

ÇEŞİTLİ YAPI TİPLERİ İÇİN İZİN VERİLEBİLİR FARKLI OTURMA SINIRLARININ DERİN KİRİŞ MODELİ İLE BELİRLENMESİ

S. Oğuzhan AKBAŞ

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara
soakbas@gazi.edu.tr

(Geliş / Received: 12.02.2008 ; Kabul / Accepted: 08.08.2008)

ÖZET

Zemin-yapı etkileşimi problemlerinde, temellerde oluşan farklı oturmalar, hasarlarda etkin olan faktörlerin başında gelir. Bu sebeple, özellikle 1950'li yıllardan itibaren, birçok araştırmacı tarafından izin verilebilir hareket sınırlarını belirleyen kriterler ortaya konmaya çalışılmış, fakat özellikle problemi etkileyen çok sayıda değişken sebebiyle bu kriterler üzerinde tam bir anlaşma sağlanamamıştır. Bu çalışmada, öncelikle literatürdeki izin verilebilir farklı oturma tanımları ve bu tanımlara ilişkin sınırlar gözden geçirilmiş, ardından çok sayıda vaka analizi Burland ve diğerleri [1] tarafından önerilen hasar seviyeleri ve derin kiriş modeli [2] ışığında incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, çerçevesiz ve yığma yapılar için izin verilebilir farklı oturma sınırları, çeşitli yapısal hasar seviyelerine karşılık gelen açısal çarpılma değerleri cinsinden ifade edilerek güncellenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Farklı oturmalar, açısal çarpılma, zemin-yapı etkileşimi.

ESTIMATION OF ALLOWABLE DIFFERENTIAL SETTLEMENTS FOR VARIOUS STRUCTURE TYPES USING DEEP BEAM ANALOGY

ABSTRACT

In soil-structure analysis problems, differential settlements are regarded as one of the major sources of building damage. For this reason, starting from 1950s, various researchers have come up with criteria, which determine allowable movements of structures. However a total agreement on these criteria could not be reached, especially due to numerous variables that have effect on this problem. In this study, first the terms that are being used to define differential settlements have been reviewed, and then a large database of case histories was examined using the damage criteria proposed by Burland [1] and the deep beam analogy. The analyses resulted in updated allowable angular distortion values for framed buildings and buildings with load-bearing walls, for different target damage levels.

Keywords: Differential settlements, angular distortion, soil-structure interaction.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Temeller, destekledikleri yapının izin verdiği sınırlar dahilinde hareket edecek şekilde tasarlanırlar. Bu sebeple, yapıların izin verilebilir hareket sınırlarını ve bu değerleri etkileyen faktörleri belirlemek ve temel tasarımını bu bilgiler ışığında yapmak özellikle performans dayalı tasarımda büyük önem kazanmaktadır.

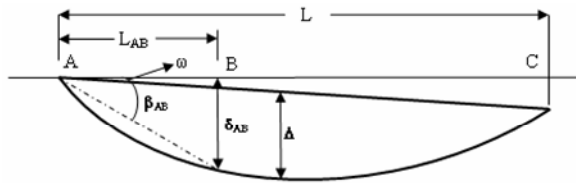
Temel hareketlerinin yapılar üzerindeki etkilerini belirlemek için, teorik olarak yapısal analiz prensiplerinden ya da inşa edilmiş yapıların incelenmesinden

elde edilen bilgilerden yararlanılabilir. Fakat mesnet deformasyonlarının modellendiği yapısal analiz çalışmaları genel olarak gereğinden oldukça fazla güvenli hareket sınır değerleri ile sonuçlanmaktadır. Bunun başlıca sebebi olarak özellikle kapı ve pencereler gibi taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının, izin verilebilir hareketler için belirleyici önem taşımalarına rağmen, gerçeğe yakın şekilde modellenmelerinin zorluğu gösterilebilir. Bu nedenle, kullanımda olan farklı oturma sınır değerlerinin çok büyük bir kısmı yapılarla gözlemlenen farklı oturmalar ile hasarların ilişkilendirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Bu noktadan hareketle, bu çalışma, geniş bir vaka analizi veri tabanı oluşturularak elde edilen bilgilerin, teorik bir temel ile birleştirilerek izin verilebilir farklı oturma sınırlarının çeşitli yapı tipleri için güncellenmesi amacını taşımaktadır. İlk olarak farklı oturmaların tanımlanmasında kullanılan en önemli temel deformasyonu terimleri incelenecek, ardından farklı oturma ile yapı hasarı arasında ilişki kurmakta kullanılan korelasyonlar gözden geçirilecektir. Oluşturulan veri tabanı, Burland ve diğerleri [1] tarafından önerilen hasar seviyeleri ve derin kiriş modelinden [2] de yararlanarak, halen kullanımda olan farklı oturma sınırlarının güncellenmesinde kullanılacaktır.

