

---

## YUMUŞAK ZEMİNLER ÜZERİNDE YAPI YAKLAŞIM DOLGULARININ DAVRANIŞI

### BEHAVIOUR OF STRUCTURE APPROACH EMBANKMENTS ON SOFT SUBSOILS

H. Turan Durgunoğlu<sup>(1)</sup>  
H. Fatih Kulaç<sup>(2)</sup>, Turhan Karadayılar<sup>(2)</sup>

---

#### ÖZET

*Yumuşak zemine oturan yapı yaklaşım dolguları ile derin temelli yapılar arasında zaman içerisinde oluşan farklı oturmalar otoyolların bakım giderlerini arttırmakta ve sürüş güvenliğini azaltmaktadır. (Tarsus-Pozantı)Ayr.-Adana-Toprakkale-Gaziantep (TAG) Otoyolu Km 125+600-Km128+500 arasında yer alan altgeçit ve köprü yaklaşım dolgularının bu bakımdan değerlendirilmesi, hesap yöntem/kriterleri ve proje kriterlerinin aletsel gözlem ile tahkik edilmesine ait bilgiler bu çalışma kapsamında sunulmuştur.*

#### ABSTRACT

*The time-dependent differential settlements of the structure approach embankments located onto soft subsoils with respect to the structures founded on deep foundations lead to higher road maintenance and lower driving safety. The relevant evaluations, method of analysis, design limitations applied for the structure approach embankments of the section between Km 125+600 and Km 128+500 of (Tarsus-Pozantı)Int.-Adana-Toprakkale-Gaziantep (TAG) Motorway and the monitoring of the design criteria are presented in this study.*

#### 1. GİRİŞ

Yapı yaklaşım dolgularının yüksek konsolidasyon oturması gösteren yumuşak zeminlere oturması halinde derin temeller üzerinde inşa edilen yapı ile yaklaşım dolguları arasında önemli bir farklı oturma olasıdır. Bu tür bir farklı oturma özellikle yüksek standartlı otoyollarda istenmeyen bir durumdur. Farklı oturma sonucunda otoyol üst yapısında ve kaplamasında zamanla tekrarlanan çatlaklar nedeniyle otoyol bakım ve onarım giderleri artacaktır. Ayrıca, yapı yaklaşımlarında ani kot değişimi nedeniyle sürüş emniyeti de azalacaktır. Bu çalışma kapsamında (Tarsus-Pozantı)Ayr.-Adana-Toprakkale-Gaziantep (TAG) Otoyolu dahilinde Ceyhan ovasına rastlayan Km 125+600-Km128+500 kesiminde kum dren uygulaması ile yapı yaklaşımlarında oturmaları düzenleyici ve önemli farklı oturmaları bir geçiş bölgesi oluşturarak karşılamaya yönelik projelendirme çalışmalarına değinilmiştir. Kum drenlerin sıkışabilir zemin tabakasının belirli bir derinliğine kadar sürmesi nedeniyle teorik olarak da özellik arzeden ve literatürde bilinen konsolidasyon zamanlaması abakları [1,3] ile çözülemeyen "kısmi boylu kum dren" probleminin sonlu farklar nümerik yöntemi ile çözümü çalışma kapsamında verilmiştir. Son olarak, bir gerçek uygulama ele alınarak arazide gerçekleştirilen aletsel gözlem ölçüm sonuçları değerlendirilmiş, proje kriterleri ve yaklaşımı sunulmuştur.

---

<sup>(1)</sup>Prof. Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul

<sup>(2)</sup>İnşaat Yüksek Mühendisi, ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., İstanbul

## 2. KONSOLİDASYON ZAMANLAMA HESAPLARI

### 2.1. Genel Teori ve Diferansiyel Denklemi

Düşey dren uygulaması halinde düşey ve yanal yönde zemin içerisinde suyun hareketi ve konsolidasyona yol açan boşluk suyu basıncı sönümlenmesi aşağıda verilen diferansiyel denklem ile tariflenebilir.

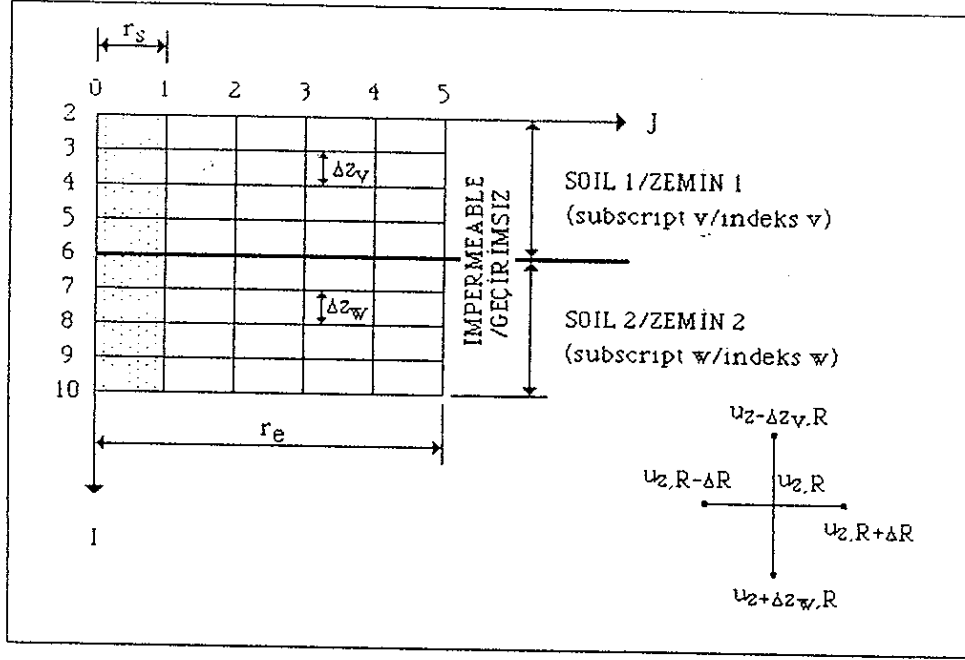
$$\frac{\partial u}{\partial t} - c_h \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right] + c_v \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (1)$$

Bu bağıntıda,  $u$  : boşluk suyu basıncı,  $t$  : zaman,  $c_h$  : yanal konsolidasyon katsayısı,  $c_v$  : düşey konsolidasyon katsayısı,  $z$  : düşey eksen,  $r$  : yanal (radyal) eksenidir.

