



Makale

Eğri Minarenin Zamansal Davranışlarının İzlenmesi Üzerine Bir Araştırma

Temel BAYRAK^{1*}, H. Murat YILMAZ², M. AKKÖSE³

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Trabzon

²Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Aksaray

³Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET

Çeşitli dinleri bünyesinde barındıran, gelişip yayılmaların yaşandığı Aksaray ilimizde özellikle İslamiyet ve Hıristiyanlık dönemlerine ait her biri kendi dalında bir şaheser olan pek çok tarihi eserler mevcuttur. Bunların arasında yer alan Eğri (Kızıl) Minare 1221–1236 yılları arasında yapılmış ve geçen zaman sürecinde eğilmiş olduğu düşünülen İslamiyet dönemine ait bir Selçuklu eseridir. Bu çalışma, Eğri Minarenin deformasyonlarının belirlenmesine yönelik Jeodezik anlamda ilk örnek bilimsel çalışma olmuştur. Çalışma ile minarenin güncel durumu tespit edilmiştir. Minarenin eğilmesine neden olan koşullar ve güçler tespit edilmiş ve böylece elde edilen veriler yardımıyla minarenin korunması ve gelecek nesillere bir tarihi miras olarak aktarılabilmesine yönelik ne gibi önlemler alınabileceği belirtilmiştir.

Zaman sürecinde iç ve dış etkilere dolaylı olarak gerçekleşen eğilme hareketinin güncel durumu Meteorolojik, Jeodezik, 3D Fotogrametrisi yöntemi ve Jeolojik yöntemlerin katkılarıyla belirlenmiştir. Cümlede anlatılmak üzere bozukluğu var, ayrıca 3d fotogrametrisi hatalı bir kullanım. Ayrıca çalışma kapsamında; yapı-zemin etkileşimi de dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Jeodezik ve Fotogrametrik yöntemlerle birlikte yorumlanmıştır. İlave olarak, minare yanında bir kuyu açılmış; yeraltı suyu değişimi ve toprak materyalinin yapısı belirlenmiştir. Sonuç olarak minarenin eğilmesinin devam edip etmediği, eğer hareket devam ediyorsa ne kadar eğildiği, kütle, yeraltı suyu değişiminin ve toprak yapısının eğilmeye katkısının ne kadar olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Eğri minare, Deformasyon, 3D Tasarım, Sondaj Kuyusu, Zemin

1. GİRİŞ

Aksaray ili, Merkez İlçesi, Çerdiğin Mahallesi sınırları içerisinde bulunan Kızıl Minare (Şekil 1) 1221–1236 yılları arasında tesis edilmiş bir Selçuklu eseridir. Eğri Minare İtalya'daki ünlü Pisa Kulesi gibi eğik olmasından dolayı yerli ve yabancı turistlerden oldukça ilgi gören tarihi bir yapıdır. Korunması ve gelecek nesillere miras olarak bırakılmasına yönelik önlemler almaya çalışan İl Trafik Komisyonu 1995 yılında önünden geçen Aksaray-Nevşehir karayolunu trafiğe kapatma kararı almış ve yıkılmasını önlemek amacıyla da Vakıflar Genel Müdürlüğü minareyi halatla zemine bağlamıştır. Günümüze kadar minarenin eğilmesinin devam edip etmediği konusunda yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada minarenin eğilmesinin devam edip etmediği sorusuna cevap aranmıştır. Tarihi süreci konusunda pek fazla bilgi olmayan minarenin hala eğilmeye devam edip etmediği bir merak konusu olmuştur. Ancak bu eğilmenin ne kadar olduğu bir bilinmeyen olarak karşımızda durmaktadır. Bu proje çalışmasıyla minarenin bu bilinmeyenine çözüm aranmıştır.



Şekil 1 Eğri (Kızıl) Minare

Çalışma kapsamında yapılacak işlerin altı alanda yurütulmesi planlanmıştır. Minarenin tarihi srecinin araştırılmasının yanı sıra minarenin eğilmesinin tespitinde Jeodezik ve Fotogrametrik çalışmalar, Meteorolojik ve Jeolojik veriler elde edilmiş ve kullanılmıştır. Minare üzerine herhangi bir işaretlendirmenin yapılamaması nedeniyle eğilmenin tespiti için kutupsal koordinatlarla çalışılmıştır. Fotogrametrik çalışmalarla minarenin eğilme miktarları ve minare uzunluğunun tespiti için minarenin üç boyutlu modeli hazırlanmıştır. Meteorolojik veriler minarenin eğilmesiyle atmosferik şartlar arasındaki ilişkinin ortaya koyulması amacıyla toplanmıştır. Minarenin yanına açılmış sondaj kuyusundan minarenin üzerine oturduğu zeminin özellikleri belirlenmiştir. Zemin özelliklerinin ve belirlenen yeraltı suyu değişimlerinin eğilmeye katkısı olup olmadığu irdelenmiştir. Sonuç olarak minarenin eğilmesinin devam edip etmediğu, eğer hareket devam ediyorsa ne kadar eğildiğu, kütleinin, yeraltı suyu değişiminin ve toprak yapısının eğilmeye katkısının ne kadar olduğu tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışma kapsamında Eğri Minarenin zamanla eğildiğu düşünülerek eğilmenin nedenlerinin tespiti ve bu nedenlerin araştırılması yönünde kapsamlı çalışmalar yurütulmüştür (Şekil 2). Eğri minarenin eğilmesinin nedenleri olarak inşaat ve kazı aktiviteleri, rüzgâr, yağış, minarenin kendi ağırlığu, trafik akışı ve yapay titreşimler, yeraltı suyu değişimleri, zemin özellikleri ve zeminin sıvılaşması olarak düşünüşmüş ve bu parametrelere göre çalışmalar aşağıdaki başlıklara göre yurütulmüştür. Bunlar:

1. Eğri Minarenin tarihi srecinin araştırılması,
2. Meteorolojik çalışmalar,
3. Jeodezik çalışmalar,
4. Fotogrametrik çalışmalar,
5. Jeolojik çalışmalar,
6. Sonlu Elemanlarla Modellemedir.

Her alt başlıkta konu için uygulanılan yöntem ve uygulamalar bir arada verilmiştir.



Şekil 2 Eğri Minarenin Eğilmesinin Muhtemel Nedenleri

2.1. Eğri (Kızıl) Minarenin Tarihi Süreci

Şamlı Mahallesi, Nevşehir caddesi üzerinde, kendi adını alan sokağın karşısında yer alan minare, eğri olmasından dolayı halk arasında “Eğri Minare”, tuğlalarının kırmızı olmasından dolayı da “Kızıl Minare” olarak tanınmaktadır. Yapı, yayınlarda ise genellikle “Kızıl Minare” ismiyle tanıtılmaktadır. Kitabesi günümüze kadar gelemeyen minare, mimari ve süsleme özelliklerinden hareketle I. Alâeddin Keykubad dönemine (1220–37) tarihlendirilmektedir. Geçen süre içerisinde kitabesi kayıp olmasından dolayı sanatkârı bilinmemektedir. Eğri minare horasan harcıyla yapıştırılmış kırmızı tuğlalardan yapılmıştır. Dört köşe bir kaide üzerine silindirik gövde, ince bir silme ile iki kısma bölünmüştür. Alt kısmı zikzak, üst kısmı mavi ve yeşil çini mozaiklerle kaplanmıştır. Bir şerefesi ve 92 basamağı vardır. Tarihi belirlenemeyen ve birçok tamir geçirmiş olan minarenin külahı da bu tamirlerden birine aittir. Kaide ve pabuç kısmının orijinal şekli, farklı dönemlerde yapılan tamirler nedeniyle bozulmuştur. 1970–1971 yıllarında Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan onarımda, daha önce zeminde iki sıra olan taş kısım bugünkü seviyeye yükseltilmiş ve daha fazla eğilerek yıkılmasını önlemek amacıyla, gövdenin üst bölümü çember içine alınarak çelik halatlarla gerilmiştir. Bugün eğik ve kısmen harap olan minare kullanılmamaktadır (Şekil 3). Tarihi kayıtlarda minarenin yüksekliği yaklaşık 35–36 m. civarında ve yaklaşık 27 derece eğilmiş durumda olduğu belirtilmiştir. Yapının daha fazla zarar görmemesini engellemek için önünden geçen Nevşehir Caddesi 1995 yılında İl Trafik Komisyonu tarafından trafiğe kapatılmıştır. Minarenin mimari özellikleri ve tarihçesi hakkındaki daha ayrıntılı bilgiler [1], [2], [3], [4]’ten edinilebilir.