2. TEMEL HAREKETLERİNİN TANIMLANMASI (DESCRIPTION OF FOUNDATION MOVEMENTS)

Temel hareketlerini tanımlamakta kullanılan başlıca terimler [3, 4] Şekil 1'de gösterilmiştir. Açısal çarpılma (β), temel üzerinde bulunan iki referans noktası arasındaki düz hattın, düşey deplasman sebebi



Şekil 1. Temel hareketlerini tanımlamakta kullanılan başlıca terimler [3] (Main terms that describe foundation movements)

ile oluşan dönme hareketi olarak tanımlanabilir. Çoğu kez yapıda oluşan rijit dönme hareketi (ω) açısal çarpılmaya katılmaz. A ve B noktaları arasındaki düşey hareket farkı (δ_{AB}) cinsinden, bu noktalar arasındaki açısal çarpılma aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\beta = \delta_{AB} / L_{AB} - \omega \quad (1)$$

Bu denklemde, L_{AB} , A ve B noktaları arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

Temel hareketlerini tanımlamakta kullanılan diğer önemli terim ise oturma oranıdır (Δ/L). Oturma oranı, farklı oturma oranının (Δ) iki referans noktası arasındaki uzaklığa (L) bölünmesi ile hesaplanır. Farklı oturma, iki oturma referans noktasını birbirine bağlayan düz bir hattın temel deformasyon profilinden farkının aldığı en büyük değer olarak tanımlanır. Açısal çarpılma kesme, oturma oranı ise eğilmeye bağlı deformasyonlarla daha çok ilişkilidir.

3. FARKLI OTURMA İLE YAPI HASARI ARASINDA İLİŞKİ KURMAKTA KULLANILAN KORELASYONLAR (CORRELATIONS BETWEEN DIFFERENTIAL SETTLEMENTS AND BUILDING DAMAGE)

Tüm yapılar, herhangi bir mimari ya da yapısal hasara uğramadan, belli bir değere kadar farklı oturmalara katlanabilir. İzin verilebilir ya da sınır açısal çarpılma veya oturma oranı, kullanılan malzeme, yapısal birleşim detayları, yapı şekil ve büyüklüğü, zemin özellikleri ve beklenen hasar seviyesi gibi bir çok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Genel olarak çerçevesel bir yapısal sistemle inşa edilmiş yapılar, yığma yapılara göre farklı oturmalara daha dayanıklıdır. Halen kullanımda olan ve farklı oturmalar ile yapı hasarları arasındaki ilişkiyi belirleyen bir çok korelasyon, çeşitli tipteki yapılarda oluşan deformasyon ve hasarların gözlemi ile ampirik olarak oluşturulmuştur.

Skempton ve MacDonald [5] 98 binayı oturma sebebiyle oluşan hasarlar açısından incelemiş ve oturma ile mimari, fonksiyonel ve yapısal olarak sınıflandırdıkları hasar seviyesi arasında bir korelasyon kurmak için açısal çarpılma değerlerini kullanmıştır. Çalışma sonucunda yük taşıyıcı duvar ve bölmelerde, açısal çarpılmanın $1/150'$ 'yi aşması durumunda çatlak oluşmasının muhtemel olduğu belirtilerek, $\beta=1/300$ sınır değeri olarak tespit edilmiştir.

Polshin ve Tokar [6] 25 yıl boyunca, çeşitli zemin tipleri üzerinde bulunan 100 binadaki oturma hasarlarını incelemiştir. Açısal çarpılma, oturma oranı ve ortalama oturma kriteri olarak kullanmış, aynı zamanda yapının geometrisi (L/H) ve bir malzeme özelliği olan kritik çekme birim deformasyonunun etkilerini de araştırmıştır. Polshin ve Tokar [6], gözlenebilir hasarın kritik çekme birim deformasyonunun $0.0005'$ e eşit olmasıyla başladığına inanıyordu. Bu çalışmanın en önemli noktalarından biri de çerçevesel yapısal sistemli binaların yığma binalardan ayrı olarak incelenmiş olmasıdır. Çalışmasında izin verilebilir açısal çarpılmalar için dolu çelik veya betonarme çerçevesel yapılar için $1/500$, giydirmeye cephesinde zarar görme ihtimali bulunmayan yapılar için ise $1/200$ olarak önerilmiştir.

Bjerrum [7] apartman, ofis ve fabrika binaları gibi çeşitli yapılar için, çeşitli hasar seviyeleri tanımlayarak bir dizi açısal çarpılma limiti sunmuştur. Hassas makinelerin çalışmasında sorunlar yaşanmaması için izin verilebilir $\beta=1/750$, çaprazlı çerçeveler için tehlike sınırı $\beta=1/600$, çatlaklara izin verilmeyecek yapılar için tehlike sınırı $\beta=1/500$, bölmelerde çatlak başlangıcı için sınır $\beta=1/300$, yüksek, rijit yapılarda dönmenin görsel olarak belirgin olma sınırı $\beta=1/250$ ve bölme ve tuğla duvarlarda büyük ölçekli çatlaklar ile genel olarak binalarda yapısal hasar meydana gelmesi için sınır $\beta=1/150$ olarak belirlenmiştir.

Grant ve diğerleri [8], Skempton ve MacDonald tarafından yapılan çalışmayı [5] güncelleştirerek, $\beta=1/300$ 'lük sınır değeri teyit etmiştir. Ayrıca, bu çalışmada $\beta=1/150$ 'yi aşan açısız çarpılma değerlerine ulaşıldığında kolon ve kirişlerde yapısal hasar oluşmasının muhtemel olduğu belirtilmiştir.

