

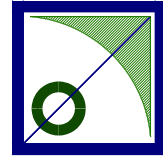
# SAP2000®

Yapıları Sonlu Elemanlarla  
Çözümleme ve Boyutlandırma için  
Yazılımlar Serisi

## ÇELİK YAPI BOYUTLAMA KILAVUZU



COMPUTERS &  
ENGINEERING



Sürüm 7.4, Mayıs 2000  
Türkçe 2.2.2002 Baskısı (İkinci Taslak)

# TELİF HAKKI

Copyright Computer & Structures, Computers & Engineering. Her hakkı saklıdır. SAP2000 programı ve ilgili tüm yazılı belgeler sahiplik ve çoğaltma hakları saklı ürünlerdir. Evrensel sahiplik hakları Computers & Structures Inc.'a aittir. Türkçe yazılı belgelerin sahiplik hakları Computers & Engineering kuruluşuna aittir. Computers & Structures Inc. ve Computers & Engineering kuruluşlarından yazılı izin alınmadan programın lisanssız kullanımını veya yazılı belgelerinin çoğaltılması tamamen yasaktır.

Daha ayrıntılı bilgi, yazılım lisansı ve belgelerin kopyaları için başvuru adresi:

Türkiye, Almanya ve Rus Fed. Devletleri

Ana Dağıtım:

COMPUTERS & ENGINEERING

Holzmühlerweg 87-89

D-35457 Lollar, ALMANYA

Tel: 0049 6406 73667

Fax: 0049 6406 4745

E-Mail: [baser@comp-engineering.com](mailto:baser@comp-engineering.com)

<http://www.comp-engineering.com>

<http://www.csiberkeley.com>

<ftp://ftp.csiberkeley.com/webdd>

© Copyright Computers and Structures Inc., 1978-2002

© Copyright Computers & Engineering 1992-2002

CSI Logo'su Computers & Structures Inc. kuruluşunun tescilli ticari markasıdır.

SAP2000 Computers & Structures Inc. kuruluşunun ticari markasıdır.

# SORUMLULUK

SAP2000 programının ve yazılı belgelerinin hazırlanmasına büyük zaman, çaba harcanmış ve maddi fedakarlık yapılmıştır. Program tam olarak test edilmiş ve kullanılmıştır. Bununla birlikte programı kullanırken, kullanıcı, programın güvenilirliği veya kesinliği konusunda programı hazırlayan veya dağıtanların herhangi bir sorumluluk almadığını veya bunu ima etmediğini kabul eder ve anlar.

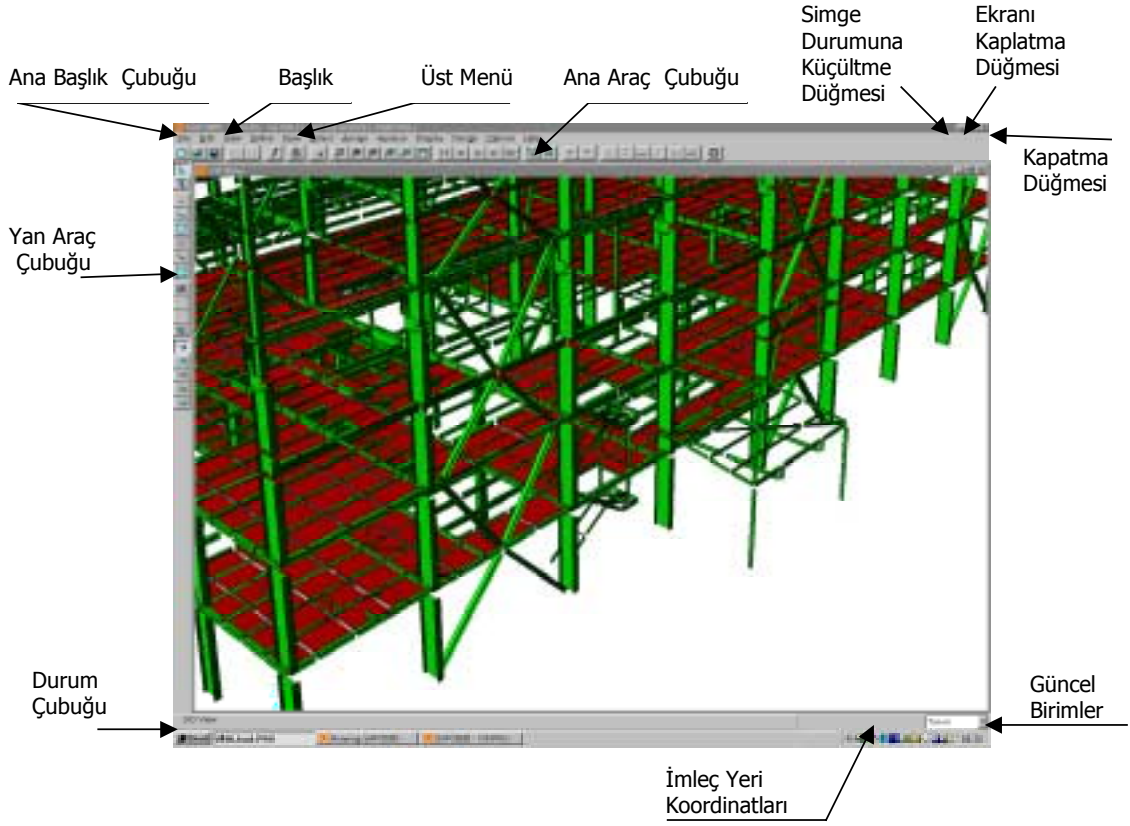
Program, Çelik çerçevelerin boyutlandırması için çok pratik bir araçtır. Programın bundan önceki sürümleri çok başarılı olmuş ve çeşitli tür yapılarda kullanılmıştır. Bununla beraber kullanıcı, bu kılavuzu tamamen ve dikkatlice okumalı ve Çelik hesabında program algoritmalarının **kapsamadığı** durumları iyice anlamalıdır.

Kullanıcı, programın temel varsayımlarını açıkça anlamalı ve programın oluşturduğu sonuçları kendisi bağımsız olarak kontrol etmelidir.

# TEŞEKKÜR

Bu ürünün bugünkü durumuna gelmesinde yıllar boyu süren değerli çalışmalarıyla katkı sağlayan bütün mühendis meslekdaşlarımıza teşekkür ederiz.

Özellikle orjinal SAP serisi programlarının kavramsallaştırılması ve geliştirilmesinden sorumlu, California Berkeley Üniversitesi emekli profesörlerinden Dr. Edward L. Wilson'ı özel olarak anıyoruz. Kendisinin devam eden orijinal çözümler üretmesi, programın bu versiyonunda kullanılan eşsiz kavramlar oluşturulmasında rol oynamıştır.



## SAP2000 MENÜLERİNİN TANIMLARI

SAP2000 komutlarına Uygulama Simgeli (İkon'lu) **Ana Araç Çubuğu**, **Yan Araç Çubuğu**, ve **Üst Menü**'den (Pull Down) erişilecektir. Bununla birlikte Uygulama Simgeli araç çubukları **Üst Menü**'de bulunan işlemlerin çoğuna, daha çabuk erişimi sağlar.

Atama (*Assign*) işlemi sırasında hatırlamanız gereken iki önemli nokta vardır. Birincisi; bir değeri atayacağınız nesneyi belirtmeden önce o değeri tanımlamış (*Define*) olmalısınız. İkincisi; önce elemanları seçmeli (*Select*) sonra onlara yeni büyüklükler atmalı (*Assign*) ya da eskilerini değiştirmelisiniz .



---

# İÇİNDEKİLER:

---

<b>Bölüm I</b>	Giriş	Sayfa 9
<b>Bölüm II</b>	Boyutlama Algoritmaları	13
<b>Bölüm III</b>	AISC-ASD89'a göre Boyutlama	23
<b>Bölüm IV</b>	AISC-LRFD93'e göre Boyutlama	53
<b>Bölüm V</b>	AASHTO 1997'ye göre Boyutlama	87
<b>Bölüm VI-VII</b>	Çevrilmedi	
<b>Bölüm VIII</b>	EUROCODE 3'e göre Boyutlama	107
<b>Bölüm IX</b>	Boyutlama Çıktıları	131
<b>Kaynakça</b>		137



---

# Bölüm I

---

## Giriş

### GENEL

SAP2000 hem çelik hem de betonarme yapıların boyutlaması için güçlü ve tümüyle bütünleştirilmiş program modülleri sunmaktadır. Program kullanıcıya tümü aynı kullanıcı arabirimi içinde olmak üzere yapısal modeller oluşturma, değiştirme, çözümlenme ve boyutlama seçenekleri sağlar. Program aynı arabirim içinden başlangıç elemanlarını boyutlama ve optimize etme kabiliyetine sahiptir.

Program, kullanıcının gerilme durumlarını inceleyebildiği, örneğin kesit büyüklüklerinin yeniden düzenlenmesi gibi uygun değişiklikleri yapabildiği ve yapıyı yeniden çözümlenmesiz boyutlamayı geliştirebildiği etkileşimli bir çevre sağlar. Bir eleman üzerine fare ile bir tıklama ayrıntılı boyutlama bilgisini ekrana getirir. Boyutlama amacı ile elemanlar gruplandırılabilir. Sonuçlar hem grafik ve hem de tablo düzeninde görüntülenebilir ve basılabilir.

Program betonarme ve çelik çerçeve elemanlarının otomatik boyutlaması için çok sayıda en yeni ulusal ve uluslararası yönetmeliği destekleyebilen bir yapıya sahiptir. Şu anda programın desteklediği Çelik Dizayn Yönetmelikleri şunlardır:

- A.B.D. AISC / ASD (1989)
- A.B.D. AISC / LRFD (1994)
- A.B.D. AASHTO LRFD (1997)
- Kanada CAN / CSA - S16.1 - 94 (1994)
- İngiliz BS 5950 (1990), ve
- Avrupa EC3 (ENV 1993-1-1)

Boyutlama, kullanıcının belirlediği bir grup yükleme kombinezonlarına göre uygulanır. Bununla birlikte program, SAP2000 nin desteklediği her bir yönetmeliğe uygun önceden hazırlanmış bir yük kombinezonu veri takımı sağlar. Bu varsayımdaki yük kombinezonları kabul edilebiliyorsa hiçbir ek yük kombinezonu tanımlamaya gerek kalmaz.

Program tasarım sürecinde kullanıcının belirlediği kesit grubu içinden boyutlama yapabilmek için her elemanın dayanımı için en hafif kesitleri seçer. Sağlanmış farklı kesit grupları, farklı eleman grupları için belirtilebilir. Aynı zamanda farklı elemanlar aynı kesit olarak dizayn edilmek için gruplanabilirler.

Program kontrol sürecinde eksenel yük ve çift eksenli moment etkileşimleri ve kesme için istenen/sağlanan kapasite oranlarını üretir. İstenen/sağlanan kapasite oranları, limit durum dizaynı için çarpanlarla artırılmış yüklere ve kapasitelere, müsaade edilebilir gerilme dizaynı için eleman gerilmesine ve müsaade edilebilir gerilmeye dayanır.

Kontroller her kullanıcının belirlediği (veya önceden belirlenen) yük kombinezonları için ve eleman uzunluğu boyunca çeşitli kullanıcı kontrol noktalarında yapılır. Daha sonra maksimum istenen/sağlanan kapasite oranları boyutlama optimizasyonu için kaydedilir ve/veya kullanılır.

Eksenel, eğilme ve kesme tesirleri için müsaade edilebilir bütün gerilme değerleri veya dizayn kapasite değerleri program tarafından hesaplanır. Moment aktaran çerçeve tipi yapılarda kolonlar için etkili boy çarpanlarının hesabıyla ilgili sıkıcı hesaplar programın algoritmasında otomatik olarak yapılır.

Sonuçların sunulduğu açık ve özeldir. Çıkış bilgileri mühendise elemanın gerilme sınırlarını aşması durumunda uygun önlemler alma olanağı verecek formdadır. Programın ürettiği boyutlama bilgileri de sonuçları kolayca gerçekleştirmek için hazırlayıp saklanır.

Sismik dizayn için özel gereksinimler SAP2000 nin şu anki versiyonunda henüz tamamlanmamıştır.

Model geometrisini tanımlama ve boyutlama parametrelerini belirtmede İngiliz birimleri kullanılabilir gibi SI ve MKS metrik birimleride kullanılabilir.

# KİTAP DÜZENİ

Bu el kitabı aşağıda açıklandığı gibi düzenlenmiştir:

İkinci Bölüm SAP2000 programının Çelik Boyutlama işlemlerinin değişik yanlarını özetlemektedir. Bu bölüm SAP2000 Çelik Boyutlamasında en çok geçen terminolojiyi açıklamaktadır.

Bundan sonraki altı bölümün her biri SAP2000 de bulunan belirli bir yönetmeliğin SAP2000 de yorumlandığı ve uygulandığı biçimde ayrıntılı açıklamasını verir. Her bölüm yönetmeliğin gereği olan boyutlama yük kombinezonlarını; çekme, basınç, eğilme ve kesme için müsaade edilebilir gerilme veya kapasite hesaplarını; istenen/sağlanan kapasite oranlarının hesaplarını; ve diğer özel hususları açıklar.

- Üçüncü Bölüm SAP2000 de uygulanan şekli ile AISC ASD (AISC 1989) yönetmeliğinin ayrıntılı bir açıklamasını vermektedir.
- Dördüncü Bölüm SAP2000 de uygulanan şekli ile AISC LRFD (AISC 1994) Şartnamesi'nin ayrıntılı bir açıklamasını vermektedir.
- Beşinci Bölüm SAP2000 de uygulanan şekli ile AASHTO LRFD Şartnamesi'nin (AASHTO 1997) ayrıntılı bir açıklamasını vermektedir.
- Altıncı Bölüm SAP2000 de uygulanan şekli ile Kanada Şartnamesi'nin (CISC 1994) ayrıntılı bir açıklamasını vermektedir. (Türkçe'ye çevrilmemiştir).
- Yedinci Bölüm SAP2000 de uygulanan şekli ile İngiliz Şartnamesi'nin BS5950 (BSI 1990) ayrıntılı bir açıklamasını vermektedir. (Türkçe'ye çevrilmemiştir).
- Sekizinci Bölüm SAP2000 de uygulanan şekli ile Eurocode3 Şartnamesi'nin (CEN 1992) ayrıntılı bir açıklamasını vermektedir.
- Dokuzuncu Bölüm SAP2000 nin çelik boyutlama ile ilgili tablo ve grafik çıkışlarını içeren değişik konuları özetlemektedir.

## ÖNERİLEN OKUMA ŞEKLİ

Kullanıcının İkinci Bölüm deki Boyutlama Algoritmaları ve izleyen altı bölümden ilgi duyduğu yönetmelik bölümünü okuması önerilir. Son olarak, kullanıcı SAP2000 nin çelik boyutlama çıktılarına anlayıp yorumlayabilmesi için Dokuzuncu Bölüm'deki 'Boyutlama Çıktıları' nı okumalıdır.

SAP2000 **Hızlı Alıştırmalar Kılavuzu** el kitabında Bölüm IV'de '**Çelik Çerçeve Boyutlama Örneği**' bulunmaktadır. İlk kullanıcının bu el kitabını okumadan önce bu kılavuzdaki eğitim adımlarını uygulamaları önerilir.

---

## Bölüm II

---

# Boyutlama Algoritmaları

Bu bölüm SAP2000 programının kullandığı çelik kesit hesabı ve kesit kontrolü yöntemleri ile ilgili çeşitli hususların ana çizgilerini verir. Çelik kesit hesabı ve kesit kontrolü SAP2000 de aşağıdaki yönetmeliklerden birine göre yapılabilir.

- Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsünün "Yapısal çelik binalar için müsaade edilebilir gerilme dizaynı ve Plastik dizayn Şartnamesi", AISC-ASD (AISC 1989)
- Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsünün "Yapısal çelik binalar için yük ve mukavemet faktör katsayısının dizayn Şartnamesi", AISC-LRFD (AISC 1994)
- Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Yetkilileri Birliğinin "AASHTO-LRFD Köprü Dizayn Yönetmelikleri", AASHTO-LRFD (AASHTO 1997)
- Kanada Çelik Yapılar Enstitüsünün "Çelik Yapıların limit duruma göre analizi", CAN/CSA-S16.1-94 (CISC 1995)
- İngiliz Standartlar Enstitüsünün "Yapılarda çeliğin yapısal kullanımı" BS5950 (BSI 1990)
- Avrupa Birliği komitesinin "Eurocode3 : Çelik yapıların Dizaynı - Kısım 1.1: Genel kurallar ve yapılar için kurallar", ENV 1993-1-1 (CEN 1992)

Bu yönetmeliklerin her birinin algoritma ayrıntıları, SAP2000 de kullanıldığı şekli ile sonraki bölümlerde verilmiştir. Bununla birlikte bu bölüm bütün boyutlama yönetmelikleri için ortak olan bir taban sağlamaktadır.

Kullanıcının yukarıda bahsedilen dizayn yönetmeliklerinin en azından biriyle aşinalığının olduğu ve yapısal çelik dizaynı alanında yeterli mühendislik birikimine sahip olduğu kabul edilir.

Yönetmeliklerin uygun kısımlarına referans verirken her bir yönetmeliğe kısaltılmış bir ad verilmiştir. Örneğin AASHTO Şartnamesine verilen bütün atıfların önünde "AASHTO" kelimesi gelir. Benzer şekilde:

- AISC-ASD89 Şartnamesine yapılan bütün atıflar "**ASD**" kısaltmasını,
- AISC-LRFD93 Şartnamesine yapılan bütün atıflar "**LRFD**" kısaltmasını,
- Kanada Şartnamesine yapılan bütün atıflar "**CISC**" kısaltmasını,
- İngiliz Şartnamesine yapılan bütün atıflar "**BS**" kısaltmasını,
- Avrupa Şartnamesine yapılan bütün atıflar "**EC3**" kısaltmasını,

taşır.

## BOYUTLAMA YÜK KOMBİNEZONLARI

Boyutlama yük kombinezonları yapının boyutlama hesabı ya da kesit kontrolünde gerekli yükleme durumlarının çeşitli kombinezonlarının belirlenmesi için kullanılır. Kullanılacak yük kombinezonu katsayıları seçilen boyutlama yönetmeliğine göre değişir. Bu yük kombinezonu katsayıları ilgili yükleme durumlarından elde edilen kuvvet ve momentlere uygulanarak toplanır ve yük kombinezonu için çarpanlarla arttırılmış kuvvet ve momentler bulunur.

Davranış spektrumu, zaman tanım alanında hesap yöntemi, hareket eden yükler ve çok-değerli yük kombinezonlarında, etkileşen büyüklükler arasındaki karşılıklı kaybolduğu (zarf alma tipi, karelerin toplamının karekökü veya mutlak değer) çok değerli yük kombinezonlarında, ilgili büyüklüklerin maksimum/minimum permutasyonlarını kullanarak program otomatik olarak çoklu alt kombinezonlar oluşturur. Davranış spektrumları için negatif çarpanlı ayrı kombinezon gerekli değildir, çünkü program otomatik olarak minimumu maksimumun ters işaretlisi olarak alır ve yukarıda açıklanan permutasyonlara gerekli alt kombinezonları oluşturur.

Bir boyutlama kombinezonu zaman tanım alanında hesap veya hareket eden yükün sadece bir tane çok değerli durumu ile ilişkili ise, daha başka seçeneklerde sunulmuştur. Program zaman tanım alanında hesap yönteminin her adımında alt kombinezonlar oluşturmasını isteme seçeneğine sahiptir. Hareket eden yükler kombinezonunda, etkileşimli olan büyüklüklerin birbirine karşı gelen değerleri için her bir boyutlama büyüklüğünün maksimum ve minimumunu kullanarak alt kombinezonlar oluşturma seçeneği vardır.

Statik sabit yük, hareketli yük, rüzgar yükü ve deprem yükü ve/veya dinamik davranış spektrumu deprem yükü ile ilişkili normal yükleme koşullarında, programda her bir yönetmelik için hazır (default) yük kombinezonları vardır. Bunlar yönetmelik önerilerine dayanmaktadır ve her yönetmelik için ilgili bölümde açıklanmıştır.

Hareket eden yükler, zaman tanım alanında hesap, düzenlenmiş hareketli yük, çatı hareketli yükü, kar yükünün ayrı düşünülmesi, vb. Yükleme içeren durumlarda kullanıcı, varolanlar yerine veya onlara ek olarak boyutlama yük kombinezonu tanımlamalıdır.

Programda önceden hazır olan (default) yük kombinezonları, sabit yük olarak tanımlanmış bütün statik yük durumlarının toplanacağını varsayar. Benzer şekilde hareketli yük olarak tanımlanan durumlarında toplanacağı varsayılır. Fakat statik yük durumu olarak tanımlanmış rüzgar, deprem ya da davranış spektrumunun birbiri ile toplanmayacağı ve çoklu yanal yük kombinezonları oluşturacakları varsayılır. Ayrıca deprem ve rüzgar yük durumları yönleri ters alınarak (pozitif veya negatif) ayrı yük kombinezonları oluştururlar. Bu durumlar doğru değilse kullanıcı doğru olan boyutlama kombinezonunu sağlamalıdır.

Bu hazır olan (default) yük kombinezonları, kullanıcı istediği takdirde ya da çelik hesabı için kullanıcı tarafından tanımlanmış başka yük kombinezonları yoksa, boyutlama devreye girer. Hazır olan (default) bu yük kombinezonlarından herhangi biri hesaba girmişse, boyutlama yönetmeliği değiştirildiğinde veya statik ya da davranış spektrumu yüklerinde değişiklik yapıldığında program bütün önceden hazır olan (default) yük kombinezonlarında gerekli değişiklikleri otomatik olarak yapar.

Çarpanlarla arttırılmış yüklerde hareketli yükün payını azaltmak için hareketli yük azaltma çarpanı eleman hareketli yük kuvvetlerine eleman-eleman uygulanır.

Kullanıcı, hareket eden yük ya da zaman tanım alanında hesap yöntemi sonuçlarının çözümlemede çerçeve elemanlarının bazıları veya hepsi için hesaba katılmasını istemedikçe bu yüklerin etkisinin bunları içeren herhangi bir yük kombinezonunda sıfır alınacağını bilmelidir.

## **BOYUTLAMA VE KESİT KONTROL NOKTALARI**

Her elemanda her yük kombinezonu için eleman boyunca belli sayıdaki yerde çelik kesit hesabı veya kesit kontrolü yapılır. Bu yerler elemanın serbest açıklığının eşit aralıklı parçaları ile oluşur. Elemandaki parça sayısı çözümlemeden önce kullanıcı tarafından belirtilir. Kullanıcı eleman boyunca boyutlama hesaplarını daha incelikli kılmak üzere daha çok sayıda parça tanımlı isteyebilir.

Eksenel eğilme etkileşim oranları da kayma gerilme oranları gibi her bir yükleme kombinezonu için eleman uzunluğu boyunca her bir noktada hesaplanır. Gerçek eleman gerilme bileşenleri ve bunlara uyumlu müsaade edilebilir gerilmeler hesaplanır. Daha sonra gerilme oranları yönetmeliklere göre belirlenir. Kontroller için, yönetmelik eşitliklerine, yükleme kombinezonlarına ve noktanın tanımına uygun olarak basınç ve/veya çekme gerilme oranları elde edilir. Gerilme oranının 1'den büyük olması, bir limit durumun aşıldığını veya bir aşırı gerilmeyi gösterir.

## P-Δ ETKİLERİ

SAP2000 boyutlama algoritmaları, çözümleme sonuçlarının P-Δ etkilerini içermesini gerektirir. P-Δ etkileri yanal öteleme yapamayan (çaprazlı çerçeveler) ve yanal öteleme yapan (çaprazsız çerçeveler) için farklı biçimde dikkate alınır. Çaprazlı çerçeveler için P-Δ etkisi "münferit eleman stabilitesi" ile sınırlıdır. Çaprazsız çerçeveler için "yanal ötelenme etkileri" de eleman stabilitesi etkisine ek olarak gözönüne alınmalıdır. SAP2000 de çaprazlı çerçevelerdeki momentlerin sabit veya hareketli yüklerden oluştuğu varsayılmıştır. Çaprazsız çerçevelerdeki momentlerin de diğer tip yüklerden oluştuğu varsayılmıştır.

Münferit eleman stabilite etkileri için momentler AISC-LRFD ve AASHTO-LRFD yönetmeliklerinde olduğu gibi moment büyütme katsayıları ile büyütülür ya da Kanada, İngiliz ve Avrupa yönetmeliklerinde olduğu gibi ek momentlerle büyütülür. Moment büyütme AISC-ASD yönetmeliğinde kullanılmaz.

Yanal öteleme yapan çaprazsız çerçevelerde yanal ötelenme etkisi için P-Δ etkileri AISC-ASD yönetmeliği hariç gözönüne alındığından, SAP2000, büyütmenin sonuçlara katılmış olduğunu varsayar.

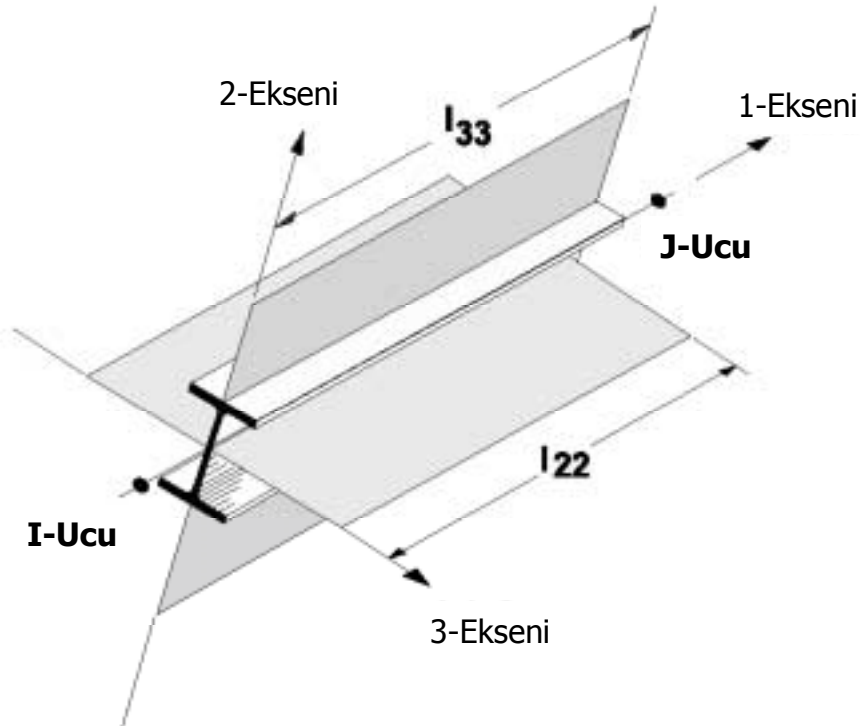
SAP2000 kullanıcıları önceden hazır olan (default) çözümlemede SAP2000'nin P-Δ etkileri için kapalı durumda olduğunu bilmeleri gerekir. P-Δ çözümü için iterasyon sayısı önceden hazır (default) olarak 1'dir. **Kullanıcı P-Δ çözümlemesini açık durumuna getirmeli ve çözümleme için maksimum iterasyon sayısını girmelidir.** AISC-ASD yönetmeliği için P-Δ çözümlemesine gerek yoktur. Daha fazla bilgi için kullanıcı "SAP2000 Analysis Reference Manual (CSI 1997)" kaynağına başvurabilir.

Kullanıcı SAP2000 nin mevcut durumda sadece çerçeve elemanlarında eksenel yük nedeniyle P-Δ etkilerini gözönüne aldığına dikkat etmelidir. Diğer tip elemanlardaki kuvvetler bu etkiye katkıda bulunmazlar. Eğer diğer tip elemanlarda önemli kuvvetler mevcutsa, örneğin kabuk elemanlar olarak modellenmiş perdelerde çok büyük eksenel kuvvetler varsa, P-Δ çözümü ile bulunan ek kuvvetler gereken doğrulukta hesaplanmış olmayacaktır.

## ELEMANLARIN MESNETLENMEMİŞ BOYLARI

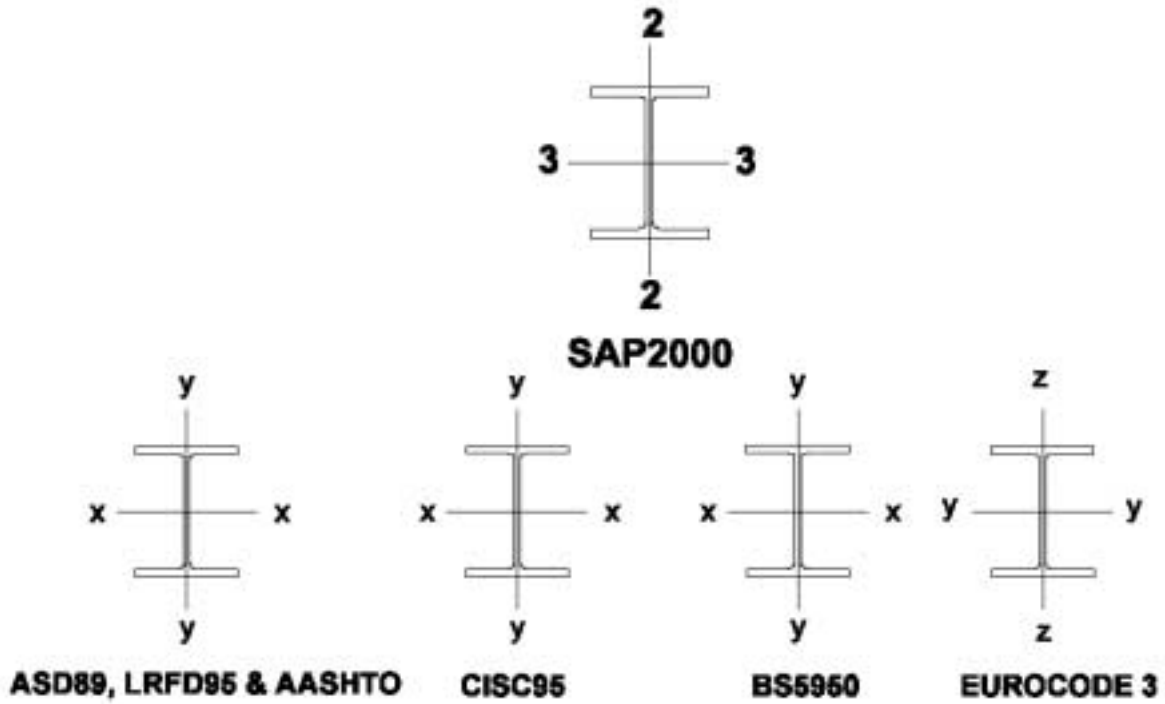
Kolon narinlik etkilerinin hesaba katılması için mesnetlenmemiş kolon boylarına gerek vardır. İki mesnetlenmemiş boy vardır;  $l_{33}$  ve  $l_{22}$ . Bakınız Şekil II-1. Bunlar karşı gelen doğrultularda elemanın mesnet noktaları arasındaki boyudur.  $l_{33}$  boyu 3-3 eksen (kuvvetli eksen) doğrultusunda kararsızlığa,  $l_{22}$  boyu 2-2 eksen (zayıf eksen) doğrultusunda kararsızlığa karşı gelir. Ayrıca  $l_{22}$  boyu kuvvetli eksen doğrultusundaki eğilmeden (yani 3-3 eksen etrafında) dolayı yanıl-burulmalı burkulma içinde kullanılır. SAP2000 eksenleri ile dizayn yönetmeliklerindeki eksenler arasındaki uyumluluk için Şekil II-2 ye bakınız.

