

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATI ATIK SAHALARINDA GÖRÜLEN
STABİLİTE SORUNLARI**

İnş. Müh. İlke KIR

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sönmez Yıldırım

İSTANBUL,2007

SİMGE LİSTESİ

Dr	Kompaksiyon Derecesi
w _{opt}	Optimum Su İçeriği
γ_n	Doğal Birim Hacim Ağırlığı
ϕ	İçsel Sürtünme Açısı
ru	Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı
W _n	Doğal Su İçeriği,
W _p	Plastik Limit,
W _l	Likit Limit,
PI	Plastisite İndisi
N _c , N _q , N _{γ}	İçsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü faktörleri
c	Efektif Kohezyon
q _a	İzin Verilen Taşıma Gücü

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Plaka yükleme deneyi.....	9
Şekil 3.2 Çöp malzemesinin kayma mukavemeti parametreleri.....	11
Şekil 6.1 Dinamik kompaksiyon.....	17
Şekil 9.1 Bir şevde göçen kütleyle etkileyen kuvvetler.....	24
Şekil 9.2 Göçen kütlede tek dilime etkileyen kuvvetler.....	25
Şekil 9.3 İsveç dilim yönteminde kuvvetler.....	27
Şekil 9.4 Janbu düzeltme sayıları.....	30
Şekil 9.5 Spencer yönteminde dilimler arası kuvvetler.....	31
Şekil 10.1 Atışalanı trafo merkezinin genel konumu ve alınan kesitler.....	37
Şekil 10.2 Genel konum üzerinde alınan 1-1 kesiti.....	38
Şekil 10.3 Genel konum üzerinde alınan 2-2 kesiti.....	39
Şekil 10.4 Genel konum üzerinde alınan 3-3 kesiti.....	40
Şekil 10.5 Genel konum üzerinde alınan 4-4 kesiti.....	41
Şekil 10.6 Genel konum üzerinde alınan 5-5 kesiti.....	42
Şekil 10.7 Genel konum üzerinde alınan 6-6 kesiti.....	43
Şekil 10.8 A bölgesine yapılan istinat duvarı.....	44
Şekil 12.1 Kayan şev gözlem noktaları vektörel gösterim.....	57
Şekil 12.2 Kontrolsüz dolgu zeminde yapılan plaka yükleme deneyi sonucu elde edilen δ -q eğrisi.....	64
Şekil 12.3 Kontrolsüz dolgu zemin üzerine 10 cm granüler malzeme konulup sıkıştırıldıktan sonra yapılan plaka yükleme deneyi sonucu elde edilen δ -q eğrisi.....	65
Şekil 12.4 Kontrolsüz dolgu zemin üzerine 10 cm stabilize malzeme konulup sıkıştırıldıktan sonra yapılan plaka yükleme deneyi sonucu elde edilen δ -q eğrisi.....	66

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Katı atıkların zemin parametreleri ile ilgili örnekler.....	12
Çizelge 4.1 Evsel katı atıkların içeriğinin şehirlere göre karşılaştırılması.....	13
Çizelge 6.1 Zemin cinsine göre n değerleri.....	16
Çizelge 9.1 Şev hareketi sınıflandırması.....	22
Çizelge 9.2 Dilim yönteminde bilinen ve bilinmeyen sayıları.....	26
Çizelge 11.1 Zeminin fiziksel özellikleri ve sınıflandırılması.....	51
Çizelge 12.1a Kayan şev gözlem noktaları zemin hareketleri ölçüm değerleri.....	55
Çizelge 12.1b Kayan şev gözlem noktaları zemin hareketleri ölçüm değerleri.....	56
Çizelge 12.2 Kontrolsüz dolgu yapılmış olan zemin üzerinde yapılan plaka yükleme deneyi.....	61
Çizelge 12.3 Kontrolsüz dolgu üzerine 10 cm granüler malzeme konulup sıkıştırıldıktan sonra yapılan plaka yükleme deneyi.....	62
Çizelge 12.4 Kontrolsüz dolgu üzerine 10 cm stabilize malzeme konulup sıkıştırıldıktan sonra yapılan plaka yükleme deneyi.....	63
Çizelge 13.1 WINSTABL ile yapılan analizlerdeki $\Phi - FS$ değişimi.....	70

ÖNSÖZ

Hazırlanmış olan bu yüksek lisans tezinde geoteknik mühendisliğinin özel uzmanlık isteyen konulardan biri olan şev stabilitesi ve günümüz şartlarında güncelliğini hiç kaybetmeyecek gibi gözüken katı atıkların depolanması konuları, arazi, laboratuvar ve bilgisayar ortamlarında incelenmiş, katı atıklarda oluşan stabilite sorunları ve zemin davranışları açıklanmaya çalışılmıştır.

Sadece bu tez çalışmasında değil Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği ile tanıştığım günden beri bana sonsuz destek ve sabır gösteren değerli hocam Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM' a teşekkürü borç bilirim. Yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren hocalarım Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN, Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM, Yrd. Doç.Dr. Mehmet BERİLGİN' e bilgi ve deneyimlerini karşılıksız paylaştıkları için teşekkür ederim. Lisans eğitimimden başlayarak gösterdikleri anlayış, nezaket ve yardımseverliklerinden dolayı ömrüm boyunca unutamayacağım Geoteknik Anabilim Dalında yer alan hocalarım Murat TONAROĞLU, Niyazi TERZİ ve Pelin TOHUMCU ÖZENER' e teşekkür ederim.

İLKE KIR

ÖZET

Katı atıkların toplanması ve depolanması İstanbul için gün geçtikçe büyüyen bir sorun olmaktadır. İstanbul' un ülkenin en büyük şehri olması sebebiyle çok sayıda ve gelişen sanayi tesisi ve inşaat sahaları bulundurması aynı oranda artan katı atıkların miktarlarının artmasına sebep olmaktadır.

Atışalanı Trafo Merkezi İstanbul' un en büyük trafo merkezlerinden birisi olup yüksek gerilim hatlarının iletimini sağlamaktadır. Bu merkezin inşaatı başlamadan önce inşaat sahasına 1988 yılından bu zamana kadar katı atık, inşaat hafriyatları ve moloz döküm sahası olarak kullanılmış, tonlarca atık gelişiğüzel bir şekilde doldurulmuştur.

Bu çalışmada, bu sahaya kontrolsüz olarak depolanan katı atıkların neticesinde oluşan duraylılık problemleri; arazi deneyleri ve arazi gözlemleri, laboratuvar deneyleri ve duraylılık analizleri ile birlikte bu konuda çalışmış olan araştırmacıların daha önceden yaptığı çalışmalarla birlikte incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katı atık, şev stabilitesi, Atışalanı Trafo Merkezi, zemin parametreleri.

ABSTRACT

Solid waste collection and disposal is a growing problem for İstanbul. İstanbul (as the biggest city) is containing a great number of industries and construction sites, has a large amount of wastes.

The Atışalanı Substation is one of the biggest substation in İstanbul, transmitting the high voltage energy. Before this sites construction works started in 1998, tonnes of solid wastes, excavation materials and rubbles were daily disposed which were not deposited in a engineering fashion.

In this study, the stability problems of this site occurred because of the solid waste disposal were investigated by using field tests field observations, laboratory tests and slope stability analysis. Determination of soil parameters were made using these tests and analysis are compared with those obtained by the scientists obtained by the studied subject before.

Key Words: Solid waste, slope stability, Atışalanı Substation, soil parameters

1. GİRİŞ

İnsanların endüstriyel, tarımsal, ticari ve evdeki günlük faaliyetleri, yeni bir bina yapımı, su ve atık su arıtılması gibi değişik işlemleri sonucu işe yaramaz hale gelen her türlü katı madde “katı atık” olarak isimlendirilmektedir. Katı atıkları evsel çöpler, iri hacimli çöpler, bahçe atıkları, sokak atıkları, esnaf, işletme ve sanayi atıkları, ahır ve mezbaha atıkları, inşaat molozları ve kazı toprağı, hastane atıkları, radyoaktif atıklar ve diğer bazı özel atıklar olmak üzere değişik sınıflara ayrılmaktadır. (Çakır ve Yılmaz, 1998)

Katı atıkların denetiminde amaç; “her türlü atık ve artığın çevreye zarar verecek şekilde, doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesi, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerin yasaklanması, çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan tüketim maddelerinin idaresinin belli bir disiplin altına alarak, havada, suda ve toprakta kalıcı etki gösteren kirleticilerin hayvan ve bitki nesillerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmasının önlenmesi ile buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi, uygulanması ve geliştirilmesidir.

Düzenli katı atık depolama yeri planlanmasında ilk aşama, depolama sahası için uygun yer seçimi olmaktadır. Bunun için ilgili yönetmelik ve kılavuzlarda:

- Katı atık depolama yeri (Çöp döküm sahaları) en yakın yerleşim birimine en az 1000 metre mesafede olmalıdır.
- Havaalanına en az 3 km uzaklıkta olmalıdır.
- İçme, kullanma ve sulama suyu temin edilen yer altı ve yerüstü sularını koruma bölgelerinde inşa edilmemelidir.
- Deprem bölgelerinde fay hattı üzerinde inşa edilmemelidir.

- Taşkın riskinin yüksek olduğu yerlerde, çığ, heyelan ve erozyon bölgelerinde inşa edilmemelidir.
- Sulak alanlarda hiçbir şekilde inşa edilmemelidir.
- şehircilik açısından, hâkim rüzgâr yönünde inşa edilmemelidir.

Kurulan tesisin konumu imar planında belirtilerek, işletmeye kapatıldıktan sonra en az 40 yıl yerleşime açılmaması sağlanmalıdır.

- Planlanan depolama sahası en az 10 yıllık ihtiyaa cevap verecek kapasitede olmalıdır denilmektedir.



Resim 1.1 Kontrollü dolgu yapılan katı atık depolama sahası (www.epa.gov/msw)

2. DEPOLAMA TESİSİ YAPIMINDA GEOTEKNİK UYGULAMALAR

2.1 Yapım Aşamaları

Katı atık depolama tesisi yapımının geoteknik yönden incelendiğinde karşımıza aşağıdaki aşamalar çıkmaktadır.

- Depolama yeri taban zemininin tesviyesi ve sıkıştırılması,
- Mineral (kil) ve/veya Geo-sentetik (HDPE) geçirimsizlik tabakasının oluşturulması,
- Drenaj sisteminin oluşturulması
- Dolgu bitiminde üst kısmın erozyon kontrollü olarak yeşillendirilmesi. (Alyanak vd., 2004)

2.2 Depolama Yeri Tabanının Hazırlanması

Katı atık depolama yeri yapılacak olan sahanın taban zemininde bulunan doğal engebelerin, alt yapı birimleri olan mineral geçirimsizlik tabakası ve drenaj sisteminin oluşturulmasından önce tesviye edilerek, bu birimlerin fonksiyonlarına uygun olarak yapımı gerekmektedir. Bu sırada depolama yeri tabanının yer yer kazı ve dolgu yapılacağından, doğal taban zemininde farklı sıklıkta kısımların oluşma riski bulunmaktadır. Dolgu kısımların farklı sıklıkta olması taban zemininde farklı oturmaların oluşmasına neden olacaktır. Bu da öncelikle drenaj sisteminde yetersiz veya ters eğimlerin oluşmasına neden olacaktır. Bu sakıncalı durumun önlenmesi için dolgu işlemleri uygun teknikler kullanılarak gerekli ve standart düzeyde kompaksiyon uygulanarak farklı oturmalar önlenmek durumundadır. (Alyanak vd., 2004)

2.3 Mineral Geçirimsizlik Tabakası

Depolanan evsel katı atıkların sahip olduğu su içeriği ağırlık oranı olarak %40-65 düzeyindedir. Depolama alanına gelen yağış suları da eklendiğinde önemli miktarlarda, kirlilik oranı çok yüksek bir sızıntı suyu ortaya çıkmaktadır. Bu kirliliğin yeraltı suyunu ve çevreye zarar vermemesi için kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle depolama alanı tabanına bir sızdırmazlık tabakası oluşturulmalıdır. Doğal geçirimsizlik tabakası olan kil ekonomikliği ve teminindeki kolaylığı nedeniyle öncelikli olarak tercih edilmektedir.

Yörede, ekonomik taşıma uzaklığında, uygun kil malzemenin bulunamaması durumunda, gerekli mineral sızdırmazlık tabakasının oluşturulması “bentonit-kum” karışımı kullanılarak sağlanabilmektedir. Şevlerde mineral sızdırmazlık tabakasının gerekli kalitede inşa edilebilmesi için şev eğiminin 1:3 – 1:4 düzeyinde olması gerekmektedir. Özel durumlarda şev eğimi en çok 1:2 olabilmektedir. Şev eğiminin daha dik olduğu durumlarda yalnız sentetik sızdırmazlık tabakası kullanılmaktadır. Mineral sızdırmazlık kil tabakasının kalınlığı, evsel katı atık depolama tesislerinde 60 cm dir. Bu tabakalar en çok 30 cm lik tabakalar halinde sıkıştırılarak döşenir ve kompaksiyon derecesi $Dr = 0.95$ den büyük olması istenmektedir. (Alyanak vd., 2004)



Resim 2.1 Kontrollü dolgu yapılan katı atık depolama sahası (www.ace.mmu.ac.uk)

2.4 Sentetik Geçirimsizlik Tabakası

Depolama alanı taban sızdırmazlığı daha az riskli olması ve mineral geçirimsizlik tabakasının atmosferik ve biyolojik etkilerden korunması için, mineral sızdırmazlığa ek olarak sentetik geçirimsizlik tabakası da uygulanmaktadır. Bu amaçla HDPE geo-sentetik veya bitümlü koruma tabakası kullanılmaktadır. (Alyanak vd., 2004)



Resim 2.2 Katı atık sahasında yapılan sentetik geçirimsizlik tabakası (www.solid.gov.bb)

2.5 Drenaj Tabakası

Geçirimsizlik tabakaları üzerinde toplanan “Sızıntı Suları”nın toplanıp, depolama alanı dışına taşınması için bir “drenaj sistemi” oluşturulması gerekmektedir. Depolama alanının tamamı 30 cm kalınlığında çakıl malzeme ile kaplanarak, depo tabanına ulaşan sızıntı sularının drenaj borularına ulaşması sağlanmalıdır. Drenaj boruları en az $\Phi 100$ mm olarak planlanmalıdır. (Alyanak vd., 2004)

3. YAPILAN DENEYLER VE ARAŞTIRICILARIN ÖNERMELERİ

3.1 Kompaksiyon Deneyi

Zeminin sıkıştırılması teknik anlamda, kuru birim hacim ağırlığının standart enerji uygulaması ile en uygun su içeriğinde (optimum) alabileceği en sıkı değere getirilmesini kapsamaktadır. Belli bir ince daneli zeminin ulaşılabilen en sıkı değeri (γ_k -Laboratuar) ve sıkıştırma için gerekli optimum su içeriği (w_{opt}) değeri, laboratuarda standart proktor deneyi ile belirlenmektedir. Bu deney ile belirlenen koşullara uyularak yapılan “sıkıştırma (kompaksiyon)” işlemi sonucunda zeminin;

- Kayma direnci yükselir,
- Sıkışabilirliği azalır,
- Şişme-büzülme davranışı kontrol altına alınabilir,
- Aşınabilirliği azalır veya gecikir,
- Sıvılaşma özelliği kaybolabilir,
- Dondan aşırı etkilenmez.

Dolgu işlemlerinde sıkışma (kompaksiyon) düzeyi, proktor deneyi ile ulaşılabilen sıklığa oranı “Dr” ile tanımlanmaktadır. Arazide dolgu inşaatının kompaksiyon miktarı ölçülerek, dolgu sıklığının yeterliliğine karar verilmektedir. Sıkışma (kompaksiyon) derecesi “Dr” arazide elde olunan kuru birim hacim ağırlığı (γ_k -Arazi) değerinin (γ_k -Laboratuar) değerine oranı olarak tanımlanmaktadır.

Dolgunun yapımı sırasında, dolgunun sıkıştırma derecesinin kontrolü için, sıkıştırılan dolgunun doğal birim hacim ağırlığı (γ_n), su içeriği (w_n) ve boşluk oranı (n) değerleri arazide ölçülerek, dolgunun kuru birim hacim ağırlığı (γ_k -Arazi) değeri bu veriler yardımıyla hesaplanarak belirlenmektedir.

İstenilen kompaksiyon derecesinde sıkıştırılmış olan kil tabakasının geçirimsizlik katsayısının minimum 1×10^{-8} m/sn olması öngörülmektedir. (Alyanak vd., 2004)

3.2 Arazi Sıkışma Kontrolü Yöntemleri

Sıkıştırılan dolguların arazideki sıkılık derecesini yerinde ölçmek üzere değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında yaygın olarak kullanılanlar:

- Kum şişesi yöntemi
- Balon yöntemi
- Yağ (veya su) yöntemi
- Nükleer aletler

olmaktadır.

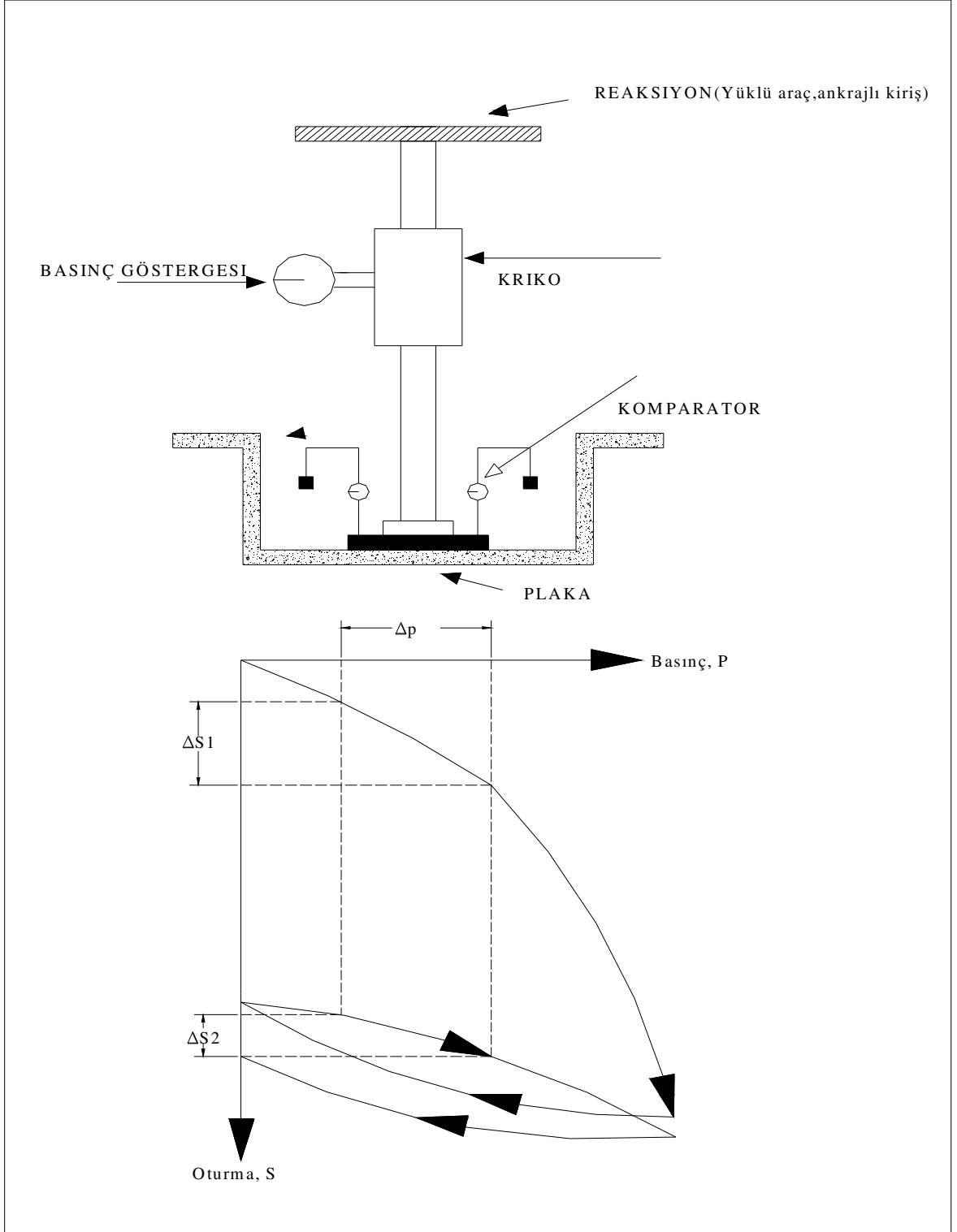
Bu yöntemlerden ilk üçü aynı temel esas almaktadır. Sıkıştırılan zemin yüzeyinde bir oyuk açmak, bu oyuktan çıkan zeminin ağırlığını ve oyuğun hacmini ölçmek ve zeminin yoğunluğunu hesaplamaktır. Oyuğun hacminin ölçmek için kum şişesi, şişirilen bir balon veya yağ (geçirimsiz zeminlerde) kullanılmaktadır.

Nükleer aletler yardımı ile ise zeminin yoğunluğu ve su muhtevası (bir oyuk açmadan) yerinde doğrudan saptanabilmektedir. (Özaydın, 2001)

3.3 Plaka Yükleme Deneyi

Bir plakaya uygulanan yük ile birlikte plakanın yapacağı oturmanın ölçülmesine dayanmaktadır. Plaka yükleme deneyinde temel amaç; sıkıştırılan zeminin basınç-oturma eğrisinin elde edilmesidir. Deney 30 veya 60 cm çapındaki rijit bir plaka üzerine hidrolik bir kriko yardımı ile kademeli olarak yükleme yapılmakta ve oturma (sıkışma) deformasyonları ölçülmektedir.

