

Anadolu Otoyolu Kazancı-Gümüşova kesimi arasında yer alan zeminlerin konsolidasyon davranışı

Consolidation behaviour of soils on the Anatolian motorway between Kazancı-Gümüşova

1. Halil ZARİF İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Öz

Anadolu otoyolunun Kazancı-Gümüşova bölümünün 1 km'lik kesimi yumuşak alüvyal zemin üzerinde yer almaktadır. Temel zeminini oluşturan zayıf taşıma gücüne sahip alüvyonun konsolidasyon özelliklerinin bilinmesi; sanat yapılarının tip seçimi ve projelendirilmesi, ayrıca otoyol dolgusunun profile optimizasyonunun yapılması için gerekli görülmüştür.

Bu çalışmada ön projelendirme ve uygulama aşamalarında temel zemin üzerinde ayrıntılı arazi ve laboratuvar deneyleri güzergah boyunca jeomekanik parametrelerin değişimi ortaya konulmuştur. Jeomekanik parametrelerin değerlendirilmesi sonucu otoyolun bu kesimi dört as alana ayrılmıştır. Her as alan için oturma analizleri yapılmış ve bu analizlerden elde edilen sonuçlar, oturma plakaları yardımıyla belirlenen toplam oturma miktarları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Dolgu, konsolidasyon, oturma, otoyol.

Abstract

An 11 km long section of the Kazancı-Gümüşova Motorway is located on a soft alluvial soil. It is considered that determination of consolidation characteristics of the alluvium soil, forming the basal soil along the studied motorway route and having low bearing capacity, is essential for the selection and design of art structures and for the in-profile optimization of the motorway embankment.

In this study, data obtained from detailed in-situ and laboratory tests carried out on the basal soil at preliminary design and construction stages were evaluated. Based on the evaluated data, studied section of the motorway was divided into four sub-areas. Settlement analyses were carried out for each sub-areas, and the results of the analyses were compared to the amounts of total settlement monitored by settlement plates.

Key Words: Embankment, consolidation, settlement, motorway.

GİRİŞ

Anadolu otoyolunun (TEM) Kazancı-Gümüşova bölümü, toplam uzunluğu 840 kilometre olan Kapıkule-Ankara otoyolunun Sakarya il sınırları içindeki 37.5 kilometrelik kısmını oluşturur. Otoyol güzergahındaki zeminlerin jeoteknik açıdan incelenmesi sırasında Ak-yazı Ovası'nda kalan 11 kilometrelik bölümün yüksek su içeriğine sahip killi, siltli-killi alüvyal zemin olduğu belirlenmiştir. Otoyol dolgusunun fazla konsolidasyon oturması gösteren yumuşak, yumuşak-sert kıvamlı bir zemin üzerinde yer alması, dolgu miktarı ile orantılı olarak farklı oturmalara neden olacaktır. Oluşan deformasyonların üst yapıya doğrudan etkisi kaçınılmaz olacaktır. Oturma miktarının zararsız sınırlar içinde kalması istenir. Özellikle yüksek standartlı yollarda farklı oturmalar nedeniyle üst yapıya ait bakım ve onarım giderleri artacağı gibi, araç sürüş rahatlığı da azalacaktır.

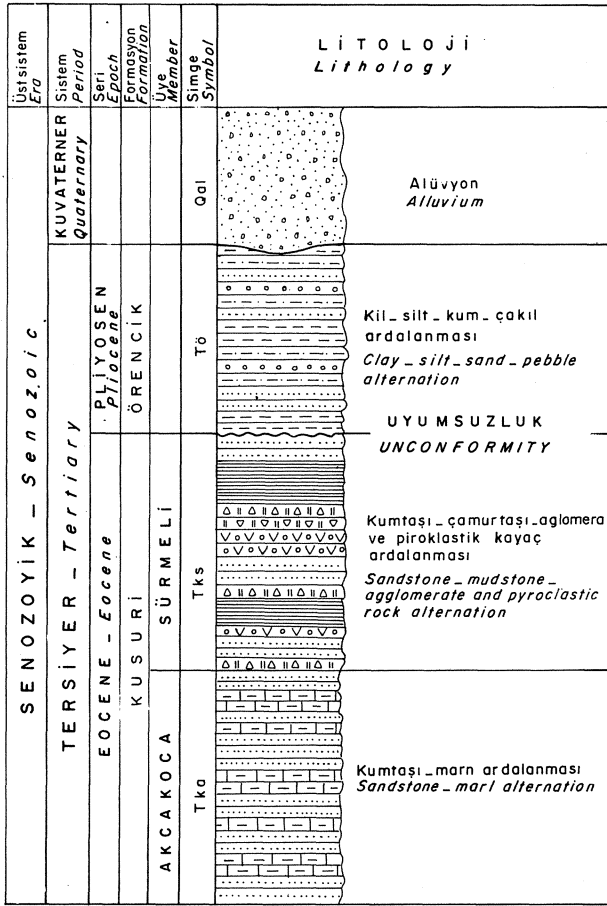
Zeminin uzun olan konsolidasyon süresini azaltıcı mühendislik çözümlerinin belirlenmesi ve yapım programında esneklik sağlanması, oturma miktarının büyüklük ve hızının tahmin edilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Konsolidasyonunu büyüklüğünün ve hızının belirlenmesi, dolgu hızının saptanması ve sanat yapılarının tasarım parametreleri için kritik bir faktör olmaktadır.

JEOLOJİ

Kazancı-Gümüşova otoyol güzergahındaki en yaşlı birim Eosen serisine ait Kusuri formasyonu'dur (Ketin, 1962). Kusuri formasyonu'nun Akçakoca üyesi filiş karakterinde olup, birbiriyle arakatlı kumtaşı ve marn seviyelerinden oluşmaktadır. Bu birim üste doğru volkanik kırıntı ve aglomeralar ile temsil edilen Sürmeli üyesine geçer. Kusuri formasyonu üzerinde diskordan olarak bulunan Pliyosen yaşlı karasal çökellerle karakterize olan Örencik formasyonu, az tutturulmuş siltli, kil, silt, killi kum ve çakıllardan oluşmaktadır. Bunların üstünde Kuvaterner yaşlı alüvyon bulunmaktadır. Alüvyonun bölgedeki yayılımı Mudurnu nehrinin taşkın ovası ile ilişkili olup, silt, kil, kum ve çakıl içerir. Alüvyon genellikle alttaki Örencik Formasyonunun flüvyal erozyonu ve çökmesi sonucunda meydana gelmiştir (Şekil 1).

