

KONYA HAFİF RAYLI ULAŞIM SİSTEMİNDEN KAYNAKLANACAK TİTREŞİMLERİN TARİHİ YAPILARDAKİ ETKİLERİ

THE EFFECT OF VIBRATIONS CAUSED BY KONYA URBAN TRAIN SYSTEM ON HISTORICAL STRUCTURES

Ö.Yüzügüllü,¹ M.Erdik,¹ E.Uçkan,² H.Keypour²

ÖZET

Bu tebliğde Konya Hafif Raylı Ulaşım Sisteminden kaynaklanabilecek titreşimlerin Alaaddin Tepesi ve çevresindeki tarihi yapıları etkileme ve zarar verme potansiyelinin belirlenmesine yönelik çalışmalar sunulmaktadır. Bu kapsamda Alaaddin Camii ve İnceminareli Medrese üzerinde oluşabilecek etkiler deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Hafif Raylı Ulaşım Sisteminden kaynaklanabilecek titreşimlerin simülasyonu amacı ile şehir trafiğinden kaynaklanan ve darbesel hareketlerin yarattığı titreşimler etüd edilmiştir. Bu hususta gerek zeminde ve gerekse yapılarda, çeşitli konumlarda çok kanallı senkronize ivme ölçümleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalara paralel olarak sonlu elemanlar metoduna dayalı analitik çalışmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel ölçümlerle irdelenmiştir. Bu çalışmanın diğer tarihi ve anıtsal yapılarla ilgili benzer etkileşim çalışmalarına bir örnek teşkil etmesi beklenmektedir.

SUMMARY

The objective of the paper presented was to study the effect and damage potential of the vibrations arising from Konya Urban Train System at Alaaddin Hill and the historical structures at its neighbourhood. The the scope of the study covered both analytical and experimental investigations of Alaaddin Mosque and İnceminareli Medrese. To simulate the vibrations caused by the Urban Train System, the vibrations generated by city traffic and impulsive sources were utilized. Synchronized acceleration measurements were made both on the ground and at different locations on the structures. Analytical studies were carried out by the Finite Element Method and checked against the experimental results. It is expected that this study will form an example for the study of effect of vibrations concerning other historical structures or monuments.

1 Prof. Dr., Boğaziçi Üni., Kandilli Rasthanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
2 Araş. Gör., Boğaziçi Üni., Kandilli Rasthanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

GİRİŞ

Konya Hafif Raylı Sistemi bu çalışmanın yapıldığı tarihte henüz faaliyete geçmemişti ve raylı sisteme ait sadece Alaaddin Tepesinin eteğini çevreleyen beton ray güzergahı mevcuttu. Dolayısıyla mevcut titreşimlerin kaynağını sadece şehir trafiği teşkil etmekteydi. İnceminareli Medrese Alaaddin Tepesinin batısında yer almakta ve Tepe ile Medreseyi, Tepe eteğini çevreleyen ana cadde ayırmaktadır. Medresenin ray güzergahına göre konumu ve planı Şekil.1'de verilmiştir. Yapı 1990 yılına kadar değişik zamanlarda tamir ve takviye görmüş olup bazı fazla önem arzetmeyen çatlamların dışında yapısal olarak iyi durumdadır.

Oldukça kötü zemin şartlarına sahip bir höyük tepesinde inşa edilen Alaaddin Camii'ne (Şekil.2, Şekil.3) değişik zamanlarda yapılan ilaveler ve takviyeler nedeniyle orta kısım ile diğer kısımlar arasında yapısal farklılık ve süreksizlik arz etmektedir [1,2]. Yapının kendisinde ve çevreleyen duvarlarında, genişliği yer yer 1 hatta 2 cm 'ye varan çatlaklar mevcuttur. Yapıda çatlamların başlamasından sonra tamir ve takviye amacı ile yapı dış duvarlarına kuşak şeklinde betonarme kiriş ve kolonlar ilave edilmiştir. Farklı oturmalarından dolayı oluştuğu iddia edilen taşıyıcı duvarlardaki yaygın çatlamları durdurmak amacı ile yakın zamanda temel ve temel zeminini ıslah çalışmalarının gerçekleştirildiği rapor edilmektedir [1]. Mevcut çatlaklar tamir görmemiş olup aralık durumdadır.