2.2. Meteorolojik Çalışmalar

Meteorolojik çalışmalar kapsamında minarenin eğilmesinde katkısı olabileceği düşünülen yağış, sıcaklık ve rüzgâr parametreleri ele alınmıştır. Bu bağlamda yağış rejimini belirlemede 56 yıllık, sıcaklık değişimlerini belirlemek için 27 yıllık ve rüzgâr durumunu belirlemek için ise 24 yıllık meteorolojik veriler kullanılarak aşağıdaki mevcut durum belirlenmiştir. Yağış, sıcaklık ve rüzgâr ilişkileri Şekil 4’te gösterilmiştir. Ayrıca rüzgâr esme hızları (Şekil 5) ve rüzgâr esme sayıları belirlenmiştir (Şekil 6).

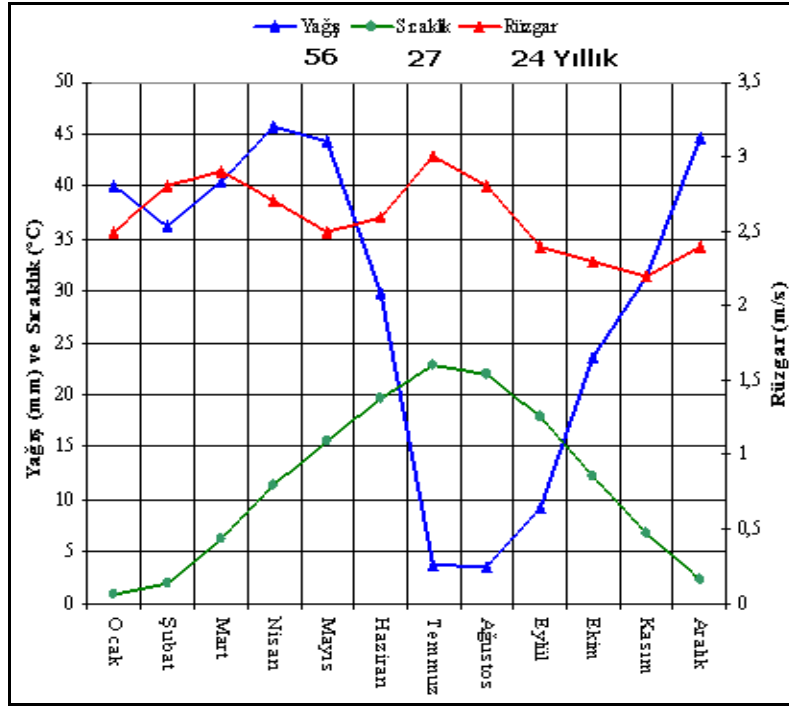
Yağış: Aksaray ili, İç Anadolu’nun en az yağış alan illerinden biridir. Yağış dağılımı bakımından kendi içinde genel olarak homojen bir yapıya sahiptir. Aksaray’da 56 yıllık rasat ortalamalarına göre ortalama yağış yüksekliği 352,9 mm toplam yağış miktarı ile karakterize edilir. Bu miktar Türkiye ortalaması olan 735 mm’den yaklaşık iki kat daha azdır.

Sıcaklık: Aksaray Meteoroloji İstasyonu'nun 27 yıllık rasat sonuçlarına göre yıllık ortalama sıcaklık 11,6 °C'dir. Aksaray'da ölçülen en yüksek sıcaklık 38,4 °C, en düşük sıcaklık ise -26,4 °C'dir. Aksaray'da sıcaklık farkları çok büyüktür. Aksaray meteoroloji istasyonunda ölçülen uzun yıllar ortalama minimum sıcaklık 5,2 °C ve ortalama maksimum sıcaklık 18 °C olup, bu iki değer arasında 12,8 °C'lık bir fark mevcuttur.

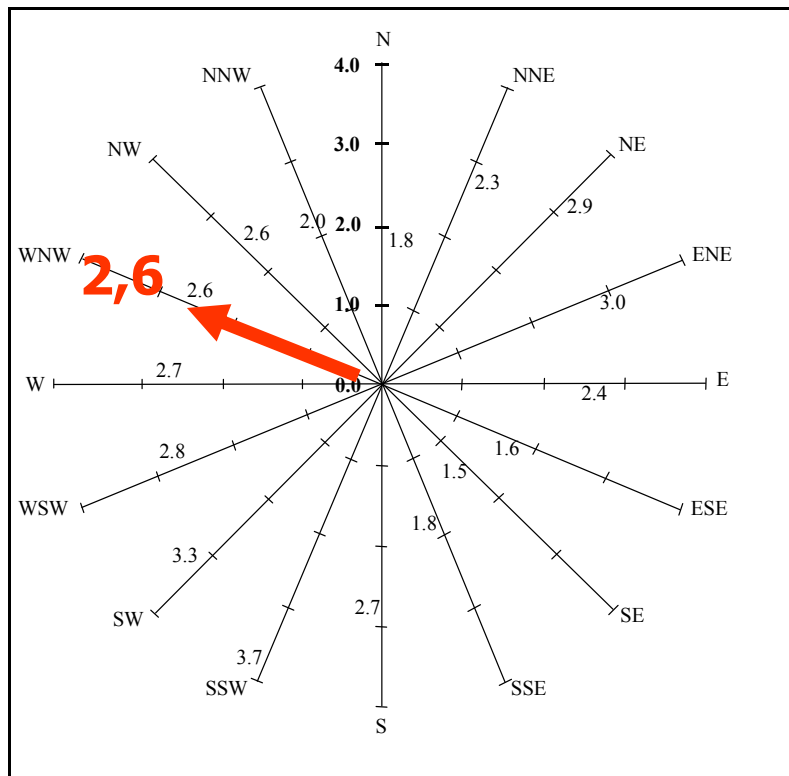
Rüzgâr: Aksaray Meteoroloji İstasyonu'nun 24 yıllık rasatlarına göre Aksaray çevresinde en çok esen rüzgâr yönleri sırasıyla, doğu-kuzeydoğu (4622), kuzeydoğu (2726), doğu (2161), batı-kuzeybatı (1807), kuzey-kuzeydoğu (1754) dur. En hızlı esen rüzgârın yıllık ortalama hızı 3,7 m/sn ve yönü güney-güneybatıdır.



