# NİSSİBİ EĞİK KABLO ASKILI KÖPRÜSÜ TASARIM UYGULAMASI

**Burak Kurtman[1] ve Zeki Harputoğlu[2]**

[1] *İnşaat Yüksek Mühendisi, Üstyapı Grubu, Yüksel Proje Uluslararası AŞ, Ankara*
[2] *İnşaat Mühendisi, Üstyapı Grubu, Yüksel Proje Uluslararası AŞ, Ankara*
*Email: bkurtman@yukselproje.com.tr*

**ÖZET:**

Bu çalışmada, Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsü'nün genel tasarım uygulaması ve deprem davranışı üzerinde bilgiler verilmiştir. Kablo askılı köprünün taşıyıcı sistem seçimi ve avantajları, tasarım aşamaları ve analizleri hakkında yapılan çalışmalar sunulmuştur. Köprü, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün öngördüğü güvenlik performans seviyesine karşılık gelen 50 yılda aşılma olasılığı %2 (yinelenme süresi 2475 yıl) olan deprem seviyesine göre tasarlanmıştır. Ayrıca köprünün yapımı esnasında deprem ihtimali gözönünde bulundurularak ve en kritik durumu yansıtan bitmemiş köprü modeli üzerinde 50 yılda aşılma olasılığı %50 (yinelenme süresi 75 yıl) olan deprem kayıtları kullanılarak tahkikler yapılmıştır. Bu tahkiklere göre ek tedbirler alınarak yapım esnasında oluşabilecek bir deprem sonrasında köprüde hasar oluşmaması sağlanmıştır. Sismik yükler altındaki deplasmanları kontrol altına alabilmek için köprüde sismik izolatörler (Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet) kullanılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER :** Eğik Kablo Askılı Köprü, Tasarım, Sismik İzolasyon, Deprem.

## 1. GİRİŞ

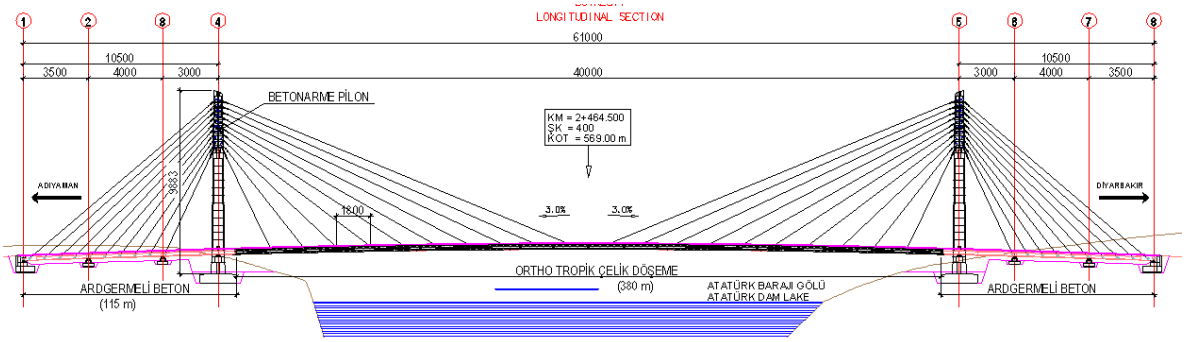
Nissibi Köprüsü'nün, Diyarbakır ile Adıyaman illerini bağlayan karayolunun Siverek ile Kahta ilçeleri arasında kalan bölgesinde, Fırat nehri üzerinde yapılması planlanmıştır.

Adıyaman ve Diyarbakır ile birlikte birçok ilin geçiş noktası olacak Nissibi Köprüsü'nün yapılması bölgedeki ulaşımın rahat ve güvenli bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır. Feribotla yapılan ulaşımın sağlıklı olmaması ve çoğu zaman feribotun geç hareket etmesinden kaynaklanan zaman kayıpları bölge halkını sıkıntıya sokmaktadır. Bu bölgeye yapılacak köprü, ulaşımın kesintisiz devam etmesini sağlayacaktır.

