

SULAMA KANALLARINDA GÖRÜLEN ŞİŞEN ZEMİN PROBLEMLERİ VE İNŞAAT ÖNLEMLERİ

Hasan TOSUN¹

ÖZET: Genleşen veya şişen zeminler, ıslanma ve kuruma işlemleri sonucunda hacim değişikliği gösterir. Yağışın az buharlaşmanın oldukça fazla olduğu bölgelerde sıkça görülen bu zeminler; desteklediği yapılarda, özellikle zati ağırlığı düşük olan küçük binalarda, yol döşeme ve kaplamalarında ve bazı su yapılarında hasara neden olmaktadır. Bu etki; sulama kanalları ve diğer bazı hafif su yapılarında, yapının su taşınması ve sistemin zaman zaman yüklenip boşaltılması nedenleriyle daha yoğun şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada şişen killerin inşaat mühendisliği yönünden tanımlanması yapılmakta, şişme potansiyelinin belirlenmesi ile ilgili hususlar kısaca özetlenmekte, şişen zemin problemlerinin görüldüğü üç ayrı projede edinilen deneyimler ve bu problemlerin çözümü doğrultusunda alınan tasarım ve inşaat önlemleri değerlendirilmektedir. Ayrıca konuyla ilgili yapılması gereken temel mühendislik hizmetlerine de değinilmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: Şişen zemin, şişme potansiyeli, şişme basıncı, sulama kanalı, zemin stabilizasyonu

PROBLEMS OF SWELLING SOIL FOR IRRIGATION CANAL STRUCTURES AND CONSTRUCTION MEASURES

ABSTRACT: Expansive or swelling soils have volume changes, when subjected to drying and wetting processes. These soils which are most commonly present in the region having arid climates and over-evaporation cause more damage to structures, particularly light buildings and pavements. Extensive damages occur on the lining of irrigation canals and other light hydraulic structures due to leakage of water and its penetration into soil during loading and unloading stages. This study identifies swelling soils from the point of view of civil engineering activities, discusses the determination procedures of swelling potential, summarizes the stabilizing techniques mainly adopted in practice and considers the experience obtained from three separate irrigation schemes. It also evaluates the fundamental engineering measures for light hydraulic structures designed on the swelling soils.

KEYWORDS: Swelling soil, swell potential, swell pressure, irrigation canal, soil stabilization.

¹ Hasan TOSUN, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480 Batı Meşelik ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Su ile temas halinde hacim artışı gösteren, ancak su kaybında büzülen değişik kil tipleri bulunmaktadır. Bu killer; genellikle yağışın az ve buharlaşmanın aşırı olduğu bölgelerde görülür ve temel zemini olarak değerlendirildiklerinde, temel tabanında önemli ölçüde kaldırma basınçlarının oluşmasına neden olur. Oluşan bu basınçlar; temel sisteminde veya döşeme elemanında mimari ve hatta yapısal hasarlar oluşturabilmektedir. Zati ağırlığı oldukça düşük olan ve sistemin zaman zaman yüklenip boşaltıldığı, sızma ve kaçak sularından dolayı temel zemininin su ile temas etme ihtimalinin yüksek olduğu kanal kaplaması, borulu sulama ve içmesuyu şebekeleri gibi hafif su yapılarında çatlama, kırılma ve kabarma, ve sifon, menfez ve sel alt geçidi gibi yardımcı yapılarında da yer değiştirme, dönme ve devrilme problemleri ile karşılaşmaktadır.

Şişen zemin problemi; ilk defa 1938 yılında, ABD Su İşleri Teşkilatı mühendisleri tarafından tanımlanmıştır. Oregon eyaletindeki Owyhee projesinde inşa edilen bir çelik sifon temelinde ters yönde çalışan yer değiştirmelerin olduğu görülmüştür [1]. Bu olaydan sonra "şişen zemin" probleminin mekanizması tanımlanmış ve tasarım kriterleri önerilmiştir. Ancak 1940'lı yıllardan sonra zemin üzerine direkt oturan beton yapıların inşasındaki hızlı artış, şişen zeminlerin neden olduğu hasarlarda da önemli seviyede artışa neden olmuştur. Bu artışta, temel zemininde yapılması gereken geoteknik çalışma eksikliğinin ve yetersiz yapılan çalışmaların da etkili olduğu belirtilmelidir.

Su yapılarında oluşan bu tip problemler; ülkemizde aktif olarak Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında yer alan sulama yapıları inşaatında yaşanmıştır. Özellikle Harran ovası sulama alanlarında inşa edilen kanal yapılarda bu problemle sıkça karşılaşmış, konuyla ilgili önemli mühendislik uygulamaları yapılmış ve bilgi birikimi elde edilmiştir [2-4]. Ankara İçmesuyu Projesi kapsamında oluşturulan ve basınçlı Kınık tüneliyle bağlantılı borulu şebekelerde, bu tip problemlerle karşılaşmıştır. Ayrıca Konya Ovası Sulama Projesi IV-VII. kısım inşaatında da, tipik şişen zemin probleminin yaşandığı bölümler görülmüştür [5].

Şişen zemin probleminin yarattığı hasarlar; ekonomik olarak çok büyük maliyet arz etmektedir. ABD'de şişen kil zeminlerin 1990 yılında yalnızca meskenlerde yarattığı hasarın bedeli, yaklaşık 800 milyon dolardır. Ticaret ve sanayi binaları ile ulaştırma yapılarında, aynı etkiye dayalı olarak oluşan hasar bedelinin; yukarıda belirtilen değer

iki-üç katı olduğu ifade edilmektedir. ABD'de şişme-büzülme fenomenasından dolayı 1981 yılında oluşan yıllık ekonomik kaybın, 9 milyar dolar civarında olduğu tahmin edilmiştir ki; bu hasar, ABD'deki tabii afet kayıpları sıralamasında ikinci sırada yer almaktadır [6, 7]. Ülkemizde bu konuya özgü oluşturulmuş herhangi bir envanter mevcut değildir. Ancak su yapıları için bu hasarın yaratmış olduğu ilave giderin, proje toplam maliyetine oranının çok daha yüksek olduğu belirtilmelidir. Çünkü henüz işletmeye alınmadan veya işletmeye alındıktan kısa bir süre sonra, bu tip problemlerden dolayı şebekelerinde % 60'lara varan oranda yenileme yapılan sulama projeleri bulunmaktadır [8].

II. ŞİŞEN ZEMİNLERİN TANIMLANMASI VE SINIFLAMASI

Bir projenin keşif ve ön inceleme aşamalarında şişen killerin tanımlanması; daha ileri aşamalarda yapılacak numune alma, deney yapma ve tasarım gibi işlemlerin doğru bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Konuyla ilgili yapılacak araştırmalar; iki önemli aşamaya yönelik olmalıdır. Birinci aşamada; zeminler tanımlanmalıdır. İkinci aşamada ise, tasarım kriteri olarak kullanılmak üzere malzeme özellikleri ölçülmelidir. Mühendislik pratiğinde, tanımlama amaçlı olarak zeminlerin tane dağılımı analizi ve kıvam limitleri gibi temel deneyler ile bazı kimyasal ve mineralojik deneyler kullanılır.

II. 1. Tanımlama Deneyleri

Tane büyüklüğü dağılımı, kil muhtevası ve plastisite; şişen killerin tanımlanması ve sınıflanması için pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastisite indisi (PI) ile kıvam limitleri ve doğal su muhtevasına bağlı olarak belirlenen likite indisi (LI); iki faydalı kriter olarak dikkate alınır. Özellikle plastisite indisi; şişen killerin sınıflandırılmasında sıkça kullanılır. Bu kriter; ön inceleme aşamasında mutlaka belirlenmelidir.

