

# LİMAN YAPILARI VE DEMİRYOLU KÖPRÜLERİ DEPREM YÖNETMELİĞİNDE PERFORMANSA GÖRE TASARIM YAKLAŞIMI

## A PERFORMANCE – BASED DESIGN APPROACH IN SEISMIC DESIGN CODE FOR PORT STRUCTURES AND RAILWAY BRIDGES

M.Nuray AYDINOĞLU<sup>1</sup>, Ülker YETKİN<sup>2</sup>, Işıkhan GÜLER<sup>3</sup>,  
Özgün AKARSU<sup>2</sup> ve Nuri ÇELEBİ<sup>3</sup>

### ÖZET

Ulaştırma Bakanlığı'na bağlı Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları (DLH) İnşaatı Genel Müdürlüğü'nün faaliyet kapsamına giren yapı türleri için hazırlanan "Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları ve Hava Meydanı İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği" 18 Ağustos 2007'de Resmi Gazete'de yayınlanmış bulunmaktadır. Yönetmelik, bir yıllık bir deneme ve uyum süresini takiben 1 Eylül 2008'de yürürlüğe girecektir. DLH Deprem Yönetmeliği'nin, özellikle kıyı ve liman yapıları alanında tüm dünyada sayıları çok az olan deprem yönetmelikleri arasında özel bir ilgi ile karşılanacağı tahmin edilmektedir. Yönetmeliğin en önemli özelliği, kapsadığı bütün yapılar için geçerli olmak üzere, "performansa göre tasarım" yaklaşımı ile düzenlenmiş olmasıdır. Bu doğrultuda, kıyı ve liman yapıları ile demiryolu köprüleri öncelikle öngörülen deprem performansına, kullanım amacına ve sahip olduğu öneme göre sınıflandırılmış ve standart performans düzeylerinin tanımı yapılmıştır. Öte yandan tasarım depremleri, 50 yılda aşılma olasılıkları %50, %10 ve %2 olmak üzere üç ayrı düzeyde tanımlanmış, daha sonra her bir yapı sınıfı için farklı deprem düzeylerine göre öngörülen minimum performans hedefleri belirlenmiştir. Yönetmelikte tasarım yöntemleri, Dayanım Göre Tasarım (DGT) ve Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT) olmak üzere iki grupta toplanmıştır. Bu bildirinin amacı, DLH Deprem Yönetmeliği'nin önemli özelliklerinin tanıtılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Liman yapıları, demiryolu köprüleri, yönetmelik, performansa göre tasarım

### ABSTRACT

A seismic design code has been prepared and published in the Official Gazette on 18 August 2007 for application to transportation structures officially administered by General Directorate for Construction of Railways, Harbors and Airports (RHA) of Ministry of Transportation. The code will be enforced starting from 1 September 2008, following a one year trial and orientation period. In view of a very small number of seismic codes available all over the world for harbor structures, it is expected that RHA Seismic Code will receive a special attention. The most important aspect of the code rests on its main approach incorporating "performance-based design" applicable to all structures included in its scope. In this context, first port structures and railway bridges have been classified with respect to their expected seismic performance, usage and functional importance, which is followed by standard definition of performance levels. On the other hand, design earthquakes have been specified in three levels with probability of exceedance of 50%, 10% and 2% in 50 years. Minimum performance objectives are then specified for each class of structure under different earthquake levels. Two different classes of design methods have been specified in the code, namely, Strength-Based Design (SBD) and Deformation-Based Design (DBD). The aim of this paper is to describe the main aspects of the RHA Seismic Code.

Keywords: Port structures, railway bridges, seismic code, performance-based design

<sup>1</sup> Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

<sup>2</sup> Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları (DLH) İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara

<sup>3</sup> Yüksel Proje A.Ş., Ankara

## GİRİŞ

Türkiye’de 1940’lı yıllardan bu yana deprem mühendisliğindeki gelişmelere paralel olarak düzenlenerek yenilenen ve günümüzde deprem bölgelerinde yapılacak tüm bina ve bina türü yapılar için zorunlu olarak uygulanan bir deprem yönetmeliğine sahip olmamıza karşın, özellikle ulaştırma ve enerji alanlarında altyapı tesislerinin deprem etkisi altında tasarımına ilişkin *ulusal* bir yönetmeliğimizin bulunmaması, bu tür yatırımların giderek arttığı son yıllarda ciddi bir eksiklik olarak karşımıza çıkmış bulunmaktadır. Nitekim 2004 yılında toplanan Deprem Şurası, bina türü yapılar dışında kalan ve mevcut deprem yönetmeliğinin kapsamında yer almayan mühendislik yapıları için özel deprem yönetmeliklerinin hazırlanmasını öngören bir karar almıştır. Bu doğrultuda, Türkiye’nin ulaştırma altyapısından sorumlu en önemli kamu kurumlarından biri olan Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları (DLH) Genel Müdürlüğü, kendi kapsamına giren yapılara uygulanmak üzere bir deprem yönetmeliği hazırlanmasına karar vermiş ve iki yıl süren yoğun çalışmalar sonucunda tamamlanan “*Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları ve Hava Meydanı İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği*” 18 Ağustos 2007’de Resmi Gazete’de yayınlanmıştır. Yönetmeliğin, bir yıllık bir deneme ve uyum süresini takiben 1 Eylül 2008’de yürürlüğe girmesi öngörülmüştür.

DLH Deprem Yönetmeliği’nin en önemli özelliği, kapsadığı bütün yapılar için geçerli olmak üzere, “*performansa göre tasarım*” yaklaşımı ile düzenlenmiş olmasıdır. Bu yönü ile yönetmeliğin, özellikle kıyı ve liman yapıları alanında tüm dünyada sayıları çok az olan deprem yönetmelikleri arasında özel bir ilgi ile karşılanacağı tahmin edilmektedir. Bu bildiri, DLH Deprem Yönetmeliği’nin Kıyı ve Liman Yapıları ve Demiryolu Köprüleri ile ilgili bölümlerinin Türk mühendislik camiasına tanıtılması amacı ile kaleme alınmıştır.

## YÖNETMELİĞİN GENEL YAKLAŞIMI: PERFORMANSA GÖRE TASARIM

DLH Deprem Yönetmeliği Madde 1.1.2, yönetmeliğin genel tasarım yaklaşımını aşağıdaki şekilde tanımlamaktadır:

“Bu Yönetmelik, deprem etkileri altında temel ilke olarak *performansa göre tasarımı* esas alır. Bu tasarım yaklaşımında, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak tahmin edilir ve bu hasarın her bir elemanda kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. *Kabul edilebilir hasar limitleri*, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen *performans hedefleri* ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal elastik sınırlar ötesinde meydana nonlineer deformasyonlara karşı geldiğinden performans göre tasarım yaklaşımı, doğrusal olmayan (nonlineer) analiz yöntemleri ve *şekildeğiştirmeye (deformasyona) göre tasarım* kavramı ile doğrudan ilişkilidir. Yönetmelikte, hasarın sınırlı olmasının öngörüldüğü performans hedefleri için, geleneksel *dayanım göre tasarım* ilkesi çerçevesinde doğrusal (lineer) analiz yöntemlerinin kullanılmasına da izin verilmektedir.”

## YAPI SINIFLARI

Yukarıda özetlenen tasarım yaklaşımı çerçevesinde, öncelikle liman yapıları ile demiryolu köprüleri, öngörülen deprem performanslarına, kullanım amaçlarına ve sahip oldukları öneme göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmışlardır.

### Liman Yapıları

Liman yapılarının sınıflandırılması aşağıda özetlenmiştir:

#### (1) Özel Yapılar

- (a) Deprem sonrasında acil yardım ve kurtarma amacı ile hemen kullanılması gereken yapılar
- (b) Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddeler ile ilgili yapılar

*(2)Normal Yapılar*

- (a) Can ve mal kaybının önlenmesi gereken yapılar
- (b) Ekonomik veya sosyal bakımdan önemli olan yapılar
- (c) Deprem sonrasında onarım ve güçlendirmesi zor ve zaman kaybına neden olacak yapılar

*(3) Basit Yapılar*

- (a) Özel Sınıf ve Normal Sınıf'taki yapıların dışında kalan daha az önemli yapılar
- (b) Önemsiz Sınıfı'ndaki yapıların dışında kalan yapılar

