

**Araştırma Makalesi / Research Article**

**Portland Kompoze Çimento Katkısı ile Şişen Killerin Stabilizasyonu**

\*<sup>1</sup>Murat KİLİT, <sup>2</sup>Uğur Şafak ÇAVUŞ, <sup>3</sup>İsmail ZORLUER

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye, mkilit@aku.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1912-6151>

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, ugrcavous@isparta.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4804-8735>

<sup>3</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye, izarluer@aku.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5017-084X>

Geliş / Recieved: 22.09.2021;

Kabul / Accepted: 30.12.2021

**Öz**

Şişme potansiyeli yüksek zeminlerin iyileştirilmesinde çimento, uçucu kül, bazı organik bileşikler gibi katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi kampüs alanında yer alan yüksek şişme potansiyeline sahip killerin Portland Kompoze çimentosu ile iyileştirilmesi araştırılmış, çimento katkısı-şişme yüzdesi ilişkisi, şişme yüzdesi-su içeriği değişimi ve şişme yüzdesinin zamanla değişimi incelenmiştir. Bu amaçla, standart ve modifiye enerji seviyelerinde ve farklı çimento katkı yüzdelerinde (% 0, 2, 4) hazırlanmış numuneler üzerinde klasik ödometre cihazı ile serbest şişme yüzdesi deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre çimento katkısının, killerin şişme potansiyelini azalttığı tespit edilmiş olup katkının % 2 seviyesinden sonra kullanımında daha etkili olduğu tespit edilmiş bu etkinin de yüksek enerji düzeyinde kısmen daha da arttığı belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Stabilizasyon, Şişen killer, Çimento, Şişme miktarı

\*<sup>1</sup>Sorumlu yazar / Corresponding author

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Kilit, M., Çavuş, U. Ş., & Zorluer, İ. (2021). Portland Kompoze Çimento Katkısı ile Şişen Killerin Stabilizasyonu. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 3(2), 185-195.

## Stabilization of Swelling Clays with Portland Cement Admixture

### Abstract

Some admixtures such as organics, portland composite cement, fly ash, and cement are used to improve soils having a high swelling potential. In this study, improvement of the clays with high swelling potential located on the Osmangazi University campus site is investigated using Portland composite cement. Relationships with cement rate and swelling percentage, swelling percentage and resulting water content, and variation of swelling ratio with time are all studied. That's why swelling percentage tests are performed on the specimens prepared with different standard and modified energy levels and different cement rates such as 0, 2, and 4 percentages by using a classic odometer test device. Results of the tests show that cement with some specified rates may successively be used to improve clays having high swelling potential. The effects on the improvement of the clays are increased for the cement rates more than %2 and for the high energy levels.

*Keywords: Swelling clays, Cement, Stabilization, Swell quantity*

## 1. Giriş

Farklı su muhtevası değerlerinde büzülme ve şişme kapasitesine sahip zeminlere şişen zemin denilmektedir. İnşaat mühendisliğinin ilgi alanında bulunan yapıların hasar görmesinin sebeplerinden bir tanesi, zeminden kaynaklanan problemler olarak gösterilebilir. Kilin şişme özelliği; suya doygun halde bulunmayan kil yapıdaki zeminlerin su ile birlikte etkileşimde bulunması sonucu bünyesine aldığı suya bağlı olarak hacim artışı ile ortaya çıkacak ilave şişme basıncı olarak ifade edilmektedir. Aşırı basınçların oluşması sonucu yapı temellerinde hasarlar tespit edilmektedir. Killi zeminlerde yapılan ağırlığı oldukça düşük, açık sulama kanalı, karayolu, demiryolu, havaalanı pistlerinin temellerinde bu problemlerle karşılaşmaktadır. Zeminlerin su muhtevsındaki değişikliğin başlıca nedeni mevsimsel değişiklikler olup, yağışlı mevsimlerde yüzeyde biriken yağış sularının zeminin içerisine sızmasıyla zeminin su muhtevası artmakta, sıcak mevsimlerde ise buharlaşma nedeniyle azalmaktadır (Demir ve Kılıç, 2010).

