

KİLLİ ZEMİNLERDE PERMEABİLİTE VE EFEKTİF GERİLMENİN KOMPAKSİYON ENERJİSİNE BAĞLI OLARAK DEĞİŞİMİ *

*Changes Of Permeability And Preconsolidation Pressure Compacted Clayey Soils
Depending On The Compaction Energy*

Meltem TAŞÇI
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Hasan ÇETİN
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada kompaksiyonun önemli parametrelerinden biri olan sıkıştırma enerjisinin farklı oranlarda zemine uygulanması sonucu, zeminin mühendislik özelliklerinden permeabilite ve ön konsolidasyon basıncında meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Çalışmada Atatürk Barajı kil çekirdeğinde kullanılan Sam-Tekin ariyet ocağından örselenmiş zemin numuneleri alınmıştır. Killi zemini sınıflamak için kıvam, tane boyu ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon deneyleri yapılarak zeminin farklı kompaksiyon enerjisinde (15, 25, 35, 45 ve 55 vuruşlarda) maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su içerikleri belirlenmiştir. Belirlenen bu maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği değerlerinde tekrar Standart Proctor deneyleri yapılmış ve konsolidasyon ringine numuneler alınarak permeabilite ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak zemine uygulanan kompaksiyon enerjisi arttıkça; zeminin kuru birim hacim ağırlığının arttığı, optimum su içeriğinin azaldığı, ön konsolidasyon basıncının arttığı, boşluk oranının azaldığı ve permeabilitesinin düştüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompaksiyon enerjisi, permeabilite, ön konsolidasyon basıncı

ABSTRACT

In this study changes in engineering parameters such as permeability and preconsolidation pressure due to application of the compaction energy, one of the important parameters of compaction in different proportions have been investigated. Undisturbed clay samples obtained from the Sam-Tekin clay quarry, where the clay core material of the Atatürk Dam was taken, have been used in the study. In order to classify the samples, Atterberg Limits, grain size analysis and specific gravity tests have been performed. The maximum dry unit weights and optimum moisture contents of compacted samples for 5 different compaction energies (15, 25, 35, 45, 55 blows) have been determined by means of compaction tests. Permeability and consolidation tests have been performed on compaction samples taken from the compacted at the determined dry unit weights and optimum moisture contents. In conclusion, it was determined that as the higher the compaction energy increases, the dry unit weight and preconsolidation pressure

* Yüksek Lisans Tezi-MSc. Thesis

increase and the optimum moisture content, void ratio and permeability decrease.

KeyWords: Compaction Energy, Permeability, Preconsolidation Pressu

Giriş

Sıkıştırılmış zeminler türlerine ve sıkıştırma yöntemlerine göre farklı özellikler gösterir ve projelendirmelerde sıkıştırılmış zemin özellikleri önemli bir etkidir. Söz konusu özellikler geçirimsizlik, şişme-büzülme, sıkışabilirlik, gerilme deformasyon ilişkisi ve kayma direncidir.

Zeminin geçirgenliği ile boşluk oranı arasında yaklaşık bağıntı göz önüne alınırsa, kuru birim hacim ağırlığının artması ile porozitenin azalması dolayısıyla geçirimsizliğinde azalması beklenir. Lambe (1962), optimumdan kuruda sıkıştırılan zeminin su oranı arttıkça geçirimsizliğin azaldığını, optimumda minimum olduğunu, optimumdan ıslakta bir miktar azaldığını daha sonra arttığını tespit etmiştir. Zeminlerin ağır enerjilerde sıkıştırılması da kuru birim hacim ağırlıklarının artmasına ve boşlukların azalmasına yol açar. Optimumdan ıslakta ağır enerjide sıkıştırılan zeminlerin tane diziliminin paralel duruma geçmesiyle tanelere dik yönde geçirimsizliğin azalmasına karşın diğer yönde önemli bir değişiklik olmaz (Genç, 2008).

Sıkıştırılmış kilde yapının ve su içeriğinin belirgin şekilde etkilendiği diğer bir özellik sıkışabilirliktir. Lambe (1958b), aynı birim hacim ağırlıkta optimumdan ıslakta sıkıştırılan kilin sıkışabilirliğinin optimumdan kuruda sıkıştırılan kilin sıkışabilirliğinden fazla olduğunu belirtmiştir.

