

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE MİNİ KAZIK UYGULAMASI – BİR VAKA ANALİZİ

MINI PILE APPLICATION IN SOLAR POWER PLANTS – A CASE STUDY

Cihat AŞÇI¹, Önder AKÇAKAL² Mustafa UZUNSELVİ³,
İnanç KAYAHAN⁴, Ogan SEVİM⁵

ÖZET

Katar'da inşa edilen 417 ve 458 MW kapasiteli Güneş Enerji Santralleri dahilinde toplamda 10 kilometrekarelik bir alanı kapsayan fotovoltaik güneş enerjisi modülleri yerleştirilmiştir. Bu modüllerin sabitlenmesi amacıyla öncesinde çelik profilli mini kazık uygulamaları yapılmış modüller bu profillere monte edilmiştir. Sahanın zemin profili 50 cm kalınlığında dolgu ve altında kısmen altere olmuş kireçtaşından oluşmaktadır. Proje alanında yer altı suyuna rastlanmamıştır. Güneş enerji modüllerinin bağlanacağı geniş flanşlı H kesitli profil DTH delik dibi delgi yöntemi ile kaya tabakasına soketlenmiştir. H profiller korozyona karşı sıcak daldırma galvaniz işleminden geçirilmiştir. Zeminin kaya olmasından dolayı yeterli genişlik ve derinlikte ön delgiler yapılmış, çelik profil kuyuya indirilmiş ve ardından kuyu betonlanmıştır. Bildiri kapsamında yapılan tasarım kabulleri, tasarım yöntemi, uygulama aşamaları, kullanılan makineler ve kalite kontrol çalışmaları anlatılmaktadır. İmalatlara başlamadan önce test kazıkları üzerinde yatay, düşey yükleme ve çekme deneyleri yapılarak tasarım teyit edilmiş olup bildiri kapsamında sonuçları karşılaştırılmaktadır. Belirlenen taşıma kapasitelerine göre deplasmanlar gözden geçirilmiştir. Toplamda yaklaşık 51.000 adet delgi yapılmış olup her bir güneş enerji modül gurubu kayaya soketlenmiş profiller üzerine yerleştirilerek montajları başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mini Kazık, DTH Delgi, Güneş Enerji Santrali

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy modules covering a total area of 10 square kilometers planned to be installed within the 417 and 458 MW capacity Solar Power Plant Projects in Qatar. For the installation of these modules, mini piles with steel beams were applied and the modules were mounted on these beams. The soil profile of the site consists of 50 cm thick fill and partially altered limestone underneath. No groundwater was found in the project

¹ İnş. Yük. Müh., Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş., cihat.asci@zetas.com.tr (Sorumlu yazar)

² İnş. Yük. Müh., Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş., onder.akcakal@zetas.com.tr

³ Jeoloji Müh., Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş. mustafa.uzunselvi@zetas.com.tr

⁴ İnş. Müh., Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş., inanc.kayahan@zetas.com.tr

⁵ İnş. Yük. Müh., Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş., ogan.sevim@zetas.com.tr



area. The wide flange H-section beam which the solar energy modules will be connected is socketed into the rock layer using the DTH down the hole drilling method. H beams are hot dip galvanized against corrosion. Since the soil is rock, preliminary drilling of sufficient width and depth was performed with a hammer, the steel profile was lowered into the well and then the well was concreted. Within the scope of the paper, design assumptions, design method, application stages, used machines and quality control studies are explained. Before starting production, the design was confirmed by performing horizontal, vertical and tension load tests on the test piles, and the results are compared within the scope of the paper. Locations of the piles were reviewed according to the determined bearing capacities. A total of approximately 51,000 drillings were applied and each solar energy module group was placed on profiles socketed into the rock and their installation was completed successfully.

