

Chapter - 0

BORON

BOR

Kolemanit Katkılı Perlit Tuğlaların Fizikomekanik ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

Determination of Physicomechanical and Chemical Properties of Colemanite Added Perlite Bricks

A. G. Çelik

BOREN (Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü), Ankara

A.M. Kılıç

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Ülkemiz perlit ve bor üretiminde dünya lideridir. Bu yatakların ekonomik olarak işletilmesi ve katma değeri yüksek ürün haline dönüştürülmesi önem kazanmıştır. Son yıllarda perlit ve bor, yapı malzemesi üretiminde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Genleştirilmiş perlit düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses tutma kabiliyeti, işlenebilirliği, ekonomik oluşu, bor mineralleri ise bağlayıcılık ve yangın geciktirici gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Bu çalışmada, kolemanit (%5, 10, 15, 20) katılarak 4 ayrı reçetede üretilen tuğlaların 200, 300, 400 °C pişme sıcaklığında kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek optimize edilmiştir. Çalışma sonucunda, üretilen numunelerin içinden en iyi karışım oranı belirlenerek nihai ürün oluşturulmuştur. Sonuç olarak, Menderes perlitlerinden kolemanit katkı olarak üretilen tuğlaların, yapı sektöründe kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

ABSTRACT Turkey is the leader country in the production of, perlite and boron. Operation of these ore beds in economical aspect and turn them into high value added product is gaining importance. In recent years, perlite and boron achieve wide usage in production of construction material. Expanded perlite is preferred for low unit volume weight, high ability of heat and sound retention, machinability, being economic and boron minerals are preferred for binding and fire delaying properties. In studies, chemical, physical and mechanical properties of colemanite (%5, 10, 15, 20) added bricks that produced with four different prescription, determined and optimized in 200, 300, 400 °C fired temperature. In the end of studies, the best mixture ratio determined through samples and final product is composed. As a result, it is concluded that, colemanite added bricks from Menderes perlite are usable in construction sector.

1 GİRİŞ

Türkiye’de yapı malzemesi olarak kullanılan kökeni farklı kum, çakıl, çimento, alçı, kireç, perlit ve pomza vb. hammaddelerden üretilen beton, tuğla, bims, gaz beton ve izotuğla gibi hafif yapı malzemelerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Ülkemizin deprem kuşağında yer alması ve önlem amaçlı zorunlulukların artması ile birlikte hafif kaya malzemelerinin kullanımı giderek artmaktadır. Yapı ve inşaat

sektöründe ana hammadde olarak değerlendirilmeye başlanmış olan hafif kayaçların kendilerine has bazı özellikleri dikkate alınarak sektörde konfor amaçlı ana malzeme olarak sıkça kullanılmaya başlamıştır. Bu tür kayaçlar genellikle doğal gözenekli ve hafif kayaç oluşumları olduğu bilinmektedir.

Bu amaçla, ülkemizde inşaat endüstrisinde hafif yapı malzemeleri üretimi üzerine yapılan bilimsel çalışmalar ve araştırmalar giderek artmaktadır. Ayrıca, dünyada ve

ülkemizde yapı malzemesi üretiminde bağlayıcı olarak bor ve kil minerallerinin kullanıldığı birçok çalışma tespit edilmiştir. 1970'li yıllarda başlayan çalışmalar, günümüze kadar artarak devam etmiştir. Ülkemizde yapılan çalışmalarda perlitin ana hammadde, bor minerallerinin ise bağlayıcı olarak kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Aşağıda kaynak araştırması yapılan çalışmalarda, yapı malzemesi üretim yöntemleri, karışım oranları ve üretimde kullanılan hammadde ve bağlayıcı özellikleri hakkındaki bulgulara yer verilmiştir;

Duvar paneli üretim çalışmalarında ağırlıkça %27 perlit, %3 fiberglas ve %70 kil kullanılmıştır. Üretilen panellerin basınç dayanım değerleri 3,2 Mpa, birim hacim ağırlık değeri 950kg/m^3 , porozite oranı %69 ve ısı iletim katsayısı 0,21 W/mK olarak belirlenmiştir (Attenborough,1983).

Perlit ve bor katkılı betonların en belirgin özellikleri hafifliği ve düşük ısı iletkenliği değeridir. Perlit betonun birim ağırlığının 320-640 kg/m^3 ve ısı iletkenlik değerinin 0.07-0.12 W/mK arasında olduğu bulunmuştur (Köktürk, 1993).

Genleştirilmiş perlit, kil ve %10 bor atığı kullanarak üretilen panellerin yüksek ısı yalıtımları ile hafif yapı malzemeleri olmaları yanında kuruma sırasında rötre ve yoğunluk artışı olmaması, yangına ve dona dayanımının yüksek oluşu, kolay üretilmesi gibi olumlu özelliklerinin olduğu belirtilmiştir (Çobanlı, 1993).

Kırka boraks işletmesi tesislerinden oluşan kil atıklarının tuğla hammaddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması ile ilgili yapılan çalışmaların sonucunda, kırka atık killeri ile tuğla yapımında kullanılan hammaddenin uygun oranda karışımlarının, tuğla yapımında kullanılabilceği belirlenmiştir (Sönmez ve Yorulmaz 1995).

Perlit, yalıtım ve yangına dayanım özellikleri ile yapılarda çeşitli biçimlerde kullanılmaktadır. Gevşek dolgu olarak döşemelerde, çift katmanlı dış duvarlarda, yalıtım betonu olarak zemin kat ve çatı döşemelerinde, sıva agregası olarak iç ve dış duvarlarda, tavan sıvasında, blok ve levha biçiminde duvar gövdesi olarak kullanılır.

Yapı gereci olarak perlit, yapıya az yük vermesi, alan kazandırması ve yakıt tasarrufu sağlaması ile yapı maliyetini olumlu yönde etkilediği ifade edilmiştir (Ayberk, 1995).

Perlit yüzeylerine homojen şekilde yayılarak mukavemet artışı sağlamaktadır.

Perlit ve kil karışımından tuğla üretilebilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, düşük ağırlık ve yüksek mukavemet değerlerini veren oranın %85 perlit ve %15 kil olduğu belirlenmiştir. Denemelerde belirlenen en uygun karışım 418 gr perlit, 381gr kil ve 950 gr su kullanılan reçetedir. Dene sonuçlarında $1,881\text{ dm}^3$ yoğunluklu tuğlalar üretilmiştir (Ogle, 2003).

Başka bir çalışmada, bor atıklarını kil ve ince atık şeklinde ayrı ayrı %5, %10 ve %15 oranlarında kırmızı tuğlaya katkı maddesi olarak karıştırılarak tuğla dayanımı incelenmiştir. En iyi dayanımın %15 oranında sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır (Kavas, 2006).

Perlit katkılı kil tuğla üretimi ile ilgili bir çalışmada, perlit termal, hafif ve akustik izolasyon özellikleri mükemmel malzeme olup, tuğla üretiminde hafif agrega olarak kullanılmıştır. Isı iletkenliği direnci yüksek kil tuğlalar perlit ilave edilerek üretilmiştir. Çalışmalarda Eskişehir bölgesi kil ve perlitleri kullanılmıştır. Perlit tuğla üretiminde bağlayıcı malzemeler olarak çimento, jips, kireç, bitüm ve kil kullanılmıştır. Araştırmalarda, en iyi ısı direnci ve basma mukavemet değerlerinin (%24-30) perlit içeren kombinasyonlarda olduğu görülmüştür. %30 perlit kullanıldığında ısı iletimi 0,185 kcal/mh°C (standart tuğlalarda 0,40 kcal/mh°C) ve basma mukavemet değeri 2,6 MPa (standart tuğlalarda 2,4 MPa) olduğu belirlenmiştir. Çalışmaların sonucunda, üretilen kil tuğlalara katılan perlit miktarı arttıkça birim hacim ağırlığı ve ısı iletim özelliği iyileşmekte, ancak basma dayanım değerleri standartlara göre kötüleşmektedir (Topçu; Işıldağ, 2008).

Perlit agregasının tuğla üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği ile ilgili çalışmada, İmrahor bölgesi tuğla fabrikalarından alınan tuğla kili, diatomit

tesislerinden alınan diatomit hammaddesi ve Cumaovası perlit işletmesinden alınan geliştirilmiş perlit kullanılmıştır. Diatomit ve perlit agregalarında ayrı ayrı %0, %10, %20, %30 oranlarında karışım hamurları elde edilmiştir. Elde edilen deney numuneleri, 800, 900 ve 1000°C sıcaklıkta pişirilmiştir. Deneysel çalışmaların neticesinde, %20 diatomit katkılı ürünlerin 900°C'de pişirilmesi ile gerekli mekanik özellikleri sağlayan ürün elde edilebileceği görülmüştür (Bideci ve Bideci, 2009).

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

2.1.1 Genleştirilmiş Perlit Agregası

Yapı malzemesi üretiminde ana hammadde olarak geliştirilmiş perlit kullanılmıştır. Perlit agregaları Eti Maden İşletmeleri İzmir (Cumaovası) perlit yataklarından temin edilmiş burada bulunan fabrika fırınlarında 800°C sıcaklıkta geliştirilerek perlit tuğla üretiminde kullanılabilir hale getirilmiştir. Bölge İzmir İl merkezinin 15-20 km doğusunda NE-SE doğrultusu uzanımlı bir fay ve bunun 5-10 km batısında hemen hemen birinci faya paralel kabul edilen Manisa-Akhisar-Sandırğı muhtemel fay çizgisi Cumaovası bucak merkezinin 5-10 km güneyinde bulunan volkanizma alanındaki perlitler 6-7 ayrı zuhur halinde bulunmaktadır (Çelik, 2010). Alınan numuneler işletmede (0,2-2 mm) boyut ve (150-180 kg/m³) yoğunluğa gelecek şekilde özel olarak geliştirilmiştir.

