

DOĞAL SİSMİK YALITIM MODELİ:  
“ÖRME DİKİLİTAŞ” YAPISI ÖRNEĞİNDE  
İNCELEME VE UYGULAMALARI  
SOYHAN BAL  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

**T.C.**  
**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞAL SİSMİK YALITIM MODELİ:**  
**“ÖRME DİKİLİTAŞ” YAPISI ÖRNEĞİNDE**  
**İNCELEME VE UYGULAMALARI**

**SOYHAN BAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AKADEMİK DANIŞMAN**  
**PROF. DR. AZER A. KASIMZADE**

**SAMSUN-2011**

**T.C.**  
**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Bu çalışma jürimiz tarafından **05/10/2011** tarihinde yapılan sınav ile **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

**Başkan:** Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE

**Üye:** Prof. Dr. Güven ÖNBİLGİN

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Zeki KARACA

**ONAY :**

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.../.../2011

**Doç. Dr. Ümit SERDAR**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.**

## DOĞAL SİSMİK YALITIM MODELİ: “ÖRME DİKİLİTAŞ” YAPISI ÖRNEĞİNDE İNCELEME VE UYGULAMALARI

### ÖZ

X. Yüzyılda yapılmış, günümüze gelebilmiş Örme Dikilitaş, Sultanahmet Meydanında yer almakta olup kaba kesilmiş taşlardan yapılmış, dört köşeli, tepesine doğru gidildikçe incelen 32.77 m’lik bir anıttır. Günümüzde birçok yapı, depreme karşı yeterli dayanım gösteremezken, bu denli eski yapının sağlam olmasının nedeni mühendislik bilgisidir.

Sistem sırasıyla zaman ve frekans tanım alanındaki güçlü deprem hareketi altında, lineer olmayan kontak çalışmaları yaparak sonlu elemanlar metodu ile modellenmiştir. Anıtın matematiksel modeli elde edilmiş ve incelenmiştir. Elde edilmiş modelde yapının mesnet kısmının “lineer olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik izolatör (Nonlinear Frictional Responsive Natural Seismic Isolator -NFRNSI)” işlevini yaptığı ve günümüzdeki kurşun çekirdekli kauçuk izolatörle (LRB-Lead Rubber Bearings) benzer davranış sergilediği gösterilmiştir. NFRNSI’nın toplam yüksekliği 3.44 metredir. Yapının NFRNSI işlevi gören kısmı, horasan harcı kullanılarak dört kayma yüzeyi oluşturan üç mermer taş ve bir mermer kaidedir. Masif mermer taşın LRB’deki kurşun silindir çekirdeği ile aynı işlev yaptığı görülür. NFRNSI’nın tam olarak sürtünmeli davranışı LRB’den farklıdır ve NFRNSI sıfır-denge durumu civarında değişen deprem eksitasyonu vasıtasıyla denge durumu halinde olan anıtın üst kısmını tutar. Anıtın taban ankastre modeli yaşam süresi (1000 yıl) boyunca ortaya çıkarılan deprem hareketlerine karşılık veremez. Bu karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Keşfedilen ve sunulan lineer olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik izolatör ( Nonlinear Frictional Responsive Natural Seismic Isolator-NFRNSI) modeli başından tarihsel deneyim geçirdi (1000 yıl). İnşaat için kolay olup herhangi bir özel bakım gerektirmez. Sismik bölgelerde bugünkü yapılarda kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Örme Dikilitaş, sismik izolasyon-yapı etkileşimi, taban izolasyonu, doğrusal olmayan plastik analiz, sonlu elemanlar metodu, zaman ve frekans tanım alanındaki dinamik tepki, LRB-Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör, Lineer olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik izolatör-NFRNSI

**APPLICATION AND INVESTIGATION ON THE SAMPLE OF THE  
STRUCTURE OF “WALLED OBELISK”:  
A MODEL OF NATURAL SEISMIC ISOLATOR**

**ABSTRACT**

Walled Obelisk (Column of Constantine Porphyrogenetus) which was build in 10th century is a monument located in Sultan Ahmet Square heighted 32.77 m consist of rough-cut stone getting thinner to the four-sided hill that prevent itself from all the effects of nature until today. Today many structures aren't enough strength against earthquake, but such a old structure is so strong which is explained engineering knowledge.

The system is modeled by the finite element method in nonlinear-contact studies under strong earthquake action in time and frequency domain respectively. The mathematical model of the monument has been obtained and investigated. It has been shown that in the obtained model support of the structure undertake a "Nonlinear Frictional Responsive Natural Seismic Isolator-NFRNSI" and shows similar behavior like current lead-core rubber isolator (LRB-Lead Rubber Bearings). The total height of the NFRNSI is 3.44 meter. Structure part which is act as a NFRNSI consist of three marble stone and massive marble stone (entablement) that form four sliding surfaces using Horasan mortar. Massive marble stone appears as a "similar" function with LRB lead cylinder core. NFRNSI shows fully frictional behaviour different than the LRB and keeps upper part of the monument around the equilibrium (balance) state by the earthquake excitation which also varies around zero-equilibrium (balance) state. The used fixed base model of the monument cannot reciprocate the recovered earthquake actions during its lifetime(1000 years). That has been shown comparatively. Discovered and presented model of the "NFRNSI" passed through historical experience (in this monument's example 1000 years), easy for construction, moreover not requiring any special maintenance, and can be usable also in today's structures in seismic regions.

**Key words:** Walled Obelisk, seismic isolation-structure interaction, base isolation, nonlinear plastic analysis, finite element method, dynamic response in time and frequency domain, LRB-Lead Rubber Bearings, Nonlinear Frictional Responsive Natural Seismic Isolator-NFRNSI

**TEŞEKKÜR**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün Yapı Ana Bilim Dalında görevli, derin bilgileriyle ve akademik çalışmalarıyla yurt içi ve yurt dışında söz sahibi olan, Yüksek Lisans eğitimine başladığım günden itibaren bana yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen, kendilerinden çok şey öğrendiğim değerli hocam Sayın Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE`ye çok çok teşekkür ederim.

Ayrıca bana destek olan ve kolaylık sağlayan meslektaşım Araş. Gör. Dr. Sertaç TUHTA' ya, İstanbul Üniversitesi'nde horasan harç numunelerini temin eden Sayın Doç. Dr. Ahmet GÜLEÇ'e, Örme Dikilitaş hakkında bilgi ve birikiminden yararlandığım Seda TULGAR'a, Örme Dikilitaş'la ilgili plan detaylarını edinmemde yardımlarını esirgemeyen İnşaat Mühendisi Leyla Ayyıldız'a ve de anlayış ve yardımları için aileme teşekkür ederim.

Ekim 2011

SOYHAN BAL

**İÇİNDEKİLER**

ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	4
2.1.Sultanahmet Meydanı'ndaki Örme Dikilitaş Yapısının Konumu.....	4
2.2.Sultanahmet Meydanı'ndaki Örme Dikilitaş Yapısının Tarihçesi.....	5
2.2.1.Sultanahmet Meydanı.....	5
2.2.1.1 Sultanahmet Meydanı'nda Bulunan Tarihi Yapılar.....	6
i.Alman Çeşmesi.....	6
ii.Dikilitaş.....	7
iii.Burmalı Sütun (Yılanlı Sütun).....	7
iv. Örme Dikilitaş (Column Of Constantine Porphyrogenetus).....	8
2.3. Bölgenin Jeolojik Yapısı.....	10
2.3.1. Marmara Denizinin Jeolojisi ve Fayların Genel Özellikleri.....	12
2.3.2. Sultanahmet Meydanı'nda Bulunan Örme Dikilitaş'ın Zemin Koşulları.....	13
2.4. Sultanahmet Meydanı'nda Bulunan Örme Dikilitaş'ın Depremselliği.....	14
2.5. Örme Dikilitaş'ta Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	20
2.5.1. Kireçtaşı.....	21
2.5.2. Mermer.....	23
2.5.3. Horasan Harcı.....	24

2.5.4. Demir.....	28
2.6. Sultanahmet Meydanı'nda Bulunan Örne Dikilitaş'ın Mevcut Durumu.....	29
2.6.1. Örne Dikilitaş Yapısının Vaziyet Planı.....	34
2.7. Yapıların Güçlü Deprem Etkilerine Karşı Antisismik Özelliklerinin Yükseltilmesi Yöntemleri.....	38
2.7.1. Kurşun çekirdekli elastometrik sismik yalıtım sistemi.....	39
3. MATERYAL VE METOT.....	40
3.1. Materyal.....	40
3.2. Metot.....	40
3.2.1. Yapıların Sonlu Elemanlar Metodu ile Modellenmesi.....	40
3.2.1.1. Örne Dikilitaş Yapısının Matematiksel Modelinin Tanımlanması.....	49
i. Mod Birleştirme Yöntemi ile İnceleme.....	54
ii. Zaman-Tanım Alanı Yöntemi ile İnceleme.....	56
3.2.1.2. Örne Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Solid Modellenmesi.....	58
i. Model Koordinatlarının Tanıtılması.....	59
ii. Örne Dikilitaş'ı Solid Modelleme.....	59
iii.Örne Dikilitaş Modeline Meshleme İşleminin Yapılması.....	60
iv. Örne Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının Mesnetlerinin Belirlenmesi.....	61
v. Örne Dikilitaş'ta Yüklerin Tanımlanması.....	61
vi. Örne Dikilitaş'ta Özel Tasarım İvme Spektrum Tasarlanması.....	62
vii. Modelimizin Analiz İşleminin Gerçekleştirilmesi.....	62
3.2.1.3. Örne Dikilitaş Yapısının ANSYS Programında Sayısal Modellenmesi İçin Kullanılan Sonlu Eleman Özellikleri.....	63
i. Ansys'te Örne Dikilitaş Yapısının Koordinatlarının Programa Girilmesi.....	75
ii. Ansys'te Eleman Türünün Seçilmesi.....	77
iii.Örne Dikilitaş Yapısında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	77

iv. Ansys'te Malzeme Özelliklerinin Girilmesi.....	77
v. Ansys'te Horasan Harcı Malzemesinin Özelliklerinin Girilmesi.....	78
vi. Ansys'teki Modelimizde Hangi Katının Hangi Malzemeye Ait Olduğunu Belirleme İşlemi.....	79
vii. Ansys'teki Modelimizde Mesh Oluşturma İşlemi.....	79
viii. Ansys'teki Modelimize Kontak Parametrelerinin Girilmesi.....	80
ix. Ansys'teki Modelimize Kontak Parametrelerinin Girilmesi ve Uygulanması.....	81
x. Ansys'teki Modelimizde Sınır Koşullarını Oluşturma İşlemi.....	82
xi. Ansys'te Analiz İşleminin Gerçekleştirilmesi.....	82
xii. Düzce Depremi Hakkında Genel Bilgiler.....	82
4. BULGULAR.....	88
4.1. Dinamik Analiz Sonuçları.....	88
4.1.1. Örme Dikilitaş Yapısına ait Matematiksel Modelin Analiz Sonuçları.....	89
4.1.1.1. Mod Birleştirme Yöntemi ile Analiz Sonuçları.....	89
4.1.1.2. Zaman-Tanım Alanı Yöntemi ile Analiz Sonuçları.....	90
4.1.2. Sap 2000 Advanced 11.0.4 Program Versiyonuyla Modellemesi Yapılan Örme Dikilitaş Yapısının Analiz Sonuçları.....	91
4.1.2.1. Örme Dikilitaş Yapısının 1. Moddaki Davranışı.....	91
4.1.2.2. Örme Dikilitaş Yapısının 2. Moddaki Davranışı.....	92
4.1.2.3. Örme Dikilitaş Yapısının 3. Moddaki Davranışı.....	93
4.1.2.4. Örme Dikilitaş Yapısının 4. Moddaki Davranışı.....	94
4.1.2.5. Örme Dikilitaş Yapısının 5. Moddaki Davranışı.....	95
4.1.2.6. X Yönünde Deprem Kuvveti Etkisi.....	96
4.1.2.7. Y Yönünde Deprem Kuvveti Etkisi.....	97
4.1.2.8. Örme Dikilitaş Yapısının Devrilme Momentleri.....	97
4.1.2.9. Sap 2000 Advanced 11.0.4 Versiyon Programının Analiz Sonuçları .....	98

4.1.3. Ansys 11.0 Programının Versiyonuyla Modellemesi Yapılan Örme Dikilitaş Yapısının Analiz Sonuçları.....	99
4.1.3.1. Örme Dikilitaş Yapısının 1. Moddaki Davranışı.....	99
4.1.3.2. Örme Dikilitaş Yapısının 2. Moddaki Davranışı.....	100
4.1.3.3. Örme Dikilitaş Yapısının 3. Moddaki Davranışı.....	101
4.1.3.4. Örme Dikilitaş Yapısının 4. Moddaki Davranışı.....	102
4.1.3.5. Örme Dikilitaş Yapısının 5. Moddaki Davranışı.....	103
4.1.3.6. Örme Dikilitaş Yapısının X Yönünde Uygulanan Depremde Oluşan Toplam Yer Değişirme.....	104
4.1.3.7. Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının X Yönünde Uygulanan Depremde Oluşan Toplam Yerdeğişirme.....	104
4.1.3.8. Örme Dikilitaş Yapısının XY Düzleminde Oluşan Kayma Gerilmeleri.....	105
4.1.3.9. Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının XY Düzleminde Oluşan Kayma Gerilmeleri.....	105
4.1.3.10. Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının Z Düzleminde Oluşan Gerilmeleri.....	106
4.1.3.11. Örme Dikilitaş Yapısının Von Mises Gerilmeleri.....	106
4.1.3.12. Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının Von Mises Gerilmeleri.....	107
4.1.3.13. Ansys 11.0 Versiyon Programının Analiz Sonuçları.....	108
4.1.3.14. Örme Dikilitaş Yapısının İzolatör İşlevi Gören Kısma Ait Bütün Cephelerden Elde Edilen Yakın Çekim Görüntüleri.....	111
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	115
6. KAYNAKLAR.....	117
7. ÖZGEÇMİŞ.....	121

## SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\alpha$  : Yapıda modal katilim faktörü

$\{a\}_j$ : Yapının j.titreşim mod şekli

$\{a\}$ : Özvektör

$[c]$  : Sönüm matrisi

$[c_b]$  : Temeli ankastre yapının sönüm matrisi

$[c_I]$  : Temeli izolatörlü yapının sönüm matrisi

$[C_k]$ : k. sonlu elemanın lokal koordinat sisteminden global koordinat sistemine dönüşüm matrisi

$c_{ij}$  : j. k.s.d.'si doğrultusunda birim hızdan ( $\dot{u}_j = 1$ ) i. k.s.d.'si doğrultusunda oluşmuş kuvvettir.

$[\bar{d}]$  : Dinamik matrisi

$(\ddot{\Delta})$  : Yer ivmesi

$e_0$  : Tesir vektörü doğrultusundaki yerdeğişmeleri

$\{e_*\}$  : Tesir vektörü olup, sistemin tabanının statik  $\Delta = 1$  yerdeğişmesinden kütlelerin kinematik serbestlik derecesi (k.s.d'si) doğrultusundaki yerdeğiştirmesi

$\{e_{**}\}$  : Tesir vektörü elemanlarının sistemin tabanının  $\varphi = 1$  dönmesinden k.s.d.'si doğrultusundaki yerdeğiştirmeleri

$\xi$  : Sönüm oranı

$\xi_I$  : İzolatörün sönüm oranı

$\xi_i$  : i. Moddaki sönüm oranı

$f$  : Rezonans frekansları (Hz)

$F_b$  : Temeli ankastre olan sisteme ait taban kesme kuvveti

$\{F_c\}$  : Sisteme etkiyen sönüm kuvvetleridir

$\{F_e\}$  : Sisteme etkiyen elastik kuvvetlerdir

$\{F_I\}$  : Sisteme etkiyen atalet kuvvetleridir

$\{\bar{F}_k\}$  : k. sonlu elemanın lokal koordinat sisteminde düğüm kuvvetleri vektörü

$\{\bar{\bar{F}}_k\}$  : k. sonlu elemanın global koordinat sisteminde düğüm kuvvetleri vektörü

$\{\bar{\bar{\bar{F}}}_k\}$  : k. sonlu elemanın ayırık sisteminin tüm serbestlik derecesine kadar genişletilmiş düğüm kuvvetleri vektörü

$F_1$ : Temeli izolatörlü olan sisteme ait taban kesme kuvveti

$F^{st}$ :Yapıda modal statik tepki kuvveti

$\phi_0$  : Başlangıç faz açısı

$\{\phi\}_i$  : i. mod sekline uygun kütleye göre normalleştirilmiş mod sekli

$[H_k]$  : k. sonlu elemanın şekil fonksiyonu

$[k]$  : İzolatörlü yapının rijitlik matrisi

$[k_b]$ : Temeli ankastre yapının rijitlik matrisi

$k_o$  : Temeli ankastre yapının toplam kütlesi

$k_I$ : İzolatörün rijitlik değeri

$[k_I]$ :Temeli izolatörlü yapının rijitlik matrisi

$k_{ij}$  : j. kinematik serbestlik derecesi (k.s.d.) doğrultusunda birim yerdeğiştirmeden ( $u_f=1$ ) i. k.s.d.'si doğrultusunda oluşmuş kuvvettir

$[k]$  : Sistemin rijitlik matrisi

$[\bar{k}_k]$  : Sonlu elemanın lokal koordinat sistemindeki rijitlik matrisi

$[\bar{\bar{k}}_k]$  : Sonlu elemanın global koordinat sistemindeki rijitlik matrisi

$[\bar{\bar{\bar{k}}}_{k+}]$  : Sonlu elemanın ayırık sisteminin tüm serbestlik derecesine kadar genişletilmiş rijitlik matrisi

$m$  : Kütle

$[m_b]$  :Temeli ankastre yapının kütle matrisi

$m_i$  : Yapıda i.katın kütlesi

$m_I$  : İzolatörün kütlesi

$m_s$ : Yapının toplam kütlesi

$m_{ij}$  : Kütle tesir katsayısı olup, j. k.s.d.'si doğrultusunda birim ivmeden ( $\ddot{u}_j = 1$ ) i.

k.s.d.'si doğrultusunda oluşmuş kuvvet

$M$  : Modal kütle

$M_i$  : Yapının i.titreşim modu için modal kütlesi

$\left[ \overline{m}_k \right]$  : k. sonlu elemanın l.k.s.'de kütle matrisi

$\rho$  : Sonlu elemanın yoğunluğu

$\{\overline{R}_{*k}\}$  : k. sonlu elemanın lokal koordinat sisteminde (A) alanına etkiyen sürekli dağılmış q(A) yükünden eşdeğer düğüm yükleri vektörü

San(j) : j.moddaki spektral ivme değeri

$T_i$  : Yapının i.titreşim modu için doğal titreşim periyodu

$T_I$  : İzolatörün periyodu

$[\tau_k]$  : k. sonlu elemanın topoloji matrisi

$\lambda$  : Özdeger

$\omega$  : Açısal frekans

$\omega_i$  : i.modda açısal frekans

$\omega_{oi}$  : Tabanı ankastre yapının i.modda açısal frekansı

$\omega_{fi}$  : Tabanı izolatörlü yapının i.modda açısal frekansı

$\{u\}$  : Ayrık sistemin düğüm yerdeğiştirmeleri

$u_b$  : Tabanı ankastre sisteminin modlara ait deplasman değeri

$u_i$  : Tabanı izolatörlü sisteminin modlara ait deplasman değer

FKN : Normal penalty rijitlik faktörü

FTOLN : Penetrasyon tolerans faktörü

ICONT : Başlangıç kontak kapaması

$P_{MAX}$  : Başlangıç penetrasyonun üst limiti

$P_{MIN}$  : Başlangıç penetrasyonun alt limiti

$\tau_{max}$  : Maksimum sürtünme gerilmesi

CNOF : Kontak yüzey uzaklığı

$\mu$  : Sürtünme katsayısı

$\mu_s$  : Statik Sürtünme Katsayısı

$\mu_d$  : Dinamik Sürtünme katsayısı

FKT : Tangent penalty rijitlik faktörü

$C_{COHE}$  : Kontak kohezyonu

FACT : Statik/ Dinamik oran

$d_c$  : Üstel azalış katsayısı

$V_{rel}$  : ANSYS tarafından hesaplanan kayma oranı

NFRNSI : Lineer olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik izolator

LRB : Kurşun çekirdekli kauçuk izolator

### ÖZEL SEMBOLLER

{ } : Vektör

[ ] : Matris

[ ]<sup>t</sup> : Matrisin transpozunu

[ ]<sup>-1</sup> : Matrisin tersi

### KISALTMALAR LİSTESİ

Vs.: Ve saire

GB : Güneybatı

KB : Kuzeybatı

GD : Güneydoğu

KD : Kuzeydoğu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil 1.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Genel Görünüşü.....	3
<b>Şekil 2.</b> Türkiye Haritası, İstanbul/Eminönü İlçesi.....	4
<b>Şekil 3.</b> Sultanahmet Meydanı ve Çevresi.....	4
<b>Şekil 4.</b> Sultanahmet Meydanı ve Çevresi.....	5
<b>Şekil 5.</b> Alman Çeşmesi'nin Görünüşü.....	6
<b>Şekil 6.</b> Dikilitaş'ın Görünüşü.....	7
<b>Şekil 7.</b> Burmalı Sütun'un(Yılanlı Sütun) Görünüşü.....	8
<b>Şekil 8.</b> Anıtın GB tarafına bakan kaidesi üzerindeki epigram.....	9
<b>Şekil 9.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Genel Görünüşü.....	10
<b>Şekil 10.</b> Haliç –Küçükçekmece Gölü arasının Jeoloji Haritası ( Sayar 1989 dan yararlanılarak hazırlanmıştır.).....	11
<b>Şekil 11.</b> Marmara Bölgesi'nde ana fay çizgileri.....	12
<b>Şekil 12.</b> Türkiye Deprem Yönetmeliği (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik: AİGM.1998)'e göre Zemin Sınıflarının Değişimi (İnce,2005).....	13
<b>Şekil 13.</b> Afet Bölgeleri Genel Müdürlüğünce yayınlanan Deprem Bölgeleri Haritası.....	14
<b>Şekil 14.</b> İstanbul'un İmar ve İskân Bakanlığı tarafından hazırlanan 1996 tarihli Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasındaki Konumu.....	14
<b>Şekil 15.</b> Marmara bölgesinde 1900—19.11.1999 tarihleri arasında olmuş aletsel dönem depremlerinin episantr dağılımları.....	15
<b>Şekil 16.</b> Büyük Tektonik Özellikleri ile Tarihi Depremsellik Haritası.....	15
<b>Şekil 17.</b> Sultanahmet Meydanı (Hipodrom), Dikilitaş, Burmalı Sütun ve Örme Dikilitaş'a ait 1854 tarihli fotoğraf (James Robertson, 1854).....	17
<b>Şekil 18.</b> Sultanahmet Meydanı (Hipodrom), Dikilitaş, Burmalı Sütun ve Örme Dikilitaş'a ait 1870 tarihli fotoğraf (Pascal Sebah, 1870).....	17

<b>Şekil 19.</b> Sultanahmet Meydanı (Hipodrom), Dikilitaş, Burmalı Sütun ve Örme Dikilitaş'a ait 1876 tarihli fotoğraf (Pascal Sebah, 1876).....	18
<b>Şekil 20.</b> Dikilitaşın GB ve KB cephelerini gösteren fotoğraf (Arseven,1989:180).....	18
<b>Şekil 21.</b> Örme Dikilitaşın GB ve KB cephelerini gösteren 1912 yılında çekilmiş fotoğraf (Şehbal Dergisi, Rumi 1328).....	19
<b>Şekil 22.</b> Sultanahmet Örme Dikilitaş'ının eski yıllara ait görünümü (Başgelen,Ousterhout, 2005:33).....	19
<b>Şekil 23.</b> Örme Dikilitaş'ın Alt Yapısı.....	20
<b>Şekil 24.</b> Örme Dikilitaş'ın Üst Yapısı.....	20
<b>Şekil 25.</b> Kireçtaşı'ndan Görünüş (Küfeki Taşı).....	21
<b>Şekil 26.</b> Örme Dikilitaş'ın Temel Yapısında Kullanılan Mermer.....	24
<b>Şekil 27.</b> İstanbul Üniversite'sinde Hazırlanan Horasan Harcının Görüntüsü.....	27
<b>Şekil 28.</b> Örme Dikilitaş'ın Temel Yapısında Kullanılan Horasan Harc.....	28
<b>Şekil 29.</b> GB cephede tunç levhaları tutturmak için hazırlanmış, günümüzde dübel delikleri olarak adlandırabileceğimiz oyuklar ve alçıtaşı kabuk oluşumları.....	28
<b>Şekil 30.</b> Anıtın günümüzdeki cephe görünümleri. ....	29
<b>Şekil 31.</b> Anıtta GB cephesinde kullanılmış killi kalker taşı .....	30
<b>Şekil 32.</b> GB cephede eski onarımda kullanılmış olan modern portland çimento bağlayıcılı derz dolguları ve taşlarda görülen yüzey erozyonu ve yapraklanma[24].....	30
<b>Şekil 33.</b> Örme Dikilitaş'ın Zemini.....	31
<b>Şekil 34.</b> Örme Dikilitaş'ın Mermer Kaidesi ve 3 adet Basamak.....	31
<b>Şekil 35.</b> Mermer Kaideden Görünüş.....	32
<b>Şekil 36.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Orta Kısımdan Görüntüler.....	32
<b>Şekil 37.</b> Örme Dikilitaş'ın mermer kaidesi üzerindeki çatlamlar, yapraklanmalar ve alçıtaşı oluşumu.....	33
<b>Şekil 38.</b> Örme Dikilitaş'ın üst kotlardaki görüntüsü.....	33
<b>Şekil 39.</b> Kurşun Çekirdekli Elastometrik Sismik Yalıtım Sistemi.....	49

<b>Şekil 40.</b> “Örme Dikilitaş” Yapısının Temelinin Modeli ile Kurşun Çekirdekli Elastometrik Sismik Yalıtım Sisteminin Benzer Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	50
<b>Şekil 41.</b> Örme Dikilitaş’ın Kaide ve Basamak Kısmı.....	51
<b>Şekil 42.</b> “Örme Dikilitaş” Yapısının Genel görüntüsü.(Türkiye, İstanbul, Sultan Ahmet Meydanı).....	53
<b>Şekil 43.</b> Ankastre ve izolatörlü yapının kütle, rijitlik, sönüm dağılımları ve hesap şemaları.....	53
<b>Şekil44.</b> Çok Serbestlik Dereceli Sistem Örneğinde Kullanılan Elastik Dizayn Spektrumu.....	55
<b>Şekil 45.</b> UBC 97 Yönetmeliğine göre Eşdeğer Tasarım İvme Spektrumu (1.Derece Deprem Bölgesi ve Zemin sınıfı Z2) .....	57
<b>Şekil 46.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Solid Modellenmesi.....	58
<b>Şekil 47.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Solid Modellenmesi.....	59
<b>Şekil 48.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Meshleme İşleminin Gösterilmesi.....	60
<b>Şekil 49.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının Meshleme İşleminin Yakından Gösterilmesi.....	60
<b>Şekil 50.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Temel Kısmının Mesnetlerinin Belirlenmesi.....	61
<b>Şekil 51.</b> Örme Dikilitaş’ta Yüklerin Tanımlanması.....	61
<b>Şekil 52.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Özel Tasarım İvme Spektrumunun Tasarlanması.....	62
<b>Şekil 53.</b> Örme Dikilitaş Yapısında Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Analiz İşleminin Gerçekleştirilmesi.....	62
<b>Şekil 54.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Genel Görünüşü.....	63
<b>Şekil 55.</b> SOLID 187 Geometrisi.....	64

<b>Şekil 56.</b> SOLID 187 Gerilme Çıkışları.....	64
<b>Şekil 57.</b> CONTA 174 Geometrisi.....	65
<b>Şekil 58.</b> TARGE 170 Geometrisi.....	66
<b>Şekil 59.</b> TARGE 170 Parça Türleri.....	67
<b>Şekil 60.</b> Üçgen Görünümlü Elemanlar.....	68
<b>Şekil 61.</b> Lokalize Edilen Kontak Bölgeler.....	69
<b>Şekil 62.</b> Kontak Kayma Direnci.....	70
<b>Şekil 63.</b> Kontak Modelde Yapışma ve Kayma .....	71
<b>Şekil 64.</b> Gauss Noktalarında Yer Alan Kontak Tespiti.....	72
<b>Şekil 65.</b> Başlangıç Kontak Kapatma İle Kontak Ayarı Tanımlanması.....	73
<b>Şekil 66.</b> Başlangıç için izin verilebilir penetrasyon ile kontak yüzey ayar tanımlaması...73	
<b>Şekil 67.</b> Örme Dikilitaş Yapısında Koordinatlar Girilerek Ansys 11.0 Versiyon Programıyla Solid Oluşturma.....	75
<b>Şekil 68.</b> Örme Dikilitaş Yapısında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	76
<b>Şekil 69.</b> Ansys 11.0 Versiyon Programıyla Malzeme Özelliklerinin Girilmesi.....	77
<b>Şekil 70.</b> Örme Dikilitaş Yapısında Kullanılan Horasan Harcının Gerime & Şekil Değiştirme Diyagramı .....	78
<b>Şekil 71.</b> Ansys 11.0 Versiyon Programıyla Horasan Malzemesinin Özelliklerinin Girilmesi.....	78
<b>Şekil 72.</b> Ansys'teki Modelimizde Hangi Solid'in Hangi Malzemeye Ait Olduğunu Belirleme İşlemi.....	79
<b>Şekil 73.</b> Ansys'teki Modelimizde Mesh Oluşturma İşlemi.....	79
<b>Şekil 74.</b> Ansys'teki Modelimizde CONTA 174 Kontak Elemanının Özellikleri.....	81
<b>Şekil 75.</b> Ansys'teki Modelimizde CONTA 174 Kontak Elemanının Gerçek Sabit Dizi Değerleri.....	81
<b>Şekil 76.</b> Ansys'teki Modelimizde Sınır Koşullarının Oluşturulması.....	82
<b>Şekil 77.</b> Ansys'te Analiz İşleminin Gerçekleşmesi.....	83

<b>Şekil 78.</b> Ansys'te Analiz İşleminin Gerçekleşmesi.....	83
<b>Şekil 79.</b> Düzce Depremi Hakkında Genel Bilgiler.....	84
<b>Şekil 80.</b> Düzce Depremi Hakkında Temel Bilgiler Girilerek İvme-Zaman Değerlerinin “Peer Strong Motion Database” dan elde edilmesi.....	85
<b>Şekil 81.</b> Düzce Depremine ait Zamana Bağlı gal cinsinden İvme Değerleri.....	86
<b>Şekil 82.</b> Düzce Depremine ait Zamana Bağlı İvme Değerleri ( $m/s^2$ cinsinden).....	86
<b>Şekil 83.</b> Txt uzantılı dosya içinde bulunan Düzce Depremine ait zamana bağlı ivme değerlerinin ( $m/s^2$ ) Ansys Command Window'da okutturulması.....	87
<b>Şekil 84.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki 1. Moddaki Davranışı.....	91
<b>Şekil 85.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki 2. Moddaki Davranışı.....	92
<b>Şekil 86.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki 3. Moddaki Davranışı.....	93
<b>Şekil 87.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki 4. Moddaki Davranışı.....	94
<b>Şekil 88.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki 5. Moddaki Davranışı.....	95
<b>Şekil 89.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki X Yönündeki Deprem Kuvveti Etkisi.....	96
<b>Şekil 90.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki Y Yönündeki Deprem Kuvveti Etkisi.....	97
<b>Şekil 91.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki X ve Y Yöndeki Toplam Devrilme Momentleri.....	97
<b>Şekil 92.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Ansys Programındaki 1. Moddaki Davranışı.....	99
<b>Şekil 93.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Ansys Programındaki 2. Moddaki Davranışı.....	100
<b>Şekil 94.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Ansys Programındaki 3. Moddaki Davranışı.....	101

<b>Şekil 95.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Ansys Programındaki 4. Moddaki Davranışı.....	102
<b>Şekil 96.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Ansys Programındaki 5. Moddaki Davranışı.....	103
<b>Şekil 97.</b> Örme Dikilitaş Yapısının X Yönünde Uygulanan Depremde Oluşan Toplam Yer Değişirme.....	104
<b>Şekil 98.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının X Yönünde Uygulanan Depremde Oluşan Toplam Yerdeğişirme.....	104
<b>Şekil 99.</b> Örme Dikilitaş Yapısının XY Düzleminde Oluşan Kayma Gerilmeleri.....	105
<b>Şekil 100.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının XY Düzleminde Oluşan Kayma Gerilmeleri.....	105
<b>Şekil 101.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının Z Düzleminde Oluşan Gerilmeleri..	106
<b>Şekil 102.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Von Mises Gerilmeleri.....	106
<b>Şekil 103.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının Von Mises Gerilmeleri.....	107
<b>Şekil 104.</b> Örme Dikilitaş'ın Kaide ve Basamak Kısmı.....	110
<b>Şekil 105.</b> Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı.....	111
<b>Şekil 106.</b> Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı.....	111
<b>Şekil 107.</b> Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı.....	112
<b>Şekil 108.</b> Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı.....	112
<b>Şekil 109.</b> Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı.....	113
<b>Şekil 110.</b> Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı.....	113
<b>Şekil 111.</b> Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı.....	114
<b>Şekil 112.</b> Örme Dikilitaş Yapısının Üst Kotundan Görünüşü.....	114

**ÇİZELGELER LİSTESİ**

<b>Çizelge 1.</b> Horasan Harcının Özellikleri (Akman vd. 1986).....	25
<b>Çizelge 2.</b> Model Koordinatların Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programına Girilmesi.....	59
<b>Çizelge 3.</b> Tarihi Örme Dikilitaş Yapısında Kullanılan Kontak Parametreleri.....	74
<b>Çizelge 4.</b> Ansys'te Örme Dikilitaş Yapısının Koordinatlarının Girilmesi.....	75
<b>Çizelge 5.</b> Tarihi Örme Dikilitaş Yapısının Malzemelerinin Fiziksel Parametreleri.....	77
<b>Çizelge 6.</b> Tarihi Örme Dikilitaş Yapısında Kullanılan Kontak Parametreleri.....	80
<b>Çizelge 7.</b> Yapının Model 1'e ait Mod Birleştirme Yöntemi İle Analiz Sonuçları.....	89
<b>Çizelge 8.</b> Yapının Model 1'e ait Zaman-Tanım Alanı Yöntemi İle Analiz Sonuçları.....	90
<b>Çizelge 9.</b> Sap 2000 Advanced 11.0.4 Versiyon Programının Analiz Sonuçları.....	98
<b>Çizelge 10.</b> Tarihi Örme Dikilitaş Yapısının 4 Kayma Yüzeyinde Elde Edilen ve Gereken Yerdeğiştirme Aralıkları ( horasan harcı kullanılarak 4 kayma yüzeyini oluşturan üç kat mermer basamak ve kaide).....	108
<b>Çizelge 11.</b> Tarihi Örme Dikilitaş Yapısının 4 Kayma Yüzeyinde Elde Edilen Kayma Gerilmesi Değerleri.....	109

## 1. GİRİŞ

Örme Dikilitaş (Column Of Constantine Porphyrogenetus) yüksek, dört kenarlı tepeye doğru incelen taştan bir anıttır (Şekil 1). İstanbul'u yıkıp yakan, çok çeşitli ve şiddetli depremler gören bu yapı hep dimdik ayakta kaldı. Örme Dikilitaş, Yılanlı Sütun'un yanında Sultanahmet Meydanı'nın güney tarafında bulunur. 32.77 metrelik Örme Dikilitaş kaba kesilmiş taştan yapılmış olup 10. yüzyılda Konstantin VII(Constantine Flavius Porphyrogenitus) tarafından tamir edilmesinin ardından ismiyle anılmaya başlanmıştır ([http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96rme\\_Dikilita%C5%9F](http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96rme_Dikilita%C5%9F),16.02.2009).

İstanbul, tarih boyunca yıkıcı depremlerden etkilenmiştir. Tarihi yapıların depreme karşı güvenilir olması asırlar öncesi mühendislik hizmetinin daha bilinçli olduğunu kanıtlamaktadır. İstanbul'un Sultanahmet Meydanı'nda (At Meydanı) yer alan Örme Dikilitaş en çarpıcı örnektir. Milattan sonra onuncu yüzyılda dikilmiştir. Onuncu yüzyıldan sonra İstanbul çok şiddetli depremler geçirmesine rağmen bu yapı günümüze kadar sağlamlığını korumuştur.

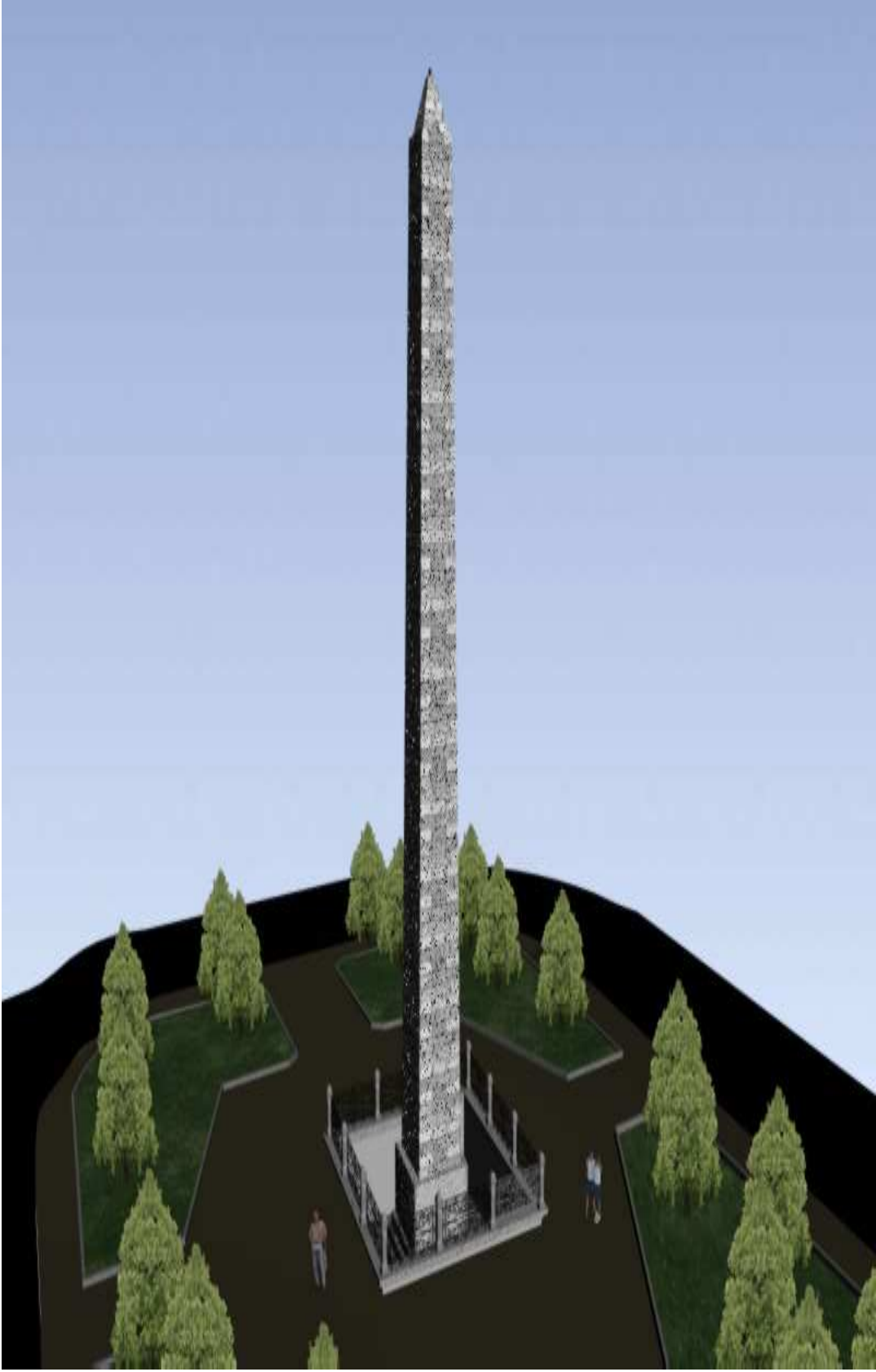
Örme Dikilitaşta kullanılan malzeme kireçtaşı, mermer ve horasan harcıdır. Tuğla kırığı ve kireç kullanılarak hazırlanan horasan harcı ve sıvaları tarihi yapıların inşasında kullanılan en önemli bağlayıcı malzemelerdendir (Deleon, 2001)

Sunulan çalışmada Örme Dikilitaş anıtının yapısal matematik modeli oluşturulmuştur. Matematiksel modelin oluşturulmasında Wilson- $\theta$ 'dan yararlanılmıştır. Örme Dikilitaş anıtının yapısal matematik modeli şöyle oluşturulmuştur (Kasımzade, Tuhta ve Bal, SMART 09, 13-15 July 2009, Porto-Portugal) :

- a) Yapının yükseklikleri yaklaşık ortalama 0.4 m (0.4,0.41,0.43m) ve planda alanları uygun olarak 4.47x4.44m, 4.06x3.98m, 3.33x3.40m olan üç basamak üzerinde yüksekliği 2.2m ve planda alanı 3.12x3.13m olan yek pare taştan (kaide) oluşturulmuş toplam yüksekliği 3.47m olan kısmı tarafımızdan **“doğal sismik izolatör”** olarak adlandırılmıştır. Analizde bu özelliklere uygun olarak modellenmiştir.
- b) 3.47m **“doğal sismik izolatör”** temel üzerindeki 28.53 m yükseklikte planda alt alanı 2.61x2.52m, üst alanı 2.48x2.41m kaba kesilmiş taştan yapılmış örme duvar kısmı **“üst yapı”** olarak adlandırılmış ve analizde bu özelliklere uygun olarak modellenmiştir.

Yekpare taşın bulunduğu kısım ile kurşun çekirdekli kauçuk izolatördeki (LRB-Lead Rubber Bearings) mesnetin orta kısmındaki kurşun silindir ile benzer işlevde olduğu ve Örme Dikilitaşın 4 kayma yüzeyini oluşturan 3 katlı basamak ile LRB'deki kauçuk tabakalarla birleşmiş çelik levhaların benzer işlevi yaptığı görülmektedir (Kasımzade, Tuhta ve Bal, SMART 09, 13-15 July 2009, Porto-Portugal).

Örme Dikilitaş yapısına ait program yazımı Matlab 6.5 versiyonunda yapılmıştır. Yapının doğal titreşim periyotları bulunmuş ardından sonuca göre yapının dinamik özellikleri belirlenmiştir. Yapı modelimiz hem mod birleştirme hem de zaman tanım alanı yönteminde incelenmiş olup sonlu elemanlar metoduyla çözüm yapan Sap 2000 Advanced 11.0.4 programında model tabanı ankastre biçimde lineer olarak çözülmüş olup hesaplamalar sonucunda tabanı ankastre modelde gerçekleşen lineer analizde yapımız güvenli tarafta kalmamıştır. Tabanı ankastre olarak modellenen Örme Dikilitaş yapısının emniyetli bir biçimde ayakta kalamayacağını modelde taş yapının tabandaki devrilme momentini kaldıramayacağından ve yapının uygulanan deprem etkisiyle meydana gelen yer değiştirmenin fazlalığından anlamaktayız. Örme Dikilitaş yapısının ANSYS Programında sırasıyla zaman ve frekans tanım alanındaki güçlü deprem hareketi altında, lineer olmayan kontak çalışmaları yaparak (Temel Coulomb Friction model) sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Ansys 11.0 programı ile Örme Dikilitaş modelinin dinamik analiz sonucuna baktığımızda yer değiştirme aralığı, daha önce matematiksel modeli çıkarılan ve hesaplanan Örme Dikilitaş'ın izin verdiği yer değiştirmedir. Elde edilmiş modelde yapının mesnet kısmının “lineer olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik izolatör (Nonlinear Frictional Responsive Natural Seismic Isolator -NFRNSI)” işlevini yaptığı ve günümüzdeki kurşun çekirdekli kauçuk izolatörle (LRB-Lead Rubber Bearings) benzer davranış sergilediği gösterilmiştir. Sunulan NFRNSI model diğer taraftan tarihin deneyiminden geçmiş temel türünün günümüzde de rahatlıkla kullanılabilirliğinin yanı sıra, günümüzdeki temel sismik izolatörleri ile mukayese olunmayacak kadar her hangi özel bakım gerektirmeden uzun ömürlülüğünün (bakılan anıt örneğinde 1000sene) perde arkası gösterilmiştir. Bu açıdan sunulmuş matematik model depreme karşı yapıların incelenmesinde güvenli bir dizayn oluşturabilir (Kasımzade ve Bal, DS'11 KOBE, 17-18 September, 2011, Kobe-JAPAN).



