

ÜSTGEÇİT KÖPRÜSÜ & YAKLAŞIM DOLGULARI TEMEL ZEMİNLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE DARBELİ KIRMATAŞ KOLON (DKK) UYGULAMASI

BALMAHMUT BRIDGE & APPROACHED EMBANKMENT WITH RAMMED AGGREGATE PIER (RAP) CONSTRUCTION

Mavi AKYÜZOĞLU¹ Sina KIZIROĞLU² Ece KURT³

ABSTRACT

The improvement of the foundation soil with Rammed Aggregate Piers (RAP) of the construction of a overpass bridge and embankment project located at the Afyon is selected. The load tests were performed on 8 of the constructed piers. The paper explains the comparison of RAP bearing capacity and deformation behavior which were obtained from theoretical analysis with the results of loading tests. As a case history, the preformance of RAP columns installed beneath mat foundation of a 11.0m x 31.4m overpass bridge and 0.0m to 9.0m embankment, located in Afyon city will be assesed comparatively with the predictions of theoretical solutions. Site investigations revealed that the underlying soil profile is composed medium stiff sandy, silty clay layers up to 2.7m depth. Below this layer, there exist soft to stiff gravelly, sandy, silty clay layer extending to a depth of 15.5m. Below 15.5 meters, loose to dense gravelly, clayey, silty sand layer was located. Preliminary assessment of 9m embankment, under foundation pressures of 189kPa revealed that expected consolidation settlements would exceed 70cm. After the installation of 8m to 16m long RAP columns with 1.0m to 1.7m square pattern under overpass bridge and embankment, settlements were estimated to be reduced to 5-10cm. Consistent with theoretical calculations, field RAP load tests revealed that under service loads, the observed settlements will be about 10cm.

ÖZET

Uşak – Afyon Devlet Yolu (Antalya Ayrım – 2. Bölge Hududu Arası) Km: 33+570,890+880 Balmahmut Üstgeçit Köprüsü ve yaklaşım dolguları (Km: 0+000 - Km: 0+300) projesi kapsamında, temel zemininin Darbeli Kırmataş Kolonlar (DKK) ile iyileştirilmesi hedeflenmiş, imal edilen DKK elemanlarından sekizi üzerinde yükleme deneyleri yapılmıştır. Seçilen vaka örneği kapsamında, 11.0m x 31.4m boyutlarındaki menfez tipi üst geçit köprüsü ile 0.0m'den başlayarak 9.0m yüksekliğe ulaşan yaklaşım dolgularının temelleri altında mevcut teorik analiz yöntemleri ile belirlenen tekil DKK

¹ İnş. Müh., Karayolları Genel Müdürlüğü – Zemin Mekaniği ve Tüneller Şubesi Müdürlüğü, makyuzoglu@kgm.gov.tr

² İnş. Yük. Müh., Karayolları Genel Müdürlüğü – Zemin Mekaniği ve Tüneller Şubesi Müdürlüğü, skiziroglu@kgm.gov.tr

³ İnş. Yük. & Jeof. Müh., Sentez İnşaat Yazılım Sanayi ve Tic. Ltd. Şirk., ekurt@sentezinsaat.com.tr

kapasite ve deformasyon davranışının kalite kontrol amaçlı yükleme deney (proof test) sonuçları ile karşılaştırılması ve kalibrasyonu hedeflenmiştir. Temel zemin profilinin belirlenmesine yönelik olarak zemin araştırma çalışmaları sonrası, 2.7m derinliğe kadar orta katı kıvamda, 15.5m derinliklere kadar ise yumuşak/orta katı/katı kıvamda olduğu anlaşılan kumlu, siltli kil tabakası geçilmiştir. Bu tabakaların devamında ise gevşek/orta sıkı/sıkı yer yer siltli kil arabanlı, az çakıllı, killi, siltli kum tabakası yer almaktadır. Yapılan ilk değerlendirmeler ışığında maksimum 9.0m yüksekliğindeki dolgu altında yaklaşık 70cm konsolidasyon oturması olabileceği anlaşıldığından zeminin iyileştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmış ve DKK imalatına karar verilmiştir. Üstgeçit köprüsü ve dolgu temeli altında 8 – 16m boylarında ve 1.0m x 1.0m ile 1.7m x 1.7m arasında değişen kare patern ile uygulanan 50cm çaplı DKK uygulaması sonrası oturmaların 5-10cm mertebelerine ineceği öngörülmüş, ve sahada yapılan ölçümlemeler sonucunda bu ön hesaplamalarla uyumlu olarak oturmalar servis yükleri altında öngörülen aralığın üst sınırlarına yakın olarak 10cm mertebelerinde gerçekleşmiştir.

