KİREÇ VE UÇUCU KÜL İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ ŞİŞEBİLEN KİLLERİN ŞİŞME VE ESNEKLİK MODÜLÜ ODAKLI OLARAK STATİK VE TEKRARLI YÜKLER ALTINDAKİ ÖZELLİKLERİ

ÖZET

Kil tipi zeminlerde genellikle artan plastisite indisi ile birlikte su alma kapasitesi de artmaktadır. Yüksek plastisiteli ve yüksek şişme potansiyeline sahip zeminlerde, su içeriğindeki kararsız dalgalanmalar (stabil olmayan değişimler) büyük hacim değişimlerine sebep olmaktadır. Bu hacimsel değişime bağlı şişmeler sonucunda bu tür zeminlere oturan ulaşım amaçlı yol üstyapı kaplamaları ve/veya hafif ağırlıklı yapılar zarar görmektedir. Şişen zeminler, kireç, uçucu kül, mikro çimento ve benzeri katkılar yardımıyla iyileştirilebilirler. Kimyasal katkılar, şişme ve şişme basıncı özelliklerini, katyon değişimi ve flokülasyon aglomerasyon olgularıyla iyileştirirler. Ayrıca kimyasal katkılar bu tür zeminlerin taşıma kapasitelerini de artırırlar.

Esneklik modülü değeri, tabakalı yol kaplama sistemlerinin yapısal analizlerinde kullanılmak üzere, dinamik yükler altındaki malzemenin gerilme ve birim deformasyon arasındaki temel ilişkiyi sağlar. Bu değer, otoyol malzemelerinin (alt temel, üst temel, kaplama) farklı su içeriği, birim hacim ağırlık vb. koşullar altında ve teker yüklerini temsil eden farklı gerilme durumlarında tanımlanmasını mümkün kılar.

Kireç ve uçucu kül katkıları kimyasal iyileştirme metodu kapsamında kullanılan en popüler katkılardır. Ancak bu katkıların aşırı derecede veya çok yüksek plastik killerde yeterli bir şekilde verimli oldukları veya hiç verimli olamadıkları gibi hususlar çok açık değildir. Ayrıca kireç ve uçucu kül ile iyileştirilmiş zeminlerin şişme ve büzülme açısından özellikleri mukavemet özellikleri kadar iyi bilinmemektedir. Diğer çok bilinmeyen bir konu doğal şişebilen killerin ve değişik katkılar ile iyileştirilmiş zeminlerin tekrarlı yükler altındaki özelliklerdir. Bu kapsamda esneklik modülü özelliklerinin araştırılmasının gereğine inanılmaktadır. Son olarak, şişme davranışı göz önüne alındığında kil zeminlerin mineralojik içerik ve katkı maddelerinin kimyasal bileşenlerinin araştırılması gereğine inanılmaktadır. Bu kapsamda, bu çalışmada kullanılan hem iyileştirilmiş zeminler hem de kireç ve uçucu kül katkıları Rietveld, XRD ve XRF testleri ile tanımlanmıştır.

Bu araştırmada, aşırı ve çok yüksek plastisiteli iki doğal kil numunenin farklı katkılar kullanılarak iyileştirilmesi ile, statik ve tekrarlı yükler altındaki özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Araştırmanın statik kısmında özellikle şişme davranışı üzerinde odaklanılmıştır. Esneklik modülü değerleri ise farklı gerilme durumlarında dinamik araştırma amaçlı yürütülmüştür.

Bu çalışmada, Ankara'da iki ayrı sahadan alınan Esenboğa Kili ve Bilkent Kili olarak adlandırılan farklı iki zemin numunesi detaylı olarak incelenmiştir. Esenboğa Kili (PI=%101) aşırı yüksek plastisiteli bir kil olup, Esenboğa Havalimanına yakın Akyurt bölgesindeki kil yataklarından alınmıştır. Bilkent Kili ise Ankara-Eskişehir yoluna yakın Bilkent Atatürk Hastanesi şantiyesinden alınan çok yüksek plastisiteli (PI=%76) bir kildir. Her iki sahadan da laboratuvar deneyleri için örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Kimyasal katkı olarak sönmüş kireç ve uçucu kül kullanılmıştır.