Yapılan deney verileri kullanılarak Deformasyon Modülü hesaplanır. İlk yükleme sonucu elde edilen deformasyon modülü, yükün boşaltılmasından sonra yapılan ikinci yükleme sonucu elde edilen deformasyon modülünden daha büyüktür. Bunun sebebi ilk yüklemede bulunan deformasyon modülünün zeminin iç(kayma, sıkışma) deformasyonlarını da içermesidir. Buna karşılık ikinci deformasyon modülünün elde edildiği ikinci yükleme çizgisinin orta bölgesi önemli ölçüde doğrusaldır ve zeminin elastik özelliğini karakterize etmektedir. Bu nedenle deney ölçümlerinde ve kompaksiyon kalite kontrolünde ikinci yükleme sonucu elde edilen deformasyon modülü değeri dikkate alınır. (Alyanak vd., 2004)



Şekil 3.1 Plaka yükleme deneyi

3.4 Kesme Kutusu Deneyi

Kesme kutusu deneyinde, zemin numunesi dikdörtgen veya dairesel kesitli ve iki parçadan oluşan rijit bir kutu içerisine yerleştirilmektedir. Uygulanan bir kesme kuvveti altında, kutunun üst parçası sabit tutulurken alt parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket edebilmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır. Numune üzerine normal gerilme uygulamak, ve böylece kesmeden önce zeminin konsolide olması ve kesme sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulması mümkün olmaktadır. Bu deneyde, zemin önceden belirlenmiş (numunenin ortasından geçen) yatay bir düzlem boyunca kırılmaya (göçmeye) zorlanmaktadır. (Özaydın, 2001)

Belirli bir normal gerilme altında, uygulanan kesme kuvveti ile meydana gelen yatay yer değiştirmeler ölçülmekte ve gerilme – şekil değiştirme, deformasyon – şekil değiştirme eğrileri elde edilmektedir. Deney sırasında ulaşılan en büyük kayma gerilmesi veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirmelere yol açan kayma gerilmesi zeminin belirli bir normal gerilme altında kayma mukavemetini vermektedir. (Özaydın, 2001)

Çeşitli araştırmacılar evsel katı atıkları kesme mukavemeti parametrelerini laboratuarda yaptıkları kesme kutusu deneyinden bulmuşlardır. Bunlardan O. Del Greco ve C. Oggeri' nin yaptığı deneysel çalışmada (Şekil 3.2), içerisinde düşük ve yüksek yoğunluklu çöp numuneleri ile, çöp numuneleri arasına; HDPE geomembran, kumlu çakıllı bir ara tabaka, kille sarmalanmış HDPE geomembran ve de HDPE geomembran ve geotekstil konularak kesme kutusu deneyleri yapılmış ve çöpün kayma mukavemeti parametreleri bu koşullar altında bulunmuştur. (Del Greco ve Oggeri, 2001)

Bu bilgiler doğru geoteknik analizler yapılması için yardımcı olabildiği gibi uzun süreli duraylılık analizleri için bir öngörü kolaylığı da sağlamaktadır.

Deneysel çeşitleri	Deneysel modelleri	Kayma muk. parametreleri	
		c (kPa)	φ
Çöp - Çöp ($\gamma = 0.5 \text{ kg/dm}^3$)		16	21°
Çöp - Çöp ($\gamma = 0.7 \text{ kg/dm}^3$)		24	22°
Çöp - HDPE geomembran - Çöp		0.0	17°
Çöp - kumlu çakıllı zemin - Çöp		15	38°
Çöp - HDPE geomembran(kil tabaka içerisinde) - Çöp		8	26°
Çöp - HDPE geomembran (geotekstil içerisinde) - Çöp		0.0	14°

Şekil 3.2 Çöp malzemesinin kayma mukavemeti parametreleri (Del Greco ve Oggeri, 2001)

3.5 Araştırcıların Önergeleri

Çizelge 3.1 Katı atıkların zemin parametreleri ile ilgili örnekler (Kocasoy ve Curi, 1995)

<u>Öneri Sahibi</u>	<u>ϕ</u>	<u>c (kPa)</u>	<u>r_u</u>	<u>γ (kN / m³)</u>	<u>Depolanma biçimi</u>
Cancelli (1987)	25	30	-	8	Eski çöp
Erol Güler, Cem B. Avcı	25	30	-	15	Toprakla karışmış çöp
Schmutz & Marzier (1986)	38-42	< 5	-	-	Sıkıştırılmamış atık
Jesserberg & Kockel (1991)	38-40	30-50	-	-	Taze çöp
Jesserberg & Kockel (1991)	15-25	0-70	-	-	Ayrıştırılmamış çöp
Zoino (1974)	23-27	5-15	-	-	Ayrıştırılmamış çöp

Yukarıda, bazı araştırcıların çöp ve atıklar üzerinde yaptıkları araştırmalar neticesinde elde ettikleri parametrelerin toplandığı bir çizelge yapılmıştır. Bu çizelgeden da anlaşılabilceği gibi çöp ve atıktan oluşmuş zeminlerde yapılan çalışmalarda zemin mukavemeti parametreleri çok fazla değişkenlik göstermektedir. Aynı şekilde depolanmış olan zeminlerde bile araştırcıların birbirlerinden çok farklı parametreler önermesi zemin koşulları hakkında karar vermenin zorluklarını kanıtlar niteliktedir.

4. EVSEL KATI ATIKLARIN ÖZELLİKLERİ (Fang, 1991)

Evsel katı atıklar içeriğindeki çeşitlilik sebebiyle geri dönüşümü çok ekonomik olmayan malzemelerdir. İçerikleri ülkeden ülkeye değişmektedir.

Çizelge 4.1: Evsel katı atıkların içeriğinin şehirlere göre karşılaştırılması

ÇEŞİT	NEW YORK CİTY (1968)	OSAKA (1980)
Kağıt	59,6	37,1
Yiyecek atıkları	9,2	13,2
Metal	7,6	5,5
Cam	8,6	12,3
Ahşap	2,5	2,5
Tekstil atıkları	0,8	4,0
Deri, petrol atıkları	0,8	0,3
Plastik	0,8	15,2

5. MÜHENDİSLİK PROBLEMLERİ

Evsel katı atık sahalarının düzenlenmesi için iki temel problem mühendislik bilgisi dâhilinde çözümlenmelidir.

1) Çöp sahası depolanması esnasındaki problemler

- Kompaksiyon
- Drenaj sistemi
- Dolgu şevlerinin duraylılık durumları

2) Evsel katı atıkların geri dönüşümü

- Cüruf olarak kullanılması
- Dolgu sahalarının park, bahçe, yeşil alan olarak kullanılması

6. DOLGUNUN SIKIŞTIRILIMASI

Dolgunun sıkıştırılmasının amaçları:

- Dolgu zeminde oluşacak oturmaların azaltılması
- Dolgu zemininin taşıma kapasitesinin artırılması
- Dolgu zemininin kayma mukavemetinin artırılması
- Dolgu zemininin hidrolik iletkenliğinin azaltılması

6.1 Yüzeysel Kompaksiyon Yöntemleri ve Öneriler

Evsel katı atık sahalarının stabilizasyonu için yüzeysel kompaksiyon yöntemleri önemli bir rol oynamaktadır. Ancak bu yöntemler depolama sırasında belirli bir düzen içinde uygulanmak zorundadır. Aşağıda bazı önerilere değinilmektedir.

- 1) Evsel katı atık depolama sahalarına her türlü atık üniform bir şekilde ayrıştırılmamış olarak gelmektedir. Bu atıklar depolanmadan önce ayrıştırılabilir ve benzer olanlar aynı tabaka içerisinde sıkıştırılabilirler.
- 2) Birinci maddedeki yöntem uygulanamıyor ise birim hacmen daha ağır olan atıklar dolgu sahasının orta bölgesine yakın depolanmalıdır. Böylece dolgu sahasının şevlerinin duraylılık durumları kontrol edilebilir.
- 3) Evsel katı atıklar dolgu sahasına mümkün oldukça ince bir tabaka halinde yayılmalıdır. Sonuçta atık stabil olmayan bir malzemedir ve ani oturmalar gösterebilmektedir. Ayrıca uçucu kül ve kireç stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilir.
- 4) Yüksek tonajlı silindirler sıkıştırma işlemleri için kullanılabilirler. Uygun serim kalınlığı ve silindir ağırlığı ile iyi bir stabilizasyon sağlanabilir.

6.2 Derin Kompaksiyon Teknikleri

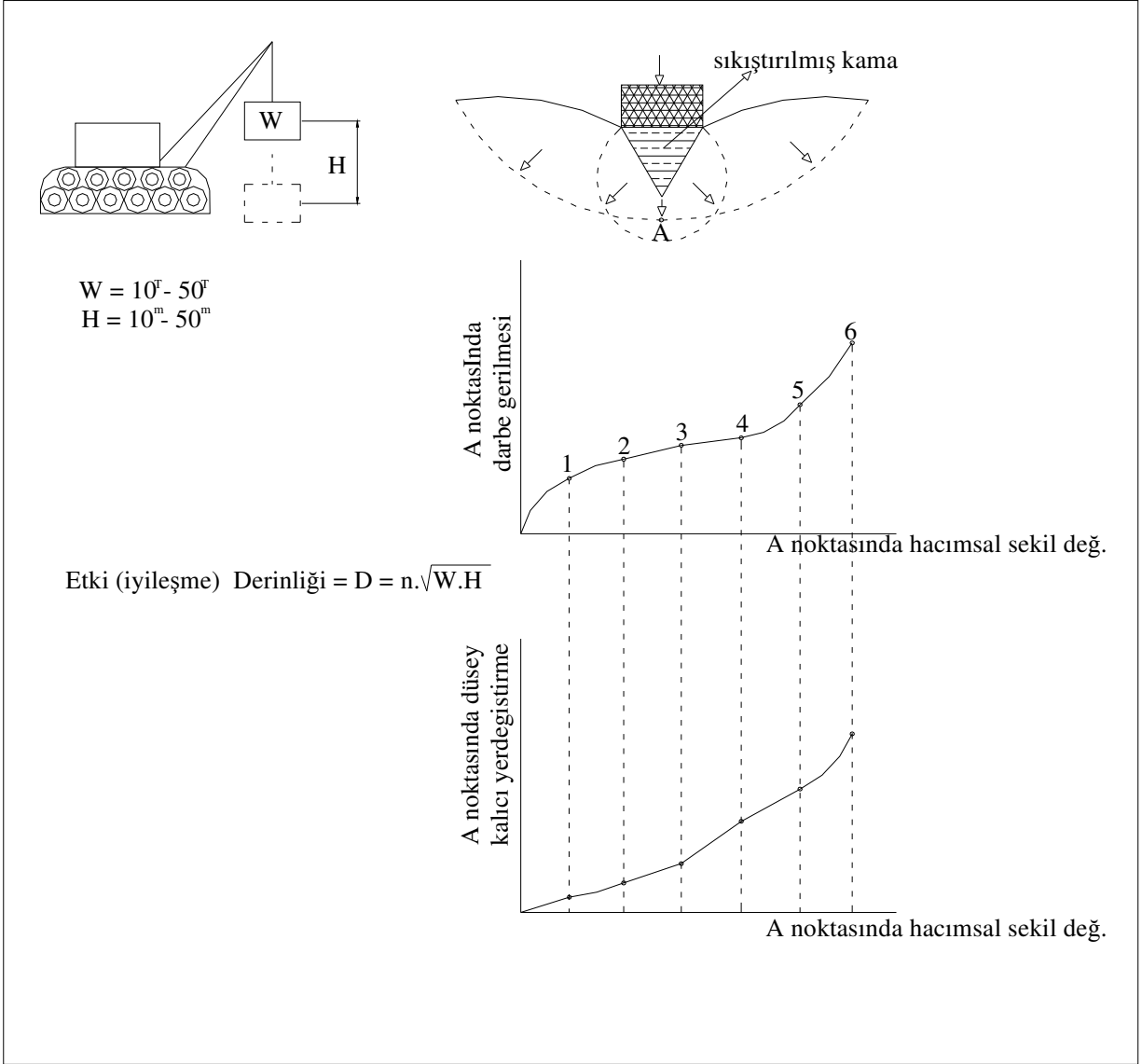
Yüzeysel kompaksiyon teknikleri dolgu sahalarında üniform olmayan malzeme miktarı çok fazla olduğunda etkili sonuçlar vermeyebilir. Böyle durumlarda “ dinamik kompaksiyon” yöntemi olumlu sonuçlar vermektedir.

Dinamik kompaksiyon yüzeyde darbe etkisi ile zeminlerin iyileştirilmesi olarak açıklanabilir. 10t – 50t ağırlık aralığındaki bir yükün; 10m – 50m aralığındaki bir yükseklikten gezici bir makine yardımı ile düşürülmesi ile uygulanır.

Katı atık sahaları için önemli olan dinamik kompaksiyonun etki derinliğidir. Bu derinliğin bulunabilmesi için zeminin cinsi ile belirlenen bir n sayısı kullanılmaktadır. (Özaydın, 2004)

Çizelge 6.1 Zemin cinsine göre n değerleri

ZEMİN CİNSİ	SUYA DOYGUNLUK DERECESİ	n
Geçirimli-Granüler	yüksek	0,5
Geçirimli-Granüler	düşük	0,50-0,60
Yarı Geçirimli (siltler $PI < 8$)	yüksek	0,35-0,40
Yarı Geçirimli (siltler $PI < 8$)	düşük	0,40-0,50
Geçirimsiz killer	yüksek	Kullanılması tavsiye edilmez
Geçirimsiz killer	düşük	0,35-0,40



Şekil 6.1 Dinamik Kompaksiyon

7. EVSEL KATI ATIK SAHALARINDA OLUŞTURULAN ŞEVLERİN ÖZELLİKLERİ

Çöp sahalarındaki şev duraylılık analizleri iki durum için düşünülmelidir.

1. Durum: Çöp depolama sırasında oluşan şevlerin duraylılıkları için kullanılmalıdır. Şevlerde herhangi bir hareket olmaksızın ne kadar yüksekliğe kadar dolgu yapılabileceğinin bilinmesi için önemlidir.

2. Durum: Eski veya terk edilmiş olan çöp sahalarının tekrardan inşaat sahası olarak kullanılması durumunda yeniden oluşturulacak olan şevlerin şev açılarının bilinmesi için önemlidir.

8. ÇÖP SAHALARINDAKİ ŞEVLERDE GÖRÜLEN STABİLİTE SORUNLARI

Genel olarak, çöp sahalarındaki şevlerde görülen duraylılık sorunları normal şevlerde görülen hareketlerle benzerlik gösterir. Çöpün içeriğindeki homojen olmayan maddeler ve üniform olmayan dağılım sebebiyle şevlerde yüzeysel kopmalardan geniş heyelanlara kadar uzanan bir hareket gözlenebilir.

Çöp sahalarındaki şevlerde oluşan duraylılık sorunları dolgu esnasında yapılan sıkıştırma kontrolü ile doğrudan ilişkilidir. Sıkıştırma kontrolü ne kadar iyi yapılırsa şevlerde hareket gözlenme riski o kadar azalır. Şevlerde görülen duraylılık sorunları incelendiğinde karşımıza 5 ana neden çıkmaktadır:

- 1) Farklı dağılım ve hava etkisi
- 2) Tabakalar arasındaki kohezyon eksikliği
- 3) Hidrostatik ve çevresel yüklerin gevşek malzeme üzerindeki etkisi
- 4) Farklı dağılım sebebiyle farklı oturmaların şevlerde çatlak veya kopma oluşturması
- 5) Kimyasal aşınma

Çöpün depolama sahalarında duraylılık sorunlarına neden olan özelliklerini sıralayacak olursak:

- 1) Homojen olmaması
- 2) Üniform bir kompaksiyon yapılamaması
- 3) Farklı oturmaların oluşması
- 4) Çöpün kendisinin stabil olmaması ve yatay ve düşey yükleri karşılayamaması
- 5) Boşluk suyu basınçlarının oluşması

gibi özelliklerden bahsedebiliriz.

9. ŞEVLERİN DURAYLILIĞI

Bir zemin kitlesinin bir yatay düzleme göre açı yapan herhangi bir yüzeyine Şev adı verilir. Eğer Şev, insanın katkısı olmaksızın doğal olarak oluşmuş ise doğal Şev, insan eliyle kazı ya da dolgu sonucu oluşmuşsa yapay Şev adını almaktadır.

Şevlerin duraylılığı Kaya Mekaniği ve Geoteknik bilim dallarının en karmaşık konusunu oluşturmaktadır. Şev duraylılığında güçlük, birbirinden önemli arklılıkları bulunan birçok etkinin göz önüne alınmasını gerektirmesindedir. Doğal ve insan eliyle oluşturulan Şevlerde malzeme, doğal koşullar, jeolojik geçmiş, etkiyen gerilmeler, sızıntı suyun etkisi birbirinden çok farklı olabileceği için doğal ve yapay Şevlerin duraylılığı birbirinden çok farklı olmaktadır.

Şevlerin duraylılığı analizlerindeki bir diğer zorluk, Şev göçmesindeki karmaşıklık nedeniyle göçme termininden neyin anlaşılması gerektiğinde tam bir birliktelik olmayışındandır. Birçok durumda kayma veya göçme ile açıklanan durumlarda, Şev yapısında önemli sorunlar olduğu, yapımındaki amaç ile mühendisin beklediği davranış arasında uyumsuzluklar olduğu açıklanmak istenmektedir. Bir yamacın zemin kütesinin tümüne etkiyen dönel bir göçme, daha derin ancak sınırlı bir bölgedeki ötelenme, yavaş gelişen zemin hareketleri veya sığ oluklanma aynı derecede Şevin bütünlüğünü etkileyebilir. Böylesine farklı mekanizmaların etkili olduğu durumlarda çözüm önerileri de her durum için ayrı ayrı incelenip elde edilebilmelidir.

Günümüzde ne yazık ki tüm şevlerde her koşulda uygulanabilecek bir analiz yöntemi bulunmamaktadır. Yapısal analiz yöntemlerinde olduğu gibi (dış yükler altında iç gerilmeler belirlenip bunlar malzeme dayanımı ile karşılaştırılmaktadır.) bir analiz, zemin kütlesi iç gerilmelerini basitleştirici varsayımlarla sürekli ortamlar mekaniği ile tahmin etme girişimlerine karşın tam olarak geliştirilememiştir. Günümüz uygulamasında bu nedenle limit analiz yöntemleri, geçmişteki uygulamalardaki güvenilirlik nedeniyle de uygulanmaya devam edilmektedir. Bu analizlerde deneyimlere göre veya gözlenen bir göçme mekanizması kurulmakta, hareketi doğuran kuvvetler analiz edilerek bunlar göçmeye karşı direnen kuvvetlerle (kuvvet ya da moment olarak) karşılaştırılmaktadır. Analiz yöntemlerinin hemen tümü zemin kayma dayanımını basit bir formda (örneğin Mohr-Coulomb) tanımlamasını gerektirmektedir.

9.1 ŞEV GÖÇMELERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Şev hareketlerine neden olan etkenlerin ve ortaya çıkan durumun çok karmaşık olması nedeniyle bu hareketlerin sınıflandırılmasında birçok seçenek vardır. Geoteknik mühendisleri bir şev hareketini düzeltme, önleme veya tanıma amacına göre değişik sınıflama türleri kullanmaktadırlar. Harekete geçen malzeme cinsi, hareket biçimi, hızı, harekete katılan kütlelerin boyutu, hareketin yaşı veya gelişme aşaması ve diğer etkilere dayalı birçok sınıflandırma vardır. Örneğin Skempton ve Hutchinson (1969) kayma yüzeyinin derinliği (D) ile boyu (L) arasındaki orana göre bir basit sınıflandırma önermişlerdir.

Çizelge 9.1 Şev hareketi sınıflandırması (Skempton ve Hutchinson, 1969)

D/L (%)	Tanım
5-10	Kayma (ötelenme)
0.5-3	Akma
15-30	Dönel Göçme

Hareketin etkinlik durumuna göre ise etkin duraklamış, uyanmış, etkin olmayan, gizli (ilk etkenlerle yeniden harekete geçebilecek olan), bitmiş (ilk etkenler egemen değil), denetin altında, kalıntı (şu andaki etkenlerden tümüyle farklı koşullarda oluşmuş) gibi sınıflandırılmaktadır. Etkinliğin gelişme biçimine göre ise ileriye gelişen, geriye gelişen, büyüyen, tükenen, sınırlı, yayılan ve genişleyen şev hareketleri adı verilmektedir.

9.2 ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZ YÖNTEMLERİNDE GELİŞME

Önceden değinildiği gibi günümüzde her göçme türünü tahmin ve analiz etme olanağı yoktur. Kaldı ki sünme, düşme, yayılma ve benzeri gelişimlerin oluşumuna ilişkin bilgiler son derece sınırlıdır. Bunun yanı sıra belirgin bir yüzey üzerinde oluşmuş hareketlerin analizlerinde bile, sonuçlar basitleştirici varsayımlara dayanmak zorunda olduğu için uygulamada güçlükler yaşanmaktadır.

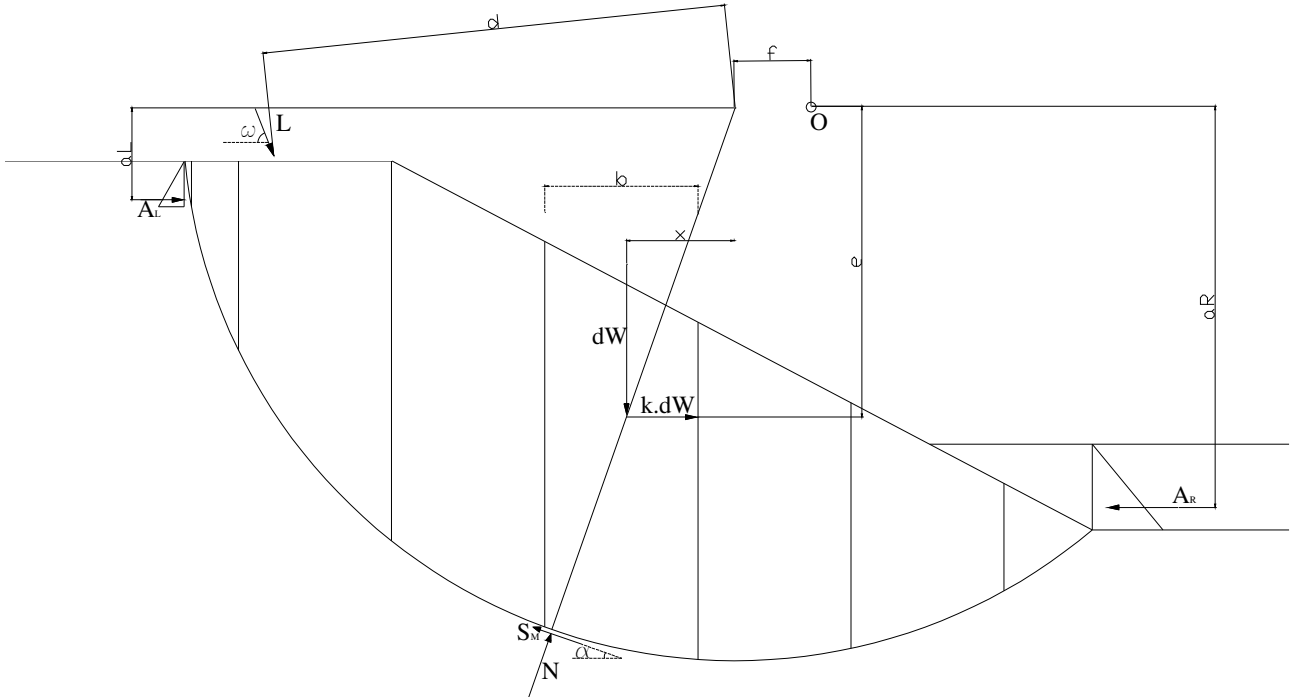
Uygulamada kullanılan limit denge analizlerinde, olmuş veya olası bir göçme yüzeyi boyunca denge denklemleri yazılarak bir göçme kriteri ile birleştirilmektedir. Bu tür çözümlerde güçlükler şunlardan kaynaklanmaktadır.