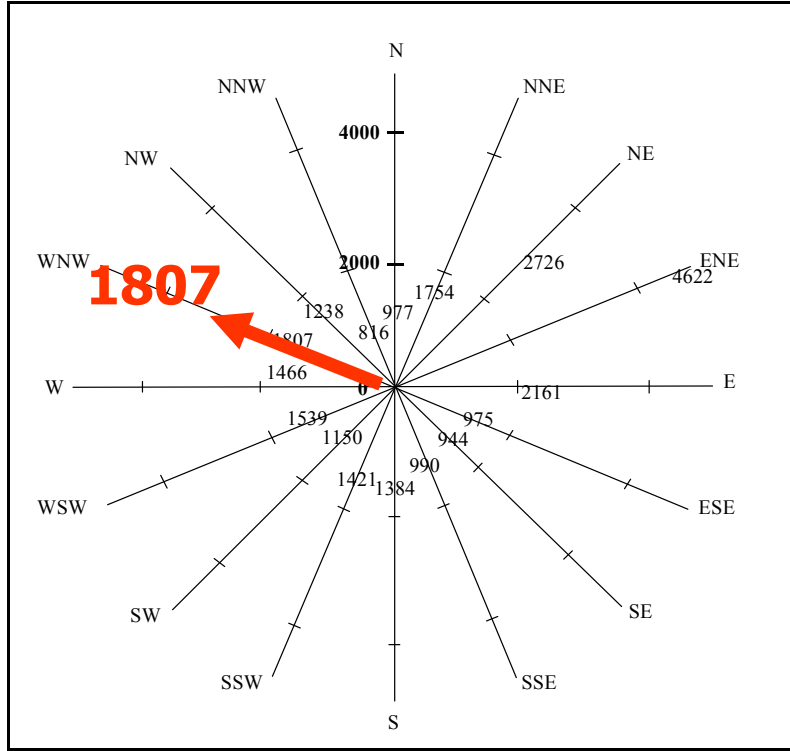
Şekil 3 Eğri Minarenin Kaidesinin Farklı Açılardan Görünümü



Şekil 4 Ortalama Yağış, Sıcaklık ve Rüzgâr Grafiği



Şekil 5 Esme Hızlarına Göre Rüzgâr Gülü (m/sn)

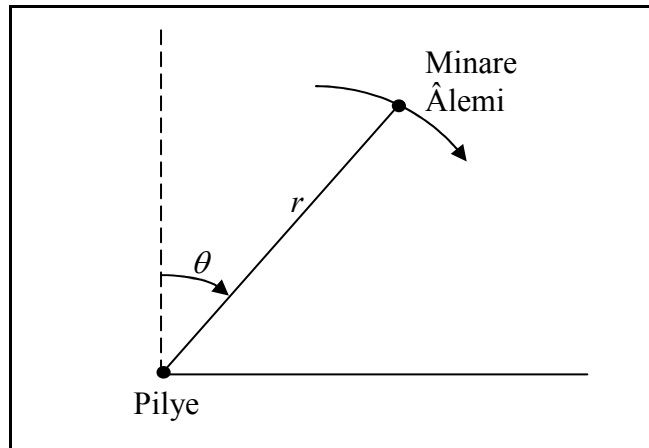


Şekil 6 Esmeye Sayılarına Göre Rüzgârgülü

Yağış, sıcaklık ve rüzgâr verileri meteorolojik koşullarla minarenin eğilmesi ile ilgili olan dinamik ilişkinin istatistik olarak ortaya konulmasında kullanılacak veriler olarak düşünölmüştür. Bu amaçla minarenin eğildiği yön olan Batı-Kuzey Batı yönünde gerçekleşen 24 yıllık ortalama rüzgâr hızı (2.6 m/sm) ve rüzgâr esme sayıları (1807) tespit edilmiştir. Bu veriler yağış, sıcaklık ve rüzgârın eğilme ile olan dinamik ilişkisinin istatistiksel olarak ortaya konulmasında kullanılması planlanmıştır. Ancak mevcut hareketsizlik hali istatistik ilişkinin kurulamamasına neden olmuştur. Bu nedenle meteorolojik koşullarla minare eğikliği ilişkisi kurulamamıştır.

2.3. Jeodezik Çalışmalar

Bu proje çalışması Eğri Minarenin korunmasına ve deformasyonunun belirlenmesine yönelik jeodezik anlamda ilk örnek bilimsel çalışmadır. Eğilmenin analizi için öncelikle minarenin eğilme yönünde zorunlu merkezlendirme yapıyla donatılmış sabit bir pilye tesis edilmiştir. Pilye tesis etmenin amacı alet kurma sırasında oluşabilecek hataları elimine etmektir.



Şekil 7 Eğri Minare Düşey Açı Ölçüsü

Pilye tesisinden sonra eğilmenin tespiti için pilyeden minare âlemine düşey açı (θ) gözlemleri yapılmıştır (Şekil 7). Bu gözlemler yaklaşık iki yıldır devam etmektedir. Ölçüleme yaklaşık olarak ayda bir kez yapılacak şekilde devam edilmiştir. Şu ana kadar Eğri Minare sisteminin mevcut durumunun belirlenebilmesi için on iki periyotluk düşey açı gözlemleri yapılmıştır. Kullanılan alet 2 grad saniyesi inceliğinde doğrudan ölçü yapabilmektedir. Düşey açı değerleri ve kesin değerlerin ortalama hataları Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’deki düşey açıların zamana göre değişimine ait grafik Şekil 8’de verilmiştir.

Tablo 1 Düşey Açı Değerleri ve Ortalama Hataları

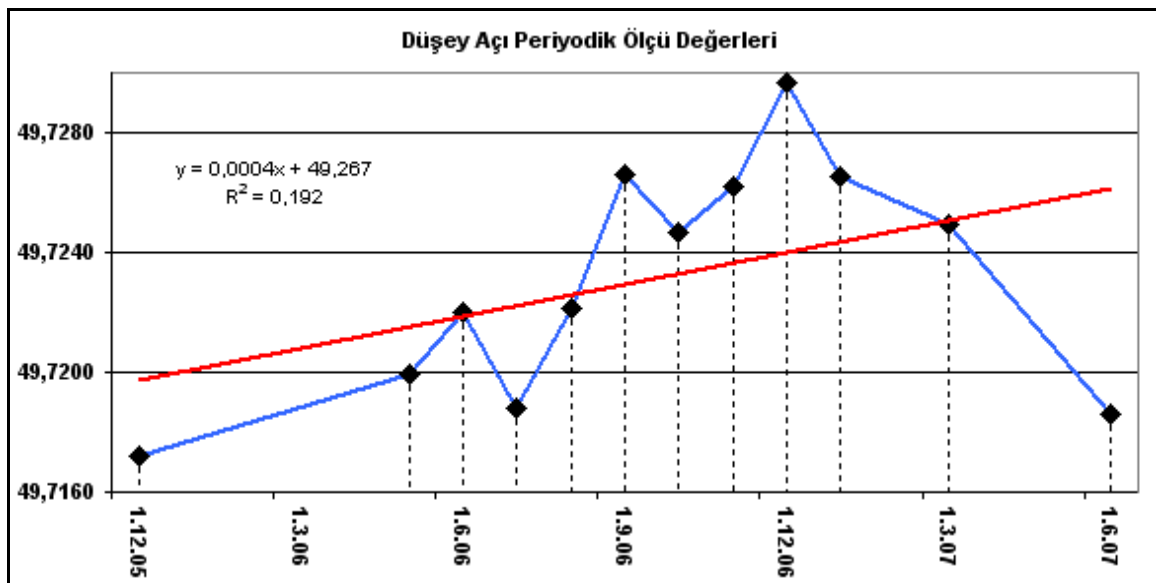
Periyot	Tarih	Düşey Açı (θ) Grad (g)	Kesin Değerin Ortalama Hatası Grad saniyesi (cc)
1	12.12.2005	49.7172	1.7
2	03.05.2006	49.7199	3.7
3	14.06.2006	49.7220	6.2
4	11.07.2006	49.7188	6.3
5	08.08.2006	49.7222	4.5
6	20.09.2006	49.7266	8.9
7	18.10.2006	49.7247	3.1
8	08.11.2006	49.7262	5.2
9	08.12.2006	49.7297	4.1
10	08.01.2007	49.7266	3.5
11	12.03.2007	49.7250	4.5
12	04.06.2007	49.7186	6.2

