

Betonarme Yapı Elemanları için Güvenilirliğe Dayalı Yeni Yük ve Dayanım Katsayılarının Belirlenmesi

Fatih Kürşat FIRAT*
M. Semih YÜCEMEN**

ÖZ

Bu çalışmada, yaşanan büyük depremlerden sonra Türkiye’de değişen tasarım ve uygulama koşullarına dayalı olarak, betonarme yapı elemanları için yeni yük ve dayanım katsayıları belirleme yöntemi sunulmuştur. Yöntemin uygulaması kesme göçme modundaki kırılgan etkiyen sabit ve hareketli yük kombinasyonu için gerçekleştirilmiştir. İlk önce güvenilirlik analizi yapmak için elde edilen veriler göz önünde bulundurularak, tasarım değişkenlerinin sahip olduğu belirsizlikler istatistiksel parametreler ile sayısallaştırılmıştır. Daha sonra, tasarım koşullarına dayalı risk düzeyleri güvenilirlik indeksi, β , cinsinden hesaplanmıştır. Hesaplanan bu β değerleri göz önünde tutularak hedef güvenilirlik indeksi, β_T , uygun bir şekilde seçilmiştir. Son olarak, seçilen güvenilirlik indeksi kullanılarak yük ve dayanım katsayıları Geliştirilmiş Birinci Mertebe İkinci Moment yöntemine göre hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme kiriş, yük ve dayanım katsayıları, belirsizlik, deprem yükü, güvenilirlik.

ABSTRACT

Determination of Reliability Based New Load and Resistance Factors for Reinforced Concrete Structural Members

In this study, a procedure for the determination of new load and resistance factors for reinforced concrete structural members is proposed in view of the fact that the design practice in Turkey has changed after the occurrence of major earthquakes. The implementation of the procedure is carried out for the shear failure mode of reinforced concrete beams subjected to dead and live load combination. First, the statistical parameters for the quantification of uncertainties involved in the design variables are assessed based on the available data. Then, the level of risk related with the current design practice is quantified in terms of the reliability index, β . Target reliability index, β_T , is selected in view of the β values computed for the current design practice. By using the resulting target reliability index, β_T , the load and resistance factors are computed based on the Advanced First Order Second Moment Method.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 22.04.2013 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2014 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Aksaray Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray - fkfirat@gmail.com

** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - yucemen@metu.edu.tr

Keywords: Reinforced concrete beams, load and resistance factors, uncertainty, earthquake load, reliability.

1. GİRİŞ

Türkiye’de son yıllarda meydana gelen büyük depremlerde ortaya çıkan mal ve can kayıplarının ardından fark edilen birçok yetersizlik ve bilinçsizlikten sonra, halkın depreme ve doğal afetlere dayanıklı yapılara olan ilgisi artmış, yetkili kurumlarca çeşitli önlemler alınmaya başlanmış ve teknik elemanların daha iyi yetiştirilmesi için bir takım çabalar sarf edilmiştir. Bunun sonucunda ülkedeki yapıların tasarım ve uygulama kriterleri nispeten değişmiş, daha kaliteli yapı malzemesi kullanılması için yönetmelik ve standartlarda bir takım geliştirmeler yapılmıştır.

Yaşanılan depremlerden sonra yapılan incelemelerde işçilik ve kullanılan malzemelerde çok ciddi oranda yetersizlikler tespit edilmiştir [1-3]. Betonarme yapıların istenilen deprem performansını göstermediği ortaya çıkmış, standart ve yönetmeliklerde revizyonlara gidilmiştir [4,5]. Daha kaliteli beton elde edilebilmesi ve yetkili kurumlarca kalite kontrolünün daha rahat yapılabilmesi ve üretim kolaylığı gibi avantajları nedeniyle şu anda Türkiye’de konvansiyonel üretim yöntemleri terk edilerek çok büyük oranda yeni yapılarda hazır beton kullanılmaktadır. Böylece 1990’lı yıllara oranla daha büyük dayanım sınıfına sahip beton tüketilmektedir [6]. Ayrıca hedeflenen beton sınıfındaki değişkenlikler geçmiş yıllara oranla daha düşüktür [7].

Meydana gelen depremlerde hasar görmüş binalardan alınan donatı çeliği numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler ve binalar üzerinde yerinde yapılan gözlemler sonucu donatı çeliklerinin üretim kalitesinde sorun olduğu ortaya çıkmıştır. Zaman içerisinde özellikle neme maruz kalan alanlarda bulunan donatı çeliğinin korozyona uğradığı da bilinen bir gerçektir. Ayrıca donatı çeliklerinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için bazı önlemler alınmıştır. Özellikle donatı çeliğinin deney sonucu bulunan akma dayanımının ilgili standartlarda öngörülen karakteristik akma dayanımından ne kadar sapma göstereceği, deney sonucu bulunan çekme dayanımının deney sonucu bulunan akma dayanımına oranının en fazla ne olması gerektiği gibi bazı temel mekanik özelliklerde süreç içerisinde bir takım değişiklikler meydana gelmiştir. Bunlara ilaveten, 1990 yıllarda çok büyük oranda S220 beton çelik çubuğu kullanılırken şu anda S220 çubuğu hiç kullanılmamakta, hatta piyasada bulunması ise neredeyse mümkün olmamaktadır [8].

Daha önceki yıllarda inşa edilen yapılar üzerinde yapılan gözlemlerde, çok ciddi oranda işçilik hatalarının yapıldığı hatta bazı yapılarda eksik malzeme kullanıldığı, yapı elemanı boyutlarının projede öngörülenlerden daha küçük imal edildiği binalara rastlanılmıştır. Artan denetimden dolayı geçmişe kıyasla işçilik hataları daha düşük bir seviyeye indirgenmiştir.

Geçmişten günümüze Türkiye’de olduğu gibi tüm dünyada inşa edilecek yapıların tasarım ve uygulama kriterleri olumlu yönde değişse bile yine de yapıyı oluşturacak malzemelerde, yapı elemanlarının tasarımını gerçekleştirmek için kullanılacak modellemede ve yapının projelendirilmesinde bir takım belirsizlikler var olacaktır. Bunlara ilaveten bina üzerine gelecek sabit, hareketli, kar, rüzgar ve deprem yüklerinde ve bu yüklerin inşa edilecek yapı üzerine olan etkilerinin modellenmesinde ne kadar büyük belirsizliklerin var olduğu bilinen

bir gerçektir. Bu nedenle taşıma gücü tasarım yöntemlerinde yük ve dayanım katsayılarının kullanılması gerekmekte, belirsizlikler ve bunların yapı üzerindeki etkileri olasılık ve istatistik yöntemlerini kullanarak çözümlenmelidir.

Yukarıda özetlendiği gibi Türkiye’de inşa edilecek yapıların tasarım ve uygulama kriterlerinin değişmiş olması ve yapı üzerinde var olan her türlü belirsizlik kaynaklarının yeni bilgi ve veriler ile mümkün olduğu kadar azaltılması gerekliliği gibi nedenlerden dolayı Türkiye’de kullanılan yük ve dayanım katsayılarının yeniden gözden geçirilmesi ciddi bir ihtiyaç olarak kendini göstermektedir. Bu gözlemler çerçevesinde, burada betonarme yapı elemanları için yeni yük ve dayanım katsayılarını belirleme yönteminin ortaya konulması amaçlanmıştır. Hesaplama yönteminin uygulaması, kesme durumundaki kirişler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca beton, donatı çeliği, sabit ve hareketli yük gibi değişik tasarım değişkenlerinin modellemeleri yapılmıştır. Çalışmada ortaya konan tasarım değişkenleri modellemeleri ve hesaplama yöntemi diğer betonarme yapı elemanları ve diğer göçme biçimleri için de geçerli olacaktır.

2. YAPISAL GÜVENİLİRLİK MODELİ

Bir yapının güvenilirliği, o yapının ömrü boyunca karşı karşıya kaldığı yük etkileri ile sahip olduğu dayanım kapasitesinin kıyaslanması sonucu elde edilir. Eğilme, kesme gibi herhangi bir göçme biçimi dikkate alındığında, yapı dayanımı değişkeni R ve yük etkisi değişkeni S ile gösterilirse sistemin p_s güvenilirliği (reliability) R’nin S’den büyük olma olasılığı olarak tanımlanır ($p_s=P(R>S)$). S’nin R’den büyük olması (sistemin göçmesi, diğer bir ifadeyle yetersiz olması) olasılığı olan risk ise aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$p_f=P(S>R)=1-p_s \quad (1)$$

Bu güvenilirlik ve risk değerlerini belirleyebilmek için malzeme özellikleri, yük etkileri, boyutlar gibi tüm temel değişkenleri kapsayan bir güvenilirlik modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada güvenilirlik modelinin oluşturulmasında Geliştirilmiş Birinci Mertebe İkinci Moment Yöntemi (GBMİM) [9] kullanılacaktır. Bu yöntem uygulanırken limit durum, oluşturulan güvenilirlik modelinin öngörülen fonksiyonunu sağlayamayacak bir hale gelmesi olarak tanımlanabilir. Herhangi bir göçme durumunda limit durum fonksiyonu $g(\tilde{X})=g(X_1, \dots, X_n)$ ve dikkate alınan göçme durumundaki temel değişkenler vektörü $\tilde{X}=(X_1, \dots, X_n)$ olarak yazılabilir. Dikkate alınan n boyutlu bir uzaydaki limit durum fonksiyonu, temel değişkenler uzayını göçme bölgesi D_f ve güvenilir (emniyetli) bölge D_s olmak üzere ikiye ayıran bir göçme yüzeyi meydana getirmektedir. Göçme bölgesi, \tilde{X} ’in tüm göçme ile sonuçlanacak durumlarını içerir, aynı şekilde güvenilir bölge ise \tilde{X} ’in tüm göçmeme (yani dayanım) ile sonuçlanacak durumlarını içerir. Göçme yüzeyini Denklem 2 ile tanımlamak uygun olacaktır. Bu denklemde g fonksiyonunun pozitif değerleri değişkenlerin emniyetli durumlarını (güvenilir bölge) ve g fonksiyonunun negatif değerleri değişkenlerin göçme durumlarını işaret edecektir. Limit durum fonksiyonunu oluşturan temel değişkenler, rassal değerlere sahip olduğundan bu fonksiyonun çıktısı da bir rassal değişken olacaktır.

$$g(\tilde{X}) = g(X_1, \dots, X_n) = 0 \quad (2)$$

Yukarıda sözü edilen limit durum fonksiyonunda emniyet ölçüsü olarak güvenilirlik indeksi β kullanılmaktadır. Güvenilirlik indeksi β , göçme yüzeyi ile orijin arasındaki en küçük uzaklıktır [10].

3. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Genel anlamda belirsizlikler: aleotorik ve epistemik olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir. Aleotorik belirsizlikler temel değişkenin kendi doğasındaki belirsizliklerden kaynaklanır. Epistemik belirsizlikler ise uygulanan modellerden, veri sayısının sınırlı olmasından ve yapılan kabul ve tahminlerden kaynaklanan belirsizliklerdir. Mühendislik önsezisi ve gözleme dayalı tecrübe, epistemik belirsizliklerin kabul edilebilir bir seviyede sayısallaştırılmasında ve dolayısıyla azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bir temel değişkenin belirsizliklerin hesaba katılması sonucu elde edilecek gerçek fakat bilinmeyen değeri aşağıdaki denklem kullanılarak modellenenabilir [9].

$$X_i = N_i \hat{X}_i \quad (3)$$

Burada: X_i : herhangi bir temel değişkeninin gerçek değeri, N_i : epistemik belirsizlikleri dikkate almak için uygulanacak olan rassal düzeltme katsayısı, \hat{X}_i : X_i 'yi tahmin etmek için yararlanılacak modeldir.

Değişkenlik katsayıları cinsinden, epistemik belirsizlikler Δ_{X_i} ile aleotorik belirsizlik ise δ_{X_i} ile gösterilmektedir. Düzeltme katsayısı, N_i 'nin ortalama değeri \bar{N}_i ile X_i 'nin ortalama değeri \bar{X} ile sembolize edilmektedir. Toplam belirsizlik, aleotorik belirsizlik ve epistemik belirsizliklerin aşağıda verilen formülle birleştirilmesiyle bulunmaktadır [11].

$$\Omega_{X_i} = \sqrt{\delta_{X_i}^2 + \Delta_{X_i}^2} \quad (4)$$

Düzeltme katsayısı, N_i , her epistemik belirsizlik kaynağı için ayrı ayrı önerilen düzeltme katsayılarının çarpımı sonucunda elde edilmektedir. Ortalama düzeltme katsayısı, \bar{N}_i ve toplam epistemik belirsizlik, Δ_{X_i} aşağıda verilen formüller kullanılarak bulunabilir [11,12].

$$\bar{N}_i = \bar{N}_{i1} \bar{N}_{i2} \dots \bar{N}_{in} \quad (5)$$

$$\Delta_{X_i} = \sqrt{\Delta_{X_{i1}}^2 + \Delta_{X_{i2}}^2 + \dots + \Delta_{X_{in}}^2} \quad (6)$$

4. DAYANIM MODELİ

Bir betonarme yapı elemanının standart ve yönetmeliklerde öngörülen nominal dayanımı, projede belirlenen boyutlardaki sapmalar, malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişkenlikler ve yapı elemanı dayanımını hesaplamak için kullanılan modellemedeki yetersizliklerden dolayı gerçek dayanımdan nispeten farklı olacaktır. Burada dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin kesme dayanımını etkileyen temel değişkenler incelenecek ve güvenilirlik analizi yapmak için gerekli olacak bu değişkenlerin istatistiksel parametreleri hesaplanacaktır.

4.1. Beton Basınç Dayanımı

Türkiye’de kullanılan betonunun basınç dayanımının istatistiksel parametrelerinin belirlenmesi için Türkiye’nin farklı illerinde faaliyet gösteren malzeme laboratuvarlarında elde edilen beton basınç deney sonuçları toplanmıştır. Verilerin elde edildiği laboratuvarlar: Ankara, İstanbul, Konya, Çorlu, Trabzon, Erzurum, Kayseri, Samsun, Bursa, İzmir, Gaziantep, Denizli, Antalya ve Malatya illerindeki üniversite, İnşaat Mühendisleri Odası, Devlet Su İşleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı gibi resmi kurum veya ticari faaliyet gösteren özel kuruluşların yapı malzemesi laboratuvarlarıdır. Bu laboratuvarlara gelen 150 mm’lik küp numunelerin kırılması sonucu düzenlenen deney raporlarının incelenmesi sonucunda elde edilen bazı istatistiksel parametreler beton sınıfına göre Tablo 1’de verilmiştir. Bu tabloda $f_{ck,cyl}$ betonun karakteristik standart silindir basınç dayanımını $f_{ck,cub}$ ise betonun eşdeğer küp basınç dayanımını göstermektedir. Değişkenlik katsayısı ise standart sapmanın ortalama değere oranı olarak tanımlanmaktadır.

Beton basınç dayanımının istatistiksel parametrelerini hesaplamak için Tablo 1’de görüldüğü üzere 11085 adet 28 günlük küp numune ve 6235 adet 7 günlük küp numune deney sonuçları incelenmiştir. Burada, beton basınç dayanımının ortalama değerinin, “nominal” olarak tanımlanan beton standartlarında verilen değere (f_{ck}) oranı hesaplanacaktır. Bu sebeple numune sayıları dikkate alınarak ağırlıklı ortalama beton basınç dayanımı bulunmuştur. Buradaki nominal basınç dayanımı ise yine numune sayıları dikkate alınarak hesaplanacaktır. 28 günlük numunelerin hepsi birden, beton sınıflarına göre numune sayıları göz önünde bulundurularak dikkate alınırsa “ortalama küp basınç dayanımı” $\mu=29,87$ MPa, 7 günlük numunelerin tümü için ise $\mu=24,20$ MPa olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan hareketle betonun şu anki tasarım ve uygulamaları neticesinde, 28 günde kazanacağı dayanımın ortalama olarak %80’nini 7 günde kazandığı ifade edilebilir. Bununla beraber bütün beton sınıfları göz önüne alındığında, 28 günlük betonun basınç dayanımındaki ağırlıklı ortalama değişkenlik katsayısı, $\delta=0,105$ ve 7 günlük betonunkinde ise 0,132 olarak bulunmuştur.

Tablo 1’deki küp numune deney sonuçlarından elde edilen istatistiksel parametrelerin standart silindir basınç değerlerine dönüştürülmesi sonucu, ortalama basınç dayanımı, $\mu_{fc}=24,87$ MPa ve basınç dayanımı değişkenlik katsayısı, $\delta_{fc}=0,105$ olarak elde edilir. Bununla birlikte, gerçekte bir yapının kendisinde halihazırda var olan beton dayanımı değeri ile belirli bir beton sınıfı hedeflenerek tasarlanmış beton dayanımı arasında bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Buna ilaveten hedeflenen sınıfta tasarlanan beton ile bu betondan alınan numunelerin basınç deneyine tabi tutulması sonucu elde edilen değerlerle arasında farklılıklar gözlenebilmektedir. Bu farklılıkların ana sebepleri: beton karışım

oranları, beton üretilirken kullanılan agrega, çimento ve katkı maddesi gibi malzemelerin kendi bünyesinde var olan değişkenlikler, beton karıştırma, taşıma, yerleştirme, sıkıştırma ve bakım işlemlerindeki değişkenlikler, basınç deneyinin kendisinden kaynaklı değişkenlikler ve yetersizlikler olarak ifade edilebilir. Bunlara ek olarak, beton basınç dayanımını belirlemek için alınan numunelerin şekli, boyutları, hazırlanması, numunelere uygulanan kür, silindirik numunelere yapılan başlığın özellikleri ve basınç dayanımına karar verilebilmesi için gerekli numune sayısı gibi beton içerisinde meydana gelecek değişkenlikler numunenin kendisiyle alakalı olan parametrelerdir [12,13]. Yukarıda bahsedilen farklılıklar ve değişkenlikler beton basınç dayanımındaki tahmini belirsizlik (prediction uncertainty) kaynakları olarak ifade edilmektedir. Fırat ve Yüçemen [12] tahmini belirsizlik değerini 0,14 olarak sayısallaştırmıştır.

Benzer bir çalışmada Kömürcü ve Yüçemen [14] toplam belirsizliği Türkiye'deki tasarım ve uygulama kriterlerine göre 0,21 olarak sayısallaştırmıştır. Real, vd. [15] kendi çalışmalarında 0,10, 0,15 ve 0,20 olmak üzere üç farklı toplam belirsizlik değeri kullanmıştır. Çelik ve Elingwood [16] beton basınç dayanımındaki toplam belirsizlik için 0,18 değerini kullanmışlardır. Schlune, vd. [17] C25 ve C 45 sınıflarındaki betonlar için ayrı ayrı olarak sırasıyla 0,16 ve 0,11 toplam belirsizlik değerlerini kullanmışlardır. Burada ise aleotirik belirsizlik ile epistemik belirsizliklerin (tahmini belirsizlik) Denklem 4 kullanılarak birleştirilmesi sonucunda, toplam belirsizlik; $\Omega_e = \sqrt{0,105^2 + 0,14^2} = 0,18$ olarak bulunmuştur. Bu sonuç, literatürde önerilen toplam belirsizlik değerleri ile uyumludur.

