

ATIK FOSFOJİPSLERİN YAPI MALZEMESİ OLARAK EKONOMİYE GERİ KAZANDIRILMASI

Yusuf DEMİREL¹, Yasin ÇAĞLAR²

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Bölümü, Ankara

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Bölümü, Kırıkkale
ydemirel@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 17.04.2014; Kabul/Accepted: 18.08.2015)

ÖZET

Depolanması sırasında ekolojik dengeye zarar veren fosfojipsin, içerdiği safsızlıklar nedeniyle kullanımı sınırlı olmakla birlikte, yıkama ve kalsine etme yolu ile bu safsızlıkların giderilmesi mümkündür. Bu çalışmada, Türkiye'deki atık fosfojipslerin yol açtığı büyük çevre kirliliğinin önlenmesi ve yapı malzemesi olarak ekonomiye geri kazandırılabilme olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, doğal baz alçı, fosfojips ve belirli oranlarda karıştırılmış doğal baz alçı ve fosfojips karışımı üzerinde bir dizi fiziksel analiz yapılmıştır. Bu üç malzeme üzerinde yapılan fiziksel analizler; kristal suyu tayini, elek analizi, priz (donma) süresi ve yayılma çapı tayini, Ph belirleme, rutubet miktarının tayini, eğilmede çekme mukavemeti ve eksenel basınç mukavemeti tayinidir. Fosfojips ve doğal baz alçının karışım oranları Ph derecelerine göre belirlenmiştir. Doğal baz alçının Ph derecesi 6-7, fosfojipsin Ph derecesi ise 3'tür. Fosfojipsin asidik özelliğinin yapı malzemesi olarak kullanımını sınırlandırması nedeniyle karışım halinde kullanılmasında yarar görülmüştür. Bu amaçla Ph dengesini ve granulometrisini ayarlamak amacıyla birçok karışım hazırlanmıştır. Uygun karışım %15 fosfojips - %85 doğal baz alçı olarak bulunmuştur. Eğilmede çekme mukavemeti ve eksenel basınç mukavemeti deneyleri yapılmış, priz alma süresi de dikkate alınarak yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği ve maliyeti irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fosfojips, ekoloji, çevre kirliliği, gerim kazanım, çekme mukavemeti, eksenel basınç mukavemeti

RECOVERY OF PHOSPHOGYPSUM IN ECONOMY IN BUILDING MATERIALWASTE

ABSTRACT

Phosphogypsum, the storage of which damages the ecological balance, has limited use due to its contamination aspect. However, it is possible to eliminate its impurities through raffination methods, such as washing and calcination. This study, examines ways of pollution prevention caused by waste phosphogypsum in Turkey and its recycling methods of building materials and winning for economics. A number of physical analysis were conducted on the natural gypsum, phosphogypsum, and the mixture of phosphogypsum and natural gypsum with specific proportions. These physical analysis on the above mentioned three materials are determination of crystal water, sieve analysis, determination of set duration and flow diameter, Ph determination, the amount of moisture content determination, determination of flexural and axial compressive strength. The proportional mixture of phosphogypsum and natural gypsum are determined according to their Ph degrees. While natural gypsum has a Ph degree of 6-7, phosphogypsum has 3. Due to asidic characteristic of the latter, and its related limited use as a consturction material, proportional use of phosphogypsum is found to be more efficient. In order to measure Ph balance and its granulometer, various mixtures are prepared. The most appropriate blend is found to be 15% phosphogypsum and 85% natural gypsum. Axial compressive strength and flexural strength tests were conducted, setting duration has been taken into account, outdoor use as construction material and its cost have been discussed.

Keywords: Phosphogypsum, ecology, environmental pollution, recycling, flexual strength, axial compressive strength