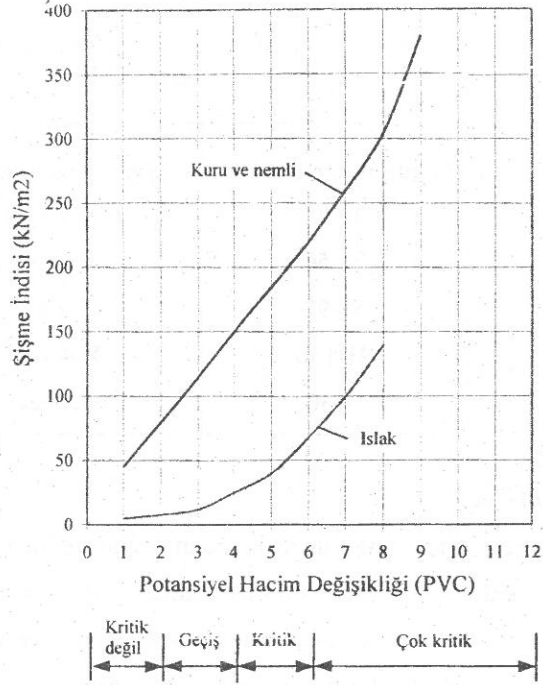
Zeminlerin plastisite karakteristikleri ve hacimsel değişme davranışı; direkt olarak zemin içindeki koloidal boyuttaki tanelerin miktarı ile ilişkilidir. Hareketi yer çekimi kuvvetlerinden daha çok yüzey kuvvetleri ile kontrol edilen ve genellikle 0.001 mm'den küçük taneler için "koloidal" terimi kullanılır. Çoğu kil taneleri; düzensiz şekilleri ve büyük yüzey alanlarına sahip olması nedeniyle "koloidal tane" olarak dikkate alınabilir. Bu tanelerin zemin içindeki ağırlıkça yüzdesi, genellikle "kil muhtevası" olarak bilinir. Kil muhtevası ile kıvam limitleri; "aktivite" olarak ifade edilen bir tek parametrede birleştirilmiştir. Bu büyüklük; "plastisite indisinin, ağırlıkça 2.0 μm 'den küçük tanelerin

yüzdesine bölümüyle bulunan oran" olarak tanımlanmıştır. Aktivite değeri 1.25'den büyük killer "aktif kil" olarak tanımlanır ve bu killerin şişme potansiyeli oldukça yüksektir [9].

Şişen kil zeminin davranışını kontrol eden temel faktör; kil mineralojidir. Kil mineralleri değişik teknikler kullanılarak tanımlanır. Bunlar arasında en yaygın kullanımı olan X-Ray difraksiyon yöntemidir. X-Ray analizinin; dalga uzunluğunun bu tip minerallerin atom düzlem aralığı ile uyumlu olması nedeniyle, en uygun değerlendirme yöntemi olduğu belirtilmektedir. Killerin şişme potansiyelinin takdirinde kullanılan diğer mineralojik yöntemler ise; diferansiyel termal analiz ile elektron mikroskobu yöntemleridir [1].

Kil taneleri üzerindeki negatif yüklerin dengelenmesi için gereken değişebilir kationların miktarı; kation değişme kapasitesi (CEC) olarak bilinir ve (meq/100 g) büyüklüğünde tanımlanır. Yüksek CEC değeri, yüksek şişme potansiyeli vermektedir. Üç temel kil minerali için bu değerlerin tipik aralıkları sunulmaktadır. Kaolinit için bu değer düşük (3-15 meq/100 g) ve illit için orta (10-40 meq/100 g) seviyedir. Montmorillonit için ise bu değer yüksek olup, 80-150 meq/100 g aralığı önerilmiştir [10].

Zeminlerin hacim değişikliği potansiyeli; "zemin PVC metresi" olarak ifade edilen standart ekipmanlar kullanılarak ölçülür. Deneylerde sıkıştırılmış numuneler kullanılır ve numunenin şişme basıncı ölçülür. PVC metre; arazide veya laboratuvarında kullanılabilir. Numuneler; modifiye Proctor enerjisi (2600 kJ/m^3) ile doğal su muhtevasında bir ödometre kabı içine sıkıştırılır ve numune ekipmana yerleştirildikten sonra suya boğulur. Bu işlemden sonra oluşacak şişmenin ölçme halkasında oluşturduğu basınç, zamana bağlı olarak rapor edilir ve şekil 1'de verilen ilişki kullanılarak kuru ve ıslak olma durumu dikkate alınarak zeminin nitel hacim değişikliği hakkında bilgi sunan PVC aralığı bulunur [11, 12]. Karayolu uygulamalarında sık kullanılan bir kriter olan PVC değeri; basit ve standart bir deney olması gibi üstünlüklere sahiptir. PVC kriteri; sıkıştırılmış numunelerin tanımlanmasında çok faydalı bilgiler sunmaktadır. Ancak bu kriterin; yerindeki zeminler için bir tasarım kriteri olarak kullanılmaması önerilmektedir [9].



Şekil 1. Şişme indisine bağlı potansiyel hacim değişikliği [12].

Genleşme İndisi (EI) Deneyi; PVC deneyi ile aynı esaslara sahiptir. Ancak deneyde sabit bir sürşarj yükü altında direkt şişmeye müsaade edilmektedir. Deneyde önce 4 no'lu elek altına geçen numunelerin su muhtevası, optimum değere getirilir. Bu amaçla, 6 ile 30 saat arasında bir süre kür koşulları sağlanır. Optimum su muhtevasına getirilen numune, standart enerji ile 10.2 cm çaplı molt içine sıkıştırılır. Eğer gerekiyorsa, doygunluk derecesi yaklaşık olarak % 50 olacak şekilde düzeltilir. 6.9 kPa'lık sürşarj yükü uygulanır ve numune suya boğulur. Hacim değişikliği 24 saat ölçülerek şişme yüzdesi değeri bulunur ve genleşme indisi, eşitlik 1 kullanılarak hesaplanır ve zeminin şişme potansiyeline çizelge 1'de verildiği şekilde yaklaşımda bulunulur [9].

$$EI=100.\Delta h.F \quad (1)$$

Δh = şişme yüzdesi

F= 4 no'lu elekten geçen bölüm

Çizelge 1. Genleşme indisine bağlı olarak şişme potansiyelinin tahmini [9]

Genleşme İndisi (EI)	Şişme Potansiyeli
0-20	Çok düşük
21-50	Düşük
51-90	Orta
91-130	Yüksek
>130	Çok yüksek

II.2 Sınıflama Deneyleri

Şişen zeminlerin tanımlama deneylerinden elde edilen parametreler; değişik kombinasyonlar halinde, bu zeminlerin sınıflaması için de kullanılmaktadır. Ancak bu sınıflamaların hiçbiri, henüz standart hale dönüşmemiştir ve değişik bölgelerde farklı deneyler esasında değerlendirme yapılmaktadır. Ayrıca bu sınıflamaların zeminin çevresel koşullarını ve gerilme durumunu dikkate almaması ve tanımlamalarda kullanılan terminolojik karmaşa, bir eksiklik olarak değerlendirilmektedir [1]. Buna rağmen, düşük maliyet sunması ve çabuk sonuç vermesi nedenleriyle çok sık olarak kullanılmaktadır.

Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması Sistemine göre, "CL" veya "CH" grup sembolüyle tanımlanan zeminler, "şişme potansiyeline sahip zemin" olarak değerlendirilir. Örselenmemiş zemin numuneleri için plastisite indisi, rötne limiti ve koloidal yüzdeye bağlı olarak önerilen bir sınıflama çizelge 2'de sunulmaktadır [13]. Zeminin 200 no'lu elekten geçen yüzdesi, likit limiti ve SPT darbe direnci değerlerini ilişkilendiren bir sınıflama ise çizelge 3'de verilmektedir. Aynı yazar, sonraki yıllarda çizelge 4'de verilen ve yalnızca plastisite indisine bağlı basit ilişkiyi sunmuştur [1].

Sıkıştırılmış numunelerin şişme karakteristikleri üzerinde yapılan yoğun çalışmalar sonucunda, aktivite değeri ile kil boyutundaki tanelerin yüzdesi arasındaki ilişkiye bağlı olarak bir sınıflama önerilmiştir [14]. Plastisite indisine bağlı olarak şişme potansiyelini tanımlamak amacıyla değişik çalışmalar yapılmış ve farklı öneriler getirilmiştir. Bir başka ifade ile, aynı plastisite indisi değeri için farklı şişme potansiyeli değerleri elde edilmektedir. Bunun nedeni; araştırmaların farklı zemin tiplerinde yapılması, başlangıç zemin koşullarının ve su muhtevası değerlerinin farklı olması olarak

değerlendirilmektedir [9]. Değerlendirmede, zemin koşulları ile ilgili yaklaşım esaslarının bütünlük taşıması önemle dikkate alınmalıdır.

Çizelge 2. Yüksek plastisiteli killer için zemin indis özelliklerine bağlı muhtemel hacim değişikliği ilişkisi [13]

İndis deney sonuçları			Muhtemel şişme (toplam hacim değişikliğinin yüzdesi),%	Şişme derecesi
Koloidal yüzde (<0.001 mm)	Plastisite İndisi	Rötre Limiti		
>28	>35	<11	>30	Çok yüksek
20-31	25-41	7-12	20-30	Yüksek
13-23	15-28	10-16	10-20	Orta
<15	<18	>15	<10	Düşük

Çizelge 3. Zeminin fiziksel özellikleri ve SPT verilerine dayalı şişen zemin sınıflaması [1]

Laboratuvar ve Arazi verileri			Muhtemel şişme (toplam hacim değişikliğinin yüzdesi),%	Şişme derecesi
200 no'lu elekten geçen (%)	Likit limit (%)	N-Darbe direnci		
>95	>60	>30	>10	Çok yüksek
60-95	40-60	20-30	3-10	Yüksek
30-60	30-40	10-20	1-5	Orta
<30	<30	<10	<1	Düşük

Çizelge 4. Plastisite İndisine dayalı şişen zemin sınıflaması [1]

Şişme potansiyeli	Plastisite İndisi
Düşük	0-15
Orta	10-35
Yüksek	20-55
Çok yüksek	≥35

III. İNŞAAT ÖNLEMLERİ

Bir kil zeminin şişme potansiyeli; değişik önlemler alınarak düşük seviyelere indirilebilir. Bu önlemler arasında, yerindeki zeminde inşaat öncesi şişmeyi sağlayacak şekilde ön ıslatma yapılması, sıkıştırma kontrolü ile zemin sıkılığının azaltılması, şişen zeminin şişmeyen zeminle değiştirilmesi, sürşarj uygulanması ve kimyasal katkıların kullanılması en sık benimsenen uygulamaları oluşturmaktadır. Ayrıca su muhtevası değişmeyecek şekilde gerekli temel izolasyonunun yapılması da, şişme potansiyelin önlenmesi doğrultusunda zeminde uygulanan tasarım önlemleri olarak dikkate alınır. Günümüzde bu yöntemler; verimliliği, ekonomisi ve kolay uygulanabilirliği yönünden değerlendirilmektedir.

III.1. Ön İslatma

Şişen killerin ıslahı ile ilgili bilinen en basit ve etkili yöntem, ön ıslatmadır. Kapiler etkilerden dolayı zemin içindeki su, orta derinlikteki su tablasından üst seviyelere doğru hareket eder. Aynı zamanda su hareketi; termo-osmos ve diğer mekanizmalarla yüksek sıcaklıklı alanlardan düşük sıcaklıklı alanlara doğru oluşur. Normal olarak hareket eden bu su, yüzeyde buharlaşır ve bu şekilde zeminin nem dengesi sağlanır [1]. Bir döşeme, kanal kaplaması, kaldırım veya benzeri yapılar ile örtülmüş alanlarda zemin içinden oluşması gereken bu terleme gerçekleşmeyeceğinden, nihayetinde temel altındaki zeminin su muhtevası artar ve buna bağlı olarak ta temel zemininde şişme oluşur. Ön ıslatma teorisi; zemini ıslatmak suretiyle inşaat öncesi şişmenin oluşturulması esasına dayanır. Bu şekilde zemin içinde yüksek su muhtevası sağlanabilirse, zemin hacmi esas itibariyle sabit kalacak, temel tabanında kaldırma kuvvetleri oluşmayacak ve yapısal hasar meydana gelmeyecektir.

Ön ıslatma yöntemi; bugün çalışma alanında ya direkt bir taşkın yaratma veya su depolama şeklinde yapılır. Su muhtevası değişimi üzerinde taşkın yaratma ve su depolama etkisini ortaya koymak amacıyla çalışmalar yapılmıştır. ABD'nin Teksas eyaletinde yapılan bir çalışmada, su muhtevası 24 sa'lik bir süre sonunda yalnızca 1.2 m'lik bir derinlik içinde yeterince arttırılabilmektedir. Daha alt mesafede ise arzu edilen su muhtevası dağılımına yaklaşık 30 gün sonunda ulaşılmıştır. Bir başka çalışmada ise, ön ıslatmanın orta seviyede şişme potansiyeline sahip zeminlerde ancak 70-80 cm'ye kadar etkili olduğu görülmüştür. Ancak yüksek oranda şişme potansiyeline sahip zeminlerde ön ıslatma; tek başına 90 cm'den daha derin seviyelerde kesinlikle başarılı değildir [1].

ABD'nin Kaliforniya Eyaletinde Su İşleri Teşkilatı tarafından yürütülen bir projede, şişen zemin üzerinde su depolaması ve zemin yüzeyine sprinkler ile su ilave edilmesi işlemleri başarıyla uygulanmıştır. Zemin üzerine yerleştirilecek kaplamalar için zemin içinde ön ıslatma ile plastik limitin % 2-3'ü oranından daha fazla bir su muhtevasının sağlanması yeterli görülmektedir [1, 9].

