

**Kütahya İli Çinili Cami Zemin ve Yapı İncelemeleri ve Performans  
Değerlendirmesi İşi .**

**(Genel Yapısal Değerlendirme Sismik ve Geoteknik İncelemeler ve Önerileri Hk)**

**Hazırlayan:  
Dr.Mahmud Sami DÖVEN**

**Proje Danışmanı**

**Prof.Dr. Ramazan LİVAOĞLU**

**Uludağ Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü**

**Aralık 2017**

## İÇİNDEKİLER

<b>0. KONU</b>	<b>3</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>4</b>
<b>2. YAPI MALZEMESİ VE ÖZELLİKLERİ</b>	<b>7</b>
<b>3. TESPİT EDİLEN HASARLAR</b>	<b>10</b>
<b>4. ZEMİN İNCELEMELERİ HAKKINDA GENEL DEĞERLENDİRME</b>	<b>12</b>
<b>4.1. ÇALIŞMA ALANI JEOLJİSİ-TEKTONİK ÖZELLİKLERİ</b>	<b>13</b>
4.1.1. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ	13
<b>4.2. ÇALIŞMA ALANI TEKTONİK ÖZELLİKLERİ</b>	<b>15</b>
<b>4.3. GEOTEKNİK ÇALIŞMALAR</b>	<b>16</b>
<b>4.4. SONDAJ KUYULARI</b>	<b>16</b>
<b>4.5. YERALTI SUYU SEVİYESİ VE DEĞİŞİMİ ÖLÇÜMÜ</b>	<b>19</b>
<b>4.6. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR</b>	<b>19</b>
4.6.1. SİSMİK KIRILMA	19
4.6.2. MASW YÖNTEMİ	21
4.6.3. ZEMİNİN DİNAMİK-ELASTİK PARAMETRELERİ	24
<b>4.7. ZEMİNLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ</b>	<b>31</b>
4.7.1. TAŞIMA GÜCÜ HESABI	31
4.7.2. OTURMA DEĞERLENDİRMELERİ	33
4.7.3. ŞİŞME BÜZÜLME POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	35
<b>4.8. ÇALIŞMA ALANI DEPREMSELLİĞİ VE SIVILAŞMA HESABI</b>	<b>36</b>
<b>4.9. MÜHENDİSLİK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ</b>	<b>37</b>
4.9.1. ZEMİN GRUBUNUN BELİRLENMESİ	37
<b>4.10. YEREL ZEMİN SINIFININ BELİRLENMESİ</b>	<b>38</b>
<b>4.11. BİNA VE ZEMİN İLİŞKİLERİNİN İRDELENMESİ</b>	<b>38</b>
<b>5. ŞEV STABİLİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ</b>	<b>38</b>
<b>5.1. DORUK PARAMETRELER KULLANILARAK YAPILAN ANALİZLER</b>	<b>40</b>
5.1.1. BOŞLUK SUYU BASINCI KATSAYISI ( $r_u$ ) 0 DURUMU	41
5.1.2. BOŞLUK SUYU BASINCI KATSAYISI ( $r_u$ ) 0.1 DURUMU	41
5.1.3. BOŞLUK SUYU BASINCI KATSAYISI ( $r_u$ ) 0.2 DURUMU	42
<b>5.2. REZİDÜEL PARAMETRELER KULLANILARAK YAPILAN ANALİZLER</b>	<b>43</b>
5.2.1. BOŞLUK SUYU BASINCI KATSAYISI ( $r_u$ ) 0 DURUMU	44

5.2.2.	BOŞLUK SUYU BASINCI KATSAYISI (RU) 0.1 DURUMU	44
5.3.	DEPREMLİ DURUMDA DORUK PARAMETRELER KULLANILARAK YAPILAN ANALİZ	45
6.	<u>BULUT GÖRÜNTÜSÜNÜN ALINMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ</u>	46
7.	<u>YAPISAL ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER</u>	48
7.1.	STATİK AÇIDAN DEĞERLENDİRMELER	51
8.	<u>SONUÇ VE ÖNERİLER</u>	54

## O. KONU

Mülkiyeti Dumlupınar Üniversitesinde bulunan Çinili Camii'nde idare tarafından tespit edilen çatlaklar nedeniyle tarafımıza başvurulmuştur. Söz konusu yapı ile ilgili olarak yerinde tespitlerin yapılması, çatlaklara neden olan unsurların tespiti ve bunların giderilmesine yönelik olarak çözümlerin araştırılması için yapılması gerekenler bu çalışma kapsamında konu edilmiştir. Bu maksatla arazide yapılan gözlemler, jeolojik jeoteknik, jeofizik ve Harita mühendisliği yardımıyla yapılan işler ile bu çalışmalardan derlenen bilgilerin altlık teşkil ettiği Yapısal analizler ve sonuçları bu çalışmada takip eden başlıklarda anlatılmaktadır.

### 1. GİRİŞ

İncelemelerimize konu olan Çinili Cami, Kütahya ili Merkez İlçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1). Söz konusu yapıya anıtlar kurulu tarafından tescilli yapı statüsü verilmiştir.



Şekil 1.1.Çinili Cami konumuna ilişkin google earth görüntüsü.

İncelenen tescilli eser Şekil 1.1'de de görüleceği üzere Ressam Ahmet Yakupoğlu Caddesi (güney cephesi) üzerindedir. Söz konusu yapı sekizgen plan geometresine sahip bir taşıyıcı sistem üzerine oturtulmuş tek kubbeden ibarettir. Bu ana gövdeye tamamen Harim kısmından

oluşmakta olup, Müezzin Mahfili ve Minber yapıdan ayrı ahşap olarak tasarlanmıştır. Mihrab ise yapıda taşıyıcı unsurlardan biri olan gövde duvarı içerisinde kısmen kesit azaltılarak ve duvar kalınlaştırılarak imal edilmiştir. Yapı ana gövdesine ek olarak mekandan ayrı inşa edilmiş yine tek kubbeli bir giriş mekanı ile camiden ayrı dörtgen bir kaide üzerine oturtulmuş silindirik bir minare ile tüm yapı oluşturulmuştur.

Genel hatları Şekil 1.2 de verilen araştırmaya konu edilen yapının tam olarak inşa edildiği tarihi gösterir bir kayıt olmamakla birlikte yapımına 70'lerin sonlarında başladığı yapı kullanılmaya başlandıktan sonra ise 80 li yıllarda Harim kısmı kazılarak temel alt seviyesine inildiği kullanıcılar tarafından ifade edilmektedir. Söz konusu bu bölüm kadınlar için tahsis edilmek üzere sonradan eklenen kolonlar üzerine kirişli döşeme yapılmak suretiyle oluşturulmuştur. Bu sayede günümüzde yapı mevcut haliyle söz konusu bodrum katına sahiptir.

Çinili camii Camii cemaatinden caminin yapılışında çalışmış olanların anlatımları ve gözlemler birleştirildiğinde yapılış aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Caminin bulunduğu yer eğimli bir bölge iken sekizgen şekilde toprak adası kalacak şekilde kazı yapılmış, bu adanın köşelerine kalıp çakılarak toprak üzerine (herhangi bir betonarme temel yapılmaksızın) kolonlar imal edilmiştir. Kolonların arasına da da (herhangi bir betonarme duvaraltı temel yapılmaksızın) bölgedeki muhtelif taşlarla duvar imal edilmiştir. Duvarların üst kotu hizasında kalan harim kısmına gerekli seviyeyi elde etmek maksatlı dolgu yapılarak üzeri tesviye betonu ile düzeltikmiştir. Bu seviyeden sonra devam eden kolonların arasına harman tuğlası ile duvarlar örülmüştür. Kubbe de benzer şekilde tuğladan imal edilmiş olduğu yine bu kişiler tarafından ifade edilmektedir. Ancak zamanla kubbe üzerindeki fayansların aralarında derz olmaması nedeniyle meydana gelen çatlamlar kubbenin yapım şeklinden kaynaklandığı düşüncesiyle kubbe üzerine hasır demir serilerek beton döküldüğü ifade edilmektedir.

Bu şekilde camii inşaatı bittikten sonra camide kadınlar için yer ihtiyacı olduğu gerekçesi ile harim kısmından itibaren yapı içeriden kazı yapılarak temel seviyesine kadar inilmiş ve bir mekan kazanılmak maksadıyla bu olan oluşturulmuştur. Bunun için caminin kuzey batı yönündeki duvar kaldırılmış ve diğer duvarlarda açılan daire şeklinde pencerelerden de

hafriyat atılmıştır. Daha sonra açılan mekana yapılan kolonlar üzerine kirişli döşeme yapılarak harim yeniden inşa edilmiş ve bir bodrum kat kazanılmıştır.



Şekil 1.2. Yapıdan görünümeler.

Yapıda kubbeden gelen yağmur suları ve zeminden gelen rutubetten kaynaklı sorunların oluştuğu ve dönem dönem binanın etrafına yapılan drenaj ve yalıtımlar ile sorun çözülmeye çalışıldığı anlaşılmaktadır. Rutubet kaynaklı çatlakların yanında, özellikle sonradan ilave edilen kolonların üzerine oturtulmuş kirişli döşemenin kirişlerinde ciddi çatlakların oluştuğu ve bu çatlakların yapılan tamiratlar ile kapatılmasına rağmen tekrarladığı ifade edilmektedir. Farklı dönemlerde tarafımızdan yapılan gözlemlerde tespit edilmiştir. Ancak farklı zamanlarda yapılan gözlemlerde kubbenin oturduğu ve herhangi bir temel teşkil edilmemiş düşey taşıyıcılarda herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte hasarların yukarıda da ifade edildiği üzere sonradan kadın mahali yapılmak için kazılan ve döşeme ile bir seviye oluşturulan bölümde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Söz konusu bu hasarlardan bazıları takip eden bölümlerde verilmektedir.

## **2. YAPI MALZEMESİ VE ÖZELLİKLERİ**

Tarihi yapılara benzer şekilde inceleme konusu yapıda da genellikle tuğla+kaba taş kullanılmıştır. Pandantiflerde, ve kubbelerde tuğla kullanılarak imalat gerçekleştirilmiştir. Bu elemanlar arasında ise betonarme düşey ve yatay elemanlar ve bazı kemerlerde de kullanıldığı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan beden duvarında ise gelişi güzel şekilde taş duvar olarak temel seviyesinden zemin seviyesine kadar imal edilmiş bu noktadan sonra ise harman tuğlası olarak bilinen (bölgede parmakören tuğlası olarak isimlendirilen) taşıyıcı özelliği yüksek bir yapı eleman olan tuğla ile teşkil edilmiştir. Yığma duvarlar için söz konusu malzemelerin tercih edilmesinde, taşın doğada doğal olarak bulunmasının, kolay temin edilmesinin ve işlenebilirliğinin etkisi büyük olmaktadır. Ayrıca söz konusu bu malzemenin dış etkenlere karşı dayanımı yüksek olduğundan bu tür yapıların ömürleri oldukça uzun olabilmektedir. Ancak; kullandıkları yapıların ağırlıklarının fazla olması, yapıya etkiyen deprem yükünü artırmakta ve dolayısıyla da bu yüklere karşı yeterli dayanımı elde edebilmek, ancak büyük kesitlerle mümkün olabilmektedir. Bu nedenle her ne kadar malzeme olarak yüksek dayanıma ve dayanıklılığa sahip olduğundan söz etmek mümkün olsa da, yapı taşıyıcılarının teşkilinde uygun birleşimler sağlanamaz ise yatay yüklere karşı istenen performans elde edilememektedir. Bu tür malzemeler ile teşkil edilen taşıyıcı sistemlerin bir diğer dezavantajı olarak da zemin hareketlerine karşı çok hassas olmaları gösterilebilir. İnceleme konusu yapıda da gözlemlendiği üzere söz konusu taşıyıcı sistemin çekme gerilmelerine karşı hemen hemen hiç direncinin olmaması, söz konusu yapıya ait temel zemini de düşünüldüğünde oturumlarında önemli hasarların gözlemlenmesine neden olabilmektedir. Diğer taraftan

harman tuğlası için de yukarıdaki ifadeler geçerli olmakla birlikte daha düzenli bir yapı elemanı oluşturmak mümkün olabilmektedir. Ancak yapıda kullanılan bu tuğlanın tüm yapıda nasıl örüldüğünün tespit edilmemesi mümkün olmamakla birlikte oldukça geniş bir duvar oluşturulmak marifetiyle düşeyde yüksek taşıyıcılığa sahip bir yapı elemanı oluşturulduğu görülmektedir.

İnceleme konusu yapıda kullanılan doğal taşlar, kaynaklarına göre farklı mekanik özellikler gösterebilirler. Damarlı olması, boşluklu olması, içeriğindeki maddeler mekanik özelliklerini etkilerler. Taşların genel olarak basınç dayanımları yüksek çekme dayanımları ise düşüktür. Bu özelliklerinden dolayı yatayda büyük açıklıkların geçilmesinde inceleme konusu yapı sisteminde olduğu gibi, kemer kubbe veya tonoz gibi özel formlar kullanılmaktadır. Ancak günümüz teknolojisinden faydalanılarak bu tür elemanların betonarme olarak imal edildiği anlaşılmaktadır. Düşük çekme dayanımı nedeniyle taş ve yığma duvarlarda bu dayanımının aşıldığı durumlarda duvarlarda kolaylıkla çatlaklar oluşabilir. Bu çatlakların; fiziksel koşullar (donma, çözülme, genleşme vb.) nedeniyle büyümesi ve derinleşmesi ise yapı güvenliğini tehlikeye sokar. İnceleme konusu yapının davranışının doğru tespit edilebilmesi için taşıyıcı olarak kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Yapı taşı olarak kullanılan bazı kayalar için ortalama mekanik özellikler Tablo 1’ de sunulmaktadır. Daha önce de ifade edildiği üzere burada verilen değerler kayacın boşluk oranı, damarların gelişimine vb. gibi birçok faktöre göre önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle değerlerin tespit, her bir yapı için yapılacak geniş araştırmalarla belirlenmesi gereken oldukça kapsamlı bir incelemeyle mümkün olabilmektedir. Kaldı ki eleman bazında belirlenecek bu değerlerin doğrudan yapı taşıyıcı sistemi için kullanılması da doğru olmayacaktır. Keza taşıyıcıların oluşturulmasında yalnızca bir tek malzeme kullanılmamakta, bu örnekte de görülebileceği gibi taş, tuğla ve harç gibi mekanik özellikleri birbirlerinden oldukça farklı değerler alabilen malzemeler birlikte kullanılmaktadır. Bu nedenle yapı için ortalama bir mekanik özellik tespiti genelde elzem olmaktadır. Benzer şekilde birçok çalışmadan bahsedebilmekle birlikte, Coşkun ve Türk (2012) tarihi minarelerin dinamik davranışlarının belirlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada, küfeki taşının mekanik özelliklerini belirtmişlerdir. En önemli özelliği doğadan çıktığı anda her türlü işleme uygun olması ve kolay işlenebilirliği yüksek olan bu yapı taşı, asıl itibarıyla bir tür kireç taşıdır (kalker) ve havayla temastan sonra havadaki karbon dioksiti bünyesine alarak sertlik, dayanıklılık ve güç kazanmaktadır. Buna göre küfeki taşının mekanik özellikleri Tablo 2’ de gösterilmiştir.



İnceleme konusu yapıda ise yukarıda ifade edildiği şekliyle net olarak belirli bir kayaç özelliğine sahip olan bir malzeme kullanıldığından bahsetmek mümkün değildir. Diğer taraftan bu tür imalatın zemin seviyesinin altında kullanılmış olması bir taraftan yapı yatay taşıma kapasitesine olan katkısının olmaması nedeniyle sevindiricidir.

**Tablo 1. Doğal Yapı Taşlarının Ortalama Mekanik Özellikler (Çamlıbel 2000)**

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	15000-70000
Mermer	25-65	9-45	1-15	25000-70000
Kireç taşı	18-65	6-20	2-6	10000-55000
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	13000-50000
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15000-55000
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23000-45000

**Tablo 2. Küfeki taşının mekanik özellikleri (Coşkun ve Türk 2012)**

Fiziksel özellikler	Maks.	Min.	Ortalama
Birim Hacim Ağırlığı (kuru, kN/m <sup>3</sup> )	25,0	22,8	23,9
Birim Hacim Ağırlığı (suya doymuş, kN/m <sup>3</sup> )	25,3	23,7	24,5
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	19,2	12,3	16,7
Tek eksenli çekme dayanımı (MPa)	0,95	0,88	0,9
Elastisite modülü (GPa)	7,36	4,30	5,84

Zemin seviyesi üstünde ise betonarme düşey elemanlar arasında kullanılan harman tuğlasının ise çok daha stabil bir davranışa sahip olacağından bahsetmek mümkündür. Bu tür yapılarda, pişirilmiş kilden üretilen tuğlayı oluşturan malzemeler genellikle dere yataklarında yüzeysel olarak biriken kum taşlarının kalıntılarından elde edilirdi. Pişmiş kilden üretilen tuğlalar, görünüşleri ve işlevlerine göre sınıflandırılır; fırınlarda yüksek ısı altında pişirilir; fırın teknolojisinin bulunmadığı yerlerde ise güneş ısısından yararlanılarak üretilirler. Bugünün teknikleri ile çok daha yüksek mukavemetli bir üretim yapmak mümkün olabilmektedir. İstenilen formda üretilebildiğinden ve yapı elemanına istenilen formu vermekte rahatlıkla kullanılabildiğinden sıklıkla tercih edilmektedirler.

Tuğlayı oluşturan malzemenin kalitesi, kullanılan harç ve tuğlanın örülme düzeni; tuğla duvarın dayanımını belirler. Tuğlaların basınç dayanımı, malzeme özelliklerine bağlı olarak 10 MPa dan 30 MPa'a kadar değişir. İyi fırınlanmış tuğla, iyi fırınlanmamış tuğlaya göre üç kat daha fazla dayanıma sahip olabilir. Genel olarak tuğlanın çekme dayanımı basınç

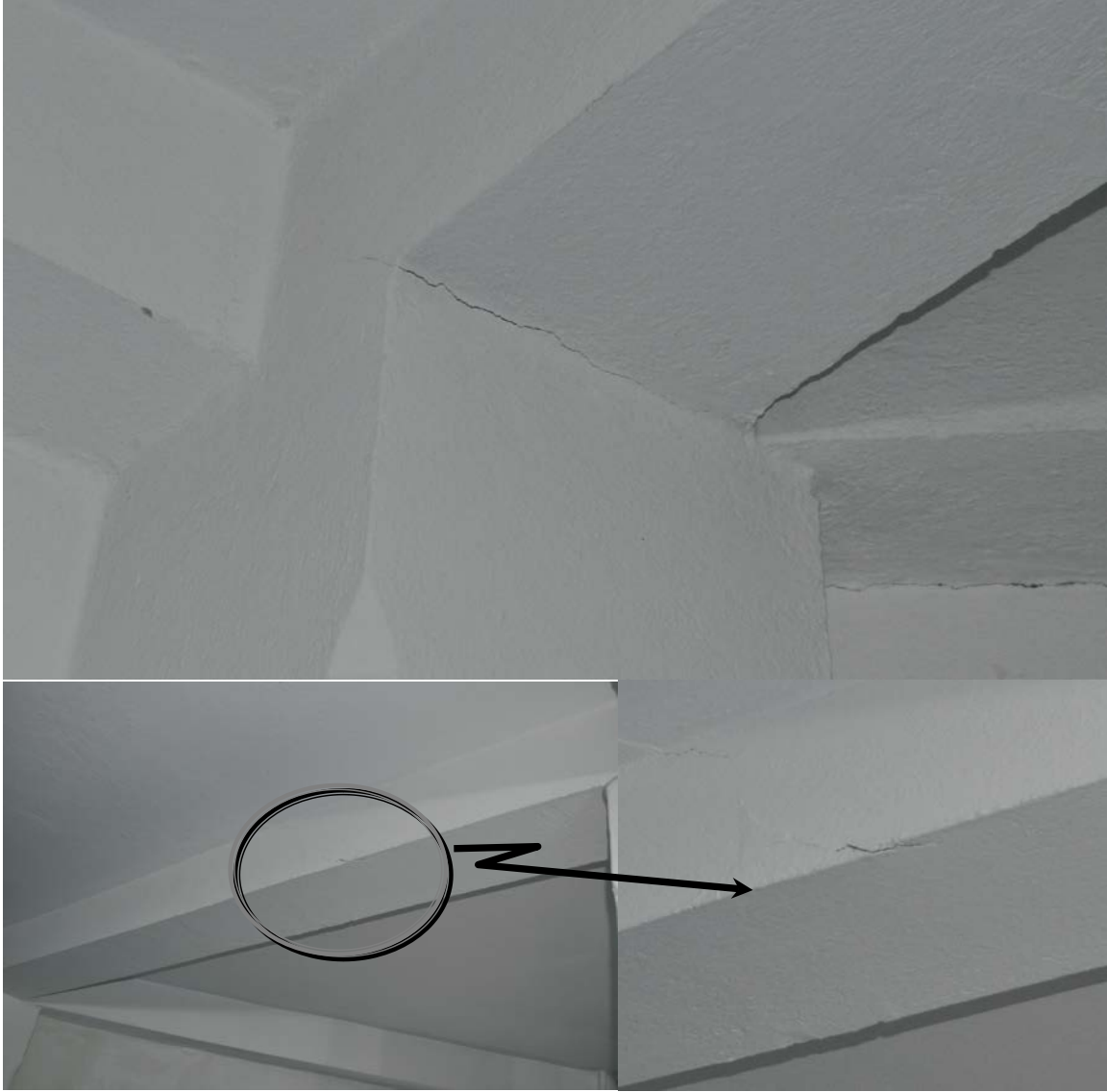
dayanımının %10'u, kayma dayanımı ise basınç dayanımının %30'u kadardır (Ünay 2002). Literatürde ülkemiz için yapılan çalışmalarda, tarihi yapılarda kullanılan bu tuğlaların ortalama mekanik özellikleri; basınç dayanımı 10-30 MPa, çekme dayanımı 2,5-5 MPa, ve kayma dayanımı ise 10-20 MPa aralığında değiştiği görülmektedir.