TİTREŞİMDEN ETKİLENME KRİTERLERİ

Literatürde yer alan Şiddet-İvme ilişkisini [3] kullanarak ve yapı cinsini de göz önünde bulundurarak, Alaaddin Camii'nde hasar başlatabilecek ivme seviyesi 15 cm/s^2 ; İnceminareli Medrese 'de ise 30 cm/sn^2 bulunur. Bu ivme değerleri hasara uğramamış yapılar için geçerlidir. Dolayısıyla Alaaddin Camii gibi halihazırda hemen hemen her yeri çatlaklarla dolu hasarlı bir yapı için bu değerlerin yarısını (7 cm/sn^2) sınırlayıcı değer olarak kabul etmek yerinde olacaktır. Ayrıca Alman şartnamesi DIN 4150,1970 [4] ve Steffens (1974) [4]'de tarihi yapılar için verilen hasar görme kriterleri göz önünde bulundurulursa, DIN 4150'nin en konservatif olduğu görülür. Buna göre incelenen tarihi yapılar için kriter olarak titreşim genliklerinin hız cinsinden 1.33 mm/sn 'dendaha az olması şeklinde ifade edilebilir. İvme cinsinden bu kriter 5, 10, 20 Hz'lik titreşim frekanslarında sırasıyla 5, 3 ve 2 cm/sn^2 değerlerine tekabül etmektedir.

Kaynak 5'de verilen genel kurala göre yapıya ulaşan ve şehir trafiğinden kaynaklanan mevcut titreşimlerin 5 cm/sn^2 'den daha küçük olduğu ifade edilebilir. Her iki yapıda da çatlaklar mevcut halde bırakıldığı takdirde, çeşitli nedenlerden kaynaklanan titreşimler altında yapıdaki yorulma etkisi hız

kazanır.Genel kural olarak ifade edildiğine göre, betonarme yapılarda bile yorulma etkisi ile zamanla dayanımları yarıya kadar inebilmektedir [6] ve yorulma etkisi bilhassa çatlamadan sonra daha etkili ve belirgin olmaktadır. Konya Hafi Raylı Sisteminden kaynaklanabilecek titreşimlerin mertebesine ışık tutmak amacı ile İstanbul'da halihazırda hizmet veren benzer Hızlı Tramvay Sisteminde bazı basit titreşim ölçümleri yapılmıştır.Elde edilen kayıtların değerlendirilmesi sonucunda iki ray ortasında bile ivme cinsinden titreşim genliğinin 3 cm/sn²'yi geçmediği, raylardan yaklaşık 30 m. uzaklıkta ise 0.05 cm/sn²'ye kadar düştüğü tesbit edilmiştir.

TİTREŞİM DENEYLERİ

Konya Alaaddin Camii ve İnceminareli Medrese yapılarında mevcut ve simüle edilen trafik gürültülerinden kaynaklanan titreşim düzeyini belirlemek ve yapıların çevrel titreşimlere gösterdiği dinamik davranışı tanımlamak maksadı ile bir seri titreşim deneyi gerçekleştirilmiştir [7]. Maksimum mertebede meydana gelebilecek trafik gürültüsünün simülasyonu amacıyla yola serilen ve yüksekliği 5cm olan kalaslar üzerinden kamyon ve otobüs gibi ağır vasıtalar geçirilmiştir.Bu simülasyon deneyleri ilerideki atıflar için "takoz" deneyi olarak adlandırılmıştır.

Titreşim Kaynağının oluşturduğu titreşimleri algılayabilmek için seçilmiş kritik noktalara yerleştirilen 4 adet sismometre ve 3 adet akselerometre sinyal denetleyicilerine bağlı olarak kullanılmıştır. Elde edilen analog sinyaller bir portatif bilgisayar içinde yer alan analog-dijital çevirici vasıtasıyla sayısallaştırılmış ve sonuçlar manyetik ortama doğrudan aydedilmiştir. Aynı zamanda özel bir bilgisayar programı yardımıyla kaydedilen değerleri deney esnasında grafik olarak ekranda izlemek mümkün olmuştur. Sismometre kanalları S-1, S-2, S-3 ve S-4, akselerometre kanalları ise A-1,A2 ve A3 olarak adlandırılmıştır.