Bu araştırmada kullanılan zeminlerin mineralojileri, petrografik analiz, XRF ve SEM analizleri ile desteklenen XRD ve Rietveld testleri ile belirlenmiştir. Detaylı

mineralojik tanımlama ise ASTM standartı ile uyumlu, uygun yazılım ve veritabanları kullanılarak, standart (2°-70°), normal (2°-30°), etilen glikol, 300°C termal ve 550°C termal işlemlerden görüntü alınarak yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan katkıların ve kil numunelerin kimyasal bileşenlerinin belirlenmesinde ise XRF testleri yapılmıştır. Örnekler pelet örnekler halinde hazırlanarak, önce 65°C'de bir gece boyunca ve sonra 105°C'de 2 saat kurutulmuştur. Ardından XRF analizi yapılmıştır. Bu örnekler Bor-Uranyum aralığında çalışılmıştır. Sonuçlar ise oksit şeklinde verilmiştir.
İlk olarak, doğal numuneler üzerinde referans deneyler yapılmıştır. Sonra, her iki kil, kuru ağırlıklarının farklı yüzdelerinde (%1, %3, 5%, 7% ve 9%) kireç katkısıyla karıştırılmıştır. Daha sonra ise yine kuru ağırlıklarının farklı yüzdelerinde (5%, 10%, 15%, 20% ve 25%) uçucu kül katkısı ile karıştırılmışlardır.
Metilen Mavisi deneyleri, her iki kilin doğal ve her yüzde için kireç ile iyileştirilmiş numunelerin aktivitelerinin belirlenmesi ve şişme potansiyeli, indeks özellikleri ve özgül yüzey alanları hakkında fikir edinmek için yapılmıştır.
İndeks deneyleri doğal ve iyileştirilmiş numuneler üzerinde yapılmıştır. Ödometre deneyleri ile, yine aynı şekilde doğal ve iyileştirilmiş zeminlerin, şişme ve sıkışma özellikleri belirlenmiştir. Serbest basınç deneyi ise hem suya boğulmamış (optimum su içeriğinde) hem de suya boğulmuş numuneler üzerinde yapılmıştır. Esenboğa Kili için bu statik deneyler her bir kireç yüzdesinde 7, 28 ve 56 günlük kür süreleri için de yürütülmüştür. Bilkent Kili için tüm statik deneyler kürlenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.
Ayrıca, esasen üç eksenli basınç deneyinin tekrarlı (yükleme) versiyonu olan esneklik modülü deneyleri, mevcut trafik yüklerini gerçeğe daha uygun temsil edebilmek için, kireçle iyileştirilen numuneler üzerinde farklı kür süreleri için uygulanmıştır. Bu deneydeki tekrarlı yük uygulamalarının trafik yüklerini daha gerçekçi temsil ettiği düşünülmektedir.
Kuru ağırlıklarının farklı yüzdelerinde (%1, %3, 5%, 7% ve 9%) kireç katkısıyla karıştırılan Esenboğa Kili, her bir yüzde için 7, 28, 56 ve 90 günlük kür süreleri için statik şartlarda test edilmiştir. Ayrıca, Esenboğa ve Bilkent Killeri için, kireç katkısı ile, yine her bir yüzde (%1, %3, 5%, 7% ve 9%) ve kür süresi (7, 28, 56 ve 90 gün) için hazırlanan numunelerin esneklik modülü değerleri saptanmıştır.
Esneklik modülünü tespit etmek için kullanılan numuneden alınan ve parafinlenen kireç ile iyileştirilmiş ve otuz ay kür süresine sahip Esenboğa Kil numunenin (sadece %7 kireç katkısı için) SEM analizleri yapılmıştır. SEM analizleri doğal Esenboğa ve Bilkent killeri için de yürütülmüştür.
İyileştirilen numunelerin indeks, mukavemet ve şişme özellikleri gibi mühendislik özellikleri bulunmuştur. Yukarıda bahsi geçen bütün özelliklerdeki değişimler ve tüm sonuçlar özellikle iyileştirilen zeminlerin şişme potansiyeli, basınç dayanımları, kür süresi etkisi ve esneklik modülü değerleri bu tezde değerlendirilmiştir. Şişme potansiyeli ve basınç dayanımlarında iyileşmenin görüldüğü optimum değerler bulunmuştur. Katkı yüzdeleri ve indeks özellikleri, şişme yüzdeleri, şişme basınçları, kür süresi etkisi, basınç dayanımı ve esneklik modülü arasındaki korelasyonlar tezde sunulmuştur.
Zemin numunelerinin mineralojik analizi sonucunda, Esenboğa Kilinin büyük oranda illit mineralinden oluştuğu tespit edilmiştir. Ancak, içeriğindeki smektit minerallerinin de ihmal edilemeyecek miktarda olduğu görülmüştür. Öte yandan, Bilkent Kilinin xxxix

