

Farklı Kil Oranına Sahip Siltli Zeminlerde Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi

¹Aşkın Özocak ve ²Yadigar Altundağ

¹Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey

²Graduate Student Science Institute, Sakarya University, Turkey

Abstract

Pre-consolidation pressure a soil represents the maximum stress value that the soil layer to be exposed in the past. This value is an important magnitude that determine the volume change and the consolidation behaviour of the soil layer under the stress variation. There a lot of studies in the literature about obtaining the pre-consolidation pressures of soil layers. All of these methods are required to use a consolidation curve which can be determined with the consolidation test. In these methods, today Casagrande method is the most preferred method.

In this study, eight samples were reconstituted from soil-water slurry under 100 kPa vertical stress in laboratory with silty soils prepared in different clay contents, bring out from Adapazarı city center. Samples have been subjected consolidation tests with classical oedometer equipment. Pre-consolidation pressure values of soil samples were determined using the six different methods from literature with obtained consolidation curves. Obtained results show that Casagrande method which is the most preferred method in practice gives the best results.

Keywords:Silt, clay content, consolidation, oedometer, pre-consolidation pressure.

Özet

Zeminlerin ön konsolidasyon basıncı söz konusu zemin tabakasının geçmişinde maruz kaldığı en büyük gerilme büyüklüğünü göstermektedir. Bu değer o zemin tabakasının gerilme değişimi altında göstereceği sıkışma-konsolidasyon davranışını belirleyen önemli bir büyüklüktür. Zeminlerin ön konsolidasyon basıncını bulmaya yönelik çok sayıda çalışma literatürde gözlenebilmektedir. Bu yöntemlerin hepsi zeminin konsolidasyon deneyi ile belirlenen konsolidasyon eğrisinin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu çok sayıda yöntemlerin içinden Casagrande yöntemi günümüzde en çok tercih edilen yöntem olmaktadır.

Bu çalışmada Adapazarı kent merkezinden elde edilen siltli zeminden farklı kil oranlarında hazırlanan 8 numune laboratuvarında bulamaçtan 100 kPa düşey gerilme altında konsolide edilerek yeniden oluşturulmuştur. Numuneler klasik ödometre aletinde konsolidasyon deneyine tabi tutulmuşlardır. Elde edilen konsolidasyon eğrileri kullanılarak literatürde bulunan 6 farklı yöntemle göre numunelerin ön konsolidasyon basıncı değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar pratikte de en çok tercih edilen Casagrande yönteminin gerçeğe en yakın sonuç verdiğini göstermiştir.

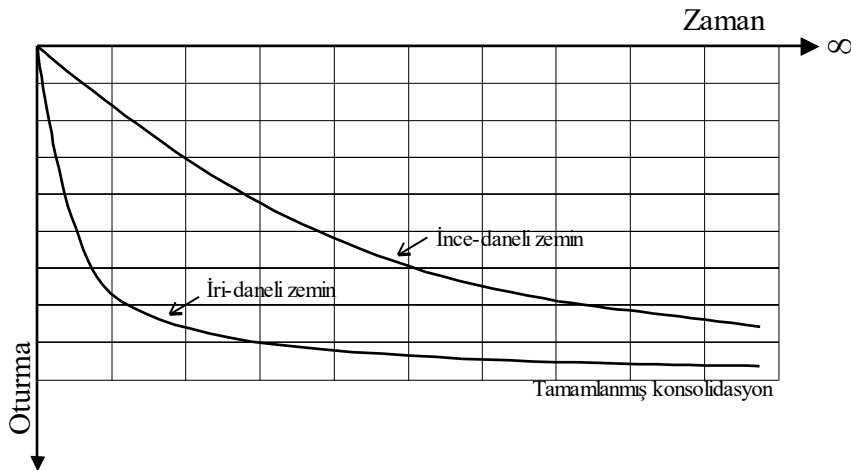
Keywords:Silt, kil oranı, konsolidasyon, ödometre, ön konsolidasyon basıncı.