Normal olarak elemanın mesnetlenmemiş boyu, eleman boyuna yani END-I (I-ucu) ve END-J (J-ucu) arasındaki uzaklığa eşittir. Şekil II-1 e bakınız. Bununla beraber program, çok sayıda elemandan meydana gelen bir elemanı, dizayn yaparken tek eleman olarak dikkate almak üzere kullanıcıya olanak yaratır. Bu, kuvvetli eksen ve zayıf eksen etrafında eğilmeli durumlarda farklı uygulanabilir. Böylece Şekil II-3' de gösterilen ara noktalar, elemanın mesnetlenmemiş boyu hesabında otomatik olarak dikkate alınır.



**Şekil II-1**  
*Eğilmede Kuvvetli ve Zayıf Eksenler*

$l_{22}$  ve  $l_{33}$  değerlerinin türetilmesinde program bu boya etkiyecek çeşitli parametreleri dikkate alır. Bunlar örneğin; eleman uç bağlantı şekli, kat diyafram bağımlılığı ve mesnet noktaları sınır şartları olabilir. Program otomatik olarak mesnet noktalarını bulur ve mesnetlenmemiş eleman uzunluğunu türetir. Bu nedenle, bir kolonun burkulma boyu gerçek boyundan daha büyük olabilir. Eğer kiriş, kolonu sadece bir yönde çerçeve olarak tutuyorsa, kirişin sadece o yönde kolonu mesnetlediği kabul edilir. Kullanıcı isterse element mesnetlenmemiş boylarını tek tek de tanımlayabilir.

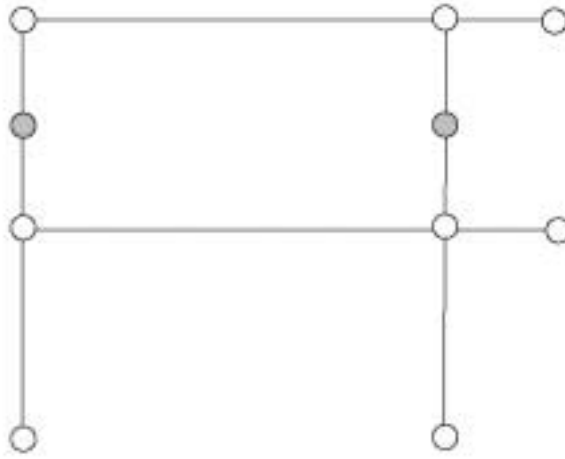


**Şekil II-2**

*SAP2000 ve Yönetmeliklerdeki Kuvvetli ve Zayıf Eksen Tanımının Karşılaştırılması*

## ETKİLİ BOY ÇARPANLARI (BURKULMA BOYU FAKTÖRLERİ)-(K)

Kolon K-çarpmanı algoritması esas olarak kolonların dikey ve kirişlerin yatay olduğu ve K-çarpmanı hesaplanmasının oldukça karmaşık olduğu moment aktaran davranış gösteren bina tipi yapılar için geliştirilmiştir. K-çarpmanlarının hesaplanması amacıyla elemanlar kolonlar, kirişler ve çaprazlar olarak sınıflandırılırlar. Z eksenine paralel tüm elemanlar kolon olarak sınıflandırılır. X-Y düzlemine paralel tüm elemanlar kiriş olarak sınıflandırılır. Geri kalanlar ise çapraz olarak sınıflandırılır.



**Şekil II-3**

*Mesnetsiz boylar aralardaki düğüm noktaları tarafından etkilenir*

Kirişler ve çaprazlar için program elemanın her iki yönünde K çarpmanı olarak 1 verir. Bir kolon elemanı için K çarpmanlarının hesaplanmasında program öncelikle yapı modelindeki her düğüm noktası için aşağıdaki dört rijitlik toplamını bulur:

$$\begin{aligned} S_{cx} &= \sum \left( \frac{E_c I_c}{L_c} \right)_x & S_{bx} &= \sum \left( \frac{E_b I_b}{L_b} \right)_x \\ S_{cy} &= \sum \left( \frac{E_c I_c}{L_c} \right)_y & S_{by} &= \sum \left( \frac{E_b I_b}{L_b} \right)_y \end{aligned}$$

Burada x ve y indisleri, global X ve Y yönlerini; c ve b indisleri ise kolon ve kirişi ifade eder. Lokal 2-2 ve 3-3 terimleri  $EI_{22}/I_{22}$  ve  $EI_{33}/I_{33}$ ,  $(EI/I)_x$  ve  $(EI/I)_y$  değerlerini oluşturmak üzere global X ve Y yönlerindeki bileşikleri vermek için döndürülür. Daha sonra her kolon için, elemanın I-ucu ve J-ucu düğüm noktası toplamları, kolon lokal 1-2-3 koordinat sistemine çevrilir ve elemanın I-ucu ve J-ucu için G-değerleri 2-2 ve 3-3 yönlerinde aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$G^I_{22} = \frac{S^I_{c22}}{S^I_{b22}} \quad G^J_{22} = \frac{S^J_{c22}}{S^J_{b22}}$$

$$G^I_{33} = \frac{S^I_{c33}}{S^I_{b33}} \quad G^J_{33} = \frac{S^J_{c33}}{S^J_{b33}}$$

Eğer bir elemanın herhangi bir ucunda (ve yönünde), bir dönel serbestlik varsa, karşı gelen değer 10.0 alınır. Eğer herhangi bir düğüm noktasındaki tüm serbestlik dereceleri kaldırılırsa, o düğüm noktasına bağlanan tüm elemanların bağlanan uçlarındaki G-değerleri 1.0 alınır. Son olarak eğer herhangi bir yönde  $G^I$  ve  $G^J$  biliniyorsa, o yöne karşı gelen K-çarpanı aşağıdaki denklemi  $\alpha$  için çözerek hesaplanır:

$$\frac{\alpha^2 G^I G^J - 36}{6(G^I + G^J)} = \frac{\alpha}{\tan \alpha}$$

buradan  $K = \frac{\pi}{\alpha}$  dır. Bu denklem yanal ötelemenin engellenmediği moment aktaran çerçevelerin (K-çarpanlarının hesaplanması) için matematiksel bir formülasyondur. Çaprazlı çerçeve yapılar, kafesler, uzay çerçeveler, enerji nakil hattı kuleleri gibi diğer yapılarda bütün elemanlar için K-çarpanları genellikle 1.0 dır ve kullanıcı tarafından 1.0 olarak verilmelidir. Aşağıdakiler kolon K-çarpanı algoritmasıyla ilgili bazı önemli hususlardır:

- Dikkate alınan düğüm noktasında mafsalı olan bir eleman yukarıda hesaplanan rijitlik toplamlarına katılmaz. Dikkate alınan düğüm noktasından uzaktaki diğer ucunda mafsalı olan bir eleman hesaplanan EI değerinin sadece %50' sine katkıda bulunur. Ayrıca konsol kirişler gibi dikkate alınan düğüm noktasından uzaktaki diğer ucunda kolon elemanı olmayan kiriş elemanlarında rijitlik toplamına katılmazlar.
- Eğer bir kolon elemanın herhangi bir yönüne bağlanan hiçbir kiriş mevcut değilse, ilgili G-değeri sonsuz olur. Eğer herhangi bir yön için, kolonun bir ucundaki G-değeri sonsuzsa o yöne karşı gelen K-çarpanı 1.0 alınır.
- Eğer herhangi bir yön için elemanın her iki ucundada dönmesel serbestlikler varsa karşı gelen K-çarpanı 1.0 alınır.
- Otomatikleştirilmiş K-çarpanı hesap işlemleri özellikle eğik kirişlerde, ankastre mesnet koşullarında ve programın elemanların yanal destekli olduğu ve K-çarpanı olarak 1.0 alınması gerektiğini anlamada zorlandığı durumlarda zaman zaman çok yüksek K- çarpanları üretebilir.

- Program tüm elemanlar için hesaplanan K-çarpanları kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Bu değerler kullanıcı tarafından incelenmeli, hatalı görülen değerler araştırılmalı ve düzeltilmelidir.

## **GİRİŞ BİRİMLERİNİN SEÇİMİ**

Giriş bilgilerinde İngiliz birimleri kullanılabilirdiği gibi, SI ve MKS metrik birimleri de kullanılabilir. Fakat yönetmelikler belirli bir birim sistemine dayanırlar. Bundan sonraki bölümlerde sunulan bütün eşitlikler ve tanımlamalar aksi belirtilmedikçe bu özel birim sistemine karşı gelir. Örneğin AISC-ASD yönetmeliği kip-inch-saniye birimlerinde yayınlanmıştır. Programda önceden hazır olan (default) AISC-ASD e Göre Boyutlama bölümündeki bütün eşitlik ve tanımlar kip-inch-saniye birimlerine dönüştürülerek verilmiştir. Bununla birlikte SAP2000 ile bir yapıyı tanımlama ve boyutlamada herhangi bir birim sistemi kullanılabilir.

---

## Bölüm III

---

# AISC-ASD89'a Göre Boyutlama

Bu bölüm kullanıcı AISC-ASD89 Boyutlama Yönetmeliğini (AISC 1989) seçtiğinde SAP2000 nin kullandığı yapısal çelik boyutlama ve gerilme kontrolü algoritmalarının ayrıntılarını açıklamaktadır. Bu bölümde kullanılan semboller Tablo III-1 de listelenmiştir.

Orijinal ASD Yönetmeliğinin ilgili bölüm ve denklemlerine baktığımızda ön ek olarak "ASD" atandığını görürüz. Ancak "Tek köşebent elemanların emniyet gerilmesi yöntemine göre boyutlanması şartnamesi" ne atıfta bulunulduğunda ön ek "ASD SAM" dır.

Boyutlama kullanıcı tarafından belirlenen yük kombinezonlarına dayanır. Fakat program birçok bina tipi yapının boyutlama gereklerini karşılayan önceden hazır olan (default) bir yük kombinezonu grubu sağlar.

Eleman boyuncaki bir noktada (eksenel kuvvet)/(çift eksenli moment) kapasite oranlarının hesabında ilk olarak her yük kombinezonunda gerçek eleman kuvvet/moment bileşkeleri ve karşı gelen kapasiteler hesaplanır. Daha sonra dizayn yük kombinezonlarının etkisi altında bu bölümde tanımlanan ilgili denklemleri kullanarak, her bölümdeki kapasite oranları bulunur. Kontrol eden kapasite oranında elde edilir. 1.0 den büyük bir kapasite oranı gerilme fazlasını ifade eder. Benzer şekilde bir kayma kapasite oranı da hesaplanır.

A	=	Kesit alanı, inç <sup>2</sup>
A <sub>e</sub>	=	Narin kesitler için etkili kesit alanı, inç <sup>2</sup>
A <sub>f</sub>	=	Başlık alanı, inç <sup>2</sup>
A <sub>g</sub>	=	Brüt kesit alanı, inç <sup>2</sup>
A <sub>v22</sub> , A <sub>v33</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kayma alanları, inç <sup>2</sup>
A <sub>w</sub>	=	Gövde kayma alanı, dt <sub>w</sub> , inç <sup>2</sup>
C <sub>b</sub>	=	Eğilme katsayısı
C <sub>m</sub>	=	Moment katsayısı
C <sub>w</sub>	=	Çarpılma sabiti, inç <sup>6</sup>
D	=	Boruların Dış Çapı, inç
E	=	Elastisite modülü, ksi
F <sub>a</sub>	=	Müsaade edilebilir eksenel gerilme, ksi
F <sub>b</sub>	=	Müsaade edilebilir eğilme gerilmesi, ksi
F <sub>b33</sub> , F <sub>b22</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf yönde müsaade edilebilir eğilme gerilmeleri, ksi
F <sub>cr</sub>	=	Kritik basınç gerilmesi, ksi

$$F_{e33}' = \frac{12\pi^2 E}{23 \left[ \frac{K_{33} I_{33}}{r_{33}} \right]^2}$$

$$F_{e22}' = \frac{12\pi^2 E}{23 \left[ \frac{K_{22} I_{22}}{r_{22}} \right]^2}$$

F <sub>v</sub>	=	Müsaade edilebilir kayma gerilmesi, ksi
F <sub>y</sub>	=	Malzemenin akma gerilmesi, ksi
K	=	Etkili boy çarpanı
K <sub>33</sub> , K <sub>22</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki etkili boy K çarpanları
M <sub>33</sub> , M <sub>22</sub>	=	Elemandaki kuvvetli ve zayıf yönlerdeki eğilme momentleri,
M <sub>ob</sub>	=	Köşebent kesitler için yatay torsiyon momenti, kip-inç
P	=	Elemandaki eksenel kuvvet, kips
P <sub>e</sub>	=	Euler burkulma yükü, kips
Q	=	Narin kesit için azaltma çarpanı
Q <sub>a</sub>	=	Berkitilmiş narin elemanlar için azaltma çarpanı
Q <sub>s</sub>	=	Berkitilmemiş narin elemanlar için azaltma çarpanı
S	=	Kesit modülü, inç <sup>3</sup>
S <sub>33</sub> , S <sub>22</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kesit modülleri, inç <sup>3</sup>
S <sub>eff,33</sub> , S <sub>eff,22</sub>	=	Narin kesitler için kuvvetli ve zayıf yönlerdeki etkili kesit modülü, inç <sup>3</sup>
S <sub>c</sub>	=	Köşebent bir kesitte basınç için kesit modülü, inç <sup>3</sup>
V <sub>2</sub> , V <sub>3</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kayma kuvvetleri, kips
b	=	Köşebentlerin uzun ayağının nominal boyutu, inç hadde kutu kesitler için (b <sub>f</sub> -3t <sub>f</sub> ) ve kaynaklılar için (b <sub>f</sub> -2t <sub>w</sub> ), inç

**Tablo III-1**  
*AISC-ASD Sembolleri*

$b_e$	=	Etkili flanş genişliği, inç
$b_f$	=	Başlık genişliği, inç
$d$	=	Elemanın tüm yüksekliği, inç,
$f_a$	=	Hem basınçta hem de çekmedeki aksenal gerilme, ksi
$f_b$	=	Eğilmedeki normal gerilme, ksi
$f_{b33}, f_{b22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki eğilmede normal gerilme, ksi
$f_v$	=	Kayma gerilmesi, ksi
$f_{v2}, f_{v3}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki eğilmede kayma gerilmesi, ksi
$h$	=	I-Kesitler için başlıklar arasındaki net mesafe ( $d-2t_f$ ), inç,
$h_e$	=	Başlıklar arasındaki net mesafe eksi yuvarlak dolgu kısımlar, inç,
$k$	=	Başlığın dış yüzünden başlığın gövde ucuna olan mesafe, inç
$k_c$	=	Kesitleri sınıflandırmak için kullanılan parametre

$$\frac{h}{t_w} > 70 \quad \text{ise} \quad \frac{4.05}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^{0.46}}$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 70 \quad \text{ise} \quad 1$$

$I_{33}, I_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki mesnetlenmemiş eleman boyları, inç
$l_c$	=	Kritik uzunluk, inç
$r$	=	Atalet yarıçapı, inç,
$r_{33}, r_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki atalet yarıçapları, inç <sup>2</sup>
$r_z$	=	Köşebentler için minimum atalet yarıçapı, inç
$t$	=	Kalınlık, inç
$t_f$	=	Başlık kalınlığı, inç
$t_w$	=	Gövde kalınlığı, inç
$\beta_w$	=	Köşebent için özel kesit değeri, inç

**Tablo III-1**  
*AISC-ASD Sembolleri (devam)*

Giriş bilgileri için İngiliz birimleri olduğu kadar SI ve MKS metrik birimleri de kullanılabilir. Fakat yönetmelik kip-inch-saniye sistemine dayanmaktadır. Aksi belirtilmedikçe basitliği sağlamak üzere bu bölümdeki bütün eşitlikler ve açıklamalar kip-inch-saniye birim sisteminde verilmiştir.