Tablo 1. Küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının istatistiksel parametreleri

Beton Sınıfı	C14		C16		C18		C20		C25		C30	
Beton Yaşı	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
Veri Sayısı	24	137	418	755	538	739	3091	5817	1701	2767	463	870
$f_{ck,cyl}$ ($f_{ck,cub}$) (MPa)	14(18)		16(20)		18(22)		20(25)		25(30)		30(37)	
Ortalama, μ (MPa)	14,32	20,04	20,26	25,11	18,69	25,82	23,04	28,46	26,85	32,48	32,63	40,07
Standart Sapma, σ	2,28	2,87	3,12	3,62	2,86	3,10	3,04	2,96	3,46	3,25	3,26	3,17
Değişkenlik Katsayısı, δ	0,159	0,143	0,154	0,144	0,153	0,120	0,132	0,104	0,129	0,100	0,100	0,079

Yapılan çalışmalarda yukarıda ifade edilen belirsizlik kaynakları göz önüne alındığında bir yapıda hâlihazırda bulunan beton basınç dayanımı (gerçek), numunelerin laboratuarda beton basınç dayanımı testine tabi tutulduktan sonra elde edilen basınç dayanımından %72 oranında daha az çıkacağı öngörülmektedir [12,18]. Numunelerden elde edilen ağırlıklı ortalama basınç dayanımı 24,87 MPa olarak bulunduğu göre, bir yapıdaki “gerçek” beton

basınç dayanımı $0,72 \times 24,87 = 17,87$ MPa olacaktır. Bu değer \bar{f}_c değeri olarak kullanılacaktır. Nominal basınç dayanımı, f_c ise Tablo 1’de gösterilen beton sınıflarına göre elde edilen veri sayısına göre ağırlıklı ortalaması alınır, 21,55 değeri $((14 \times 137 + 16 \times 755 + 18 \times 739 + 20 \times 5817 + 25 \times 2767 + 30 \times 870) / 11085)$ bulunacaktır. TS 500-2000’de (Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) [19] yerinde dökülen betonlar için $\gamma_{mc} = 1,5$ alınacağı fakat betonda nitelik denetiminin gerektiği gibi yapılamadığı durumlarda, bu katsayı tasarımcının kararı ile 1,7 alınacağı ifade edilmektedir. Bu çalışmada beton için malzeme katsayısı $\gamma_{mc} = 1,5$ olarak alınmış olup, nominal beton basınç dayanımı $\frac{21,55}{1,5} = 14,37$ olarak elde edilir. Bu değer burada “nominal” değer olarak ifade edilecek;

istatistiksel veri analizi sonucunda bulunan, ise “gerçek” ortalama değer olarak tanımlanacaktır. Bu çalışmada, basınç dayanımının ortalama değerinin nominal olarak

tanımlanan değere oranı $\frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{17,87}{14,37} \cong 1,25$ olarak kullanılacaktır.

4.2. Donatının Akma Gerilmesi

Bu çalışmada kullanılan veriler, çekme deneyi yapmak için demir çelik fabrikalarında kontrol amacıyla alınan ya da üniversite laboratuvarlarına getirilen numunelerden elde edilmiştir. Çekme deneyi yapıldıktan sonra tutulan raporlar, bu çalışmanın veri tabanını oluşturmuş, ortalama akma dayanımı ve değişkenlik katsayıları gibi istatistiksel parametreler bu veri tabanının analizi sonucunda elde edilmiştir. Çolakoğlu, Egeçelik, Ekiciler, Habaş, İçtaş, Kroman ve Yeşilyurt demir çelik fabrikaları malzeme laboratuvarlarında çekme deneyine tabi tutulan toplam 19709 adet S420a donatı çeliği numunesi donatı çaplarına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Çapları 8 mm ile 26 mm arasında değişen donatı çeliğinin akma dayanımına ait istatistiksel parametreler Tablo 2’de özetlenmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi ve Selçuk Üniversitesi malzeme laboratuvarlarında çekme deneyine tabi tutulan toplam 5693 adet S420a donatı çeliği numunesi akma dayanımına ait istatistiksel parametreler donatı çaplarına göre ayrı ayrı olmak üzere Tablo 3’de özetlenmiştir. Bu laboratuvarlara getirilen numunelerin üretildiği fabrikalar belli değildir.

Tablo 2. Değişik demir çelik fabrikalarında üretilen S420a beton çelik çubuklarının akma dayanımına ait istatistiksel parametreler

Demir Çelik Fabrikası	Fabrika I	Fabrika II	Fabrika III	Fabrika VI	Fabrika V	Fabrika VI	Fabrika VII	Genel
Numune Sayısı	1073	1673	3024	2390	9619	1400	530	19709
Akma Dayanımı (MPa)	489,71	460,71	464,4	480,94	530,01	516,79	473,63	503,46
Standart Sapma	25,46	16,12	16,72	22,60	18,02	--	22,73	19,13
Değişkenlik Katsayısı	0,052	0,035	0,036	0,047	0,034	--	0,048	0,038

Tablo 3. Üniversite laboratuvarlarında çekme deneyine tabi tutulan S420a beton çelik çubuklarının akma dayanımına ait istatistiksel parametreler

Çubuk Çapı (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	Bütün Çaplar
Numune Sayısı	644	817	945	750	859	438	739	452	5693
Akma Dayanımı (MPa)	477,36	500,02	504,52	481,90	493,26	492,28	516,27	505,81	497,96
Standart Sapma	67,79	71,50	64,07	56,86	73,99	67,44	61,44	49,57	66,73
Değişkenlik Katsayısı	0,142	0,143	0,127	0,118	0,150	0,137	0,119	0,098	0,134

Demir çelik fabrikalarının kendi üretim raporları ile üniversite laboratuvarlarının çekme deneyine tabi tutulan numune deney raporlarının birlikte değerlendirilmesi sonucu ortalama akma dayanımı 502,23 MPa olarak hesaplanmıştır. Üniversite laboratuvarlarına getirilen numunelerin hangi fabrikada üretildiği belirli olmadığından çok fazla sayıda farklı fabrika kriterini hep birden yansıtmaktadır. Bu nedenle, değişkenlik katsayısı en yalın haliyle sadece demir çelik fabrikaları üretim raporlarına dayalı olarak 0,038 olarak kullanılacaktır.

Donatı çeliklerinin akma dayanımında bulunabilen temel belirsizlik kaynakları: kesit alanındaki değişkenlikler, farklı fabrikalardan alınmış donatı çeliklerinin bir yapıda birlikte kullanılmasından kaynaklı değişkenlikler, aynı fabrikadan alınan fakat farklı zamanlarda üretilmiş donatı çeliklerinin bir yapıda birlikte kullanılmasından kaynaklı değişkenlikler, deney yapılırken akma anında meydana gelen şekil değiştirmenin etkisi, donatı çeliğinin kendi dayanımında görülen değişkenlikler, çekme deneyi yapılırken yükleme hızının etkisi, çubuk çaplarının etkisi olarak dikkate alınabilir. Yukarıda bahsedilen farklılıklar ve değişkenlikler donatı çeliği akma dayanımındaki tahmini belirsizlik (prediction uncertainty) kaynakları olarak tanımlanır. Yapılan çalışmalarda, yukarıda ifade edilen belirsizlik kaynakları göz önüne alındığında bir yapıda hâlihazırda bulunan donatı çeliği ortalama akma dayanımı (gerçek), numunelerin çekme dayanımı testine tabi tutulduktan sonra elde edilen ortalama akma dayanımından % 90 oranında daha az çıkmakta ve tahmini belirsizlik ise 0,08 olarak hesaplanmaktadır [12,18]. Bu nedenle, ortalama çelik akma dayanımı $0,9 \times 502,33 = 452,10$ MPa olarak bulunmuştur. Nominal akma dayanımı ise TS 500-2000'de verildiği gibi 365 MPa'dır (420/1,15). Sonuç olarak akma dayanımının ortalama değerinin nominal değere oranı $1,24$ ($\bar{f}_y / f'_f = 452,10/365$) olarak alınacaktır.

Benzer bir çalışmada Kömürcü ve Yüçemen [14] toplam belirsizliği Türkiye'deki tasarım ve uygulama kriterlerine göre 0,14 olarak sayısalılaştırmıştır. Real, vd. [15] kendi çalışmalarında 0,05 ve 0,10 değerlerini dikkate almıştır. Çelik ve Elingwood[16] ise akma dayanımındaki toplam belirsizlik için 0,11 değerini kullanmışlardır. Schlune, vd. [17] donatı çeliği akma dayanımındaki toplam belirsizlik için 0,054 değerini almıştır. Bu çalışmada ise yapılan belirsizlik analizi sonrasında donatı çeliği akma dayanımındaki toplam belirsizlik Denklem 4 kullanılarak $\Omega_{r,y} = \sqrt{(0,038^2 + 0,08^2)} \cong 0,09$ alınacaktır.

4.3. Boyutlar

Yapı elemanlarının boyutlarındaki değişkenlikler, yapı elemanının ağırlığını, dayanımını ve şekil değiştirmesini etkilemektedir. Bu değişkenlikler beton döküm ve sıkıştırma faaliyetleri, işçilik hataları, imalat teknikleri, kullanılan kalıpların özelliklerine bağlıdır. Betonarme kirişlerin boyutlarındaki değişkenliklerin belirlenmesi için toplam 6043 adet ölçüm yapılmıştır. Değişik bölgelerdeki tasarım ve uygulama kriterlerindeki farklılıkları mümkün olduğu kadar gidermek için ölçümler, İstanbul, Ankara, Konya, Adana, Malatya ve Ordu illerinde yapılmıştır. Ölçümler sonucu bulunan ortalama değerlerin nominal değerine oranı, kiriş genişliği, b_w , için 0,998 kiriş yüksekliği, h için 0,996, kiriş etkili yüksekliği için 1,00 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, aleatorik belirsizlik kiriş genişliği için %4,5, kiriş yüksekliği için %2,5 ve kiriş etkili yüksekliği için %2,4 olarak bulunmuştur. Tahmini değişkenlikler (epistemik belirsizlik) kiriş genişlik ve yüksekliği için %3, kiriş etkili yüksekliği için %7 alınabilir[18]. Toplam belirsizlik Denklem 4 kullanılarak kiriş genişliği için % 5,4, kiriş yüksekliği için % 4, kiriş etkili yüksekliği için % 7,4 olarak öngörülmüştür.