Tüm bu verilere ek olarak tarihi yapılarda tarafımızdan gerçekleştirilen yapıların dinamik karakteristiklerini belirlemeye yönelik çalışmalarda ise Elastisite Modülünün 2000-10000 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Söz konusu çalışmaların minare türü sistemler için gerçekleştirildiği düşünüldüğünde eğilme davranışının çok etkin olduğu, inceleme konusu yapıda ise bu durumun böyle olmadığı düşünüldüğünde, bu çalışmada üst sınır olan 10000 MPa dikkate alınmıştır.

### **3. TESPİT EDİLEN HASARLAR**

İnceleme konusu yapı, taşıyıcı duvarları, kubbeler ve pandantifler taş yığma ve/veya harman tuğlası kullanılarak imal edilmişlerdir. Kemerler ve düşeyde ve yatayda kuşak kirişi ise betonarme elemanlar olarak imal edilmişlerdir. Bilindiği üzere bu tür tekniklerle inşa edilmiş olan yapılarda herhangi bir oturmaya karşın ortaya çıkacak çekme gerilmelerinin veyahut kaymaların karşılanması, diğer bir ifadeyle adaptasyon sayesinde diğer kesitlere aktarılabilmesi pek mümkün olmamaktadır. Bazı özel durumlarda kenetler ve özel tasarlanmış bağlantı elemanları vasıtasıyla bu adaptasyonun sağlanması mümkün olmakla birlikte, inceleme konusu yapıda gözlemlenen hasar yerlerinde bu tür elemanların kullanılmadığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla yapıda meydana gelecek farklı oturmalar doğrudan üst yapıda başlangıçta öngörülmeleyen çekme gerilmelerinin doğmasına neden olmakta sonuç olarak ise önemli hasarlar gözlemlenebilmektedir.

Yapı, inceleme ekibi tarafından yaklaşık bir yılı aşkın süredir takip edilmekte, bu süre içerisinde çeşitli vesilelerle gözlemlenmektedir. Bu başlıkta bu gözlemler sonucu tespit edilen en belirgin hasarlar aşağıdaki şekillerde verilmektedir. Tüm bu gözlemlerden ve verilen fotoğraflardan anlaşılacağı üzere yapı beden duvarlarında kemerlerde pandantiflerde veyahut kubbede herhangi bir hasar bulunmamaktadır. Anca sonradan imal edilen harim kısmının kazılması ile elde edilen betonarme bölümde ise aşağıdaki verilen hasarlar meydana gelmiştir(Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kirişlerde mesnet ve açıklıkta gözlemlenen çatlaklar

Yapının bulunduğu alan şevli bir yapı üzerindedir. Diğer taraftan zemin etütlerinden anlaşılacağı üzere oldukça oturmaya müsait bir zemin üzerinde herhangi bir temel sistemi olmaksızın inşa edilmiştir. Dolayısıyla yapıda oturmaya bağlı olarak problemlerin gözlemlenmesi olağandır. Cami ile giriş olarak camiye sonradan eklenmiş olan kısımda oturmaya ait işaretler gözlemlenmektedir. Ancak yukarıda verildiği gibi farklı oturmaya bağlı gerçekleşmiş bir hasar yapının diğer kısımlarında gözlemlenmemiştir. Diğer taraftan sonradan imal edilen ve önemli bir kazı işlemi yapılar elde edilen kadın mahalli ise söz konusu oturmaya ek olarak farklı oturmaya da maruz kalmış ve mevcut durumdaki hasarlar söz konusu bu kısımda meydana gelmiştir. Diğer taraftan camii oturma alanının hemen yanında şevi düzeltmek adına imal edilen tahkimat yapıları ve bunlarının önüne düz bir alan oluşturmak için yapılmış bulunan dolgudan da bahsetmek gerekir. Söz konusu dolgunun

muhtemel olarak bölgede hafriyat malzemelerinden imal edildiği yeterli drenaja sahip olmaması nedeniyle su tutma kabiliyetinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Alandaki tüm dolgu malzemesinin yatay yükünü almaya çalışan ve su basıncına yönelik barbakanların bulunmadığı bu istinat duvarlarında gözle görülen ve endişe oluşturan kaymalar ve çatlaklar gözlemlenmektedir(Şekil 3.2).



Şekil 3.2 İstinat duvarında gözlemlenen hasarlar

#### **4. ZEMİN İNCELEMELERİ HAKKINDA GENEL DEĞERLENDİRME**

Günümüzde yapılar inşa edilmeden önce zemin etütleri yapmak zorunlu hale gelmiştir. Günümüzde halen ayakta duran tarihi yapılar bulunmakta ve bu yapıların pek çoğu korunmaktadır. Ancak bu yapıların üzerine oturduğu zemine ait geoteknik değişkenleri

bilinmeden inşa edildiklerinden zaman zaman oturmalara ve bu oturmalara bağılı olarak gelişen yapısal deformasyonların oluşması muhtemeldir. Önlem alınmadığı takdirde söz konusu oturmalara bağılı gelişen deformasyonlar önem atfedilen bu yapıların kaybedilmesine neden olabilir. Zemin değışkenlerine bağılı olarak oturmaya başlamış bir yapının zarar görmesini önlemek için öncelikle geoteknik ve jeolojik değışkenlerinin belirlenmesi gereklidir. Zemin ve yapı dengesi kurulmadan yapıyı ayakta tutmak mümkün değıldir.

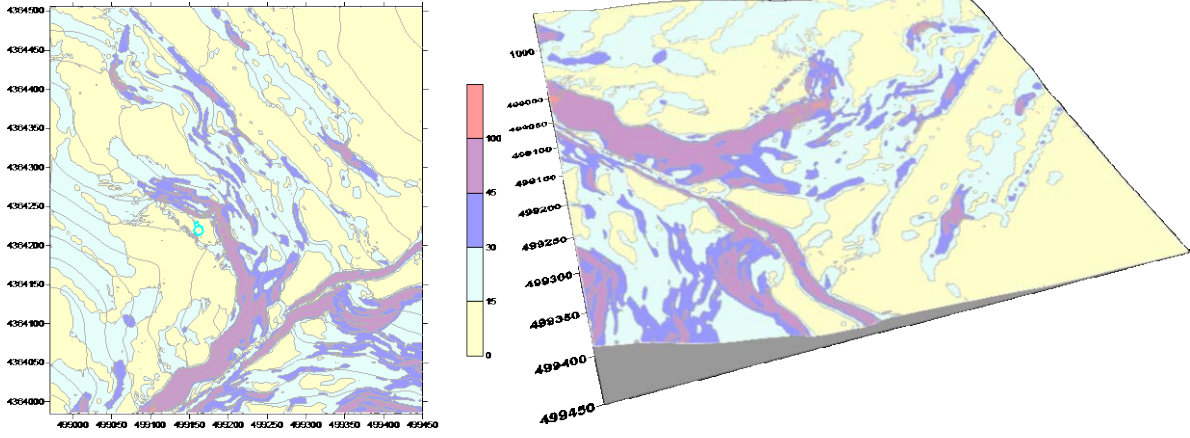
İnceleme heyetinin bir yılı aşkın süredir gözlemleri sonucunda çalışmaya konu edilen yapıda ve yapı yerleşim alanını sınırlayan tahkimat yapılarında çatlaklar ve ayrılmalar tespit edilmiştir. Söz konusu deformasyonların nedeninin birbirlerinden bağımsız oldukları zemin değışkenlerine bağılı olduğu öngörülerek, bir dizi jeolojik, geoteknik, jeofizik ve jeodezi yöntemleri ile çalışma yapılması önerilmiştir. Bu kapsamda yapının bulunduğu bölgede yukarıda ifade edilen yöntemler ile yeraltı yapısının belirlenmesi, yapının mevcut durumunun tespiti ve şev stabilitesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bölgede daha önceden yapılan jeolojik çalışmalar derlenmiş ve caminin üzerinde bulunduğu zeminin özellikleri sismik kırılma, mikrotremor kayıt yöntemleri kullanılarak zemin hız yapısı ve yaklaşık profil belirlenmiştir. Yerinde sondaj çalışmaları ile zeminin geoteknik özellikleri araştırılmıştır.

#### **4.1. ÇALIŞMA ALANI JEOLJİSİ-TEKTONİK ÖZELLİKLERİ**

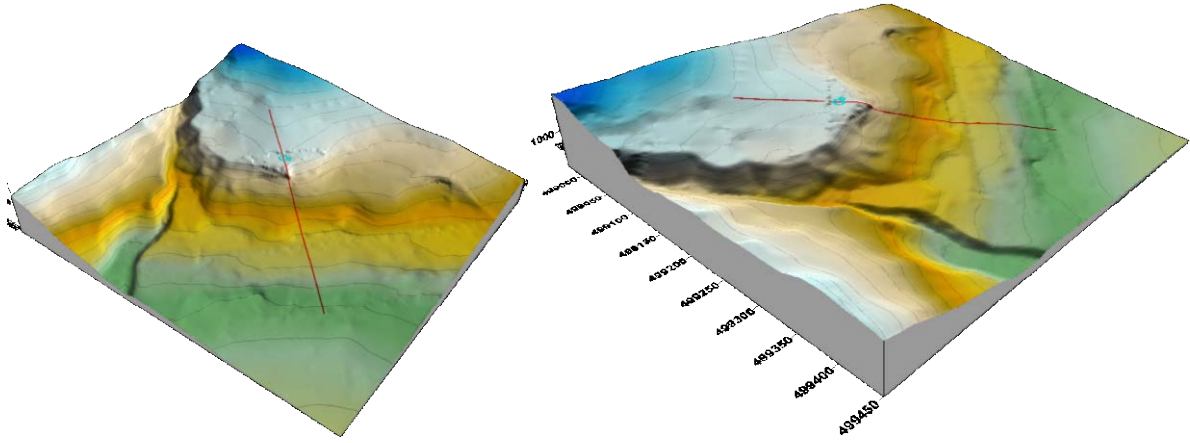
##### **4.1.1. Çalışma Alanının Jeolojik Özellikleri**

İnceleme alanı, Kütahya ili, Merkez ilçesi, Maltepe Mahallesi, 625 ada, 23 parselde yer almaktadır. Çinili Camii, Ressam Ahmet Yakupoğlu Caddesi üzerinde olup, Kütahya şehir merkezine yaklaşık 1.5 km güneydoğusunda yer almaktadır.

Çinili Camii'nin bulunduğu alan deniz seviyesinden 1005.0m ile 1015.0m yükseklikler arasında yer almaktadır. İnceleme alanı, mevcut durumu itibari ile düz bir topografyaya sahip olup eğim %0-2 arasında değışim göstermektedir. Ancak inceleme alanının hemen hemen sınırını oluşturan su kanalının şevlerinde eğim bir miktar artmaktadır. İnceleme alanının eğim haritası Şekil 4.1'de, verilmektedir. İnceleme alanının üç boyutlu kabartma modelleri ise Şekil 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4.1 Eğim haritası



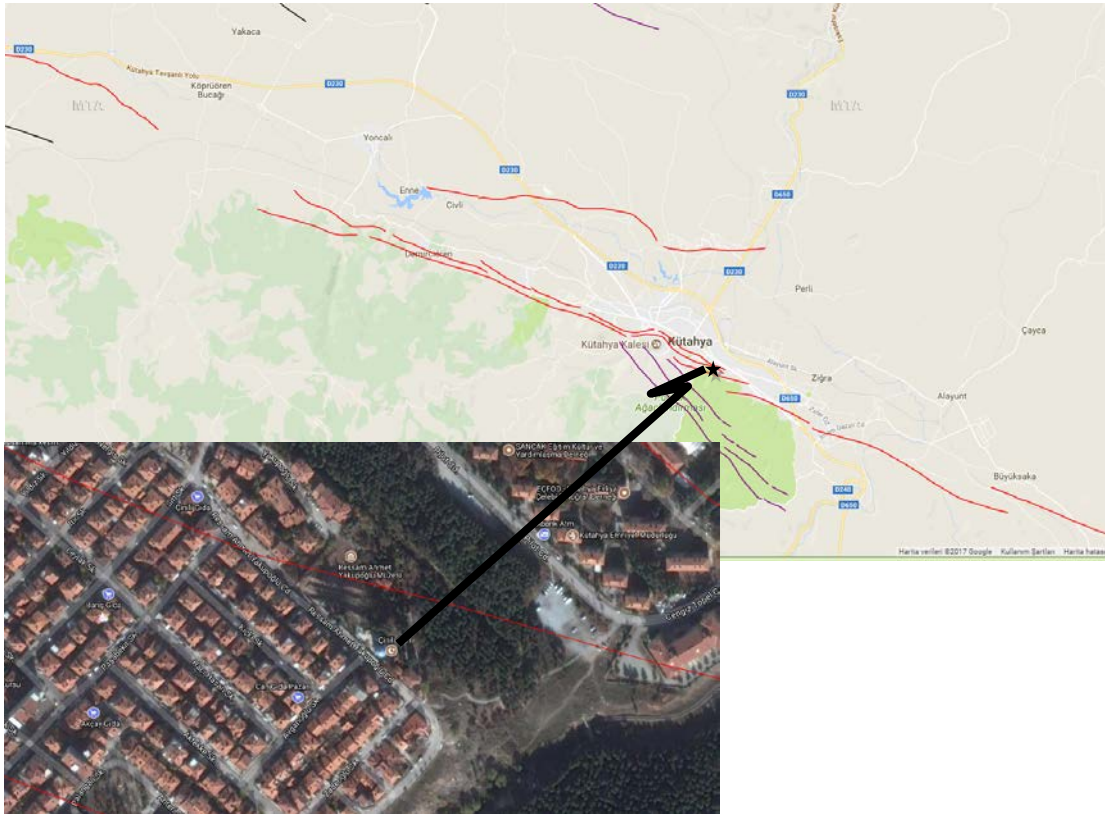
Şekil 4.2 Üç boyutlu kabartma modelleri

İnceleme alanının jeolojisi, Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Çokköy Formasyonu'nun (Tmplç) birimlerinden oluşmaktadır. İnceleme alanında yer alan birimlerin özellikle üst seviyeleri, açık yeşilimsi, gri renkli, sarımsı, bej renkli, kirli beyaz, yer yer killi kireçtaşı çakıl ve blokları içeren, marn ve killi kireçtaşlarının ayrışması ve bozunması ile oluşmuş rezidüel birimlerden meydana gelmektedir. Rezidüel birimlerin kalınlığı yaklaşık 11.00m ile 17.00m arasında değişmektedir.

Rezidüel birimin altında ise beyazımsı, kirli beyaz, bej renkli, yer yer kızılımsı pembe renkli, ince çakıllı konglomera ve marn ara bantları içeren, çok kırıklı çatlaklı, yer yer tamamen parçalanmış, kırık ve çatlaklar genellikle kalsit dolgulu, zayıf dayanımlı killi kireçtaşı ve marnlardan meydana gelmektedir.

## 4.2. Çalışma Alanı Tektonik Özellikleri

Çalışma alanında Paleozoyik boyunca çökelmiş ve Karbonifer öncesi deformasyona uğramış çeşitli kaya birimleri mevcuttur. Sahada Saadet köyünden (İ23a1) başlayıp b3) doğuya Kuyupınar köyüne (İ23b3) kadar uzanan birbirine paralel KB-GD yönlü birkaç eğim atımlı normal fay mevcuttur. Fayların kuzey kenarı güney kenarına göre düşmüş olup Paleozoyik-Miyosen yaşlı tüm birimleri etkilenmiştir. Yine çalışma alanı kuzeyinde yukarıda bahsedilen normal fayları kesen fazla devamlılığı olmayan KD-GB yönlü sağ yanal atımlı faylar mevcut olup temeli ve Miyosen birimlerini etkilemiştir. Sahada Arifler melanjının ve ultramafiklerin metamorfiklere bindirmiş olduğu veya ultramafiklerin melanj üzerine itildiği Geç Kretase yaşlı tektonik yapılar da gözlenmektedir. Eosen'de denizel sedimantasyonunun yanı sıra bir dizi Plütonik kütle Tavşanlı Zonu içine sokulmuştur. İnceleme alanında asidik volkanizmanın Orta-Geç Miyosen'de etkili olmaya başladığı ve Pliyosen'e kadar etkisini sürdürdüğü tespit edilmiştir. Bazik ve ortaç bileşimli bu volkanitlerin coğrafik dağılımı çöküntü havzalarıyla sınırlıdır. (Baş ve diğerleri,1983) Orta Miyosen'de başlayan neotektonik evre ile çöküntü havzaları gelişmeye başlamış, Pliyosen'de bu havzalara akarsu ve gölsel tortullar çökelmiştir. Kuvaterner, akarsu ortamında çökelen kaba kırıntılarla ve travertenlerle simgelenir. İnceleme alanının tektonik olarak durumunu gösterir haritalar (MTA 2017) Şekil 4.3'de verilmektedir.