1. Giriş

Zeminlerde hacim ve efektif gerilme arasındaki zamandan bağımsız ilişkisıkışma olarak tanımlanır.Sıkışmanın nedenleri; zemin danelerinin sıkışması, zemin boşluklarındaki hava ve/veya suyun sıkışması, boşluklardaki hava ve suyun dışarı çıkması sonucu danelerin birbirine yaklaşması ve zeminin toplam hacminin azalmasıdır.Bir üst yapı yükü veya toprak dolgusu ağırlığı altında efektif düşey gerilmedeki artış sonucu, zamanla zemin yüzeyinde oturma meydana gelir.Doygun zeminlerde geçerli olduğu kabul edilen efektif gerilmede artış olduğunda, boşluklardaki suyun basıncı artmaktadır. Bu basınç suyun zeminden çıkmasına neden olmaktadır.Konsolidasyon olarak tanımlanan bu davranış ince daneli zeminlerde zamana bağlı olarak yavaş bir şekilde gerçekleşmektedir.Dolayısıyla zaman burada önemli parametrelerden biridir.

2. Sıkışma ve Konsolidasyon

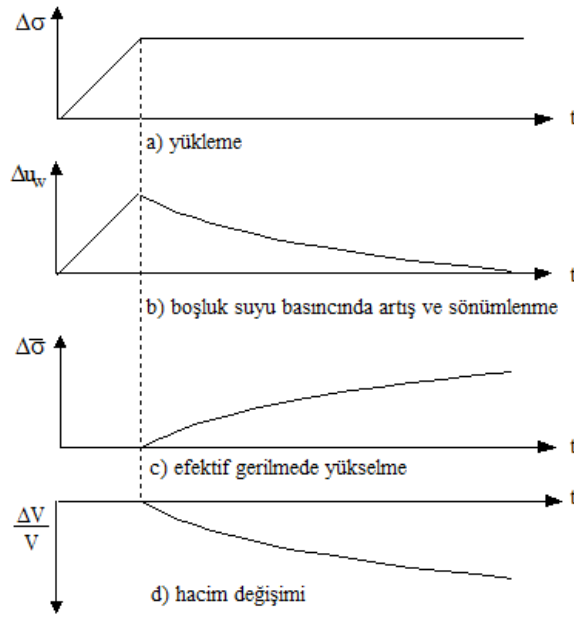
Sıkışma, zemin kütesinin hacmindeki azalmanın sonucudur.Yüzeye uygulanan yükler zemin kesiti boyunca yatay ve düşey yönlerde gerilme artışları yaratmakta, drenajsız (ani) ve drenajlı konsolidasyon oturması oluşmaktadır.İri daneli zeminlerde, yüksek geçirimsizlikten dolayı, sıkışma kısa sürede tamamlanmaktadır.İnce daneli zeminlerin geçirimsizliği çok düşük olduğu için yüklenen zeminden, suyun dışarı çıkması çok yavaş olacaktır ve zamana bağlı bir oturma gerçekleşecektir. Geçirimsizliği düşük doymuş ince daneli zeminlerdeki toplam oturma, üç bileşenden oluşmaktadır: i)Ani oturma tüm diğer malzemelerde de gerçekleşen sıkışma türüdür. Zeminin düşük geçirimsizliğinden dolayı kayda değer hacim değişimi olmaksızın meydana gelen ani oturma doymuş olmayan zeminlerde önemli değerlere ulaşabilmektedir.Temel özelliğine bağlı olan ani oturma elastisite kuramına göre hesaplanabilir [1]. ii)Birincil konsolidasyon oturması doymuş tabakaya gelen gerilme artışı nedeniyle artan boşluk suyu basıncının sönmülmesi ile ortamdan su çıkışı sonucu oluşan oturmadır. Boşluk suyu basıncının sönmülmesi iri daneli zeminlere oranla çok daha yavaş oluşacağından sıkışma da benzer yavaşlıkla meydana gelecektir.



Şekil 1. İri ve ince daneli zeminlerde konsolidasyonun zamanla gelişimi [2]

iii) İkincil konsolidasyon oturması birincil konsolidasyon oturması tamamlandıktan sonra, aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenince oluşan sabit efektif gerilmelerin etkisiyle zamana bağlı olarak meydana gelir. Su içeriği çok yüksek plastik ve organik killerde sünme sonucu beliren ikincil konsolidasyon bu çalışmanın kapsamı dışında kalmaktadır.