2.1.2 Kolemanit

Çalışma kapsamında kullanılan diğer bir hammadde kaynağı ise Kütahya (Emet-Espey) bor minerallerinden konsantre kolemanittir. Emet borat yatakları, Batı Anadolu'daki bilinen borat yataklarının orta kısmında, Eskişehir ve Bigadiç borat yataklarının arasında, Kütahya'nın batı kesiminde; Gediz, Simav ve Tavşanlı arasındadır (Çelik ve vd., 2012). Borat yataklarının çökeltme havzası kuzey-güney yönünde uzanmakta ve Emet nehrinin

doğusunda, Dereköy'den hemen hemen Killik'e kadar olan alanda mostra vermektedir. Madencilik, Emet ilçesinin kuzeyinde bulunan Espey'de yapılmaktadır. Ülkemizde Eti Maden İşletmeleri tarafından 800.000 ton/yıl kolemanit üretimi bulunmaktadır (Çelik, 2010). Deneylerde %35 tenörde B₂O₃ içeren kolemanit minerali 1mm elekten geçirilerek bağlayıcı olarak kullanılmıştır.

2.1.3 Kömür Tozu

Çalışmalarda kullanılan kömür tozu Set Çimento Fabrikasından temin edilmiştir. Kömür tozu, klinker pişirme amacıyla kullanılan petrokok ürünü artıklar olarak değerlendirilmektedir. Deneylerde katkı malzemesi olarak tercih edilmiş ve üretilen numunelerin homojen olarak pişmesini sağlayacağı düşünülerek kullanılmıştır. Kömür tozu 6000 kcal civarında kaloriye sahiptir. Laboratuvarda öğütüldükten sonra 1mm'lik elekten geçirilerek içindeki süreksizlikler uzaklaştırılmış ve katkı malzemesi olarak kullanılmıştır.

2.1.4 Karboksimetilselüloz (CMC)

Karboksimetilselüloz genelde gıda sektöründe yoğunlaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Krem renkte ve toz halde bulunmaktadır. Su ile temas ettiğinde jel kıvamına gelmekte ve sıcaklıkla temas ettiğinde bünyeden uçmaktadır. Deneylerde bağlayıcı olarak kullanılan Merck kalite CMC, tuğlalara presleme esnasında şekil vererek doğal kurumayı sağlamakta ve pişmeye kadar numunelerin bozulmasını engellemektir. Kömür tozu ağırlıkça %5 oranında katkı malzemesi olarak kullanılmıştır.

2.2 Yöntem

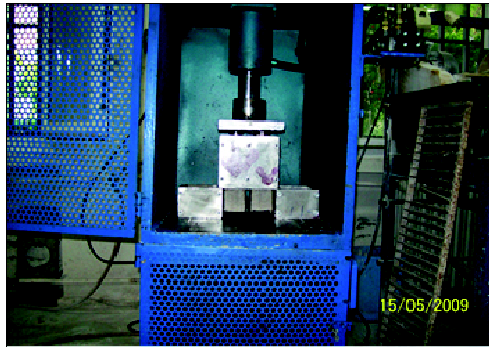
Emet kolemanit (EK) katkılı perlit tuğlaların üretimi, 50x100x100 mm boyutundaki kalıplar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kolemanit doğal bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında, kolemanit (%5, 10, 15, 20) ve %5 CMC (karboksimetilselüloz) katılarak 4 ayrı

reçetede üretilen tuğlaların 200, 300 ve 400°C pişme sıcaklığında kimyasal ve fizikomekanik özellikleri belirlenmiş olup en iyi mukavemet ve en düşük birim hacim ağırlık değerini veren aralık tespit edilmiştir. Çizelge 1’de bor katkılı tuğla üretiminde kullanılan karışım oranları verilmiştir.

Çizelge 1. Bor katkılı tuğlaların agrega, su ve bağlayıcı karışım oranları

Perlit (%)	Kolemanit (%)	CMC (%)	Su (%)
90	5	5	0,85
85	10	5	0,85
80	15	5	0,85
75	20	5	0,85

Bor katkılı perlit tuğla üretiminde, kontrol tuğlası üretiminden elde edilen veriler (pres basıncı, pişme süresi, pişme sıcaklığı, su katkı miktarı) kullanılmıştır. Laboratuvarında yapılan çalışmalarda kullanılan hammaddeler, mekanik karıştırıcıda 30 dk karıştırılarak kalıplara yerleştirilmiştir. Hazırlanan karışımlarda su/katı oranı 0,85 civarında kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, her bir tuğla 370 gr olacak şekilde hazırlanmış, kalıplara yerleştirilmiş ve 50 bar basınçta sıkıştırılarak üretilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Bor katkılı perlit tuğlaların üretimi

Farklı karışımlarda üretilen tuğlalar farklı sıcaklıkta 1 saat süreyle pişirildikten sonra en düşük birim hacim ağırlığı ve en yüksek tek eksenli basma dayanım değerini veren aralık belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 2 ve 3). Deneylerde kullanılmak üzere 1000 adet

numune üretilmiştir. Her bir deney için 20 adet numune kullanılmıştır.

Deneylerde üretilen bor katkılı tuğlalar TS standartlarına uygun olarak doğal ortamda 24 saat bekletilerek doğal birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiş ve TS 406 ve TS 705 standartlarına uygun olarak fizikomekanik özelliklerinin tespiti yapılmıştır. Ayrıca, tuğlaların farklı pişme sıcaklıklarında kimyasal (SEM, EDS ve XRD) analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tüm tuğla üretimi çalışmaları Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Deneylerin bir kısmı ODTÜ Maden Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında bulunan ekipmanlar kullanılarak yapılmıştır. Numunelerin kimyasal SEM (taramalı elektron mikroskop), EDS (nokta parametre), XRD analizleri MTA’da bulunan makine ve teçhizat kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Farklı karışımlarda üretilen tuğlaların farklı sıcaklıklarda pişirilmesi

3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1 Tuğlaların Fizikomekanik Özellikleri

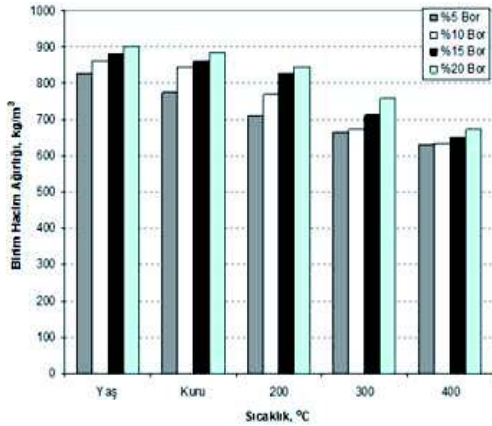
3.1.1 Bor Katkılı Tuğlaların Birim Hacim Ağırlık Deney Bulguları

Yapılan deneyler sonunda, tuğla üretim standartlarına uygun olarak farklı bor katkısı ve pişme sıcaklığında üretilen numunelerin yaş, kuru, 200°C, 300°C ve 400°C pişme sıcaklıklarında birim hacim ağırlık değerleri

Şekil 4'te verilmiştir. Her deneyde 20 adet tuğla kullanılmıştır.



Şekil 3. Farklı oranlarda bor katkısı ile pişirilen tuğlaların görünümü



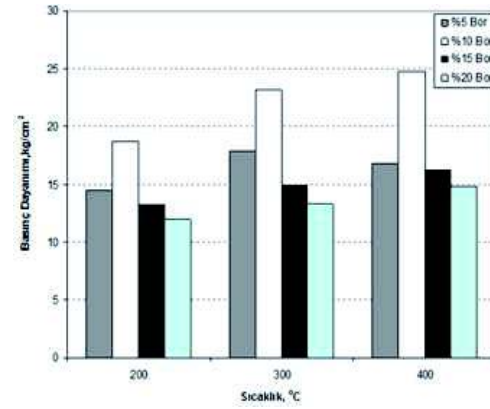
Şekil 4. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişirme sıcaklığında üretilen tuğlaların birim hacim ağırlığı değişimi

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde kolemanit katkılı (%5, 10, 15, 20) ve 200°C, 300°C ve 400°C sıcaklıkta pişirilerek üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, numunelerin birim hacim ağırlık değerleri kolemanit katkısı arttıkça artmakta, sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Deneylerde, %5 kolemanit katkılı numunelerin bağlayıcı katkı miktarı ve pişirme sıcaklığına göre en düşük birim hacim ağırlık değerlerini verdiği belirlenmiştir. Sonuçlara göre; %5 bor

katkılı numunelerde birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir. TS standardında birim hacim ağırlık için verilen referans değer 1000-1500 kg/m³ olarak belirtilmektedir.

3.1.2 Bor Katkılı Tuğlaların Basma Dayanımı Deney Bulguları

Tuğla üretim standartlarına uygun olarak farklı bor katkısı ve pişirme sıcaklığında üretilen numunelerin tek eksenli basma dayanım değerleri Şekil 5'te verilmiştir.