ZEMİNİN GENEL KARAKTERİSTİKLERİ

Alüvyal ova boyunca, zemin düşey yönde belirgin ardalama göstermektedir. Bazı kesimlerde yüzeye yakın kum ve çakıl mercekleri gözlenmesine karşın, zemin 60 metreyi aşan siltli kil ve kil katmanlarından oluşur (Şekil 2). Zemin her yerde olmasa bile, üstten 1-2



Şekil 1. Otoyol güzergahının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (ölçeksiz) (Ketin, 1962'den).

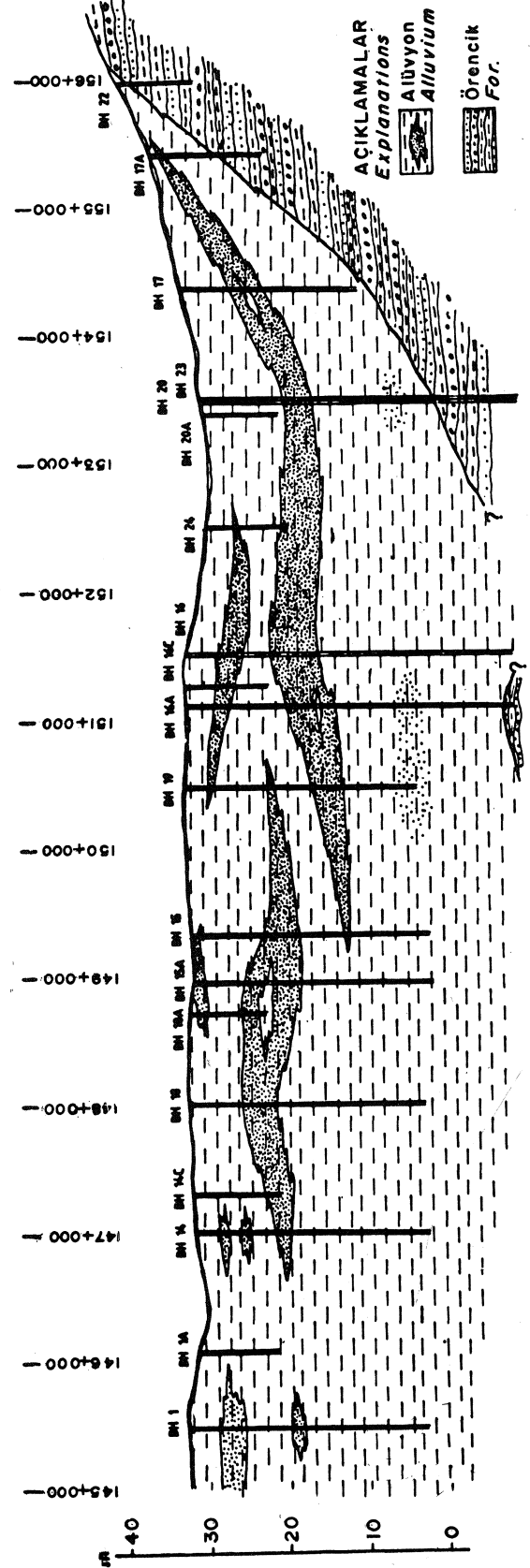
Figure 1. Generalized stratigraphic column of the studied motorway route (not to scale) (after Ketin, 1962).

metre sert bir kabuk şeklinde kurumuştur. Bu az-orta konsolide kabuk, genellikle otoyol güzergahının 150 + 000 km'sinden sonraki kilometrelerde gözlenmektedir. Ova-da az-orta kabuğun varlığı, yeraltısuyu seviyesinin sık sık alçalıp yükselmesi, buharlaşma ve ağaçların etkisi ile oluşan yapısal değişikliğe bağlanabilir. Bu seviyenin altında, zemin kıvam bakımından yumuşaktan, sert veya çok serte kadar değişkenlik gösterir (Zarif, 1991). Derinlikle sertliğin artması beklenirken kabuğun hemen altında yer yer yumuşak çökeller gözlenmektedir. Ancak, kaydedilen en geniş yumuşak çökel derinliği 8 metre civarındadır.

Alüvyonal ova boyunca yeraltısuyu, kurak yaz aylarında genellikle topoğrafik yüzeyin 2-4 metre altında

Şekil 2. Kazancı-Gümüşova otoyolu 145+000-156+000 km'ler arasının jeoloji enine kesiti.

Figure 2. Geological cross-section of the Kazancı-Gümüşova motorway between 145+000-156+000 km.



ANADOLU OTOYOLU

bulunurken, kış aylarında özellikle otoyolun 145+000 ile 150+000 kilometreleri arasında kalan kısımda topografya ve drenaj ağının zayıf olması nedeniyle bazı kesimlerde yüzey seviyesinin çok yakınına kadar yükselmektedir.

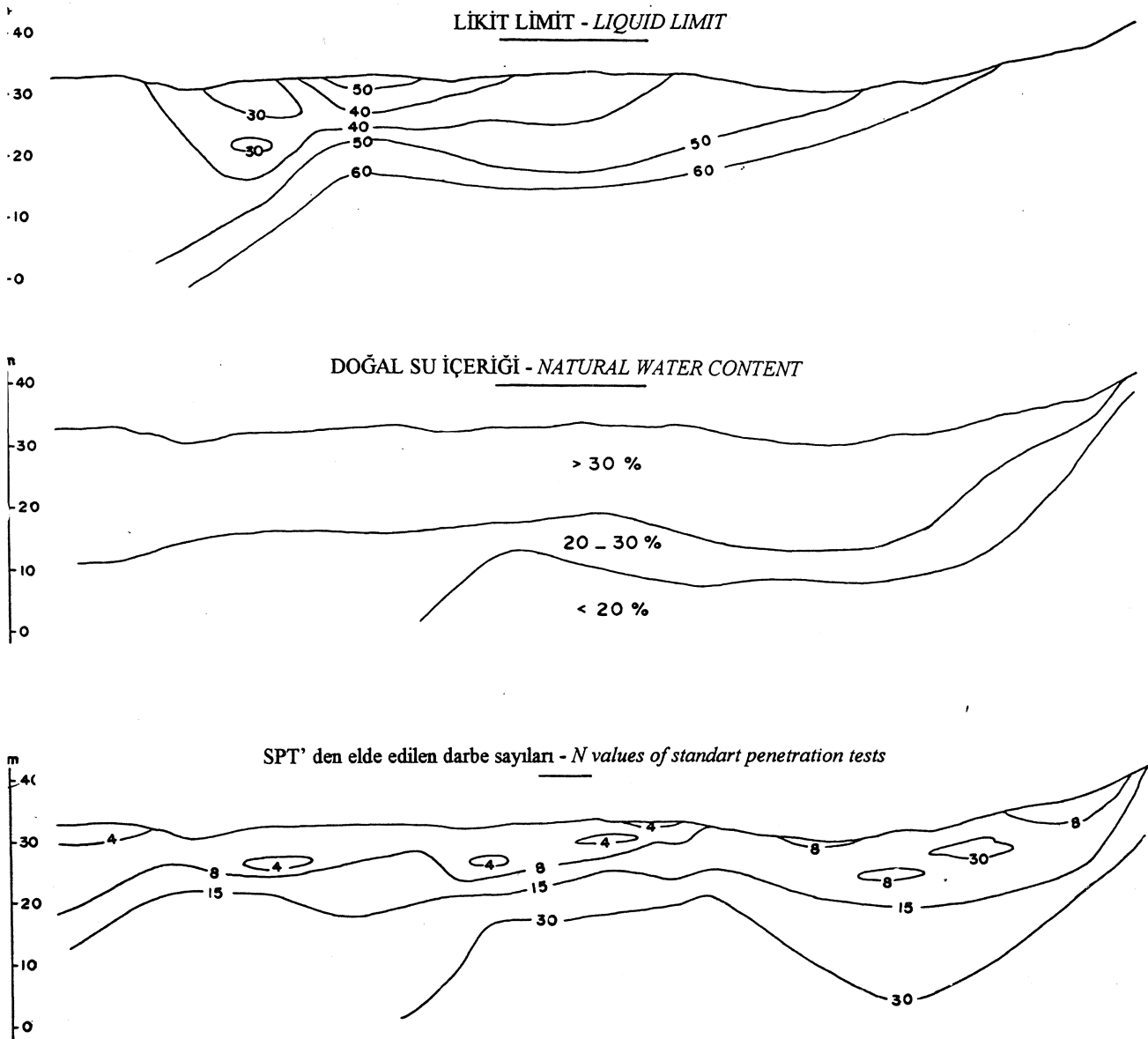
ZEMİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