Bu denklem, çeşitli kum dren konfigürasyonları (kum dren ara mesafesi ve  $n$ =kum dren ara mesafesi/kum dren çapı ile tariflenerek), değişik düşey ve yatay konsolidasyon katsayıları ve konsolidasyon zamanları ( $T_v$ ,  $T_h$  : zaman faktörleri ile tariflenerek) için çözümlenerek projelendirilmede kullanılmak üzere abaklar geliştirilmiştir [1,3]. Ancak, tüm bu çözümler, düşey drenlerin tüm sıkışabilir zemin tabakası derinliğince sürekli olduğunu kabul etmektedir. Düşey drenlerin, yapım sınırları ve ekonomik nedenlerden ve sıkışabilir zeminin çok kalın olmasından ötürü sıkışabilir zemin tabakasının sadece belirli bir derinliğine kadar yapılması çok sık rastlanan bir durumdur. Bu durum "kısmi boylu düşey dren - Partially penetrating vertical drain" olarak adlandırılmaktadır ve bilinen analitik bir çözümü yoktur.

### 2.2. Nümerik Çözüm

Kısmi boylu kum dren probleminin analitik çözümü olmaması ve değişken zemin tabakalarını, yükleme durumlarını vs modelleyebilmek amacıyla (1) no'lu diferansiyel denklem sonlu farklar nümerik yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Bu nümerik yöntemle ait açıklama bu çalışmanın sınırlı kapsamında verilmemiştir. Ancak, (1) no'lu diferansiyel denklemin sonlu farklar şeklinde açılımı Şekil 1'de sunulmuştur. Şekil 1'de verilen lineer denklemin yine aynı şekil üzerinde gösterilen sonlu farklar ağının her düğüm noktası için yazılması sonucunda elde edilen denklem ve sınır durumlarından (alt ve üst sınırlar, kum dren sınırı ve iki kum drenin orta noktası sınırı) gelen ek denklemlerden [2] elde edilen denklem takımının çözülmesi ile her düğüm noktasında çeşitli zaman değerlerinde boşluk suyu basıncının bulunması mümkündür. Bu tür bir yaklaşım ile düşey dren olmayan zemin tabakalarında yanal konsolidasyon katsayısı,  $c_h=0.0$  alınarak "kısmi boylu düşey dren" probleminin nümerik çözümü elde edilebilir. Şekil 1'de verilen ağın sık seçilmesi ( $\Delta z$ 'nin tüm zemin kalınlığına,  $\Delta r$ 'nin ise  $r_e$ 'ye oranla küçük olması) ve küçük zaman adımları ( $\Delta t$ ) seçilmesi daha hassas bir sonuç verecektir. Ancak, verilen açılım "implicit" sonlu farklar yöntemi kullanılarak elde edildiğinden zaman adımının tüm değerleri için sağlıklı sonuç elde edilecektir. Bu nedenle, zaman adımının seçiminde "explicit" yönteminin aksine özel bir özen gösterilmesi gerekli değildir.



$$U_{z-\Delta z_w,R,t+\Delta t} + \rho_A U_{z,R-\Delta R,t+\Delta t} + \rho_{BL} U_{z,R,t+\Delta t} + \rho_C U_{z,R+\Delta R,t+\Delta t} + \gamma U_{z+\Delta z_w,R,t+\Delta t} \\ = -U_{z-\Delta z_w,R,t} - \rho_A U_{z,R-\Delta R,t} + \rho_{BR} U_{z,R,t} - \rho_C U_{z,R+\Delta R,t} - \gamma U_{z+\Delta z_w,R,t}$$

$$\gamma = \frac{k_{z,w}}{k_{z,v}} \frac{\Delta z_v}{\Delta z_w}$$

$$A = -\frac{\alpha_R}{\alpha_z} \left( \frac{\Delta r}{2R} - 1 \right)$$

$$\alpha_R = \frac{c_R \Delta t}{(\Delta r)^2}$$

$$\rho_A = \frac{A_v + \gamma A_w}{2}$$

$$B_L = -\frac{2}{\alpha_z} (1 + \alpha_R + \alpha_z)$$

$$\alpha_z = \frac{c_v \Delta t}{(\Delta z)^2}$$

$$\rho_{BL} = \frac{B_{L,v} + \gamma B_{L,w}}{2}$$

$$B_R = -\frac{2}{\alpha_z} (1 - \alpha_R - \alpha_z)$$

$$\rho_{BR} = \frac{B_{R,v} + \gamma B_{R,w}}{2}$$

$$C = \frac{\alpha_R}{\alpha_z} \left( \frac{\Delta r}{2R} + 1 \right)$$

$$\rho_C = \frac{c_v + \gamma c_w}{2}$$

- $c_R$  yanıl konsolidasyon katsayısı/coefficient of horizontal consolidation  
 $c_v$  düşey konsolidasyon katsayısı/coefficient of vertical consolidation  
 $\Delta t$  zaman adımı/time step  
 $U$  boşluk suyu basıncı/pore water pressure  
 $r_e$  kum dren ara mesafesinin yarısı/half of sand drain spacing  
 $r_s$  kum dren yarıçapı/sand drain radius  
 $k$  permeabilite katsayısı/coefficient of permeability

ŞEKİL / FIGURE 1

DÜŞEY + YANAL KONSOLIDASYON SONLU FARKLAR NÜMERİK FORMÜLASYONU  
 FINITE DIFFERENCE NUMERICAL FORMULATION OF VERTICAL + RADIAL CONSOLIDATION

### **2.3 Bilgisayar Programı, CONS2**

Yukarıda 2.2 maddesinde tariflenen nümerik yöntemi kullanan bir bilgisayar programı (CONS2 [4]) geliştirilmiştir. Denklem takımının çözülmesinde iterasyon yöntemi kullanılmıştır. Bilgisayar programı ile değişik zemin tabakalarının, ilk boşluk suyu basıncı dağılımının, altta geçirgen veya geçirimsiz sınırların, değişik kum dren çap, ara mesafe ve boylarının modellenmesi mümkündür. Bilgisayar programı sonuç olarak, seçilen sonlu farklar ağının her bir düğüm noktasında boşluk suyu basıncı değerlerini ve ulaşılan yüzde konsolidasyon miktarını vermektedir.