Baraj Gölü içine ayak konulması çok zor ve masraflı olacağı için baraj gölünün büyük açıklıklı bir köprü ile geçilmesi gereği doğmuştur. Bölgenin doğal güzelliği de düşünüldüğünde, doğaya uyumlu estetik ve güncel teknolojiye sahip kablo askılı bir köprünün bu bölgeye yapılmasına Karayolları Genel Müdürlüğü'nce karar verilmiştir. Mevcut açıklık kablo askılı köprü kriterlerine uygundur.

## 2. KÖPRÜ GENEL ÖZELLİKLERİ

Köprü 105 m kenar açıklığa, 400 m orta açıklığa sahip olup toplam 610 m uzunluğundadır (Şekil.1). Köprüde, ters-Y tipi 2 adet 96.8 m yüksekliğindeki kule mevcuttur. Üstyapı 22.90 m genişliğinde, 2.70 m yüksekliğindedir. Köprü kenar açıklıkları ardgermeli betonarme döşeme, ana açıklık ortotropik çelik döşemedir. Ana açıklık 2x28 m'lik başlangıç anosu, 18 m'lik 9 çift anodan ve 20 m'lik anahtar anodan oluşmaktadır. Üstyapı 10 çift kablo ile pilona taşıtılmaktadır. Mevcut zemin koşulları kireçtaşı formasyonunda olduğundan temeller yüzeysel temelli olarak tasarlanmıştır. Köprüde kullanılan malzeme özellikleri Tablo.1 de sunulmuştur.




Şekil 1. Köprü boykesiti

Tablo 1. Malzeme özellikleri

| Eleman | Malzeme |
|---|---|
| Üstyapı-Çelik | S355 |
| Üstyapı-Beton | C40 |
| Kule | C50 |
| Temeller | C30 |
| Kablo | Gr 1660 / 1860 |

Nissibi Köprüsünün tasarımında kullanılan şartnameler şunlardır:

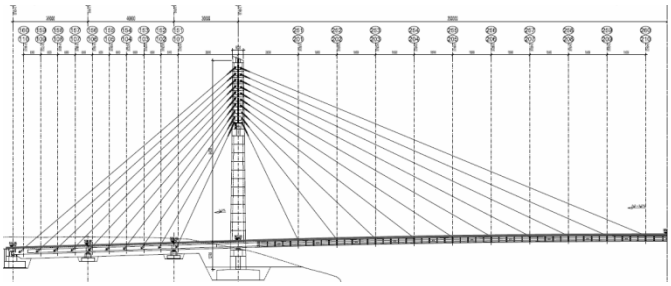
- Karayolu Teknik Şartnamesi
- DLH Deprem Yönetmeliği EK-A
- EUROCODE
- AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design
- Eğik Askı Kabloları Üzerinde Tavsiyeler, Fransa Bakanlıklar Arası Öngerme Komisyonu, Setra
- Gergi Kablolarının Dizayn, Test ve Montaj Kılavuzu (USA / PTI Post Tensioning Institute, 5. Baskı)
- FIB Tavsiyeleri – Öngerme Halatlarının Eğik Askı Kablosu Olarak Kullanımı, CEB-FIP Bülten No 30
- FIB Tavsiyeleri – Ardgerme Halatlarının Dayanıklılığı, CEB-FIP Bülten No 33, Aralık 2005

## 3. TAŞIYICI SİSTEM SEÇİMİ

Bu bölümde Nissibi köprüsünün seçilen taşıyıcı sistemlerinin avantajları hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