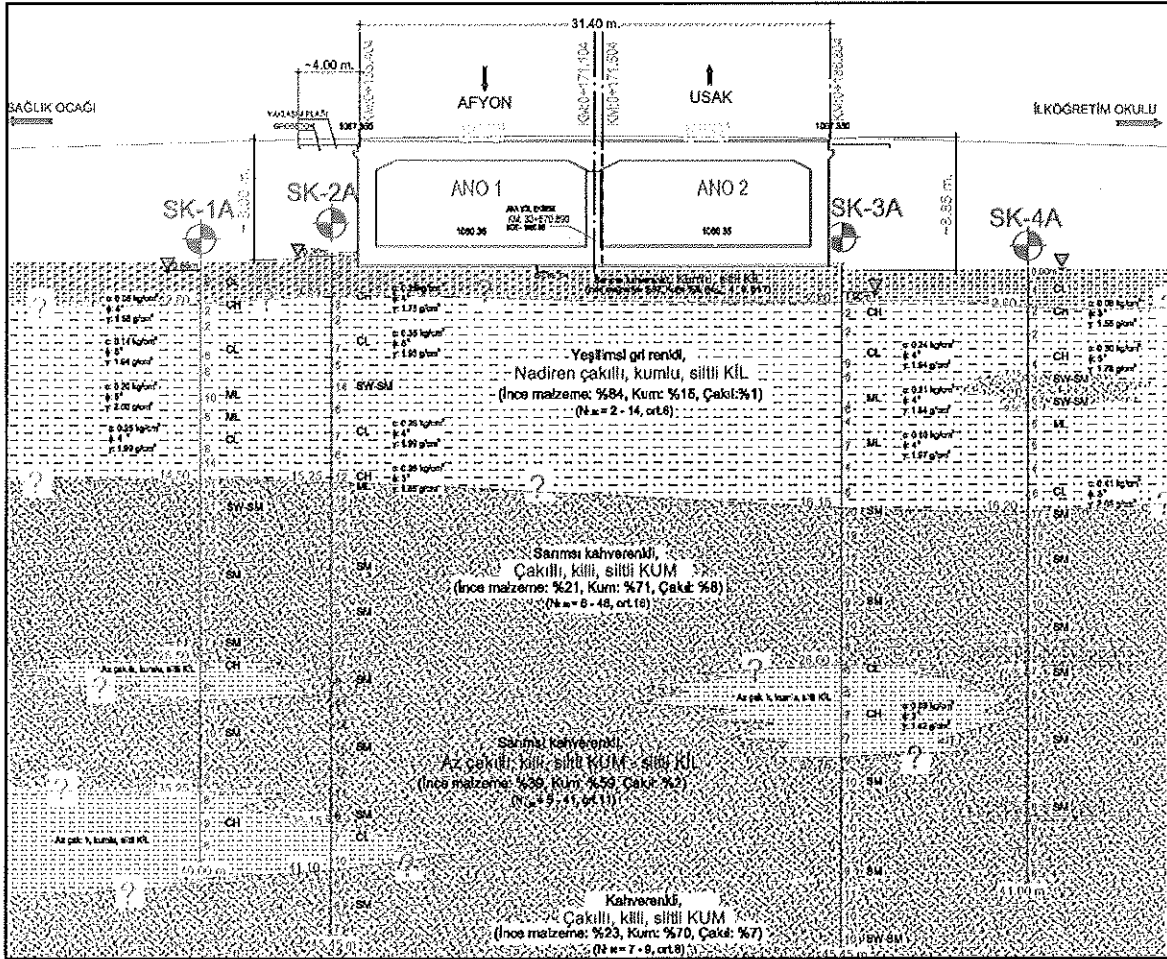
1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği projelerinde gevşek veya yumuşak zeminler üzerine inşa edilecek yapı ve dolgu temelleri altında çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri ile zeminin güçlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. İstenilen özelliklere sahip olmayan zeminin kaldırılarak yerine uygun nitelikli malzeme doldurulması bu yöntemlerin en eskilerinden olduğu bilinmektedir. Bu düşünceden hareketle 1980' li yıllarda Amerika' da Dr. Fox tarafından geliştirilen Darbeli Kırmataş Kolonlar (DKK) ile oturmaların uygun seviyelere indirilmesi ve temel altındaki yumuşak zeminlerin taşıma kapasitesinin artırılması hedeflenmektedir (Lawton ve Fox, 1994; Lawton ve diğ., 1994; Wissmann ve diğ., 2001; Lawton ve Warner 2004; Wissman ve diğ., 2007). Elverişsiz bir zeminin güçlendirilmesinde uygulama kolaylığı ve geniş kapsamlı ekonomi sağlaması sebebi ile yurdumuzda da son 6 yıldır kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Balmahmut üstgeçit köprüsü ve yaklaşım dolguları temel zeminlerinin iyileştirilmesine yönelik olarak imal edilen DKK elemanlarından sekizi üzerinde uygulanan yükleme deneyleri konu edilmiş ve deney sonuçlarının tasarım varsayımları ile karşılaştırılmasını takiben saha gözlem ve ölçümlemeleri ile imalat sonrası yapı davranışı incelenmiştir.

2. PROJE TANITIMI VE ZEMİN YAPISI

Uşak – Afyon Devlet Yolu (Antalya Ayrım – 2. Bölge Hududu Arası) Km: 33+570,890+880 Balmahmut Üstgeçit Köprüsü ve yaklaşım dolguları Km: 0+000 - Km: 0+300 arası temel zeminlerinin iyileştirilmesi işi; 11.0 m x 31.4 m boyutlarındaki menfez tipi üst geçit köprüsü ile 0.0 m 'den başlayarak 9.0 m yüksekliğe ulaşan köprü yaklaşım dolgularını içermekte olup, köprü giriş ve çıkışlarında yaklaşım dolgularının boyu yaklaşık 300 m' ye uzanmaktadır. Temel zemin profilinin belirlenmesine yönelik olarak zemin araştırma çalışmaları kapsamında 4 noktada 41.0 m – 45.5 m derinlikler arasında gerçekleştirilen sondaj delgisinde SPT deneyleri gerçekleştirilmiş, elde edilen örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde sınıflandırma deneylerine ek olarak zemin mukavemet ve deformasyon davranışının anlaşılmasına yönelik olarak üç eksenli konsolidasyonsuz drenajsız basınç deneyleri ile odometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Özetle, söz konusu üstgeçit köprüsü ve yaklaşım dolguları altında 2.7 m derinliğe kadar orta katı kıvamda olduğu anlaşılan az kumlu, siltli kil tabakası yer almaktadır. Bu tabaka

içinde SPT N_{60} verilerinin 4-9 aralığında değiştiği ve PI değerlerinin ise % 20 civarında olduğu görülmüştür. Bu tabakayı takiben 15.5m derinliklere kadar yumuşak/orta katı/katı ($N_{60}=2-14$) kıvamda, az çakıllı, kumlu, siltli kil tabakası geçilmiş olup, bu tabaka içinde PI değerlerinin % 8-38 arasında değiştiği görülmüştür. Bu tabakanın devamında ise gevşek/orta sıkı/sıkı ($N_{60}=5-48$), yer yer siltli kil arabantlı, az çakıllı, killi, siltli kum tabakası yer almaktadır. Yeraltı su seviyesi sondaj kuyuları içinde 0.0 m ile 1.9 m derinliklerde ölçülmüş olup, yapılan analizlerde YASS zemin yüzeyinde kabul edilmiştir. Temsili zemin profili Şekil 1'de gösterilmiş olup, analizlerde kullanılan geoteknik parametreler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Temsili Zemin Profili