**Şekil 1.** Örme Dikilitaş Yapısının Genel Görünüşü

## 2-GENEL BİLGİLER

### 2.1. Sultanahmet Meydanı'ndaki Örne Dikilitaş Yapısının Konumu

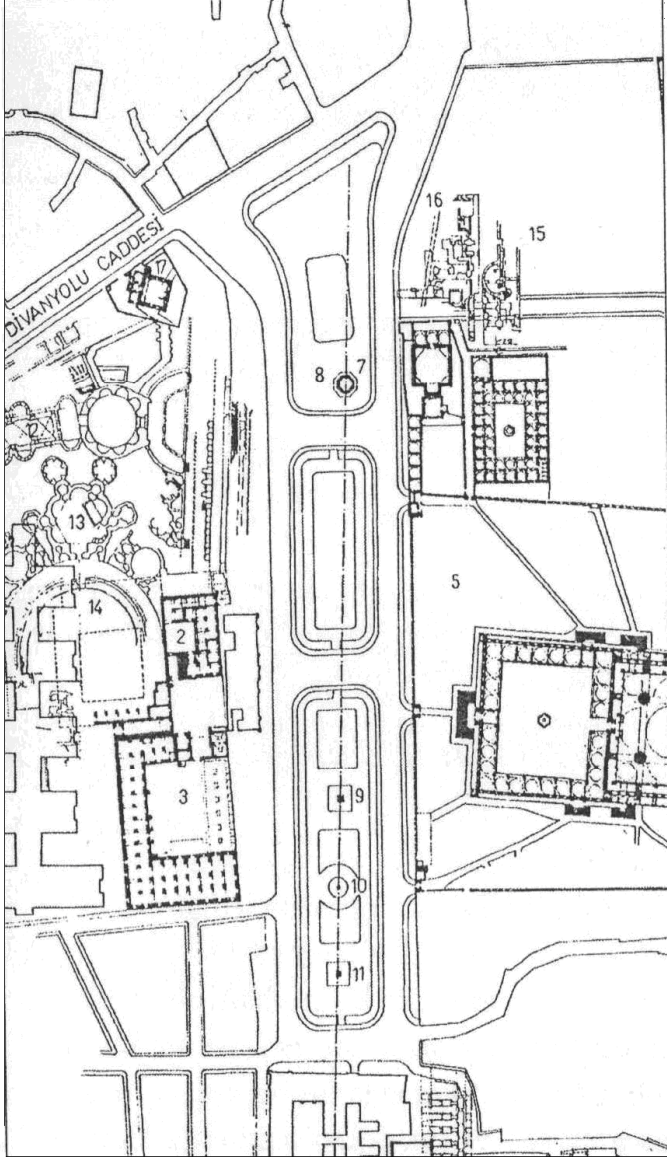
Örne Dikilitaş; İstanbul'un Eminönü ilçesinin Sultanahmet Meydanı'nda, tarihi yapıların arasında (Ayasofya Camisi, Sultanahmet Camisi, vs.) yer almaktadır.



Şekil 2. Türkiye haritası, İstanbul/Eminönü ilçesi



Şekil 3. Sultanahmet Meydanı ve Çevresi



Şekil 4. Sultanahmet Meydanı ve Çevresi

- 1.Spina
  - 2.Tapu Kadastro Müdürlüğü
  - 3.Türk ve İslam Eserleri Müzesi
  - 4.Marmara Üniversitesi  
Rektörlük Binası
  - 5.Sultan Ahmed Külliyesi
  - 6.Sphendone
  - 7.Alman Çeşmesi
  - 8.Carceres
  - 9.Dikilitaş
  - 10.Burmali Sütun(Yılanlı Sütun)
  - 11.Örme Dikilitaş
  - 12.Lausos Sarayı
  - 13.Aya Eyfemia Kilisesi
  - 14.Antiohos Sarayı
  - 15.Zeuksippos Hamamı
  - 16.Numera
  - 17.Firuzaga Cami
- Dünden Bugüne İstanbul Ansiklopedisi,  
C.4, s.76  
( Celep ve Kumbasar,2004)

## 2.2. Sultanahmet Meydanı'nda Bulunan Örme Dikilitaş Yapısının Tarihçesi

### 2.2.1 Sultanahmet Meydanı

Sultanahmet Meydanı; her mevsim turist kalabalıklarını ağırlayan onca yapı içinde kendi tarihini saklayan bir meydandır(Sinanlar,2007). Sultanahmet Meydanı İstanbul'un en önemli meydanlarından biridir. Bizans devrinde Hipodrom olarak bilinirdi. "Hipodrom" At binenlerin, atların meydanı anlamına gelir. Osmanlı döneminde buraya At Meydanı denirdi ([http://tr.wikipedia.org/wiki/Sultanahmet\\_Meydan%C4%B1](http://tr.wikipedia.org/wiki/Sultanahmet_Meydan%C4%B1), 2009).

Antik dünyada halkın da katıldığı eğlenceler arasında kendine has bir yeri olan, araba yarışlarına mekân olan alan Sultanahmet Meydanı'nın(At Meydanı) temeli, Antik Yunan şehirlerindeki stadyumların gelişmesi ile karşımıza çıkar. İnşaat milattan sonra 196 yılında başlar. Sultanahmet Meydanı(At Meydanı),bir ucu düz diğer ucu ise yarım daire şeklinde biten iki yan kanadı uzunca tutulmuş bir U harfini anımsatan yapının inşası ile gerçekleşmiştir. Sultanahmet Meydanı (At Meydanı) 118.5x370 m ölçüleri ve tahmini 60 bin ile 80 bin arası izleyici kapasitesiyle antik dünyanın en büyük meydanı olarak 11 Mayıs 330 tarihinde açılır. Sultanahmet Meydanı'nın (At Meydanı) ortasında duran anıtlara baktığımızda hepsi bir hizadadır. Bunlar, kendi dönemlerinde yarış alanının ortasında pisti ikiye ayırmak üzere yapılmış spina duvarının üzerinde olan anıtlardır. Duvarın üzerinde çeşitli anıtlar yükselir. Spina'nın orta kısmında genellikle bir dikilitaş yer alır(Sinanlar,2007).

### 2.2.1.1 Sultanahmet Meydanı'nda Bulunan Tarihi Yapılar:

#### i. Alman Çeşmesi:

Almanya İmparatoru 2.Wilhelm'le İmparatoriçe Augusto Victoria'nın 1898 yılında İstanbul ziyaretinin anısını ölümsüzleştirmek amacıyla 2.Abdülhamid'e bir anıt-çeşme armağan etmiştir. Mermer, taş ve madeni bölümleri Almanya'da hazırlanarak İstanbul'a gemiyle getirilen ve monte edilen çeşme; yüksek taş taban, yedi pirinç musluk, sekiz basamak, platform, su haznesi ve yedi kemerin üzerine yükselen merkez kubbeden oluşur(Deleon, 2001).



**Şekil 5.** Alman Çeşmesi'nin Görünüşü

## ii. Dikilitaş:

Mısır'dan gelme bir anıttır. Orjinal halinde Karnak Amon - Ra tapınağı önünde bulunan bu anıt III.Tutmosis (M.Ö 1502-1488) adına yapılmıştır ve bir de ikizi vardır. Bu dikilitaş üzerinde kabartmalar bize hem Sultanahmet Meydanı'ndaki(Atmeydanı) yarışları, hem de anıtın dikilişi hakkında bilgiler vermektedir ([http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96rme\\_Dikilita%C5%9F](http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96rme_Dikilita%C5%9F),2009).



**Şekil 6.** Dikilitaş'ın Görünüşü

## iii. Burmalı Sütun(Yılanlı Sütun)

Burmalı Sütun(Yılanlı Sütun) Dikilitaş'la Örne Dikilitaş arasında yer alır. Burmalı Sütun(Yılanlı Sütun), Herodotos'a göre 4. yüzyıl döneminde Delphoi'deki Apollo Tapınağı'ndan İstanbul'a getirilmiştir. Anıt 31 Yunan şehir devletinin, Perslere karşı verdikleri Platea Savaşı'nı (M.Ö 479) kazanmaları onuruna yapılmıştır. Burmalı Sütun'dan kopan yılan başlarından birinin üst çenesi İstanbul Arkeoloji Müzesi'nde bulunmaktadır(Deleon, 2001).



**Şekil 7.** Burmalı Sütun'un(Yılanlı Sütun) Görünüşü

#### **iv. Örne Dikilitaş (Column Of Constantine Porphyrogenetus)**

Örne Dikilitaş, günümüzde Sultanahmet Meydanı olarak adlandırılan At Meydanı'nda yer alan ve günümüze kadar gelen üç eski anıttan biridir. “Ne zaman yılgınlık doğsa, ahalinin ruhu daralsa, kerametiyle imdada koşup ahaliyi ferahlattığına” inanılan, Sultanahmet Meydanı'nda (At Meydanı) Örne Dikilitaş, Bizans döneminde farklı ölçülerde yontulmuş taşlardan yapılmıştır. Âlimler bir araya geldiler ve İstanbul halkını yer ve gök afetlerinden, barbarlardan, salgın hastalıklardan yangınlardan korumak için şehrin 7 tepesine 24 tılsım kurdular. Bunlardan biride Sultanahmet Meydanı'ndaki (At Meydanı) yer alan Örne Dikilitaş'tır(Skinner, Robinson ve McVerry, 1993).

Sultanahmet Meydanı'ndaki Örne Dikilitaş'ın yüzeylerine çakıldıkları anlaşılan üzerleri kabartmalı altın kaplamalı bronz levhaların, 913-959 yılları arasında, Porfirogenetos (VII.) Konstantinos tarafından yaptırılan onarım sırasında konuldukları tahmin edilmektedir.

Kaidesinde kazılmış olan bir epigram ise anıtın cephelerinin bronz levhalar ile kaplandığını anlatmaktadır (Şekil 8). Bronz levhaları taşıyan demir çubukların tutturulmuş olduğu delikler, günümüzde bile dikilitaşın kaidesinde ve gövdesinde

görülmektedir. Bronz levhaları önce Araplar tarafından daha sonra da IV. Haçlı Seferleri (1204 - 1261) sırasında Latinler tarafından yapılan yağmalarda söküldüğü bilinmektedir (Sinanlar, 2005:16).

19. yüzyılda çekilen fotoğraflarda anıtın genelinde, özellikle de orta kısmında taşların düşmesi açıkça görülmektedir(Şekil 17, 18 ve 19). Aynı yüzyılın sonlarında (1895-1896) anıttaki boşluklar aynı tip taşla doldurularak anıtın yıkılması önlediği iddia edilmiştir (Eyice,1995: 196-197). Ancak 1912 yılına ait Şehbal Dergisi'nde yayınlanan fotoğrafta anıtın 1854 yılındaki görülen halinden farklı olmadığı ancak çevresine bir korkuluk yapıldığı anlaşılmaktadır (Şekil 20).

Örme Dikilitaş veya Örme Obelisk, 32.77 m yüksekliğindedir. Temelindeki üç mermer basamakla ulaşılan kaidesi mermerdir. Gövde muntazam yontulmuş taşlardan örülmüştür. Ortalardaki bölümde, alt ve üst kısımlara nispetle daha muntazam olan taşların, yapılan onarımda kullanılan malzemeler olduğu düşünülmektedir. Orijinal taşların olduğu bölümlerdeki delikler evvelce anıtı kaplayan tunç levhaların tutturulması için kullanılmış kurşun yatakların yerleştirildiği ve içine kenetlerin çakıldığı, günümüzde dübel deliği olarak adlandırabileceğimiz yuvalardır (Şekil 29).

Örme Dikilitaş ya da inşa edildiğinde Milyonbar olarak adlandırılan yüksek sütunun bir adı da Mıknatıslı Taştır. Tepesine yerleştirilmiş olan, günümüzde yerinde mevcut olmayan mıknatısın, şehri depremlerden koruduğu düşünülmüş. Bir başka rivayet ise 300 bin taştan yapılan sütunun kıyamete kadar yıkılmayacağı yönündedir. Bu sütunun Ayasofya' yı da inşa eden mimarın oğlu Odyarin tarafından yapıldığı, Odyarin'nin mezarının bu sütunun dibinde olduğu da bir başka söylence olarak literatüre geçmiştir (Tulgar, 2007).



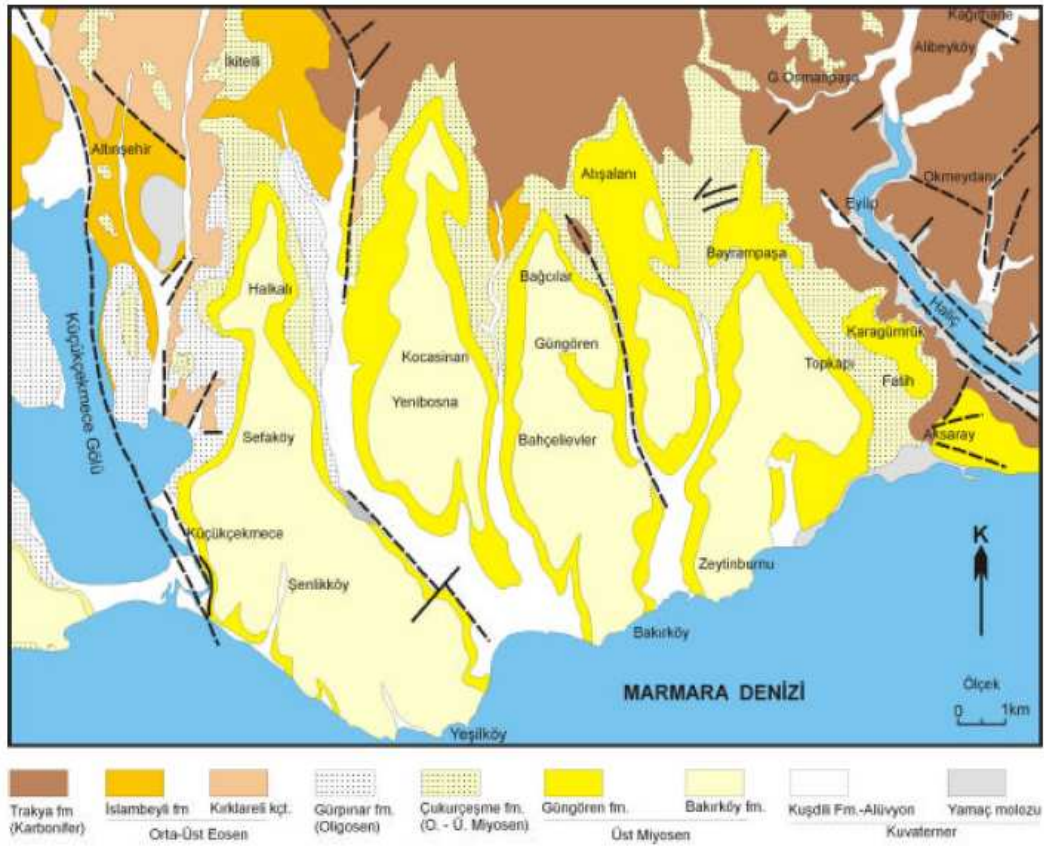
**Şekil 8.** Anıtın GB tarafına bakan kaidesi üzerindeki epigram.



**Şekil 9.** Örme Dikilitaş Yapısının Genel Görünüşü

### **2.3 Bölgenin Jeolojik Yapısı**

İstanbul, Türkiye'nin ana tektonik birliklerinden İstanbul zonu üzerinde yer alır. Bu zon batıda Büyükçekmece civarından başlayarak doğuda Kastamonu'ya kadar uzanır. İstanbul zonunun karakteristik özelliğinin temelinde bulunan ve Türkiye'nin başka birliklerindeki yasit istiflerden farklı özellikler sunan Paleozoyik yaşlı çökel bir istife sahiptir (Tüysüz, 2003).



**Şekil 10.** Halic –Küçükçekmece Gölü arasının Jeoloji Haritası (Sayar 1989 dan yararlanılarak hazırlanmıştır.)

Şekil 10'a baktığımızda Eminönü ilçesinde yer alan Örme Dikilitaş'ın bulunduğu formasyon Güngören formasyonudur. Güngören formasyonu Çukurçeşme formasyonunun üzerinde tedrici geçişle yer almaktadır. Formasyon gri-yeşilimsi gri renkli ve paralel laminali killere (İstanbul kili veya Süleymaniye kili) baslar. Göl fasiyesinde gelişmiş olan formasyon içinde yer yer çok iyi boylanmış gri renkli ince kum mercekleri ile yeşil renkli marn ve kireçtaşı ara tabakalı killere bulunur. Formasyonun Bakırköy formasyonu ile sınırında 10-15 m'lik bir geçiş zonu izlenir. Bu zonun alt kesiminde istif içinde önce lamina düzeyinde ve seyrek, sonra da giderek sayı ve kalınlıkta kireçtaşı ara tabakaları ortaya çıkar ve böylece tedricen üstteki Bakırköy formasyonuna geçilir. Birim yaklaşık 120 m. kalınlığındadır.

İstanbul'da yıkıcı ve büyük depremlere yol açan fayların tamamı Marmara denizi içerisinde bulunur. Bu nedenle bu bahiste Marmara denizinin jeolojisine ve fayların genel özellikleri üzerine kısaca değinilecektir (Tüysüz, 2003).

### 2.3.1. Marmara Denizinin Jeolojisi ve Fayların Genel Özellikleri

Dünya üzerindeki diğer jeolojik unsurlar gibi Marmara denizi de milyonlarca yıllık jeolojik olaylar sonucunda oluşmuş bir iç denizdir. Yaklaşık olarak 240 km uzunluğa, 70 km genişliğe ve 11500 km<sup>2</sup> lik bir alana sahip olan ve Türkiye sınırları içerisinde kalan tek iç deniz olan Marmara denizi jeolojik açıdan ilginç bir konumda yer almaktadır. Marmara denizi, Türkiye'nin başlıca tektonik birliklerinden İstanbul Zonu ve kalınlığı 9 kilometreye varan Tersiyer yaşlı çökellerle dolu bir çökel havza şeklindeki Trakya Yarımadası ile Sakarya Kıtasını birbirinden ayıran Intra-Pontid süturu üzerinde bulunur (Tüysüz, 2003).

#### DEPREM HAREKETİ



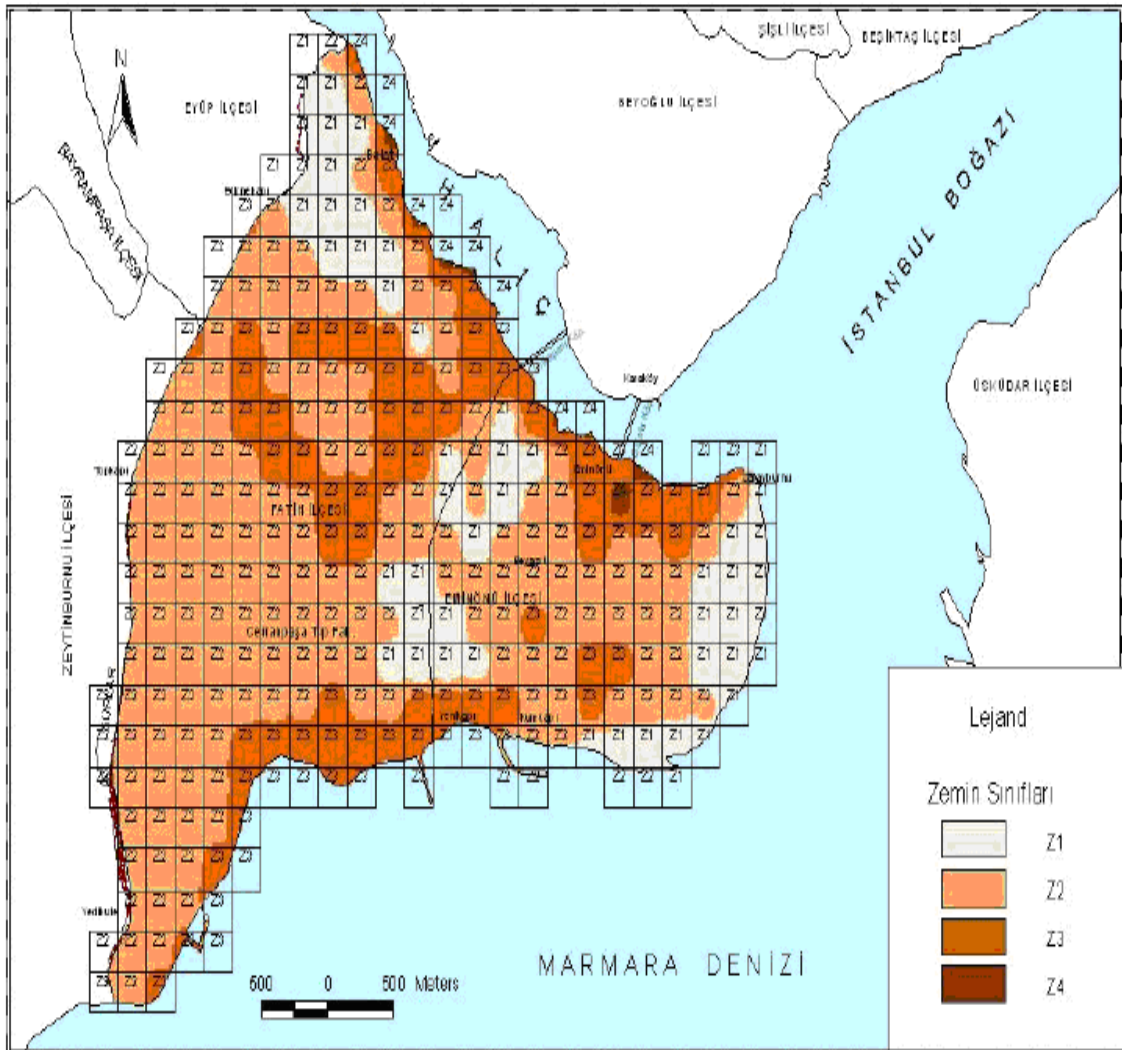
Şekil 11. Marmara Bölgesi'nde ana fay çizgileri

Marmara Bölgesi, yurdumuzda yerleşimin ve sanayi yapılarının yoğun olarak bulunduğu bir yerdir. Özellikle İstanbul ve civarı bu bakımdan yoğunluk arz etmektedir. Şekil 11 de Marmara Bölgesindeki ana fay çizgileri gösterilmiştir. Kuzey Anadolu Fayı doğuda sıkışmalı bir yapıya sahiptir. Ancak GPS verilerinin de işaret ettiği gibi Batı Anadolu'nun Güneybatıya doğru dönmesi, fayın batı tarafta gerilmeli bir nitelik kazanmasına yol açmıştır. Bunun neticesin de Kuzey Anadolu Fayı batı kesiminde kollara ayrılmış (Kuzey Anadolu Fayı ikiye ayrılarak İzmit ve Mudanya Körfezleri'nden Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır. Birinci kol ikiye ayrılarak denizi

geçmekte ve yaklaşarak Saros Körfezi'ne girmektedir. İkinci kol ise, Gönen'den güney batıya yönelmektedir(Celep ve Kumbasar, 2004) ve bu kollar boyunca çöküntü alanları gelişmiştir. Pamukova düzlüğü, İzmit Gölü, Gemlik körfezi, İzmit Körfezi ve Marmara denizi fayın oluşumuna neden olduğu bu alanlardan birkaçıdır (Tüysüz, 2003).

### 2.3.2. Sultanahmet Meydanı'nda Bulunan Örme Dikilitaş'ın Zemin Koşulları

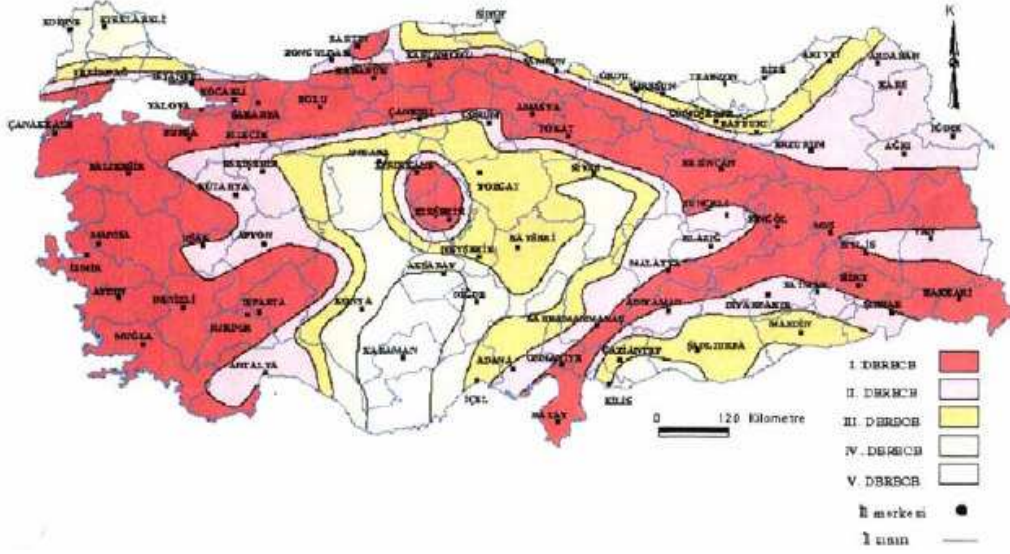
Örme Dikilitaş'ın bulunduğu Eminönü İlçesinde aşağıdaki zemin dağılım şekline baktığımızda yapımızın bulunduğu zeminin Z2 sınıfına ait olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 12.** Türkiye Deprem Yönetmeliği (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik; AİGM, 1998)'e göre Zemin Sınıflarının Değişimi (İnce, 2005)

## 2.4. Sultanahmet Meydanı'nda Bulunan Örne Dikilitaş'ın Depremselliği

Afet Bölgeleri Genel Müdürlüğüne yayınlanan Deprem Bölgeleri Haritasına baktığımızda Örne Dikilitaş'ın bulunduğu Eminönü İlçesi 1.Dereceden Deprem Bölgesinde yer almaktadır.

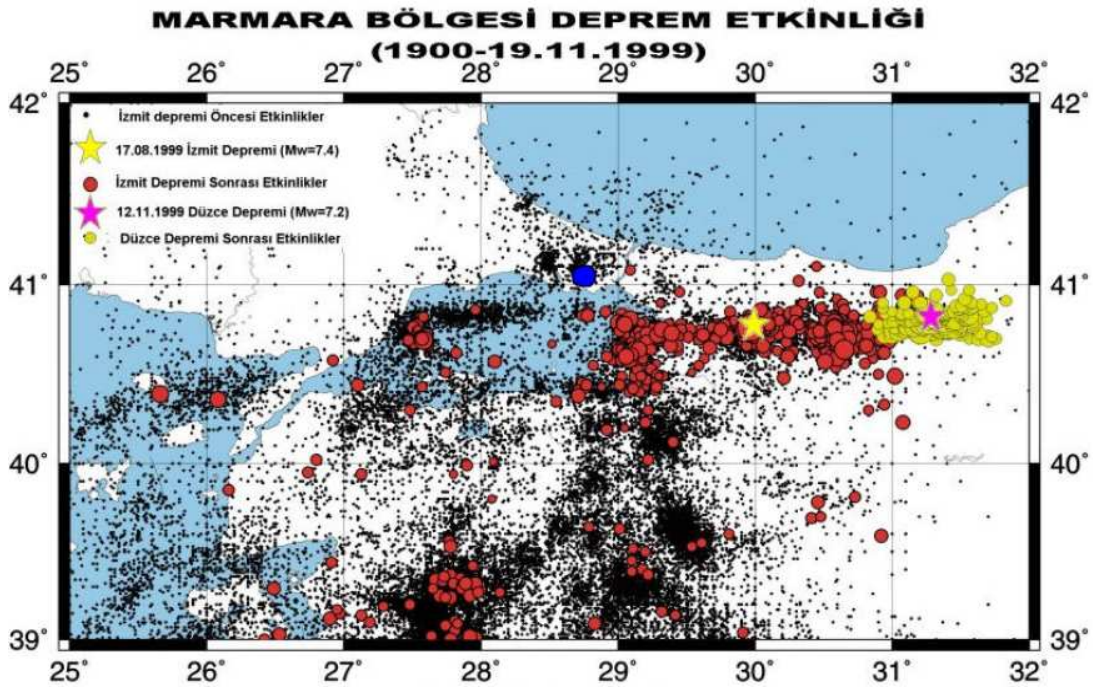


Şekil 13. Afet Bölgeleri Genel Müdürlüğüne yayınlanan Deprem Bölgeleri Haritası

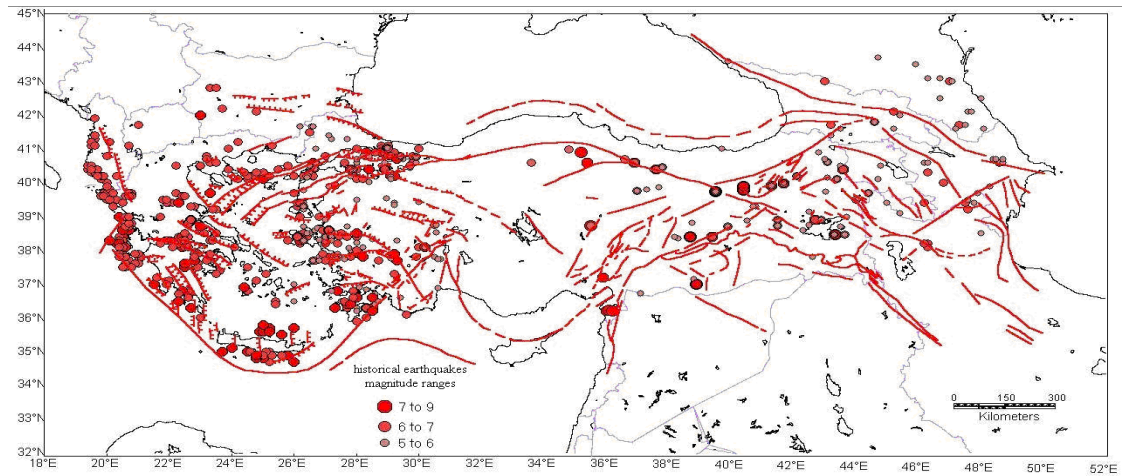


Şekil 14. İstanbul'un İmar ve İskân Bakanlığı tarafından hazırlanan 1996 tarihli Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasındaki Konumu

İstanbul il sınırları içerisinde kara üzerinde gerek tarihsel gerekse aletsel döneme ait bilinen hiçbir yıkıcı deprem yaşanmamıştır. İstanbul'da yıkıcı etki oluşturan bütün depremlerin Marmara denizi içerisindeki faylar üzerinde olduğu kabul edilmektedir. BÜ Kandilli Rasathanesi deprem arşivinden elde edilmiş verilere göre 1900-19.11.1999 tarihleri arasında Marmara bölgesinde olmuş tüm depremlerin merkez üssü dağılımları Şekil 15 de verilmiştir. Bu çizelge Ambraseys ve Finkel, (1991 ve 1995) e dayanılarak hazırlanmıştır (Tüysüz, 2003).



**Şekil 15.** Marmara bölgesinde 1900—19.11.1999 tarihleri arasında olmuş aletsel dönem depremlerinin episantır dağılımları.



**Şekil 16.** Büyük Tektonik Özellikleri ile Tarihi Depremsellik Haritası

Marmara bölgesinde meydana gelen ve İstanbul'u etkileyen başlıca depremler iki bölümde ele alınabilir:

### **1-Tarihsel Dönemdeki Başlıca Depremler:**

Bunlar depremlerin sismograflarla kaydedilmediği döneme ait olup gerek odakları gerekse büyüklükleri tarihsel kayıtlardan tahmin edilmektedir. Bu döneme ait en büyük deprem 10 Eylül 1509 da meydana gelmiştir. Doğu Akdeniz'de görülen en büyük depremlerden biri olduğu için Kıyamet-i Sugra (Küçük kıyamet) adı da verilen bu deprem İstanbul'da 5.000 kişinin ölümüne,1000 kadar evin harap olmasına yol açmıştır. Surların, cami ve kiliselerin büyük bir kısmı tahrip olmuş, Dikilitaş, Beşiktaş ve Çemberlitaş ağır hasar görmüştür. Kahire'ye kadar geniş bir alanda duyulan deprem, tüm Marmara çevresinde ve hatta Bolu'ya kadar uzanan bir alanda tahribat yapmıştır. Depremin büyüklüğünün 7.5'dan fazla olduğu tahmin edilmektedir.

Bunu takiben 10 Mayıs 1556'da, 11 Temmuz 1690'da, 25 Mayıs 1719'da, 2 Eylül 1754'de, 22 Mayıs 1766'da ve 1894'te Marmara çevresinde İstanbul'u etkileyen büyük depremler gelişmiştir (Tüysüz, 2003).

### **2-Aletsel dönemdeki başlıca depremler:**

Bunlar 1900'lı yıllardan itibaren kullanılmaya başlayan sismograflarla kaydedilen depremlerdir. Bu dönemde Marmara çevresinde 18 Eylül 1963 Yalova-Çınarcık depremi (Ms = 6.4), 6 Ekim 1964 Manyas depremi (Ms = 6.9), 22 Temmuz 1967 Mudurnu-Adapazarı depremi ( Ms = 7.1), gibi depremler olmuş ve bunlar ciddi tahribata yol açmıştır. Marmara bölgesini etkileyen son büyük deprem 17 Ağustos 1999 da Gölcük'te meydana gelmiştir. 7.4 büyüklüğündeki bu deprem ve onun arkasından 12 Kasım 1999 da Düzce'de meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki deprem İzmit Körfezinde Yalova açıklarından Bolu'ya kadar uzanan 140 kilometrelik bir yüzey kırığı oluşturmuşlardır (Tüysüz, 2003).



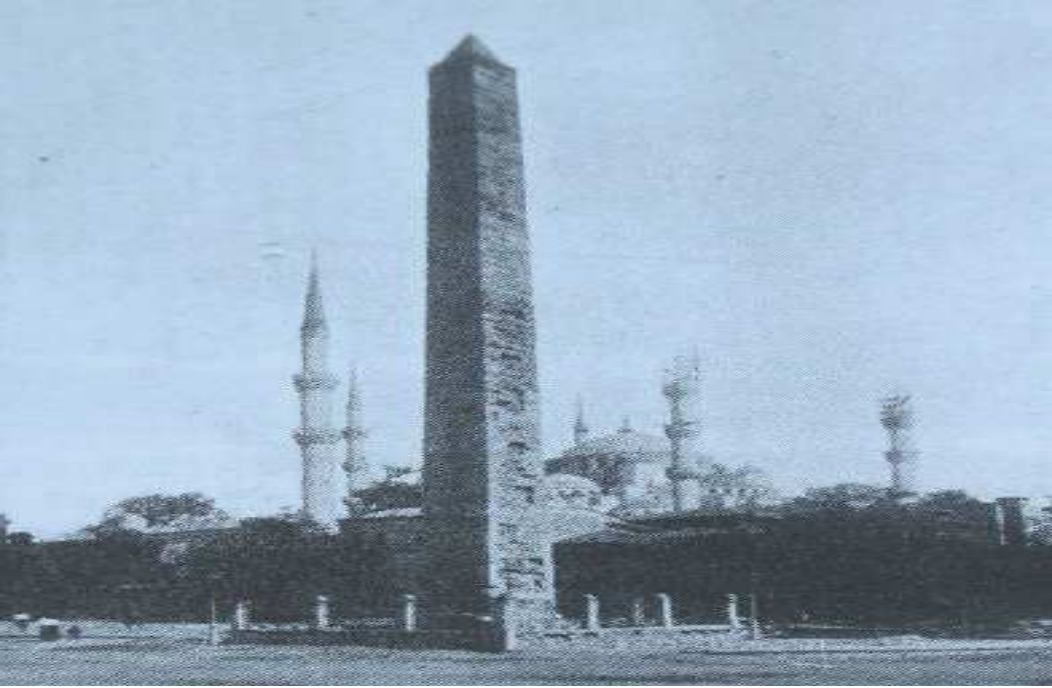
**Şekil 17.** Sultanahmet Meydanı (Hipodrom), Dikilitaş, Burmalı Sütun ve Örme Dikilitaş'a ait 1854 tarihli fotoğraf -James Robertson, 1854 (Tulgar, 2007)



**Şekil 18.** Sultanahmet Meydanı (Hipodrom), Dikilitaş, Burmalı Sütun ve Örme Dikilitaş'a ait 1870 tarihli fotoğraf -Pascal Sebah, 1870 (Tulgar, 2007)



**Şekil 19.** Sultanahmet Meydanı (Hipodrom), Dikilitaş, Burmalı Sütun ve Örne Dikilitaş'a ait 1876 tarihli fotoğraf -Pascal Sebah, 1876 (Tulgar, 2007)



**Şekil 20.** Dikilitaşın GB ve KB cephelerini gösteren fotoğraf-Arseven,1989:180 (Tulgar, 2007)



**Şekil 21.** Örne Dikilitaşın GB ve KB cephelerini gösteren 1912 yılında çekilmiş fotoğraf -Şehbal Dergisi, Rumi 1328 (Tulgar, 2007)



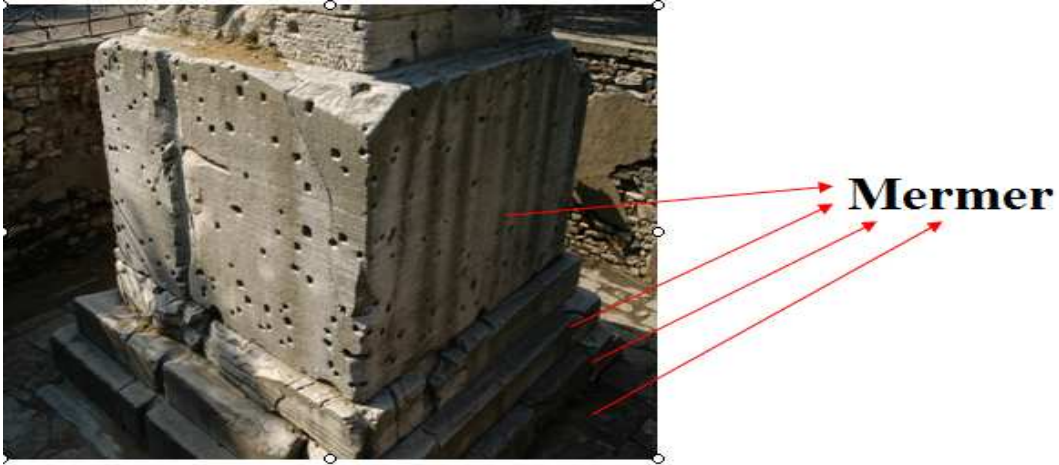
**Şekil 22.** Sultanahmet Örne Dikilitaş'ının eski yıllara ait görünümü Başgelen,Ousterhout, 2005:33 (Tulgar, 2007)

## 2.5. Örme Dikilitaş'ta Kullanılan Malzeme Özellikleri

Sultanahmet Örme Dikilitaş'ının başlıca yapı malzemeleri kireçtaşı (küfeki) mermer ve horasan harcıdır. Dikilitaşın gövdesinde ve mermer kaidesinde görülen delikler, bronz levhaları kaplamak üzere açılmış dübel nitelikli deliklerdir. Yazılı kaynaklara göre deliklere kurşun çakılarak sıkıştırılmış ve bu kurşunlara demir çubuklar çakılmıştır. Günümüzde dikilitaş üzerinde metal olarak sadece taşların birbirine tutturulduğu demir kenetler görülmektedir (Tulgar, 2007).

Örme Dikilitaş yapısını iki kısımda(Alt yapı, Üst yapı) inceliyoruz.

Alt yapı dediğimiz kısım kaide ve 3 adet basamaktan oluşmaktadır. Kaide ve basamaklar mermerden yapılmış olup basamaklar arasında ve kaide basamak arasında horasan harcı kullanılmıştır.



**Şekil 23.** Örme Dikilitaş'ın Alt Yapısı

Üst yapı dediğimiz kısım 3.44 m kotundan 32.77 m kotuna kadar olan kısmı kaplar ve bu kısım kireç taşı ve horasan harcından oluşmaktadır.



**Şekil 24.** Örme Dikilitaş'ın Üst Yapısı

### 2.5.1. Kireçtaşı

Sultanahmet Meydanı'ndaki Örne Dikilitaş'ta kullanılmış olan kireçtaşı, Küfeki Taşı(Kireçtaşı) olarak adlandırılan Bakırköy kalkerlerindedir.

Genellikle beyaza yakın krem renkli olan Bakırköy ya da Küfeki Taşı(Kireçtaşı) üç çeşittir. Bu taşların en sağlamı olarak kabul edileni ve maktralı kireçtaşı olarak adlandırılan Küfeki Taşı(Kireçtaşı) daha yoğun ve serttir. İkincil kristallenmiş kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) çimentosu içinde fosiler, mikro fosillerden oluşur. Ocakların üst kısmında yapısı daha karmaşık, dokusu daha ince ve homojen olan oolitik kireç taşı olarak adlandırılan Küfeki Taşı(Kireçtaşı) biraz daha yumuşak olup şekillendirilmesi daha kolaydır. Kimyasal tortul olarak adlandırılan ve içeriğindeki kalsiyum karbonat haricinde mikro fosil, kil ve diğer yabancı bağlayıcı parçacıkları içeren Küfeki Taşı(Kireçtaşı) bu grubun en zayıfıdır (Artel,1969).

2000 seneden beri İstanbul'un çeşitli medeniyet devirlerinde, şehrin Bizanslılara ait binaları, kiliseleri, Osmanlı devrinin cami, medrese, han, hamam, sebil, çeşme, mektep gibi büyük binalarında, masif olarak Bakırköy taşları (küfeki) kullanılmıştır (Tulgar, 2007).



**Şekil 25.** Kireçtaşı'ndan Görünüş (Küfeki Taşı)

## Küfeki Taşı(Kireçtaşı) ve Mekanik Büyüklükleri

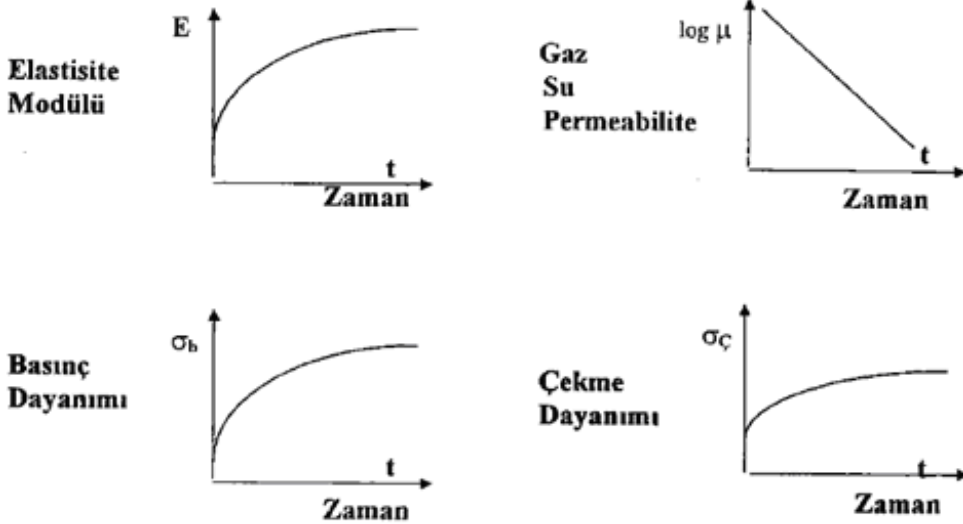
Küfeki taşları kaba işlenmiş nitelikten, kesme taş ve zengin bezemeli düzeye kadar kademelenme göstermektedir.

- (Basınç dayanımı / çekme dayanımı) oranı 11-12 olarak belirlenmiştir (Arioğlu, N, Arioğlu,Ergin,1997). Bu değer, enerji yutma kapasitesi yüksek başka bir deyişle “sünek” malzeme yapısını işaret etmektedir.

- Elastisite modülülü / basınç dayanımı yaklaşık 720 bulunmuştur (Erguvanlı, Ahunbay, 1989). Bu değer beton malzemesine ait değer ile iyi bir uyum içindedir.

