

KÖPRÜLERDE KULLANILAN KAUÇUK MESNETLERİN HESAP ve TASARIM YAZILIMI

¹Barbaros ATMACA, ²Şevket ATEŞ, ³Ahmet Can ALTUNIŞIK

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon/ Türkiye
Tel: (0462) 377 4388 – E-mail: atmaca@ktu.edu.tr

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon/ Türkiye
Tel: (0462) 377 2661 – E-mail: sates@ktu.edu.tr

³Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon/ Türkiye
Tel: (0462) 377 4020 – E-mail: ahmetcan@ktu.edu.tr

Özet

Ülkemizde bulunan köprülerin yarısından fazlasını öngerilmeli betonarme köprüler oluşturmaktadır. Öngerilmeli betonarme köprülerde, kauçuk mesnetler sıklıkla kullanılmaktadır. Kauçuk mesnetler ile köprü kirişleri arasındaki sınır koşullarının, köprü performansını önemli derecede etkilediği de bilinmektedir. Türkiye’de henüz köprü ve köprü elemanlarının hesap ve tasarımında kullanılacak geniş kapsamlı bir yönetmeliğin bulunmaması, araştırmacıları ve mühendisleri yabancı ülkelerin yönetmeliklerini kullanmaya zorlamaktadır. Bu çalışmada, öngerilmeli betonarme köprülerin tabliyesini oluşturan ön yapım kirişlerinin kenar ayak ve/veya orta ayaklara oturmasını sağlayan kauçuk mesnetlerin AASHTO LRFD 2012’ye göre tasarım aşamaları belirlenmiştir. Bu kapsamda, farklı yükler, geometri ve malzeme özelliklerine sahip olan kauçuk mesnetlerin AASTHO LRFD 2012’ye göre hesap ve tasarımını gerçekleştiren görsel bir bilgisayar programı C # yazılım dili kullanılarak oluşturulmuştur.

Giriş

Deprem meydana geleceği yer, zaman ve büyüklüğü bilinemeyen bir doğa olayıdır. Bu doğa olayı meydana geldikten sonra can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Bu kayıpları en aza indirmek için yoğun çaba sarf edilmektedir. Deprem Mühendisliği’nde son yıllarda kat edilen gelişmeler, bilgisayar sistemleri ve programları ile hesap metodlarındaki ilerlemeler, malzeme-imalat teknolojilerindeki yenilikler ve meydana gelmiş depremlerden elde edilen bilgi birikimleriyle deprem davranışının daha iyi anlaşılması sayesinde; depremin yıkıcı etkilerinin mühendislik yapılarına vereceği zararları en aza indirebilecek çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında en çok dikkat çekenlerden birisi de zemin ile yapı arasındaki etkileşimi azaltarak depremin yapılarda meydana getirdiği olumsuz etkileri en düşük seviyelere indirilmesini sağlayan izolasyon yöntemleridir.

Geleneksel yöntemler, yapının deprem yükü taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliliğini, stabilitesini ve elastik ötesi şekil değiştirmesini artırarak sağlanmaktadır. Buna karşın sismik izolasyon yöntemleri; yapının rijitliğini azaltmak, periyodunu ve sönümünü artırarak yapıya gelen deprem kuvvetlerini küçültülmesini sağlamaktadır. (Soneji ve Jangid, 2006; Zayas, 1987).