## BOYUTLAMA YÜK KOMBİNEZONLARI

Boyutlama yük kombinezonları, belirtilen yükleme durumlarının, yapının kesit hesaplarında kullanılacak çeşitli birleştirme şekilleridir. AISC-ASD89 Yönetmeliğine göre eğer yapı sadece sabit yük (DL) ve hareketli yük (LL) taşıyorsa boyutlama sadece bir yük kombinezonunu gerektirir, buda DL +LL (AISC A.4). Bununla birlikte, eğer yapıda sabit ve hareketli yüklere ek olarak rüzgar (WL) ve deprem (EL) yükleride varsa, rüzgar ve deprem yüklerinin yön değiştiren kuvvetler olduğuda gözönünde tutularak, aşağıdaki yük kombinezonlarının çelik çerçevelerin boyutlandırılması için gözönüne alınması gerekir. (ASD A.4):

DL	(ASD A4.1)
DL + LL	(ASD A4.1)
DL ± WL	(ASD A4.1)
DL + LL ± WL	(ASD A4.1)
DL ± EL	(ASD A4.1)
DL + LL ± EL	(ASD A4.1)

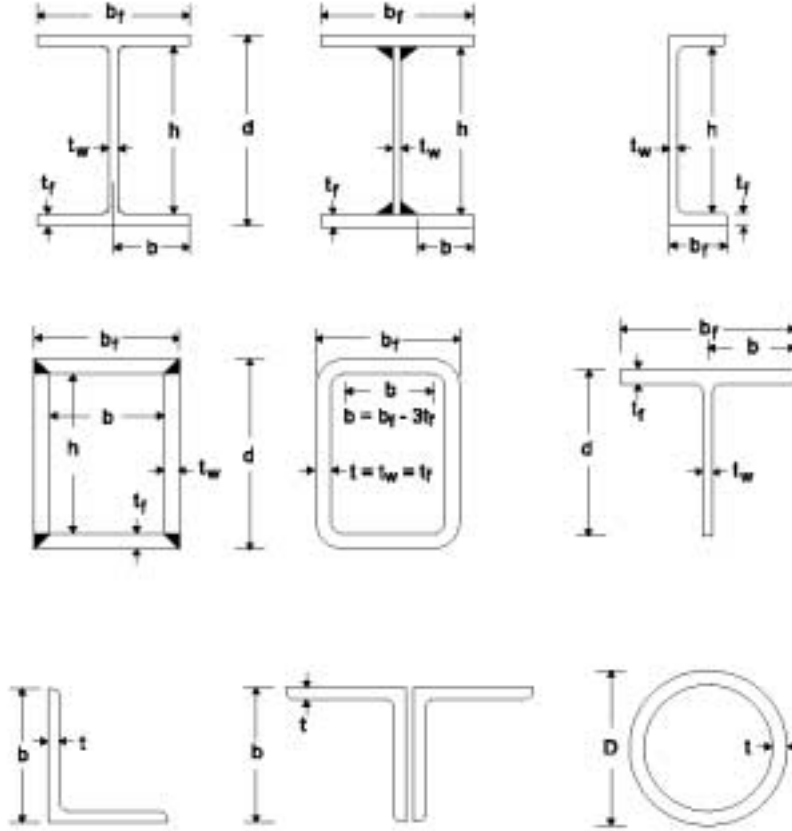
Bunlar aynı zamanda, AISC-ASD89 yönetmeliği kullanıldığında SAP2000 nin önceden hazır olan (default) boyutlama yük kombinezonlarıdır. Kullanıcı, gerektiğinde diğer uygun yük kombinezonlarını da dikkate almalıdır. Örneğin; çatı hareketli yükü farklı olarak düşünülecekse, farklı hareket yükleri varsa v.b.

Boyutlandırma deprem ve rüzgar yüklerini içeren kombinezonlarla yapılırken müsaade edilen gerilmeler müsaade edilen değer in %33 ü kadar arttırılır. (ASD A5.2).

Çarpanlarla arttırılmış yüklerde hareketli yükün payını azaltmak için hareketli yük azaltma çarpanı, eleman hareketli yük kuvvetlerine eleman-eleman uygulanır.

# KESİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Eksenel basınç ve eğilme için müsaade edilebilir gerilmeler, kesitin kompakt, kompakt olmayan, narin veya aşırı narin şeklindeki sınıflandırımına bağlıdır. SAP2000 programı, her elemanı Tablo III-2 (ASD B5.1, F3.1, F5, G1, A-B5-2) de verilen genişlik/kalınlık sınırlaması oranlarına göre sınıflandırır. Bu tablodaki kesit değerlerinin tanımı Şekil III-1 ve Tablo III-1 de verilmiştir.



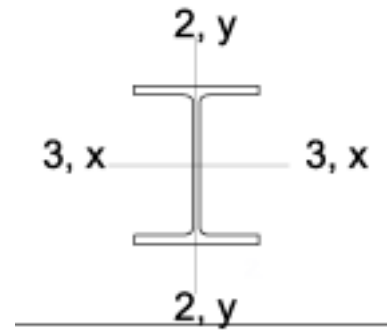
## AISC-ASD89: Profil eksenleri tanımlama kuralları

2-2:

Gövdeye paralel kesit eksen,  
Borularda daha uzun olan boyut,  
Tek köşebentlerin uzun olan kenarı veya  
Çift köşebentlerin karşı karşıya gelen kenarları.  
Bu, y-y eksenine aynıdır.

3-3:

2-2 eksenine dik olan eksenidir. Bu, x-x eksenidir.



## Şekil III-1

*Geometrik Kesit Değerlerinin AISC-ASD Yönetmeliğine göre tanımı*

Kesitin Tanımı	Kontrol Edilen Oran	Kompakt Kesit	Kompakt Olmayan Kesit	Narin Kesit
I-kesitler	$b_f/2t_f$ (Hadde)	$\leq 65/\sqrt{F_y}$	$\leq 95/\sqrt{F_y}$	Sınır Yok
	$b_f/2t_f$ (Kaynaklı)	$\leq 65/\sqrt{F_y}$	$\leq 95/\sqrt{F_y/k_c}$	Sınır Yok
	$d/t_w$	$\frac{f_a}{F_y} \leq 0.16$ için $\leq \frac{640}{\sqrt{F_y}} \left(1 - 3.74 \frac{f_a}{F_y}\right)$	Sınır Yok	Sınır Yok
		$\frac{f_a}{F_y} > 0.16$ için $\leq 257/\sqrt{F_y}$		
$h/t_w$	Sınır Yok	Sadece basınç ise $\leq 253/\sqrt{F_y}$ Aksi durumda $\leq 760/\sqrt{F_b}$	$\leq \frac{14000}{\sqrt{F_y}(F_y + 16.5)}$ $\leq 260$	
Kutu kesitler	$b/t_f$	$\leq 190/\sqrt{F_y}$	$\leq 238/\sqrt{F_y}$	Sınır Yok
	$d/t_w$	I kesitler gibi	Sınır Yok	Sınır Yok
	$h/t_w$	Sınır Yok	I kesitler gibi	I kesitler gibi
	Diğer	$t_w \geq t_f/2, d_w \leq 6b_f$	-	-
U kesitler	$b/t_f$	I kesitler gibi	I kesitler gibi	Sınır Yok
	$d/t_w$	I kesitler gibi	Sınır Yok	Sınır Yok
	$h/t_w$	Sınır Yok	I kesitler gibi	I kesitler gibi
	Diğer	Sınır Yok	Sınır Yok	Kaynaklı: $b_f/d_w \leq 0.25,$ $t_f/t_w \leq 3.0$ Hadde: $b_f/d_w \leq 0.5,$ $t_f/t_w \leq 2.0$

**Tablo III-2**

*AISC-ASD Yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırılmasında Basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları*

Kesitin Tanımı	Kontrol Edilen Oran	Kompakt Kesit	Kompakt Olmayan Kesit	Narin Kesit
T kesitler	$b_f / 2t_f$	$\leq 65 / \sqrt{F_y}$	$\leq 95 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
	$d / t_w$	Uygulanamaz	$\leq 127 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
	Diğer	Sınır Yok	Sınır Yok	Kaynaklı: $b_f / d_w \geq 0.5$ , $t_f / t_w \geq 1.25$ Hadde: $b_f / d_w \geq 0.5$ , $t_f / t_w \geq 1.10$
Çift köşebent	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
Tek köşebent	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
Borular	$D / t$	$\leq 3300 / F_y$	$\leq 3300 / F_y$	$\leq 13000 / F_y$ (Sadece basınçta) Eğilme için sınır yok.
Dörtköşe	-	Kompakt Varsayılmıştır.		
Dörtgen veya Dairesel	-	Kompakt olmayan Varsayılmıştır.		
Genel	-	Kompakt olmayan varsayılmıştır.		

**Tablo III-2**

*AISC-ASD Yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırılmasında Basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları (devam)*

Eğer kesit boyutları tabloda gösterilen sınırları aşmıyorsa kesit kompakt, kompakt olmayan ve narin olarak sınıflandırılır.

Eğer kesit kompakt olan kesitler için gereken şartları sağlıyorsa, kesit *kompakt* olarak sınıflandırılır.

Eğer kesit kompakt olan kesitler için gereken şartları sağlamıyorsa, fakat (kompakt olmayan) kesitlerin şartlarını sağlıyorsa, kesit (*kompakt olmayan*) olarak sınıflandırılır. Eğer kesit her ikisinin de şartlarını sağlamıyor fakat narin kesitler için gerekli şartları sağlıyorsa, kesit *narin* olarak sınıflandırılır. Narin kesit sınırlarını da aşarsa (*aşırı narin*) olarak sınıflanır. **Aşırı narin kesitlerin gerilme kontrolü SAP2000 programının kapsamının dışındadır.**

I-kesit, kutu ve U-kesitlerin gövde narinliği sınıflamasında, hiç bir berkitme levhasının kullanılmadığı varsayılmıştır (ASD F5, G1). Çift köşebentler emniyetli tarafta olmak üzere ayrılmış farzedilmiştir.

## GERİLMELERİN HESABI

Gerilmeler, daha önceden tanımlanmış kontrol noktalarının her birinde hesaplanır. Narin olmayan kesitlerin her bir yük kombinasyonu için hesaplanan eleman gerilmeleri genelde tüm kesit alanı özelliklerine bağlıdır:

$$\begin{aligned}f_a &= P/A \\f_{b33} &= M_{33}/S_{33} \\f_{b22} &= M_{33}/S_{22} \\f_{v2} &= V_2/A_{v2} \\f_{v3} &= V_3/A_{v3}\end{aligned}$$

Eğer kesit; narin elemanlarla berkitilmiş bir elemana ait narin bir kesit ise, örneğin I kesitindeki narin bir gövde gibi, U ve kutu kesitler veya kutu kesitlerde narin flanşlar gibi bu durumda gerilmelerin hesaplanmasında kullanılacak etkin kesit modülü azaltılmış gövde ölçülerine ve azaltılmış flanş ölçülerine bağlı olarak hesaplanır.

$$\begin{aligned}f_a &= P/A && \text{(ASD A-B5.2d)} \\f_{b33} &= M_{33}/S_{eff,33} && \text{(ASD A-B5.2d)} \\f_{b22} &= M_{33}/S_{eff,22} && \text{(ASD A-B5.2d)} \\f_{v2} &= V_2/A_{v2} && \text{(ASD A-B5.2d)} \\f_{v3} &= V_3/A_{v3} && \text{(ASD A-B5.2d)}\end{aligned}$$

Eğilme gerilmeleri ise; asal eksen özelliklerine bağlı olarak hesaplanır. I, kutu, U, çift köşebent, boru, yuvarlak veya kare kesitlerde asal eksen geometrik eksenle çakışır. Tek köşebentte de boyutlandırma işlemi gerçek asal eksenleri hesaba katar. Genel kesitlerde, tüm kesit özelliklerinin asal yönler göre verildiği kabul edilir.

Tek köşebent için kesme gerilmeleri geometrik eksen boyunca hesaplanır. Diğer tüm kesitlerde ise kesme gerilmeleri hem asal hem de geometrik eksen boyunca hesaplanır.

# MÜSAADE EDİLEN GERİLMELERİN HESAPLANMASI

Basınç, çekme, eğilme ve kayma hallerindeki müsaade edilebilir gerilmeler, kompakt, kompakt-olmayan ve narin kesitler için aşağıdaki alt bölümlere göre hesaplanır. Tüm kesit şekillerinde müsaade edilebilir eğilme gerilmeleri asal eğilme eksenleri esas alınarak hesaplanır. I, kutu, U, çift köşebent, boru, yuvarlak veya kare kesitlerde asal eksen geometrik eksenle çakışır. Tek köşebent kesitlerde ise önce asal eksen belirlenir ardından tüm eğilme gerilmeleri hesabı buna göre yapılır.

*Eğer kullanıcı bir veya daha fazla eleman için SAP 2000'in "Eleman dizayn bilgilerini yeniden tanımla (Redefine Element Design Data)" formu üzerinde müsaade edilebilir gerilmeler için sıfırdan farklı bir değer girdiyse, bu değerler yukarıda bahsedilen hesaplanmış değerlerin yerine aşağıdaki alt başlıklarda anlatıldığı şekilde program tarafından yazılır. Tanımlanan müsaade edilebilir gerilme, eğilme asal eksenine bağlı olarak elde edilmiş olmalıdır.*

## Müsaade Edilebilir Çekme Gerilmesi

Müsaade edilebilir aksenal çekme gerilmesi değeri  $F_a$ ,  $0.6 F_y$  olarak kabul edilir.

$$F_a = 0.6 F_y \quad (\text{ASD D1, ASD SAM2})$$

**Net kesit kontrollerinin yapılmadığına dikkat edilmelidir.** Gerilme altında çalışan elemanlarda  $l/r$  'nin 300 'den büyük olması durumunda bu etkiye ait uyarılar çıktıda görülür (ASD B7, ASD SAM2). Tek köşebentlerde  $l/r$  değeri hesaplanırken  $r_{22}$  ve  $r_{33}$  yerine en küçük atalet yarıçapı  $r_z$  kullanılır.

## Basınçta Müsaade Edilebilir Gerilme

Müsaade edilebilir aksenal basınç gerilmesi eğilmeli burkulma ve eğilmeli-burulmalı burkulma değerlerinden en küçüğüdür. Müsaade edilebilir basınç gerilmesi aşağıdaki altbölümlerde anlatıldığı gibi belirlenir.

Basınç altında çalışan bir elemanda  $K l / r$  'nin 200 'den büyük olması durumunda bu etkiye ait uyarılar çıktıda görülür (ASD B7, ASD SAM4). Tek köşebentlerde  $K l / r$  değeri hesaplanırken  $r_{22}$  ve  $r_{33}$  yerine en küçük atalet yarıçapı değeri  $r_z$  kullanılır.

## Eğilmeli Burkulma

Müsaade edilebilir aksenal basınç gerilmesi değeri  $F_a$ , tüm kesit özellikleri ve buna ilişkin  $C_c$  değerine bağlı olarak bulunan narinlik oranı  $K l / r$  ' ye bağlıdır. Burada;

$\frac{Kl}{r}$  değeri  $\frac{K_{33}l_{33}}{r_{33}}$  ve  $\frac{K_{22}l_{22}}{r_{22}}$  'nin büyüğüdür, ve;

$$C_c = \sqrt{(2\pi^2 E)/F_y} \text{ dir.} \quad (\text{ASD E2, ASD SAM 4})$$

Tek köşebentlerde  $Kl/r$  değeri hesaplanırken  $r_{22}$  ve  $r_{33}$  yerine en küçük atalet yarıçapı değeri  $r_z$  kullanılır.

Kompakt ve kompakt-olmayan elemanlarda  $F_a$  değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\frac{Kl}{r} \leq C_c \text{ ise} \quad F_a = \frac{\left\{1.0 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right\} F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}}, \quad (\text{ASD E2-1, SAM 4-1})$$

$$\frac{Kl}{r} \leq C_c \text{ ise} \quad F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \quad (\text{ASD E2-2, SAM 4-2})$$

Kompakt ve kompakt-olmayan kesitlerde (ASD E-1, B7)  $Kl/r$  değerinin 200'den büyük olması durumunda, hesaplanan  $F_a$  değeri ASD E2-2 denklemi kullanılarak hesaplanan  $F_a$  değerinden büyük olmayacak şekilde ayarlanır.