Mimar Sinan’ın da kullandığı Küfeki Taşı(Kireçtaşı)’nın başlıca kullanım yerleri; yapıların dış duvarları, gövde örgüsü ve dış kaplama olarak, iç mekânlarda iç duvar malzemesi ve döşeme kaplaması olarak, taşıyıcı ayaklarda, kemer, mihraplarda, parmaklıklarda olmak üzere eleman ve bileşen düzeyinde geniş bir aralıkta kullanılmıştır.(Arioğlu, Tuğrul, Zarif, Girgin ve Arioğlu, 1999).

### Zaman Boyutu İçinde Artan ve Azalan Mekanik Büyüklükler



Küfeki Taşının Yerinde ve Zamana Bağlı Olan Değişen Büyüklükleri  
(<http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf>, 21.07.2011)

**Kireçtaşımmın fiziksel özelliği aşağıda verilmiştir:**

Basınç Dayanımı	: 18.000-35.000 kN/m <sup>2</sup>
Kayma Dayanımı	: 6.000-20.000 kN/m <sup>2</sup>
Çekme dayanımı	: 2.000-6.000 kN/m <sup>2</sup>
Elastisite modülü	: 10.10 <sup>6</sup> -55.10 <sup>6</sup> kN/m <sup>2</sup>
Birim Hacim Ağırlık	: 2.7 t/m <sup>3</sup>
Poisson katsayısı	: 0.35

[(Uz, Bacak ve Yılmaz, 2003), (Uluğ ve Odabaşı), ( Yılmaz, 2006)]

**2.5.2. Mermer**

Sultanahmet Meydanı'ndaki Örne Dikilitaş'ın kaidesi ve cephelerinde mermer kullanılmıştır.[26] Mermer, tarih boyunca değişik uygarlıklar tarafından dayanıklılığı ve estetik görünümü nedeni ile özellikle anıtlarda, yapı malzemesi olarak kullanılmıştır (Cinel, 2007).

**Mermerin fiziksel özelliği aşağıda verilmiştir:**

Basınç Dayanımı	: 25.000-65.000 kN/m <sup>2</sup>
Kayma Dayanımı	: 9.000-45.000 kN/m <sup>2</sup>
Çekme dayanımı	: 1.000-15.000 kN/m <sup>2</sup>
Elastisite modülü	: 25.10 <sup>6</sup> -70.10 <sup>6</sup> kN/m <sup>2</sup>
Birim Hacim Ağırlık	: 2.8 t/m <sup>3</sup>
Poisson katsayısı	: 0.316

[(Uz, Bacak ve Yılmaz, 2003), (Uluğ ve Odabaşı),  
([http://www.fimar.com.tr/includes/urun\\_teknik.php?id=31](http://www.fimar.com.tr/includes/urun_teknik.php?id=31) ,16.02.2009)]



**Şekil 26.** Örme Dikilitaş'ın Temel Yapısında Kullanılan Mermer

### **2.5.3. Horasan Harcı**

Örme Dikilitaş yapısında kullanılan malzemelerden biride Horasan Harcıdır. Roma, Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde, kireç ve kum karışımı içine pişmiş toprağın (tuğlanın) öğütülerek katılması ile “Horasan” adı verilen harç kullanılmıştır. Horasan harcının tam olarak muhtevası bilinmemekle birlikte içerisinde harç, kil, kireç, taş tozu, taş kırıntıları, mermer tozu, su, keçi kılı ve hatta yumurta akı bulunduğu tarihi kayıtlardan anlaşılmaktadır. Horasan harcı çok geç sertleşen bir malzemedir. Bu nedenle, mukavemetini uzun zamanda kazanır. Kalitesi, içinde kullanılan kirecin kalitesine ve tuğla tozunun inceliğine bağlıdır. Bu nedenle eski yapılarda kullanılmış olan horasan harcının kalitesi ve mukavemeti, yöresel koşullara bağlı olarak değişir. Örneğin; Orta Anadolu'daki bir Selçuklu devri yapısındaki horasanla, İstanbul'daki bir Osmanlı yapısındaki aynı mukavemette olmaz (Yılmaz, 2006).

Horasan Harcı; Roma İmparatorluğu döneminde “cocciopesto”, Hindistan bölgesinde “surkhi” Yunanistan’da “Korassa” ve Arabistan ülkelerinde “homra” adıyla geçmektedir (Binal ,2008).

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi yapı malzemesi laboratuvarında tarihi Horasan harçlı kâgir ile laboratuvarda üretilen Horasan harcı ve Horasan kâgir üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre; (Çamlıbel, 1998)

**Çizelge 1. Horasan harcının özellikleri (Akman vd., 1986)**

Numune No	Karışım Oranları (Ağırlıkça)					Taze Birim Hacim Ağırlık (t/m <sup>3</sup> )	Katılmış Malzemenin Özellikleri		
	Kireç Bulamacı		Horasan		İlave Su		Birim Hacim A.(t/m <sup>3</sup> )	Mukavemet	
	Kireç	Su	İnce	İri				Eğilme (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç (N/mm <sup>2</sup> )
C1H	1.00	1.22	2.10	2.34	0.80	1.72	1.76	2.00	4.31
C1D							1.47	1.71	5.31
M1H	1.00	1.22	2.10	0.00	0.35	1.79	1.68	2.13	4.50
M1D							1.36	1.87	7.59
C2H	1.00	1.22	2.10	2.30	0.80	1.65	1.68	1.32	3.27
C2D							1.67	1.38	4.92

Not:

Görünen hacimler cinsinden bileşimler:

C Karışımı : (1 kireç bulamacı + 1 ince Horasan + 1.5 iri Horasan + ilave su)

M Karışımı : (1 kireç bulamacı + 1 ince Horasan + 0.2 ilave su)

1 N/mm<sup>2</sup> = 10 kgf/cm<sup>2</sup>

İstanbul Üniversite'sinin laboratuvarında Doç. Dr. Ahmet Güleç'in katkılarıyla hazırlanan horasan harcının içeriklerin terkibi aşağıda verilmiştir:

Harçların döküm tarihi: 14 Ağustos 2009'tür.

**Kaba harç terkibi:**

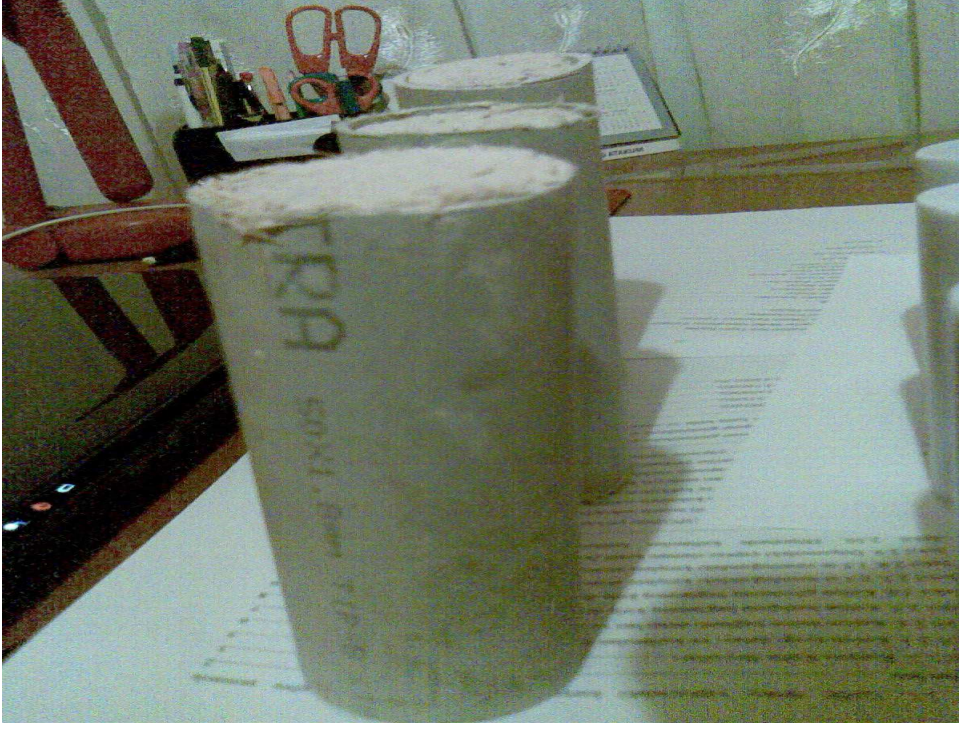
MALZEME	MİKTAR	(1 HARMAN İÇİN)
HORASAN İRMİK	1 torba	
HORASAN TOZ	1 torba	
KABA KUM	1.00 el arabası	
SÖNMÜŞ KİREÇ	6.00 torba	
HORASAN PİRİNÇ	1.00 torba	
KITIK(KENDİR)	Yok	

**İnce harç terkibi:**

MALZEME	MİKTAR	(1 HARMAN İÇİN)
HORASAN TOZ	1 torba	
KUM(İNCE-ELENMİŞ)	1 el arabası	
SÖNMÜŞ KİREÇ	6.00 torba	
ELYAF	0.6 kg	

Buradaki kireç torbası 25 kg, diğer torbalar 50 kg.dır. El arabası hacmi  $1/7 \text{ m}^3$

Tozlar 0,5 mm, irmik 2 mm ve prinç 4 mm elek altıdır.



Şekil 27. İstanbul Üniversite'sinde Hazırlanan Horasan Harcının Görüntüsü

**Horasan Harcının fiziksel özelliği aşağıda verilmiştir:**

Basınç Dayanımı : 3840-4900 kN/m<sup>2</sup>

Çekme dayanımı : 1710 kN/m<sup>2</sup>

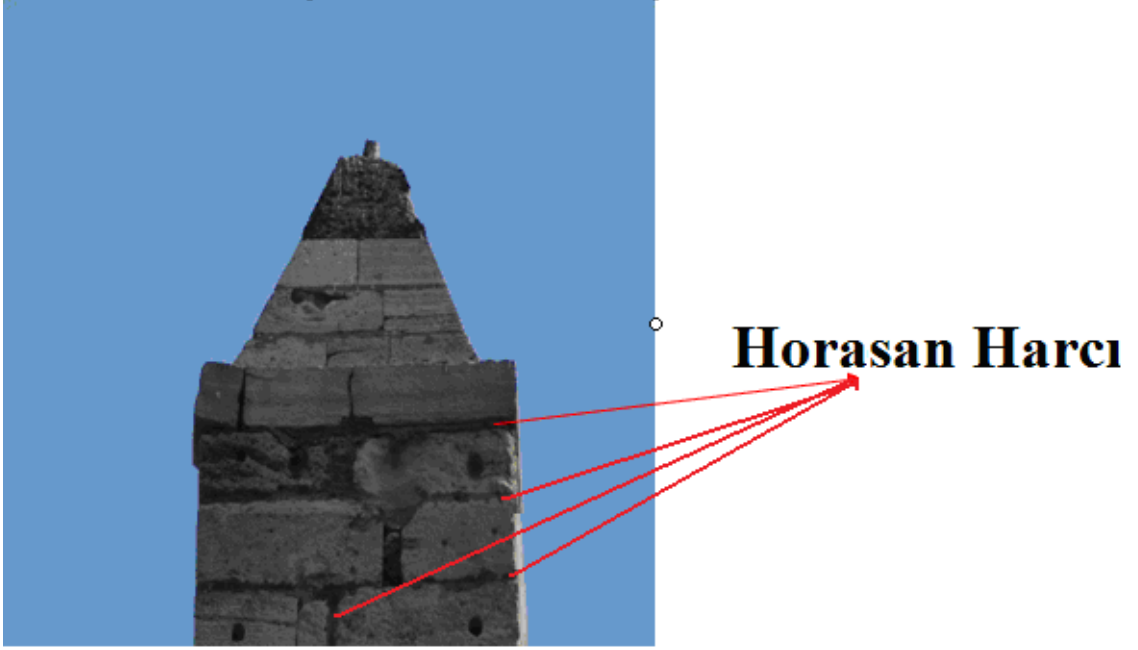
Elastisite modülü : 3.89.10<sup>6</sup> kN/m<sup>2</sup>

Birim Hacim Ağırlık : 1.36 t/m<sup>3</sup>

Poisson katsayısı : 0.17

[ (Çamlıbel, 1998), (<http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/12814.pdf>, 21.07.2011),

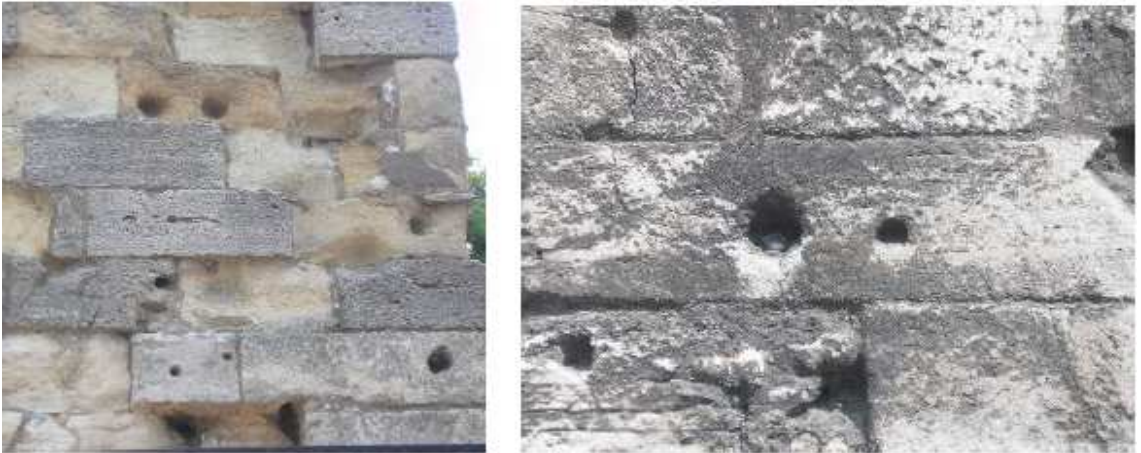
(Maria Rosa Valluzzi, Luigia Binda ve Claudio Modena, 2005)]



**Şekil 28.** Örne Dikilitaş'ın Temel Yapısında Kullanılan Horasan Harcı

#### 2.5.4 Demir

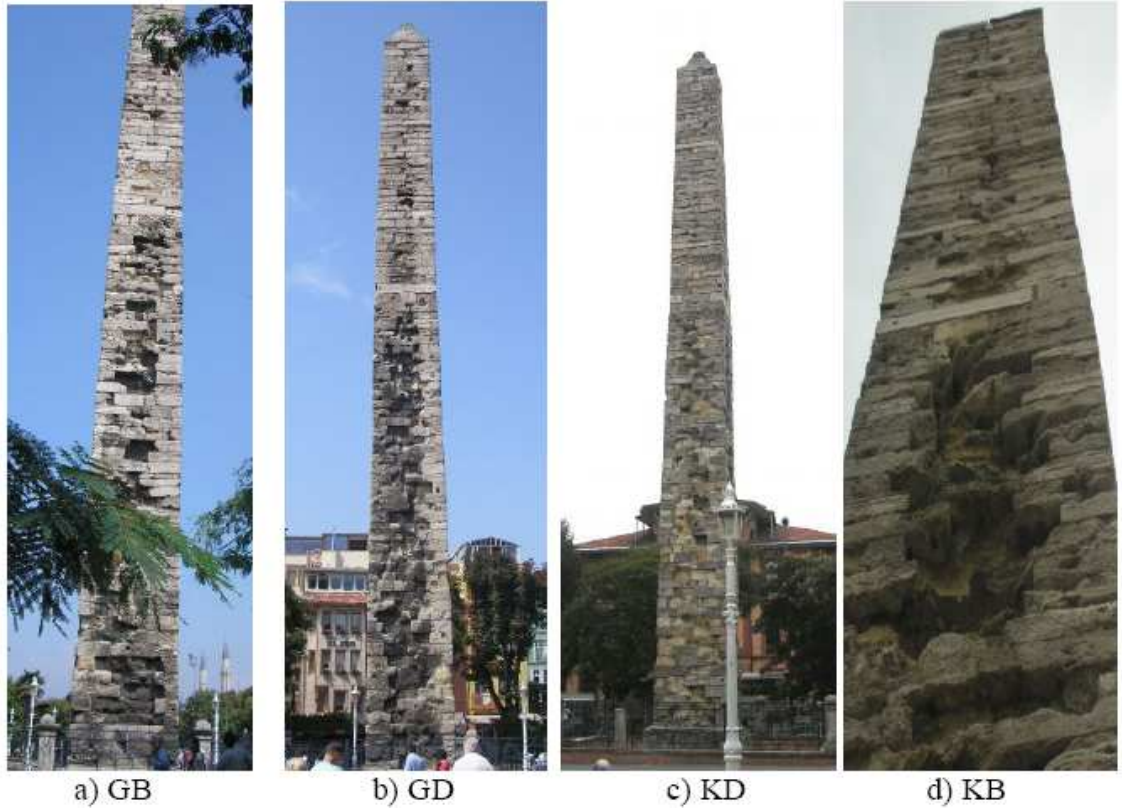
Dikilitaşın örülmesinde kullanılan taşların statik olarak daha sağlam ve güvenli olması için yapımı esnasında demir kenetler donatı olarak kullanılmıştır.



**Şekil 29.** GB cephede tunç levhaları tutturmak için hazırlanmış, günümüzde dübel delikleri olarak adlandırabileceğimiz oyuklar ve alçıtaşı kabuk oluşumları (Tulgar, 2007)

## 2.6. Sultanahmet Meydanı'nda Bulunan Örne Dikilitaş'ın Mevcut Durumu

Örne Dikilitaş'ın onuncu yüzyılda dikildiği bilinmektedir. Değişik ölçülerdeki taşların yontulmasıyla inşa edilen Örne Dikilitaş'ın cephelerinin son durumunu gösteren genel ve detay fotoğraflar çekilmiştir. Kopmuş olan yapı malzemelerinin orijinal yerlerine aynı nitelikte taşların yerleştirildiği gözlemlenmiştir. Örne Dikilitaş'ta yükseklik arttıkça harç kalınlıklarının arttığı gözlenmektedir. Geçmişte gerçekleşen depremlere baktığımızda Örne Dikilitaş, 1. Derece Deprem Bölgesinde olması ve çok şiddetli depremler geçirmesine rağmen hala ayakta kalmayı başarabilmiş tarihi yapılar arasında yer almaktadır.



Şekil 30. Anıtın günümüzdeki cephe görünüşleri (Tulgar, 2007)



**Şekil 31.** Anıtta GB cephesinde kullanılmış killi kalker taşı (Tulgar, 2007)



**Şekil 32.** GB cephede eski onarımda kullanılmış olan modern portland çimento bağlayıcı derz dolguları ve taşlarda görülen yüzey erozyonu ve yapraklanma (Tulgar, 2007)



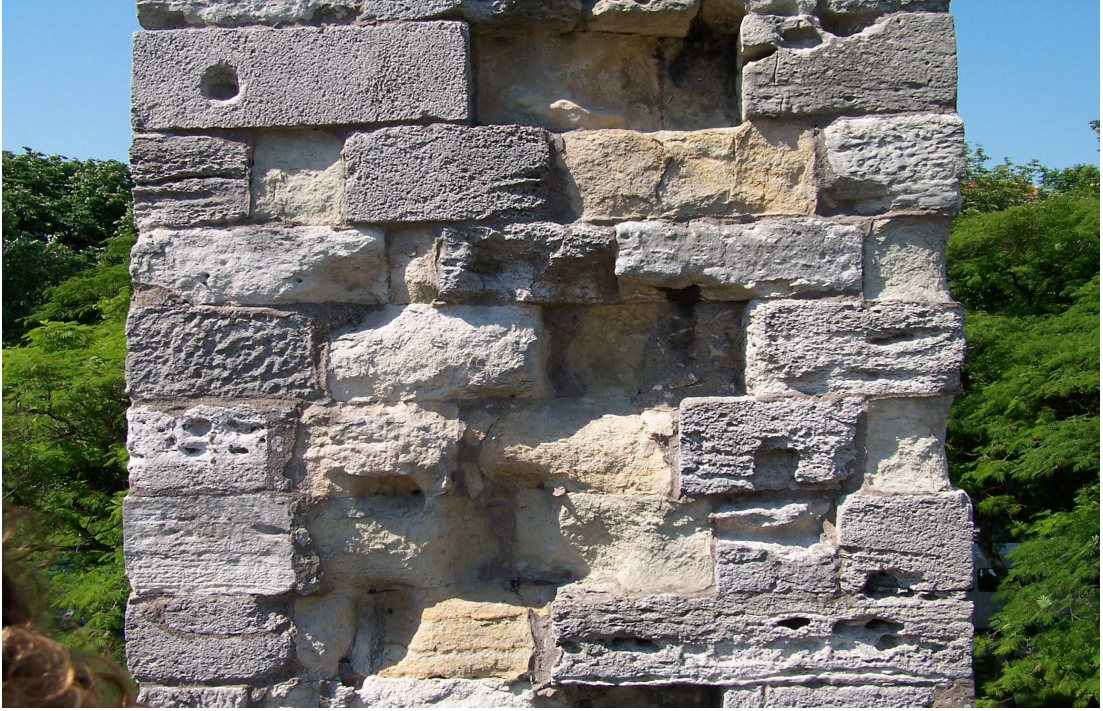
Şekil 33. Örne Dikilitaş'ın Zemini



Şekil 34. Örne Dikilitaş'ın Mermer Kaidesi ve 3 adet Basamak



**Şekil 35.** Mermer Kaideden Görünüş



**Şekil 36.** Örme Dikilitaş Yapısının Orta Kısımdan Görüntüler

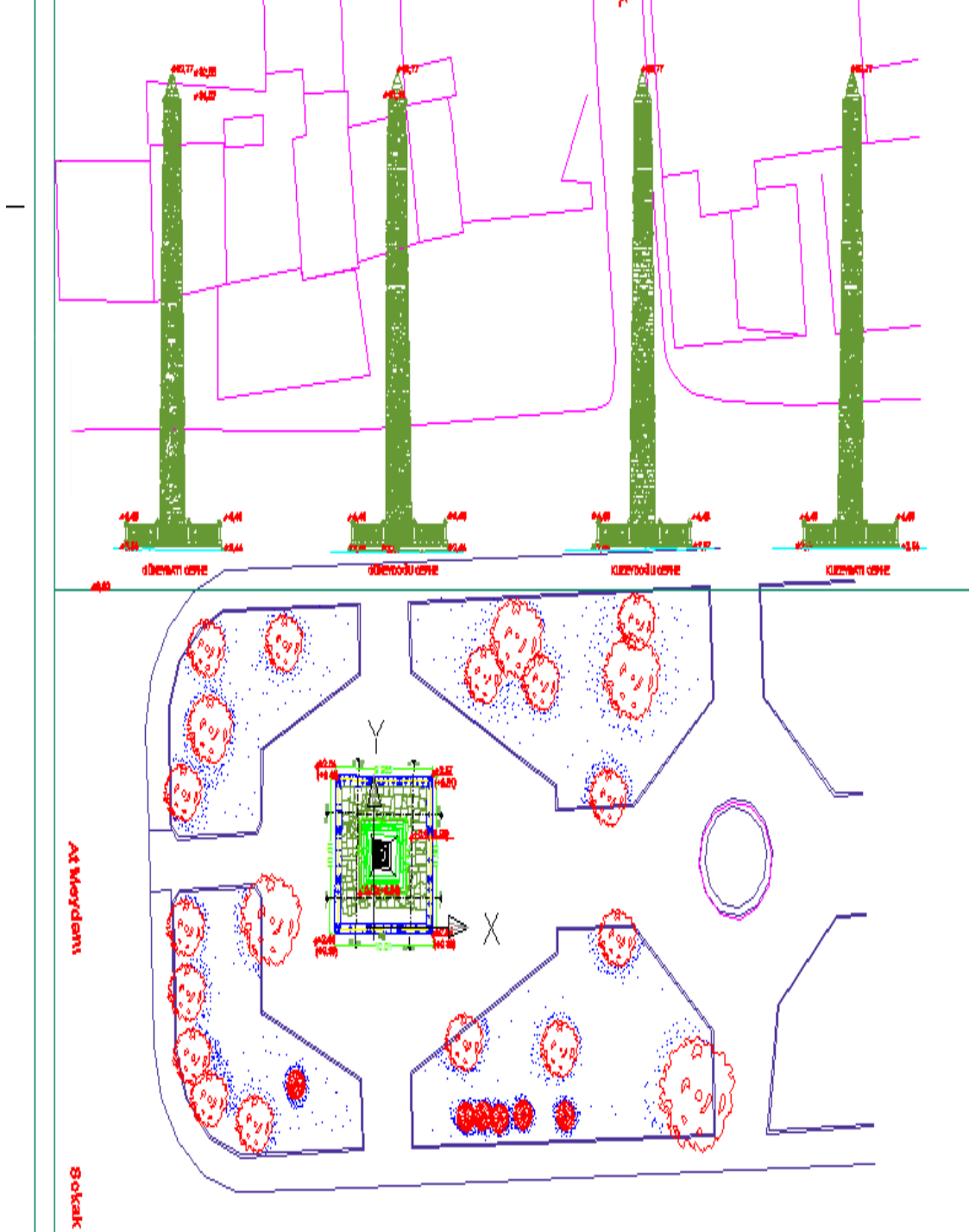


**Şekil 37.** Örne Dikilitaş'ın mermer kaidesi üzerindeki çatlamlar, yapraklanmalar ve alçıtaşı oluşumu (Tulgar, 2007)

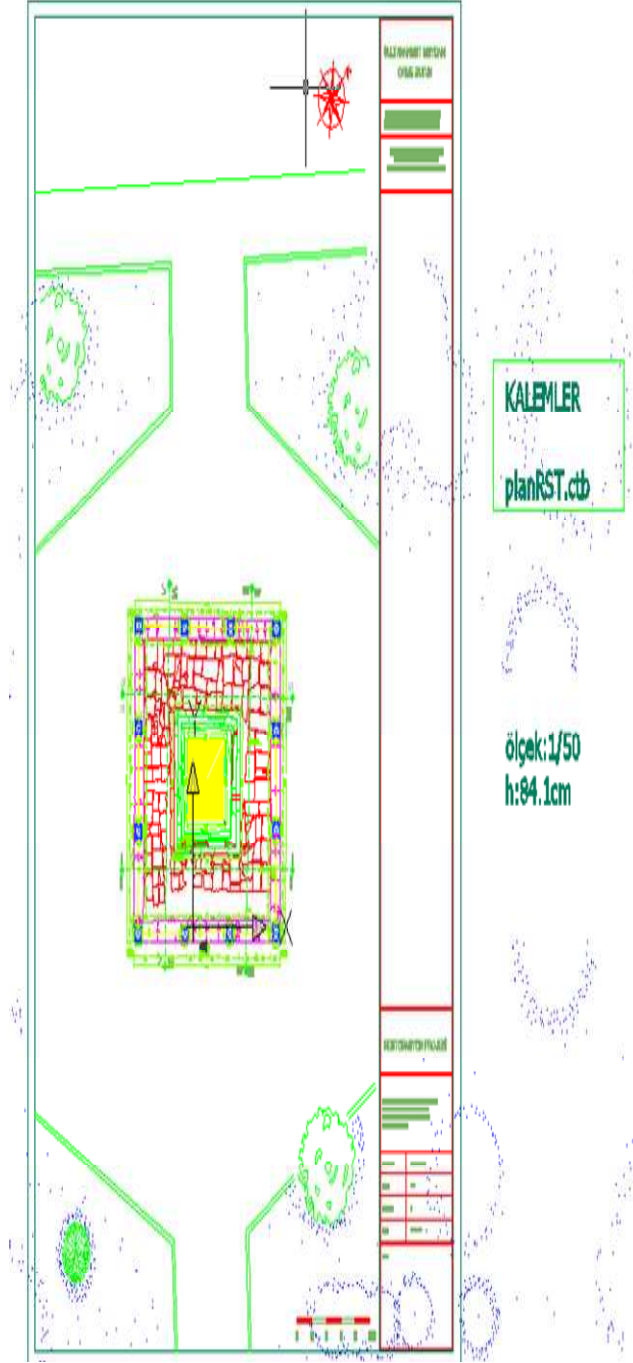


**Şekil 38.** Örne Dikilitaş'ın üst kotlardaki görüntüsü

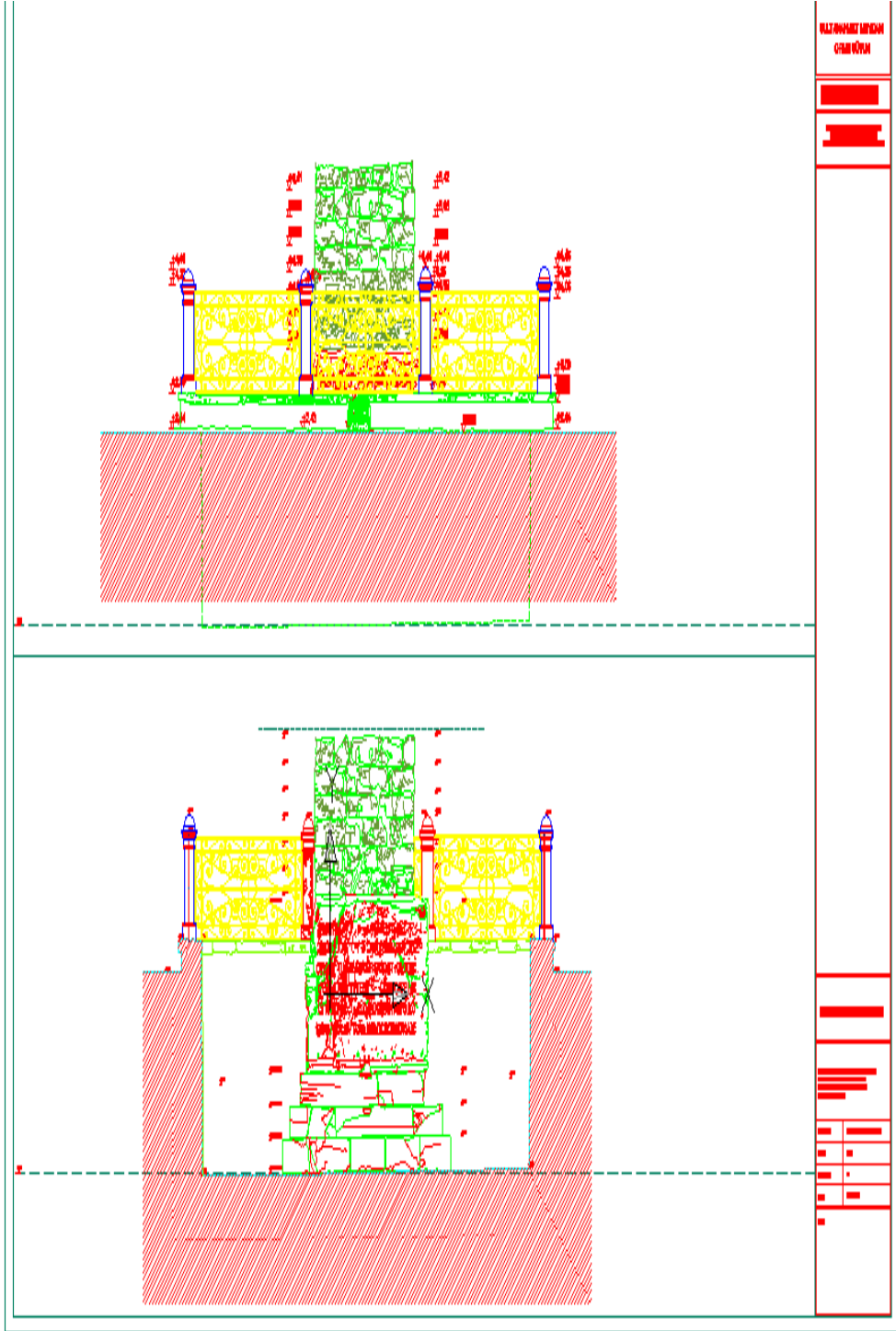
### 2.6.1. Örme Dikilitaş Yapısının Vaziyet Planı



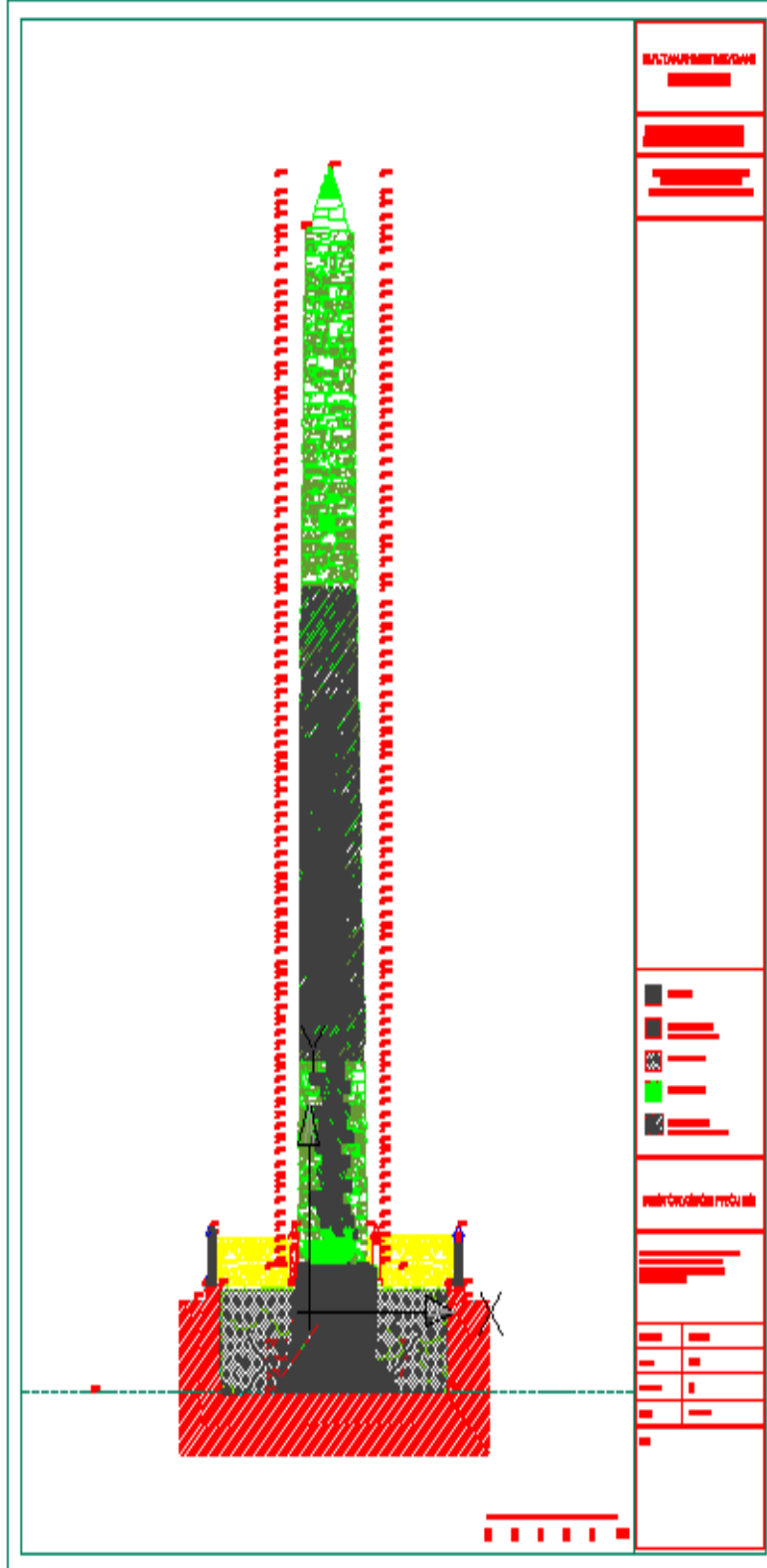
\* MP Tasarım ve Uygulama Ltd. Şti'nce çizilen planlar, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yapı İşleri Müdürlüğü'nün izniyle kullanılmıştır.



\* MP Tasarım ve Uygulama Ltd. Şti'nce çizilen planlar, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yapı İşleri Müdürlüğü'nün izniyle kullanılmıştır.



\* MP Tasarım ve Uygulama Ltd. Şti'nce çizilen planlar, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yapı İşleri Müdürlüğü'nün izniyle kullanılmıştır.



\* MP Tasarıml ve Uygulama Ltd. Şti'nce çizilen planlar, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yapı İşleri Müdürlüğü'nün izniyle kullanılmıştır.

## 2.7 Yapıların Güçlü Deprem Etkilerine Karşı Antisismik Özelliklerinin Yükseltilmesi Yöntemleri

Klasik yaklaşımda amaç; bina taşıyıcı sisteminde genelde hafif malzemelerin kullanılması ve kat kütle ve rijitlik merkezlerinin birbirine mümkün olabildiğince yakın tutulmasıyla gerçekleşir. Günümüzde rüzgâr ve deprem gibi sürekli değişen dinamik yüklere maruz yapıların titreşim kontrolü aktif ve pasif kontrol yöntemleriyle gerçekleştirilebilmektedir.

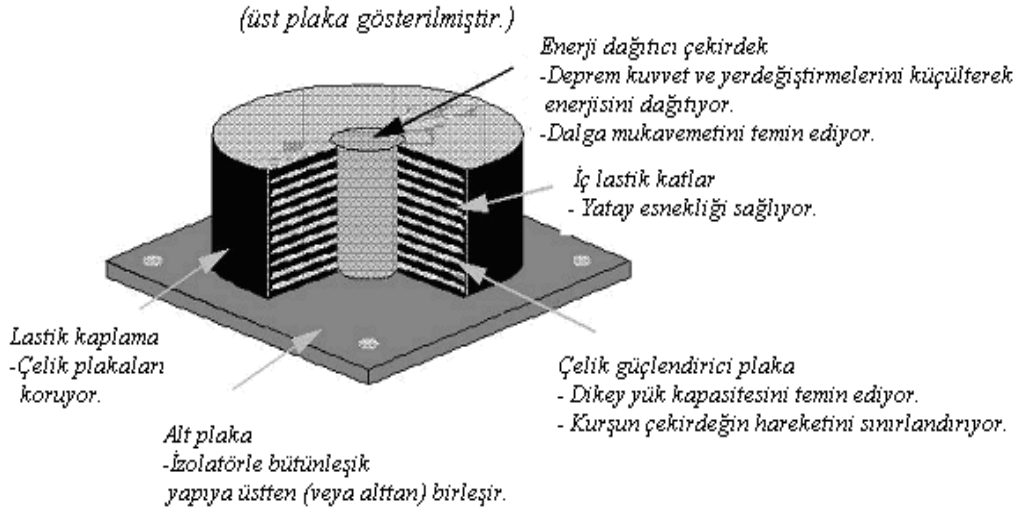
Aktif kontrol kuvvetleri yüksek ve esnek yapılarda kullanılmakta olup, aktif kütle söndürücüleri ve aktif destek elemanları vasıtasıyla sağlanmaktadır. Aktif kütle söndürücüleri binanın üst katına yerleştirilir ve hidrolik sistem tarafından kütle harekete geçirilerek gerekli kontrol kuvveti meydana getirilir. Aktif kontrol sistemleri değişen dış etkilere karşı kendini adapte edebilme yeteneğine sahiptir. Bu üstünlüklerin yanı sıra elektro-hidrolik makine sisteminden oluşturulmuş aktif kontrol sistemi sürekli bakım gerektirmektedir.

Pasif kontrol yöntemleri genelde alçak ve rijit yapılarda kullanılmakta olup, herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duyulmadan temel sismik yalıtım sistemleri ve pasif enerji sönümleyicileri gibi enerji yutan sistemler içermektedir.

Enerji sönümleyicilerinin viskoz kuvvet söndürücüleri, histeretik, sürtünmeli kuvvet söndürücüleri vs. bu gibi türleri yapı taşıyıcı sistemlerinde kullanılmaktadır.

Temel sismik yalıtım sistemleri düşük yatay rijitliğe ve büyük sönüme sahip olup temel ile yapı arasında yerleştirilir. Bunun sayesinde yapı periyodu ve yer değiştirmesi büyük ölçüde artarak, buna karşılık yapı ivmesi ve buna orantılı olan yapıya etkiyen sismik kuvvet azalmaktadır (Kasımzade, IMETI 2009 July 10th - 13th, 2009 – Orlando, Florida, USA)

### 2.7.1. Kurşun çekirdekli elastometrik sismik yalıtım sistemi



- Temel sismik yalıtımları farklı türlerde üretilmektedir. Yaygın olarak kullanılanı kurşun çekirdekli elastometrik sismik yalıtımlardır.
- Günümüzde üretilen sismik yalıtımların hem maliyetleri yüksek hem de sürekli bakım gerektirdikleri bilinmektedir.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Bu tez çalışması ile Örme Dikilitaş'ın matematiksel modeli elde edilmiş ve incelenmiştir. Örme Dikilitaş'ın yapısal analizleri, sırasıyla zaman ve frekans tanım alanındaki güçlü deprem hareketi altında, lineer olmayan kontak çalışmaları, (Temel Coulomb Friction model) sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi yapılarak incelenmiştir.

#### 3.2. Metot

Bu çalışmada, Örme Dikilitaş yapısının sonlu elemanlar metodu ile matematiksel modellenmesi, anıtın lineer olarak SAP 2000 programıyla tabanı ankastre olarak modellenmesi ve Örme Dikilitaş yapısının ANSYS programında sırasıyla zaman ve frekans tanım alanındaki güçlü deprem hareketi altında, lineer olmayan kontak çalışmaları yaparak (Coulomb Friction model) sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

##### 3.2.1. Yapıların Sonlu Elemanlar Metodu İle Modellenmesi

Adı geçen metotla sistemlerin incelenmesi için, bilindiği gibi, sonsuz sayıda serbestlik derecesi olan sistemin sonlu sayıda (çubuk, zar, plak, kabuk, solid, vs...) elemanlara ayrılarak bu elemanların birbirleriyle sadece düğüm noktaları ile teması sağlanmaktadır. Böylelikle sonsuz serbestlik derecesi olan sistemin her birinin maksimum altı serbestlik derecesi olan sonlu sayıda düğüm noktalarında temas eden  $k^*$  sayıda sonlu elemanlar ile değiştirilmiş olur. Bu düzenle oluşturulmuş ayrık sistemin çözme denklemleri genelde;  $k^{**}=k^*$  .(eleman toplam düğüm serbestlik derecesi sayısı)-(sınır koşulları sayısı) sayıda bilinmeyen içermektedir. Bu bilinmeyenler sistemin ayrık modelinin verilmiş sisteme eşdeğer olması koşulundan oluşturulmuş çözme denklemlerinden bulunur. Bilinmeyen olarak ayrık sistemin düğüm yer değiştirmeleri  $\{u\}$  kabul edilirse, statik yük etkileri için çözme denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilir [(Kasımzade ve Tuhta, International Symposium On Network And Center – Based Research For Smart Structures Technologies And Earthquake Engineering , 2004, Osaka, Japonya,),(Kasımzade , Tuhta ve Bal, Smart Structures And Materials, Smart 09, 13-15 July 2009, Porto-Portugal)].

$$[k]\{u\} = \{F\} \quad (3.1)$$

Burada sistemin rijitlik matrisi  $[k]$  ve dış kuvvetler vektörü aşağıdaki bilinen düzenle kurulmaktadır:

$$[k] = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad \text{i. sınır koşulunun uygulanması}^{*1} \quad (3.2)$$

$$[k_+] = \sum_{k=1}^{k^*} [\bar{k}_{+k}] \quad (3.3)$$

$$[\bar{k}_{k+}] = [\tau_k]^T [\bar{k}_k] [\tau_k] \quad (3.4)$$

$$[\bar{k}_k] = [C_k] [\bar{k}_k] [C_k]^T \quad (3.5)$$

$$\{F\} = \begin{bmatrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \text{i. sınır koşulunun uygulanması} \quad (3.6)$$

$$\{F_+\} = \sum_{k=1}^{k^*} \{\bar{F}_{+k}\} \quad (3.7)$$

$$\{\bar{F}_{+k}\} = [\tau_k]^T \{\bar{F}_k\} \quad (3.8)$$

$$\{\bar{F}_k\} = [C_k] \{F_k\} \quad (3.9)$$

$$\{F_k\} = \{\bar{F}_{*k}\} + \{\bar{R}_{*k}\} \quad (3.10)$$

$$\{\bar{R}_{*k}\} = - \int_{A_k} [H_k(A)]^T q_k(A) dA \quad (3.11)$$

Burada  $\bar{k}_k, \bar{\bar{k}}_k, \bar{\bar{k}}_{+k}$  - $k$ . sonlu elemanın lokal, global ve ayırık sistemin tüm serbestlik derecesine ( $k_{**}$ ) kadar genişletilmiş rijitlik matrisi;  $[C_k]$  -  $k$ . sonlu elemanın lokal koordinat sisteminden (l.k.s.) global koordinat sistemine (g.k.s) dönüşüm matrisi;  $[\tau_k]$  -  $k$ . sonlu elemanın topoloji matrisi;  $\bar{F}_k, \bar{\bar{F}}_k, \bar{\bar{F}}_{+k}$  -  $k$ . sonlu elemanın lokal, global ve ayırık sistemin tüm serbestlik derecesine ( $k_{**}$ ) kadar genişletilmiş düğüm kuvvetleri vektörü;  $\bar{R}_{*k}$  -  $k$ . sonlu elemanın lokal koordinat sisteminde ( $A$ ) alanına etkiyen sürekli dağılmış  $q(A)$  yükünden eşdeğer düğüm yükleri vektörü;  $[H_k]$  -  $k$ . sonlu elemanın şekil fonksiyonudur.

