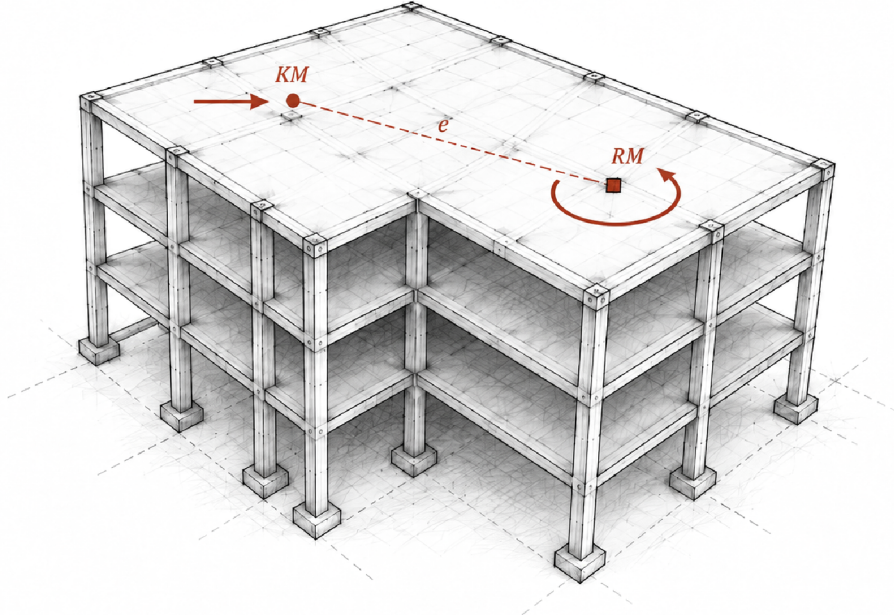




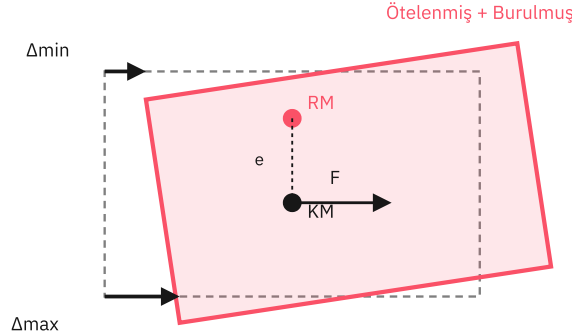
TBDY 2018

Burulma Düzensizliği Nedir?

Burulma düzensizliği (A1) nedir? TBDY 2018 7.1.1 formülü ve sınırları, %5 kazaî dışmerkezlilik, Dbi büyütme katsayısı, deprem hesap yöntemine etkisi ve gerçek deprem vakaları.



Burulma düzensizliği, bir katın deprem etkisi altında yalnızca yatay doğrultuda ötelenmeyip aynı zamanda düşey eksenini etrafında dönmesi nedeniyle, katın farklı noktalarında belirgin biçimde farklı göreceli ötelemelerin oluşmasıdır.



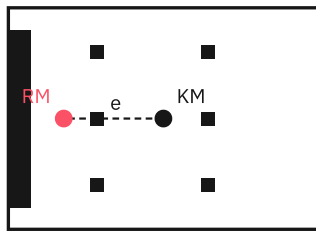
Görsel 1 - Kesikli: özgün konum; dolu: RM etrafında dönerek ötelenmiş konum.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), bu durumu **A1 Burulma Düzensizliği** olarak tanımlar. Yönetmelikte burulma düzensizliği, kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafe üzerinden değil, katın iki tarafında oluşan **göreceli kat ötelemeleri** üzerinden kontrol edilir.

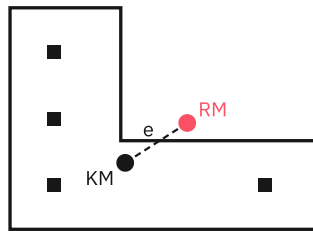
Dolayısıyla bir yapının planda asimetrik olması veya kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmaması, burulma davranışının ortaya çıkabileceğini gösterir; ancak tek başına A1 düzensizliğinin bulunduğu anlamına gelmez.

Burulma Düzensizliği Neden Oluşur?

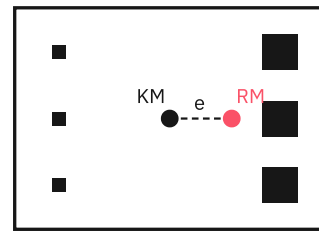
Burulmanın temel nedeni, depremden doğan yatay eylemsizlik kuvvetleri ile bu kuvvetlere karşı koyan taşıyıcı sistemin plandaki dağılımının dengeli olmamasıdır.