4.4. Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımı

Betonarme yapı elemanları, genellikle eğilme ve eksenel gerilmelerle birlikte kesme gerilmesine de maruz kalmaktadır. Kesme gerilmelerine karşı koyacak şekilde tasarlanmamış yapı elemanları gevrek olarak kırılmaktadır. Bu nedenle yapı elemanları tasarlanırken, kritik göçme modunun, kesme kırılması olması istenmemekte; elemanın nihai taşıma gücüne eğilme gerilmeleri sonucunda ulaşması istenmektedir. TS 500-2000’de bir yapı elemanının kesme dayanımı, V_r , kesme donatısının ve betonun kesme etkisine karşı gösterecekleri dayanımların toplanması ile elde edilmektedir ($V_r = V_c + V_w$). Betonun kesmeye karşı dayanımı, V_c , kesme donatısının dayanımı, V_w sırasıyla aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir:

$$V_c = 0,80(0,65f_{ctd}b_w d\Psi) \quad (7)$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \quad (8)$$

Burada; f_{ctd} : beton tasarım eksenel çekme dayanımı, f_{ywd} : enine donatı tasarım akma dayanımı, A_{sw} : kesme donatısı toplam kesit alanı, s : etriye aralığıdır. Ψ kirişin eksenel çekme yada eksenel basınç kuvvetlerine maruz kalıp kalmamasına göre Denklem 9’dan hesaplanabilir. Denklemden, eksenel basınç durumunda $\gamma=0,07$, eksenel çekme durumunda ise $\tilde{a} = -0,3$ alınacaktır. Gövde beton kesit alanı temel alınarak hesaplanan eksenel çekme gerilmesi, 0,5MPa’dan küçükse, $\gamma = 0$ alınabilir.

$$\Psi = 1 + \gamma \frac{N_d}{A_c} \quad (9)$$

Betonarme yapı elemanlarındaki kesme dayanımının belirli bir doğruluk derecesinde öngörülebilmesi, kesme dayanımını etkileyen belirsizlik kaynaklarının çok fazla olması nedeniyle oldukça zordur [20]. İstatistiksel olarak hesaplanan ve gerçek değer olarak nitelendirilebilecek ortalama kesme dayanımının nominal kesme dayanımına oranını ve kirişin kesme dayanımındaki belirsizliğin hesaplanması için GBMİM yaklaşımına uygun olarak Mathcad 12’de bir bilgisayar programı yazılmıştır. Değişik kesme donatısı alanları ve kiriş boyutları kullanılarak değişik tasarım durumları bu çalışmada dikkate alınmıştır. İstatistiksel olarak hesaplanan ortalama kesme dayanımının nominal kesme dayanımına oranı, \bar{V}_r/V_r' , temel değişkenlerin (basic variables) istatistiksel ortalama ve nominal değerlerinin Denklem 10’da yerlerine konulması ile elde edilmiş olup Tablo 4’de verilmiştir.

$$\frac{\bar{V}_r}{V_r'} = \frac{\frac{\bar{A}_{sw}}{\bar{S}} \bar{f}_{ywd} \bar{d} + 0,52 \bar{f}_{ctd} \bar{b}_w \bar{d} \bar{\Psi}}{\frac{A'_{sw}}{s'} f'_{ywd} d' + 0,52 f'_{ctd} b'_w d' \Psi'} \quad (10)$$

Ellingwood, vd. [21] kirişler için \bar{V}_r/V_r' değerini 1,09 olarak almışlardır. Nowak ve Szerszen [22] kendi çalışmalarında bu değeri 1,23 olarak almışlardır. Somo ve Hong [23] deneysel olarak bulunan gerçek kesme dayanımının, hesaplanan kesme dayanımına oranını modelleme hatası olarak tanımlayarak, değişik kaynaklardaki modellemeler göz önünde bulundurulduğunda, modelleme hatasının ortalama değerini 1,239 olarak elde etmişlerdir. Tablo 4’de görüldüğü üzere dikkate alınan bütün durumlar için \bar{V}_r/V_r' değeri 1,242 ile 1,245 aralığında değişmiş olup ortalaması 1,24 olarak alınabilir.

Beton basınç dayanımı, donatı akma dayanımı, etriye genişliği, kiriş boyutları gibi temel değişkenlerdeki toplam belirsizliklerin dikkate alınması sonucu kiriş kesme dayanımındaki standart sapma, σ_{V_r} , Denklem 11 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\sigma_{V_r} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial V_r}{\partial A_s} \right)^2 \sigma_{A_s}^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial s} \right)^2 \sigma_s^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial f_{yw}} \right)^2 \sigma_{f_{yw}}^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial d} \right)^2 \sigma_d^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial f_{ct}} \right)^2 \sigma_{f_{ct}}^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial b_w} \right)^2 \sigma_{b_w}^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial \Psi} \right)^2 \sigma_{\Psi}^2 \right]} \quad (11)$$

Her bir tasarım durumu için Denklem 11’den hesaplanan standart sapma, Denklem 10’dan hesaplanan ortalama değere bölüldüğünde kesme dayanımındaki belirsizlik değişkenlik katsayısı cinsinden ifade edilebilir. Tablo 4’de görüldüğü üzere kesme dayanımındaki belirsizlikle ilgili değişkenlik katsayısı 0,116 ile 0,157 aralığında değişmiş, ortalaması ise 0,14 olarak bulunmuştur.

Diğer taraftan yapısal analiz için öngörülen modellemelerden dolayı bir kirişin “gerçek” kesme dayanımı, standart ve yönetmeliklerde verilen nominal değerlere ve kabullere dayalı

olarak hesaplanan nominal kesme dayanımından farklı olacaktır. Bu etkiyi hesaba katmak için Ellingwood, vd. [21] ve Nowak ve Szerszen [22] kendi çalışmalarında tahmini belirsizlik olarak sırasıyla 0,115 ve 0,10 değerlerini kullanmışlardır. Bu çalışmada da kesme dayanımındaki tahmini belirsizlik 0,10 olarak alınacaktır. Sonuç olarak kesme dayanımındaki toplam belirsizlik, modellemeden kaynaklı tahmini belirsizlik ile Tablo 4’de verilen bu çalışmada hesaplanmış değişkenlik katsayılarının ortalamasının Denklem 4 kullanılarak birleştirilmesi sonucunda $\Omega_v = \sqrt{(0,14^2 + 0,10^2)} = 0,17$ olarak bulunmuştur. Olasılık dağılım modeli olarak normal dağılım benimsenmiştir [14,18].

Tablo 4. İstatistiksel olarak hesaplanan kesme dayanımının tasarım kesme dayanımına oranları ve kiriş kesme dayanımındaki değişkenlik katsayısı değerleri

b_w (mm)	h (mm)	d (mm)	A_{sw} (mm ²)	s (mm)	$\frac{\bar{V}_r}{V'_r}$	Ω_v
200	400	370	50	180	1,244	0,132
			78,5	180	1,243	0,122
			100	280	1,243	0,126
250	500	460	50	145	1,244	0,132
			100	145	1,243	0,119
			100	230	1,244	0,127
250	700	660	100	330	1,244	0,136
			100	400	1,244	0,138
			200	200	1,242	0,116
300	600	570	50	280	1,245	0,157
			78,5	280	1,245	0,144
			100	280	1,244	0,136
300	500	470	78,5	220	1,244	0,137
			100	280	1,244	0,136
			200	400	1,244	0,147
350	700	660	100	330	1,245	0,146
			78,5	320	1,246	0,157
			200	320	1,243	0,125
400	1000	960	78,5	200	1,245	0,142
			100	250	1,245	0,142
			200	350	1,243	0,132
800	300	270	78,5	100	1,245	0,142
			100	150	1,245	0,147
			200	200	1,244	0,135
Ortalama Değer					1,244	0,136

5. YÜK MODELİ

Bir yapı üzerine değişik türde yükler etkimektedir. Bu yükler birincil ve ikincil yükler olarak iki ana başlıkta toplanırsa, birincil yük olarak sabit yük, hareketli yük, deprem yükü, rüzgâr yükü ve kar yükü ifade edilebilir. İkincil yük durumları ise sıcaklık değişimleri, yapı elemanlarında tasarımda dikkate alınmayan eksantrik durumlara, yapı malzemelerinin rötresi, temel oturması olarak örneklenebilir. Bu çalışmada sabit ve hareketli yükün birlikte oluşturduğu durum diğer yükler için de örnek olacak şekilde dikkate alınmış ve bu iki yük için yük ve dayanım katsayıları hesaplanmıştır. Diğer yük türleri için gerekli istatistiksel analizler yapıldıktan sonra burada kullanılan yöntem ve modelleme ile yük ve dayanım katsayıları hesaplanabilir. Özellikle deprem, rüzgâr ve kar yükleri gibi bölgesel ve çevresel yükler için kapsamlı bir şekilde yerel verilerin toplanarak, ayrıntılı ve tutarlı istatistiksel analizlerin yapılması gerekmektedir.

5.1. Sabit Yük

Kiriş, kolon, döşeme, perde duvar gibi yapı elemanlarının ağırlıkları ile çatı örtüleri, binadaki her türlü kaplama ve örtü malzemelerinin ağırlıkları sabit yükü oluşturmaktadır. Diğer yüklerle oranla sabit yüklerdeki belirsizlik miktarı oldukça küçüktür. Bununla birlikte, yapı elemanlarının boyutlarındaki hata ve değişkenliklerden, kullanılan malzemelerin gerçek ve öngörülen ağırlıkları arasındaki farklılıklardan ve döşemelerden kırılganlığa gelen yüklerin oranlanmasında kullanılan modellemeden kaynaklanan belirsizlikler oluşacaktır.

Tablo 5’de sabit yük ile ilgili yapılan saha araştırmaları sonucu istatistiksel olarak bulunan “gerçek” ortalama sabit yükün, standart ve yönetmeliklerde öngörülen nominal değere oranı ve bu yükteki toplam belirsizlik değerleri özetlenmiştir. Bu tablodan görüldüğü üzere ortalama sabit yükün nominal değerine oranı, \bar{D}/D' , 1,00 ile 1,05 oranında, bu yükteki toplam belirsizlik ise 0,05 ile 0,10 arasında değişmektedir. Birçok araştırmacı sabit yükün olasılık dağılımının normal olduğunu ifade etmiştir.

