

KRAFT KAĞIT HAMURU FABRİKASI KİMYASAL GERİ KAZANMA ÜNİTESİNDE OLUŞAN ANORGANİK ATIĞIN (KİREÇ ÇAMURU) ORMAN YOLU STABİLİZASYONUNDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Habip EROĞLU

KAÜ Artvin Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 08000 ARTVİN

habip_eroğlu@yahoo.com

Sami İMAMOĞLU

KAÜ Artvin Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 08000 ARTVİN

imamoglusami@gmail.com

H. Hulusi ACAR

KTÜ Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 61080 TRABZON

hlsacar@ktu.edu.tr

Özet: Üretim sırasında ortaya çıkan atıkların sistemden uzaklaştırılması tüm kağıt hamuru ve kağıt fabrikalarının ortak kaygılarından biridir. Atıkların bertarafında en iyi çözüm üretilen atık miktarının azaltılması ve/veya bu atıkların tekrar kullanılmasıdır. Kraft hamuru üreten kağıt hamuru fabrikalarında önemli atıklardan biri de kimyasal geri kazanma ünitesinde ortaya çıkan kireç çamurudur. Bu çalışmada kraft kağıt hamur fabrikalarının kimyasal geri kazanma ünitesinde ortaya çıkan kireç çamurunun özelliklerinin belirlenmesi ve alternatif bir yol olarak bu atıkların orman yollarında stabilizasyon amaçlı kullanılabilirliği incelenmiştir. Saman ve göl kamışı kullanarak kraft yöntemiyle kağıt hamuru üreten Seka–Afyon İşletmesi geri kazanma ünitesinde ortaya çıkan kireç çamuru yaklaşık % 47 rutubet oranıyla sağlanarak fiziksel ve kimyasal özellikleri standart metotlara uygun olarak belirlenmiştir. Hava kurusu haline getirilen kireç çamuru orman yolları üst yapısında kaplama tabakası oluşturmada katkılı çimento, alt yapıda ham zeminlerin stabilizasyonuna yönelik olarak da kumlu kil, balçıklı kil ve ağır killi zeminlere belirli oranlarda katılarak örnekler elde edilmiş ve bu örneklerin mühendislik özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak doğaya terk edilmeleri halinde çevresel ve ekonomik açılarından çeşitli zararlar oluşturan bu çamurların hem orman içi yolların kaplama tabakasında hem de taban zeminlerinde belirli oranlarda kullanılarak değerlendirilmesi uygun bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kağıt endüstrisi, katı atık, geri kazanım, kireç çamuru, katkılı çimento, kaplama tabakası, taban zemini, orman yolları stabilizasyonu

RE-UTILIZATION OF INORGANIC SOLID WASTE (LIME MUD) AS FOREST ROAD STABILIZER FROM THE CHEMICAL RECOVERY PROCESS IN KRAFT PULP MILL

Abstract: Waste handling is a concern in all pulp and paper mills. Best available techniques for reducing waste is to minimize the generation of solid waste and/or reuse these materials, wherever practicable. One of the most important solid wastes is lime mud which is generated from the kraft pulping in its chemical recovery process. This paper explores the composition of lime mud resulting from the chemical recovery unit of kraft pulp mill and investigation of this waste for re-using beneficially on sub grade and pavement of forest road as an alternative disposal method. Lime mud obtained from the re-causticising process in SEKA pulp mill that utilizes wheat straw and reed as the principal raw material was supplied with % 47 water content and its chemical and physical characterisations were performed according to standard methods. Dried waste to environmental condition was mixed with certain amount to composite cement for using on pavement and sandy clay, loamy clay and clay soils for enriching forest road sub grade properties. In order to investigate the lime mud addition on pavement and sub grade properties necessary physical tests were performed. As a consequence this study reveals that while waste of lime mud causes environmental and economical problem with conventional disposal techniques and/or abandoning to environment, this waste can be used as good stabilisation materials on forest road sub-grade and pavement without any environmental problem.

Key Words: Pulp and paper industry, solid waste, recovery-reuse, lime mud, composite cement, pavement, soil base, forest road stabilisation

1. GİRİŞ

Çevreyi kirlenme dereceleri açısından endüstriler dünya ölçeğinde sıralandığında çeşitli türdeki gaz, sıvı ve katı atıkların kaçınılmaz olarak üretildiği kağıt endüstrisi altıncı sırada yer almaktadır (1). Genel olarak kağıt endüstrisi ile ilgili ortaya çıkan bu atıklar; kağıt hamuru (selüloz) üretimi ile ilgili atıklar ve kağıt üretimi ile ilgili atıklar olmak üzere iki kısımda incelenmektedir (2). Diğer yandan her iki üretim aşamasında da ortaya çıkan atıkların türleri ve miktarları kullanılan hammadde, üretilen son ürün, uygulanan teknoloji gibi bir çok değişkene bağlıdır.