III.2. Sıkıştırma Kontrolü ve Sürşarj Yükleme

Bir yapısal dolgunun su ile teması halinde oluşacak şişme miktarı; sıkıştırma kuru yoğunluğuna, su muhtevasına, sıkıştırma yöntemine ve sürşarj yükünün büyüklüğüne bağlıdır. Sıkıştırma yöntemi ve sürşarj yükü büyüklüğü; inşaat aşamasında kritik değildir. Sıkıştırma yöntemi, genellikle mevcut ekipmanlarla sınırlıdır. Hafif zati yüklü yapılar için sürşarj yükü genellikle çok küçüktür. Ancak sıkıştırılmış dolgunun kuru yoğunluğu ile su muhtevası; şişme potansiyeli üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Şişen zeminlerin şişme potansiyeli; kuru yoğunluğun azalması ile düşmektedir. Düşük yoğunluktaki ve optimum değer üzerinde bir su muhtevasında yapılan sıkıştırma; yüksek yoğunluktaki ve düşük su muhtevasında yapılan sıkıştırmadan daha az şişme potansiyeline sahiptir. Şişme potansiyelinin en iyi kontrolü; zeminin düşük yoğunlukta ve optimum veya üstündeki bir su muhtevası değerinde sıkıştırılarak sağlanır. Bu durumda, şişme basıncı en düşük seviyede oluşacaktır [1]. Gerçekte optimum su muhtevasının üzerinde bir değerde zemini aşırı sıkıştırmak zordur. Aynı zamanda katı kilin, optimum su muhtevasının % 4 ile 5'inden daha fazla bir su muhtevasında sıkıştırılması da zorlukla yapılmaktadır [9]. Eğer zeminin su muhtevası çok yüksek ise, killer topraklanacak ve zemin uygun olarak sıkıştırılmayacak ve belirgin olarak taşıma kapasitesi düşecektir.

Normal koşullarda zemin yüzeyinde su depolanması tercih edilmemektedir. Çünkü böyle bir uygulama, yüzeyin dağılmasına ve zor çalışma şartlarının oluşmasına neden olur. Arazideki doğal kil, sıkıştırmak suretiyle kaplama altı dolgu gibi kullanılabilir. Bu uygulama; dolgu maliyetini de ortadan kaldırmaktadır. Eğer kompaksiyon uygun olarak yapılırsa, geçirimsiz dolgu altındaki zeminlere su sızması en düşük seviyede gerçekleşecektir. Bu uygulamanın bazı dezavantajları da vardır. Örneğin düşük yoğunluktaki kompaksiyon, daha düşük taşıma kapasitesi sağlar. Ancak hafif su yapıları için düşük yoğunlukta sıkıştırılmış killerin taşıma kapasiteleri genellikle uygundur.

Eğer şişen killer beklenen şişme basınçlarını karşılayacak şekilde bir sürşarj ile yüklenirse, şişme önlenir. Bu uygulama, genellikle düşük-orta şişme basınçlarına sahip zeminler için geçerlidir. Şişme basıncının artması durumunda, şişme basıncı ile yüzey şişmesi ilişkisinin doğrusal olmamasından ötürü, sürşarj kullanımı daha az etkili olur. Şişme basıncı küçük ise, sürşarj yükleme yöntemi çok başarılıdır. Şişme basınçları 25 kPa'a kadar olan zeminlerde şişme; 1.3 m'lik bir dolgu veya bir beton temel ile kontrol edilebilir. Ancak bazı zeminlerde 350-400 kPa'a kadar şişme basıncı olduğu görülmüştür. Bu tip zeminler için sürşarj yükleme ile sonuç almak mümkün değildir [9].

III.3. Şişen Zeminlerin Kazılması ve Değiştirilmesi

Şişen zeminlerin kazılması ve şişmeyen zeminlerle yer değiştirilmesi; stabil temel malzemesini sağlayan basit ve klasik yöntemlerden biridir. Yapılan çalışmalar ve edinilen deneyimler göstermektedir ki; yüksek şişme potansiyeline sahip zemin üzerinde kalınlığı 1.5 m'den büyük taneli zemin bulunuyorsa, yapı altında temel zemininin şişme potansiyelinden kaynaklanan tehlikeli bir temel hareketi oluşmayacaktır [1, 9]. Üstteki taneli zeminler içinden şişen zemin içine süzülen suyun yolu ve mekanizması açık değildir. Sızan su; şişen zemine ulaşmıyor olabilir veya alttaki şişen zeminin kabarması üniform oluşur ki; bu hareket yapıyı etkilemez. Aynı durum, sıkıştırılarak oluşturulmuş dolgular için geçerli değildir. Seçilmiş dolgu kalınlığı ile ilgili bir standart değer yoktur. Ancak hafif yapılar için en düşük 90-100 cm olması arzu edilmektedir [1]. DSİ projelerinde şişen zeminin, kalınlığı 40-60 cm arasında değişen taneli zemin ile değiştirilmesi, genel bir uygulama olarak benimsenmiştir.

Zemin değiştirme işlerinde dikkate alınacak önemli bir husus; yerleştirilecek zeminin şişme özeliği göstermemesidir. Birleştirilmiş Sınıflama Sisteminde tanımlanan tüm taneli zeminler (GW'den SC'e kadar), bu amaç için uygundur. Ancak GW ve SP gibi temiz zeminlerde, yüzey suyu zemin içinde serbestçe hareket ederek alttaki şişen zeminlerin ıslanmasına neden olmaktadır. Diğer bir durumda ise, killi kum tipi zeminler (SC) bazen yüksek şişme potansiyeli göstermektedir. Bu tip zeminler için likit limit değerinin 50'den büyük olduğu durum için ince malzeme miktarının (200 no'lu elek altı) % 15-30 arasında kalmasının uygun olacağı ifade edilmiştir [1].

Bu yöntemle yapılan uygulamaların bazı avantajları vardır. Örneğin şişmeyen zeminler yüksek yoğunluklarda sıkıştırılır ve yüksek taşıma gücü verir. Zeminin bazı özellikleri; ön ıslatmayla veya düşük yoğunluklarda zeminin sıkıştırılmasıyla elde edilen aynı

özelliklerden daha olumludur. Ayrıca zemin değiştirmesinin maliyeti, diğer stabilite yöntemlerine göre bazen daha ekonomiktir. Çünkü bu yöntemde özel ekipmanların kullanılması gerekli değildir. Bu yöntemin diğer bir avantajı ise, inşaat zamanlamasında daha az gecikmenin oluşmasıdır. Bu yöntemin bazı dezavantajları da mevcuttur. Örneğin şişmeyen ve tercihen geçirimsiz bir dolgu malzeme bulunmalıdır ki, bu tip malzemenin proje sahasına yakın bir ocakta bulunamaması nedeniyle, çoğu zaman yüksek bir maliyet oluşmaktadır. Şişmeyen dolgu malzemenin gereken kalınlığı oldukça büyük olabilir. Ayrıca taneli dolgu bir rezervuar gibi davranabilir ve temele veya dolgu altına uzun dönemli su sağlayan bir kaynağı oluşturabilir [9].

IV. ŞİŞEN ZEMİNLERİN STABİLİZASYONU

Temel zemininin diğer bazı özelliklerinin iyileştirilmesinde olduğu gibi şişme potansiyelinin düşürülmesinde de, bazı kimyasal katkı maddeleri kullanılır. Bu amaçla kireç, çimento, tuz, uçucu kül ve bazı organik bileşikler kullanılmaktadır. Bu maddelerin fonksiyonu, kullanım esasları ve performansı aşağıda kısaca özetlenmektedir.

IV.1. Kireç Stabilizasyonu

Kireç stabilizasyonu; zeminde oluşacak şişmeyi en düşük seviyeye indirmek ve zeminin işlenebilirliğini artırmak amacıyla çoğu projede, özellikle karayolu projelerinde başarıyla kullanılmıştır. Kireç reaksiyonunu açıklayan kimyasal teoriler oldukça karmaşıktır. Ancak bu işlemde katyon değişimi, kümeleşme-aglomeralaşma, kireç karbonasyonu ve puzolonik reaksiyon görülmektedir. Tüm ince taneli zeminler; kireç kullanımı suretiyle daha düşük plastisiteye ve daha iyi işlenebilirliğe sahip olacak şekilde dönüştürülebilir. Kireçle işleme tabi tutulmuş zeminin dayanım karakteristikleri; esas itibariyle zemin cinsine, kullanılan kirecin tipine, kireç yüzdesine ve kür koşullarına bağlıdır.