İzolasyon sistemleri için 1800'lü yıllarda ve 1900'lü yıllarda örnekler bulunmasına rağmen, sismik izolasyon kavramının yapısal mühendisliğe girmesi 1970'li yıllarda olmuştur. Sismik izolasyon sistemleri 1970'lerde önce köprülerde, sonrasında diğer yapılarda kullanılmaya başlanmıştır (Murat, 2007). Zayas vd. (1987), sismik izolasyon aygıtlarını 150 den fazla deprem simülasyonu ve deprem şartları altında test etmişlerdir. Tuna (1998), köprülerin depreme dayanıklı projelendirilmesinin can güvenliği esasına yönelik olduğunu açıklamıştır. Hasar oluşumunun kabul edildiğini, ancak çökmenin oluşmamasının istendiğini belirtmiştir. Deprem esnasında yapıda meydana gelen deprem kuvvetlerinin, kauçuk mesnetler kullanılarak kontrol edilebildiğini açıklamıştır. Bu mesnetlerin, köprünün doğal periyodunu büyüttüğünü ve yapıya aktarılabilecek olan deprem kuvvetlerinin düşük seviyede kalmasına yardımcı olduğunu vurgulamıştır. Green vd. (2007), önerilmeli kirişli karayolu köprülerinde kauçuk mesnetlerin sıklıkla kullanıldığını ve kirişle ona mesnetlik görevini yerine getiren kauçuk mesnet arasındaki sınır koşulların köprünün performansı üzerinde etkili olduğunu vurgulamışlardır. Akoğlu ve Çelik (2008), Türkiye'deki betonarme köprü ve viyadüklerin AASHTO'ya göre depreme dayanıklı tasarımına ilişkin koşulları incelemiştir. Bu bağlamda, yurdumuzda sıkça kullanılan, kauçuk mesnetlere serbestçe oturan prekast önerilmeli kirişli köprü sistemini ele almıştır. Tasarım aşamasında kauçuk mesnetlerin modellenme biçiminin deprem davranışına olan etkisine odaklanmıştır. Bu amaçla, değişik tipteki kauçuk mesnetlerin mekanik özelliklerine bağlı olarak köprünün periyodlarında ve iç kuvvetlerdeki değişimler basitleştirilmiş modellerden elde edilenlerle karşılaştırmıştır. Atmaca vd. (2013), çalışmalarında, kablolu bir köprüyü taban izolasyonlu ve izolasyonsuz olarak SAP 2000 sonlu paket programında modelleyerek köprünün dinamik davranışını karşılaştırmışlardır. Üç farklı deprem kaydı kullanılarak yapılan çalışmada izolatör kullanımının depremin yıkıcı etkilerini büyük ölçüde azalttığını vurgulamışlardır. Yazdani vd. (2000), AASHTO'daki metotlar ile kauçuk mesnetlerin rijitliklerin uygun biçimde hesaplandığını söylemişlerdir.

Bu çalışmada önerilmeli betonarme köprülerde yaygın olarak kullanılan kauçuk mesnetlerin uluslararası şartnameler ve kaynaklar yardımıyla bir tasarım özeti hazırlanmış, Türkiye'ye uyarlanmaya çalışılmıştır. Türkiye'nin depremsellik açısından konumu düşünüldüğünde, benzer depremsellik özelliklerine sahip bir coğrafyadaki ülkenin yönetmeliğini kullanmak uygun olmaktadır. Yönetmeliğin, yaşanan büyük depremler sonucunda gerekli değişikliklerin yapılmasıyla güncel tasarım kriterlerine sahip olması diğer bir önemli özelliktir. Bu koşullar göz önüne alındığında Türkiye'de köprü tasarımı için kullanılabilecek en kapsamlı yönetmeliklerden birisi Amerikan Eyalet Karayolları ve Ulaştırma Kurumu tarafından yayınlanan AASHTO LRFD 2012'dir. Bu çalışmada bu yönetmelik kuralları izlenecektir.

Kauçuk Mesnet Tasarımı

Kauçuk mesnetlerin tasarımında AASTHO LRFD 2012'de A ve B yöntemi olmak üzere iki yöntemden bahsedilmektedir. Büyük kauçuk mesnetlerin hesabında B yönteminin kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada B yöntemindeki parametreler dikkate alınmıştır.

Kauçuk Mesnedin Boyutsal Özellikleri

Şekil faktörü (S_i) kauçuk malzemenin tek bir tabakasına ait boyutsuz bir oran ölçüsüdür. Kauçuk mesnedin şekil faktörünün hesabı mesnedin karesel ya da dairesel olmasına bağlı olarak aşağıdaki gibi belirlenmektedir.

$$S_{iKaresel} = \frac{LW}{2h_{ti}(L+W)}, S_{iDairesel} = \frac{D}{4h_{ti}} \quad (1)$$

Burada, L mesnedin köprü boyu doğrultusundaki kenarının uzunluğu; W mesnedin köprü boyuna dik doğrultusundaki uzunluğunu; D mesnedin çapını; kauçuk mesnette bulunan her bir kauçuk tabakanın kalınlığını göstermektedir.