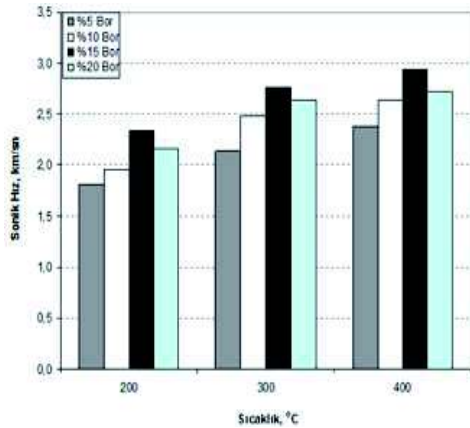
Şekil 5. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişirme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların basma dayanımı değişim grafiği

Kolemanit katkısı ve pişirme sıcaklığına göre, pişirilen tuğlaların tek eksenli basma dayanımı sonuçları incelendiğinde, tüm pişirme sıcaklıklarında %10 kolemanit katkılı numunelerin en yüksek mukavemet değerlerini verdiği, bor katkı miktarı arttıkça tuğlaların tek eksenli basma dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, tuğlaların pişirme sıcaklığına göre değerlendirildiğinde, bor katkı oranlarına göre pişirme sıcaklığının artmasıyla numunelerin basma dayanımının arttığı görülmüştür. Kolemanit katkılı tuğlaların (%10 ve 400°C'de pişirilen) basma dayanımı değerleri kontrol numunelerinden elde edilen değerlere (1,2 kg/cm²) kıyasla 2,27 kat daha fazla bulunmuştur. TS standardında

mukavemet için verilen referans değer 2-4 kg/m² olarak belirtilmektedir.

3.1.3 Bor Katkılı Tuğlaların Sonik Hız Deney Bulguları

Laboratuvar çalışmalarında kolemanit katkıli olarak üretilen tuğlaların yapısal özellikleri hakkında bilgi edinmek için sonik hız deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonunda, tuğla üretim standartlarına uygun olarak farklı bor katkısı ve pişme sıcaklığında üretilen numunelerin sonik hız (P-dalga) değerleri Şekil 6'da verilmiştir.

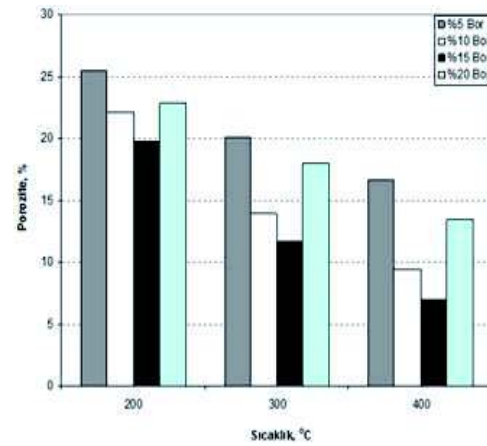


Şekil 6. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların sonik hız değişim grafiği

Yapılan çalışmalarda sonik hız deney sonuçları incelendiğinde, %15 kolemanit katkıli numuneler en yüksek sonik hız geçiş değerleri vermektedir. Pişme sıcaklığına göre %5 kolemanit katkıli olarak üretilen tuğlaların geçiş değerleri ise en düşüktür. Bor katkı miktarı ve pişme sıcaklığının artmasıyla sonik hız geçiş değerleri doğru orantılı olarak artmaktadır. %10 bor katkıli numunelerin sonik hız değerleri %15 bor katkıli numunelerden elde edilen değerlere yakın bulunmuştur. TS standardında sonik hız için verilen referans değer 1-4 km/sn olarak belirtilmektedir.

3.1.4 Bor Katkılı Tuğlaların Porozite Deney Bulguları

Tuğlaların içyapılarındaki gözeneklilik, tuğlaların nem alma ve su emme gibi fiziksel özelliklerini önemli şekilde etkilemektedir. Yapı malzemelerinde nem alma istenmeyen bir durum olduğundan üretilen tuğlaların porozite değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.

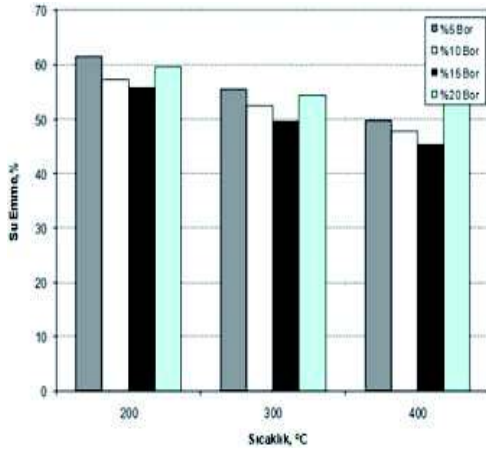


Şekil 7. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların porozite değişim grafiği

Tuğlaların porozite deney sonuçları incelendiğinde, %10-15 kolemanit katkıli ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin en düşük porozite değerlerini verdiği belirlenmiştir. Kolemanit katkıli tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça porozite değerleri ters orantılı olarak azalmaktadır. Ancak, kolemanit katkı miktarı (%15-20) arttığında, üretilen malzemelerin gözenekliliğinde artış meydana gelmektedir. Kolemanit katkıli olarak üretilen tuğlaların porozite değerleri kontrol numunesinden elde edilen değerlere (%40-45) göre oldukça düşüktür. Kolemanit katkıli tuğlaların porozite deney sonuçları incelendiğinde, tuğlaların farklı bor katkısı ve pişme sıcaklığına göre porozite değerleri incelendiğinde %10-15 bor katkıli tuğlaların porozite deney sonuçları birbirine yakın bulunmuştur.

3.1.5 Bor Katkılı Tuğlaların Su Emme Deney Bulguları

İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinin su emme ve porozite özelliğinin bilinmesi, malzemenin gerek sıva tutması ve gerekse ısı ve ses özellikleri açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla, farklı sıcaklıklarda pişirilen bor katkılu tuğlaların, bor katkı oranı ve pişme sıcaklığı değişimine göre elde edilen su emme değerleri Şekil 8'de verilmiştir.



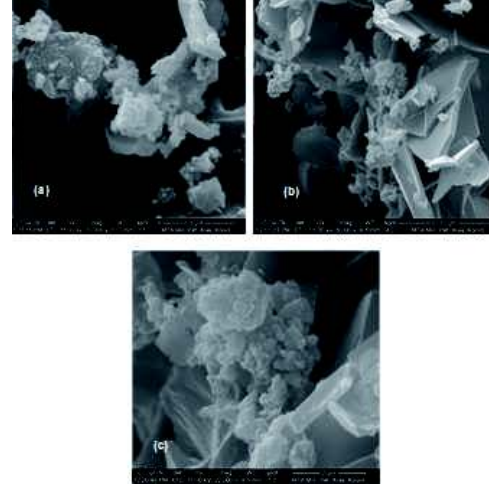
Şekil 8. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların su emme değişim grafiği

Üretilen tuğlaların su emme deney sonuçları incelendiğinde, %10-15 kolemanit katkılu ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numuneler en düşük su emme değerlerini vermektedir. Kolemanit katkılu tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça su emme miktarı ters orantılı olarak azalmaktadır. Kolemanit katkılu olarak üretilen tuğlaların su emme değerleri kontrol numunesinden elde edilen değerlere (%60-75) göre oldukça düşük bulunmuştur. Kolemanit katkılu tuğlaların su emme deney sonuçları incelendiğinde, tuğlaların su emme değerleri oldukça yüksek bulunmuş olup, kolemanit katkı miktarı arttıkça su emme miktarının arttığı görülmüştür. %10-15 kolemanit katkılu tuğlaların su emme oranı diğerlerine kıyasla daha iyi bulunmuştur. TS standardında su emme için verilen referans değer %15-25 olarak verilmiştir.

3.2 Tuğlaların Kimyasal Özellikleri

3.2.1 Tuğlaların Farklı Pişme Sıcaklığında Çekilen SEM Görüntüleri

SEM görüntüleri, en yüksek mukavemet değerini veren (%10 kolemanit katkılu) ve farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğlalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. 200°C sıcaklıkta pişirilen tuğlalarda kolemanit mineralinin bağ yapmaya, 300°C sıcaklıkta sinterleşme reaksiyonuna başladığı ve 350-400°C sıcaklıkta kolemanit mineralinin perlit taneleri arasında sinterleşerek mukavemet artışı sağladığı görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Kolemanit katkılu tuğlaların farklı pişme sıcaklığında çekilen SEM görüntüleri (a; 200°C, b; 300°C ve c; 400°C)

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde; 400°C pişme sıcaklığında ve %10 kolemanit katkılu olarak üretilen tuğlaların diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

3.2.2 Tuğlaların EDS Analizi

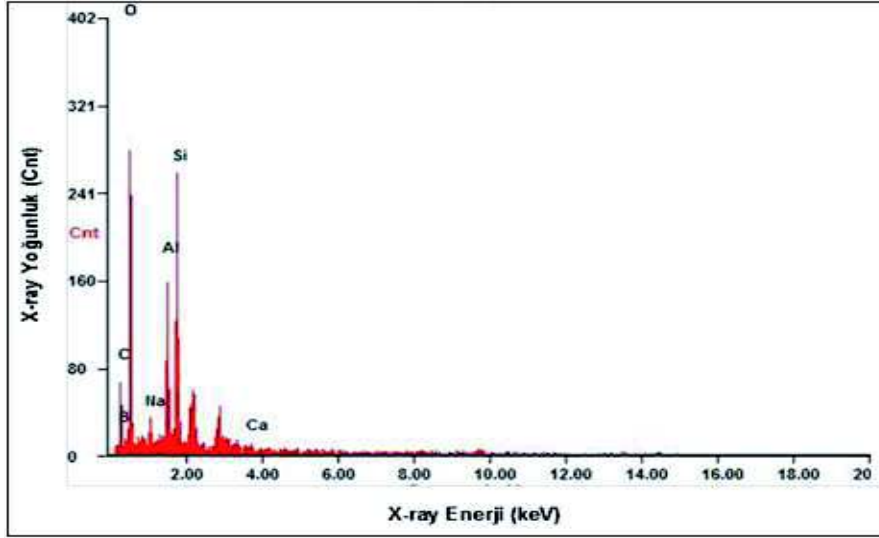
Kolemanit katkılu olarak üretilen tuğlalarda (400°C pişme sıcaklığında) bağlayıcı olarak kullanılan kolemanit mineralinin EDS analizlerinden elde edilen sonuçlara göre; B (%28,19), C (%25,5), O (%29,69), Si (%9,42), Al (%5,27), Na (%1,12),

Mg (%1,08), Ca (%0,92) elementlerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 10).