### *3.1. Kablo sistemi*

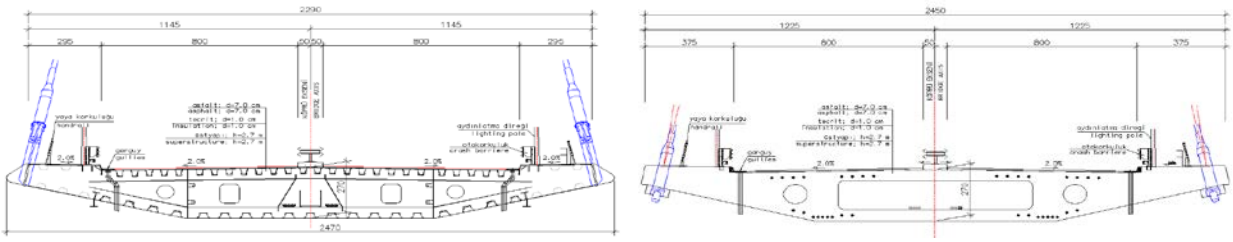
Kablo askılı köprülerde genel olarak 3 tip kablo yerleşimi kullanılmaktadır; Fan, Harp ve Değiştirilmiş Fan. Fan sisteminde, bütün kablolar kulenin tepe noktasında ankre edilmekte ve bu sayede kabloların taşıma kapasitelerinden maksimum ölçüde faydalanabilinmektedir. Ancak bu sistemin en büyük dezavantajı, kuledeki kablo ankraj bölgesinin çok büyük yapım zorluğu çıkarmasıdır. Harp sisteminde ise kablolar kulede eşit aralıklarla ankre edilmektedir. Bu yerleşim her ne kadar estetik olarak çekici olsa da kablolar efektif olarak kullanılamamakta ve ekonomik olmayan bir tasarım oluşturmaktadır. Nissibi Köprüsünde ise "değiştirilmiş fan" olarak adlandırılan kablo yerleşimi kullanılmıştır (Şekil-2) . Bu sistemde kablolar olabildiğince kule tepe bölgesine yakın fakat aralıklı olarak ankre edilmektedir. Böylelikle her iki sisteminde avantajlarına sahiptir.



Şekil 2. Kablo yerleşimi (Değiştirilmiş Fan Sistemi)

### *3.2. Üstyapı*

Üstyapı kesitinin seçimi köprünün tüm davranışını, inşaat yöntemini ve maliyetini çok büyük oranda etkilemektedir. Enkesit seçiminde kesitin aerodinamik özellikleri de köprü stabilitesi açısından önemlidir. Nissibi köprüsünde, ana açıklıkta ortotropik çelik, kenar açıklıklarda ise öngerilmeli beton kutu kesit kullanılmıştır (Şekil-3). Ortotropik çelik kesit hem ana açıklığın hafiflemesini dolayısıyla kablo kesitlerinin azalmasını sağlamış hem de yüksek burulma rijitliği sayesinde rüzgarda oluşabilecek stabilite problemlerini ortadan kaldırmıştır. Kenar açıklıktaki beton kutu kesit ise köprünün dengelenmesi açısında ters ağırlık olarak olarak kullanılmıştır.

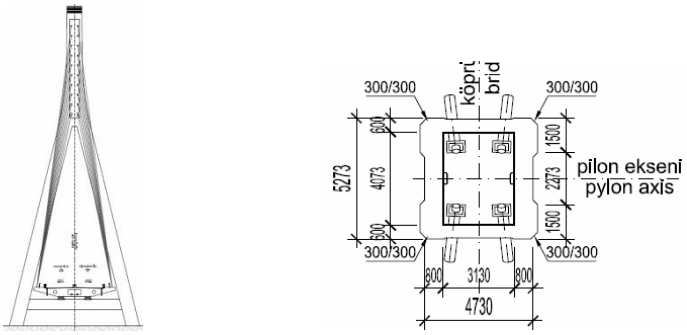


(a) (b)

Şekil 3. Tipik enkesit – Ana açıklık (a) , Kenar açıklık (b)