İnceminareli Medrese Deney Serileri

Bu deneylerde değişik konum ve pozisyonlarda aynı anda kullanılan 4 adet sismometre ve 3 adet akselerometre yardımıyla normal şehir trafiğinde ve trafik durdurulduktan sonra kalaslar üzerinden geçirilen otobüslerden (bir veya birkaç otobüs ard arda) kaynaklanan titreşimler ölçülmüş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Kayıt alma noktaları ve kanallar (Şekil 1) aşağıdaki gibi seçilmiştir:

1. Medrese çatısı, radyal yönde (S-1 ve A-1),
2. Divanhane havuzu, düşey yönde (S-2 ve A-3),
3. Divanhane havuzu, radyal yönde (A-2),
4. Yol, radyal yönde (S-3),
5. Yol, düşey yönde (S-4),

Kalibrasyon deneyleri dahil toplam 6 adet deney gerçekleştirilmiş ve herbir deney serisi için kayıtların zaman tanım alanındaki genlikleri ve Fourier Genlik Spektrumları hesaplanarak gözden geçirilmiştir. Bunlardan sadece önemli olanlara ait titreşim genlik ve hakim frekanslarının ortalama değerleri Tablo.1 de verilmiştir. Gerekli durumlarda kayıtlar üst üste toplanarak veya farkları alınarak incelemeye tabi tutulmuştur.

Alaaddin Camii Deney Serileri

Bu deneylerde 3 adet akselerometre aynı anda değişik konum ve pozisyonlarda kullanılmıştır (Şekil.3). Raylara en yakın konumda olduğu için birinci ölçüm noktası olarak Cami'nin Kuzey ve Doğu dış duvarlarının kesistiği köşe seçilmiş ve akselerometrelerden iki adedi aşağıda duvar dibinde ve bir adedi ise yukarıda duvar üstünde iken ilk seri deneyler gerçekleştirilmiştir. Diğer bir seri deneyde ise duvar dibindeki akselerometreler aynı yerde ve aynı yönde bırakılarak duvar üstündeki akselerometre duvar köşesine en yakın mesafede beton ray temeline yerleştirilmiştir. Duvar dibindeki akselerometrelerden bir adedi düşey, diğeri ise yatay konumda, duvar üstündeki veya beton ray temeli üzerindeki akselerometre ise bütün deneylerde yatay konumda tutulmuştur. İnceminareli Medrese deneylerine benzer şekilde yine normal şehir trafiğinde ve trafik durdurulduktan sonra kalaslar üzerinden geçirilen otobüslerden kaynaklanan titreşimler bilgisayara kaydedilmiştir. Kayıt alma noktaları ve kanallar (Şekil.3) aşağıdaki gibi seçilmiştir:

1. Duvar üst köşesi, radyal yönde (A-1),
2. Duvar alt köşesi, radyal yönde (A-2),
3. Duvar alt köşesi, düşey yönde (A-3).
4. 6. Deneyde: Duvar üst köşesi, transverse yönde (A-1),
5. 8, 9, 10 ve 11. Deneylerde: Yol, radyal yönde (A-1).

Kalibrasyon deneyleri dahil toplam 11 adet deney serisi gerçekleştirilmiş ve İnceminareli Medrese deneylerine benzer şekilde elde edilen titreşim genlik ve hakim frekanslarının ortalama değerleri Tablo.2 de verilmiştir. Sunulan ölçümler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Mevcut taşıt trafiği gürültüsü altında İnceminareli Medrese ve Alaaddin Camii temelinde ölçülen titreşimlerin genliği sırasıyla 1.6 cm/s² ve 0.52 cm/s² değerlerinin altında kalmaktadır. Bu titreşimlerin enerjisi 10-20 Hz arasındaki frekans bölgesinde yoğunlaşmaktadır.
2. Mevcut taşıt trafiği gürültüsü altında İnceminareli Medrese ve Alaaddin Camii yapılarının zati titreşimleri 10-12 Hz. arasında bir hakim frekansa sahiptir. Bu frekans yapıların birinci mod titreşim frekanslarına tekabül etmektedir.