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Atık olarak elde edilen çeşitli ürünlerin depolanması veya doğaya terk edilmesi büyük sorunlar yaratmakta, çevre kirliliği de dahil olmak üzere önemli problemlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Günümüzde ekolojik dengenin korunması ve kirliliğin önüne geçilebilmesi için, çeşitli ürünlerin üretimi sırasında elde edilen yan ürün veya atıkların ekonomiye geri kazandırılması önem kazanmaktadır. Atıkların geri kazanımı ile çevre kirliliği önlenmekte, inşaat sektöründe kullanılan malzemelerin bazı özellikleri iyileştirilebilmekte ve ekonomiye katkı sağlanabilmektedir. Çevre kirliliğine neden olan ürün atıklarından biri de fosfojipsdir. Fosforik asit gübre fabrikası yan ürünü olan fosfojips (fosfoalçı), fosforik asit üretiminde fosfat kayası ile sülfürik asitin reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkan atık üründür [1-3]. Bu üretim şekli yaş yöntem olarak adlandırılır. Yaş yöntem üretiminde reaksiyon sonucu oluşan fosforik asit ve yan ürün süzülerek birbirinden ayrılır. Elde edilen yan ürün $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ fosfojips olarak adlandırılır. Samsun, Bandırma, Mersin ve İskenderun'da fosforik asit gübre fabrikaları bulunmakta ve yılda yaklaşık 3 milyon ton civarında atık olarak fosfojips açığa çıkmaktadır. Samsun TÜGSAŞ Gübre Fabrikasında günde 3150 ton, Bandırma BAGFAŞ Gübre Fabrikası'nda günde 3500 ton gibi büyük miktarlarda fosfojips atığı ortaya çıkmaktadır. Bu oranlar, önemli depolama problemlerinin yanısıra çevre kirliliği de yaratmaktadır [4]. Fabrikalar tarafından atık ürün fosfojips açıkta depolanmaktadır. Durumun ciddiyeti kamu yetkililerini de harekete geçirmiştir. Örnek olarak; Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010 yılında Bandırma BAGFAŞ Gübre Fabrikası'nın dağa dönüşen katı atık ve bölge halkını büyük sıkıntıya düşüren gaz filtre sistemi denetimleri esnasında fosfojips atıklarının mevzuata aykırı depolanması nedeniyle; söz konusu işletmeye ciddi rakamlarda para cezası uygulamıştır [5]. Ancak depolamada herhangi bir iyileşmeye neden olmamıştır. Üretimi sırasında havayı, denizi ve depolama aşamasında ise karayı kirletmektedir. Önemli depolama problemlerinin yanısıra çevre kirliliği de yaratmaktadır. Fosforik asit gübre fabrikası yan ürünü olan fosfojips açık depolama alanından Bandırma Levent Baraj Göleti'ne ve oradan da denize ulaşmaktadır. Bu durumu ile ekolojik dengeyi etkileyen fosfojips, büyük çevre kirliliği yarattığı Şekil 1 ve 2'de görülmektedir. Şekil 3'te Bandırma baraj göletinin tek dökülebileceği yer olarak deniz görülmektedir. Asidik özellik içeren fosforik asit gübre fabrikası yan ürünü olan fosfojips baraj suları ile birlikte denize ulaşmaktadır. Bunun yanında fosfojipse uygun atık depo alanlarının oluşturulması üretim maliyetlerini de arttırmaktadır. Maliyeti düşürmek ve sürdürülebilir yaşam amacına hizmet etmek için fosfojipsin ekonomiye geri kazanımı çalışmalarına hız kazandırılmalıdır.



Şekil 1. Gübre fabrikası ve açık fosfojips depolama alanı. Kaynak: google earth. (On the fertilizer plant and phosphogypsum storage area. Source: google earth.)



Şekil 2. Bandırma Levent Baraj Göleti'ne ve oradan da denize ulaşan fosfojips. Kaynak: google earth. (Bandırma Levent Pond Dam and from reaching the sea phosphogypsum. Source: google earth)



Şekil 3. Bandırma Levent Baraj Göleti'ne oradan da denize ulaşan fosfojips (Bandırma Levent Pond Dam and from reaching the sea phosphogypsum)

Kimyasal bileşimi doğal alçı ile aynı olan fosfojips, içerdiği safsızlıklar nedeniyle doğal alçı yerine kullanılamamaktadır.

Safsızlıklarından arındırıldığında inşaat sektöründe; çimento üretiminde priz geciktirici ve klinker hammaddesi olarak, çimento ve kireç ile birlikte ikincil bağlayıcı olarak, yapay agrega üretiminde ve yol stabilizasyonunda etkin olarak kullanılabilir [3, 6 - 11, 16]. Safsızlıklarından