### *3.3. Kule*

Günümüzde kullanımda olan köprülerin büyük çoğunluğunda kule malzemesi olarak beton tercih edilmektedir. Yüksek basınç kuvvetleri ve burkulma davranışı sebebiyle çelik pilonlar fazla kullanılmamaktadır. Kablolardan aktarılan kuvvetleri güvenli bir şekilde temele aktarmakla görevli olan kule aynı zamanda köprünün estetik açıdan en önemli parçası olmaktadır. Kule şekli hem estetik olmalı hem de ana açıklıktaki deplasmanları kontrol edebilmesi ve deprem güvenliğini sağlayabilmek amacıyla da boyuna ve enine yönde yeterince rijit olmalıdır. Bu tip köprülerde genel olarak A tipi, H tipi ve ters-Y tipi kuleler kullanımaktadır. Nissibi Köprüsünde ters-Y tipi kuleler kullanılmıştır (Şekil-4). Bu sayede kabloların kulenin dik kısmına ankre edilmesi suretiyle yapım kolaylığı sağlamış ayrıca da enine yönde hem deprem hem de rüzgar etkilerine karşı rijitlik sağlanmıştır.

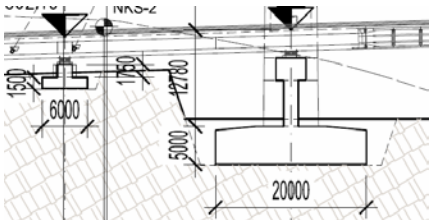



(a) (b)

Şekil 4. Kule – Görünüş (a) , Kesit (b)

### *3.4. Temeller*

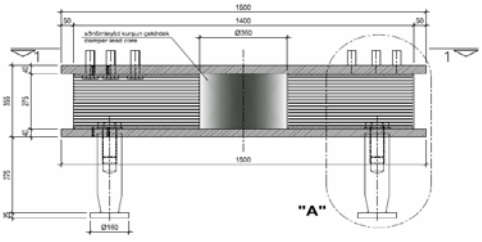
Proje bölgesinde idealize zemin profilini yüzeyden itibaren gözlenen Gaziantep formasyonuna ait kireçtaşı türü kaya birimleri oluşturmaktadır. Köprü temelleri tabandaki kireçtaşı birimine oturacak yüzeysel temel olarak tasarlanmıştır. Statik durum için zemin emniyet gerilmesi 1000 kPa olarak hesaplanmıştır. Kule temelinin boyutları $50^{m}$x$20^{m}$x$5^{m}$ olarak tasarlanmıştır (Şekil-5).




Şekil 5. Köprü boykesiti

### *3.5. Mesnetler*

Köprünün kule, kenar açıklık ayakları ve kenarayağında kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler kullanılmıştır (Şekil-6). Kullanılan mesnetlerin çapları 1200mm ile 1600mm arasında değişmektedir. Kurşun çekirdekli mesnetler bilinen elastomer mesnetler ile içine bir kurşun silindirin yerleştirilmesinin kombinasyonudur. Elastomer mesnet temelde destekleme ve yeniden- merkezleme fonksiyonunu üstlenirken, kurşun çekirdek etkili enerji sönümlenmesini sağlar. Servis durumda bu mesnetler köprüye gereken rijitliği sağlarken deprem durumda ise sönümleyici olarak çalışmaktadır.



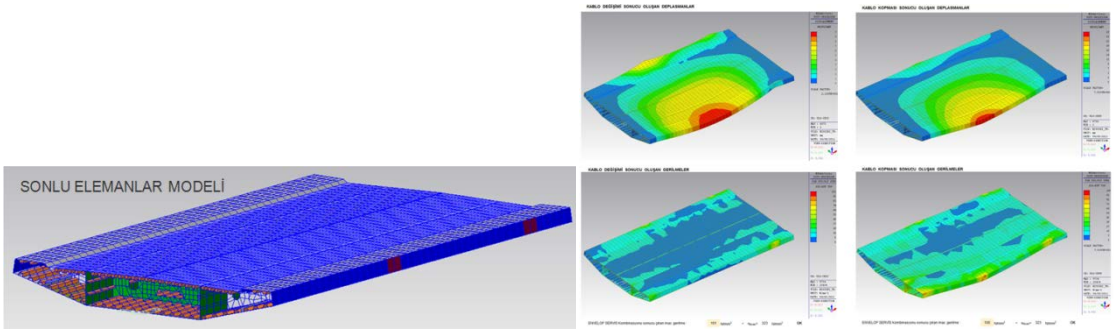

Şekil 6. Kurşun çekirdekli mesnet

## 4. TASARIM UYGULAMALARI

Nissibi Köprüsü'nün tasarım aşamaları aşağıdaki başlıklarda toplanabilir:

### *4.1. Tipik Ano Hesabı*

Tipik ano hesabında kablolar arasında kalan ortotropik tabliyenin sonlu elemanlar modeli kurulmuş ve trafik yükleri altında gerilmeler kontrol edilmiştir. Ayrıca kablo değişimi ve kablo kopması gibi ilave analizler yapılmıştır (Şekil-7).

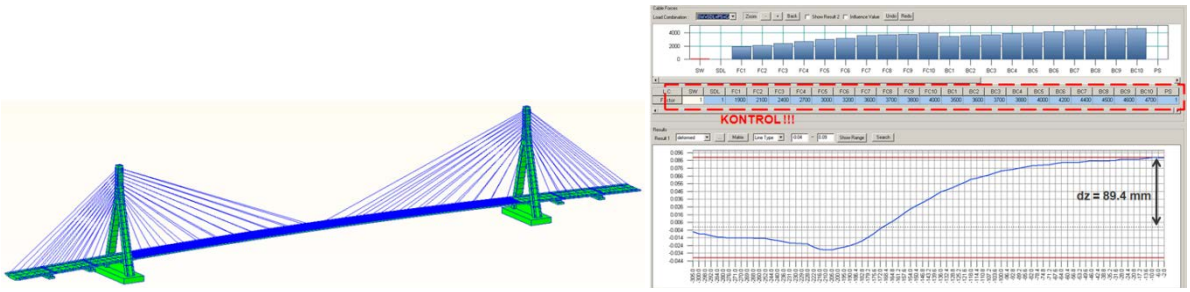



(a) (b)

Şekil 7. Ano analizi – FEM modeli (a) , Analiz sonuçları (b)

### *4.2. Final Durum Analizi*

Final durumu analizinde köprünün bitmiş durumundaki kablo kuvvetleri optimize edilerek, köprü geometrisi ayarlanmıştır (Şekil-8). Bunun için Midas Civil yazılımının içindeki özeli bir modül (Unknow Load Factor – Cable Tuning) kullanılmıştır.

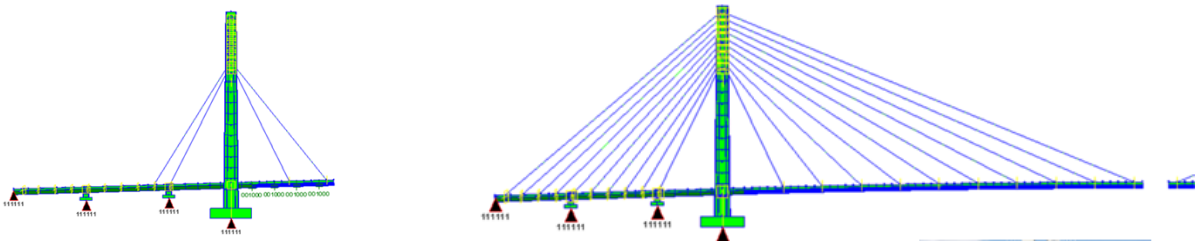



(a) (b)

Şekil 8. Köprü modeli (a) , Kablo optimizasyonu (b)

### *4.3. İnşaat Aşamaları Analizi*

İnşaatın her bir aşamasına ait inşaat hali yükleri de tanımlanarak analiz yapılmıştır (Şekil-9). Bu analizle, son inşaat aşamasından sonra köprü üstyapı ve kulenin istenen geometride olması amaçlanmıştır. Buna göre kablo germe kuvvetlerinin ne olacağı bulunmuştur. Kabloların doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınmıştır. Ayrıca malzemelerin zamana bağlı davranışları (sünme, büzülme ve elastisite modülü değişimi) hesaba katılmıştır.