İndeks özellikler

Otoyol güzergahının incelenen bölümü boyunca, yumuşak zemin değişimini belirlemek amacıyla ayrıntılı sondaj ve laboratuvar çalışmaları yapılmış ve jeoteknik özellikleri belirleyici veriler toplanmıştır. Güzergah

boyunca, zeminin su içeriği ve likit limiti gibi indeks özelliklerinin yanısıra, standart penetrasyon testlerine (SPT) ait darbe sayılarının (N) derinlikle değişimleri incelenmiş ve hazırlanan profillerde küçük değişimler gözardı edilerek genel zemin karakterinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır (Şekil 3).

Otoyolun 145+000 km'sinden 156+000 km'sine doğru, plastisitesi gittikçe artan killer bulunmaktadır. Likit limit profilleri, su içeriğinin yüksek olduğu 145+000 km ile 150+000 km'ler arasında zeminin ilk sekiz metresi doğal su içeriğinin likit limite yakın olduğunu göstermektedir. Bu belirleme, bu kesimdeki zayıf taşıma



Şekil 3. İnceleme alanındaki zeminlerin likit limit, su içeriği ve standart penetrasyon testi (SPT) darbe sayısına göre hazırlanmış jeoteknik profilleri.

Figure 3. Geotechnical profiles of the study area based on liquid limit, water content and number of blows from standart penetration tests.

gücüne sahip sedimanların varlığının bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Bu düşüncüyü Şekil 3'de gösterilen SPT deney sonuçlarının dağılımı da desteklemektedir.

Plastik limit değerleri otoyolun başlangıcında % 22-26 arasında iken 152+000'ci km'den sonra % 28-30'a yükselmektedir. İnce daneli zeminler Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması (USC) sistemine göre değerlendirilmiş % 38'si CL, % 26'sı CH, % 7'si ML, % 6'sı, MR % 17'si, CL-ML, % 6'sı CH-MH grubundan olduğu ve plastisite kabuğunda ise A çizgisinin üzerinde dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4). Otoyol güzergahı boyunca alınan örnekler üzerinde yapılan hidrometre deneyleri kil miktarının % 18 ile % 62 arasında değiştiğini göstermektedir. Killerin, Wan der Merwe (1964) sınıflamasına göre, düşük aktiviteli kil (Şekil 5), Means ve Parcher (1963) sınıflamasına göre % 32'sinin orta şişme potansiyeline, % 68'inin ise düşük şişme potansiyeline sahip olduğu görülmüştür (Şekil 6). Güzergah boyunca zeminin özgül ağırlığının 2.55-2.71 gr/cm³, birim hacim ağırlığının 1.60-2.24 gr/cm³, organik malzeme içeriğinin % 1-6 arasında değiştiği saptanmıştır.

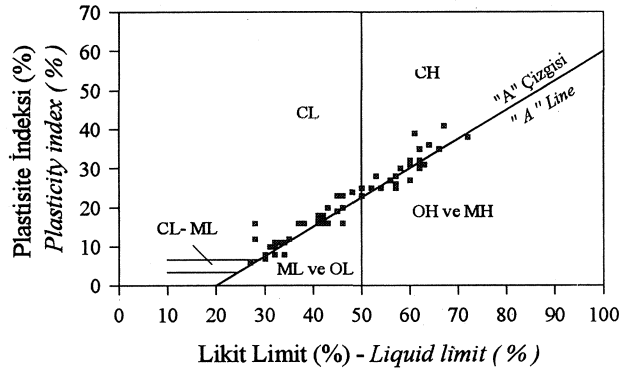
Makaslama Dayanımı ve Sıkışabilirlik karakteristikleri

İncelenen zeminin drenajsız makaslama dayanımı arazide kanatlı kesici aleti (vane shear tester) ile belirlenmiştir. Ayrıca köprü ve üst geçit temel araştırma sondajlarında yapılan standart penetrasyon testlerine (SPT) ait sonuçlarda kullanılarak drenajsız kayma dayanımına, Stround ve Butler (1975) tarafından geliştirilen;

$$C_u = A * N(SPT) \dots \dots \dots (1)$$

bağıntısı yardımıyla yaklaşımda bulunulmuştur.