Düşey açılardan statik analiz yapılması amacıyla ilk periyottaki düşey açı ölçüsü başlangıç ölçüsü olarak kabul edilmiştir. Sonraki her periyottaki düşey açı ölçüleri ile bu periyot arasındaki düşey açı farklarında nokta hareketini gösteren vektör (deformasyon vektörü) aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$d_i = \sqrt{(\theta_2 - \theta_1)^2} \quad (1)$$

Deformasyon vektörünün anlamlı olup olmadığını belirlemek için test büyüklükleri, m_d , d vektörünün ortalama hatası olmak üzere,

$$T_i = \frac{d_i}{m_d} \quad (2)$$



Şekil 8. Düşey Açı Ölçülerinin Zamana Göre Değişimi

eşitliğinden hesaplanıp, t-tablo değeriyle karşılaştırılmıştır. Eğer $T_i > t_{f,0.975}$ ise minare âleminin geçen süre içerisinde hareket ettiğine karar verilir. Aksi durumda hareket etmemiştir kanaatine varılır [5], [6]. Düşey açıların değerlendirilmesinden elde edilmiş statik analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 Düşey Açı Deformasyon Analiz Sonuçları

Periyotlar	d (cc)	m_d (cc)	Test Büyüklüğü	Karar
1. Per - 2. Per	5.3	4.6	1.14	Def. YOK
1. Per - 3. Per	7.0	7.2	0.97	Def. YOK
1. Per - 4. Per	4.0	7.3	0.55	Def. YOK
1. Per - 5. Per	7.1	5.4	1.30	Def. YOK
1. Per - 6. Per	9.7	10.1	0.96	Def. YOK
1. Per - 7. Per	8.7	4.0	2.18	Def. YOK
1. Per - 8. Per	9.5	6.1	1.55	Def. YOK
1. Per - 9. Per	11.2	5.0	2.25	Def. YOK
1. Per - 10. Per	9.7	4.4	2.21	Def. YOK
1. Per - 11. Per	8.8	5.4	1.63	Def. YOK
1. Per - 12. Per	3.8	5.4	0.70	Def. YOK
Sınır değer: $q = t_{8,0.975} = 2.306$				

Yapılan statik analiz sonuçlarından minarenin geçen süre içerisinde hareket etmediği görülmektedir. Hareket olmamasından dolayı hareket hızı ve ivmesinin belirlenebilmesini sağlayan kinematik analiz yapılamamıştır. Jeodezik ölçüler deformasyon nedenleri ile deformasyonlar arasındaki istatistik ilişkinin kurulmasında kullanılacak veriler olarak düşünülmüştür. Deformasyon anlamında hiçbir yer değiştirmenin tespit edilememesi istatistik ilişkilerin kurulamamasına neden olmuştur. Dolayısıyla Jeodezik yöntemlerle eğilmenin dinamik analizi de yapılamamıştır.

2.4. Fotogrametrik Çalışmalar

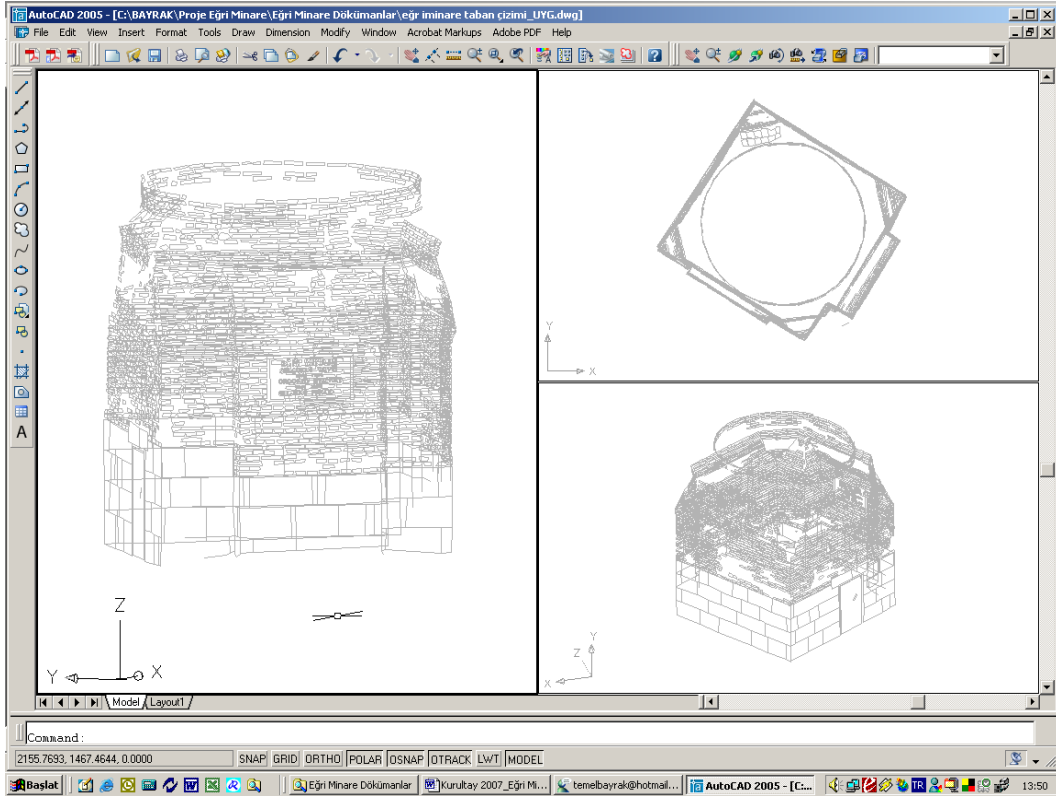
Fotogrametrik çalışmalar kapsamında minarenin üç boyutlu modelinin çıkarılması amaçlanmıştır. Üç boyutlu modelin oluşturulabilmesi için Fotogrametrik bir yazılım olan Photo Modeler (Lisans No: 1803775) yazılımı kullanılmıştır (Şekil 9). Photo Modeler’de fotoğraflardan üç boyutlu verilerin elde edilmesi, üç boyutlu ölçümlerin yapılması ve üç boyutlu modellerin oluşturulması esasına dayanır. Üç boyutlu modelin oluşturulması için öncelikle minarenin fotoğrafları farklı açılardan çekilmiştir. Çekilen sayısal fotoğraflar yazılıma aktarılmıştır. Fotoğraf bağlantılarının yapılması için fotoğraflar üzerinde ortak noktaları içeren işaretlemeler yapılmıştır. Bu noktalar referans noktaları olarak ele alınmıştır. Bu verilerle yazılım üç boyutlu modeli oluşturabilmiştir (Şekil 10).

Oluşturulan üç boyutlu model yardımıyla minarenin boyu ve eğilme miktarlarının tespiti çalışmaları yapılmıştır. Fotogrametrik çalışmalar kullanılarak Eğri Minare’ye ait üç eğikliğin miktarları belirlenmiştir. Fotogrametrik çizimler Autocad (Lisans No: 647-00067981) yazılımına aktarılmış ve eğiklik miktarları burada hesaplanmıştır. Bunlar Şekil 11’de görülmektedir.