ABD Su İşleri Teşkilatı(USBR) teknik personeli, Oregon eyaletindeki Owyhee projesinde yapılmış olan çelik sifonun temelinde, zıt yönde hareket eden deplasmanlar tespit etmişlerdir(Chen, 1988). Suyla temas ettiklerinde şişen zeminler genellikle dört mevsim yağış almayan kurak, yarı kurak iklimlerde görülmektedir. Ülkemizde Ankara ilinde ve ayrıca Güneydoğu Anadolu

Projesi kapsamında inşa edilen zati ağırlığı düşük sulama yapılarında bu tür problemler görülmüştür (Tosun ve Kırmızıtaş, 1993).

Fakat 1940'lı yıllardan sonra doğrudan zemin üzerine inşa edilen beton yapıların hızlı artışı, şişen zeminlerden kaynaklı hasarların artmasına neden olmuştur. Zemine bağlı hasarlardaki bu artış, temel zemininde yapılması zorunlu olan çalışmaların yetersizliğini ve geoteknik çalışmalardaki eksikliklerin neden olduğu belirtilmelidir (Chen, 1988).

Katkı maddeleri ile iyileştirme işleminde, zeminlerin mekanik özelliklerinde çevre ve yükleme koşullarına göre gerekli iyileştirmenin güvenli, ucuz ve doğal malzeme yardımıyla gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Daha çok ulaştırma yapıları, su yapıları, yapı temelleri katı atık depolama tesislerinde uygulanmakta olan bu işlemde kullanılan katkı malzemeleri olarak çimento, kireç, uçucu kül, bitüm, klorit, lignin, melas ve bazı özel kimyasal bileşikler sayılabilir (Kılıç, 2008).

Bu çalışmada şişen killerin çimento katkısıyla stabilizasyonu konusu araştırılmış, deneysel olarak sonuçlar ortaya konulmuştur. Ayrıca bu tür zeminlerin inşa sırasında ortaya çıkaracakları problemlerin önlenmesi için tasarım önlemleri de değerlendirilmiştir.

## 1.1. Çimento Katkısı ile Stabilizasyon

Zeminlerin stabilizasyonu işlemi için çimento kullanımı fikri 19. yüzyılın başlarında gelişmiştir. Bu amaçla 100 yıldan bu yana kullanılmakta olan çimento malzemesi içerisinde en çok bilinen Portland kompoze çimentosudur. Zemin iyileştirme çalışmasındaki en temel amaç, zeminin geçirgenliğini düşürmek, plastisitesini azaltmak, sıkışabilirliğini azaltmak ve mukavemetini arttırmaktır. Böylece zemin daneleri arasındaki bağlar kuvvetlendirilmektedir. Kireç katkısının zeminin likit limit değerine bağlı olarak plastisite indisinde artış veya azalmı oluşturduğu, çimento katkısının ise iri daneler arasındaki boşlukların dolmasını sağlayarak zeminin mukavemetinin artmasına katkı yaptığı, uçucu kül katkısının ise plastisite indisini düşürücü etki yaparak, zeminin özelliklerine bağlı olarak yine mukavemet artışını sağladığı bilinmektedir (Kılıç, 2008).

Çimento ile stabilizasyon işlemi gerçekleştirilen zeminin dayanımı; kullanılan çimentonun tipine, zemin iyileştirilmesi sırasında uygulanan kür koşullarına, kullanılan çimentonun yüzdesine, zeminin cinsine, çimentonun içerisinde katkı maddelerinin miktarına bağlıdır. İçerisinde bol miktarda silis bulunduran, ana hammadde kil ile kalker olan ve mineral parçalarını (çakıl, kum, briket, tuğla. vs) birleştirmede kullanılan yapı malzemesi olan çimento, su ile birlikte reaksiyona girmesi sonucu sertleşen bir bağlayıcı olup bir seri reaksiyon sonucu zemin yapısında güçlü bağlar oluşturur.