Yapılan ilk değerlendirmeler ışığında 1.0 - 9.0 m yüksekliğindeki dolgu tabanı altında yaklaşık 11.5 – 70 cm ve üzeri mertebelerde konsolidasyon oturmasının oluşacağı anlaşıldığından zeminin iyileştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Zemin iyileştirme yöntemi olarak; hem temel taşıma gücünün artırılması hem de oturmaların sınırlandırılması amaçlarına yönelik olarak Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) imalatına karar verilmiştir. Ayrıca, teşkil edilecek DKK elemanları ile drenaj yolu kısaltılarak konsolidasyon oturmalarının dolgu inşaatı sırasında tamamlanması veya hızlandırılması türünden ek faydalar da sağlanabileceği düşünülmüştür.

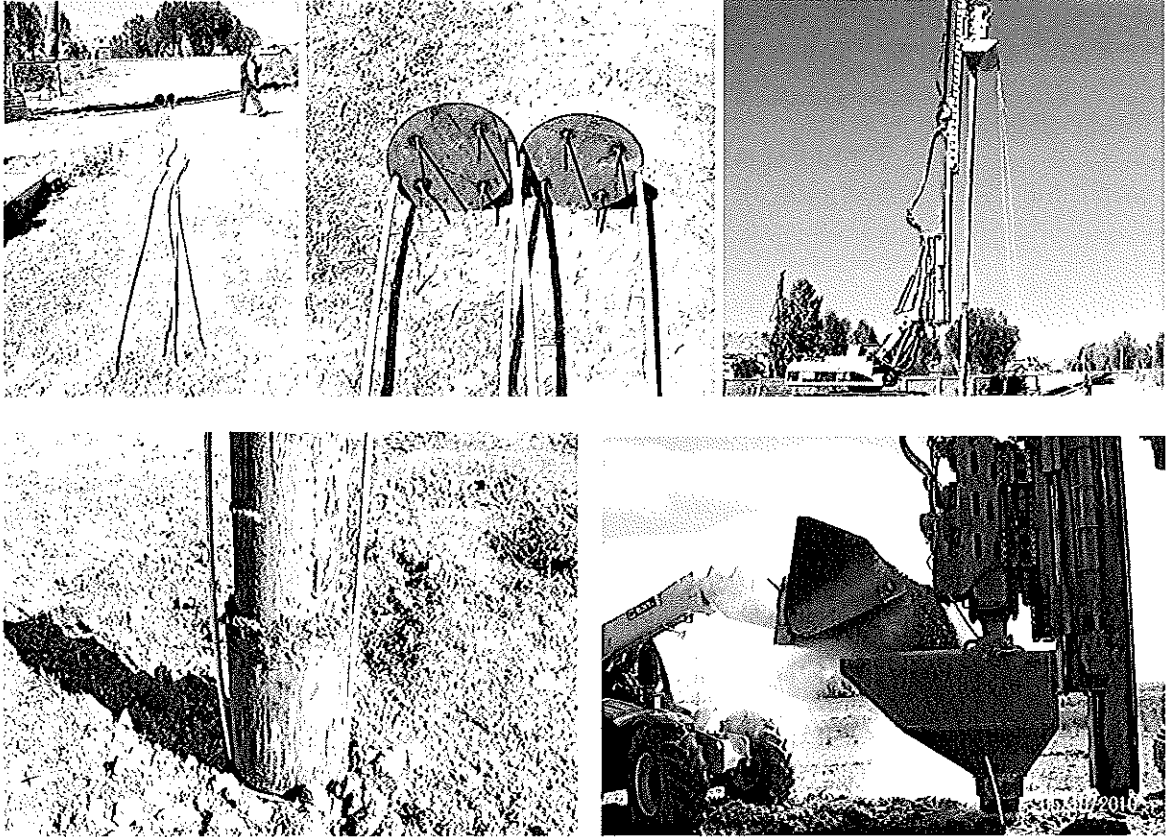
Tablo 1. Sahadaki Temsili Zemin Profili için Geoteknik Parametreler

Derinlik (m)	Birim	$\gamma^{(1)}$ (kN/m ³)	$\phi'^{(2)}$ (°)	$c_u^{(3)}$ (kPa)	E ⁽⁴⁾ (Mpa)
0.00 – 2.70	az kumlu, siltli KİL CL	18	0	40	5.0
2.70 – 15.5	az çakıllı, kumlu, siltli KİL CH	18.5	0	30	4.2
15.5 – 26.0	az çakıllı, killi siltli KUM SM-SW	19	25	0	16.0
26.0 – 41.0	az çakıllı, killi, siltli KUM – siltli KİL SM / CL-CH	18	20	30	11.0
41.0 – 45.0	çakıllı, killi, siltli KUM SM	19	30	0	8.0

⁽¹⁾ Birim Hacim Ağırlık, ⁽²⁾ Efektif Sürtünme, ⁽³⁾ Drenajsız Kayma Mukavemeti, ⁽⁴⁾ Elastisite Modülü

3. DARBELİ KIRMATAŞ KOLON (DKK) İMALATI

Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) elemanları ile zemin iyileştirilmesi kavramı 1980' lerin ortalarında Dr. Fox tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. İlk olarak geliştirilen ve 'Geopier Sistemi' olarak adlandırılan teknolojiye zeminde burgu ile ön delgi yapılmakta, daha sonra tabana uniform dane boyutlu (5-15 cm) taş yerleştirilip pahlı bir plakanın vurulması ile sıkıştırılmış taban soğanı elde edilmektedir. Kolon gövdesi için kullanılan agrega iyi derecelenmiş çakıl (taş), sıkıştırılmış kalınlığı 30 cm olan tabakalar halinde etrafındaki zemine doğru itilerek kolon çevresinde yanal gerilmeleri artırmaktadır.