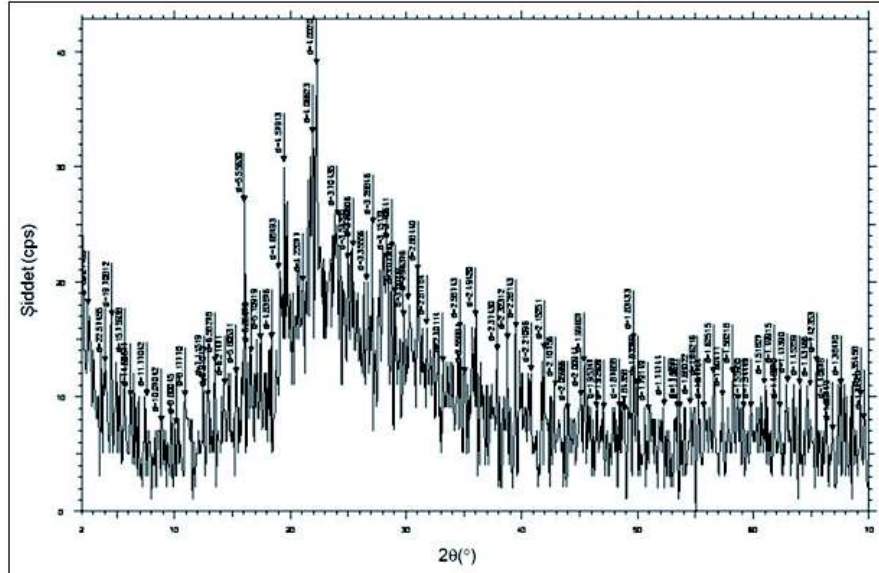
3.2.3 Tuğlaların XRD Analizi

400°C pişme sıcaklığında üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen

mineralojik analiz sonuçları (Şekil 11) incelendiğinde; tuğla bünyesinde kolemanit, tridimit kristobalit, feldspat ve kuvars varlığı belirlenmiştir.



Şekil 10. Kolemanit katkılı tuğlaların 400°C pişme sıcaklığında EDS analizi



Şekil 11. Kolemanit katkılı tuğlaların X-ray difraktometre analiz sonuçları

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, kolemanit (%5, 10, 15, 20) ve %5 CMC (karboksümetilselüloz) katılarak 4 ayrı reçetede üretilen tuğlaların kimyasal ve fizikomekanik özellikleri belirlenmiş olup en iyi mukavemet değerini veren aralık tespit edilmiştir.

Tuğlaların fizikomekanik özellikleri değerlendirildiğinde; kolemanit katkısı arttıkça numunelerin birim hacim ağırlık değerleri artmakta, sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Deneylerde, %5 kolemanit katkılı numunelerin en düşük birim hacim ağırlık değerlerini verdiği ve 400°C sıcaklıkta pişirilen kolemanit katkılı tuğlaların tüm pişme sıcaklıkları içinde en iyi ortalama birim hacim ağırlık değerini ($631,0 \pm 25,3 \text{ kg/m}^3$) sağladığı görülmüştür.

Elde edilen veriler, tuğlaların pişme sıcaklığı dikkate alınarak değerlendirildiğinde, bor katkı oranlarına göre pişme sıcaklığının artmasıyla numunelerin basma dayanımının arttığı görülmüştür. Kolemanit katkılı tuğlaların (%10 ve 400°C'de pişirilen) ortalama basma dayanımı değerleri ($24,8 \pm 1,3 \text{ kg/cm}^2$) kontrol numunelerinden elde edilen değerlere kıyasla 2,27 kat daha fazla bulunmuştur.

Yapılan çalışmalarda sonik hız deney sonuçları incelendiğinde, %15 kolemanit katkılı ve 400°C ısıda pişirilen numuneler en yüksek ortalama sonik hız geçiş değerleri ($2,72 \pm 0,04 \text{ km/sn}$) vermektedir. Bor katkı miktarı ve pişme sıcaklığının artmasıyla sonik hız geçiş değerleri doğru orantılı olarak artmaktadır.

Üretilen tuğlaların su emme deney sonuçları incelendiğinde, %10-15 kolemanit katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numuneler en düşük ortalama su emme değerlerini ($45,2 \pm 2,3$) vermektedir. Kolemanit katkılı tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça su emme miktarı azalmaktadır. Tuğlaların porozite deney sonuçları incelendiğinde, %10-15 kolemanit katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin en düşük porozite değerini ($10,2 \pm 2,1$) verdiği belirlenmiştir. Kolemanit katkılı tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça porozite azalmaktadır.

Kolemanit SEM (görüntülü) analizleri, en yüksek mukavemet değerini veren (%10 kolemanit katkılı) ve farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğlalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. 200°C sıcaklıkta pişirilen tuğlalarda kolemanit mineralinin bağ yapmaya, 300°C sıcaklıkta sinterleşme reaksiyonuna başladığı ve 350-400°C sıcaklıkta kolemanit mineralinin perlit taneleri arasında eriyerek mukavemet artışı sağladığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu bildiri Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü tarafından desteklenen "Bor Katkılı Perlit Karışımlardan Hafif Tuğla Üretimi ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi" başlıklı araştırma projesi (proje kod no: 2008-BO201) kapsamında hazırlanmıştır. Yazarlar bu bildirin hazırlanmasında her türlü desteği sağlayan Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü Başkanlığı'na teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- Attenborough, K., 1983. Acoustical Characteristics of Rigid Fibrous Absorbent and Granular Materials, *Journal of the Acoustical Society of America*, 73 (3), 785-799.
- Ayberk, M., 1995. Perlitin Yapı Gereci Olarak Kullanımı ve Yapı Maliyetine Etkisi, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s; 203-206.
- Bideci, Ö., Bideci, A., 2009. Perlit Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliği, 7. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir-Kuşadası, s; 69-73.
- Çelik A.G. 2010. Bor Katkılı Perlit Karışımlardan Hafif Tuğla Üretimi ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, 317 s., Adana.
- Çelik A.G., Çakal G., Kılıç A.M., 2012. Espey Kolemanitinin Termal ve Fiziksel Özelliklerine Sıcaklığın Etkisi, 8. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İstanbul, s; 105-113.
- Çobanlı, M.R., 1993. Isı Direnci Yüksek Hafif Yapı Malzemesi Üretimi Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh., sayfa 44.
- Kavas, T., 2006. Use of Boron Waste as a Fluxing Agent in Production of Red Mud Brick, *Building and Environment*, Vol.41, pp.1779-1783.
- Köktürk, U., 1993. Endüstriyel Hammaddeler, *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*, İzmir, No:205-256.

- Ogle, D., 2003. Making Lightweight Refractory Ceramic From Perlite and Clay, Aprovecho Research Center, p;2-7.
- Sönmez, E., Yorulmaz, S., 1995. Kırka Boraks İşletmesi Artık Killerinin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s:163-168.
- Topçu, B., Işıladağ, B., 2008. Effect of Expanded Perlite Aggregate on The Properties of Lightweight Concrete, *Journal of Materials Processing Technology* 204, 34-38.
- TS 705, 1986. Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli, Ankara.
- TS 406, 1988. Beton bloklar, “Briketler-Duvarlar için”, 17s, Ankara

Bor İçeren Betonların Termomekanik Özellikleri *Thermo-Mechanical Properties of Concrete Containing Boron*

H. Sarıkaya

Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın Meslek Yüksek Okulu, Aydın

R. Altındağ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Bu çalışmada, bor yataklarından elde edilen bor mineralleri farklı oranlarda kullanılarak çeşitli amaçlara yönelik özellikli betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlarda Su/Çimento oranı 400 kg/m³ beton için 0,40, 450 kg/m³ beton için 0,35 alınarak agrega hacminin ağırlıkça % 2,5 ve % 5 oranlarında bor kullanılmıştır. Üretilen beton serilerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile radyasyon soğurma katsayıları bulunmuştur. Beton bileşimleri ve agregadaki bor miktarı değişiminin beton dayanım değerlerini ve soğurma katsayılarının değişimi incelenmiş ve hangi oranlarda değiştirdiği belirlenmiştir. Çalışma neticesi normal agrega yerine bor kullanılması ile bor oranı artışı ve soğurma katsayısının azaldığı, fiziksel ve mekanik dayanımlarda değişme olduğu tespit edilmiştir.

ABSTRACT In this study, using different proportions of boron deposits obtained from various purposes are manufactured with concrete. In the study produced concrete water / cement ratio for concrete 400 kg/m³ of 0.40, 0.35 for concrete on the aggregate volume of 450 kg/m³ of % 2.5 and % 5 by weight of boron is used. The physical and mechanical properties of the finished concrete products and radiation absorption coefficients of the series found. The amount of boron compounds, and aggregate concrete compressive strength values and the absorption coefficients of variation were examined, and which exchange rates were changed. Aggregate as a result of operation instead of the normal use of boron and boron absorption coefficient decreases with increasing rate, has been found to change the physical and mechanical strength.