*(4) Önemsiz Yapılar*

- (a) Kolaylıkla yeniden yapılabilecek yapılar,
- (b) İleri derecede hasar görmesi bile can güvenliğini tehlikeye atmayan yapılar
- (c) Geçici yapılar

**Demiryolu köprüleri**

Demiryolu köprüleri ise aşağıdaki şekilde sınıflandırılmışlardır:

*(1) Özel Köprüler*

- (a) Stratejik güzergahlar üzerinde bulunan köprüler
- (b) Deprem sonrasında hemen veya çok kısa süre içinde servis vermesi beklenen kritik köprüler

*(2) Normal Köprüler*

*Özel köprüler ve Basit Köprüler* dışında kalan tüm demiryolu köprüleri

*(3) Basit Köprüler*

- (a) *Özel Köprüler* dışında, tek açıklıklı ve açıklığı 10 m'den fazla olmayan köprüler
- (b) *Özel Köprüler* dışında, Etkin Yer İvmesi'nin 0.10g'den daha küçük olduğu yerlerde bulunan köprüler

**PERFORMANS DÜZEYLERİ**

Kıyı ve liman yapıları ile demiryolu köprülerinin performans düzeyleri, deprem etkisi altında meydana gelmesi beklenen hasarlara bağlı olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. Bu performans düzeyleri için kabul edilebilir hasar limitleri, her bir yapı tipi veya elemanı için ayrı ayrı ve sayısal olarak tanımlanmıştır.

*Minimum Hasar Performans Düzeyi (MH)*

Minimum Hasar Performans Düzeyi, ilgili yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi ile hiç hasar meydana gelmemesi veya meydana gelecek yapısal hasarın çok sınırlı olması durumunu tanımlayan performans düzeyidir. Bu durumda liman veya köprü operasyonu kesintisiz olarak devam eder veya meydana gelebilecek aksamalar birkaç gün içinde kolayca giderilebilecek düzeyde kalır.

*Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (KH)*

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi, ilgili yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında çok ağır olmayan ve onarılabilir hasarın meydana gelmesine izin verilen performans düzeyi olarak tanımlanır. Bu durumda, ilgili yapı veya elemana ilişkin limanveya köprü operasyonunda kısa süreli (birkaç hafta veya ay) aksamaların meydana gelmesi normaldir.

*İleri Hasar Performans Düzeyi (İH)*

İleri Hasar Performans Düzeyi (İH), ilgili yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında göçme öncesinde meydana gelen ileri derecedeki yaygın hasarı temsil etmektedir. Bu durumda, ilgili yapı veya elemana ilişkin liman veya köprü operasyonunda uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta operasyonun tamamen iptal edilmesi mümkündür.

*Göçme Hasarı Durumu (GH)*

Bu durumda, ilgili yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında tam göçme hasarı meydana gelir. İlgili yapı veya elemana ilişkin operasyona devam edilemez.

## DEPREM DÜZEYLERİ

Yönetmelik kapsamındaki yapıların performansa göre tasarımında esas alınacak deprem düzeyleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. Bu düzeylerdeki depremler için ivme spektrumlarını tanımlayan parametreler, Türkiye genelinde 0.02 derecelik enlem ve boylam artımları ile, Yönetmelik Ek-A'da verilmiştir. Yerel zemin etkisi ise Ek-B'ye göre belirlenecektir.

### (D1) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olan, göreceli olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D1) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.

### (D2) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D2) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır.

### (D3) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yapıların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketini ifade etmektedir. (D3) düzeyindeki bu çok seyrek depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

## ÖNGÖRÜLEN PERFORMANS HEDEFLERİ

Kullanım amacı, türü ve önemine göre performans sınıfları tanımlanan kıyı ve liman yapıları ile demiryolu köprüleri için hedeflenen performans düzeyleri, yukarıda tanımlanmış bulunan deprem düzeylerine bağlı olarak Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Kıyı ve liman yapılarında çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri

Yapının Sınıfı	(D1) Deprem Düzeyi	(D2) Deprem Düzeyi	(D3) Deprem Düzeyi
Özel	–	MH	KH
Normal	MH	KH	(İH)
Basit	KH	(İH)	–
Önemsiz	(İH)	(GH)	–

Tablo 2. Demiryolu köprülerinde çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri

Köprü Sınıfı	(D1) Deprem Düzeyi	(D2) Deprem Düzeyi	(D3) Deprem Düzeyi
Özel Köprüler	–	MH	KH
Normal Köprüler	MH	KH	(İH)
Basit Köprüler	(MH)	KH	(İH)

Not: Tablolarda parantez içinde gösterilen performans hedefinin kendiliğinden gerçekleşeceği varsayılmaktadır. Bunlar için analize gerek yoktur.