Şekil 2. Darbeli Kırmataş Kolon İmalatı (Impact Sistemi)

Yanal gerilmelerin artırılması daha sonraki yüzey yüklemeleri için taşıma gücünü arttırmakta, oturmaları azaltmaktadır. Darbeli Kırmataş Kolon yöntemlerinden bir diğeri olan ve 'Impact Sistemi' olarak adlandırılan yer değiştirmeli yöntemde ise alt ucuna sac bir sarf plakası yerleştirilen mandrel ve 36 cm çapındaki pahlı tokmak, itme kuvveti ve darbeyle tasarım derinliğine kadar indirilir. Sarf plakası kolonun alt ucunda kalacak şekilde mandrel kırmataş ile doldurulduktan sonra 1.0 metre yukarıya kaldırılır ve aşağı itme kuvveti ile 67 cm indirilerek, 33 cm'lik sıkıştırılmış 50 cm çapında bir tabaka oluşturulur. Kolonun üst kotuna kadar oluşturulacak tabakalar ise bu prosedür doğrultusunda yapılır. Sıkıştırma; statik kuvvet ve vibratörün dinamik enerjisi ile gerçekleştirilir. Darbe tokmağı, kırmataşı düşey yönde ve çevredeki zemini de yatay yönde sıkıştırır. Bu çift yönlü sıkıştırma ile; zeminin sağlamlığı artar ve oturmalar kontrol altına alınır. Söz konusu üstgeçit köprüsü ve yaklaşım dolguları için, DKK elemanlarının tasarımında ve imalatında *Impact Sistemi* (Şekil 2) kullanılmıştır.

4. DARBELİ KIRMATAŞ KOLON (DKK) TASARIMI

Temel iyileştirmesi yöntemi olarak Impact Sistemi ile Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) imalatı seçilmiş olup, çalışma alanı 0.0 m ile 9.0 m arasında değişim gösteren dolgu yüksekliklerine göre beş bölgeye ayrılarak incelenmiştir. Bu bölgeler için 8 m – 16 m değişen boylarda Impact DKK teşkil edilmesi halinde az çakıllı, kumlu, siltli kil tabakası ile az çakıllı, killi, siltli kum tabakasına kadar yer alan birimlerin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda, DKK elemanları ile iyileştirilmiş bölgenin oturması; üst bölge (S_{UZ}), iyileştirilmiş tabakaların altında kalan zemin tabakalarının oturması ise; alt bölge (S_{LZ}) oturması olarak incelenmiştir. Oturma miktar ve süre kriterlerinin sağlanması için mevcut haline kıyasla zemin rijitliğinin 2-3 kat artırılması ve konsolidasyon drenaj boylarının azaltılması gerekliliği aşikardır. Bu amaçla Tablo 2'de de gösterildiği üzere 1.0 m x 1.0 m, 1.1 m x 1.1 m, 1.3 m x 1.3 m ve 1.7 m x 1.7 m paternler seçilmiş, böylelikle bir kolonun etki alanının sırasıyla ~1.0 m², 1.2 m², 1.7 m², 2.9 m² olması sağlanmıştır. Zemin türü ve zemindeki SPT N₆₀ sayılarına göre kolon için hücre taşıma kapasitesi, Q_{cell}, 180 kN ve DKK rijitlik modülü, k_g, 27 MN/m³ olarak seçilmiştir (Fox ve Cowell, 1998). İyileştirilmemiş zeminde 63 kPa – 189 kPa gerilme altında yaklaşık 24 cm – 70 cm mertebelerinde konsolidasyon oturması beklendiğinden, matris zemin rijitlik modülü, k_m, 2.7 MN/m³ olarak elde edilmiştir. Dolgu yükseklikleri dikkate alınarak DKK elemanında ve DKK elemanını çevreleyen zeminde beklenen oturmaların yaklaşık mertebelerde eşitlenmesi için ihtiyaç duyulan DKK uygulama paternleri için üst bölge oturmalarının ≤ 5 – 10 cm mertebelerinde olacağı ve DKK uygulaması sonrasında bu oturmalarının radyal drenaj nedeniyle ivedilikle tamamlanacağı projelendirilmiştir.