Dinamik yük etkidiğinde verilmiş sistemin sonlu elemanlar ile ifade edilmiş ayırık sisteme eşdeğerlik (W. R. Hamilton varyasyon prensibi) koşulundan sistemin çözmehareket denklemleri aşağıdaki gibi ifade olunur:

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = \{F(t)\} \quad (3.12)$$

Burada  $[c]$  sönüm matrisi klasik sönümlü sistemlerde sistemin rijitliği  $[k]$  ve kütesine  $[m]$  orantılı olduğundan kurulması da ona uygun yapılmaktadır. Dolayısı ile lokal koordinat sisteminde sonlu elemanın kütle matrisi düzenlenirse, (3.12) denkleminin içerdiği diğer matrisler sonlu elemanlar metodunun geleneksel (3.2-3.5), (3.6-3.11) bağılılıkları ile kurulabilmektedir.  $k$ . sonlu elemanın l.k.s. -de kütle matrisi  $[\bar{m}_k]$  eleman düğümlerinde her bir  $i$ . serbestlik derecesi doğrultusunda verilmiş  $m_{\bullet kii}$  tekil kütlelerden oluşturulmuş eleman köşegen kütle  $[m_{\bullet k}]$  matrisinden ve elemanın kendisinin sürekli dağılmış kütesinden oluşturulmuş eleman eşdeğer kütle  $[m_{*k}]$  matrisinden oluşmaktadır:

$$[\bar{m}_k] = [m_{\bullet k}] + [m_{*k}] \quad (3.13)$$

$$[\bar{m}_{\bullet k}] = \begin{bmatrix} m_{\bullet k11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{\bullet k22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{\bullet kii} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{\bullet kpp} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$



Sistemin sönüm matrisi  $[c]$  (3.23) formülü ile sistemin rijitlik  $[k]$  ve kütle  $[m]$  matrisleri ile aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$[c] = [m] \left( \sum_{i=1}^J \frac{\xi_i \omega_{oi}}{M_i} \{\Phi_i\} \{\Phi_i\}^T \right) [m] \quad (3.23)$$

$$M_i = \{\Phi_i\}^T [m] \{\Phi_i\} \quad (3.24)$$

$$\Phi_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\{a_j\} [m] \{a_j\}}} \quad (3.25)$$

Burada  $\omega_{oi}$ ,  $\{a_i\}$  sönümsüz sistemin i. doğal titreşim modunun serbest titreşim frekansı, mod şeklidir ve uygun özdeğer probleminin çözümünden bulunmaktadır:

$$[d]\{\ddot{u}\} + \{u\} = \{0\} \quad (3.26)$$

$$\{u\} = \{a\} \sin(\omega_o t + \varphi_o) \quad (3.27)$$

$$\left. \begin{array}{l} [d]\{a\} = \frac{1}{\omega_o^2} \{a\} \\ \text{veya} \\ [\bar{d}]\{a\} = \bar{\lambda} \{a\} \end{array} \right\} \Rightarrow \omega_{oi}, \{a_i\} \quad (3.28)$$

Burada

$$[d] = [k]^{-1} [m] = [\delta] [m] = [d] = \frac{[\bar{d}]}{\bar{\lambda}} \quad ; \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{\omega_o^2 \delta_o m_o}$$

Eğer sisteme dinamik yükler sadece düğüm ve elemanları üzerinde etkilerse zamana bağlı dış dinamik kuvvet vektörü statik çözümdeki (3.6-3.11) düzenine uygun şekilde aşağıdaki gibi kurulur:

$$\{F(t)\} = \overline{\{F(t)\}} \quad \text{i. sınır koşulunun uygulanması} \quad (3.29)$$

$$\{F_+(t)\} = \sum_{k=1}^{k^*} \{\overline{\overline{F}}_{+k}(t)\} \quad (3.30)$$

$$\{\overline{\overline{F}}_{+k}(t)\} = [\tau_k]^T \{\overline{\overline{F}}_k(t)\} \quad (3.31)$$

$$\{\overline{\overline{F}}_k(t)\} = [C_k] \{\overline{F}_k(t)\} \quad (3.32)$$

$$\{\overline{F}_k(t)\} = \{\overline{F}_{*k}(t)\} + \{\overline{R}_{*k}(t)\} \quad (3.33)$$

$$\{\overline{R}_{*k}(t)\} = - \int_{A_k} [H_k(A)]^T q_k(A, t) dA \quad (3.34)$$

---

“Dip not” \*1 : i simgesi ile verilmiş sınır koşullarının uygulanması (örneğin istemi sabitleştiren i.mesnete uygun satır ve sütun elemanları yerine 0, çakışma noktasına 1 yazılması) prosedürü gösterilmiştir.

### Dinamik Çok Serbestlik Dereceli Yapıların Hareket Denklemlerinin Düzenlenmesi

Sistemin dinamik dengesine bakılarak hareket denklemi aşağıdaki düzenle oluşturulur:

$$\{F_e\} + \{F_c\} + \{F_f\} = \{F(t)\} \quad (3.35)$$

Burada  $\{F_e\}$  sisteme etkiyen elastik kuvvetler olup i. elemanı (yani k.s.d. doğrultusundaki  $u_i$  yer değişmesine sistemin tepkisi) süperpozisyonla aşağıdaki gibi bulunur:

$$F_{ei} = k_{i1}u_1 + k_{i2}u_2 + \dots + k_{ij}u_j + \dots + k_{in}u_n \quad (3.36)$$

$k_{ij}$  j. kinematik serbestlik derecesi (k.s.d.) doğrultusunda birim yerdeğiştirmeden ( $u_j = 1$ ) i. k.s.d.'si doğrultusunda oluşmuş kuvvettir.  $i=1, n$  k.s.d.'si için sisteme etkiyen elastik kuvvet aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\{F_e\} = [k]\{u\} \quad (3.37)$$

Burada  $[k]$  sistemin rijitlik matrisidir. Simetrik matristir. Basit sistemler için yapı mekaniğinden belli direk dengeler (yerdeğiştirmeler yöntemi temelinde) yöntemi ile karmaşık sistemler için Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) ile kurulmaktadır.

$\{F_c\}$  Sisteme etkiyen sönüm kuvvetleridir. Titreşim sırasında sistemdeki enerji itkisi eşdeğer viskoz sönüm teorisine dayalı kabul edilerek, i. elemanı süperpozisyonla aşağıdaki gibi bulunur:

$$F_{ci} = c_{i1}\dot{u}_1 + c_{i2}\dot{u}_2 + \dots + c_{ij}\dot{u}_j + \dots + c_{in}\dot{u}_n \quad (3.38)$$

$c_{ij}$  j. k.s.d.'si doğrultusunda birim hızdan ( $\dot{u}_j = 1$ ) i. k.s.d.'si doğrultusunda oluşmuş kuvvettir.

i=1,n k.s.d.'si için sisteme etkiyen sönüm kuvveti aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\{F_c\} = [c][\dot{u}] \quad (3.39)$$

Burada  $[c]$  sistemin sönüm matrisidir. Uygulamalarda daha önce de gösterildiği gibi sönüm matrisinin elemanları-yani sönüm katsayıları  $c_{ij}$ , sonlu serbestlik dereceli sistemin sönüm oranlarına bağlı oluşturulur. Dolayısı ile sönüm (katsayıları) matrisi belli sönüm oranlarına dayanılarak bulunur. Sönüm oranları tek d.s.d sistemlerde görüldüğü gibi deneylerle bulunur.

$\{F_I\}$  Sisteme etkiyen atalet kuvvetleridir ve i. elemanı (yani i. k.s.d. doğrultusunda  $\ddot{u}_i$  ivmesine sistemin tepkisi) süperpozisyonla aşağıdaki gibi bulunur:

$$F_{Ii} = m_{i1}\ddot{u}_1 + m_{i2}\ddot{u}_2 + \dots + m_{ij}\ddot{u}_j + \dots + m_{in}\ddot{u}_n \quad (3.40)$$

$m_{ij}$  kütle tesir katsayısı olup, j. k.s.d.'si doğrultusunda birim ivmeden ( $\ddot{u}_j = 1$ ) i. k.s.d.'si doğrultusunda oluşmuş kuvvettir.

i=1,n k.s.d.'si için sisteme etkiyen atalet kuvveti aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\{F_I\} = [m]\{\ddot{u}\} \quad (3.41)$$

$[m]$  kütle matrisidir (simetriktir  $m_{ij} = m_{ji}$ ). Kütleler tekil kütleler halinde düğümlere dağıtılsa ve düğüm ağırlık merkezi etrafında burulma ataletinin sistem dinamiğine etkisi ihmal edilirse, kütle matrisi köşegen olur (yani  $i \neq j$  için  $m_{ij} = 0$ ).

Dış dinamik kuvvetler sisteme sadece k.s.d.'si doğrultusunda uygulanmış dinamik yükler ise, şöyle ifade edilir:

$$\{F(t)\} = \{e_0\}^T \{f(t)\} \quad (3.42)$$

Burada  $e_0$  tesir vektörü olup, k.s.d. doğrultusunda dinamik kuvvet varsa 1, yoksa 0 değerini içeren vektördür.

Dış dinamik kuvvetler sistem mesnedinin kinematik uyarılmasından oluşmuş yer ivmesi ( $\ddot{\Delta}$ ) ise, dış kuvvet vektörü aşağıdaki şekilde oluşturulur:

$$\{F(t)\} = \{F(t)\}_{etik} = -[m]\{e_*\}\ddot{\Delta}(t) \quad (3.43)$$

Burada  $\{e_*\}$  tesir vektörü olup, sistemin tabanının statik  $\Delta = 1$  yerdeğişmesinden kütlelerin k.s.d.'si doğrultusundaki yerdeğişmesidir. Sistem tabanının kinematik uyarılmasından sistemin k.s.d.'si doğrultusunda oluşmuş kuvvetlere etkin kuvvet denir.

Yer hareketinin burulma bileşenine ( $\varphi(t)$ ) bakılacak olursa (9) bağlantısı aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\{F(t)\} = \{F(t)\}_{etik} = -[m]\{e_{**}\}\ddot{\varphi}(t) \quad (3.44)$$

Burada  $\{e_{**}\}$  tesir vektörü elemanları sistem tabanının  $\varphi = 1$  dönmesinden k.s.d.'si doğrultusundaki yerdeğişmelerdir.

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = \{F(t)\}$$

Sistemin hareket denklemlerinden görüldüğü gibi  $[k]$ ,  $[c]$ ,  $[m]$  matrisleri aynı boyutta (sistemin k.s.d.'e eşit) olup  $[k]$  matrisinin boyutuna orantılı değişmektedir. Dolayısı ile hareket denklemlerinin boyutlarının küçültülmesi prosedüre  $[k]$  matrisi için düzenlenmiş olursa,  $[c]$ ,  $[m]$  matrislerinin boyutlarının küçültülmesi aynı işleme tabi tutulacaktır.

### 3.2.1.1. Örne Dikilitaş Yapısının Matematiksel Modelinin Tanımlanması

a) Örne Dikilitaş yapısının yükseklikleri yaklaşık ortalama 0.4 m (0.4,0.41,0.43 m) ve planda alanları uygun olarak 4.47x4.44 m, 4.06x3.98 m, 3.33x3.40 m olan üç basamak üzerinde yüksekliği 2.2 m ve planda alanı 3.12x3.13 m olan yek pare taştan (kaide) oluşmuştur. Toplam yüksekliği 3.47 m olan kısmı tarafımızdan “doğal sismik izolator” olarak adlandırılmıştır ve analizde bu özelliklere uygun olarak modellenmiştir.

b) 3.47 m “doğal sismik izolator” temel üzerindeki 28.53 m yükseklikte planda alt alanı 2.61x2.52 m, üst alanı 2.48x2.41 m kaba kesilmiş taştan yapılmış örme duvar kısmı “üst yapı” olarak adlandırılmış ve analizde bu özelliklere uygun olarak modellenmiştir (Kasımzade , Tuhta ve Bal, Smart Structures And Materials, Smart 09, 13-15 July 2009, Porto-Portugal).

### ‘Örne Dikilitaş’ Yapı Temelinin Modeli ile Kurşun Çekirdekli Elastometrik Sismik Yalıtım Sisteminin Benzer Özelliklerinin Karşılaştırılması:

1-Enerji Dağıtıcı Kütle;

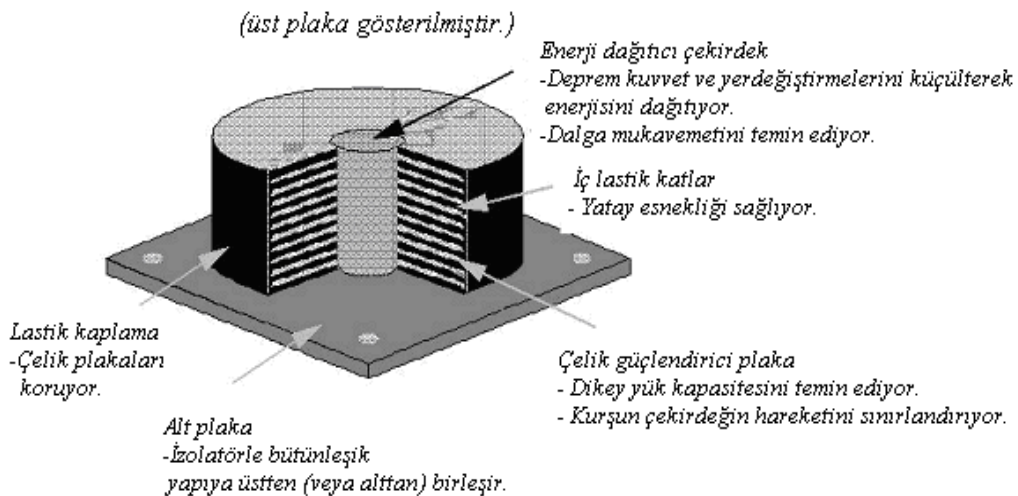
- a)Deprem kuvveti ve yer değiştirmesini küçülterek enerjiyi dağıtıyor.
- b)Dalga mukavemetini temin ediyor.

2-İç katmanlar (1.5 cm çok zayıf ve yumuşak harç malzemesi);

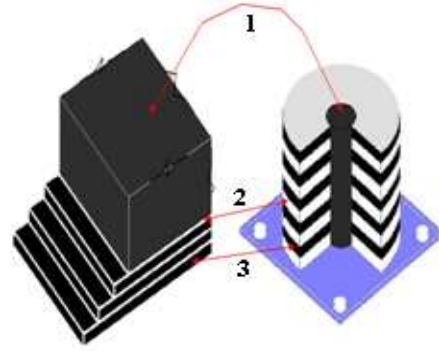
-Yatay esnekliği sağlıyor.

3-Taş tabakalar; dikey yük kapasitesini temin ediyor.

-Kütle(çekirdek) altındaki yatay hareketi sınırlandırıyor.



Şekil 39. Kurşun Çekirdekli Elastometrik Sismik Yalıtım Sistemi



**Şekil 40.** Örme Dikilitaş Yapı Temelinin Modeli ile Kurşun Çekirdekli Elastometrik Sismik Yalıtım Sisteminin Benzer Özelliklerinin Karşılaştırılması

Yekpare taşın bulunduğu kısım ile kurşun çekirdekli kauçuk izolatördeki (LRB- Lead Rubber Bearings) mesnetin orta kısmındaki kurşun silindir ile benzer işlevde olduğu ve Örme Dikilitaşın 4 kayma yüzeyini oluşturan 3 katlı basamak ile LRB'deki kauçuk tabakalarla birleşmiş çelik levhaların benzer işlevi yaptığı görülmektedir.

Oluşturulmuş matematik modelin günümüzdeki kurşun çekirdekli kauçuk izolatörle (LRB-Lead Rubber Bearings) karşılaştırması sırasında kullanılan 'benzer işlev' ifadesi deprem etkisi sırasında temel izolatörünün denge durumu etrafında her iki tarafa sürüklendiğinden, elastik-plastik davranışla denge durumu halinde olan anıtın üst kısmını tutar.

'Örme Dikilitaş' yapısının "doğal sismik izolatör" rolünü üstlenen temel kısmının seneler boyunca deprem etkisinden 1.24 m yükseklikteki yüzeyinin üstündeki kaymış yekpare taşın tamamen önceki durumu almadığı gözükmemektedir.



$$\{\phi\}_i = \frac{a_{ij}}{\left(\{a\}_j^T [m_b] \{a\}_j\right)^{1/2}} \quad (3.48)$$

$$M_i = \{\phi\}_i^T [m_b] \{\phi\}_i \quad (3.49)$$

İzolatörlü yapının kütle, sönüm, rijitlik matrislerinin oluşturulması [Kasımzade ,Yapı Dinamiği, 2004), (Kasımzade ve Tuhta, International Symposium On Network And Center – Based Research For Smart Structures Technologies And Earthquake Engineering , 2004, Osaka, Japonya), (Naeim ve Kelly, 1999), (Skinner, Robinson ve McVerry, 1993)] kaynaklarına dayanarak iki yöntemle ele alınmıştır. (Kasımzade,A.A ve Tuhta S., 2004, Naeim F., Kelly J.M., 1999, Skinner R.I.,Robinson W.H., McVerry G.H., 1993).

-Birinci yöntem ile [m],[k],[c] nin kurulma düzeni :

$$[m] = \begin{bmatrix} m_I + \sum_{i=1,3} m_i & m1 & m2 & m3 \\ m1 & m1 & 0 & 0 \\ m2 & 0 & m2 & 0 \\ m3 & 0 & 0 & m3 \end{bmatrix} \quad [k] = \begin{bmatrix} k_I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k1+k2 & -k2 & 0 \\ 0 & -k2 & k2+k3 & -k3 \\ 0 & 0 & -k3 & k3 \end{bmatrix} \quad (3.50,3.51)$$

$$[c] = \begin{bmatrix} [c_I] & [0] \\ [0] & [c_b] \end{bmatrix} \quad c_I = 2\xi_I \left( \sum_{i=1,N} m_i + m_I \right) \quad (3.52,3.53)$$

- İkinci yöntem ile [m],[k],[c] nin kurulma düzeni:

$$[m] = \begin{bmatrix} mizo & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m3 \end{bmatrix} \quad [k] = \begin{bmatrix} k_I + k1 & -k1 & 0 & 0 \\ -k1 & k1+k2 & -k2 & 0 \\ 0 & -k2 & k2+k3 & -k3 \\ 0 & 0 & -k3 & k3 \end{bmatrix} \quad (3.54,3.55)$$

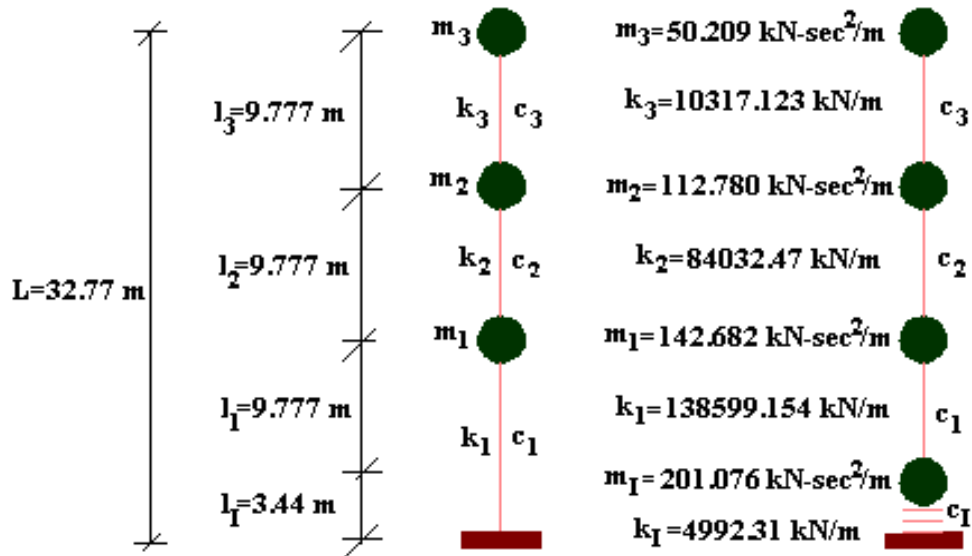
$$[c_b] = \begin{bmatrix} c1+c2 & -c2 & 0 \\ -c2 & c2+c3 & -c3 \\ 0 & -c3 & c3 \end{bmatrix} \quad [c] = \begin{bmatrix} c_I + c1 & -c1 & 0 & 0 \\ -c1 & c1+c2 & -c2 & 0 \\ 0 & -c2 & c2+c3 & -c3 \\ 0 & 0 & -c3 & c3 \end{bmatrix} \quad (3.56,3.57)$$

Örme Dikilitaş yapısının toplam kütlesi  $506.747 \text{ kN-sec}^2/\text{m}$  olup “doğal sismik izolatör” görevini yapan  $3.47 \text{ m}$  yükseklikteki kısmın kütlesi  $201.076 \text{ kN-sec}^2/\text{m}$ , onun üzerindeki kaba kesilmiş taştan yapılmış örme duvar “üst yapı” kısmının kütlesi  $305.671 \text{ kN-sec}^2/\text{m}$ . Yapının yukarıda gösterildiği gibi ele alınmış modeli mod birleştirme ve zaman tanım alanında incelenmiştir.



Şekil 42. “Örme Dikilitaş” Yapısının Genel görüntüsü.(Türkiye, İstanbul, Sultan Ahmet Meydanı)

### Temeli Ankastre ve İzolatörlü Örme Dikilitaş Yapısının Modellenmesi



Şekil 43. Ankastre ve izolatörlü yapının kütle, rijitlik, sönüm dağılımları ve hesap şemaları

### i. Mod Birleştirme Yöntemi İle İnceleme

Ele alınmış matematik model için kütle ve hakim periyoduna bağlı izolatör ve yapı kat rijitliklerinin hesaplama düzeni ve ardından mod birleştirme yönteminin uygulanması ardışıklığı aşağıda verilmiş olup, sonuçları Çizelge 7’de gösterilmiştir.

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2} \quad (3.58)$$

$$\omega_l = \frac{2\pi}{T_i} = \frac{2\pi}{2} = 3.141 \text{ s}^{-1} \quad (3.59)$$

$$k_l = \omega_l^2 (m_1 + m_2 + m_3 + m_t) = (3.141)^2 200.103 = 4992.31 \text{ kN/m} \quad (3.60)$$

$$[\bar{d}]\{a\} - \bar{\lambda}\{a\} = \{0\} \quad (3.61)$$

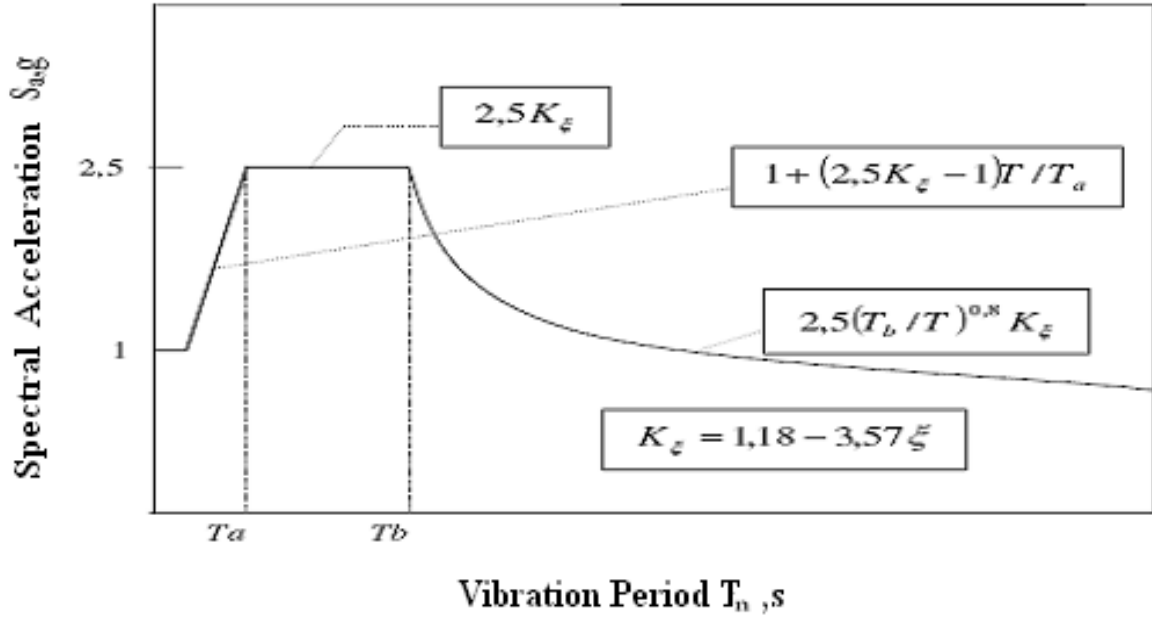
$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\delta_0 m_0}, \lambda = \frac{1}{\omega_0^2}, [\bar{d}] = \frac{[\delta][m]}{\delta_0 m_0} \quad (3.62, 3.63, 3.64)$$

$$\{\phi\}_i = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\{a\}_j^T [m] \{a\}_j}} \quad (3.65)$$

$$M_i = \{\phi\}_i^T [m] \{\phi\}_i \quad (3.66)$$

$$F^{st} = \alpha [m] \{\phi\}_i \quad (3.67)$$

$$\alpha = \frac{1}{\{\phi\}_i^T [m]} \quad (3.68)$$



**Şekil 44.** Çok Serbestlik Dereceli Sistem Örneğinde Kullanılan Elastik Dizayn Spektrumu

$$K_{\xi} = 1.18 - 3.57\xi \quad (3.69)$$

$$T < T_a \rightarrow S_a(j) = 1 + (2.5K_{\xi} - 1)T/T_a \quad (3.70)$$

$$T_a < T < T_b \rightarrow S_a(j) = 2.5K_{\xi} \quad (3.71)$$

$$T \rightarrow T_b \rightarrow S_a(j) = 2.5(T_b/T)^{0.8} K_{\xi} \quad (3.72)$$

$$F = F^{st} S_a(j) A_0 I g \quad (3.73)$$

$$u = \left( \frac{1}{\omega^2} \right) \alpha S_a(j) A_0 I g \{\phi\}_i \quad (3.74)$$

## ii. Zaman-Tanım Alanı Yöntemi ile İnceleme

Bilindiği gibi deprem etkisi altındaki sistemin hareket denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = \{F_*\} \quad (3.75)$$

$$\{F_*\} = (F_{*1} F_{*2} \dots F_{*i} \dots F_{*n})^T, \quad F_{*i} = -m_i \ddot{x}_g(t) \quad (3.76, 3.77)$$

Burada izolatörlü yapının kütle, sönüm, rijitlik matrisleri (3.50, 3.51, 3.52, 3.53) formüllerine dayalı birinci yöntemle kurulmuştur.

Yer ivmesi  $\ddot{x}_g(t)$  uygun yönetmeliklere [(ABYYHY, 2007), (UBC, 1997)] bağlı olarak eşdeğer özel tasarım ivme spektrumu ile değiştirilerek ve ardından ayrık zaman alanına geçilerek hareket denklemi sayısal yöntemle (Wilson- $\theta$ ) incelenerek sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Aşağıda yer ivmesinden uygun spektruma geçiş ve hareket denkleminin sayısal inceleme adımları gösterilmiştir.

İvmeden spektruma geçişte 'Odak Noktası Etkisi' (ABYYHY, 2007) kaynağındaki yönetmeliğe dâhil edilmediğinden, (UBC, 1997) kaynağındaki yönetmelik dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Z2 yerel zemin sınıfına ait en üst zemin tabakası kalınlığı ( $h_1$ )'i  $h_1 \leq 15$  m olan (C) grubu zemin olarak belirlendi. (ABYYHY, 2007) kaynağında (C) zeminin karşılığı (UBC, 1997) kaynağında  $S_D$  zemini olan katı zemine denk gelmektedir).

(UBC, 1997) kaynağında 'Sismik Kaynak Tipinin' seçilmesinde incelenen yapının büyük ölçekli depremlere maruz kalacağı dikkate alınarak ( $M \geq 7$ ), 'Sismik Kaynak Tipi' A olarak seçildi.

Sismik kaynağa olan yatay uzunluk 10 km seçilerek, sismik kaynak tipi A ile sismik kaynağa olan yatay uzunluğu birlikte kullanarak kaynağa yakınlık faktörleri (UBC, 1997) kaynağında Tablo 16-S ve 16-T'den aşağıdaki değerler alınmıştır.

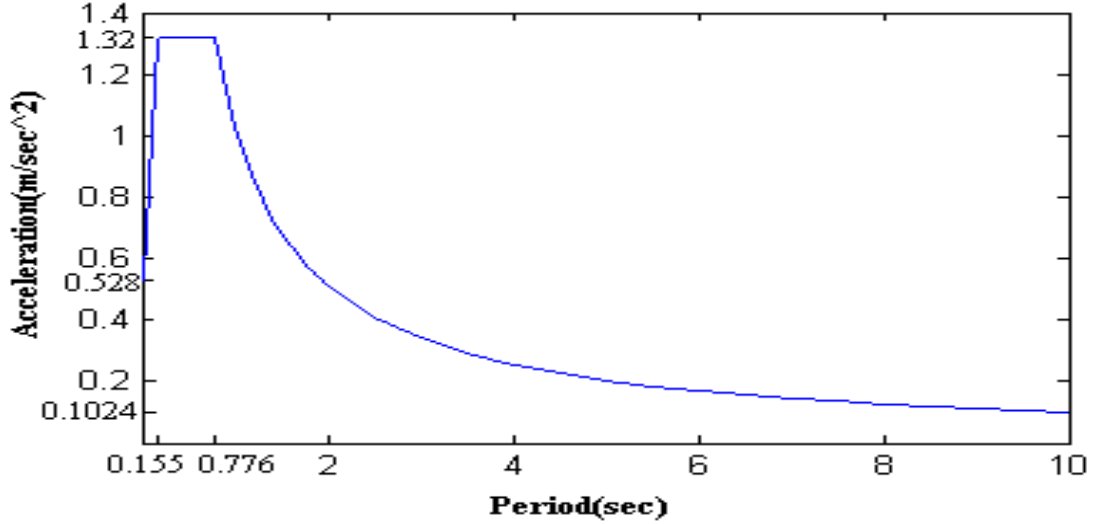
$$N_a = 1; N_v = 1.2$$

'Sismik Bölge Faktörü'  $Z = 0.4$  tür.  $C_a$ ,  $C_v$  sismik katsayıları (UBC, 1997) kaynağında Tablo 16-I'dan zemin sınıfı ( $S_D$ ) ve Sismik Bölge Faktörü ( $Z = 0.4$ )'e bağlı bulunmuştur:

$$C_a = 0.44 * N_a = 0.44$$

$$C_v = 0.64 * N_v = 0.64 * 1.2 = 0.768$$

Özel tasarım spektrum değerleri,  $C_a$  ve  $C_v$  değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır (UBC, 1997) kaynağına dayalı spektrum değerlerinin hesabı SAP 2000'de yer almaktadır).



**Şekil 45.** UBC 97 Yönetmeliğine göre Eşdeğer Tasarım İvme Spektrumu  
(1. Derece Deprem Bölgesi ve Zemin sınıfı Z2)

Elde edilmiş bu ivme spektrumuna dayalı hareket denkleminin sayısal hesaplamaları aşağıdaki bilinen adımları içermekte olup sonuçları Çizelge 8'de gösterilmiştir.

$$[m]\{\Delta\ddot{u}\}_i + [c]_i\{\Delta\dot{u}\}_i + [k]_i\{\Delta u\}_i = [m]\{\Delta F\}_i \quad (3.78)$$

$$\{u\}_{i+1} = \{u\}_i + \{\Delta u\}_i$$

(3.79)

$$\{\dot{u}\}_{i+1} = \{\dot{u}\}_i + \{\Delta\dot{u}\}_i \quad (3.80)$$

$$\{\ddot{u}\}_{i+1} = [m]^{-1} \left( \{F^*\}_{i+1} - [c]_i\{\dot{u}\}_{i+1} - [k]_i\{u\}_{i+1} \right) \quad (3.81)$$

$$\{\Delta u\}_i = \{u(t_i + \Delta t)\} - \{u(t_i)\} \quad (3.82)$$

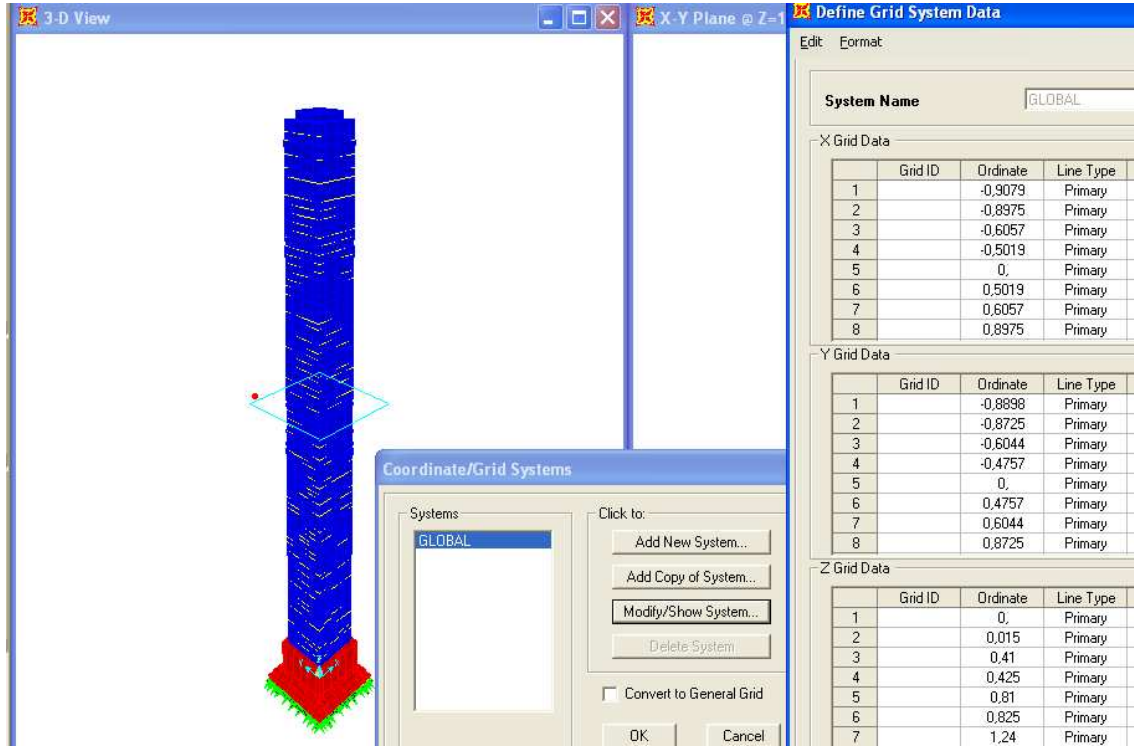
$$\{\Delta\dot{u}\}_i = \{\dot{u}(t_i + \Delta t)\} - \{\dot{u}(t_i)\} \quad (3.83)$$

$$\{\Delta\ddot{u}\}_i = \{\ddot{u}(t_i + \Delta t)\} - \{\ddot{u}(t_i)\} \quad (3.84)$$

$$\{\Delta F\}_i = \{F(t_i + \Delta t)\} - \{F(t_i)\} \quad (3.85)$$

### 3.2.1.2. Örne Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Programıyla

#### Solid Modellenmesi



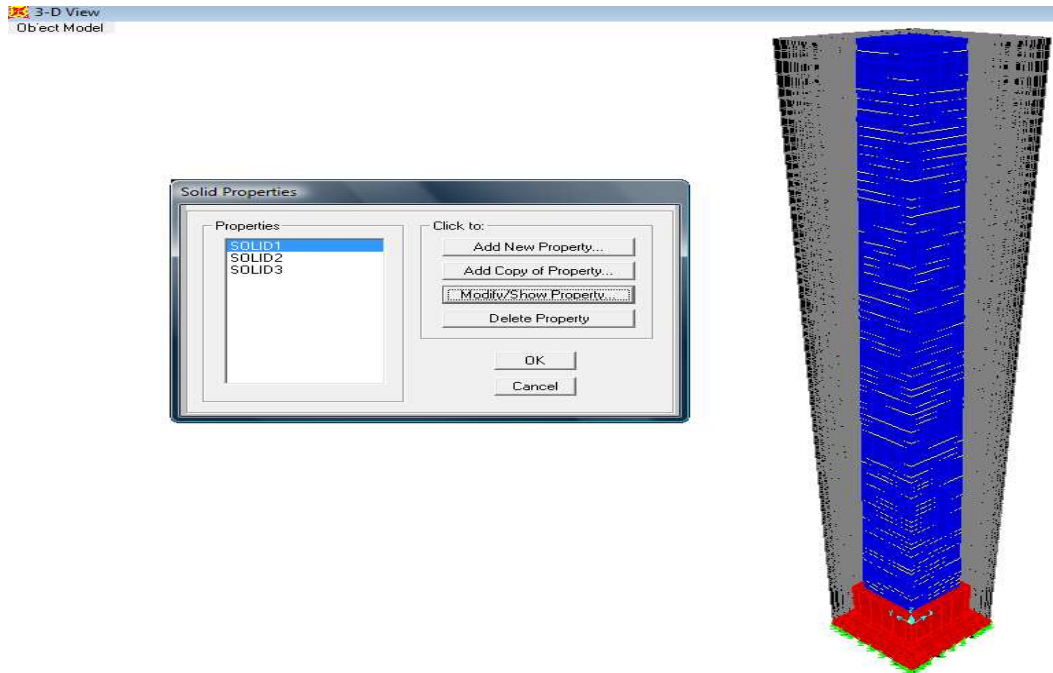
Şekil 46. Örne Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Solid Modellenmesi

### i. Model Koordinatların Tanıtılması

<b>KOT(m)</b>	<b>X(m)</b>	<b>Y(m)</b>
0,015	4,49	4,47
0,41	4,49	4,47
0,425	4,047	3,994
0,81	4,047	3,994
0,825	3,450	3,295
1,24	3,450	3,295
1,255	3,235	3,204
3,44	3,235	3,204
3,455	2,63	2,55
3,78	2,63	2,55
3,795	2,63	2,55
4,09	2,63	2,55
4,105	2,63	2,55
4,44	2,63	2,55
4,455	2,63	2,55
4,71	2,63	2,55
4,725	2,63	2,55
5,06	2,63	2,55
5,075	2,6161	2,5277
5,42	2,6161	2,5277
5,435	2,5642	2,4658
5,75	2,5642	2,4658
5,765	2,5332	2,4658
6,08	2,5332	2,4658
6,095	2,5290	2,4658
6,43	2,5290	2,4658
6,445	2,5290	2,4658

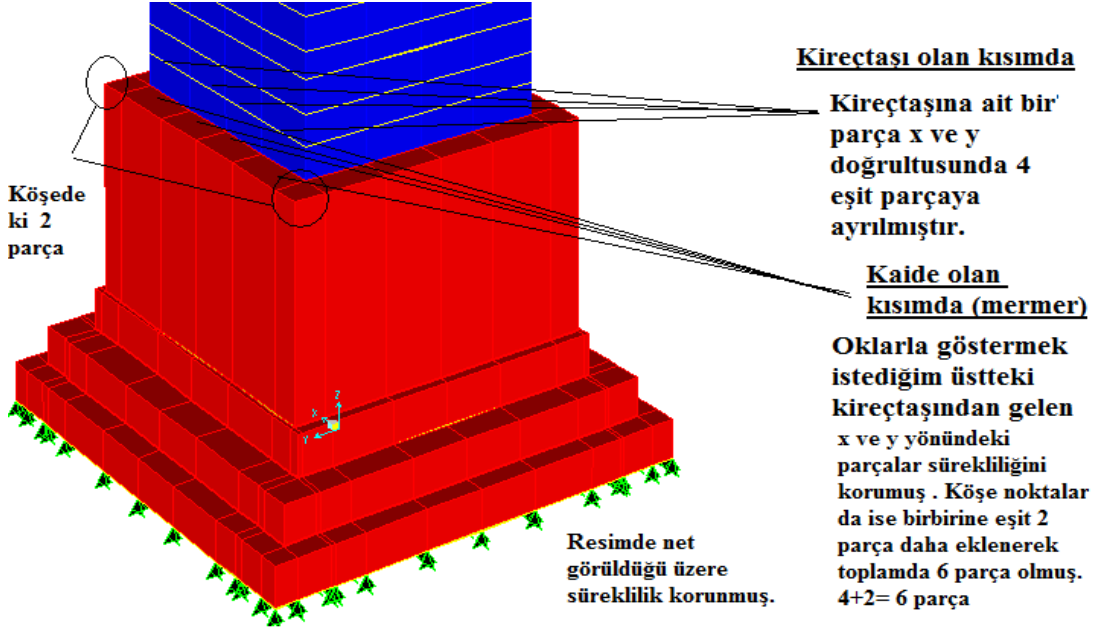
**Çizelge 2.** Model Koordinatların Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programına Veri Olarak Girilmesi