1 GİRİŞ

İnsanoğlunun var oluşundan bu yana yeme içme ihtiyacından sonra ikincil temel ihtiyacı barınma olmuştur. Böylece yapı sektörü hep gündemde kalmış ve her an daha güzel, pratik yöntemler geliştirmeye yönelik çalışmalar devam etmiştir. Günümüz dünyasında ise her alanda olduğu gibi bu

alanda da temel gaye, en kısa zamanda en az harcama ile çözüme ulaşmaktır. Günümüzde kullanımda ortaya çıkan ihtiyaçlar nedeni ile, çeşitli özellikleri geliştirilmiş veya üretim ve uygulama teknikleri farklı bazı özel betonlar yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı mineral ve kimyasal katkı maddelerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen,

başlangıçta akışkan olduğu için istenilen kalıbın şeklini kolayca alan, sertleştikten sonra ise yüksek bir dayanıklılık ile belirli bir taşıma gücü için gerekli dayanımı sağlayabilen yapay bir yapı malzemesidir (Baradan,2000).

Türkiye Dünya bor madeni rezervinin %72'sine sahiptir (Etimaden, 2012). Bu özelliği ile Dünya ham bor madeni üretiminde birinci sırada yer almaktadır. Öte yandan, tek başına dünya bor talebini 567 yıl karşılayabilmesi söz konusudur. Dünya bor madeni rezervinin %7'sine sahip olan ABD ise, yakın gelecekte bor rezervlerinin tükenmesi ile karşı karşıyadır. ABD'deki bor rezervlerinin dünya bor talebini karşılayabilme süresi ise yalnızca 53 yıldır (Etimaden, 2012).

Teknolojinin gelişimi ile radyasyon tıp, enerji, endüstri gibi alanlarda sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle radyasyonla ilgili çalışmalar artmaktadır. Özellikle radyasyonun canlılar için zararlı olmasından dolayı radyasyondan korunma yöntemleri önem kazanmıştır. Bu yöntemler mesafe, zaman ve zırhlama. Bu yöntemler içerisinde en önemlisi olan zırhlama, radyasyondan korunacak sistemle radyasyon kaynağı arasına engel (soğurucu) konulmasına dayanmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar radyasyonun zırhlamasına yönelik farklı malzemeler üreterek bu malzemelerin radyasyon soğurma özelliklerinin incelemiştir (Akkurt vd. 2010-2012). Farklı agregalı betonların radyasyon zırhlama özelliklerini incelemiştir. Bazı ülkelerde bina inşaatlarında kullanılan yapı malzemelerinin gama ışını zırhlama katsayılarını araştırılmıştır. (Medhat, 2009; Akkurt, 2004; Kharite, 2008).

Bu çalışmada, bor yataklarından elde edilen bor mineralleri, % 2,5 ve % 5 oranlarında agrega yerine ve boru öğütüldükten sonra 50 mikron elekten eleyerek, betonda ince malzeme yerine konularak betonlar üretilmiştir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyaller

Çalışmada normal beton üretiminde (NK40 ve NK50) Aydın ili Söke ilçesi Çorapçı Boğazı merkezinden elde edilen Karakaşlar kum çakıl ocağından temin edilen agrega kullanılmıştır. Karışımlarda % 40' ı ince agrega (tane çapı 0–4 mm.) ve % 60' ı kalın agrega (4–16 mm) kullanılmıştır. NK40 ve NK50 karışım hesapları, üretilen betonun plastik kıvamda ve en büyük tane çapı 16 mm olacak şekilde TS 802 yöntemine göre hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalarda suya ilave katkı olarak Draco Yapı Kimyasalları'nın ürettiği Levelcon 1200 yüksek performanslı beton üretiminde kıvam korumalı ve yüksek oranda su azaltan kimyasal katkı kullanılmıştır. Çimento olarak Antalya Bucak'ta bulunan As Çimento Fabrikası'nda üretilmiş PÇ 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimento ve borun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1 ve 2.' de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimento ve borun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşen	PÇ42,5 (%)	Kolemanit(%)		Üleksit(%)	
		Tüvenan	Konsantr	Tüvenan	Konsantr
Be ₂ O ₃	-	29,70	4,23	32,25	38,88
SiO ₂	20,02	10,51	4,94	5,21	2,02
Fe ₂ O ₃	3,52	0,11	0,006	-	-
Al ₂ O ₃	5,16	0,73	0,009	-	-
CaO	63,46	24,58	27,74	20,84	16,67
MgO	1,03	5,47	2,04	2,76	1,01
SO ₃	2,74	0,54	0,52	0,48	0,31
SrO	-	1,26	0,62	-	-
Na ₂ O	-	0,19	0,13	-	-
H ₂ O	-	24,44	3,44	-	-

Çizelge 2. Çimentonun fiziksel özellikleri

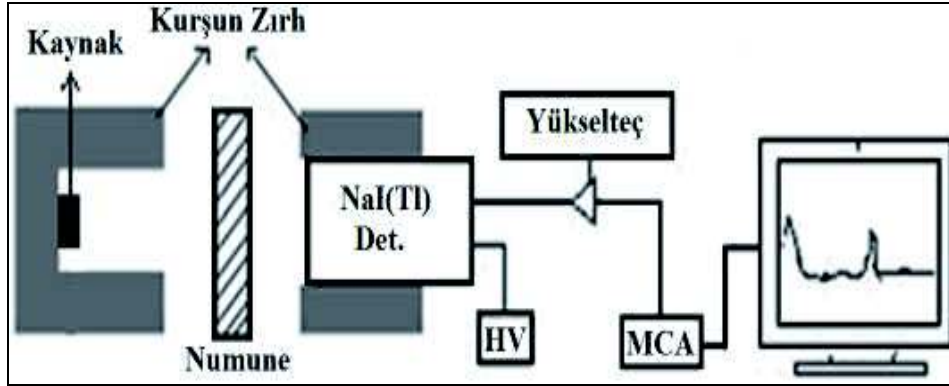
Bileşen	PÇ 42,5
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,124
Donma Başlangıcı (dakika)	180
Donma Sonu (dakika)	280
Hacim Genleşmesi (mm)	1,10
7 günlük basınç dayanımı (N/mm ²)	26,60
28 günlük basınç dayanımı (N/mm ²)	49,60

2.2. Yöntem

Çalışmada Su/Çimento oranı 400 kg/m^3 beton için 0,40, 450 kg/m^3 beton için 0,35 alınarak agrega hacminin ağırlıkça % 2,5 ve % 5 oranlarında bor kullanılmıştır. Agrega yerine kullanılan bor isimlendirmede NBA, ince malzeme olarak kullanılan bor oranında ise isimlendirmese NBİ olarak isimlendirilmiştir. Üretilen betonların karışım yüzdeleri Çizelge 3’ de verilmiştir. Üretilen beton numunelerinin karışım miktarları Çizelge 4 ve 5’ de verilmiştir. Beton numunelerinin üzerinde fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için 10cm boyutlarındaki küp numuneler üretilmiştir. Üretilen beton numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak $20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ve 90 ± 5 bağıl nem ortamında deneylerin yapılacağı zamana kadar kür edilmiştir. Hazırlanan beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayılarının ölçümü “Hot Wire” yönteminden yararlanılarak geliştirilen Shotherm QTM-D₂

cihazı ile yapılmıştır. 28 ve 90 günlük basınç dayanımları beton dayanım basınç presinde TS EN 12390-3 standartlarına göre basınç deneylerinde yükleme hızı saniyede 0,35 MPa olarak sabit tutulmuştur. Ultrases hız ölçümü ise 12 voltluk akümülatör ile çalışan dijital göstergeli Ultrases ölçme aleti ile yapılmıştır.

Betonların üretimi ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı ve doğal taşlar teknolojisi laboratuvarında ve Aydın As Beton Yapı Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Betonların radyasyon soğurma deneyleri Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik A.B.D. Gamma Spektroskopi Laboratuvarında bulunan NaI(Tl) dedektörlü gama spektroskopi sistemi kullanılarak yapılmıştır. Sistemin şematik görünümü Şekil 1’ deki gibidir.

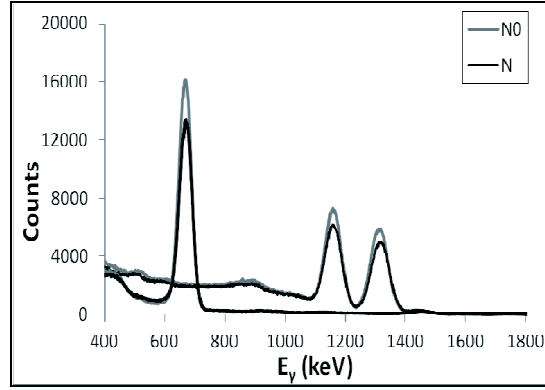


Şekil 1. NaI(Tl) dedektörlü gama spektroskopi sistemi

Malzeme üzerine gelen radyasyonun şiddetindeki azalmaya radyasyonun zayıflaması veya zayıflatılması, etkileştiği maddede terk edilen enerjiye de soğurma denilmektedir. N şiddetinde paralel bir gama radyasyon demeti, Δx kalınlığındaki bir soğurucuda ΔI kadar azalursa, bu durum

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

ile ifade edilir. Burada N soğurucudan çıkan, N_0 da soğurucuya giren radyasyonun şiddetini, x soğurucunun kalınlığını, μ ise lineer soğurma katsayısını gösterir. Ölçümlerde ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1173 ve 1332 keV) radyoaktif kaynakları kullanılmıştır. Bu kaynaklarla elde edilen spektrumlar Şekil 2’ de gösterilmiştir.