1. Bir olası kayma yüzeyi boyunca her noktada kayma dayanımı büyüklüğü aynı düzeyde varsayılmakta, diğer bir deyişle zemin rijit-plastik bir malzeme gibi düşünülmektedir. En küçük bir hareketin, göçme yüzeyi boyunca kayma dayanımının pik değerini uyandırmak için yeterli varsayıldığından gerinimin etkisi göz ardı edilmektedir. Oysa bu varsayım bir şevin topuğundan veya yakınından başlayıp geriye doğru gelişen mekanizmaların oluşması gerçeği ile çelişkilidir.
2. Bir şevde gerçekte göçme oluşuncaya kadar göçme yüzeyi yeri belirsizdir. Bu yüzeyin şekli ile ilgili varsayımlar önemli yanlışlığa neden olabilir.
3. Dolgu veya yarma işlemi sonunda geçerli olacak kayma dayanımı parametreleri ve boşluk suyu basınçları genelde alışıl gelmiş laboratuvar deneyleri ile bulunarak arazi koşulları modellenmeye çalışılmaktadır. En basit koşullarda bile asal gerilmelerin yer değiştiriyor olması, alışıl gelmiş deney tekniği ile modellenmeyecek kadar karmaşıktır. Anizotopi ve gerilme düzeyinin kayma dayanımına etkisi de çok basitleştirici varsayımlar olmaksızın kolaylıkla analiz yöntemleri içinde göz önüne alınamazlar.
4. Çekme çatlaklarının yeri ve oluşumuna ilişkin bilgilerimiz sınırlıdır. Oysa doğada bunların oluşturduğu ve göçme mekanizmalarına önemli etkisinin bulunduğu gözlenmektedir.

9.3 ANALİZ YÖNTEMLERİ

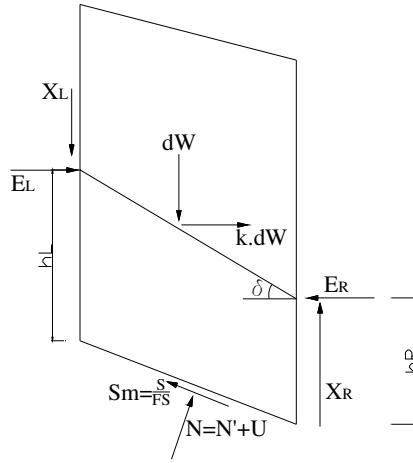
9.3.1.Dilim Yöntemi

Dairesel veya dairesel olmayan eğri yüzeylerde yaygın olarak kullanılan bu yöntemde, varsayılan bir göçme yüzeyi üzerindeki zemin kütlesi yeteri kadar düşey çizgi ile dilimlere ayrılmaktadır. Dilimlerin geometrinin değiştiği ve göçme yüzeyinin zemin tabakalarını kestiği noktalardan geçirilmesine ve olabildiğince göçme yüzeyinin bir dilim için yaklaşık doğru olmasına özen gösterilmektedir.



Şekil 9.1 Bir şevde göçen kütleyle etkiyen kuvvetler

Şev üzerine, L gibi bir dış yük, sol tarafında çekme çatlağında birikebilecek su basıncı kuvveti AL , topukta su birikmesi etkisi AR kuvveti etkimektedir. Göz önüne alınan bir dilim tabanında N gibi bir normal kuvvet doğmuş, S_m gibi bir kayma dayanımı mobilize olmuştur. Dilim ağırlığı dW , depremlili halde dilime etkiyen dinamik kuvvet $k.(dW)$ ' dir. Göz önüne alınan dilim şevden kesilip dışarı alınırsa bu dilimin dengesi için sol ve sağ dilim sınırındaki normal kuvvetler (E) ve kesme kuvvetleri (X)' lerin etkiltilmesi gerekmektedir. Aşağıda çıkartılmış böyle bir dilime etkiyen kuvvetler gösterilmektedir.



Şekil 9.2 Göçen kütlede tek dilime etkiyen kuvvetler

Dilim sınırındaki kuvvetlerin bileşkesinin etkime yeri solda h_L , sağda h_R ile gösterilmiş olup bu iç kuvvetlerin etkime yerlerinin birleştiren etki çizgisinin yatayla yaptığı açı δ ile gösterilmiştir. Dinamik yükün etkime yeri dilim ağırlık merkezidir. Dilim tabanındaki normal kuvvet dilim tabanının ortasındadır.

Yukarıdakine benzer şekilde n adet dilim oluşturulduğunda $n-1$ adet dilim sınırı kuvveti (bir dilim solundaki kuvvet, bitişiğindeki dilimin sağındaki kuvvete eşit olmak zorundadır.) ortaya çıkmaktadır. Buna göre;

Çizelge 9.2 Dilim yönteminde bilinen ve bilinmeyen sayıları

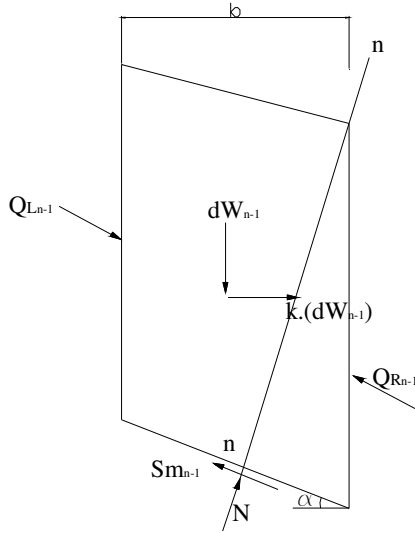
Kısaltma	Bilinmeyen	Bilinmeyen Sayısı
FS	Genel güvenlik sayısı	1
N	Dilim tabanı normal kuvveti	n
X	Dilim sınırı kesme kuvveti	n-1
E	Dilim sınırı normal kuvveti	n-1
h	İç kuvvet bileşkesi etkime yeri	n-1
	Bilinmeyen Toplamı	4n-2

Buna karşılık her dilim için iki doğrultuda kuvvet ve bir adet moment olmak üzere 3 adet denge denklemi yazılabileceğinden toplam $3n$ kadar denge denklemi yazılabilir. B durumunda bu problem $4n-2-3n = n-2$ mertebeden belirsiz olup çözüm için yeteri kadar varsayım yapılmalıdır.

Dilim yöntemini temel alan duraylılık analizleri bu belirsizliğin ortadan kaldırılması için yapılan varsayım ve güvenlik sayısının bulunması için yazılan genel denge eşitliğinin (kuvvet veya momenti) türüne göre farklılık göstermektedir.

9.3.2 İSVEÇ DİLİM (FELLENİUE, 1936) YÖNTEMİ

Dilimler arası kuvvet bileşkesinin dilim tabanına paralel olduğunu varsayan bu yöntemde bir dilime etkiyen kuvvetler (n-1)inci dilim için aşağıdaki gibidir.



Dilimler arası kuvvetler için yapılan n-1 adet varsayım n-2 adet belirsizlikten fazla olduğu için tüm statik kurallarının sağlanmaması sonucu doğmaktadır. İç kuvvetlerin taban eğimine bağlı bu değişikliği Newton'un etki-tepki eşitliği kuramına aykırıdır. Dilim tabanına dik doğrultu (n-n) da kuvvetlerin dengesi yazılırsa

Şekil 9.3 İsveç dilim yönteminde kuvvetler

$$\sum F_n = 0 \quad N = dW \cdot \cos \alpha - k \cdot dW \cdot \sin \alpha \quad (9.1)$$

elde edilir. Yukarıdaki şekilde görülen şev için güvenlik sayısı için O gibi bir noktaya göre moment dengesi yazılırsa (özel durumda göçme yüzeyi daire olup n-n doğrultuları O'dan geçecektir.)

$$\sum M_o = 0 \quad (9.2)$$

$$\sum dW \cdot x + \sum k \cdot dW \cdot e + AL \cdot aL - AR \cdot aR + L \cdot d = \sum N \cdot f + \sum S_m \cdot r \quad (9.3)$$

mobilize olmuş kayma dayanımı için

$$S_m = S/FS = [(N - ub \sec \alpha) \operatorname{tg} \Phi / FS] + [c' b \sec \alpha / FS] \quad (9.4)$$

olduğu yazılabilir. Burada c' , Φ' efektif gerilmeler cinsinden kayma dayanımı parametreleri, u dilim tabanında boşluk suyu basıncıdır. Sonuçta S_m için kayma dayanımı ile ilgili eşitlik moment dengesinde yerine konulursa

$$FS = \frac{[\sum r\{c' b \sec \alpha + (N + u b \sec \alpha) \tan \Phi'\}]}{[\sum dW.x + \sum k.dW.e + AL.aL - AR.aR + L.d - \sum N.f]} \quad (9.5)$$

elde edilir.

Yukarıda değinilen varsayım nedeniyle bulunacak güvenlik sayısının hatalı olacağı açıktır. İncelikli yöntemlere göre yanlışlığın genelde %10–15 mertebesinde olduğu, bazı özel durumlarda %60'a çıkabileceği belirtilmektedir. Yöntemin ilk geliştirilen yöntem olması, hatanın güvenli tarafta kalması nedeniyle günümüzde de uygulama alanı bulmaya devam etmektedir.

9.3.3 BASİTLEŞTİRİLMİŞ BİSHOP YÖNTEMİ (BİSHOP,1955)

Dilimler arası kesme kuvvetleri (X)'leri göz ardı edip yalnızca (E)'leri gözeten bu yöntemde bir önceki gibi (n-1) kadar varsayımda bulunulmuş olmakta, sonuçta gereğinden fazla varsayım nedeniyle bulunan güvenlik sayısı hatalı olmaktadır.

Göçen kütlede tek dilime etkiyen kuvvetleri gösteren dilim için $X_L = X_R = 0$ varsayıp düşey yönde kuvvet dengesi yazılırsa

$$\sum F_v = 0 \quad dW - N.\cos\alpha - S_m.\sin\alpha = 0 \quad (9.6)$$

S_m için mobilize olmuş kayma dayanımı denklemini eşitliğindeki değeri burada yerine konulursa

$$dW - N.\cos\alpha - [(c'.b.tg\alpha)/FS] - [N.\sin\alpha.tg\Phi'/FS] + [u.b.tg\alpha.tg\Phi'/FS] = 0 \quad (9.7)$$

ve sonuçta

$$N = [dW - (c'.b.tg\alpha/FS) - (u.b.tg\alpha.tg\Phi'/FS)] / m_\alpha \quad (9.8)$$

$$m_\alpha = \cos\alpha + (\sin\alpha.tg\Phi')/FS \quad (9.9)$$

Yukarıda özetlenen Basitleştirilmiş Bishop Yönteminin genelde incelikli çözümlere çok yakın sonuçlar verdiği bilinmektedir. Ancak derin kayma yüzeylerinde güvenlik sayısının 1 den küçük olduğu durumlarda yanıltıcı sonuçlar verebileceği araştırmacılar tarafından belirtilmektedir.

9.3.4 BASİTLEŞTİRİLMİŞ JANBU YÖNTEMİ (JANBU, 1954)

Basitleştirilmiş Bishop Yöntemindeki gibi dilimler arası kesme kuvvetleri (X' leri) göz ardı etmekte ve dilim tabanı normal kuvvetleri FS' ye bağlı bulunmaktadır. Güvenlik sayısı ise moment dengesi yerine tüm şevde şeve etkleyen dış kuvvetlerin dengesi yazılarak bulunmaktadır.

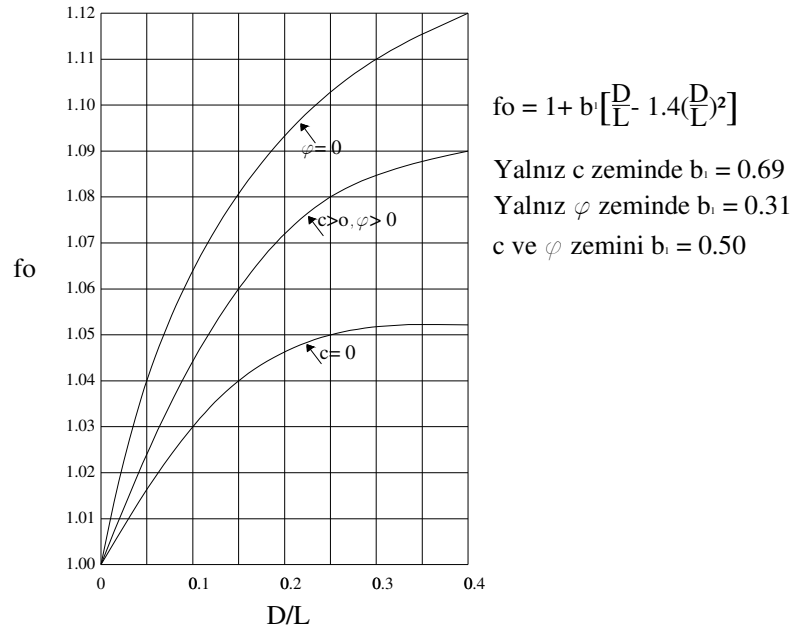
$$\sum F_h = 0 \quad (9.10)$$

$$\sum k.dW + \sum N.\sin\alpha - \sum S_m.\cos\alpha + A_L - A_R + L.\cos\omega = 0 \quad (9.11)$$

$$S_m = S/FS = [(N - ub\sec\alpha)tg\Phi/FS] + [c'b\sec\alpha / FS] \quad (9.12)$$

$$FS_0 = [\sum(N - ub\sec\alpha) tg\Phi' . \cos\alpha + c'b] / [\sum k.dW + \sum N.\sin\alpha + A_L - A_R + L.\cos\omega] \quad (9.13)$$

elde edilir ve bu değer düzeltilmemiş güvenlik sayısı diye adlandırılır. Burada da FS_0 bulunuşunda gerek duyulan N kuvveti FS_0 a bağlı olduğu için deneme-yanılma tekniği ile çözüm elde edilmelidir. Göçme yüzeyinin biçimi (D/L) ile kayma dayanımı parametrelerine bağlı olarak Janbu elde edilen F_0 güvenlik sayısının bir f_0 düzeltme sayısı ile düzeltilmesini önermektedir. Sonuçta $FS = f_0.FS_0$ olacaktır. Düzeltme sayıları aşağıdaki grafikten alınabilir.



Şekil 9.4 Janbu düzeltme sayıları

9.3.5 SPENCER YÖNTEMİ (1967)

Bu yöntemde dilim kenarlarına etkiyen kesme kuvvetinin, normal kuvvete oranının, sabit olduğu (bileşkenin aynı bir δ açısı yaptığı) varsayılmaktadır.

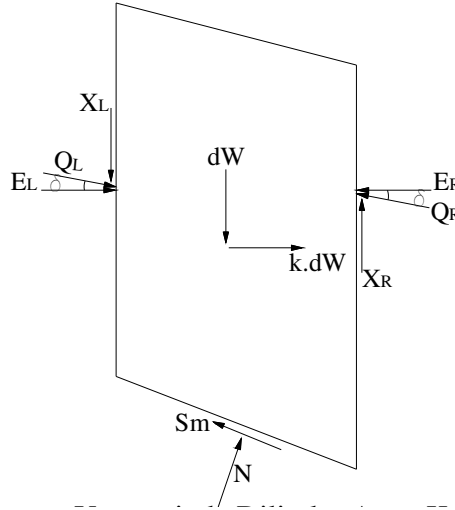
Yatay kuvvet dengesi yazılırsa

$$\sum F_h = 0 \quad E_L - E_R + k.dW + N.\sin\alpha - S_m.\cos\alpha = 0 \quad (9.14)$$

$x_L = E_L.tg\delta$ ve $x_R = E_R.tg\delta$ olduğu düşünülerek düşey kuvvet dengesinden

$$\sum F_v = 0 \quad X_L - X_R + dW + N.\cos\alpha - S_m.\sin\alpha = 0 \quad (9.15)$$

$$\text{ve } (E_L - E_R).tg\delta + dW - N.\cos\alpha - S_m.\sin\alpha = 0 \text{ yazılabilir.} \quad (9.16)$$



Şekil 9.5 Spencer yönteminde dilimler arası kuvvetler

Yatay kuvvet dengesinden $(E_L - E_R)$ eşitliği $(E_L - E_R).tg\delta + dW - N.\cos\alpha - S_m.\sin\alpha = 0$

yerine konulursa

$$tg\delta.(S_m.\cos\alpha - N.\sin\alpha - k.dW) + dW - N.\cos\alpha - S_m.\sin\alpha = 0 \quad (9.17)$$

ve bu eşitlikte S_m için mobilize olmuş kayma dayanımı eşitliği düşünülürse N kuvveti için bu kez FS ve δ 'ya bağlı bir eşitlik elde edilir.

Spencer güvenlik sayısının tanımı için hem moment dengesi hem de kuvvetlerin yatay dengesini tüm şev için gözettiğinden δ 'ya bağlı güvenlik sayıları elde edilmektedir. Moment dengesi eşitliğinden elde edilecek FS_m , δ 'ya bağlı olarak elde edilmiş olacaktır. Diğer yandan tüm dilimler için yatay kuvvet dengesi Janbu eşitliği için

$$\sum k.dW + \sum N.\sin\alpha - \sum S_m.\cos\alpha + A_L - A_R + L.\cos\omega = 0 \text{ formundadır ve bulunan değerler } FS_f$$

yine δ 'ya bağlıdır. Hem FS_m hem de FS_f 'i sağlayan tek bir δ olup, bulunan değer tüm şev için güvenlik sayısıdır.

10. İNCELENEN ALANIN GENEL KONUMU VE OLUŞAN DURAYLILIK SORUNLARI

Atışalanı Trafo Merkezi yapılması düşünülen inşaat sahası yaklaşık 20000 m² alana oturan ve üç kademedan oluşan bir alandır. Bu alanın en üst kotu 110 m en alt kotu da buna bağlı olarak 85m olarak kabul edilmiştir. Bu alan yaklaşık 20 sene boyunca İstanbul' un söz konusu bölgesine yakın olan bütün inşaatlarının kazılarından çıkan atıkların ve molozların, yakın ilçe belediyelerinin çöplerinin döküldüğü bir alan olarak kullanılmıştır. Yapılan bu çöp ve kazı dökümlerinde hiçbir şekilde denetim yapılmamıştır, herhangi bir sıkıştırma yöntemi uygulanmamıştır. Ayrıca bu alanda bölgenin çevre yerleşim alanlarından kot farkı olarak aşağıda olması, dolayısıyla da yağın yağmurların sebebiyle oldukça büyük su birikintileri oluştuğu sahaya inşaat işlerini başlatmak için gelenler tarafından görülmüştür. Bu birikintilerin sahadan uzaklaştırılmamış olmasından dolayı zeminin içerisine girmesi mevcut zeminin ilk metrelerini oldukça doygun ve yumuşak bir hale getirmiştir. En alt kot olan 85m'de eski bir su kemeri olması da bu alanın çevresel etkilerin dışında su açısından zengin olduğunu göstermektedir.



Resim 10.1 Trafo merkezi inşaatının başlamadan önceki ilk halleri.

Bu bilgiler ışığında Trafo merkezi inşaatına başlamadan önce sağlam bir zemin bulma olasılığının -yapılacak olan imalatlarının temel derinliğinin çok fazla olamaması sebebiyle- mümkün olmadığı anlaşılmış ve herhangi bir sondaj çalışmasına gerek duyulmamıştır. Yapılacak olan imalatların güvenliği açısından ise imalatların altında sağlam bir zemin oluşturulması kararı verilmiştir.

Buna göre altında temeli bulunan her imalatın altından fazladan kazı yapıp, (imalat ağırlığına göre 50 cm ile 150 cm arasındadır.) yerine dolgu için uygun malzeme el kompaktörleri veya silindirlerle ile kademeli olarak sıkıştırılarak sağlam zemin elde edilmeye çalışılmıştır. Bu yöntem iki katlı kumanda binasının ve kademe istinat duvarlarının altında maksimum yüksekliğe kadar uygulanırken, daha hafif olan mesnet ve pilon temellerinde en az olarak uygulanmıştır.



Resim 10.2 Açılan bir temel çukurundaki zemin profili

Ancak bu çözümün sadece zemine düşey yük veren imalatlarda oturmalarla karşı yeterli sonuç verdiği kademeler arasında yapılacak olan istinat duvarları imalatları esnasında ortaya çıkmıştır. Yapılan istinat duvarları kazısı esnasında şevlerde istinat duvarlarını yerinden oynatan kayma hareketleri gözlemlenmiştir.

Kayma hareketleri meydana gelmeye başladıktan sonra, çözüm bulunabilmesi için yapılan sondaj ve laboratuvar deneyleri neticesinde, İstanbul Üniversitesi Geoteknik Ana Bilim Dalı tarafınca hazırlanan raporda sahada oluşan kayma hareketi sonrasında etütlerin yapılmış olması sebebiyle zemin parametreleri olarak rezidüel parametrelerle çalışılmasına karar verilmiştir. Kohezyonun $c = 0$ olduğu düşünülmüş, sadece içsel sürtünme açısı kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir.