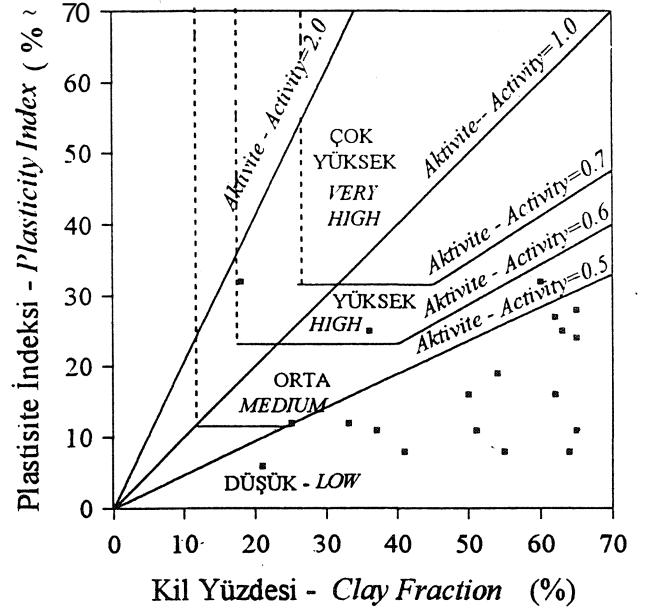
Düşey yönde çok farklı ardalanma gözlenen zemine ait deney sonuçlarında da geniş bir dağılım gözlenmek-



Şekil 4 İnceleme alanındaki ince daneli zeminlerin plastisite kartı üzerindeki dağılımı.

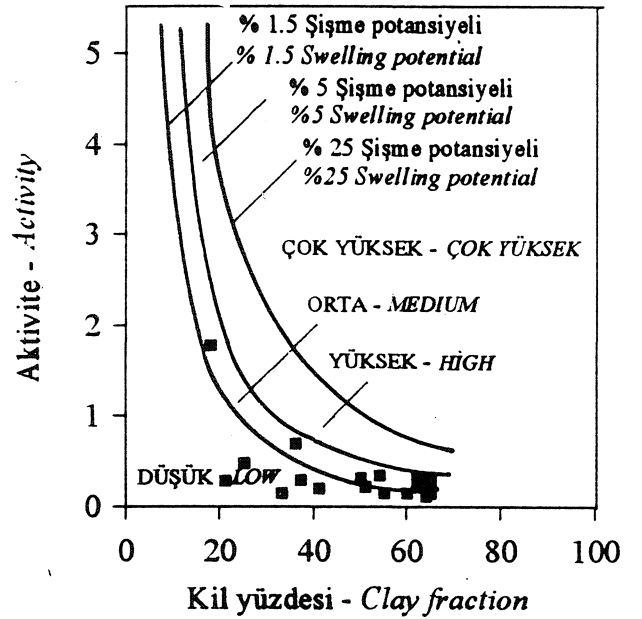
Figure 4. Distribution of the fine grained soils of the study area on the plasticity chart.

tedir. Ancak, derinlik arttıkça dayanımda artış eğilimi görülmektedir. Deney sonuçlarında gözlenen bu dağılımın en aza indirilip seçilecek parametrelerin deney ala-



Şekil 5. İnceleme alanındaki zeminlerin Van der Merwe (1964) tarafından önerilen aktivite abağı üzerindeki dağılımı.

Figure 5. Distribution of the soils of the study area on the activity chart proposed by Van der Merwe (1964).



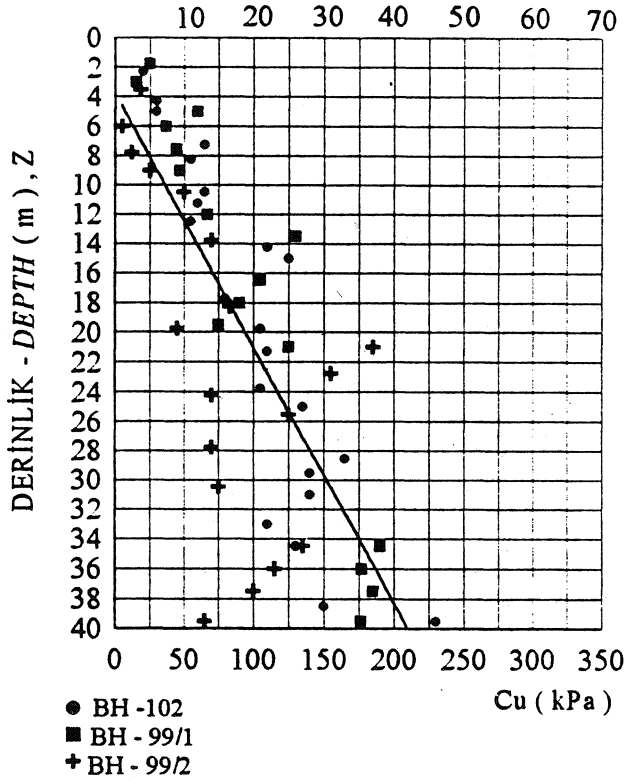
Şekil 6 İnceleme alanındaki zeminlerin şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımı.

Figure 6. Distribution of the soils of the study area on the swelling potential chart.

nını en iyi temsil etmesi tasarım aşamasında beklenir. Bedilismo köprüsü için yapılan SPT'ne ilişkin sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. deney sonuçlarından da gözleneceği gibi,

$$C_u = 5 * N \text{ (SPT)} \dots \dots \dots (2)$$

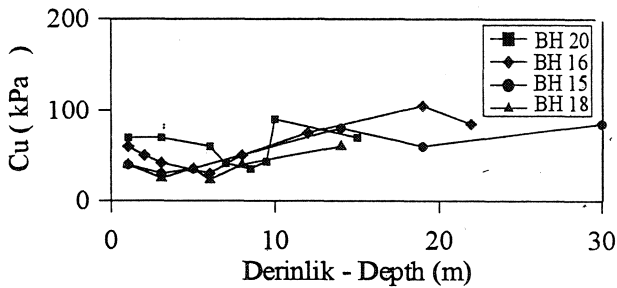
bağıntısını $r=0.78$ korelasyon katsayısını vermektedir.
SPT



$$C_u = 4Z, r = 0.78$$

Şekil 7. Bedilismo köprüsü için yapılan sondajda drenajsız makaslama dayanımının (C_u) derinlikle değişimi (r: korelasyon katsayısı).

Figure 7. Variation of undrained shear strength (C_u) with depth in boreholes carried of for the Bedilismo bridge (r: coefficient of correlation).



Şekil 8. 145+000-152+000 km'er arasında drenajsız makaslama dayanımı (C_u)'nun derinlikle değişimi.

Figure 8. Variation of undrained shear strength (C_u) with depth between 145+000 and 152+000 km.