Şekil 2. ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif kaynakları için soğurucu varken ve yokken elde edilen spektrumlar

Çizelge 3. Üretilen betonların karışım yüzdeleri

Kodu	Beton Sınıfı	Agrega (%)	Bor (%) (Üleksit-Konsantre) (agrega olarak)	Bor (%) (Üleksit-Konsantre) (ince malzeme olarak)
NK40	400 kg/m ³	100	-	-
NBA40-1	400 kg/m ³	97,5	2,5	-
NBA40-5	400 kg/m ³	95	5	-
NBİ40-1	400 kg/m ³	97,5	-	2,5
NBİ40-5	400 kg/m ³	95	-	5
NK50	450 kg/m ³	100	-	-
NBA50-1	450 kg/m ³	97,5	2,5	-
NBA50-5	450 kg/m ³	95	5	-
NBİ50-1	450 kg/m ³	97,5	-	2,5
NBİ50-5	450 kg/m ³	95	-	5

Çizelge 4. 400 kg/m³ betonlar için karışım miktarları (kg/m³)

Beton kodu	Su	Çimento	Katkı	İnce Agregası	Kalın Agregası	İnce Bor	Kalın Bor
NK40	160	400	3,2	722	1111	-	-
NBA40-1	160	400	3,2	704	1083	18	28
NBA40-5	160	400	3,2	686	1055	36	56
NBİ40-1	160	400	3,2	704	1111	18	-
NBİ40-5	160	400	3,2	686	1111	36	-

Çizelge 5. 450 kg/m³ betonlar için karışım miktarları (kg/m³)

Beton kodu	Su	Çimento	Katkı	İnce Agregası	Kalın Agregası	İnce Bor	Kalın Bor
NK50	158	450	3,6	706	1088	-	-
NBA50-1	158	450	3,6	688	1061	18	27
NBA50-5	158	400	3,2	671	1034	36	54
NBİ50-1	158	400	3,2	688	1088	18	-
NBİ50-5	158	400	3,2	671	1088	36	-

3 BULGULAR

Bor (üleksit konsantr) içeren beton numunelerden elde edilen birim ağırlıkları, basınç dayanımları, ultrases hızları, ısı iletkenlik katsayısı ve radyasyon zayıflatma katsayısı sonuçları 400 kg/m³

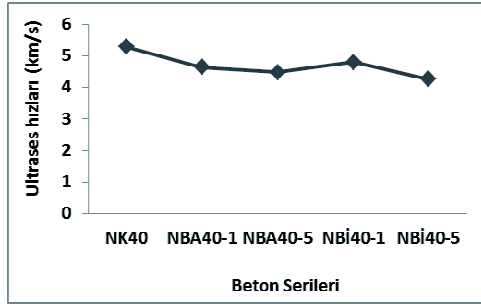
betonlar için Çizelge 6., 450 kg/m³ betonlar için ise Çizelge 7.' de verilmiştir. Bor içeren betonların ultrases hızları ve ısı iletkenlik katsayısı ile ilgili şekiller Şekil 3–6.' da verilmiştir. Üretilen beton numunelerde kendi içinde bor miktarı arttıkça birim ağırlıklar artmış ultrases hızları ve ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır.

Çizelge 6. 400 kg/m³ betonların fiziksel ve mekanik özellikleri

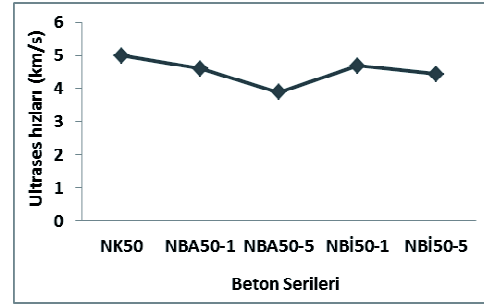
Beton Serisi	Birim Ağırlıkları (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)		Ultrases Hızları (km/s)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	E (MeV)		
		28 günlük	90 günlük			662keV	1173keV	1332keV
NK40	2,497	47,43	53,41	5,28	2,14	0,22318	0,12623	0,12562
NBA40-1	2,351	20,66	22,94	4,64	1,87	0,20919	0,13684	0,12125
NBA40-5	2,415	19,40	21,40	4,47	1,78	0,20131	0,12313	0,13231
NBİ40-1	2,345	20,21	22,33	4,80	1,81	0,19425	0,13606	0,12792
NBİ40-5	2,379	17,80	18,47	4,26	1,72	0,20295	0,13087	0,12903

Çizelge 7. 450 kg/m³ betonların fiziksel ve mekanik özellikleri

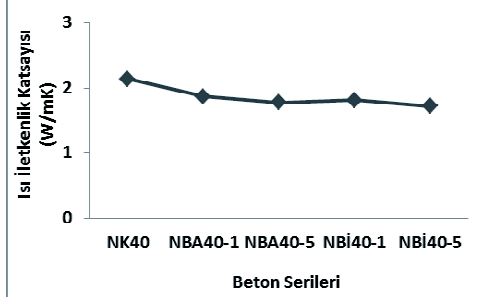
Beton Serisi	Birim Ağırlıkları (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)		Ultrases Hızları (km/s)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	E (MeV)		
		28 günlük	90 günlük			662keV	1173keV	1332keV
NK50	2,473	57,23	62,48	4,99	2,30	0,18431	0,12961	0,12576
NBA50-1	2,411	22,67	25,12	4,61	1,99	0,20852	0,14698	0,11606
NBA50-5	2,360	21,45	23,77	3,89	1,87	0,21575	0,14015	0,12979
NBİ50-1	2,403	19,97	22,02	4,69	1,93	0,20292	0,13679	0,12140
NBİ50-5	2,407	19,44	21,19	4,44	1,84	0,21812	0,14929	0,13537



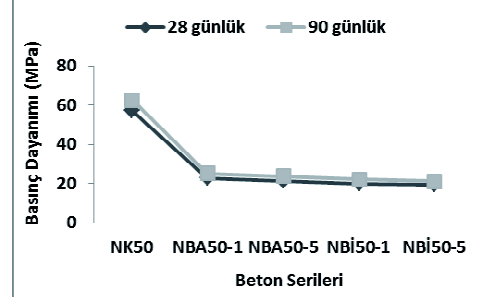
Şekil 3. 400 kg/m³ betonların ultrases hızları



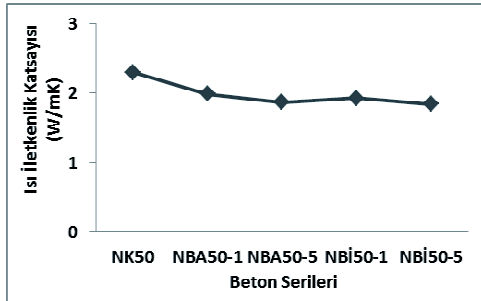
Şekil 4. 450 kg/m³ betonların ultrases hızları



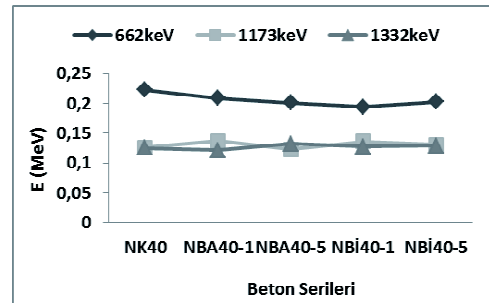
Şekil 5. 400 kg/m³ betonların ısı iletkenlik katsayıları



Şekil 8. 450 kg/m³ betonların basınç dayanımları

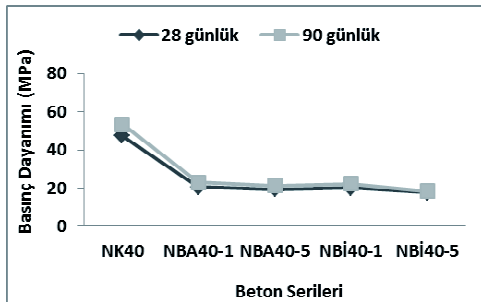


Şekil 6. 450 kg/m³ betonların ısı iletkenlik katsayıları

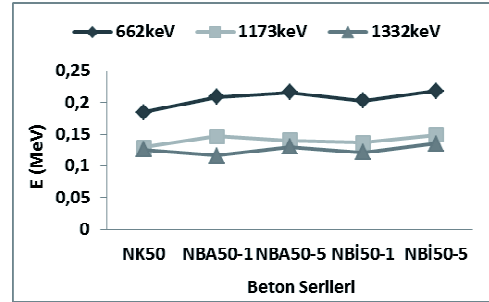


Şekil 9. 400 kg/m³ betonların soğurma katsayısı sonuçları

Üretilen beton numunelerde bor miktarı arttıkça basınç dayanımında olumsuz yönde bir düşüş görülmektedir. Bor katkılı bütün beton numunelerinde 90 günlük basınç dayanımlarında 28 günlük basınç dayanımlarına göre yaklaşık % 10'luk bir artış görülmektedir (Şekil 7-8).



Şekil 7. 400 kg/m³ betonların basınç dayanımları



Şekil 10. 450 kg/m³ betonların soğurma katsayısı sonuçları

Üretilen 400 kg/m³ beton numunelerinde bor miktarı arttıkça soğurma katsayısının azaldığı görülmektedir. İnce malzeme kullanılarak üretilen betonların soğurma katsayısının agrega kullanılarak üretilen betonlara göre daha düşük olduğu da görülmektedir.