Günümüzde, dünya ölçeğinde üretilen 185 milyon ton kağıt hamurunun yaklaşık % 70'lik kısmı (3) kimyasal bir işleme dayalı kraft yöntemiyle üretilmektedir. Kraft yönteminin tüm odun türlerine rahatlıkla uygulanabilir olması ve elde edilen kağıtların daha yüksek fiziksel direnç özelliklerine sahip olması gibi avantajlarına karşılık, yatırım masraflarının yüksek, hamur veriminin düşük olması ve ortaya çıkardığı atıkların çevresel açıdan ciddi problemler oluşturması gibi dezavantajları bulunmaktadır (4).

Kraft pişirme işleminin ardından gerçekleştirilen kimyasal maddelerin geri kazanılması işlemi (recovery), çevresel kirlenme ve enerji tasarrufu açılarından oldukça önemlidir. Bu işlem ile bir yandan tehlikeli kimyasal maddeler geri kazanılırken diğer yandan işlem sırasında üretilen ısı enerjisi fabrika içerisinde değerlendirilmektedir (5). Geri kazanma işlemi temel olarak; siyah çözeltilerin hamurdan ayrılması, konsantrasyon edilmesi, fırınlarda yakılarak organik maddeden ayrılması, yeşil çözeltilerin elde edilmesi ve kostikleştirme kademelerinden oluşmaktadır (6). Kostikleştirme kademesinde, yeşil çözeltilerin içerisindeki kireç (CaO), sodyum karbonat (Na_2CO_3) ile reaksiyona girerek sodyum hidroksit (NaOH) ve kalsiyum karbonat (CaCO_3) oluşumunu sağlar (7). Diğer yandan kostikleştirme işlemi sonucunda reaksiyona girmemiş kireç partikülleri, sönmüş kireç parçacıkları ve karbon, demir, silisyum, potasyum, kalsiyum, alüminyum, magnezyum ve kükürt gibi elementlerin bulunduğu tortu şeklinde kireç çamuru ortaya çıkmaktadır (8). Adı geçen bu atık Avrupa Atık Kataloğunda (EWC) 03 03 09 kodu ile biyolojik atıklar grubunda yer almış (9) ve toprak yüzeyine uygulanmasının uygun olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu çamurlar zehirsiz ve en düşük koku sınıfına giren atıklar olarak karakterize edilmiştir.

Kağıt endüstrisi ürettiği katı atıklarını günümüzde araziye gömme (% 69), yakma (% 21), toprak yüzeyine uygulama (% 8) ve diğer amaçlarda değerlendirilerek (% 8) bertaraf etmektedir (10). Atık kireç çamurunun bertarafı ise çoğunlukla araziye gömme şeklinde gerçekleştirilmektedir. Ancak bu atık, oldukça yüksek rutubet içeriği nedeniyle arazi doldurma işlemlerinde problemler oluşturmakta, küçük partikül boyutları ve fiziksel yapısı bakımından sarsıldığında akışkan gibi hareket ederek durağan hale gelememektedir (11,12). Diğer yandan, atık gömme alanlarının giderek azalması, gömme maliyetlerinin yükselmesi, gömülen atıkların yeraltı sularını tehdit etmesi ve artan çevresel baskılar gibi nedenler yüzünden alternatif değerlendirme yolları aranmaya başlanmıştır.

Birçok araştırmacı kireç çamuru ile toprak niteliklerini geliştirmek amacıyla çalışmalar yapmışlar ve kireç çamurlarının tarım alanlarında toprak yüzeyine uygulanmasının iyi bir alternatif olduğunu vurgulamışlardır. (13-15). Bu çamurların asitli topraklarda kullanılması ile toprak niteliklerinin iyileşmesine katkı sağladığı görülmüştür. Bünyesindeki kalsiyum karbonat sayesinde asitli toprakların asitlik derecelerini azaltmakta, içerdikleri kil sayesinde toprağın katyon değiştirme kapasitesini geliştirmekte ve su drenajı yüksek toprakların su hareketini azaltmaktadır (16). Kireç çamuru ayrıca

çimento bazlı malzeme, tuğla, kaldırım taşı ve inşaat bloklarının yapımında katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (17).