Kauçuk mesnetler kauçuk ve çelik levhaların bir arada kullanılmasıyla meydana geldiği için, yüksek eksenel rijitlik (KV) ve düşük kayma rijitliğine (KH) sahiptirler. Kauçuğun ve çelik levhaların davranışı elastik kabul edilirse eksenel ve kayma rijitlikleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Basit giriş davranışı sonucu mesnette oluşan dönme rijitliği (), elastisite modülü (E), atalet momenti (I) ve kauçuk mesnetteki kauçuk tabakanın toplam kalınlığına () bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$K_H = \frac{GA}{h_{rt}}, K_V = \frac{EA}{h_{rt}}, K_\theta = \frac{1,6(0,5E_c I)}{h_{rt}} \quad (2)$$

Burada, A mesnedin yüzey alanı; G ve E sırasıyla kauçuk mesnedin kayma ve elastisite modülünü göstermektedir.

Malzeme Özellikleri

Kauçuk mesnedin tasarımında kullanılan en önemli malzeme özelliklerinden birisi kesme modülüdür. Kesme modülü değerinin 0,552-1,21 MPa aralığında alınması tavsiye edilmektedir.

Kauçuk mesnedin tasarımında kullanılan diğer bir malzeme özelliği ise kauçuk mesnedin elastisite modülüdür. AASHTO 2012'de kauçuk mesnedin elastisite modülünü kauçuk mesnedin kesme modülüne ve şekil faktörüne bağlı, yaklaşık olarak belirlenmektedir.

$$E=4,8GS^2 \quad (3)$$

Tasarım Gereksinimleri

Kesme Deformasyonu

Kauçuk mesnette yorulma ve kauçuk köşelerinde yuvarlanma gibi problemlerin oluşmaması için kesme deformasyonu $\pm 0,5h_{rt}$ ile sınırlanması tavsiye edilmektedir.

Basınç, Dönme ve Kesme Kombinasyonu

Kauçuk mesnetler genellikle sıkıştırılmaz olarak kabul edilmektedir. Fakat poisson etkisiyle bir miktar genişlemekte ve meydana gelen bu genişleme kauçuk tabakaları arasında bulunan çelik levhalar tarafından sınırlanmaya çalışılmaktadır. Bu durum kauçuk tabaka ile çelik levhalar arasındaki yüzeyde kesme gerilmelerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Eksenel kuvvet, dönme ve kesmenin servis sınır durumunda birlikte etkimesi sonucunda aşağıdaki eşitsizliklerin sağlanması gerekmektedir.

$$(\gamma_{a,st} + \gamma_{r,st} + \gamma_{s,st}) + 1,75(\gamma_{a,cy} + \gamma_{r,cy} + \gamma_{s,cy}) \leq 5,0 \text{ ayrıca } \gamma_{a,st} \leq 3,0 \quad (4)$$

Burada, γ_a eksenel kuvvetten oluşan kesme şekil değiştirmesini; γ_r dönmeden oluşan kesme şekil değiştirmesini; γ_s kesme deformasyonundan oluşan kesme şekil değiştirmesini; st ve cy sırayla statik ve tekrarlı yükü göstermektedir.

$$\gamma_a = D_a \frac{\sigma_s}{GS_i} \quad (5)$$

Burada, D_a eksenel kuvvetten oluşan kesme şekil değiştirmesinin belirlenmesinde kullanılan birimsiz bir katsayıdır. D_a karesel mesnetler için 1,4 dairesel mesnetler için 1,0 olarak alınmaktadır. σ_s statik ya da tekrarlı yüklerden meydana gelen ortalama basınç gerilmesini göstermektedir.

$$\gamma_{rKaresel} = D_r \left(\frac{L}{h_{ri}} \right)^2 \frac{\theta_s}{n}, \gamma_{rDairesel} = D_r \left(\frac{D}{h_{ri}} \right)^2 \frac{\theta_s}{n} \quad (6)$$

Burada, D_r dönmeden dolayı oluşan kesme şekil değiştirmesinin belirlenmesinde kullanılan birimsiz bir katsayıdır. D_r karesel mesnetler için 0,5 dairesel mesnetler için 0,375 olarak alınmaktadır. n kauçuk mesneden içinde bulunan iç tabaka sayısını; θ_s servis sınır durumundaki maksimum statik ya da tekrarlı dönüş açısını göstermektedir.

$$\gamma_s = \left(\frac{\Delta_s}{h_{rt}} \right) \quad (7)$$

Burada, h_{rt} kauçuk mesnette bulunan kauçuk tabakanın toplam kalınlığını; Δ_s uygun yük kombinasyonu altında maksimum statik ya da tekrarlı kesme deformasyonunu göstermektedir.