### ii. Örne Dikilitaş'ı Solid(Katı) Halde Modelleme

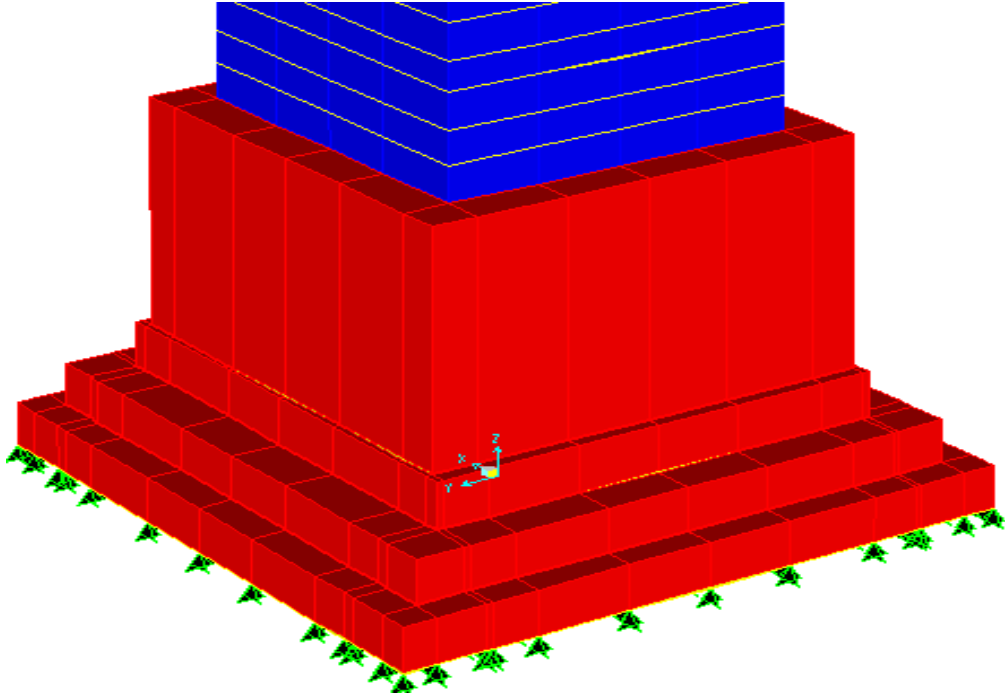


**Şekil 47.** Örne Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Solid(Katı) Modellenmesi

### iii. Örne Dikilitaş Modeline Meshleme İşleminin Yapılması

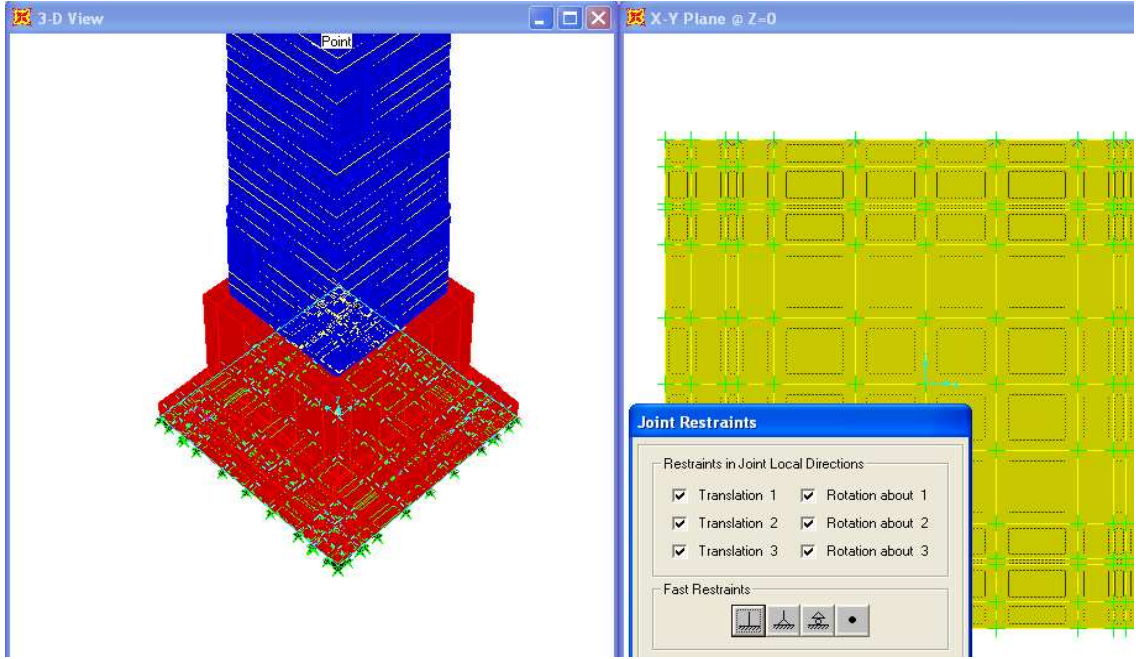


**Şekil 48.** Örne Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Meshleme İşleminin Gösterilmesi



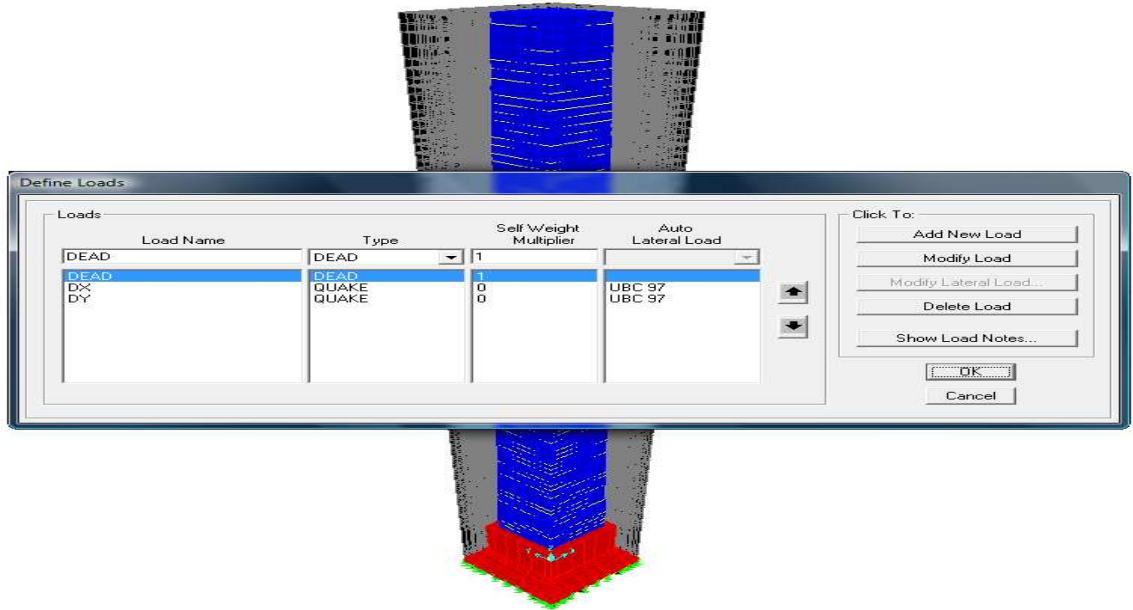
**Şekil 49.** Örne Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Meshleme İşleminin Yakından Gösterilmesi

#### iv. Örne Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının Mesnetlerinin Belirlenmesi



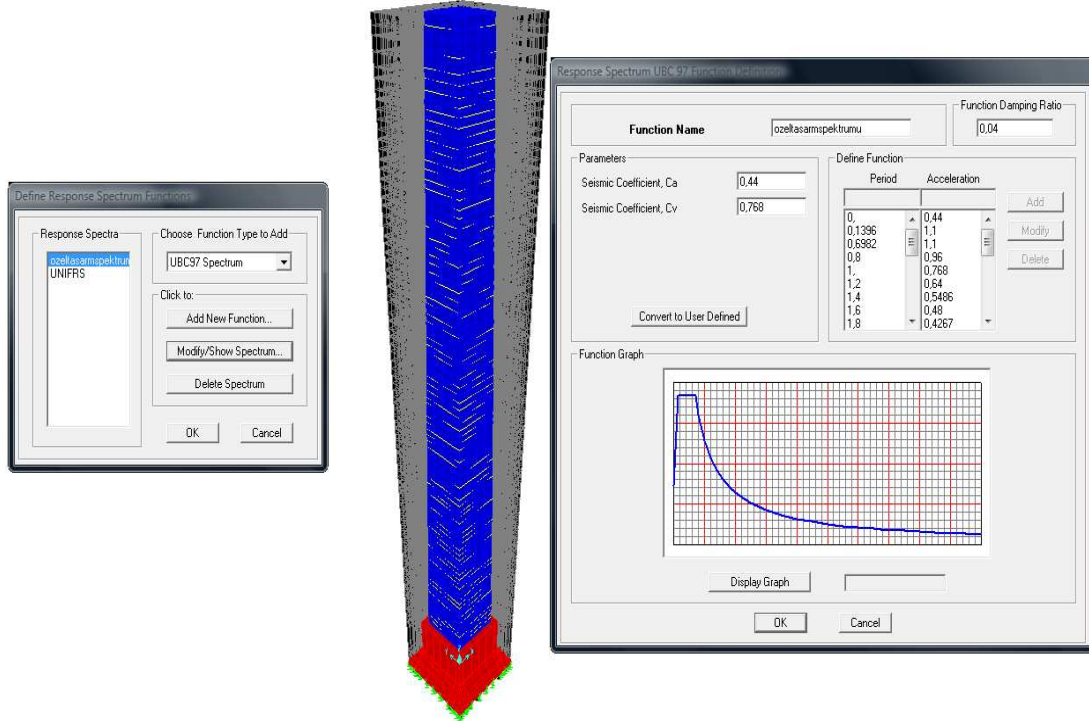
Şekil 50. Örne Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Temel Kısmının Mesnetlerinin Belirlenmesi

#### v. Örne Dikilitaş'ta Yüklerin Tanımlanması



Şekil 51. Örne Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Yüklerinin Tanımlanması

## vi. Örne Dikilitaş'ta Özel Tasarım İvme Spektrumun Tasarlanması



Şekil 52. Örne Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Özel Tasarım İvme Spektrumun Tasarlanması

## vii. Modelimizin Analiz İşleminin Gerçekleştirilmesi

```

Analysis Complete
File Name: C:\Documents and Settings\Semra Bal\Desktop\Tez sap model\tezsap model.SDB
Start Time: 21.07.2011 13:37:28 Elapsed Time: 00:00:40
Finish Time: 21.07.2011 13:38:08 Run Status: Done - Analysis Complete

SAP2000 Advanced Version 12.0.0.0 (Analysis Build 8757/32)
File: ...ocuments and Settings\Semra Bal\Desktop\Tez sap model\tezsap model.LOG

BEGIN ANALYSIS 2011/07/21 13:37:28

RUNNING ANALYSIS WITHIN A SEPARATE PROCESS
USING THE ADVANCED SOLVER (PROVIDES LIMITED INSTABILITY INFORMATION)

ELEMENT FORMATION 13:37:28

LINEAR EQUATION SOLUTION 13:37:36
FORMING STIFFNESS AT ZERO (UNSTRESSED) INITIAL CONDITIONS
TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS = 34815
NUMBER OF NON-ZERO STIFFNESS TERMS = 579327

*** WARNING ***
ZERO VALUES WERE DETECTED ON THE DIAGONAL DURING EQUATION
ASSEMBLY.
THESE VALUES WERE CHANGED TO 0.1E-09
TO OBTAIN FURTHER INFORMATION, USE THE STANDARD SOLVER.

```

Şekil 53. Örne Dikilitaş Yapısının Sap 2000 Advanced 11.0.4 Bilgisayar Programıyla Analiz İşleminin Gerçekleştirilmesi

Sap 2000 programının Advanced 11.0.4 versiyonunda “Örme Dikilitaş” yapısı solid olarak modellenmiş olup analiz işlemi başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Bu programın analiz sonuçları Bulgular kısmındaki 4.1.2’de detaylı bir şekilde açıklandı.

### 3.2.1.3 Tarihi Örme Dikilitaş Yapısının ANSYS Programında Sayısal Modellenmesi için Kullanılan Sonlu Eleman Özellikleri

ANSYS 11.0 programı, mühendislik alanında kullanılan bir simulasyon yazılımıdır. Bu yazılımın incelediği başlıca konular; yapısal analiz, termal analiz, elektromanyetik analiz ve akışkanlar analizidir. Yapısal analizde; lineer, lineer olmayan ve dinamik analiz için çok geniş bir ürün çözümü vardır.

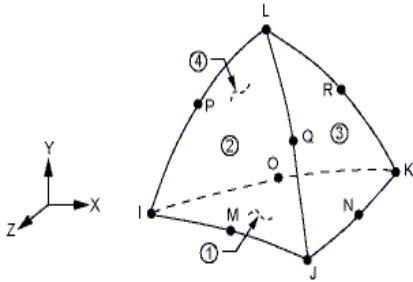


Şekil 54. Örme Dikilitaş Yapısının Genel Görünüşü

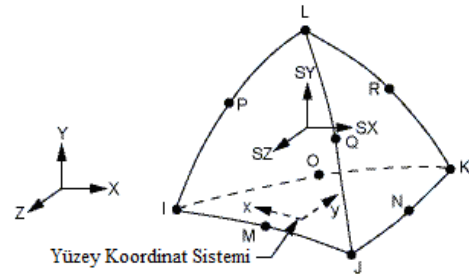
ANSYS'te sonlu elemanlar metoduyla söz konusu sistemi modellemek için solid (SOLID 187) ve kontak elemanları (CONTA 174 ve TARGE 170) kullanıldı.

- **SOLID 187**

SOLID 187 üç boyutlu, 10 düğümlü yapısal bir elemandır. 10 düğüm tarafından tanımlanan SOLID 187'nin her bir düğümü üç serbestlik derecesine sahiptir. Düğümlerde  $x,y,z$  yönlerinde ötelenme vardır (Şekil 55). Eleman plastiklik, hiperelastiklik, sünme, büyük deformasyon ve büyük şekil değiştirmelere sahiptir. Aynı zamanda neredeyse sıkıştırılmayacak elastoplastik malzemelerin ve tam sıkıştırılmayan hiperelastik malzemelerin deformasyonlarının simülasyonları için karışım formülasyonu yeteneğine de sahiptir. Elemanın gerilme yönleri, eleman koordinat sistemine paraleldir. Yüzey gerilme çıkışları yüzey koordinat sisteminde ve herhangi bir yüz için kullanılabilir. JIK yüzü için koordinat sistemi Şekil 56'da gösterilmiştir.



Şekil 55. SOLID 187 Geometrisi

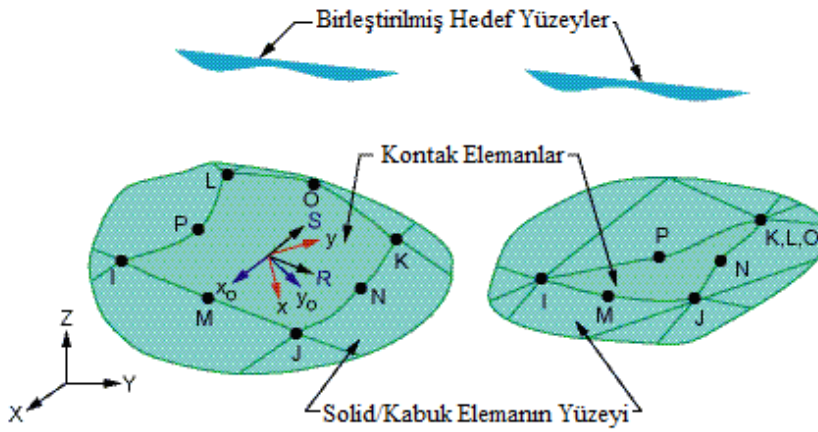


Şekil 56. SOLID 187 Gerilme Çıkışları

- **CONTA 174**

CONTA 174 üç boyutlu hedef yüzeyler ( TARGE 170) arasında kontak ve kaymayı temsil etmek üzere kullanılır ve deforme yüzey bu element tarafından tanımlanır. Eleman yapısal üç boyutlu ve çiftleştirilmiş alan kontak analizlerinde kullanılabilir. Bu eleman ortada bulunan düğümleri ile üç boyutlu solid ve kabuk elementlerin yüzeyleri üzerinde yer almaktadır. CONTA 174; solid veya kabuk eleman yüzleri gibi bağlandıklarında aynı geometrik karakteristiklere sahiptir (Şekil 55). Kontak; belirli bir hedef yüzey üzerinde, eleman yüzeyleri hedef parça elemanların ( TARGE 170) bir tanesinin içine işlemesiyle oluşur. Coulomb ve kayma gerilmesi

sürtünmesine izin verilir. Bu eleman ayrıca kontak bağının ayrılmasıyla arayüz delaminasyonunun simule edilmesine izin verir. Conta 174 izotropik ve ortotropik Coulomb sürtünmesini destekler. İzotropik sürtünme için sürtünme katsayısı tektir ve MU olarak ifade edilir. Üç boyutlu kontak elementi solidin veya kabuk elementin dış yüzeyiyle örtüşmelidir. Bu element nonlineerdir ve büyük ve küçük yerdeğiştirmeye bakılmaksızın “Full Newton İteratif” çözüm gerektirir( Şekil 57).



$R$  = İzotropik sürtünme için eleman x-ekseni

$x_0$  = Ortotropik sürtünme eğer global x-eksenine paralellik sağlanmazsa oluşan eleman ekseni

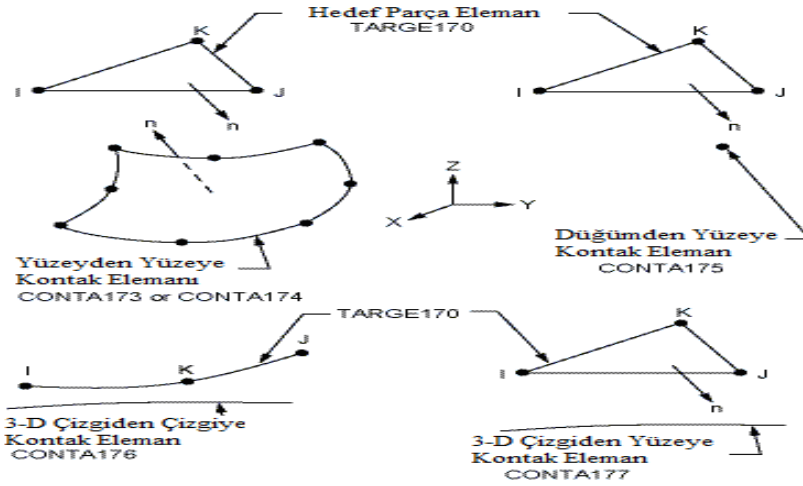
$x$  = Ortotropik sürtünme eğer global x-eksenine paralellik sağlandığı takdirde oluşan eleman ekseni

Şekil 57. CONTA 174 Geometrisi

- **TARGE 170**

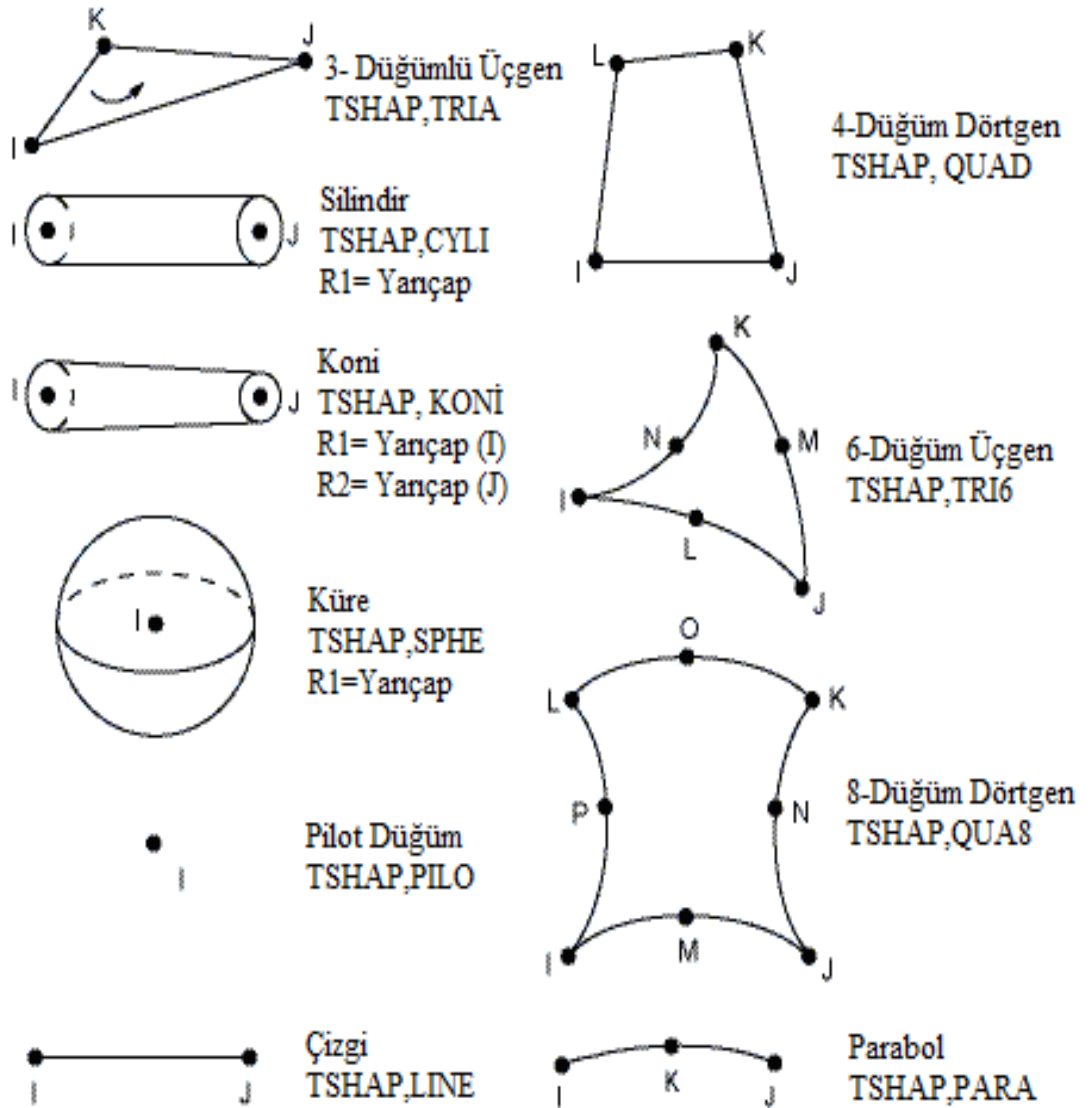
TARGE 170 birleşmiş kontak elemanlar için çeşitli üç boyutlu “hedef” yüzeyleri temsil etmek üzere kullanılır( CONTA 174 gibi). Kontak işleminde hedef yüzey TARGE 170 tarafından tanımlanır. Bu hedef yüzey, bir dizi hedef parça elemanları (TARGE 170) tarafından temsil ettirilir ve gerçekte katsayı dizisi vasıtasıyla kendisiyle ilgili kontak yüzeyi eşleştirilir. Bu elemanı kullanarak hedef parça eleman üzerinde herhangi bir translasyonel ya da dönel yer değiştirme, sıcaklık, voltaj ve manyetik potansiyel empoze edebiliriz. Hedef elemanlar üzerinde uygulamaya konulan kuvvetler ve momentler empoze edilebilir. Rijit hedef yüzeyleri için bu elemanlar karmaşık hedef şekillerine kolaylıkla model olabilir. Esnek hedefler için deforme hedef gövdesinin

sınırı olarak tarif edilen bu elemanlar solid, kabuk veya çubuk elemanlarla örtüşecektir(Şekil 58).



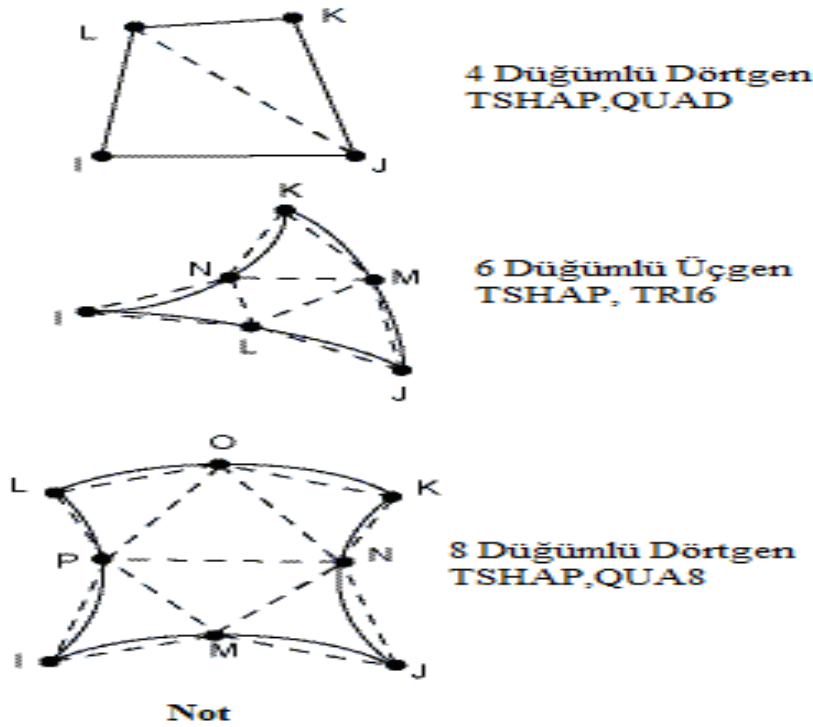
**Şekil 58.** TARGE170 Geometrisi

Hedef yüzey bir dizi hedef parçaları ile modellenir. Genellikle birkaç hedef parçaları ile bir hedef yüzeyi oluşturulur. Hedef yüzeyi rijit veya deforme olabilir. Rijit-Esnek kontak modellemek için, rijit yüzey, hedef yüzey tarafından temsil edilmesi gerekir. Esnek-Esnek kontak modellemek için deforme yüzeylerden biri hedef yüzey tarafından örtüşmelidir. Hedef ve ilgili kontak yüzeyleri ortak bir gerçek sabit dizisi vasıtasıyla tanımlanırlar. Genel 3-D yüzey parçaları ( 3-düğüm ve 6-düğüm üçgen ve 4-düğüm ve 8-düğüm dörtgen) ve primitif parçalar ( silindir, koni ve küre) üç boyutlu yüzeyden yüzeye kontak elemanları ile eşleştirilir. ( CONTA 174 ve benzerleri). Rijit hedef yüzeyleri için rijit yüzeyin her bir hedef parçası belirli bir şekli veya parça türü ile tek bir elemandır. Parça türleri birçok düğüm ve hedef şekil kodu ile tanımlanır. Şekil 59'da 3-D parça şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 59. TARGE170 Parça Türleri

Genel deforme hedef yüzeyleri için ESURF komutu, hedef elemanları mevcut mesh sınırının üzerine bindirmede kullanır. Komut alttaki eleman gibi aynı şekle sahip bir dış yüzey ile hedef elemanı oluşturur. Tavsiye edilmese de, dış yüzeyi üçgen yüz elemanlara bölmek ESURF,, TRI komutu tarafından da gerçekleştirilebilir(Şekil 60). Silindir, koni, küre veya pilot düğüm hedef parçaları, deforme hedef yüzeyleri için kullanılmamalıdır.

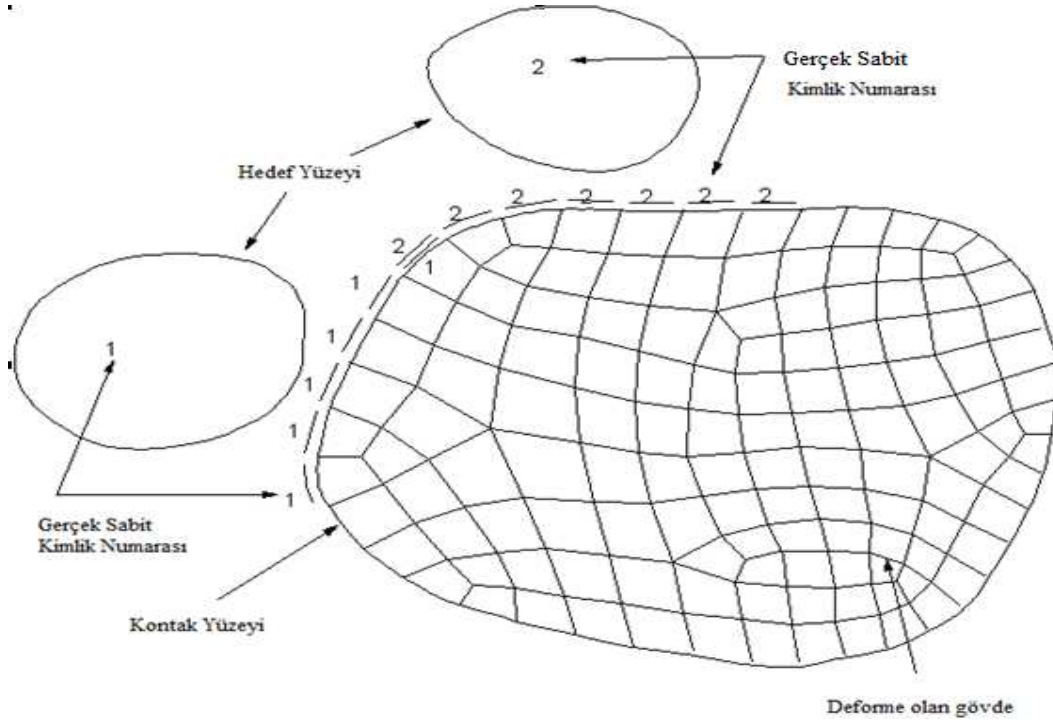


**Şekil 60.** Üçgen Görünürlü Elemanlar

Kontak problemleri büyük ölçüde nonlineer olup çözmek için bilgisayar kaynaklarına gerek duyulur. Kontak problemleri iki önemli zorluğu dikkat çeker. Birincisi, kontak bölgeleri genellikle problemi çözüme kadar bilinmez. İkincisi, çoğu kontak problemleri sürtünme için hesap gerektirir. Burada seçilebilecek birkaç sürtünme yasaları ve modelleri vardır ve hepside nonlineerdir. Sürtünmesel tepki, çözüm yakınsamasını zor hale getireceğinden kaotik olabilir. Bu iki zorluğa ilave olarak, pek çok kontak problemleri çoklu-alan etkilerini (örnek olarak kontak alanında ısı iletkenliği, elektrik akımı ve manyetik akımı) ele alır.

Kontak parametreleri iki genel sınıfa ayrılır: Rijit-Esnek ve Esnek-Esnek. Rijit-Esnek olan kontak problemlerinde bir veya daha fazla temas yüzeyleri rijit gibi davranır. Genel olarak yumuşak bir malzeme ile sert bir malzeme temas halindeyken problem Rijit-Esnek kabul edilir. ANSYS beş kontak model sunar: Dügüm-Dügüm, Dügüm-Yüzey, Yüzey-Yüzey, Çizgi-Çizgi ve Çizgi-Yüzey. Sunulan problemde Yüzey-Yüzey kontak modeli kullanılmıştır. Bu model için hedef yüzeyi TARGE 170 olup kontak yüzeyi ise

CONTA 174 elemanı ile modellenmiştir. Bu kontak elemanlar, kontak çifti oluşturmak için hedef yüzeyi ve kontak yüzeyini kullanır. Hedef ve Kontak elemanları, paylaşılan sabit dizi yoluyla birbirleriyle ilişki kurar. (Şekil 61)



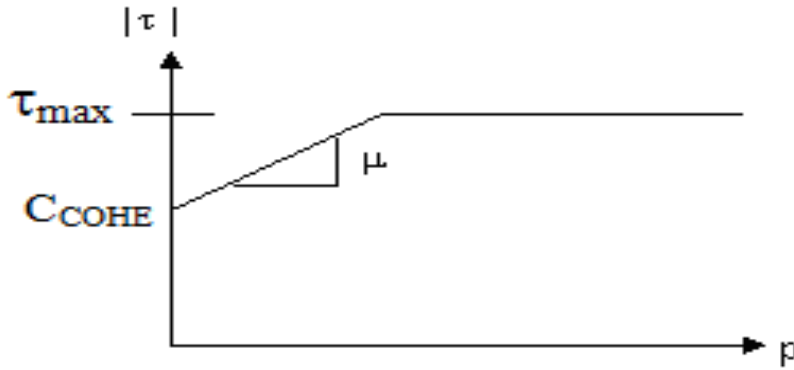
**Şekil 61.** Lokalize Edilen Kontak Bölgeler

Yüzey-Yüzey kontak elemanları sadece genel statik ve dinamik analiz, burkulma, harmonik, modal veya spektrum, veya altyapı analizlerini destekler. Yüzeyden yüzeye kontak elemanları kullanarak yüzeyler arasında ya Rijit-Esnek ya da Esnek-Esnek kontak modelleme yapılır. Kontak elemanlar, hedef yüzeyin penetrasyonuna karşı kısıtlandırılır. Ancak, hedef elemanlar kontak yüzey boyunca nüfus edebilir. Rijit-Esnek kontak için atama açıktır: Hedef yüzey her zaman rijit yüzey ve kontak yüzey ise her zaman deforme yüzeydir. Esnek-Esnek kontak için, yüzeyin kontak veya hedef mi olacağını belirlenmesi farklı miktarda penetrasyona sebep olabilir ve buda çözümün doğruluğunu etkiler. Sunulan problem asimetrik kontak gerektirir. Asimetrik kontakta, bütün kontak elemanları bir yüzey üzerinde ve bütün hedef elemanları diğer yüzey üzerinde tanımlanır. Buna bazen “one-pass” kontak da denir. Bu yol, yüzeyden yüzeye kontak modelini oluşturmak için en etkili yoldur. Eleman türü tanımlandıktan sonra, doğru gerçek sabit dizi seçilir. ANSYS uygun kontak rijitliğini hesaplamak için temel elemanların malzeme özelliklerini kullanır. Temel

eleman, plastisite malzeme özellikleri olarak tanımlandığı durumda (aktif ya da değil), kontak normal rijitliği 100 faktör tarafından azalacaktır. ANSYS otomatik olarak hedef (kayma) kontak rijitliği için değer tanımlar. Bu değer sürtünme katsayısı arayüzü (MU) ve normal rijitlik ile orantılıdır. Yüzeiden yüzeeye kontak elemanları için ANSYS çeşitli algoritmalar sunar: Penalty Metot (KEYOPT(2)=1) ; Augmented Lagrangian (Varsayılan) (KEYOPT (2)=0); Pure Lagrange multiplier on contact normal and tangent (KEYOPT(2)=4);Internal multipoint constraint (MPC) (KEYOPT(2)=2).

Coulomb Friction modelde, iki kontak yüzeyi birbirlerine göre kaymaya başlamadan önce belirli bir büyüklükte kayma gerilmeleri taşıyabilir. Bu durum yapışma olarak bilinir. Coulomb Friction model, eşdeğer kayma gerilmesini  $\tau$ , kontak basıncını  $p$ , sürtünme katsayısını  $\mu$  ve kohezyon kayma direncini  $C_{COHE}$  olarak tanımlar ( $\tau = \mu * p + C_{COHE}$ ). Kayma gerilmeleri aşıldıktan sonra iki yüzey birbiri üzerinden kayar. Bu durum kayma olarak bilinir. Yapışma/ Kayma hesapları ile bir noktanın yapışkanlıktan kaymaya veya tam tersine mi olacağı anlaşılır. ANSYS, klasik Coulomb Friction'ın bir uzantısını sunar.

$\tau_{max}$  maksimum kontak sürtünmesi gerilmesidir.



**Şekil 62.** Kontak Kayma Direnci

$$\tau = \mu * p + C_{COHE} \dots\dots\dots(3.86)$$

Maksimum kontak sürtünme gerilmesi, normal kontak basınç büyüklüğü ne olursa olsun oluşabilir. Sürtünme gerilmesi bu maksimum değere ulaştığında kayma

oluşacaktır. Bu arada kontak basıncı da çok büyük olur ( Varsayılan  $\tau_{\max}$  değeri  $1.0e^{20}$  ). Sürtünme kanunu için kullanılan bir başka gerçek sabit, kohezyondur.  $C_{\text{COHE}}$  olarak takdim edilir. Gerilme birimine sahiptir( Varsayılan  $C_{\text{COHE}}=0$  ). Kohezyon değeri sıfır olan normal basınç durumu bile kayma direnci sağlar. Sürtünme katsayısı, kontaktaki yüzeyin göreceli hızına bağlı olabilir. Genellikle statik sürtünme katsayısı dinamik sürtünme katsayısına göre daha büyüktür. ANSYS aşağıdaki üstel azalış sürtünme modelini sunar.

$$\mu = \mu_d + (\mu_s - \mu_d) * e^{-d_c * V_{rel}} \dots\dots\dots(3.87)$$

$$d_c = -\frac{1}{V_{rel1}} * \ln\left(\frac{\mu_1 - \mu_d}{\mu_s - \mu_d}\right) \dots\dots\dots(3.88)$$

$\mu$  : Sürtünme katsayısı

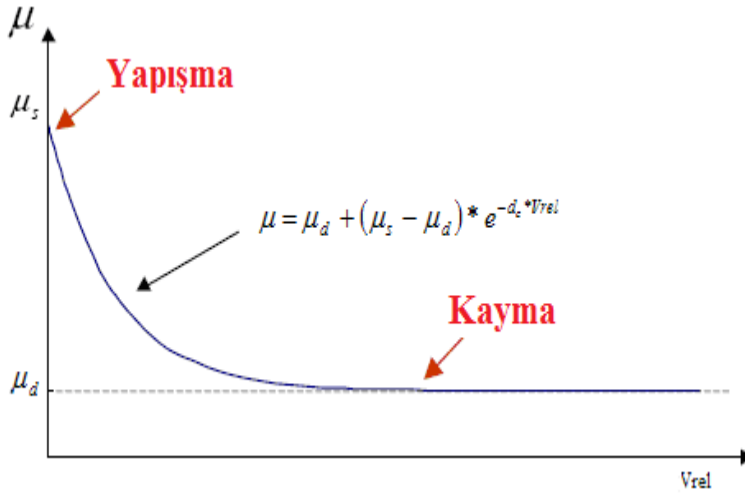
$d_c$  : Azalış Katsayısı

$\mu_d$  : Dinamik Sürtünme Katsayısı

$\mu_s$  : Statik Sürtünme Katsayısı

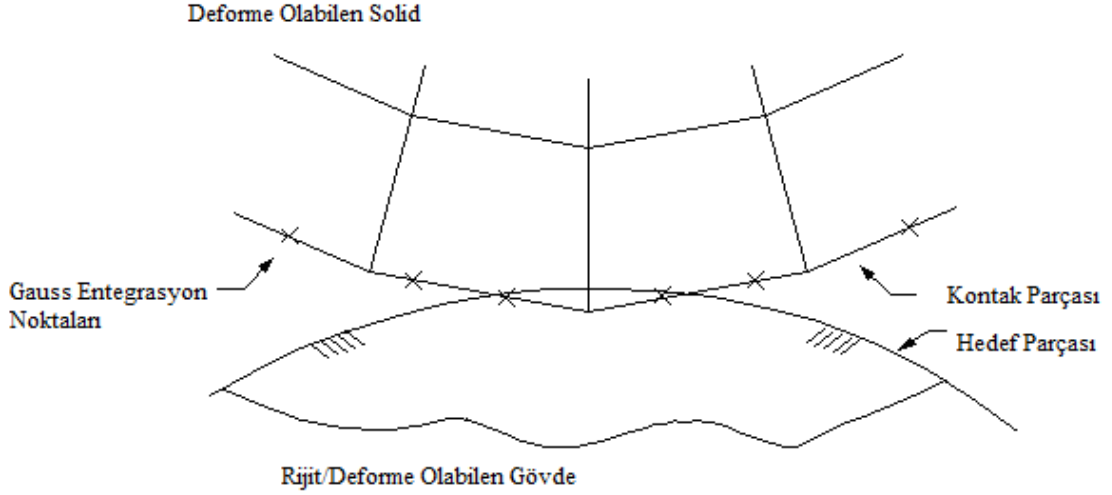
$V_{rel}$  : ANSYS tarafından hesaplanan kayma oranı

Sürtünme katsayısının varsayılan değeri 1.0'dır. Azalış katsayısı  $d_c$  olarak simgelenir. Birimi zaman/uzunluk'tur. Bu yüzden zaman, statik analizde anlam taşır.  $d_c$ 'nin varsayılan değeri 0'dır.  $d_c$  sıfırken denklem yeniden yazılırsa  $\mu = \mu_d$  için kayma durumu ve  $\mu = \mu_s$  için yapışma durumu gerçekleşir. "Sürtünme Azalması" üstel azalma eğrisi Şekil 63'de ilişkili olarak gösterilmiştir.



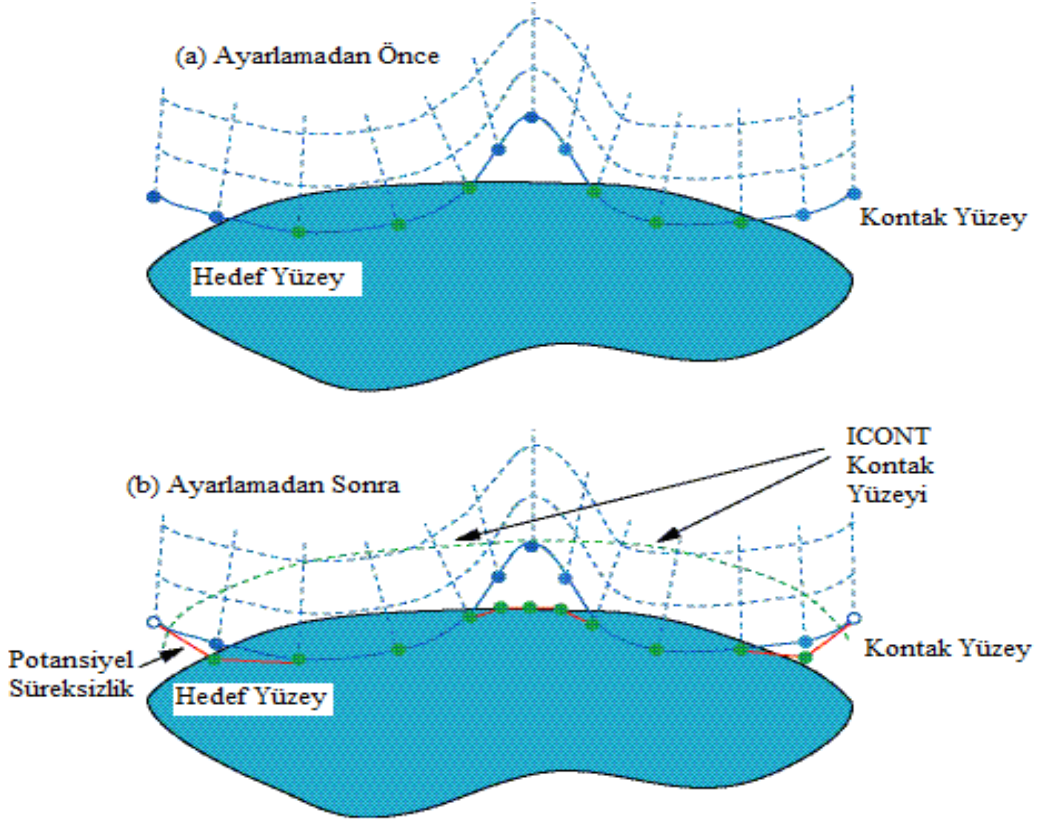
Şekil 63. Kontak Modelde Yapışma ve Kayma

ANSYS'te Yüzey-Yüzey kontak elemanları Gauss entegrasyon noktalarını varsayılan olarak kullanır. Genellikle düğüm algılama düzenine göre daha doğru sonuçlar sunar. Düğüm algılama düzeninde, düğümler kendilerini entegrasyon noktaları gibi kullanır. (Şekil 64).



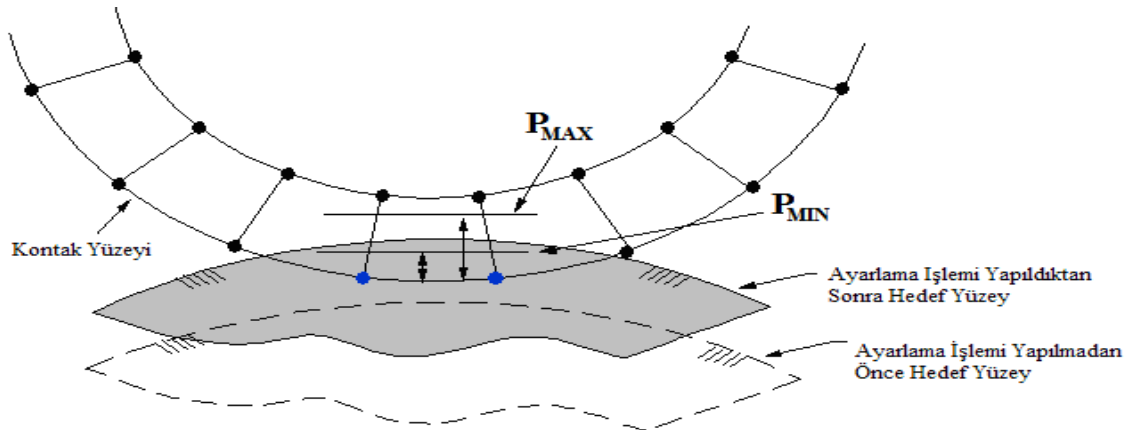
**Şekil 64.** Gauss Noktalarında Yer Alan Kontak Tespiti

Sunulan problemde kontak yüzeyi hedef yüzeyi doğrultusundadır.(Diğer bir deyişle kontak uzaklığı ( $C_{NOF}$ ) 0 değerindedir.) Kontak yüzeyinde, başlangıç kontak kapatma ayarı tanımlaması yapılır. ( $I_{CONT}$ , Şekil 65)



**Şekil 65.** Başlangıç Kontak Kapatma ile Kontak Yüzey Ayarı Tanımlaması ( $I_{CONT}$ )

Kontak yüzey ayar tanımlaması başlangıç için izin verilebilir penetrasyon ( $P_{MIN}$ ,  $P_{MAX}$ ) ile Şekil 66’da gösterilmiştir.



**Şekil 66.** Başlangıç için izin verilebilir penetrasyon ile kontak yüzey ayar tanımlaması

Standart bir kontak için “contact opening stiffness” ( $F_{FKOP}$ ) kontak sönüm katsayısını tanımlar. Bu seçenek esas olarak kontak ve hedef yüzeyler arasında görelî

hareketlerin sönümünde kullanılır.  $F_{FKOP}$  rijit gövde hareketinin riskini azaltmak için belli bir direnç sağlar. Kontak kuvvetine dayalı model için birim, kuvvet/hız 'dır. Kontak sönüm katsayısını belirtmek için  $F_{FKOP}$  için negatif değer girilmelidir. Pozitif değerler göz ardı edilecektir.