Şekil 4.3. Çalışma yerinin tektonik olarak durumunu gösterir haritalar (MTA 2017)

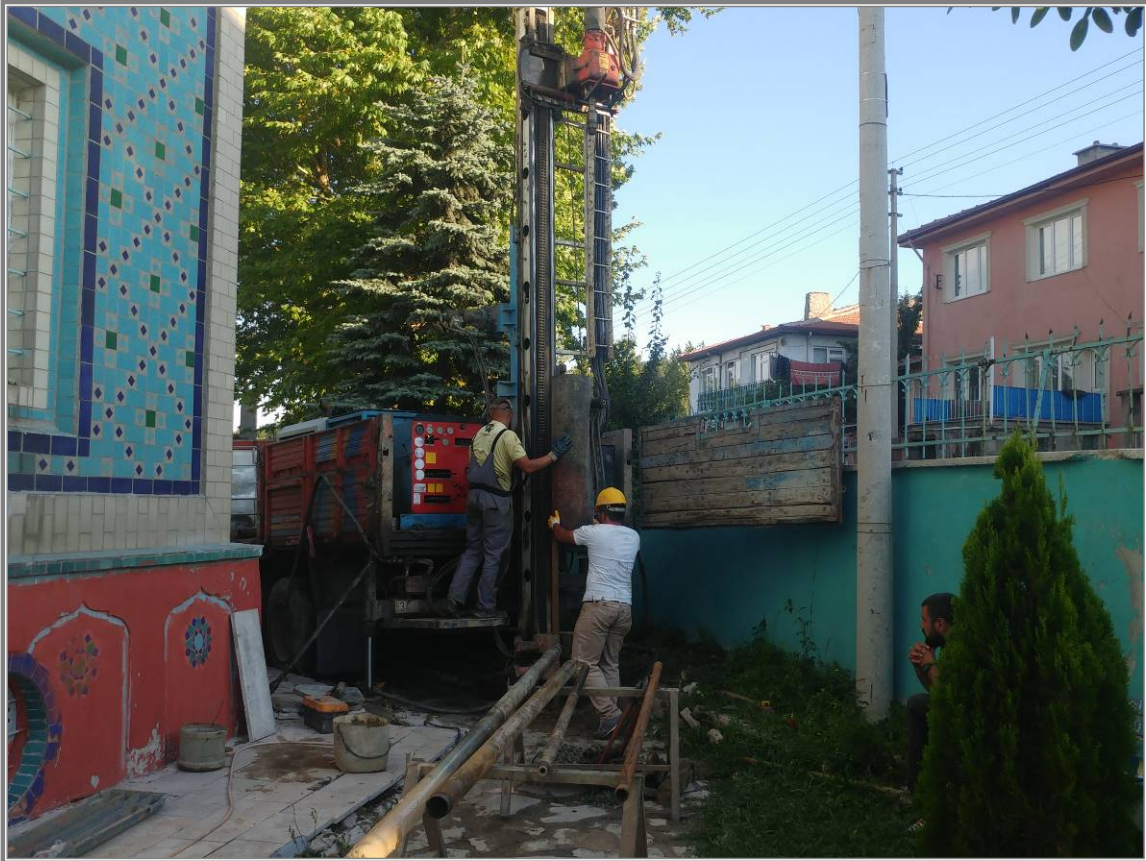
### **4.3. GEOTEKNİK ÇALIŞMALAR**

#### **4.4. Sondaj Kuyuları**

Bölgenin genel jeolojisi ışığında, birimlerin yanal ve düşey yöndeki değişimleri, mühendislik özellikleri, yeraltı suyu durumu ve jeoteknik parametreleri saptamak amacıyla, 10.00-21.00 m derinliklerde toplam 4 adet toplam 71.5 m jeoteknik sondaj kuyusu açılmıştır.

Sondajlar hidrolik beslemeli TSM-750 rotary sondaj makinesi ile yapılmıştır. Sondajlarda auger, HQ Wire-Line tij ve karotiyer sistemleri kullanılmıştır. Sondajlar tamamlandıktan sonra açılan tüm jeoteknik sondaj kuyuları plastik borular ile teçhiz edilerek muhafaza altına alınmıştır.

İnceleme alanında yapılan jeoteknik sondaj kuyularına ait lokasyon haritası Şekil 1.18’de, sondaj çalışmalarından görünüm Şekil 4.4’de verilmektedir. İnceleme alanında yapılan sondaj kuyularının kot, koordinat ve derinlikleri Çizelge 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.4. Sondaj çalışmalarından görünüm



Çizelge 4.1. Sondaj kuyularının kot, koordinat ve derinlikleri

Sondaj No	X	Y	Z	Derinlik (m)
SK-1	4364213,35	499156,02		21.00
SK-2	4364228,00	499169,22		20.50
SK-3	4364234,79	499157,78		20.00
SK-4	4364316,72	499249,74		10.00

İnceleme alanında, ayrıışmış-bozunmuş seviyelerinde 1.50 m'de bir Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılarak zeminlerin dayanım parametreleri, sıklık ve kıvam özellikleri belirlenmeye çalışılmış ve örselenmiş örnekler alınmıştır. Rezidüel birimlerin kohezyonlu seviyelerinden örselenmemiş (UD) örnekler alınmıştır.

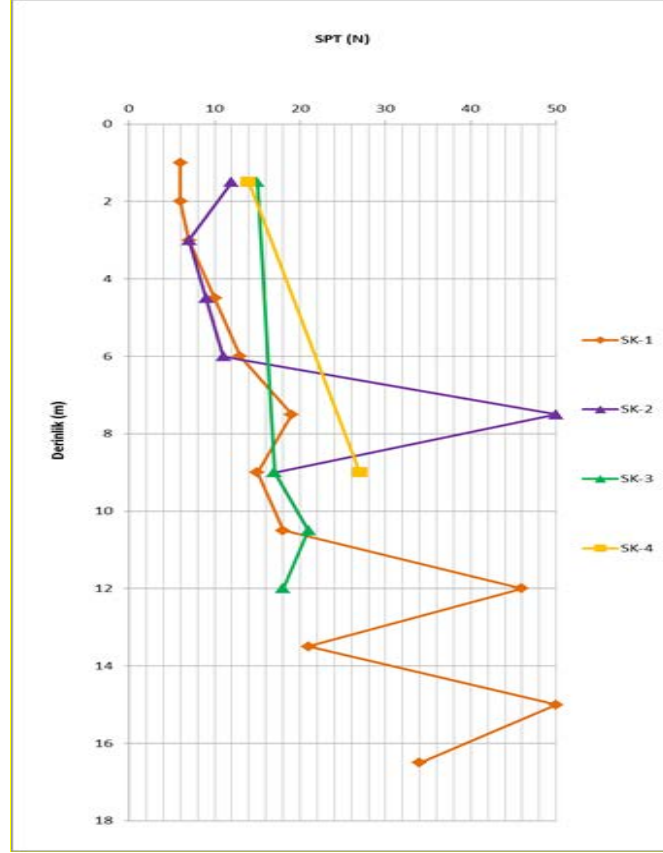
Standart penetrasyon deneyinde, dış çapı 50 mm, iç çapı 35 mm ve uzunluğu 650 mm olan boyuna yarık numune alıcı 63.5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 76 cm yükseklikten serbest düşmesi ile zemine 15 cm'lik kademeler halinde toplam 45 cm çakılmakta ve her 15 cm'lik ilerleme için uygulanan darbe sayıları kaydedilmektedir. Kuyu tabanında örselenme olabileceği göz önüne alındığından ilk 15 cm'lik ilerleme için uygulanan darbe sayıları dikkate alınmaz. Son iki kademenin ilerlemesi için uygulanan darbe sayılarının toplamı ise "Zeminin Penetrasyon Direnci (SPT-N)" olarak kaydedilir.

İnceleme alanında açılan 4 adet sondaj kuyusunun ayrıışmış üst seviyelerinde 1.5'm de bir SPT yapılmıştır. SPT\_N sonuçları Çizelge 4.2'de sunulmuştur. SPT N<sub>30</sub> değerleri grafikleri ise, Şekil 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Sondajlarda yapılan SPT'lerin sonuçları

SK-1		SK-2	
Derinlik (m)	SPT N	Derinlik (m)	SPT N
1	6	1,5	12
2	6	3	7
3	7	4,5	9
4,5	10	6	11
6	13	7,5	R
7,5	19	9	17
9	15	10,5	21
10,5	18		
12	46		
13,5	21		
15	88		
16,5	34		

SK-3		SK-4	
Derinlik (m)	SPT N	Derinlik (m)	SPT N
1,5	15	1,5	14
9	17	9	27
10,5	21		
12	18		



Şekil 4.5. SPT N<sub>30</sub> değerleri grafiği

SPT deneyi arazide yapılırken elde edilen SPT değerlerine göre zemine ait kıvam, nisbi yoğunluk ve serbest basınç direnci, relatif sıklık değerleri yorumlanabilir (Çizelge 4.3 ve 4.4).

Çizelge 4.3. SPT deneyi kil zeminde yapılırsa (Terzaghi ve Peck)

( N ) Darbe Sayısı	Kıvam	Serbest Basınç Direnci (kg/cm <sup>2</sup> )
2>	Çok Yumuşak	0.25>
2-4	Yumuşak	0.25-0.50
4-8	Orta	0.50-1.00
8-15	Katı	1.00-2.00
15-30	Çok Katı	2.00-4.00
30<	Sert	4.00<

Çizelge 4.4. SPT deneyi kum zeminde yapılırsa (Terzaghi ve Peck)

( N ) Darbe Sayısı	Nısbı Yoğunluk	Relatif Sıklık
4>	Çok Gevşek	0.15>
4-10	Gevşek	0.15-0.35
10-30	Orta	0.35-0.65
30-50	Sıkı	0.65-0.85
50<	Çok Sıkı	0.85<

#### 4.5. Yeraltı Suyu Seviyesi ve Değişimi Ölçümü

Çalışma kapsamında açılan sondajlarda yeraltı suyu seviyeleri ölçülmüştür ve yer altı suyu seviyesi izleme çalışmalarında seviyenin 18 m olduğu anlaşılmaktadır.

#### 4.6. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

İnceleme alanında, veri çeşitliliğini sağlamak amacıyla 1 profilde sismik kırılma, 2 profil de MASW ölçümleri yapılmıştır. Sismik çalışmalar ile zeminin dinamik elastik parametreleri, zemin büyütme değerleri ve zemin hâkim titreşim periyodu vb. belirlenmiştir. İnceleme alanında yapılan çalışmalara ait Yol-zaman grafikleri, sismik kayıtlar, dispersiyon eğrileri ve arazi çalışma fotoğrafları EK 6' da verilmiştir.

##### 4.6.1. Sismik Kırılma

İnceleme alanında, 1 profilde sismik kırılma çalışması yapılmıştır. Sismik kırılma çalışmalarında 12 kanallı Sara-Doremi marka sismik cihaz kullanılmıştır.  $V_P$  ve  $V_S$  sismik dalga türlerinin ölçülmesi şeklinde yapılmıştır. Alınan ölçülerde sinyali izleme, gürültüyü ayıklayan, analog ve sayısal filtreleme işlemi otomatik olarak yapıldığı için yüksek sinyal/gürültü oranı elde edilmektedir. Sismik kırılma çalışmalarında; S-1 nolu ölçümde jeofon aralığı 5.0 m, ofset mesafesi 2.5-5.0 m olup düz-orta-ters atışlarla birlikte 3 atış yapılarak ölçüm alınmıştır.

Sismik kırılma çalışmalarında P ve S dalgalarını oluşturma sırasında enerji kaynağı olarak 10 kg balyoz kullanılmıştır. P ve S dalgaları zamana bağlı, X'in fonksiyonu olarak çizilmiş ve hızlar elde edilmiştir. İnceleme alanında yapılan 1 adet sismik kırılma çalışmasına ait koordinatlar Çizelge 4.2'de ve Şekil 8.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Sismik serim noktaları koordinatları

Serim No	X	Y	Serim Boyu (m)	Derinlik (m)
S-1			65	22



**Şekil 8.1.** İnceleme alanında yapılan jeofizik ölçümlere ait lokasyon

İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarında P ve S kayıtları alınarak her biri üzerinde ilk kırılmalar belirlenip, zaman-uzaklık grafiğinde işaretlenmiştir. Bu grafiklerden E.K.K.Y. ile doğrunun eğiminden P ve S hızları belirlenmiştir. Elde edilen P ve S hızlardan zemine ait tabaka kalınlıkları, elastik parametreler, zemin hâkim titreşim periyodu, zemin büyütmesi vb. parametreler elde edilmiştir.  $V_P$ ,  $V_S$  ve  $V_{S30}$  hızları, tabaka kalınlıkları Çizelge 8.2’de verilmektedir.

**Çizelge 8.2.**  $V_P$ ,  $V_S$  ve  $V_{S30}$  hızları, tabaka kalınlıkları

Serim No	Tabaka Sayısı	V <sub>P</sub>	V <sub>S</sub>	Tabaka Kalınlığı (m)	Litoloji	Formasyon
S-1	1	395	182	3.5		
	2	945	368	10.0		
	3	2033	766	-		

İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarına ait görünüm Şekil 8.2’de ve Ek 6’da verilmektedir.



Şekil 8.2. İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarına ait görünüm

İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarında üstte; 2.0 m kalınlığında  $V_p=898$  m/sn ve  $V_s=225$  m/sn hızlarına sahip çok katı sıkı siltli kumlu çakıllı birimler, altında  $V_p=2181$  m/sn ve  $V_s=913$  hızlarına sahip birimlerin yer aldığı düşünülmektedir.

2 tabaka tespit edilmiştir. 1. Tabakaların kalınlığı 3.5-5.0m olarak belirlenmiştir. Tespit edilen 1. Tabakalar nispeten daha iri taneli birimlerden, hemen altında yer alan 2. tabakalar ise kısmen yüksek dayanımlı ince taneli birimlerden oluşmaktadır. Sismik kırılma ölçümlerinden elde edilen bu veriler inceleme alanında yapılan jeoteknik sondajlar ile de uyumluluk göstermektedir.

İnceleme alanında yapılan çalışmalar sonunda hesaplanan dinamik-elastik parametreler “Zeminin dinamik-elastik parametreleri” başlığı altında ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

#### 4.6.2. MASW Yöntemi

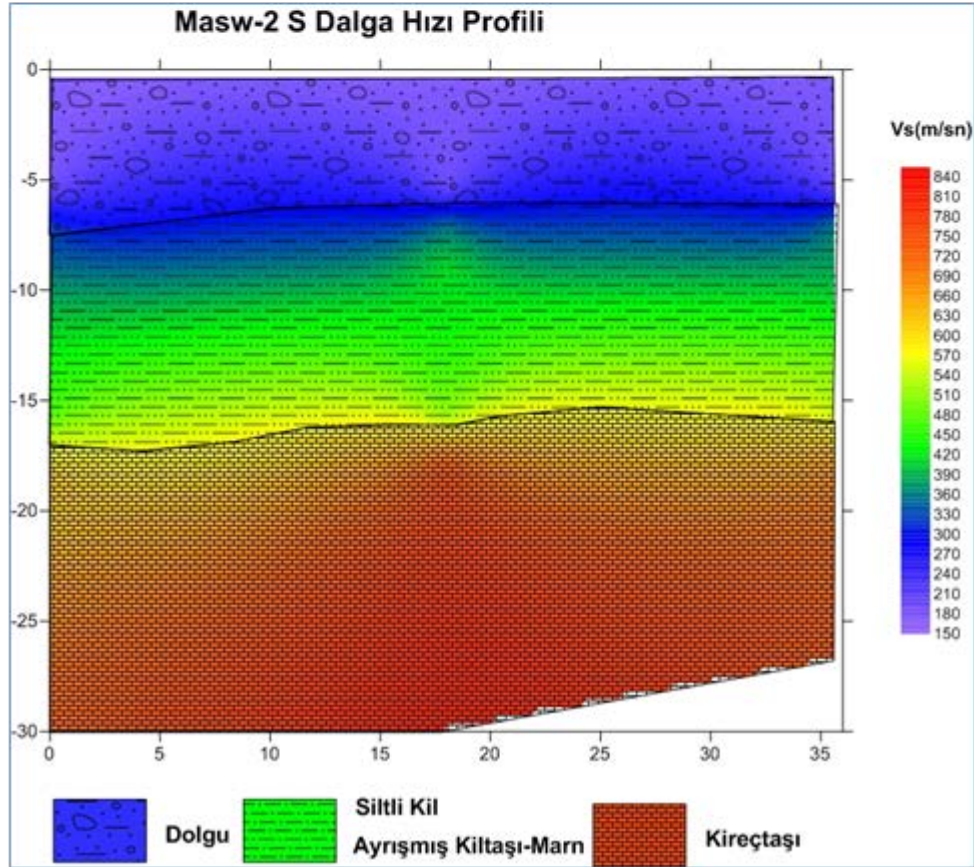
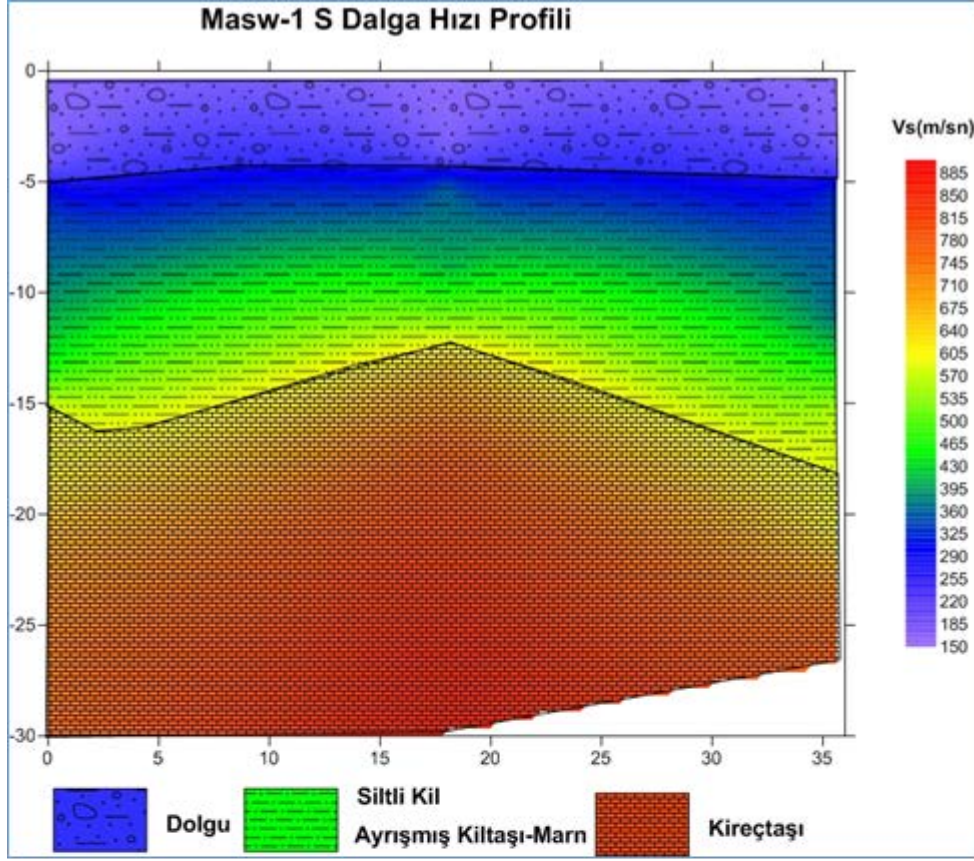
İnceleme alanında, sismik kırılma profilleri üzerinde 2 profilde masw çalışması yapılmıştır. Sismik masw çalışmalarında 12 kanallı Sara-Doremi marka sismik cihaz kullanılmıştır.  $V_P$  ve  $V_S$  sismik dalga türlerinin ölçülmesi şeklinde yapılmıştır. Alınan ölçülerde sinyali izleme, gürültüyü ayıklayan, analog ve sayısal filtreleme işlemi otomatik olarak yapıldığı için yüksek sinyal/gürültü oranı elde edilmektedir. Masw çalışmalarında, jeofon aralığı 3.0 m, ofset mesafesi 1.5-3.0 m olup, düz-orta ters atışlar yapılarak 2 adet 36.0 m açılımlı ölçümler yapılmıştır.

Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (Masw) balyoz, gun, ağırlık düşürme gibi yapay kaynakların kullanıldığı bir yüzey dalgası analiz yöntemidir. Çok kanallı yüzey dalgaları analizi üç aşamadan oluşur. Bunlar sırası ile; çok kanallı veri toplama, temel mod için dispersiyon eğrilerinin oluşturulması ve bir boyutlu  $V_S$  hız profillerini elde etmek için dispersiyon eğrilerinin ters çözümü şeklindedir.

Bu çalışmada boyuna dalga hızı ve enine dalga 4.5 Hz'lik düşey jeofonlarla ölçümler alınmıştır. Sismik masw ölçüsü 36.0 m'lik profil boyunca yapılmış olup, böylece yerin yaklaşık 30.0 m derinliğine kadar inilmiştir. Alınan ölçümler sismografa kaydedilmiştir. Sahada kayıt edilen sismik kırılma ölçümleri Seis-imager ve DOREMİ yazılımları ile değerlendirilmiştir.

Arazi çalışmaları jeofizik mühendisi ve arazi elemanları tarafından SARA-DOREMİ marka sismograf ile yürütülmüştür. Ölçüm tek atış yapılarak alınmış olup veri boyu 1 sn ve serim boyu 36.0 m'dir. Offset uzaklığı 3.0 m ve jeofon aralıkları 3.0 m'dir.

Yapılan masw çalışmaları sonucu S dalga hızı kesitleri aşağıda verilmiştir(Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Masw ölçümleri S-Dalga Hızı Kesitleri

### 4.6.3. Zeminin Dinamik-Elastik Parametreleri

İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarından zeminlerin dinamik-elastik parametreleri belirlenmiştir (Çizelge 8.3).