Kauçuk Mesneden Stabilesi

Mesneden stabilesi yük kombinasyonları altında incelenmektedir. $2A \leq B$ koşulu sağlandığında mesneden stabil olduğu ve daha fazla araştırmaya gerek olmadığı kabul edilmektedir.

$$A = \frac{1,92 \frac{h_{rt}}{L}}{\sqrt{1 + \frac{2,0L}{W}}}, \quad B = \frac{2,67}{(S_i + 2,0) \left(1 + \frac{L}{4,0W} \right)} \quad (8)$$

Dairesel mesnetler için hesap yapılırken $W=L=0,8D$ alınarak stabilite kontrolü yapılabilir. Eğer karesel mesnet için $2A \leq B$ koşulu sağlanmaz ise aşağıdaki denklemler sağlanmalıdır.

$$\text{Köprünün yatay yer değiştirmesi serbest ise} \quad \sigma_s \leq \frac{GS_i}{2A - B} \quad (9)$$

$$\text{Köprünün yatay yer değiştirmesi tutulmuş ise} \quad \sigma_s \leq \frac{GS_i}{A - B} \quad (10)$$

Denklem 10'da bulunan $A - B$ değerinin sıfır ya da eksi olması mesneden sabit ve σ_s den bağımsız olduğunu göstermektedir.

Çelik Plakalar

Kauçuk mesneden düşey rijitliğini artırmak için kauçuk tabakalar arasına yerleştirilmiş olan çelik levhaların kalınlığı (h_s) 1,5875 mm den az olmamalıdır. Çelik levhaların kalınlığı ayrıca servis sınır durumunda ve yorulma sınır durumunda aşağıda verilen denklem 11 ve 12'yi sağlamalıdır.

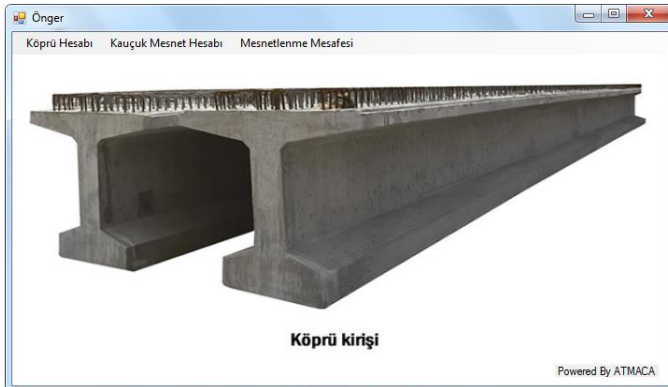
$$\text{Servis sınır durumunda} \quad h_s \geq \frac{3h_{ri}\sigma_s}{F_y} \quad (11)$$

$$\text{Yorulma sınır durumunda} \quad h_s \geq \frac{2h_{ri}\sigma_L}{\Delta F_{TH}} \quad (12)$$

Burada, ΔF_{TH} sabit yorulma genliğini; h_{ri} kauçuk mesnette bulunan her bir kauçuk tabakanın kalınlığını; σ_s statik ya da tekrarlı yüklerden meydana gelen ortalama basınç gerilmesini; σ_L hareketli yüklerden meydana gelen ortalama basınç gerilmesini; F_y çeliğin akma dayanımını göstermektedir.