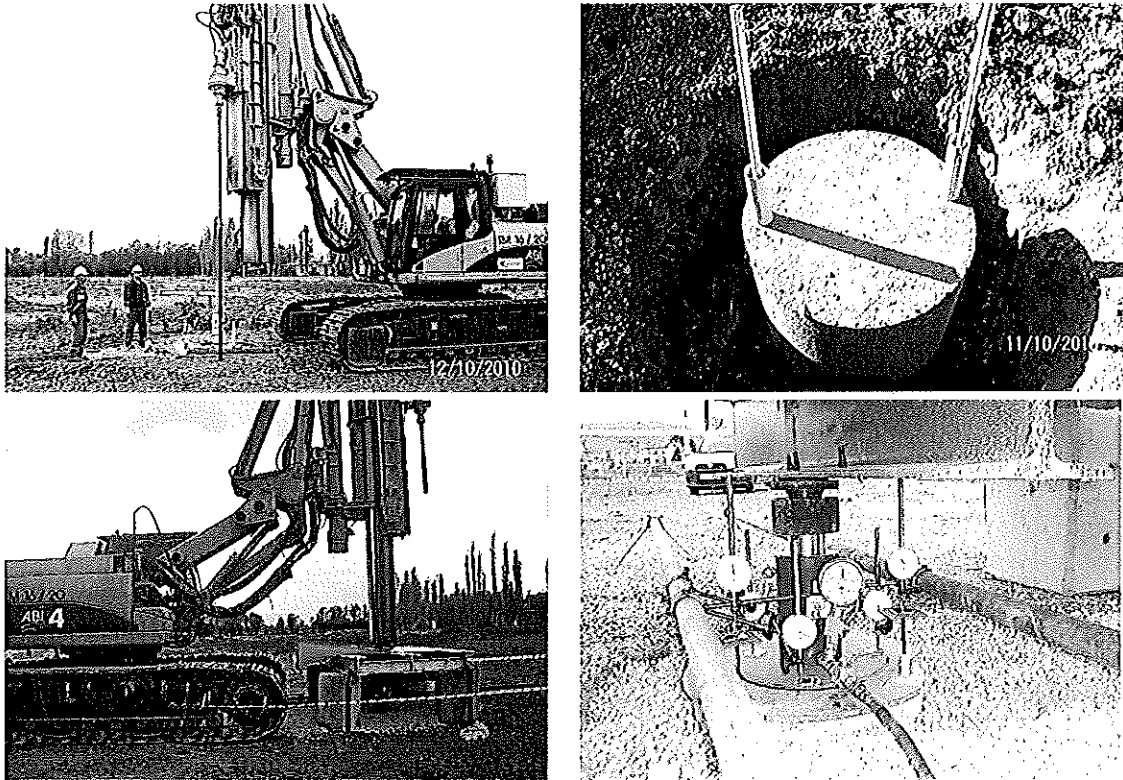
Tablo 2. Teşkili Önerilen Impact DKK Boy ve Paternleri

Bölge No	5	4	3	2	1
H _{dolgu} (m)	9.0	7.0	5.0	3.0	1.0
q _{max} (kPa)	189	147	105	63	Müsade edilmeyen oturma miktarı; proje stresi (2 ay) içinde tamamlanacağından, Impact DKK uygulanmamıştır
DKK Çapı (cm)	50	50	50	50	
DKK Paterni (mxm)	1.0 x 1.0	1.1 x 1.1	1.3 x 1.3	1.7 x 1.7	
DKK Boyu (m)	16	12	11	8	

Ayrıca, dolgu imalatı sonrasında iyileştirilmemiş alt bölge için oturma kriteri göz önünde bulundurulduğunda (köprü giriş ve çıkışına olan mesafesi ≤ 30 m olan bölgeler için; ≤ 5 cm, köprü giriş ve çıkışına olan mesafesi ≥ 30 m olan bölgeler için ise ≤ 10 cm) Impact DKK boylarının 8 m – 16 m arasında teşkil edilmesi ile gerekli kriterlerin sağlandığı görülmüştür. Ayrıca, 14.5 m ile 16 m derinliklere kadar yer alan az çakıllı, kumlu, siltli kil birimlerin 8 m - 16 m boylarındaki DKK elemanları ile iyileştirileceği ve bu derinliklerden sonra 45 m derinliklere kadar devam eden az çakıllı, killi siltli kum birimlerde 12 cm – 30 cm mertebelerinde ani oturmaların bekleneceği ve bu oturmaların inşaat sırasında tamamlanacağı rapor edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, DKK elemanlarının çevre taşıma kapasitesi 298 kN olarak elde edilmiştir. 1.0m x 1.0m – 1.7m x 1.7m arasında değişen paternler ile imal edilecek DKK üzerine gelen yük ise 77 kN – 135 kN olduğundan, kolon taşıma gücü açısından herhangi bir problem söz konusu olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

5. YÜKLEME DENEYLERİ

Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) yükleme deneyleri kazıkların basınç yükü altındaki deneylerine benzer biçimde bir düzenekte yapılmaktadır (ASTM D-1143). Yük ölçümü sıkıştırılmış DKK elemanının üstünde yapılmakta olup, gerilmenin büyüklüğü manometresi kalibre edilmiş hidrolik kriko ile kontrol edilmiştir. Bu yükleme testlerinde karşı ağırlık olarak dört adet 8 ton kapasiteli, 12 m boylarında helisel ankrajlar kullanılmıştır. Deformasyon enine kirişe bağlanmış beş adet komparatör ile ölçülmüş olup, bu komparatörlerden ikisi DKK alt taban kotunda oluşacak deformasyonu ölçebilme amacıyla kullanılan Tell-Tale üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Darbeli Kırmataş Kolon Yükleme Deneyi

Afyon Yolu ve Uşak Yolu kesimlerinde dörder adet olmak üzere toplamda sekiz adet yükleme testi yapılmış olup, bu test kolonlarına ait yerleşim planı Şekil 4'te gösterilmiş olup, imalat ve yükleme testi bilgileri ise Tablo 3' de özetlenmiştir.