Seed ve Chan (1959), sıkıştırılmış killerin şişme büzülme özellikleri üzerinde yaptıkları çalışmada optimumdan kuru sıkıştırılmış killerde şişme potansiyelinin daha büyük olduğunu bulmuşlardır. Optimumdan kuruda su açığı daha büyüktür ve dolayısıyla daha fazla su adsorblama ve daha fazla şişme eğilimindedir. Optimumdan daha kuru zeminler, su içeriğindeki değişim gibi çevresel şartlara daha duyarlıdır. Optimumdan ıslak zeminlerde büzülme maksimumdur. Farklı yöntemlerle yapılan kompaksiyonun zeminlerin üzerine etkisi aynı şekil üzerinde gösterilmiştir (Holtz ve Kovacs, 1981).

Sıkıştırılmış killerin dayanım özellikleri oldukça karışıktır. Ancak optimumdan kuru sıkıştırılmış numunenin dayanımı optimumdan ıslak sıkıştırılmış numunenin dayanımından daha yüksektir. Optimumdan ıslak sıkıştırılmış numunenin dayanımı kompaksiyon yöntemine de bağlıdır. Bunun nedeni zemin yapısındaki farklılıktan ileri gelmektedir.

Materyal ve Metot

Materyal

Bu tez çalışmasında Şanlıurfa Bozova ilçesinde Sam-Tekin kil ocağında bulunan kili zeminden alınan numune kullanılmıştır.

Bu zeminin indeks özelliklerinin belirlenmesinde elek ve hidrometre seti, Casagrande likit limit aleti ve plastik limit plakası, piknometre ve ısıtıcı plaka kullanılmıştır. Zeminin mühendislik özelliklerini belirlemek için de standart

kompaksiyon moldu, permeabilite deney aletleri, konsolidasyon cihazı ve rutin laboratuvar araç gereçleri kullanılmıştır.

Metot

Bu yüksek lisans çalışması; arazi öncesi çalışmalar, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları Sam-Tekin kil ocağında yapılmıştır (Şekil 1). Ocaktan kıvam (Atterberg) limitleri deneyi, özgül ağırlık deneyi, tane boyu analizi ve kompaksiyon, konsolidasyon ve permeabilite deneylerinde kullanılmak üzere örselenmiş numuneler alınmıştır. Bu numuneler standartlara uygun olarak izole edilmiş ve taşımaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 1. Sam-Tekin kil ocağının görünümü

Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarında; çalışma sahasından alınan örselenmiş numuneler, laboratuvara getirilerek ilgili deneylere tabi tutulmuştur. Bu deneyler; Atterberg (Kıvam) limitleri deneyi, özgül ağırlık deneyi, tane boyu analizi (hidrometre ve elek), kompaksiyon deneyleri, konsolidasyon deneyleri ve permeabilite deneyleridir.

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Zeminin İndeks Özellikleri

Killi zeminin kıvam limitlerinin belirlemek için likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır.

Zeminin likit limiti (LL), % 62.40 ve plastik limiti (PL), % 28.50 bulunmuştur. Bu değerlerden de plastisite indisi (PI), % 33.90 bulunarak, zeminin plastik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

Zemine ait doğal su içeriği (w_n), % 11.5 olarak bulunmuştur. Su içeriği ve kıvam limitleri kullanılarak zemine ait likitlik indisi (LI), -0.050 ve kıvam indisi (CI), 1.5 olarak hesaplanmış ve zeminin arazideki kıvamı belirlenmiştir. LI değerine göre zemin arazide kırılğan katı durumda, CI değerine göre ise zemin yarı katı veya katı durumda yani zeminin doğal su içeriği likit limit değerinden küçüktür.

Zeminin LL ve PI değerleri Casagrande plastisite kartı üzerine işaretlenerek cinsi CH (yüksek plastisiteli inorganik kil) olarak belirlenmiştir.

Killi zemin numuneleri üzerine özgül ağırlık deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda zeminin özgül ağırlık değeri 2.65 bulunmuştur.