Terzaghi konsolidasyon teorisi geçirimsiz zeminde sıkışmanın sadece yüklenme sonucu dışarıya kaçamadığı için oluşan fazla boşluk suyu basınçlarının zaman içinde sönümünden kaynaklandığını kabul etmektedir [3]. Bir başka deyişle, B parametresi 1.00 olan bir zemin ani gerilme artışı $\Delta\sigma$ aldığıında $B=1$ olduğundan boşluk suyu basıncı da $\Delta u_w = \Delta\sigma$ ile aynı yükselişi gösterecektir (Şekil 2 ,a ve b) [4].



Şekil 2. Konsolidasyon süreci: toplam gerilmenin zaman içinde efektif gerilmeye dönüşmesi

Zeminin geçirimsizliği sıfırdan büyük ise bu fazla boşluk suyu basıncının zaman (t) içinde sönümlenmesi beklenir. O halde, başlangıçta uygulanan $\Delta\sigma$ gibi bir toplam gerilmenin ilk aşamada tümü su tarafından taşınırken zaman içinde boşluk suyu basıncının sönmesiyle yük danelere aktarılacağından, efektif gerilme denkleminde göre sistemdeki boşluk suyu basıncı sıfıra yönelirken efektif gerilme artışı da ($\Delta\sigma'$) toplam gerilme artışına ($\Delta\sigma$) yükselecektir. Bunun doğal sonucu da hacim azalmasıdır (ΔV) [5].

3. Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi (σ_c)

Ön konsolidasyon basıncı (σ_c) arazideki bir zemin tabakasının geçmişte etkisi altında kaldığı en büyük gerilme değeridir. Oturma hesaplarında ön konsolidasyon basıncını belirlemek amacıyla, çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan bir kısmı zaman içerisinde geçerliliğini yitirirken, bir kısmı da günümüzde hala tercih edilmektedir. Bu yöntemler; Casagrande, Schmertmann, Janbu,

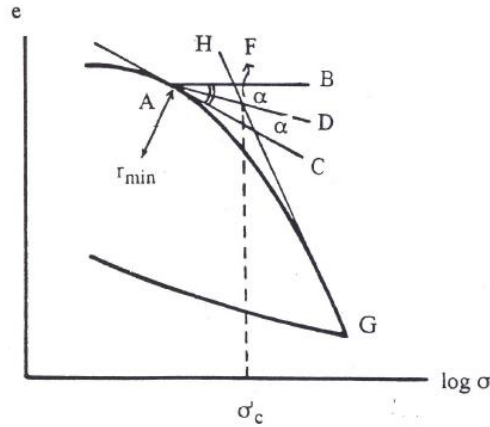
Butterfield, Tavenas, Burmister, Eski Yöntem, Van Zelst ve Şenol Yöntemi'dir. Bu yöntemler ön konsolidasyon basıncını belirleme şekline göre iki grupta toplanabilir:

1) Grafik Yöntemler: Deney verileri bu yöntemlere göre eksen takımlarına uyarlanıp, çizildikten sonra eğrilerin bir seri işleme tabi tutulmasından sonra ön konsolidasyon basıncının bulunduğu metotlardır. Bunlar; Casagrande, Schmertmann, Burmister, Butterfield, Van Zelst ve Eski yöntemlerdir.

2) Okuma Yöntemleri: Grafik üzerindeki eğrinin şeklinden doğrudan ön konsolidasyon basıncının okunduğu yöntemlerdir. Dolayısıyla bu sistemde analitik hesap veya eğri düzeltilmesi yoktur. Doğrudan grafik üzerinden ön konsolidasyon basıncı değeri anlaşılabilir. Bunlar; Janbu, Tavenas ve Şenol yöntemleridir. Aşağıda bu yöntemlerden bazıları tanıtılmaktadır.

3.1. Casagrande yöntemi

Casagrande yöntemi [6], ön konsolidasyon basıncını belirlemek için en çok kullanılan yöntemdir. Boşluk oranı ile konsolidasyon gerilmesi arasındaki ($e - \log \sigma'$) bağıntıdan çıkan bir belirleme yöntemidir. Şekil 3'te yükleme eğrisinden ön konsolidasyon basıncının bulunması gösterilmektedir.