arındırılması için bir dizi ön işlemden geçirilmesi gerekmektedir. Kimyasal analizler, atık malzemenin yaklaşık % 93'ünün jips, geri kalan % 7'sinin fosfat, florit ve organik maddeler olduğunu göstermiştir. Fosfojipste bu safsızlıkların miktarı, üretim metoduna ve hammadde olarak kullanılan fosfat kayasına bağlıdır. Suda çözünen safsızlıkları su veya kireç sütü ile birkaç kez yıkamak, kristal örgüye yerleşen safsızlıkları gidermek için ise 140°C – 150°C'de kalsine etmek etkili olmaktadır [1,2]. Arındırma konusunda çok sayıda araştırma yapılmış, gerçekleştirilen kalsinasyon işlemleriyle çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır [6-17]. Yapılan çalışmalardan biri, Samsun TÜGSAŞ Gübre Fabrikası'ndan alınan fosfojips üzerinde yapılmış; çözücü oran, sıcaklık, karıştırma süresi, kalsinasyon ve kimyasal katkıları gibi parametreler dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçta saf jipsin özelliklerine oldukça yakın nitelikte rafine fosfojips üretilebildiği ortaya çıkmıştır [2]. Diğer bir çalışmada ise, fosfojipsin çimento ile ilişkisi araştırılmıştır. Sonuçta, işlem görmemiş fosfojipsin sadece traslı çimento hidratasyonunu kontrol etmek için kullanılabileceği, rafine fosfojipsin tabii jipsle eşdeğer olduğu ve iki çimento cinsinin hidratasyonunu geciktirmede değerlendirilebileceği ortaya çıkmıştır [13]. “Fosfojips Kalsinasyonunun Fosfojips, Uçucu Kül Karışımlarının Basınç Dayanımlarına Etkisi” adlı araştırma da, fosfojipsin farklı sıcaklık ve derecelerde kalsinasyon koşullarını ve basınç dayanımlarını ortaya koyması bakımından önemlidir. Farklı sürelerde kalsine edilmiş fosfojips kullanılarak, uçucu kül ve sönmüş toz kireçten oluşan harç numuneleri hazırlanmış ve son aşamada bunların basınç dayanımları ölçülmüştür. Sonuçta kalsinasyon süresi ve sıcaklık derecesi arttıkça belli bir değere kadar harç numunelerinin basınç dayanımlarının arttığı ancak kalsinasyona tabi tutulan fosfojips miktarı arttıkça bu değerlerde azalma olduğu gözlenmiştir [3]. “Borojips ve Fosfojipsin Çimento Sanayiinde Kullanılması” adlı çalışmada da fosfojips ve borojips'in inşaat sektöründe kullanılabilirliği araştırılmıştır. Sonuç olarak; borojips ve fosfojips atığı ilaveli çimentolardan elde edilen betonların mekanik mukavemetlerinin çalışılan şartlarda geleneksel çimentolardan daha yüksek veya eşit olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, atık katkılı çimentoların yoğunlukları da düşmüştür [16]. Antalya Ferrokrom Tesisi Silis Dumanı ile fosfojipsin iyi derecelenmiş granüler malzemelerin iyileştirilmesine yönelik etkilerinin araştırıldığı çalışmada da, Ordu - Mesudiye Dere yolu Çatalkaya mevkiinde bulunan bazalt taş ocağından konkasör tesisinde üretilmiş, ocak taşından kırılmış ve elenmiş yol temel malzemesine, değişik oranlarda silis dumanı ve fosfojips karıştırarak numuneler hazırlanmıştır. Numuneler; CBR, tek eksenli basınç ve kompaksiyon testlerine tâbi tutularak fiziko mekanik özellikleri araştırılmıştır [17]. Bu çalışmada da, Türkiye'deki atık fosfojipslerin yol açtığı büyük çevre kirliliğinin önlenmesi ve yapı malzemesi olarak ekonomiye geri kazanımı araştırılmıştır. Bu amaçla, doğal baz alçı,

fosfojips ve doğal baz alçı - fosfojips karışımı üzerinde fiziksel analizler yapılmıştır. Bu üç malzeme üzerinde yapılan deneysel çalışmalar; kristal suyu tayini, elek analizi, priz (donma) süresi ve yayılma çapı tayini, Ph belirleme, rutubet miktarının tayini, eğilmede çekme mukavemeti ve eksenel basınç mukavemetidir. Deneyler sonucunda elde edilen karışım oranına yönelik maliyet analizi de yapılmış ve elde edilen ürünün kullanımında ve ekonomideki kazanımları değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Laboratuvar analizlerinde, Bandırma Gübre Fabrikaları AŞ. (BAGFAŞ) tarafından üretilen fosforik gübrenin endüstriyel atık ürünü olarak açığa çıkan fosfojips numunesi kullanılmıştır. Malzemelerin fiziksel özelliklerinin tayini için Aygips & Aypan tarafından üretilen alçı sıvalar için yapılmış olan deneyler aynen uygulanmıştır. Bu analizlerin yapılabilmesi için fosfojipsin bir dizi kalsinasyon işleminden geçirilmesi gerekmiştir. Fosfojipsin kalsinasyon işlemi geçirmeden önceki görünümü Şekil 4'te gösterildiği gibidir;

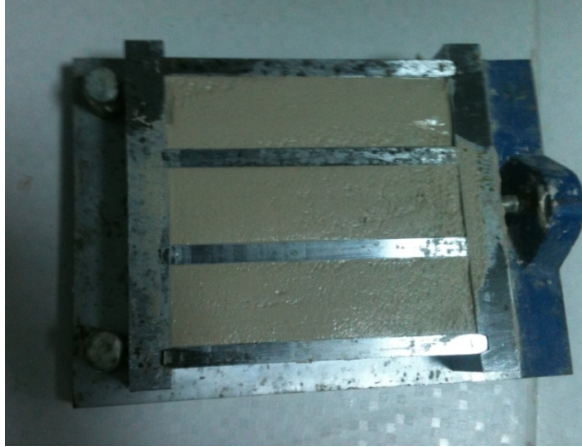


Şekil 4. Kalsinasyon işlemi öncesinde fosfojips (Before calcining phosphogypsum)