Narin boru kesitler hariç tüm narin kesitlerde  $F_a$  değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Kl/r \leq C'_c \text{ ise,} \quad F_a = \frac{\left\{1.0 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c'^2}\right\} F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c'} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c'^3}} \quad (\text{ASD A-B5-11, SAM 4-1})$$

$$Kl/r > C'_c \text{ ise,} \quad F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \quad (\text{ASD A-B5-11, SAM 4-2})$$

Burada,

$$C'_c = \sqrt{(2\pi^2 E)/QF_y} \quad (\text{ASD A-B5.2c, ASD SAM-4})$$

Narin kesitlerde  $Kl/r$  değerinin 200'den büyük olması durumunda, hesaplanan  $F_a$  değeri ASD A-B5-12 (ASD B7, E1) denklemi kullanılarak hesaplanan  $F_a$  değerinden büyük olmayacak şekilde ayarlanır.

Narin boru kesitlerde  $F_a$  değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$F_a = [662 / (D/t)] + 0.40 F_y \quad (\text{ASD A-B5-9})$$

Tüm kompakt ve kompakt-olmayan kesitlerde azaltma çarpanı  $Q$ , 1 alınır.  $Q$ , narin kesitlerde aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q = Q_s Q_a \quad (\text{ASD A-B5.2.c, SAM4})$$

Burada;

$$Q_s = \text{Berkitilmemiş narin elemanlar için azaltma çarpanını} \quad (\text{ASD A-B5.2.a})$$

$$Q_a = \text{Berkitilmiş narin elemanlar için azaltma çarpanını temsil eder.} (\text{ASD A-B5.2.c})$$

Narin kesitler için kullanılan  $Q_s$  çarpanları tablo III-3 te (ASD A-B5.2a, ASD SAM4) anlatıldığı gibi hesaplanır. Narin kesitler için kullanılan  $Q_a$  çarpanları da etkin kesit alanının tüm kesit alanına oranı olarak hesaplanır.

$$Q_a = A_e / A_g \quad (\text{ASD A-B5-10})$$

Etkin kesit alanı etkin genişliğe bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$A_e = A_g - \sum (b - b_e) t$$

Berkitilmemiş elemanlarda  $b_e$  değeri  $b$ 'ye eşit alınır. Berkitilmiş elemanlarda ise; bu değer tablo III-4 ' te (ASD A-B5.2b) verilen  $b$  değerine eşit veya bundan küçük olarak alınır. Yukarıdaki denklemdeki  $h_e$  ve  $h$  değeri I gövdelerinde, kutu kesitlerde ve U kesitlerde sırasıyla  $b_e$  ve  $b$  olarak kullanılır.

## Eğilmeli ve Burulmalı Burkulma

Müsaade edilebilir aksenal basınç gerilmesi değeri  $F_a$ , eğilmeli-burulma burkulması ve burulma burkulması değerlerinin sınır değerlerinden aşağıdaki şekilde elde edilir (ASD E3, C-E3):

$$(Kl/r)_e \leq C'_c \text{ ise, } F_a = \frac{\left\{ 1.0 - \frac{(Kl/r)_e^2}{2C_c'^2} \right\} F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)_e}{8C_c'} - \frac{(Kl/r)_e^3}{8C_c'^3}} \quad (\text{E2-1, A-B5-11})$$

$$(Kl/r)_e > C'_c \text{ ise, } F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \quad (\text{E2-2, A-B5-12})$$

Kesit	Berkitilmemiş Narin Elemanlar için Azaltma Çarpanı	
-------	--	--

Tipi	$(Q_s)$	İlgili Eşitlik
I- Kesit	$Q_s = \begin{cases} 1.0 & \text{if } b_f/2t_f \leq 95/\sqrt{F_y/k_c}, \\ 1.293 - 0.00309[b_f/2t_f]\sqrt{F_y/k_c} & \text{if } 95/\sqrt{F_y/k_c} < b_f/2t_f < 195/\sqrt{F_y/k_c}, \\ 26,200 k_c / \{ [b_f/2t_f]^2 F_y \} & \text{if } b_f/2t_f \geq 195/\sqrt{F_y/k_c}. \end{cases}$	ASD A-B5-3, ASD A-B5-4
Kutu	$Q_s = 1$	ASD A-B5-2c
U- Kesit	I-Kesitlerdeki $b_f/2t_f$ yerine $b_f/t_f$	ASD A-B5-3, ASD A-B5-4,
T- Kesit	Flanşlar, I- Kesitlerde olduğu gibi. Gövde için: $Q_s \leq \begin{cases} 1.0, & \text{if } d/t_w \leq 127/\sqrt{F_y}, \\ 1.908 - 0.00715[d/t_w]\sqrt{F_y}, & \text{if } 127/\sqrt{F_y} < d/t_w < 176/\sqrt{F_y}, \\ 20,000 / \{ [d/t_w]^2 F_y \}, & \text{if } d/t_w \geq 176/\sqrt{F_y}. \end{cases}$	ASD A-B5-3, ASD A-B5-4, ASD A-B5-5, ASD A-B5-6,
Çift Köşebent	$Q_s = \begin{cases} 1.0, & \text{if } b/t \leq 76/\sqrt{F_y}, \\ 1.340 - 0.00447[b/t]\sqrt{F_y}, & \text{if } 76/\sqrt{F_y} < b/t < 155/\sqrt{F_y}, \\ 15,500 / \{ [b/t]^2 F_y \}, & \text{if } b/t \geq 155/\sqrt{F_y}. \end{cases}$	ASD A-B5-1, ASD A-B5-2, SAM4-3
Tek Köşebent	$Q_s = \begin{cases} 1.0, & \text{if } b/t \leq 76/\sqrt{F_y}, \\ 1.340 - 0.00447[b/t]\sqrt{F_y}, & \text{if } 76/\sqrt{F_y} < b/t < 155/\sqrt{F_y}, \\ 15,500 / \{ [b/t]^2 F_y \}, & \text{if } b/t \geq 155/\sqrt{F_y}. \end{cases}$	ASD A-B5-1, ASD A-B5-2, SAM4-3
Boru	$Q_s = 1$	ASD A-B5-2c
Yuvarlak Çubuk	$Q_s = 1$	ASD A-B5-2c
Dörtköşe	$Q_s = 1$	ASD A-B5-2c
Genel	$Q_s = 1$	ASD A-B5-2c

**Tablo III-3**  
*Berkitilmemiş Narin Elemanlar için Azaltma Çarpanı,  $Q_s$*

Kesit Tipi	Berkitilmiş Kesitler için Etkin Genişlik	İlgili Eşitlik
I- Kesit	$h_e = \begin{cases} h, & \text{if } \frac{h}{t_w} \leq \frac{195.74}{\sqrt{f}}, \\ \frac{253 t_w}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{44.3}{(h/t_w)\sqrt{f}} \right], & \text{if } \frac{h}{t_w} > \frac{195.74}{\sqrt{f}}. \end{cases}$	Sadece basınç, $f = P / A_g$
Kutu	$h_e = \begin{cases} h, & \text{if } \frac{h}{t_w} \leq \frac{195.74}{\sqrt{f}}, \\ \frac{253 t_w}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{44.3}{(h/t_w)\sqrt{f}} \right], & \text{if } \frac{h}{t_w} > \frac{195.74}{\sqrt{f}}. \end{cases}$	Sadece basınç, $f = P / A_g$
	$b_e = \begin{cases} b, & \text{if } \frac{b}{t_f} \leq \frac{183.74}{\sqrt{f}}, \\ \frac{253 t_f}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{50.3}{(b/t_f)\sqrt{f}} \right], & \text{if } \frac{b}{t_f} > \frac{183.74}{\sqrt{f}}. \end{cases}$	Basınç veya eğilme, $f = F_y$
U- Kesit	$h_e = \begin{cases} h, & \text{if } \frac{h}{t_w} \leq \frac{195.74}{\sqrt{f}}, \\ \frac{253 t_w}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{44.3}{(h/t_w)\sqrt{f}} \right], & \text{if } \frac{h}{t_w} > \frac{195.74}{\sqrt{f}}. \end{cases}$	Sadece basınç, $f = P / A_g$
T- Kesit	$b_e = b$	ASD A-B5.2c
Çift Köşebent (Ayrılmış)	$b_e = b$	ASD A-B5.2c
Tek Köşebent	$b_e = b$	ASD A-B5.2c
Boru	$Q_s = 1$ , (Bununla beraber müsaade edilen eksenel gerilme için özel ifadeler verilmiştir)	ASD A-B5-9
Yuvarlak Çubuk	Uygulanamaz	-
Dörtköşe	$b_e = b$	ASD A-B5.3b
Genel	Uygulanamaz	-

Not: Yük kombinasyonunun bir rüzgar yükü veya bir deprem yükünü içerdiği durumlarda  $f$  değerine  $\frac{3}{4}$  azaltma çarpanı uygulanır. (ASD A-B5.2b)

**Tablo III-4**  
Berkitilmiş Kesitler için Etkin Genişlik

Burada,

$$C'_e = \sqrt{(2\pi^2 E) / QF_y} \quad , \text{ ve} \quad (\text{ASD A-B5.2c, ASD SAM-4})$$

$$(Kl/r)_e = \sqrt{(\pi^2 E) / F_e} \quad \text{dir.} \quad (\text{ASD C-E2-2, SAM 4-4})$$

ASD açıklamaları  $F_e$ 'nin hesaplanmasında (ASD C-E3) AISC-LRFD yönetmeliğinin 1986 yılındaki versiyonuna atıfta bulunur. AISC-LRFD yönetmeliğinin 1993 yılı versiyonu bu açıdan 1986 yılı versiyonu ile aynıdır.  $F_e$  SAP2000'de aşağıdaki şekilde hesaplanır:

- Dikdörtgen, I, kutu ve boru kesitler için:

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z I_z)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_{22} + I_{33}}, \quad (\text{LRFD A-E3-5})$$

- T-kesitler ve çift köşebentler için:

$$F_e = \left[ \frac{F_{e22} + F_{ez}}{2H} \right] \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{e22} F_{ez} H}{(F_{e22} + F_{ez})^2}} \right] \quad (\text{LRFD A-E3-6})$$

- U-kesitler için:

$$F_e = \left[ \frac{F_{e33} + F_{ez}}{2H} \right] \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{e33} F_{ez} H}{(F_{e33} + F_{ez})^2}} \right] \quad (\text{LRFD A-E3-6})$$

- Eşit kollu tek köşebentler için:

$$F_e = \left[ \frac{F_{e33} + F_{ez}}{2H} \right] \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{e33} F_{ez} H}{(F_{e33} + F_{ez})^2}} \right] \quad (\text{ASD SAM C-C4-1})$$

- Farklı kollu tek köşebentler için,  $F_e$  aşağıdaki kübik denkleminin (ASD SAM C-C4-2, LRFD A-E3-7) minimum gerçel kökü olarak hesaplanır:

$$(F_e - F_{e33})(F_e - F_{e22})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{e22}) \left( \frac{x_0}{r_0} \right)^2 - F_e^2 (F_e - F_{e33}) \left( \frac{y_0}{r_0} \right)^2 = 0,$$

Burada,

$x_0, y_0$  ağırlık merkezine göre kayma merkezinin koordinatlarıdır, çift köşebent ve T kesitli elemanlar (y-eksenine göre simetrik) için  $x_0 = 0$  dır.

$$r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_{22} + I_{33}}{A_g}} : \text{kayma merkezine göre polar atalet yarıçapı,}$$

$$H = 1 - \left( \frac{x_0^2 + y_0^2}{r_0^2} \right), \quad (\text{LRFD A-E3-9})$$

$$F_{e33} = \frac{\pi^2 E}{(K_{33} I_{33} / r_{33})^2}, \quad (\text{LRFD A-E3-10})$$

$$F_{e22} = \frac{\pi^2 E}{(K_{22} I_{22} / r_{22})^2}, \quad (\text{LRFD A-E3-11})$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z I_z)^2} + GJ \right] \frac{1}{A r_0^2}, \quad (\text{LRFD A-E3-12})$$

$K_{22}, K_{33}$  zayıf ve kuvvetli yöndeki etkili boy çarpanlarıdır,

$K_z$  burulmalı burkulma için etkili boy çarpanıdır ve SAP2000 programında  $K_{22}$ 'ye eşit alınır.

$I_{22}$  ve  $I_{33}$  zayıf ve kuvvetli yönlerdeki etkili boylardır,

$I_z$  burulmalı burkulma için etkili boylardır ve  $I_{22}$ 'ye eşit alınır.

Köşebentlerde, asal atalet momenti ve atalet yarıçapı  $F_e$  'nin hesaplanmasında kullanılır (ASD SAM 4). Aynı zamanda burada  $F_{e22}$  ve  $F_{e33}$  'ün hesaplanmasında  $K_{22} L_{22}$  veya  $K_{33} L_{33}$  yerine  $Kl$  'nin en büyük değeri yani  $(K_{22} L_{22}, K_{33} L_{33})$  değerlerinden en büyüğü kullanılır.

## Eğilmede Müsaade Edilebilir Gerilme

Müsaade edilebilir eğilme gerilmesi aşağıdaki kriterlere bağlıdır; kesitin geometrik şekline, eğilme eksenine, kesitin kompakt olup olmadığına ve boy parametresine.

## I-Kesitler

Tüm I-kesitleri için boy parametresi, yanal berkitilmemiş boy  $l_{22}$  olarak alınır ve bu değer kritik boy  $l_c$  ile karşılaştırılır. Kritik boy,

$$l_c = \min \left[ \frac{76b_f}{\sqrt{F_y}}, \frac{20000A_f}{dF_y} \right] \quad (\text{ASD F1-2})$$

olarak tanımlanır.

### *Kuvvetli eksende eğilme*

Eğer  $l_{22}$  değeri  $l_c$  den küçükse müsaade edilebilir kuvvetli yöndeki eğilme gerilmesi kompakt ve kompakt olmayan kesitlerde kesitlerin kaynaklı imalatlı mı yoksa çekme mamülü mü olduğuna bağlı olarak ve  $f_y$  nin 65 ksi'dan büyük olup olmadığına bağlı olarak belirlenir.

Kompakt kesitler için:

$$f_y \leq 65 \text{ ksi} \quad \text{ise} \quad F_{b33} = 0.66F_y \quad (\text{ASD F1-1})$$

$$f_y > 65 \text{ ksi} \quad \text{ise} \quad F_{b33} = 0.60F_y \quad (\text{ASD F1-5})$$

Kompakt-olmayan kesitler için:

Eğer profil hadde mamülü ve  $f_y \leq 65 \text{ ksi}$  ise ;

$$F_{b33} = \left\{ 0.79 - 0.002 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{F_y} \right\} F_y \quad (\text{ASD F1-3})$$

Eğer profil kaynaklı mamul ve  $f_y \leq 65 \text{ ksi}$  ise ;

$$F_{b33} = \left\{ 0.79 - 0.002 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{\frac{F_y}{k_c}} \right\} F_y \quad (\text{ASD F1-4})$$

$$\text{Eğer } f_y > 65 \text{ ksi} \text{ ise} \quad F_{b33} = 0.60F_y \quad (\text{ASD F1-5})$$

olarak alınır, ve eğer berkitilmemiş boy  $l_{22}$ ,  $l_c$  den büyükse o zaman hem kompakt hem de kompakt-olmayan I-kesitler için müsaade edilebilir eğilme gerilmesi  $l_{22}/r_T$  oranına bağlıdır.

$$\frac{l_{22}}{r_T} \leq \sqrt{\frac{102 \times 10^3 C_b}{F_y}} \quad \text{için} \quad F_{b33} = 0.60 F_y \quad (\text{ASD F1-6})$$

$$\sqrt{\frac{102 \times 10^3 C_b}{F_y}} \leq \frac{l_{22}}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}} \quad \text{için,} \quad F_{b33} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{F_y (l_{22} / r_T)^2}{1530 \times 10^3 C_b} \right] F_y \leq 0.60 F_y \quad (\text{ASD F1-6})$$

$$\frac{l_{22}}{r_T} > \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}} \quad \text{için,} \quad F_{b33} = \left[ \frac{170 \times 10^3 C_b}{(l_{22} / r_T)^2} \right] \leq 0.60 F_y \quad (\text{ASD F1-7})$$

ve  $F_{b33}$  aşağıdaki formülden elde edilecek değerden daha küçük olmayacak şekilde alınır.

$$F_{b33} = \frac{12 \times 10^3 C_b}{l_{22} (d / A_f)} \leq 0.60 F_y \quad (\text{ASD F1-8})$$

$r_T$ , (Basınç başlığını ve gövde basınç alanının 1/3'nün toplamı olan) bir kesitin gövde düzlemindeki bir eksen etrafında alınan atalet yarıçapıdır,

$$C_b = 1.75 + 1.05 \frac{M_a}{M_b} + 0.3 \left( \frac{M_a}{M_b} \right)^2 \leq 2.3 \quad (\text{ASD F1.3})$$

burada,

$M_a$  ve  $M_b$  berkitilmemiş parçanın uç momentleridir ve  $M_a$  sayısal olarak  $M_b$ 'den daha küçüktür;  $\frac{M_a}{M_b}$  çift eğrili eğilme için pozitif ve tek eğrilikli eğilme için negatiftir.