Daha sonra bu veriler hidrometre analizi deneyi hesaplamalarında kullanılmıştır.

Çalışma konusunu oluşturan zemine ait tane boyu oranlarını belirlemek amacıyla, tane boyu analizi yapılmış ve % kil ve silt oranları hidrometre analizi ile % kum ve çakıl oranları ise elek analizi sonucu bulunmuştur. Daha sonra zemine ait tane boyu eğrisi bu iki analiz sonuçları birleştirilerek elde edilmiştir.

Sam-Tekin ocağından alınan kil zeminin tane boyu, Hidrometre analizi aşaması sonucunda; kil % 47.00, silt % 42.36, elek analizi aşaması sonucunda; ince kum % 7.32, orta kum % 2.56, iri kum, % 0.76, ince çakıl, % 0 ve iri çakıl, % 0 olarak bulunmuştur.

USCS zemin sınıflamasına göre tane boyu analizi, kıvam limitleri deney sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde zeminin CH (yüksek plastisiteli inorganik kil) tipi bir zemin olduğu görülmektedir.

Zeminin Mühendislik Özellikleri

Bu çalışmada kapsamında farklı kompaksiyon enerji değerleri kullanılarak standart kompaksiyon deneyleri yapılmış olup, her bir enerji miktarı için kompaksiyon grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerden maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu faz parametrelerinde sıkıştırılan numuneler üzerinde, konsolidasyon deneyleri ve konsolidasyon cihazında düşen seviyeli permeabilite deneyleri yapılmıştır.

Zeminin Kompaksiyon Özellikleri

Çalışma konusu zeminin kompaksiyon özellikleri araştırılmış olup farklı kompaksiyon enerjilerinde zemin numuneleri sıkıştırılmış, her enerji değeri için maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği değerleri belirlenmiş ve yorumlanmıştır.

Zeminin Kompaksiyon Enerjisinin Belirlenmesi

Proctor, sıkışmanın bağlı olduğu faktörlerden birinin sıkışma enerjisi olduğunu tespit etmiştir. Sıkıştırma enerjisi zemin kütleline uygulanan mekanik enerjinin bir ölçüsüdür. Sıkıştırma enerjisinin Uluslar Arası Birimler Sistemindeki (SI'deki) birimi ise J/m^3 'tür. Arazideki sıkıştırma enerjisi genellikle geçiş sayısı veya belirli silindir tiplerinin "muhtevası" ile hacmi belli zemin üzerindeki ağırlık şeklindedir. Laboratuvardaki sıkıştırma teknikleri genellikle çarpma veya dinamik yoğurma ve statik kompaksiyon şeklindedir. En yaygın olarak kullanılan yöntem olan çarpma kompaksiyonu sırasında bir mold içindeki zemin üzerine tokmak birkaç defa düşürülür. Tokmağın kütlesi, düşüş yüksekliği, düşüş sayısı, zemindeki tabaka sayısı ve moldun hacmi not edilir ve bu veriler kullanılarak kompaksiyon enerjisi hesaplanır (Holtz ve Kovacs, 1981).

Bu çalışmada zemine uygulanacak enerji miktarı hesabında, bir tabakaya uygulanan vuruş sayısı değişken, diğer değerler ise sabit tutulmuştur.

Kompaksiyon enerjileri belirlenirken, standart olarak kullanılan 25 vuruşun altında ve üstünde değerler seçilmiştir. Zeminde meydana gelecek değişimlerin daha sağlıklı yorumlanabilmesi için kullanılacak enerjiler arasındaki farkın sabit bir değer olmasına dikkat edilmiş olup, iki enerji arasındaki fark 238 kJ/m^3 'tür. En üst vuruş sayısı ise 55 vuruş olarak belirlenmiştir; çünkü kullanılan zemin numunesinin kil olmasından ve fazla sıkışmadan dolayı çarpmalı kompaksiyonda bu değerden sonra ciddi tokmak sekmeleri oluşmakta ve zemine uygulanan enerji miktarı değişmektedir. Belirlenen bu kompaksiyon enerjilerinde numuneler sıkıştırılmış ve zeminin mühendislik özellikleri incelenmiştir.