Çizelge 8.3 Çalışma sahasındaki zeminlerin dinamik modülleri

Seri m No.	Tabaka Sayısı	V <sub>P</sub> (m/sn)	V <sub>S</sub> (m/sn)	Tabaka kalınlığı (m)	V <sub>S30</sub> (m/sn)	V <sub>P</sub> /V <sub>S</sub>	Yoğunluk ρ (g/cm <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü E (kg/cm <sup>2</sup> )	Kayma Modülü G (kg/cm <sup>2</sup> )	Bulk Modülü K (kg/cm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı μ
S-1	1	395	182	3.5	442	2.17	1.38	1248	457	1543	0.37
	2	945	368	10.0		2.56	1.72	6557	2324	12226	0.41
	3	2033	766	-		2.65	2.08	34568	12195	69642	0.42

İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarına göre;

**P Dalgası (V<sub>P</sub>);** Dalga yayılım doğrultusunun dik bir düzlem içerisindeki hareketi sabit ise böyle dalgalara “Boyuna Dalgalar” (V<sub>P</sub>) denir. Her tür ortamda yayılıp en hızlı yol alan dalgalardır. Alıcılara ilk gelen dalgalar olup düşey kaynak kullanılarak düşey bileşenli Jeofon ile kaydedilirler. Birimde sıkışma ve genişleme zorlanmasına karşı bir direnç varsa, direncin yüksekliğine göre hızlanırlar.

$$V_P = \sqrt{\frac{K + 4/3\mu}{g}}$$

$K, \mu$  = Elastik Parametreler

$g$  = Yoğunluk

$\sigma$  = Dalga Boyu =  $V_P/f$

İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarından elde edilen P dalga hızları (V<sub>P</sub>) Çizelge 8.4’de verilmektedir.

Çizelge 8.4. V<sub>P</sub> dalga hızları

Sismik Profil	Tabaka	V <sub>P</sub> (m/sn)
S-1	1. Tbk	395
	2. Tbk	945
	3. Tbk	2033



**S Dalgası(V<sub>s</sub>);**Dalga'nın düzlem dalga olması halinde rotasyon dalgası bir enine dalgadır. Titreşim doğrultusu yayılım doğrultusuna diktir. Malzemenin şekil bozumuna veya burulmaya karşı bir direnci varsa oluşur. Enine dalga SV ve SH olmak üzere iki şekilde ölçülürler.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{g}} = \sqrt{\frac{E}{g} \frac{1}{2(1+\sigma)}}$$

$k, \mu$  = Elastik Parametreler  
 $g$  = Yoğunluk  
 $\sigma$  = Dalga Boyu =  $V_p/f$

İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarından elde edilen S dalga hızları (V<sub>s</sub>) Çizelge 8.5'de verilmektedir.

Çizelge 8.5. V<sub>s</sub> dalga hızları

Sismik Profil	Tabaka	V <sub>s</sub> (m/sn)
S-1	1. Tbk	182
	2. Tbk	368
	3. Tbk	766

**V<sub>P</sub>/V<sub>S</sub> Oranı;** Sismik kırılma çalışmalarından elde edilen V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> oranları, zeminlerin sıklılığını göstermektedir. Zeminin suya doygunluğundan etkilenmektedir. V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> oranları ile zeminlerin/kayaçların sıklılığı arasındaki ilişki Ercan (2001)'in önerdiği çizelgeye göre “ Gevşek, Çok Gevşek” sınıflarına girmektedir (Çizelge 9.11, Çizelge 9.12).

Çizelge 8.6.V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> oranları ile zeminlerin/kayaçların sıklılığı Ercan (2001)

Zemin/Kaya Sıklılığı	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>
Cıvık- sıvı	∞
<b>Çok Gevşek</b>	<b>∞-2.49</b>
<b>Gevşek</b>	<b>2.49-1.87</b>
Sıkı Katı	1.87-1.71
Katı	1.71-1.5
Sağlam Kaya	1.5-1.41

Çizelge 8.7.V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> dalga hızları

Sismik Profil	Tabaka	V <sub>P</sub> /V <sub>S</sub>	Zemin/Kaya Sıklığı
S-1	1. Tbk	2.17	Gevşek
	2. Tbk	2.56	Çok Gevşek
	3. Tbk	2.65	Çok Gevşek

V<sub>S30</sub>; 30.0 m derinliğe kadar olan kesimin ortalama S dalga hızını verir. Sismik kırılma çalışmalarında elde edilen V<sub>S</sub> hızları ile tabaka kalınlıkları kullanılarak hesaplanabilmektedir. V<sub>S30</sub> değeri;

$$V_{S30} = 30 / ((h1/Vs1) + (h2/Vs2) + \dots + (30 - (h1 + h2 + \dots + hi) / Vsi))$$

bağıntısı ile hesaplanır. İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarından elde edilen V<sub>S30</sub> değerleri Çizelge 8.8'de verilmiştir.

Çizelge 8.8. V<sub>S30</sub> hızlarının değerleri.

Serim No	S-1
V <sub>S30</sub> (m/sn)	442

**Tabaka Kalınlıkları (h);** Sismik tabaka kalınlıklarını gösterir. Her serim üzerinde bilgisayar yardımı ile çizilen zaman-uzaklık diyagramından elde edilen doğrunun eğim değişimi gösterdiği yerdeki jeofonun atış noktasına uzaklığına göre hesaplanır. Yeryüzünden itibaren her tabakanın kalınlığı;

$$h = \Delta x / 2 \sqrt{((V_{p2} - V_{p1}) / (V_{p2} + V_{p1}))}$$

bağıntısı ile hesaplanır.

İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmasından elde edilen tabaka kalınlığı Çizelge 8.9'de verilmiştir.

Çizelge 8.9. Tabaka kalınlıkları

Sismik Profil	Tabaka	Kalınlık (m)
S-1	1. Tbk	3.5
	2. Tbk	10.0
	3. Tbk	-

**Kayma (Shear) Modülü (G):** Zeminin çok küçük deformasyon düzeyindeki (kayma dalgalarının yayılması sırasında) kayma rijitliğidir. Zeminin yatay kuvvetlere karşı direncini, dayanıklılığını gösterir. Enine dalga hızı ile kayacın yoğunluğuna bağlıdır.

Deprem hasarlarını tahmin etmek için kullanılan önemli bir parametredir. Zeminde oluşan makaslama gerilmeleri, zeminin makaslama direncine ulaştığı zaman, zeminde kırılma meydana gelir. Zeminde meydana gelen kırılma, kayma deformasyonu biçiminde olur. Bir deprem için zeminin olası deformasyonunun en belirgin göstergesidir.

$$G=d*(V_s^2)/100$$

bağıntısı ile hesaplanır. Tabakaların kayma modülleri ile zeminlerin/kayaçların dayanımı arasındaki ilişki Keçeli (1990) önerdiği çizelgeye göre “Zayıf, Orta, Çok Sağlam” sınıflarına girmektedir (Çizelge 8.10,Çizelge 8.11).

Çizelge 8.10.Kayma modülü değerlerine göre zemin/kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990)

Kayma Modülü ( $\mu$ , kg/cm <sup>2</sup> )	Dayanım
<400	Çok zayıf
<b>400-1500</b>	<b>Zayıf</b>
<b>1500-3000</b>	<b>Orta</b>
3000-10000	Sağlam
<b>&gt;10000</b>	<b>Çok sağlam</b>

Çizelge 8.11. Kayma (Shear) modülü değerleri

Sismik Profil	Tabaka	Kayma (Shear) Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Dayanım
S-1	1. Tbk	457	Zayıf
	2. Tbk	2324	Orta
	3. Tbk	12195	Çok Sağlam

**Elastisite (Young) Modülü (E);** Düşey eksenel gerilmenin, düşey eksenel yamulmaya oranıdır. Sismik hızlar ve yoğunluk yardımı ile hesaplanır. Zeminin sağlamlığını, sertliğini başka bir deyişle katılığını yansıtır. Eğer ortamın dinamik elastisitemodülü büyükse, gerilme altında kayacın biçim değişikliği küçük olur. Eğer dinamik elastisitemodülü yüzeyden derinleri doğru değişik değerler alıyor ise zeminin farklı derinliklerde farklı sıklıkta olduğunu gösterir.

$$E=G*(3*Vp^2)-(4*Vs^2))/(Vp^2-Vs^2)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Tabakaların elastisite modülleri ile zeminlerin/kayaçların dayanımı arasındaki ilişki Keçeli (1990) önerdiği çizelgeye göre “Zayıf, Orta, Çok Sağlam” sınıflarına girmektedir (Çizelge 8.12, Çizelge 8.13).

Çizelge 8.12.Elastisite modülü değerlerine göre zemin/kayaçların dayanımı (Keçeli,1990)

Elastisite Modülü E(kg/cm <sup>2</sup> )	Dayanım
< 1000	Çok Zayıf
1000 - 5000	Zayıf
5000 - 10000	Orta
10000 - 30000	Sağlam
> 30000	Çok Sağlam

Çizelge 8.13 Elastisite (Young) modülü değerleri

Sismik Profil	Tabaka	Elastisite (Young) Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Dayanım
S-1	1. Tbk	1248	Zayıf
	2. Tbk	6557	Orta
	3. Tbk	34568	Çok Sağlam

**Poisson Oranı (  $\mu$  );**Sıkışma ve genleşme kuvvetleri altında enine kısılmanın boyuna uzamaya oranıdır. Kısaca ortamın katı - sıvı dengesinin göstergesidir. Poisson oranı;

$$\mu=((Vp^2)-2(Vs^2))/(2(Vp^2-Vs^2))$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Kayaçların yoğunlukları göz önüne alınmadan, hızlarına ( $V_p/V_s$ ) bağlı olarak hesaplanır. Poisson oranı 0,00 – 0,50 arasında değişir. Bu oran gevşek, gözenekli ve su ile doygun kayaçlarda yüksek olup, magmatik, metamorfik sert kayaçlarda ise daha düşüktür. Zeminin gözenekliliğini ve bu gözeneklerin su ile dolu olup olmadıklarını ve kırıklığını gösterir. Poisson oranının katılar için ortalama değeri 0.25'

tir. Çok Sulu ortamlarda bu oran 0,50 sınır değerine ulaşır. Tabakaların Poisson Oranı (  $\mu$  ) ile zeminlerin/kayaçların sıkılığı arasındaki ilişki Ercan (2001) önerdiği çizelgeye göre “Çok Gevşek-Gevşek ” sınıflarına girmektedir (Çizelge 8.14, Çizelge 8.15).

Çizelge 8.14. Poisson Oranına Göre Zemin Sıkılığı (Ercan, 2001).

PoissonOranı	Zemin/KayaSıkılığı
0,50	Cıvık - Sıvı
<b>0,4 – 0,49</b>	<b>Çok Gevşek</b>
<b>0,3 – 0,39</b>	<b>Gevşek</b>
0,2 – 0,29	Sıkı – Katı
0,1 – 0,19	Katı
0 – 0,09	Sağlam

Çizelge 8.15. Poisson oranı değerleri

Sismik Profil	Tabaka	Poisson Oranı	Zemin/Kaya Sıkılığı
S-1	1. Tbk	0.37	Gevşek
	2. Tbk	0.41	Çok Gevşek
	3. Tbk	0.42	Çok Gevşek

**Bulk Modülü (K);** Bir kütlenin basınç altında sıkışmasının ölçüsüdür. Diğer bir ifade ile uygulanan basınç altındaki hacim değişiminin ölçüsüdür. Yani gerilme / yamulma oranıdır. Yoğunluk ve sismik hızlar yardımı ile elde edilir. Bulkmodülü;

$$K=(d*(V_p^2 -(4/3*V_s^2 )))/100)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Tabakaların bulk modülleri ile zeminlerin/kayaçların sıkışması arasındaki ilişki Keçeli (1990) önerdiği çizelgeye göre “Az, Orta, Yüksek” sınıflarına girmektedir (Çizelge 8.16,Çizelge 8.17).

Çizelge 8.16. Bulk modülü değerlerine göre zemin/kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990)

Bulk Modülü (K, kg/cm <sup>2</sup> )	Sıkışma
<400	Çok Az
400-10000	Az
10000-40000	Orta
40000-100000	Yüksek
>1000000	Çok Yüksek

Çizelge 8.17. Bulkmodülü değerleri

Sismik Profil	Tabaka	Bulk Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Sıkışma
S-1	1. Tbk	1543	Az
	2. Tbk	12226	Orta
	3. Tbk	69642	Yüksek

**Yoğunluk (ρ);** Birimin yoğunluğunu verir. P dalga hızından;

$$\rho = 0.2*(V_p/1000)+1.6 \text{ bağıntısından hesaplanır.}$$

Tabakaların yoğunlukları ile zeminlerin/kayaçların yoğunluk sınıflaması arasındaki ilişki Keçeli (1990) önerdiği çizelgeye göre “Düşük, Orta, Yüksek” sınıflarına girmektedir (Çizelge 8.18, Çizelge 8.19).

Çizelge 8.18. Zemin Birimlerinin Yoğunluk Tanımlaması: (Keçeli, 1990)

Yoğunluk ρ (gr/cm <sup>3</sup> )	Tanımlama
<1.20	Çok düşük
1.20-1.40	Düşük
1.40-1.90	Orta
1.90-2.20	Yüksek
>2.20	Çok Yüksek

Çizelge 8.19. Yoğunluk değerleri

Sismik Profil	Tabaka	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Tanımlama
S-1	1. Tbk	1.38	Düşük
	2. Tbk	1.72	Orta
	3. Tbk	2.08	Yüksek

Sismik kırılma ölçülerinden elde edilen P dalga hızlarına göre zeminlerin ve kayaçların sökülebilirliklerini Bilgin'e göre tanımlanabilmektedir (Çizelge 8.20). Ayrıca yine sismik kırılma ölçülerinden elde edilen P dalga hızlarına göre zeminlerin ve kayaçların kazılabilirliklerini Church (1981)'e göre sınıflandırılabilir (Çizelge 8.21).

Çizelge 8.20. P Dalgası hızı kullanılarak zemin – kayaç sökülebilirliği ( Bilgin ).

P Dalga Hızı ( m/sn )	Sökülebilirlik Tanımı
300 – 600	Çok Kolay
600 – 900	Kolay
900 – 1500	Orta
1500 – 2100	Zor
2100 – 2400	Çok Zor
2400 – 2700	Son Derece Zor

Çizelge 8.21. Kazılabilirlik Sınıflandırılması (Church, 1981).

Kazılabilirlik Sınıfı	Sismik (P) Hızı (m/sn)
Rahatça Kazılabilir	< 458
Kolay Kazılabilir	458 – 1220
Orta – Zor Kazılabilir	1220 – 1525
Zor Kazılabilir	1525 – 1830
Çok Zor Kazılabilir	1830 – 2135
Patlayıcıyla Kazılabilir	> 2135

İnceleme alanında  $V_P$  hızları 182-766 m/sn arasında değişmektedir. Buna göre üst seviyeler “ çok kolay” alt seviyeler ise “zor” sökülebilirlik sınıfına girerken; kazılabilirlik sınıflamasında ise derinliğe bağlı olarak “rahatça kazılabilir-çok zor kazılabilir” arasında değişmektedir.

## 4.7. Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

### 4.7.1. Taşıma Gücü Hesabı

Bu bölümde çalışma Çinili Camii için taşıma gücü, oturma değerlendirmeleri ve şev stabilitesi değerlendirmeleri yapılmıştır.

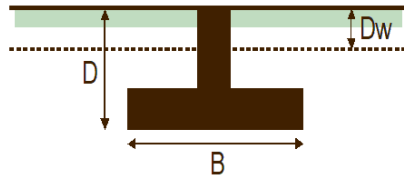
Daha önce de belirtildiği gibi üst yapı tasarım ekibinden alınan bilgilere göre Çinili Camii temel sistemi 90 cm genişliğinde içi boş bir sekizgen biçimindedir. Temel

derinliği yaklaşık 1.5 metre, temel temas basıncı 306 kPa, net temel gerilmesi ise yaklaşık olarak 280 kPa seviyesindedir. Gerçekte yapı ağırlığı düşük olmasına rağmen temelin dar olması ve alanının 32 m<sup>2</sup> olması nedeniyle nispeten yüksek temas gerilmeleri oluşmaktadır. Bu şekile sahip bir temelin taşıma g¼c¼ için teorik bir yaklaşım bulunmamaktadır. Bu nedenle temel sistemi 90 cm çaplı bir şerit temel gibi d¼ř¼n¼lerek taşıma g¼c¼ hesapları yapılmıştır. Taşıma g¼c¼ hesaplarında genelleştirilmiş taşıma g¼c¼ bağıntısı kullanılmış, temel çok zayıf rezid¼el zemine oturduğundan drenajsız s¼rt¼nme açısı 0° ve drenajsız kohezyon 40 kPa olarak seçilmiştir. Taşıma g¼c¼ hesabı izelge 4.4'de ¼zetlenmiřtir. Çizelge 4.4 incelendiğinde maksimum taşıma g¼c¼n¼n 318 kPa olduğu g¼r¼lmektedir. Yapıdan zemine aktarılan gerilmenin 306 kPa olduğu d¼ř¼n¼l¼rse, yapı gerilmesinin maksimum taşıma g¼c¼ne çok yakın olduğu ve taşıma g¼c¼ yenilmesine karşı g¼venlik katsayısının çok yetersiz olduğu g¼r¼l¼r. Bu durumda taşıma g¼c¼ yenilmesi meydana gelme bile zeminde plastik deformasyonlar oluşması kacınılmaz

### GENEL TASIMA G¼C¼ TEORISI

Formul

$$q_{ult} := (c \times N_c \times F_{cs} \times F_{cd} \times F_{ci}) + (\sigma \times N_q \times F_{qs} \times F_{qd} \times F_{qi}) + (0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times F_{\gamma s} \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma i})$$



Girdi Parametreleri

$$f := 0.\text{deg} \quad c := 40 \text{ kPa} \quad D := 1.5 \quad B := 0.9 \quad L := 50 \quad \gamma := 18 \quad D_w := 15 \quad G_k := 3 \quad \text{Eğim Aısı } \beta := 0$$

Tasima G¼c¼ Parametreleri

$$N_q := \left[ \tan \left[ 45.\text{deg} + \left( \frac{f}{2} \right) \right] \right]^2 \times \left[ e^{\left[ \pi \times (\tan(f)) \right]} \right] \quad \text{Reisnerr}$$

$$N_c := \begin{cases} 5.14 & \text{if } f = 0 \\ \left[ (N_q - 1) \div (\tan(f)) \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{Prandtl}$$

$$N_\gamma := \left[ 2 \times (N_q + 1) \times (\tan(f)) \right] \quad \text{Caquet ve Kreiseli; Vesic}$$

$$N_q = 1 \quad N_c = 5.14 \quad N_\gamma = 0$$

Sekil Faktörleri (De Beer, 1970)

$$F_{cs} := 1 + \left[ \left( \frac{B}{L} \right) \times \left( \frac{N_q}{N_c} \right) \right] \quad F_{qs} := 1 + \left[ \left( \frac{B}{L} \right) \times (\tan(f)) \right] \quad F_{\gamma s} := 1 - \left[ 0.4 \times \left( \frac{B}{L} \right) \right]$$

$$F_{cs} = 1.004 \quad F_{qs} = 1 \quad F_{\gamma s} = 0.993$$



Derinlik Faktörleri (Hansen)

$$F_{cd} := \begin{cases} 1 + \left[ 0.4 \times \left( \frac{D}{B} \right) \right] & \text{if } \left( \frac{D}{B} \leq 1 \right) \\ 1 + \left[ 0.4 \times \left( \text{atan} \left( \frac{D}{B} \right) \right) \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad F_{qd} := \begin{cases} 1 + [2 \times (\tan(f))] \times [(1 - \sin(f))^2] \times \left( \frac{D}{B} \right) & \text{if } \left( \frac{D}{B} \leq 1 \right) \\ 1 + [2 \times (\tan(f))] \times [(1 - \sin(f))^2] \times \left( \text{atan} \left( \frac{D}{B} \right) \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{cd} = 1.412 \quad F_{qd} = 1 \quad F_{\gamma d} := 1$$