Burland ve Wroth [2], hasar oluşumunun belirlenmesi için temel mekanik prensipleriyle uyumlu bir yöntem belirlenmesi gerektiğini düşünerek, genellikle düşey hareketler sebebiyle oluşan görünür çekme çatlaklarına bağlı bir kriter oluşturma yoluna gitmiştir. Polshin ve Tokar [6] tarafından yapılan çalışmadan yola çıkarak, görünür çekme çatlaklarının başlangıcının çekme birim deformasyonunun kritik bir değerine (ϵ_c) bağlı olduğu kabulünü yapmışlardır. Kritik çekme birim deformasyonu fikrini basit mesnetli prizmatik bir kiriş üzerinde uygulayarak "derin kiriş modeli" olarak bilinen modeli oluşturmuşlardır. Bu model çatlak başlangıcına yol açan düşey hareket seviyelerini etkileyen faktörleri açıklamakta kullanılmıştır. Derin kiriş modeli hakkında daha detaylı bilgi bir sonraki bölümde verilmektedir. Burland ve Wroth [2] çalışmasının önemli bir yönü de bina yüksekliğinin (H) hesaba katılmasıdır.

O'Rourke ve diğerleri [9], tünel ve açık kazılara yakın binalarda yaptıkları hasar gözlemlerine istinaden, yığma binalardaki taş veya tuğla duvarlar için $\beta=1/1000$ 'e eşit bir limit açısız çarpılma değeri tavsiye etmişlerdir.

Burland ve diğerleri [1] hasar seviyesini çatlak genişliğine bağlı olarak ihmal edilebilir, çok az, az, orta, ağır ve çok ağır hasar olmak üzere sınıflandırmıştır.

Sınıflandırmanın detayı Tablo 1'de verilmektedir.

Boscardin ve Cording [4], tünel ve açık kazılara komşu, çerçevesiz yapısal sisteme sahip ve yığma yapıları içeren bir dizi vaka analizi sunmuş ve yapı hasarı ile açısız çarpılma arasında bir ilişki kurulması için yanal birim deformasyonların da dikkate alınması gerektiğini savunmuşlardır. Yaptıkları analizlerde, bir kazı sebebi ile meydana gelen yatay deformasyonların yapıya aynı şekilde aktarıldıkları kabulünü yapmışlardır.

Day [10], ahşap çerçevesiz bodrumsuz yapılara ait farklı oturma verileri sunmuş ve temel açısız çarpılmasının $\beta=1/300$ 'ü aşması halinde alçı bölme duvarlarda çatlakların oluşacağı sonucuna varmıştır. Day [10] ayrıca, küçük tek ailelik ahşap yapılarda, açısız çarpılmanın $\beta=1/100$ 'ü aşması durumunda kolon ve kirişlerde yapısal hasar görülmesinin beklenebileceğini belirtmiştir.

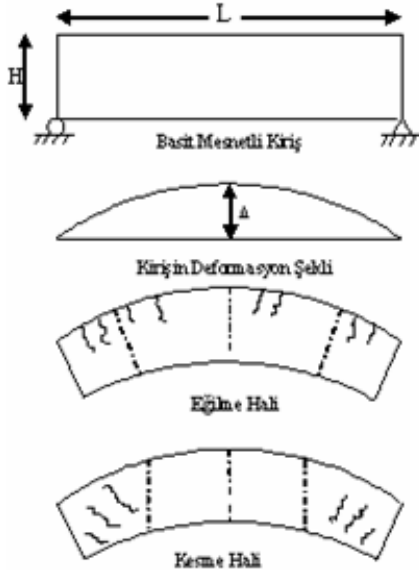
Boone [11], bina hasarlarını Burland ve diğerleri [1] tarafından belirlenen sınıflar çerçevesinde, açısız çarpılma yerine çatlak genişliği kriteri yardımıyla incelemiştir. Bu çalışmada farklı oturmalarından kaynaklanan hasarların makul olarak incelenmesinde binanın çeşitli bölümlerinin kesme ve eğilme modülleri, zemin deplasman profili ve binanın bu profile göre konumu ile zemin ve temel arasındaki kayma miktarının değerlendirilmesi gerektiği bildirilmiştir.

4. DERİN KİRİŞ MODELİ (DEEP BEAM MODEL)

Burland ve Wroth [2], Polshin ve Tokar'ın çalışmasını [6] takiben, kritik çekme birim deformasyonunu (ϵ_c), Şekil 2'de gösterilen basit

Tablo 1. Çatlak genişliğine bağlı hasar seviyesi tanımı [1] (Damage level description according to observed crack width)

Hasar Seviyesi	Hasar Tanımı	Yaklaşık Çatlak Genişliği
İhmal Edilebilir	Kılcal çatlaklar.	< 0.1 mm
Çok Az	Dekorasyon ile tamir edilebilecek çatlaklar.	1 mm
Az	Kolayca doldurulabilecek çatlaklar; bazı çatlaklar bina içerisini gösterecek kadar ciddi; boya gerektirebilir; kapı ve pencerelerde ufak sorunlar.	5 mm
Orta	Tamirat gerektiren çatlaklar; tuğla değişimi gerektirebilir; kapı, pencereler ve tesisat borularında sorunlar, yalıtımda hasar.	5 - 15 mm
Ağır	Bazı duvarların yıkılıp yeniden inşasını gerektirebilecek ölçüde büyük çatlaklar; kapı ve pencerelerde büyük çarpılmalar; bina zemininde fark edilebilir eğim; eğilmiş duvarlar; tesisat hasarı.	15 - 25 mm
Çok Ağır	Büyük ölçekli tamirat ya da kısmi veya yeniden inşa gereksinimi; kirişler mesnetten kayabilir; duvarlara destek gerekebilir; pencereler çarpılma sonucu kırılabilir. Yapısal hasar tehdidi.	> 25 mm