Çevresel etkilere ve aşırı yüklenmelere bağlı olarak orman yollarının sürekli deformasyona uğradığı bilinen bir gerçektir. Bu sebeple orman yollarının değişik yöntemlerle stabilize edilerek taşıma kapasitesinin artırılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, kraft fabrikalarının geri kazanma ünitesinde oluşan kireç çamurunun değerlendirilmesine alternatif bir çözüm olarak orman yolları üstyapı elamanlarından kaplama tabakasında ve altyapıda taban stabilizasyonu amaçlı kullanım imkanları araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan, kireç çamuru, hammadde olarak buğday (*Triticum questivum* L.) samanı ve göl kamışı (*Phragmites australis*) kullanarak kraft yöntemiyle kağıt hamuru üreten Seka-Afyon İşletme Müdürlüğü geri kazanma ünitesinden sağlanmıştır. Geri kazanma ünitesindeki kostikleştirme aşamasından sonra gerçekleştirilen beyaz çözeltinin durutulması ve çamur yıkama işlemlerinin ardından çamur filtresinden alınan bu kireç çamuru % 47.0 su, % 40.09 CaO, % 9.19 SiO₂, % 0.10 Al₂O₃, % 0.07 Fe₂O₃, % 0.11 MgO, % 3.01 Na₂O ve % 0.19 K₂O gibi bileşikler ayrıca Ba, Ni, Sr ve Zr gibi elementler içermektedir (18).

Kireç çamurunun orman yollarında stabilizasyon amaçlı kullanılabilirliğini belirlemek için; rutubetli çamur hava kurusu hale getirilip öğütüldükten sonra belirli oranlarda Trabzon Çimento Fabrikasından sağlanan katkılı çimento ile karıştırılarak standart beton numuneler elde edilmiş ve bunlar üzerinde çeşitli fiziksel testler yapılmıştır. KÇ 32.5 kodlu bu çimentoya ait kimyasal analiz değerleri Tablo 1a'da verilmiştir. Katkılı çimentoya sırasıyla % 5, 10, 15, 20, 25, ve 30 oranlarında kireç çamuru katılarak elde edilen karışımlara basınç dayanımı testi, priz başlama ve sonra erme süresi, hacim genleşmesi, tane büyüklüğü, yoğunluk, ve özgül yüzey tainleri standart yöntemlere uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

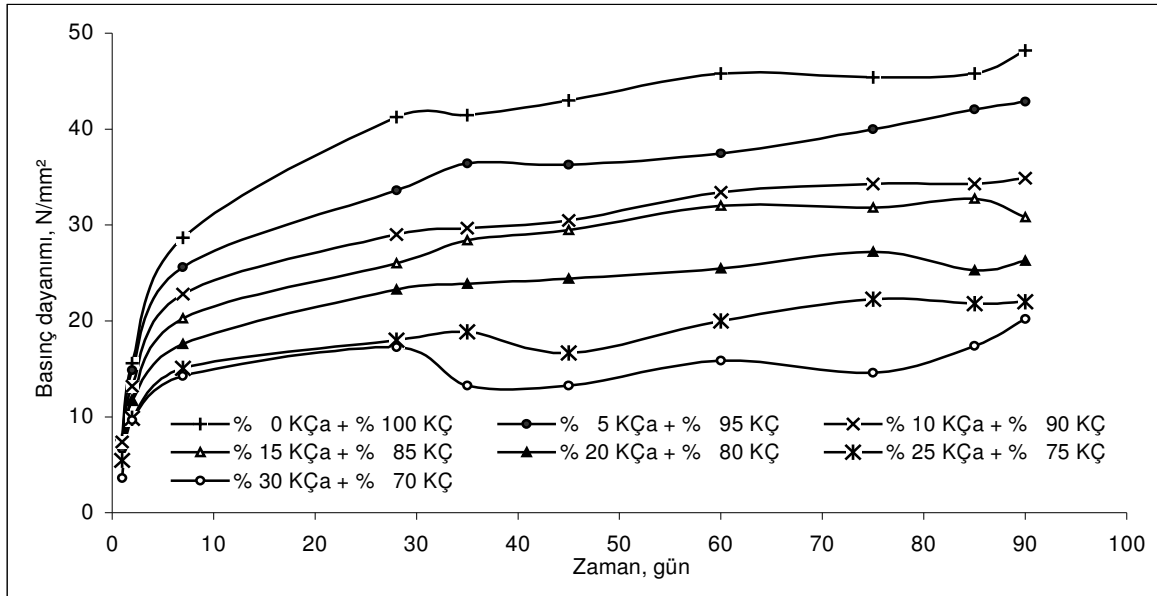
Ayrıca orman yollarının alt yapısında zeminlerin stabilizasyonu üzerinde kireç çamurunun kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla, farklı fiziksel özelliklere sahip üç değişik örselenmiş zemin örnekleri kullanılmıştır. Artvin Deriner Baraj inşaatında dolgu malzemesi olarak kullanılan ve derin kazılardan elde edilen kumlu kil (Z₁), Borçka Baraj inşaatında kullanılan ve yine derin kazılardan elde edilen balçıklı kil (Z₂) ve Trabzon-Bostancı mevkiinde yol yarmasından alınan ağır kil zemin (Z₃) örnekleri belirli oranlarda kireç çamuru ile karıştırılarak standart numuneler elde edilmiştir. Bu zeminlere ait tekstür değerleri Tablo 1b'de verilmiştir. Üç değişik zemine % 5, 10 ve 15 oranlarında kireç çamuru katılarak karışımlar elde edilmiştir. Bu karışımların Atterberg ve kıvam limitleri belirlenmiş, ayrıca karışımlardan elde edilen numuneler üzerinde üç eksenli basınç dayanımı, konsolidasyon ve standart kompaksiyon testleri yine standart yöntemlere göre tespit edilmiştir.