Çimento-Zemin etkileşim reaksiyonlarının 1. aşamasında çimentonun bilinen hidroliz ve hidratlaşması rol oynarken (Kılıç, 2008) ikincil reaksiyonlarda kilin mineral yapısı ve ortamda bulunan amorf yapıda olan malzemede değişiklikler sonucu yeni bir bağlayıcı etki oluşmasını sağlamaktır. Çimento, beton karışımında hacim olarak en az yeri kaplayan önemli bir bileşendir. Günümüzde en fazla kullanılan çimento tipleri Katkılı Çimento, Portland Kompoze Çimento, Sülfata Dayanıklı Çimento ve Cürufu Çimento'dur. Bunun yanı sıra özel amaçlar için bazı tip çimentolarla birlikte Beyaz Portland Çimentosu kullanılmaktadır. Klasik bir betonda agrega taneleri en önemli ve en sağlam unsur olduğundan diğer iki önemli unsur da (aderans ve çimento hamuru) mukavemeti tayin etmektedir. Uygulama aşamasında kullanılan çimento; sulandırılmış veya kuru halde olabilir. Ancak kuru halde uygulamada, zemin içerisinde topaklanma, çevre ve hava kirliliği gibi problemlere neden olabilir. Bu tarz uygulamalarda, yeterli miktarda su verilememesi gibi durumlarla da karşılaşılması mümkündür.

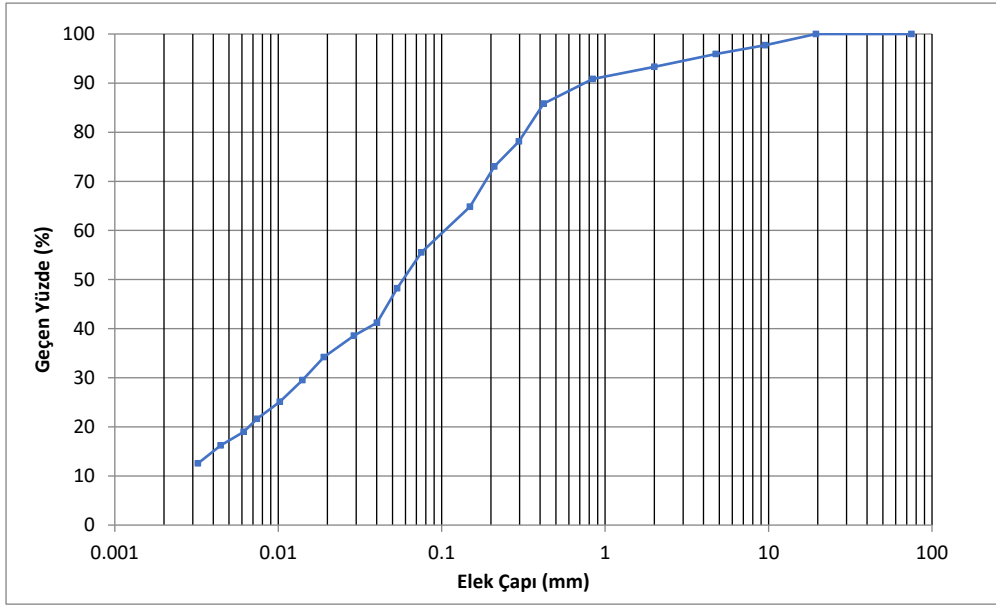
## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Zemin ve Malzeme Özellikleri

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi yerleşkesinde genel olarak kireçtaşı ve kumtaşı birimlerini içeren yaşlı bir formasyon olan Pleyistosen bulunmaktadır. Bu yaşlı birimler; zaman içerisinde ayrışarak siltli kil, kumlu kil ve kil zemin haline dönüşmüştür. Bu

yapının büyük bir kısmı Porsuk vadisi içerisinde taşınmış ve Vişnelik bölgesi diye adlandırılan killeri oluşturmuştur (Türköz, 2006). Bu çalışma kapsamında; bölge bölge aşırı konsolide halde

bulunan ve kil özelliklerini taşıyan “Meşelik kili” olarak adlandırılan zemine belirli oranlarda portland kompoze çimento katkısı ile birlikte stabilizasyonu araştırılmıştır.