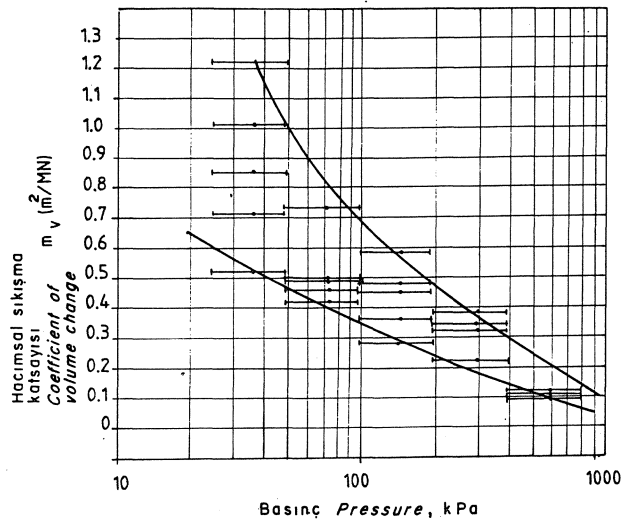
Yapılan tahminlerde aynı doğrultuda olmasına karşın örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan test sonuçları, kütsel dayanımın olduğundan büyük tahmin edilmesine neden olduğunu göstermiştir. Bu gözlem sonucunda, Bedilismo köprüsü (km 145+290) için ortalamasının altında bir eşitlik olan;

$$C_u = 4Z \dots \dots \dots (3)$$

bağıntısı kabul edilmiştir.

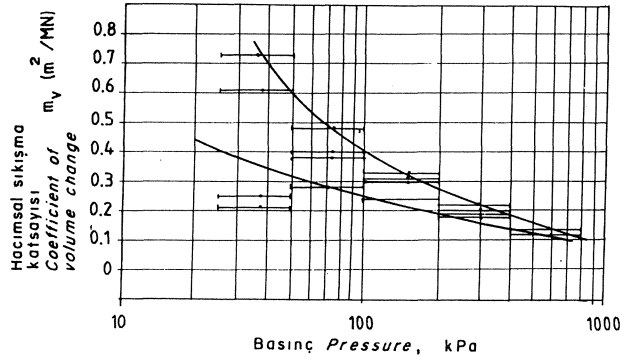
Otoyolun özellikle 150+000- 156+000 km'ler arasındaki zeminin yüzeye yakın kısmı yüksek makaslama dayanımına sahiptir (Çizelge 1). Aynı kesimde yüzeyin hemen altında dayanım düşmesi çok az miktarda olmaktadır ve derinlikle dayanım artma eğilimindedir. Güzergahta genel olarak yüzeyin 2-4 m, altından itibaren sekizinci metreye kadar dayanım, 25-48 kN/m^2 değerleri arasındadır. Bu derinlikten sonra 25'inci metreye kadar ortalama 44-90 kN/m^2 'dir (Şekil 8).

Güzergahın genel sıkışabilirlik karakterini belirlemek için zemin örnekleri öncelikle kıvam özellikleri esas alınarak gruplandırılmıştır. Daha sonra yumuşak, sıkı ve sert kıvamdaki örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan odometre (konsolidasyon) deneylerinden bulunun sıkışabilirlik oranları Şekil 9,10 ve 11'de gösterilmiştir. Sert kıvamdaki zemin grafiğinin üst sınırlarının yoruma açık olması, örnek alma ile deney aşamaları arasında gelişen şişmenin veya örnek tamamen doygun halde değilken deney yapılmasının bir sonucu olabilir (Şekil 11). Oturma hesaplan yapılırken bu olasılıklar dikkate alınarak alt sınırlara yakın bir hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) değerinin kabul edilmesi gerek-



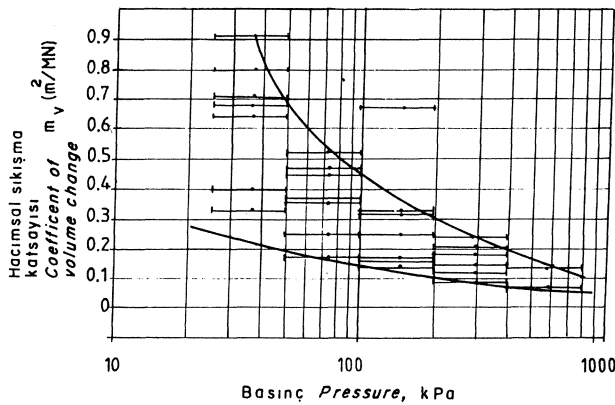
Şekil 9. Yumuşak alüvyonda hacimsel sıkışma katsayısının (m_v) uygulanan basınçla değişimi.

Figure 9. Variation of coefficient of volume change (m_v) with applied pressure in soft alluvium.



Şekil 10. Sıkı alüvyonda hacimsel sıkışma katsayısının (m_v) uygulanan basınçla değişimi.

Figure 10. Variation of coefficient of volume change (m_v) with applied pressure in stiff alluvium.



Şekil 11. Sert alüvyonda hacimsel sıkışma katsayısının (m_v) uygulanan basınçla değişimi.

Figure 11. Variation of coefficient of volume change (m_v) with applied pressure in hard alluvium.

mektedir. Şekil 9, 10, 11'de P_0 'dan P_0+100 kPa basınç sınırında sıkışabilirlik katsayısı sırasıyla; yumuşak kıvamlı zeminde $0.5 \text{ nr}^2/\text{MN}$, katı kıvamlı zeminde $0.3 \text{ m}^2/\text{MN}$, sert kıvamlı zeminde $0.15 \text{ nr}^2/\text{MN}$ bulunmuştur.

Drenaj Yolu Uzunluğu

Oturmanın hızını ve buna bağlı konsolidasyon süresini belirlemede kritik parametrelerden biri oturma katmanındaki drenaj yolu uzunluğudur. İnceleme alanında drenaj yolu uzunluğu tespit etmek için zemin araştırma sondajlarından alınan bozulmamış örnekler incelenmiş ve drenaj yolunun 1.7 ile 5 metre arasında değiştiği saptanmıştır. Drenaj yolu uzunluklarının otoyol güzergahında değişken olmasına karşın, en iyi 3.5 metre gibi bir değerle temsil edilmektedir.

OTURMA

Yumuşak kıvamlı zeminler üzerinde yer alan otoyollarda dolgu yükü altında oluşacak oturmaların analizi, zemin koşullarındaki değişimin belirlenmesi ile yapılmaktadır. Bu araştırmada da zemin koşullarındaki değişimin ortaya çıkarılması için ön proje aşamasından itibaren ayrıntılı arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen parametreler, yardımıyla otoyolun 145+000-154+000 kilometreleri arasında kalan 9 km'lik kısmı 4 as alana ayrılmıştır (Zarif, 1991). Planda değişimi as alanlarla sınırlandırılan zeminin her as alan için jeoteknik parametreleri, oturma analizlerinin yapılması amacıyla derlenmiştir (Çizelge 1). Yapılan ön oturma analizlerinde oturmanın % 90- 98'nin 30 metrelik zemin diliminde oluşacağı hesaplandığından, her as alanın 30 metrelik zemin dilimindeki jeoteknik parametre değişimleri belirlenmiştir (Çizelge 1).