Şekil 4. Test Kolonlarına Ait Yerleşim Planı

Tablo 3. Test Kolonlarına Ait İmalat ve Yükleme Testi Bilgileri

Tablo 4. Çalışma Yüküne Göre Test Kolonları Üzerine Uygulanan Yük Miktarları

No	Çalışma Yükü (%)	Kriko Yüklü (ton)			
		5. Bölge	4. Bölge	3. Bölge	2. Bölge
0	5	0.75	0.68	0.60	0.48
1	16	2.40	2.16	1.92	1.52
2	33	4.95	4.46	3.96	3.14
3	50	7.50	6.75	6.00	4.75
4	66	9.90	8.91	7.92	6.27
5	83	12.45	11.21	9.96	7.89
6	100	15.00	13.50	12.00	9.50
7	116	17.40	15.66	13.92	11.02
8	133	19.95	17.96	15.96	12.64
9	150	22.50	20.25	18.00	14.25
10	100	15.00	13.50	12.00	9.50
11	66	9.90	8.91	7.92	6.27
12	33	4.95	4.46	3.96	3.14
13	0	0.00	0.00	0.00	0.00
14	100	15.00	13.50	12.00	9.50
15	0	0.00	0.00	0.00	0.00

6. DEĞERLENDİRME

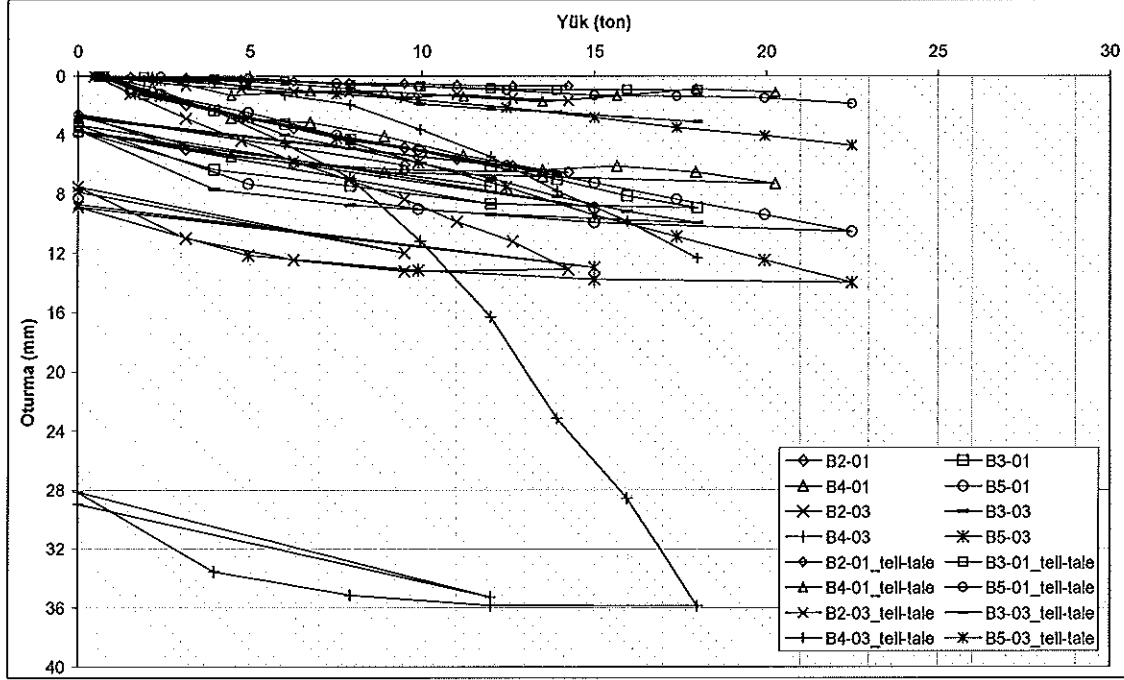
Şekil 5’de gösterildiği gibi, tasarımda belirlenen ve 8 ton ile 13.5 ton arasında olan DKK üstündeki yük değerlerinde, ölçülen deformasyon 9 mm’den azdır. Ayrıca, Tablo 5’de gösterildiği gibi elde edilen rijitlik modülü değerinin, Uşak Yolu Kesimi / 2. Bölge ve 4. Bölge için tasarımda belirlenen değer ile uyumlu, diğer bölgelerde ise yaklaşık 2.0 - 2.5 katı olduğu görülmüştür. Ölçülen rijitlik modülünün tasarımda kullanılan değerden yüksek olması DKK imalatı sırasında sıkıştırma işleminin kalitesine ve saha zemin koşullarının beklenenden bir parça daha mukavim yapısına işaret etmektedir.

Tablo 5. Modulus Yükleme Testi Sonuçları

Bölge		KM	Test Kolon No	Tasarım Yüklünün %100 (kN)	Tasarım Yüklünde Oluşan Deformasyon (mm)	Rijitlik Modülü (MN/m ³)
Afyon Yolu	2	0+040.000 - 0+060.000	B2-01	80	< 7.0	73
	3	0+060.000 - 0+090.000	B3-01	100	< 5.0	70
	4	0+090.000 - 0+120.000	B4-01	120	< 5.0	72
	5	0+120.000 - 0+155.400	B5-01	135	< 5.0	74
Uşak Yolu	5	0+186.800 - 0+200.000	B5-03	135	< 9.0	54
	4	0+200.000 - 0+220.000	B4-03	120	< 16	22
	3	0+220.000 - 0+240.000	B3-03	100	< 6.0	60
	2	0+240.000 - 0+260.000	B2-03	80	< 8.0	39

(*) Tasarım rijitlik modülü ise; kg = 27 MN/m³ (Fox ve Cowell, 1998)

Ayrıca hatırlanması gereken diğer bir husus da tasarımda kullanılan rijitlik değerlerinin 0.5-1 inç (1.5-2.5 cm) aralığında oturma değerleri için belirlenmiş olduğu ve testler sırasında 9 mm'den daha az oturmaların gerçekleşmesi sebebi ile ölçülen rijitlik değerinin tasarımda kullanılan değerden zeminin doğrusal olmayan davranışı sebebi ile daha yüksek olmasının normal olduğudur. B3-03 nolu test kolonunda ise tasarım yükünde ölçülen oturma miktarı < 6 mm olup, DKK rijitlik modülü, k_g ise, 60 MN/m³ olarak elde edilmiş olup, bu değer tasarım aşamasında kabul edilen değer 2.0 katıdır. Bu bölgede yapılan yükleme testi sonucuna göre DKK alt kotuna yerleştirilen oturma çubuklarında (Tell-Tale) ölçülen deplasman yaklaşık 3 mm olup, bu oturma DKK üst kotunda meydana gelen oturmanın % 50'si civarındadır.