"15 Vuruş" Sayısı ile Yapılan Kompaksiyon Deneyi

Sam-Tekin kil ocağından alınan, örselenmiş zemin numuneleri üzerinde 15 vuruş sayısına karşılık gelen enerjide, artan su içeriğinde beş adet kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları ile çizilen kompaksiyon eğrisi Şekil 2'de verilmiştir.

Deney sonuçlarına göre çizilen kompaksiyon eğrisinden zeminin optimum su içeriği % 27.85, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.439 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

"25 Vuruş" Sayısı ile Yapılan Kompaksiyon Deneyi

Artan su içeriklerinde hazırlanan killi zemin numuneleri üzerinde, 25 vuruş sayısına karşılık gelen enerjide yedi adet kompaksiyon deneyi yapılmış, sonucunda da bulunan değerler kullanılarak kompaksiyon eğrisi çizilmiştir (Şekil 2).

Şekil 2'deki kompaksiyon eğrisinden killi zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.486 gr/cm^3 ve buna karşılık gelen optimum su içeriği % 26.70 olarak belirlenmiştir.

"35 Vuruş" Sayısı ile Yapılan Kompaksiyon Deneyi

35 vuruş sayısına karşılık gelen enerjide, altı adet kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bu enerjiye karşılık gelen kompaksiyon eğrisi çizilmiştir (Şekil 2).

Kompaksiyon eğrisinden zeminin optimum su içeriği % 25.80, buna karşılık maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.520 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

“45 Vuruş” Sayısı ile Yapılan Kompaksiyon Deneyi

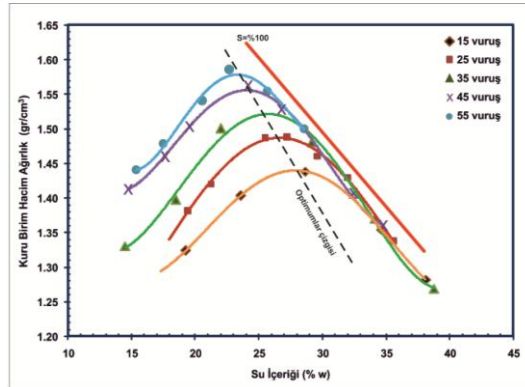
Killi zeminin kompaksiyon parametrelerini belirlemek için 45 vuruş sayısı ile yedi adet kompaksiyon deneyi yapılarak, bu deneyler sonucunda elde edilen kompaksiyon eğrisi Şekil 2’te verilmiştir.

45 vuruş sayısı için çizilen kompaksiyon eğrisinde görüldüğü üzere killi zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.556 gr/cm^3 , optimum su içeriği % 24.05 olarak bulunmuştur.

“55 Vuruş” Sayısı ile Yapılan Kompaksiyon Deneyi

Zemin numuneleri üzerine 55 vuruş sayısı ile, artan su içeriğinde altı adet kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Deneyler neticesinde bu enerjiye karşılık gelen kompaksiyon eğrisi Şekil 2’deki gibi çizilip killi zeminin optimum su içeriği % 23.38, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.578 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada yapılan kompaksiyon deneylerinin bir arada görülebilmesi ve yorumlanabilmesi için her enerji karşılık gelen kompaksiyon eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı enerjilerdeki kompaksiyon eğrileri

Kompaksiyon eğrileri optimumdan kuru, optimumda ve optimumdan ıslak olmak üzere üç kısma ayrılır. Şekil 2’deki grafikte kompaksiyon eğrileri yorumlanırken eğriler üç kısma ayrılarak her kısım kendi içinde değerlendirilmiştir.

Optimumdaki kısımlar incelendiğinde enerji arttıkça eğrilerin pik noktalarının yükseldiği ve sola doğru kaydığı gözlenmektedir. Bu durum vuruş sayısı ve buna bağlı olarak kompaksiyon enerjisi arttıkça kuru birim hacim ağırlığın arttığını, buna karşın optimum su içeriğinin azaldığını göstermektedir.

Kuru birim hacim ağırlıkların enerji arttıkça birbirlerine göre artış miktarları yüzde olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada 15 vuruşa karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlığa göre, diğer enerjilerdeki maksimum kuru birim hacim ağırlıkların artış miktarları sırasıyla % 3.23 - % 5.59 - % 8.09 - % 9.62 olarak bulunmuştur.