(a) (b)

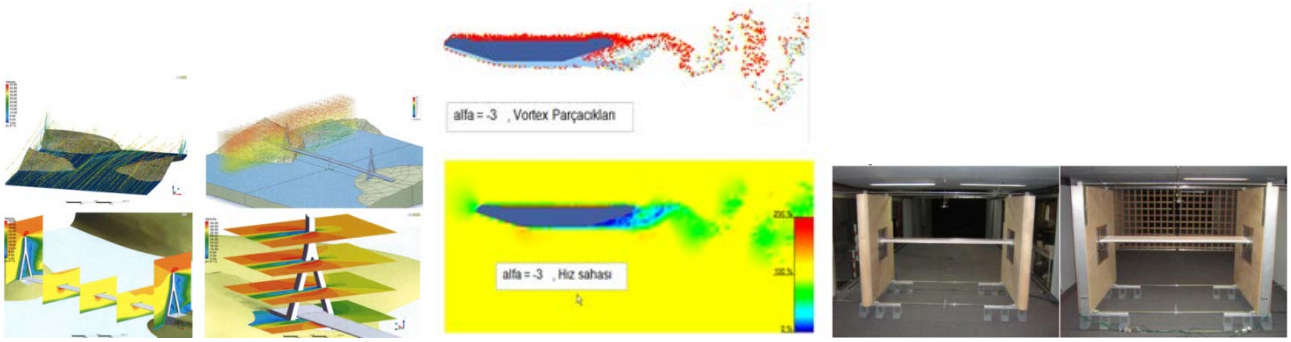
Şekil 9. 2.kablonun gerilmesi (a) , Anahtar anodan bir önceki durum (b)

### *4.4. Deprem Analizi*

Bölüm 5. te anlatılmıştır.

### *4.5. Rüzgar Analizi*

Köprü rüzgar analizleri static ve dinamik olarak ikiye ayrılmaktadır. Statik rüzgar etkilerinden başka köprü üstyapısına ve kablolara etkiyen aerodinamik rüzgar etkileri söz konusudur. Köprünün bu etkiler altında incelenmesi çok önemlidir. Aksi takdirde yıkıcı sonuçlar doğabilir. Köprü kesitinin aerodinamik olarak bu etkileri en aza indirecek şekilde tasarlanması gerekir. Nissibi köprüsünün tasarımında kesitin aerodinamik özellikleri CFD (Computational Fluid Dynamics) yöntemiyle analiz edilmiş; çekme, kaldırma ve döndürme katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayılar kullanılarak köprüyü rezonansa getirecek kritik rüzgar hızı tespit edilmiştir. Ayrıca 3 boyutlu kesit modeli rüzgar tüneli testine tabi tutulmuş ve rüzgar güvenliği incelenmiştir (Şekil-10).




(a) (b) (c)

Şekil 10. Rüzgar analizi – Arazi modeli (a) , Kesit modeli (b), Rüzgar tüneli testi (c)