Tablo 5. Değişik çalışmalarda verilen ortalama sabit yükün nominal sabit yüke oranı ve sabit yükteki toplam belirsizlik değeri [21]

Saha Araştırmaları	\bar{D}/D'	Ω_D
Galambos ve Ravindra(1973)	1,0	0,08
Allen, 1976	1,0	0,10
Ellingwood (1978)	1,0	0,10
Lind(1976)	1,05	0,09
Lind vd.(1978)	1,0	0,05
Ellingwood vd.(1980)	1,03	0,10

Türkiye’de yapılan bir çalışmada ise Kömürcü ve Yücemem [12] sabit yük dağılımını normal olarak almıştır. Aynı zamanda bu çalışmada ortalama değerin nominal değere oranı ve toplam değişkenlik katsayısı sırasıyla 1,05 ve 0,10 olarak verilmiştir. Sabit yükün istatistiksel parametrelerinin belirlenmesinde araştırmacılar birbirine çok yakın değerler kullanmışlardır. Bu çalışmada da diğerlerine yakın olarak ortalama değerin nominal değere oranı, \bar{D}/D' , 1,05 ve toplam değişkenlik katsayısı, Ω_D , 0,10 olarak alınacaktır.

5.2. Hareketli Yük

Hareketli yük olarak genelde, sabit yük haricindeki yapı içerisinde bulunan depolama malzemeleri, yük taşımayan hafif bölme duvarları, vinç, makine, araç, gereç, insan, mobilya ağırlıkları ifade edilmektedir. Aynı zamanda yapının ömrü boyunca nadiren karşılaştığı insanların bir araya gelmesi, bina içerisindeki bir takım nesnelerin dekorasyon ve değişim amacıyla bir araya toparlanmaları bu tip yüklemeye dahil edilmektedir. Hareketli yükler hastane, otel, alışveriş merkezleri, fabrika, ibadethane, konut ve ofis alanları gibi değişik kategorilerde farklı özellikler ortaya koyabilmektedirler. Bu kategorilerin bazılarında belirli alanlarda insan yoğunlaşması hareketli yükteki değişimin ana kaynağını oluşturmaktadır.

Hareketli yük araştırmalarının birçoğu ortalama 30 yıl önce yapılmış, bu çalışmalarda veri eksikliği ve istatistiksel analizlerdeki yetersizlikler nedeniyle bu yükün daha bilimsel olarak ortaya konması geçen bu süreye rağmen gerçekleştirilememiştir. Hareketli yükün ülkelere, ülkelerdeki geleneklere, ülke içerisinde bulunan yöre ve coğrafi bölgelere göre değişmesi doğaldır. Bununla birlikte bu değişim miktarının özellikle kar, rüzgar ve deprem yükü gibi yüklerle oranla önemsiz bir oranda olduğu bilinmektedir. Kumar [24] tarafından yapılan bir çalışmada İngiltere, ABD, Avusturya ve Hindistan’da yapılan hareketli yük istatistiksel analizlerinin genel karakteristiklerinin ve değişkenliklerinin birbirine çok benzer olduğu ifade edilmiştir.

Bir yapının ömrü boyunca karşılaşılabileceği hareketli yük durumları çok değişken bir aralıkta kendini gösterir ve bazı yükleme durumları yapıyı projelendirirken öngörülemeyebilir. Ayrıca, hareketli yük zaman ve yapı içerisindeki alanlara göre rassal bir şekilde değişebilir. Diğer taraftan yapı içerisindeki alanların büyüklüğü ile kullanım amaçları arasında bir ilişki bulunduğundan, birim başına düşen hareketli yük ile söz konusu alan arasında da bir ilişki olacağı açıktır. Hareketli yük genelde iki bileşene ayrılarak modellenmektedir. Bu bileşenlerden bir tanesi yükün zaman içerisinde herhangi bir değerini gösteren “anlık hareketli yük”, L_{apt} ’dir. Bu tür yükler zaman içerisinde farklı değerler alarak yapıyı nispeten sürekli olarak etkiledikleri kabul edilen hareketli yüklerdir. Modellemedeki ikinci hareketli yük bileşeni ise yapının ömrü boyunca karşılaşılabileceği en büyük hareketli yük durumu olan maksimum hareketli yük, L , olarak dikkate alınır. İnsanların toplanması ya da eşyaların yığılması gibi olağanüstü durumlarda ortaya çıkacak hareketli yük değerinin anlık hareketli yük değerine eklenmesi ile maksimum hareketli yük, L , değeri bulunabilir.

5.2.1. Anlık Hareketli Yük, L_{apt}

Farklı ülkelerde istatistiksel yük modelleri kullanılarak bazı hareketli yük araştırmaları yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunluğu ofis türü alanların bulunduğu binalar için yapılmış olmasına rağmen, konut, resmi binalar ve diğer tür yapılar üzerinde de hareketli yük araştırmaları yapılmıştır. Sahada yapılan ölçüm ve gözleme dayalı yük araştırmaları sonucunda elde edilen verilerin bir özeti Tablo 6'da verilmiştir. Bu çalışmalarda görülen, hareketli yük saha araştırmaları sonucunda elde edilen veriler arasındaki farklılıkların nedeni olarak, saha araştırmalarındaki ölçüm ve gözlem sayısı, değişik saha araştırmaları arasındaki yıl farklılıkları, veri toplama yöntemi, gözlem ve ölçümlerin yapıldığı anlardaki zaman farklılıkları, ilgili yapıyı kullanan insanların kültürel değerleri ve sosyo-ekonomik seviyeleri, yapıda kullanılan alet ve eşyaların türü ve kullanım süreleri sayılabilir.

Tablo 6. Farklı çalışmalarda anlık hareketli yük için derlenen saha araştırmaları sonuçları [25, 26]

Saha Araştırması	Oda Taban Alanı, A (m ²)	Ortalama Hareketli Yük (kN/m ²)	Standart Sapma (kN/m ²)	Değişkenlik Katsayısı
Mitchell ve Woodgate (1971)	2,4	0,66	0,65	0,98
	5,2	0,64	0,53	0,83
	14,0	0,62	0,43	0,69
	31,2	0,61	0,34	0,56
	58	0,59	0,30	0,51
	111,3	0,58	0,26	0,45
	192,4	0,56	0,21	0,38
Culver (1975)	A ≤ 4,7	0,83	0,82	0,99
	4,7 < A ≤ 9,3	0,63	0,60	0,95
	9,3 < A ≤ 27,9	0,44	0,31	0,70
	A > 27,9	0,42	0,43	1,02
Choi (1992)	A ≤ 5	0,50	0,66	1,32
	5 < A ≤ 10	0,62	0,64	1,03
	10 < A ≤ 20	0,55	0,47	0,85
	20 < A ≤ 40	0,45	0,53	1,18
	40 < A ≤ 80	0,43	0,45	1,05
	A > 80	0,51	0,41	0,80
Kumar (2002)	A ≤ 8	0,68	0,41	0,60
	8 < A ≤ 16	0,60	0,32	0,54
	16 < A ≤ 24	0,50	0,36	0,72
	24 < A ≤ 32	0,50	0,29	0,58
	32 < A ≤ 40	0,47	0,26	0,55
	40 < A ≤ 48	0,45	0,24	0,53
	48 < A ≤ 56	0,45	0,25	0,56
	64 < A ≤ 72	0,46	0,15	0,33
	72 < A ≤ 80	0,46	0,19	0,41
	A > 80	0,31	0,20	0,65

Tablo 6’da verilen çalışmalar dikkate alınarak, kullanılacak ortalama anlık hareketli yükün değeri $0,55 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır. Bu değer Tablo 6’da verilen dört hareketli yük saha araştırma sonuçlarının ortalamasıdır. Diğer taraftan, anlık hareketli yükteki ortalama değişkenlik katsayısı (aleotorik belirsizlik) Tablo 6’da verilen değerler göz önünde tutularak $0,78$ olarak seçilmiştir.

Hareketli yük dikkate alındığında, eşdeğer düzgün yayılı yükün yük etkisine çevrilmesi ve yapı analizlerinde ortaya konan modelleme, ana belirsizlik kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Eşdeğer düzgün yayılı yükü, yük etkisine çevirirken ortaya çıkan tahmini belirsizlik, $\Delta_C=0,05$ olarak ve modellemeden kaynaklı tahmini belirsizlik $\Delta_N=0,10$ olarak sayısallaştırılabilir [21, 27]. Bu iki ana belirsizlik kaynağından meydana gelen toplam epistemik belirsizlik Denklem 6’dan $\Delta_L = \sqrt{0,10^2 + 0,05^2} = 0,11$ olarak hesaplanır. Sonuç olarak hareketli yükteki aleotorik ve epistemik belirsizliklerin birleştirilmesi için Denklem 4 kullanıldığında, anlık hareketli yükteki toplam belirsizlik $\Omega_L = \sqrt{0,11^2 + 0,78^2} = 0,79$ olarak bulunmaktadır.

Kömürcü ve Yüçemen [14] ve Ellingwood, vd. [21] kendi çalışmalarında anlık hareketli yükteki toplam belirsizliği, $\Omega_{L,apt}$, $0,60$ olarak almışlardır. Bu çalışmada $0,60$ değeri ile yukarıda bulunan $0,79$ değerinin ortalaması olarak $\Omega_{L,apt}=0,70$ alınacaktır. Türk Standardı TS 498-97’de [28] (Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri) konut, teras oda ve koridorlar, bürolar, konutlardaki 50 m^2 ’ye kadar olan dükkanlar, hastane odaları için 2 kN/m^2 düzgün yayılı düşey hareketli yük değeri öngörülmüştür. Buradan, ortalama anlık hareketli yükün nominal anlık hareketli yüke oranı $\frac{\bar{L}_{apt}}{L'} = \frac{0,55}{2} = 0,275$ olarak hesaplanır. Anlık hareketli yük için gamma olasılık dağılımı önerilmiştir [14, 21, 24].