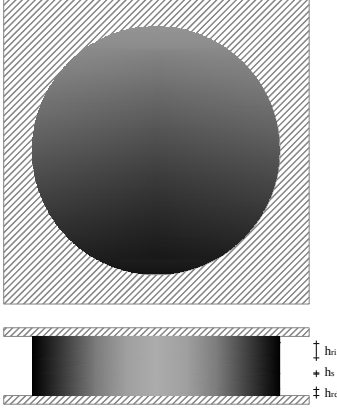
Kauçuk Mesnet Hesap ve Tasarım Programı

Öngermeli kirişli köprülerde sıklıkla kullanılmakta olan kauçuk mesnetlerin köprünün yapısal davranışına olan etkileri dikkate alındığında bu mesnetlerin hesap ve tasarımının önemi anlaşılmaktadır. Bu kapsamda farklı yükler, geometri ve malzeme özelliklerine sahip olan kauçuk mesnetlerin hesap ve tasarımını AASTHO LRFD 2012'ye göre yapan bir bilgisayar programı C Sharp (C#) yazılım dili kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 1'de oluşturulmuş olan programın açılış sayfası görülmektedir. Şekil 2'de verilen örnek kauçuk mesneden Tablo 1'deki geometrik özellikleri kullanılarak hesap ve tasarım adımları oluşturulan program sayesinde yapılmıştır.



Şekil 1. Oluşturulan programın açılış sayfası

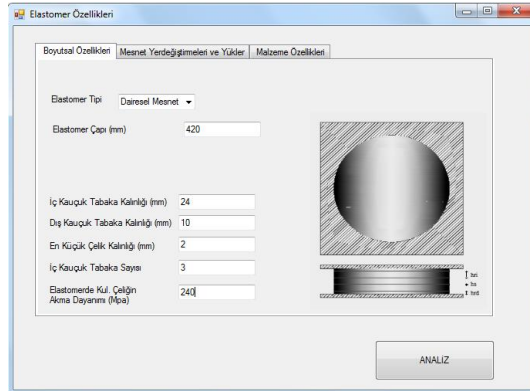
Tablo 1.Örnek Kauçuk Mesnedin Özellikleri.



Şekil 2. Örnek bir kauçuk mesnet

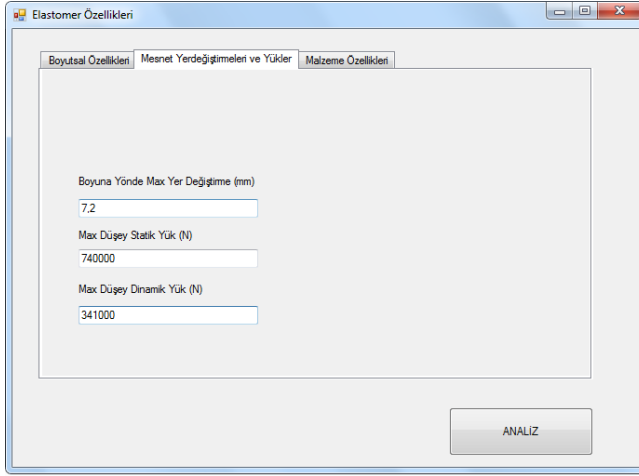
Kauçuk Mesnet Özellikleri	
Mesnet Tipi	Dairesel
Çapı(mm)	420
İç kauçuk Kalınlığı(mm)	24
İç kauçuk tabaka sayısı	3
Dış kauçuk tabaka kalınlığı(mm)	10
Çelik levhaların kalınlığı(mm)	2
Çeliğin Akma Dayanımı (MPa)	240
Boyuna Yönde Maks. Yer değiştirme(mm)	7,2
Maks. Düşey Statik Yük(N)	740000
Maks. Düşey Hareketli Yük(N)	341000

Programda bulunan Kauçuk Mesnet Özellikleri menüsü üç başlık altında toplanmıştır. Bunlar Boyutsal Özellikler, Mesnet Yer değiştirmeleri ve Yükler ve Malzeme Özelliklerinin girildiği başlıklardır. Şekil 3'te boyutsal özelliklerin girildiği ara yüz görülmektedir.



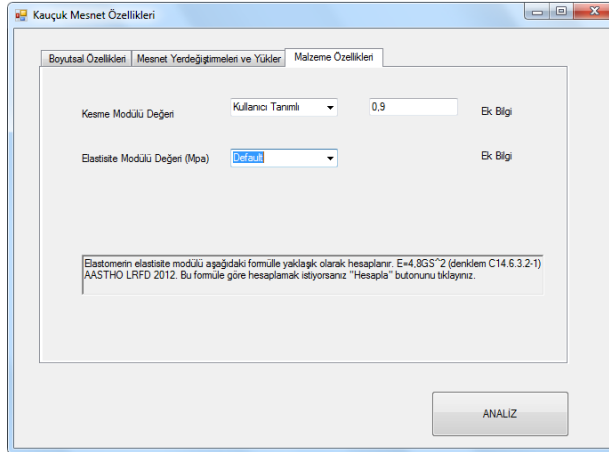
Şekil 3. Boyutsal özellikler menüsü

Köprünün yatay hareketini önlenip önlenmediği, köprüde oluşan maksimum boyuna yer değiştirme ve köprü kirişlerinden kauçuk mesnede aktarılan maksimum statik ve hareketli yüklerin değerleri girildiği aşamanın ekran görüntüsü Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Mesnet yer değiştirmeleri ve yükler menüsü