## TASARIM VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Kıyı ve liman yapılarının (bu bildiri de örnek olarak kazıklı rıhtım ve iskeleler kapsamıştır) ve demiryolu köprülerinin depreme karşı tasarımında kullanılacak yöntemler iki temel gruba ayrılmıştır.

### Dayanıma Göre Tasarım (DGT) Yöntemleri

Bu tasarım yaklaşımı, elastik deprem kuvvetleri veya elastik ötesi sünek davranış dikkate alınarak azaltılan eşdeğer kuvvetler altında yapılan doğrusal elastik analize göre, sistemlerin stabilitesinin ve yapısal elemanların dayanımlarının yeterliliklerinin sağlanması esasına dayanır.

### Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT) Yöntemleri

Bu tasarım yaklaşımında, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak belirlenir ve bu hasarın ilgili elemanlar için kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. *Kabul edilebilir hasar limitleri*, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen *hedef performans düzeyleri* ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal elastik sınırlar ötesinde meydana nonlinear şekildeğiştirmelere veya bunlarla uyumlu yerdeğiştirmelere karşı geldiğinden bu yaklaşım, “*Şekildeğiştirmeye (Yerdeğiştirmeye) Göre Tasarım*” yaklaşımı olarak adlandırılır. ŞGT Yöntemleri, modern tasarım yaklaşımı “*Performansa Göre Tasarım*”ın temel yöntemleridir.

Yapı sınıfına ve deprem düzeyine bağlı olarak kazıklı iskele ve rıhtımlar ile demiryolu köprülerinde uygulanacak yöntemler Tablo 3 ve Tablo 4’te özetlenmiştir.

Tablo 3. Kazıklı iskele ve rıhtımlar için çeşitli deprem düzeylerinde uygulanacak tasarım yöntemleri

Yapının Sınıfı	(D1) Deprem Düzeyi	(D2) Deprem Düzeyi	(D3) Deprem Düzeyi
Özel	–	DGT / ŞGT	ŞGT
Normal	DGT	ŞGT	–
Basit	DGT	–	–
Önemsiz	–	–	–

Tablo 4. Demiryolu köprüleri için çeşitli deprem düzeylerinde uygulanacak tasarım yöntemleri

Yapının Sınıfı	(D1) Deprem Düzeyi	(D2) Deprem Düzeyi	(D3) Deprem Düzeyi
Özel Köprüler	–	DGT	ŞGT
Normal Köprüler	DGT	ŞGT	–
Basit Köprüler	–	DGT	–

### DAYANIMA GÖRE TASARIM (DGT)

Dayanım’a Göre Tasarım’da, elastik ivme spektrumuna göre bulunacak elastik deprem yükleri, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik – DBYBHY (2007)’de olduğu gibi *Deprem Yükü Azaltma Katsayısı*  $R_a$ ’ya bölünerek azaltılacaktır.

### Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları

Aşağıdaki Tablo 5’de tanımlanan *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı*  $R \leq 1.5$  olan taşıyıcı sistemlerde  $R_a = R$  alınacaktır.  $R > 1.5$  için ise doğal titreşim periyodu  $T$ ’ye bağılı olarak Denk.1 ile belirlenecektir.  $T_s$ , DBYBHY’deki  $T_B$ ’ye karşı gelen spektrum köşe periyodunu göstermektedir.

$$\begin{aligned} R_a(T) &= 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_s} & (0 \leq T \leq T_s) \\ R_a(T) &= R & (T_s < T) \end{aligned} \quad (1)$$

### Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları

Kazıklı iskele ve rıhtımlarda, kazık düzenlemesine ve hedeflenen performans düzeyine bağılı olarak uygulanacak Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları ( $R$ ) Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Kazıklı iskele ve rıhtımlarda Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları ( $R$ )

Kazık düzenlemesi	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Düşey kazıklı sistemler	1.5	2.5
Eğik kazıklı sistemler	1.0	1.5