Şekil 1. Numunelerin tane dağılım deney grafiği

Zemin örnekleri bir bölgeden alınmış ve bu zemin örneklerinin sınıflama ve tanımlama değerleri TS 1900-1 esasında tespit edilmiştir. Şekil 1’de alınan numunelerin tane dağılımı görülmektedir.

Numunenin %4,1 çakıl, %40,4’i kum, %55,5’i ince taneli malzemedir. Başlangıç su muhtevası, Atterberg (Kıvam) limitleri, birim hacim ağırlıkları gibi zeminin indeks özellikleri zemin

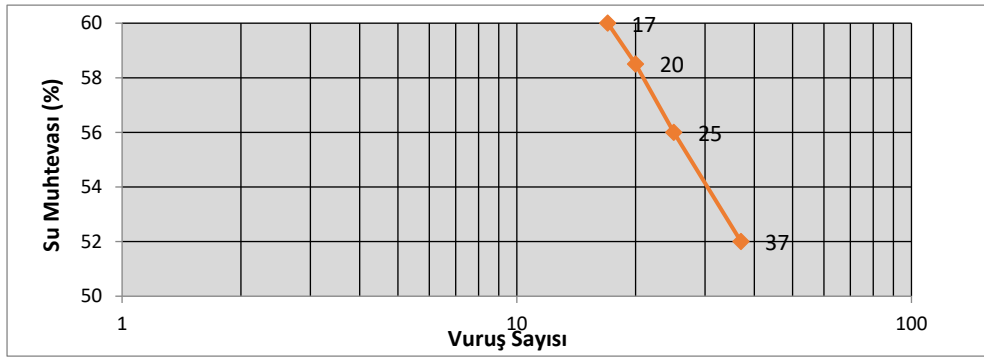
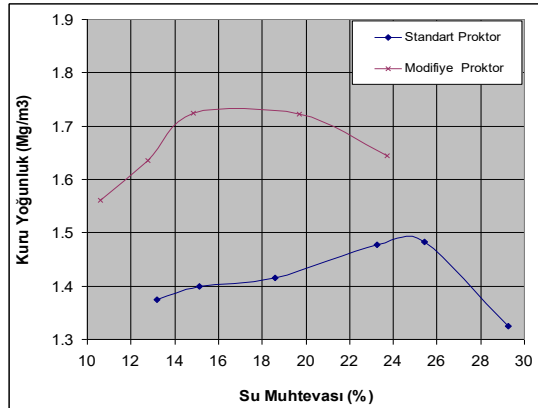
sınıflandırılmasında ve tanımlanmasında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Atterberg (Kıvam) limitleri, ince daneli zeminlerin kıvam limitlerindeki su muhtevasını belirler. Meşelik kilinden alınan numuneler üzerinde plastik limit deneyi yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda elde edilen değerlerin bir bölümü Tablo 1 de sunulmuş, ortalama plastik limit 30,53 olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 1.** Numunelerin plastik limit deney tablosu

Deney no:	Plastik Limit			
	1	2	3	4
Kap + Yaş zemin (g)	24.2	22.7	23	22.4
Kap + Kuru zemin (g)	21.7	20.8	20.8	20.4
Kap ağırlığı (g)	14	14.2	13.6	13.8
Su Kütlesi (g)	2.5	1.9	2.2	2
Kuru Zemin Kütlesi (g)	7.7	6.6	7.2	6.6
Su Muhtevası (%)	32.47	28.79	30.56	30.3
Ortalama Plastik Limit	30.53			

Meşelik kilinden alınan numuneler üzerinde Casagrande likit limit cihazı ile likit limit tespit edilmiştir. Likit limit değeri Şekil 2 de gösterilen grafikte 25 vuruşa karşılık gelen 56.5 değeridir. Yapılan deneyler sonucunda plastisite

indisi 25,97 olarak hesaplanmıştır. Özgül ağırlık 2,72 olarak tespit edilmiştir. Tamamen ince daneli olan zemin numuneleri, “yüksek plastisiteli kil (CH)” olarak sınıflandırılmıştır.