Sunulan sistem için kullanılan kullanılan kontak parametreleri Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Tarihi Örme Dikilitaş Yapısında Kullanılan Kontak Parametreleri

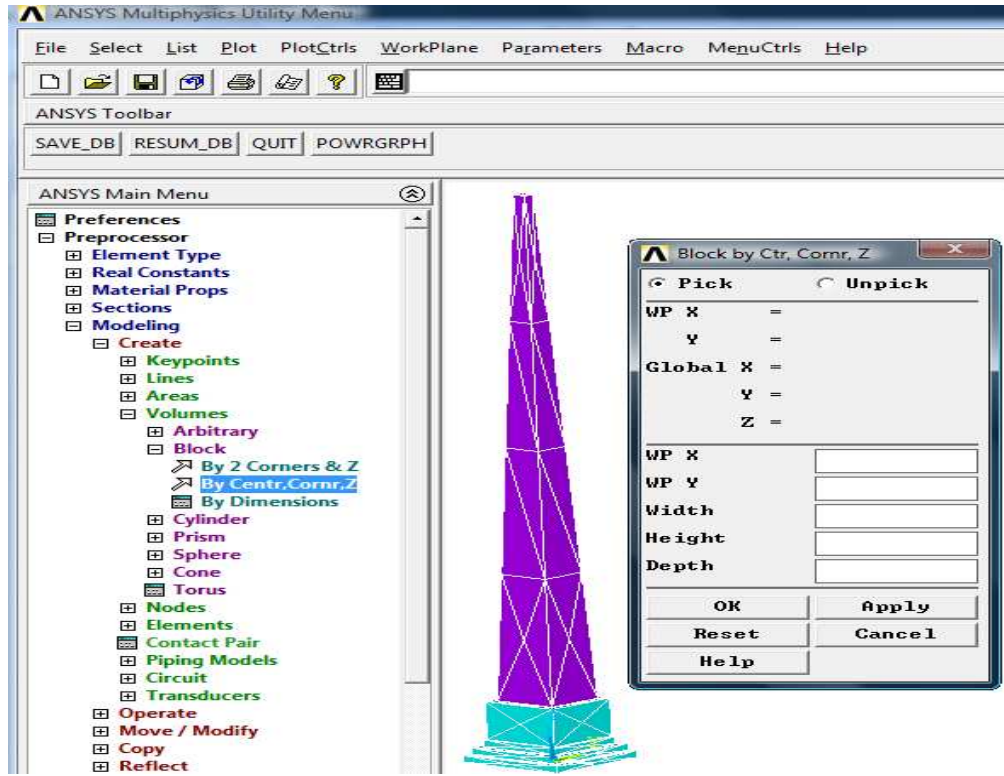
<b>Kontak Parametreleri</b>	<b>ANSYS'te Simgesi</b>	<b>Sunulan Sistem İçin Kullanılan Değer</b>
Normal Penalty Rijitlik Faktörü	FKN	1
Penetrasyon Tolerans Faktörü	FTOLN	1
Başlangıç Kontak Kapaması	ICONT	0
Başlangıç Penetrasyonun Üst Limiti	PMAX	0.0001
Başlangıç Penetrasyonun Alt Limiti	PMIN	0
Maksimum Sürtünme Gerilmesi	TMAX	$10^{20}$
Kontak Yüzey Uzaklığı	CNOF	0
Kontak Başlangıç Rijitliği	EKOP	1
Tangent Penalty Rijitlik Faktörü	FKT	1
Kontak Kohezyonu	COHE	0
Statik/ Dinamik Oran	FACT	1
Üstel Azalış Katsayısı	DC	0
Sürtünme Katsayısı	MU	$1.10^{-5}$
Kontak Yüzey Davranışı → Standart Kontak		

Tarihi Örme Dikilitaş yapısının ANSYS'te sayısal sonlu eleman modeli, üç boyutlu solid elemanlar (SOLID 187) tarafından modellenmiştir. Örme Dikilitaş yapısının mermerden oluşan 3 basamak ve kaidesi 4 kayma yüzeyine sahiptir. Horasan harcı kullanılan bu kayma yüzeyleri CONTA 174 ve TARGE 170 kontak elemanlarıyla modellenmiştir.

### i. ANSYS'te Örne Dikilitaş Yapısının Koordinatlarının Programa Girilmesi

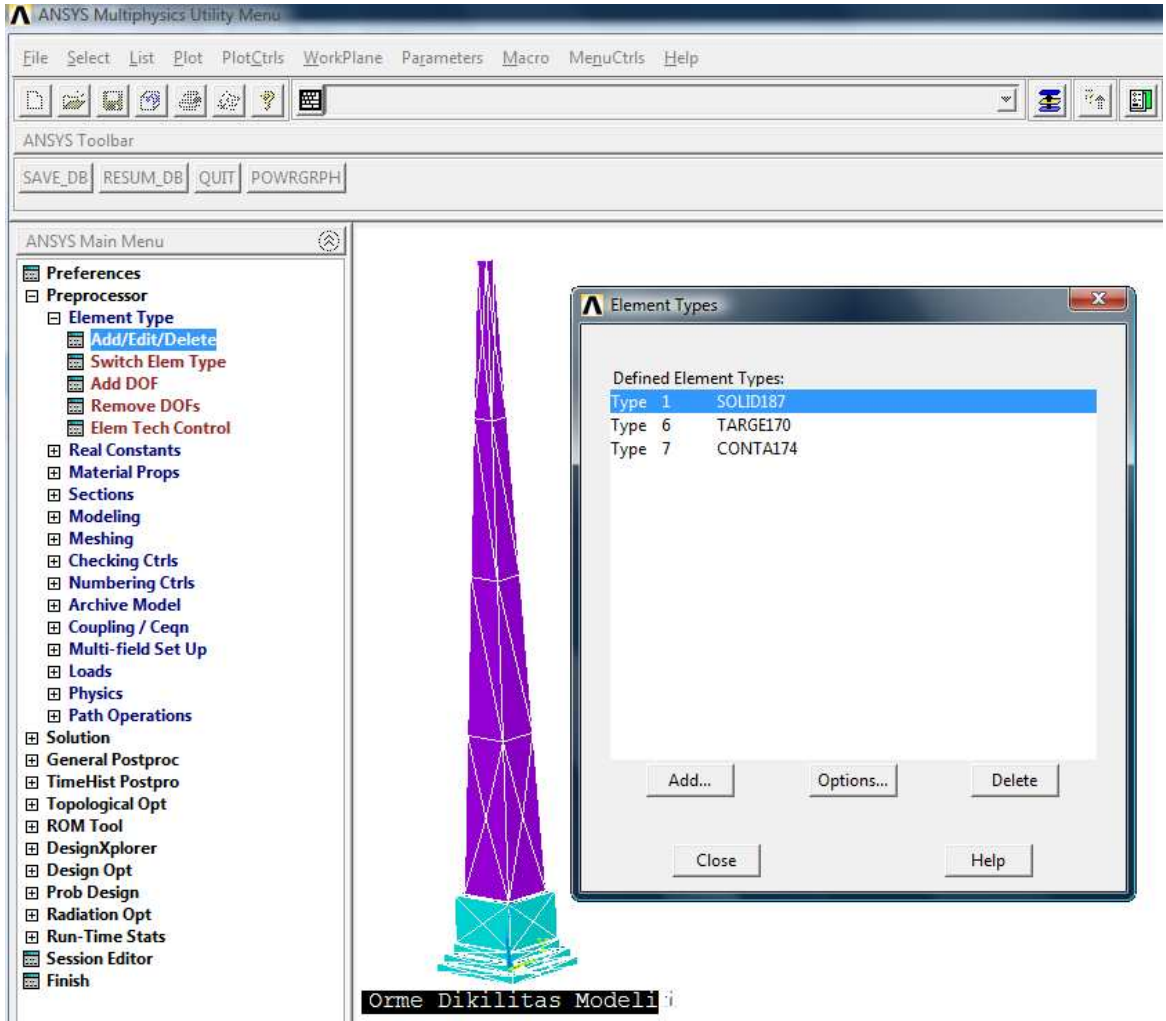
<u>KOT(m)</u>	<u>X(m)</u>	<u>Y(m)</u>
0,015	4,49	4,47
0,41	4,49	4,47
0,425	4,047	3,994
0,81	4,047	3,994
0,825	3,450	3,295
1,24	3,450	3,295
1,255	3,235	3,204
3,44	3,235	3,204

**Çizelge 4.** ANSYS 11.0 Versiyon Programında Örne Dikilitaş Yapısının Koordinatlarının Girilmesi



**Şekil 67.** Örne Dikilitaş Yapısında Koordinatlar Girilerek Ansys 11.0 Versiyon Programıyla Solid Oluşturma

## ii. Ansys'te Eleman Türünün Seçilmesi



**Şekil 68.** Örne Dikilitaş Yapısının Ansys 11.0 Versiyon Programında Eleman Türünün Seçilmesi

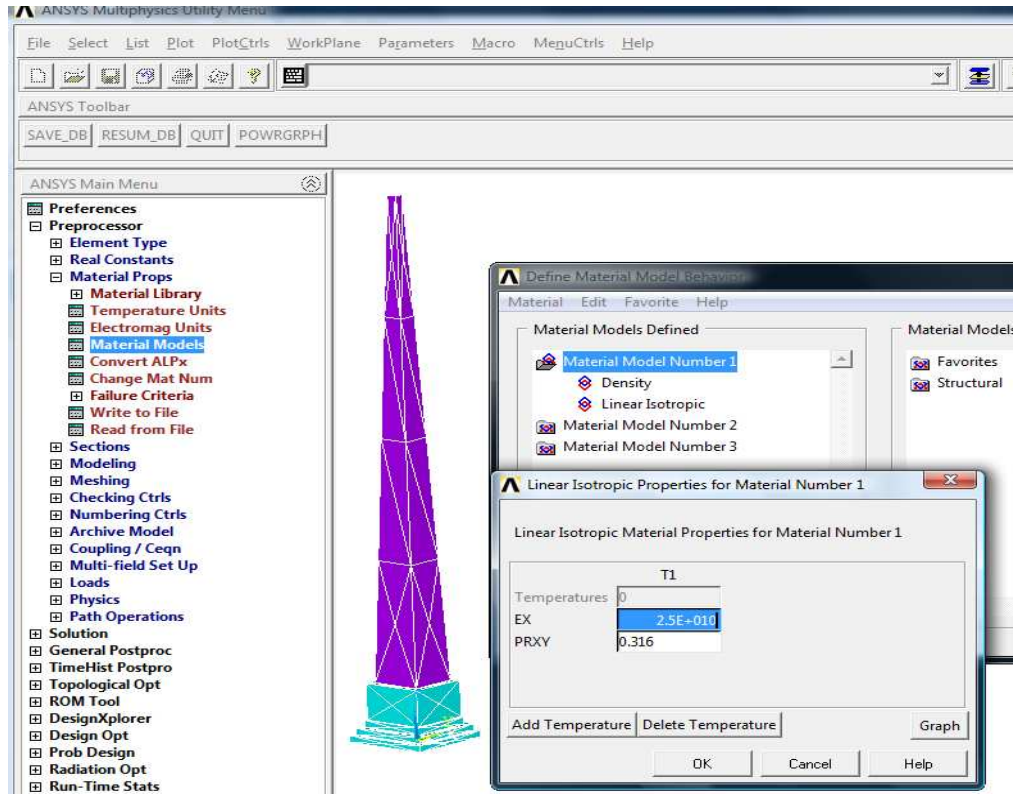
### iii. Örne Dikilitaş Yapısında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Sunulan problemde kullanılan malzemelerin fiziksel parametreleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Malzeme Türü	Elastisite Modülü (N/m <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Birim Hacim Ağırlık (N/m <sup>3</sup> )	Akma Dayanımı (N/m <sup>2</sup> )	Tang Mode (N/m <sup>2</sup> )
1.Mermer	$2,5 \cdot 10^{10}$	0,316	27468	-	-
2.Kireçtaşı (Küfeki)	$1 \cdot 10^{10}$	0,35	25800	-	-
3.Horasan Harcı	$3,89 \cdot 10^9$	0,167	13342	$2,745 \cdot 10^6$	$0,235 \cdot 10^9$

Çizelge 5. Tarihi Örne Dikilitaş Yapısının Malzemelerinin Fiziksel Parametreleri

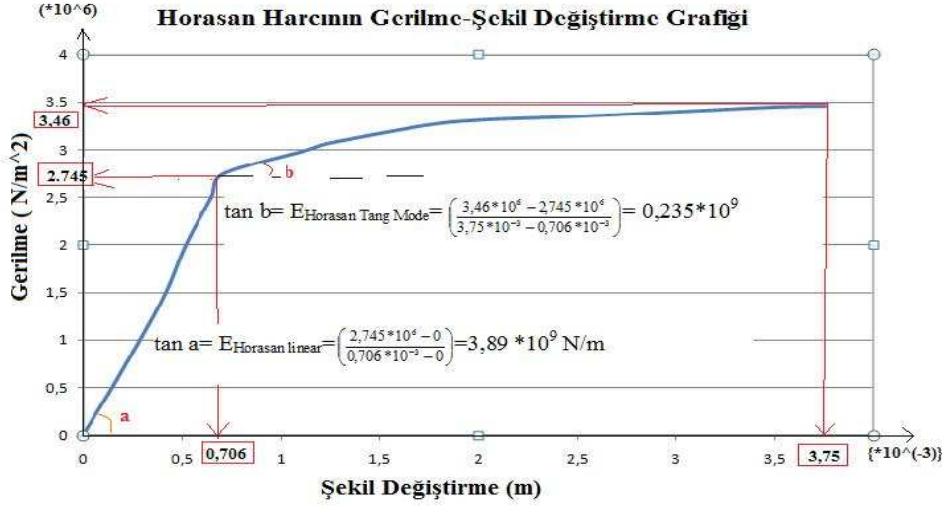
### iv. ANSYS'te Malzeme Özelliklerinin Girilmesi



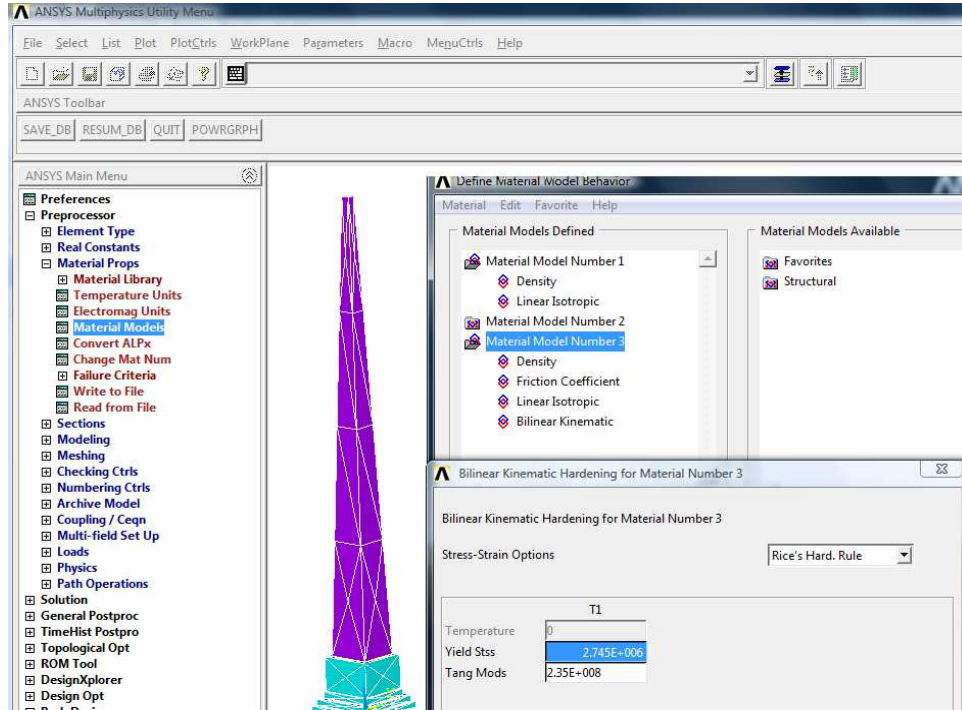
Şekil 69. ANSYS 11.0 Versiyon Programıyla Malzeme Özelliklerinin Girilmesi

## v. ANSYS'te Horasan Harcı Malzemesinin Özelliklerinin Girilmesi

Horasan Harcı elasto-plastik bir malzeme olup aşağıda malzemeye ait gerilme – şekil değiştirme diyagramı gösterilmiştir (Drdácký, Mašín , Mekonone ve Slížková, 2008)

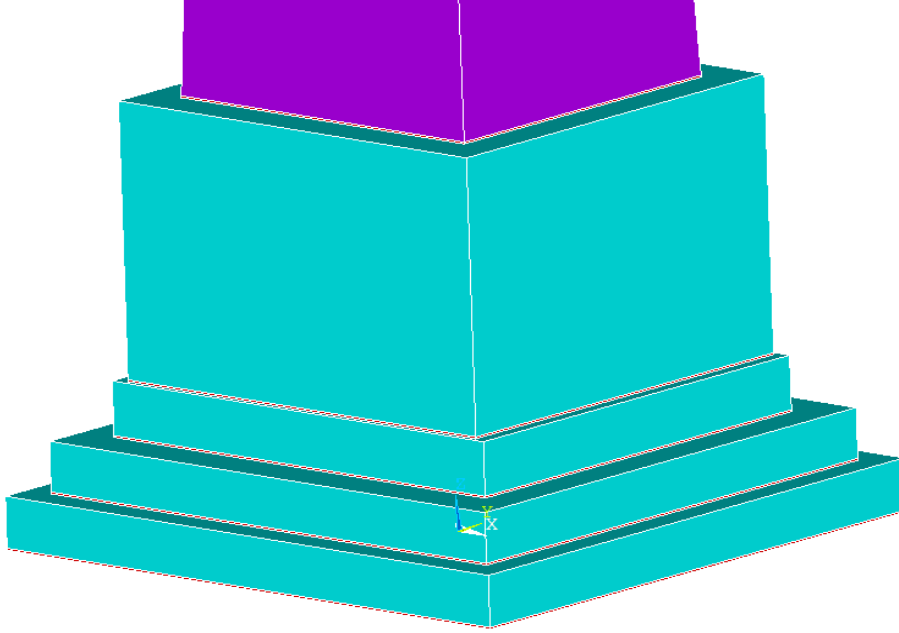


Şekil 70. Örne Dikilitaş Yapısında Kullanılan Horasan Harcının Gerilme& Şekil Değiştirme Diyagramı



Şekil 71. Ansys 11.0 Versiyon Programıyla Horasan Malzemesinin Özelliklerinin Girilmesi

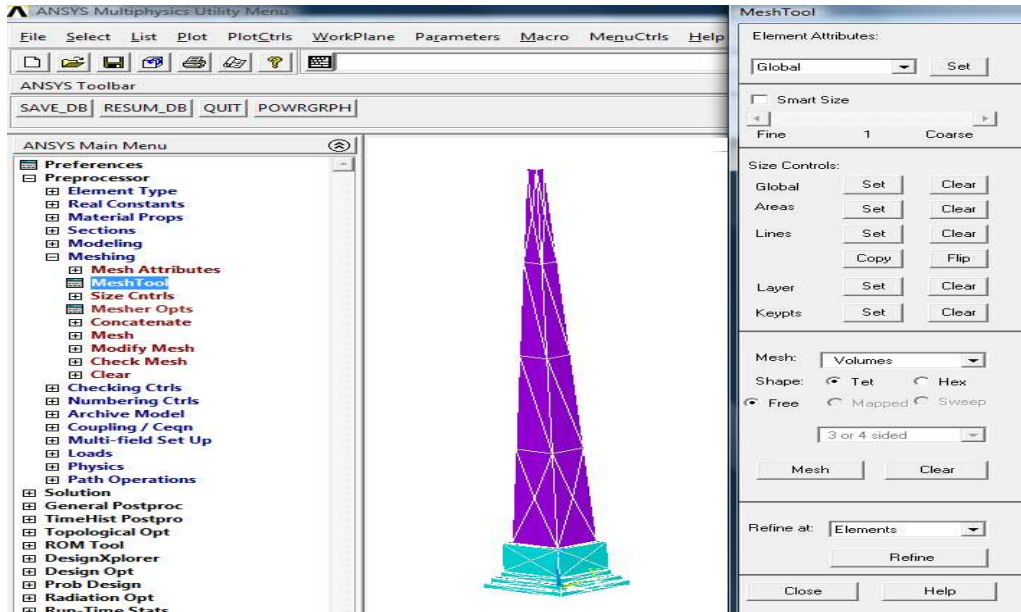
## vi. ANSYS'teki Modelimizde Hangi Solid'in (Katının) Hangi Malzemeye Ait Olduğunu Belirleme İşlemi



Orme Dikilitas Modeli

Şekil 72. ANSYS'teki Modelimizde Hangi Solidin Hangi Malzemeye Ait Olduğunu Belirleme İşlemi

## vii. ANSYS'teki Modelimizde Mesh Oluşturma İşlemi



Şekil 73. ANSYS'teki Modelimizde Mesh Oluşturma İşlemi

### viii. ANSYS'teki Modelimize Kontak Parametrelerinin Girilmesi

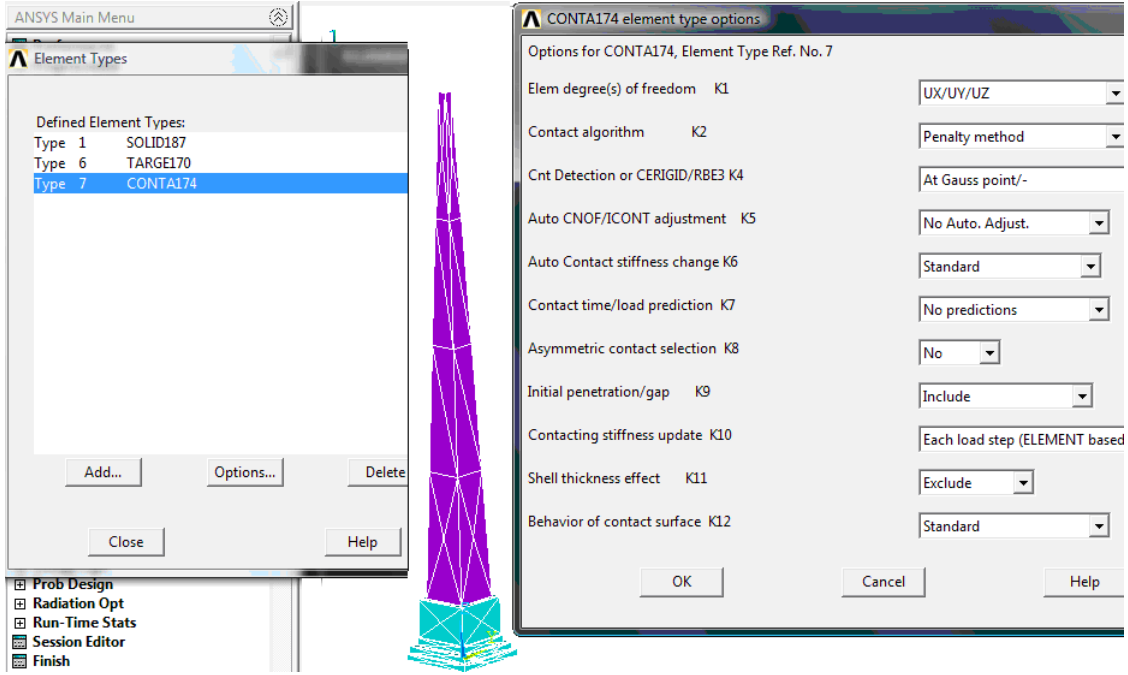
Sunulan sistem için kullanılan kullanılan kontak parametreleri Çizelge 6'da verilmiştir.

**Çizelge 6.** Tarihi Örne Dikilitaş Yapısında Kullanılan Kontak Parametreleri

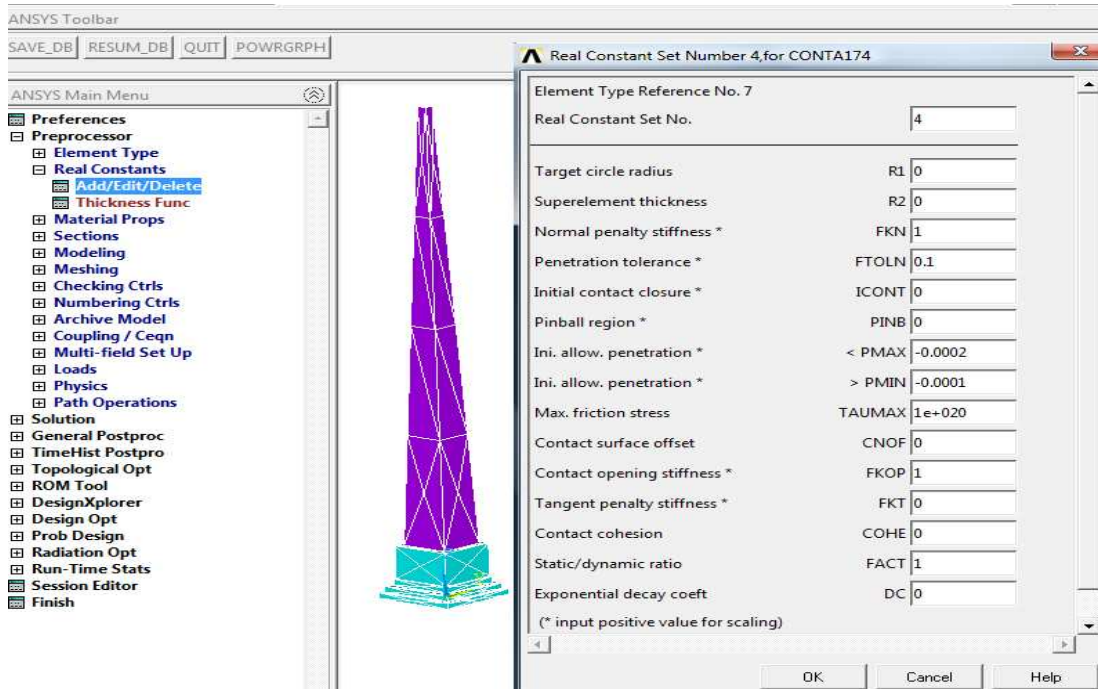
<b>Kontak Parametreleri</b>	<b>ANSYS'te Simgesi</b>	<b>Sunulan Sistem İçin Kullanılan Değer</b>
Normal Penalty Rijitlik Faktörü	FKN	1
Penetrasyon Tolerans Faktörü	FTOLN	1
Başlangıç Kontak Kapaması	ICONT	0
Başlangıç Penetrasyonun Üst Limiti	PMAX	0.0001
Başlangıç Penetrasyonun Alt Limiti	PMIN	0
Maksimum Sürtünme Gerilmesi	TMAX	$10^{-20}$
Kontak Yüzey Uzaklığı	CNOF	0
Kontak Başlangıç Rijitliği	EKOP	1
Tangent Penalty Rijitlik Faktörü	FKT	1
Kontak Kohezyonu	COHE	0
Statik/ Dinamik Oran	FACT	1
Üstel Azalış Katsayısı	DC	0
Sürtünme Katsayısı	MU	$1.10^{-5}$
Kontak Yüzey Davranışı → Standart Kontak		

Tarihi Örne Dikilitaş yapısının sayısal sonlu eleman modeli üç boyutlu solid elemanlar (SOLID 187) tarafından modellenmiştir. Örne Dikilitaş yapısının mermerden oluşan 3 basamak ve kaidesi 4 kayma yüzeyine sahiptir. Horasan harcı kullanılan bu kayma yüzeyi CONTA 174 ve TARGE 170 contact elemanlarıyla modellenmiştir.

## ix. ANSYS'teki Modelimize Kontak Parametrelerinin Girilmesi ve Uygulanması

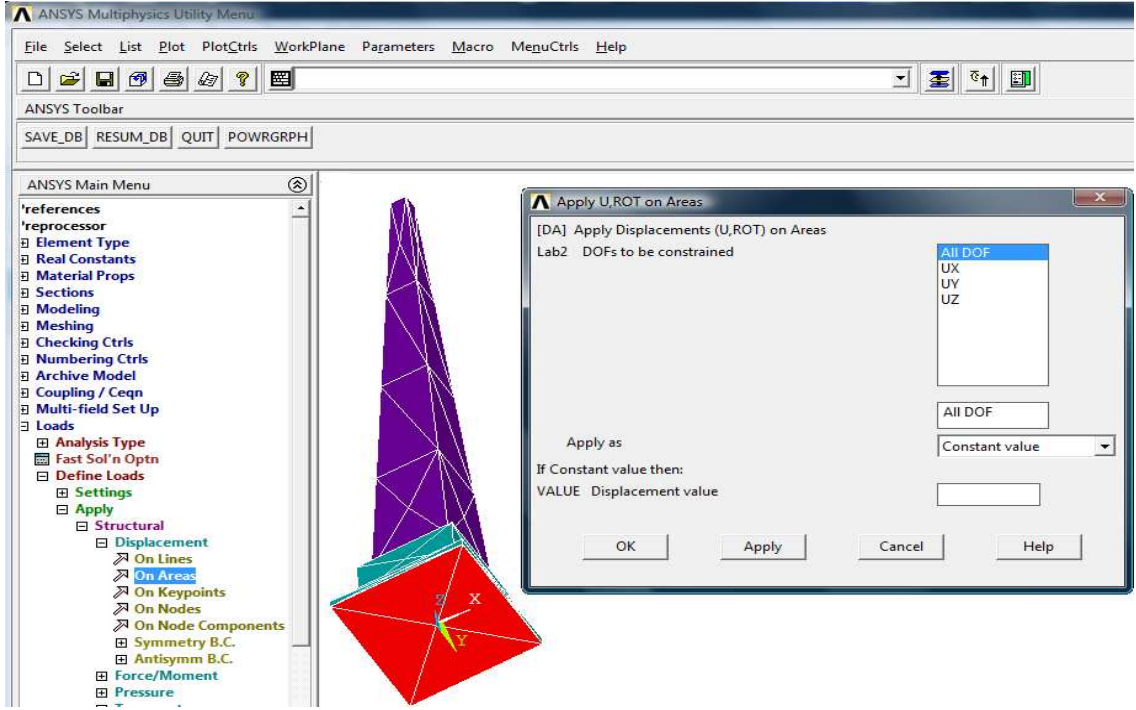


Şekil 74. ANSYS'teki Modelimizde CONTA 174 Kontak Elemanın Özellikleri



Şekil 75. ANSYS'teki Modelimizde CONTA 174 Kontak Elemanın Gerçek Sabit Dizi Değerler

## x. ANSYS'teki Modelimizde Sınır Koşullarını Oluşturma İşlemi

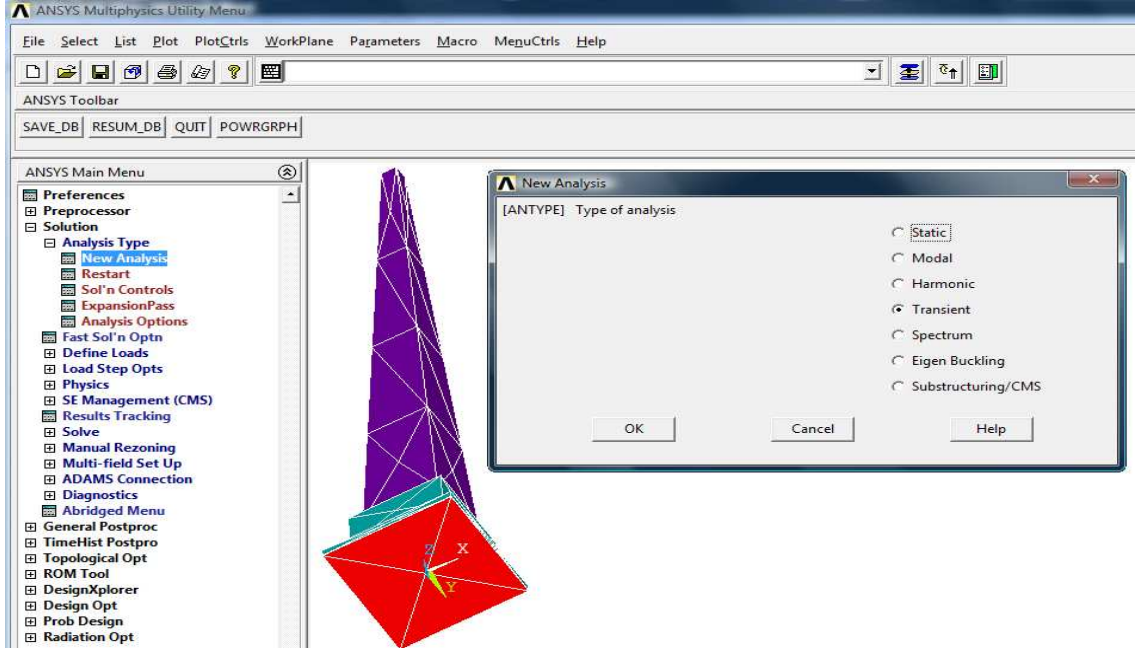


Şekil 76. ANSYS'teki Modelimizde Sınır Koşullarının Oluşturulması

## xi. ANSYS'te Analiz İşleminin Gerçekleşmesi

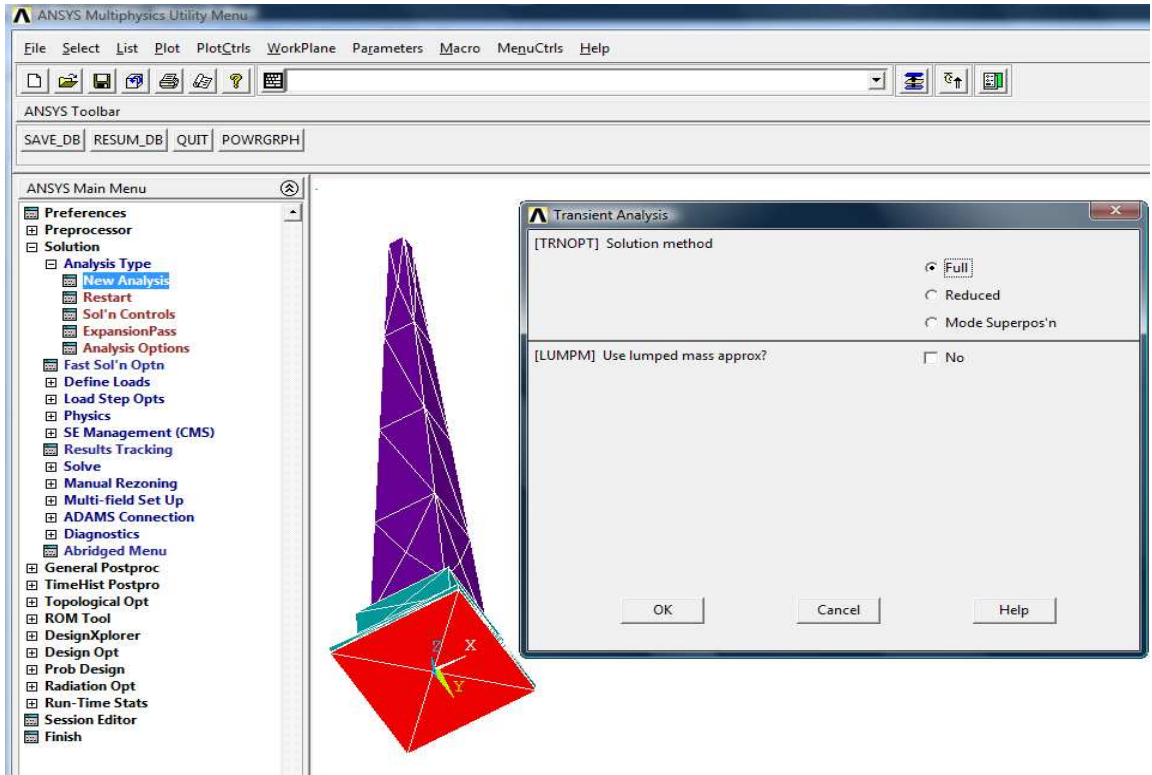
ANSYS programı ile lineer ve nonlinear yapı analizi yapılabilmektedir. Analiz tipi modelde kullanılan malzeme modeline ve eleman tipine bağlıdır. Analizler ayrıca Statik, Modal, Dinamik (Transient Dynamic) vs. olarak da farklılık gösterir. Lineer veya nonlinear olan Statik veya Dinamik analiz yapmak mümkündür.

Analiz tipi Solution → Analysis Type → New Analysis menüsü aracılığıyla belirlenebilir.



Şekil 77. ANSYS'te Analiz İşleminin Gerçekleşmesi

Solution → Analysis Type → New Analysis → Transient → Ok → Full Method → Ok



Şekil 78. ANSYS'te Analiz İşleminin Gerçekleşmesi

Sonlu eleman modeliyle oluşan sisteme Düzce Depreminin gerçek ivme-zaman değerleri uygulandı. ( Düzce depreminin büyüklüğü 7.2 olup süresi 30 saniyedir). Ansys'te modellediğimiz “Örme Dikilitaş” yapının dinamik analizini inceleyebilmemiz için yörede veri olarak kayıtlı en şiddetli depremlerden biri olan Düzce Depremi ele alınmıştır.

## xii. Düzce Depremi Hakkında Genel Bilgiler :

1999 Düzce Depremi	
Tarih	12 Kasım 1999
Saat	16:57 UTC 18:57 Türkiye saati
Büyüklük	7.2
Şiddet	IX
Derinlik	17 km
Merkez üs	Düzce
Süre	30 saniye
Etkilenen ülkeler/bölgeler	 Türkiye
Kayıplar	845 ölü ve 4.948 yaralı

Şekil 79. Düzce Depremi Hakkında Genel Bilgiler

([http://tr.wikipedia.org/wiki/1999\\_D%C3%BCzce\\_Depremi](http://tr.wikipedia.org/wiki/1999_D%C3%BCzce_Depremi) , 21.07.2011)

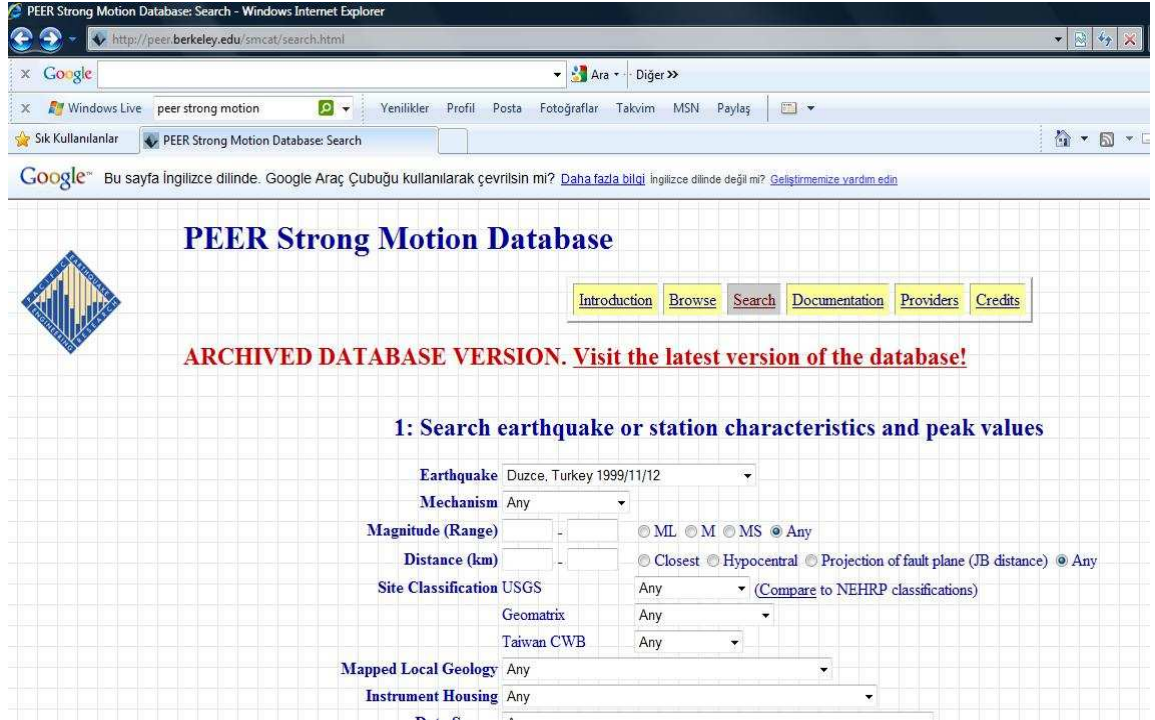
Merkez üstü Düzce ili 12 Kasım 1999 Cuma günü saat 18.57'de aletsel büyüklüğü 7.2 şiddetinde bir deprem meydana geldi. Deprem merkez üssü Düzce ve çevresinde yıkıma yol açtı. 30 saniye süreyle etkili olan deprem, pek çok ilin yanı sıra Ukrayna'dan da hissedildi. Başbakanlık Kriz Yönetim Merkezi'nin açıklamasına göre, ölü sayısı 845, yaralı sayısı 4948. Depremde hasar gören ve derhal yıkılması gereken bina sayısı 3395, yıkık ya da ağır hasarlı ev sayısı 12939, iş yeri sayısı ise 2450'dir.

- Depremin Büyüklüğü : 7.2
- Enlem-Boylam : 40.768 Kuzey-31.148 Doğu
- Odak Derinliği(h) : 14 km.

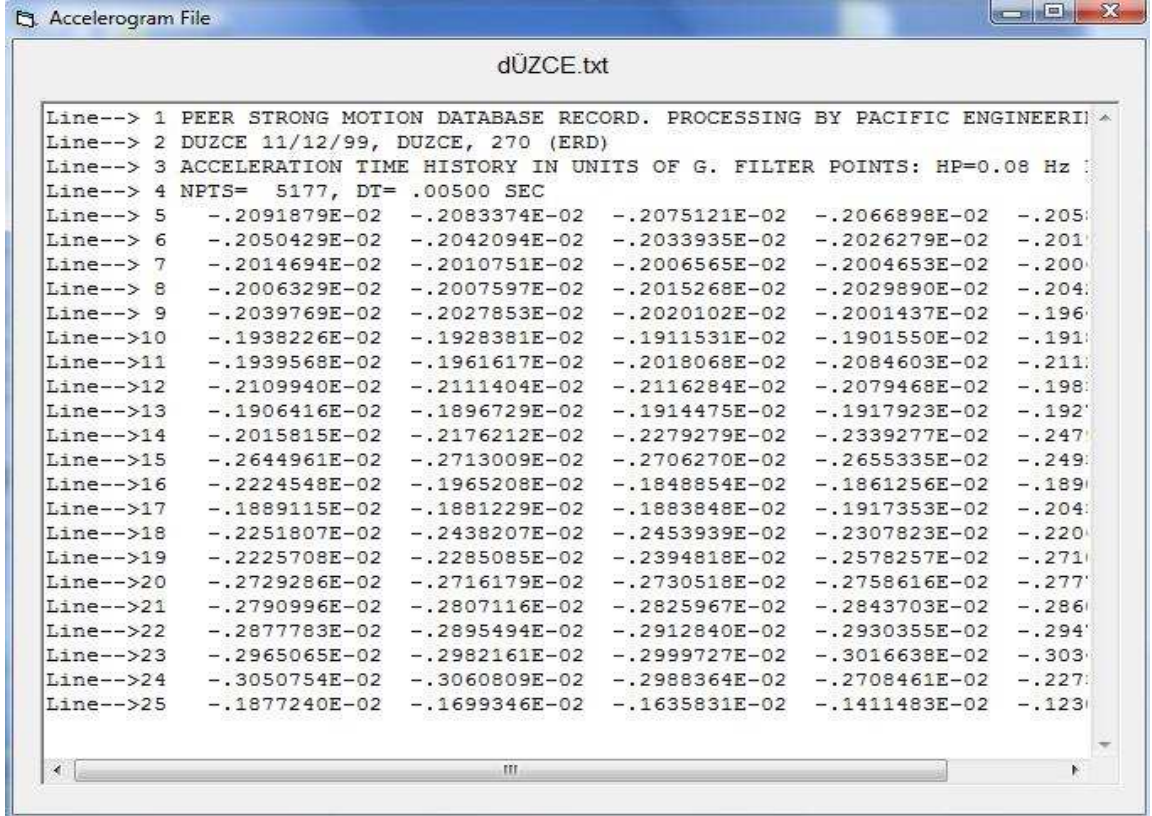
Maksimum Yanal Atım :

1. -4.20 m. Düzce fayı doğu ucunda
2. -5.40 m. Düzce güneyi
3. -Batı ucunda, sağ yönlü yanal atım miktarı: 3 m.
4. -Eğim-yönlü düşey atım: 2.5 m.
5. -Doğu ucunda: sağ yönlü yanal atım miktarı:4.20m.