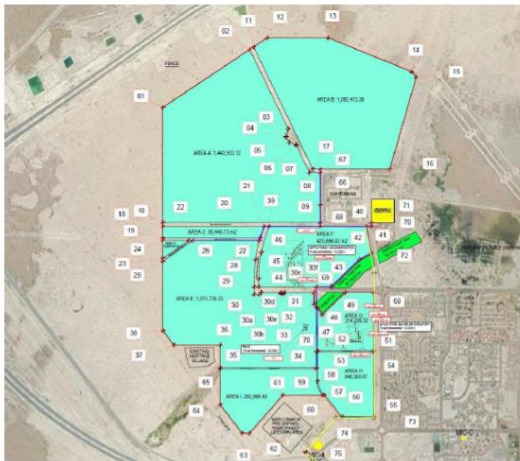
Keywords: Mini Pile, DTH Drilling, Solar Power Plant

1. GİRİŞ

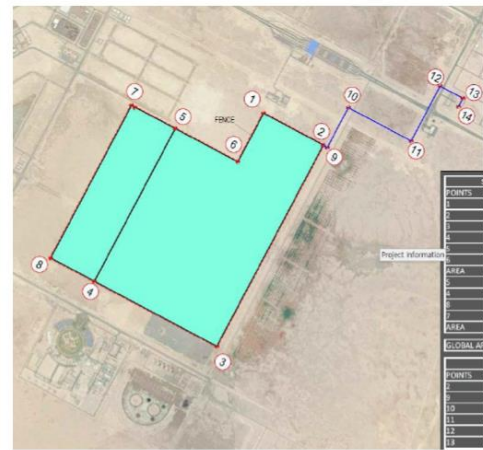
Artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilebilmesi için Katarda yüksek kapasiteli güneş enerji santrallerinin inşası planlanmıştır. Enerji modüllerinin uzun yıllar hizmet verebilmesi adına montajlarının yüksek hassasiyette yapılması gerekmektedir. Sert iklim ve çevre şartları nedeniyle panellerin sabitlenebilmesi için sürekli veya tekil temel yapılması maliyet açısından uygun olmadığından her panelin kayaya soketlenmesi uygun teknik çözüm olmaktadır. Bu vaka analizi kapsamında iletilen proje, yöntem, uygulama ve kullanılan makineler incelenmiş ve sahada yapılan uygulamalar PLAXIS 3D programı ile modellenip, test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. PROJE BİLGİLERİ

Güneş Enerji Santrali Projelerinin Şekil 1a ve Şekil 1b'de görüleceği gibi sırasıyla 4.89 km² ve 5 km² alanı kapsayacak şekilde Katar'da inşa edilmesi planlanmıştır.



Şekil 1a. Mic Bölgesi

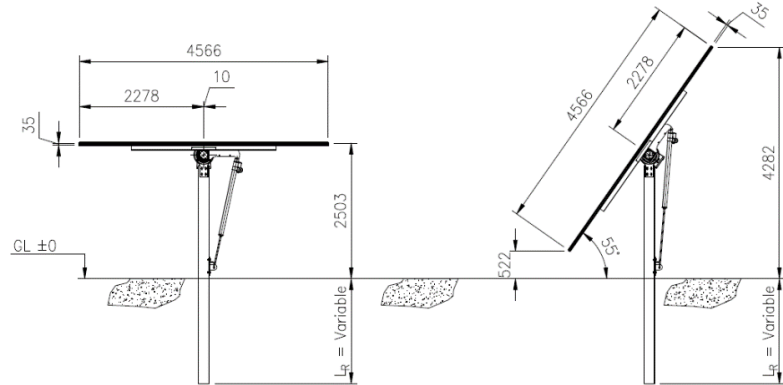


Şekil 1b. Rlic Bölgesi

iki bölgede toplam 51.000 adet delgi yapılması planlanmıştır. Saha kotları ilgili projelerde sırası ile $\pm 0.0 - +4.0$ m ve $\pm 0.0 - +7.5$ m arasında değişmektedir ve yapılacak delgiler mevcut



arazi yüzeyinden 1.3 ve 1.5 m derinlikte olacaktır. Şekil 2’de güneş panellerini taşıyacak sisteme ait tipik kesitler sunulmaktadır.



Şekil 2. Güneş Panelleri Taşıyıcı Sistem Tipik Kesitleri (Samsung C&T Engineering & Construction Group, 2021)

Bölgede beklenen güçlü rüzgarlar ve sert iklim şartları nedeniyle kazıkların basınç, çekme ve kesme kuvvetine maruz kalacağı bilinmektedir, çelik profiller bu yükleri yeterli güvenlikte taşıyacak şekilde projelendirilmiştir.