Eğim Faktörleri (Meyerhof)

$$F_{ci} := \left[ 1 - \left( \frac{\beta}{90} \right) \right]^2 \quad F_{qi} := F_{ci} \quad F_{\gamma i} := \left[ 1 - \left( \frac{\beta}{f} \right) \right]^2$$

$$F_{ci} = 1 \quad F_{qi} = 1 \quad F_{\gamma i} = 1$$

Efektif gerilme ve birim hacim ağırlıklar

$$H_{\text{eff}} := \tan \left[ 45 \text{ deg} + \left( \frac{f}{2} \right) \right] \times \frac{B}{2} \quad \sigma := \begin{cases} (D \times \gamma) - [(D - D_w) \times 9.81] & \text{if } (D \geq D_w) \\ (D \times \gamma) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Gamma} := \begin{cases} (\gamma - 9.81) & \text{if } (H + D) > D_w \\ \gamma & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{Gamma} = 18 \quad \text{kN/m}^3 \quad \sigma = 27 \quad \text{kPa}$$

$$q_{ult} := (c \times N_c \times F_{cs} \times F_{cd} \times F_{ci}) + (\sigma \times N_q \times F_{qs} \times F_{qd} \times F_{qi}) + (0.5 \times \text{Gamma} \times B \times N_{\gamma} \times F_{\gamma s} \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma i})$$

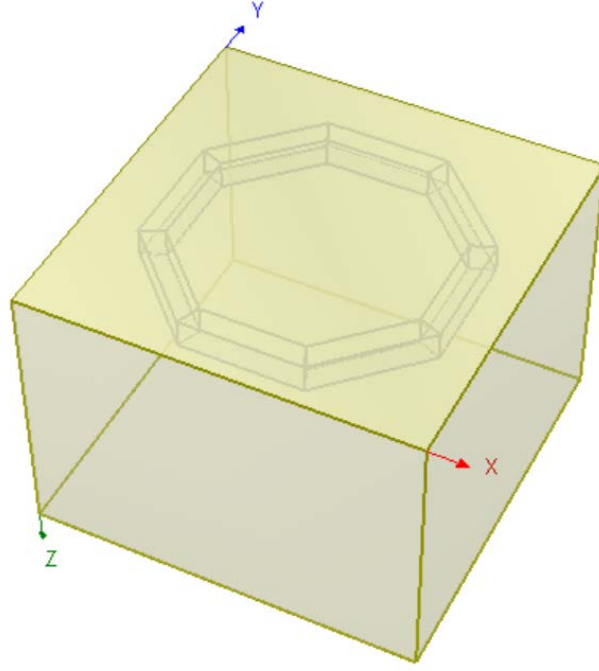
$$q_{ult} = 318.355 \quad \text{kPa} \quad q_{all} := \frac{q_{ult}}{GK} \quad q_{all} = 106.118 \quad \text{kPa}$$

#### 4.7.2. Oturma Değerlendirmeleri

Bilindiği gibi bir temel sisteminin başarılı olabilmesi için hem taşıma gücü açısından emniyetli olması hem de zeminde meydana gelen oturmaların temel sisteminin izin verdiği limitler içinde kalması gerekmektedir. Temel genişliğinin 0.9 metre olması nedeniyle oturma hesaplarında sadece çok zayıf rezidüel zemin dikkate alınmıştır. Hesaplarda bölüm 4.2.1'de anlatıldığı gibi hacimsel sıkışma sıkışma indisi 0.0002 m<sup>2</sup>/kN ve drenajsız sekant elastisite modülü de 8400 kPa olarak alınmıştır. Çok zayıf rezidüel birim için hem konsolidasyon hem de ani oturma değerlendirmeleri yapılmıştır.

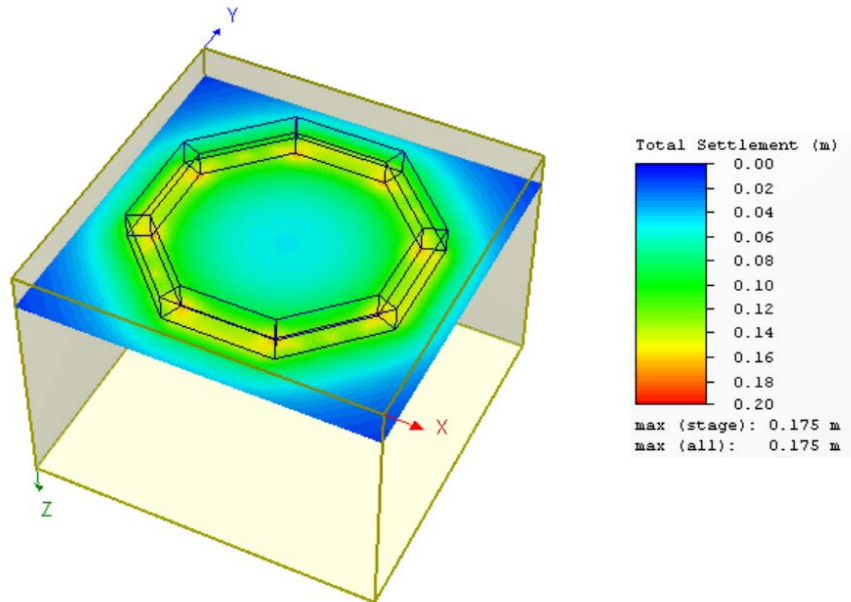
Oturma hesaplamalarında temelın üzerindeki yükün üniform dağıldığı varsayılmıştır. Net temel gerilmesinin zeminde oluşturacağı ilave gerilme artışı ( $\Delta\sigma$ ) ise Bousinesq yöntemi kullanılarak hesaplanmış temel sisteminin rijit olduğu varsayılmıştır. Toplam sıkışabilir tabaka kalınlığı olarak 10 metre kullanılmıştır.

Şekil 4.7'de Çinili Camii oturma hesapları için Settle3D ile oluşturulan model görülmektedir.

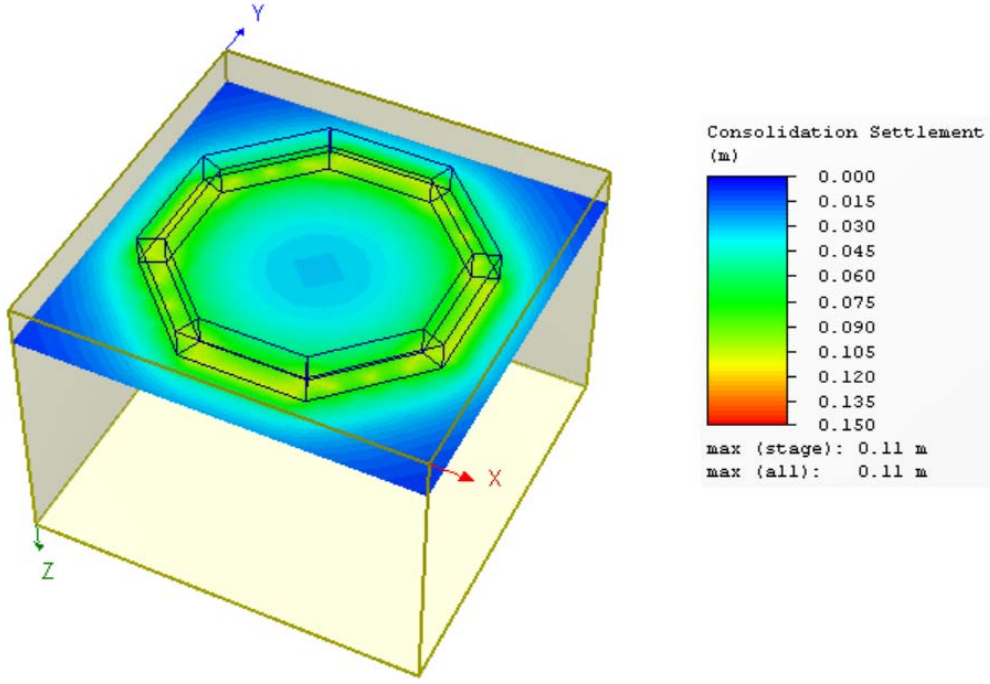


Şekil 4.7 Çinili Camii oturma hesapları için Settle3D ile oluşturulan model.

Şekil 4.7'da ise Çinili Camii için Settle3D ile hesaplanan toplam oturma dağılımı görülmektedir. Şekil 4.8'de ise Çinili Camii için Settle3D ile hesaplanan konsolidasyon oturması dağılımı görülmektedir. Şekil 4.7 ve 4.8 incelendiğinde Çinili Camii için hesaplanan toplam oturmanın 175 mm, konsolidasyon oturmasının ise 110 mm olduğu görülmektedir. Oturmanın büyük kısmı zamana bağlı konsolidasyon oturması biçimindedir.



Şekil 4.7 Çinili Camii için Settle3D ile hesaplanan toplam oturma dağılımı.



Şekil 4.8 Çinili Camii için Settle3D ile hesaplanan konsolidasyon oturması dağılımı.

Çinili Camii için hesaplanan toplam oturma sığ temel sistemleri için izin verilen limitten yüksektir. Buna ilaveten maksimum taşıma gücünün temel temas gerilmesine çok yakın olması yani taşıma gücü yenilmesine karşı güvenlik katsayısının yetersiz olması nedeniyle ani ve konsolidasyon oturmalarına ilaveten plastik deformasyonların da oluşması beklenmektedir. Bu nedenle Çinili Camii'nin temel sistemi oturma ve taşıma gücü kriterleri açısından yeterli görülmemektedir.

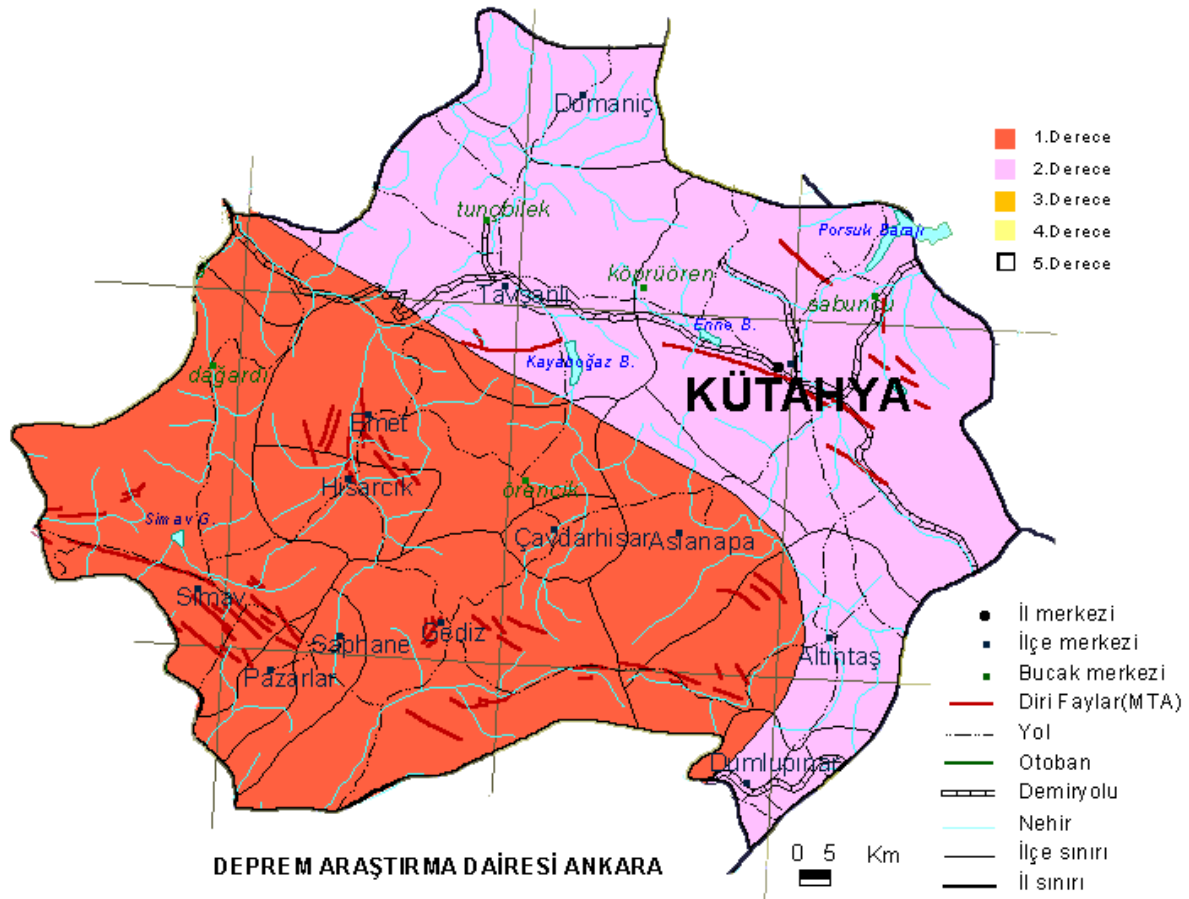
#### 4.7.3. Şişme Büzülme Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Daha önce de bahsedildiği gibi inceleme alanında üst seviyede dolgu birimler ve çok zayıf rezidüel zeminler bulunmaktadır. Bu seviyelerden alınan örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan şişme deneylerinde şişme basınçlarının 9.5 ile 15.1 kPa arasında, şişme yüzdelerinin ise % 0.92 ile % 1.40 arasında olduğu belirlenmiştir. Laboratuvar sınıflandırma deney sonuçlarına göre birimler çoğunlukla düşük plastisiteli kil (CL) olarak sınıflandırılmıştır.

Şişme basınçlarının temel gerilmesini aşması halinde yapısal hasarlar oluşabilir. Zemin şişme basınçları başlangıç su içeriğine de bağlıdır. Bu nedenle çalışma sahasında hafif yapılarda şişme kaynaklı hasarlar oluşması ihtimali bulunmaktadır. Şişen zemin su alırsa hacmi artar su kaybederse büzülür. Yapılar için yüzey ve temel drenajları dikkatlice planlanmalı ve uygulanmalıdır. Zemin şişmesinin azaltılması için temel derinliği artırılabilir ve/veya zemin iyileştirilmesi yöntemleri uygulanabilir, ayrıca yüzey ve temel drenajı sistemleri dikkatlice planlanmalı ve inşa edilmelidir.

#### 4.8. Çalışma Alanı Depremselliği ve Sıvılaşma Hesabı

Kütahya ili ve çevresi Kuzey Anadolu Fay'ı ve buna bağlı bindirme faylarının etkisi altındadır. Çalışma alanı olan Merkez İlçesi 2. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır Buna göre mevcut yönetmelikler kapsamında deprem bölgesi olarak 2. Derece deprem bölgesinde bulunduğu için  $A_0$  değeri 0.3 g (DBYBHY, 2007) olarak alınmıştır.



Şekil 4.9. Kütahya ve çevresi deprem bölgesi haritası.

Deprem Yönetmeliğine Göre  $A_0$  Değeri (DBYBHY, 2007)

<i>Deprem Bölgesi</i>	$A_0$
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

#### 4.9. Mühendislik Analizleri ve Değerlendirmeleri

##### 4.9.1. Zemin Grubunun Belirlenmesi

Çalışma alanı için yerel zemin grubu belirlenirken SPT değeri kullanılmıştır. Deprem yönetmeliğinde verilen ilgili tabloya göre çalışma alanı zemin grubu B zemin grubu olarak belirlenmiştir.

Zemin grubu tanımlanması (DBYBHY, 2007)

<i>Zemin Grubu</i>	<i>Zemin Grubu Tanımı</i>	<i>Stand. Penetr. (N/30)</i>	<i>Relatif Sıklık (%)</i>	<i>Serbest Basınç Direnci (kPa)</i>	<i>Kayma Dalgası Hızı (m/s)</i>
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar....	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl.....	> 50	85–100	—	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil.....	> 32	—	> 400	> 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortul kayalar....	—	—	500–1000	700–1000
	2. Sıkı kum, çakıl.....	30–50	65–85	—	400–700
	3. Çok katı kil ve siltli kil...	16–32	—	200–400	300–700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar.....	—	—	< 500	400–700
	2. Orta sıkı kum, çakıl.....	10–30	35–65	—	200–400
	3. Katı kil ve siltli kil.....	8–16	—	100–200	200–300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları....	—	—	—	< 200
	2. Gevşek kum.....	< 10	< 35	—	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil.....	< 8	—	< 100	< 200

#### 4.10. Yerel Zemin Sınıfının Belirlenmesi

Çalışma alanı zemin grubuna ve zemin üst tabakası kalınlığına bakıldığında Deprem yönetmeliğinde verilen ilgili tabloya göre çalışma alanı Z2 zemin sınıfı olarak belirlenmiştir.

**Tablo 27.** Zemin grubuna ve zemin üst tabakası kalınlığına göre zemin sınıfının belirlenmesi

(DBYBHY, 2007)

<i>Yerel Zemin Sınıfı</i>	<i>Tablo 6.1'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (<math>h_1</math>)</i>
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

#### 4.11. Bina ve Zemin İlişkilerinin İrdelenmesi

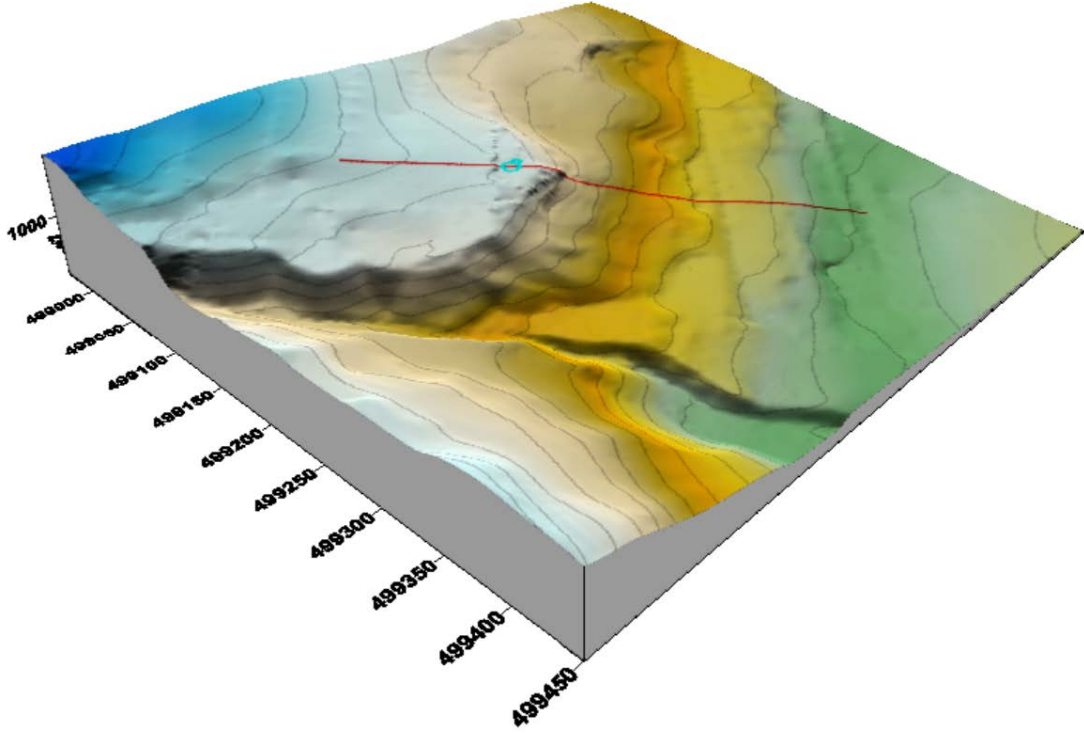
Çalışma alanı yerel zemin sınıfına “Z2” göre  $T_A$  ve  $T_B$  değerleri 0.15-0.40 olarak belirlenmiştir (Tablo 28).