### **3. YAPI YAKLAŞIM DOLGULARININ OTURMALARININ DÜZENLENMESİ**

Yukarıda özet ve giriş bölümlerinde belirtilen nedenlerden ötürü, yapı ile yaklaşım dolguları arasındaki farklı oturumaların düzenlenmesi ve sınırlandırılması gerekmektedir. Bu amaçla, yapının her iki tarafında kenar ayaklara oturan betonarme geçiş tabliyesi, dolgu taşıyıcı kazıklar ve düşey drenler ile ön oturtma uygulanabilecek yöntemlerden bazılarıdır. Bu çalışmada sadece düşey dren uygulamasına değinilmiştir.

Amaç, yapının her iki tarafında belirli bir geçiş bölgesi teşkil ederek bu bölgede ön oturtma yapılması ve böylece otoyol kaplaması yerleştirildikten sonra kalan oturumaların sınırlandırılmasıdır. Otoyol kaplamasının esneklik ve farklı oturmaya dayanabilme sınırı dikkate alınarak belirli bir maksimum eğim kriteri seçilmesi uygun olacaktır. Başka bir deyişle, otoyol kaplaması yerleştirildikten sonra kalan oturumalar yaklaşım dolgusu boyunca seçilen maksimum eğimden fazla farklı oturmaya yol açmamalıdır. Bu tür bir geçiş bölgesi yapıya yakın kesimde en çok, yapıdan uzaklaştıkça azalan bir şekilde ön oturtma yapılması ile temin edilebilir. Geçiş bölgesi için seçilecek maksimum eğim kriteri, kaplama cinsi, yolun önemi ve standartı, ekonomik tercihler vs hususlara bağlıdır. Ancak, 1/500 maksimum eğim kriteri otoyollar için uygun bir değerdir.

TAG Otoyolu Km 127+870'de projelendirilen altgeçit yapısının yaklaşım dolgularında oturumaların kum dren uygulanarak ön oturtma ile düzenlenmesine ait projelendirme çalışmaları müteakip bölümde sunulmuştur.

#### **3.1. TAG Otoyolu Km 127+870 Altgeçit Yapısı**

TAG Otoyolu Km125+600-Km128+500 arasında yer alan kesimde projelendirilen beş(5) adet menfez ve üç(3) adet altgeçit/köprü konumunda oturumaların sınırlandırılması ve dolgu stabilitesinin temini amacıyla bir seri kum dren projesi gerçekleştirilmiştir. Halihazırda kum dren imalatı tamamlanmış ve 1. kademe dolgusu (H=6.m) da büyük oranda bitirilmiştir. Dolgu yapımı ve kademeler arasındaki bekleme süresi boyunca, piezometrelerle boşluk suyu basıncı ve oturma kolon ve plakaları ile oturumaların gözlenmesi sürmektedir. Bu kesimde genel zemin koşulları ve kesim dahilinde yer alan üç(3) altgeçitten Km 127+870'de yer alan için yukarıda belirtilen prensipler doğrultusunda geliştirilen kum dren projesi müteakip bölümlerde sunulmuştur.

#### **3.2 Zemin Şartları**

TAG Otoyolu'nun Km 125+600 - Km 128+500 arasında kalan kesimi genelde benzer zemin şartları göstermektedir. Bu bölümde, üstte takriben 5.0m - 6.0m kalınlığında nispeten aşırı konsolide (OCR=4-8), daha az sıkışabilir orta katı-sert KİL mevcuttur. Altta takriben 45.0 m derinliğe kadar, normal-az aşırı konsolide (OCR=1-2), sıkışabilir yumuşak-orta katı plastik

(PI=%30) KİL vardır. Daha derin seviyelerde N/SPT > 30 olup sert KİL özelliği gösterdiğinden, toplam sıkışabilir zemin kalınlığı 45.0m olarak alınmıştır. Likit limit (LL), plastisite indisi (PI), aşırı konsolidasyon oranı (OCR), sıkışma (Cc) ve yeniden yükleme (Cr) katsayılarının derinlikle değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Tüm kesim boyunca yeraltı suyu, doğal zemin yüzeyinden itibaren 2.0m derinliktedir.

### **3.3. Projelendirme Yaklaşımı**

Şekil 3'de yapı ve yaklaşım dolgularının otoyol eksenini boyunca alınan profili sunulmuştur. Kum dren projesi yukarıda verilen 1/500 maksimum eğim kriteri ve Şekil 3 kullanılarak geliştirilmiştir. Azami ve müsaade edilen oturma değerleri ve gerekli konsolidasyon yüzdeleri Km 127+632 ila Km 128+100 kesimi dahilinde yer alan 17 değişik noktada (A ila R) hesaplanmıştır. Aşağıdaki hususlara değinilmelidir.

-Her bir noktada dolgu yüksekliği(H) dikkate alınarak azami oturma miktarı belirlenmiştir. Örneğin A noktasında H=7.2m dolgu yüksekliği için azami oturma, Sult=54.0cm'dir.

-1/500 maksimum eğim kriteri dikkate alınarak müsaade edilebilir oturma miktarları belirlenmiştir. Örneğin, E noktasında, Sall=12500cmx(1/500)=25.0cm'dir.