Tablo 1. a) Trabzon Çimento Fabrikasından sağlanan katkılı çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları b) Denemelerde kullanılan Artvin-Trabzon yörelerinden alınan zeminlere ait tekstür özellikleri

(a)		(b)			
Kimyasal Bileşikler	Miktar (%)	Tekstür	Zemin Türleri		
			Z ₁	Z ₂	Z ₃
CaO	54.01	Kum (%)	60.76	50.76	33.76
SiO ₂	27.19				
Al ₂ O ₃	5.39				
Fe ₂ O ₃	3.88	Kil (%)	28.24	40.24	56.24
MgO	1.23	Toz (%)	11.00	9.00	10.00
SO ₃	2.19				

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Orman yollarının üst yapısına yönelik yapılan çimento deneylerinden basınç dayanım değerlerinin zamana bağlı olarak ve katkı miktarlarına göre değişimleri Şekil 1’de verilmiştir. Karışımdaki kireç çamuru oranının artmasıyla basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Basınç dayanımı değerleri 28. güne kadar hızlı bir artış gösterirken bundan sonraki zamanlarda bu artış daha yavaş gerçekleşmiştir. Genel olarak katkı oranı arttıkça basınç dayanım değerleri azalmıştır. Basınç dayanım değerleri % 5 ve % 10 katkıli numunelerde bir günlük kür süresinde katkıli çimentoya çok yakın değerler göstermiştir. Bundan sonraki kür sürelerinde basınç dayanım değerleri kireç çamuru ilavesiz örneklerden daha küçük değerlere sahip olmakla birlikte, % 5 kireç çamuru katkıli karışımların basınç dayanım değerleri, katkıli çimentonun değerlerine yakındır.



Şekil 1. Katkıli çimento (KÇ) ile kireç çamurunun (KÇa) farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen örneklerin zamana bağlı olarak basınç dayanımı

Diğer yandan, bütün katkı oranlarındaki basınç dayanımlarının kür süresine bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Basınç dayanımındaki artış 28. güne kadar düzenli iken bundan sonraki günlerde biraz değişkenlik göstererek artmaktadır. % 5 ile % 10 arasındaki katkı içeren numunelerin basınç dayanımları katkılı çimentoya göre az olmakla birlikte çimento teknolojisi açısından uygun değerler verdiği görülmektedir.