5.2.2. Maksimum Hareketli Yük (L)

Yapıların tasarımında kullanılan maksimum hareketli yük, L, yapının ömrü boyunca yapıya etkileyen anlık hareketli yük ile olağandışı durumlarda etkileyen olağanüstü yükün birleştirilmesinden meydana gelmektedir. Anlık hareketli yük, yapıda normal olarak günlük aktiviteler sonucunda oluşan yük olarak dikkate alınabilir. İnsanların bir araya toplanmaları ya da eşyaların yapıda bir alana yığılması ise sürekli yapıya etkileyen hareketli yüklere ek olarak sadece yapının ömrü boyunca belirli zamanlarda karşılaşılabileceği ilave hareketli yük olarak ortaya çıkar. Bu tip yük durumu olağanüstü hareketli yük olarak tanımlanabilir.

Herhangi bir anda yapıya etkileyen anlık hareketli yük, saha araştırmaları sonucunda belirlenmektedir. Diğer taraftan yapıya ömrü boyunca herhangi bir zamanda etkimesi beklenen maksimum hareketli yükün, saha araştırmalarının sınırlı bir süre ile kısıtlı olması nedeniyle yalnızca saha araştırmaları ile değerinin belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Saha araştırmasına ek olarak olağanüstü yük durumları tahmin edilmelidir. Maksimum hareketli yükün olasılık dağılımı olarak Kömürcü ve Yüçemen [14], Ellingwood, vd. [21] ve Kumar [25] kendi çalışmalarında Tip I ekstrem değer dağılımını kullanmışlardır. Bu çalışmada da Tip I ekstrem değer dağılımı benimsenmiştir. Ofis tipi alanların bulunduğu binalar için maksimum hareketli yük ile ilgili bazı çalışmaların sonuçları Tablo 7’de

verilmiştir. Her ne kadar bu sonuçlar ofis binaları için elde edilmişlerse de, çok katlı konut ve resmi kurum binaları da benzer özellikleri göstermektedir [21].

Tablo 7. Farklı çalışmalarda verilen ortalama maksimum hareketli yükün nominal hareketli yüke oranları ve maksimum hareketli yükün değişkenlik katsayısı [21]

Yapılan Çalışmalar	Alan							
	18,58 m ²		92,9 m ²		464,5 m ²		929 m ²	
	$\bar{L}/L' \delta_L$		$\bar{L}/L' \delta_L$		$\bar{L}/L' \delta_L$		$\bar{L}/L' \delta_L$	
McGuire ve Cornell (1973)	1,38	0,14	-	0,13	-	0,15	-	0,15
Ellingwood ve Culver (1977)	1,11	0,19	-	0,16	-	0,16	-	0,16
Chalk ve Corotis (1979)	1,18	0,18	-	0,13	-	0,10	-	0,09
Sentler (1975)	-	0,26	-	0,18	-	0,14	-	0,12

Aleotrik belirsizlik, δ_L , Tablo 7'de verilen değerlerin ortalaması olarak 0,17 alınacaktır, Ellingwood, vd. [21] ve Kömürçü [27] tarafından yapılan çalışmalarda, eşdeğer düzgün yayılı yükü, yük etkisine çevirirken ortaya çıkan tahmini belirsizlik $\Delta_C=0,05$ ve modellemeden kaynaklı tahmini belirsizlik $\Delta_N=0,20$ olarak öngörülmüştür. Bu çalışmada da bu değerler aynen alınmıştır. Bu iki ana belirsizlik kaynağından meydana gelen toplam epistemik belirsizlik Denklem 6'dan $\Delta_L = \sqrt{0,05^2 + 0,20^2} = 0,21$ olarak hesaplanır. Maksimum hareketli yükteki aleotrik ve epistemik belirsizliklerin birleştirilmesi için Denklem 4 kullanıldığında, toplam belirsizlik $\Omega_L = \sqrt{0,21^2 + 0,17^2} = 0,27$ olarak bulunmaktadır.

Kömürçü ve Yüçemen [14] ve Nowak ve Szerszen [29] ortalama maksimum hareketli yükün nominal hareketli yüke oranını, \bar{L}/L' , 1,00 olarak önermişlerdir. Bu çalışmada da bu oran 1,00 olarak hesaplarda kullanılacaktır.

6. MEVCUT UYGULAMADAKİ RİSK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada en genel hali ile bir yapı elemanının güvenilir olma hali aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\text{Dayanım katsayıları ile çarpılmış dayanım değeri} > \text{Yük katsayıları ile çarpılmış yük etkileri}$$

Yukarıdaki limit durum denkleminde dayanım katsayıları genellikle 1,0'dan küçük, yük katsayıları ise 1,0'dan büyüktür. Yük ve dayanım katsayıları hesaplanırken ilk önce geçerli olan standart ve yönetmeliklere dayalı mevcut tasarım uygulamalarındaki risk düzeyi belirlenir. Bu risk düzeyi kabul edilebilir bir değerde ise yük ve dayanım katsayıları var olan bu risk düzeyine göre hesaplanır. GBMİM yöntemine göre risk düzeyleri belirlenirken, güvenlik parametresi olarak güvenilirlik indeksi, β , kullanılmaktadır. Güvenilirlik indeksi, β , yük ve dayanım katsayılarının tespitinde kullanılacak hedef güvenilirlik, β_T , belirlenirken çok önemli bir referans kaynağıdır. Mevcut durumu ifade eden β değerleri, kullanılan standart ve yönetmeliklerdeki eksiklikleri de ihtiva ettiğinden β_T değerlerinin belirlenmesi konusunda kesin kanaate ulaşmada, tek parametre olarak dikkate alınmamalıdır. Mevcut uygulamada kirişlerdeki kesme dayanımının belirlenmesinde TS 500-2000 göz önünde tutulmuş, kirişlere etkiyen yükler ise TS 498-97'den alınmıştır.

Türkiye koşulları dikkate alındığında hareketli yükün sabit yüke oranının göreceli frekans dağılımı değerleri Tablo 8'de verilmiştir [18]. Güvenilirlik indeksi, β , değeri bu tabloda belirtilen her bir durum için ayrı ayrı hesaplanabilir. Elde edilecek bu β değerlerinin göreceli frekans dağılımından hesaplanacak ağırlıklı ortalama değeri, güvenilirlik indeksi, β 'nın beklenen değeri, $\bar{\beta}$ 'yi verecektir.

Tablo 8. Hareketli yük için göreceli frekans dağılımı [18]

Hareketli Yükün Sabit Yüke Oranı, L'/D'	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00
Hareketli Yük İçin Göreceli Frekans Değerleri	0,10	0,45	0,35	0,10	0,00

Sabit ve hareketli yük için TS 500-2000'de önerilen yük birleşim denklemi aşağıda verilmiştir:

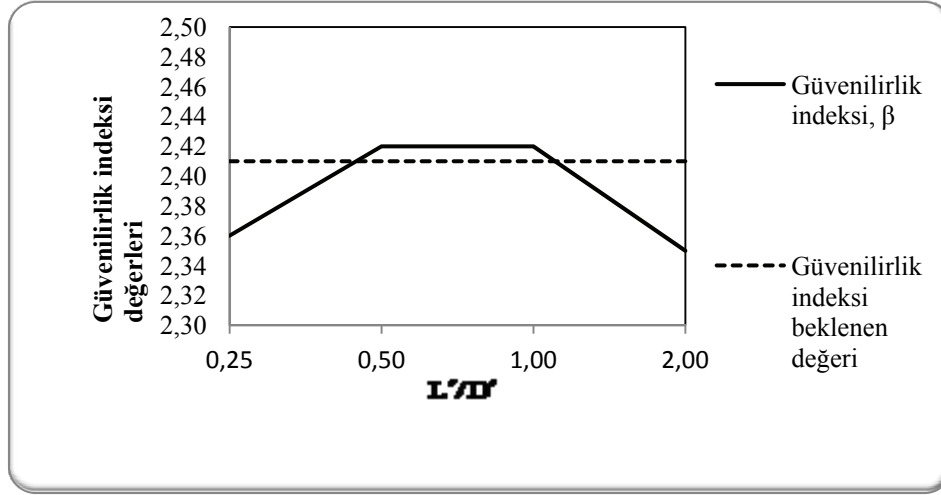
$$F_d = 1,4G + 1,6Q \quad (12)$$

Burada F_d : tasarım yük etkisini, G : sabit yükü ve Q : hareketli yükü simgelemektedir.

TS 500-2000'de önerilen yük birleşim biçimine ve TS 498-97'de verilen yük etkilerine dayalı olarak, sabit ve hareketli yük etkisindeki betonarme kirişlerin kesme dayanımı için güvenilirlik indeksi, β , hesaplanarak Tablo 9'da verilmiştir. Bu tabloda dört tasarım durumu için belirlenen tasarım değişkenlerinin değerleri dikkate alınarak β değerleri bulunmuştur. R'/D' değeri TS 500'de önerilen yük birleşim güvenilirlik kriterine ($R = 1,4D + 1,6L$) göre elde edilmiş, L'/D' yük oranı için göreceli frekans dağılımı değerleri Tablo 8'den alınmıştır.