**Şekil 2.** Casagrande cihazı ile yapılan likit limit deney grafiği**Şekil 3.** Numunenin Standart Proktor (SP) ve Modifiye Proktor (MP) enerji seviyelerine ait sıkışma eğrileri.

Kompaksiyon özelliklerini belirlemek amacıyla; Modifiye Proktor (MP) ve Standart Proktor (SP) enerji seviyelerinde kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon deney sonuçlarından, numunelerin hazırlanması için kullanılacak optimum su muhtevası ve en büyük kuru yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Şekil

3’de iki farklı enerji seviyesindeki kompaksiyon eğrileri verilmiştir. Standart proktor deneyinde optimum su muhtevası %24,5, maksimum kuru yoğunluk ise 1.49 Mg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Modifiye proktor deneyi sonucunda optimum su muhtevası %18, maksimum kuru yoğunluk ise 1.725 Mg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 2. Portland kompoze çimentonun kimyasal yüzdesi**

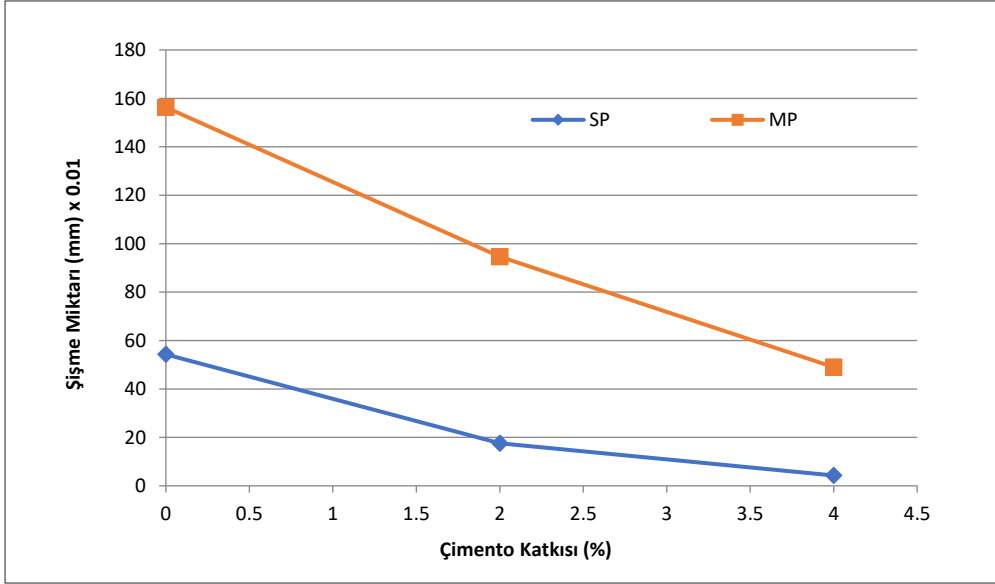
Oksit	Ağırlık %
SiO <sub>2</sub>	25.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.07
CaO	53.33
MgO	3.87
SO <sub>3</sub>	1.9
K <sub>2</sub> O	1.21
Na <sub>2</sub> O	0.48
KK	1.1

Deneyisel çalışmada, Eskişehir Çimento Sanayi T.A.Ş Fabrikasında üretilen CEM II / B-M 42.5R Portland Kompoze Çimento kullanılmıştır. Kullanılan portland kompoze çimentoya ait kimyasal özellikler Tablo 2’de gösterilmiştir. Çimento stabilizasyonu ile zemin iyileştirme deneyi, kil zeminin üzerine çimento eklenmesi ve karıştırılması ile gerçekleştirilmiştir.