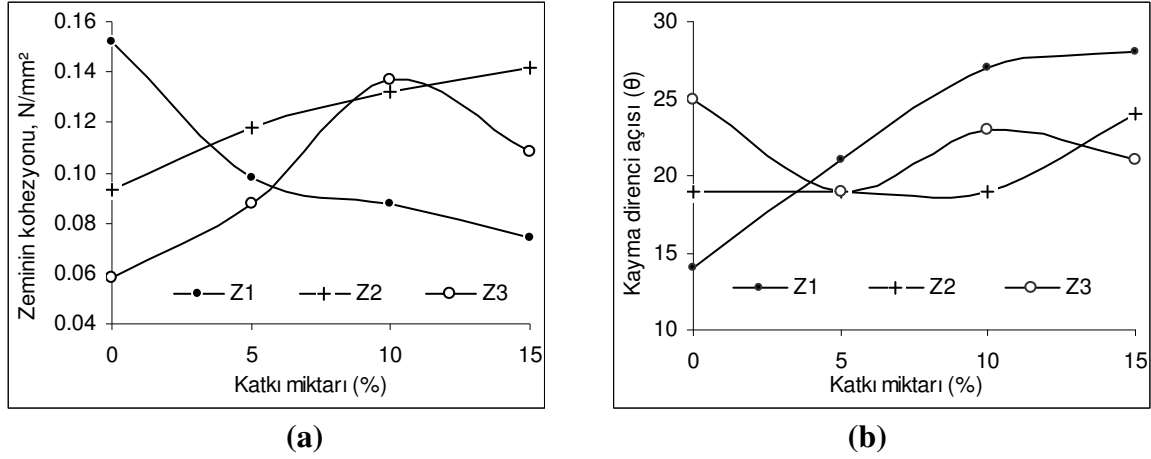
Özgül yüzey deneylerinden elde edilen değerlere göre kireç çamuru katkısının artırılmasıyla özgül yüzey değerinin azaldığı gözlenmiştir. Kireç çamurunun özgül yüzey değeri (4664 cm²/g) katkılı çimentodan (3457 cm²/g) daha büyüktür. Katkı oranının artmasıyla karışımların özgül yüzey değerlerinde bir artış beklenirken burada tersi bir durum gözlenmiştir. Bu durumun kireç çamurunun kimyasal yapısı ve floklaşma özelliğinden kaynaklandığı söylenebilir. Bütün katkı oranlarında elde edilen özgül yüzey değerleri portland çimentosu standardına (2800-4000 cm²/g) uygun olduğu tespit edilmiştir.

Karışımların priz başlangıç süreleri incelendiğinde, katkı oranının artırılmasıyla priz başlangıç süresinin uzadığı gözlenmiştir. Bütün katkı oranlarında elde edilen priz başlangıç süresi çimento standartlarının en fazla 10 saat değerinden düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Priz süresinin uzaması betonda sertleşmenin geç olmasına neden olur. Ayrıca betonun bağlayıcılık değerini etkiler. Priz süresinin kısa olması ise, beton karışımının hazırlanmasından sonra taze betonun taşınabilmesi, kalıba yerleştirilmesi ve sıkıştırılması vb. gibi hususları etkiler.

Özgül ağırlık değeri, çimentonun bazı dolgu maddeleri ile karıştırılıp karıştırılmadığını ve kuru bir yerde muhafaza edilmediği zaman meydana gelebilecek hidratasyonun başlayıp başlamadığı hakkında fikir verebilmektedir. Ayrıca, özgül ağırlık çimento kalitesini doğrudan göstermemekle birlikte beton karışımında malzeme oranlarının hesaplanmasında kullanılması yönünden oldukça önemlidir (19). Genel olarak numunelerin özgül ağırlık değerlerinin kireç çamuru katkı oranı arttıkça azaldığı belirlenmiştir. Deneylerde elde edilen özgül ağırlık değerleri standart portland çimentosunun özgül ağırlık değerleri ile karşılaştırıldığında deneylerde bulunan değerler 3.10 g/cm³ ile 3.16 g/cm³ arasında olan standartların altında olduğu görülmektedir.

Kireç çamuru oranının artmasıyla hacim genleşmesi azalmaktadır. Deneylerden elde edilen 1 ile 5 mm arasındaki hacim genleşmelerinin standartlarda öngörülen en fazla 10 mm hacim genleşmesi değerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan karışımlardaki kireç çamuru oranının % 0'dan % 30'a artırılmasıyla normal kıvam suyu oranının % 28'den % 36'ya yükseldiği belirlenmiştir. Bunun nedeni kireç çamurunda bulunan Na₂O ve K₂O gibi alkalilerin miktarlarının katkılı çimentodan yüksek olmasıdır. Alkali miktarı yüksek olan çimentolar, bünyesinde reaktif silis bulunan agregalarla birlikte beton yapımında kullanıldıklarında alkali-agrega reaksiyonuna neden olmaktadır. Bu reaksiyon sonucu su emme kapasitesi çok yüksek olan bir jel meydana gelmektedir (19).

Orman yollarının taban zeminlerinin stabilizasyonuna yönelik üç farklı zemine değişik oranlarda kireç çamuru ilave edilerek elde edilen karışımlar üzerinde yapılan testlere ait bazı sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Zeminlerin katkı oranına bağlı olarak kohezyon değerlerindeki değişimi incelendiğinde, Z₁ zemininde katkı oranına bağlı olarak kohezyon azalmakta, Z₃ zemininde artmakta ve Z₂ zemininde ise % 10 kireç çamuru katkısına kadar artmakta sonra azalmaktadır (Şekil 2a).