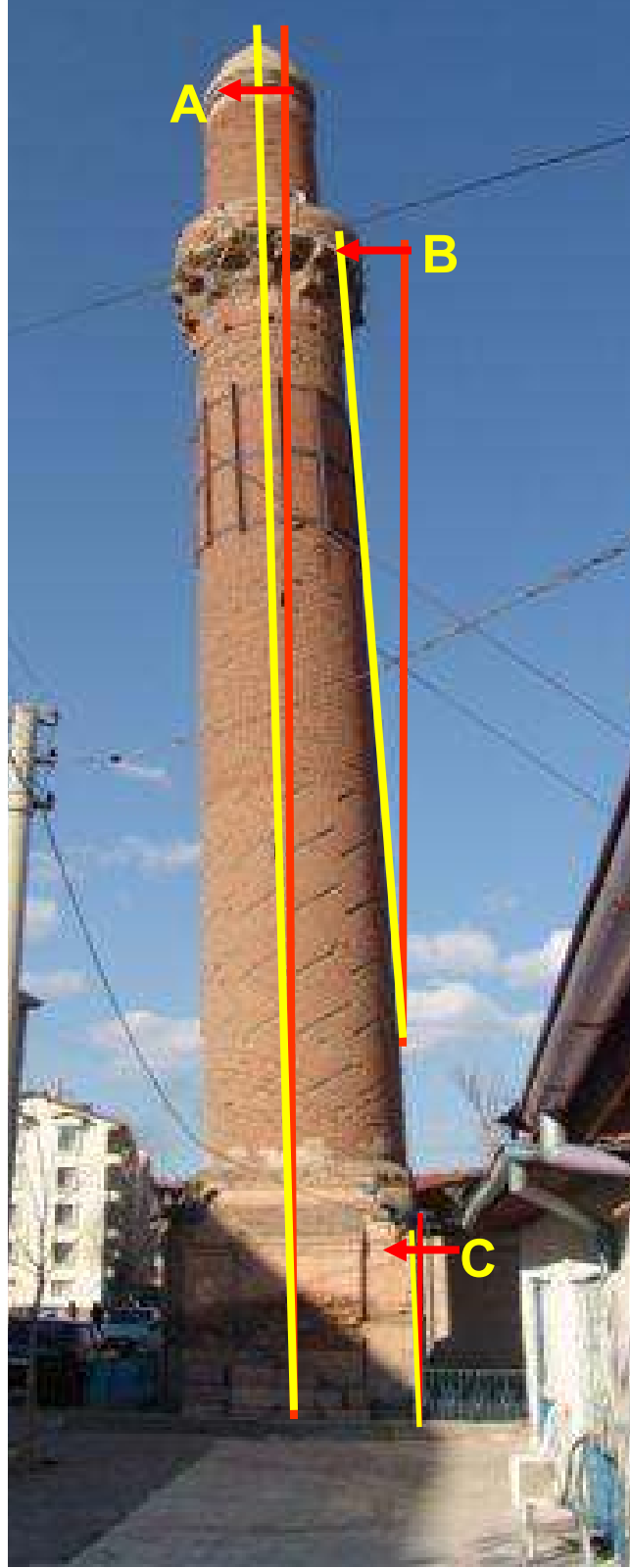
Yapılan hesaplamalar sonucunda minarenin zeminden itibaren $2^{\circ} 28' 14.16''$ eğildiği (A eğikliği) tespit edilmiştir. Minarenin üzerine oturduğu tablanın üstünden itibaren oluşan eğikliği de araştırılmış eğilmenin $3^{\circ} 11' 18.08''$ (B eğikliği) olduğu tespit edilmiştir. Minarenin üzerine oturduğu tablanın eğikliği de araştırılmış eğilmenin $44^{\circ} 48.59''$ (C eğikliği) olduğu tespit edilmiştir. Son olarak minarenin boyu da hesaplanmıştır ve $30,6$ m olarak tespit edilmiştir. 2.1 Bölümünde minarenin 27 derece eğik olduğu belirtilmişti, burada bu büyüklükte bir eğiklik olmadığı saptanmış, farkın açıklanması gerekir. B eğikliği hesaplanırken minarenin en alt ve en üst referans noktalarındaki çap değerlerinden bahsedilmemiştir.



Şekil 9 Photo Modeler Yazılımı İle Görüntü İşleme



Şekil 10 Eğri Minarenin Alt Kısmının Üç Boyutlu Autocad Çizimi



Şekil 11 Eğri Minarenin Eğilme Miktarları

2.5. Jeolojik alışmalar

Jeolojik alışmalar kapsamında minarenin eğilmesinin sebeplerinden biri olarak dűŐnűlen zemin ۆzellikleri minarenin hemen yanına açılan yaklaşık 16 metre derinliğe sahip bir sondaj kuyusu yardımıyla tespit edilmiştir. Kuyu amanın amacı yapı-zemin etkileşiminin anlaşılmasını sağlamaktır. Alınan

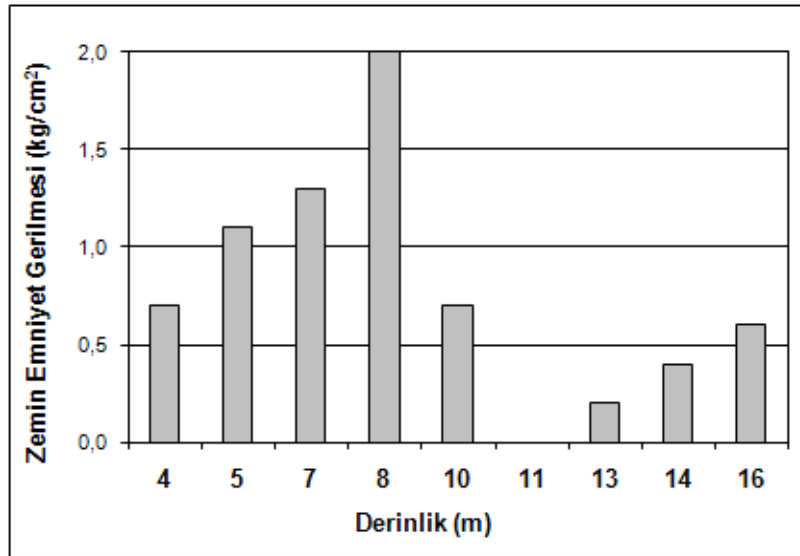
numuneler analiz edilmiş, minarenin üzerine oturduğu zeminin fiziksel özellikleri belirlenmiş ve zemin profili yorumlanmıştır. Sondaj kuyusundan alınan karot örneklerinden yararlanılarak Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) (Tablo 3 ve Şekil 12) ve Üç Eksenli Basınç Deneyine (Tablo 4 ve Şekil 13) göre zemin emniyet gerilmeleri hesaplanmıştır ve grafiklerle gösterilmiştir.