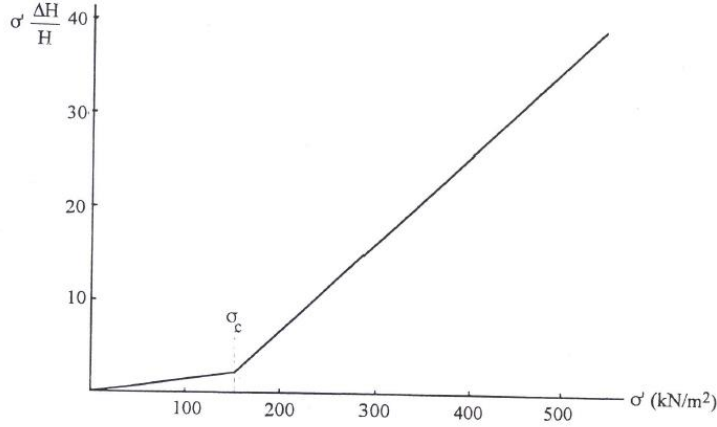
Şekil 3. Casagrande Yöntemi ile Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi

3.2. Butterfield yöntemi

Butterfield yöntemi [7], Kritik Durum Teorisi'ne dayanır. Bu yöntem esas efektif gerilmelerle (P') zemin yapısındaki hacimsel değişikliklerin tamamıyla ($e - \log P'$) eğrilerine bağlı olarak saptanabileceğini savunur. Eksen takımlı grafikten aynı data ile doğrusal bir diyagram elde edilebilmektedir. Burada ($V=1+e, \log P'$) olarak değiştirildiğinde davranışın doğrusal bir hale geldiği açıktır. [$\ln(1+e), \log P'$] eksen takımlı grafikte ön konsolidasyon basıncı, eğrinin kırıklık gösterdiği yerdir (Şekil 4). Yöntem, deney verileri iyi elde edildiği sürece kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Her konsolidasyon deneyi bu yöntemle tam olarak uyarlanamamaktadır.

3.3. Tavenas yöntemi

Tavenas yönteminde [8], deformasyon enerjisinin zemin davranışında önemli bir kriterdir. Ödometre deneyinden elde edilen gerilme – deformasyon eğrilerinin altında kalan alan, deformasyon enerjisini vermektedir. Tavenas yöntemi, gerilme değerlerine karşı gelen deformasyon enerjileri değerleri ile çizilen, gerilme - deformasyon enerjisi ($\sigma' - \sigma'\Delta H / H$) grafiğinin yorumlanması şeklindedir (Şekil 4).

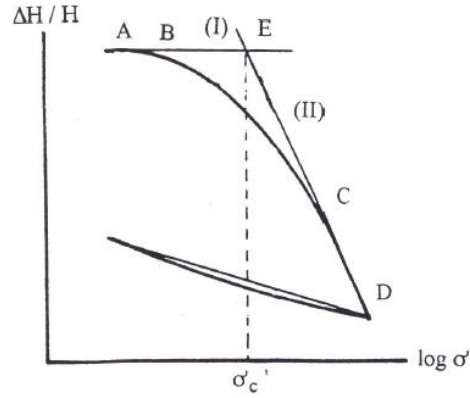


Şekil 4. Tavenas yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

Başlangıçta sıkışma eğrisi doğrusaldır ve eğimi düşüktür. Gerilmeler (yükleme) arttıkça eğri belli bir noktada, eğimini değiştirir ve daha büyük bir eğimle gidişine devam eder. Böylece grafik birbirini takip eden iki doğru şeklindedir. Bu iki doğrunun kesiştikleri nokta, doğrudan ön konsolidasyon basıncı olarak okunur. Yöntemin en büyük avantajı herhangi bir saptama gerektirmeksizin, ön konsolidasyon basıncının kolaylıkla bulunabilmesidir. Bunun yanı sıra, diyagramın diğer standart yüklem eğrilerinden oldukça farklı olduğu da bir gerçektir. Sonuç olarak, kolay olması ve hemen hemen tüm deney verilerinde uygun sonuç vermesi Tavenas yönteminin en büyük avantajıdır. Standart yüklemeli kademeli ödometre deneylerinde uygun sonuçlar vermektedir.