Fosfojipsin içerdiği safsızlıklar nedeniyle kullanımı sınırlı olmakla birlikte, yıkama ve kalsine etme yoluyla bu safsızlıkların giderilmesi mümkün olmaktadır. Bu safsızlıkların giderilmesi için endüstriyel atık ürünü olan fosfojips, 230 °C'de pişirilmiştir. Doğal baz alçının kızdırma kaybının %5 civarında olması ve bu kızdırma kaybı değerinde kristal örgüsüne yerleşmiş olan suyun uçurulmuş olması etkeni dikkate alınarak, fosfojipsin kızdırma kaybının da %5 olana kadar gerekli olan pişirme süresi tespit edilmiştir. Fosfojipsin kalsinasyon süresinin ne kadar olması gerektiğine, belirli zaman aralıklarında alınmış olan numunelerin kızdırma kayıplarına bakılarak karar verilmiştir. Malzemedeki tane boyutları dağılımının belirlenmesi işlenebilirlik ve elde edilecek ürün için önemlidir. Bu amaçla doğal baz alçı, fosfojips ve üç ayrı orana sahip fosfojips - doğal baz alçı karışımının malzeme deneyleri yapılmıştır. Üç ayrı oranda karıştırılan fosfojips - doğal baz alçı karışımının Ph dereceleri ve işlenebilirliği amacıyla granülometreleri belirlenmiştir. Uygun karışım elde edildikten sonra çalışmalar, bu karışım dikkate alınarak devam edilmiştir. Deney numuneleri elde etmek amacıyla kullanılan su – malzeme oranı; 700 gr su ve 1000 gr malzemedir. Laboratuvar harç mikserine

konulan bu malzemeler, 2 dakika karıştırma, 1 dakika sepeleme işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen harç, cam bir levha üzerine serilerek yayılma çapları ölçülmüştür. Aynı harç kullanılarak, priz başlangıcı ve priz süresi pasta üzerinde 5 kg'lık yüklemenin iz oluşmadığı an baz alınarak bulunmuştur.

Eğilmede çekme mukavemeti ve eksenel basınç mukavemeti tayini amacıyla harç kurutma kalıplarına yerleştirilen numune Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Kurutma kalıplarına yerleştirilen fosfojips numunesi (Phosphogypsum sample on the drying mold)

Kalıplara dökülerek hazırlanan 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler, etüvde kurumaya bırakılmıştır. Numune kalıptan çıkarılarak; sabit tartıma gelinceye kadar, 40°C'de yine etüvde kurutulmuştur. Eğilmede çekme mukavemeti tayini amacıyla numuneler iki mesnet silindirisinin üzerine konulmuş, yükleme hızı kontrol edilerek iki ayrı yükleme hızı için deneyler yapılmıştır. Normal yükleme hızı olarak 20–40 saniyede kırılma yüküne ulaşılmıştır. 2 saatlik yavaş yükleme altında eğilmede çekme mukavemeti değerleri de ayrıca elde edilmiştir. Eksenel basınç mukavemeti de, iki ayrı yükleme hızı için ayrı ayrı elde edilmiştir. Normal yükleme hızında ve 2 saatlik yavaş yükleme altında eksenel basınç mukavemeti değerleri de ayrıca elde edilmiştir.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME (FINDINGS AND EVALUATION)

3.1 Fosfojips Deneylerin Bulguları: (Experimental Findings of Phosphogypsum:)

Safsızlıkların giderilmesi için fosfojips, 230 °C'de pişirilmiş, belirli zaman aralıklarında kızdırma kayıplarına bakılarak kalsinasyon süresine karar verilmiştir.

İlk ölçümden;

- 90 dakika sonra ölçülen kızdırma kaybı % 17
- 150 dakika sonra ölçülen kızdırma kaybı % 12
- 180 dakika sonra ölçülen kızdırma kaybı % 7

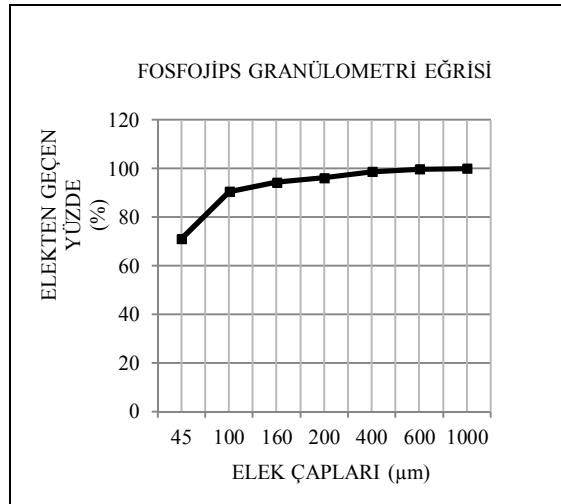
- 195 dakika sonra yapılan son işlemde kızdırma kaybı % 5 olarak ölçülmüştür.