Buna göre;

İçsel Sürtünme Açısı (Φ) : 31.0 °

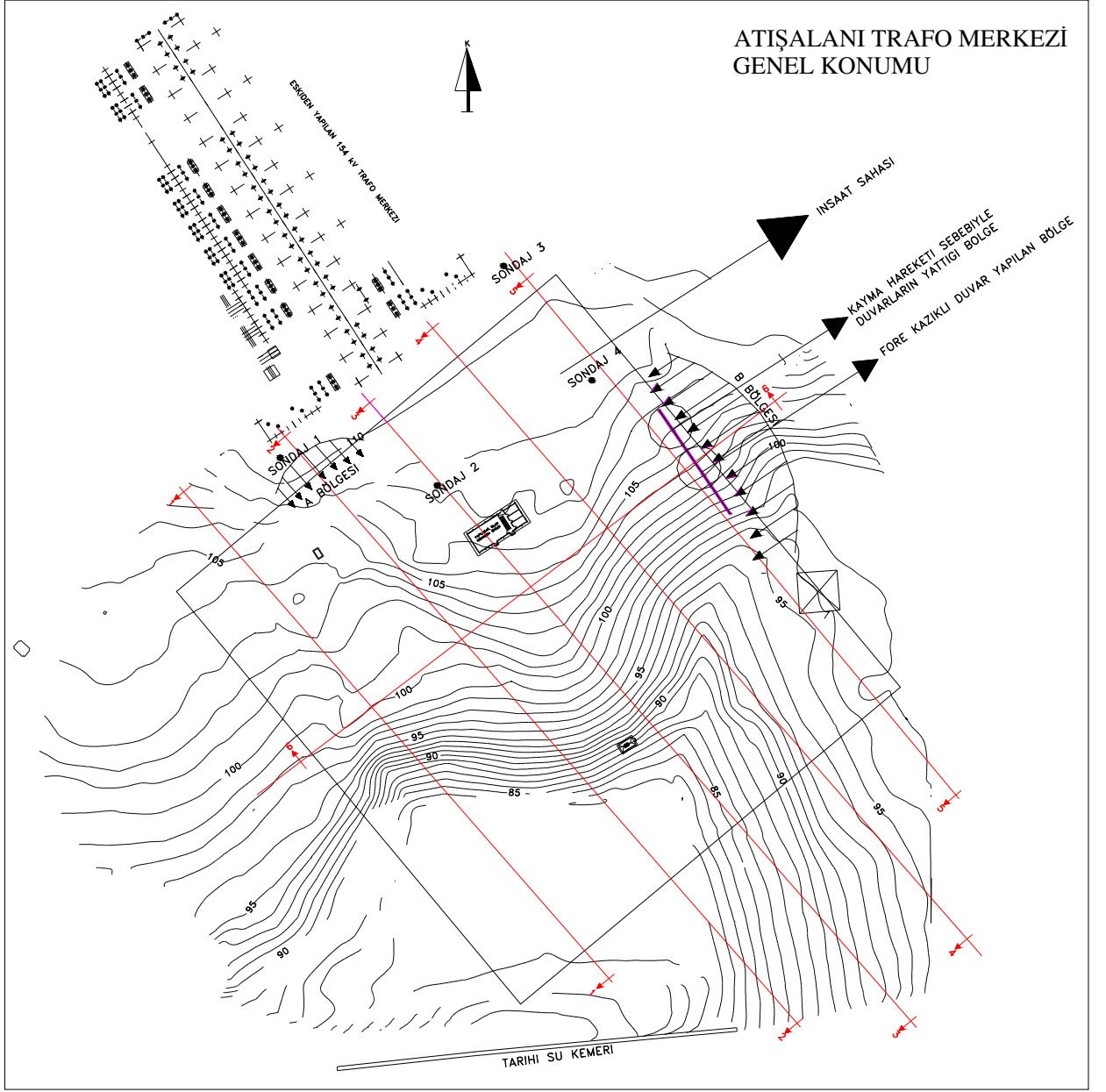
Doğal Birim Hacim Ağ. : 17.5 kN / m³

Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı (ru) : 0.10

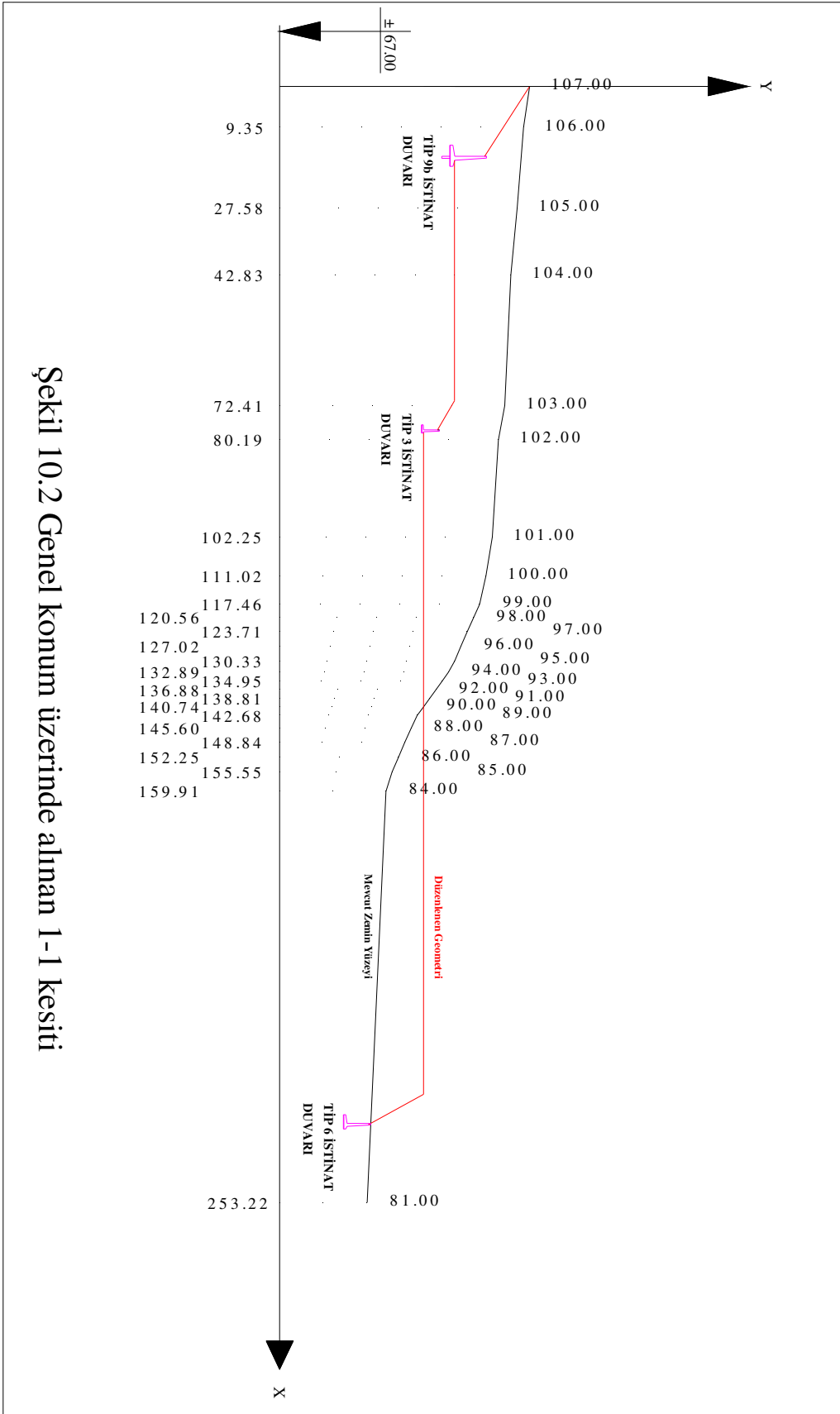
kabul edilerek mühendislik ve maliyet analizleri yapılmış ve saha uygulamaları bu analizlerden çıkan sonuçlara göre düzenlenmiştir. Bu çözümün temelinde istinat duvarlarının önüne ve arkasına yapılacak olan kontrollü dolgular yatmaktadır. Bu yöntemin uygulanması sırasında kayan şevlerin topuğundan malzeme alınacağı için şevin geriye doğru kayma ihtimalinin çok yüksek olduğu, bu sebepten yöntemin çok hızlı uygulanması ve özellikle de topuk tarafında drenaj önlemlerinin alınması konusunda uyarılar İstanbul Üniversitesi tarafından yapılmıştır.

Ancak bu uyarılar her ne kadar dikkate alınmış olsa da yağışlı aylara kalınması ve inşaat işlerinin düşünülen hızlarda gitmemesi sebebiyle B Bölgesi şevinde kayma hareketleri yine gözlemlenmiş, kontrollü dolgu düşünülen şekilde yapılamamış ve istinat duvarı imalatı bu şekilde tamamlanmıştır. Tamamlanan istinat duvarlarında bahar aylarından yaz aylarına geçişte oynamalar meydana gelmiş, yaz aylarının gelmesi ile bu oynamalar boşluk suyu basıncının etkisinin azalması sebebiyle azalmıştır.

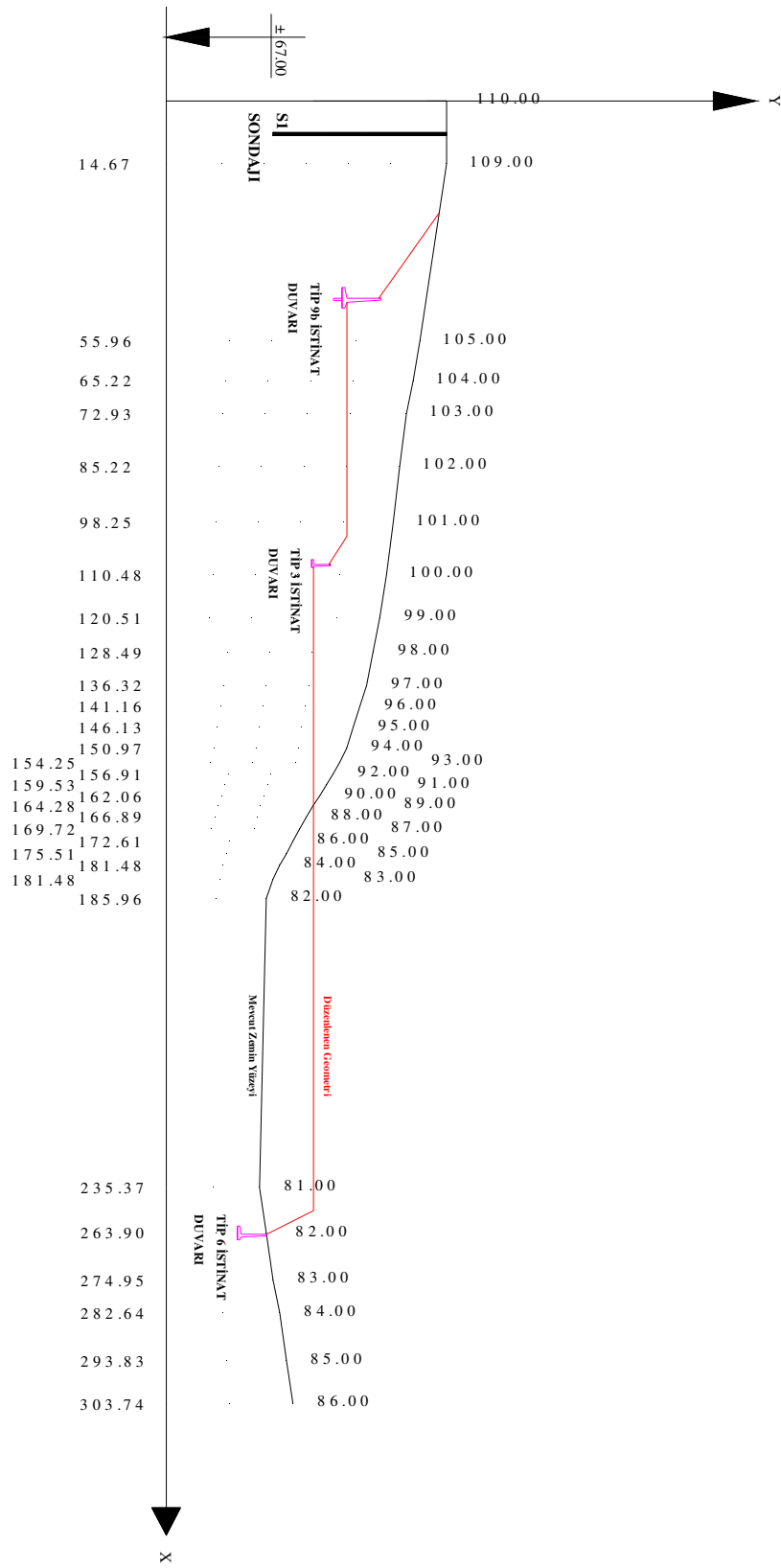
Kayma olan bölgeler inceleme kolaylığı olması bakımından A ve B Bölgeleri olarak adlandırılmış ve ayrı ayrı incelenmiştir.

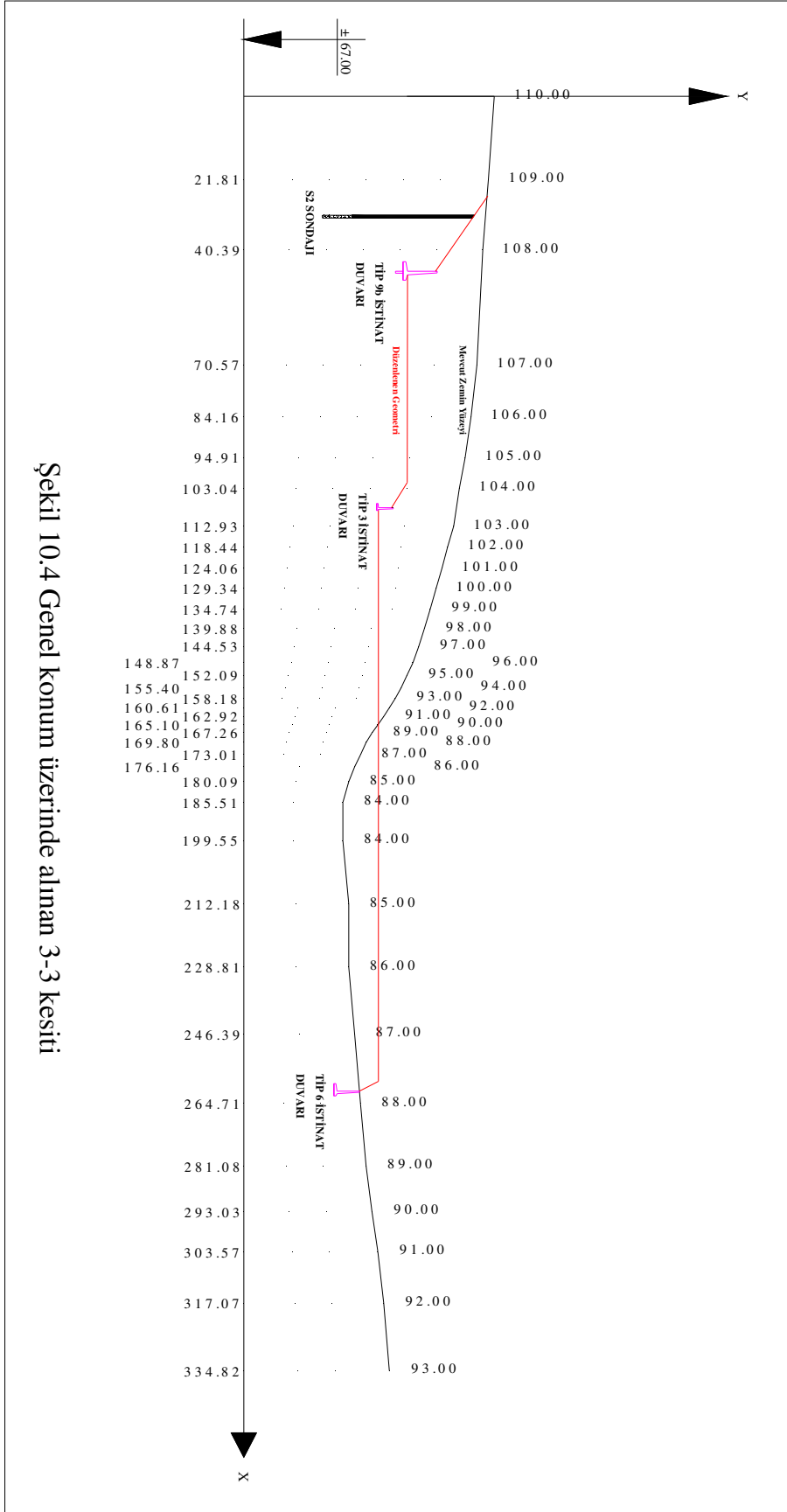


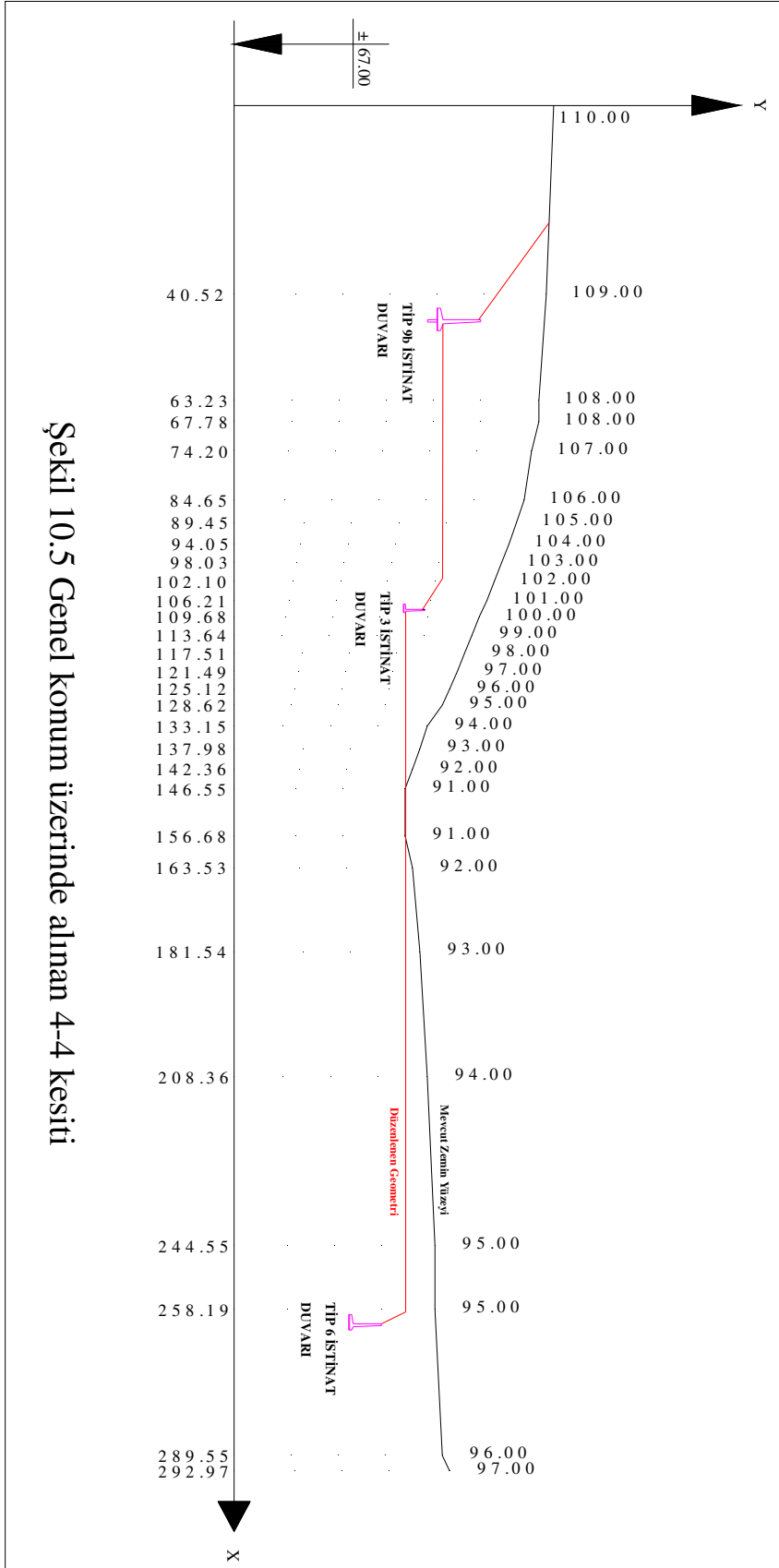
Şekil 10.1 Atışalanı trafo merkezinin genel konumu ve alınan kesitler