Asimetrik Perde Yerleşimi



L, T veya U Tipi Geometri



Düzensiz Kolon Kesitleri

Görsel 2 - Burulmaya sebep olan üç tipik plan senaryosu; siyah nokta kütle merkezi (KM), kırmızı nokta rijitlik merkezi (RM), aralarındaki mesafe dışmerkezliktir (e)

Burulmayı artırabilecek başlıca durumlar şunlardır:

- Perdelerin yapının yalnızca bir tarafında yoğunlaştırılması,
- Kolon ve perdelerin planda asimetric yerleştirilmesi,
- Taşıyıcı eleman rijitliklerinin plan boyunca büyük farklılık göstermesi,
- Kat kütlelerinin planda düzensiz dağılması,
- L, T veya U gibi düzensiz plan geometrileri,
- Taşıyıcı olmayan elemanların yapının gerçek rijitlik dağılımını değiştirmesi.

Düzensiz plan geometrisi tek başına burulma düzensizliği anlamına gelmez. Benzer şekilde geometrik olarak simetrik bir yapı da kütle veya rijitlik dağılımındaki farklılıklar nedeniyle burulma davranışı gösterebilir.

Kütle Merkezi ve Rijitlik Merkezi

Kütle merkezi, bir kattaki kütlelerin bileşkesinin bulunduğu noktadır. Deprem sırasında oluşan yatay eylemsizlik kuvvetlerinin kat düzeyindeki bileşkesi bu nokta ile ilişkilidir.

Rijitlik merkezi ise rijit diyafram yaklaşımında, yatay yük taşıyan düşey elemanların plandaki rijitlik dağılımını temsil eden noktadır.

Yatay kuvvetin etkiye doğrusu ile rijitlik merkezi arasında bir dışmerkezlik bulunduğunda, yatay ötelenmeye ek olarak burulma momenti meydana gelir:

$$M_t = V e$$

Burada V kat kesme kuvvetini, e ise dışmerkezliği ifade eder.

Ancak yapının burulma davranışını yalnızca bu mesafe belirlemez. Kolon ve perdelerin plandaki konumları, elemanların yatay rijitlikleri ve sistemin toplam burulma rijitliği de oluşacak dönme miktarı üzerinde etkilidir.

Bu nedenle kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki dışmerkezlik, burulmanın fiziksel nedenini açıklamak için yararlı olsa da TBDY'deki A1 kontrolünün doğrudan ölçütü değildir.

TBDY 2018'e Göre A1 Burulma Düzensizliği

TBDY 2018'e göre burulma düzensizliği kontrolü, birbirine dik iki yatay deprem doğrultusu için binanın **her katında ayrı ayrı** yapılır.

Kontrolde katların mutlak yatay yer değiştirmeleri değil, ardışık iki kat arasındaki **görelî kat ötelemeleri** kullanılır.

Bir kattaki herhangi bir noktada görelî kat ötelemesi:

$$\Delta_{i,j} = u_{i,j} - u_{i-1,j}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Burada $u_{i,j}$, i . kattaki ilgili noktanın yatay yer değiştirmesidir.

A1 kontrolünde kullanılacak görelî kat ötelemeleri belirlenirken TBDY'de tanımlanan **%5 ek dışmerkezlik etkileri de dikkate alınır**.

Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} Nasıl Hesaplanır?

Rijit diyafram kabul edilen bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda katın iki tarafındaki görelî kat ötelemeleri belirlenir.

Bunlardan büyük olan değer $(\Delta_i)_{\max}$, küçük olan değer ise $(\Delta_i)_{\min}$ olarak alınır.

Katın ortalama görelî ötelemesi:

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = \frac{(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}}{2}$$

olarak hesaplanır.

Burulma düzensizliği katsayısı ise:

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}}$$

olarak tanımlanır.

Katın iki tarafındaki görelî ötelemeler birbirine yaklaştıkça η_{bi} değeri 1'e yaklaşır. İki taraf arasındaki fark büyüdükçe katsayı artar ve burulma davranışı daha belirgin hale gelir.

η_{bi} Sınır Değerleri

TBDY 2018'e göre bir katta:

- $\eta_{bi} \leq 1.2$ ise **A1 burulma düzensizliği yoktur.**
- $\eta_{bi} > 1.2$ ise **A1 burulma düzensizliği vardır.**

Burada sık karıştırılan diğer değer 2.0'dır.