Demiryolu köprülerinde ise, sisteme uygulanacak *Köprü Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı* ( $R$ ), enine ve boyuna doğrultuda her bir  $j$ ’inci orta ayak taşıyıcı sistemi için Tablo 6’ya göre tanımlanan *Ayak Davranış Katsayısı*  $R_j$ ’lerden yararlanılarak *Köprü Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı*  $R$ , Denk.(2) ile belirlenecektir.

$$R = \frac{\sum R_j V_j}{\sum V_j} \quad (2)$$

Burada  $V_j$ , azaltılmamış deprem yükleri ile ön analizden  $j$ ’inci orta ayakta elde edilen toplam kesme kuvvetini göstermektedir.

Tablo 6. Ayak Davranış Katsayıları ( $R_j$ )

Orta Ayak Taşıyıcı Sistemi	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Tek kolon veya enine doğrultuda narin perde (eğilme perdesi – $H/L_w > 3$ )	1.5	2.5
Enine doğrultuda tek veya çok açıklıklı betonarme veya çelik çerçeve	2.5	5.0
Enine doğrultuda tek veya çok açıklıklı çelik çaprazlı çerçeve	2.0	3.5
Enine doğrultuda bodur perde (kesme perdesi – $H/L_w \leq 3$ )	1.5	2.0
Boyuna doğrultuda konsol olarak eğilmeye çalışan ayaklar	1.5	2.5
Boyuna doğrultuda tabliye ile monolitik olarak eğilmeye çalışan ayaklar	2.5	4.0

Herhangi bir  $j$ ’inci ayakta  $R_j < R$  olması durumunda, azaltılmış deprem yükleri ile yapılan analiz sonucunda elde edilen tüm iç kuvvetler ( $R / R_j$ ) oranı ile çarpılarak büyültülecektir.

### Doğrusal Elastik Analiz Yöntemleri

Azaltılmış deprem yükleri ile doğrusal elastik analiz için kullanılacak yöntemler, DBYBHY (2007)’de olduğu gibi, *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ve *Mod Birleştirme Yöntemi*’dir. Yöntemlerin uygulama sınırlamalarına ilişkin ayrıntılar Yönetmeliğin ilgili bölümlerinde verilmiştir.

## ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE TASARIM (DGT)

Yukarıda belirtildiği üzere Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım'da, gözönüne alınan deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak belirlenir ve bu hasarın ilgili elemanlar için kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir.

### Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz Yöntemleri

Hasarın sayısal olarak belirlenebilmesi için, doğrusal olmayan (nonlinear) davranış modelleri kullanılarak *Doğrusal Olmayan İtme Analizi*'nin veya *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz*'in uygulanması gerekir. Deprem etkisi altında nonlinear itme analizi için kullanılabilir yöntemler, DBYBHY (2007)'nin 7. Bölümü'nde de tanımlanmış bulunan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi*'dir. Bu yöntemlerle ilgili olarak, liman yapıları ve demiryolu köprülerine özel koşul, kısıtlama ve açıklamalar Yönetmelik'te verilmiştir.

### Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

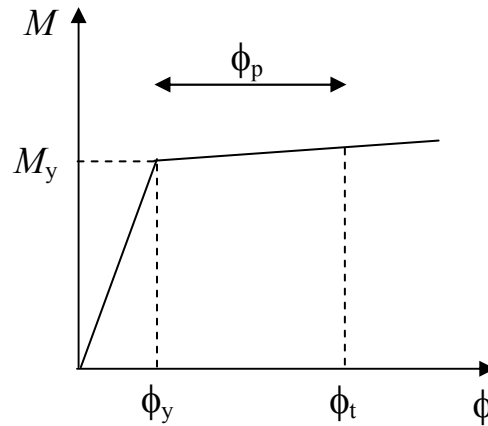
DBYBHY (2007)'nin 7. Bölümü ile tamamen uyumlu bir biçimde, nonlinear analiz yöntemleri ile plastik mafsallara göre hesaplanan *plastik dönme istemleri*'nden ( $\theta_p$ ), *plastik eğrilik istemleri*'ne ( $\phi_p$ ) geçilmektedir:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3)$$