3. Gerçekleştirilmiş takoz deneylerinden kaynaklanan titreşimlerin genlikleri İnceminareli Medrese ve Alaaddin Camii temelinde sırasıyla 7.5 cm/s² ve 1.8 cm/s² değerlerinin altındadır.

SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

Analitik çalışmalarda SAP90 [8] isimli sonlu eleman analiz paketi simüle edilmiş kalas deneyi ve tren yüklemesinden kaynaklanan titreşimlerin incelenmesinde kullanılmıştır. Kalas deneyi ile elde edilen analitik sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılarak analitik modellemenin (zemin parametreleri ve sınır şartları gibi) doğruluğu saptandıktan sonra aynı model tren yüklemesinden kaynaklanacak titreşim seviyelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Sonlu eleman analizi için ray güzergahına dik ve paralel yönde iki ayrı model (Şekil.6 ve Şekil.7) üzerinde çalışılmıştır. Kalas deneyindeki kamyon ve otobüs yüklerinin analitik simülasyonu için üçgen darbe yüklemesi kullanılmış ve iki darbe arasında geçen zaman aracın aks aralığı ve seyir hızı göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Yükleme (darbe) süresi olarak kamyon deneylerinden elde edilen 0.1 saniyelik süre kullanılmıştır. Demiryoluna paralel olan kesitin (Şekil.7) analizinde tekerlek yükleri değişik noktalara aynı anda dinamik olarak (senkronize), diğer kesitte (Şekil.6) ise aynı noktaya farklı zamanlarda (asenkronize) etki ettirilmiştir. Alaaddin Camii temelinde ait kalas deneyinden elde edilen analitik titreşim genlikleri aşağıda özetlenmiştir:

Yatay ivme = 0.80cm/s² Düşey ivme = 0.69cm/s²

Analitik çalışmanın ikinci bölümünü oluşturan senkronize tren yüklemesi sırasında uzun darbeli yavaş seyir, uzun darbeli hızlı seyir ve kısa darbeli hızlı seyir durumları incelenmiş, kısa darbeli hızlı seyir yüklemesinin en kritik yükleme olduğu sonucuna varılmıştır. Kısa süreli darbeler oldukça rijit ray temellerini, uzun süreli darbeler ise yumuşak ray temellerini simüle etmek amacı ile kullanılmıştır. Yavaş trenin 10 km/saat, hızlı trenin ise 50 km/saat hızla hareket ettiği varsayılmıştır. Aşağıda Tren Yükleme analitik sonuçları özetlenmiştir:

İnceminareli Medrese Temeli: Yatay ivme = 0.69cm/s² Düşey ivme = 0.20cm/s²
Alaaddin Camii Temeli :

Yavaş tren (Uzun Darbe)	Yatay ivme = 0.13cm/s ²	Düşey ivme = 0.20 cm/s ²
Hızlı tren (Uzun Darbe)	Yatay ivme = 0.26cm/s ²	Düşey ivme = 0.36 cm/s ²
Hızlı tren (Kısa Darbe)	Yatay ivme = 0.81cm/s ²	Düşey ivme = 1.20 cm/s ²

(Şekil.8)