Şekil 2. Derin kiriş modeli [3] (Deep beam model)

mesnetli kirişteki gözlenebilir çatlakların oluşması ile ilişkilendirmiştir. “Derin kiriş modeli” olarak adlandırılan bu çalışmada basit mesnetli kiriş bir binayı temsil etmiş ve bu kabul ile yapılarda çatlakları başlatan oturmaları etkileyen faktörler incelenmiştir. Bu modele göre, kirişin geometrisine (L/H) ve kesme ile eğilmedeki rijitliğine bağlı olarak, limit oturma oranı (Δ/L), kritik çekme birim deformasyonunun kiriş kesitinin en uç bölgesinde eğilme, ya da nötr ekseninde diyagonal çekme mekanizmalarıyla oluşmasıyla belirlenir. Tipik kritik çekme birim deformasyon değerleri tuğla ve beton için $\epsilon_c=0.05-0.10\%$ aralığında, betonarme için ise $\epsilon_c=0.075\%$ olarak tespit edilmiştir.

Bu durum için kiriş açıklığının ortasındaki deplasman Timoshenko [12] tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \left[1 + \frac{18EI}{L^2HG} \right] \quad (2)$$

Bu eşitlikte P = açıklık ortasındaki noktasal yük, L = kiriş ya da yapı uzunluğu, E = Young Modülü, I = atalet momenti, H = kiriş ya da yapı yüksekliği ve G = kesme modülüdür. Eşitlik 2, oturma oranı ve eğilme halindeki kritik çekme birim deformasyonu (ϵ_{cb}) cinsinden, $\nu = 0.3$ 'e eşit Poisson oranı ve nötr eksenin kiriş kesitinin merkezinde yer aldığı kabulüyle aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\Delta}{L} = \left[\frac{1}{6} \left(\frac{L}{H} \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{E}{G} \right) \left(\frac{H}{L} \right) \right] \epsilon_{cb} \quad (3)$$

Benzer şekilde, Eşitlik 2, oturma oranı ve diyagonal çekme halindeki kritik birim deformasyon (ϵ_{cd}) cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\frac{\Delta}{L} = \left[\frac{2}{3} \left(\frac{G}{E} \right) \left(\frac{L}{H} \right)^2 + 1 \right] \epsilon_{cd} \quad (4)$$

Birim deformasyonun, eğilme ya da diyagonal çekme halinde kritik birim deformasyona eşit olduğu hallerde binada hasar oluşması beklenecektir. Diyagonal çekme, kesmeye karşı oldukça esnek olan çerçevesel yapılar için, eğilme halindeki çekme ise düşük çekme kapasitesine sahip yığma binalar için kritik durumları oluşturacaktır.

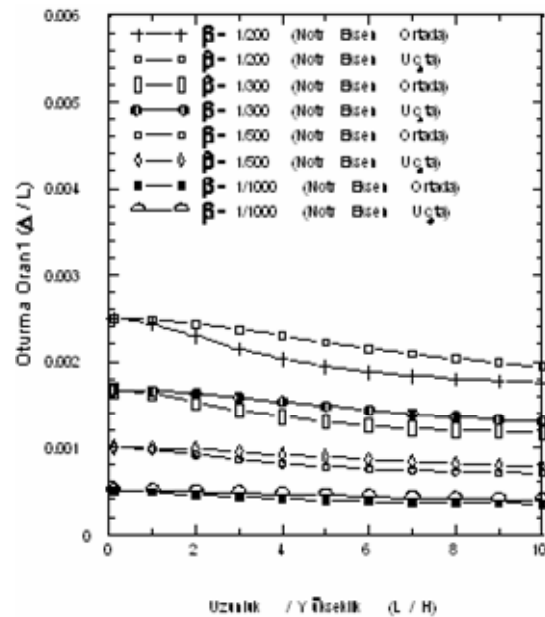
Açıklığının ortasından yüklenmiş basit mesnetli bir kiriş için, nötr eksenin derin kiriş kesitinin tam ortasında yer aldığı kabulü ile, açılmal çarpılma, deformasyonun kiriş boyunca eğiminin en büyük değişikliğine eşit olur (mesnetteki eğim) ve aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [3]:

$$\beta = 3 \left(\frac{\Delta}{L} \right) \left[\frac{1 + 1.0 \left(\frac{E}{G} \right) \left(\frac{H}{L} \right)^2}{1 + 1.5 \left(\frac{E}{G} \right) \left(\frac{H}{L} \right)^2} \right] \quad (5)$$

Nötr eksen derin kiriş kesitinin ortası yerine alt köşesinde yer alırsa, açılmal çarpılma bu defa aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\beta = 3 \left(\frac{\Delta}{L} \right) \left[\frac{1 + 4.0 \left(\frac{E}{G} \right) \left(\frac{H}{L} \right)^2}{1 + 6.0 \left(\frac{E}{G} \right) \left(\frac{H}{L} \right)^2} \right] \quad (6)$$

Eşitlik 5 ve 6 kullanılarak, Δ/L ve L/H değişkenlerine göre elde edilen açılmal çarpılma değerleri Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'de görülebileceği gibi, nötr



Şekil 3. Nötr eksen yerinin açılmal çarpılmaya etkisi (The effect of neutral axis location on the angular distortion)

eksenin kiriş kesitinin ortasında ya da köşesinde yer alması kabulünün hesaplanan açısız çarpılma değerlerine etkisi son derece sınırlıdır.