Güzergah boyunca konsolidasyon katsayısının (C_v) $0.4-9.6 \text{ m}^2/\text{yıl}$ değerleri arasında değişmesine karşın, deney sonuçlarının büyük bir kısmının $2.5-5 \text{ m}^2/\text{yıl}$ arasında kaldığı görülmüştür. Sınırlı alanlar üzerinde inşa edilecek sanat yapıları için deney sonuçları ile zemin koşulları birlikte değerlendirilmiş, yer yer $C_v=5.0 \text{ m}^2/\text{yıl}$ değeri kullanılmıştır. Sıkışma indeksi C_c ise $0.18-0.37$ değerleri arasında değişmekte olup (Çizelge 1), değerlerin büyüklüğü ile oturma miktarı doğru orantılıdır.

Prekonsolidasyon (ön yükleme) basıncı (P_c) inceleme alanının 145+000-150+000 kmleri arasında kalan kısmında örtü yüküne (P_0) eşit olduğundan zemin normal konsolide karakterindedir. 150+000-154+000 km'ler arasında ise, zeminin üsteki 1-2.5 metrelik kısmında prekonsolidasyon basıncı (P_c), örtü yükünden (P_0) büyük olduğundan, malzemenin az-orta derecede aşırı konsolide olduğu görülmektedir. Bu sonuçlarla birlikte diğer veriler değerlendirildiğinde, 145+000-150+000 kilometreler arasında oturmanın büyüklüğünün daha yüksek, konsolidasyon hızının da belirgin bir şekilde daha düşük olacağı görülmektedir. Elde edilen veriler (Çizelge 1) esas alınarak yapılan oturma analizlerinin sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. inceleme alanındaki as alanları temsil eden zeminlerin jeomekanik parametreleri ve zemin sınıflaması.

Table 1. Geomechanical parameters of soils representing sub-areas of the investigated area and soil classification.

SPT: SPT testine ait darbe sayısı (no. of blows from SPT); Wn: Su içeriği (Water Content); PL: Plastik limit (Plastic limit); LL: Likit limit (Liquid limit); γ_s : Birim ağırlık (Unit weight); C_c : Sıkışma indeksi (Compression index); e_0 : Boşluk oranı (Void ratio); C_u : Drenajsız makaslama dayanımı (Undrained shear strength); θ : içsel sürtünme açısı (Internal friction angle); PP: El penetrometresi (Hand penetrometer); HV: El vane (Hand vane).

As alan 1 (Sub-area 1) :

145+000 -147+500 km

	DERİNLİK (Depth) (m)	SPT (N)	W _n (%)	PL (%)	LL (%)	γ _b kN/m ³	C _c	e _o	C _u kN/m ²	φ (°)	PP kN/m ²	HV kN/m ²	BİRLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SINIF. UNIFIED SOIL CLASS.	ZEMİN TANIMI SOIL DESCRIPTION
1. Katman (Layer 1)	0-2	8	25	22	33	18.5	0.33	1.04			66	48	CL	Kahverengi siltli kil Brown silty clay
2. Katman (Layer 2)	2-8	9	32	23	37	17.8	0.37	1.00			50	44	SC-CL	Gri siltli kum ve siltli kil Gray silty sand and silty clay
3. Katman (Layer 3)	8-15	16	32	24	48	19.1	0.34	0.85			76	44	CL	Gri siltli kumlu kil Gray silty sandy clay
4. Katman (Layer 4)	15-19	22	32	25	46	20.8	0.33	0.70			106	70	CL	Gri siltli kil Gray silty clay
5. Katman (Layer 5)	19-30	22	38	25	45	22.4	0.37	0.65			90	64	CL	Gri kumlu siltli kil Gray sandy silty clay

As alan 2 (Sub-area 2) :

147+000 - 150+000 km

	DERİNLİK (Depth) (m)	SPT (N)	W _n (%)	PL (%)	LL (%)	γ _b kN/m ³	C _c	e _o	C _u kN/m ²	φ (°)	PP kN/m ²	HV kN/m ²	BİRLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SINIF. UNIFIED SOIL CLASS.	ZEMİN TANIMI SOIL DESCRIPTION
1. Katman (Layer 1)	0-4	8	37			18.0	0.27	1.02	35	0	55	25	CL	Kahverengi siltli kil Brown silty clay
2. Katman (Layer 2)	4-10	13	38			17.8	0.29	0.90	55	0	65	30	CL	Gri siltli kil Gray silty clay
3. Katman (Layer 3)	10-22	22	36			20.2	0.31	0.80	63	0	101	65	SC-CL	Gri siltli kil ve kum Gray silty clay and sand
4. Katman (Layer 4)	22-30	24	36			20.8	0.29	0.75			105	80	CL-CH	Gri siltli kil Gray silty clay

As alan 3 (Sub-area 3)

150+000 - 152+000 km

	DERİNLİK (Depth) (m)	SPT (N)	W _n (%)	PL (%)	LL (%)	γ _b kN/m ³	C _c	e _o	C _u kN/m ²	φ (°)	PP kN/m ²	HV kN/m ²	BİRLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SINIF. UNIFIED SOIL CLASS.	ZEMİN TANIMI SOIL DESCRIPTION
1. Katman (Layer 1)	0-2	14	30	22	35	16.0	0.25	1.05	66	5	78	56	CL	Kahverengi siltli kil Brown silty clay
2. Katman (Layer 2)	2-6	13	35	23	40	19.3	0.27	0.80	70	0	72	39	CH-SC	Gri kumlu silt ve kil Gray sandy silt and clay
3. Katman (Layer 3)	6-15	22	32	25	43	18.7	0.24	0.75			82	45	CL-ML	Gri siltli kil ve silt Gray silty clay and silt
4. Katman (Layer 4)	15-30	32	33	26	50	20.7	0.24	0.72			94		MH	Gri kumlu kil ve silt Gray sandy clay and silt

As alan 4 (Sub-area 4)

52+000 - 154+000 km

	DERİNLİK (Depth) (m)	SPT (N)	W _n (%)	PL (%)	LL (%)	γ _b kN/m ³	C _c	e _o	C _u kN/m ²	φ (°)	PP kN/m ²	HV kN/m ²	BİRLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SINIF. UNIFIED SOIL CLASS.	ZEMİN TANIMI SOIL DESCRIPTION
1. Katman (Layer 1)	0-2.5	20	28	30	64	17.4	0.18	0.83			108	72	CH	Kahverengi siltli kil Brown silty clay
2. Katman (Layer 2)	2.5-7.5	12	28	28	58	17.6	0.27	1.05	50	10	66	54	CH-SC	Gri kil ve siltli kum Gray clay and silty sand
3. Katman (Layer 3)	7.5-14	25	34	28	60	17.9	0.26	0.96	75	5	98	62	CH-CL	Gri kumlu siltli kil Gray sandy silty clay
4. Katman (Layer 4)	14-20	29	37	28	64	18.4	0.25	0.85			102		CH	Gri siltli kil Gray silty clay
5. Katman (Layer 5)	20-30	33	25	28	57	19.1	0.22	0.65					CH	Gri siltli kil Gray silty clay

Çizelge 2. Güzerghah boyunca beklenen oturma miktarları.
Table 2. Amounts of expected settlement along the route.