Görüldüğü gibi Tren Yükleme halinde her iki yapının da temelinde oluşabilecek titreşim genlikliği en çok 1.2 cm/s² olmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Çalışmalarımıza konu teşkil etmiş bulunan İnceminareli Medrese ve Alaaddin Camii için belirlenen titreşimden etkilenme kriteri: En konservatif bir şekilde "Yapılarda titreşimden kaynaklanacak kısa veya uzun vadeli herhangi bir etkilenme olmaması için hız cinsinden titreşim genliklerinin 1.33 mm/s'den daha az olması gerekir." şeklinde ifade edilebilir. Bu kriter 5,10 ve 20 Hz'lik titreşim frekanslarında sırasıyla 5, 3 ve 2 cm/s² değerlerine tekabül etmektedir.
2. Konya Hafif Raylı Sisteminden kaynaklanabilecek titreşimlerin mertebesine ışık tutmak amacı ile İstanbul'da halihazırda hizmet veren Hızlı Tramvay Sisteminde yapılan titreşim ölçümleri kaynaktaki (ray civarı) titreşim genliklerinin 3 cm/s²'yi geçmediği, raylardan yaklaşık 30 m. uzaklıkta bu genliğin 0.05 cm/s²'ye kadar düştüğünü göstermektedir.
3. Konya Alaaddin Camii ve İnceminareli Medrese yapılarında mevcut trafik gürültüsünden kaynaklanan titreşim düzeylerini ve yapı davranışlarını belirlemek için yerinde yapılan ölçümler, her iki yapının temelinde oluşan titreşim genliklerinin 1.6 cm/s² değerinin altında kaldığını göstermiştir.
4. Raylardan kaynaklanacak darbelerin yayılma özelliklerinin deneysel açıdan incelenmesi ve yapılacak analitik çalışmaların doğruluğunu sınamak maksadı ile ağır vasıtalar yola serilmiş kalaslar üzerinden geçirilmiştir ve titreşim genlikleri tesbit edilmiştir. Gerçek ray trafiğinden kaynaklanacak titreşimlerin bu tesbit edilmiş değerlerin çok altında teşekkül edeceği aşıkardır.
5. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalara paralel olarak, ve özellikle ray trafiğinden kaynaklanacak titreşimlerin simülasyonu amacı ile sonlu elemanlar metoduna dayalı analitik çalışmalar yapılmıştır. Tren yüklemesi halinde her iki yapının temelinde oluşacak titreşim genliklerinin en çok 1.2 cm/s² olduğu analitik çalışmalar neticesinde ortaya çıkmıştır.
6. Yukarıda açıkladığımız tesbitler ışığında İnceminareli Medrese ve Alaaddin Camii yapılarında Konya Hafif Raylı Ulaşım Sisteminden kaynaklanacak titreşimlerin yapısal açıdan olumsuz bir etkileşim yaratacak seviyede olmadığı belirlenmiştir. Nitekim bu sistemden kaynaklanacak titreşimler halihazırdaki taşıt trafiğinden kaynaklananların altında teşekkül edecektir.
7. Alaaddin Cammii'nin kemerli taşıyıcı sistemi sadece doğu-batı istikametinde ahşap ile takviye edilmiş durumdadır. Farklı zemin oturmalarından dolayı üst yapıda hasara sebep olan gerilmelerin etkisini diğer yönde, yani

kemerli eksenlere dik (kuzey-güney) istikametinde dağıtmak için rijitliği sağlayacak bir düzen yoktur. Yapı bütünlüğünün sağlanabilmesi ve bilhassa muhtemel bir deprem vukuunda yıkılmaya sebep olabilecek kuzey-güney istikametindeki zaafiyetin bir takviye sistemi ile behemehal giderilmesi önerilir.

TEŞEKKÜR

Gerek konuyla ilgili bilgi toplanması ve gerekse yerinde gerçekleştirilen deneyler sırasında her türlü destek ve lojistik yardımı esirgemeyen Sayın Konya Büyükşehir Belediye Başkanına, Genel Sekretere ve Yardımcılarına teşekkürü bir borç biliriz. Deneylerde kullanılan ekipman ve bilgisayar programı A.B.D. Princeton Üniversitesi ve Japonya Kajima Teknoloji Enstitüsü tarafından Anabilim Dalımıza hibe edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Konya Alaaddin Camii Temel Zemini Davranış Modellenmesi. T.Karadayılar, T.Durgunoğlu, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Üçüncü Ulusal Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi, 25-26 Ekim 1990, İstanbul.
2. Bilirkişi Raporu, Konya İdare Mahkemesi Başkanlığına, Dava No:1991/23 Prof.Dr.S.Buluç, Prof.Dr.Y.Özkan, Doç.Dr.Ç.Göksu, 24.4.1991.
3. Kuvvetli Deprem Yer Hareketi (Temel Bilgiler), M.Erdik, Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti, Yapıların Genel Deprem Hesabı Kursu, ODTÜ, 1982.
4. Analysis and Design of Foundations for Vibrations,edited by P.J.Moore, published by A.A.Balkema,1985
5. Human Response to Tall Building Wind Induced Motion, J.W.Reed, R.J.Hansen, E.H.Vanmarcke, State of Art Report No.6, Proceedings of the International Conf. on Planning and Design of Tall Buildings, Vol.II, Aug.21-26, 1972, Lehigh Univ., U.S.A.
6. Dynamic Behaviour of Concrete Structures,Report of Rilem 65 MDB Committee, Edited by G.P.Tilly, Elsevier, 1986
7. Konya Hafif Raylı Ulaşım Sisteminden Kaynaklanacak Titreşimlerin Tarihi Yapılarda Yaratacağı Etkilerin Belirlenmesi, M.Erdik, Ö.Yüzügüllü, E.Uçkan, H.Keypour Boğaziçi Üniversitesi,Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Müh.Anabilim Dalı,Rapor No 91-6
8. SAP90- A Series of Computer Programs for the Static and the Dynamic Finite Element Analysis of Structures, E.L.Wilson, A. Habibullah, 1989.