Şekil 2. a) Zeminlere ilave edilen kireç çamuru oranlarına bağlı olarak zemin kohezyonu değişimleri, b) Zeminlere ilave edilen kireç çamuru oranlarına bağlı olarak kayma direnci açısı değişimi

Zeminlerin katkı oranına bağlı olarak kayma direnci açılarındaki değişim dikkate alındığında, Z₁ zemininde katkı oranı arttıkça kayma direnci artmakta, Z₂ zemininde % 5 kireç çamuru katkısında, kayma direnci azalmakta, % 5 ile % 10 katkı oranı arasında ise önce artmakta ve daha sonra azalmakta ve Z₃ zemininde ise % 5 ve % 10 kireç çamuru katkısında kayma direnci sabit kalmakta, % 15 katkı oranında ise artmaktadır (Şekil 2b).

Katkı oranındaki artışa bağlı olarak atterberg limitlerinde en fazla iyileşmenin Z₁ zemin türünde meydana geldiği onu takiben Z₂ zemin türünde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Z₃ zemin türünde ise; katkı miktarının artmasıyla likit limit değerlerinde önce artış sonra azalış, plastik limit değerinde artış söz konusu iken plastisite indisi değerlerinde ise katkı oranının artmasıyla azalma meydana gelmiştir.

Katkı miktarına bağlı olarak zeminlerin özgül ağırlığındaki değişim incelendiğinde; Z₁, Z₂ ve Z₃ zeminlerinde özgül ağırlık değerleri azalmıştır. Özgül ağırlık değerlerindeki bu azalış Z₁ zeminde % 1.8, Z₂ zemininde % 0.7 ve Z₃ zemininde ise % 2.6 olarak gerçekleşmiştir. Kireç katkısına bağlı olarak zemin türlerinin özgül ağırlık değerlerindeki değişim miktarlarının farklı olması, zeminlerin mineralojik yapılarından, içerdikleri kil, kum ve toz miktarından kaynaklanmış olabilir. Bilindiği gibi killer yapı olarak birbirinden farklı özellikler gösterir ve müdahaleler karşısında değişik tepkiler verebilirler.

Yapılan kompaksiyon deneylerinde zemin numunelerine önce katkısız sonra % 5, 10 ve 15 oranlarında kireç çamuru ilave edilerek kuru birim hacim ağırlık ve rutubet içerikleri bulunmuştur. Burada yapılan zeminlerin hangi rutubet miktarında en iyi sıkıştırılabildiğinin tespiti ve kireç çamuru katkısının kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği ilişkisini nasıl değiştirdiğini ortaya koymaktır. Bu araştırmada kullanılan zeminler üzerinde kireç çamuru katkısının artırılmasıyla zeminlerin optimum su içerikleri artmış, kuru birim hacim ağırlıkları azalmıştır. Yani karışımlarda katkı oranının artmasıyla numunelerin daha fazla su içeriğiyle maksimum kuru birim hacim ağırlığına sahip olacağı ve katkı oranına bağlı olarak kuru birim hacim ağırlık değerlerinde bir azalma olduğu ortaya çıkmıştır.

Ödometre deneyi ile zeminin basınç altında sıkışma ve hacim değiştirme özelliğini tanımlayan zeminin hacimsel sıkışma katsayısı elde edilmektedir. Bu katsayıdaki artış zeminlerin daha iyi sıkışabildiği anlamına gelmektedir (20). Ödometre deney sonuçlarına göre Z₁ ve Z₃ zeminleri için kireç çamurunun % 5 katıldığı numunelerin hacimsel sıkışma

katsayıları katkısız örneklerden büyük ve Z_2 zemini için % 10 ve % 15 kireç çamuru katkılı örneklerin hacimsel sıkışma katsayıları katkısız örneklerden büyük olduğu tespit edilmiştir.

Genellikle bir zeminde meydana gelecek olan toplam konsolidasyon oturması kadar konsolidasyon oranının da bilinmesi önemli olmaktadır. Bu iki değer ve zemine ait geçirimsizlik (permeabilite) laboratuarda yapılan konsolidasyon deneyleri ile belirlenmektedir. Konsolidasyon deneyleri ile belirlenecek olan en önemli zemin özelliklerinden biri de konsolidasyon katsayısıdır. Konsolidasyon katsayısı zemin tabakasına uygulanan efektif gerilmelerin ve zeminin geçirimsizliğinin bir fonksiyonudur. Bu katsayıdaki artış oturmaların ve geçirimsizliğin azalması anlamına gelmektedir (21). Bu açıdan bakıldığında Z_1 zemini için % 5, Z_2 zemini için % 5 ve % 10 kireç çamuru katkılı örneklerin konsolidasyon katsayıları katkısız örneklerden büyük olduğu görülürken Z_3 zemininde yüklemenin arttırıldığı bölgede katkısız örneklerin konsolidasyon katsayılarının katkılı örneklerden büyük, yüklemenin azaltıldığı bölgede ise küçük olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, orman yollarının üstyapı elamanlarından kaplama tabakasında ve altyapı taban zemininde kraft kağıt fabrikası atıklarından olan kireç çamurunun stabilizasyon amaçlı kullanım imkanları araştırılmıştır.