Kilometreler Kilometers	Beklenen Oturma Miktarları (%) Amounts of expected settlement
145+000 - 147+500	9 - 12
144+500 - 150+000	7 - 11
150+000 - 152+000	4 - 7
152+000 - 154+000	4 - 6

Otoyol dolgusu tamamlandıktan sonra, üst yapı inşasına başlanabilmesi için oturma miktarının yeterli düzeye ulaşması gerekmektedir. Bu iki inşaa aşaması arasındaki zaman dilimi bekleme süresi olarak adlandırılmaktadır. Bekleme süresinin uzunluğu, yapım süresini ve inşaat programını belirleyeceğinden, üst yapı inşaatına başlamak için en uygun zaman, sanat yapıları ile otoyol dolgusunun tamamlanması işleminin aynı süreye getirilmesi ile sağlanabilir. İnşaat süresince bu optimizasyona gidilerek makina parkının ve iş gücünün verimli kullanılması sağlanmış olacaktır. Otoyolda yaklaşık iki yıla ulaşan bekleme süresi dikkate alınarak, aşırı yüklenme (sürşarj) uygulanmış ve üst yapı inşaatına başlamak için gereken bekleme süresi azaltılmıştır. Güzerghahın 145+000-150+000 km'ler arasında kalan kesiminde oturma büyüklüğü yüksek ve konsolidasyon hızının düşük olması nedeniyle aşırı yüklenme (sürşarj) uygulanmasının bekleme süresine etkisi araştırılmıştır (Çizelge 3). Özellikle altgeçit yapısı ve yapılaraya yaklaşım dolgularında % 50 uygulanarak sürşarj zaman açısından olumsuzluklar giderilmiştir. Dolgu yapımında ise 1 ile 3 ay arasında daha fazla bekleme süresi gerektiren % 25 aşırı yüklenme seçilmiştir. Bu aşırı yüklenme seçeneği, bekleme süresini % 38-40 azaltacaktır. Ekonomik olan bu aşırı yüklenme miktarı, ayrıca % 50 aşırı yüklenme ile yapılan sanat yapılarının yapım süreleri ile dolgunun konsolidasyon süresini aynı zaman dilimine getirmesi ile önem kazanmıştır.

Yapım aşamasında güzerghah boyunca değişkenlik gösteren zemindeki oturma miktarının büyüklüğünün ve hızının denetimi, oturma plakaları yardımıyla yapılmıştır. Ölçülen toplam oturma miktarları (Şekil 12), hesaplanan oturma miktarlarını destekler durumdadır. Şekil 12'de görüldüğü gibi, otoyolun ilk 5 kilometresinde dol-

Çizelge 3. Dolgunun tamamlanması ile üst yapı inşaa arasındaki bekleme süresi.

Table 3. Waiting period between completion of embankment and upper construction.

Dolgu yüksekliği Height of embankment (m)	Bekleme süresi Waiting period (ay/month)	Sürşarj (% 25) Surcharge (% 25) (ay/month)	Sürşarj (% 50) Surcharge (% 50) (ay/month)
5	16	-	-
4	13	8	-
3	11	6.5	4.5
2	6	3.5	2.5

gu yüksekliğinin % 10'u kadar oturma miktarının beklenen sürede gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 12 a, b). Ayrıca otoyolun ilerleyen kilometrelerinde oturma miktarları ve bekleme sürelerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Otoyolun başlangıcında 3 metre yüksekliğinde bir dolgunun bekleme süresi bir yıla yakın iken (Şekil 12 a), aynı yükseklikteki dolgunun bekleme süresi ilerleyen kilometrelerde azalmakta ve 156+000 kilometre civarında 5 aya inmektedir (Şekil 12 d). Bu da alüvyonun kalınlığının azalmasının yanı sıra, yeraltı suyu seviyesinin daha derin kotlarda bulunuyor olması ve zeminin üst seviyelerindeki 1-2.5 metrelik az-orta konsolide kabuk kısmından kaynaklanmaktadır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Kazancı-Gümüşova otoyol güzerghahında yapılan araştırmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

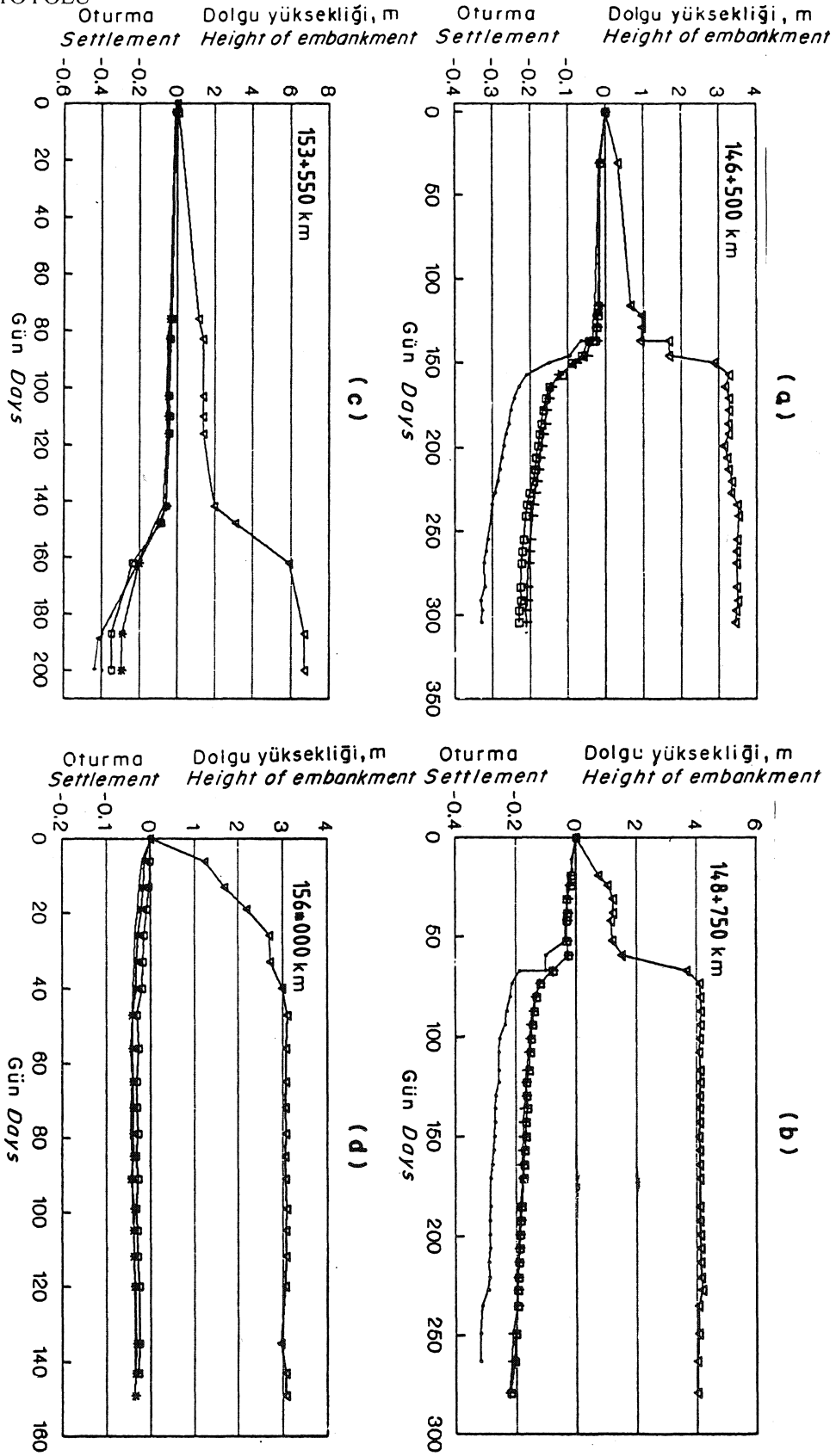
1- Yeraltı suyu seviyesi topografya ile ilişkili olarak batıdan doğuya doğru daha düşük seviyelere inmektedir. Yeraltı suyunun düşük seviyelerde olmasının yanı sıra doğudaki drenaj ağının daha iyi oluşturulması yüzeyde 1-2.5 metre kalınlığındaki zeminin az-orta konsolide olmasını sağlamıştır.