3. ZEMİN ÖZELLİKLERİ

Zemin etüt çalışmaları kapsamında 2021 yılında maksimum boyu 10.0 m olan toplam 60 adet sondaj kuyusu açılmış ve bu kuyular içinde SPT deneyi yapılmıştır (Qatar Industrial Laboratories W.L.L., 2021). Sondaj ve laboratuvar çalışmaları zemin profilinin, kalınlığı 0.5 m dolgudan ve altında ayrılmış kireçtaşından oluştuğunu göstermektedir. Yeraltı suyuna sondaj çalışmalarında rastlanılmamıştır. Dolgu tabakası %20 ince dane oranına sahip kumlu çakıl biriminden oluşmaktadır. Ortalama SPTN değeri 30'dur. Ayrılmış kireç tabakasında ise UCS ve Nokta Yükleme Deneyi yapılmıştır. UCS değeri 6.85 ile 33.36 MN/m² ve RQD değeri 0-30 arasında değişmektedir. Nokta yükleme deneyi sonuçları ise 0.91 ile 5.70 MN/m² arasında değişmektedir.

Sahada yapılan yükleme deneyleri Plaxis 3D programı ile incelenmiş ve sonuçları dikkate alınarak zemin özellikleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 1. Zemin Özellikleri

Tabaka	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)
Dolgu	18	10 000	0	30
Ayrılmış Kireçtaşı	20	150 000	60	35

4. TAŞIMA GÜCÜ KONTROLÜ

Proje müellifi tarafından iletilen yatay ve düşey kuvvetler için kazık taşıma gücü kontrolü yapılmıştır. Mini kazık tipleri uygulanacağı taşıyıcı sistem bölümüne göre motor ve standart şeklinde ayrılmaktadır. Bu iki tip kazık için iletilen en büyük kuvvetler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Mini Kazık Tipleri ve Gelen Kuvvetler

Mini Kazık Tipi	Yatay Kuvvet (kN)	Çekme Kuvveti (kN)	Basınç Kuvveti (kN)
Motor	48.30	50.50	47.25
Standart	33.00	50.50	47.25

Kazıklar oturma miktarlarının düşük tutulabilmesi amacı ile sürtünme kazığı olarak değerlendirilmektedir. Uçtan gelen taşıma gücü dikkate alınmamıştır. Kazık taşıma gücü kontrolü aşağıda verilmektedir. Ayrılmış kireçtaşı tabakasında sürtünme gerilmesi değeri 200 kPa olarak dikkate alınmıştır. Tasarım çekme ve basınç kuvvetleri güvenlik katsayısı 2.5 olacak şekilde dikkate alınmıştır. Aktarılan yükler dikkate alındığında yeterli taşıma gücü sağlanabildiği görülmektedir.

$$Q_d = Q_u / G.S. = Q_s / 2.5 = f_s A_s / 2.5 = 200 \text{ kPa} \cdot 1\text{m} \cdot 0.3 \text{ m} \cdot \pi / 2.5 = 75 \text{ kN} > 50 \text{ kN} \quad (1)$$

Güneş enerjisi panellerini taşıyacak sistemin kolonları olarak W8x13 tipi çelik profil kullanılması planlanmıştır. Bu profile ait özellikler Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Kullanılan Profile Ait Özellikler

Açıklama	Profil Özelliği	
A, Kesit Alanı	24.8 cm ²	
H, Profil Yüksekliği	203 mm	
B, Profil Genişliği	102 mm	
I _x , Güçlü Eksen Atalet Momenti	1630 cm ⁴	
I _y , Zayıf Eksen Atalet Momenti	114 cm ⁴	

5. MAKİNELER

Uygulama paletli delgi makineleri ve kompresörler yardımı ile DTH tekniği takip edilerek yapılmıştır. DTH (Down The Hole) delik dibi delgi yöntemi ile makinenin verdiği dönme hareketi tijler vasıtasıyla delik dibindeki tabancaya aktarılmaktadır. Tabanca bir yandan dönerken bir yandan da kompresör ile verilen hava yardımıyla çalışmakta ve ucundaki bitle kayaya vurarak parçalamaktadır. Kuyu içinde biriken pasa kompresör yardımı ile verilen yüksek basınçlı hava ile kuyu dışına atılmaktadır.