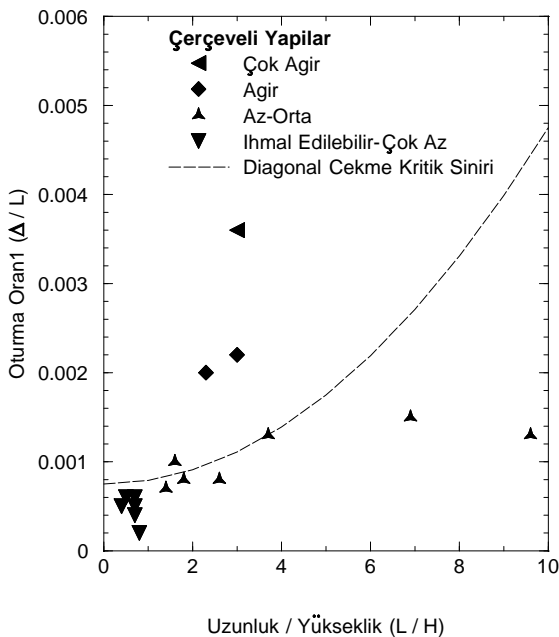
5. FARKLI OTURMA HASARI VERİ TABANI (DATABASE OF DIFFERENTIAL SETTLEMENT DAMAGE)

Derin kiriş modelinden elde edilen sonuçların geçerliliğini belirlemek ve izin verilebilir farklı oturma değerlerini güncellemek amacıyla oldukça geniş bir farklı oturma hasarı veri tabanı oluşturulmuştur (Tablo 2). Seçilen vakalar bina türü yapılarda gözle-nen hasarlara ait olup, sadece L/H değeri bildirilenler veri tabanına dahil edilmiştir. Veri tabanındaki tüm vakalarda hasarlar, Burland ve diğerleri [1] tarafından önerilen ve Tablo 1'de detayları bildirilen seviyelere göre sınıflandırılmıştır.

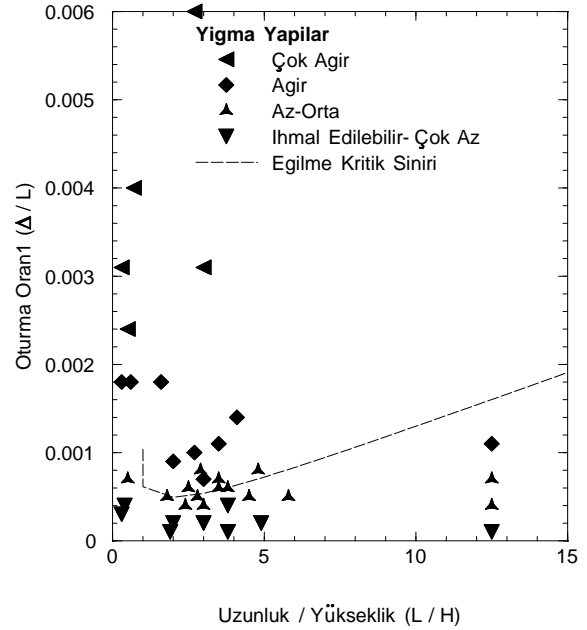
6. GÜNCELLENMİŞ FARKLI OTURMA SINIRLARI (UPDATED DIFFERENTIAL SETTLEMENT LIMITS)

Derin kiriş modelinden elde edilen teorik temel ve oluşturulan veri tabanı yardımıyla farklı oturma sınırlarının yol açtıkları hasarlara bağlı olarak güncelleştirilmesi amaçlanmıştır. Veri tabanındaki vakalar, diyagonal birim deformasyonun kritik olduğu çerçevesel ve eğilme birim deformasyonunun kritik olduğu yığma yapılardan oluşan iki gruba ayrılmıştır.

Veri tabanındaki çerçevesel ve yığma yapılar için geometri (L / H) ve deformasyon oranı (Δ / L) arasındaki ilişki sırası ile Şekil 4 ve 5'de verilmiştir. Bu şekillerde, ayrıca, her veri noktası için gözlenen hasar, Burland ve diğerleri [1] tarafından önerilen hasar seviyeleri ışığında değişik semboller ile ifade edilmiştir.



Şekil 4. Çerçevesel yapılar için L/H- Δ ilişkisi (L/H- Δ relationship for framed structures)



Şekil 5. Yığma yapılar için L/H- Δ ilişkisi (L/H- Δ relationship for Structures with load-bearing walls)

Diyagonal çekme halindeki sınır oturma oranı, betonarme için tespit edilmiş olan kritik birim deformasyon $\epsilon_c = 0.075\%$ değeri kullanılarak, Eşitlik 4 ile hesaplanmış ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Elde edilen sınır oturma oranı, çerçevesel yapılar için orta ile ağır hasar arasında yaklaşık bir sınır oluşturmakla birlikte, diğer hasar seviyeleri hakkında bir bilgi sunmamaktadır. Şekil 5'de, Eşitlik 3 ile tuğla ve beton için önerilen ortalama kritik birim deformasyon $\epsilon_c = 0.075\%$ değeri kullanılarak hesaplanan eğilme halindeki sınır oturma oranı gösterilmiştir. Yığma yapılar için elde edilen sınır oturma oranı da gözlenen orta ve ağır hasarlar arasında yer almaktadır. Elde edilen her iki sınır oturma oranının da güvenilirliği, özellikle L / H değerlerinin büyük olduğu durumlar için kuşkuludur.