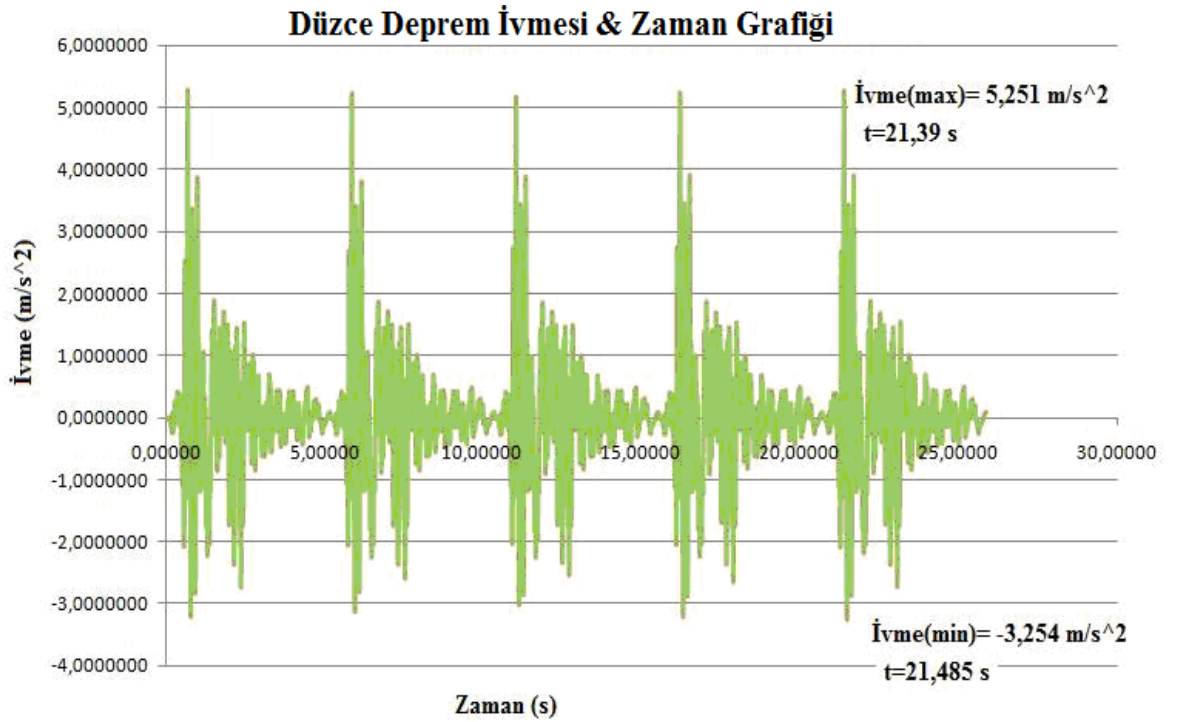
Düzce depreminin ivme-zaman değerleri <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html> adlı web sitesinden elde edilerek modelimize tanıtılmıştır. İvme değerleri gal cinsinden olup  $m/s^2$ 'ye çevrilmiştir (<http://peer.berkeley.edu/smcat/> , 21.07.2011)



**Şekil 80.** Düzce Depremi Hakkında Temel Bilgiler Girilerek İvme-Zaman Değerlerinin “Peer Strong Motion Database’ den elde edilmesi (<http://peer.berkeley.edu/smcat/>,21.07.2011)

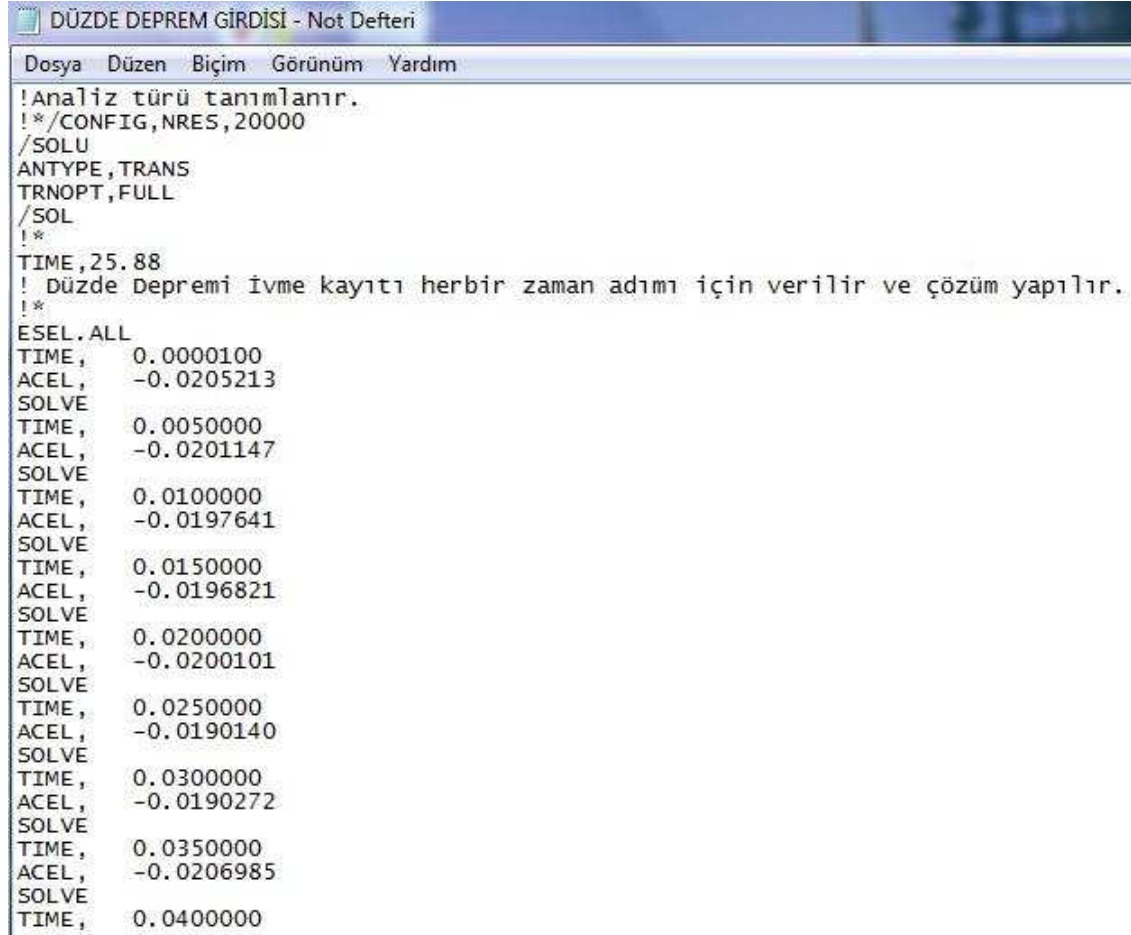


Şekil 81. Düzce Depremine ait Zamana Bağlı gal cinsinden İvme Değerleri



Şekil 82. Düzce Depremine ait Zamana Bağlı m/s<sup>2</sup> cinsinden İvme Değerleri

Düzce depremine ait zamana bağlı ivme değerleri txt uzantılı dosyada ANSYS Command Window'da okutturulur.



```

DÜZDE DEPREM GİRDİSİ - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
!Analiz türü tanımlanır.
!*/CONFIG,NRES,20000
/SOLU
ANTYPE,TRANS
TRNOPT,FULL
/SOL
!*
TIME,25.88
! Düzde Depremi ivme kayıtları her bir zaman adımı için verilir ve çözüm yapılır.
!*
ESEL,ALL
TIME, 0.0000100
ACEL, -0.0205213
SOLVE
TIME, 0.0050000
ACEL, -0.0201147
SOLVE
TIME, 0.0100000
ACEL, -0.0197641
SOLVE
TIME, 0.0150000
ACEL, -0.0196821
SOLVE
TIME, 0.0200000
ACEL, -0.0200101
SOLVE
TIME, 0.0250000
ACEL, -0.0190140
SOLVE
TIME, 0.0300000
ACEL, -0.0190272
SOLVE
TIME, 0.0350000
ACEL, -0.0206985
SOLVE
TIME, 0.0400000

```

**Şekil 83.** Txt uzantılı dosya içinde bulunan Düzce depremine ait zamana bağlı ivme değerlerinin ( $m/s^2$ ) ANSYS Command Window'da okutturulması

Solution→Solve→ Current LS→Ok komutu ile Örme Dikilitaş yapısının dinamik analiz işlemi başarılı bir şekilde tamamlanır. Bu programın analiz sonuçları Bulgular kısmındaki 4.1.3'de detaylı bir şekilde açıklandı.

## 4. BULGULAR

Yapılan çalışmalar sonucunda, analitik olarak oluşturulmuş sonlu eleman model verilerinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıdaki alt başlıklarda verilmektedir.

### 4.1. Dinamik Analiz Sonuçları

Örme Dikilitaş Yapısı Sonlu elemanlarla solid biçimde modellenmiştir. Örme Dikilitaş Yapısı modellenirken, mermer malzemesi için sabit değerler olan Elastisite Modülü  $E= 25.10^6$  kN/m<sup>2</sup>,yoğunluğu  $\rho=27.47$  kN/m<sup>3</sup> ve poisson oranı  $\nu=0.316$  alınmıştır. Kireçtaşı malzemesi için sabit değerler olan Elastisite Modülü  $E= 10.10^6$  kN/m<sup>2</sup>,yoğunluğu  $\rho=25.8$  kN/m<sup>3</sup> ve poisson oranı  $\nu=0.35$  alınmıştır. Horasan Harcı elasto-platik malzeme olduğu için sabit değerler olan Elastisite Modülü  $E= 3.89.10^6$  kN/m<sup>2</sup>, yoğunluğu  $\rho=13.34$  kN/m<sup>3</sup>, poisson oranı  $\nu=0.17$ , akma dayanımı  $\sigma_y= 2.745.10^3$  kN/m<sup>2</sup> ve Tang Mods= $2.35. 10^5$  alınmıştır ([http://tr.wikipedia.org/wiki/1999\\_D%C3%BCzce\\_Depremi](http://tr.wikipedia.org/wiki/1999_D%C3%BCzce_Depremi), 21.07.2011).

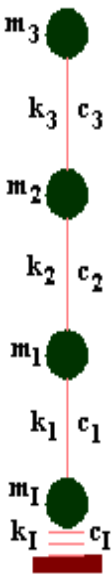
Sistem sırasıyla zaman ve frekans tanım alanındaki güçlü deprem hareketi altında, lineer olmayan kontak çalışmaları yaparak sonlu elemanlar metodu ile modellenmiştir. Ansys'te Tarihi Örme Dikilitaş yapısının sayısal sonlu eleman modeli, üç boyutlu solid elemanlar (SOLID 187) tarafından modellenmiştir. Örme Dikilitaş yapısının mermerden oluşan 3 basamak ve kaidesi 4 kayma yüzeyine sahiptir. Horasan harcı kullanılan bu kayma yüzeyleri CONTA 174 ve TARGE 170 kontak elemanlarıyla modellenmiştir. Ansys'te kullanılan kontak parametreleri: Normal Penalty Rijitlik Faktörü (FKN) =1, Penetrasyon Tolerans Faktörü (FTOLN ) = 1, Başlangıç Kontak Kapaması ( ICONT) =0, Başlangıç Penetrasyonun Üst Limiti (P<sub>MAX</sub>) = 0.0001, Başlangıç Penetrasyonun Alt Limiti (P<sub>MIN</sub>) = 0, Maksimum Sürtünme Gerilmesi ( $\tau_{max}$  ) =  $10^{20}$ , Kontak Yüzey Uzaklığı (CNOF) =0, Kontak Başlangıç Rijitliği (EKOP) = 1, Tangent Penalty Rijitlik Faktörü (FKT) = 1, Kontak Kohezyonu (C<sub>COHE</sub>) = 0, Statik/Dinamik Oran (FACT) = 1, Üstel Azalış Katsayısı (d<sub>C</sub>) = 0, Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ ) = $1.10^{-5}$  olup kontak yüzey davranışı ise standart kontak seçilmiştir.

Sonlu eleman modeliyle oluşan sisteme Düzce Depreminin gerçek ivme-zaman değerleri uygulandı. ( Düzce depreminin büyüklüğü 7.2 olup süresi 30 saniyedir).

#### 4.1.1. Örme Dikilitaş Yapısına ait Matematiksel Modelin Analiz Sonuçları

##### 4.1.1.1. Mod Birleştirme Yöntemi ile Analiz Sonuçları

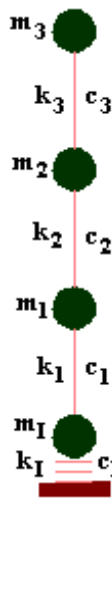
Çizelge 7. Yapının Model 1'e ait Mod Birleştirme Yöntemi ile Analiz Sonuçları

	d.s.d No	$F_b / m_s g$ ( $m_s g$ ) cinsinden $m_s = 305.671$ ( $kN \text{ sec}^2 / m$ )	$u_b$ (mm)	$F_I / m_s g$ ( $m_s g$ ) cinsinden $m_s = 506.747$ ( $kN \text{ sec}^2 / m$ )	$u_I$ (mm )
	3	0.2471 (0.2471)	87.39 (87.39)	0.0253 (0.020)	256.42 (315.90)
2	0.3612 (0.3612)	27.77 (27.77)	0.0533 (0.042)	244.26 (306.53)	
1	0.2925 (0.2925)	13.36 (13.36)	0.066 (0.053)	239.62 (302.88)	
0			0.2357 (0.1855)	234.437 (298.8)	
		$\sum F_b = 0.9008$ (0.9008)		$\sum F_I = 0.3806$ (0.3008)	

**Not:** Parantez içinde olan değerler [m],[c],[k] nın ikinci yöntem (3.54,3.55,3.56,3.57) formüllerine dayalı kurulması ile elde edilmiş sonuçlardır.

#### 4.1.1.2. Zaman-Tanım Alanı Yöntemi ile Analiz Sonuçları

**Çizelge 8. Yapının Model 1'e ait Zaman-Tanım Alanı Yöntemi ile Analiz Sonuçları**

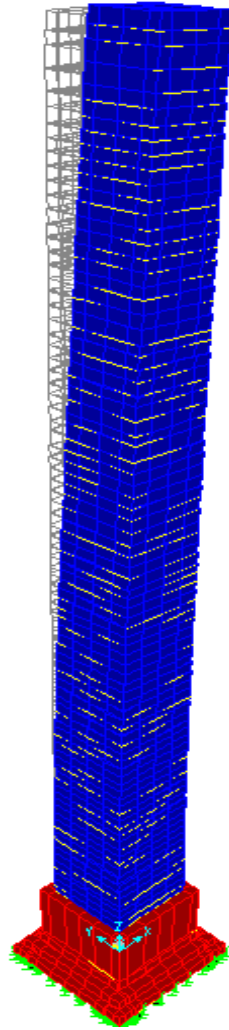
	Dof	$F_b / m_s g$		$F_I / m_s g$	
	Numbe r	( $m_s g$ ) cinsinden $m_s = 305.671$ ( $kN sec^2 / m$ )	$u_b$ (mm)	( $m_s g$ ) cinsinden $m_s = 506.747$ ( $kN sec^2 / m$ )	$u_I$ (mm)
3	0.0527	22.4	0.0141	248.6	
2	0.0744	7.9	0.0306	237	
1	0.0829	4	0.0384	232.5	
0			0.2275	227.5	
		$\Sigma F_b = 0.21$		$\Sigma F_I = 0.3106$	

Örme Dikilitaş yapısının matematiksel modelinin temele “doğal sismik izolatör” lü modellenmesi sonucu ortaya çıkan yer değiştirme değeri yaklaşık ortalama 22 cm’dir. Örme Dikilitaş modelinin tabanında yer alan 4 kayma yüzeyi oluşturan 3 katlı basamak sayesinde gerçekleşen  $22/4 = 5.5$  cm’lik yer değiştirmenin, sismik kuvvetlere karşı mevcut yapı tasarımı sayesinde, güvenle karşılanabildiği anlaşılmaktadır.

## 4.1.2 SAP 2000 Advanced 11.0.4 Programının Versiyonuyla Modellemesi Yapılan Örne Dikilitaş Yapısının Analiz Sonuçları

### 4.1.2.1. Örne Dikilitaş Yapısının 1. Moddaki Davranışı

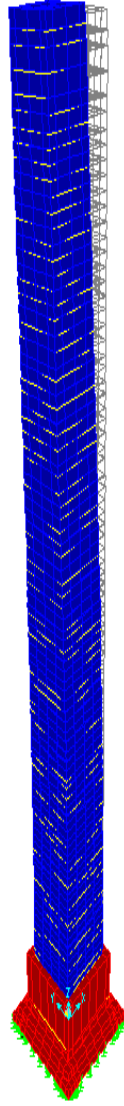
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - Period 1,75560



**Şekil 84.** Örne Dikilitaş Yapısının SAP 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki  
1.Moddaki Davranışı

#### 4.1.2.2. Örne Dikilitaş Yapısının 2. Moddaki Davranışı

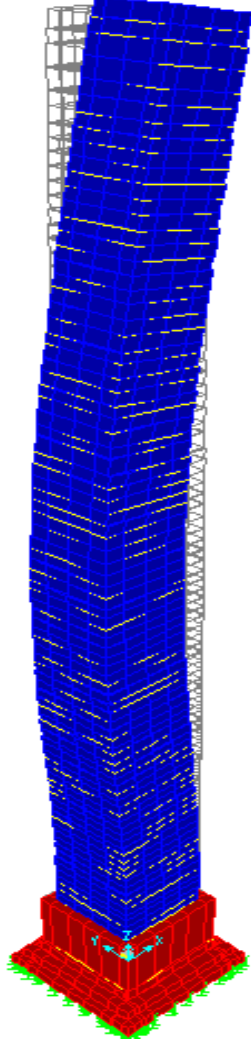
Deformed Shape (MODAL) - Mode 2 - Period 1,71623



**Şekil 85.** Örne Dikilitaş Yapısının SAP 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki 2.Moddaki Davranışı


#### 4.1.2.3. Örne Dikilitaş Yapısının 3. Moddaki Davranışı

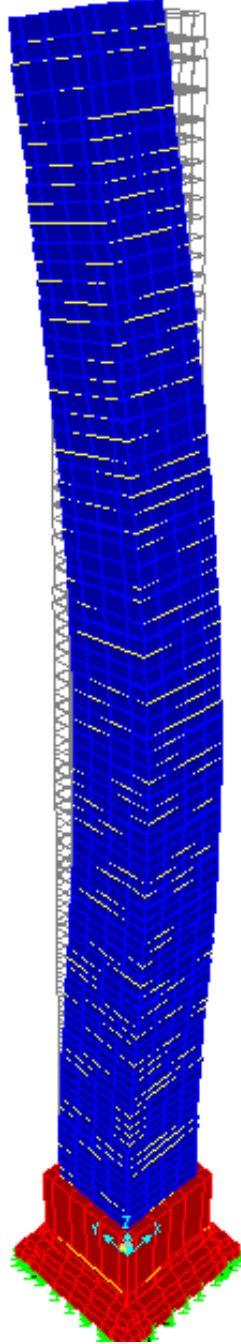
Deformed Shape (MODAL) - Mode 3 - Period 0,33304  
Analysis Model



**Şekil 86.** Örne Dikilitaş Yapısının SAP 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki 3.Moddaki Davranışı

#### 4.1.2.4. Örne Dikilitaş Yapısının 4. Moddaki Davranışı

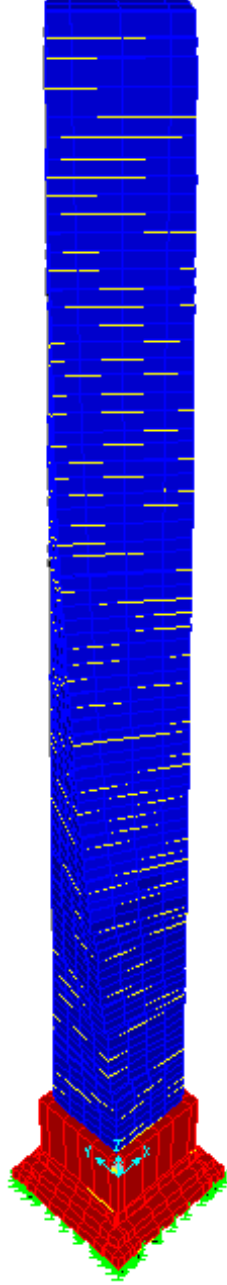
 Deformed Shape (MODAL) - Mode 4 - Period 0,32921  
Analysis Model



**Şekil 87.** Örne Dikilitaş Yapısının SAP 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki 4.Moddaki Davranışı

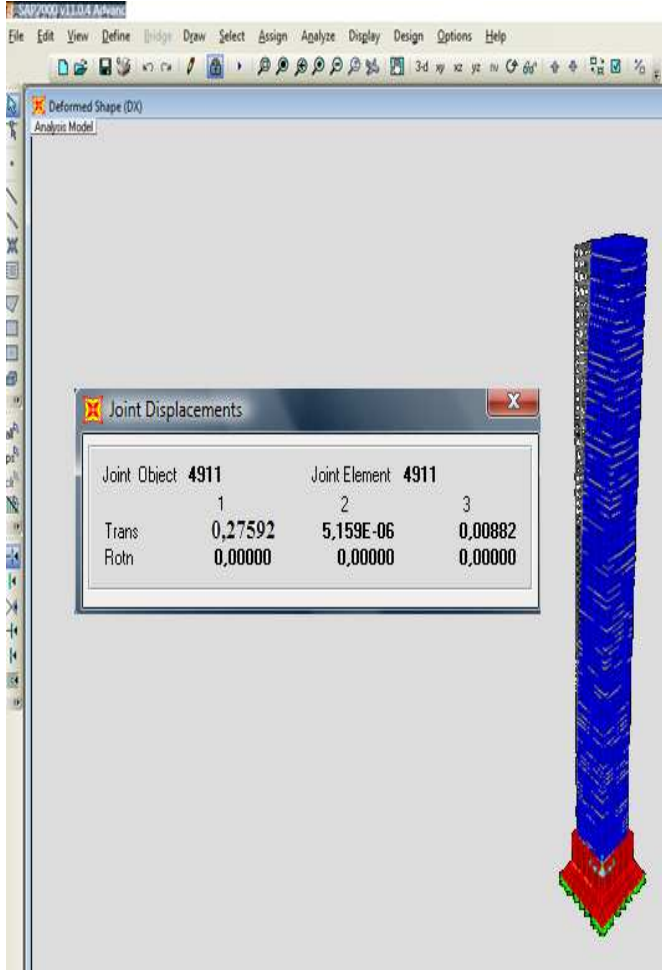
#### 4.1.2.5. Örne Dikilitaş Yapısının 5. Moddaki Davranışı

Deformed Shape (MODAL) - Mode 5 - Period 0,13914



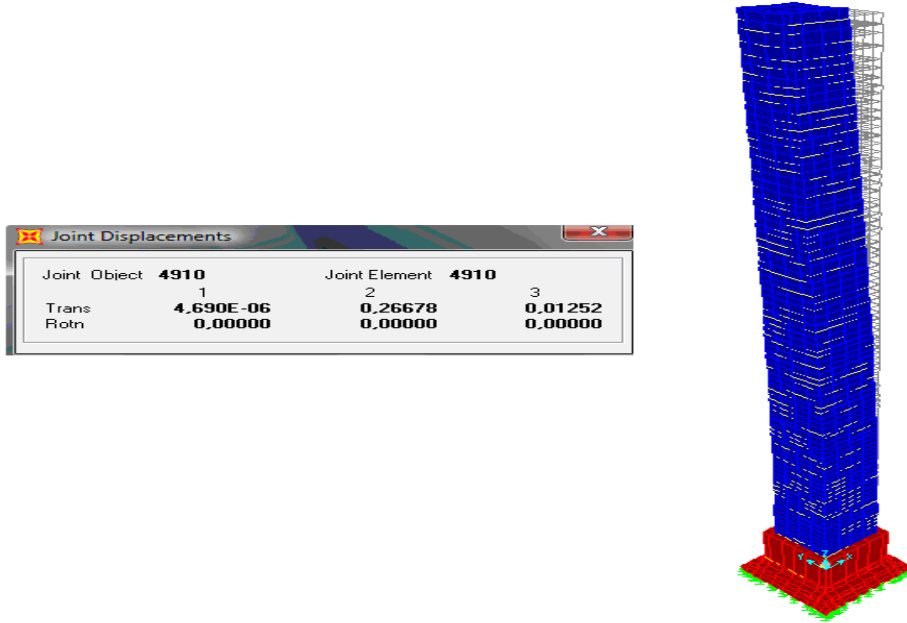
**Şekil 88.** Örne Dikilitaş Yapısının SAP 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki 5.Moddaki Davranışı

#### 4.1.2.6. X Yönündeki Deprem Kuvveti Etkisi



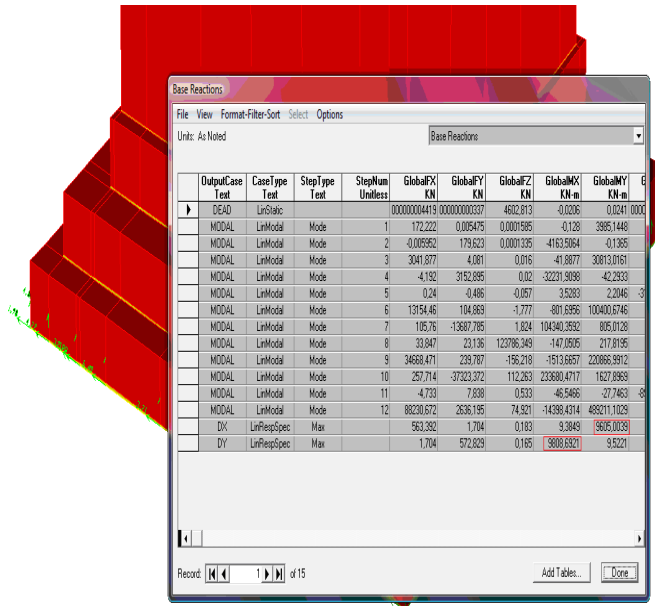
**Şekil 89.** Örme Dikilitaş Yapısının SAP 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki X Yönündeki Deprem Kuvveti Etkisi

#### 4.1.2.7. Y Yönündeki Deprem Kuvveti Etkisi



Şekil 90. Örne Dikilitaş Yapısının SAP 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki Y Yönündeki Deprem Kuvveti Etkisi

#### 4.1.2.8. Örne Dikilitaş Yapısının Devrilme Momentleri



Şekil 91. Örne Dikilitaş Yapısının SAP 2000 Advanced 11.0.4 Programındaki X ve Y Yönündeki Toplam Devrilme Momentleri

#### 4.1.2.9. Sap 2000 Advanced 11.0.4 Versiyon Programının Analiz Sonuçları

Malzeme Cinsi	$\rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	$\mu$	Modlara ait Periyot Değerleri			Deprem x ve y Yönü max. Deplasman(m)		Deprem x ve y Yönü Taban Kesme Kuvveti(kN)		Deprem x ve y Yönü Toplam Devrilme Momenti (kN.m)	
				Mod	T(s)	Yön	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
Mermer	27.47	25.000.000	0.316	1.mod	1.80	X yönü	0.276	0.267	563.383	572.821	9605.004	9808.692
Kireçtaşı	25.8	10.000.000	0.35	2.mod	1.71	Y yönü						
Horasan Harcı	13.34	3890000	0.17	3.mod	0.33	X yönü sin.eğrisi						
				4.mod	0.328	Y yönü sin.eğrisi						
				5.mod	0.14	Burulma						

**Çizelge 9.** Sap 2000 Advanced 11.0.4 Versiyon Programının Analiz Sonuçları

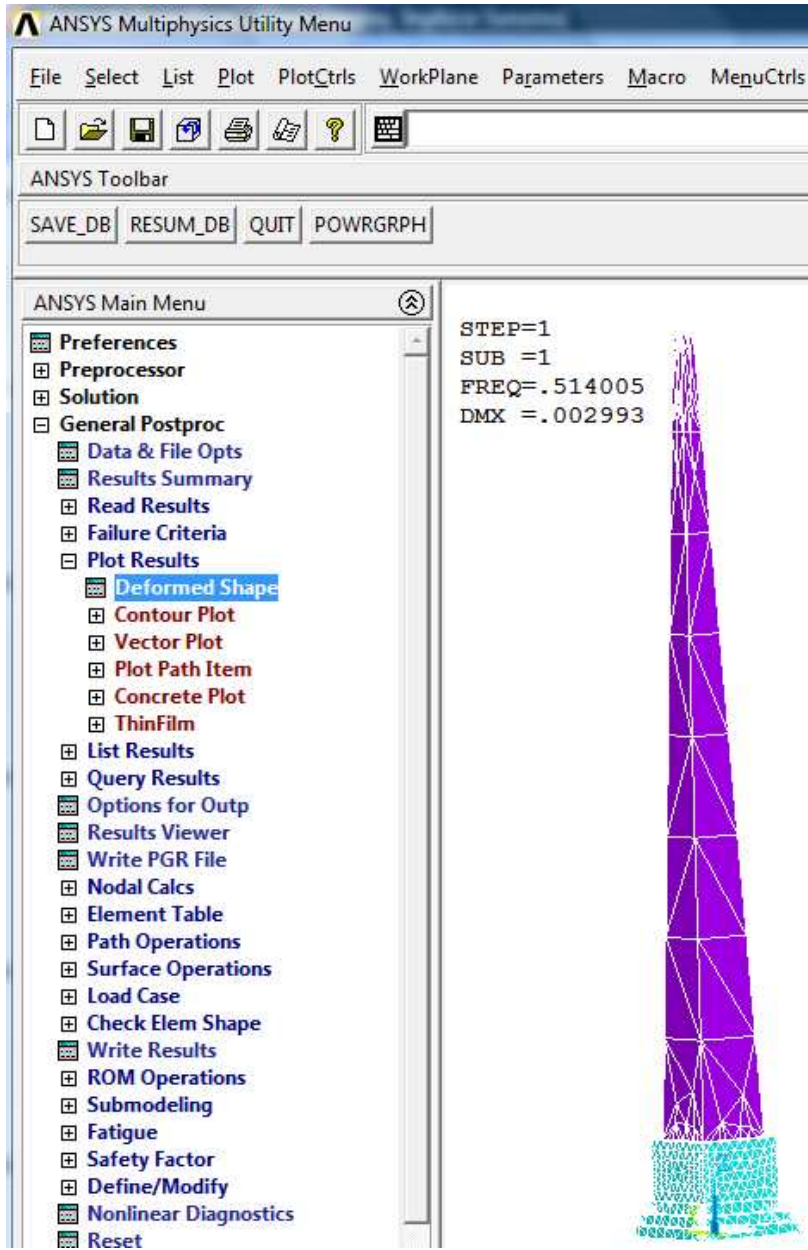
Tabanı ankastre olarak modellenen Örme Dikilitaş yapısının emniyetli bir biçimde ayakta kalıp kalmayacağını tespit etmek için taş yapının tabandaki devrilme momentini ve yapının uygulanan deprem etkisiyle meydana gelen yer değiştirme miktarını göz önüne alırız. Örme Dikilitaş yapısının matematiksel modelinin temele “doğal sismik izolatör” lü modellenmesi sonucu ortaya çıkan yer değiştirme değeri yaklaşık ortalama 22 cm’dir. Örme Dikilitaş modelinin tabanında yer alan 4 kayma yüzeyi oluşturan 3 katlı basamak sayesinde gerçekleşen  $22/4 = 5.5$  cm’lik yer değiştirmenin, sismik kuvvetlere karşı mevcut yapı tasarımı sayesinde, güvenle karşılanabildiği anlaşılmaktadır. Sap 2000 Advanced 11.0.4 programında model, tabanı ankastre biçimde lineer olarak çözülmüş ve x yönünde yerdeğiştirme  $0.276 \text{ m} = 27.6 \text{ cm}$  olarak hesaplanmıştır. 1 kayma yüzeyine düşen yerdeğiştirme  $27.6/4 = 6.9 \text{ cm} > 5.5 \text{ cm}$  olması yani yapının uygulanan deprem etkisiyle meydana gelen yer değiştirme fazlalığı ve taş yapının, tabandaki devrilme momentini kaldıramaması, lineer analizde yapımızın güvenli tarafta kalmadığını açıkça gösterir.

Örme Dikilitaş Yapısının ANSYS Programında sırasıyla zaman ve frekans tanım alanındaki güçlü deprem hareketi altında, lineer olmayan kontak çalışmaları yaparak (Temel Coulomb Friction model) sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi gerektiğine karar verilmiştir.

### 4.1.3 ANSYS 11.0 Programının Versiyonuyla Modellemesi Yapılan Örme Dikilitaş Yapısının Analiz Sonuçları

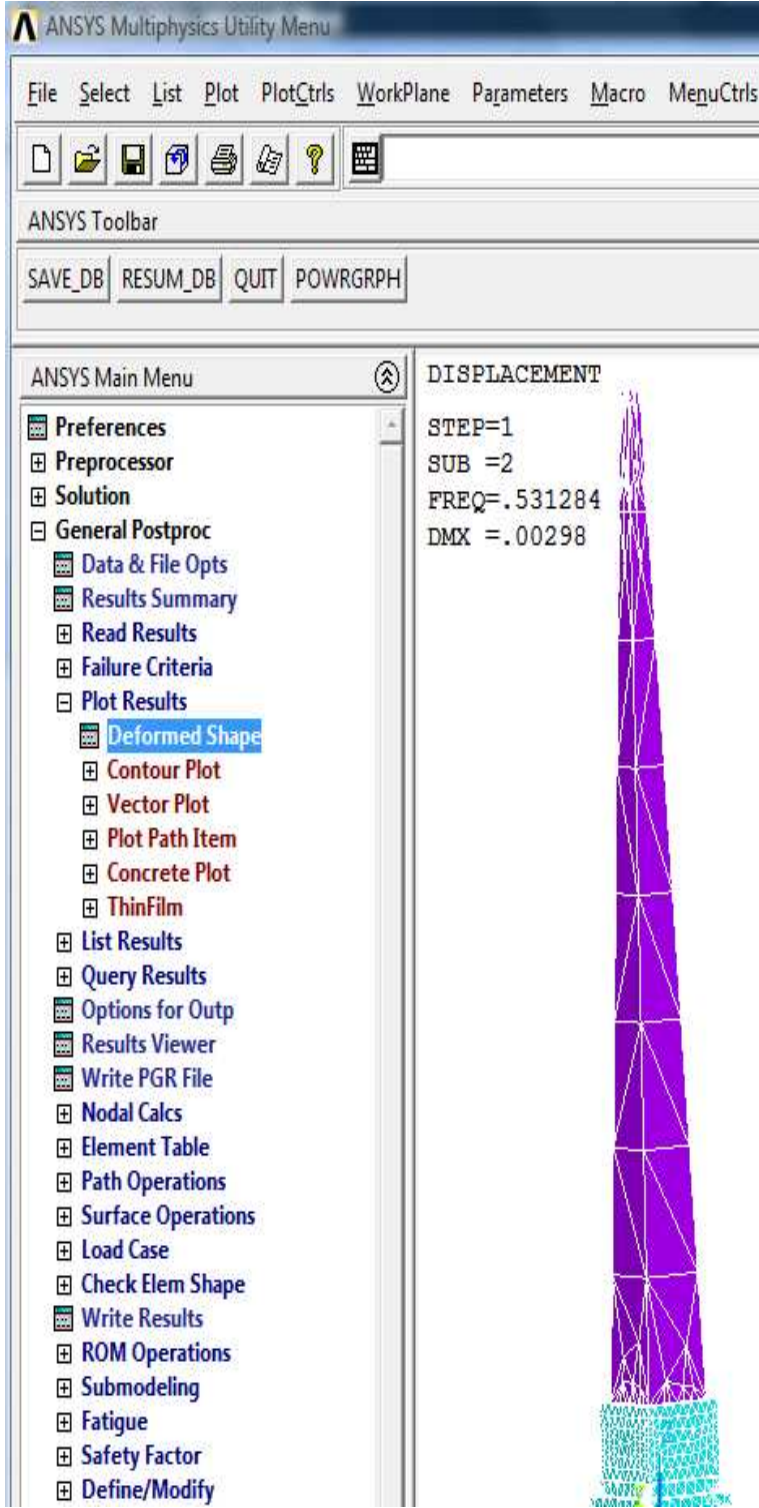
ANSYS'te Dinamik Analiz (Transient Analysis) başarıyla tamamlanmıştır. Aşağıdaki şekillerde analiz sonuçları gösterilmiştir.

#### 4.1.3.1. Örme Dikilitaş Yapısının 1. Moddaki Davranışı



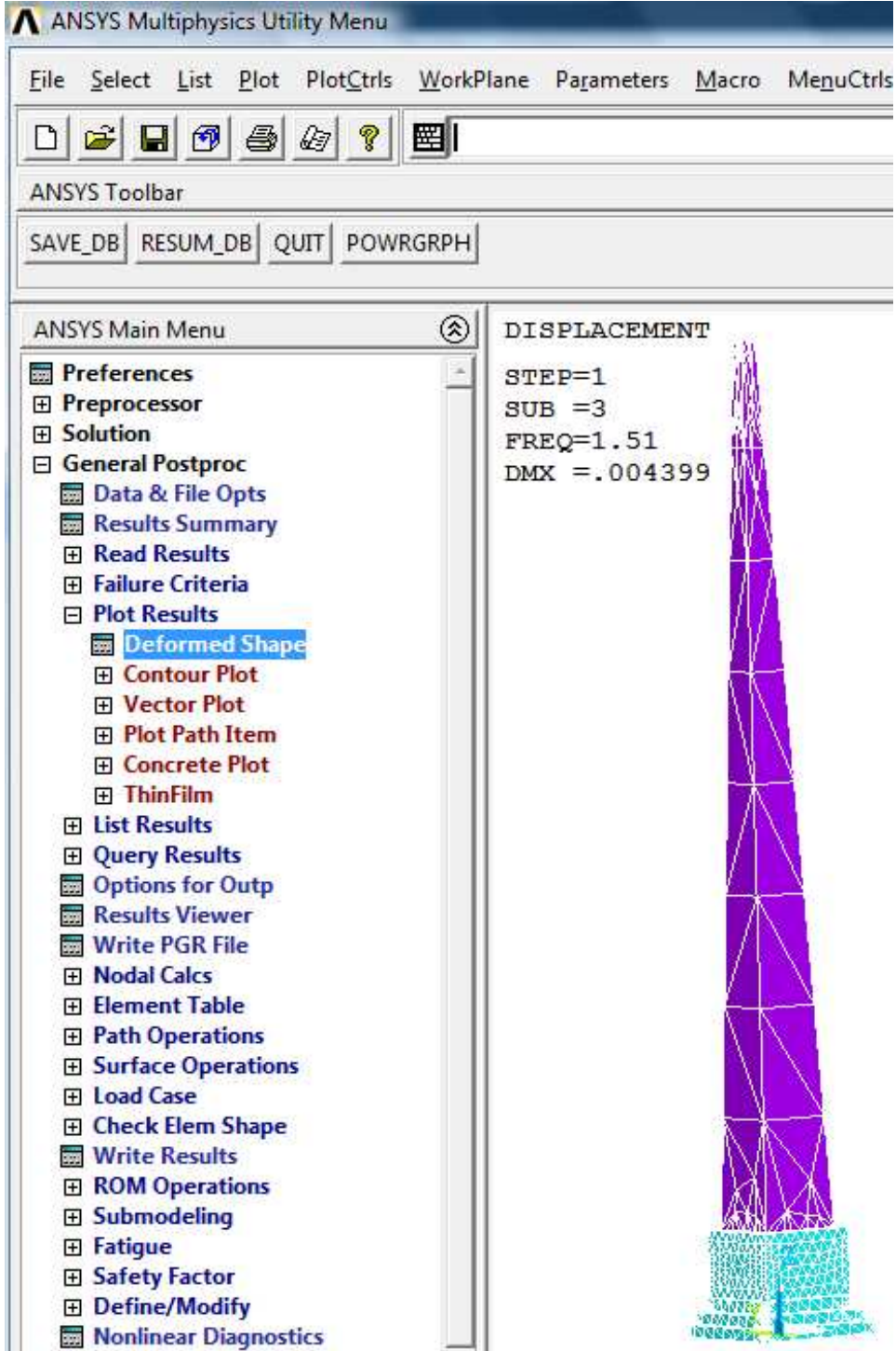
Şekil 92 . Örme Dikilitaş Yapısının ANSYS Programındaki 1.Moddaki Davranışı

#### 4.1.3.2. Örne Dikilitaş Yapısının 2. Moddaki Davranışı



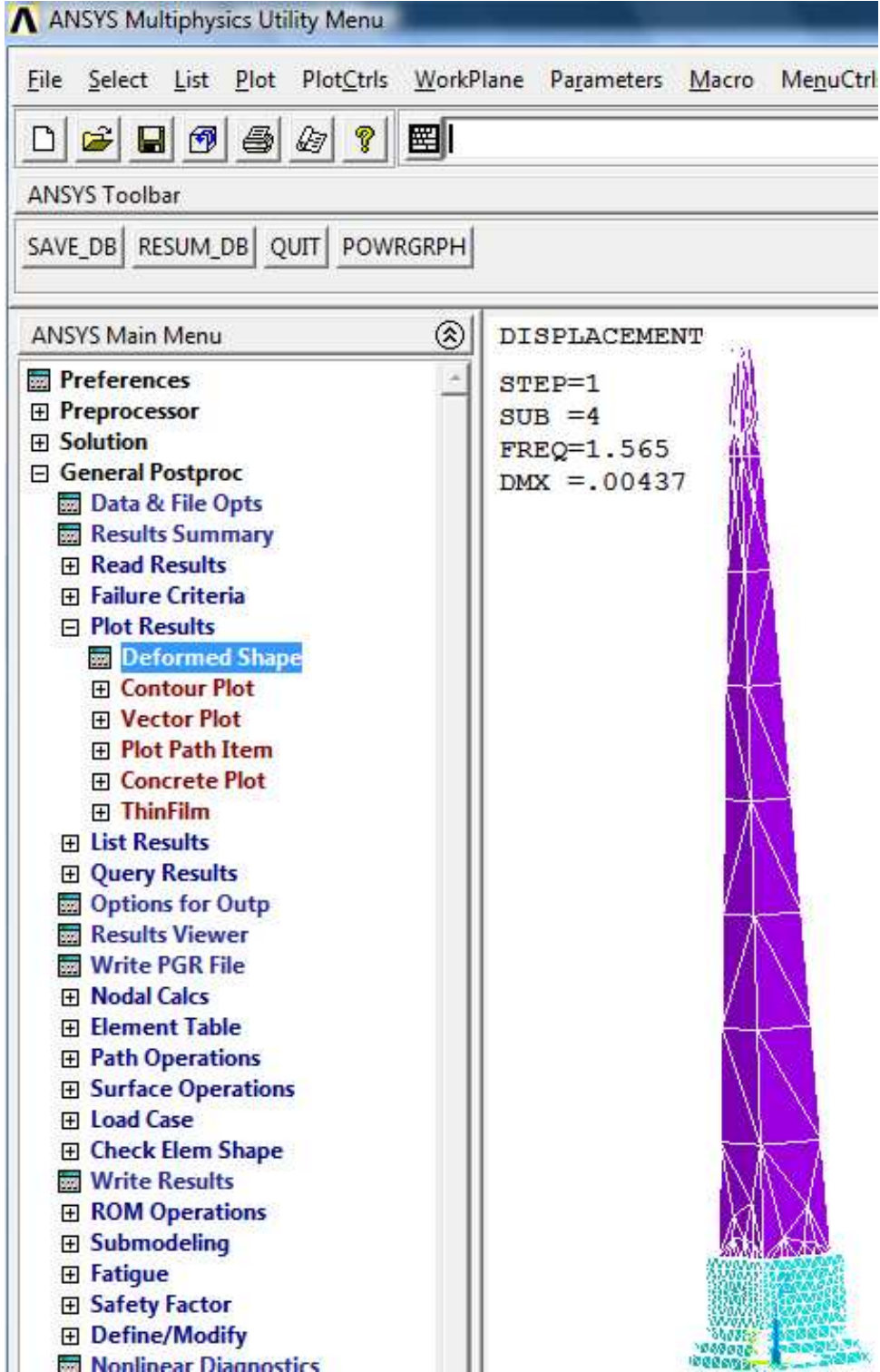
Şekil 93. Örne Dikilitaş Yapısının ANSYS Programındaki 2.Moddaki Davranışı