2- Güzerghah boyunca yer alan ve % 64'ü kil alan zeminlerin birim hacim ağırlığı $1.60-2.24 \text{ gr/cm}^3$, özgül ağırlığı $2.55-2.71 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Killerin düşük aktiviteli, düşük şişme potansiyelli ve % 60'ı düşük plastisiteli olduğu görülmüştür.

3- Çalışma alanında drenaj yolu uzunluğu en iyi 3.5 metre ile temsil edilmektedir.

4- Otoyol güzerghahında makaslama dayanımı zemin yüzeyinden 25 m aşağıda $20-110 \text{ kN/m}^2$ arasında değişkenlik göstermektedir. Zeminin sıkışabilirlik karakteri $P_0+100 \text{ kPa}$ basınç sınırında $0.15-0.5 \text{ m}^2/\text{MN}$ arasında değişmektedir.

5- Araştırma sahasının doğusundaki 1-2.5 metrelik, az-orta konsolide zeminin varlığı ve alüvyon kalınlığının otoyolun doğusuna doğru azalması, oturma miktarlarını etkilemektedir. Otoyolun ilk 5 kilometresinde gözlenen oturma, dolgu yüksekliğinin yaklaşık % 10'u kadardır. Otoyolun doğusuna gittikçe oturma miktarı azalmakta ve 156+000 km yakınında % 1'e inmektedir. Oturma miktarının yüksek, konsolidasyon hızının düşük olduğu 145+000 ile 154+000 km'ler arasında konsolidasyon süresini azaltmak için % 25 aşırı yüklenme yapıldığında bekleme süresinin % 38-40, % 50 sürşarj yapıldığında % 58-60 oranında azaldığı hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi, uygulama aşamasında % 25 aşırı yüklenme ekonomik değer taşı-



Şekil 12. Otoyol güzergahında oturma plakaları kullanılarak gözlenen toplam oturma miktarları.

Figure 12. Amounts of total settlement monitored along the motorway route from settlement plates.

maktadır. Otoyol güzergahının oturma ve konsolidasyon karakteri dikkate alındığında yapım programı 145+000 km. den başlatılmış otoyol dolgusunda % 25, sanat yapıları yapılacak alanlarda ise % 50 aşırı yüklenme uygulanmıştır. Bu uygulama sonucu sanat yapıları ile otoyol dolgusunun üstyapı aşamasına birlikte hazırlanması amaçlanmıştır. Ayrıca otoyolun ilk kilometrelerinde uygulanan sürşarj konsolidasyon bitiminde daha az oturma beklenen 154+000 km ve daha somaki km'lere taşınarak dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu uygulama ile aynı dolgu malzemesi iki defa kullanılmış ve bu amaç doğrultusunda makina programı ve iş gücü yönlendirilerek uygulamada ekonomik çözümlere ulaşılmıştır.

Yumuşak kıvamlı zeminler üzerinden geçirilecek otoyollarda jeoteknik özelliklerin iyi belirlenmesi, ulaşılacak mühendislik çözümlerin niteliğini belirlemekte, yapım maliyeti, iş gücü ve zaman açısından avantajlar sağlamaktadır. Uzun zaman diliminde gerçekleştirilen uygulamaların sonuçları otoyol kullanıma açıldığında görüleceği gibi, ayrıca kaliteli inşa edilmiş bir otoyol çok daha az bir bakım masrafını gerektirecektir.

KATKI BELİRTME

Yazar, yüksek lisans çalışmasının bir bölümünü oluşturan bu incelemeyi sağladıkları olanaklarla destekleyen sayın

Yücel ERDEM, Hüseyin AHMETOĞLU, Muammer EMİRAL, Eymen AREL ve Doç. Dr. Reşat ULUSAY'a teşekkürlerini sunar.

DEĞİNİLEN BELGELER

Ketin, I. ve Gümüş, A., 1962, Sinop-Ayancık arasında III. bölge dahil sahaların jeolojisi, TPAO Rapor No. 213-288.

Means, R.E., and Parcher, J.W., 1963, Physical Properties of soils: Charles E. Merrill Publishing Comp., Columbia, Ohio, 467 pp.

Stroud, M.H., and Butler, F.G., 1975, The standard penetration test and the engineering properties of glacial materials: Proceeding of a symposium on Behavior of Glacial materials, Midland Soul Mechanics Society.

Van der Merve, D.H., 1964, The prediction of heave from plasticity index and percentage clay fraction of soils: S. African Civil Engr., 6, 103-107.

Zarif, I.H., 1991, Kazancı-Gümüşova Otoyolu Kazancı-Beyköy arasının Mühendislik jeolojisi: İstanbul Üniv. Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi, 159 s. (Yayımlanmamış).