-Yaklaşım dolgusu dışında kalan dolgu kesiminde stabilite amacıyla uygulanan  $Sc^1 = 9.0$  m ara mesafeli, L= 15.0 m boyunda ve de=30.0cm çapında kum drenler çalışma süreleri boyunca, U= %23 konsolidasyonu sağlamaktadır. Bu nedenle, Şekil 3'de gösterilen A noktası (Km 127+632) öncesi ve R noktası (Km 128+100) sonrası kesimlerde U= %23 konsolidasyonu sağlayan bu genel uygulama geçerli olacaktır. Ancak, A ve R noktaları arasında kalan 468.0m boyunda bir kesim dahilinde özel kum dren projesi uygulanacaktır.

- $Ur = (Sult - Sall) / Sult$  bağıntısından gerekli konsolidasyon miktarları belirlenmiştir.

-Yukarıda belirtilen parametreler her bir nokta (A ila R) için Şekil 3 üzerinde tablo halinde sunulmuştur.

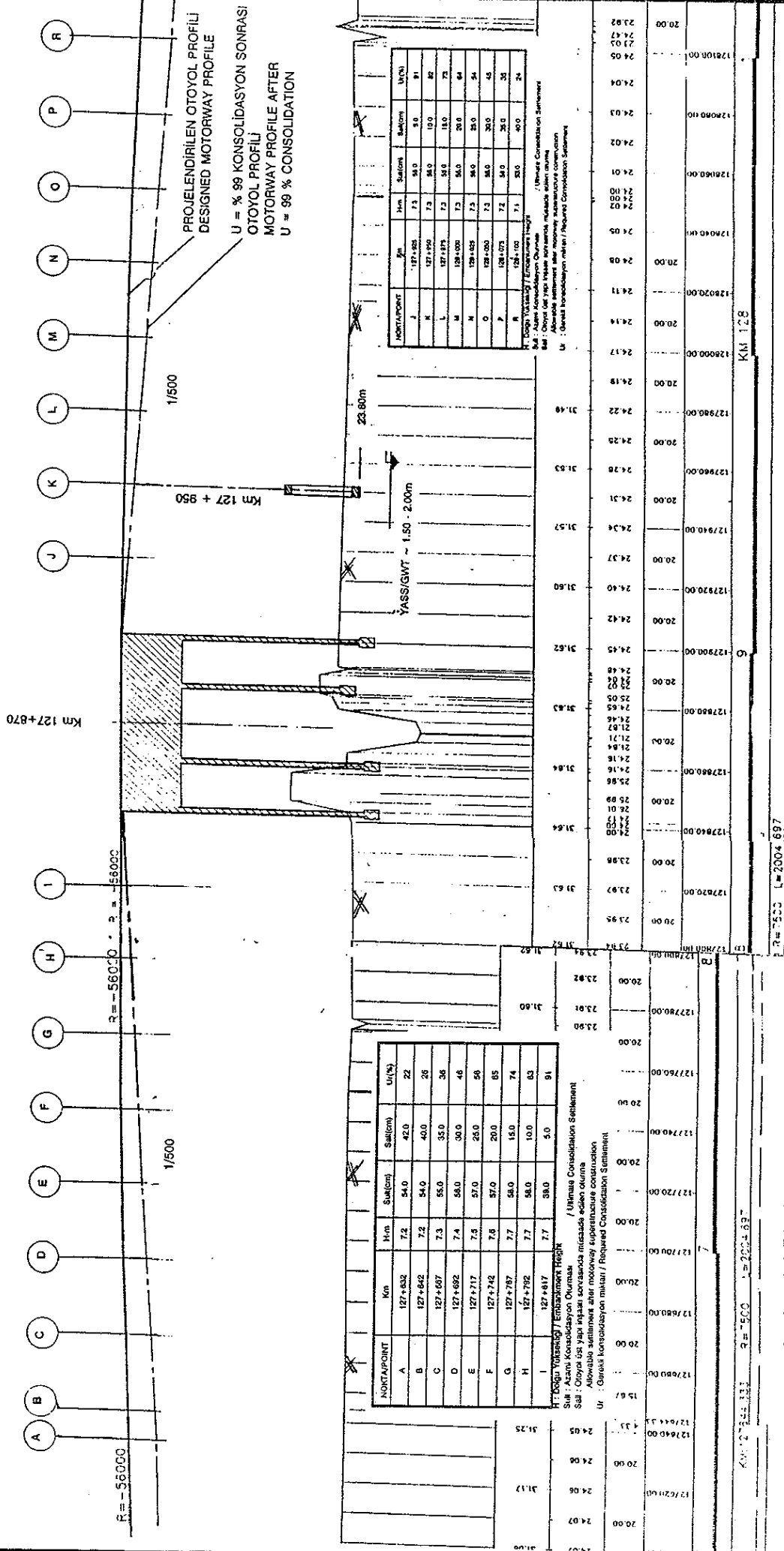
Gerekli konsolidasyon, Ur miktarı belirlendiği için bu konsolidasyonu sağlayacak kum dren projesi oluşturulabilir. Bu amaçla, 7 değişik kum dren konfigürasyonu için CONS2 bilgisayar programı kullanılarak konsolidasyon zamanlama analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kum dren konfigürasyonlarının temin ettiği, ulaşılan konsolidasyon yüzdeleri ile gerekli konsolidasyon yüzdeleri karşılaştırılarak uygulamaya yönelik kum dren projesi oluşturulmuştur. Şekil 4'de yapımda kullanılacak kum dren aplikasyon planı verilmiştir. Yapıya yakın kesimlerde çok uzaklaştıkça ise azalan bir-kum dren dağılımı olduğuna dikkat edilmelidir. Böylece, yapının her iki tarafında tüm yaklaşım dolgusunu oturtmak yerine belirli bir geçiş bölgesi oluşturularak projeye oldukça önemli bir ekonomi getirilmiştir.