Derin kiriş modelinden elde edilen sınır oturma oranları, Şekil 4 ve 5'de de görüldüğü gibi, özellikle hedeflenen az ve ihmal edilebilir hasar seviyeleri hakkında yeterli bilgi vermemektedir. Ayrıca, halen kullanımda olan izin verilebilir farklı oturma değerlerinin çoğunluğu açısız çarpılmalar cinsinden ifade edildiğinden, güncellenmiş sınırların da aynı biçimde ifade edilmesi pratik kullanım için faydalı olacaktır.

Bu sebeplerle, çeşitli açısız çarpılma değerleri Eşitlik 5 kullanılarak elde edilmiş, sonuçlar veri tabanındaki hasar seviyeleri ile ilişkilendirilerek, güncel farklı oturma sınır değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar çerçevesel ve yığma yapılar için sırası ile Şekil 6 ve 7'de görülebilir. Açısız çarpılma değerlerinin hesabında E / G değeri izotropik lineer elastik malzeme ($E = G / [2(1 + \nu)]$) ve $\nu = 0.3$ kabulü [2, 4] ile 2.6 olarak alınmıştır. Açısız çarpılma cinsinden farklı oturma değerleri ile beklenen yapı hasarları arasındaki ilişki,

Tablo 2. Farklı oturma hasarı veritabanı (Database of differential settlement damage)

Vaka No.	Hasar Seviyesi	L/H	$\Delta/L \cdot 10^3$	$1/\beta$	Bina Tipi	Kaynak
1	Çok Ağır	3.0	3.6	117	Çelik çerçeve	[5]
2	Ağır	3.0	2.2	192	Çelik çerçeve	[5]
3	Az	1.6	1.0	467	Çelik çerçeve	[13]
4	Az	1.8	0.8	614	Çelik çerçeve	[13]
5	Az	2.6	0.8	543	Çelik çerçeve	[13]
6	İhmal edilebilir	0.7	0.6	821	Çelik çerçeve	[14]
7	İhmal edilebilir	0.7	0.5	1094	Çelik çerçeve	[14]
8	İhmal edilebilir	0.8	0.2	3269	Çelik çerçeve	[14]
9	İhmal edilebilir	0.4	0.5	995	Çelik çerçeve	[15]
10	İhmal edilebilir	0.5	0.6	827	Çelik çerçeve	[15]
11	Az	2.5	0.6	795	Yığma tuğla	[6]
12	Az	2.8	0.5	952	Yığma tuğla	[6]
13	Az	2.9	0.8	567	Yığma tuğla	[6]
14	İhmal edilebilir	3.8	0.1	4042	Yığma tuğla	[6]
15	İhmal edilebilir	3.8	0.4	1155	Yığma tuğla	[6]
16	Az	3.8	0.6	735	Yığma tuğla	[6]
17	Az	3.8	0.6	674	Yığma tuğla	[6]
18	Az	4.5	0.5	780	Yığma tuğla	[6]
19	Az	4.8	0.8	514	Yığma tuğla	[6]
20	Az	1.8	0.5	1023	Yığma tuğla	[16]
21	Az	3.0	0.4	1208	Yığma tuğla	[16]
22	İhmal edilebilir	2.0	0.2	2269	Yığma tuğla	[17]
23	İhmal edilebilir	0.3	0.3	1815	Yığma tuğla	[18]
24	İhmal edilebilir	0.4	0.4	1245	Yığma tuğla	[18]
25	Ağır	3.0	0.7	622	Yığma tuğla	[19]
26	Az	5.8	0.5	745	Yığma tuğla	[20]
27	Ağır	2.0	0.9	534	Yığma tuğla	[20]
28	Az	3.5	0.6	683	Yığma tuğla	[21]
29	Ağır	3.5	1.1	373	Yığma tuğla	[21]
30	İhmal edilebilir	3.0	0.2	1838	Yığma tuğla	[2]
31	Ağır	4.1	1.4	280	Yığma tuğla	[16]
32	Ağır	4.1	1.4	280	Yığma tuğla	[16]
33	Çok ağır	0.3	3.1	159	Yığma tuğla	[11]
34	Çok az	1.9	0.1	3649	Yığma tuğla	[22]
35	Orta	3.5	0.7	595	Yığma tuğla	[22]
36	Çok az	12.5	0.1	5226	Yığma tuğla	[23]
37	Az	12.5	0.4	871	Yığma tuğla	[23]
38	Az	12.5	0.7	498	Yığma tuğla	[23]
39	Ağır	12.5	1.1	307	Yığma tuğla	[23]
40	Çok az	24.9	0.0	10217	Yığma tuğla	[23]
41	Orta	0.5	0.7	695	Yığma tuğla	[24]
42	Çok Ağır	0.5	2.4	206	Yığma tuğla	[24]
43	Ağır	0.6	1.8	272	Yığma tuğla	[24]
44	Ağır	0.3	1.8	283	Yığma tuğla	[24]
45	Çok Ağır	0.7	4.0	123	Yığma tuğla	[24]
46	Çok Ağır	3.0	3.1	138	Yığma tuğla	[24]
47	Ağır	1.6	1.8	255	Yığma tuğla	[25]
48	Az	2.4	0.4	1145	Yığma tuğla	[25]
49	Çok az	4.9	0.2	1884	Yığma tuğla	[25]
50	Çok Ağır	2.7	6.0	72	Yığma tuğla	[25]
51	Ağır	2.7	1.0	432	Yığma tuğla	[25]
52	Az	3.7	1.3	324	Betonarme çerçeve	[13]
53	Az	9.6	1.3	280	Betonarme çerçeve	[13]
54	Orta	6.9	1.5	242	Betonarme çerçeve	[11]
55	Çok az	0.7	0.4	1197	Betonarme çerçeve	[26]
56	Ağır	2.3	2.0	222	Betonarme çerçeve	[26]
57	Orta	1.4	0.7	651	Betonarme çerçeve	[26]