Zeminin pH derecesi, organik madde miktarı, drenaj koşulları ve su muhtevası gibi birçok faktör; zemin-kireç reaksiyonunu etkilemektedir. Bazik zeminlerde ($pH > 7$), kireç ile daha iyi reaksiyon elde edilmektedir. Organik karbon büyük oranda kireç-zemin reaksiyonunu yavaşlatmaktadır. Kötü dereceli zeminler, iyi derecelenmiş zeminlere göre daha yüksek kireç reaksiyonu vermektedir. Kalkerli zeminlerde ise, iyi reaksiyon elde edilmektedir. Sülfatlar ve bazı demir bileşikleri, kireç reaksiyonunu

engellemektedir. Özellikle zemin içinde jips bulunması ve bu alanlarda amonyum esaslı gübrelerin kullanılması, gereken kireç miktarını artıracaktır. Bazı zeminlerde de puzolonik reaksiyonlar görülmektedir. Aşırı derecede ayrılmış ve iyi drenajlı zeminler; sıcak bölgelerdeki zayıf drenajlı zeminlerden daha az reaksiyon göstermektedir. Kötü drenajlı zeminler; koloidal durumda demir ihtiva eder ki; bu durumda puzolonik reaksiyon bozular [9].

Şişen killerin stabilizasyonu için kullanılan değişik kireç tipleri bulunmaktadır. Bu kireçler arasında kalsiyum yönünden zengin sönmüş kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ve sönmemiş kireç (CaO) pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Şişen killerin stabilizasyonu için gereken kireç miktarının; ağırlıkça % 2-8 arasında değiştiği ifade edilmektedir [1]. Çizelge 5'de değişik zemin tipleri için zemin ağırlığının bir yüzdesi olarak önerilen yaklaşık kireç muhtevası verilmektedir [9].

Çizelge 5. Değişik zemin tipleri için yaklaşık kireç muhtevası [9]

Zemin Tipi	Kuru ağırlığın yüzdesi olarak yaklaşık kireç miktarı (%)	
	Sönmüş kireç	Sönmemiş kireç
Killi çakıl (GC, GM-GC)	2-4	2-3
Siltli kil (CL)	5-10	3-8
Kil (CH)	3-8	3-6

Kullanılan kireç; kuru veya sulandırılmış şekilde olabilir. Kuru uygulama esnasında, hava kirliliği ve zemin içinde topaklanma gibi problemlerle karşılaşılabilir. Bu tip bir uygulamada, yeterince su verilememesi gibi bir durumla da karşılaşmak mümkündür. Zemin üzerine yayılan kireç; mekanik olarak bir disk karıştırıcı veya küçük bir ripper kullanılarak karıştırılır. Bu yöntemde, 30 cm'den daha derin bir karıştırma işleminin yapılabilme zorluğu vardır. Dünya'nın en büyük kireç stabilizasyonunun yapıldığı Dallas Fort Worth havaalanı projesinde, iki sergi halinde yaklaşık 45 cm kalınlığında bir stabilize edilmiş tabaka oluşturulmuştur [9].

IV.2. Çimento Stabilizasyonu

Portland çimentosunun hidratasyonu; değişik bileşik ve jeller oluşturan karmaşık bir puzolonik reaksiyondur. Kil ile çimento karışımının sonuçları; kireç-kil karışımı sonuçları ile benzerlik taşımaktadır. Bu uygulama ile likit limit, plastisite indisi ve

zeminin hacim değişikliği potansiyeli azaltılır ve rötre limiti ile kayma dayanımı artırılır [1]. Ancak yüksek plastisiteli killer için Portland çimento kireç kadar etkili değildir. Kireç ile iyileştirilemeyen zeminlerde, genellikle çimento kullanımı başarılı olmaktadır. Portland çimentosu stabilizasyonunun etkili olduğu killer için karıştırma işlemi, kireç uygulamasında olduğu gibi yapılır. Ancak bu teknikte çimento ilavesi ile son karıştırma arasında geçen zaman, kireç işleminde dikkate alınan süreden daha kısa olmalıdır. Çünkü Portland çimentosu daha kısa hidrasyon ve priz süresine sahiptir. Çimento kullanımı ile ortaya çıkan dayanım artışından ötürü, döşeme ve kaplama dayanımında da önemli ölçüde artış oluşmaktadır. % 2-6 oranında çimento muhtevası; zeminin yarı rijit bir kaplama gibi davranmasını sağlar. Ancak çimento ile stabilize edilen malzemenin çatlama eğilimi vardır ve kullanılmadan önce bu etki dikkate alınmalıdır. Çimento ve kireç ile yapılan zemin stabilizasyonu işlemleri, maliyet yönünden de aşağı yukarı benzer sonuçlar sunmaktadır [1, 9].

IV.3. Diğer Katkılarla Stabilizasyon

Zemin stabilizasyonunda tuz, uçucu kül ve organik bileşikler gibi diğer bazı katkıları da kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan en genel tuzlar; sodyum klorit ve kalsiyum klorittir. Zemin özellikleri üzerinde sodyum klorit'in etkisi değişkendir. Bu uygulama; genellikle yüksek likit limite sahip zeminlerde büyük bir etkiye sahiptir. Zeminin tipine bağlı olarak sodyum klorit, büzölme limitini ve kayma dayanımını artırır. Sodyum klorit'le reaksiyona giren zeminlerde, aynı zamanda don kabarmasının da kontrolü sağlanabilmektedir. Kuru zemin ağırlığının % 1'i oranında kalsiyum klorit kullanımı; çoğu zeminin stabilizasyonu için yeterlidir. Kalsiyum klorit kullanımının bir dezavantajı; zemin içinden kolayca yıkanmasıdır. Bu uygulama yapılmadan önce nispi nem miktarının, en az % 30 olması da, uygulamanın dezavantajlarından birini oluşturmaktadır [9].

Uçucu kül; puzolonik reaksiyonu artırmak ve taneli zeminlerin gradasyonunu geliştirmek için zemine ilave edilir. Siltli zeminlerin puzolonik aktivitesi; kireç-uçucu kül oranı 1:2 olacak şekilde kullanılırsa, geliştirilebilir. Uçucu küller; değişik mekanik ve kimyasal özelliklere sahiptir. Bu nedenle, özgün uygulamalar için tasarım kriterini belirlemek amacıyla, yoğun bir deney programı gerekmektedir.

Zemin stabilizasyonu için değişik organik bileşikler kullanılır. Ancak kireç stabilizasyonu kadar etkili sonuç alınmaz ve ekonomik çözüm elde edilemez. Piyasada

özgün uygulamalarda kullanılabilir farklı bileşikler mevcuttur. Bu nedenle, uygulamaya geçilmeden önce arazide deneyler yapılmalıdır. Organik bileşiklerin başarısı sınırlıdır. Farklı ticari isimli bileşikler kullanılarak yapılan detaylı arazi deneyleri sonuçlarına göre, bazı sıvılar şişmeyi etkili olarak kontrol etmektedir. Ancak sondaj delikleri içinde enjeksiyonla yapılan uygulamalarda başarılı sonuçlar elde edilememiştir [9].