3.4. Eski yöntem

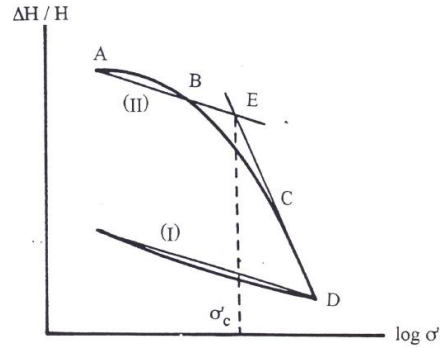
Casagrande yönteminden yola çıkılarak meydana getirilmiş bir yöntemdir. Şekil 5'de bu yöntem gösterilmektedir. Yüklem eğrisinin ufak yüklem değerlerinin uzantısının (I), ileri yüklem değerlerinin lineer doğrusunun uzantısı (II) ile kesişim noktası (E) zeminin ön konsolidasyon basıncı olarak ifade edilir. Ön konsolidasyon basıncını belirlemek için grafikteki eğrinin düzenlenmesi, doğrudan yorumlayan kişinin bakış açısına bağlıdır [9].



Şekil 5.Eski yöntem ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

3.5.Van Zelst yöntemi

Casagrande yönteminden türetilmiş bir diğer yöntemdir. Şekil 6'da bu yöntem gösterilmektedir. Boşaltma eğrisine (I) paralel olarak yüklemenin başlangıç değerinden bir doğru (II) çizilir. Yüklemenin lineer kısmının uzantısı (II) doğrusu ile kesiştirilir. Bulunan (E) noktası yatay eksen üzerinde ön konsolidasyon basıncı olarak belirlenir. Yöntemin hassasiyetinin grafikteki boşaltma eğrisine bağlı olması, bu yöntemin çok zayıf bir noktasını gösterir [9].

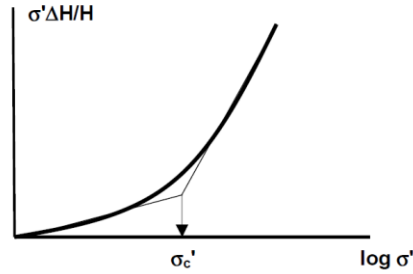


Şekil 6.Van Zelst yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

3.6.Şenol yöntemi

Şenol yöntemi [10] Tavenas yönteminden türetilmiş bir yöntemdir.Eksen takımı Tavenas yöntemindeki gibidir. Aradaki tek fark düşey gerilme, lineer eksen yerine logaritmik eksen olarak seçilip deney verileri grafiklere yerleştirilmiştir.Grafik, Tavenas yöntemine benzer şekilde iki farklı eğimdedir. Ancak bu iki eğri bir noktada kesişmek yerine bir büküm eğrisi ile birleşmiştir. Ön konsolidasyon basıncı değerine yaklaşıncaya kadar eğri doğrusal bir şekilde elde edilmekte, tahmini ön konsolidasyon basıncı bölgesinde bu kısmı doğrusallığını kaybetmektedir. Casagrande yönteminde olduğu gibi, ileri yükleme kademelerinde bakir sıkışma eğrisi gibi doğrusal bir

şekilde gidişine devam etmektedir. Bu iki doğrusal kısmın uzantılarının kesim noktasının yatay eksendeki izdüşümü, doğrudan ön konsolidasyon basıncı değeri olarak belirlenmektedir.



Şekil 7. Şenol yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

4. Laboratuvar Deneyleri

4.1. Fiziksel özellikler

Deneylerde numune olarak, Adapazarı Yenigün Mah. Tacettin Sert arazisinden alınan siltli zemin kullanılmıştır. Doğal numune içindeki kil miktarı çöktürme yöntemi ile azaltılmış daha sonra bu numuneye çöktürülen kilden farklı oranlarda katılarak 8 ayrı numune elde edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan bu numunelerin TS 1900/2006 uyarınca belirlenen fiziksel özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo1. Numunelerin fiziksel özellikleri