Tablo.1

İnceminarelli Medrese (Şekil.1)

Titreşim Genlikleri ve Hakim Frekanslar

Kayıt Alma Noktası	Genlikler S(cm/s)	A(cm/s ²)	S(Hz)	Hakim Frekanslar (Hz) A(Hz)
--------------------	----------------------	-----------------------	-------	--------------------------------

Deney Serisi No:3 - Mevcut Trafik Gürültüsü Kaydı

1	6.0	12.7
2	0.55	12-16
3	0.35	14-22

Deney Serisi No:4 - Mevcut Trafik Gürültüsü Kaydı

1	0.07	8.0	5-12	12.2
2	0.04	1.6	10	12-18
3		0.9		11-21
4	0.2			4-9

Deney Serisi No:6 - Takoz Deneyi

1	1.2	9.0	6-11
2	0.8	7.5	
3		3.0	
4	0.4		
5	3.0		

Tablo.2

Alaaddin Camii (Şekil.3)

Titreşim Genlikleri ve Hakim Frekanslar

Kayıt Alma Noktası	Genlikler S(cm/s)	A(cm/s ²)	S(Hz)	Hakim Frekanslar (Hz) A(Hz)	Not
--------------------	----------------------	-----------------------	-------	--------------------------------	-----

Deney Serisi No:3 - Mevcut Trafik Gürültüsü Kaydı

1	0.92	11-15
2	0.42	20-22
3	0.35	8-15

Deney Serisi No:5 - Mevcut Trafik Gürültüsü Kaydı

1	0.94	10	Şekil.4
2	0.46	10-20	
3	0.52	10-11	

Deney Serisi No:6 - Mevcut Trafik Gürültüsü Kaydı

2	0.2	1-21
3	0.2	
4	0.78	1-20

Deney Serisi No:7 - Takoz Deneyi

1	3.0	11-14
2	1.1	
3	1.8	

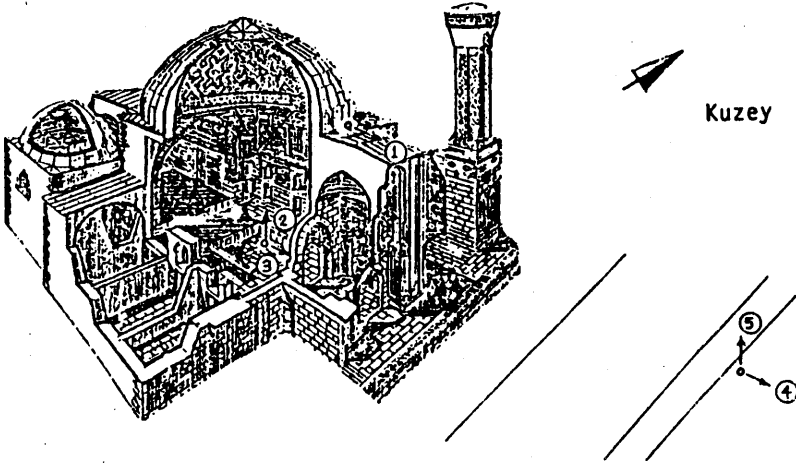
Deney Serisi No:8 - Takoz Deneyi

2	0.8
5	4.9

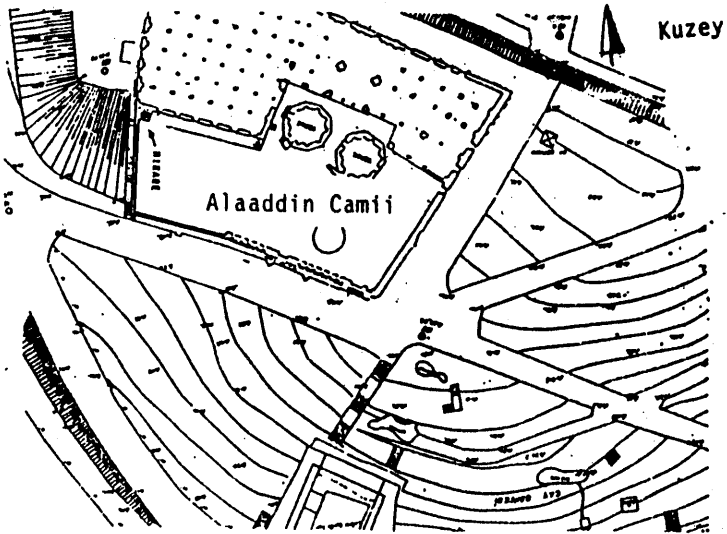
Şekil.5

Deney Serisi No:11 - Takoz Deneyi

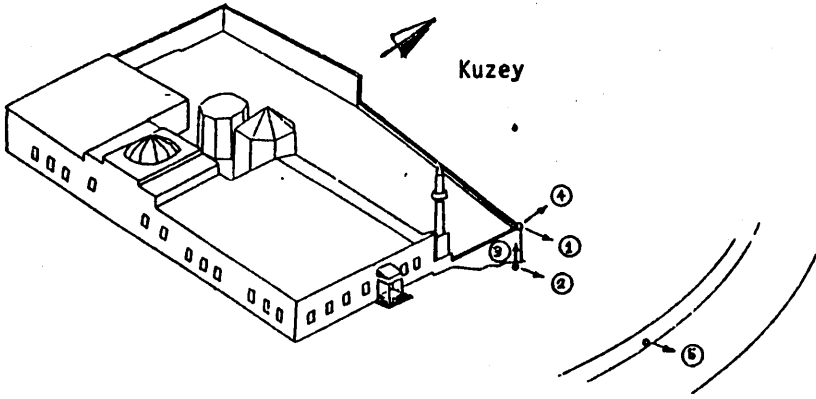
2	1.5
3	1.0



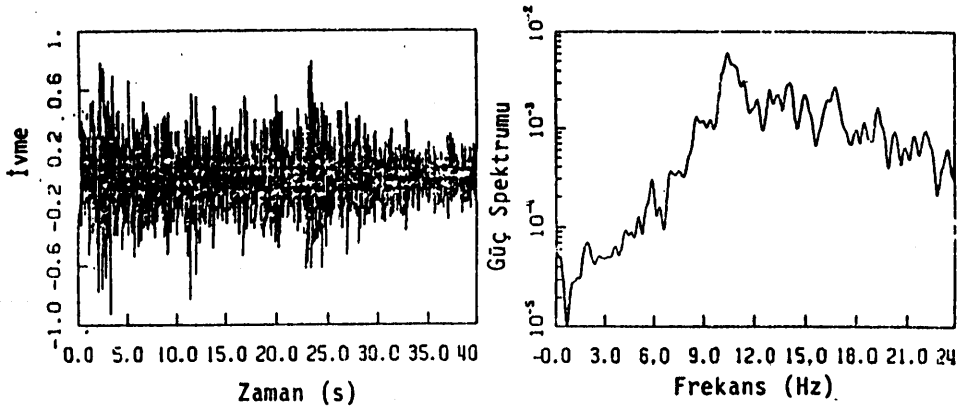
Şekil.1 İnceminareli Medrese deney serilerinde kullanılan kayıt alma noktaları ve kanallar.