tamamının paligorskit kil mineralinden oluştuğu ilgi çekici bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır. Esenboğa Kili için şişme dikkate alındığında, optimum kireç miktarı yaklaşık %3'tür. Yüzeysel yapıların (otoyol, demiryolu vb.) alt temel tasarımlarında bu optimum değer referans olarak kabul edilebilir. Bu referans değerle şişme deneyine başlanarak, bu değerin tasarım kriterlerini sağlamaması durumunda referans değer artırılabilir. Örneğin, laboratuvarda yapılan şişme yüzdesi deneyleri, Esenboğa Kili için yaklaşık %8 kireç içeriğinin Türkiye'deki Karayolları Standartlarına göre ancak yeterli olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, laboratuvar deneyleri uçucu kül katkısının bu tür aşırı yüksek plastisiteli ya da çok yüksek plastisiteli zeminlerde tek başına yeterli olmayabileceğini göstermektedir.
Kireç katkısının şişme davranışına olumlu etkisinin, uçucu kül katkısına nazaran çok daha fazla olduğu görülmüştür. Esenboğa Kili'nde, şişme basınçları %20-%25 uçucu kül katkısı eklenen numunelerde, %7-%9 kireç eklenen numunelere göre yaklaşık 6.5 kat daha fazladır. Optimum su içeriğinde (suya boğulmamış) ve suya boğulmuş şekilde hazırlanan katkılı numunelerin serbest basınç dayanımları dikkate alındığında ise optimum su içeriğinde hazırlanan numunelerde serbest basınç dayanımları %5 kireç içeriğine kadar suya boğulmuş numunelere göre daha yüksektir. Suya boğulan numunelerin dayanımları özellikle %7'den başlayarak ortamda suyun varlığı ile gerçekleşen sertlik kazanma ya da pozolanik olarak adlandırdığımız reaksiyonlara bağlı olarak optimumda hazırlanan numunelerin dayanımını geçmektedir.
Uçucu kül için ise, Bilkent Kili’nde optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin (suya boğulmamış) serbest basınç dayanımları, suya boğularak hazırlanan numunelere göre iyileşme için her zaman daha iyi sonuç vermiştir. Serbest basınç dayanımının %20 ve %25’de hem optimum su içeriğinde (suya boğulmamış) hem de suya boğularak hazırlanmış numunelerde düşmeye başlaması nedeniyle %15 uçucu kül içeriği optimum seviye olarak kabul edilmiştir.
Bu araştırmada kür sürelerinin, farklı oranlarda kireç ile iyileştirilen aşırı yüksek plastisiteli Esenboğa Kili’ne etkisi araştırılmıştır. Zemin numuneleri 7, 28 ve 56 günlük kür sürelerinde test edilmiştir.
For the curing periods of 28 and 56 days, 5% lime content is the optimum content at which the swell percentage is decreased to null in Esenboğa Clay. It is interesting to note that 28 days curing period, which resembles the optimum time for strength gain in concrete, is quite adequate to get allowable swell percentages at about 5% lime content. Then, it can be concluded that 56 days curing period may not be necessary as far as the swell percentage criterion is concerned. This result is also valid in swell pressure tests so that 5% lime content is sufficient to decrease the swell pressures considerably for all curing periods.
Esenboğa Kilinde, 28 ve 56 günlük kür sürelerinde şişme yüzdesinin sıfırlara düştüğü optimum kireç yüzdesi %5’tir. Bilindiği gibi betonun yeteri kadar dayanım kazanmasında gerekli olan kür süresi 28 gündür; ilginçdir ki %5 kireç miktarında aynı şekilde 28 günlük kür süresi izin verilebilir şişme yüzdesinin sağlanabilmesi için oldukça yeterlidir. Bu durumda şişme yüzdesi kriteri dikkate alındığında 56 günlük kür süresine gerek olmadığı sonucuna varılmaktadır. Bu sonuç şişme basıncı için de geçerlidir. Aynı şekilde, %5 kireç içeriği bütün kür süreleri için şişme basıncını bir hayli düşüren optimum değerdir. xl