#### 4.1.3.3. Örne Dikilitaş Yapısının 3. Moddaki Davranışı



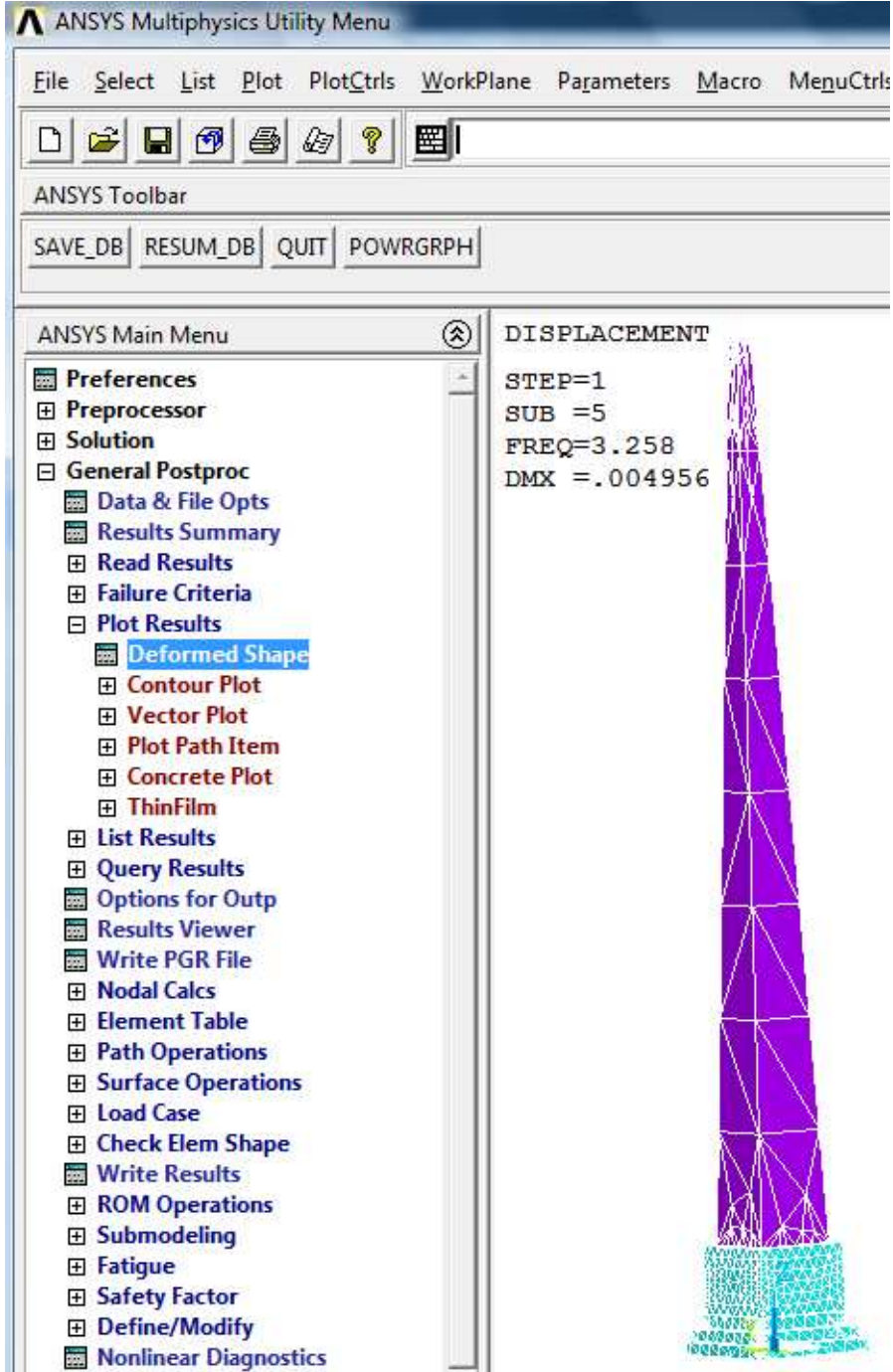
Şekil 94. Örne Dikilitaş Yapısının ANSYS Programındaki 3.Moddaki Davranışı

#### 4.1.3.4. Örne Dikilitaş Yapısının 4. Moddaki Davranışı



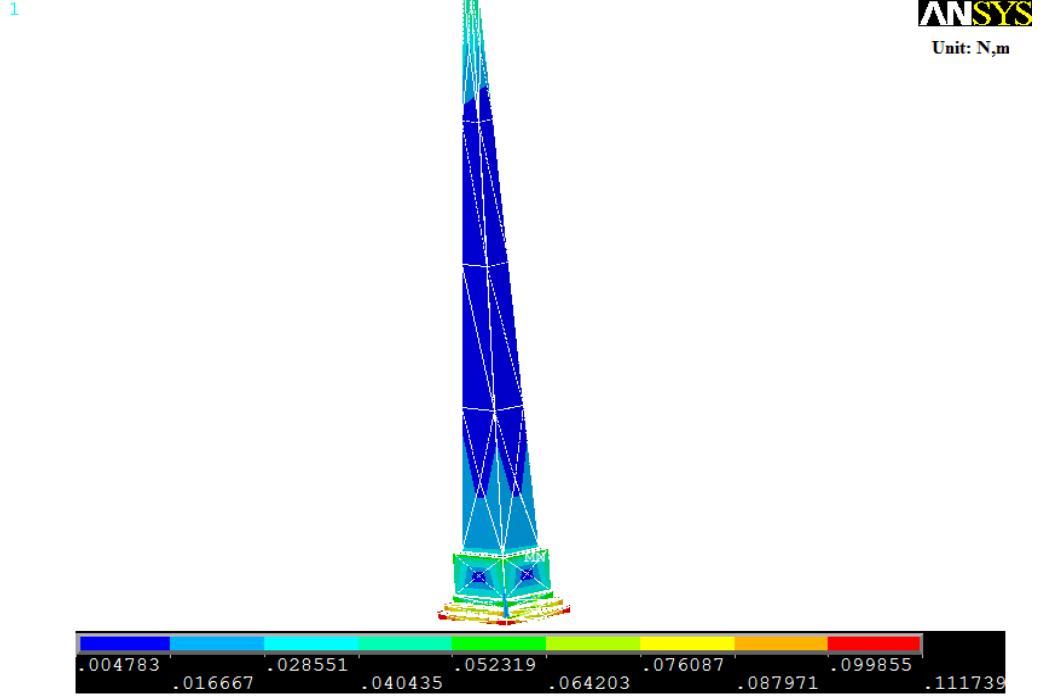
Şekil 95. Örne Dikilitaş Yapısının ANSYS Programındaki 4. Moddaki Davranışı

#### 4.1.3.5. Örne Dikilitaş Yapısının 5. Moddaki Davranışı



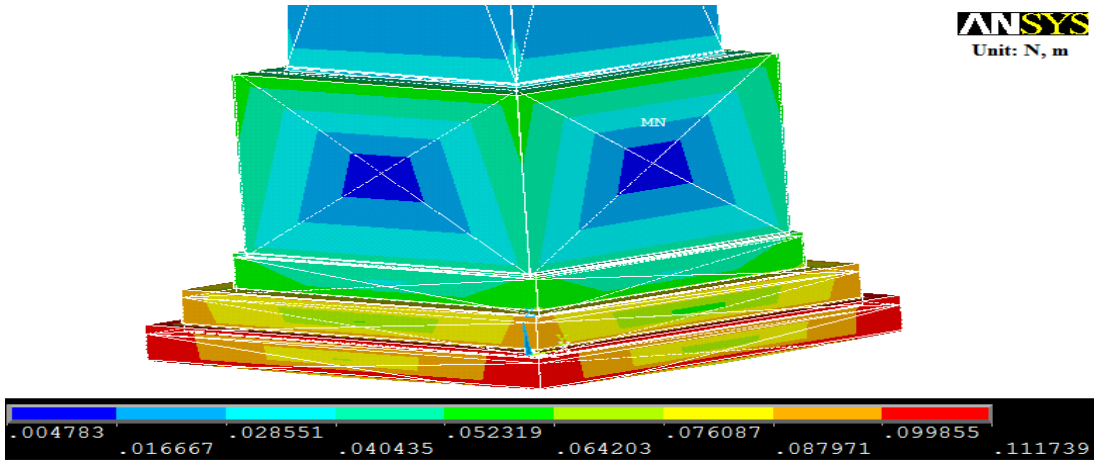
Şekil 96. Örne Dikilitaş Yapısının ANSYS Programındaki 5. Moddaki Davranışı

#### 4.1.3.6. Örne Dikilitaş Yapısının X Yönünde Uygulanan Depremde Oluşan Toplam Yer Değişirme



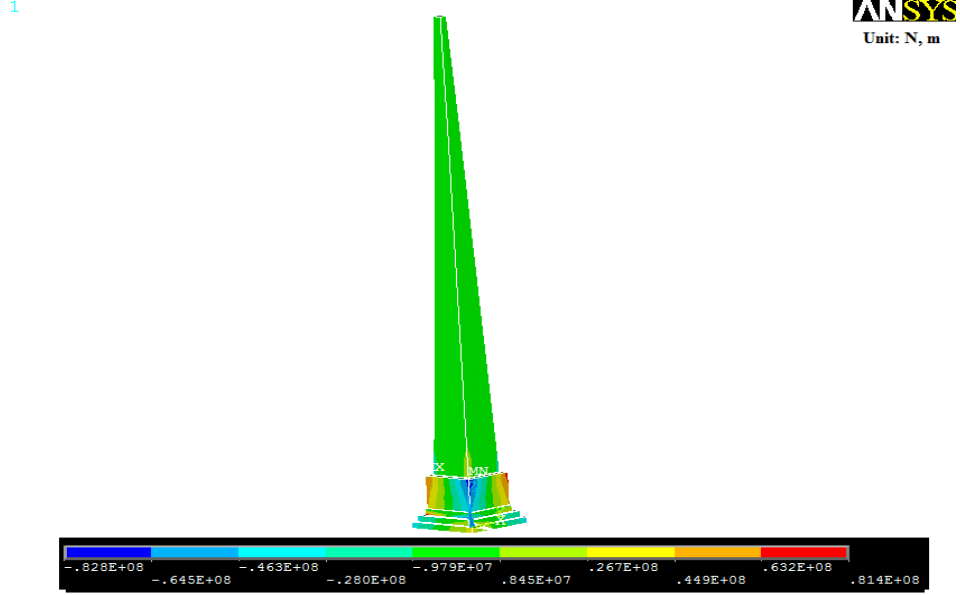
Şekil 97. Örne Dikilitaş Yapısının X Yönünde Uygulanan Depremde Oluşan Toplam Yer Değişirme

#### 4.1.3.7.Örne Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının X Yönünde Uygulanan Depremde Oluşan Toplam Yer Değişirmesi



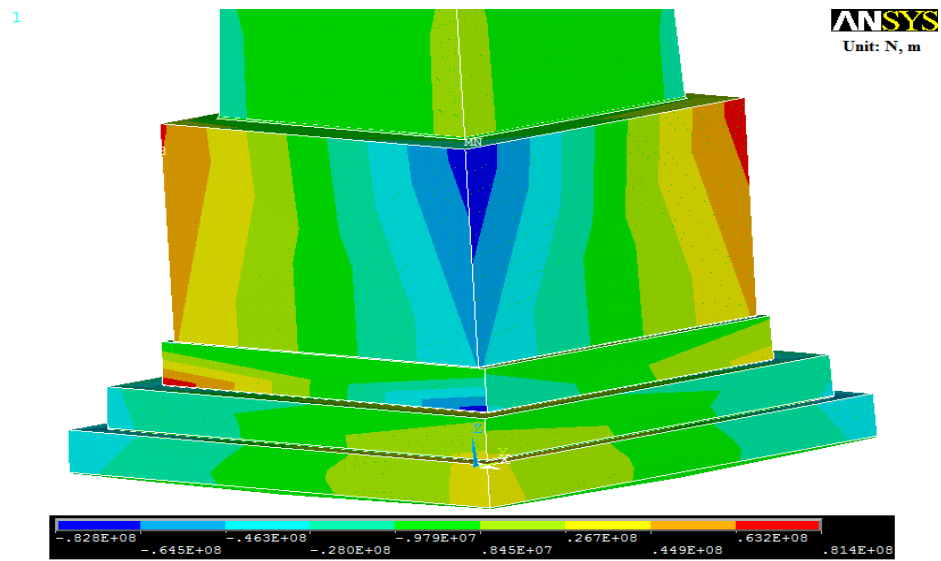
Şekil 98. Örne Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının X Yönünde Uygulanan Depremde Oluşan Toplam Yer Değişirmesi

#### 4.1.3.8.Örme Dikilitaş Yapısının XY Düzleminde Oluşan Kayma Gerilmeleri



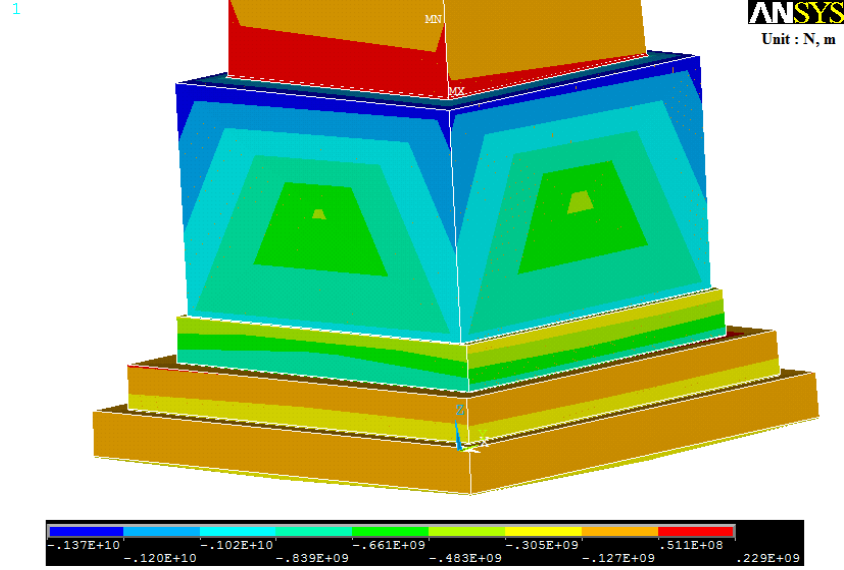
Şekil 99. Örme Dikilitaş Yapısının XY Düzleminde Oluşan Kayma Gerilmeleri

#### 4.1.3.9. Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının XY Düzleminde Oluşan Kayma Gerilmeleri



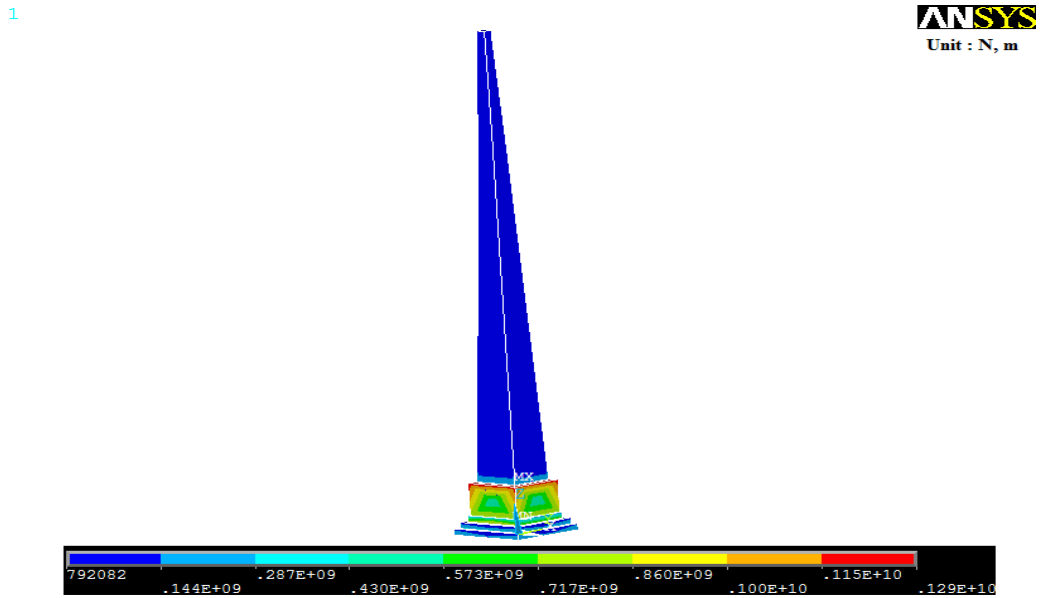
Şekil 100. Örme Dikilitaş Yapısının Temel Kısımının XY Düzleminde Oluşan  
Kayma Gerilmeleri

#### 4.1.3.10. Örne Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının Z Düzleminde Oluşan Gerilmeler



Şekil 101. Örne Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının Z Düzleminde Oluşan Gerilmeleri

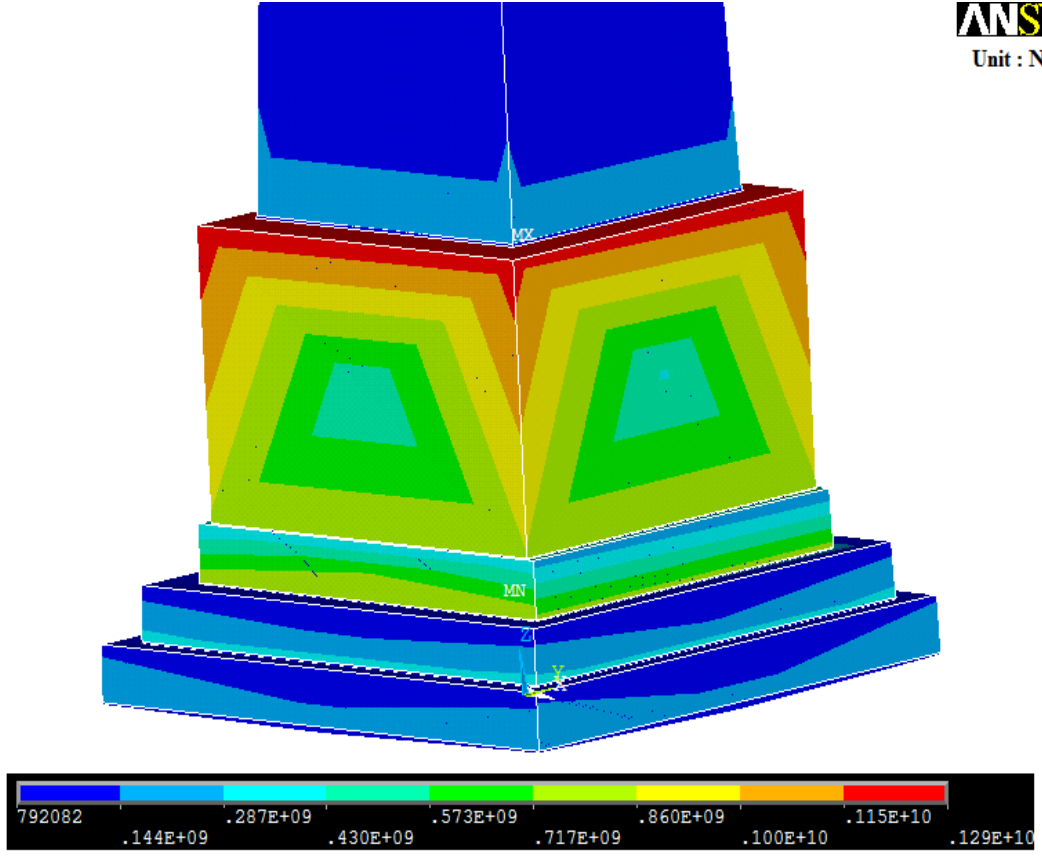
#### 4.1.3.11. Örne Dikilitaş Yapısının Von Mises Gerilmeleri



Şekil 102. Örne Dikilitaş Yapısının Von Mises Gerilmeleri

#### 4.1.3.12. Örne Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının Von Mises Gerilmeleri

1



Şekil 103. Örne Dikilitaş Yapısının Temel Kısmının Von Mises Gerilmeleri

#### 4.1.3.13. ANSYS 11.0 Versiyon Programının Analiz Sonuçları

Modellenen sistemin analizi yaklaşık 3.5 saat sürdü (İşletim sistemi 32-bit,4GB RAM, Processor Intel (R) Core (TM) 2 Duo CPU P8700@ 2.53 GHz 2.53 GHz).

**Sırayla ilk beş titreşim mod periyotları:** 1.9455;1.8822;0.6623;0.639;0.3069 saniye

**Çizelge 10. Tarihi Örme Dikilitaş Yapısının 4 Kayma Yüzeyinde Elde Edilen ve Gereken Yerdeğiştirme Aralıkları (Horasan harcı kullanılarak 4 kayma yüzeyini oluşturan üç kat mermer basamak ve mermer kaide )**

NFRNSI'nin Kısımları	NFRNSI Dinamik Analizinden elde edilen yerdeğiştirme aralıkları (cm)	Matematiksel modelden elde edilen gerekli yerdeğiştirme aralıkları (cm)
Kaide	0.47-6.42	5.5
3. Kat Basamak	2.85-6.42	5.5
2. Kat Basamak	5.23-9.98	5.5
1. Kat Basamak	5.23-11.17	5.5
Zemin	0	

**Not:** NFRNSI→ Nonlinear Fricitonal Responsive Natural Seismic Isolator

( Lineer olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik izolatör) baş harflerinden oluşur.

Ansysis 11.0 programı ile 3 basamak ve kaidenin dinamik analiz sonucu yer değiştirme aralığı, daha önce hesaplanan Örme Dikilitaş matematiksel modelin izin verdiği yer değiştirme olan 5.5 cm'yi sağlayabilmektedir.

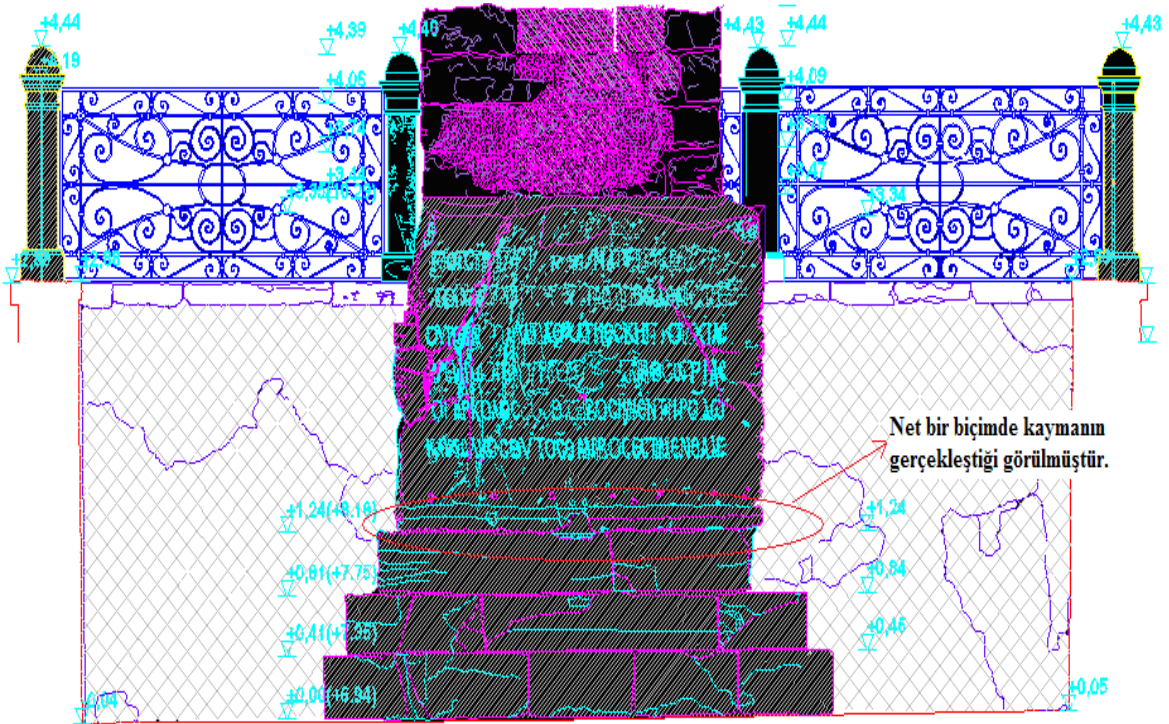
**Çizelge 11.** Tarihi Örme Dikilitaş Yapısının 4 Kayma Yüzeyinde Elde Edilen

## Kayma Gerilmesi Değerleri

Örme Dikilitaş Kısımları	Kullanılan Malzeme ve Kayma Dayanım Değerleri ( N/m <sup>2</sup> )	Dinamik Analiz Sonrası XY Düzleminde oluşan Kayma Gerilmesi Değer Aralıkları (N/m <sup>2</sup> )
Kaide	Mermer	(-0.828.10 <sup>8</sup> )--0.814.10 <sup>8</sup>
	0.45.10 <sup>8</sup>	
Kaide ile 3. Basamak arasında bulunan Horasan Harcı kısmı	Horasan Harcı	-0.979.10 <sup>7</sup> ---0.845.10 <sup>7</sup>
	≤ 0.275.10 <sup>7</sup>	
3.Basamak	Mermer	(-0.828.10 <sup>8</sup> )--0.814.10 <sup>8</sup>
	0.45.10 <sup>8</sup>	
3. Basamak ile 2. Basamak arasında bulunan Horasan Harcı kısmı	Horasan Harcı	-0.979.10 <sup>7</sup> ---0.845.10 <sup>7</sup>
	≤ 0.275.10 <sup>7</sup>	
2.Basamak	Mermer	(-0.645.10 <sup>8</sup> )--0.449.10 <sup>8</sup>
	0.45.10 <sup>8</sup>	
2. Basamak ile 1. Basamak arasında bulunan Horasan Harcı	Horasan Harcı	-0.979.10 <sup>7</sup> ---0.845.10 <sup>7</sup>
	≤ 0.275.10 <sup>7</sup>	
1. Basamak	Mermer	(-0.645.10 <sup>8</sup> )--0.449.10 <sup>8</sup>
	0.45.10 <sup>8</sup>	
Zemin ile 1. Basamak arasında bulunan Horasan harcı kısmı	Horasan Harcı	-0.979.10 <sup>7</sup> ---0.845.10 <sup>7</sup>
	≤ 0.275.10 <sup>7</sup>	

Mermerin Kayma dayanım değeri 0.45.10<sup>8</sup> N/m<sup>2</sup> 'dir. Horasan Harcının Kayma Değeri bilinmediğinden incelemede harcın akma dayanımından (≤ 0.275.10<sup>7</sup>) küçük olması gerektiği baz alınmıştır. ANSYS'te kontak modeliyle yapılan lineer olmayan dinamik analiz sonucunda temel kısımdaki horasan harcı tamamen akmaktadır. Yapının

deprem etkisini sönümleyebilmek için yeterli kaymayı sağlayabilmekte ancak kendini de bir anlamda feda ettirmektedir. Örne Dikilitaş yapısını yerinde çıplak gözle incelediğimde temel kısım dediğimiz izolatör olan kısımdaki harç kalınlığı neredeyse yok denecek kadar azken (horasan harcı malzemesi; deprem, sel vs olumsuz şartlarda yeterli kaymayı sağlayıp kendini feda etmiş.) üst yapı dediğimiz kısımlarda ( kaide üzeri) harç kalınlığı yükseklik arttıkça kalınlaşmıştır. Bunu ispatlayan fotoğraflar gösterilmiştir. Aşağıdaki fotoğraflarda Örne Dikilitaş yapısının “doğal sismik izolatör” rolünü üstlenen temel kısmının yaklaşık 1000 sene boyunca deprem etkisinden 1.24 m yükseklikteki yüzeyinin üstündeki kaymış yekpare taşın tamamen önceki durumu almadığı gözükmektedir. Bu durum basamak ve yekpare taş arasındaki kısımlarda zamanında konulmuş özel harcın zamanla kalınlığını ve viskozluğunu kısmen kaybetmesine işaret etmektedir.

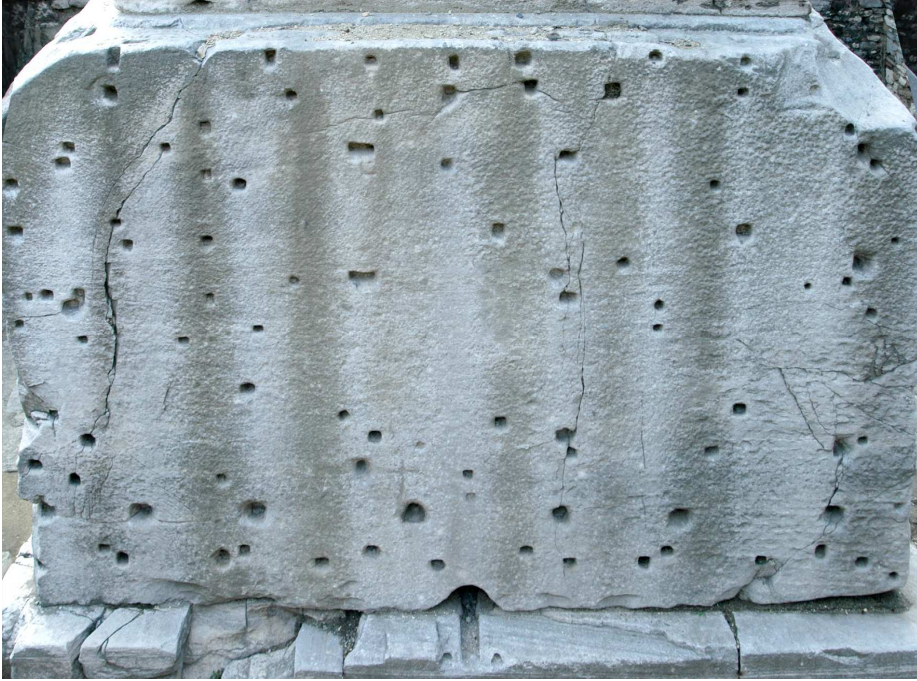


**Şekil. 104.** Örne Dikilitaş'ın Kaide ve Basamak Kısım (Bu durum basamak ve yekpare taş arasındaki kısımlarda zamanında konulmuş özel harcın zamanla kalınlığını ve viskozluğunu kısmen kaybetmesine işaret etmektedir.)

**4.1.3.14. Örne Dikilitaş Yapısının İzolatör İşlevi Gören Kısmı Ait Bütün Cephelerden Elde Edilen Yakın Çekim Görüntüleri**



**Şekil 105.** Örne Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı



**Şekil 106.** Örne Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı



**Şekil. 107.** Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı



**Şekil 108.** Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı



**Şekil 109.** Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı

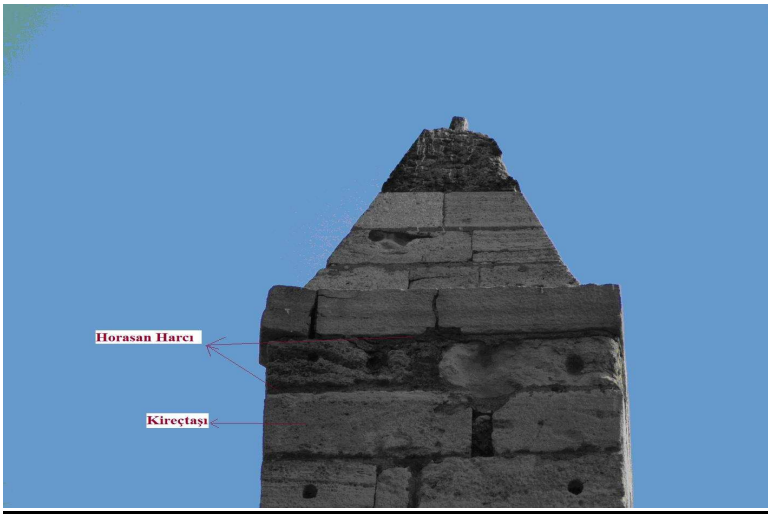


**Şekil 110.** Örme Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısmı



Şekil 111. Örne Dikilitaş'ın Doğal Sismik İzolatör İşlevi Yapan Temel Kısım

Örne Dikilitaş Yapısının üst kısmından çekilen aşağıdaki fotoğrafta ise harç kalınlığı belirgin şekilde alt yapıya göre fazladır.



Şekil 112. Örne Dikilitaş Yapısının Üst Kotundan Görünüş

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Örme Dikilitaş yapısının sunulan matematik modeli ele anılarak yapılan analiz sonuçları, anıtın yapıldığı X. yüzyıldan günümüze kadar ayakta kalabilmesine aşağıdaki açıklıklıları getirmiştir:

- Örme Dikilitaş yapısının matematiksel modelinin temele “doğal sismik izolatör” lü modellenmesi sonucu ortaya çıkan deplasman değeri yaklaşık ortalama 22 cm’dir. Örme Dikilitaş modelinin tabanında yer alan 4 kayma yüzeyi oluşturan 3 katlı basamak sayesinde gerçekleşen (  $22/4= 5.5$  cm lik) deplasman sismik kuvvetlere karşı mevcut yapı tasarımı sayesinde güvenle karşılanabilmektedir. Sap 2000 Advanced 11.0.4 programında model lineer olarak çözülmüş ve x yönünde yerdeğiştirme 0.276 m (  $27.6/4=6.9$  cm  $> 5.5$  cm ), y yönünde yerdeğiştirme 0.267 m (  $26.7 / 4= 6.68$  cm  $> 5.5$  cm ) olmasından dolayı tabanı ankastre modelde gerçekleşen lineer analizde yapımız güvenli tarafta kalmamıştır. Tabanı ankastre olarak modellenen Örme Dikilitaş yapısının emniyetli bir biçimde ayakta kalamayacağını modelde taş yapının tabandaki devrilme momentini kaldıramayacağından ve yapının uygulanan deprem etkisiyle meydana gelen yer değiştirmenin fazlalığından anlamaktayız. Örme Dikilitaş yapısının ANSYS Programında sırasıyla zaman ve frekans tanım alanındaki güçlü deprem hareketi altında, lineer olmayan kontak çalışmaları yaparak (Coulomb Friction model) sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Ansys 11.0 programı ile 3 basamak ve kaidenin dinamik analiz sonucu yer değiştirme aralığı, daha önce hesaplanan Örme Dikilitaş matematiksel modelinin izin verdiği yer değiştirme olan 5.5 cm ‘yi sağlayabilmektedir.

- Elde edilmiş modelde yapının mesnet kısmının “lineer olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik izolatör (Nonlinear Frictional Responsive Natural Seismic Isolator - NFRNSI)” işlevini yaptığı ve günümüzdeki kurşun çekirdekli kauçuk izolatörle (LRB- Lead Rubber Bearings) benzer davranış sergilediği gösterilmiştir. NFRNSI’nin toplam yüksekliği 3.44 metredir. Yapının NFRNSI işlevi gören kısmı, horasan harcı kullanılarak dört kayma yüzeyi oluşturan üç mermer taş ve bir mermer kaidedir. Horasan harcı kullanılarak dört kayma yüzeyini oluşturan üç kat basamak ve mermer kaide, çelik plaka ve sert kauçuk tabakalarından oluşan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörle (LRB- Lead Rubber Bearings) benzer işlev yaptığı anlaşılmaktadır. Masif

mermer taşın LRB'deki kurşun silindir çekirdeği ile aynı işlev yaptığı sonucu çıkmaktadır.

- Matematik modelin günümüzdeki kurşun çekirdekli kauçuk izolatörle (LRB-Lead Rubber Bearings) karşılaştırması sırasında kullanılan 'benzer işlev' ifadesi deprem etkisi sırasında temel izolatörün denge durumu etrafında her iki tarafa sürüklendiğinden elasto-plastik davranışla denge durumu halinde olan anıtın üst kısmını tutar.
- Sunulan matematik model diğer taraftan tarihin deneyiminden geçmiş adı geçen "doğal sismik izolatörlü" temel türünün günümüzde de rahatlıkla kullanılabilirliğinin yanı sıra, günümüzdeki temel sismik izolatörleri ile mukayese olunmayacak kadar her hangi özel bakım gerektirmeden uzun ömürlülüğünün (bakılan anıt örneğinde 1000 sene) perde arkası gösterilmiştir. Bu açıdan sunulmuş matematik model depreme karşı yapıların incelenmesinde güvenli bir dizayn oluşturabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Arıoğlu N. , Arıoğlu E. , Mimar Sinan'ın Seçtiđi Taş : Küfeki ve Çekme Dayanımı, <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/12690.pdf> , (21.07.2011)
- Arıoğlu N. , Tuğrul A. ,Zarif İ. H. , Girgin C. ,Arıoğlu E. ,Küfeki Taşının Dayanıklılık Analizi: Şehzade Camii Örneđi-I,Yapı Dergisi, Yapı Endüstri Merkezi, Eylül 1999
- ABYYHY (2007), “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı
- ANSYS (R) Release 11.0SP1, www.ansys.com
- Binal A., “The Properties of Khorasan Mortar and Brick Used in Stone and Brick Masonry Buildings in Kula ( Manisa - Turkey)”, Historical mortars conference (HMC08), 24-26 September 2008, LNEC, Lisbon, Portugal, CD book, 2008.
- Celep Z. , Kumbasar N. , Deprem Mühendisliđine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul: Beta Dağıtım, 2004
- Cinel M. Doğal Taşların Fiziko-Mekanik Özelliklerine Göre Sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi,2007
- Çamlıbel N. , Sinan Mimarlığında Yapı Strüktürünün Analitik İncelenmesi, Üniversite Yayın No:YTÜ.MF.GB-98.0363/Fakülte Yayın No:MF.Mim/İSTANBUL-1998
- Deleon J. , Anıtsal İstanbul (Gezgin Rehberi) , Remzi Kitabevi, 2001
- Dikilitaş hakkında bilgiler, <http://lexicorient.com/e.o/constantine7.htm> (16.02.2009)
- Dikilitaş hakkında bilgiler, [http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96rme\\_Dikilita%C5%9F](http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96rme_Dikilita%C5%9F) (16.02.2009)

Drdácký M. , Mařín D. , Mekonone M.D. , Slížková Z., Compression tests on non-standard historic mortar specimens , HMC08 Historical Mortars Conference Characterization, Diagnosis, Conservation, Repair and Compatibility

Düzce Depremi, [http://tr.wikipedia.org/wiki/1999\\_D%C3%BCzce\\_Depremi](http://tr.wikipedia.org/wiki/1999_D%C3%BCzce_Depremi), 2011

Düzce Depremi İvme Değerleri, <http://peer.berkeley.edu/smcat/>,.2011

Erdik M. , akmak A. , Aya Sofya'nın Deprem Davranışı,  
<http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/12814.pdf>, 2011

Horasan Harcı, <http://www.yapi.com.tr/VImages/arastirma/0269hasanboke-horasan.pdf>,  
2009

Kasımzade A. A. (2004), SONLU ELEMENLAR METODU : Yapı mekaniginde temelleri ve uygulamaları, İstanbul, Birsen Yayınevi, İkinci Baskı, p. 827 (ISBN975-511-379-17:<http://www.mathworks.com/support/books/book10424.html>)

Kasımzade A. A. (2004), YAPI DİNAMİĞİ : Deprem Mühendisliği Teori ve Uygulamaları İstanbul, Birsen Yayınevi, İkinci Baskı p.527 (ISBN 975-511-381-9:  
<http://www.mathworks.com/support/books/book8465.html> )

Kasımzade A.A., Tuhta S.(2004), Estimation of Sensitivity and Reliability Base Isolated Buildings Under Earthquake Action, International Symposium On Network And Center – Based Research For Smart Structures Technologies And Earthquake Engineering , Osaka, Japonya.

Kasımzade A. A. , Tuhta S. , Bal S. , Natural Seismic Protection Peculiarities of Historical “ Walled Obelisk ” Structure In İstanbul : Modeling And Numerical Approach, SMART STRUCTURES AND MATERIALS, SMART 09, 13-15 July 2009, Porto-Portugal

Kasımzade A.A., “Mathematical Model of the Natural Seismic Protection : Modeling, Implementation, Applications, The 2<sup>nd</sup> International Multi – Conference on Engineering and Technological Innovation: IMETI 2009 July 10th - 13th, 2009 – Orlando, Florida, USA

Kasımzade A.A., Bal S., Atmaca G., Structural Resistivity Secret Of “Walled Obelisk” Monument Against Strong Earthquake Actions For Ten Centuries And Its Mathematical Model For Applications, International Congress And Exhibition “ Natural Cataclysms And Global Problems Of The Modern Civilization-Geocataclysm-2011”, 19-21 September, 2011 (İstanbul, Türkiye)

Kasımzade A. A. , Bal S. , Structural Safety Secret of “Walled Obelisk” Monument From The Tenth Century And Its Simulated Model For Applications, International Symposium on Disaster Simulation & Structural Safety in the Next Generation (DS’11), DS’11 KOBE, 17-18 September, 2011, Kobe-JAPAN

Kireçtaşı, [http://www.madencilik.net/hm\\_masse/kalker.doc](http://www.madencilik.net/hm_masse/kalker.doc) ,2009)

MP Tasarım ve Uygulama Ltd. Şirketince çizilen planlar, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yapı İşleri Müdürlüğü’nün izniyle kullanılmıştır.

Maria Rosa Valluzzi, Luigia Binda, Claudio Modena, (2005), Mechanical behaviour of Historic masonry structures strengthened by bed joints structural repointing, Construction and Building Materials 19, 63–73

Mermer Özellikleri, [http://www.fimar.com.tr/includes/urun\\_teknik.php?id=31](http://www.fimar.com.tr/includes/urun_teknik.php?id=31),2009)

Naeim F., Kelly J.M., Design of Seismic Isolated Structures, John Wiley & Sons Pub., 1999

National Geographic Dergisi, İstanbul’un Tılsımları, Şubat 2009

SAP 2000 bilgisayar programının Advanced 11.0.4 sürümü

Skinner R.I.,Robinson W.H.,McVerry G.H., An Introduction to Seismic Isolation, John Wiley & Sons Pub., 1993.

Sinanlar S. , Bizans Araba Yarışlarından Osmanlı Şenliklerine Atmeydanı, KİTAP YAYINEVİ, 2007.

Sultamahmet Meydanı,<http://tr.wikipedia.org/wiki/SultanahmetMeydan%C4%B1>,2009

Tüysüz O. , İstanbul İçin Deprem Senaryolarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı, Kuvaterner Çalıştayı IV, 2003

Tulgar S., Sultanahmet Örne Dikilitaş'ta Ayrışmaların Teşhisi ve Önerilen Koruma Yöntemleri, Seda Tulgar, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Uz B., Bacak G., Yılmaz M., İstanbul ve civarı agregalarının Petrografik Özellikleri ve Beton Dayanımına Etkileri, IM Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık 2003/İstanbul

Uluğ T. N. , Odabaşı Y. , Betonarme İnşaat Hesapları, Yedinci Baskı, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Divanyolu Biçkiyurdu Sokak 12,İstanbul

Uniform Building Code (UBC), (1997), International Conference of Building Officials, Vol 2 structural Engineering Design Provisions, Whittier, CA

Yılmaz P., Tarihi yapıların modellenmesi ve deprem güvenliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2006

## 7. ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Soyhan BAL

**Doğum Yeri:** SAMSUN

**Doğum Tarihi:**02.08.1983

**Medeni Hali:** Bekar

**Bildiği Yabancı Diller:** İngilizce

**Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl) Lise Lisans Yüksek Lisans:** Samsun AR Koleji-Ondokuz Mayıs Lisesi, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği A.B.D. (Devam ediyor)

**Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:** Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği A.B.D./ 2009 Mart-2009 Aralık, 2009 Aralık ayından beri Ankara DSİ Genel Müdürlük'te İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktayım.

**İletişim Bilgileri:**

**Ev Adres:** Mustafa Kemal Mahallesi 2151-1 Caddesi DSİ 5. Bölge Müdürlüğü Apart Lojmanları C Blok Kat:3 No:42 Çankaya/ ANKARA

**İş Adresi:** DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Dairesi Tatbikat-I Şubesi, Çankaya/ ANKARA

**İş Telefonu:** +90 312 417 83 00-2748

**Cep Telefonu:** 0507 437 86 00

**Web adresi:** soyhanbal@ hotmail.com