V. SULAMA KANALLARINDA GÖRÜLEN ŞİŞEN ZEMİN PROBLEMLERİ

V.1. Şanlıurfa Hidroelektrik Santralı Kuyruk Suyu Kanalı İnşaatı

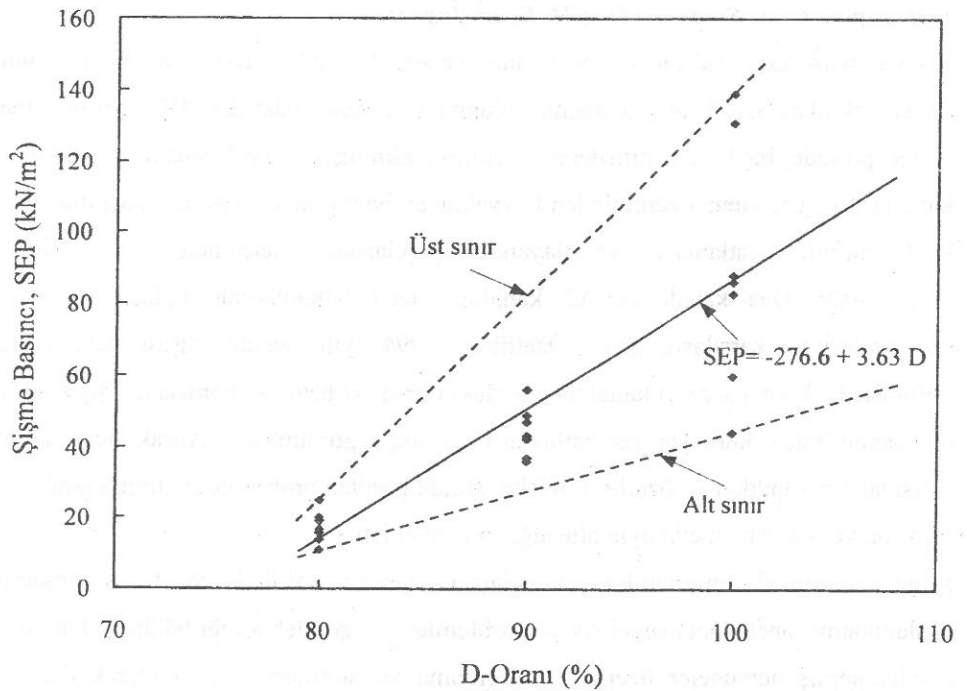
Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında ve Fırat nehri havzasında toplam 476 000 ha tarım alanının sulanması planlanmıştır. Atatürk Barajı rezervuarından alınan ve Şanlıurfa tünelleri ile taşınan 328 m³/s'lik su, tünel çıkışından sonra ikiye ayrılmaktadır. İlk bölüm; doğuya doğru devam ederek Yukarı Harran, Mardin ve Ceylanpınar ovalarında toplam 335 000 ha sahayı sulayacaktır. İkinci bölüm; 50 MW kurulu güce sahip Şanlıurfa Hidroelektrik Santralında enerjiye dönüştükten sonra, yeniden ikiye ayrılmaktadır. Bu bölüm; Harran ve Şanlıurfa ovalarında yaklaşık 100 000 ha'lık sahayı sulamak üzere projelendirilmiştir.

Çalışmaları tamamlanmış Şanlıurfa ovası I. Kısım inşaatı sırasında, tipik "şişen zemin" problemi ile karşılaşmıştır. Özellikle Hidroelektrik Santralı kuyruksuyu kanalının 700 m'lik bölümü killi ve siltli zemin içinden geçmektedir. Yerinde yapılan gözlemlerle kanal şevlerinde büzülme çatlakları gözlenmiş, şev yüzeyinin bozularak ayrışmaya uğradığı ve yer yer aktığı görülmüştür. Temel zemininin doğru tanımlanmasını yapmak ve şişme potansiyeline yaklaşımda bulunmak için değişik zamanlarda yoğun deneysel çalışmalar yapılmıştır [2, 3].

İlgili bölüme ait temel zemininin ortalama % 87'i kil ve silt boyutunda olup, likit limit değerleri 61 ile 82 arasında değişmektedir. Plastisite indisi ve rötre limiti değerleri ise, sırasıyla 24-43 ve 10-25 aralığında yer almaktadır. İndis özelliklerine bağlı sınıflamalara göre, temel zemini yüksek şişme potansiyeline sahiptir. Ayrıca örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan şişme deneyi sonuçlarından, zeminin orta-yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Temel zemininde, 2.0 m'lik bir aktif zon derinliği için oluşacak yüzey şişmesinin 3-4 cm arasında olacağı hesaplanmıştır [15]. Bu çalışmalar sonucunda, kanal kaplaması ile temel zeminin direkt temasının olmaması,

kanal etrafına yüzey drenaj sisteminin oluşturulması, kanal kaplamasının 5 cm'lik şişmeyi tolare edebilecek kapasitede projelendirilmesi ve kanal inşaatından önce temel zemininin ön ıslatma işlemine tabii tutulmasına karar verilmiştir.

Bu bölümde yer alan killerin temel zemini olarak uygunluğu ve işlenebilirliği değerlendirilmiştir. Bu amaçla farklı sıklık derecelerinde temel zemininin şişme potansiyeli araştırılmıştır. Şekil 2; üç değişik sıklık oranında elde edilen şişme basıncı değerlerinin dağılımını sunmaktadır. Benzer sonuçlar; şişme yüzdesi değerlerinde de elde edilmiştir. Üç ayrı sıklıktaki şişme yüzdesi değerlerinin istatistiksel özeti, çizelge 6'da verilmektedir.



Şekil 2. Sıklık oranına bağlı olarak şişme basıncındaki değişim aralığı

Bu çalışmalar sonucunda temel zemininin % 90 oranında sıkıştırılması, temel zemini içinde oluşacak terlemenin kanal tabanında yoğunlaşmasını önlemek için sıkıştırılmış zemin üzerine jeotekstil malzeme serilmesi ve gerekli drenajın sağlanması ile yüzey şişmesinin önlenmesi için düşük elastisite modüllü poröz beton uygulamasının yapılması ve daha sonra beton kaplamanın dökülmesi esaslarında projelendirme

yapılmıştır [15]. Bu esas dahilinde inşa edilen kaplamalar; 1993 yılından beri hasarsız olarak hizmet vermektedir.

Çizelge 6. Farklı sıklık oranlarında oluşan şişme yüzdesi değerleri

Sıklık Oranı, D (%)	Numune Sayısı	Şişme Yüzdesi, %			
		En düşük	En büyük	Ortalama	Standart sapma
80	7	0.77	2.41	1.29	0.53
90	7	1.42	3.41	2.44	0.58
100	7	1.88	5.23	3.93	1.06

V.II. Konya Ovası Sulaması IV-VII. Kısım İnşaatı

Konya Ovası Sulama Projesi kapsamında yer alan IV ve VII. Kısım inşaatı ile, Çumra İlçesi yakınlarında 25300 ha alanın sulanması amaçlanmaktadır. 1985 yılında ihale edilen projede, bir bölüm bitirilerek işletmeye alınmıştır. Ancak sulama şebekesi ana kanalları boyunca temel zemininden kaynaklanan bazı problemlerle karşılaşmış, kanal kaplamalarında çatlamlar ve dayanma yapılarında ötelenmeler ve ayrılmalar görülmüştür. Ova kanalı ve A2 kanalının bazı bölümlerinde tipik şişen zemin problemleriyle karşılaşmıştır. Özellikle 1994 yılı içinde inşası tamamlanan bölümlerde, kış ayı sonrası kanal tabanındaki donatısız beton kaplamalarda, şişen zemin problemlerinden ötürü yer yer çatlakların oluştuğu görülmüştür. Ancak "test" amaçlı çalışmalar yapıldığı ve özellikle A2 kanalında görülen problemlerin, tipik olarak içsel erozyon ve borulanma etkisiyle oluştuğu belirlenmiştir.