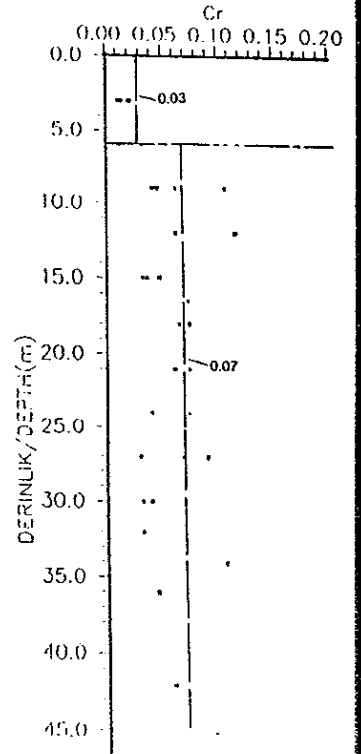
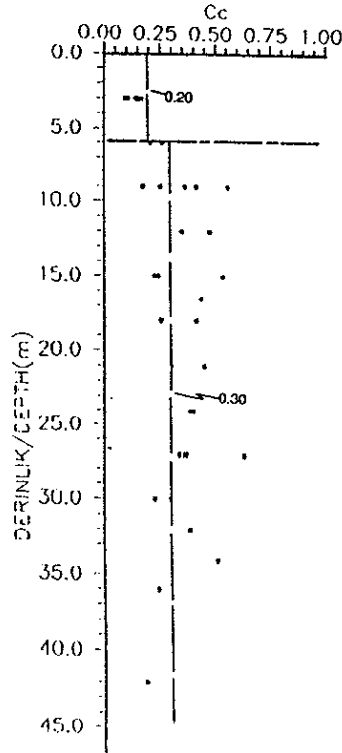
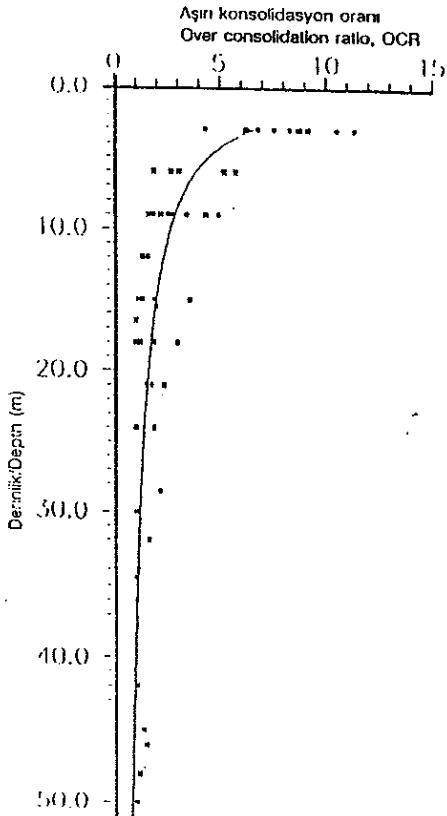
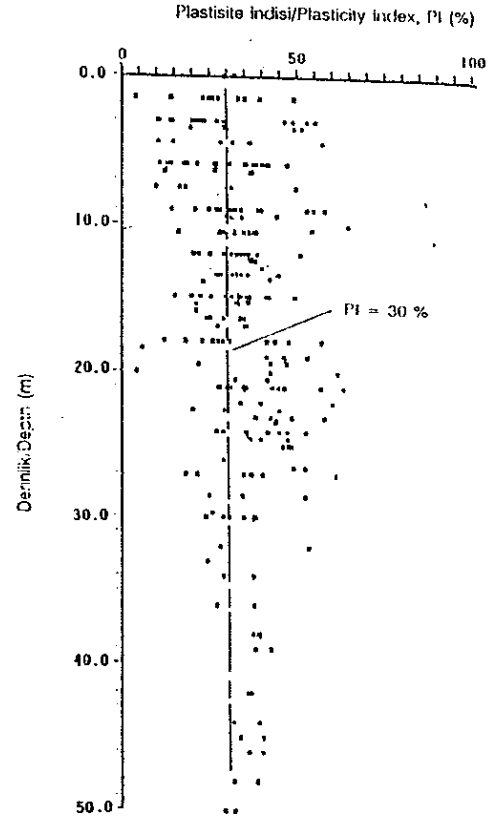
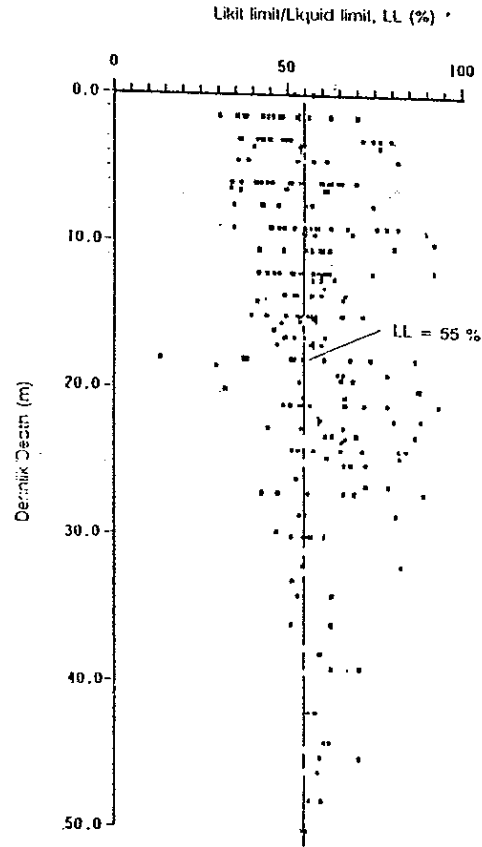
### **4. ALETSEL GÖZLEM**

TAG Otoyolu'nun Km 125+600-Km 128+500 arasında kalan ve dolgu taban stabilitesi ve oturmalar yönünden kum dren uygulaması gerektiren bu kesimde proje kabullerinin tahkik edilebilmesi amacıyla aletsel gözlem gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, dolgu yapımı ve bekleme süreleri boyunca Temmuz 1991 tarihinden itibaren piezometrelerle boşluk suyu basıncı ve oturma kolonları ile değişik seviyelerde oturma değerleri ölçümleri gerçekleştirilmektedir.