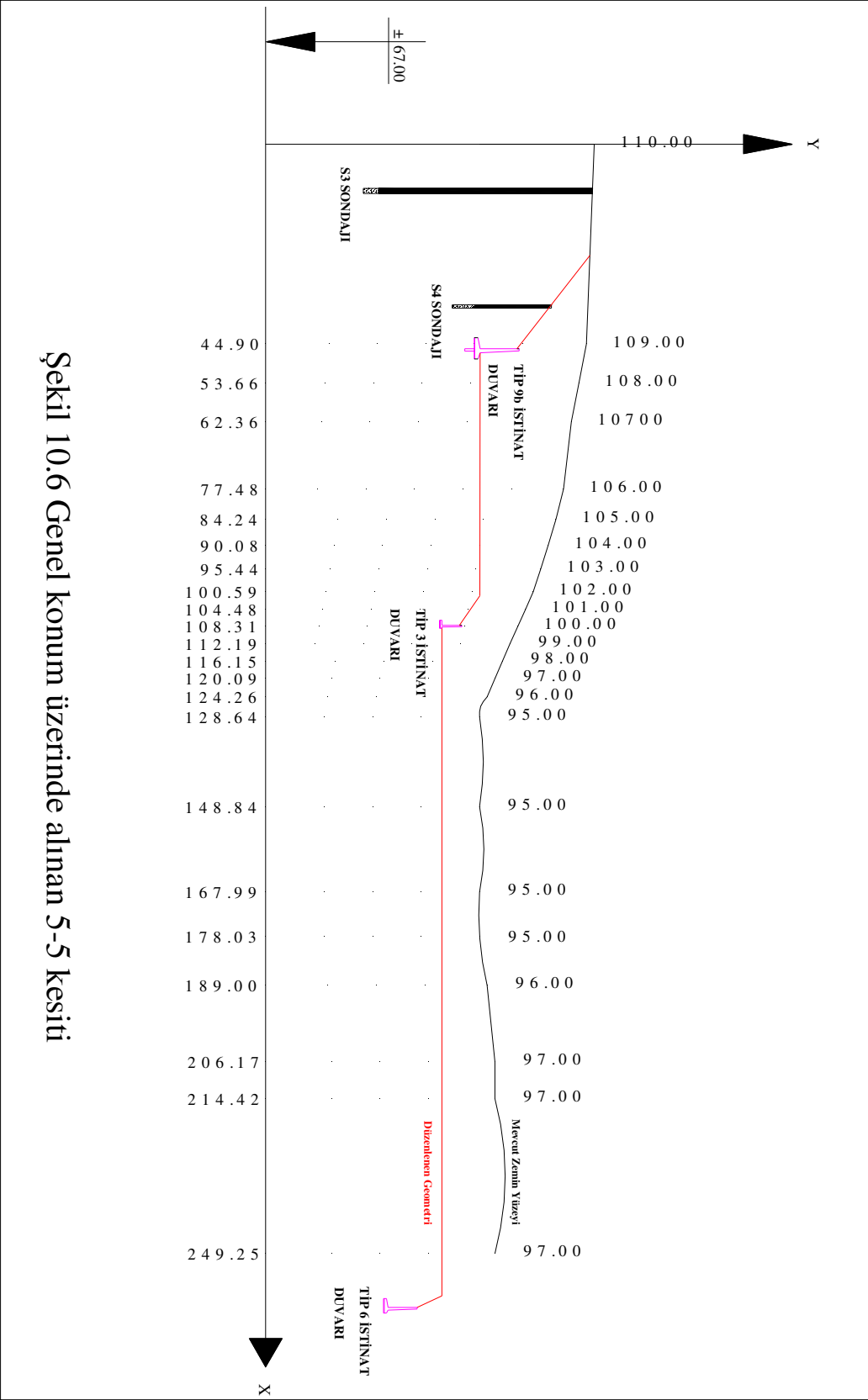


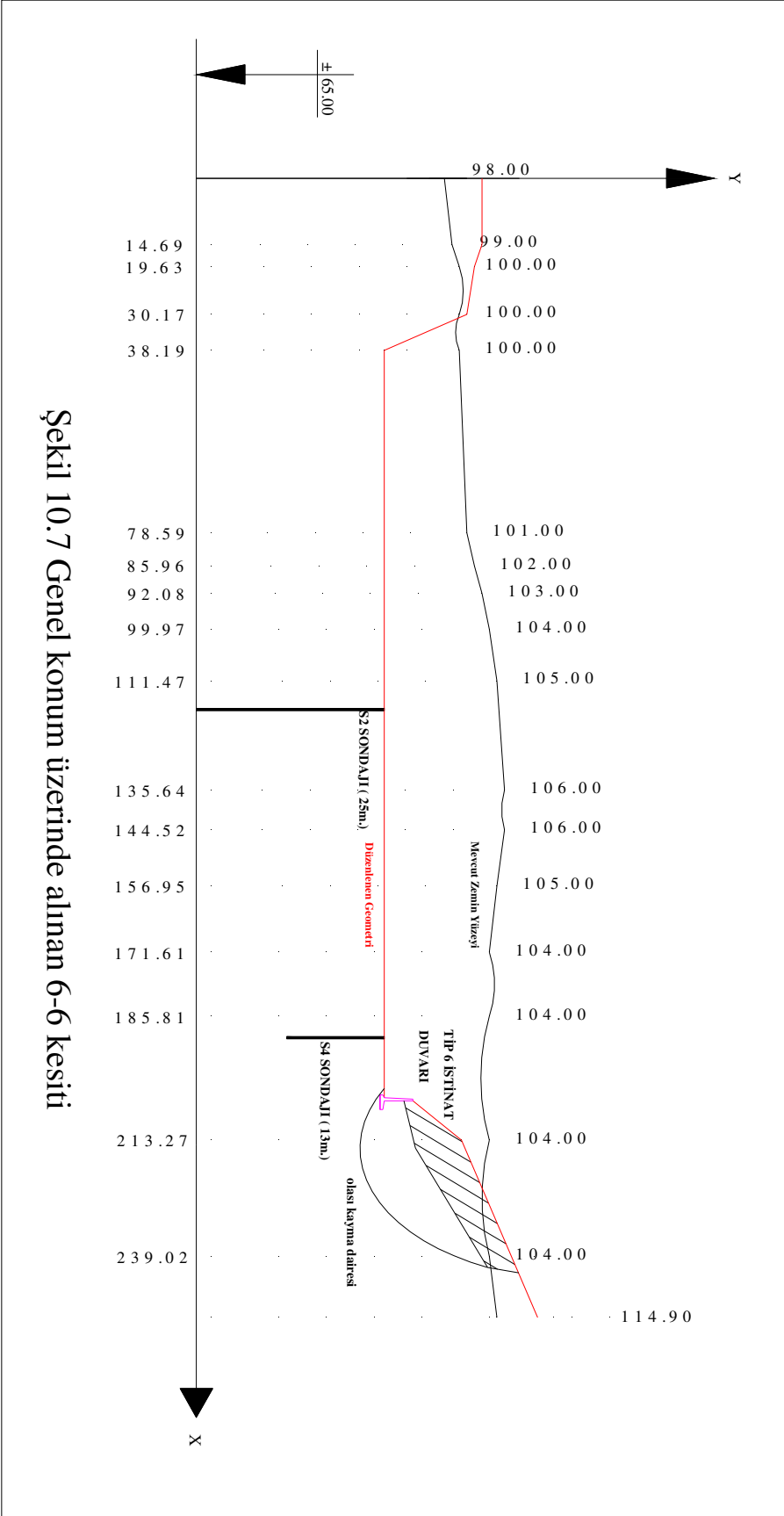
Şelik 10.3 Genel konum üzerinde alınan 2-2 kesiti





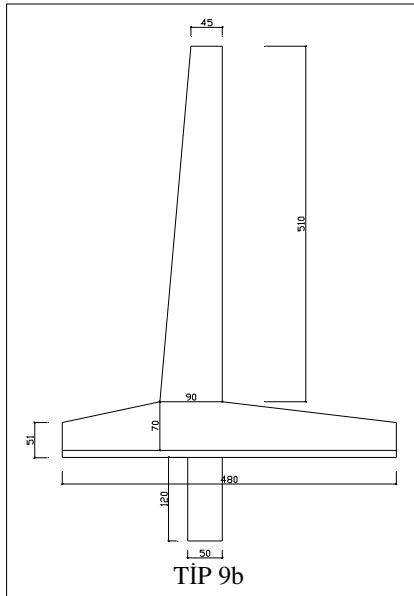






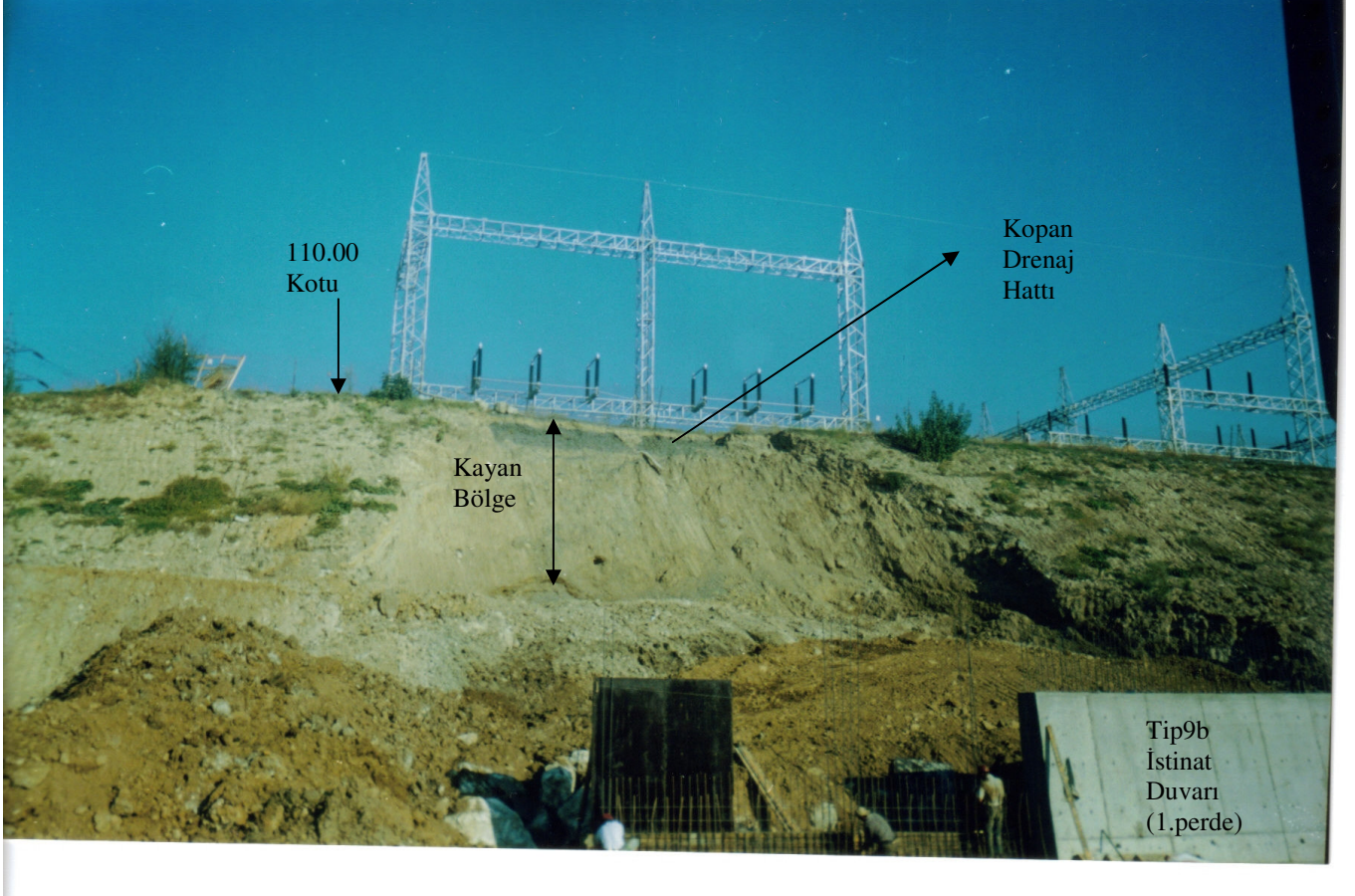
10.1 (110.00 – 95.00) KOTLARI ARASINDAKİ BÖLGEDE (A BÖLGESİ) OLUŞAN DURAYLILIK SORUNLARI

110.00 – 95.00 kotları arasında yapılması düşünülen duvarın seçiminde kot farkının fazla olması sebebiyle Tip9b adı verilen bir istinat duvarı yapılmasına karar verilmiştir. Bu duvar altında 1.30 m. uzunluğunda ve 50 cm. genişliğinde bir topuk (shear key) bulundurmaktadır. Duvar imalatı yapılmadan önce yaklaşık 1.50 m. fazladan kazı yapıp onun yerine stabilize malzeme ile kontrollü dolgu yapılması, duvar imalatı tamamlandıktan sonra da duvarın arkasına kontrollü dolgu ve drenaj malzemesi ile duvar arkasından zemindeki suyu barbakanlardan dışarı verecek bir drenaj teşkil edilmesi öngörülmüştür.



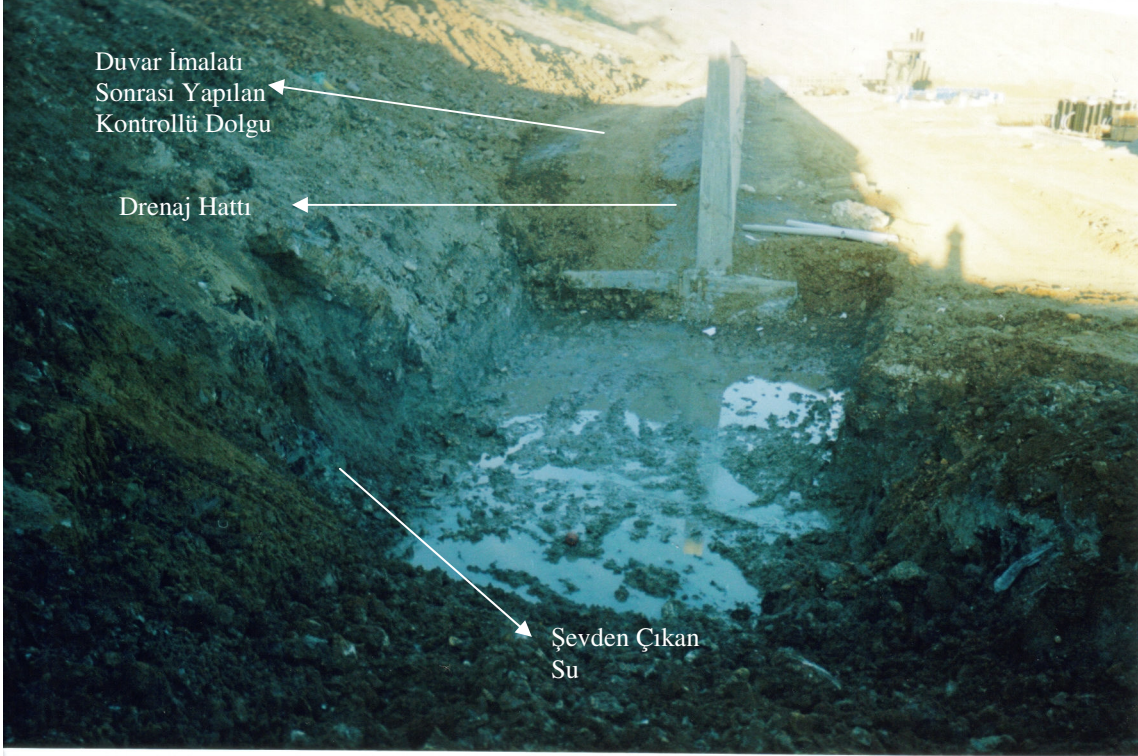
Şekil 10.8 A bölgesine yapılan istinat duvarı

Ancak mevcut şevin altında kazı yapılmaya başladığında daha kontrollü dolgu için düşünülen 1.50m. lik derinliğe ulaşamadan şevde çatlamlar oluşmaya başlamıştır. Bunun üzerine kontrollü dolgu fazla derine inememiş ve yaklaşık 50 cm' de sona erdirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan zeminde duvarın öncelikle topuğu ve temeli tamamlanmıştır. Birinci kademe perdesi yapılırken 110 kotunda oluşan çatlakların ilerlediği gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda 110 kotundan itibaren bir kayma meydana gelmiştir. (Şekil 10.1)



Resim 10.3 A bölgesinde meydana gelen kayma

Bu kayma hareketi gerçekleştikten sonra hareket eden kütle altından su gelmeye başlamış ve bu su duvar imalatı ve duvar arka dolgusu tamamlanıncaya kadar (yaklaşık 2 ay) devam etmiş, duvar imalatı tamamlanmadan önce de mevcut sahanın drenaj hattına bağlanmıştır.



Resim 10.4 A bölgesinde kaymadan sonraki su akışı

10.2 95.00 – 90.00 KOTLARI ARASINDAKİ BÖLGEDE (B BÖLGESİ) OLUŞAN STABİLİTE SORUNLARI

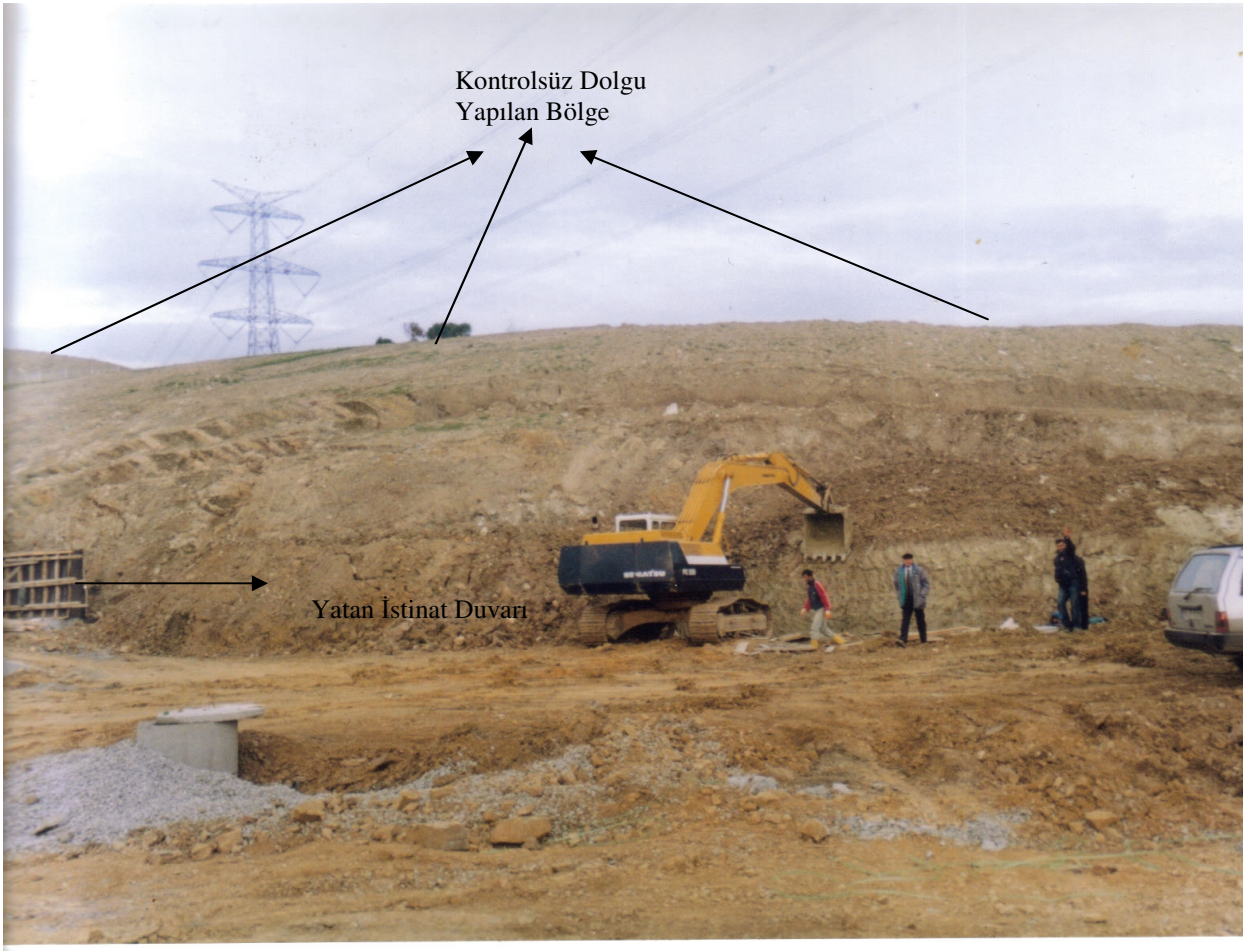
Bu bölgede mevcut olan şevler tamamıyla Trafo Merkezi inşaatı sırasında sahadan çıkan malzemenin daha önceden de kontrolsüz olarak yapılan dolgunun üzerine serilmesi ile yükselmiş olan şevlerdir. Bu şevlerin arka tarafında da sahadan çıkan kazının tamamına yakınının stoklandığı bir dolgu dağı bulunmaktadır. Bu dolgu dağı yaklaşık 121.00 kotunda olup yine yaklaşık olarak 400000 m³ kazı artığı depolanmış durumdadır.



Bu dolgu dağında denetimli sıkıştırma işlemleri tekniğine uygun yapılmamış, silindir vs. gibi kompaksiyon makineleri kullanılmamış sadece tesviye maksatlı olarak kullanılan paletli yükleyiciler ile düzenleme yapılmıştır. Bu dolgularda bahar aylarında yağın yağmurlardan zemindeki çatlaklara giren su sebebiyle de açılmalar meydana gelmiştir. Aynı şekilde yapılan duvar kazılarında ufak çaplı kaymalar ve şev dibinden çıkan sular gözlemlenmiştir.

Resim 10.5 Bir duvar kazı sırasında oluşan kayma ve kayma dibinden su çıkışı

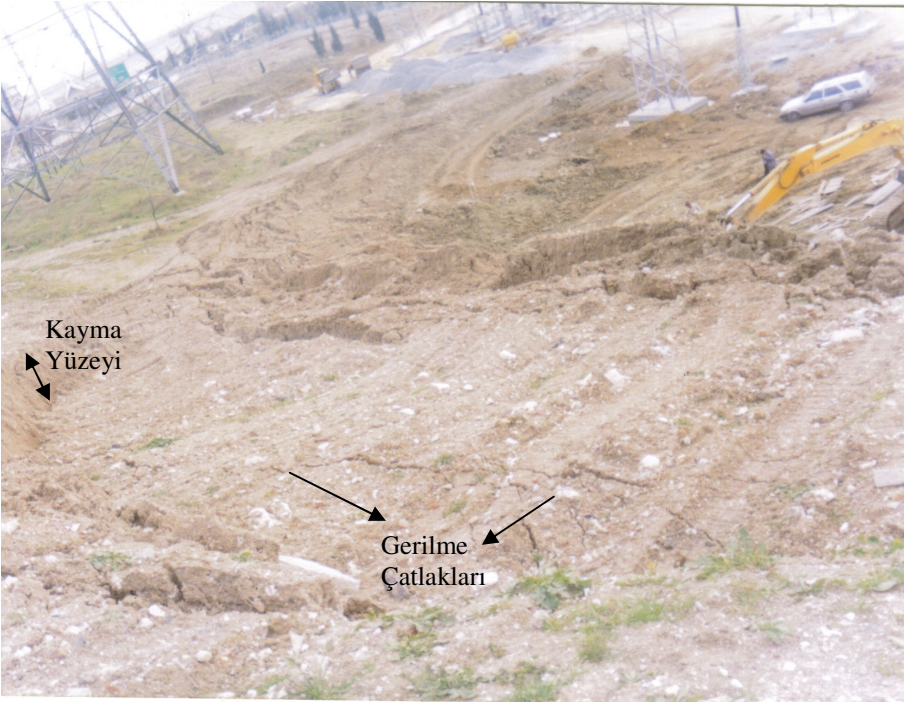
Ancak bu bölgede meydana gelen en önemli zemin hareketi trafo merkezinin sınırlarını belirleyen istinat duvarlarının imalatı için yapılan kazı esnasında oluşan kayma hareketidir. Bu kayma neticesinde yapılan istinat duvarları yatmış yapımı süren duvarlar ise yıkılmak zorunda kalmıştır. Ayrıca kayma sonrasında 28 günlük süreçte yapılan ölçümlerde (Çizelge 12.1 a) kayma hareketinin durmadığı anlaşılmıştır. Kayan şevin tutulması için ise arkasında ve altında dolgu malzemesi olan istinat duvarları yeterli görülmüş, ancak bu bile mevsim şartları ve zaman sıkıntısı sebebiyle öngörüldüğü gibi uygulanamamıştır. Ayrıca İstanbul Üniversitesi' nin verdiği rapordan bağımsız olarak sadece 12m.'lik bir istinat duvarı temelini altına 8 adet 120'lik fore kazık yapılmıştır. Bu bölgede de benzer şekilde şev dibinden gelen su mevcut drenaj hatlarına bağlanmıştır.