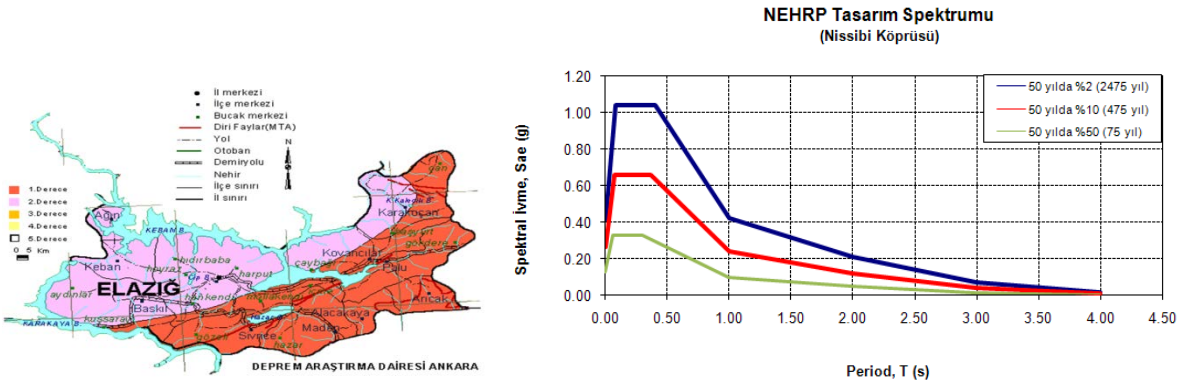
### *4.6. Kule Dizaynı*

Kulenin tasarımında ilk olarak burkulma hesapları yapılmış, kabloların kopma kuvvetlerinin %90'ının düşey bileşenlerinin kuleye basınç kuvveti olarak etkimesi durumda kulenin burkulmadığı tespit edilmiştir. Daha sonra ise tüm analizler sonucu oluşan en elverişsiz tesirlere göre betonarme hesapları yapılmıştır.

## 5. SİSMİK TASARIM

Köprü, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün öngördüğü güvenlik performans seviyesine karşılık gelen 50 yılda aşılma olasılığı %2 (yinelenme süresi 2475 yıl) olan deprem seviyesine göre tasarlanmıştır. Kablo askılı köprünün önemi ve esnek yapısı gözönüne alındığında, bu deprem seviyesi için elastik davranması sağlanmıştır. Ayrıca köprünün yapımı esnasında deprem ihtimali gözönünde bulundurularak ve en kritik durumu yansıtan bitmemiş köprü modeli üzerinde 50 yılda aşılma olasılığı %50 (yinelenme süresi 75 yıl) olan deprem kayıtları kullanılarak tahkikler yapılmıştır. Bu tahkiklere göre ek tedbirler alınarak yapım esnasında oluşabilecek

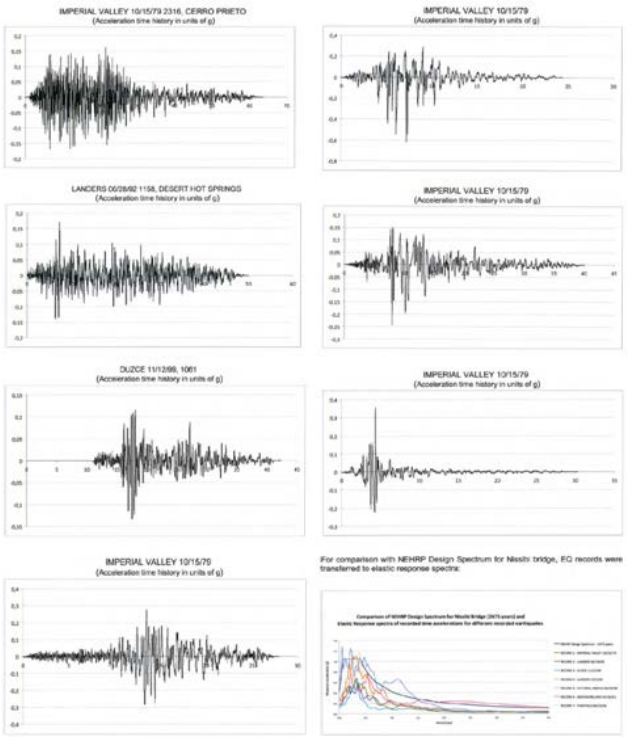
bir deprem sonrasında köprüde hasar oluşmaması sağlanmıştır. Kablo askılı köprülerin çok yumuşak bir yapıya sahip olmaları nedeniyle deprem etkileri altında yüksek deplasman istemleri olmaktadır. Sismik yükler altındaki deplasmanları kontrol altına alabilmek için köprüde sismik izolatörler (Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet) kullanılmıştır. Köprünün tasarım spektrumu ve deprem haritasındaki yeri Şekil-11 de gösterilmiştir.



