The Stabilization of Expensive Soil”. Geotechnical Testing Journal, 25, .2, 2002.U.S.A.
9. STEWART, B.R and KALYONCU, R., “Materials Flow in the Production And Use Of Coal Cambusttion Products”. www.flyash.info
10. STEEKIEWÍCZ, R. and ADAMSKA, K.Z.,.Application of power industry wastes in road embankments. Fuel and Energy Abstracts, 36, 4, , 1999Poland, p 294

- 11 WILD, S, KINUTHIA, J. M., JONES, G. I., HIGGINS, D. D., "Suppression Of Swelling Associated With Ettringite Formation in Lime Stabilized Sulphate Bearing Clay Soils By Partial Substitution Of Lime With G.G.B.S". Engineering Geology, 51, , 1998, England, p 257 – 277
- 12 ERDEMİR,. "Çelikhane Curuflarının Karayollarında Kullanılması Sempozyumu", 2003,Zonguldak.
- 13 PAKSAN Paketlenmiş Kireç Sanayii A. Ş., 2003. Adapazarı
- 14 www.maden.org.tr
- 15 Bilgen G, "Yüksek Fırın Curufu İle Zemin Stabilizasyonu" ,Kocaeli Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi,2004