ŞEKİL / FIGURE 3

KUM DREN HESABINA ESAS OTOYOL PROFİLİ  
MOTORWAY PROFILE UTILIZED IN SAND DRAIN DESIGN



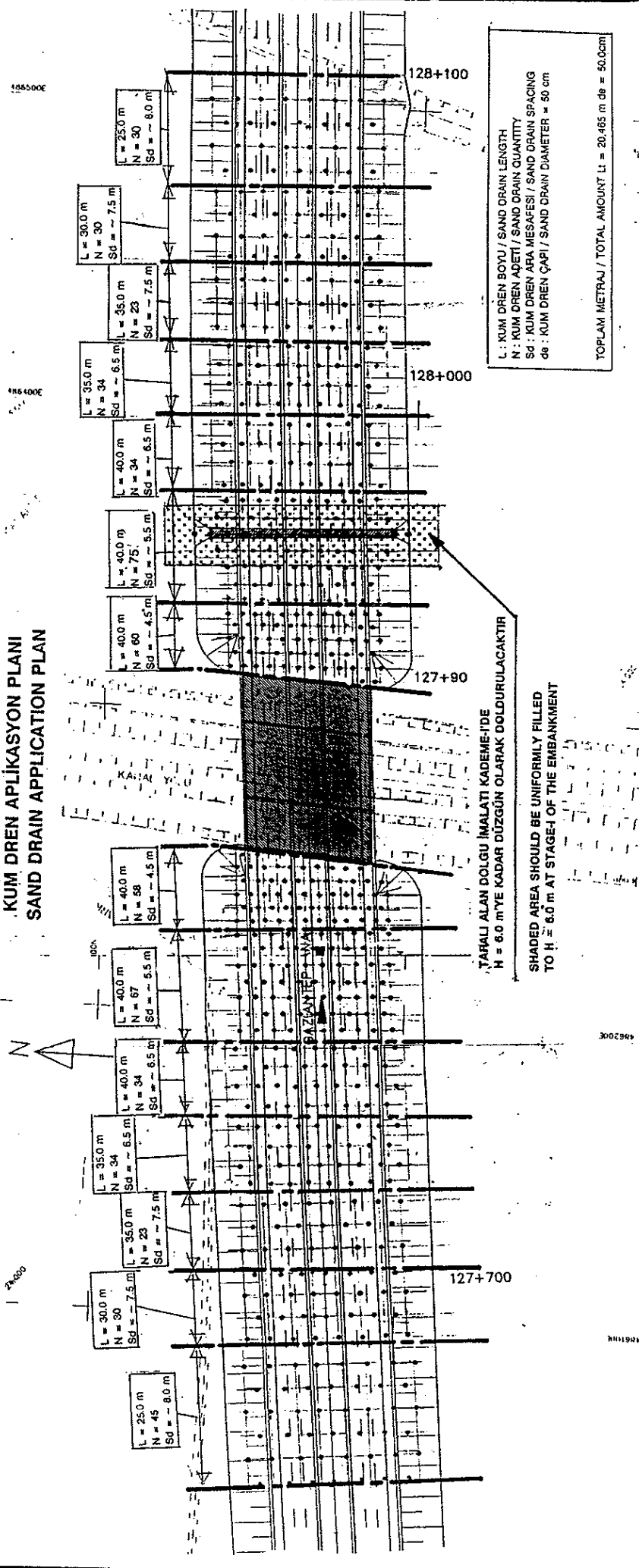


ŞEKİL / FIGURE 2

TAG OTOYOLU Km 125+600-Km 128+500 ZEMİN KOŞULLARI  
TAG MOTORWAY SUBSOIL CONDITIONS BETWEEN Km 125+600-Km 128+500

ŞEKİL / FIGURE 4

KUM DREN APLİKASYON PLANI  
SAND DRAIN APPLICATION PLAN



TARALI ALAN DOLGU İMALATI KADEME-İDE  
H = 6.0 m'YE KADAR DÜZGÜN OLARAK DOLDURULACAKTIR

SHADED AREA SHOULD BE UNIFORMLY FILLED  
TO H = 6.0 m AT STAGE-1 OF THE EMBANKMENT

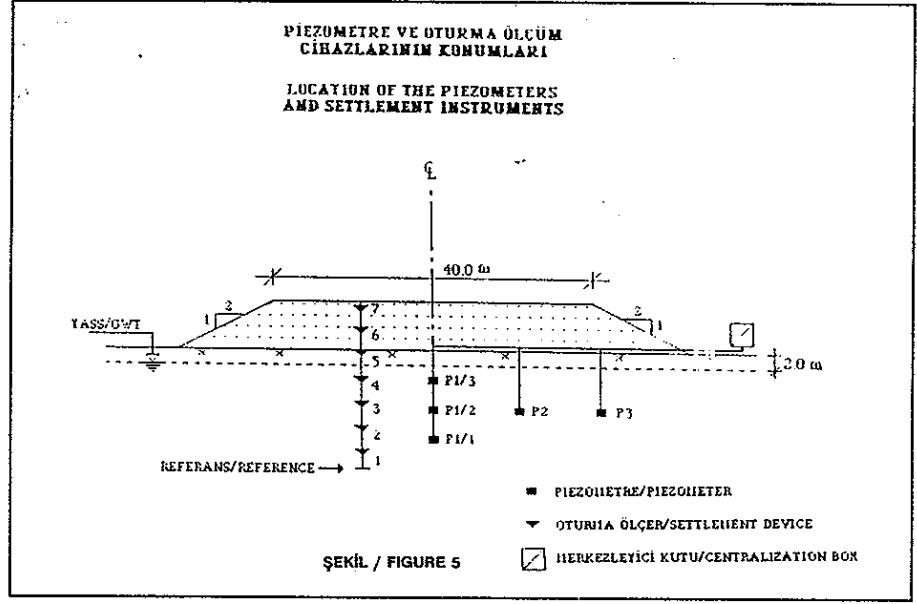
L : KUM DREN BOYU / SAND DRAIN LENGTH  
N : KUM DREN ADETI / SAND DRAIN QUANTITY  
Sd : KUM DREN ARA MESAFESİ / SAND DRAIN SPACING  
db : KUM DREN ÇAP / SAND DRAIN DIAMETER = 50 cm