Tablo 3 Standart Penetrasyon Deneyine (SPT) Göre Zemin Emniyet Gerilmesi

Derinlik (m)	Zemin Emniyet Gerilmesi (kg/cm ²)
3.5	0.7
4.5	1.1
6.5	1.3
8.0	2.0
9.5	0.7
11.0	0.0
12.5	0.2
14.0	0.4
15.5	0.6

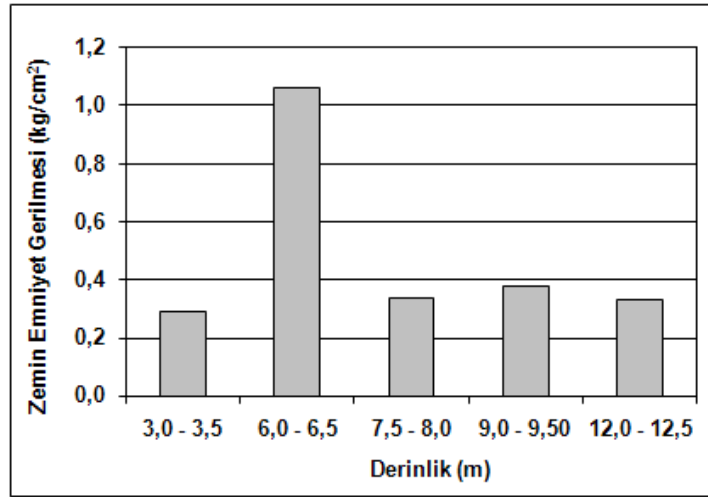
Tablo 4 Üç Eksenli Basınç Deneyine Göre Zemin Emniyet Gerilmesi

Derinlik (m)	Zemin Emniyet Gerilmesi (kg/cm ²)
3.0-3.5	0.3
6.0-6.5	1.1
7.5-8.0	0.3
9.0-9.5	0.4
12.0-12.5	0.0



Şekil 12 Standart Penetrasyon Deneyine Göre Zemin Emniyet Gerilmesi

Tablo 5'teki zemin parametrelerine göre zeminin fiziksel özellikleri; Zeminin Kıvamlılık İndisine Göre Sınıflaması Tablo 6'da, Killerin Aktivite Değerlerine Göre Sınıflaması Tablo 7'de, Kohezyonlu Zeminlerin Plastisite İndisine Göre Sınıflaması Tablo 8'de, Plastisite Derecesinin Plastisite İndisine Göre Sınıflaması Tablo 9'da, Likidite İndisi Tablo 10'da ve Zeminin Sıkışabilirliği Tablo 11'de verilmiştir. Zemin profilinin yorumlanması ile ilgili sonuçlar ise Tablo 12'de verilmiştir. Aşağı derinliklerde zemin çok gevşek ve su muhtevasının yüksek olmasından dolayı örselenmiş (UD) numuneleri alınamamıştır [7].



Şekil 13 Üç Eksenli Basınç Deneyine Göre Zemin Emniyet Gerilmesi

Tablo 5. Zemin Parametreleri

Derinlik (m)	Doğal Su Muhtevası w	Likit limit LL	Plastik Limit PL	Plastisite İndisi PI
3.0-3.5	28.65	32	22	10
6.0-6.5	19.01	28	22	6
7.5-8.0	23.59	28	23	5
9.0-9.5	17.19	26	20	6
12.0-12.5	22.63	27	21	6

Tablo 6 Zeminin Kıvamlılık İndisine Göre Sınıflaması

Derinlik (m)	Doğal Su Muhtevası lc	Zemin Sınıfı
3.0-3.5	0.33	Sıkı
6.0-6.5	1.49	Çok Sert
7.5-8.0	0.88	Sert
9.0-9.5	1.46	Çok Sert
12.0-12.5	0.72	Sıkı

Tablo 7 Killerin Aktivite Değerine Göre Sınıflaması

Derinlik (m)	Aktivite Değeri A	Sınıflama
3.0-3.5	0.31	Aktif Olmayan Killer (Kaolinit)
6.0-6.5	0.16	Aktif Olmayan Killer (Kaolinit)
7.5-8.0	0.27	Aktif Olmayan Killer (Kaolinit)
9.0-9.5	0.33	Aktif Olmayan Killer (Kaolinit)
12.0-12.5	0.30	Aktif Olmayan Killer (Kaolinit)

Tablo 8 Kohezyonlu Zeminlerin Plastisite İndisine Göre Sınıflaması

Derinlik (m)	Plastisite İndisi PI	Plastisite Derecesi	Zemin Sınıfı
3.0-3.5	10	Düşük plastisiteli	Silt ve Kıl
6.0-6.5	6	Düşük plastisiteli	Silt ve Kıl
7.5-8.0	5	Önemsiz derecede plastisiteli	Killi Silt
9.0-9.5	6	Düşük plastisiteli	Silt ve Kıl
12.0-12.5	6	Düşük plastisiteli	Silt ve Kıl

Tablo 9 Plastisite Derecesinin Plastisite İndisine Göre Sınıflaması

Derinlik (m)	Plastisite Derecesi	Kuru Dayanım
3.0-3.5	Az Plastik	Düşük
6.0-6.5	Az Plastik	Düşük
7.5-8.0	Plastik Değil	Çok Düşük
9.0-9.5	Az Plastik	Düşük
12.0-12.5	Az Plastik	Düşük

Tablo 10 Likidite İndisi

Derinlik (m)	Likidite İndisi LI	Zemin Tanımı
3.0-3.5	0,66	Plastik
6.0-6.5	-0,49	Katı
7.5-8.0	0,11	Plastik
9.0-9.5	-0,46	Katı
12.0-12.5	0,27	Plastik

Tablo 11 Zeminin Sıkışabilirliği

Derinlik (m)	Likit Limit LL	Sıkışma İndisi	Tanım
3.0-3.5	32	0,20 – 0,39	Orta Sıkışabilirlik
6.0-6.5	28	0,00 – 0,19	Düşük Sıkışabilirlik
7.5-8.0	28	0,00 – 0,19	Düşük Sıkışabilirlik
9.0-9.5	26	0,00 – 0,19	Düşük Sıkışabilirlik
12.0-12.5	27	0,00 – 0,19	Düşük Sıkışabilirlik

Tablo 12 Zemin Profilinin Yorumlanması

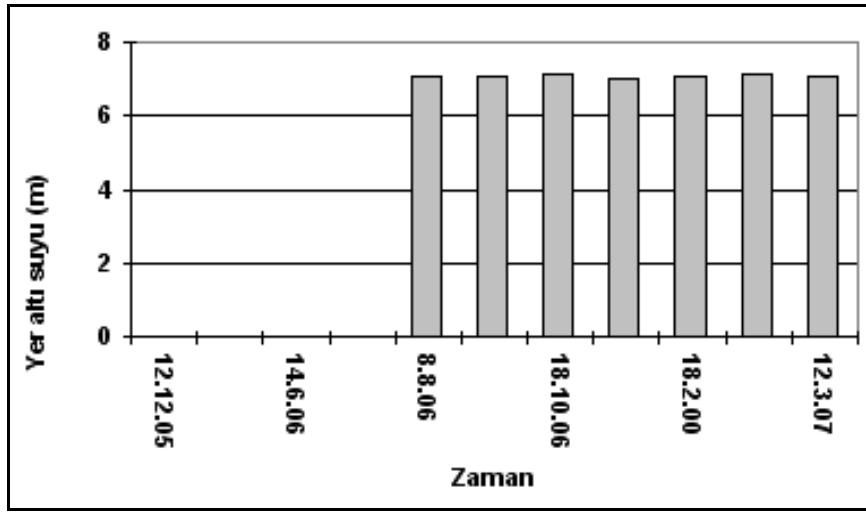
Derinlik (m)			UCS Normu	Tanım
3.0-3.5	İri Taneli Zemin	Çakıllı siltli killi kum	CL	OLABİLİR
3.5-3.95	İri Taneli Zemin	Çakıllı siltli killi kum	CL	VAR
4.5-4.95	İri Taneli Zemin	Siltli killi kum	CL	OLABİLİR
6.0-6.5	İri Taneli Zemin	Siltli killi kum	CL-ML	OLABİLİR
6.5-6.95	İri Taneli Zemin	Siltli killi kum	CL-ML	OLABİLİR
7.5-8.0	İri Taneli Zemin	Killi siltli kum	ML	OLABİLİR
8.0-8.45	İri Taneli Zemin	Çakıllı killi siltli kum	SM	OLABİLİR
9.0-9.50	İri Taneli Zemin	Killi siltli kum	SC-SM	OLABİLİR
9.5-9.95	İri Taneli Zemin	Çakıllı siltli killi kum	SC-SM	OLABİLİR
11.0-11.45	İri Taneli Zemin	Siltli çakıllı kum	SC-SM	VAR
12.0-1250	İri Taneli Zemin	Çakıllı siltli killi kum	SC-SM	OLABİLİR