450 kg/m³ betonlarda ise bor miktarı arttıkça soğurma katsayısının arttığı görülmektedir. İnce malzeme kullanılarak üretilen betonlar ve agregalar kullanılarak üretilen betonlarda ise soğurma katsayılarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki grafikten artan enerjiye bağlı olarak soğurma katsayısının düştüğü görülmektedir (Şekil 9-10).

4 SONUÇLAR

Agrega yerine kullanılan bor ve ince malzeme olarak kullanılan bor numunelerinde basınç dayanımlarında normal betona göre yaklaşık yarı yarıya bir düşüş olduğu görülmektedir. Agregalar yerine kullanılan bor ve ince malzeme olarak kullanılan bor numunelerinde bor miktarı arttıkça beton numunelerinin ultrases hızları ve ısı iletkenlik katsayılarında düşüş olduğu görülmektedir. Isı iletkenlik katsayısının azalması ise ısı yalıtımına katkı sağlayacaktır. 400 kg/m³ betonlarda agregalar yerine kullanılan bor numunelerinde bor miktarı arttıkça soğurma katsayısının azaldığı görülmektedir, ince malzeme olarak üretilen betonlarda bor, betonun bütün yüzeyine daha homojen olarak dağıldığı için, agregalar yerine kullanılan borlu betonlara göre soğurma katsayısının daha da düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki grafikte de

görüldüğü üzere, artan enerjiye bağlı olarak soğurma katsayısının düştüğü görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S., 2004. The photon attenuation coefficients of barite, Marble and Limra. *Ann. Nucl. Energy* 31(5), 577-582.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2010. Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate. *Ann. Of Nucl. En.* 37, 910-914.
- Akkurt, I., Altındag, R., Günoğlu, K., Sarıkaya, H., 2012. Photon attenuation coefficients of concrete including marble aggregates. *Annals of Nuclear Energy* 43, 56-60.
- Baradan, B., 2000. *Yapı Malzemesi II*, DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 221 s.
- Etimaden, 2012. Bor Hakkında Genel Bilgiler.
- Kharita, M.H., Takeyeddin, M., Alnassar, M., Yousef, S., 2008. Development of special radiation shielding concretes using natural local materials and evaluation of their shielding characteristics. *Prog. Nucl. Energy* 50, 33-36.
- Medhat, M.E., 2009. Gamma-ray attenuation coefficients of some building materials available in Egypt. *Ann. Nucl. Energy* 36 (6), 849-852.
- TS 802.1985. Beton Karışım Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3. 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneylemleri- Deneysel numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Farklı Bor Bileşikleri İçeren Alçıların Doğrusal Zayıflatma Katsayılarının Araştırılması

Investigation of Linear Attenuation Coefficients Plasters Containing Different Boron Compounds

İ.Akkurt

Süleyman Demirel Üniversitesi, Fizik Bölümü, Isparta

K.Günoğlu

Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Isparta

R.Altındağ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

H.Sarıkaya

Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın MYO, Aydın

G.Ekincioğlu

Ahi Evren Üniversitesi Kaman MYO, Kırşehir

ÖZET Bu çalışmada, üleksit ve kolemanit bor bileşikleri içeren alçıların doğrusal zayıflama katsayısı incelenmiştir. Ölçümler, gama spektrometre sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistem NaI (Tl) dedektörü ve Çok Kanallı Analizör (MCA) içermektedir. Ölçümlerde 511, 835, 1275 keV enerjili gama yayınlayan ²²Na ve ⁵⁴Mn radyoaktif kaynakları kullanılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, XCOM yazılımı kullanılarak hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak alçı içerisine katılan üleksit ve kolemanit bor bileşiklerinin radyasyon tutuculuğunu artırdığı gözlenmiştir.

ABSTRACT In this study, linear attenuation coefficient for gypsum containing ulexite and colemanite boron compounds has been investigated. The measurements have been performed by using gamma spectrometer system. This system contains NaI(Tl) detector and Multi-Channel-Analyser (MCA). In measurements, ²²Na and ⁵⁴Mn radioactive sources, emitted 511, 835, and 1275 keV gamma energies, were used. The measured results were compared with the calculation obtained using computer code of XCOM.

1 GİRİŞ

Bor, doğada serbest bir element olarak değil, başka elementlerle bileşikler halinde bulunmaktadır. En yaygın bileşikleri: Sodyum, Kalsiyum ve Magnezyumdur. Sodyum kökenli olanlara Tinkal (boraks),

Kalsiyum kökenli olanlara Kolemanit, Sodyum ve Kalsiyum kökenli olanlara da Üleksit adı verilir. Bor periyodik tabloda B simgesiyle ifade edilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81, yoğunluğu 2,84 gr/cm³ olan metal ve ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir.

Hafifliği, gerilmeye olan direnci ve kimyasal etkilere dayanıklılığı sebebiyle; plastiklerde, sanayi elyafı üretiminde, lastik ve kâğıt endüstrisinde, tarımda, nükleer enerji santrallerinde, roket yakıtlarında da kullanılmaktadır. Camın sıcaklık ile genişemesini önemli ölçüde indirdiği, camı asite ve çizilmeye karşı koruduğu, titreşim, yüksek sıcaklık ve sıcaklık şoklarına karşı dayanıklılığı sağladığı için sıcaklığa dayanıklı cam gereçler, elektronik ve uzay araştırmalarında kullanılacak üstün nitelikli camların üretiminde de önemli yeri vardır (Yenmez, 2009).

Yeryüzünde çeşitli miktarlarda doğal olarak bulunan radyoaktif maddeler ve bunların bozunma ürünleri tarafından dünya sürekli bir ışınlanmaya maruz kalmaktadır. Güneşten gelen kozmik ışınlar da bu ışınlanmanın kaynaklarından biridir. Ayrıca, teknolojinin gelişimi ile radyasyon tıp, endüstri ve enerji üretimi alanlarında sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür radyasyonlardan korunmak insan sağlığı için önemlidir. Radyasyondan korunmanın üç temel yolu vardır. Bunlar mesafe, zaman ve zırhlama kuralıdır. Bunlardan en önemlisi olan zırhlama radyasyon kaynağı ile korunacak sistem arasına engel konulması esasına dayanmaktadır. Bu bağlamda, insanların hayatlarının büyük bir kısmını geçirdiği binalarda kullanılan malzemeler ile radyasyon etkileşimi daha fazla önem kazanmaktadır. Malzemelerin radyasyonu koruyucu özelliği doğrusal zayıflatma katsayısı μ (cm^{-1}) cinsinden verilmiştir (Woods, 1982). Bu birim yol uzunluğu başına bir malzeme ile radyasyonun etkileşme olasılığı olarak tanımlanır. Bu konu insan sağlığı için çok önemli olduğundan birçok araştırmacı yapı malzemelerinin doğrusal zayıflatma katsayısı üzerine birçok çalışma yapmışlardır. Kharite vd. (2008) yerli doğal malzemeler kullanarak ürettikleri betonların radyasyon zırhlama karakteristiklerini incelemiştir. Medhat (2009), Mısır'da kullanılan bazı yapı malzemelerinin gama ışını zırhlama katsayılarını araştırmıştır. Singh vd. (2004) yapı malzemelerini radyasyon zırhlama özelliklerinin enerji ve kimyasal içeriğe

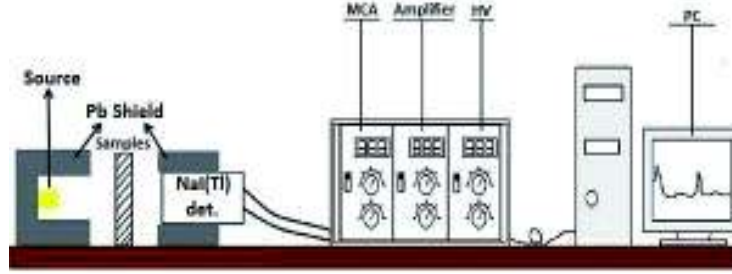
bağlılığını incelemiştir. Akkurt vd. (2010a, b, 2012) beton içerisine zeolit, barit ve mermer katmanın betonun radyasyon zırhlama özelliklerini nasıl değiştirdiğini incelemiştir.

Bu çalışmada birçok alanda kullanılan borun farklı bileşiklerini içeren alçı örneklerinin radyasyon zırhlama özellikleri NaI(Tl) detektörlü gama spektroskopisi kullanılarak ölçülmüştür.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

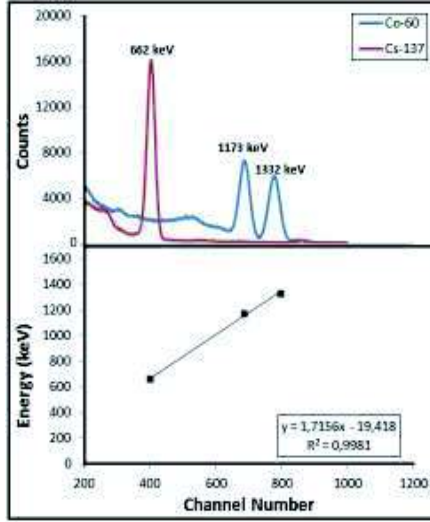
Çalışma kapsamında sadece alçı kullanılarak ve %2,5 oranında kolemanit ve üleksit bor bileşiklerini içeren alçı numuneleri üretilmiştir. Alçı örneklerinin doğrusal zayıflatma katsayısı ^{22}Na ve ^{54}Mn radyoaktif kaynaklarından elde edilen 511, 835, 1275 keV gama enerjileri için ölçülmüştür. Ölçümler NaI(Tl) detektörü ve 16k kanallı Çok Kanallı Analizör içeren gama spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen spektrumların analizi MAESTRO-32 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Sistemin şematik görünümü Şekil 1'deki verilmiştir.