TOPLAMİ METRAJ / TOTAL AMOUNT Lt = 20.465 m db = 50,0cm



#### 4.1. Ölçüm Aletleri ve Konumları

Dolgu altında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının maksimum değerinin ve zamanla sönümlenmesinin ölçülebilmesi amacıyla "vibrating wire" tipi piezometreler kullanılmıştır. Dolgu yükü altında, zemin içerisinde değişik seviyelerde oturma miktarlarının ve toplam oturmanın belirlenebilmesi amacıyla ise oturma



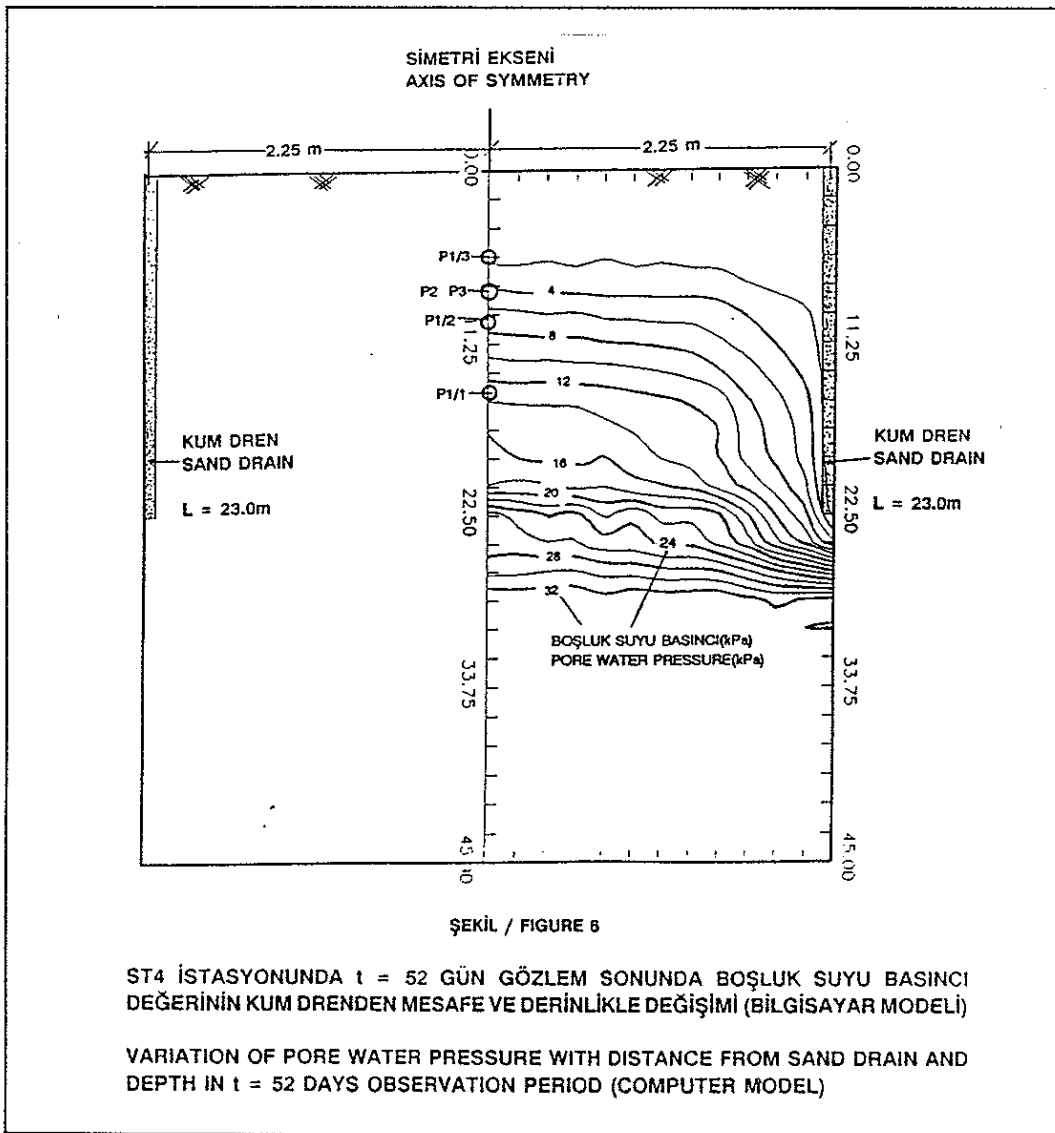
kolonları kullanılmıştır. Bu amaçla, 2.9 km uzunluğundaki kum dren uygulama kesiminde toplam 6 adet gözlem istasyonu teşkil edilmiştir. Her bir gözlem istasyonunda piezometre ve oturma kolonunun yerleşimi şematik olarak Şekil 5'de gösterilmiştir. Aletsel gözlem çalışmaları, Temmuz 1991'de başlatılmış olup her istasyonda farklı olmak üzere en çok 3 aylık bir süreye ait ölçüm sonuçları halihazırda (Kasım 1991) mevcuttur.

#### 4.2. Projelendirme Parametreleri

Dolgu altında, aşırı boşluk suyu basıncının tahmin edilmesi amacıyla Skempton [5] tarafından önerilen, boşluk suyu basıncı katsayısı, A ve konsolidasyon zamanlama analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan yanal konsolidasyon katsayısı,  $c_h$ , sırasıyla stabilite (efektif gerilme) ve oturma hesaplarında kullanılan iki temel parametre olarak aletsel gözlem ölçümlerinden elde edilen veriler ile tahkik edilmiştir. Ancak, bu çalışma kapsamında stabiliteye değinilmediğinden, ve oturma kolonlarından elde edilen mevcut veriler kısa bir süreyi kapsadığından sadece piezometre okumaları dikkate alınarak yanal konsolidasyon katsayısı,  $c_h$  ile ilgili değerlendirmeler verilmiştir.