Tablo 9. Sabit ve hareketli yük birleşimi için betonarme kiriş kesme dayanımı tasarım durumları ve bu durumlar için hesaplanan güvenilirlik indeksleri

	$\frac{R'}{D'}$	$\frac{D'}{D'}$	$\frac{L'}{D'}$	β	Güvenilirlik İndeksinin Beklenen Değeri, $\bar{\beta}$
Tasarım Durumu	1,8	1	0,25	2,36	2,41
	2,2	1	0,50	2,42	
	3,0	1	1,00	2,42	
	4,6	1	2,00	2,35	



Şekil 1. D+L yük bileşimi için güvenilirlik indeksinin değişimi

Sabit ve hareketli yük birleşimi için Tablo 9'da görüldüğü üzere güvenilirlik indeksi, β , tasarım durumlarına (L'/D' oranlarına) bağlı olarak 2,35 ile 2,42 gibi dar bir aralıkta değişmektedir ve beklenen değeri, $\bar{\beta}$, 2,41'dir. Şekil 1'de güvenilirlik indeksinin beklenen değeri ve tasarım durumlarına göre güvenilirlik indeksinin beklenen değerin etrafındaki değişimi gösterilmiştir. Bu değerler, TS 498-97 ve TS 500-2000 standartlarında önerilen yük etkisi ve yük birleşim biçimi dikkate alındığında, mevcut olan tasarım ve uygulama kriterlerine göre betonarme kirişlerin risk düzeyini yansıtmaktadır. Önerilecek yeni yük ve dayanım katsayılarının belirlenmesinde belirli bir risk düzeyinin hedef alınması gerekmektedir. Ellingwood, vd. [21] kendi çalışmalarında betonarme kirişlerin kesme dayanımını için mevcut risk düzeyini gösteren güvenilirlik indeksinin beklenen değerinin, $\bar{\beta}$, 1,99-2,45 ile arasında değiştiğini ifade etmişler, kabul edilebilir bir risk düzeyi için

hedef güvenilirlik indeksi, β_T , değerini 3,0 olarak önermişlerdir. Benzer bir çalışmada, Nowak ve Szerszen [29] mevcut durumun risk düzeyini ifade eden $\bar{\beta}$ değerini 3,83 olarak hesaplamışlar, ama bu değer çok emniyetli tarafta kaldığı düşüncesi ile betonarme kirişlerin kesme dayanımı için hedef güvenilirlik indeksi, β_T , değerini 3,5 olarak önermişlerdir. Bu çalışmada ise $\bar{\beta}$, 2,41 ($P_f \approx 7,98 \times 10^{-3}$) olarak hesaplanmış, ancak bu değer literatürde kullanılan diğer hedef güvenilirlik değerlerinden küçük olmasından ötürü, önerilecek yeni yük ve dayanım katsayılarının belirlenmesinde β_T değerinin 3,0 ($P_f \approx 1,35 \times 10^{-3}$) alınması uygun görülmüştür.

7. YÜK VE DAYANIM KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

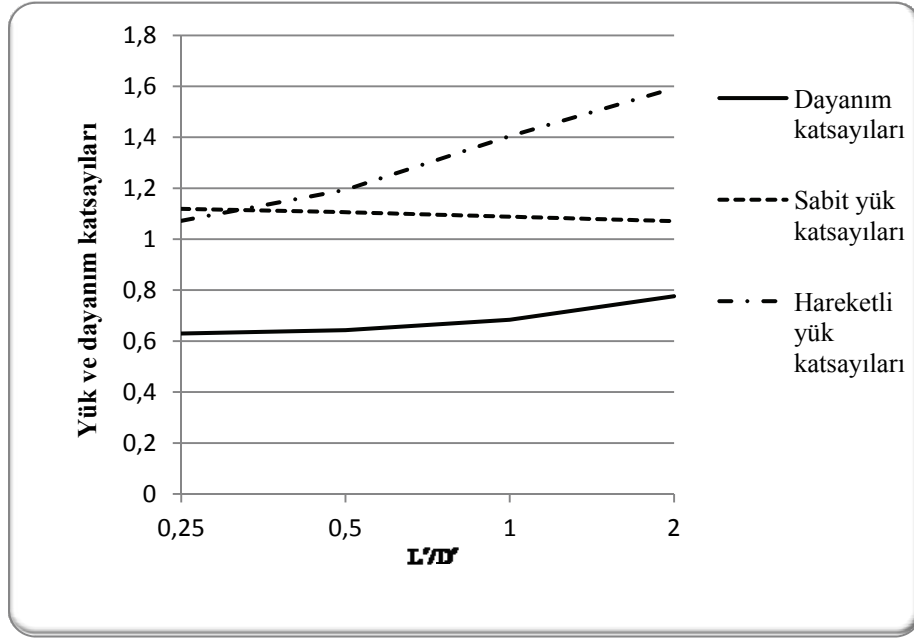
Beton basınç dayanımı, donatı çeliği akma dayanımı ve yapı elemanının modellemesinde kullanılacak boyutlar gibi başlıca temel değişkenlerin istatistiksel yöntemlerle hesaplanan ve “gerçek” olarak nitelendirilebilecek ortalama değerlerinin, nominal olarak ifade edilen ve mevcut standart ve yönetmeliklerden elde edilen değerlerine oranları ve bu temel değişkenlerindeki belirsizlikler sayısallaştırılabilir. Sayısallaştırılan bu değerler kullanılarak dikkate alınan göçme durumlarındaki yapı elemanının istatistiksel olarak hesaplanan ortalama değerinin nominal değerine oranı ve bu göçme durumundaki toplam belirsizlik bulunabilir. Ayrıca, dikkate alınan yük birleşimindeki yük parametrelerinin ortalama değerlerinin nominal değerlerine oranları ve bu yük parametrelerindeki belirsizlikler de hesaplanabilir.

Yukarıda ifade edilen ortalama değerlerin nominal değerlere oranları ve belirsizlikleri yansıtan değişkenlik katsayıları kullanılarak, ilk önce geçerli olan standart ve yönetmeliklere göre şu andaki tasarım uygulamalarındaki risk düzeyi belirlenir. Bu çalışmada mevcut durumun risk düzeyini ifade eden güvenilirlik indeksi, $\bar{\beta}$, 2,41 olarak hesaplanmıştır. Ancak bu değer daha önceki bölümde izah edilen nedenlerle artırılarak, hedef güvenilirlik indeksi, β_T , değeri 3,0 olarak alınmış ve kesme göçme durumuna göre betonarme kirişler için yeni yük ve dayanım katsayıları GBMİM metoduna göre hesaplanarak Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10. Betonarme kirişlerin kesme dayanımı için hesaplanan yük ve dayanım katsayıları

Hareketli Yükün Sabit Yüğe Oranı, L'/D'	Hareketli Yük İçin Göreceli Frekans Değerleri	Dayanım Katsayıları, ϕ	Sabit Yük Katsayıları, γ_1	Hareketli Yük Katsayıları, γ_2
0,25	0,10	0,63	1,119	1,072
0,50	0,45	0,643	1,106	1,194
1,00	0,35	0,684	1,088	1,404
2,00	0,10	0,776	1,071	1,593

Sabit ve hareketli yük birleşimi için Tablo 10'da görüldüğü üzere dayanım katsayısı, ϕ , L'/D' oranlarına bağlı olarak 0,63 ile 0,776 aralığında değişmektedir. Sabit yük katsayısı değerleri 1,071 ile 1,119 aralığında; hareketli yük katsayısı değerleri 1,072 ile 1,593 aralığında bir değişim göstermektedir. Yük ve dayanım katsayılarının değişimleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Göreceli frekans değerlerine göre yük ve dayanım katsayılarının değişimi

Şekil 2'de görüldüğü üzere hareketli yükün sabit yüke oranı büyüdükçe, hareketli yük katsayısı da büyümektedir. Buna karşın, sabit yük katsayısı 1,1 değerinden pek fazla bir sapma göstermemiş olmasına rağmen bu çalışmada 1,2 olarak alınacaktır. Hareketli yük için standart ve yönetmeliklerde olduğu gibi tek bir yük katsayısının kullanılması durumunda, hedeflenen güvenilirlik indeksi, β_T , değerinden sapmalar ortaya çıkacaktır. Bu durum β_T değerinden sapmaları mümkün olabildiği kadar aza indirgeyecek bir optimizasyon probleminin çözümünü gerektirmektedir. Sonuç olarak, bu şekilde elde edilen yeni yük ve dayanım katsayıları, optimal yük ve dayanım katsayıları olarak tanımlanarak Denklem 13'te verilmiştir.

$$0,80R=1,20D+1,70L \quad (13)$$

Daha önce ifade edildiği gibi her bir tasarım değişkeni için ortalama değer, nominal değere oranları ve belirsizlikler kullanılarak mevcut tasarım ve uygulama kriterleri dikkate alınarak geçerli olan risk düzeyini belirlemek mümkündür. Bu çalışmada mevcut durumun

risk düzeyini ifade eden güvenilirlik indeksinin, 2,36 ile 2,42 arasında değiştiği ve ortalamasının da $\bar{\beta} = 2,41$ olduğu saptanmıştır. Hedef güvenilirlik indeksi, β_T değeri 3,0 olarak alınarak, betonarme kirişlerin kesme dayanımı için yeni yük ve dayanım katsayıları hesaplanmış ve küçük değişikliklerle Denklem 13’de önerilmiştir. Önerilen bu katsayılara göre hesaplanan risk düzeyinin, $\beta = 3,0$ ’a yakın olması istenmektedir. Denklem 13’de önerilen yeni yük ve dayanım katsayıları dikkate alınarak hesaplanmış güvenilirlik indeksi, β , değerleri 2,83 ile 3,06 değerleri arasında değişmekte ortalaması da 3,0 olmaktadır. Bu güvenilirlik indeksi değeri, yeni yük ve dayanım katsayılarının istenilen risk düzeyini sağladığını göstermektedir.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, betonarme yapı elemanları için yeni yük ve dayanım katsayılarını belirlemeye yönelik olasılıksal bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntem, sabit ve hareketli yük kombinasyonu için kesme göçme modundaki kirişler üzerinde uygulanmıştır. İlk önce elde edilen verilere dayalı olarak kiriş kesme dayanımının modellenmesinde kullanılan temel tasarım değişkenlerine ait istatistiksel parametrelerin değerleri elde edilmiştir. Bu istatistiksel parametreler kullanılarak kesme dayanımının istatistiksel parametreleri hesaplanmıştır. Daha sonra sabit yük ve hareketli yük ayrıntılı olarak irdelenmiş, bu yüklerdeki belirsizlikler sayısallaştırılmıştır. Tüm bu değerler kullanılarak hedeflenmiş güvenilirlik düzeyine dayalı yük ve dayanım katsayıları GBMİM yöntemine göre hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir:

İstatistiksel olarak hesaplanan kesme dayanımının, tasarım kesme dayanımına oranları, ve kiriş kesme dayanımındaki belirsizlik değerleri bu çalışma için hazırlanmış bir Mathcad 12 programı kullanılarak değişik tasarım durumları için hesaplanmıştır. Dikkate alınan bütün durumlar için ortalama \bar{V}_r / V_r' değeri 1,24 olarak, kiriş kesme dayanımındaki toplam belirsizlik, Ω_{V_r} değeri 0,17 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada ortalama sabit yük değerinin nominal değere oranı, \bar{D}/D' , 1,05 ve toplam değişkenlik katsayısı, Ω_D , 0,10 olarak öngörülmüştür. Ortalama anlık hareketli yükün nominal anlık hareketli yüke oranı 0,275 olarak hesaplanmıştır. Anlık hareketli yükteki toplam belirsizlik 0,79 olarak bulunmuştur. Ortalama maksimum hareketli yükün nominal hareketli yüke oranı 1,00 olarak alınmış; maksimum hareketli yükteki toplam belirsizlik ise 0,27 olarak hesaplanmıştır.