Optimum su içeriklerin enerji arttıkça birbirlerine göre azalma miktarları yüzde olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada 15 vuruş karşılık gelen optimum su içeriğine göre, diğer enerjilerdeki optimum su içeriği azalma miktarları sırasıyla % 4.13 - % 7.36 - % 13.46 - % 16.05 olarak bulunmuştur.

Eğrilerin pik noktalarından geçen çizgiye optimumlar çizgisi denir. Optimumlar çizgisi % 100 doygunluk çizgisine yaklaşık paralel konumdadır. Bu paralelliğin sebebi her ikisinde de kuru birim hacim ağırlık artmasına karşın su içeriğinin düşmesidir.

Eğrilerin optimumdan kuru tarafları incelendiğinde eğri kollarının birbirine yaklaşık paralel olduğu gözlenmektedir. Kolların birbirine paralel olması enerjideki farkların gözle görülür boyutta olduğunu göstermektedir.

Eğrilerin optimumdan ıslak tarafları incelendiğinde ise eğri kollarının birbirini kesmiş olduğu görülmektedir. Bu durum, optimumdan ıslak kısımda, enerji ne kadar artarsa artsın, tanelerin yerini su aldığından ve suyun sıkıştırılmamasından kaynaklanmaktadır.

Eğrilere genel olarak bakıldığında % 100 doygunluk çizgisinin hiçbir eğriyi kesmediği yani kompaksiyon enerjisi ne kadar artsa da boşlukların tamamen su ile dolmadığı görülmektedir.

Sıkıştırılmış Zeminin Konsolidasyon Özellikleri

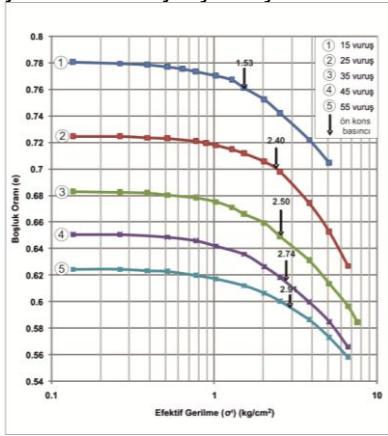
Bu çalışmada farklı enerjilerde yapılan kompaksiyon deneylerinde elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık ve buna karşılık gelen optimum su içeriğinde sıkıştırılan numuneler üzerine konsolidasyon deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler ile farklı sıklıkta olan dolgu malzemelerinin gerilme koşullarındaki davranışları ve Casagrande (1936) yöntemiyle de ön konsolidasyon basınçları belirlenmiştir. Her enerji değeri için iki adet deney yapılmış olup bu deneylerde elde edilen veriler Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Konsolidasyon deney sonuçları

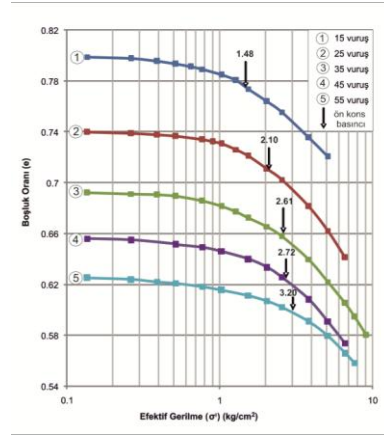
Vuruş Sayısı	Deney 1		Deney 2	
	Boşluk Oranı	Ön Konsolidasyon Basıncı (kg/cm ²)	Boşluk Oranı	Ön Konsolidasyon Basıncı(kg/cm ²)
15 Vuruş	0.7806	1.53	0.7975	1.48
25 Vuruş	0.7242	2.40	0.7398	2.10
35 Vuruş	0.6827	2.50	0.6922	2.61
45 Vuruş	0.6503	2.74	0.6567	2.72

55 Vuruş	0.6243	2.91	0.6254	3.20
-----------------	--------	------	--------	------

Yapılan konsolidasyon deneylerinin bir arada görülebilmesi ve yorumlanabilmesi için deneyler aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Ancak her enerji değeri için iki adet deney yapıldığından konsolidasyon eğrileri iki gruba ayrılarak 1 nolu ve 2 nolu olarak adlandırılmıştır. 1 nolu konsolidasyon eğrileri Şekil 3'de, 2 nolu konsolidasyon eğrileri ise Şekil 4'de gösterilmiş olup iki grafik içinde benzer yorumlar ortaya çıkmıştır.