Şekil 3. Uygulamada Kullanılan Delgi Makinası ve Kompresör

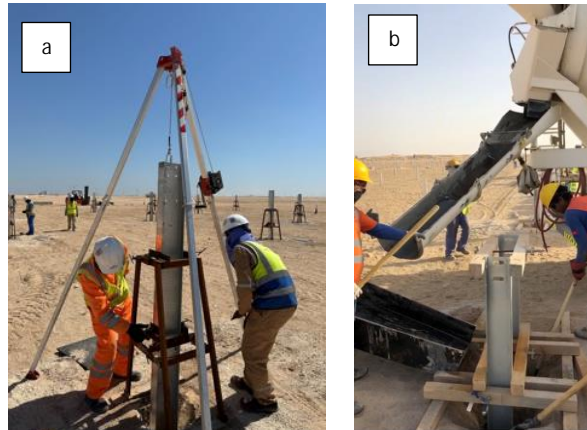
6. UYGULAMA AŞAMALARI

Uygulama, delgi noktalarının sahada topoğraf gözetiminde belirlenmesi ile başlamıştır. Uygulama öncesi imalat alanı hazırlanmış varsa büyük bloklar uzaklaştırılmıştır. Taşıyıcı sisteme ait çelik profil kolonların montajı için DTH yöntemi ile mini kazık delgileri yapılmıştır. Profillerin konumu ve yönünün hassas bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir bu nedenle Şekil 4a ve 4b'de görüldüğü üzere ahşap ve çelik kılavuz çerçeveler kullanılmıştır.



Şekil 4. Profillerin Kılavuz Yardımı ile yerleştirilmesi

Tripod yardımı ile askıya alınan profiller Şekil 5a'de görüldüğü üzere topografik gözlem yapılarak konumuna getirilmiş ve sabitlenmiştir. Devamında Şekil 5b'de görüldüğü şekilde betonlanmaktadır.



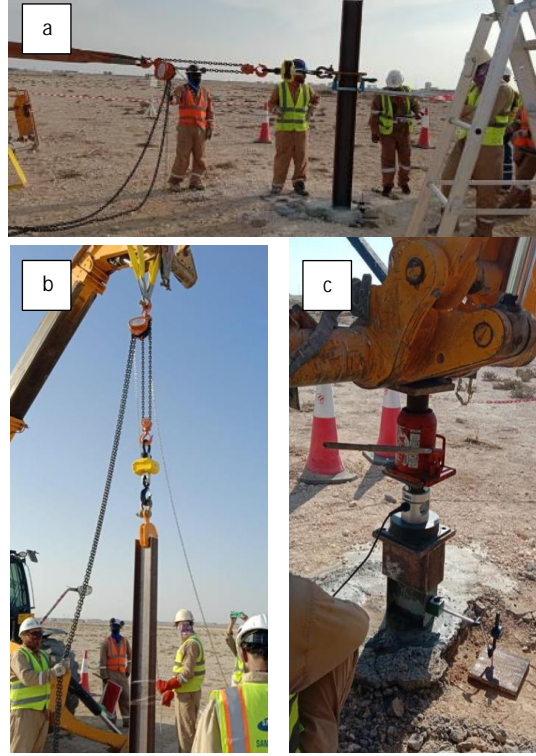
Şekil 5. a) Profillerin Yerleştirilmesi, b) Kuyunun Betonlanması

Beton numuneleri alınmış ve 7 gün sonunda dayanımları kontrol edilmiştir.

7. YÜKLEME DENEYLERİ

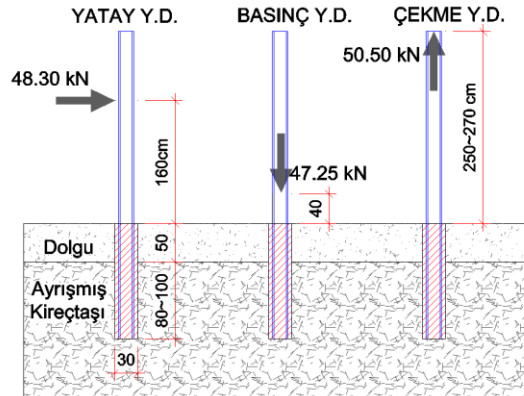
Kalite kontrol deneyleri kapsamında kazıklarda 111 adet yanal yükleme testi, 111 adet çekme testi ve 10 adet basınç testi yapılmıştır.

Testler şekil 6a, 6b ve 6c'de görüldüğü üzere vinç ve kriko yardımı ile yapılmıştır, deplasmanlar mikrometre yardımı ile kayıt altına alınmıştır.



Şekil 6. a) Yatay Yükleme Testi, b) Çekme Testi ve c) Basınç Testi

Tablo 4'te sırasıyla yatay yükleme, basınç ve çekme modellerinin sonuçları verilmektedir (Zetas Qatar W.L.L. Foundation Technology, 2022). Yatay yükleme sonrası kazık başında beklenen deplasman 12.90-20.00 mm bulunmuştur. Basınç ve çekme deneylerinde deplasman sırasıyla 1.2-1.5 mm ve 2.8-4.8 mm'dir.