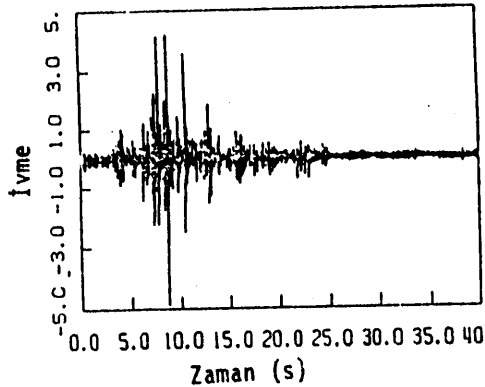
Şekil.2. Alaaddin Camii Genel Konumu



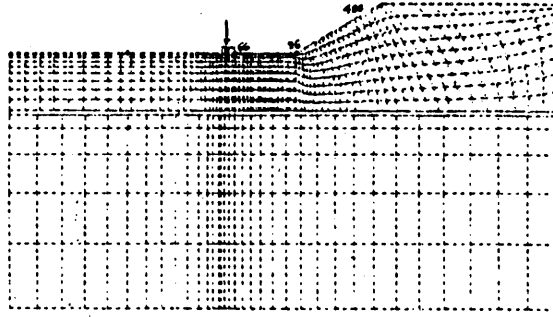
Şekil.3 Alaaddin Camii deney serilerinde kullanılan kayıt alma noktaları ve kanallar.



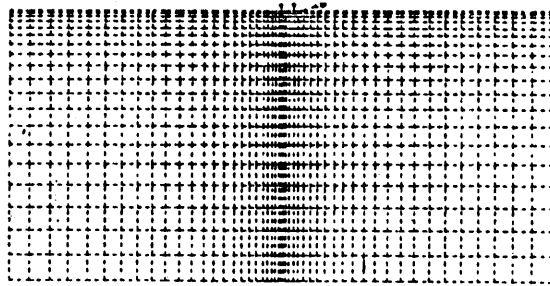
Şekil.4 Alaaddin Camii Deney Serisi: 5, Duvar üst köşesi, Radyal yönde (A-1), İvme ve Fourier Genlik Spektrumu.



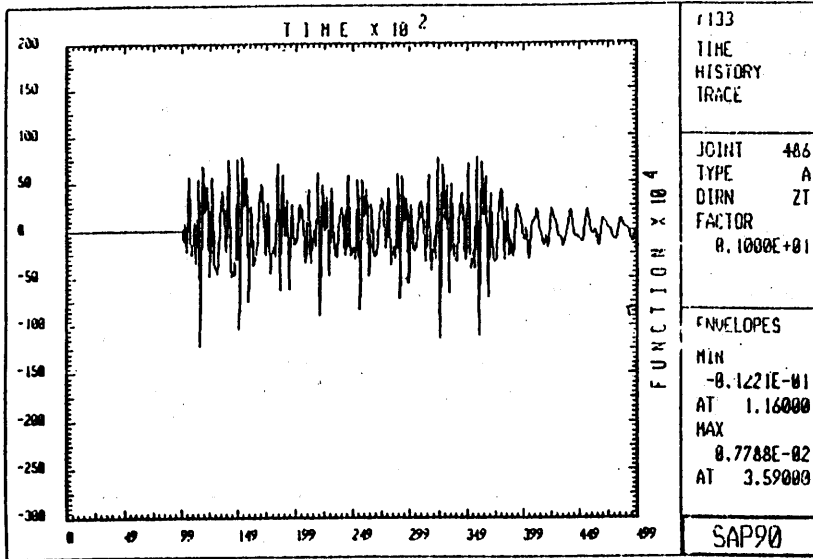
Şekil.5 Alaaddin Camii Deney Serisi: 8, Yol, Radyal yönde (A-1), İvme Kaydı



Şekil.6 Sonlu Eleman Modeli (Raylara Dik)



Şekil.7 Sonlu Eleman Modeli (Raylara Paralel)



Şekil.8 Alaaddin Camii , Duvar dibi düşey ivme
Hızlı tren, kısa darbeli yük simülasyonu
(Şekil.6, 486 No'lu düğüm noktası)