Şekil 3. Her enerjiye karşılık gelen 1 nolu konsolidasyon eğrileri



Şekil 4. Her enerjiye karşılık gelen 2 nolu konsolidasyon eğrileri

Şekil 3 ve 4'deki eğriler incelendiğinde her eğride efektif gerilme arttıkça boşluk oranlarının azaldığı gözlenmektedir. Bunun sebebi zemin numunesine uygulanan gerilme arttıkça, zeminin boşluklarında bulunan havanın ve suyun ortamdan uzaklaşması ve zemin tanelerinin birbirine yaklaşmasıdır. Ön konsolidasyon basıncından daha düşük gerilmelerde, boşluk oranları fazla azalmazken, ön konsolidasyon basıncının üstündeki gerilmelerde boşluk oranları çok fazla azalmaktadır. Buna göre, zemine uygulanacak ön konsolidasyon basıncından düşük gerilmelerde zeminde deformasyonların az, ön konsolidasyon basıncından yüksek gerilmelerde deformasyonların daha fazla olacağı söylenebilir.

Her iki grafikte kompaksiyon enerjisinin konsolidasyon eğrileri üzerindeki etkisine bakıldığında enerji arttıkça ön konsolidasyon basınçlarının arttığı buna karşın başlangıç boşluk oranlarının azaldığı gözlenmektedir. Enerji artışı, taneleri birbirine daha fazla yaklaşmasına ve kenetlenmesine neden olduğundan zeminin boşluk oranı azalmakta buna bağlı olarak da ön konsolidasyon basıncı artmaktadır.

Kompaksiyon enerji arttıkça Şekil 3 ve 4'de ki 1 nolu ve 2 nolu konsolidasyon eğrilerinin ön konsolidasyon basınçlarındaki artış miktarları yüzde olarak hesaplanmıştır. Şekil 3'deki grafikte ön konsolidasyon basıncı artış miktarı 15 vuruşa göre sırasıyla % 56.8 - % 63.34 - % 79.08 - % 90.19, Şekil 4'deki

grafikte ön konsolidasyon basıncı artış miktarı 15 vuruşa göre sırasıyla %41 - %76.35 - % 83.78 - % 116.2 olarak hesaplanmıştır.

Grafiklerde ön konsolidasyon basınçlarına benzer şekilde kompaksiyon enerjisi arttıkça başlangıç boşluk oranlarındaki azalma miktarları hesaplanmıştır. Şekil 3'deki grafikteki eğrilerin başlangıç boşluk oranı azalma miktarları 15 vuruşa göre sırasıyla % 7.22 - % 12.41 - % 16.69 - % 15.63, Şekil 4'deki grafikteki eğrilerin ise başlangıç boşluk oranı azalma miktarları 15 vuruşa göre sırasıyla % 7.46 - % 13.38 - % 17.86 - % 21.77 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada uygulanan enerjiler arasındaki artış miktarları sabittir. Matematiksel olarak artış miktarı sabit olduğunda bulunan değerler arasındaki farklarında orantılı olması gerekir. Ancak her iki grafikte de eğrilerin birbirlerine göre konumlarına bakıldığında enerji arttıkça eğrilerinin birbirine doğru yaklaştığı yani başlangıç boşluk oranları arasındaki farkların azaldığı ve buna bağlı olarak ön konsolidasyon basınçlarının azalan bir ivme ile arttığı yani yaklaştığı görülmektedir. Bu durumun sebebi kompaksiyon sırasında oluşan zeminin yapısıdır. Uygulanan enerji zeminde öncelikle tanelerin birbirine yaklaşmasını sağlar ancak taneler arasında yine de boşluklar kalır. Enerji daha fazla uygulanınca ise taneler artık, ara boşlukları doldurmaktan çok enerjiye karşı bir direnç gösterirler. Ayrıca zemine uygulanan kompaksiyon enerjisi artmasına rağmen % 100 doygunluk çizgisinin kompaksiyon eğrilerini kesmemesi de zeminde daima bir miktar boşluk kalacağına bir göstergesidir (Şekil 2).