195 dakika pişirildikten sonra etüvden alınan fosfojips Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Etüvden çıkarılan fosfojips (Phosphogypsum removed from the oven)

Fosfojipsin tane boyutları dağılımının belirlendiği elek analizi deneyi sonucunda elde edilen granülometri eğrisi Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Fosfojips granülometri eğrisi (Phosphogypsum grading curve)

700 gram su - 1000 gram fosfojipsin karıştırılması sonucunda elde edilen fosfojips harcının yayılma çapı 12 cm olarak ölçülmüştür. Aynı harç kullanılarak, fosfojipsin priz başlangıcının 3 dakika ve priz süresinin 5 dakika olduğu belirlenmiştir.

Deney sonucunda fosfojipsin Ph derecesi 3 olarak bulunmuştur. Atık ürün asidik özellik göstermektedir. Bu durum, söz konusu atık ürünün mevcut durumu ile kullanılamayacağını göstermektedir. Bu nedenle karışım olarak kullanılması yoluna gidilmesinde yarar görülmüştür. Harcın kalıplara dökülerek hazırlanmasıyla elde edilen numuneler, etüvde kurumaya bırakılmıştır. Numune kalıptan çıkarılarak; sabit tartıma gelinceye kadar, 40°C'de yine etüvde

kurutulmuştur. Normal hızda (20–40 sn) yapılan eğilmede çekme mukavemeti kaydedilerek Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Eğilmede çekme mukavemeti sonuçları (The results of flexural strength)

Numune No	Kırma Presi Sonuçları	Kırılma Mukavemeti Sonucu (MPa)
Numune grubu – I	1939	4,9 MPa
Numune grubu– II	2279	
Aritmetik ortalama	2109	

Fosfojips numunelerinin 2 saatlik yüklemesinin ardından elde edilen eğilmede çekme mukavemeti değeri ise 3,6 MPa’dır. Normal yüklemesinin hızında (20 – 40 sn) kırılarak elde edilen eksenel basınç mukavemeti Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Eksenel basınç mukavemeti sonuçları (Axial compressive strength results)

Numune No	Kırma Presi Sonuçları	Basınç Mukavemeti Sonucu (MPa)
Numune grubu – I	22082	13,9 MPa
Numune grubu– II	22422	
Aritmetik ortalama	22252	

2 saatlik yüklemesinin ardından eksenel basınç mukavemeti değeri ise 2,90 MPa’dır.

3.2 Fosfojips - Baz Alçı Deneylerin Bulguları: (Experimental Findings of Phosphogypsum – Gypsum Base Mixture)

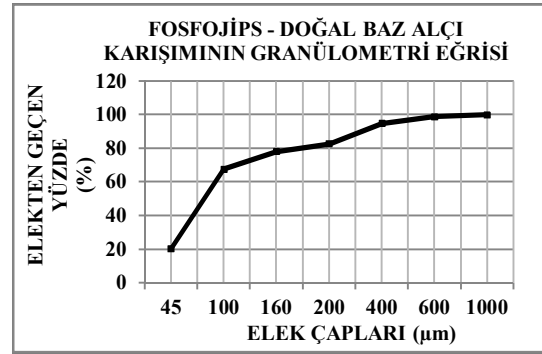
Asidik özellikte olan fosfojipsin kullanımında yaşanabilecek problemler göz önünde bulundurularak analizinin son aşamasında, doğal baz alçı ile karıştırılması ve uygun Ph derecesinin (6-7) yakalanması amaçlanmıştır. Kalsine edilen fosfojips, doğal baz alçı ile aşağıdaki oranlarda karıştırılmış ve bu karışımların Ph derceleri elde edilmiştir.

- %90 baz alçı + %10 fosfojips ile elde edilen Ph:7.0
- %85 baz alçı + %15 fosfojips ile elde edilen Ph:6.5
- %70 baz alçı + %30 fosfojips ile elde edilen Ph:5.8

Bu karışımlar ve elde edilen Ph derceleri dikkate alınarak, fosfojips malzemesinin olabildiğince çok kullanılabilmesi için, %85 baz alçı ile %15 fosfojips kullanılmasına karar verilmiştir. Kalsinasyon işlemi ve mukavemet tayininde kullanılacak numunelerin üretimi için kullanılan karışımın kalsinasyon sürecine daha önceki aşamalarda elde edilen kızdırma kaybı değerleri göz önünde bulundurularak karar verilmiştir. Numunenin kalsinasyon işleminden önce kızdırma kaybının %18,7 olduğu tespit edilmiştir. İlk ölçüm ve daha sonra yapılmış olan ölçümlerde kızdırma kayıpları sırasıyla kaydedilmiştir.