Ölçümlerden önce sistem kalibre edilmelidir. Bunun için ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif kaynakları kullanılmıştır. ^{137}Cs radyoaktif kaynağı 662 keV enerjili bir gama ışını üretirken ^{60}Co kaynağı 1173 keV ve 1332 keV enerjili iki gama ışını üretmektedir. Kalibrasyon için bu kaynaklar kullanılarak elde edilen gama ışını spektrumu ve uygunluğu Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Gama spektroskopi sisteminin şematik görünümü

Kullanılarak elde edilen gama ışını spektrumu ve uygunluğu Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. ¹³⁷Cs ve ⁶⁰Co kaynakları için elde edilen kalibrasyon spektrumu (üstte) ve uygunluk (altta)

Alınan ölçümler sonucunda zayıflama katsayıları Beer-Lambert eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Bu aşağıdaki gibidir

$$\mu = \frac{1}{x} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (1)$$

burada x yüksek fırın cürufllu betonun kalınlığını, I_0 kaynak ve detektör arasında beton yokken kaydedilen pik alanını ve I kaynak ve detektör arasında beton varken kaydedilen pik alanını göstermektedir. Pik alanları değerleri MAESTRO-32 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar yardımıyla Ortalama Serbest Yol (Mean Free Path) (mfp) hesaplanabilir. Ortalama Serbest Yol (cm) fotonların iki ardışık etkileşimi arasındaki ortalama uzaklık olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$mfp = \frac{1}{\mu} \quad (2)$$

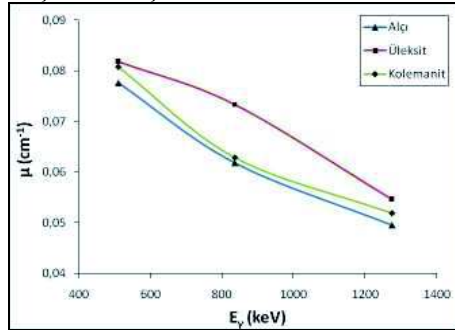
Ölçülen doğrusal zayıflama katsayıları XCOM koduyla hesaplanan kütleli soğurma katsayısı (μ/ρ) ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. XCOM yazılımı bir veri tabanıdır. XCOM kütleli soğurma katsayısını hesaplamakta koherent ve inkoherent saçılmalar, fotoelektrik soğurma ve çift oluşumu için önceden var olan veri tabanlarını kullanır (Berger, 1987). Bu girdi kimyasal içeriği ve çıktı ise kütleli soğurma katsayısıdır. Alçı numunelerinin kimyasal içerikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Alçı ve Üleksit, Kolemanit içeren alçı numunelerinin kimyasal içerikleri

Kimyasal İçerik (%)	Alçı	Üleksit	Kolemanit
CaO	0,4144	0,407	0,4087
MgO	0,0065	0,0063	0,0066
Fe ₂ O ₃	0,0228	0,0222	0,0222
CO ₂	0,0259	0,0253	0,0253
SiO ₂	0,1296	0,1269	0,1273
H ₂ O	0,3523	0,3523	0,3528
Al ₂ O ₃	0,0324	0,0316	0,0316
SO ₂	0,016	0,0156	0,0156
Be ₂ O ₃	0	0,0063	0,0006
Yoğunluk (g/cm ³)	0,9	0,974	0,958

3 BULGULAR

Alçı ve farklı bor bileşikleri ile üretilmiş olan alçı numuneleri için deneysel olarak elde edilen doğrusal zayıflatma katsayısı sonuçları Şekil 3’ de gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi alçı içerisinde katılan bor bileşikleri alçının radyasyon zayıflatma özelliğini artırmıştır. Ayrıca, üleksit bileşiği içeren alçı numunesinin kolemanit bileşiği içeren alçı numunesine göre daha yüksek sonuçlar vermiştir.

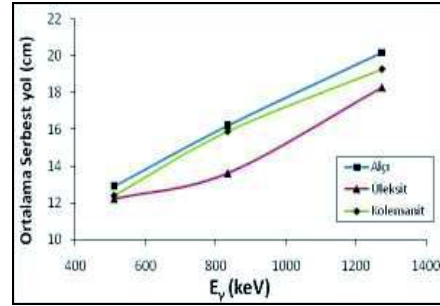


Şekil 3. Doğrusal zayıflatma katsayısı ölçüm sonuçları

Ayrıca Şekil 3’te doğrusal zayıflatma katsayısının malzeme ile etkileşen fotonun enerjisine bağlı olduğu ve artan foton enerjisiyle zayıflatma katsayısının düştüğü görülmüştür.

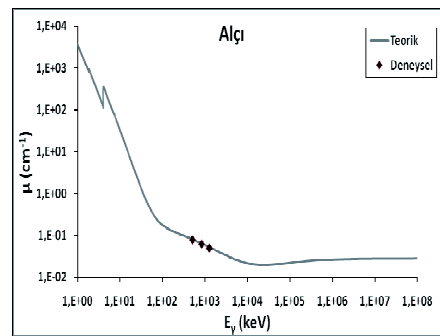
Elde edilen bu ölçüm sonuçlarından yararlanılarak ortalama serbest yol (cm) hesaplanmıştır. Ortalama serbest yol için elde edilen sonuçlar enerjinin fonksiyonu olarak Şekil 4’te gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yüksek enerjili fotonların enerjilerini

kaybetmek için uzun mesafelere ihtiyacı varken düşük enerjili fotonlar daha kısa mesafelerde enerjilerini kaybetmişlerdir. Ayrıca, 511, 835, 1275 keV enerjilerde ortalama serbest yol değeri için en yüksek sonuç sadece alçı ile üretilen örneklerde gözlenirken en düşük sonuç üleksit katkılı alçı örneğinde gözlenmiştir.

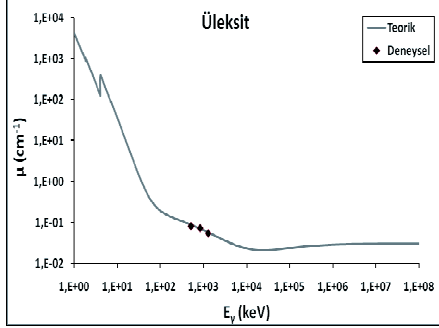


Şekil 4. Ortalama serbest yolun enerjile değişimi

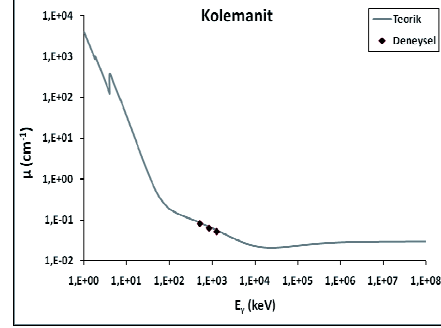
Deneysel olarak ölçülen ve XCOM yazılımı kullanılarak hesaplanan değerler alçı için Şekil 5’ te, üleksit içeren alçı için Şekil 6’da ve kolemanit içeren alçı için Şekil 7’de karşılaştırılmıştır. Şekil 5, 6, 7’den de görüldüğü gibi ölçüm sonuçları ile hesaplanan sonuçlar iyi bir uyum içerisinde. Yine Şekil 3’te doğrusal zayıflatma katsayısının malzeme ile etkileşen fotonun enerjisine bağlı olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Alçı için ölçülen ve hesaplanan doğrusal zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması



Şekil 6. Üleksit içeren alçı için ölçülen ve hesaplanan doğrusal zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması



Şekil 7. Kolemanit içeren alçı için Ölçülen ve hesaplanan doğrusal zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması

4 TARTIŞMA VE SONUÇ

Sonuç olarak alçı içerisine katılan üleksit ve kolemanit bor bileşiklerini alçının radyasyon tutuculuğunu artırdığı gözlenmiştir. Alçı içerisine katılan üleksit bileşiğinin kolemanit bileşiğine göre 511, 835, 1275 keV enerjiler

için alçının radyasyon zayıflatma katsayısını artırdığı gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre alçı içerisine bor bileşiklerinin katılması radyasyon zırhlamasın da alternatif bir malzeme olacağını göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2010a. Radiation shielding of concrete containing zeolite. Radiation Measurements 45, 827-830
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2010b. Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate. Annals of Nuclear Energy 37, 910–914
- Akkurt, I., Altindag, R., Günoğlu, K., Sarıkaya, H., 2012. Photon attenuation coefficients of concrete including marble aggregates. Annals of Nuclear Energy 43, 56–60.
- Berger, M.J., Hubbell, J.H., NBSIR 87-3597, 1987. Photon cross sections on a personal computer. National Institute of Standards, Gaithersburg, MD, USA. <<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/XCOM.html>>.
- Kharita, M.H., Takeyeddin, M., Alnassar, M., Yousef, S., 2008. Development of special radiation shielding concretes using natural local materials and evaluation of their shielding characteristics. Prog. Nucl. Energy 50, 33–36.
- Medhat, M.E., 2009. Gamma-ray attenuation coefficients of some building materials available in Egypt. Ann. Nucl. Energy 36 (6), 849–852.
- Singh, Charanjeet, Singh, Tejbir, Kumar, Ashok, Mudahar, Gurmel S., 2004. Energy and chemical composition dependence of mass attenuation coefficients of building materials. Ann. Nucl. Energy 31, 1199–1205.
- Woods, J., 1982. Computational Methods in Reactor Shielding. Pergamon, New York.
- Yenmez, N., 2009. Stratejik bir maden olarak Bor minerallerin Türkiye için önemi. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi, 19, 59-94.