Sıkıştırılmış Zeminin Permeabilite Özellikleri

Dolgu yapılarında özellikle baraj dolgularında sızıntının olmaması ve yapının stabilitesi için düşük geçirgenliği sahip olması istenir. Bu nedenle yapılacak dolgunun geçirgenliğini belirlemek için permeabilite deneyleri yapılır.

Bu çalışmada farklı enerjilerde yapılan kompaksiyon deneylerinde elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık ve buna karşılık gelen optimum su içeriği değerlerinde numuneler sıkıştırılmıştır. Daha sonra kompaksiyon moldunda sıkıştırılan her zeminden hassas bir şekilde, numune ringleri yardımıyla numuneler alınarak permeabilite deney hücrelerine yerleştirilmiştir. Her enerji değeri için konsolidasyon deneyinden elde edilen ortalama ön konsolidasyon basıncına karşılık gelen yükte konsolidasyon deney cihazında permeabilite deneyleri yapılmış ve geçirimsizlik katsayıları hesaplanmıştır. Deney sonucunda elde edilen permeabilite katsayıları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2'e bakıldığında en düşük enerji miktarı olan 15 vuruşun permeabilite katsayısına göre diğer enerjilere karşılık gelen permeabilite değerlerinin azalış miktarları yüzde olarak hesaplanmış ve sırasıyla %31.92 - %55.01 - %69.47 - %83.43 olarak bulunmuş olup vuruş sayısına bağlı olarak enerji miktarı arttıkça permeabilite katsayılarının giderek azaldığı gözlenmektedir.

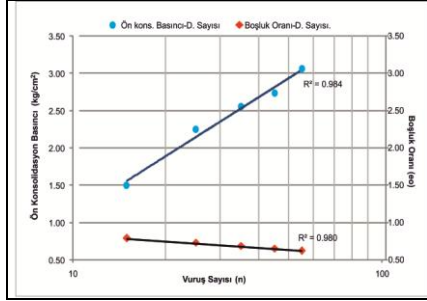
Zeminin geçirgenliği taneler arasındaki boşluklarının fazla ve birbiri ile bağlantılı olmasıyla alakalıdır. Kompaksiyon enerjisi arttıkça permeabilite katsayılarının azalması bu durumla ilgilidir. Enerji arttıkça zemin taneleri daha sıkı duruma gelmekte ve buna bağlı olarak hem boşluklar hem de boşlukların birbiri ile bağlantısı azalmaktadır.

Çizelge 2. Tüm Numunelerin Permeabilite Değerleri

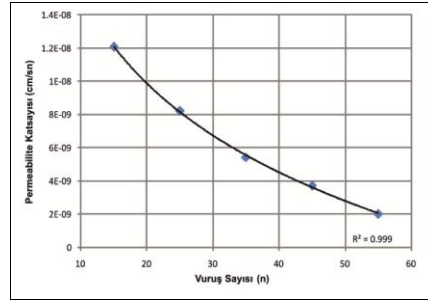
Enerji (Vuruş Sayısı)	Permeabilite Katsayısı 1 (k, cm/s)	Permeabilite Katsayısı 2 (k, cm/s)	Ortalama Permeabilite Katsayısı (k, cm/s)	Permeabilite Derecesi (Ulusay, 2001)
15	1.335×10^{-8}	1.078×10^{-8}	12.06×10^{-9}	Az geçirgen
25	9.305×10^{-9}	7.118×10^{-9}	8.211×10^{-9}	Az geçirgen
35	5.807×10^{-9}	5.044×10^{-9}	5.425×10^{-9}	Az geçirgen
45	3.539×10^{-9}	3.826×10^{-9}	3.682×10^{-9}	Az geçirgen
55	2.550×10^{-9}	1.447×10^{-9}	1.998×10^{-9}	Az geçirgen

Zeminin Mühendislik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Farklı kompaksiyon enerjilerinde sıkıştırılan zemin numuneleri üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucunda elde edilen ön konsolidasyon basıncıları ve bu basınç değerlerine karşılık gelen boşluk oranlarının kompaksiyon enerjileriyle olan ilişkisini gösteren grafik Şekil 5'te, ön konsolidasyon basıncılarına karşılık gelen yüklerde yapılan permeabilite deneyleri sonucunda elde edilen permeabilite katsayıları ile kompaksiyon enerjileri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 6 da verilmiştir.