Ayrıca parça üzerindeki momentlerden herhangi biri  $M_b$  den büyükse  $C_b$  1.0 olarak alınır. Ayrıca düğüm noktası yer değiştirmesine karşı çaprazlanan çerçeveler için (ASD F1.3) ve konsollar için de  $C_b$  1.0 alınır. Eğer elemanın berkitilmemiş boyu  $l_{22}$ , kullanıcı tarafından yeniden tanımlanmışsa (yani eleman boyuna eşit değilse), SAP2000  $C_b$  ye önceden tanımlı bir değer olarak 1.0 atar. Kullanıcı herhangi bir eleman için  $C_b$  değerini kendi girerek bu değeri değiştirebilir.

Kuvvetli eksenleri etrafında bükülen narin elemanlarda müsaade edilebilir eğilme gerilmesi, kompakt-olmayan kesitlerde de aynı şekilde belirlenir ve sonra aşağıdaki ilave koşullar dikkate alınır.

Eğer gövde narin ise; önceden hesaplanmış bulunan “müsaade edilebilir eğilme gerilmesi” değeri aşağıdaki gibi azaltılır:

$$F'_{b33} = R_{PG} R_e F_{b33}, \text{ burada} \quad (\text{ASD G2-1})$$

$$R_{PG} = 1.0 - 0.0005 \frac{A_w}{A_f} \left[ \frac{h}{t} - \frac{760}{\sqrt{F_{b33}}} \right] \leq 1.0, \quad (\text{ASD G2})$$

$$R_e = \frac{12 + (3\alpha - \alpha^3) \frac{A_w}{A_f}}{12 + 2 \frac{A_w}{A_f}} \quad (\text{Bileşik kirişlerde}) \quad (\text{ASD G2})$$

$$R_e = 1.0, \quad (\text{Bileşik olmayan kirişlerde}) \quad (\text{ASD G2})$$

$$A_w = \text{gövde kesit alanı inç}^2,$$

$$A_f = \text{basınca maruz flanş kesit alanı inç}^2,$$

$$\alpha = (0.6 F_y / F_{b33}) \leq 1.0 \quad (\text{ASD G2})$$

$F_{b33}$  = kesitin kompakt olmadığının kabul edildiği durumda müsaade edilebilir eğilme gerilmesi

$F'_{b33}$  = Gövde narinliğinin hesaba katılmasından sonra müsaade edilebilir eğilme gerilmesi

Yukarıdaki ifadelerde,  $R_e$  değeri 1 olarak alınır, çünkü SAP2000 şu anda sadece bileşik olmayan kirişlerle ilgilenmektedir.

Eğer flanşlar narin ise; önceden hesaplanmış olan “müsaade edilebilir eğilme gerilmesi” değeri aşağıdaki gibi sınırlanır:

$$F'_{b33} \leq Q_s (0.6 F_y), \text{ burada} \quad (\text{ASD A-B5.2a, A-B5.2d})$$

$Q_s$  daha önce tanımlanmıştı.

### **Zayıf ekseninde eğilme**

Zayıf yöndeki müsaade edilebilir eğilme gerilmesi  $F_{b22}$  aşağıdaki gibi bulunur:

Kompakt kesitler için:

$$f_y \leq 65 \text{ ksi ise} \quad F_{b22} = 0.75 F_y \quad (\text{ASD F2-1})$$

$$f_y > 65 \text{ ksi ise} \quad F_{b22} = 0.60 F_y \quad (\text{ASD F2-2})$$

Kompakt olmayan ve narin elemanlar için:

$$f_y \leq 65 \text{ ksi ise} \quad F_{b22} = \left\{ 1.075 - 0.005 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{F_y} \right\} F_y \quad (\text{ASD F2-3})$$

$$f_y > 65 \text{ ksi ise} \quad F_{b22} = 0.60 F_y \quad (\text{ASD F2-2})$$

### **U Kesitler**

Tüm U-kesitleri için narinlik parametresi, yanal berkitilmemiş  $l_{22}$  boyu olarak alınır ve bu değer kritik boy  $l_c$  ile karşılaştırılır. Kritik boy,

$$l_c = \min \left[ \frac{76b_f}{\sqrt{F_y}}, \frac{20000A_f}{dF_y} \right] \quad (\text{ASD F1-2})$$

olarak tanımlanır.

Burada  $A_f$  basınca çalışan flanş kesit alanıdır.

### **Kuvvetli Eksende Eğilme**

Eğer  $l_{22}$  değeri  $l_c$  den küçükse kuvvetli yöndeki müsaade edilebilir eğilme gerilmesi kompakt ve kompakt olmayan kesitlerde kesitlerin kaynaklı imalatlı mı yoksa hadde mamülü mü olduğuna bağlı olarak ve  $f_y$  nin 65 ksi dan büyük olup olmadığına bağlı olarak belirlenir.

Kompakt kesitler için:

$$f_y \leq 65 \text{ ksi ise} \quad F_{b33} = 0.66 F_y \quad (\text{ASD F1-1})$$

$$f_y > 65 \text{ ksi ise} \quad F_{b33} = 0.60 F_y \quad (\text{ASD F1-5})$$

Kompakt-olmayan kesitler için;

$$f_y \leq 65 \text{ ksi, ve hadde mamulü ise } F_{b33} = \left\{ 0.79 - 0.002 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{F_y} \right\} F_y \quad (\text{ASD F1-3})$$

$$f_y \leq 65 \text{ ksi, ve kaynaklı ise } F_{b33} = \left\{ 0.79 - 0.002 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{\frac{F_y}{k_c}} \right\} F_y \quad (\text{ASD F1-4})$$

$$f_y > 65 \text{ ksi ise } F_{b22} = 0.60 F_y \quad (\text{ASD F1-5})$$

olarak alınır, ve eğer berkitilmemiş boy  $l_{22}$   $l_c$  den büyükse o zaman hem kompakt hem de kompakt-olamayan tüm U-kesitlerinde müsaade edilebilir eğilme gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_{b33} = \frac{12 \times 10^3 C_b}{l_{22} (d / A_f)} \leq 0.60 F_y \quad (\text{ASD F1-8})$$

Kuvvetli eksenleri etrafında eğilen narin elemanlarda müsaade edilebilir eğilme gerilmesi, kompakt-olmayan kesitlerde de aynı şekilde belirlenir ve sonra aşağıdaki ilave koşullar dikkate alınır.

Eğer gövde zayıf ise önceden hesaplanmış bulunan “müsaade edilebilir eğilme gerilmesi” değeri aşağıdaki gibi azaltılır:

$$F'_{b33} = R_e R_{PG} F_{b33} \quad (\text{ASD G2-1})$$

Eğer flanşlar narin ise; önceden hesaplanmış bulunan “müsaade edilebilir eğilme gerilmesi” değeri aşağıdaki gibi sınırlanır:

$$F'_{b33} \leq Q_s (0.6 F_y) \quad (\text{ASD A-B5.2a, A-B5.2d})$$

Burada;  $r_T$ ,  $C_b$ ,  $A_f$ ,  $A_w$ ,  $R_e$ ,  $R_{PG}$ ,  $Q_s$ ,  $F_{b33}$  ve  $F'_{b33}$  Parametrelerini daha önce tanımlamıştık.

### **Zayıf ekseninde eğilme**

Zayıf yöndeki müsaade edilebilir eğilme gerilmesi  $F_{b22}$  aşağıdaki gibi bulunur:

$$F_{b22} = 0.60 F_y \quad (\text{ASD F2-2})$$

## **T- Kesitler ve Çift Köşebentler**

T- kesitlerde ve çift köşebentlerde hem zayıf hem de kuvvetli ekseninde “müsaade edilebilir eğilme gerilmesi” değeri aşağıdaki gibi alınır,

$$F_{b22} = 0.60 F_y$$

## Kutu kesitler ve Dikdörtgensel Tüpler

Tüm kutu kesitler ve dikdörtgensel tüpler için yanal berkitilmemiş boy olarak alınan narinlik parametresi,  $l_{22}$ , kritik boy  $l_c$  ile karşılaştırılır. Kritik boy,

$$l_c = \max \left[ (1950 + 1200 M_a / M_b) \frac{b}{F_y}, \frac{1200b}{F_y} \right] \quad (\text{ASD F3-2})$$

olarak tanımlanır. Burada  $M_a$  ve  $M_b$  nin tanımları daha önce  $C_b$  için verilen formüldekinin aynıdır. Eğer  $l_{22}$  kullanıcı tarafından verilirse,  $l_c$  SAP2000 programında

$$\frac{1200 b}{F_y} \quad \text{olarak alınır.}$$

### *Kuvvetli ekseninde eğilme*

Eğer  $l_{22}$  değeri  $l_c$  den küçükse müsaade edilebilir kuvvetli yöndeki eğilme gerilmesi:

$$F_{b33} = 0.66 F_y \quad (\text{Kompakt kesitler için}) \quad (\text{ASD F3-1})$$

$$F_{b33} = 0.60 F_y \quad (\text{Kompakt-olmayan kesitler için}) \quad (\text{ASD F3-3})$$

olarak alınır. Eğer berkitilmemiş boy değeri  $l_{22}$ ,  $l_c$  yi aşarsa kuvvetli yöndeki müsaade edilebilir eğilme gerilmesi, kesitin kompakt olup olmadığı dikkate alınmadan,

$$F_{b33} = 0.60 F_y \quad (\text{ASD F3-3})$$

olarak alınır. Narin kesitlerdeki kuvvetli eksene göre müsaade edilebilir eğilme gerilmesi kompakt olmayan kesitlerdekiyle aynı şekilde hesaplanır. Daha sonra aşağıdaki hususlar dikkate alınır. eğer gövde narinse daha önceden hesaplanmış müsaade edilebilir eğilme gerilmesi aşağıdaki şekilde azaltılır.

$$F'_{b33} = R_e R_{PG} F_{b33}$$

$F'_{b33}$ ,  $R_{PG}$ ,  $R_e$  ve  $F_{b33}$  'e ait tanımlar daha önce de verildi.

Eğer flanşlar narin ise müsaade edilebilir eğilme gerilmesinin hesaplanmasında ilave hususlar ilave almaya gerek yoktur. Ancak etkin kesit ölçüleri hesaplanır ve kesit modülü bu narinliğe göre değiştirilir.

### *Zayıf ekseninde eğilme*

$l_{22}$  değerinin  $l_c$  değerinden küçük olması durumunda zayıf eğilme eksenine göre “müsaade edilebilir eğilme gerilmesi” aşağıdaki gibi bulunur;

$$F_{b22} = 0.66 F_y \text{ (Kompakt kesitler için)} \quad (\text{ASD F3-1})$$

$$F_{b22} = 0.60 F_y \text{ (Kompakt-olmayan narin kesitler için)} \quad (\text{ASD F3-3})$$

olarak alınır. Eğer berkitilmemiş boy değeri  $l_{22}$ ,  $l_c$  yi aşarsa kuvvetli yöndeki müsaade edilebilir eğilme gerilmesi, kesitin kompakt olup olmadığı dikkate alınmadan,

$$F_{b22} = 0.60 F_y \quad (\text{ASD F3-3})$$

Şeklinde hesaplanır.

## **Boru kesitler**

Boru kesitlerde “müsaade edilebilir eğilme gerilmesi” zayıf ve kuvvetli eksenlerin her ikisinde de aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_b = 0.66 F_y \text{ (Kompakt kesitler için)} \quad (\text{ASD F3-1})$$

$$F_b = 0.60 F_y \text{ (Kompakt-olmayan narin kesitler için)} \quad (\text{ASD F3-3})$$

## **Yuvarlak çubuk kesitler**

Müsaade edilebilir gerilme, yuvarlak çubuklarda zayıf ve kuvvetli eğilme eksenlerinin her ikisinde de aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_b = 0.75 F_y \quad (\text{ASD F2-1})$$

## **Dikdörtgen ve kare çubuklar**

Müsaade edilebilir gerilme, dolu kare çubuklarda zayıf ve kuvvetli eğilme eksenlerinin her ikisinde de aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_b = 0.75 F_y \quad (\text{ASD F2-1})$$

kuvvetli eksenlerine göre bükülen dolu dikdörtgen çubuklarda; müsaade edilebilir gerilme aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_b = 0.60 F_y, \text{ ve}$$

Dolu dikdörtgen çubuğun zayıf eksenine göre eğilmesi durumunda müsaade edilebilir gerilme aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_b = 0.75 F_y \quad (\text{ASD F2-1})$$

## **Tek Köşebent Kesitler**

Tek köşebent kesitlerdeki müsaade edilebilir eğilme gerilmesi asal eğilme eksenlerine göre hesaplanır. (ASD SAM 5.3)



## ***Kuvvetli Eksende Eğilme***

Kuvvetli eğilme eksenini yönündeki müsaade edilebilir gerilme; yanal-burulma burkulması ve kısmi burkulma limit durumları esas alındığında, en küçüktür. (ASD SAM 5.1).

Tek köşebent kesitlerde; yanal-burulma burkulması limit durumları dikkate alındığında, kuvvetli eğilme eksenine göre müsaade edilebilir eğilme gerilmesi şöyle hesaplanır: (ASD SAM 5.1.3)

$$F_{ob} \leq F_y \text{ ise } F_{b, kuvvetli} = \left[ 0.55 - 0.10 \frac{F_{ob}}{F_y} \right] F_{ob} \quad (\text{ASD SAM 5-3a})$$

$$F_{ob} > F_y \text{ ise } F_{b, kuvvetli} = \left[ 0.95 - 0.50 \sqrt{\frac{F_y}{F_{ob}}} \right] F_y \leq 0.66 F_y \quad (\text{ASD SAM 5-3b})$$

Burada  $F_{ob}$  elastik yanal-burulma burkulma gerilmesidir ve aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır.

Yanal-burulma burkulma gerilmesi  $F_{ob}$ , eşit kollu tek köşebentlerde şu formülle hesaplanır:

$$F_{ob} = C_b 28250 l/t \quad (\text{ASD SAM 5-5}).$$

Kolları eşit olmayan tek köşebentlerde ise  $F_{ob}$  değeri ;

$$F_{ob} = 143100 C_b \frac{I_{zayıf}}{S_{kuv}.l^2} \left[ \sqrt{\beta_w^2 + 0.052(lt/r_{zayıf})^2} + \beta_w \right], \quad (\text{ASD SAM5-6})$$

olarak hesaplanır, burada,

$$\begin{aligned} t &= \min(t_w, t_r), \\ l &= \max(l_{22}, l_{33}) \\ I_{zayıf} &= \text{Zayıf asal eksen etrafındaki atalet momenti,} \\ r_{zayıf} &= \text{Zayıf asal eksen etrafındaki atalet yarıçapı,} \\ I_{kuvvetli} &= \text{Kuvvetli asal eksene göre atalet momenti,} \\ S_{kuvvetli} &= \text{Bir bacağın ucundaki basınç için hesaplanmış kuvvetli yönde kesit modülü.} \\ r_{zayıf} &= \text{Zayıf asal eksene göre hesaplanmış atalet yarıçapı} \end{aligned}$$

$$\beta_w = \left\{ \frac{1}{I_{kuv.}} \int_A z(w^2 + z^2) dA \right\} - 2z_0 \quad (\text{ASD SAM 5.3.2})$$

$z$  = Kuvvetli asal eksen boyunca koordinat,

$w$  = Zayıf asal eksen boyunca koordinat, ve

$z_0$  = Ağırlık merkezine göre kuvvetli asal eksen boyunca kayma merkezinin koordinatı,

$\beta_w$ , Eşit kollu olmayan köşebentler için özel bir kesit özelliği olup, basınçta kısa kol için pozitif, basınçta uzun kol için negatif ve eşit kollu köşebentler için sıfırdır. (ASD SAM 5.3.2). Ancak SAP2000 programında konservatif boyutlandırma için bu katsayı eşit kollu olmayan köşebentler için daima negatif alınır.