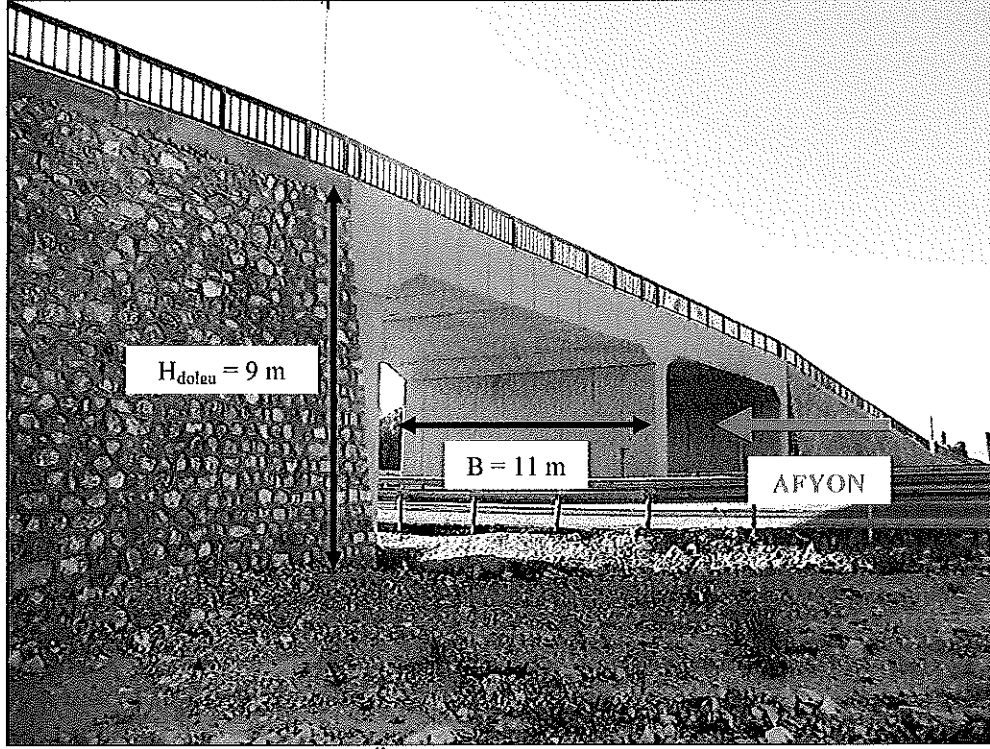


Şekil 5. Yükleme Testleri Basınç-Oturma Grafiği

B4-03 nolu test kolonunda ise tasarım yükünde ölçülen oturma miktarı < 17 mm, DKK rijitlik modülü ise 22 MN/m³ olarak elde edilmiş olup, bu değer tasarım aşamasında kabul edilen değer 18'i mertebelerindedir. Ayrıca, DKK alt kotunda (Tell-Tale) meydana gelen oturma yaklaşık 13 mm olup, bu oturma DKK üst kotunda meydana gelen oturmanın % 75'i civarındadır. Dere yatağı kesiminde yer almakta olan bu bölge, DKK imalatına çalışma platformu oluşturulabilmesi amacıyla yaklaşık 3 m kadar kumlu-bloklı dolgu malzemesi ile örtülmüştür. Bu dolgu tabakası üst kotundan 14 m derinliğe kadar DKK imalatı yapılmış olup, imalattan sonra 2.4 m derinliklere kadar kazı yapılarak 240 cm yüksekliğindeki başlık betonu üzerinden yükleme testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan kazı sonrası yükleme deneyine tabi tutulan DKK boyu 14 m yerine 11.6 m'ye düşmüştür. Bu sebepten dolayı, test edilen DKK elemanının kapasitesinde tasarımda kullanılan değere kıyasla bir düşüş olması olağandır. Bu düşüncüyü destekler mahiyette kısalan DKK boyu sebebiyle kolon uç bölgesinde de kapasitenin %75'i mertebelerinde gerilmelerin olduğu yerleştirilen Tell-Tale ile tespit edilmiştir. Yüzeye yerleştirilen 3 m kalınlığındaki dolgunun, killi tabakalarda elastik ve konsolidasyon oturmalarına sebep olması ve yerleştirilen DKK elemanlarının kapasitesini azaltıcı negatif çevre sürtünmesi yaratması da olasıdır. Tüm bu olumsuzluklara rağmen test kapasitesi ile tasarım kapasitesi farkı % 18 mertebelerindedir.