Burada,  $L_p$  Yönetmelik'te tanımlanan plastik mafsalları göstermektedir. Daha sonra, amaca uygun olarak seçilen çelik ve beton modelleri kullanılarak, ilgili kesitteki aksel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğru moment-eğrilik ilişkilerinden tanımlanan  $\phi_y$  eşdeğer akma eğriliği, Denk.(3) ile tanımlanan  $\phi_p$  plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki  $\phi_t$  toplam eğrilik istemi elde edilecektir (Şekil 1):

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (4)$$

Çelik elemanlarda (örneğin kazıklarda) çelik kesitteki birim şekildeğiştirme istemi, betonarme kesitlerde ise betonun basınç birim şekildeğiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, Denk.(4) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi yapılarak hesaplanacaktır.



Şekil 1. İki doğru moment – eğrilik ilişkisi

### Hasar Limitleri: Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri

Kazıklı iskele ve rıhtımlarda yer alan çelik kazıkların plastik kesitlerindeki çelik birim şekildeğiştirmeleri, betonarme kazıklarda ise beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden yukarıda açıklandığı üzere elde edilen deprem istemleri, Tablo 7’de tanımlanan tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir.

Tablo 7. Kazıkların plastik kesitleri için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Birim şekildeğiştirme	Performans Düzeyi	
	MH	KH <sup>(2)</sup>
<b>Betonarme ve öngerilmeli beton kazık:</b>		
Beton basınç birim şekildeğiştirmesi	0.004	0.020 / 0.008
Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi	0.010	0.040 / 0.016
Öngerme çeliği birim şekildeğiştirmesi	0.005 <sup>(1)</sup>	0.040 / 0.016
<b>Çelik kazık:</b>		
Çelik birim şekildeğiştirmesi	0.008	0.030 / 0.012
<sup>(1)</sup> Birim şekildeğiştirmede deprem nedeni ile meydana gelen artış		
<sup>(2)</sup> Soldaki değer zemin üstündeki, sağdaki değer ise zemin altındaki kazık plastik kesitleri içindir.		

Demiryolu köprülerinde ise, betonarme ayaklarda beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, Tablo 8’de tanımlanan tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir.

Tablo 8. Köprü ayaklarının plastik kesitleri için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Birim şekildeğiştirme	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Beton basınç birim şekildeğiştirmesi	0.004	0.020
Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi	0.010	0.040

### Gevrek Kesme Kırılması Limitleri

İtme analizi veya zaman tanım alanında yapılan nonlineer analiz sonucunda betonarme iskele ve körü kazıklarında ve köprü ayaklarında çıkış bilgisi olarak elde edilen kesme kuvveti istemi esas alınarak gevrek kesme kırılmasına göre performans değerlendirmesi yapılacaktır. Kesme kuvveti istemi ile karşılaştırmada esas alınacak kesit kesme kuvveti kapasitesi  $V_e$  aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$V_e = V_c + V_s + V_p \quad (5)$$

Burada  $V_c$ ,  $V_s$  ve  $V_p$  sırası ile betonun, çeliğin ve keside etkiyen eksenel kuvvetin kesme kuvveti kapasitesine katkılarını göstermektedir. Çeliğin katkısı, karakteristik dayanım esas alınarak TS-500’e göre belirlenecektir. Betonun katkısı ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$V_c = 0.80 A_c k_c \sqrt{f_{ck}} \quad (6)$$



Burada  $A_c$  kesidin brüt alanını [ $\text{mm}^2$ ],  $f_{ck}$  karakteristik beton basınç dayanımını [MPa],  $k_c$  ise eğrilik sünekliği istemine bağlı olarak aşağıda tanımlanan katsayıyı göstermektedir. Bu bağıntı ile hesaplanan  $V_c$ 'nin birimi [N]'dir.

$$\begin{aligned} k_c &= 0.288 & (\mu_\phi \leq 3) \\ k_c &= 0.432 - 0.048\mu_\phi & (3 < \mu_\phi \leq 7) \\ k_c &= 0.137 - 0.0059\mu_\phi & (7 < \mu_\phi \leq 15) \\ k_c &= 0.0485 & (15 < \mu_\phi) \end{aligned} \quad (7)$$