## 2.2. Numune Hazırlanması

Deneyisel çalışmalar kapsamında, Standart Proktor enerji düzeyinde (600

kJ/m<sup>3</sup>) kil numunesine üç ayrı katkı yüzdesinde (%0, 2, 4) portland çimento eklenerek hazırlanan numuneler şişme deneyine tabi tutulmuştur. Her katkı yüzdesi için dört (4) adet numune üretilmiştir. Bu işlemlerin aynısı Modifiye Proktor enerji düzeyi (2700 kJ/m<sup>3</sup>) için de tekrar gerçekleştirilmiştir. Şişme deneyleri, ödometre standart deney kalıbı (D:75 mm ve H=20 mm) kullanılarak ödometre deney cihazında yapılmıştır. Şişme deneyine tabi tutulan numuneler, dinamik sıkıştırma yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Şişme miktarı çimento katkı yüzdesi ilişkisi.

### 3. Bulgular

#### 3.1 Şişme Deney Sonuçları

Hazırlanan numuneler ön yüklemeye tabi tutulduktan (7 kPa) sonra suya batırılarak belirli zaman aralıklarında (0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 60, 120, 240, 300 ve 1440 dk) şişme deneyine tabi tutularak değişimleri ölçülmüştür. Bu deney kapsamında standart proktor ve modifiye proktor enerji seviyelerinde iki adet çimento katkı yüzdesinde ve her katkı yüzdesinde dört adet numune üzerinde toplam 24 deney yapılmıştır. Bu deneyin sonuçları zamana bağlı şişme miktarı, su içeriğine bağlı şişme miktarı ve şişme miktarı-çimento katkı yüzdesi esaslarına göre değerlendirilmiştir.

Şişme miktarı ile çimento katkı yüzdesi ilişkisi Şekil 4'de verilmektedir. Bu

ilişkiyi araştırmak için her katkı seviyesinde deney başlama zamanından itibaren 24 saatin sonunda ölçülen dört adet şişme miktarının ortalamaları alınmıştır. Şekil 4'de görüleceği üzere çimento katkısı arttıkça şişme miktarı azalmıştır. Standart proktor'da %2 çimento karışımı ile şişme miktarı %18 düşmüştür. Standart proktor'da %4 çimento karışımı ile şişme miktarı %4'e düşmüştür. Modifiye proktor'da %2 çimento karışımı ile şişme miktarı %95'e düşmüştür. Modifiye proktor'da %4 çimento karışımı ile şişme miktarı %49'a düşmüştür. Modifiye proktor sıkılığındaki numunelerin şişme miktarının daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Bunun nedeni, modifiye proktor ile sıkıştırma sonucu zeminde daha az boşluk kalmasıdır. Birim hacimdeki boşluğun az olması daha çok zemin



tanisi demektir. Bu da daha büyük, spesifik yüzey alanıdır. Spesifik yüzey alanı artınca şişme daha yüksek miktarda gerçekleşir. Modifiye Proktor sıklığındaki numunelerin katkısız durumda yüksek şişme değerleri verdiği, numunelere çimento katkısı eklendiği zaman numunelerin serbest şişme miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Kil tanelerinin yüzeyi elektriksel çekim kuvveti ile katkı maddelerinin iyonlarını tutar. Bu sayede, kilin çekebileceği su molekülü miktarı veya su moleküllerinin tutunacağı kil tanesi yüzeyi küçülür. Kil daha az su molekülü çeker ve şişme miktarı düşer, katkı arttıkça şişme daha da azalır. Şişme miktarının zamana bağlı değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Bu şekilde tüm numune serilerinden birer adet seçilmiş numunelerin kayıtları dikkate alınmıştır. Şekil 5'de görülebileceği gibi her iki enerji seviyesinde katkısız numunelerin şişme miktarı çimento katkılı numunelere göre oldukça yüksektir.