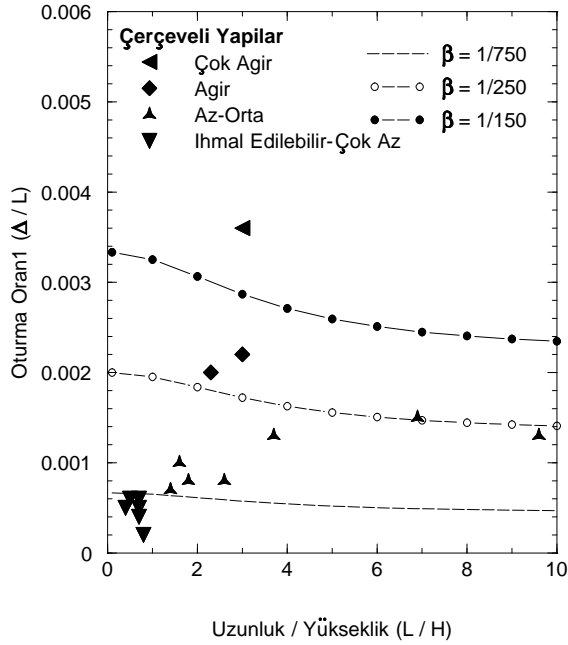
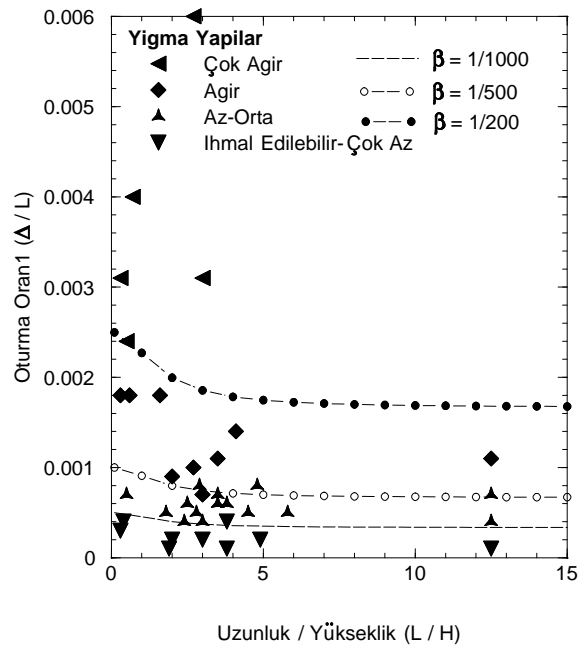
yığma ve çerçevesiz yapılar için Tablo 3'de verilmektedir.

Şekil 6 ve 7 incelendiğinde, çerçevesiz ve yığma yapılar için yapısal hasar tehdidinin sırası ile $\beta > 1/150$

ve $\beta > 1/200$ değerlerinde başladığı görülmektedir. Bu değerler genel olarak Bjerrum [7] ile Grant ve diğerleri [8] tarafından önerilenler ile uyumludur. İhmal edilebilir hasar limitleri yapı tipine bağlı olarak yaklaşık $\beta < 1/1000$ ile $\beta < 1/750$ arasında

Tablo 3. Açısal çarpılma ile beklenen yapı hasarları arasındaki güncellenmiş ilişki (Updated relationship between angular distortions and building damage)

	İhmal Edilebilir - Çok Az Hasar	Az-Orta Hasar	Ağır Hasar	Çok Ağır Hasar
Çerçevesel Yapılar	$\beta < 1/750$	$1/750 < \beta < 1/250$	$1/250 < \beta < 1/150$	$\beta > 1/150$
Yığma Yapılar	$\beta < 1/1000$	$1/1000 < \beta < 1/500$	$1/500 < \beta < 1/200$	$\beta > 1/200$

**Şekil 6.** Çerçevesel Yapılar için Sınır β Değerleri (Limiting β Values for Framed Structures)**Şekil 7.** Yığma yapılar için sınır β değerleri (Limiting β values for structures with load-bearing walls)

değişmektedir. Bu değerler de Bjerrum [7] ve O'Rourke ve diğerleri [9] tarafından önerilenlerle uyum göstermektedir.

7. SONUÇLAR (RESULTS)

Derin kiriş modeli ve oluşturulan geniş bir veri tabanı kullanılarak farklı oturma sınırları yol açtıkları hasarlara bağlı olarak güncelleştirilmiştir. Oturma oranı cinsinden elde edilen sınır değerlerin kullanılmasının zor olduğu ve özellikle hedeflenen az ve ihmal edilebilir hasar seviyeleri hakkında yeterli bilgi vermediği görülmüştür.

Açısal çarpılma cinsinden sınır farklı oturma değerleri çerçevesel yapılar için: (a) ihmal edilebilir - çok az hasar için $\beta < 1/750$, (b) az - orta hasar için $1/750 < \beta < 1/250$, (c) ağır hasar için $1/250 < \beta < 1/150$ ve (d) çok ağır hasar için $\beta > 1/150$ olarak belirlenmiştir.