Zemin sınıfına göre  $T_A$  ve  $T_B$  değerleri tablosu

<i>Tablo 6.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı</i>	$T_A$ (saniye)	$T_B$ (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

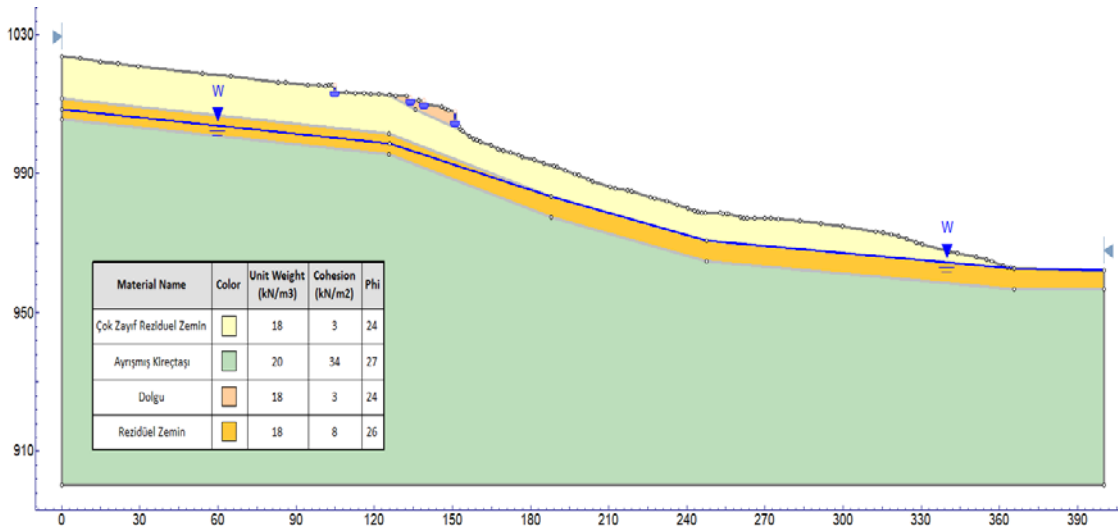
### 5. ŞEV STABİLİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma sahasında şev stabilitesinin belirlenmesi için bir adet kesit alınmıştır. Alınan kesitin konumu Şekil 5.1'de verilen üç boyutlu topoğrafik model üzerinde sunulmuştur.



Şekil 5.1. Çalışma sahasının üç boyutlu modeli ve şev stabilitesi için seçilen kesit.

Elde edilen kesit üzerinde jeolojik birimler işlenmiştir. Bu aşamada sondajlardan ve arazi gözlemlerinden faydalanılmıştır. Şekil 5.2’de stabilite analizlerinde kullanılan kesit ve zemin parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Stabilite analizlerinde kullanılan kesit ve zemin parametreleri.

Stabilite analizlerinde kullanılan kesme dayanımı parametreleri laboratuarda yapılan direk kesme deneylerinden ve ampirik eşitliklerden kullanılarak belirlenmiştir. Kesme dayanımı parametreleri olarak çok zayıf rezidüel birim için hem doruk  $c_p$ ,  $\Phi_p$  değerleri hem de artık (rezidüel)  $c_r$ ,  $\Phi_r$  değerleri kullanılmıştır. En üst kısımda bulunan yapay dolgu birim oldukça

zayıf yapıda olduğu ve killi olduğu için çok zayıf rezidüel birimle aynı kesme dayanımı parametreleri kullanılmıştır.

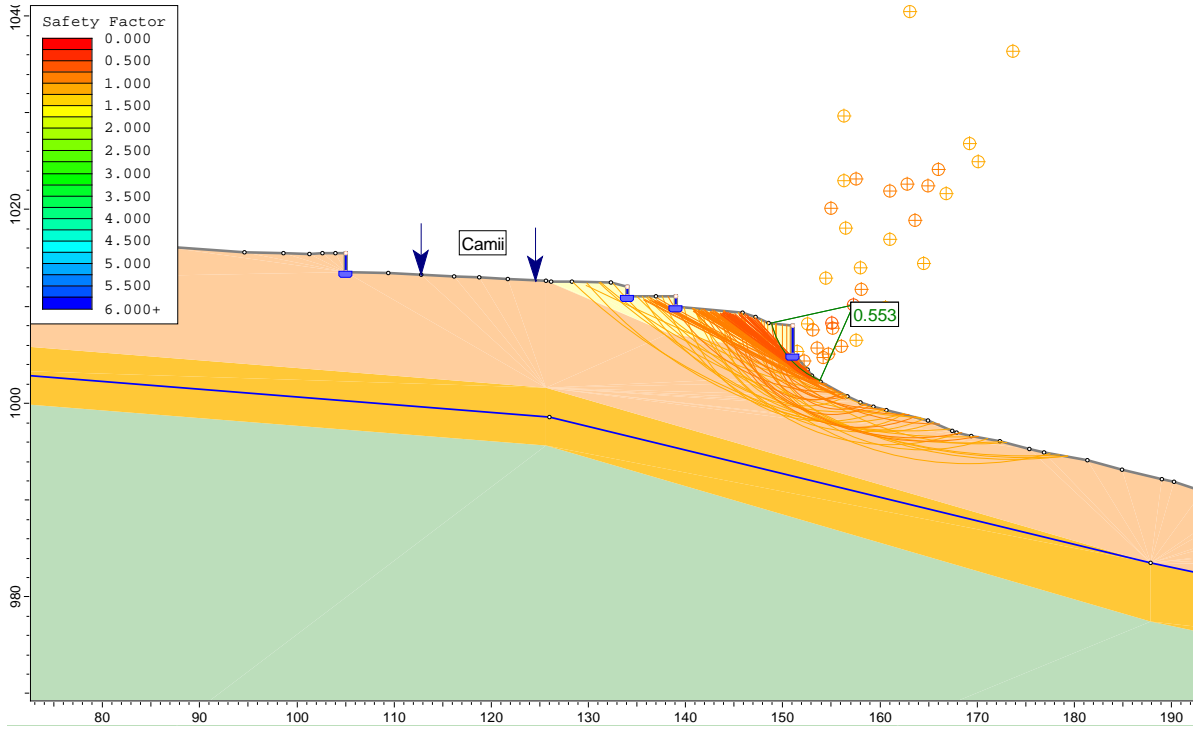
### **5.1. Doruk Parametreler Kullanılarak Yapılan Analizler**

Daha önce de belirtildiği gibi çok zayıf rezidüel birim için hem doruk hem de rezidüel kesme dayanımı parametreleri kullanılarak şev stabilitesi analizleri yapılmıştır. Yapılan saha gözlemlerinde rezidüel zemin ile ayrılmış kireçtaşı kiltası birimlerin ara yüzeyine yakın seviyelerde yeraltı suyu bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle yeraltı suyu seviyesi şekil 2’de gösterildiği biçimiyle modellenmiştir. Buna ilaveten alınan örselenmemiş ve örselenmiş örneklerin su içerikleri incelendiğinde çoğunlukla doğal su içeriklerinin plastik limit değerlerinden yüksek ancak likit limit değerlerinden düşük olduğu yani örneklerin plastik kıvamda olduğu görülmüştür. Bu nedenle çok zayıf rezidüel birim ve dolgu birimlerin yüzey sularının sızması yoluyla su içeriklerinin arttığı/artabileceği düşünülmektedir. Çok zayıf rezidüel zeminleri ve dolgu birimlerin boşluk suyu basınçlarındaki artışların stabilize üzerindeki etkilerinin değerlendirilebilmesi için boşluk suyu basıncı katsayısı ( $ru$ ) kullanılmıştır. Boşluk suyu basıncı katsayısı, boşluk suyu basıncının toplam gerilmeye oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu katsayının 0 olması boşluk suyu basıncı olmadığı anlamına gelmekte, katsayısının 0.5 değerine yaklaşması ise su seviyesinin zemin üst seviyesine yaklaşması anlamına gelmektedir. Boşluk suyu basıncı katsayısı artırılarak yapılan şev stabilitesi analizlerinde boşluk suyu basıncının güvenlik katsayısına etkisi araştırılabilmektedir.

Çalışma sırasında şev stabilitesinin değerlendirilmesi için limit denge yöntemlerinden Spencer yöntemi seçilmiştir. Analizler Rocscience Slide v 6.0 kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde yazılımın otomatik daire tarama özelliği kullanılarak 20000 adet yenilme dairesi taranmış ve her bir daire 30 adet dilime bölünerek çözümlenmeler yapılmıştır. Analizlerde mevcut durumda var olan istinad duvarları kesme dayanımları kullanılarak modellenmiş ve duvarlar için duvarın içinden yenilme dairesinin geçmesine izin vermeyecek biçimde 100 kN/m kesme dayanımı kullanılmıştır. Bununla birlikte gerçek durumda duvarlar yatay zemin basınçları altında devrilme, kayma gibi yenilme şekilleri ile yenilebilirler. Bu durumları limit denge analizlerinde dikkate almak olanaklı değildir.



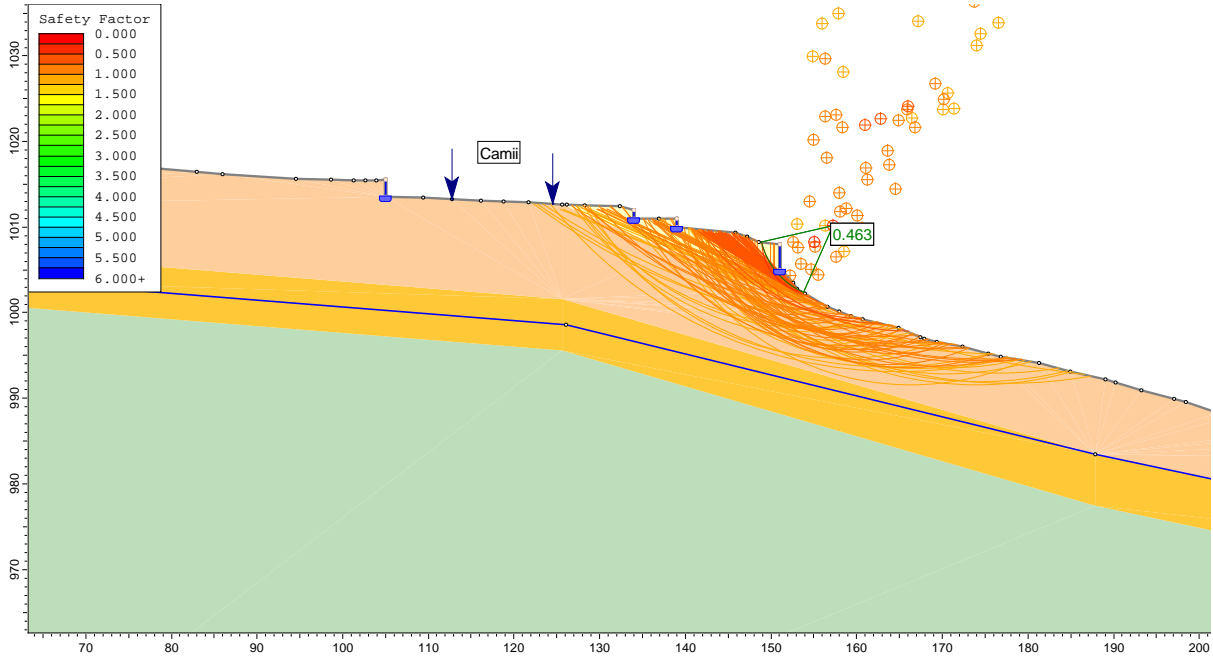




**Şekil 5.4.** Doruk parametreleri ile yapılan  $r_u=0.1$  durumu analizlerinde en düşük güvenlik katsayısına sahip daire ve güvenlik katsayısı değeri 1.1'den düşük olan potansiyel daireler.

### 5.1.3. Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı ( $r_u$ ) 0.2 Durumu

Dolgu ve çok zayıf rezidüel zemin için doruk kesme dayanımı parametreleri kullanılmış ve  $r_u$  değeri 0.2 alınarak yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen en düşük güvenlik katsayısına sahi daire ve güvenlik katsayısı değeri 1.1'den düşük olan potansiyel daireler şekil 5'te gösterilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen en düşük güvenlik katsayısına sahi daire ve güvenlik katsayısı değeri 1.1'den düşük olan potansiyel daireler şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5.5 incelendiğinde en kritik dairenin güvenlik katsayısının 0.463 olduğu ve kritik düzlemlerin dolgu ve çok zayıf rezidüel zemin içerisinde yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Boşluk suyu basıncının artması sonucunda hem en kritik yenilme dairesinin güvenlik katsayısı azalmış hem de kritik daireler geriye doğru hareket etmiştir. Bu durumda oluşması muhtemel kritik daireler Çinili Camii'yi etkileyebilecek kadar geriye ötelenmiş durumdadır.



**Şekil 5.5.** Doruk parametreler ile yapılan  $r_u=0.2$  durumu analizlerinde en düşük güvenlik katsayısına sahip daire ve güvenlik katsayısı değeri 1.1'den düşük olan potansiyel daireler.

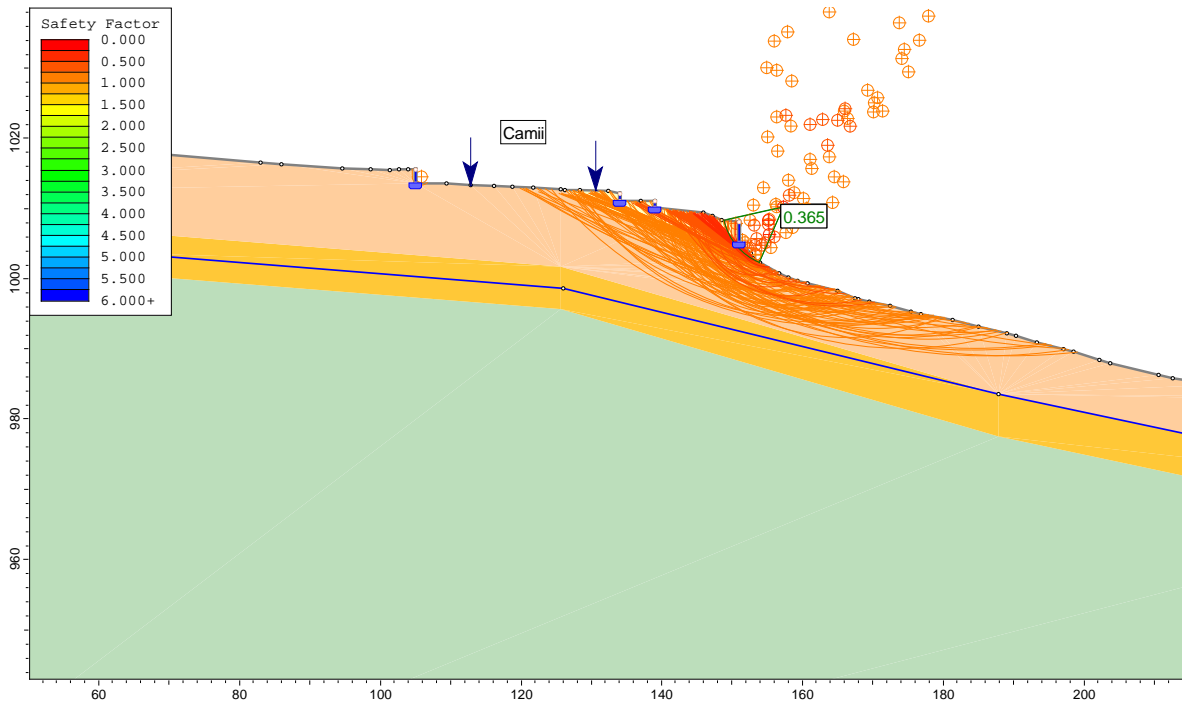
Kesme dayanımı, dolgu ve çok zayıf rezidüel birim için doruk değerler alınsa bile bu birimlerde yüzey suları ve yeraltı suyu seviyesinin artması sebebiyle boşluk suyu basıncının artması durumunda Çınili Camii'nin şev hareketlerinden etkilenmesi beklenmektedir.

## 5.2. Rezidüel Parametreler Kullanılarak Yapılan Analizler

Bu analizlerde çok zayıf rezidüel birim için rezidüel kesme dayanımı parametreleri kullanılarak şev stabilitesi değerlendirmeleri yapılmıştır. Özellikle bazı zeminlerde bir miktar kesme deformasyonu sonrasında dayanım sabit bir seviye düzeyine azalmaktadır. Bu dayanım rezidüel ya da artık dayanım olarak isimlendirilmektedir. Şevin bir miktar hareketi sonrasında dayanım rezidüel seviyeye ulaşarak progresif şev hareketlerinin oluşmasına yol açabilir. Bu durumda yamacın stabilite durumunun belirlenmesi için analizler rezidüel kesme dayanımı değerleri kullanılarak yapılmıştır. Bu analizlerde de topoğrafya, yeraltı suyu ve jeolojik model yukarıda anlatıldığı şekilde kullanılmıştır. Çalışma sırasında şev stabilitesinin değerlendirilmesi için limit denge yöntemlerinden Spencer yöntemi seçilmiştir. Analizler Rocscience Slide v 6.0 kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde yazılımın otomatik daire tarama özelliği kullanılarak 20000 adet yenilme dairesi taranmış ve her bir daire 30 adet dilime bölünerek çözümlenmeler yapılmıştır.

### 5.2.1. Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı ( $r_u$ ) 0 Durumu

Çok zayıf rezidüel zemin için rezidüel kesme dayanımı parametreleri kullanılmış ve  $r_u$  değeri 0 alınarak yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen en düşük güvenlik katsayısına sahi daire ve güvenlik katsayısı değeri 1.0'dan düşük olan potansiyel daireler Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

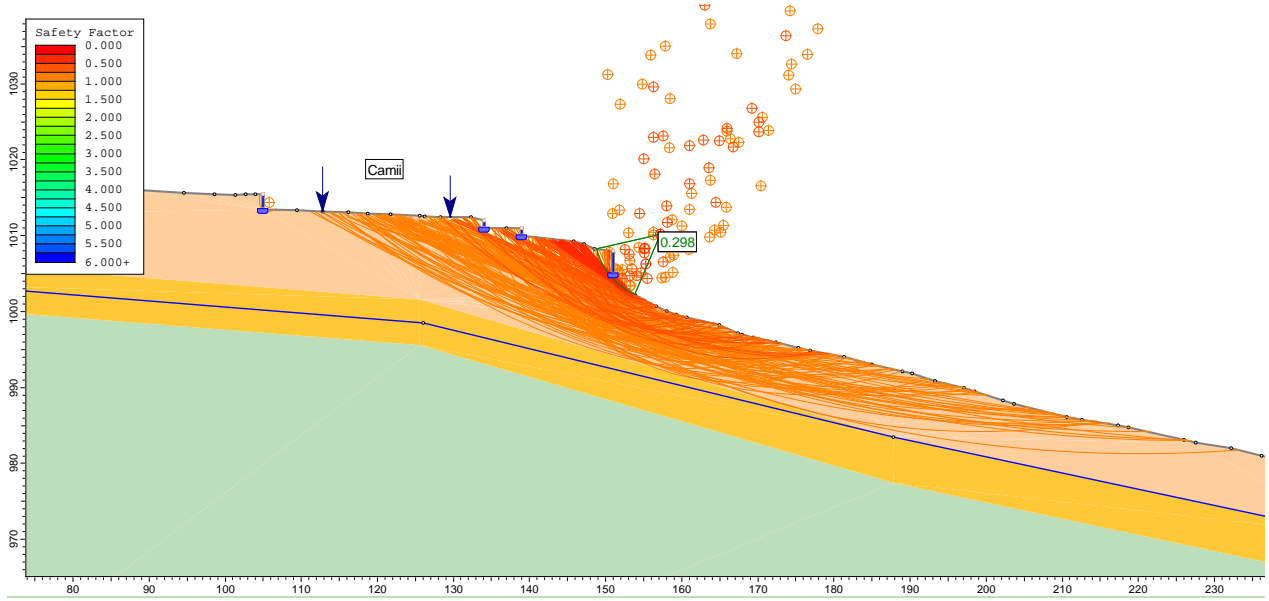


**Şekil 5.6.** Rezidüel kesme dayanımı parametreleri ile yapılan  $r_u=0$  durumu analizlerinde en düşük güvenlik katsayısına sahip daire ve güvenlik katsayısı değeri 1.0'dan düşük olan potansiyel daireler.

Şekil 5.6 incelendiğinde en kritik dairenin çok zayıf rezidüel zemin için artık kesme dayanımı dikkate alındığında güvenlik katsayısının 0.365 olduğu ve kritik düzlemlerin dolgu ve çok zayıf rezidüel zemin içerisinde yoğunlaştığı ve Çinili Camii'yi etkileyebilecek kadar geriye ötelenmiş durumda olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda kesme dayanımının rezidüel seviyeye düşmesi durumunda Çinili Camii'nin şev hareketlerinden etkilenmesi beklenmektedir.