2.0, A1 düzensizliğinin başladığı ikinci bir sınır değildir. A1 düzensizliği 1.2 sınırının aşılmasıyla ortaya çıkar. $\eta_{bi} = 2.0$ değeri ise ek dışmerkezliğin büyütülmesine ilişkin hükümlerin ve deprem hesabında kullanılabilecek yöntemin belirlenmesi açısından önemlidir.

%5 Ek Dışmerkezlik Nedir?

Gerçek bir binadaki kütle ve rijitlik dağılımının hesap modelinde kusursuz biçimde temsil edilmesi mümkün değildir. Kullanım yüklerinin gerçek konumu, bölme duvarları, yapım toleransları ve eleman rijitliklerindeki belirsizlikler, teorik olarak simetrik görünen bir yapıda bile ek burulma etkileri oluşturabilir.

Bu belirsizlikleri hesaba katmak amacıyla TBDY, kat kütle merkezinin göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun %5'i kadar pozitif ve negatif yönde kaydırılmasını öngörür:

$$e_a = \pm 0.05B$$

Burada B , göz önüne alınan deprem doğrultusuna **dik doğrultudaki kat boyutudur.**

Hem pozitif hem negatif dışmerkezliğin dikkate alınmasının nedeni, gerçek yapıdaki belirsizliklerin burulmayı hangi yönde artıracığının önceden bilinmemesidir.

Ek dışmerkezlik yalnızca A1 burulma düzensizliği bulunan yapılara uygulanan bir ceza değildir.

Burulma düzensizliği bulunup bulunmadığı belirlenirken de ek dışmerkezlik etkileri hesaba katılır.

Dbi Büyütme Katsayısı

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan hesapta bir katta $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$ olması durumunda, o kattaki %5 ek dışmerkezlik ayrıca büyütülür.

TBDY’de kullanılan büyütme katsayısı:

$$D_{bi} = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2$$

olarak tanımlanmıştır.

Böylece burulma düzensizliği arttıkça analizde kullanılan ek dışmerkezlik de artırılmış olur.

Bu bağıntı yönetmelikte $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$ aralığı için tanımlanmıştır. Dolayısıyla aynı bağıntının $\eta_{bi} > 2.0$ için doğrudan devam ettirilmesi TBDY’de tanımlanan uygulama değildir.

Burulmanın Köşe Kolonlara Etkisi

Burulma sırasında kat yalnızca ötelenmez, aynı zamanda düşey eksen etrafında döner. Bu dönme hareketinin oluşturduğu ek yatay yer değiştirme, dönme merkezinden uzaklaştıkça artar. Bu nedenle planın dış bölgelerinde ve özellikle köşelerinde bulunan kolonlar ve perdeler burulma etkisinden daha fazla etkilenebilir.

Bir taşıyıcı elemanın burulmadan kaynaklanan ek yatay yer değiştirmesi yaklaşık olarak:

$$\Delta_t = \theta r$$

ile ifade edilebilir.

Burada θ katın dönme açısını, r ise elemanın dönme merkezine olan uzaklığını gösterir.

Dönme merkezinden uzakta bulunan köşe kolonlarda, yapının genel ötelenmesinden kaynaklanan talebe burulmadan kaynaklanan ek talep de eklenebilir. Bunun sonucunda bu elemanlarda kesme kuvveti, eğilme momenti ve görel kat ötelemesi talepleri artabilir.

Ancak burulma bulunan her yapıda bütün köşe kolonların mutlaka en büyük iç kuvvetleri alacağı söylenemez. Talebin hangi elemanlarda yoğunlaşacağı; elemanların rijitliklerine, plandaki konumlarına, taşıyıcı sistem düzenine ve burulmanın yönüne bağlıdır.

Burulma düzensizliğinin önemli sonuçlarından biri de tam olarak budur: katın ortalama davranışı kabul edilebilir görünürken, planın bir kenarında veya köşesinde bulunan taşıyıcı elemanlarda çok daha büyük deprem talepleri oluşabilir.

Burulma Düzensizliğinin Deprem Hesabına Etkisi

Burulma nedeniyle aynı kattaki farklı bölgelerde oluşan yatay yer değiştirmeler ve taşıyıcı elemanlardaki iç kuvvetler önemli ölçüde farklılaşabilir.

Katın bir kenarında görelî öteleme artarken diğer kenarında daha düşük kalabilir. Buna bağlı olarak bazı kolon ve perdelerde kesme kuvveti, eğilme momenti ve ötelenme talepleri diğer elemanlara göre daha yüksek olabilir.