Malzeme Özellikleri menüsünü kauçuk mesnedinin kayma modülü ve elastisite modülü ile ilgili kısmı kapsamaktadır. Kauçuk mesnedinin bu özellikleri hakkında yeterli bilgi mevcut ise bu değerler ilgili kısımlara girilebilmektedir. Yeterli bilgi olmadığı durumlarda programda bulunan ek bilgi butonları yardımıyla kesme ve elastisite modülüyle ilgili yardımcı bilgiler kullanıcıya yol göstermektedir. Malzeme özelliklerinin girildiği ara yüz Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Malzeme özellikleri menüsü

Yukarıdaki aşamalardan sonra analiz kısmına geçilmektedir. Analiz sonuçları 4 başlık altında toplanmıştır. Bu başlıklar, stabilite kontrolü, çelik plakaların kontrolü, tasarım gereksinimleri ve kauçuk mesnet rijitlikleridir. Stabilite kontrolü başlığı altında kauçuk mesnedin stabilite durumu verilmektedir. Örnek uygulama için elde edilen stabilite durumu Şekil 6'da verilmiştir. Seçilen

örnek kauçuk mesnette stabilite koşulu olan $2A \leq B$ sağlamadığından mesnedin sabit olmadığını göstermektedir.

Analiz Sonuçları

Stabilite Kontrolü Çelik Plakaların Kontrolü Kesme Deformasyon ve Şekildeğiğirmesi Kauçuk Mesnet Rijitlikleri

$$A = \frac{1,92 \frac{h_n}{L}}{\sqrt{1 + \frac{2,0L}{W}}}, B = \frac{2,67}{(S_i + 2,0) \left(1 + \frac{L}{4,0W}\right)}$$

A 0,304 B 0,335

0,607 > 0,335
2A < B koşulu sağlanmadığından mesnedin sabit olmadığı kabul edilir ve daha fazla araştırmaya gerek vardır.

Şekil 6. Stabilite kontrol menüsü

Çelik plakaların kontrolü başlığı altında, en küçük çelik tabaka kalınlığının kontrolü, yorulma sınır durumunda ve servis sınır durumunda ki uygunluk kontrolleri yapılmaktadır. Şekil 7'de çelik plakaların kontrol ara yüzü verilmiştir.

Analiz Sonuçları

Stabilite Kontrolü Çelik Plakaların Kontrolü Kesme Deformasyon ve Şekildeğiğirmesi Kauçuk Mesnet Rijitlikleri

En küçük çelik tabaka kalınlığını kontrolü >= 1,5875
Min. Çelik Plaka kalınlığı UYGUNDUR

Yorulma Sınır Durumunda Servis Sınır Durumunda

$$h_s \geq \frac{2h_n \sigma_L}{\Delta F_{TH}} \Rightarrow \geq 0,716$$

$$h_s \geq \frac{3h_n \sigma_s}{F_y} \Rightarrow \geq 1,602$$

UYGUNDUR UYGUNDUR

Şekil 7. Çelik plakaların kontrol menüsü

Tasarım gereksinimleri başlığı altında kesme deformasyonu kontrolü ve kesme şekil değıştirmesi kontrolleri yapılmaktadır. Şekil 8'de tasarım gereksinimleri ara yüzü verilmiştir.