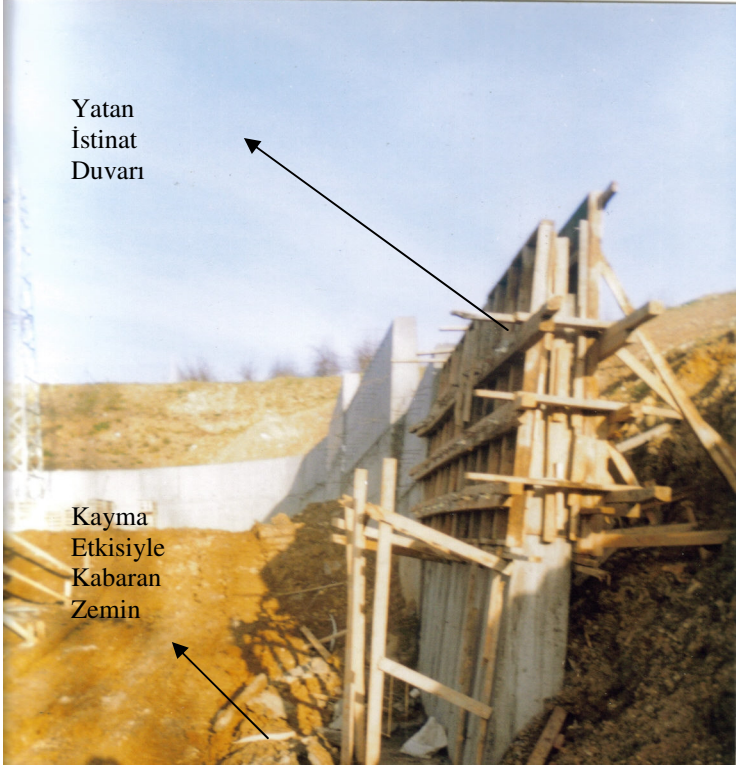
Resim 10.6 B bölgesinde meydana gelen kayma hareketi



Resim 10.7 B bölgesinde oluşan kayma hareketi neticesinde yatan duvarlar



Resim 10.8 B bölgesinde oluşan kaymanın yukarıdan görünüşü



Resim 10.9 B bölgesinde oluşan kayma hareketi
neticesinde yatan duvarlar

11. SAHADAKİ ZEMİN ÖZELLİKLERİ VE YAPILAN SONDAJLAR

Atışalanı Trafo Merkezi inşaatı sırasında -daha önceden de değinildiği gibi- mevcut zeminin çok derinlere kadar dolgu olduğu bilindiği için herhangi bir şekilde zemin özelliklerini verebilecek bir çalışma içerisine girilmemiştir. Ancak oluşan kayma hareketleri neticesinde bu özellikleri belirlemek amacı ile sondajlara başvurulmuş (Şekil 10.1), alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde İstanbul Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı'nda su içeriği, tane dağılımı ve kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır.

(Ekler→Laboratuar Deneyleri)

Buna göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 11.1 Zeminin fiziksel özellikleri ve sınıflandırılması

		Tane Dağılımı				Kıvam Limitleri			
Sondaj No	Derinlik h (m)	Çakıl %	Kum %	Silt %	Kil %	Wn %	Wp %	Wl %	Pl %
S1	3.00-3.45	0.0	31.4	68.6		28.8	33.8	56.5	22.7
S1	5.00-5.50	0.0	44.5	55.5		28.8	28.9	59.0	30.1
S1	10.0-12.0	0.0	19.9	80.1		30.0	25.1	52.0	26.9

Wn = Doğal su içeriği, Wp = Plastik limit, Wl = Likit limit, Pl = Plastisite indisi

Açılan 4 adet sondajdan S1 26.0 m. (Şekil 10.3), S2 25.0 m. (Şekil 10.4), S3 30.0 m. (Şekil 10.6), ve S4 13.0 m. (Şekil 10.6), derinlikte açılmıştır. Bu sonuçlara göre mevcut sahada uzun zaman boyunca yapılan ve kontrolsüz olarak yapılan değişken kalınlığa sahip dolgu olduğu anlaşılmaktadır. Dolgunun kalınlığının S1 sondajında 26 m., S2 sondajında 20.0 m., S3 sondajında 28.0 m. ve S4 sondajında 10.0 m. olduğu saptanmıştır.

(Ekler→Sondaj Logları)

Dolgu zemin genelde çok kumlu siltli kilden oluşmaktadır. Killi birimler yüksek plastisitelidir. Dolgu içerisinde yer yer blok ve molozlu seviyeler yer almaktadır. Sondajlar sırasında alınan örneklerden ve yapılan SPT deneylerinden zeminin oldukça heterojen bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. SPT N değerleri genelde 10.0 m' den sonra 20' den büyük değerler almaktadır. Ancak ilk 10.0 m. içerisinde N = 5 ile N = 20 arasında değişen değerlere rastlanmaktadır.
(Ekler→Sondaj Logları)

12. YAPILAN ARAZİ DENEYLERİ VE GÖZLEMLER

Atışalanı Trafo Merkezi'nde kayma hareketleri oluştuktan sonra hem kayma hareketlerini gözleme hem de zemin özelliklerini daha iyi kavrayabilme amaçlı olarak iki adet arazi deneyi yapılmıştır. Bunlardan birincisi B Bölgesinde kayma oluşan şevin kayma olduktan sonraki hareketini gözlemek için yapılan arazi ölçümleri, diğeri ise mevcut dolgu zemin üzerinde yapılan plaka yükleme deneyleridir.

12.1 KAYAN ŞEVLERDE YAPILAN ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

Bu ölçümlerde amaçlanan B Bölgesindeki şevin kaydıktan sonraki hareketinin nasıl olduğu ve altında yapılacak olan duvar imalatları esnasında bu imalatların yapılmasına olanak verip vermeyeceğidir. Bu amaç ile kayan şevin muhtelif yerlerine demir kazıklar çakılmış, kazıkların üzerindeki kot değerleri nivo yardımı ile okunmuştur. Ayrıca bir nirengi noktasından da kot okunarak bu değerlerle arasındaki fark ölçülmeye başlanmıştır. Ölçümler 19 gün boyunca 28 adet noktadan alınmış, duvar imalatına girilmesi için kazı yapılması sonucunda sona erdirilmiştir.



Resim 12.1 B bölgesinde oluşan kayma hareketini gözlemlemek için yapılan çalışmalar

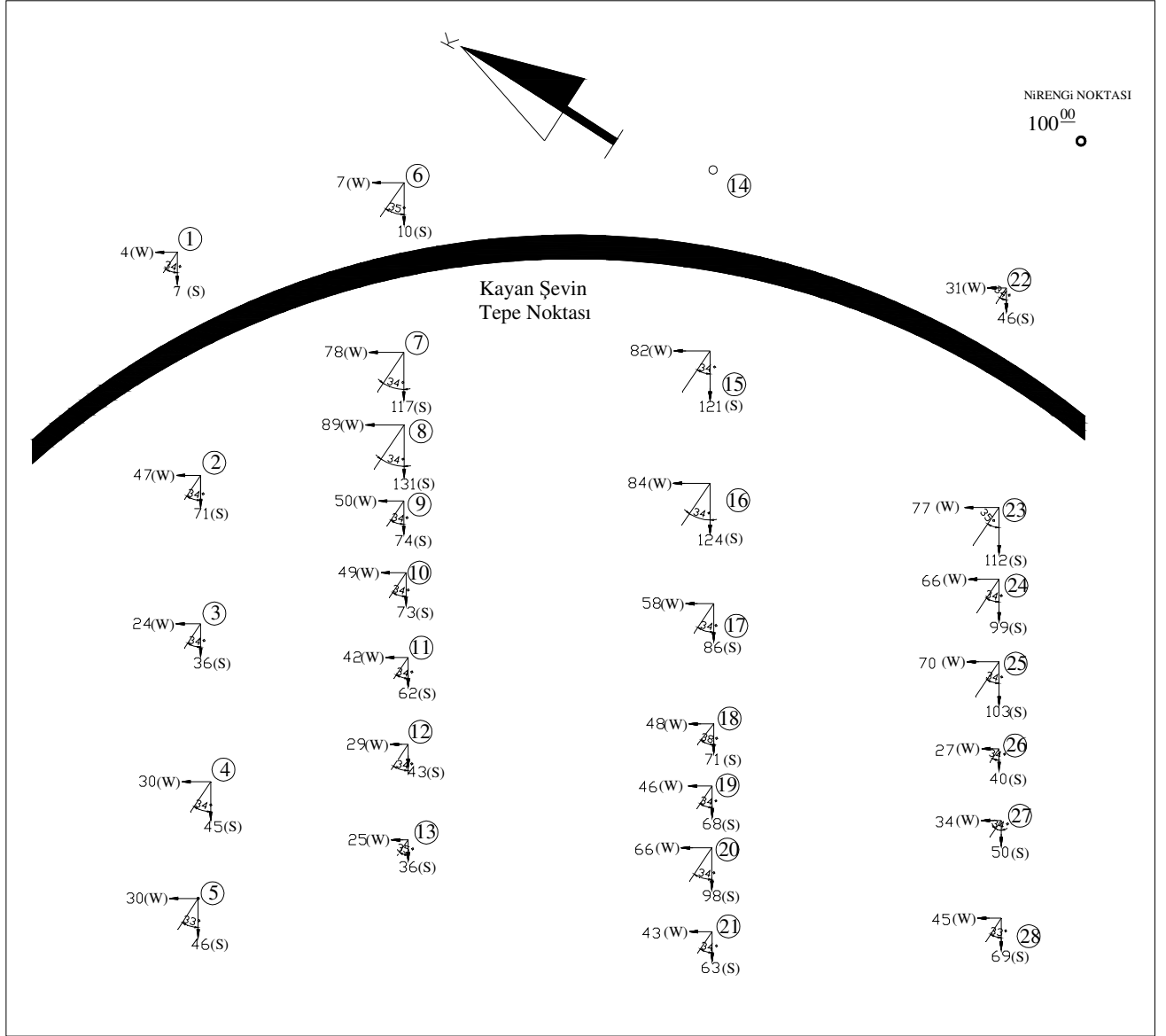
Yapılan ölçümlerin neticesinde (Çizelge 12.1a), 16 Mayıs 2005 tarihi itibariyle maksimum yer değiştirmeler 8 no'lu gözlem noktasında yatay yönde 13,1 cm, düşey yönde ise 9,5 cm'dir. Hareketin doğrultusunun yataydan 34° sapsmış olduğu yine bu ölçümler neticesinde bulunmuştur (Şekil 12.1). Bu yapılan ölçümler neticesinde şevde oluşan hareketliliğin durmadığı, şevlerin önlerine herhangi bir dayanma yapısı yapılmadan düzenlenmesi durumunda yine bu doğrultuda hareket edeceği anlaşılmıştır.

Çizelge 12.1a Kayan şev gözlem noktaları zemin hareketleri ölçüm değerleri (mm)

Günler/ Nokta No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
İlk Okuma Değerleri	99,69	96,24	95,12	94,23	93,27	100,09	95,35	95,08	94,19	93,74	93,42	93,26	93,12	99,25
30.03.05	99,69	96,24	95,12	94,23	93,27	100,09	95,35	95,08	94,19	93,74	93,42	93,26	93,12	99,25
31.03.05	99,69	7 (W) ↓ 10(S) Düşey: 20	3 (W) ↓ 5 (S) Düşey: 20	4 (W) ↓ 7 (S) Düşey: 10	8 (W) ↓ 12(S) Düşey: 10	100,09	12 (W) ↓ 18(S) Düşey: 20	12 (W) ↓ 18(S) Düşey: 20	16 (W) ↓ 24(S) Düşey: 30	17 (W) ↓ 26(S) Düşey: 10	14 (W) ↓ 21(S) Düşey: 20	13 (W) ↓ 19 (S) Düşey: 10	10 (W) ↓ 15 (S) Düşey: 20	99,25
02.04.05	99,69	96,22	95,10	94,22	93,26	100,09	95,33	95,06	94,16	93,73	93,40	93,25	93,10	99,25
04.04.05	4 (W) ↓ 7 (S) Düşey: 10	4 (W) ↓ 7 (S) Düşey: 10	4 (W) ↓ 7 (S) Düşey: 20	7 (W) ↓ 10(S) Düşey: 20	8 (W) ↓ 12(S) Düşey: 20	7 (W) ↓ 10(S) Düşey: 10	13 (W) ↓ 20(S) Düşey: 10	10 (W) ↓ 15(S) Düşey: 10	94,16	17 (W) ↓ 25(S) Düşey: 30	12 (W) ↓ 17 (S) Düşey: 20	10 (W) ↓ 15 (S) Düşey: 20	9 (W) ↓ 13 (S) Düşey: 20	99,25
05.04.05	99,68	8 (W) ↓ 12(S) Düşey: 5	95,08	94,20	93,24	100,08	11 (W) ↓ 16(S) Düşey: 15	14 (W) ↓ 21(S) Düşey: 10	19 (W) ↓ 28(S) Düşey: 10	93,70	93,38	93,23	93,08	99,25
07.04.05	99,68	96,21	95,08	94,20	93,24	100,08	95,313	95,042	94,153	93,70	93,38	93,23	93,08	99,25
11.04.05	99,68	96,21	95,08	94,20	93,24	100,08	95,313	95,042	94,153	93,70	93,38	93,23	93,08	99,25
13.04.05	99,68	96,21	95,08	94,20	93,24	100,08	95,313	95,042	94,153	93,70	93,38	93,23	93,08	99,25
14.04.05	99,68	96,21	95,08	94,20	93,24	100,08	95,313	95,042	94,153	93,70	93,38	93,23	93,08	99,25
17.04.05	99,68	11 (W) ↓ 16(S) Düşey: 10	95,08	94,20	93,24	100,08	7 (W) ↓ 20(S) Düşey: 15	18 (W) ↓ 27(S) Düşey: 15	15 (W) ↓ 22(S) Düşey: 15	93,70	93,38	93,23	93,08	99,25
18.04.05	99,68	96,20	95,08	94,20	93,24	100,08	95,30	95,03	94,14	93,70	93,38	93,23	93,08	99,25
25.04.05	99,68	7 (W) ↓ 11(S) Düşey: 10	6 (W) ↓ 8 (S) Düşey: 5	11 (W) ↓ 16(S) Düşey: 10	10 (W) ↓ 15(S) Düşey: 20	100,08	13 (W) ↓ 20(S) Düşey: 5	10 (W) ↓ 14(S) Düşey: 5	94,14	93,70	93,38	93,23	93,08	99,25
26.04.05	99,68	96,19	95,076	94,192	93,23	100,08	95,294	95,026	94,14	93,70	93,38	93,23	93,08	99,25
27.04.05	99,68	4 (W) ↓ 6 (S) Düşey: 10	7 (W) ↓ 10(S) Düşey: 5	94,192	4 (W) ↓ 7 (S) Düşey: 10	100,08	6 (W) ↓ 9 (S) Düşey: 15	12 (W) ↓ 17(S) Düşey: 5	94,14	93,70	93,38	93,23	93,08	99,25
02.05.05	99,68	6 (W) ↓ 9 (S) Düşey: 20	4 (W) ↓ 6 (S) Düşey: 20	8 (W) ↓ 12(S) Düşey: 30	93,22	100,08	16 (W) ↓ 24(S) Düşey: 10	13 (W) ↓ 19(S) Düşey: 30	94,14	15 (W) ↓ 22(S) Düşey: 30	16 (W) ↓ 24(S) Düşey: 20	6 (W) ↓ 9 (S) Düşey: 10	6 (W) ↓ 8 (S) Düşey: 5	99,25
10.05.05	99,68	96,16	95,05	94,16	93,22	100,08	95,28	94,99	94,14	93,67	93,36	93,22	93,075	99,25
12.05.05	99,68	96,16	95,05	94,16	93,22	100,08	95,28	94,99	94,14	93,67	93,36	93,22	93,075	99,25
15.05.05	99,68	96,16	95,05	94,16	93,22	100,08	95,28	94,99	94,14	93,67	93,36	93,22	93,075	99,25
16.05.05	99,68	96,16	95,05	94,16	93,22	100,08	95,28	94,99	94,14	93,67	93,36	93,22	93,075	99,25
TOPLAM	4 (W) ↓ 7 (S) Düşey: 10	47 (W) ↓ 71 (S) Düşey: 85	24 (W) ↓ 36(S) Düşey: 70	30 (W) ↓ 45(S) Düşey: 70	30 (W) ↓ 46(S) Düşey: 60	7 (W) ↓ 10(S) Düşey: 10	78 (W) ↓ 117(S) Düşey: 90	89 (W) ↓ 131(S) Düşey: 95	50 (W) ↓ 74 (S) Düşey: 55	49 (W) ↓ 73 (S) Düşey: 70	42 (W) ↓ 62 (S) Düşey: 60	29 (W) ↓ 43 (S) Düşey: 50	25 (W) ↓ 36 (S) Düşey: 45	0 (W) ↓ 0 (S) Düşey: 0

Çizelge 12.1b Kayan şev gözlem noktaları zemin hareketleri ölçüm değerleri (mm)

Günler/ Nokta No	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
İlk Okuma Değerleri	95.07	94.03	92.82	92.64	93.09	93.05	92.62	98.10	95.40	93.48	93.01	92.38	92.55	92.44
30.03.05	95.07	94.03	92.82	92.64	93.09	93.05	92.62	98.10	95.40	93.48	93.01	92.38	92.55	92.44
31.03.05	14 (W) → 21(S) ↓ Düşey: 20	13 (W) → 19(S) ↓ Düşey: 20	17 (W) → 25(S) ↓ Düşey: 20	18 (W) → 27(S) ↓ Düşey: 20	16 (W) → 23(S) ↓ Düşey: 20	14 (W) → 21(S) ↓ Düşey: 20	8 (W) → 12(S) ↓ Düşey: 20	98.10	9 (W) → 13(S) ↓ Düşey: 20	13 (W) → 20(S) ↓ Düşey: 10	93.01	92.38	92.55	92.44
02.04.05	95.05	94.01	92.80	92.62	93.07	93.03	92.60	17 (W) → 14 (W) → 21(S) ↓ Düşey: 10	95.38	93.47	93.01	92.38	92.55	92.44
04.04.05	18 (W) → 27(S) ↓ Düşey: 10	15 (W) → 22(S) ↓ Düşey: 10	92.80	92.62	93.07	93.03	92.60	14 (W) → 21(S) ↓ Düşey: 10	16 (W) → 23(S) ↓ Düşey: 10	11 (W) → 17(S) ↓ Düşey: 10	13 (W) → 20(S) ↓ Düşey: 10	92.38	10 (W) → 15(S) ↓ Düşey: 10	9 (W) → 13(S) ↓ Düşey: 15
05.04.05	9 (W) → 13(S) ↓ Düşey: 10	8 (W) → 12(S) ↓ Düşey: 10	11 (W) → 16(S) ↓ Düşey: 15	8 (W) → 12(S) ↓ Düşey: 15	6 (W) → 9 (S) ↓ Düşey: 5	13 (W) → 19(S) ↓ Düşey: 10	10 (W) → 14(S) ↓ Düşey: 10	98.08	6 (W) → 8 (S) ↓ Düşey: 5	93.462	92.995	8 (W) → 12(S) ↓ Düşey: 10	92.536	92.422
07.04.05	95.03	93.992	92.786	92.604	93.063	93.022	92.592	98.08	95.365	93.462	92.995	92.368	92.536	92.422
11.04.05	95.03	93.992	92.786	92.604	93.063	93.022	92.592	98.08	95.365	93.462	92.995	92.368	92.536	92.422
13.04.05	95.03	93.992	92.786	92.604	93.063	93.022	92.592	98.08	95.365	93.462	92.995	92.368	92.536	92.422
14.04.05	95.03	93.992	92.786	92.604	93.063	93.022	92.592	98.08	95.365	93.462	92.995	92.368	92.536	92.422
17.04.05	8 (W) → 12(S) ↓ Düşey: 10	17 (W) → 25(S) ↓ Düşey: 10	9 (W) → 13(S) ↓ Düşey: 5	92.604	93.063	93.022	92.592	98.08	13 (W) → 19(S) ↓ Düşey: 15	18 (W) → 27(S) ↓ Düşey: 10	12 (W) → 17(S) ↓ Düşey: 5	11 (W) → 16(S) ↓ Düşey: 10	15 (W) → 22(S) ↓ Düşey: 10	14 (W) → 21(S) ↓ Düşey: 5
18.04.05	95.02	93.98	92.78	92.604	93.063	93.022	92.592	98.08	15 (W) → 22(S) ↓ Düşey: 30	93.45	92.99	92.36	92.53	92.42
25.04.05	9 (W) → 13(S) ↓ Düşey: 10	93.98	92.78	13 (W) → 19(S) ↓ Düşey: 5	13 (W) → 20(S) ↓ Düşey: 10	93.022	92.592	98.08	95.32	93.45	17 (W) → 25(S) ↓ Düşey: 5	92.36	92.53	92.42
26.04.05	95.01	93.98	92.78	92.60	93.054	13 (W) → 19 (S) ↓ Düşey: 5	11 (W) → 16 (S) ↓ Düşey: 10	98.08	95.32	93.45	92.985	92.36	92.53	92.42
27.04.05	11 (W) → 16(S) ↓ Düşey: 10	14 (W) → 21(S) ↓ Düşey: 10	8 (W) → 12(S) ↓ Düşey: 10	92.60	93.054	18 (W) → 27(S) ↓ Düşey: 10	92.582	98.08	95.32	13 (W) → 19 (S) ↓ Düşey: 10	11 (W) → 16 (S) ↓ Düşey: 5	92.36	92.53	14 (W) → 21(S) ↓ Düşey: 10
02.05.05	13 (W) → 19(S) ↓ Düşey: 20	17 (W) → 25(S) ↓ Düşey: 30	13 (W) → 20(S) ↓ Düşey: 20	9 (W) → 13(S) ↓ Düşey: 20	11 (W) → 16(S) ↓ Düşey: 5	8 (W) → 12(S) ↓ Düşey: 10	14 (W) → 21(S) ↓ Düşey: 10	98.08	18 (W) → 27(S) ↓ Düşey: 5	11 (W) → 16(S) ↓ Düşey: 10	17 (W) → 25(S) ↓ Düşey: 20	8 (W) → 12(S) ↓ Düşey: 10	9 (W) → 13(S) ↓ Düşey: 5	8 (W) → 12(S) ↓ Düşey: 20
10.05.05	94.98	93.94	92.77	92.58	93.05	93.00	92.57	98.08	95.315	93.43	92.96	92.35	92.525	92.39
12.05.05	94.98	93.94	92.77	92.58	93.05	93.00	92.57	98.08	95.315	93.43	92.96	92.35	92.525	92.39
15.05.05	94.98	93.94	92.77	92.58	93.05	93.00	92.57	98.08	95.315	93.43	92.96	92.35	92.525	92.39
16.05.05	94.98	93.94	92.77	92.58	93.05	93.00	92.57	98.08	95.315	93.43	92.96	92.35	92.525	92.39
TOPLAM	82 (W) → 121(S) ↓ Düşey: 90	84 (W) → 124(S) ↓ Düşey: 90	58 (W) → 86 (S) ↓ Düşey: 70	48 (W) → 71 (S) ↓ Düşey: 70	46 (W) → 68 (S) ↓ Düşey: 40	66 (W) → 98 (S) ↓ Düşey: 55	43 (W) → 63 (S) ↓ Düşey: 50	31 (W) → 46 (S) ↓ Düşey: 20	77 (W) → 112(S) ↓ Düşey: 85	66 (W) → 99 (S) ↓ Düşey: 50	70 (W) → 103(S) ↓ Düşey: 45	27 (W) → 40 (S) ↓ Düşey: 30	34 (W) → 50 (S) ↓ Düşey: 25	45 (W) → 69 (S) ↓ Düşey: 60



Şekil 12.1 Kayan şev gözlem noktaları vektörel gösterim

12.2 PLAKA YÜKLEME DENEYİ

Atışalanı Trafo Merkezinde kontrolsüz dolgu kalınlığının en baştan beri çok derinlere kadar uzandığının bilinmesi ve bu sebepten dolayı da imalatların altına fazladan kazı yapıp stabilize malzeme ile kontrollü dolgu yapılması yöntemi seçildiği için imalatlarda oturma tehlikesi olabileceği düşünülmüş ve bir yükleme düzeneği kurulmasına karar verilmiştir.