Bu nedenle yalnızca katın merkezindeki veya ortalama yer değiştirmesine bakılması, planın kritik bölgelerindeki deprem talebini göstermeyebilir.

A1 düzensizliği ayrıca **Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanabileceği bina sınırlarını** etkiler.

TBDY 2018 Tablo 4.4'e göre, bütün katlarda $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunun sağlanması ve B2 türü düzensizliğin bulunmaması durumunda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi:

- DTS = 1, 1a, 2 ve 2a için $BYS \geq 4$,
- DTS = 3, 3a, 4 ve 4a için $BYS \geq 5$

olan binalarda kullanılabilir.

Bu koşulları sağlamayan diğer binalarda ise sınırlar:

- DTS = 1, 1a, 2 ve 2a için $BYS \geq 5$,
- DTS = 3, 3a, 4 ve 4a için $BYS \geq 6$

şeklindedir.

Dolayısıyla $\eta_{bi} > 2.0$ olması, **her durumda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılamayacağı anlamına gelmez**. Kullanılabilecek hesap yöntemi, binanın DTS ve BYS değerleriyle birlikte TBDY Tablo 4.4'e göre değerlendirilmelidir.

Burulma Düzensizliği Nasıl Giderilir?

Burulma düzensizliğini azaltmanın temel amacı, yapının yatay rijitliğini plan boyunca daha dengeli dağıtmak ve sistemin burulma rijitliğini artırmaktır.

Bunun için:

- Perdelerin planın yalnızca bir bölgesinde yoğunlaştırılmasından kaçınılabilir.
- Kolon ve perdelerin yerleşimi mümkün olduğunca dengeli düzenlenebilir.
- Rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki dışmerkezliği artıran taşıyıcı sistem düzenleri iyileştirilebilir.
- Yatay yük taşıyan elemanların planın dış bölgelerinde dengeli biçimde yerleştirilmesi değerlendirilebilir.
- Büyük kütle asimetrisi mümkün olduğunca azaltılabilir.

Taşıyıcı elemanların planın dış bölgelerinde dengeli biçimde bulunması özellikle burulma rijitliği açısından önemlidir. Dönme merkezinden uzaktaki elemanlar, uygun bir taşıyıcı sistem düzeni içinde burulmaya karşı daha büyük direnç sağlayabilir.

Ancak çözüm yalnızca daha fazla perde eklemek değildir. Yanlış konuma eklenen çok rijit bir perde, rijitlik dağılımını daha da asimetrik hale getirerek burulma davranışını kötüleştirir.

Bu nedenle taşıyıcı sistemde yapılan değişikliklerden sonra analiz tekrarlanmalı ve katlardaki η_{bi} değerlerinin nasıl değiştiği kontrol edilmelidir.

Sonuç

Burulma düzensizliği, bir katın deprem sırasında planda dönmesi sonucunda farklı bölgelerde farklı göreceli öteleme taleplerinin oluşmasıdır.

Bu davranış çoğu zaman kütle ve rijitlik dağılımlarındaki asimetrisiyle ilişkilidir. Ancak TBDY 2018'e göre A1 burulma düzensizliği doğrudan kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafe üzerinden değil, **katın maksimum ve ortalama göreceli ötelemeleri arasındaki oran** üzerinden belirlenir.

Burulma düzensizliğinin azaltılmasında amaç yalnızca yönetmelikte verilen sınır değerleri sağlamak değil, yatay yük taşıyan sistemi planda dengeli düzenleyerek deprem taleplerinin taşıyıcı elemanlara mümkün olduğunca düzenli dağılmasını sağlamaktır.

Kaynaklar

1. TBDY 2018, Bölüm 3.6: Planda Düzensizlik Durumları (A1 - Burulma Düzensizliği).
2. Sucuoğlu, H. ve Akkar, S. (2014). Deprem Mühendisliği Temel İlkeleri. ODTÜ Yayıncılık, Ankara.

Bizi Takip Edin

**LinkedIn**

Yapı Tasarım Akademisi

**YouTube**

Yapı Tasarım Akademisi

**Apple Podcasts**

Yapısal Podcast

**Instagram**

@yapitasarimakademisi

**Spotify**

Yapısal Podcast

**X (Twitter)**

@AkademisiYap

Bu belge eğitim amaçlı hazırlanmıştır. Proje ve uygulama kararlarında güncel yönetmelik ve ilgili standartlara başvurunuz. Hata bildirimi için: iletisim@yapitasarimakademisi.com