Bu amaçla, öncelikle kaplama tabakasında kullanılması düşünülen atık kireç çamuru katkılı çimentoya ilave edilmiştir. Böylece elde edilen prizmaların basınç dayanım değerlerini belirlemek için çimento deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; kireç çamuru katkısının artmasıyla basınç dayanımı azalmış, kür süresi uzadıkça basınç dayanımı artmıştır. % 5 kireç çamuru katılmış örneklerde 28. günde basınç dayanımı 33.6 N/mm² değerini alırken, % 10 katkı oranı için bu değer 29.0 N/mm² olarak bulunmuştur. Bu değer kireç çamuru katılmamış katkılı çimento için 41.3 N/mm² olarak ölçülmüştür. Bu bulgulara göre % 5 ile 10 arasında kireç çamurunun standartların getirmiş olduğu basınç dayanımının altına düşmemek kaydıyla çimentoya katkı malzemesi olarak katılabileceği sonucuna varılmıştır.

İkinci olarak taban zeminlerde kireç çamurunun etkilerini araştırmak için; kumlu kil (Z_1), balçıklı kil (Z_2) ve ağır killi (Z_3) zeminlerin mühendislik özelliklerindeki değişim araştırılmıştır. Z_1 zemininin katkısız örneklerinde plasitite indisi % 12.7 iken, % 15 katkı oranında % 21.2 değerine yükselmiştir. Diğer zemin türlerinde kireç çamuru oranına bağlı bu değişim sırasıyla; Z_2 zemininde % 25.2'den % 23.1 değerine düşmüş, Z_3 zemininde % 14.7'den % 21.2 değerine yükselmiştir.

Zeminlerin katkı oranına bağlı olarak kohezyon değerlerinin, Z_1 zemininde azaldığı, Z_2 zemininde arttığı ve Z_3 zemininde ise % 10 kireç çamuru katkı miktarına kadar arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Zeminlerin katkı oranına bağlı olarak kayma direnci açıları, Z_1 zemininde artmakta, Z_2 zemininde % 5 ve % 10 kireç çamuru katkısında sabit kalmakta, % 15 katkı oranında ise artmaktadır. Z_3 zemininde % 5 kireç çamuru katkısında azalmakta, % 5 ile % 10 katkı oranı arasında artmakta ve daha sonra azalmaktadır.

Kompaksiyon deneyleri sonucunda, kireç çamuru katkı oranının artmasıyla her üç zemin türünde de kuru birim hacim ağırlık değeri azalmış, optimum su içerikleri artmıştır. Karışımlarda yüksek kuru birim hacim ağırlığı elde etmek için daha fazla su içeriği gerekmiştir. Katkı oranının artmasıyla kuru birim hacim ağırlık değerlerinde meydana

gelen azalma, kireç katkısının ilave edilmesiyle zeminlerin sıkışabilirlik özelliklerinde de azalmaya neden olacağı anlamına gelmektedir.

Konsolidasyon deneyleri sonuçlarına göre; katkı oranlarına bağlı olarak zeminlerin sıkışabilirlik ve geçirimsizlik özellikleri değişmektedir. Bu durumun, katkı oranlarına ve zemin cinsine bağlı olarak değişim gösterdiği ortaya çıkmış, % 5 ile % 10 kireç çamuru katılan zeminlerde sıkışabilirlik özelliğinin iyileştiği ve permeabilite değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Kireç çamurunun zeminlere katılmasıyla yapılan taban zemin stabilizasyonuna yönelik çalışmadan elde edilen bulgulara göre, kireç çamurunun belirli oranlarda çalışmada kullanılan her üç zemin türüne katılması zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.

Dış etkilere ve aşırı yüklenmelere bağlı olarak orman içi yollarının sürekli deformasyona uğradığı bilinmektedir. Bu sebeple bu yolların iyileştirilmesi ve taşıma kapasitesinin artırılması üretim maliyetleri açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla, yapılan çalışmada, kraft yöntemiyle kağıt hamuru üretilen fabrikalardan çevreye bırakılarak çeşitli problemler oluşturan kireç çamurunun orman yolları üst ve alt yapı stabilizasyonunda katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Sonuç olarak, bu atıkların orman yollarının üstyapıda kaplama tabakasında ve altyapıda taban zeminlerde belirli oranlarda kullanılarak değerlendirilmesi uygun bulunmuştur.