Optimum su içeriğinde (suya boğulmamış) ve suya boğulmuş şekilde hazırlanan doğal ve katkılı numunelerde serbest basınç deneyi yapılmıştır.Özellikle optimum su içeriğinde hazırlanan numunelerde serbest basınç dayanımlarında, kürlü numunelerde kürsüz numunelere göre oldukça büyük artışlar dikkat çekmiştir. Kür süresi açısından 28 günlük periyot optimum kabul edilebilir. Farklı kireç içeriklerinde 7, 28 ve 56 gün kür süreleri için hazırlanan tüm numunelerde, suya boğulan numunelerin serbest basınç dayanımlarının optimum su içeriğinde hazırlanan numunelere göre her zaman daha düşük olduğu görülmüştür.
Şişme söz konusu olduğunda, Bilkent Kili için optimum kireç ve uçucu kül içerikleri sırası ile yaklaşık %3 ve %10 olarak bulunmuştur. Kireç uçucu küle nazaran daha etkili olduğundan, uygun miktarlardaki kireç içeriği tasarım kriterlerini sağlamada büyük ihtimalle tek başına yeterli olacaktır. Laboratuvar deneyleri göstermektedir ki; şişme dikkate alındığında Bilkent Kili'nde Türkiyedeki Karayolları standartları kriterleri %9-%10 kireç içeriğinde sağlanmaktadır. Öte yandan, laboratuvar deneylerinde, bu tür çok yüksek plastisiteli killerde şişme özellikleri açısından tasarım kriterlerini sağlamada uçucu külün tek başına yeterli bir katkı olmayabileceği saptanmıştır.
Kirecin şişme basıncı üzerindeki etkisi, kireç içeriği %1'den %3'e artırıldığında maksimum olmuştur. Bu sonuç, şişme yüzdesi deney sonuçları ile de uyumludur.
Kireç katkısının şişme davranışı üzerindeki etkisi şişme basıncı deneylerinde de gözlemlenmiştir. Bilkent Kili'nde elde edilen şişme basınçları %20-%25 uçucu kül katkısı eklenen numunelerde %7-%9 kireç eklenen numunelere göre yaklaşık 2.7 kat daha fazladır.
Optimum su içeriğinde (suya boğulmamış) ve suya boğulmuş şekilde hazırlanan katkılı numunelerin serbest basınç dayanımları dikkate alındığında ise optimum su içeriğinde hazırlanan numunelerde serbest basınç dayanımları %7 kireç içeriğine kadar suya boğulmuş numunelere göre daha yüksektir. Suya boğulan numunelerin dayanımları, özellikle %7'den başlayarak ortamda suyun varlığı ile gerçekleşen sertlik kazanma ya da pozolanik olarak adlandırdığımız reaksiyonlara bağlı olarak optimumda hazırlanan numunelerin dayanımını geçmektedir.
C sınıfı uçucu kül için ise, Bilkent Kili'nde optimum su muhtevasında (suya boğulmamış) hazırlanan numunelerin serbest basınç dayanımları suya boğularak hazırlanan numunelere göre her zaman daha yüksek bulunmuştur.
Bu araştırmada elde edilen sonuçlar, sönmüş kireç katkısının, Ankara'da iki farklı sahadan alınan aşırı derecede yüksek (Esenboğa Kili) ve çok yüksek (Bilkent Kili) plastisiteli şişen killerin iyileştirilmesinde özellikle şişme özellikleri dikkate alındığında tek başına oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Ancak bu sonuç endüstiriyel bir atık olan uçucu kül için geçerli olmadığı görülmüştür. Bu sebepledir ki uçucu külün bu tür çok yüksek plastisiteli şişen killerin iyileştirilerek şişmeye bağlı tasarım kriterlerini sağlayabilmesi için, kireç ve/veya çimento gibi kalsiyum bazlı başka katkılarla beraber kullanılması önerilmektedir. Endüstriyel bir atık olan uçucu külün zemin iyileştirmesinde kullanılarak değerlendirilmesi özellikle ekonomik ve çevresel açılardan oldukça avantajlıdır.
Anahtar kelimeler: *şişen killer, kireç, uçucu kül, iyileştirme, şişme potansiyeli, kür süresi, serbest basınç dayanımı, esneklik modülü*