Yukarıdaki ifadede  $C_b$  değerinin hesabı,  $C_b$  ye ait üst sınır değerinin 2.3 yerine 1.5 alınmasının dışında, I kesitlerde olduğu gibi yapılır.

$$C_b = 1.75 + 1.05 \frac{M_a}{M_b} + 0.3 \left( \frac{M_a}{M_b} \right)^2 \leq 1.5 \quad (\text{ASD F1.3, SAM 5.2.2})$$

Tek köşebentlerde kısmi burkulma limit durumu için, kuvvetli eksen yönündeki müsaade edilebilir eğilme gerilmesi (ASD SAM 5.1.1) :

$$\frac{b}{t} \leq \frac{65}{\sqrt{F_y}}, \text{ için} \quad F_{b, \text{kuvvetli}} = 0.66 F_y \quad (\text{ASD SAM 5-1a})$$

$$\frac{65}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t} \leq \frac{76}{\sqrt{F_y}}, \text{ için} \quad F_{b, \text{kuvvetli}} = 0.60 F_y \quad (\text{ASD SAM 5-1b})$$

$$\frac{b}{t} > \frac{76}{\sqrt{F_y}}, \text{ için} \quad F_{b, \text{kuvvetli}} = Q 0.60 F_y \quad (\text{ASD SAM 5-1c})$$

burada,

$t$  = Sözkonusu bacağıın et kalınlığı

$b$  = Sözkonusu bacağıın uzunluğu

$Q$  = Kısmi burkulma narinlik azaltma çarpanı. (ASD A-B5-2, SAM 4)

Tek köşebentlerde kısmi burkulma limit durumları esas alınarak “müsaade edilebilir eğilme gerilmesi” hesaplanırken her iki uç’unda basınç altında olabileceği dikkate alınarak hesaplamalar yapılır ve bulunan gerilmelerden en küçüğü alınır.

### ***Zayıf Eksende Eğilme***

Tek köşebentlerde kısmi burkulma limit durumu için, zayıf eksen yönündeki müsaade edilebilir eğilme gerilmesi (ASD SAM 5.1.1, 5.3.1b, 5.3.2b) :

$$\frac{b}{t} \leq \frac{65}{\sqrt{F_y}}, \text{ için} \quad F_{b, \text{zayıf}} = 0.66 F_y \quad (\text{ASD SAM 5-1a})$$

$$\frac{65}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t} \leq \frac{76}{\sqrt{F_y}}, \text{ için} \quad F_{b, \text{zayıf}} = 0.60 F_y \quad (\text{ASD SAM 5-1b})$$

$$\frac{b}{t} > \frac{76}{\sqrt{F_y}}, \text{ için} \quad F_{b, \text{zayıf}} = Q 0.60 F_y \quad (\text{ASD SAM 5-1c})$$

Tek köşebentlerde “müsaade edilebilir eğilme gerilmesi” hesaplanırken her iki uç’unda basınç altında kalacağı moment değerleri olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılır ve bulunan gerilmelerden en küçüğü alınır.

### **Genel Kesitler**

Genel kesitler için hem kuvvetli hem de zayıf yöndeki müsaade edilebilir eğilme gerilmesi,

$$F_b = 0.60 F_y \text{ dir.}$$

### **Kaymada Müsaade Edilebilir Gerilme**

Kayma gerilmesi tüm kesitlerde geometrik eksen boyunca hesaplanır. I, Kutu, U, T, Çift köşebent, boru, dolu yuvarlak ve dikdörtgen kesitlerde asal eksenler geometrik eksenlerinde çakışırlar. Tek köşebentlerde asal eksenler geometrik eksenlerle çakışmazlar.

### ***Kuvvetli Eksende Eğilme***

SAP 2000’de müsaade edilebilir kayma gerilmesi değeri I, Kutu ve U kesitleri hariç tüm kesitlerde aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$F_v = 0.40 F_y$$

I, Kutu ve U kesitlerinde “müsaade edilebilir kayma gerilmesi” kuvvetli eksenlere göre aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{380}{\sqrt{F_y}}$$

için  $F_v = 0.40 F_y$  (ASD F4-1)

$\frac{380}{\sqrt{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 260$  için  $F_v = C_v F_y / 2.89 \leq 0.40 F_y$  (ASD F4-2)

Burada,

$h/t_w \geq 56250 k_v / F_y$  için  $C_v = 45000 k_v / F_y (h/t_w)^2$  (ASD F4)

$h/t_w < 56250 k_v / F_y$  için  $C_v = \frac{190 \sqrt{k_v}}{h/t_w \sqrt{F_y}}$  (ASD F4)

$a/h \leq 1$  için  $k_v = 4 + [5.34 / (a/h)^2]$  (ASD F4)

$a/h > 1$  için  $k_v = 5.34 + [4.00 / (a/h)^2]$  (ASD F4)

$t_w$  = Gövde et kalınlığı

$a$  = Karşılıklı berkimler arasındaki net açıklık. Bu değer emniyet gayesiyle SAP2000 de elemanın  $l_{22}$  boyu olarak alınır.

$h$  = Kesitin flanşları arasındaki net açıklık, inç.

### **Zayıf Eksende Eğilme**

Zayıf eksen yönündeki “müsaade edilebilir kayma gerilmesi” değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$F_v = 0.40 F_y \quad (\text{ASD F 4-1, SAM 3-1})$$

## GERİLME ORANLARININ HESAPLANMASI

Eksenel ve eğilme gerilmelerine ait kapasite oranları hesaplanırken önce her yük kombinasyonu için her kontrol noktasında mevcut eksenel ve eğilme gerilmeleri hesaplanır. Ardından bu noktalara ait müsaade edilebilir gerilmeler hesaplanır. Daha sonra da her bir eleman için her kontrol noktasında boyutlandırma yük kombinasyonlarının her biri için gerilme kapasite oranları hesaplanır. Her kontrol noktası boyunca ilgili yük kombinasyonuna bağlı kontrol kapasite oranları hesaplanır. 1.0 den büyük değerler gerilme sınırının aşıldığını gösterir.

**Boyutlandırma aşamasında, mevcut civata ve kaynak etkileri hesaba katılmaz ve düğüm noktaları (bağlantı elemanları) dizayn edilmez.**

## Eksenel Gerilme ve Eğilme Gerilmeleri

Her kontrol noktasında hesaplanan çarpanlarla büyütülmüş eleman eğilme ve eksenel gerilmeleri ve hesaplanmış müsaade edilebilir eğilme ve eksenel gerilmeleri yardımı ile her bir yük kombinasyonu için karşılıklı etkileşim oranı hesaplanır. Bu işlem aşağıdaki gibi yapılır. (ASD H1, H2, SAM 6):

Eğer  $f_a$  basınç ve  $f_a / F_a > 0.15$  ise kombine gerilme oranı (ASD H1-1) ve (ASD H1-2) nin büyüğüyle verilir,

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{m33} f_{b33}}{\left[1 - \frac{f_a}{F_{e33}}\right] F_{b33}} + \frac{C_{m22} f_{b22}}{\left[1 - \frac{f_a}{F_{e22}}\right] F_{b22}}, \quad (\text{ASD H1-1, SAM 6.1})$$

ve

$$\frac{f_a}{Q(0.60F)} + \frac{f_{b33}}{F_{b33}} + \frac{f_{b22}}{F_{b22}}, \quad (\text{ASD H1-2, SAM 6.1})$$

Burada  $f_a, f_{b33}, f_{b22}, F_a, F_{b33}$  ve  $F_{b22}$  bu bölümde önceden tanımlandılar.  $C_{m33}$  ve  $C_{m22}$  eleman boyuncaki moment dağılımını temsil eden katsayılardır.

Eğer eleman uzunluğu yeniden yazıldıysa	$C_m = 1.0$	
Çekme elemanı ise	$C_m = 1.0$	
Yatay hareket serbest olduğunda	$C_m = 0.85$	
Yatay hareket engellendiğinde ve enlemesine yük yoksa	$C_m = 0.6 - 0.4 (M_a / M_b)$	(ASD H1)
Yatay hareket engellenmiş, enlemesine yük var ve uçlar ankastre ise	$C_m = 0.85$	
Yatay hareket engellenmiş, enlemesine yük var ve uçlar ankastre değilse	$C_m = 1.0$	

Yatay hareket serbest bırakılmış çerçevelerde  $C_m = 0.85$ , yatay hareketi engellenmiş ve yatayda yük yoksa  $C_m = 0.6-0.4 (M_a/M_b)$ , yatay hareket engellenmiş yatayda yük varken ve basınç elemanı uçtan mesnetlenmişse  $C_m = 0.85$ , yatay hareket engellenmiş yatayda yük varken ve basınç elemanı uçtan mesnetlenmemişse  $C_m = 1.00$  (ASD H1), burada  $(M_a/M_b)$  değeri elemanın uçlarındaki momentlerin en küçüğünün en büyüğüne oranıdır.  $(M_a/M_b)$  değeri çift eğrili eğilme eğrisinde pozitif, tek eğrili eğilme eğrisinde ise negatiftir.  $M_b$  değeri sıfırken  $C_m$  değeri 1.0 alınır. Eğer elemanın mesnetlenmemiş boyu değeri, 1, programın kendisi veya kullanıcı tarafından yeniden tanımlanmış ise yani elemanın boyu mesnetlenmemiş boyuna eşit değilse o zaman  $C_m$  değeri 1.0 alınır. Kullanıcı istediği her elemanın  $C_m$  değerini değiştirebilir.  $C_m$  kuvvetli ve zayıf yönlere ait iki ayrı  $C_m$  değeri kabul eder  $C_{m22}$  ve  $C_{m33}$ .

$F'_e$  değeri,

$$F'_e = \frac{12\pi^2 E}{23(KI/r)^2} \quad (\text{ASD H1})$$

formülüyle bulunur.

Eğer yük kombinezonu rüzgar veya sismik bir yük içerirse  $F'_e$ , ve  $0.6 F_y$  değerleri 4/3 lük bir çarpanla arttırılır. (ASD H1, ASD A5.2).

Eğer  $f_a$  basınç ve  $f_a / F_a \leq 0.15$  ise, kombine gerilme oranı için nispeten basitleştirilmiş bir formül kullanılır.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{b33}}{F_{b33}} + \frac{f_{b22}}{F_{b22}} \quad (\text{ASD H1-3, SAM 6.1})$$

Eğer  $f_a$  çekme veya sıfır ise, kombine gerilme oranı

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{b33}}{F_{b33}} + \frac{f_{b22}}{F_{b22}} \quad (\text{ASD H2-1, SAM 6.2})$$

ve

$$\frac{f_{b33}}{F_{b33}} + \frac{f_{b22}}{F_{b22}}$$

ile verilir. Buradaki  $f_a, f_{b33}, f_{b22}, F_a, F_{b33}$  ve  $F_{b22}$  bu bölümde önceden tanımlandılar. Ancak  $F_{b33}$  veya  $F_{b22}$  nin ilk denklemdeki (ASD H2-1) değerleri en az  $0.60 F_y$  olmalıdır. İkinci denklemle aksenal yüklerin etkili olmadığı eğilme burkulması hesaplanır.

Dairesel ve boru kesitlerde yukarıdaki formüllerdeki basit cebirsel toplam yerine, aksenal yük bileşkelerini toplamadan önce ilk olarak iki eğilme bileşkesinin bir SRSS (kareler toplamının karekökü) kombinezonu yapılır.

Tek köşebentlerde ise; kombine gerilme oranları asal eksen özellikleri dikate alınarak hesaplanır (ASD SAM 5.3,6.1.5). I, Kutu, U, T, Çift köşebent, boru, dolu yuvarlak ve dikdörtgen kesitlerde asal eksenler geometrik eksenleriyle çakışır. Tek köşebentlerde ise asal eksenler SAP 2000 tarafından ayrıca hesaplanırlar.

Genel kesitler için asal eksenleri belirleme konusunda hiçbir çabaya gerek yoktur.

Eğer rüzgar veya sismik yükleri içeren yük kombinezonlarına göre boyutlandırma yapılıyorsa müsaade edilebilir gerilmeler, normal düzenli kombinezonlara göre hesaplanan müsaade edilebilir gerilmelere göre 4/3 oranında büyütülürler. (ASD A5.2.).

## Kayma gerilmeleri

Her yük kombinezonu için her bölümdeki müsaade edilebilir kayma gerilmesi değerleri ve çarpanlarla arttırılmış kayma gerilmesi değerlerinden kuvvetli ve zayıf yönler için kayma gerilmesi oranları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{f_{v2}}{F_v} \text{ ve}$$

$$\frac{f_{v3}}{F_v}$$

Tek köşebent kesitlerde, kayma gerilme oranı geometrik eksen doğrultusunda hesaplanır. Diğer bütün kesitler için kayma gerilmesi geometrik eksenle çakışan asal eksen doğrultusunda hesaplanır.

Eğer rüzgar veya sismik yükleri içeren yük kombinezonlarına göre boyutlandırma yapılıyorsa müsaade edilebilir gerilmeler, normal düzenli kombinezonlara göre hesaplanmış müsaade edilebilir gerilmelere göre 4/3 oranında büyütülürler. (ASD A5.2.).

---

## Bölüm IV

---

### AISC-LRFD93'e Göre Boyutlama/Kontrol

Bu bölüm kullanıcı AISC-LRFD93 Boyutlama Yönetmeliğini (AISC 1994) seçtiğinde SAP2000 nin kullandığı yapısal çelik boyutlama ve gerilme kontrolü algoritmalarının ayrıntılarını açıklamaktadır. Bu bölümde kullanılan semboller Tablo VI-1 de listelenmiştir.

Orijinal LRFD Yönetmeliğinin ilgili bölüm ve denklemlerine baktığımızda ön ek olarak "LRFD" atandığını görürüz. Ancak "Tek köşebent elemanların yük ve dayanımları çarpanlarla artırılmış boyutlandırma şartnamesi" ne atıfta bulunulduğunda ön ek "LRFD SAM" dır.

Boyutlama kullanıcı tarafından belirlenen yük kombinezonlarına dayanır. Fakat program birçok bina tipi yapının boyutlama gereklerini karşılayan önceden hazır olan bir (default) yük kombinezonu grubu sağlar.

Eleman boyuncaki bir noktada aksenal kuvvet/çift eksenli moment kapasite oranlarının hesabında ilk olarak her yük kombinezonunda gerçek eleman kuvvet/moment bileşkeleri ve karşı gelen kapasiteler hesaplanır. Daha sonra dizayn yük kombinezonlarının etkisi altında bu bölümde tanımlanan ilgili denklemleri kullanarak, her bölümdeki kapasite oranları bulunur. Kontrol eden kapasite oranıda elde edilir. 1.0 den büyük bir kapasite oranı bir limit durumunun aşıldığını ifade eder. Benzer şekilde bir kayma kapasite oranı da hesaplanır.

Giriş bilgileri için İngiliz birimleri olduğu kadar SI ve MKS metrik birimleride kullanılabilir. Fakat yönetmelik kip-inch-saniye sistemine dayanmaktadır. Aksi belirtilmedikçe basitliği sağlamak üzere bu bölümdeki bütün eşitlikler ve açıklamalar kip-inch-saniye birim sisteminde verilmiştir.