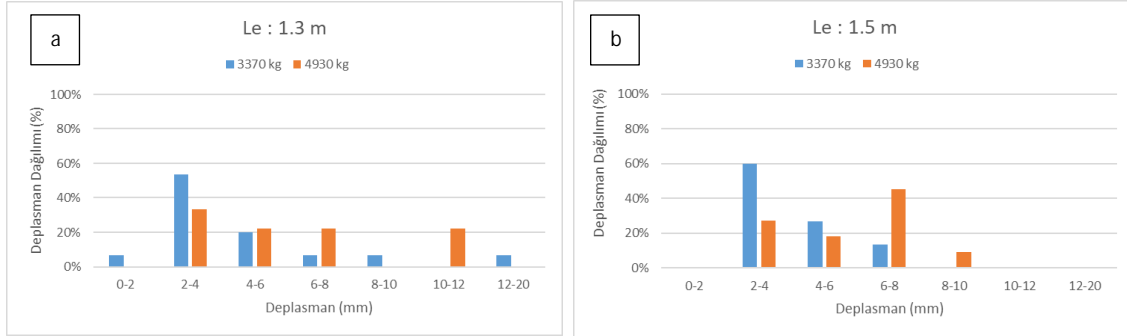
Şekil 7. Yükleme Deneyleri Kesiti



Tablo 4. Deney Sonuçları Maksimum Deplasman Değerleri

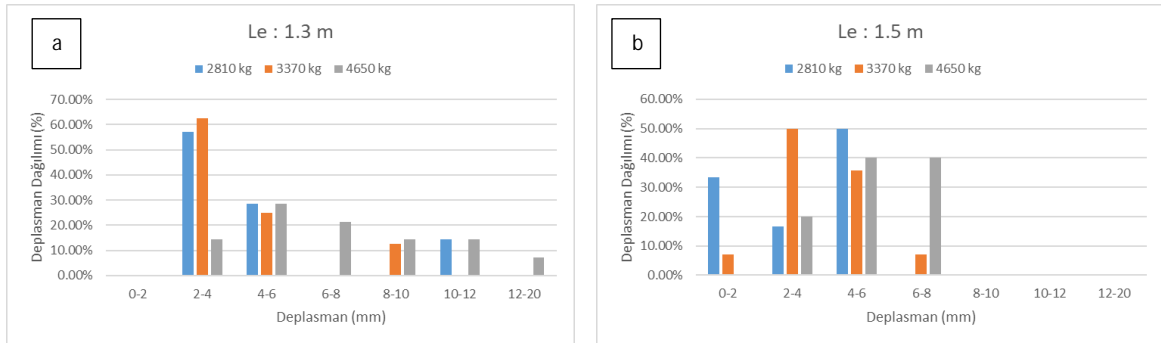
Test Tipi	Yük (kN)	Maks. Deplasman (mm)
Yatay	48.30	20.00
Basınç	47.25	1.50
Çekme	50.50	4.80

Yapılan yatay yükleme deneylerinin sonuçları elde edilen deplasman değerlerinin dağılımlarına göre aşağıdaki grafiklerde verilmektedir.