Proje kapsamında problemlerle karşılaşılan inşaatı bitirilmiş ve henüz inşaatına başlanmamış, ancak potansiyel şişme problemlerinin görülebileceği bölümlerden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde, tanımlama ve sınıflama amaçlı olarak deneysel çalışmalar yapılmış ve doğal zeminin şişme potansiyeli deneyleri gerçekleştirilmiştir. Temel zemininin şişme potansiyeli ile diğer bazı fiziksel özellikleri, çizelge 7'de sunulmaktadır. Temel zemini bütünüyle ince taneli olup Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine göre CL, CL-CH ve CH grup sembolleriyle temsil edilen düşük-yüksek plastisiteli kil olarak sınıflandırılmaktadır [5].

Temel zemininden alınmış 20 adet numune üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre likit limit ve plastisite indisi değerleri; sırasıyla 44-85 ve 20-46 aralığı içinde değişmektedir. Rötire limiti değerleri ise 11 ile 20 arasında yer almaktadır. Bu değerlere

göre temel zemini, genellikle yüksek-çok yüksek şişme potansiyeline sahiptir. Kuru yoğunluk ve likit limit değerlerine bağlı olarak yapılan değerlendirmeye göre, bu numunelerle temsil edilen temel zemininin büyük bir bölümü "şişen zemin" kategorisi içinde yer almaktadır. Aktivite sınıflamasına göre, temel zemini orta-yüksek şişme potansiyeline sahiptir.

Çizelge 7. Konya Ovası Sulaması IV-VII Kısım İnşaatı temel zemin karakteristikleri

Kil özellikleri	Numune sayısı	Değer			
		En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma
<u>Tane dağılımı</u>					
- 0.002 mm'den geçen (%)	18	11	56	32.8	16.3
- 0.075 mm'den geçen (%)	20	87	99	96.0	3.6
- 4.76 mm'den geçen (%)	20	100	100	100	0.0
<u>Kıvam limitleri</u>					
- Likit limit (%)	20	44	85	60.2	10.6
- Plastisite limiti (%)	20	20	39	26.1	4.3
- Plastisite indisi (%)	20	20	46	34.1	7.3
- Rötire limiti (%)	20	11	20	14.8	2.3
<u>İndis özellikleri</u>					
- Özgül gravite	20	2.67	2.78	2.72	0.04
- Tabii kuru yoğunluk (Mg/m^3)	20	1.30	1.64	1.53	0.13
- Tabii su muhtevası (%)	20	16.8	38.9	27.4	5.8
- Porozite	20	0.63	1.07	0.80	0.14
- Boşluk oranı	20	0.39	0.52	0.44	0.05
- Doygunluk derecesi (%)	20	81	100	93.5	5.5
<u>Şişme karakteristikleri</u>					
- Şişme yüzdesi (%)	19	0.7	4.9	2.37	1.2
- Şişme basıncı (kN/m^2)	19	25.5	176.0	61.3	46.0

Temel zemininden alınmış örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan şişme basıncı ve şişme yüzdesi deneyleri; başlangıç su muhtevası değerlerine bağlı olarak değişik sonuçlar vermektedir. Doğal zeminin şişme basıncı değerleri; 26-176 kN/m^2 ve şişme yüzdesi değerleri % 0.7-4.9 aralığında değişmektedir. Bu değişken değerler; temel

zemini üzerinde inşa edilecek kanal kaplaması, duvarlı kanal ve istinat duvarı gibi yapılar için farklı taban kaldırma basınçları ve yüzeysel şişme değerlerini oluşturacaktır. Bu nedenle, bu sulama alanındaki problemin çözümü doğrultusunda tip bir proje üretmek uygun değildir. Yerel zemin koşullarına göre tasarım ve inşaat önlemlerinin alınması uygundur. Uygulama esasları deneme çalışmaları sonucunda belirlenecek kireç katkısının kullanılması, yüzey şişmesinin yüksek olduğu bölgelerde kalınlığı 50-60 cm arasında değişen taneli zeminle doğal zeminin değiştirilmesi ve bazı kesitlerde kanal kaplamasının donatılı inşa edilmesi önerilmiştir.

V.III. Şanlıurfa Ovası IV.Kısım İnşaatı

Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında yer alan Harran ve Şanlıurfa ovalarındaki sulama alanları, altı ana bölüm halinde inşa edilmektedir. İnceleme alanını oluşturan IV. Kısım sulama inşaatı, 23738 ha'lık bir sahayı kapsamaktadır. Proje kapsamında 85 km beton kaplama yedek ve tersiyer kanal, 157 km tahliye kanalı, 591 km kanaletli sulama şebekesi, 273 km işletme bakım yolu ve 4038 adet sanat yapısı inşa edilmiştir.

İlgili sulama alanı; bütünüyle ince taneli kohezyonlu zeminden oluşmaktadır. Temel zemininin ortalama % 80'i ince tane boyutunda olup, kum ve çakıl oranı ortalaması sırasıyla % 12 ve % 8 olarak belirlenmiştir. 28 ayrı numuneye ait likit limit değerlerinin ortalaması 49, plastisite indisi değerlerinin ortalaması ise 25'dir. Rötire limiti değerleri ise, 12 ile 22 aralığında değişmektedir. Temel zemini; Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine göre ağırlıklı olarak CL ve CL-CH grup sembolü ile temsil edilmektedir [4].

Temel zeminini oluşturan killerin şişme potansiyelini nitel ve nicel olarak tanımlamak amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. İndis özelliklerine bağlı sınıflamaya göre kil zemin; orta-yüksek şişme potansiyeline sahiptir. Tabii kuru yoğunluk değerine bağlı sınıflamaya göre numuneler ağırlıklı olarak normal zemin-şişen zemin sınırında yer almaktadır. Projelendirmede dikkate alınacak temel zemininin şişme parametrelerini belirlemek amacıyla, direkt nicel veriler sağlayan deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Özellikle temel zemininin sıkılaştırılmasıyla şişme potansiyelinde oluşacak değişimler değerlendirilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalar, özet halinde çizelge 8'de sunulmaktadır.

Şekil 3'de iki farklı sıklık yüzdesi için şişme yüzdesi ile şişme basınca arasındaki ilişki verilmektedir. % 90 sıklıkta hazırlanmış numuneler üzerinde yapılan şişme yüzdesi değeri ortalaması % 1.3' tür. 1.5 m'lik bir aktif zon derinliği dikkate alınarak temel zemininde oluşacak serbest yüzey şişmesi ortalaması 0.65 cm olarak hesaplanmıştır [16, 17]. Bu yüzey şişmesine karşılık gelen şişme basıncı değeri, en düşük 30 kN/m² olarak bulunmuştur. Yüksek yüzey şişmesinin olduğu bölgelerde, özellikle ana kanal inşaatında temel zeminin 40-50 cm kalınlığında taneli zemin ile değiştirilmesi ve kireç katkısının kullanılması önerilmiştir. Uygulamada özellikle zemin değiştirmesi yaygın olarak benimsenmiştir.