Mevcut uygulama ve tasarım kriterlerine göre kesme göçme modundaki bir betonarme kiriş için sabit ve hareketli yük birleşimi ($R=1,4G+1,6Q$) için güvenilirlik indeksi, β , tasarım durumlarına (L'/D' oranlarına) bağlı olarak 2,36 ile 2,42 gibi dar bir aralıkta değişmekte olup güvenilirlik indeksinin beklenen değeri, $\bar{\beta}$, 2,41 olarak hesaplanmıştır. Önerilecek yeni yük ve dayanım katsayıları için hedef güvenilirlik indeksi, β_T , değeri 3,0 olarak alınmıştır. Sonuç olarak GBMİM yöntemine göre yeni yük ve dayanım katsayıları hesaplanmış ve aşağıda ifade edilen tasarım kriteri önerilmiştir.

$$0,80R > 1,20D + 1,70L$$

Bu çalışma sonucunda elde edilen yük ve dayanım katsayılarıyla şu anda kullanılan mevcut katsayılar arasında dikkate değer oranda farklılıklar görülmektedir. Yük katsayıları değerlerinin büyüklüğü içerdikleri belirsizliklerle orantılı olduğu bilinen bir gerçek olmasına karşın diğer tüm yüklere kıyasla en az belirsizlik içeren sabit yük katsayısının halen 1,40 olarak kullanılması tasarım kriterleri açısından oldukça emniyetli tarafta kalan bir yaklaşım olmaktadır.

Burada, çok kapsamlı bir istatistiksel analize dayalı olarak elde edilen beton ve nervürlü inşaat çeliği istatistiksel parametreleri diğer betonarme yapı elemanlarının değişik göçme modlarındaki güvenilirliklerinin tayininde kullanılabilir. Bu elemanların güvenilirlik analizi yapılırken, modellemede kullanılan diğer tasarım değişkenlerinin de istatistiksel parametreleri bu çalışmada önerilen yöntem kullanılarak elde edilebilir.

Konuma bağlı olarak değişkenlik gösteren kar, rüzgâr ve deprem gibi çevresel yüklerin istatistiksel analizleri geniş bir veri kaynağına dayalı olarak yapılmalıdır. Bununla beraber, bu çalışmada önerilen sabit ve hareketli yük istatistiksel parametreleri diğer çalışmalarda da aynen kullanılabilir.

Burada benimsenen yöntem kullanılarak, betonarme, çelik ve yığma yapı elemanları için değişen tasarım ve uygulama kriterlerini içeren yeni yük ve dayanım katsayıları hesaplanabilir.

Semboller

A_c	Yapı elemanı kesit alanı
A_{sw}	Kesme donatısı toplam kesit alanı
b_w	Kiriş genişliği
D	Sabit yük etkisi
D_f	Göçme bölgesi
D_s	Güvenilir bölge
d	Kiriş yüksekliği
$f_{ck,cub}$	Betonun eşdeğer küp basınç dayanımı
$f_{ck,cyl}$	Betonun standart silindir basınç dayanımı
f_{ctd}	Betonun aksenal çekme dayanımı
f_y	Betonarme çeliğinin akma dayanımı
f_{ywd}	Enine donatı akma dayanımı
L	Hareketli yük
L_{apt}	Anlık hareketli yük
N	Rassal düzeltme katsayısı
N_d	Eksenel yük

P_f	Göçme olasılığı
P_s	Göçmeme olasılığı
R	Dayanım rassal değişkeni
s	Etriye aralığı
V_r	Kesme dayanımı
V_c	Betonun kesmeye karşı dayanımı
V_w	Kesme donatısı dayanımı
X	Temel değişken
\bar{X}	X 'in ortalama değeri
X'	X 'in nominal değeri
β	Güvenirlilik indeksi
β_T	Hedef güvenirlilik indeksi
γ	Yük faktörü
γ_{mc}	Beton hesap dayanımının belirlenmesinde kullanılan malzeme katsayısı
γ_{ms}	Donatı çeliği hesap dayanımının belirlenmesinde kullanılan malzeme katsayısı
Δ	Epistemik (tahmin) belirsizlik için değişkenlik katsayısı
δ	Aleotorik (rassal) belirsizlik için değişkenlik katsayısı
μ	Gerçek ortalama değer
σ	Standart sapma
Ω	Toplam belirsizlik için değişkenlik katsayısı
ϕ	Dayanım faktörü

Kaynaklar

- [1] Celep, Z., Erken, A., Taşkın, B., İlki, A., Failures of masonry and concrete buildings during the March 8, 2010 Kovancılar and Palu (Elazığ) earthquakes in Turkey, Engineering Failure Analysis, 18, 868–889, 2011.
- [2] Binici, H., March 12 and June 6, 2005 Bingol–Karlioiva earthquakes and the damages caused by the material quality and low workmanship in the recent earthquakes, Engineering Failure Analysis 14, 233–238, 2007.
- [3] Doğangün, A., Ural, A., Sezen, H., Güney Y., Fırat, F.K., The 2011 earthquake in Simav, Turkey and seismic damage to reinforced concrete buildings, Buildings 2013, 3, 173-190, 2013.

- [4] İnel, M., Bilgin H., Özmen, H.B., Orta yükseklikli betonarme binaların Türkiye’de yaşanan son depremlerdeki performansı, İMO Teknik Dergi, Yazı 284, 4319-4331, 2008.
- [5] Dikmen, S.Ü., Özek, S., Deprem bölgelerinde zemin sınıfının sanayi yapılarının maliyetine etkisi, İMO Teknik Dergi, Yazı 357, 5543-5558, 2011.
- [6] 2010 Yılı Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, Türkiye Hazır Beton Birliği, Nisan 2010.
- [7] Fırat, F. K., Statistical evaluation of the quality of concrete used in Turkey, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [8] Fırat, F.K., Yücemem M.S., The examination of the BC III(a) reinforcing steel bars according to earthquake codes, International Earthquake Symposium, August 17-19, Kocaeli, Turkey, 2009.
- [9] Ang, A.H.S., Tang, W.H., Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume II, John Wiley and Sons Inc., New York, 1984.
- [10] Hasofer, A., Lind, N.C., Exact and invariant second-moment code format, Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 100, No. EM. 1, 111-121, 1974
- [11] Yang, I. H., Uncertainty and sensitivity analysis of time-dependent effects in concrete structures, Engineering Structures, 29, 1366–1374, 2007.
- [12] Fırat, F. K., Yücemem M.S., Uncertainty analysis for reinforced concrete members constructed in Turkey, International Conference on Construction and Building Technology, ICCBT, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008.
- [13] Mirza, S.A., Hatzinikolas, M., Mac Gregor, J.G., Statistical description of the strength of concrete, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 105, No. ST6, 1021-1037, 1979.
- [14] Kömürçü, A.M., Yücemem, M.S., Load and resistance factors for reinforced concrete beams considering the design practice in Turkey, Concrete Technology for Developing Countries, Fourth International Conference, Eastern Mediterranean University, Gazi Magusa, North Cyprus, 1996.
- [15] Real, M.V., Filho, A.C., Sergio, R.M., Response variability in reinforced concrete structures with uncertain geometrical and material properties, Nuclear Engineering and Design, 205-220, 2003.
- [16] Celik, O.C., Ellingwood, B.R., Seismic fragilities for non-ductile reinforced concrete frames – Role of aleatoric and epistemic uncertainties Structural Safety, 32, 1–12, 2010.
- [17] Schlune, H., Plos, M., Safety formats for nonlinear analysis tested on concrete beams subjected to shear forces and bending moments, Engineering Structures, 33, 2350–2356, 2011.
- [18] Fırat, F.K., Development of Load and Resistance Factors for Reinforced Concrete Structures in Turkey, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University, Doctorate Thesis, Ankara, 2007.

- [19] TS-500; Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [20] Song, J., Kang, W.H., Kim, K.S., Jung, S., Probabilistic shear strength models for reinforced concrete beams without shear reinforcement, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 34, No. 1, 15-38, 2010.
- [21] Ellingwood, B.R., Galambos, T.V., Mac Gregor, J.G., Cornell, C.A., Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standards A58, NPS Special Publication 577, 1980.
- [22] Nowak, A.S., Szerszen, M.M., Calibration of design code for buildings (ACI 318): part 1- statistical models for resistance, *ACI Structural Journal*, May-June, 377-382, 2003.
- [23] Somo, S., Hong H.P., Gylltoft, K., “Modeling error analysis of shear predicting models for RC beams” *Structural Safety*, 28, 217–230, 2006.
- [24] Kumar, S., Live loads in office buildings: lifetime maximum load, building and environment, Vol. 37, 91-99, 2002a.
- [25] Kumar, S., Live loads in office buildings: point in time load intensity, building and environment, Vol. 37, 79-89, 2002b.
- [26] Choi, E.C.C., Live load in office buildings point-in-time load intensity of rooms. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures and Buildings*, 94, 299-306, 1992.
- [27] Kömürcü, A.M., A Probabilistic Assessment of Load and Resistance Factors for Reinforced Concrete Structures Considering the Design Practice in Turkey, M. Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, METU, Ankara, 1995.
- [28] Türk Standartları, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS 498), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
- [29] Nowak, A.S., Szerszen, M.M., Calibration of design code for buildings (ACI 318): part 2- reliability analysis and resistance factors, *ACI Structural Journal*, May-June, 383-391, 2003b.