- 75 dakika sonra ölçülen kızdırma kaybı % 15.5
- 105 dakika sonra ölçülen kızdırma kaybı % 10.8
- 135 dakika sonra ölçülen kızdırma kaybı % 10.0
- 165 dakika sonra ölçülen kızdırma kaybı % 6.4
- 195 dakika sonra ölçülen kızdırma kaybı % 5.6

Doğal baz alçının kızdırma kaybının % 5 olması nedeniyle karışımın kızdırma kaybı da % 5.6 olarak belirlenmiştir. Bu kızdırma kaybı yüzdesi aynı zamanda karışımın kristal örgüsüne yerleşmiş olan suyun uçurulma değeridir. Kızdırma işleminden sonra numune elek analizinden elde edilen granülometri eğrisi Şekil 8’de verilmektedir.



Şekil 8. Fosfojips-baz alçı karışımının granülometri eğrisi (Grading curve of the mixture base gypsum and phosphogypsum)

Elde edilen karışımdan 700 gr alınmış ve 1000 gr su ile mikserde karıştırılarak harç haline getirilmiştir. Baz alçıya göre oldukça yoğun bir kıvamına sahip olan malzemenin, yayılma çapı 12 cm, priz başlangıcı 5 dakika ve priz süresi 9 dakika olarak ölçülmüştür. Fosfojips – doğal baz alçı karışımının kalsinasyon işlemi sonrasında Ph derecesi 6,7 olarak belirlenmiştir. Bu şekilde, malzemenin asidik özelliği giderilmiş ve başka bir analiz yapılmasına gerek kalmamıştır. Bu nedenle mukavemet değerlerinin tespiti için deney elemanlarının dökümüne geçilmiştir. Fosfojips – doğal baz alçı karışımı numunelerinin normal yüklemesinin hızında (20 – 40 sn) elde edilen eğilmede çekme mukavemetleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 3. Eğilmede çekme mukavemeti sonuçları (The results of flexural strength)

Numune No	Kırma Presi Sonuçları	Kırılma Mukavemeti Sonucu (MPa)
Numune grup– I	7753	1,9 MPa
Numune grup– II	8025	
Aritmetik Ortalama	7889	

Numunenin 2 saat yüklemesinin süresinde elde edilen mukavemet değeri ise 1,20 MPa’dır. Normal yüklemesinin hızında, eksenel yüklemesinin altında elde edilen basınç mukavemetleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Eksenel Basınç mukavemeti sonuçları (Axial Compressive strength results)

Numune No	Kırma Presi Sonuçları	Basınç Mukavemeti Sonucu (MPa)
Numune grup- I	6842	4,3 MPa
Numune grup- II	6981	
Aritmetik Ortalama	6911	

2 saatlik yükleme sonrasında elde edilen basınç mukavemet değeri ise 3,90 MPa'dır.

3.3 Değerlendirme: (Evaluation)

Fosforik asit gübre fabrikası yan ürünü olan fosfojipsin depolama sorunlarının giderilmesi yerine, doğaya atılan bu yan ürünün ekonomiye geri kazandırılarak değerlendirilmesi daha geçerli bir çözüm olarak görülmektedir. Bu amaçla doğal baz alçı, fosfojips ve fosfojips-doğal baz alçı karışımı malzeme deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. %85 baz alçı - %15 fosfojips oranlarındaki karışımın Ph derecesi 6,5 ile 7,0 arasında elde edilmiştir. Karışım harcı numunelerinden elde edilen deney sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Deney sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of experimental results)

Elde edilen deney sonuçlarının karşılaştırılması			
	Doğal baz alçı	Fosfojips	%85 baz alçı, %15 fosfojips karışımı
Ph değerleri	6,0 – 7,0	3,0	6,5-7,0
Yayıma çapı (cm.)	16	12	12
Priz başlangıcı (dakika)	10	3	5
Priz süresi (dakika)	20	5	10
20-40 sn. yükleme süresinde, Eğilmede çekme mukavemeti (MPa)	1,3	4,9	1,9
2 saat yükleme süresinde, Eğilmede çekme mukavemeti (MPa)	0,8	3,6	1,2
20-40 sn. yükleme süresinde, Eksenel basınç mukavemeti (MPa)	2,5	13,9	4,3
2 saat yükleme süresinde, Eksenel basınç mukavemeti (MPa)	2,2	2,9	3,9

Referans deney elemanlarının malzemesi olarak kullanılan doğal baz alçının Ph derecesi 7 olarak bulunmuştur. Doğal baz alçı harcının yayılma çapı 16 cm, priz başlangıcı 10 dakika ve priz süresi ise 20 dakika olarak ölçülmüştür. Deney elemanlarının basınç ve çekme mukavemetleri de standartlarla örtüşmekte olup, eğilmede çekme mukavemeti 1,3 MPa, eksenel basınç mukavemeti ise 2,5 MPa olarak