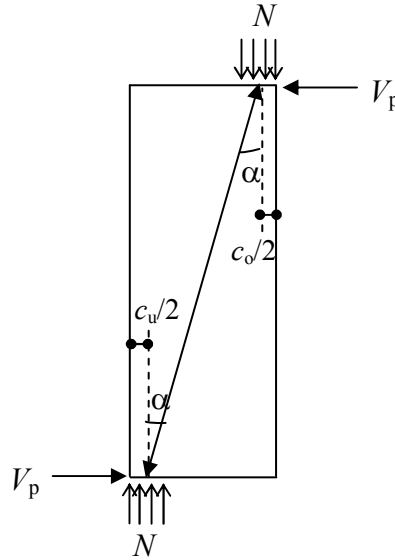
Yukarıdaki bağıntılarda  $\mu_\phi$  kesitin *eğrilik sünekliği istemi*'ni göstermektedir (Şekil 1):

$$\mu_\phi = \phi_t / \phi_y \quad (8)$$

Denk.(5)'de yer alan üçüncü terim  $V_p$  aşağıda tanımlanmıştır (Şekil 2):

$$V_p = N \tan\alpha \quad (9)$$

Burada  $N$ , ayağın aksenal kuvvetini (basınç pozitif),  $c_o$  ve  $c_u$  ise üst ve alt kesitlerdeki eşdeğer beton basınç blokunun derinliğini göstermektedir (Kesin hesap yapılmaması durumunda bu değerler kesit yüksekliğinin yaklaşık olarak %20'sine eşit alınabilir).



Şekil 2. Aksenal kuvvet isteminin kesme kuvveti kapasitesine katkısı

## SONUÇ

Türkiye'nin ulaştırma altyapısından sorumlu en önemli kamu kurumlarından biri olan Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları (DLH) Genel Müdürlüğü'nün inisiyatifi ile, iki yıl süren yoğun çalışmalar sonucunda hazırlanan "*Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları ve Hava Meydanı İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği*" 18 Ağustos 2007'de Resmi Gazete'de yayınlanmıştır.

Özellikle kıyı ve liman yapıları alanında, dünyada esasen sayısı çok az olan deprem yönetmelikleri içinde önemli bir yer alması beklenen DLH Deprem Yönetmeliği'nin en önemli özelliği, bu bildiride de özetlendiği üzere, kapsamındaki tüm yapılar için geçerli olmak üzere, "Performansa Göre Tasarım" ilkesini benimsemiş olmasıdır. Bunun doğal uzantısı olarak birden fazla (genellikle iki) deprem düzeyi altında yapılan tasarımda, yüksel sınıftaki yapılar ve yüksek performans hedefleri için "Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT)" yaklaşımı ile, liman yapılarının

ve demiryolu köprülerinin deprem analizlerinin doğrusal olmayan (nonlineer) analiz yöntemleri ile yapılması öngörülmüş, ancak düşük performans hedefleri ve düşük deprem düzeylerinde, diğer deyişle basit yapılar dışında doğrusal elastik davranışa yakın durumlarda, geleneksel “Dayanıma Göre Tasarım (DGT)” yaklaşımının uygulanmasına izin verilmiştir. Böylece basit yapılar dışında, ön tasarımının düşük düzeydeki depremler altında geleneksel DGT yaklaşımı ile yapılması, kesin tasarımın ise yüksek düzeydeki depremler altında nonlineer ŞGT yaklaşımı sonuca ulaştırılması sağlanmış olmaktadır.

DLH Deprem Yönetmeliği ile ülkemizde kıyı ve liman yapılarının, demiryolu köprülerinin ve hava meydanı yapılarının depreme dayanıklı tasarımı için modern bir temel atılmış olmaktadır. Yönetmeliğin yürürlüğe gireceği 1 Eylül 2008 tarihinden önce yapılacak eleştiri ve önerilere göre, gerekli iyileştirmelerin yapılabileceği ve varsa maddi hataların düzeltileceği kuşkusuzdur.

DLH Deprem Yönetmeliği ile açılan bu yolda, önümüzdeki yıllarda benzeri diğer yönetmeliklerin de hazırlanarak ülke hizmetine kazandırılacağı umulmaktadır.

### **KAYNAKLAR**

- DBYBHY (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart 2007.
- DLH (2007) – Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları ve Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Ulaştırma Bakanlığı, Ankara, Ağustos 2007.