Konsolidasyon zamanlama analizleri öncelikli olarak düşey ve yatay konsolidasyon katsayılarına bağlıdır. Düşey konsolidasyon katsayısı, konu kesimde çok sayıda odometre deneyine dayandırıldığından ve kum drenlerle konsolidasyon hesabında etkisi çok önemli olmadığından projelendirme aşamasında kabul edilen değer uygun olduğu kabul edilebilir. Ancak, projelendirme aşamasında yatay konsolidasyon katsayısı tahkik edilmek şartı ile takribi olarak  $c_h = 3c_v$  olarak seçilmiştir. "3" çarpanı tatbikatta ölçülen boşluk suyu basıncının zamanla sönümlenmesi dikkate alınarak tahkik edilebilir. Bu tür bir sönümlenme, 05/08/1991 ve 30/09/1991 tarihleri arasında  $t=7$  hafta süre boyunca boşluk suyu basıncı ölçümü yapılan ST4 (Km 126+650) istasyonunda gözlenebilmektedir. Bu değerlendirme için, 05/08/1991 tarihindeki ilk boşluk suyu basıncı değerleri bilgisayara (CONS2) yüklenerek ve  $c_h$ 'i  $c_v$ 'ye bağlayan çarpanın değişik değerleri için analiz yapılarak  $t=7$  haftalık gözlem süresi boyunca boşluk suyu basıncının sönümlenmesi modellenmiştir. Analizler, ST4 istasyonu konumunda,  $d_e=50.0$ cm çapında,

$L=23.0\text{m}$  boyunda ve  $S_d=4.5\text{ m}$  ara mesafeli kum drenlerin varlığı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da iki kum dren arasında radyal doğrultuda alınan bir kesit boyunca  $ch=2cv$  kabulü ile  $t=7$  hafta sonunda boşluk suyu basıncının değişimi gösterilmiştir. Piezometre seviyelerindeki aşırı boşluk suyu basıncı değerlerinin ST4 istasyonunda gerçekte ölçülen aşırı boşluk suyu basıncı değerleri ile mukayese edilmesi sonucunda model ile gözlemler arasında iyi bir uyum olduğunu göstermektedir. Örneğin P1/1 ve P1/2 no'lu piezometrelerde  $16.9\text{ kPa}$  ve  $7.4\text{ kPa}$  aşırı boşluk suyu basıncı ölçülmüştür. Bu seviyelerde bilgisayar modeli ise sırasıyla  $14.0\text{ kPa}$  ve  $7.0\text{ kPa}$  değerlerini vermiştir. Bu aşamada mevcut bilgilerle en azında ST4 istasyonu ile temsil edilen alan dahilinde  $ch=3cv$  kabulünden ziyade  $ch=2cv$  yaklaşımı daha uygun görünmektedir. Sonuç olarak, konsolidasyonun projede kabul edilenden bir miktar daha yavaş oluşmasının muhtemel olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle yapılan analizlerle ikinci kademe dolgu yapımının hızlandırılabileceği belirlenmiş ve böylece aletsel gözlem sonucu ölçülen boşluk suyu basıncı değerlerinden yararlanılarak yapım işlerinde zamanlama yönünden gerekli değişiklikler programlanmıştır [6].



## 5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, yapı yaklaşım dolguları ile yapı arasında oluşabilecek farklı oturmaların sınırlandırılması ve düzenlenmesine yönelik kum dren uygulaması ile ilgili proje kriteri ve hesap yöntemi verilmiştir. Bu amaçla, "kısmi boylu düşey dren" probleminin bilgisayar ile çözümüne yönelik bir nümerik yöntem tariflenmiştir. TAG Otoyolu Km 127+870'de yeralan altgeçit yapısı yaklaşım dolgusu için projelendirilen ve uygulanan bu tür bir proje de örnek olarak verilmiştir. Aletsel gözlemlene ile ilgili değerlendirmeler örnek bir istasyonda alınan ölçüm değerleri ile birlikte sunulmuştur. Sonuç olarak, kum drenlerin (genelde düşey drenlerin) yapı yaklaşım dolguları boyunca oturmaları düzenlemek amacıyla ekonomik bir şekilde uygulanabileceği ancak, kum dren projelerinde kabul edilen (seçilen) parametrelerin (özellikle  $ch$ ) mutlak suretle aletsel gözlem ile yapım esnasında tahkik edilmesi gerektiği vurgulanarak, ölçüm sonuçlarından yararlanmak suretiyle yapım iş programındaki değişikliklerin zamanında yapılabileceği ve ancak bu sayede inşaatın öngörülen tarihte tamamlanabileceği gösterilmiştir.

## TEŞEKKÜR

*Söz konusu kesime ait geoteknik uygulama projesi çalışmaları Tekfen Mühendislik proje grupları bünyesinde ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu kum drenler TREVI grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. Tüm proje çalışmaları boyunca devamlı koordinasyon ve işbirliğini gerçekleştiren, özellikle böyle bir uygulamada önerilen arazi ölçümlerinin gerçekleşmesini temin eden Tekfen-Impresit J.V. merkez ve şantiye grubu teknik elemanlarına ve kontrollük teşkilatı TEMAT-DAR-DMM'in proje grubu teknik elemanlarına teşekkür ederiz.*

## KAYNAKLAR

- [1] R.A. BARRON, "Consolidation of Fine Grain Soils by Drain Wells", ASCE Transactions, Vol. 113, 1948, pp.718-754
- [2] F.E. RICHART, "Review of the Theories for Sand Drains", ASCE Transactions, Vol.124, pp.709-739.
- [3] S.J. JOHNSON, "Foundation Precompression with Vertical Drains", ASCE, JSMFE, Vol. 96, 1970, pp. 145-175.
- [4] CONS2, ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., Bilgisayar Programları Kütüphanesi#0015.
- [5] SKEMPTON,A.W., "The Pore-Pressure Coefficients A and B," Geotechnique, Vol. IV, pp. 143-147, 1954
- [6] ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., "TAG Otoyolu Kesim - II Km 125+600-Km 128+500 Arası Kademeli Dolgu Yapımının Aletsel Gözlemi ve İlgili Değerlendirmeler", Kasım 1991