CL: Plastisitesi düşük veya orta inorganik kil, kumlu kil, siltli kil, zayıf kil CL olarak tanımlanmaktadır.
ML: İnorganik silt ve çok ince kum, kayaç unu, siltli veya killi ince kum veya plastisitesi düşük killi silt ML olarak tanımlanmaktadır.
SM: Siltli kum, kum-silt karışımı SM olarak tanımlanmaktadır.

Tüm bu çalışmaların yanı sıra açılan sondaj kuyusundan yeraltı su seviyesi değişimleri sürekli olarak ölçülmüştür. Yeraltı suyu değerleri Tablo 13’de su değişim grafiği ise Şekil 14’de verilmiştir.

Tablo 13 Yeraltı Suyu Değişimi Değerleri

Periyot	Tarih	Yeraltı Suyu (m)
1	12.12.2005	-
2	03.05.2006	-
3	14.06.2006	-
4	11.07.2006	-
5	08.08.2006	7.06
6	20.09.2006	7.05
7	18.10.2006	7.11
8	08.11.2006	7.01
9	08.12.2006	7.08
10	08.11.2007	7.13
11	12.03.2007	7.09



şekil 14 Yeraltı Suyu Değişim Grafiği

Yeraltı su seviyesi değişimleri minarenin hemen yanına açılan yaklaşık 16 metre derinliğindeki bir sondaj kuyusundan belirlenmiştir (şekil 15). Sondaj kuyusu açıldıktan hemen kısa bir süre sonra içindeki çamurlu suyun kuruması sonucu Tablo 13'te de görüldüğü gibi gerçek yeraltı su değişimi değerleri elde edilememiştir.



şekil 15 Eğri Minare Sondaj Kuyusu Açma alışması

2.6. Sonlu Elemanlarla Modelleme

Sonlu elemanlarla modelleme çalışması minarenin şu anki durumunu belirlemek ve gelecekteki durumunu kestirebilmek için yapılacak bir çalışma olarak düşünülmüştür. Sonlu elemanlarla modelleme çalışması yapı-zemin ilişkisinin belirlenebilmesi önemli bir belirteç olacağı umulmuştur. Ancak yapılan çalışmalar ve ölçüler sonucunda halen minarede eğildiği yönünde bir hareket tespit edilememiştir. Hareketin olmamasından dolayı bir anlam ifade etmeyeceği düşüncesinden hareketle sonlu elemanlarla modelleme konusunda çalışma yapılmamıştır.

3. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Eğri Minare eğikliği ile çok ilgi çeken bir tarihi eser olması itibariyle mimari ve tarihi özellikleri açısından araştırmacılardan oldukça fazla ilgi görmüştür. Buna rağmen eğikliği ile sürekli gündemde yer alan yapının durağanlığı ile alakalı çalışmalar yönünden oldukça az ilgi görmüştür ve bu konuda yapılmış çalışmalar yok denecek kadar azdır. Tarihi yapının korunması ve gelecek nesillere aktarılması açısından geçmişte yapılan çalışmalar oldukça yüzeysel kalmıştır. Yapının, özellikle kaide ve pabuç kısmının korunmasına yönelik yapılan onarımlar sonucu minarenin orijinal biçimi bozulmuştur. Gövdenin eğilerek yıkılmasını önlemek amacıyla gövdenin üst bölümü çember içine alınarak çelik halatlarla zemine tutturulmuştur (deformasyon analizinin sonucunu belki buna bağlamak gerekir). Ancak bu halatların ne tür bir görev ifa ettiği konusu tam olarak bilinmemektedir. Minare önündeki yolun İl Trafik Komisyonu tarafından trafiğe kapatılmasına rağmen yapının önüne ve civarına araçların park edilmeye devam edilmesinden dolayı beklenen faydanın tam olarak gerçekleşmesi konusu da bir bilinmeyendir. Sürekli olarak kapalı tutulan ve civarı betonla kaplanarak toprak ve hava teması izole edilen yapının kaidesinde görülen aşırı nemlenmenin minare üzerindeki etkileri de bir bilinmeyen olarak karşımızda durmaktadır.

Meteorolojik koşullardan (yağış, sıcaklık, rüzgâr) dolayı minarede oluşabilecek deformasyonlara ait etkiler bu çalışma kapsamında dikkate alınarak irdelenmiştir. Aksaray'ın çok fazla yağış almamasından dolayı zeminin yağış kaynaklı zayıflaması durumu söz konusu olmayacağı öngörülmektedir. Bu nedenle mevcut verilerle yağış ile zemin-yapı- ilişkisinin çok net açıklanabilmesi mümkün görülmemektedir. Fazla olan sıcaklık farklarının minarenin yapısında kullanılan tuğla ve horasan harcı üzerindeki yadsınamaz etkisi bu çalışmanın konusuna dışındadır ancak araştırılması gereken bir bilinmeyendir. Sıcaklık parametresi sonlu elemanlarla modelleme de kullanılacak bir parametre olarak düşünülmüştür ve bu amaçla toplanmış bir veri olmuştur. Minarenin eğilmesine olumsuz katkıda bulunabileceği düşünülen rüzgâr verisi de bu çalışma kapsamında dikkate alınmıştır. Esmeye hızlarına bakıldığında çok fazla güçlü rüzgârların olmadığı, yıllık esen rüzgâr sayısına bakıldığında ise rüzgârın eğilmeye çok fazla etki etmeyeceği düşünülmektedir. Bunlara rağmen, meteorolojik verilerle deformasyon arasındaki dinamik ilişkinin araştırılması bu çalışma kapsamında düşünülmüştür. Ancak araştırma süresince minarede eğilme hareketi gözlenemediğinden, eğilme ve meteorolojik etkenler arasındaki istatistik olarak nedensellik ilişkisi kurulamamıştır. Bu bağlamda nedensellik ilişkisine bağlı olarak geliştirilecek dinamik analiz modelleme çalışmaları yapılamamıştır. Dolayısıyla meteorolojik faktörlerin eğilme üzerindeki olası etkileri üzerine çalışmalar yapılmamıştır.

Jeodezik çalışmalar minarenin durağanlık durumunun ortaya konulması için yapılmış bir çalışmadır. Bu çalışma ile minare "Eğik mi yapılmış?" ya da "Sonradan mı eğilmiş?" sorusunun cevabı araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre minarede halen hiçbir eğilme hareketi gözlenememiştir [8]. Sonuçlar statik analizlerle elde edilmiştir. Yapıda durağanlık durumunun devam etmesi nedeniyle yapılması düşünülen dinamik analizler nedensellik ilişkilerinin kurulamamasından dolayı gerçekleştirilememiştir. Çalışmalar maddi imkânların kısıtlı olması nedeniyle sadece açı ölçülebilen bir aletle yürütülmüştür. Elde edilen bulgulardan minare izleme işleminin devam ettirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ancak bu işlem lazer elektronik aletlerle sadece bir noktayı izleme şeklinde değil minare üzerinde birkaç noktayı izleme

şekilde yürütülmelidir. Minarenin kaide, gövde ve şerefe üstü kısımlarının ayrı eğikliklere sahip olması bu önerinin yapılma sebebidir.