### 5.2.2. Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı ( $r_u$ ) 0.1 Durumu

Çok zayıf rezidüel zemin için rezidüel kesme dayanımı parametreleri kullanılmış ve  $r_u$  değeri 0.1 alınarak yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen en düşük güvenlik katsayısına sahi daire ve güvenlik katsayısı değeri 1.0'den düşük olan potansiyel daireler Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.7.** Rezidüel kesme dayanımı parametreleri ile yapılan  $r_u=0.1$  durumu analizlerinde en düşük güvenlik katsayısına sahip daire ve güvenlik katsayısı değeri 1.0'dan düşük olan potansiyel daireler.

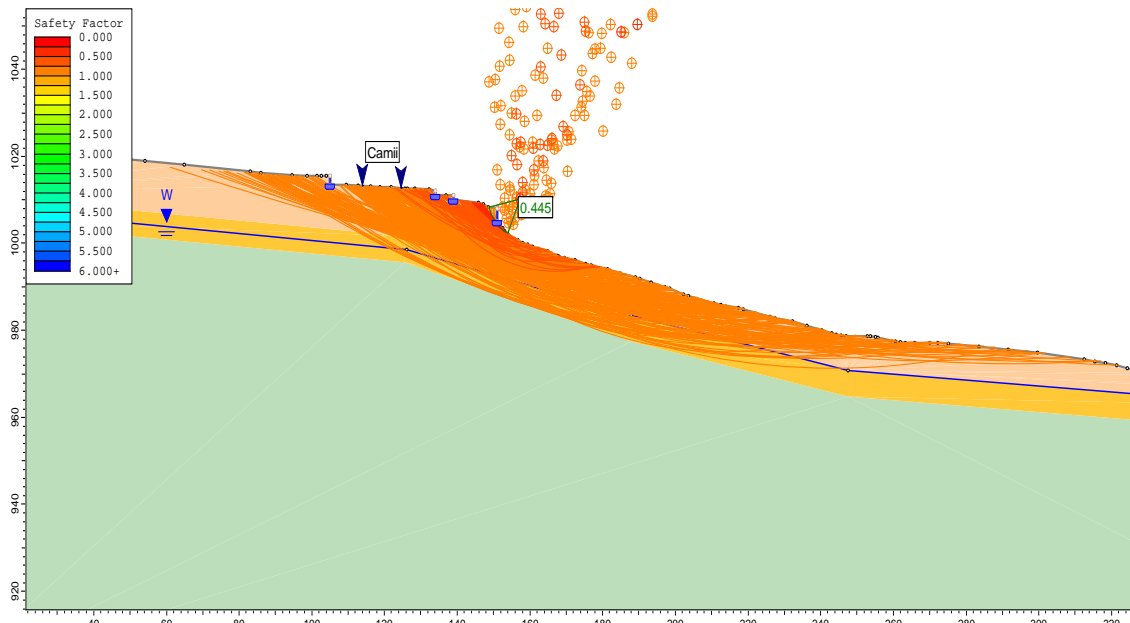
Şekil 5.7 incelendiğinde en kritik dairenin çok zayıf rezidüel zemin için artık kesme dayanımı dikkate alındığında güvenlik katsayısının 0.298 olduğu ve kritik düzlemlerin çok büyüdüğü, dolgu ve çok zayıf rezidüel zemin içerisinde yoğunlaştığı ve Çinili Camii'yi etkileyeceği anlaşılmaktadır. Bu durumda kesme dayanımının rezidüel seviyeye düşmesi durumunda Çinili Camii'nin şev hareketlerinden etkilenmesi beklenmektedir.

### 5.3. Depremlili Durumda Doruk Parametreler Kullanılarak Yapılan Analiz

Çalışma sahası 1. derece deprem bölgesi içerisinde yer almakta ve MTA'nın hazırladığı aktif fay haritasına göre aktif Kütahya Fay Zonu içerisinde kaldığı görülmektedir. Şev stabilitesine depremin etkisinin araştırılabilmesi için pseudostatik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde maksimum yer ivmesinin yarısı yatay ivme katsayısı olarak kullanılmakta ve bu değer dilim kütlesi ile çarpılarak sabit bir yatay kuvvet dilimlere uygulanmaktadır. Çalışılan saha gerçekte duraysız durumdadır ve boşluk suyu basıncının artması ve/veya kesme dayanımının rezidüel seviyelere düşmesi daha büyük ve Çinili Camii'yi de etkileyebilecek yenilme dairelerinin oluşmasına neden olacaktır. Bu nedenle deprem durumu için yapılan analizlerde daha da düşük güvenlik katsayıları elde edilecektir. Depremlili durum analizleri dolgu ve çok zayıf rezidüel zemin için doruk kesme dayanımı ve boşluk suyu basıncı katsayısı ( $r_u$ ) 0.1 değeri kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sahası 1. derece deprem bölgesi olduğu için maksimum yatay yer ivmesi 0.4 g olarak alınmış ve yatay ivme katsayısı 0.2 olarak (0.5PGA)

analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen en düşük güvenlik katsayısına sahi daire ve güvenlik katsayısı değeri 1.0'den düşük olan potansiyel daireler Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

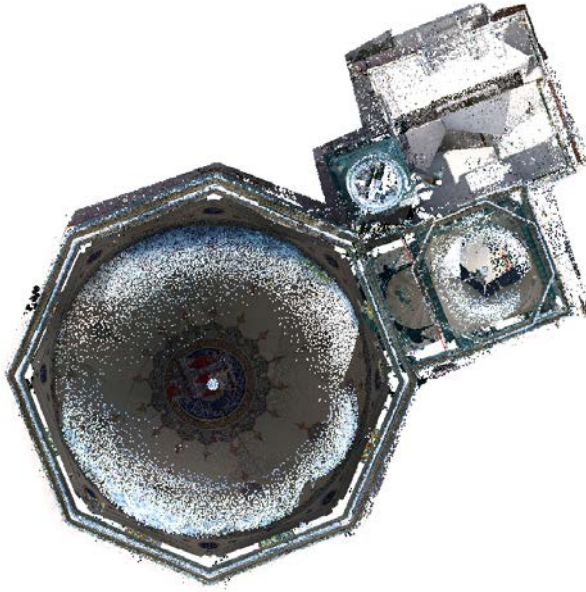
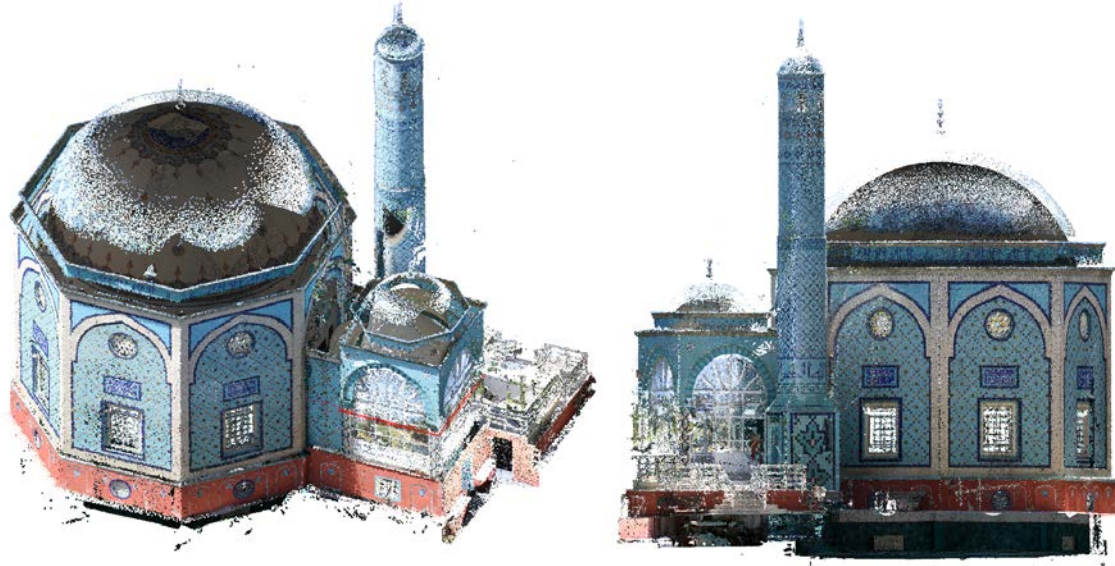
Şekil 5.8 incelendiğinde deprem yüklemesi durumunda Çinili Camii'yi ve hemen hemen tüm yamacı etkileyebilecek kadar geriye ötelenmiş yenilme daireleri oluştuğu ve stabilitenin kaybolduğu görülmüştür. Buna ilaveten çalışma sahasında bulunan aktif faylarda meydana gelmesi olası atım/düşüm deformasyonlarının da kalıcı yüksek düzeyde deformasyonlara yol açacağı dikkate alınmalıdır.



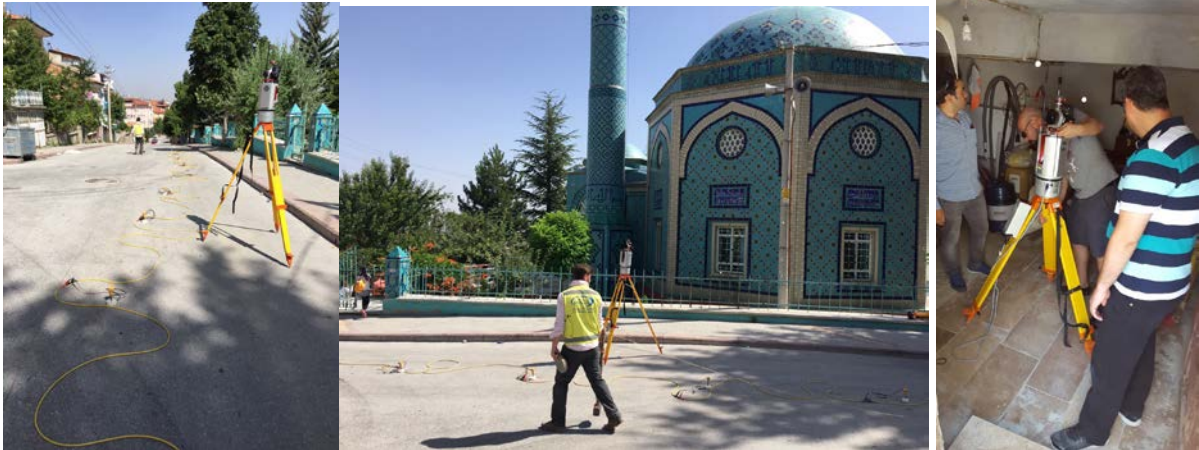
**Şekil 5.8.** Pseudostatik deprem yüklemesi durumunda, doruk kesme dayanımı parametreleri ile yapılan  $r_u=0.1$  durumu analizlerinde en düşük güvenlik katsayısına sahip daire ve güvenlik katsayısı değeri 1.0'dan düşük olan potansiyel daireler.

## **6. BULUT GÖRÜNTÜSÜNÜN ALINMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yapı sisteminin geometrik özelliklerinin belirlenebilmesi ve sayısal modellerin çıkartılabilmesi maksadı ile gerek iç mekândan gerekse dış mekân REIGL VZ-2000 lazer tarayıcı ile taranmış ve bulut görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 6.1). Burada kullanılan lazer tarayıcı saniyede 400.000 nokta ve 240 çizgi tanımlama kapasitesine sahip 2000 m ye kadar hassas şekilde ölçüm alabilecek özelliktedir. Bu özellikler sayesinde yapıya ait bulut görüntüsü tüm detayları verecek şekilde hassas bir şekilde elde edilmiştir.



Şekil 6.1 Bulut görüntüsüne ait görünüm



Şekil 6.2. Laser tarama çalışmasından görüntüler.

Tüm bu ölçümler sonucunda elde edilen veri yardımıyla taşıyıcı sistem kalıp planları çıkartılmıştır. Söz konusu planlar ek olarak verilmektedir. Yapıya ait sayısal modelin elde edilmesinde yine bu planlardan faydalanılmış bu sayısal görüntüler yardımıyla hesap modeli oluşturulmuştur.

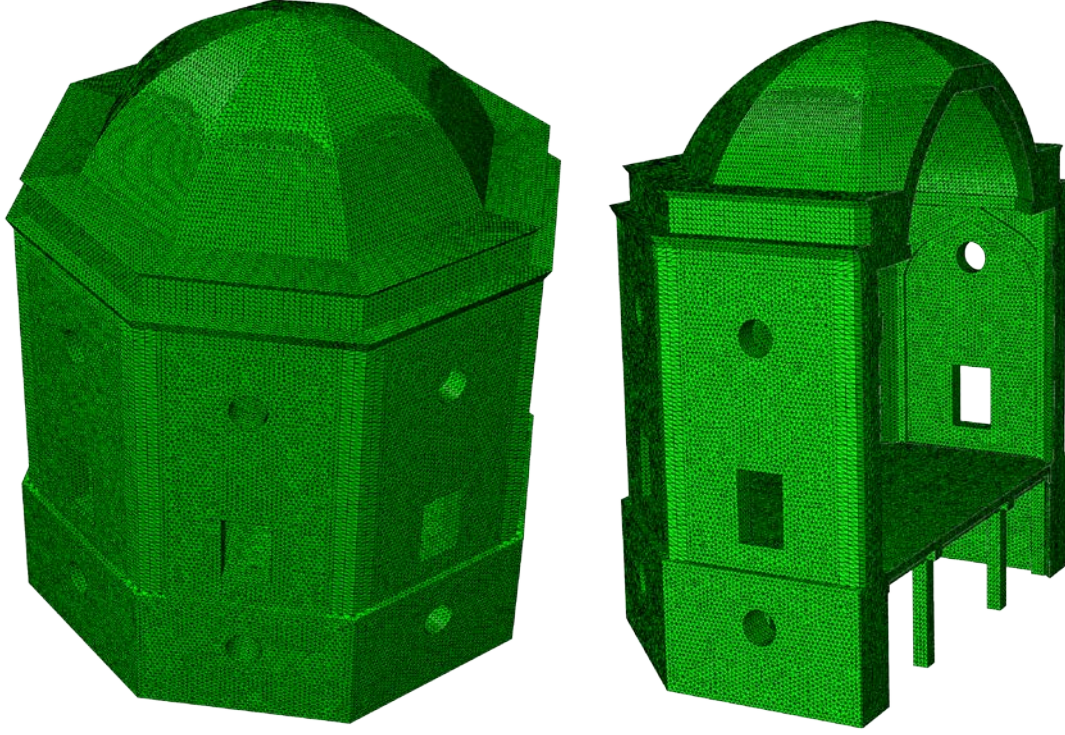
## **7. YAPISAL ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER**

İncelemeye konu edilen yapı sisteminin elde edilen rölelerinden ve yerinde yapılan ölçümler göz önüne alınarak hasarların gözlemlendiği bölüm olan sonradan imal edilen zemin katı ve üst yapı bu çalışmada modellenmiştir. Burada belirtmek gerekir ki sonradan kazılarak oluşturulan alan içerisinde oluşturulan kirişli döşeme-kolon sistemi yapı ile sadece yatay doğrultuda irtibatlandırılmış düşeyde ise her taşıyıcı sistem kendi yüklerini taşır şekilde modellenmiştir. Yerinde son derece hassas bir şekilde alınan ölçümler ile yapı sistemi hemen hemen birebir şekilde modellenmiştir. Bu modele ilişkin görünüm Şekil 7.1’de sunulmaktadır. Yapısal analizlerde kullanılmak üzere, malzeme için alınacak değerler için literatür araştırması ile ilgili detaylı bilgiler ilgili başlıkta daha önce verilmiştir.

Buna göre taşıyıcı sistemi oluşturan malzemeler ve onların birleşim teknikleri düşünüldüğünde, malzeme için birim hacim ağırlığı olarak yaklaşık  $25,0 \text{ kN/m}^3$ , basınç dayanımını 10-20 MPa, aralığında bir değişim gösterebileceği, direk çekme dayanımının yaklaşık 1-2 MPa aralığında değişebileceği anlaşılmaktadır. Gerek literatür gerekse tarafımızdan benzer yapılarda yapılan inceleme ve araştırmalardan elastisite modülünün yaklaşık olarak betonarme kısım için 28000 MPa, harman tuğlasından imal edilen kısım için 10000 MPa olarak dikkate alınmasının uygun olacağı taş duvar için ise bu değer 200 MPa civarında dikkate alınmasının uygun olacağı anlaşılmaktadır.

Gerçekleştirilen yapısal analizlerde inceleme konusu yapı sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Bu modellemelerde ve gerçekleştirilen analizlerde ABAQUS analiz programı kullanılmıştır. Modellemede üç boyutlu katı (solid) elemanlar kullanılmıştır. Bu elemanlar 10 noktalı quadratic tetrahedron elemanlar ile 8 noktalı brick elemanlardan oluşmaktadır. Bu sonlu elemanların; her bir düğüm noktasının üç adet deplasman serbestlik derecesi vardır. Tüm bu modelin elde edilmesinde yaklaşık 2 milyon adet düğüm noktası ile toplam 1.5 milyon adet eleman kullanılmıştır.