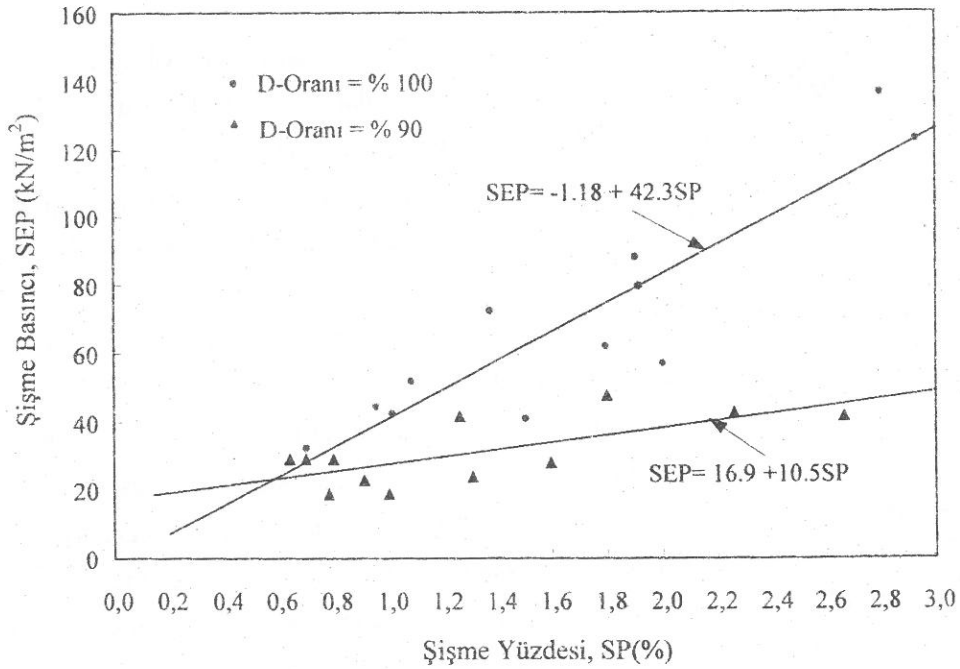
VII. SONUÇ

Şişme potansiyeli yüksek kil zeminler üzerine inşa edilen kanal kaplamalarında, borulu sulama şebekelerinde ve sifon, menfez ve sel alt geçidi gibi yardımcı yapılarında, özel tasarım ve inşaat önlemleri alınmadığı takdirde tipik yapısal hasarlar görülmektedir. Bu tip yapıların inşa edildiği temel zemini; ön inceleme aşamasında tanımlanmalı ve bu aşamada kilin tipi, orijini ve oluşum mekanizmasını ortaya koyacak gerekli mühendislik çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmalar sonunda kilin şişme potansiyelinin varlığı tespit edilmişse, planlama aşamasında bu potansiyeli nicel olarak tanımlayacak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmelidir. Bu deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere bağlı olarak, zemin yüzey şişmesi ve temel altında oluşacak şişme basıncı değerleri hesaplanmalı ve hesaplanan değerler dikkate alınarak projelendirme gerçekleştirilmelidir.

Ülkemizdeki sulama inşaatlarında bu problemlerin varlığı; çoğunlukla inşaat aşamasında ve hatta oluşan hasarlar dikkate alınarak işletme aşamasında belirlenmektedir. Bu durum; ön inceleme ve planlama aşamasında yapılması gereken geoteknik çalışmaların yetersizliğinden veya yapılan çalışmalarda eşgüdüm eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada değinilen üç ayrı proje ve diğer bazı temel zemin problemleri sulama projelerinden edinilen deneyimler ışığında, konu ile ilgili çalışma akım ağını da ihtiva edecek yeni bir şartnamenin hazırlanması uygun olacaktır. Şartname; kireç, çimento ve diğer bazı kimyasal katkıların kullanımıyla ilgili bazı hususları da ihtiva etmelidir.

Çizelge 8. Şanlıurfa ovası IV.Kısım inşaatı temel zeminde yapılan şişme deneylerinin istatistiksel özeti

İstatistiksel Değerler	Şişme yüzdesi (%)		Şişme basıncı (kN/m ²)	
	D= %90	D= %100	D= %90	D= %100
Numune sayısı	13	13	12	12
En düşük değer	0.7	0.7	18.6	32.0
En büyük değer	2.7	2.9	47.4	136.4
Ortalama değer	1.3	1.7	30.7	69.1
Standart sapma	0.6	0.7	9.8	32.9



Şekil 3. İki farklı sıklık yüzdesi için şişme yüzdesi-şişme basıncı ilişkisi.

KAYNAKLAR

- [1] F. H. Chen, "*Foundation on Expansive Soils*", American Elsevier Science Publication, New York, 1988.
- [2] H.Tosun, "Hafif Su Yapıları Açısından Şişen Killerin Önemi ve Bir Uygulama", *Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni*, V.14, p:94-109, 1992.
- [3] H. Tosun, ve H.Kırmızıtaş "Harran Killerinin Şişme Potansiyeli ve Bölgede İnşa Edilecek Su Yapıları İçin Önemi", Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekanik Problemleri Sempozyumu, 20-25 Eylül 1993, Gümüşdör, Bildiri kitabı, s:313-327.
- [4] H.Tosun, K. Birden ve O.S.Diyar, "Harran Killerinin (IV.Kısım) Geoteknik Özellikleri ve Şişme Potansiyeli" GAP 2.Mühendislik Kongresi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 1998, Bildiri kitabı, s:201-207.
- [5] DSİ, "Teknik Rapor (KOS IV-VII Kısım Sulama İnşaatı)" Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Rapor no:95/72 (kurum içi yayın), 1995.
- [6] D.E. Jones and K.A. Jones, "Treating Expansive Soils", *Civil Engineering*, V.57, N.8, ASCE, 1987.
- [7] D.P.Coduto, "*Geotechnical Engineering-Principles and Practice*", Prentice-Hall, New Jersey, 1999.
- [8] Ş.Bekişoğlu, "*Sulama Şebekesinin Klasik Kanalet ve Borulu Sistemlerinin Mukayesesi*", DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara, 44 Sayfa, 1993.
- [9] J.D.Nelson, and J.M.Debora, "*Expansive Soils-Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering*", J. Willey and Sons, New York, 259p, 1992.
- [10] J.K.Mithcell, "*Fundamentals of Soil Behavior*" John Wiley and Sons, New York, 422 p, 1972.
- [11] T.W.Lambe, "*Soil Stabilization*", Chapter four of Foundation Engineering, G. A. Leonards (ed.), McGraw-Hill, New York, 1962.
- [12] T.W.Lambe, "*The Character and Identification of Expansive soils, soil PVC meter*", Federal Housing Administration, Technical studies program, FHA 701, 1960.

[13] W.G. Holtz and H.Gibbs, " Engineering properties of expansive clays" *Transact ASCE*, V.121, p:641-677, 1956.

[14] H.B. Seed, R.J.Woodward and R.Lundgren, "Prediction of swelling potential for compacted clays", *Journal ASCE, Soil Mech. and Foundations Div.*, Vol.88, 1962.

[15] AEJV, "Şanlıurfa HEPP Main Outlet Canal Report for Rehabilitation of Clayey Section", Atatürk Dam and Power Plant Engineers Joint Venture,1991, (unpublished).

[16] M.N.O'Neill and N.Poormayed, "Methodology for foundations on expansive clays" *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, V.106, No.GT, p:1345-1367, 1980.

[17] H.Tosun ve K.Sevinçli, "Şişen Killer Üzerine İnşa Edilecek Hafif Su Yapıları İçin Proje kriterleri", DSİ 40. Yıl Sempozyumu, Ankara, 833-844, 1994.