Fotogrametrik çalışmaların yapılmasının temel sebebi deformasyon belirleme değil, minarenin sonlu elemanlarla modellenmesi için boyut bilgilerinin temin edilmesidir. Elde edilen veriler yardımıyla üç boyutlu bilgiler elde edilebilmiştir. Yapılan çalışmalardan tarihi kayıtlarda yapının büyüklükleri ile eğikliği hakkında belirtilen değerlerden çok farklı değerler belirlenmiştir.

Jeolojik çalışmalar yapı-zemin ilişkisinin ortaya koyulabilmesi için düşünülmüş bir çalışma olmuştur. Çalışma ile minarenin üzerine oturduğu zeminin profili ortaya çıkarılmış ve yorumlanmıştır. Sonuçlara göre kaidenin üzerine oturduğu zemin açısından bir sorun gözükmemektedir. Jeolojik analizlerden zeminin minareyi taşıyabilecek dirence yeterince sahip olduğu gözükmemektedir [9]. Titreşimlere bağlı olarak zeminde sıvılaşma riski görülebilmesi ihtimali minarenin önündeki yolun trafiğe kapatılmasının isabetli bir karar olduğu fikrini destekleyecek niteliktedir. Zemindeki sıvılaşma riskini tetikleyebilecek başka bir etken olan yeraltı suyu seviye değişimleridir. Yaklaşık yedi metre derinlikte bulunan yeraltı suyu değişimleri sondaj kuyusunda toprak birikmesi ve toprağın kurumasından dolayı net olarak belirlenememiştir. Ancak bölgede de ortalama yedi metre civarında olan ve aşırı yeraltı suyu kullanımı nedeniyle sürekli azalan yeraltı suyu değişim değeri sıvılaşmayı çok fazla tetiklemeyecek nitelikte gibi gözükmemektedir. Zeminin fiziksel özellikleri ile yapı hareketleri arasında kurulması düşünülen istatistiksel ilişkiler durağanlık durumundan dolayı kurulamamıştır. Dolayısıyla zemin özelliklerinin yapı üzerindeki tesirleri konusunda yeterli bilgi üretilememiştir.

Minarenin geçmiş, günümüz ve gelecek durumu ile ilgili senaryonun taklit edilmesi işleminde kullanılması düşünülen sonlu elemanlarla modelleme çalışmasına yine minarenin durağanlık durumunda dolayı gerek duyulmamıştır. Bunun nedeni sonlu elemanlar için gerekli olan nedensellik ilişkilerinin ortaya koyulamaması olmuştur.

Sonuçlardan her ne kadar minarede eğilme bakımından bir sorun gözükme de, minarenin çok disiplinli bir çalışma ile koruma altına alınması gerekmektedir. Zaten bu bilince sahip olan Konya Vakıflar Bölge Müdürlüğü Eğri Minarenin restorasyonuna ön hazırlık olarak röleve projesini ihale etmiştir. Proje ekibi bu çalışma sonuçlarına dayanarak restorasyon aşamasında bir kaç çalışmanın yapılmasını önermektedir. Bunlar, minare temelinin üç boyutlu sismolojik çalışmalarla boyutlarının belirlenmesi, nemlenmeye karşı önlem alınması, minare gövdesinde zayıflayan tuğla ve horasan harcının yorulma durumunun tespit edilmesi [10], daha kapsamlı bir eğilme izleme çalışmasının gerçekleştirilmesi gibi konulardır. Bu tespitler minarenin çok daha doğru bir şekilde analiz edilmesine imkân tanıyacağı düşünülmektedir.

4. SONUÇ

Eğri minare yaklaşık iki yıldır devam eden düşey açı gözlemleriyle izlenmiştir. Eğri minarenin on iki periyotluk ölçülerinden eğilmesine ilişkin sonuçları hesaplanmış ve statik olarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından tüm karşılaştırma periyotlarında test büyüklüğü değerlerinin sınır değerlerden (t-tablo) küçük çıktığı görülmüştür. Bu sonuçlara dayanarak tüm karşılaştırma periyotlarında deformasyon oluşmadığına karar verilmiştir. Verilere dayanarak eğri minare sisteminin hareket etmediğini söylemek mümkün olmuştur. Ancak bu sonuca yaklaşık iki yıllık tekrarlı sonuçlarla ulaşıldığı göz önüne alındığında ölçü işlemlerinin devam etmesi gerektiği sonucuna da varılmıştır. Meteorolojik ve jeolojik veriler yardımıyla eğilme sebepleri ile eğilme arasındaki ilişkinin araştırılması açısından olay ele alındığında, minarede sebep-sonuç ilişkilerinin kurulabilmesi için yeterli ön bilgilerin elde edilememesinden dolayı dinamik analizler gerçekleştirilememiştir.

5. TEŐEKKÜR

Bu alışma Niğde üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından desteklenmiş bir proje çalışmasıdır. Ayrıca yazar çalışmaya verdiği desteklerden dolayı Konya Vakıflar Genel Müdürlüğü, Aksaray Belediyesi ve Kültür ve Turizm Müdürlüğüne teőekkür eder.

KAYNAKLAR

1. Görür, M., 2002, Aksaray’da Anadolu Selçuklu Döneminden İki Tuğla Minare: Kızıl (Eğri) Minare ve Yıkık (Sıralı) Minare, İlgı Dergisi, İstanbul.
2. Bakırer, Ö., 1971, Anadolu’da 13.Yüzyıl Tuğla Minarelerinin Konum, Şekil, Malzeme ve Tezyinat Özellikleri, Vakıflar Dergisi, s.339.
3. etintürk, E. N., 1986, Aksaray (Niğde) ve çevresindeki Türk Eserleri, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İslam Sanatları ve Mimarisi Bilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara.
4. Konyalı, İ. H., 1974, Abideleri ve Kitabeleri ile Niğde-Aksaray Tarihi, C.II, İstanbul, s.1413-1415,1775.
5. Yalçınkaya, M., Satır, B., 2005, Tünellerde Oluşan Hareketlerin Farklı Ölçü Yöntemleri ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi, 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, ITU, İstanbul, s.51-63.
6. Wolf, P. R., Ghilani, C. D., 1997, Adjustment Computation: Statistics and Least Squares In Surveying and GIS, John Wiley and Sons Inc., ISBN: 0-471-16833-5.
7. Özdemir Jeoloji Mühendislik Bürosu, 2006. Bankalar Cad. Ekecik İç Hanı 2.Kat No:210 Aksaray, Büro Tescil No: 793.00.68.A, Oda Tescil No: 7417, Eğri Minare Zemininin Jeolojik-Jeofizik Etüd Raporu, 2006.
8. Bayrak, T., 2007, Eğri Minarenin Eğilmesinin Statik Analizi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, s.41-44.
9. Bayrak, T., Yılmaz, H. M., Yakar, M., 2007, Eğri Minare’nin Deformasyonunun Nedenlerinin Araştırılması ve Jeodezik ve Fotogrametrik Yöntemlerle İzlenmesi, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
10. Bayrak, T., Yılmaz, H. M., Akköse, M., 2005, Eğri Minarenin Zamansal Davranışlarının İzlenmesi, 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, s.10-17, 23-25.