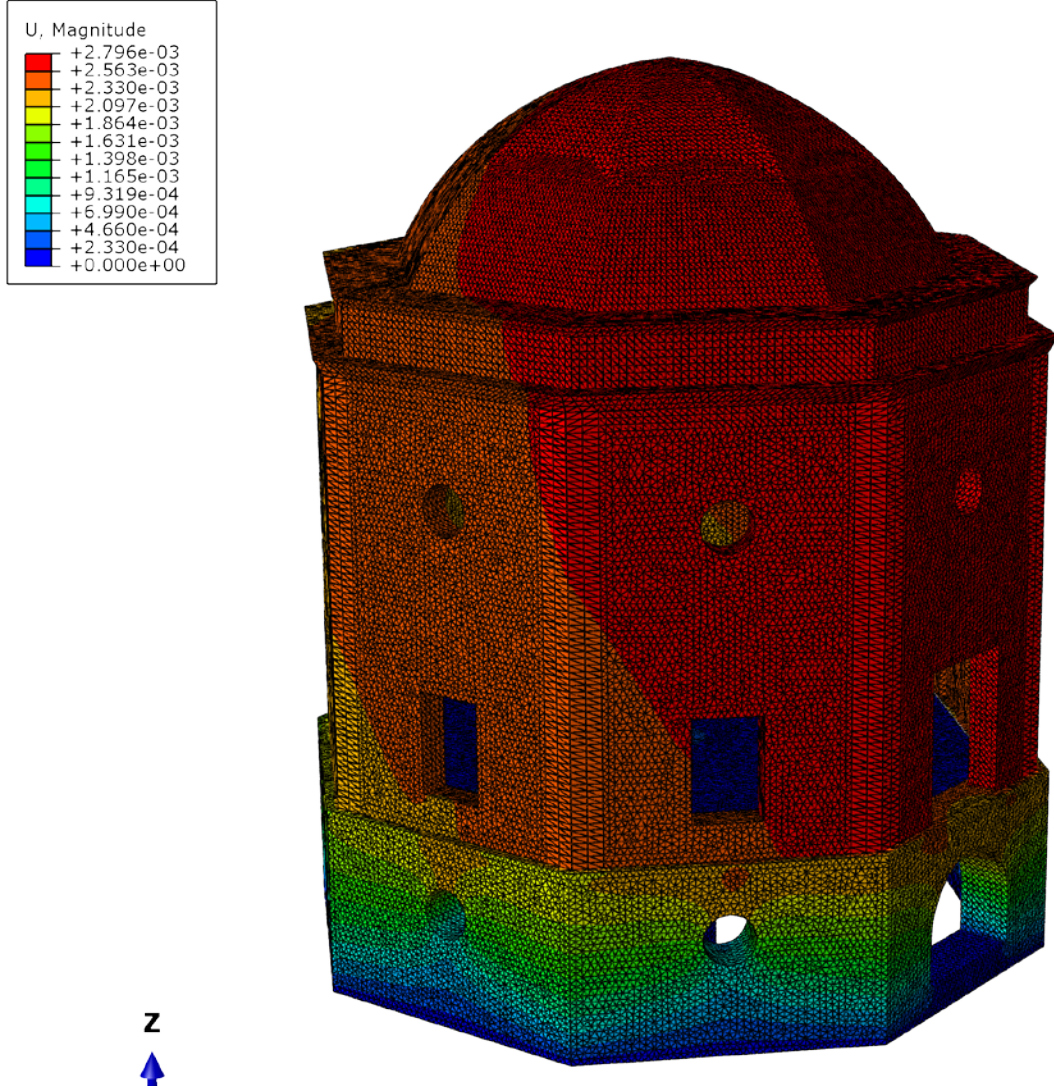




**Şekil 7.1.** Cami için oluşturulan sonlu elemanlar modeli

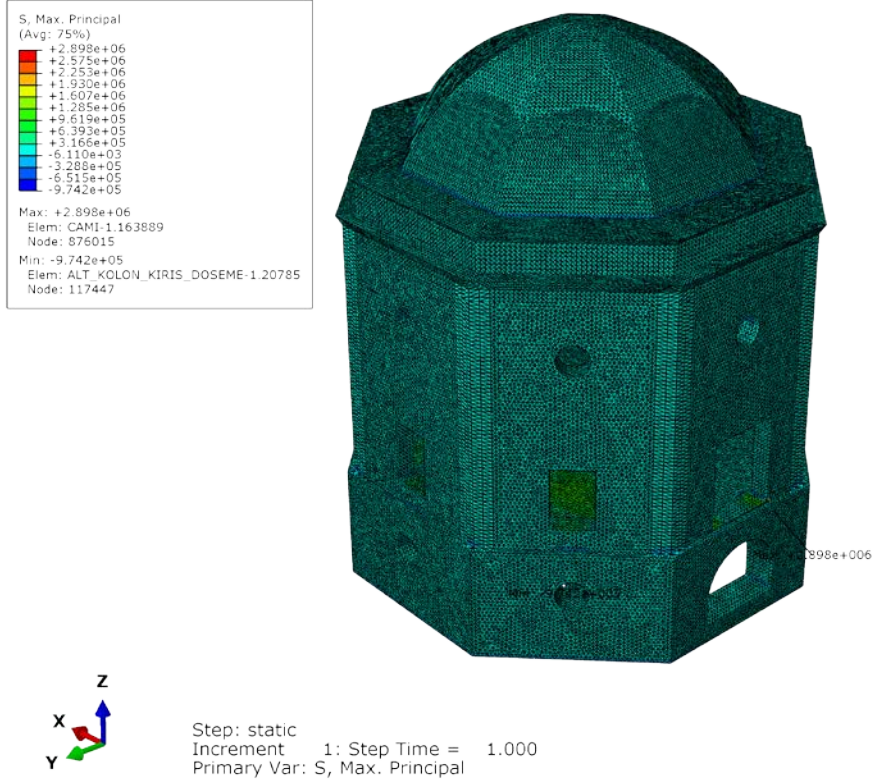
Statik durum için yapı ağırlığı etkisinde tüm sistemde oluşacak olan yerdeğiştirmeler Şekil 7.2’de görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi en büyük yerdeğiştirmeler giriş kapısının üzerinde bulunan kubbe seviyesinde oluşmakta ve en büyük değerini 3 mm düzeylerinde almaktadır. Söz konusu yerdeğiştirme değerinin oldukça düşük olduğundan hareketle yapı için herhangi bir risk oluşturmayacağı rahatlıkla söylenebilir.

İlk olarak kendi ağırlığı altında statik analiz yapılmıştır. Kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen yapısal analizden elde edilen gerilmelerin değişimi sunulmaktadır. Burada ilk olarak kendi ağırlığı etkisi altında yapı sisteminde oluşan düşey gerilmeler değerlendirildiğinde yapının hemen bütün kesitlerinde basınç gerilmelerinin hakim olduğu ve bu gerilemenin en büyük değerinin 3 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir. Diğer taraftan lokal olarak gerçekleşen çekme gerilmelerinin en büyük değeri ise yine düşey yüklerin dikkate alındığı bu çözümlemede en büyük değerini 2 MPa değerini ulaştığı anlaşılmaktadır. Malzeme için daha önce yapılan değerlendirmelerden de hatırlanabileceği üzere bu mertebede gerilmeler kullanılan malzeme için emniyetle taşınabilecektir.

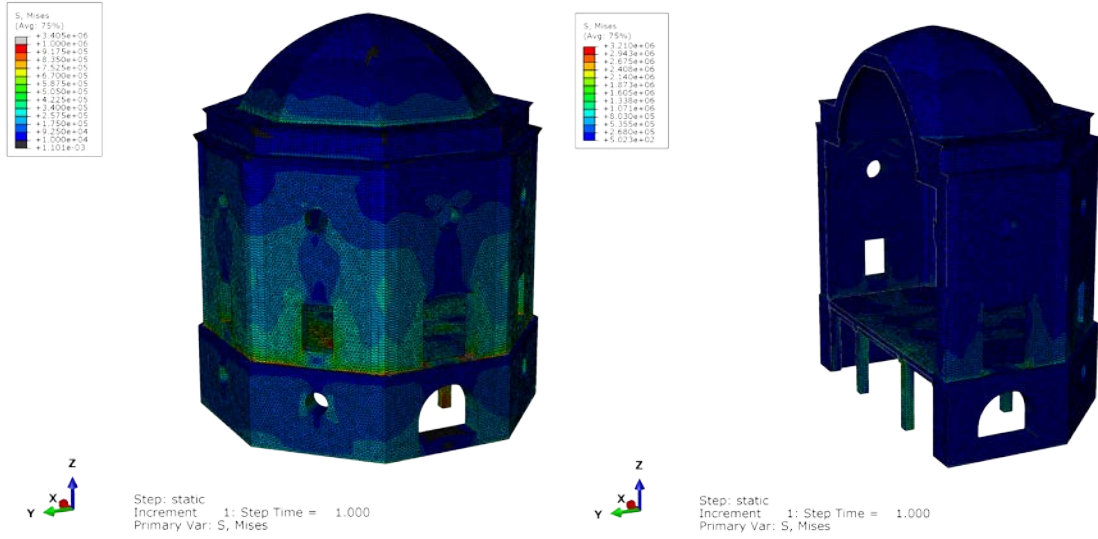


Şekil 7.2. Yapıda oluşan yerdeğiştirmelerin gösterimi

Kendi ağırlığı etkisi altında en büyük asal gerilmelerin tüm sistemde dağılımları incelendiğinde ise (Şekil 7.3) en büyük basınç gerilmesinin 1 MPa düzeyine erişebildiği, çekme gerilmesi için ise bu değer çoğunlukla 2 MPa düzeylerinde gerçekleştiği görülmektedir. Her iki durum için malzeme için öngörülen emniyetle taşınması beklenir gerilmeler aşılmamaktadır. Bu durum statik olarak yapı sisteminin yeterli güvenilirliğe sahip olduğuna işaret etmektedir. Diğer taraftan Şekil 7.4’de verilen Von-Mises gerilmelerinin değişimi de irdelendiğinde yine sistemin kendi ağırlığı etkisi altında basınç bölgelerinde erişilen en büyük 3.4 MPa lık gerilme düzeyini güvenle taşıyabilecek durumda olduğundan bahsedilebilir. Tüm bu veriler dikkate alındığında kendi ağırlığı etkisi altında söz konusu yapının yeterli güvenlik düzeyine (yaklaşık EF=3) sahip olduğu rahatlıkla söylenebilir.



Şekil 7.3. Kendi ağırlığı etkisi altında en büyük asal gerilmelerin değişimi

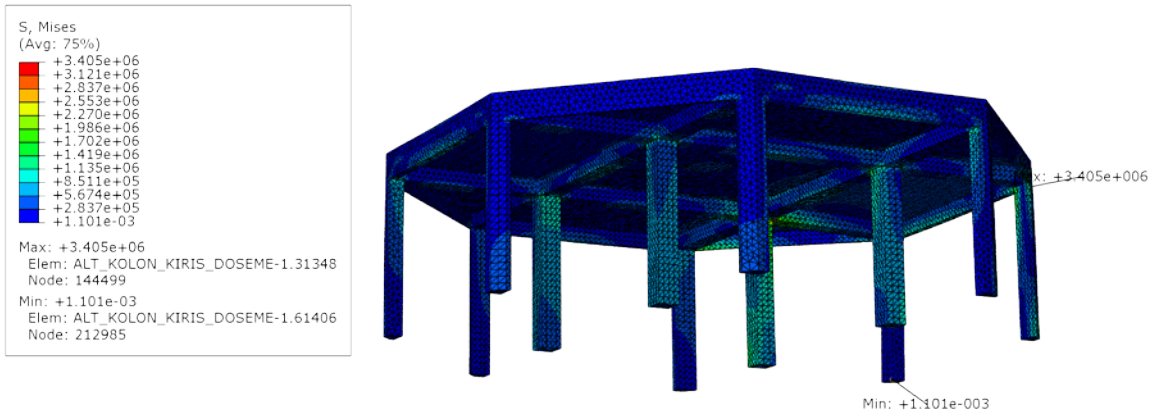


Şekil 7.4. Kendi ağırlığı etkisi altında Von-Mises gerilmelerin değişimi

## 7.1. STATİK AÇIDAN DEĞERLENDİRMELER

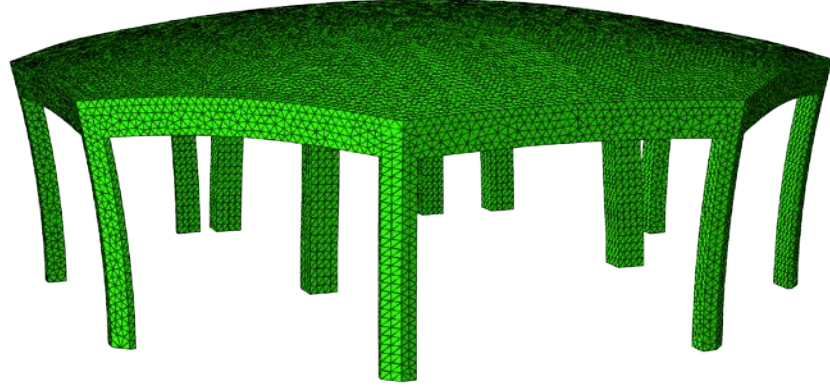
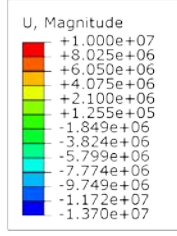
İncelemeye konu edilen yapı sisteminin buraya kadar sunulan çözümlerinde kendi ağırlığı etkisi altında elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Bu noktadan sonra yapının mevcut

hali nedeniyle meydana gelen hasarların yapı taşıyıcı sistemi nedeniyle meydana gelip gelmediği burada irdelenmektedir. Daha öncede ifade edildiği üzere ilk olarak imal edilen yapı kısmında meydana gelen gerilmelerin yapıda statik açıdan herhangi bir çatlama neden olacak mertebede olmadığı ifade edilmiştir. Şekil 7.5 ‘den de görülebileceği gibi sonradan imal edilen kısımda meydana gelen gerilmeler tüm yapıda en yüksek çekme gerilmelerinin olduğu kısım olarak anlaşılmaktadır. Ancak mevcut haliyle de bu yapıda herhangi bir çatlamanın olması yine beklenemez. Ancak yerinde gözlemlendiği şekliyle dış duvarların oturması ancak içeride bulunan kolonların bu denli oturmaması durumunda gerilme durumları bu şekilde olmamaktadır.

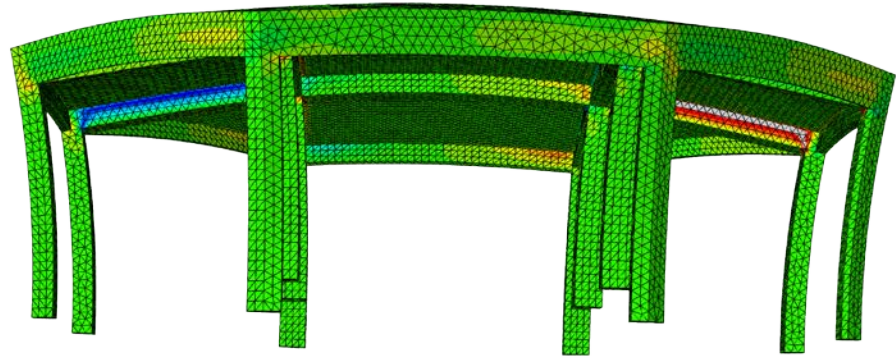
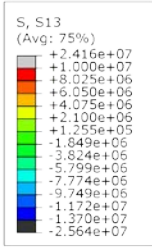


Şekil 7.5. Sonradan yapılan kısma ait statik hal için gerilmelerin gösterimi

Yapılan incelemelerden oturmaya bağlı olarak beden duvarına bitişik imal edilen kolonların bu bölgede yüksek düşey gerilme nedeniyle oturdukları orta kolonların ise bu oturmadan çok daha düşük bir oturma ile karşı karşıya kaldıkları anlaşılmaktadır. Dolayısıyla mevcut oturma durumu modellenerek bu döşeme sistemi analiz edilecek olursa 5 cm lik bir farklı oturma için yerdeğiştirmiş hal Şekil 7.6 da sunulmaktadır. Ancak bu durumda Şekil 7.7 de verilen yüksek kayma gerilmelerinin kirişlerde oluşması kaçınılmazdır. Yerinde 5 cm den fazla farklı oturma olmasına karşın 5 cm mertebesinde dahi mevcut kesitlerin bu kayma gerilmelerini çatlama olmadan karşılaması beklenemez. Betonun buradaki çatlama karşı koyabileceği gerilme düzeyinin 6~7 Mpa olabileceği düşünüldüğünde 20 MPa lara varan gerilmeler normal olarak çatlamalara neden olmaktadır.



Şekil 7.6. Oturmaya bağlı olarak yerdeğiştirme gösterimi



Şekil 7.7. Oturmaya bağlı olarak kirişlerde oluşan kayma gerilmelerinin gösterimi

## **8. SONUC VE ÖNERİLER**

Konuda belirtilen gerekçeler ile Çinili Camiinde gözlemlenen çatlaklar ifade edilerek söz konusu yapı ile ilgili yerinde tespitlerin yapılması ve söz konusu hasarların nedenlerin tespiti ve alınması gereken önlemler talep edilmektedir. Yerinde yapılan gözlemler, testler ve deneyler ve bunlara bağlı yapılan analizler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Zemin incelemelerinden elde edilen bulgulara göre, ölçüm noktası için 13-17 m aralığında değişen kalınlıklarda SPT değerleri oldukça düşük katmanlı bir zemin tabakasının kireçtaşı üzerinde arlandığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle zeminde yüklemelere bağlı olarak meydana gelebilecek oturmalar olağandır. Yapılan jeofizik çalışmalar da sondajlara benzer olarak üç katmanı işaret etmektedir. Bunlardan ilki 3~4 m lik bir tabaka için 180 m/s bir  $V_s$  hesaplanırken, yaklaşık 10 m lik devam eden tabaka için ise bu değer 360 m/s mertebelerine çıkmaktadır. Yüzey seviyesinden 4 m ve 10 m kalınlıklarında, birbirleri arasında düşük miktarda hız kontrastı olan bu zemin tabakalarının mevcut olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle üst 4 m'lik seviye çok düşük hızlı killi rezidüel zeminin yüksek oturma potansiyeli dolayısıyla bu tür bir zeminde yer altı su seviyesi değişimine ve bölgeyi etkileyebilecek kuvvetli yer hareketi miktarlarına bağlı olarak zemin problemleri meydana gelebileceği açıktır. Bunları takip eden tabaka için ise kayma dalgası hızının 766 m/s olarak tespit edilmiş olması kireçtaşının varlığını sismik veriler ile de desteklemektedir. Tüm bu verilerden anlaşılabilen üzere temel zemin için ilk 4 metrelik kısmın yüksek oturma potansiyeline sahip olduğu onu takip eden tabakanın da yine benzer şekilde oturma potansiyeline sahip olduğu anlaşılmaktadır.

İlk bakışta bölgede şevin dikliği ve yapının yapım hikayesinin bilinmemesi nedeniyle şev stabilitesi açısından problemin olabileceği düşünülse de alınan ölçümlerden ve yapım işini gerçekleştirenlerden öğrenilen bilgilerden şev stabilitesi açısından bir problemin mevcut olabileceği gibi, bu hasarlara neden olan birincil unsurun, tahkimat yapılarındaki hasarın istinat imalatında kullanılan dolgu malzemesinin uygun olmaması ve duvarlarda drenajın sağlanamaması nedeniyle gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Yapıda meydana gelen hasarların sonradan imal edilen ve beden duvarlarına komşu olarak konumlandırılan düşey taşıyıcı elemanların oturmalarının aynı döşeme sistemi için imal

edilen ve orta bölümü mesnetleyen dört adet kolonun ise bunlara nazaran daha az oturmaları nedeniyle meydana geldiği anlaşılmaktadır.

İncelenen yapının hasar görmesini tetikleyen başlıca etkenin yapı zemininin taşıma gücüne bağlı olarak uygun bir temel sistemi tasarlanmamış olmaması ve sonradan imal edilen kadın mahallinin de söz konusu bu hatalara ek olarak zemine ekstra gerilmeler yüklemesi olarak gösterilebilir. Tüm bu etmenlerin birleşmesi nedeniyle farklı oturumların meydana geldiği anlaşılmaktadır. Söz konusu etkiler çok basit yer hareketleri etkisinde dahi ek oturmalara ve dolayısıyla üst yapıda hasara neden olma potansiyeline sahiptir.

Şev stabilitesine yönelik olarak alınan inkilometre ölçümlerin uzun bir zaman diliminde gerçekleştirilmesi gerektiği, mevsimsel etkileri de içerecek sonuçlara elde edilmesi ile ancak kesin bir kanaate varılması mümkün olacaktır. Bu nedenle kurulmuş olan sistemden ölçümler alınmaya devam edilecek ve ölçümlerde olağan dışı durumlar tespit edilmesi halinde tarafımıza rapor edilecektir. Bu sayede daha gerçekçi bir veri ile kesin kanaatlerimizi bildirmek mümkün olabilecektir.

Yukarıda ifade edilen tüm bu unsurlar düşünüldüğünde;

1. Yapıda özensiz ve hiçbir mühendislik hizmeti alınmadan yapılan temel sisteminin yeniden tasarlanması gerektiği.
2. Başlangıçta sadece temel teşkil etmesi için yapılmış bulunan taş duvarın kazı işleminden sonra taşıyıcı duvar gibi çalışmaya başlayacağı ve hiçbir şekilde yatay yüklere karşı koyacak karakterde olmadığından güçlendirilmesi gerektiği
3. Mevcut haliyle sonradan imal edilen kirişli döşeme sisteminin tamamıyla kaldırılarak gerek yapı içinden gerekse yapı dışından oluşturulacak temel sistemi ile taş duvarı da içine alacak perde sistem ile sarılarak bu bölümün stabilitesinin ve yapıya temel teşkil edecek yeni bir elemanın oluşturulması gerektiği
4. Tüm bu işlemlere ek olarak yapıda yeni hasarlar oluşmadan dayanıklılığının da uzun yıllar muhafaza edilebilmesi için, yapı avlusu ve civarındaki tüm yüzeysel suların uygun bir drenaj sistemiyle yapıdan uzaklaştırılması gerektiği,

5. Avluda bulunan istinat yapılarında dolgunun gelişigüzel imal edilmiş olması nedeniyle su tutması ve drene olamamasından kaynaklanan problemlerin de barbakanlar ve benzeri teknikler ile ortadan kaldırılması gerektiği anlaşılmaktadır.

İlgili gözlemler, tarafımıza ifade edilenler hususundaki yukarıda ifade edilen görüş ve önerilerimizi bilgilerinize arz ederim. 22.12.2017

**Hazırlayan:**

**Dr.Mahmud Sami DÖVEN**

FİZİBİL Mühendislik &Yazılım Ltd.Şti  
Genel Müdür

**Proje Danışmanı**

**Prof.Dr. Ramazan LİVAOĞLU**

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi





EK-1

YAPIYA AİT LAZER  
TARAMA (BULUT)  
VERİSİ

EK-2

TAŞIYICI SİSTEM  
RÖLEVELERİ

EK-3

# ZEMİN RAPORLARI