Şekil 8 Mic Sahası Yatay Yükleme Deneyi Sonuçlarının Dağılımı

a) Soket boyu Le: 1.3 m b) Soket Boyu Le:1.5m

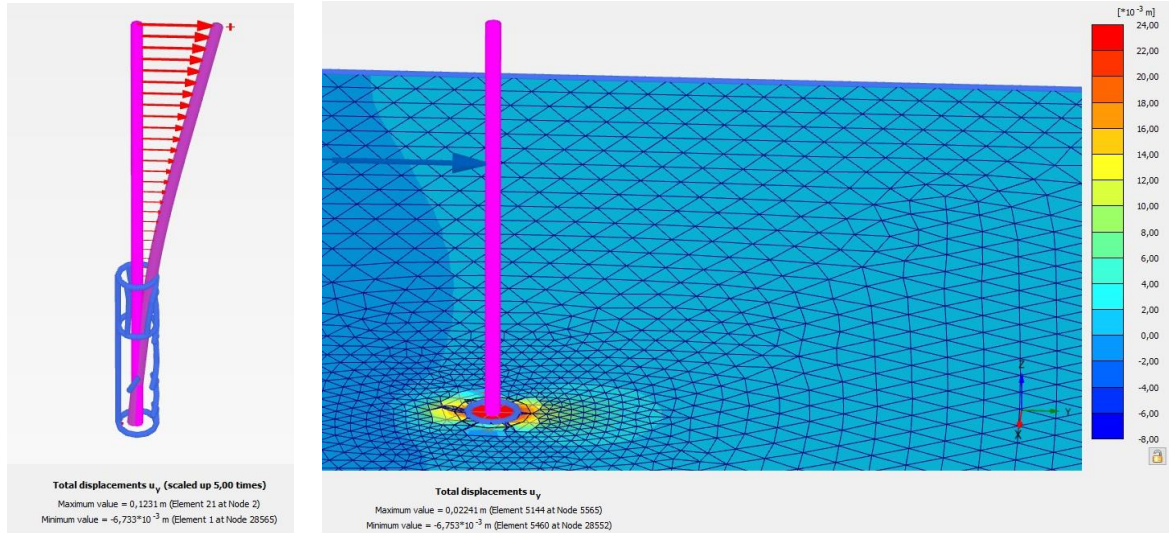


Şekil 9 Rlic Sahası Yatay Yükleme Deneyi Sonuçlarının Dağılımı

a) Soket boyu Le: 1.3 m b) Soket Boyu Le:1.5m

Şekil 8 ve 9'da görüldüğü üzere yatay yükleme deneylerinin sonucunda oluşan yatay deplasman değerleri 2-8 mm aralığında yoğunlaşmakta olup maksimumda 20 mm'lere çıkabilmektedir. Kazık soket boyu arttıkça yatay kuvvetler karşısında deplasmanın azaldığı görülmektedir. Şekil 8a. ve şekil 9a'ya bakıldığında Le: 1.3 m soket boyunda her iki grafikte de deplasmanların 8-10 mm aştığı görülmektedir. Düşük yüklerde (2810 kg – 3370 kg) oluşan deplasmanların %80'i ile %90'ı 6 mm'nin altında gerçekleşmiştir. Yüksek yükte (4650 kg – 4930 kg) gerçekleşen deplasmanın %52'si 6 mm aşmaktadır.

En yüksek yatay deplasman değeri olan 20 mm dikkate alınarak yatay yükler altında ayrılmış kaya tabakasının elastisite modülünün asgari mertebesini tahmin etmek amacı ile test Plaxis 3D programında modellenmiştir.



Şekil 10. Plaxis 3D Modeli

Ayrılmış Kireçtaşı için elastisite modülü 150 MN/m^2 seçilmesi durumunda maksimum deplasman değerlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Deney sonuçlarının daha düşük değerleri işaret etmesi bu elastisite modülünün daha yüksek olması veya dolgu tabakasının dikkate alınan 50 cm değerinden yer yer daha ince olması şeklinde açıklanabilmektedir.

8. SONUÇLAR

Katar'da inşası tamamlanan Güneş Enerji Santralleri kapsamında mini kazık delgisi içine çelik profil yerleştirilerek panel taşıyıcı sistemi teşkil edilmiştir. Yapılan uygulama sonrasında kalite kontrol çalışmaları kapsamında basınç, çekme ve yatay yükleme deneyleri yapılmış olup deney sonuçları bildiri kapsamında özetlenmiştir. Yapılan ön çalışmalar ve test sonuçları karşılaştırıldığında, hesaplarda ve modelde kullanılan parametrelerin yeterli ve güvenli tarafta kaldığı görülmektedir. Geri analiz yöntemi ile saha deneyleri modellendiğinde ayrılmış kireçtaşı tabakasına ait elastisite modülünün 150 MN/m^2 mertebesinde olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmaların ileride benzer uygulamaların planlama ve tasarım aşamalarına bilgi sağlayabilecek sonuçları özetlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Qatar Industrial Laboratories W.L.L., (2021), "Geotechnical Study Report – MIC", [Rapor]
- Samsung C&T Engineering & Construction Group, (2021), " Overall Site Module and PV Layout", Çizim No: 19RJ-10GEN00-P01-0002, [Çizim]
- Zetas Qatar W.L.L. Foundation Technology, (2022), " Qatar Energy Industrial City (Mic & Rlic) Solar PV Project Pull-out Test Works Package", [Rapor]