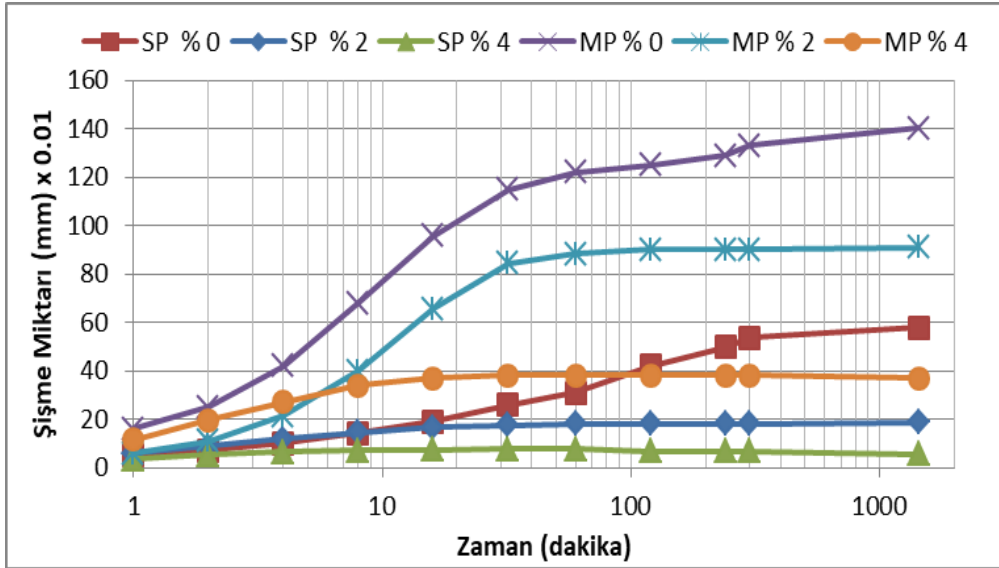
Deney sonuçlarına göre sıkıştırılmış numunelerin şişme miktarı, yüksek enerji düzeyinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Standart proktor enerji seviyesinde ve %0 çimento katkı oranında yapılan deneyin 120. dakikasındaki şişme miktarı 42(x0.01mm) iken modifiye proktor enerji seviyesinde ve %0 çimento katkı oranında yapılan deneyin 120. dakikasındaki şişme miktarı 125(x0.01mm) olmaktadır.

Şekil 5'den görüleceği üzere standart enerji seviyesinde %4 çimento katkısı eklenen numunelerde miktar olarak en düşük şişme değeri elde edilmiştir. Standart Proktor ve Modifiye Proktor deneyleri ile hazırlanan katkılı numunelerin deney başlangıcından itibaren ilk yarım saat içerisinde nihai şişme miktarına yakın değere ulaştığı belirlenmiştir.

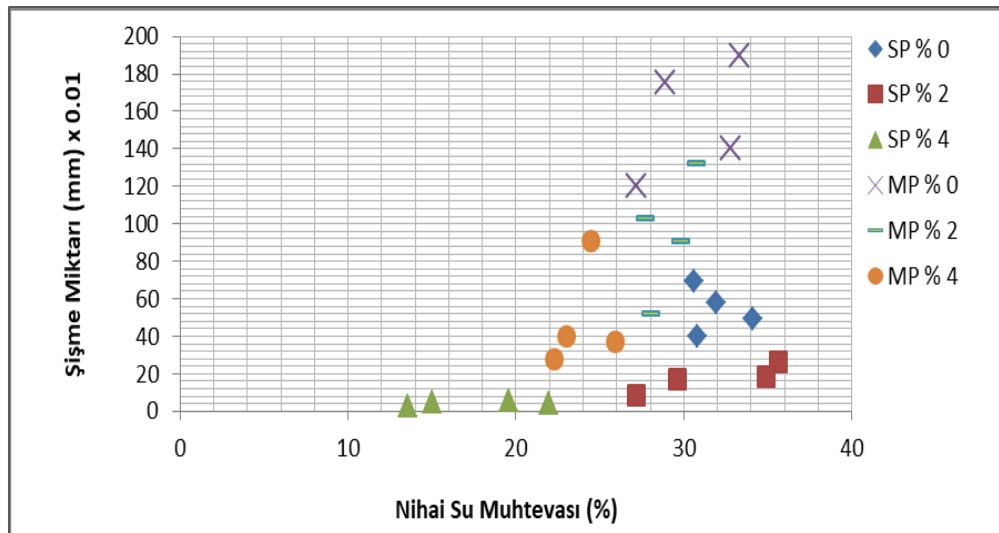
Çimentonun su ile reaksiyonu sonucunda oluşan hidratasyon etkisi nedeniyle zemin stabilizasyonun sağlandığı açıkça görülmüştür. Bu etki neticesinde, tabakalar halinde sıkıştırma işlemi ile birlikte inşa edilen yapılarda (karayolu, demiryolu vb), kısa süre içinde stabilizasyonun sağlanması nedeniyle kullanışlıdır.