Num.No	Numune Tanımı	LL _{Cas}	LL _{Koni}	PL	PI	%C _{Hid}	%C _{Pipet}	Sınıf (TS1500)
1	Yüzdürülmüş silt	33	33	28	5	7.5	5.2	ML
2	%100 silt	33	34	24	9	6	6.5	ML
3	%10 Kil katkı silt	33	36	23	10	11	11.6	CL
4	%20 Kil katkı silt	33	36	29	4	12.5	12.8	ML
5	%30 Kil katkı silt	33	37	29	5	14	15.4	ML
6	%40 Kil katkı silt	34	35	30	4	15.5	16.1	ML
7	%50 Kil katkı silt	35	35	26	9	11	18.7	MI
8	%100 Kil	48	50	33	15	20.5	21	MI

4.2. Konsolidasyon özellikleri

Konsolidasyon deneyleri yukarıda tanımlanan örneklerin 100 kPa düşey gerilme altında konsolide edilerek hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanmış olan karışımların her birinden 1 kg alınarak içerisine su muhtevası değerinin likit limiti değerini geçmesini amaçlayarak 400 ml su ilave edilerek iyice karıştırılmış ve en az 2 saat boyunca desikatörde vakuma maruz bırakılmıştır. Bulamaç haline gelen numuneler 5 cm çaplı hücelere önce poroz taşı ardından filtre kağıdını takip ederek yerleştirilmiştir. Bulamaç halindeki numune önce kendi ağırlığı altında sonra yavaş yavaş arttırılan düşey kuvvet ile 4-5 günlük bir süreç içinde 100 kPa altında konsolide edilmişlerdir (Şekil 8). Yeniden oluşturulan bu numuneler konsolidasyon halkası boyutunda traşlanıp ödometre deney aletine yerleştirilerek konsolidasyon deneyine tabi tutulmuşlardır.



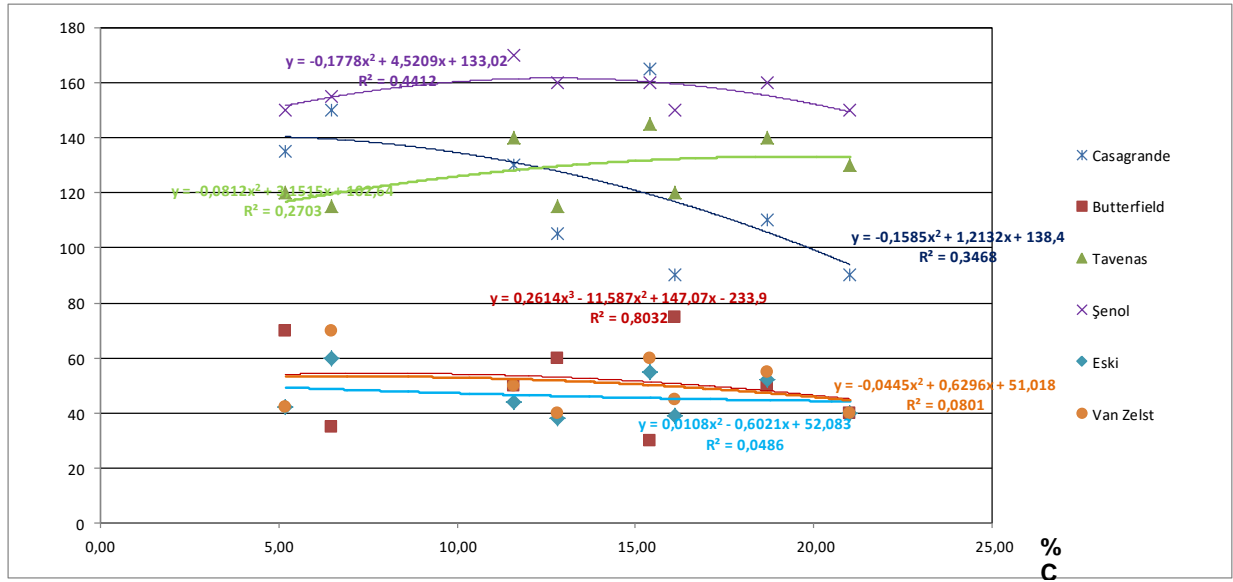
Şekil 8. Numunelerin bulamaçtan 100 kPa düşey gerilme altında yeniden oluşturulması