Bunun için 75 x 75 cm. en ve boyunda 2 mm. kalınlığında demir bir sac kestirilmiştir. Deney çukuru olarak ta 150 x 150 cm en ve boyunda yaklaşık 50 cm derinliğinde üç adet çukur açılmıştır. Bu çukurlardan birincisi sahanın kendi zemini olan kontrolsüz dolgu halinde bırakılmış, ikincisi içerisine 10 cm. kalınlığında granüler malzeme (mıdır) konulup el kompaktörü ile sıkıştırılarak hazırlanmış,

Resim 12.2 Kontrolsüz dolguda açılan deney çukuru



üçüncüsü de sahada temel altlarına ve istinat duvarları arkalarına kontrollü dolgu yapılmak için kullanılan stabilize malzeme 10 cm kalınlığında konulup el kompaktörü ile sıkıştırılarak hazırlanmıştır.

Deney için gereken ağırlıklar ise trafo merkezi inşaatında kullanılan kablo kanallarının içi demirli olan beton kapaklarıyla sağlanmıştır. Bu kapakların her biri boyutlarına göre 60 kg. ile 100 kg. arasındaki ağırlıklara sahiptir. Kullanılacak olan kapaklar kantara götürülerek tek tartılmış ve ağırlıkları üzerlerine yazılmıştır.

Resim 12.3 Stabilize malzeme sıkıştırılarak oluşturulan deney çukuru



Resim 12.4 Granüler malzeme sıkıştırılarak oluşturulan deney çukuru



Hazırlanan deney çukurlarının yanına bir demir çakılmış bu demirin etrafı betonlanmış ve böylece bir nirengi noktası elde edilmiştir. Ağırlıklar her gün arttırılarak 19 gün boyunca ölçümler alınmış, (Nirengi noktasından nivo ile alınan okuma değerleri ile en aşağıdaki sac üzerinden alınan okuma değeri arasındaki fark) bunların sonucunda da gerilme-oturma eğrileri elde edilmiştir.

Resim 12.5 Deney düzeneği ve ağırlıklar

Yapılan plaka yükleme deneyi sonucunda her üç deney çukuruna da toplam 2381 kg ağırlık yüklenmiş dolayısıyla da üç zemin tipi içinde $0,423 \text{ kg/cm}^2$ lik gerilme değeri elde edilmiştir (Çizelge 12.2, 12.3, 12.4). Bu gerilme değeri altında yüklenen zeminlerden kontrolsüz dolgu olan 3.5 cm, 10 cm granüler malzeme konulup sıkıştırılan 2.6 cm, 10 cm stabilize malzeme konulan ise 2.5 cm oturma meydana gelmiştir. Bu bilgiler kullanılarak gerilme – yer değiştirme eğrileri oluşturulmuştur. Ancak bu eğriler oluşturulduğunda görülmüştür ki her üç deneyde de göçmeye ulaşılamamıştır. (Şekil 12.2, Şekil 12.3, Şekil 12.4)

Arazi deneyleri neticesinde söz konusu zeminde taşıma gücü kavramının netleştirilememiş olmasından dolayı, duraylılık analizlerinde kullanılan parametreler kullanılarak kontrolsüz dolgunun taşıma gücü bulunmaya çalışılmıştır.

Çizelge 12.2 Kontrolsüz dolgu yapılmış olan zemin üzerinde yapılan plaka yükleme deneyi

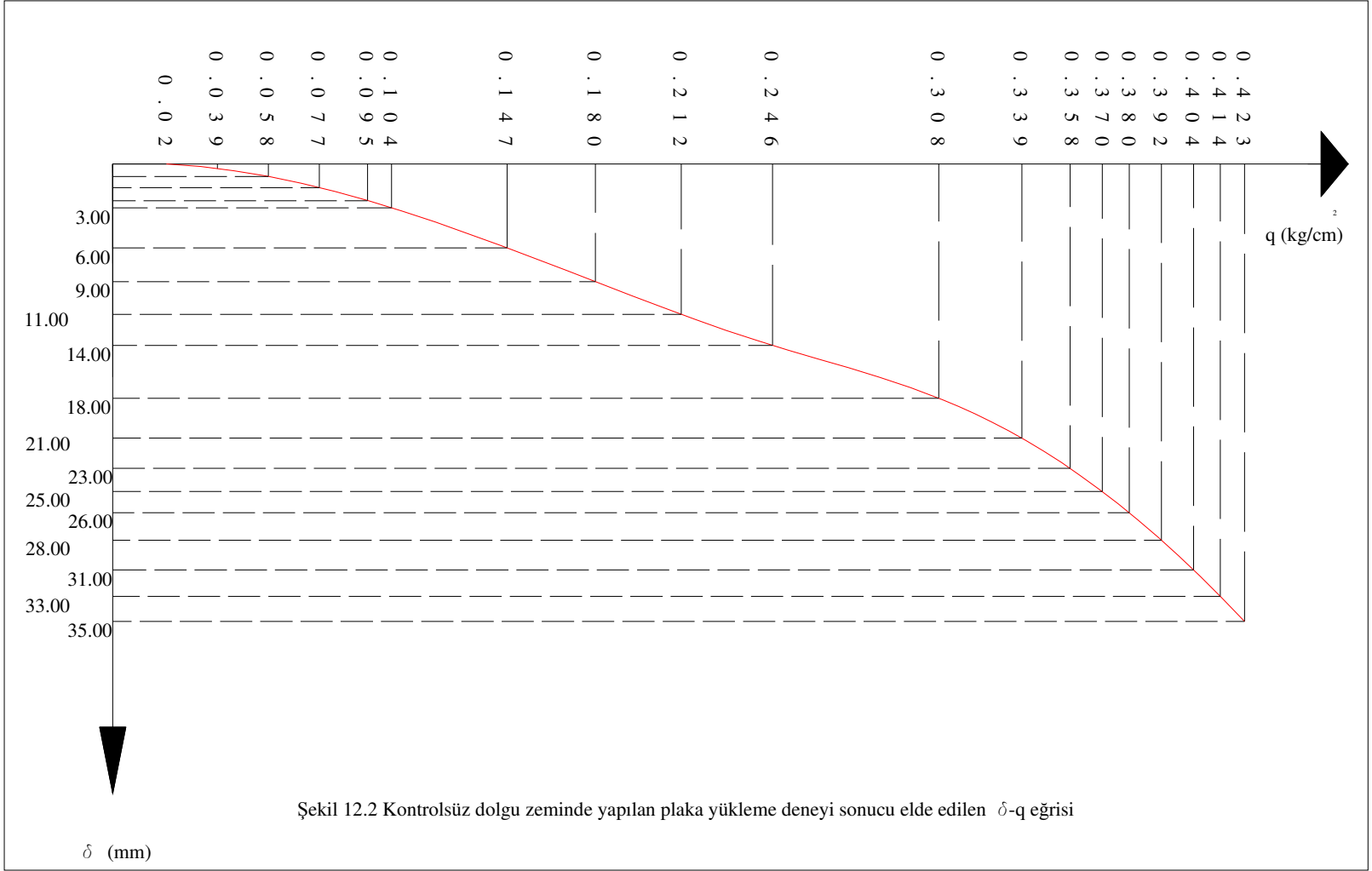
Gün	Tarih	Nirengi No Okuma Değeri (cm)	Ağırlık (kg)	Ağırlık Toplamı (kg)	Gerilme değeri (kg/cm ²)	Plaka Üzeri Okuma (cm)	Kot Farkındaki Değişim (cm)
1	31.03.2005	120,80	111	111	0,020	214,93	94,13
2	01.04.2005	215,39	106	217	0,039	309,52	94,13
3	02.04.2005	175,01	107	324	0,058	269,14	94,13
4	04.04.2005	101,92	107	431	0,077	196,05	94,13
5	05.04.2005	112,75	101	532	0,095	206,88	94,13
6	07.04.2005	119,57	53	585	0,104	213,70	94,13
7	11.04.2005	104,64	241	826	0,147	199,37	94,73
8	12.04.2005	92,98	184	1010	0,180	188,01	95,03
9	13.04.2005	140,59	182	1192	0,212	235,82	95,23
10	14.04.2005	121,42	191	1383	0,246	216,95	95,53
11	17.04.2005	98,41	350	1733	0,308	194,34	95,93
12	18.04.2005	129,60	175	1908	0,339	225,83	96,23
13	22.04.2005	95,00	107	2015	0,358	191,43	96,43
14	24.04.2005	123,94	67	2082	0,370	220,57	96,63
15	25.04.2005	100,29	56	2138	0,380	197,02	96,73
16	26.04.2005	175,26	66	2204	0,392	272,19	96,93
17	27.04.2005	227,55	70	2274	0,404	324,78	97,23
18	28.04.2005	83,76	54	2328	0,414	181,19	97,43
19	29.04.2005	289,98	53	2381	0,423	387,61	97,63

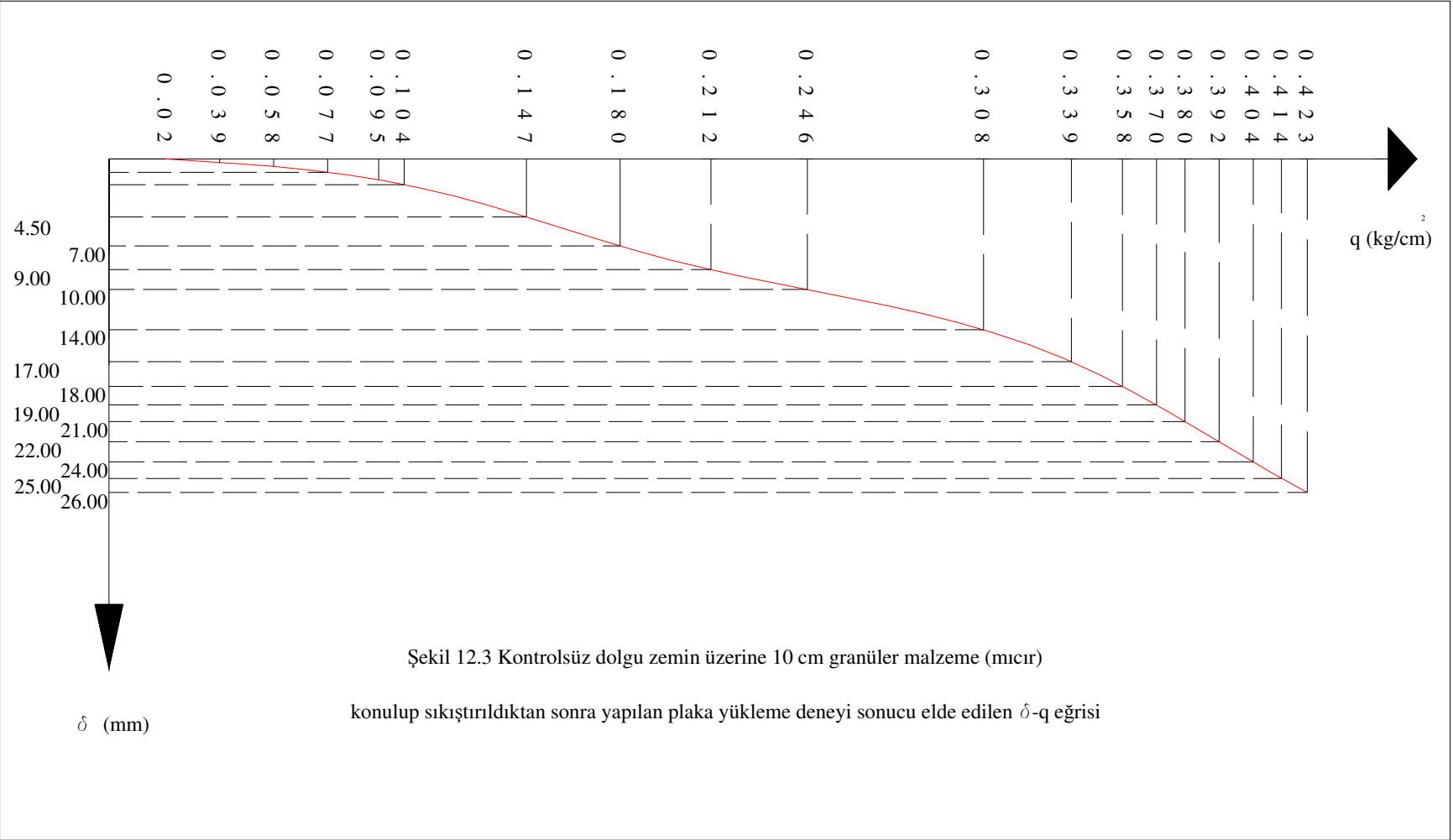
Çizelge 12.3 Kontrolsüz dolgu üzerine 10 cm granüler malzeme konulup sıkıştırıldıktan sonra yapılan plaka yükleme deneyi

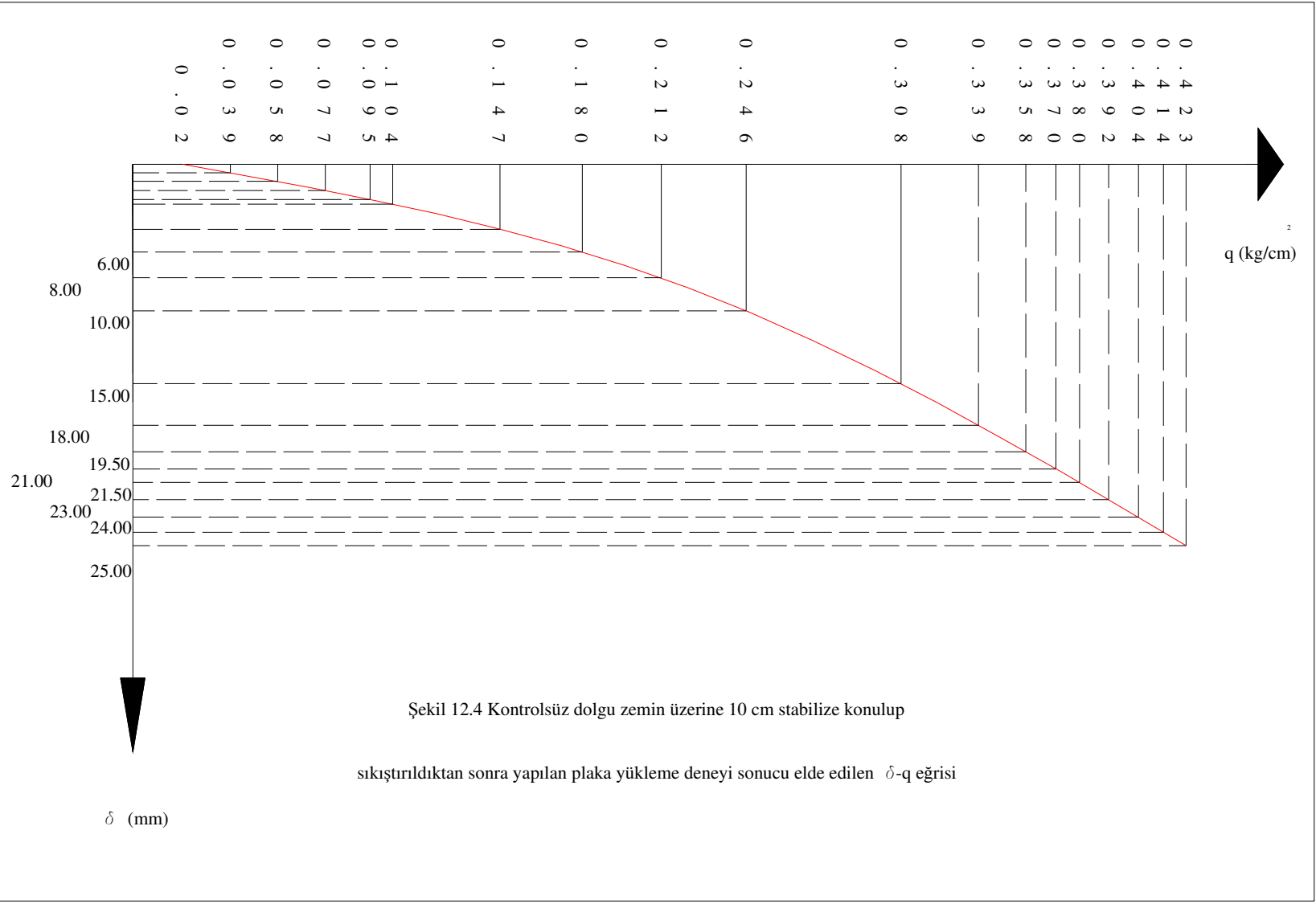
Gün	Tarih	Nirengi No Okuma Değeri (cm)	Ağırlık (kg)	Ağırlık Toplamı (kg)	Gerilme değeri (kg / cm ²)	Plaka Üzeri Okuma (cm)	Kot Farkındaki Değişim (cm)
1	31.03.2005	276,65	111	111	0,020	393,02	116,37
2	01.04.2005	158,73	106	217	0,039	275,10	116,37
3	02.04.2005	175,34	107	324	0,058	291,71	116,37
4	04.04.2005	52,91	107	431	0,077	169,28	116,37
5	05.04.2005	167,51	101	532	0,095	283,88	116,37
6	07.04.2005	223,85	53	585	0,104	340,22	116,37
7	11.04.2005	142,79	241	826	0,147	259,61	116,82
8	12.04.2005	75,27	184	1010	0,180	192,34	117,07
9	13.04.2005	136,65	182	1192	0,212	253,92	117,27
10	14.04.2005	181,45	191	1383	0,246	298,82	117,37
11	17.04.2005	158,19	350	1733	0,308	275,96	117,77
12	18.04.2005	189,17	175	1908	0,339	307,24	118,07
13	22.04.2005	154,48	107	2015	0,358	272,65	118,17
14	24.04.2005	183,31	67	2082	0,370	301,58	118,27
15	25.04.2005	159,52	56	2138	0,380	277,99	118,47
16	26.04.2005	134,52	66	2204	0,392	253,09	118,57
17	27.04.2005	186,84	70	2274	0,404	305,61	118,77
18	28.04.2005	143,09	54	2328	0,414	261,96	118,87
19	29.04.2005	249,36	53	2381	0,423	368,33	118,97

Çizelge 12.4 Kontrolsüz dolgu üzerine 10 cm stabilize malzeme konulup sıkıştırıldıktan sonra yapılan plaka yükleme deneyi

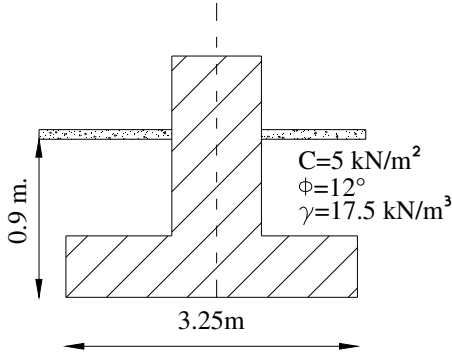
Gün	Tarih	Nirengi No Okuma Değeri(cm)	Ağırlık (kg)	Ağırlık Toplamı (kg)	Gerilme değeri (kg /cm ²)	Plaka Üzeri Okuma (cm)	Kot Farkındaki Değişim (cm)
1	31.03.2005	287,74	111	111	0,020	393,02	105,28
2	01.04.2005	169,82	106	217	0,039	275,10	105,28
3	02.04.2005	186,43	107	324	0,058	291,71	105,28
4	04.04.2005	64,00	107	431	0,077	169,28	105,28
5	05.04.2005	178,60	101	532	0,095	283,88	105,28
6	07.04.2005	234,94	53	585	0,104	340,22	105,28
7	11.04.2005	154,33	241	826	0,147	259,61	105,28
8	12.04.2005	86,46	184	1010	0,180	192,34	105,88
9	13.04.2005	147,84	182	1192	0,212	253,92	106,08
10	14.04.2005	192,54	191	1383	0,246	298,82	106,28
11	17.04.2005	169,18	350	1733	0,308	275,96	106,78
12	18.04.2005	200,16	175	1908	0,339	307,24	107,08
13	22.04.2005	165,42	107	2015	0,358	272,65	107,23
14	24.04.2005	194,20	67	2082	0,370	301,58	107,38
15	25.04.2005	170,56	56	2138	0,380	277,99	107,43
16	26.04.2005	145,51	66	2204	0,392	253,09	107,58
17	27.04.2005	199,93	70	2274	0,404	305,61	105,68
18	28.04.2005	154,23	54	2328	0,414	261,96	107,73
19	29.04.2005	260,55	53	2381	0,423	368,33	107,78







12.3 TAŞIMA GÜCÜ HESAPLARI



Genel taşıma gücü eşitliği;

$$q_u = c N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \text{ şeklindedir.} \quad (12.1)$$

İçsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü faktörleri olan N_c , N_q ve N_γ aşağıdaki formüllerden

$\phi = 12^\circ$ için bulunmuştur.

$$N_q = \tan^2 (45 + \phi/2) \cdot e^{\pi \tan \phi} \quad \text{Reissner (1924)} \quad (12.2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad \text{Prandtl (1921)} \quad (12.3)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad \text{Vesic (1973)} \quad (12.4)$$

Bunlara göre $N_q = 2.97$, $N_c = 9.24$ ve $N_\gamma = 1.69$ değerleri elde edilmiştir.

$$q = \gamma \cdot D_f = 17.5 \times 0.90 = 15.75 \text{ kN / m}^2$$

$$F_{cs} = 1 + 0.2 B/L \tan^2 (45 + \phi/2) = 1.08 \quad (12.5)$$

$$F_{qs} = F_{\gamma s} = 1 + 0.1 B/L \tan^2 (45 + \phi/2) = 1.04 \quad (12.6)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 D_f/B = 1.07 \quad (12.7)$$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 D_f/B = 1.11 \quad (12.8)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Temele herhangi bir eksantrik yük etkilediği için;

$F_{ci} = F_{qi} = F_{\gamma i} = 1$ alınmıştır.

$$q_u = c N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$q_u = (5 \times 9.24 \times 1.08 \times 1.11 \times 1) + (15.75 \times 2.97 \times 1.07 \times 1.04 \times 1) + (1/2 \times 17.5 \times 3.25 \times 1.69 \times 1.04 \times 1 \times 1)$$

$$q_u = 55.38 + 52.05 + 49.98 = 157.41 \text{ kN / m}^2$$

$$FS = 3 \text{ kabul edilirse } q_a = 157.41/3 = 52.47 \text{ kN / m}^2$$

Yapılan şev duraylılık analizleri sonucunda bulunan parametreler kullanılarak yapılan bu hesap sonucunda bulunan güvenli taşıma gücü değeri 52.47 kN /m² dir. Arazide yapılan plaka yükleme deneyleri neticesinde ise 42.3 kN / m² lik bir gerilme değerine ulaşılabilmektedir. Bu iki değer kıyaslandığında zeminin plaka yükleme deneyi neticesinde göçmeye ulaşamamasının nedeni anlaşılmaktadır. Zemin, plaka yükleme deneyi sırasında yeterli miktarda yüklenememiş, dolayısıyla hazırlanan her üç çukurda yapılan deneylerde göçmeye ulaşamamıştır. Ancak taban koşullarının oturma değerlerinde önemli bir farklılık yaratmadığı da gözlenmektedir.