bulunmuştur. 2 saatlik yükleme süresinde eğilmede çekme mukavemeti 0,8 MPa, eksenel basınç mukavemeti ise 2,2 MPa'dır. Diğer referans deney elemanlarının malzemesi olarak kullanılan, fosfojips'in Ph derecesi 3 olarak bulunmuştur. Fosfojipsten elde edilen harcın yayılma çapı 12 cm, priz başlangıcı 3 dakika ve priz süresi ise 5 dakika olarak ölçülmüştür. Eğilmede çekme mukavemeti 4,9 MPa, eksenel basınç mukavemeti ise 13,9 MPa olarak bulunmuştur. 2 saatlik yükleme süresinde eğilmede çekme mukavemeti 3,6 MPa, eksenel basınç mukavemeti ise 2,9 MPa'dır. %85 baz alçı - %15 fosfojips karışımın Ph derecesi 6,7 olarak bulunmuştur. 700g su – 1000 g malzemeden elde edilen harcın yayılma çapı 12 cm, priz başlangıcı 5 dakika ve priz süresi 10 dakikadır. Eğilmede çekme mukavemeti 1,9 MPa, eksenel basınç mukavemeti ise 4,3 MPa olarak bulunmuştur. 2 saatlik yükleme süresinde ise eğilmede çekme mukavemeti 1,2 MPa, eksenel basınç mukavemeti ise 3,9 MPa'dır.

Elde edilen sonuçlara rağmen, karışımın kullanılabilirliğini belirleyen en önemli unsurlardan biri de ürünün maliyetidir. Maliyet analizinde; fosfojipsin nakledileceği bölge, doğal baz alçı yataklarının Ankara civarında olmasından dolayı Ankara / Bala olarak alınmıştır. Bu mesafe 630 km.'dir. Buna göre maliyet analizi aşağıdaki gibidir;

- Doğal baz alçıya göre fosfojips 1 saat daha fazla kalsinasyona ihtiyaç duymaktadır.
- Kalsinasyon fırınının kapasitesi: 30 ton
- 30 ton fosfojipsin 1 saat kalsinasyon için kullanılan doğal gaz ve elektrik bedeli: 5.72 TL+12.98TL=18.70 TL.
- 1 ton fosfojipsin kalsinasyonu için: 18.70 TL /30 ton = 0.62 TL/ton.
- 30 tonluk bir kamyonla 630 km taşıma bedeli: 630km.*0.4lt/km*4.7TL/lt = 1184.4TL.
- 1 ton fosfojipsin nakliye bedeli ise : 39.5 TL /ton olarak bulunur.

Bu veriler ışığında yeni ürünün maliyeti aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 6. Yeni ürünün (% 85 baz alçı - % 15 fosfojips) maliyet sonuçları (Cost results of new product)

	Baz alçı	Fosfojips	Fiyat farkı
Ocaktan çıkartma ve yükleme bedeli (TL/ton)	12 (çık-yük)	5 (yük)	-7
1 saat fazla kalsinasyona bedeli (TL/ton)	-	0,62	0,62
1 ton fosfojips nakliye bedeli (TL/ton)	-	39,5	39,5
1 ton fosfojipsin fiyat farkı (TL/ton)			33,12
1 ton yeni ürünün (%85 baz alçı-%15 fosfojips karışım) fiyat farkı (TL/ton)			4,97 \approx 5

Elde edilen yeni ürünün (%85 baz alçı - %15 fosfojips karışım) meydana getireceği fiyat artışı ton başına yaklaşık 5 TL olacaktır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, fosforik asit fabrikalarının atık maddesi olan ve uygun depolanmadığı için ekolojik dengeye zarar veren, çevre kirliliği yaratan fosfojipsin, ekonomiye geri kazanımı amacıyla yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. 230 °C'de kalsinasyon işlemine tabi tutulan fosfojipsin, yapı malzemesi olarak kullanılmasını engelleyen Ph derecesi nedeniyle doğal baz alçı ile karıştırılarak deneysel çalışmalar tamamlanmıştır. Ayrıca referans olması amacıyla doğal baz alçı ve fosfojips için de ayrı ayrı olarak aynı deneysel çalışmalar tekrarlanmıştır.

Deneyler sonucunda malzemelerin Ph dereceleri, priz (donma) süreleri, eksenel basınç mukavemeti ve eğilmede çekme mukavemeti belirlenmiştir. Mukavemet değerleri dikkate alındığında deneylerde kullanılan baz alçıya göre normal hızda yapılan yüklemde eğilmede çekme mukavemeti % 40 - 50 daha fazladır. 2 saatlik yüklemde de aynı çekme dayanım artışı devam etmiştir. Yine baz alçıya göre eksenel basınç dayanımı normal hızda yapılan yüklemde % 70 - 80 daha fazladır. 2 saatlik yüklemde de eksenel basınç dayanımının aynı miktarda olduğu gözlenmiştir.

%85 baz alçı - %15 fosfojips karışım; Ph derecesi kullanılabilirliğe uygun, priz süresi hızlı, çekme ve basınç dayanımı yüksek bir alçı ürünü olarak elde edilmiştir. Buna göre, karışımın baz alçıya oranla daha hızlı priz alan ve daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu özelliklerinden dolayı söz konusu karışımdan elde edilen ürünün, hızlı prize ihtiyaç duyulan ve yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanımı mümkündür. Bu özellikleri ile alçı panel üretiminde de kullanılabilir.