Şekil 5. Vuruş sayısı, ön konsolidasyon basıncı, boşluk oranı ilişkisi



Şekil 6. Vuruş sayısı, permeabilite katsayısı ilişkisi

Şekil 5'te konsolidasyon grafiklerinde olduğu gibi (Şekil 3, 4) zemine uygulanan kompaksiyon enerjisi (vuruş sayısı) arttıkça ön konsolidasyon basınçları doğrusal olarak artmakta, buna karşın boşluk oranları doğrusal olarak azalmaktadır. Grafikte, boşluk oranı ile vuruş sayısı arasındaki ilişki incelendiğinde vuruş sayısı arttıkça boşluk oranlarının gitgide birbirine yaklaştığı gözlenmektedir.

Şekil 6'teki grafikte kompaksiyon enerjisi arttıkça permeabilite katsayısının azaldığı ve aralarındaki ilişkinin eğrisel olduğu gözlenmektedir.

Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada Şanlıurfa/Bozova'da bulunan Sam-Tekin kil ocağından alınmış ve aynı zamanda Atatürk Barajı kil çekirdek malzemesi olan kırmızı renkli kalıçilli kili zemin numunesi kullanılmıştır. Sam-Tekin kil ocağında bulunan killi zemin Pliyosen yaşlı Keprice Formasyonu içerisinde yer almaktadır.

Araziden alınan örselenmiş numunelerle yapılan sınıflama deneyleri sonucunda ve zemin (CH) yüksek plastisiteli inorganik kil olarak bulunmuştur.

Optimumdan kuruda enerji arttıkça kompaksiyon eğrileri birbirine paralel optimumdan ıslakta ise kompaksiyon eğrileri birbirini kesmiştir. Bu durum optimumdan kuruda enerji artışının gözle görülür olduğunu, optimumdan ıslakta ise enerji artışının bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

% 100 doygunluk çizgisinin hiçbir eğriyi kesmediği yani kompaksiyon enerjisi ne kadar artsa da boşlukların tamamen su ile dolmadığı yani boşluklarda bir miktar havanın olduğu belirlenmiştir.

Zeminin konsolidasyon özellikleri incelendiğinde kompaksiyon enerjisi arttıkça boşluk oranlarının azaldığı buna karşın ön konsolidasyon basınçlarının arttığı gözlenmektedir.

Kompaksiyon enerjisi arttıkça zeminin boşluk oranı ve ön konsolidasyon basıncı değerleri birbirine yaklaşmaktadır. Bu yaklaşmanın 25 vuruştan sonra daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Bu durum 25 vuruştan sonra zeminin konsolidasyon özelliklerinin fazla değişmeyeceğini göstermektedir.

Kompaksiyon enerjisi arttıkça permeabilite katsayıları azalmaktadır. Buna rağmen enerji değerlerinde geçirgenlik sınıfı değişmemiş ve zeminin az geçirgen olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

GENÇ, D. 2008. Zemin Mekaniği ve Temeller, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No:100, 848 s.

LAMBE, T.W., 1958b. The Engineering Behavior of Compacted Clay. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 84, No. SM2 , pp. 1655-1 to 1654-34.

LAMBE, T.W., 1962. Soil Stabilization, Chapter 4 of Foundation Engineering, G.A. Leonards (ed) Mc. Graw-Hill, New York.

CASAGRANDE, A., 1936. The Determination of the Pre-Consolidation Load and Its Practical Significance, Discussion D-34, Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, Vol.

HOLTZ, R. D. and KOVACS, W. D., 1981. (Çeviri: KAYABALI, K., 2002). Geoteknik Mühendisliğine Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara 723 s. III. 60-64 pp.

SEED , H. B., and CHAN, C. K., 1959. Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 85, No. SM5, pp. 87-128.