13. ŞEVLERİN STABİLİTE ANALİZLERİ

Bu tez çalışmasında büyük çaplı kaymanın meydana geldiği B Bölgesinin kayma hareketinden sonraki geometrisinden yola çıkılarak duraylılık analizleri WINSTABL isimli bilgisayar programı ile yapılmıştır.

Duraylılık analizlerinin ilk aşaması olarak B Bölgesindeki oluşan hareketin geometrisi incelenmiş; söz konusu şeve ait olan kayma dairesinin, kaymanın başladığı noktadan başlayıp yatan duvarın arkasında kabaran zemine kadar olduğu anlaşılmıştır.

Zeminin kayma mukavemeti parametreleri olarak küçük bir efektif kohezyon göz önüne alınarak,
Kohezyon (c) = 5 kPa

Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ) = 17,5 kN / m³

Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı (r_u) = 0.10

kabul edilmiştir. Sahadaki sızıntının yoğun olmayışı nedeniyle r_u değeri olarak doğal şevlerde genellikle görülen 0.20 – 0.30 değeri yerine daha küçük bir değer olan $r_u = 0.10$ değeri göz önüne alınmıştır.

Yukarıdaki değerler, hem şevin hem de kayma dairesinin geometrileri kullanılarak WINSTABL programında güvenlik sayısını (FS) bir yapan içsel sürtünme açısı bulunmaya çalışılmıştır. (Bkz. Ekler→Duraylılık Analizleri ve Analizlerde Kullanılan Geometrik Kesitler→B Bölgesi İstinat Duvarı Kazısı Yapılmış).

Aşağıda içsel sürtünme açısının değişimi ile güvenlik sayısının aldığı değerler bir çizelge halinde gösterilmiştir.

Çizelge 13.1 WINSTABL ile yapılan analizlerdeki Φ – FS değişimi

İçsel Sürtünme Açısı (Φ)	Güvenlik Sayısı (FS)
31°	2,46
25°	1,95
23°	1,79
20°	1,56
17°	1,34
15°	1,20
13°	1,06
12°	0,99

Yapılan bu analiz sonucunda güvenlik sayısını bir yapan içsel sürtünme açısı değerinin 12° olduğu bulunmuştur. Bu değer mevcut zeminde ölçülen kil yüzdesi (%60) ve likit limite göre tahmin edilebilecek rezidüel kayma dayanımı açısı ile uyumludur. Buna göre Atışalanı Trafo Merkezindeki zemin koşullarını belirleyen kayma mukavemeti parametreleri

Kohezyon (c) = 5 kPa

Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ) = 17,5 kN / m³

Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı (r_u) = 0.10

İçsel Sürtünme Açısı (Φ) = 12° olarak belirlenmiştir.

Bir sonraki aşamada ise bulunan bu değerlerin doğruluğu duraylılık analizleri ve sahadaki gözlemler karşılaştırılarak araştırılmıştır. A ve B bölgeleri için kazı yapılmamış ilk durumları, istinat duvar kazlıları yapılmış durum ve nihai durum için WINSTABL programı ile Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi kullanılarak analizler yapılmış çıkan güvenlik durumları sahada gözlenen durumlar ile karşılaştırılarak sonuca ulaşılmıştır.

Buna göre,

1. B Bölgesinde kazı yapılmadan önceki geometri ve belirlenen parametreler kullanılarak yapılan analizde güvenlik sayısı 1.40 olarak bulunmaktadır. (Ekler→Duraylılık Analizleri ve Analizlerde Kullanılan Geometrik Kesitler→B Bölgesi Kazı Yapılmadan). Sahada yapılan gözlemlerde de bu bölgenin ilk halinde herhangi bir hareket olmadığı bilinmektedir. Dolayısıyla analiz ve gözlemler birbiriyle çelişmemektedir.
2. B Bölgesinde kazıklı duvar yapılan kısımda ise istinat duvarı kazısı yapılan geometride güvenlik sayısı olarak 0.83 elde edilmekte(Ekler→Duraylılık Analizleri ve Analizlerde Kullanılan Geometrik Kesitler→B Bölgesi Kazıklı İstinat Duvarı Kazısı Yapılmış); kazıklı duvar ve tamamlanan kontrollü dolgu neticesindeki nihai halde ise güvenlik sayısı olarak 1.40 elde edilmektedir(Ekler→Duraylılık Analizleri ve Analizlerde Kullanılan Geometrik Kesitler→B Bölgesi Kazıklı Duvar Nihai Hal). B Bölgesinde istinat duvarı kazısı yapılırken büyük kayma hareketi meydana gelmiştir. Ancak yapılan kazıklı imalattan sonra sahada herhangi bir zemin hareketi gözlenmemiştir.

3. B Bölgesinde kazıksız olarak yapılan istinat duvarlarının nihai halinde yapılan analizde ise güvenlik sayısı olarak 1.02 değeri elde edilmektedir(Ekler→Duraylılık Analizleri ve Analizlerde Kullanılan Geometrik Kesitler→B Bölgesi Nihai Hal). Bu bölgedeki duvarların birleşim yerlerinde çatlamlar ve ufak çaplı ayrılmalar görülmektedir. Bu bölgedeki duvarlarda statik durumda çok büyük bir tehlike arz etmemekle beraber deprem durumunda karşı karşıya geleceği yükleri karşılayıp karşılayamayacağına şüphe ile bakılmaktadır.



Resim 13.1 İstinat duvarındaki ayrılma

4. A Bölgesinde kazıya başlanmadan önceki ilk durumda yapılan duraylılık analizinde güvenlik sayısı olarak 0.94 değerine ulaşılmıştır(Ekler→Duraylılık Analizleri ve Analizlerde Kullanılan Geometrik Kesitler→A Bölgesi Kazı Yapılmadan). Bu değer sahanın ilk halinde oluşan yüzeysel çatlakların ve istinat duvarı imalatının yapılmaya başladığı ilk günlerde meydana gelen kayma hareketi ile paralellik göstermektedir.
5. A Bölgesinde istinat duvarı kazısı yapıldığı geometride ise güvenlik sayısı olarak 0.47 değeri elde edilmiştir(Ekler→Duraylılık Analizleri ve Analizlerde Kullanılan Geometrik Kesitler→A Bölgesi İstinat Duvarı Kazısı Yapılmış). Bu bölgede istinat duvarı kazısı yapılırken kayma hareketi meydana gelmiştir.
6. A Bölgesinde yapımı tamamlanan topuklu istinat duvarı ve kontrollü dolgu imatları neticesinde çıkan geometrinin kullanıldığı duraylılık analizinde ise güvenlik sayısı olarak 0.98 değerine ulaşılmıştır(Ekler→Duraylılık Analizleri ve Analizlerde Kullanılan Geometrik Kesitler→A Bölgesi Nihai Hal). Bu bölgede imatlar tamamlandığından beri herhangi bir kayma hareketi gözlemlenmemiştir.

Yapılan bu karşılaştırmaların sonucunda WINSTABL programı ile yapılan analizlerin sonuçları ile saha şartları arasında ki paralellik seçilen ve bulunan kayma mukavemeti parametrelerini doğruluğunu kanıtlamaktadır.

14. SONUÇ

Bu çalışmada Ocak 2004 itibariyle inşaatına başlanmış olan Atışalanı Trafo Merkezindeki Duraylılık sorunları incelenmiş bu sorunlar ile genel olarak katı atık sahalarında görülen duraylılık sorunlarına çözüm aranmıştır.

Atışalanı Trafo Merkezinde mevcut saha ilk haliyle 110.00 kotundan başlayıp 81.00 kotuna yaklaşık 300 m. mesafede ulaşan yaklaşık 20000 m² taban alanına sahip bir inşaat sahasıdır. Saha 1984 yılında askeriyeden ilçe belediyesine devredilmiş ve belediye tarafından katı atık sahası olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak atıkların depolanmasında hiçbir mühendislik yöntemi kullanılmamış, saha döküm sahası olarak kullanılmıştır.

2004 Ocak ayında sahaya ilk kez geldiğinde gözle yapılan ilk gözlemler şunlardır:

1. Sahadan trafo merkezi yapımı için oldukça fazla kazı çıkması gerektiği, tesviye kotlarının ayarlanması için de yine oldukça fazla dolgu malzemesine ihtiyaç olduğu anlaşılmıştır.
2. Sahada düzensiz depolamadan dolayı büyük su birikintileri olduğu, zeminden ağır bir koku geldiği ve etraftaki mevcut yerleşim birimlerinden aşağıda kaldığı gözlemlenmiştir.
3. Sahanın en alt kotu olan 81.00 kotunun hizasında tarihi bir su kemeri olduğu görülmüştür.

Bütün bu gözlemler ve saha ile ilgili bilinenler birleştirildiğinde, sahanın kontrolsüz dolgu ile doldurulduğu, dolgu derinliğinin trafo merkezi imalatlarının temel alt kotundan çok aşağıda olduğu, çevre yapılardan düşük bir kotta olması ve alt tarafında tarihi su kemeri bulunması sebebiyle bünyesine çevresel suları aldığı ve kendisinin de sulak bir alan olduğu sonuçlarının görülmesini sağlamıştır.

Sahadan dışarıya çıkarılması gereken kazının miktarlarının çok fazla olması maddi elverişsizlikler yaratmakta, bundan dolayı da sahadan çıkarılacak olan malzemenin yine saha içerisine doldurulması düşünülmüştür.

Bu mantık çerçevesinde sahadaki dolgunun çok derin olduğu bilindiği için herhangi bir sondaj veya zemin parametrelerini belirleyecek olan bir çalışmaya gerek duyulmamış; zemine düşey olarak yük aktaran imalatların altından fazladan kazı alınması ve onun yerine stabilize malzeme konulup el kompaktörleri ile sıkıştırılma yapılması dolayısıyla da mevcut sahada kendi sağlam zeminin oluşturulması yöntemi seçilmiştir. Ayrıca sahada tarafımca hazırlanmış olan plaka yükleme deneyi düzeneği ile de bu kontrol edilmiş, hazırlanan üç adet deney çukurunda yapılan deneylerde sıkıştırılmış stabilize malzeme ve granüler malzemenin yüklenmesinde göçmeye ulaşamamıştır.

Ne var ki bu yöntem zemine düşey yük veren elemanlarda sorun çıkarmasa da derin açılan temellerde ve yatay yük taşıyan istinat duvarlarında büyük sıkıntı yaşanmasına sebep olmuştur. Kutu şeklinde açılan hemen her derin temelde (~5m.) kesitin duvarlarında ayrılmalar oluşmuş ve çukura su akışı yaşanmıştır. İstinat duvarlarında ise durum daha da kötü bir hal almıştır. Zaten sıkıştırılmadan depolanmış olan dolgu zeminin üzerine sahadan çıkan kazı konulması ve bunlarında zaman ve iş yetiştirme sıkıntıları sebebiyle düzgün sıkıştırılamaması nedeniyle yüksek ve gevşek olan şevler meydana gelmiştir. Bir de bunların altına yapılacak olan istinat duvarlarının altına sağlam zemin oluşturma çabası eklenince şevlerin dikliği yüksekliği iyice artmıştır. Sonucunda da A ve B bölgeleri ile tanımlanan bölgelerde zeminde kayma hareketleri oluşmuş, bu hareketler neticesinde B bölgesinde istinat duvarları yatmış, her iki bölgede de kayan şev dibinden su çıkarak artezyen oluşturmuştur. Bunun üzerine şevlerin tutulması için akademik yardım alınmasına karar verilmiştir.

Yapılacak olan tasarımlar için ilk olarak 4 yerden sondaj alınmış, çıkan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılması ve zemin parametrelerinin çıkartılması ile nihayetlendirilmiştir. Şevlerde kayma hareketi olduğu için rezidüel parametrelerin alınmasının uygun olacağına, boşluk suyu basıncı katsayısının da 0.10 olarak alınmasına karar verilmiştir. Buna göre yapılan tasarım doğrultusunda istinat duvarlarının arkasına ve altına kontrollü dolgu yapılması, duvar arkalarına da drenaj hatları yapıp mevcut saha drenajına bağlanması kararı alınmıştır. Ancak B bölgesinde kayma olan yerde tarafımdan yapılan, arazide kayma sonrası hareket olup olmadığının kontrollü maksatlı ölçümlerde kayan şevin aşağıya doğru hareket ettiği anlaşılmıştır. Bunun için yapılacak olan istinat duvarı ve kontrollü dolgu işlemlerinin her iki bölge içinde çok hızlı bir şekilde yapılmasının gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu mantık ile ilk olarak A bölgesinin imalatlarına başlanmış ve başarı ile tamamlanmıştır. B bölgesinde ise dolgu yüksekliğinin fazla olması, daha yeni bir dolgu olması, mevsim ve inşaat süresi ile ilgili sıkıntılar sebebiyle aynı hız yakalanamamış ve şevde yine hareketler gözlenmiştir. Böylece bu bölgede tasarımın dışına çıkılmak zorunda kalınmış duvar altına dolgu yapılamamıştır.

Bu tez çalışmasında B Bölgesindeki kayma mukavemeti parametreleri bu bölgenin kayma hareketinin ve kayma düzleminin geometrisinden faydalanılarak bulunmuştur. Burada kohezyon (c), kuru birim hacim ağırlığı (γ) ve boşluk suyu basıncı katsayısı (r_u) sabit tutulup; güvenlik sayısını (FS) bir yapan içsel sürtünme açısı bulunmuştur.

Kohezyon (c) = 5 kPa

Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ) = 17,5 kN / m³

Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı (r_u) = 0.10

İçsel Sürtünme Açısı (Φ) = 12°

Bu şekilde elde edilen kayma mukavemeti parametreleri A ve B Bölgelerindeki diğer kesitler olan ilk hal, istinat duvarı için kazı yapılmış olan hal ve nihai hallerde Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi ile analiz edilmiş çıkan güvenlik sayıları ile sahadaki şartlarla karşılaştırılmış ve analizlerin doğruluğu kanıtlanmıştır.

Özetlenecek olursa,

Atışalanı Trafo Merkezi İnşaatında zemine düşey yük veren imalatlar için oturmalar cinsinden sıkıntı olmadığı saha gözlemlerine dayanarak anlaşılmaktadır.

A bölgesinde meydana gelen kayma neticesinde yapılan analizler ışığında çıkan tasarım sahada tam olarak uygulanamamıştır. Yapılan stabilite analizlerinde de güvenlik sayısı bir değerinden küçük çıkmıştır. Bu bölgede statik durumda duraylılık bozuklukları gözlenmemekte ancak depremler durumunda bu bölgenin stabilitesine şüphe ile bakılmaktadır.

B bölgesinde meydana gelen kayma neticesinde yapılan analizler ışığında çıkan tasarım sahada tam olarak uygulanamamış. Bunun neticesinde halen duraylılık sorunları görülmekte olup, şevin önündeki istinat duvarlarında da hareketler gözlenmekte ve bu durum çalışır vaziyette olan trafo merkezini tehdit etmektedir.

Yukarıda açıklanan çalışmalar ve yapılan analizlerden elde olunan bilgiler ışığında şu sonuçlar çıkarılmıştır:

1. Yapılacak olan her mühendislik tasarımında mevcut saha şartları ilk olarak gözle gözlemlenmeli ve bunların ışığında birincil önlemler alınmalıdır.
2. Mevcut saha şartları maddi ve zamansal sıkıntılardan dolayı riske atılmamalıdır. Özellikle kontrolsüz dolgularda daha büyük kayıplar olması ihtimali yüksektir.
3. İyi sıkıştırılmamış olan dolgularda hapsolan su ilk halde durağan bir yapı göstermekte ancak zemin oynatıldığı takdirde boşluk bulduğu yere doğru hareketlenmektedir. Dolayısıyla kontrolsüz dolgularda sahada kazı imalatları başlamadan drenaj hatları tamamlanmalı zaten doygun ve yumuşak olan zeminde çıkacak olan su tehlikesi ortadan kaldırılmalıdır. Böylece boşluk suyu basınçları arttırılmamış aksine söndürülmüş olacaktır.
4. Kontrolsüz dolgular kompozit malzemeler olduğu için malzeme cinsi, malzemenin depolanışı, iklim vs.. gibi şartlardaki farklılıklar zeminin parametrelerini birbirinden çok farklı hale getirmekte, kontrolsüz dolgularda zemin parametrelerini net bir şekilde söylemeyi imkansız kılmaktadır. Dolayısıyla da böyle zeminlerle karşılaşıldığında konu ile ilgili araştırmacıların önermelerinden faydalanılmalı ancak körü körüne bu bilgilere bağlı kalınmamalıdır. Bu parametreler mevcut sahanın şartlarına bakılarak, o sahadan alınan numuneler üzerinde yapılacak analiz ve deneyler ile belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

Alyanak, İ., İmançlı, G., Haldenbilen, S.,(2004), “Katı Atık Depolama Yeri Düzenlenmesinde Geoteknik Ve Yasal Kurallar-Uygulama Örnekleri”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi.

Berilgen, M., Edil, T.,(2004), “Şevlerde Ani Su Alçalmasının Stabiliteye Etkisi”

Bowles, J., Engineering Properties of Soils and Their Measurement

Bruzzi, D., Cerretti, R.,(1998), “The Use of Instrumentation In Sanitary Landfill”.

Çakır, E. T., Yılmaz, R. H., (1998), “Katı Atıkları Oluşturan Muhtelif Malzemelerin Laboratuarda Saptanan Yüzeysel Sürtünme Açılıları”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi

Del Greco, O., Oggeri, C.,(2001), “ Shear Resistance Tests on Solid Municipal Wastes”

Edil B. E., Edinçliler A., Benson C.H., (2004), “Evsel Katı Atıkların Kesme Mukavemeti” Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi

Erguvanlı, K.,(2001), Mühendislik Jeolojisi

Fang, H.Y.,(1991), “Engineering Behaviour of Urban Refuse, Compaction Control and Slope Stability Analysis of Landfill”

Holtz&Kovacs An İntroduction to Geotechnical Engineering

İstanbul Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı.,(2004), “380/154 kV Atışalanı Trafo Merkezinin Yapıldığı Alandaki Şev Stabilitesi Hakkında Geoteknik Rapor”

Kocasoy, G., Curi, K.,(1995), “The Ümraniye Hekimbaşı Open Dump Accident”

Mahler, C.F.,(1998), “Reflections on the stability of a municipal sanitary landfill”

Önalp, A., Arel,E., Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği

Özaydın, K.,(2003), “İleri Zemin Mekaniği Yüksek Lisans Ders Notları”

Özaydın, K.,(2001), Zemin Mekaniği

Özaydın, K.,(2004) “Zeminlerin İyileştirilmesi Yüksek Lisans Ders Notları”

Sarsby, R.W.,(1993), “Waste Disposal by Landfill”

Yıldırım, M.,(2004), “Kaya Mekaniği Yüksek Lisans Ders Notları”

Yıldırım, M.,(2003), “Mühendislik Jeolojisi Yüksek Lisans Ders Notları”

Yıldırım, M.,Özaydın, K., Akgüner, C.,(1996), “Enviromental İmpact Assessment of Solid Waste Landfill Sites in İstanbul”

Yıldırım, M.,Özaydın, K., Akgüner, C.,(1995), “İstanbul İli, Avrupa Yakası Kemerburgaz Katı Atık Depolama Alanının Çevresel Etki Değerlendirmesi Açısından Jeolojik- Hidrojeolojik Koşulları”

Yıldırım, S.,(2004), “Geoteknik Mühendisliğinde Uygulamalar”

Yıldırım, S.,(2003), “Yüzeysel ve Derin Temeller Yüksek Lisans Ders Notları”

Yıldırım, S.,(2001), “Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı”

INTERNET KAYNAKLARI

[1]www.epa.gov/msw

[2]www.ace.mmu.ac.uk

[3]www.solid.gov.bb

EKLER

Duraylılık Analizleri ve Analizlerde Kullanılan Geometrik Kesitler

Sondaj Logları

Laboratuvar Deneyleri