Şekil 6'da görüldüğü üzere deneye tabi tutulan numunelerin şişme miktarı ile deney sonrasındaki su içeriği değişimi verilmektedir. Bu değişim hem modifiye proktor hem de standart proktor enerji düzeyi için araştırılmıştır.

Bazı seviyeler için özellikle de katkılı numunelerde su muhtevası değişimi geniş bir dağılım göstermektedir. Bu değişim; çimento katkısının zemin içerisinde üniform bir şekilde dağılmamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu durum zeminin çimento katkısı ile stabilizasyonunda bir sıkıntı olarak görülmektedir.



Şekil 5. Numunenin şişme miktarı zaman ilişkisi.



Şekil 6. Serbest şişme miktarı-nihai su muhtevası değişimi

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi yerleşkesi içerisinde alınan ve "Meşelik kili" olarak bilinen yüksek plastisiteli kil (CH) zeminin, portland kompoze çimento katkısı ile şişme

potansiyelinin stabilizasyonu araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Sıkıştırılmış zemin numunelerinin şişme miktarı, yüksek enerji düzeyinde daha yüksek elde

edilmiştir. Düşük enerji düzeyinde ise çimento katkısının etkisi daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.

•Katkılı zemin numunelerinde meydana gelen şişme olayının büyük bir kısmı, çok kısa bir süre içerisinde meydana geldiği görülmektedir. Lakin katkısız numunelerde ise bu sürenin kısmen daha uzun olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığın temel nedeni ise % olarak çimento katkısının meydana getirmiş olduğu hidrasyon reaksiyonu olarak ifade edilebilir.

•Katkılı zemin numunelerinde, çimento katkısı ile birlikte zeminin plastisite indisinin düşmesi sebebiyle, şişme yüzdeleri kısmen daha düşük olarak gerçekleşmiştir. Başka bir ifade ile çimento katkısı, zeminin su içeriğini de düşürmektedir.

•Deneysel çalışma neticesinde katkı malzemesi olarak kullanılan çimentonun, kil zeminlerin şişme potansiyelinin kontrolünde başarıyla kullanılabilceği ve bu katkının ise %4 seviyesinde kullanımında etkili olduğu tespit edilmiş ve bu olumlu etkinin yüksek enerji düzeyinde

kısmen daha yüksek olduğu görülmüştür.

#### Teşekkür

Bu çalışma için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Geoteknik laboratuvarından yararlanılmıştır.

#### 5. Kaynaklar

- Chen F. H. (2008). Foundation on expansive soils. *American Elsevier Science Publication, New York*.
- Demir, S., & Kılıç, M. (2010). Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin İyileştirme Yöntemleri. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 95-104.
- Kılıç G. (2008). Çimento ile zemin stabilizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye*.
- Tosun, H., & Kırmızıtaş, H. (1993.). Harran Killerinin Şişme Potansiyeli ve Bölgede İnşa Edilecek Su Yapıları İçin Önemi. *Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekanik Problemleri Sempozyumu*.
- Türköz, M. (2006). Şişen killerin kireç katkısı ile stabilizasyonu ve Eskişehir - Meşelik killere uygulanması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 75-88.