Elde edilen yeni ürünün meydana getireceği fiyat artışı, ton başına yaklaşık 5 TL olacaktır. Bu da; depolama alanı ile çevresine verdiği zarar, depolama maliyeti ve yeni ürünün satış bedeli de dikkate alındığında ekonomiye geri kazandırılacak olan atık fosfojips için makul bir bedel olacağı düşünülmektedir.

Ülkemizde Samsun, Bandırma, Mersin ve İskenderun'da fosforik asit fabrikaları bulunmakta ve yılda yaklaşık 3 milyon ton civarında atık olarak fosfojips açığa çıkmaktadır [4]. Yapılan analizler neticesinde, elde edilen karışımın yapı malzemesi olarak kullanılması, çevre kirliliğini engelleme konusunda oldukça yararlı olacaktır. Açığa depolanan atık malzeme kullanılmış olacak, hem çevreye verilen zarar en aza indirgenecek ve ÇED

Raporu gereklilikleri yerine getirilecek, hem de fosfojipsin değerlendirilmesi ile ekonomik yarar sağlanacaktır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda da Samsun, Mersin ve İskenderun fosforik asit fabrikalarındaki endüstriyel atık maddesi olan fosfojipslerin de dikkate alınması yararlı olacaktır. Bu fabrikalardan açığa çıkan fosfojipsin uygun Ph derecesi ve mukavemet değerini sağlayacak biçimde uygun oranlarda karıştırılarak yeni malzemeler elde edilmesi ve bu sayede çevreye verdikleri zararın azaltılması önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Nanni,A., Chang,W.F., “Microwave and Thermal Resistant Oven Calcination of Phosphogypsum” Proceedings of The Second Workshop of By – Products of Phosphate Industries Florida Institute of Phosphate Research,University of Miami, Florida, 1985.
2. Yılmaz, V.T., **Fosforik Asit Üretim Artığı Fosfojipsin Tanımı ve Değerlendirme İmkanlarının Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 1987.
3. Değirmenci, N., “Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products”, **Construction and Building Materials** Cilt 22, No 8, 1857–1862, 2008.
4. Devlet Planlama Teşkilatı Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu Dpt: 2007 Fosfat Çalışma Grubu, Ankara, 2001.
5. Çevre ve Orman Bakanlığı, Basın ve Halkla İlişkiler Müşavirliği – Bilgi Edinme Birimi, Sayı: B.18.0.BHİ.0.00.00/610.01-873.
6. Lin,K.T., Figueroa,J.L., Chang,W.F., “Engineering Properties of Phosphogypsum” Second Seminar on Phosphogypsum Proceedings Florida Institute of Phosphate Research, University of Miami, Florida, 1984.
7. Tayyibi,H., Choura, M., Lopez, F.A., Alguacil, F. J., Lopez-Delgado, A., “Environmental Impact and Management of Phosphogypsum” **Journal of Environmental Management**, Cilt 90, No 8, 2377-2386, 2009.
8. Velarde, H.D., Figueroa,J.L., Chang,W.F., “Engineering Properties of Phosphogypsum, Fly Ash and Lime Mixtures” Second Seminar on Phosphogypsum Proceedings Florida Institute of Phosphate Research, University of Miami, Florida, 1984.
9. Nanni, A., Chang, W.F., “Phosphogypsum Products for the Construction Industry” Proceedings of Second Seminar on Phosphogypsum, Florida Institute of Phosphate Research, University of Miami, Florida, 1984.
10. Taher,M.A., “Influence of Thermally Treated Phosphogypsum on the Properties of Portland

- Slag Cement” **Resources, Conservation and Recycling**, Cilt 52, No 1, 28-38, 2007.
11. Erdem, E., **Fosfojipsten Süpersülfatlı Çimento Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması**, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 1997.
 12. Işıldak, Ö., **Fosfojips İçeren Portland Çimentosunun Hidratasyonu Üzerine Bazı Priz Hızlandırıcı Kimyasal Katkıların Etkileri**, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 1993.
 13. Erdem, E., **Fosfojips’in Çeşitli Çimentoların Hidratasyonuna Etkisi**, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 1993.
 14. Aruntaş, H.Y., Gürü, M., Dayı, M., Tekin, İ., “Utilization of Waste Marble Dust as an Additive in Cement Production”, **Materials and Design**, Cilt 31, No 8, 4039-4042, 2010.
 15. Değirmenci, N., Okucu, A., Turabi, A., “Application of Phosphogypsum in Soil Stabilization”, **Building and Environment**, Cilt 42, No 9, 3393-3398, 2007.
 16. Keleş, G., **Borojips ve Fosfojipsin Çimento Sanayiinde Kullanılması**, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2004.
 17. Günaydın, M., **İyi Derecelenmiş Zeminlerin Silis Dumanı ve Fosfojips ile Stabilizasyonu**, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2011.