Kesme Deformasyonu

$h_{tr} \geq 2\Delta_s$ 92>=14,4

92>=14,4 olduğundan
Yorulma sonucu meydana gelen tabakaların ayrılması ve köşelerin yuvarlanması gibi problemler meydana gelmez

Kesme Şekil Değişimi

Eksenel Statik Kuvvet Oluşan Eksenel Tekrarlı Kuvvet Oluşan

$\gamma_s = D_s \frac{\sigma_s}{GS}$ 1,357 $\gamma_s = D_s \frac{\sigma_s}{GS}$ 0,625

Dönmeden Oluşan

$\gamma_s = D_s \left(\frac{L}{h_{tr}} \right)^2 \frac{\theta_s}{n}$ 0,191

Kesme Deformasyonundan Oluşan

$\gamma_s = \left(\frac{\Delta_s}{h_{tr}} \right)$ 0,078

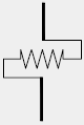
3,19201023340802<=5 ve 1,35651018096631<3 olduğundan
Kesme Deformasyonu UYGUNDUR

Şekil 8. Tasarım gereksinimleri kontrol menüsü

Kauçuk mesnet rijitlikleri başlığı altında kauçuk mesnede ait olan yatay, düşey ve dönme rijitlikleri hesaplanmaktadır. Şekil 9'da kauçuk mesnet rijitlikleri arayüzü görülmektedir.

Rijitlikler

Yatay Rijitlik K_h (N/mm) Düşey Rijitlik K_v (N/mm) Dönme Rijitliği K_θ (kNmm)

1355,323 124520,292 1098,269

Şekil 9. Kauçuk mesnet rijitlikleri menüsü

Sonuçlar

Bu çalışmada, önerilmeli kirişli köprülerde, kirişlere mesnetlik görevi yapan ve köprünün yapısal davranışı üzerinde etkili olan kauçuk mesnetlerin hesap ve tasarım adımları belirlenmiştir. Ülkemizde köprüler ve köprü elemanları hakkında kapsamlı bir yönetmelik bulunmadığından dolayı kauçuk mesnetlerin hesap ve tasarım adımların belirlenmesinde ülkemiz şartlarına uygun yönetmeliklerden biri olan Amerikan Eyalet Karayolları ve Ulaştırma Kurumunun yayınlamış olduğu AASHTO LRFD 2012 yönetmeliği kullanılmıştır. AASHTO LRFD 2012'de bulunan, kauçuk mesnedin hesap kısmı özetlenmiş ve bu hesaplamaları gerçekleştiren görsel bir program C# programlama diliyle oluşturulmuştur. Oluşturulan bu programla; farklı yükler, malzeme ve geometrik özelliklere sahip kauçuk mesnetlerin hızlı ve güvenilir şekilde hesap ve tasarımı gerçekleştirilmiştir. AASHTO LRFD 2012'de, karesel mesnetlerin stabilite koşulunun sağlanması dairesel mesnetlere göre daha kolay olması, karesel mesnetlerin kullanılmasının teşvik edildiği sonucunu göstermektedir.

Kaynaklar

1. AASHTO LRFD, 2012. Bridge Design Specifications, Sixth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. Akoğlu, C., "Prekast Kirişli Betonarme Köprülerin AASHTO'ya Göre Depreme Dayanıklı Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
3. Atmaca, B., Yurdakul, M. ve Ateş, Ş., "Nonlinear dynamic analysis of base isolated cable-stayed bridge under earthquake excitations", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 66(2013) 314-318.
4. Green, T., Yazdani, N., Spainhour, L. ve Cai, C.S., "Effect of Bearing Stiffness and Skew Angle on Performance of Precast Concrete Bridge", Transportation Research Record, 1770(2007) 27-33.
5. Murat, E., "Binaların tabanlarına kauçuk mesnetler yerleştirerek sismik yalıtım uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
6. Soneji, B.B., Jangid, R.S., "Influence of soil-structure interaction on the response of seismically isolated cable-stayed bridge", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28(2008) 245-257
7. Soyluk, A., "Sismik taban izolatorü kullanımının mimari tasarıma etkisi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
8. Tuna, M. E., 1998. "Köprüler ve dinamik izolasyon mesnetleri", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(2): 401-411.
9. Yazdani, N., Eddy, S.M., Cai, C.S., "Validation of AASHTO bearing stiffness for standard precast concrete bridge girders", ACI Structural Journal, 97(2000), 3, 436-443.
10. Zayas, V., Low, S. ve Mahin, S.A., 1987. "The FPS Earthquake Resisting System Experimental Report", EERC Technical Report, UBC/EERC, 87-01.

Anahtar Sözcükler: AASHTO LRFD 2012, Kauçuk Mesnetler, Öngerilmeli Betonarme Köprüler.