KAYNAKLAR

1. Joung, J.Y., Lee, M.W., Park, J.I., Park, J.M., Application of Computer Simulation to The Retrofit of Bleached Kraft Pulp Mill Effluent Treatment Plant, Seventh International Water Association Symposium on Forest Industry Wastewaters, Seattle, USA., 1-4 June 2003, PO-5, 8 p.
2. DPT, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Kağıt Sanayii Özel İhtisas Komisyonu raporu, (DPT. 2525 - ÖİK. 541), ISBN 975-19-2550-9. Ankara, 2000.
3. FAO, Statistical Database-Pulp, Paper and Paperboard, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005.
4. Bajpai, P., Bajpai, P.K., Akhtar, M., Jauhari, M.B., Biokraft Pulping of Eucalyptus With Selected Lignin-Degrading Fungi, Journal of Pulp and Paper Science, 2001, 27 (7) (2001) 235-239.
5. Hough, W.G., Principles of Chemical Recovery, Chemical Recovery in the Alkaline Pulping Process (edited by Gerald Hough), pp. 8-14, Atlanta, 1985.
6. Bostancı, Ş., Kağıt Hamuru Üretim Teknoloji, Kağıt Hamuru Üretimi ve Ağartma Teknolojisi Kitabı, 1. Bölüm, Karedeniz Üniversitesi Basımevi, Yayın No: 114, Trabzon, 1987.
7. Mehra, N.K., Cornell, C.F., Hough G.W., Cooking Liquor Preparation Causticizing of Sodium Carbonate in Green Liquor, In: Chemical Recovery in the Alkaline Pulping Process (edited by Gerald Hough), pp. 191-256, Atlanta, 1985.
8. Rabas, D. L. Utilization of Industrial By Product Ash a Fertilizer/Liming Material For Crop Production, Tech. Bull., U. Minnesota Agric. Exp., p.5-25, 1988.

9. EC 2001, Biological Treatment of Biowaste-Working Document, DG ENV.A.2-Sustainable Resources, available at: <http://europa.eu.int/comm/environment/waste> Brussels 12, February 2001.
10. Scott, G.M., Smith, A., Sludge Characteristics and Disposal Alternatives For The Pulp and Paper Industry, International Environmental Conference, Atlanta, 7-10 May 1995, p. 269-279.
11. Dorris, G. M., Physical characterization of hydrated re-burned lime and lime mud particles, Journal of Pulp and Paper Science, 1993, 19 (6): 256-267.
12. Peters, C.S., Investigative and Management Techniques For Cement Kiln Dust and Pulp and Paper Process Wastes, Environmental Progress, 17 (3) (1988) 142-147.
13. Simpson, C.R., Kelling, K.A., Liegel, E.A., Paper Mill Lime-Sludge As An Alternative Liming Material, Agronomy Journal, 73 (6) (1981) 1003-1008.
14. Simpson, G.G., King, L.D., Carlile, B.L., Paper Mill Sludges, Coal Fly Ash, and Surplus Lime Mud as Soil Amendments In Crop Production, Tappi Journal, 66 (7) (1983) 71-74.
15. Gaskin J., Miller, W., Morris L., Land Application of Pulp Mill Lime Mud, Bulletin: 1249, University of Georgia, College of Agriculture and Environmental Sciences, Cooperative Extension Service, Pollution Prevention Assistance Division, 2004.
16. Zambrano, M., Parodi, V., Reutilization and Characterization of Inorganic Solid Wastes From The Pulp and Paper Industry, Seventh International Water Association Symposium on Forest Ind. Wastewaters, Seattle, USA, 1-4 June 2003, PO-11, 8p.
17. Recycled Material, Industrious Use of Recycled Materials, UWM Research Profile Magazine, Available at: [http://www.uwm.edu/ Dept/Grad_Sch/ Publications/ ResearchProfile/ Vol22No1/naik.htm](http://www.uwm.edu/Dept/Grad_Sch/Publications/ResearchProfile/Vol22No1/naik.htm), 22 (1) (2000).
18. Eroğlu, H., Orman Yollarında Kağıt Fabrikası Atığının (Kireç Çamuru) Stabilizasyon Amaçlı Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2003.
19. Erdoğan, T.Y., Betonun Oluşturan Malzemeler Çimentolar, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 1995.
20. Özyayın, K., Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1989.
21. Aytekin, M., Deneysel Zemin Mekaniği, Akademi Yayınevi, 1. Baskı, Trabzon, 2000.