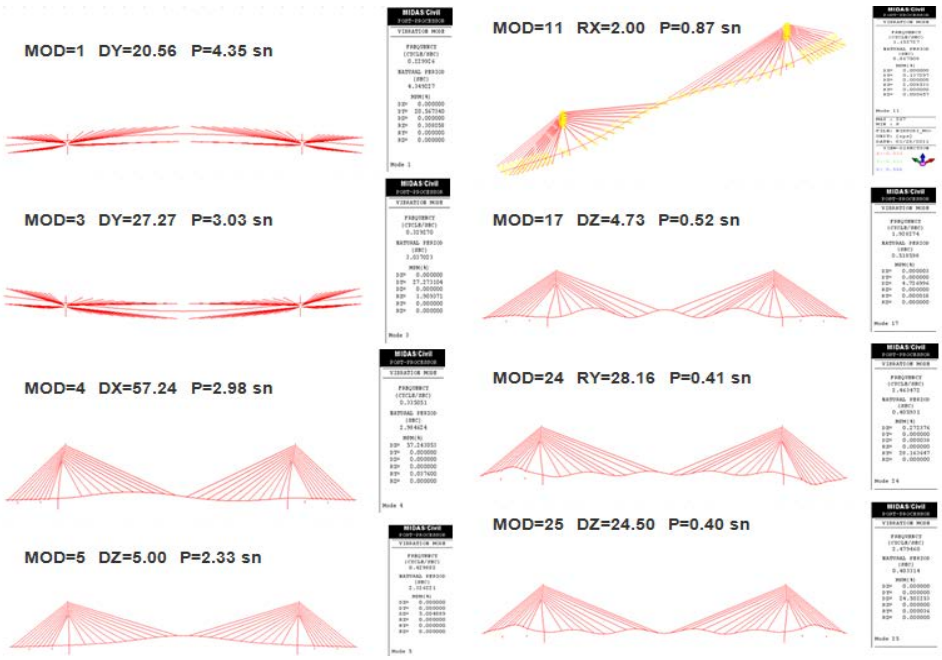

(a) (b)

Şekil 11. Deprem Bölgesi (a) , Tasarım spektrumu (b)

Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Bölümü tarafından seçilen ve tarafımıza iletilen deprem kayıtları doğrultusunda (Şekil-12) zaman-tanım aralığında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. 7 farklı deprem datasına göre yapılan analiz sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Köprünün seçilen bazı mod şekilleri Şekil-13 de görülebilir.



Şekil 12. Zaman tanım aralığındaki hesaplar için kullanılan deprem kayıtları




Şekil 13. Köprünün seçilen bazı mod şekilleri

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Diyarbakır ile Adıyaman illeri arasında yapılacak olan Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsü'nün tasarım uygulamaları hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Kablo askılı köprülerin tasarımı çok basamaklı ve her aşamada elde edilen sonuçlara göre geri dönüşlü bir süreçtir. Yapılan her analiz ve tasarım bir diğer analizi etkilemektedir. Bu durumda kablo askılı bir köprüde sadece rüzgar, trafik veya deprem etkilerinden birinin tasarımı belirlemesi söz konusu değildir. Ülkemizin bir deprem ülkesi olması nedeniyle her yapıda olduğu gibi kablo askılı köprülerin tasarımında da deprem analizleri önem arz etmektedir. Özellikle kulelerin yüksek ve rijit olmaları nedeniyle deprem etkileri açısından dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Ayrıca düşey ivmelerin etkin olduğu durumlarda kablo kuvvetlerinin değişimleri tahkik edilmelidir.

## KAYNAKLAR

Saini, J.S (20107). Effect of Nonlinearities due to Geometry, Cables and Tuned Mass Dampers on the Analysis of Cable Stayed Bridges, Yüksek Lisanz Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, Delhi Üniversitesi, Delhi.

Gimsing, N.J. (1983). Cable Supported Bridges, John Wiley & Sons, New York, USA.