Açısal çarpılma cinsinden sınır farklı oturma değerleri yığma yapılar için: (a) ihmal edilebilir - çok az hasar için $\beta < 1/1000$, (b) az - orta hasar için $1/1000 < \beta < 1/500$, (c) ağır hasar için $1/500 < \beta < 1/200$ ve (d) çok ağır hasar için $\beta > 1/200$ olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada belirlenen sınır değerler, yeni gözlemler yardımı ile farklı oturma hasarı veri tabanının genişlemesi ile zamanla daha hassas hale getirilebilecektir.

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

β	açısal çarpılma
ω	rijit dönme hareketi
δ_{AB}	A ve B noktaları arasındaki düşey hareket farkı
L_{AB}	A ve B noktaları arasındaki uzaklık
Δ	farklı oturma
L	iki referans arasındaki uzaklık; kiriş ya da yapı uzunluğu
H	kiriş ya da yapı yüksekliği
ϵ_c	kritik çekme birim deformasyonu
P	açıklık ortasındaki noktasal yük
E	Young modülü
I	atalet moment
G	kesme modülüdür
ϵ_{cb}	eğilme halindeki kritik çekme birim deformasyonu
ϵ_{cd}	diagonal çekme halindeki kritik çekme birim deformasyonu
ν	Poisson oranı

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Burland, J. B., Broms, B.B ve DeMello V. F. B., "Behavior of Foundations and Structures: State of the Art Report", 9th International Conference

- on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Tokyo, 2, 495-546, 1977.
2. Burland, J. B. ve Wroth, C. P., "Settlement of Buildings and Associated Damage", **Conference on Settlement of Structures**, Cambridge, 611-654, 1974.
 3. Wahls, H. E., "Tolerable Settlements of Buildings", **ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division**, Cilt 107, No 11, 1489-1504, 1981.
 4. Boscardin, M. D. ve Cording, E. J., "Building Response to Excavation-Induced Settlement", **ASCE Journal of Geotechnical Engineering**, Cilt 115, No 1, 1-21, 1989.
 5. Skempton, A. W. ve MacDonald, D. H., "The Allowable Settlements of Buildings", **Proceedings of Institution of Civil Engineers**, Cilt 5, 727-768, 1956.
 6. Polshin, D. E. ve Tokar, R. A., "Maximum Allowable Non-Uniform Settlement of Structures", **4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, London, 1, 402-405, 1957.
 7. Bjerrum, L., "Discussion in Section VI", **3rd European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Wiesbaden, 2, 135-137, 1963.
 8. Grant, R., Christian, J. T. ve Vanmarcke, E. H., "Differential Settlement of Buildings", **ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division**, Cilt 100, No 9, 973-991, 1974.
 9. O'Rourke, T. D., Cording, E. J. ve Boscardin, M. D., "Ground Movements Related to Braced Excavation and Their Influence on Adjacent Structures", **Report DOT-TST-76T-22**, U.S. Department of Transportation, Washington, D. C., 1976.
 10. Day, R. W., "Differential Movement of Slab-On-Grade Structures", **ASCE Journal of Performance of Constructed Facilities**, Cilt 4, No 4, 236-242, 1990.
 11. Boone, S. J., "Ground-Movement Related Building Damage", **ASCE Journal of Geotechnical Engineering**, Cilt 122, No 11, 886-896, 1996.
 12. Timoshenko, S., **Strength of Materials**, D. Van Nostrand, London, 1957.
 13. Fjeld, S., "Settlement Damage to a Concrete-Frame Structure", **1st European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Wiesbaden, 1, 37-45, 1963.
 14. Thornburn, S. ve McVicar, R. S. L., "Performance of Buildings Founded on River Alluvium", **Conference on Settlement of Structures**, Cambridge, 425-442, 1974.
 15. Vargas, M. ve Silva, F. P., "Settlement of Tall Buildings in Sao Paulo and Santos", **Panamerican Regional Conference on Tall Buildings**, Porto Alegre, 1973.
 16. Burhouse, P., "Composite Action Between Brick Panel Walls and Their Supporting Beams", **Proceedings of Institution of Civil Engineers**, Cilt 43, 175-194, 1969.
 17. Breth, H. ve Chambosse, G., "Settlement behavior of Buildings Above Subway Tunnels in Frankfurt Clay", **Conference on Settlement of Structures**, Cambridge, 329-336, 1974.
 18. Morton, K. ve Au, E., "Settlement Observations on Eight Structures in London", **Conference on Settlement of Structures**, Cambridge, 183-203, 1974.
 19. Horn, H. M. ve Lambe, T. W., "Settlement of Buildings on the MIT Campus", **ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, Cilt 90, No SM5, 181-195, 1964.
 20. Tschobotarioff, G. P., "Settlement Studies of Structures in Egypt", **ASCE Proceedings**, 64, 1938.
 21. Samuels, S. G. ve Cheney, J. E., "Long-term Heave of a Building on Clay Due to Trees Removal", **Conference on Settlement of Structures**, Cambridge, 212-220, 1974.
 22. Cheney, J. E. ve Burford, D., "Damaging Uplift to a Three-story Office Block Constructed on a Clay Soil Following the Removal of Trees", **Conference on Settlement of Structures**, Cambridge, 337-343, 1974.
 23. Littlejohn, G. S., "Observations of Brick Walls Subjected to Mining Subsidence", **Conference on Settlement of Structures**, Cambridge, 384-393, 1974.
 24. Wilson, J. G., Garwood, T. G., ve Sarsby, R. W., "Settlement of Low Buildings Constructed Over Peat", **Conference on Ground Movements and Structures**, Cardiff, 3, 526-538, 1984.