7. SAHA ÖLÇÜMLERİ

Eylül, 2010 tarihinde projelendirilmesi gerçekleştirilmiş olan Uşak – Afyon Devlet Yolu (Antalya Ayrım – 2. Bölge Hududu Arası) Km: 33+570,890+880 Balmahmut Üstgeçit Köprüsü ve yaklaşım dolgularının Km: 0+000 - Km: 0+300 arası imalatları Ocak, 2011 tarihi itibarı ile tamamlanmış olup (Şekil 6), Ağustos, 2011 tarihinde gerçekleştirilen saha ziyareti sırasında köprü ve yaklaşım dolguları için oturma ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 6. Balmahmut Üst Geçit Köprüsü & Yaklaşım Dolguları

Projelendirme aşamasında oturma sorununun bertaraf edilmesine yönelik olarak 40 - 45 m derinliklere kadar uzanan kazıklı sistem çözümleri alternatif olarak değerlendirilmiş ancak daha ekonomik çözüm olan Impact DKK sistemi tercih edilerek, gevşek/orta sıkı/yer yer sıkı özellikte olan kum tabakalarının sebep olacağı elastik (ani) oturmaların kabul edilmesi prensibi esas alınmıştır. Üstgeçit yapısı temelleri altında 14.5 m ile 16 m derinliklere kadar yer alan az çakıllı, kumlu, siltli kil birimlerin 16 m boyundaki DKK elemanları ile iyileştirileceği ve bu derinliklerden sonra 45 m derinliklere kadar devam eden az çakıllı, killi siltli kum birimlerde ani oturmaların bekleneceği rapor edilmiştir. Saha ölçümlemeleri, Uşak yolu üzerinde mevcut dere yatağı için dolgu altından uzatılan menfezin dilatasyon kesiminde oluşan oturmaların 10 cm ve altında olduğunu işaret etmekte olup, bu değer ön hesaplamalarda beklenen ani oturma mertebelerinden daha az olduğu görülmüştür.

8. SONUÇ

Uşak – Afyon Devlet Yolu (Antalya Ayrım – 2. Bölge Hududu Arası) Km: 33+570,890+880 Balmahmut Üstgeçit Köprüsü ve yaklaşım dolguları Km: 0+000 - Km: 0+300 arası temel zemininin iyileştirilmesi amacıyla Impact Pier patentli darbeli kırmataş kolonlar uygulanmıştır. Yükleme test sonuçları; DKK elemanlarının zemininin rijitlik modülünü arttırdığını ve kalite kontrol testini geçtiğini göstermektedir. Ayrıca, geniş dolgu yükleri altında kompozit malzemede oluşacak oturmaların 10 cm mertebelerinde olduğu ve bu oturmaların dolguların imalatı sırasında ivedilikle tamamlanacağı rapor edilmiş ve bu sonuç saha ölçümleri ile de desteklenmiştir. Sonuç olarak teorik hesap yöntemleri ile hesaplanan DKK kapasite ve oturma değerleri ile uyumlu gerçekleşen yükleme deney sonuçlarınınca da teyid edildiği üzere, 8 – 16 m değişen boylardaki DKK elemanların, imalat sırasındaki yoğun sıkıştırma sebebi ile 8 – 13.5 ton servis yükleri altında yüksek rijitlikte imal edilebileceği görülmüştür. Tüm bu değerlendirmelerde tekil yükleme deneyi verileri esas alınmış olup, özellikle dolgu yükleri altında DKK grup davranışının nasıl teşkil edileceğinin belirlenmesi gerekliliği önem arz etmektedir. Bu bildiri kapsamında DKK grup davranışının detaylarına girilmemiş olup, sadece genel fikir vermesi bakımında önemli bazı hususlara vurgu yapılacaktır. Tekil DKK davranışına kıyasla dolgu yükleri altındaki DKK grupları esnek dolgu yükleri sebebi ile i) daha yüksek yatay gerilmelere (σ_h veya σ_3) maruz kalırlar. σ_h değerindeki artış doğal olarak DKK taşıma kapasitelerinde artışa sebep olur ii) özellikle de dolgunun eğimli teşkili DKK ve zemin elemanlarında makaslama gerilmeleri üretir, literatürde yanıl yayılma (lateral spreading, Barksdale and Bachus, 1983) olarak adlandırılan bu davranış DKK elemanlarının göbeklenmesi (bulging) ve dolgu ağırlığı altında artış gösteren yatay gerilmelerin azalmasına sebep olur. Yukarıda tariflenen bu iki farklı etkinin birbirini nötürlediği ve grup kapasitelerinin genel olarak tekil DKK kapasiteleri mertebesinde veya bir parça üzerinde olduğu yönünde görüşleri ortaya çıkarmıştır (Barksdale and Bachus, 1983). Bu bildiri kapsamında sunulan değerlendirme ve ölçümler bu sonucu destekler mahiyette olmakla birlikte, grup davranışının dolgu yükü, geometrisi, temel zemin ve DKK mukavemet ve rijitlik parametreleri ve paterni gibi etkenlerce belirlendiği hatırlandığında basit genellemelerin ötesinde modellemeler ve yerinde ölçüm sistemleri ile performans teyidi gerekmektedir. Ayrıca yine literatürde grup etkileri altında beklenen dolgu temel oturmalarının tekil DKK deneyleri tarafından işaret edilen değerlerin üzerinde oluşması da yine literatürde sıkça tartışılmış bir husustur (örneğin: Goughnour ve Bayuk, 1979). Ölçülen oturma değerlerinin hesaplanan aralığın üst sınırlarında oluşması da bu değerlendirmeyi destekler mahiyette bulunmuştur.

9. KAYNAKLAR

Barksdale, R.D. and Bachus, R.C. (1983), 'Design and Construction of Stone Columns' Volume I, FHWA/RD-83/026, Federal Highway Administration, U.S.A.

Fox, N.S and M.J. Cowell (1998), 'Geopier Foundation and Soil Reinforcement Manual' Geopier Foundation Company Inc. Scottsdale. AZ

Handy, R.L., and Spangler, M.G. (2007), 'Geotechnical Engineering Soil and Foundation Principles and Practice', Mc Graw Hill, USA

Sentez (2010), 'Uşak – Afyon Devlet Yolu - Balmahmut Üstgeçit Köprüsü (Km: 33+570,890) Impact Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) Ön Tasarım Raporu & Yükleme Testi Değerlendirme Raporu', Sentez İnşaat Yazılım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şirketi, İstanbul