Konsolidasyon deneyleri sonrasında elde edilen sıkışma eğrileri kullanılarak yukarıda anlatılan 6 farklı yöntem ile numunelerin ön konsolidasyon basınçları hesaplanmıştır. Tablo 2’de hesaplanan bu değerler bir çizelge halinde sunulmuştur. Deneylerde 100 kPa düşey gerilme altında yeniden oluşturulan numuneler kullanıldığından aslında numunelerin ön konsolidasyon basıncı değerleri pratik olarak 100 kPa değerindedir. Buna rağmen teorik-grafik yaklaşımlar ile sonuç veren farklı yöntemler birbirinden çok uzak sonuçlar verebilmişlerdir. Tablo 2 incelendiğinde bu 6 yöntem arasında gerçeğe en yakın sonucu veren yöntemler Casagrande ve Tavenas olarak söylenebilir.

Tablo 2. Numunelerin ön konsolidasyon basıncı değerleri (kPa)

Num.No	Casagrande	Butterfield	Tavenas	Şenol	Eski	Van Zelst
1	135	70	120	150	42	42
2	150	35	115	155	60	70
3	130	50	140	170	44	50
4	105	60	115	160	38	40
5	165	30	145	160	55	60
6	90	75	120	150	39	45
7	110	50	140	160	52	55
8	90	40	130	150	40	40

Şekil 9’da numunelerin farklı yöntemlere göre bulunan ön konsolidasyon basıncı değerlerinin kilo oranı ile değişimi noktalanmıştır. Grafikten de ön konsolidasyon basınçlarının gerçek değerine en yakın yöntemin Casagrande olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 9.Ön konsolidasyon basıncı değerlerinin farklı yöntemlere göre kil oranı ile değişimi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Adapazarı kent merkezinden elde edilen siltli zeminden farklı kil oranlarında hazırlanan 8 numune laboratuvarında bulamaçtan 100 kPa düşey gerilme altında konsolide edilerek yeniden oluşturulmuştur. Numuneler klasik ödometre aletinde konsolidasyon deneyine tabi tutulmuşlardır. Elde edilen konsolidasyon eğrileri kullanılarak literatürde bulunan 6 farklı yöntemle göre numunelerin ön konsolidasyon basıncı değerleri belirlenmiştir. Laboratuvarında oluşturulan numunelere 100 kPa büyüklüğünde düşey gerilme uygulanmasına karşın farklı yöntemlere göre numunelerin ön konsolidasyon basıncı değerleri 30 ila 170 kPa arasında ölçülebilmektedir. Elde edilen sonuçlar pratikte de en çok tercih edilen Casagrande yönteminin gerçeğe en yakın sonuç verdiğini göstermiştir.

References

- [1] Uzuner, B.A.Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. İMO Trabzon Şubesi, Teknik Yayınevi, 1990.
- [2] Cernica, J.N. Geotechnical Engineering: Soil Mechanics. John Wiley & Sons, U.S.A., 1995.
- [3] Terzaghi, K. Theoretical Soil Mechanics. Wiley, New York, 1943.
- [4] Önalp, A. Zeminler ve Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.
- [5] Özocak, A. Doygun Olmayan Siltli Zeminlerin Sıkışabilirliği. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.

[6] Casagrande, A., Farum, R.E. Application of Soil Mechanics in Designing Building Foundation. Transaction ASCE Vol. 109, 1944.

[7] Butterfield, R.A Natural Compression Law for Soils (An Advance on $e - \log P'$). Technical Note, Geotechnique, 24:4:469-480, 1979.

[8] Tavenas, F., Des Rosiers, J.P., Leroueil, S., La Rochelle, P., Roy, M. The Use of Strain Energy As a Yield and Creep Criterion for Lightly Overconsolidated Clays. Geotechnique , 29:3:285-303, 1979.

[9] Ülker, R. Über die Ermittlung der Vorbelastung des sandigen Berliner Geschiebemergels. Mitteilungen der Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik (Degebo) an der Technischen Universität, Heft 32, Berlin, 1976.

[10] Şenol, A. Zeminlerde Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.