A	=	Kesit alanı, inç <sup>2</sup>
A <sub>e</sub>	=	Narin kesitler için etkili kesit alanı, inç <sup>2</sup>
A <sub>g</sub>	=	Brüt kesit alanı, inç <sup>2</sup>
A <sub>v22</sub> , A <sub>v33</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kayma alanları, inç <sup>2</sup>
A <sub>w</sub>	=	dt <sub>w</sub> /Gövde ye eşit olan kayma alanı inç <sup>2</sup>
B <sub>1</sub>	=	Yanal ötelemeye yol açmayan momentler için moment arttırma çarpanı
B <sub>2</sub>	=	Yanal ötelemeye yol açan momentler için moment arttırma çarpanı
C <sub>b</sub>	=	Eğilme katsayısı
C <sub>m</sub>	=	Moment katsayısı
C <sub>w</sub>	=	Çarpılma sabiti, inç <sup>6</sup>
D	=	Boruların Dış Çapı, inç
E	=	Elastisite modülü, ksi
F <sub>cr</sub>	=	Kritik basınç gerilmesi, ksi
F <sub>r</sub>	=	Başlıktaki basınç gerilme fazlası, ksi, hadde kesitler için 10.0 ksi ve kaynaklı kesitler için 16.5 ksi kabul edilir.
F <sub>y</sub>	=	Malzemenin akma gerilmesi, ksi
G	=	Kayma modülü, ksi
I <sub>22</sub>	=	Zayıf yöndeki atalet momenti, inç <sup>4</sup>
I <sub>33</sub>	=	Kuvvetli yöndeki atalet momenti, inç <sup>4</sup>
J	=	Kesit için burulma sabiti, inç <sup>4</sup>
K	=	Etkili boy çarpanı
K <sub>33</sub> , K <sub>22</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki etkili boy K çarpanları
L <sub>b</sub>	=	Elemanın yanal mesnetlenmemiş boyu, inç
L <sub>p</sub>	=	Tüm plastik kapasite için sınırlayıcı yanal mesnetlenmemiş boy, inç
L <sub>r</sub>	=	Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma için sınırlayıcı yanal mesnetlenmemiş boy, inç
M <sub>cr</sub>	=	Elastik burkulma momenti, kip-inç
M <sub>lt</sub>	=	Yanal ötelemeye yol açan çarpanlarla arttırılmış momentler, kip-inç
M <sub>nt</sub>	=	Yanal ötelemeye yol açmayan çarpanlarla arttırılmış momentler, kip-inç
M <sub>n33</sub> , M <sub>n22</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki nominal eğilme dayanımı, kip-inç
M <sub>ob</sub>	=	Köşebent kesitler için Yanal-burulma momenti, kip-inç
M <sub>r33</sub> , M <sub>r22</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki sınırlayıcı burkulma momentleri, kip-inç
M <sub>u</sub>	=	Elemandaki çarpanlarla arttırılmış moment, kip-inç
M <sub>u33</sub> , M <sub>u22</sub>	=	Elemandaki çarpanlarla arttırılmış kuvvetli ve zayıf yönlerdeki momentler, kip-inç
P <sub>e</sub>	=	Euler burkulma yükü, kip
P <sub>n</sub>	=	Nominal aksenal yük dayanımı, kip
P <sub>u</sub>	=	Elemandaki çarpanlarla arttırılmış aksenal kuvvet, kip
P <sub>y</sub>	=	A <sub>g</sub> F <sub>y</sub> , kip
Q	=	Narin kesitler için azaltma çarpanı, = Q <sub>a</sub> Q <sub>s</sub>
Q <sub>a</sub>	=	Pekleştirilmiş narin kesitler için azaltma çarpanı
Q <sub>s</sub>	=	Pekleştirilmemiş narin kesitler için azaltma çarpanı

**Tablo IV-1**

*AISC-LRFD Sembolleri*

$S$	=	Kesit modülü, $\text{in}^3$
$S_{33}, S_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kesit modülleri, $\text{in}^3$
$S_{\text{eff},33}, S_{\text{eff},22}$	=	Narin kesitler için kuvvetli ve zayıf yönlerdeki etkili kesit modülleri, $\text{in}^3$
$S_c$	=	Köşebent kesitlerde basınç için kesit modülleri, $\text{in}^3$
$V_{n22}, V_{n33}$	=	Nominal kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kayma dayanımları, kip
$V_{u22}, V_{u33}$	=	Çarpanlarla arttırılmış kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kayma yükleri, kip
$Z$	=	Plastik modül, $\text{in}^3$
$Z_{33}, Z_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki plastik modüller, $\text{in}^3$
$b$	=	Kesitteki levhaların nominal boyutu, $\text{in}$ Köşebentlerin büyük ayağının boyutu hadde kutu kesitler için $b_f - 3t_w$ ; kaynaklı kutu kesitler için $b_f - 2t_w$
$b_e$	=	Etkili flanş genişliği, $\text{in}$
$b_f$	=	Flanş genişliği, $\text{in}$
$d$	=	Elemanın derinliği, $\text{in}$
$d_e$	=	Etkili gövde derinliği, $\text{in}$
$h_c$	=	Başlıklar arasındaki net mesafe eksi yuvarlak dolgu kısımlar, $\text{in}$ hadde kesitler için $d - 2k$ , ve kaynaklı kesitler için $d - 2t_f$ kabul edilir.
$k$	=	Başlığın dış yüzünden başlığın gövde ucuna olan mesafe, $\text{in}$
$k_c$	=	Kesitleri sınıflandırmak için kullanılan parametre

$$4/\sqrt{h/t_w}, \quad 0.35 \leq k_c \leq 0.763$$

$l_{33}, l_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki mesnetlenmemiş eleman boyları, $\text{in}$
$r$	=	Atalet yarıçapı, $\text{in}$ ,
$r_{33}, r_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki atalet yarıçapları, $\text{in}$
$t$	=	Kalınlık, $\text{in}$
$t_f$	=	Başlık kalınlığı, $\text{in}$
$t_w$	=	Gövde kalınlığı, $\text{in}$
$\beta_w$	=	Köşebentler için özel kesit özelliği, $\text{in}$
$\lambda$	=	Narinlik parametresi,
$\lambda_c, \lambda_e$	=	Kolon narinlik parametresi,
$\lambda_p$	=	Kompakt elemanlar için sınırlayıcı narinlik parametresi,
$\lambda_r$	=	Kompakt-olmayan elemanlar için sınırlayıcı narinlik parametresi,
$\lambda_s$	=	Sismik elemanlar için sınırlayıcı narinlik parametresi,
$\lambda_{\text{narin}}$	=	Narin elemanlar için sınırlayıcı narinlik parametresi,
$\phi_b$	=	Eğilme için karşı koyma çarpanı, 0.9
$\phi_c$	=	Basınç için karşı koyma çarpanı, 0.85
$\phi_t$	=	Çekme için karşı koyma çarpanı, 0.9
$\phi_v$	=	Kayma için karşı koyma çarpanı, 0.9

**Tablo IV-1**  
*AISC-LRFD Sembolleri(devam)*

## BOYUTLAMA YÜK KOMBİNEZONLARI

Boyutlama yük kombinezonları, belirtilen yükleme durumlarının, yapının kesit hesaplarında kullanılacak çeşitli birleştirme şekilleridir. AISC-LRFD93 Yönetmeliğine göre eğer yapı ölü yük (DL), hareketli yük (LL), rüzgar yükü (WL) ve deprem yükü (EL) taşıyorsa ve rüzgar ve deprem yüklerinin yön değiştiren kuvvetler olduğunda gözönünde tutularak, aşağıdaki yük kombinezonları tanımlanabilir. (LRFD A4.1):

1.4DL	(LRFD A4-1)
1.2DL + 1.6LL	(LRFD A4-2)
0.9DL ± 1.3WL	(LRFD A4-6)
1.2DL ± 1.3WL	(LRFD A4-4)
1.2DL + 0.5LL ± 1.3WL	(LRFD A4-4)
0.9DL ± 1.0EL	(LRFD A4-6)
1.2DL ± 1.0EL	(LRFD A4-4)
1.2DL + 0.5LL ± 1.0EL	(LRFD A4-4)

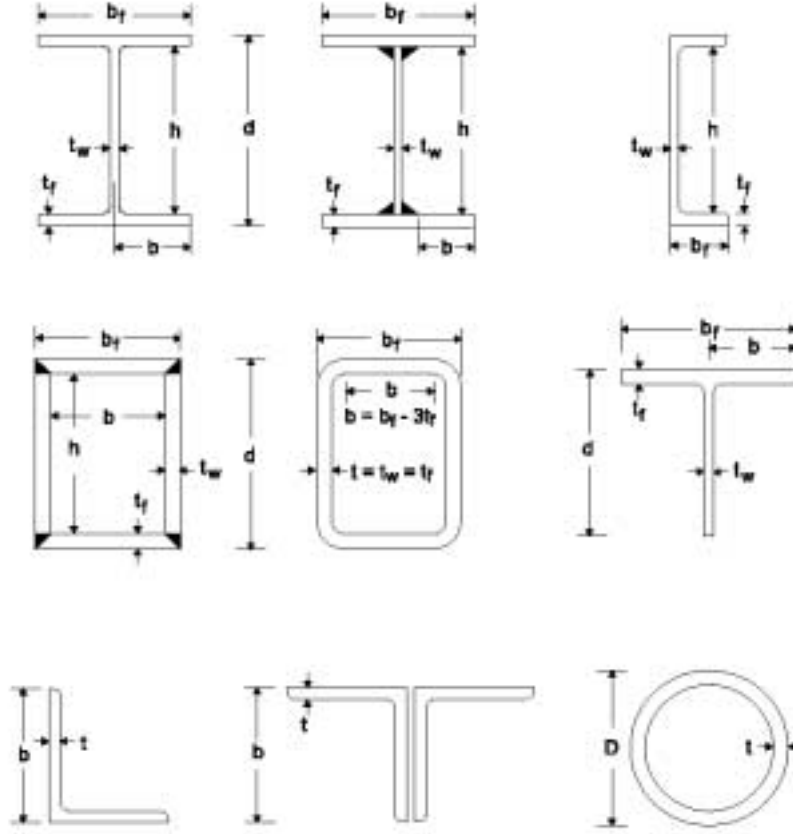
Bunlar aynı zamanda, AISC-LRFD93 yönetmeliği kullanıldığında SAP2000'nin önceden hazır olan (default) boyutlama yük kombinezonlarıdır. Kullanıcı, eğer ayrıca çatı hareketli yükü tanımlanacaksa, diğer tip yükler mevcutsa veya örnek hareketli yükler düşünülüyorsa, diğer uygun yükleme kombinezonlarını kullanmalıdır.

Çarpanlarla arttırılmış yüklerde hareketli yükün payını azaltmak için hareketli yük azaltma çarpanı, eleman hareketli yük kuvvetlerine eleman-eleman uygulanır.

AISC-LRFD93 Yönetmeliği kullanıldığında SAP2000 boyutlama, P-Δ analizinin yanal ötelemeye yol açan momentler için moment arttırma çarpanlarının 1.0 alınarak yapıldığını kabul eder. P-Δ analizinin 1.2 sabit yük (DL) + 0.5 hareketli yük (LL) şeklinde çarpanlarla arttırılmış yük seviyesinde yapılması tavsiye edilir. (White ve Hajjar 1991).

# KESİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Eksenel basınç ve eğilme için nominal dayanımlar, kesitin kompakt, kompakt-olmayan, narin veya aşırı narin olarak sınıflandırımına bağlıdır.



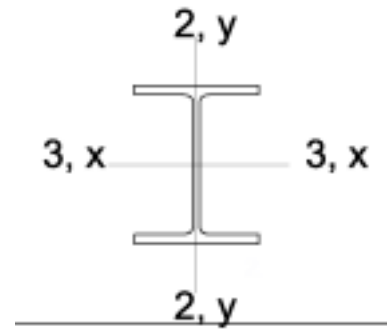
## AISC-LRFD: Profil eksenleri tanımlama kuralları

2-2:

Gövdeye paralel kesit eksenini,  
Borularda daha uzun olan boyut,  
Tek köşebentlerin uzun olan kenarı veya  
Çift köşebentlerin karşı karşıya gelen kenarları.  
Bu, y-y eksenine aynidir.

3-3:

2-2 eksenine dik olan eksendir. Bu, x-x eksendir.



## Şekil IV-1

*Geometrik Kesit Değerlerinin AISC-LRFD Yönetmeliğine göre tanımı*

Kesitin Tanımı	Kontrol Edilen Oran $\lambda$	Kompakt Kesit $\lambda_p$	Kompakt Olmayan Kesit $\lambda_r$	Narin Kesit $\lambda_{marin}$
I-kesitler	$b_f / 2t_f$ (Hadde)	$\leq 65 / \sqrt{F_y}$	$\leq 141 / \sqrt{F_y - 10.0}$	Sınır Yok
	$b_f / 2t_f$ (Kaynaklı)	$\leq 65 / \sqrt{F_y}$	$\leq 162 / \sqrt{\frac{F_y - 16.5}{k_s}}$	Sınır Yok
	$h_c / t_w$	For $P_u / \phi_s P_s \leq 0.125$ , $\leq \frac{640}{\sqrt{F_y}} \left( 1 - \frac{2.75 P_u}{\phi_s P_s} \right)$ For $P_u / \phi_s P_s > 0.125$ $\leq \left\{ \begin{array}{l} \frac{191}{\sqrt{F_y}} \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_s P_s} \right) \\ \geq \frac{253}{\sqrt{F_y}} \end{array} \right\}$	$\leq \frac{970}{\sqrt{F_y}} \left[ 1 - 0.74 \frac{P_u}{\phi_s P_s} \right]$	$\leq \left\{ \begin{array}{l} \frac{14000}{\sqrt{F_y (F_y + 16.5)}} \\ \leq 260 \end{array} \right\}$
Kutu kesitler	$b / t_f$ $h_c / t_w$	$\leq 190 / \sqrt{F_y}$ I kesitler gibi	$\leq 238 / \sqrt{F_y}$ I kesitler gibi	Sınır Yok $\leq 970 / \sqrt{F_y}$
U kesitler	$b / t_f$ $h_c / t_w$	I kesitler gibi I kesitler gibi	I kesitler gibi I kesitler gibi	Sınır Yok I kesitler gibi
T kesitler	$b_f / 2t_f$	Uygulanamaz	$\leq 95 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
	$d / t_w$	Uygulanamaz	$\leq 127 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
Tek köşebent	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
Çift köşebent (ayrılmış)	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
Borular	$D / t$	$\leq 2070 / F_y$	$\leq 8970 / F_y$	$\leq 13000 / F_y$ (Sadece basınç) Eğilme için sınır yok.
Dairesel dolu Çubuk	-	Kompakt Varsayılmıştır		
Dörtköşe	-	Kompakt-olmayan Varsayılmıştır		
Genel	-	Kompakt-olmayan Varsayılmıştır		

**Tablo IV-2**

*AISC - LRFD Yönetmeliğine göre eğilmeye maruz kesitlerin sınıflandırılması  
Basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları*

Kesitin Tanımı	Genişlik / Kalınlık Oranı $\lambda$	Kompakt (Sismik Bölge) $\lambda_s$	Kompakt Olmayan (Düzgün Yayılı Basınç) ( $M_{22} \approx M_{33} \approx 0$ ) $\lambda_r$
I-kesitler	$b_f / 2t_f$ (Hadde)	$\leq 52 / \sqrt{F_y}$	$\leq 95 / \sqrt{F_y}$
	$b_f / 2t_f$ (Kaynaklı)	$\leq 52 / \sqrt{F_y}$	$\leq 95 / \sqrt{F_y}$
	$h_c / t_w$	For $P_u / \phi_t P_y \leq 0.125$ , $\leq \frac{640}{\sqrt{F_y}} \left( 1 - \frac{2.75 P_u}{\phi_t P_y} \right)$ For $P_u / \phi_t P_y > 0.125$ $\leq \left\{ \begin{array}{l} \frac{191}{\sqrt{F_y}} \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_t P_y} \right) \\ \geq \frac{253}{\sqrt{F_y}} \end{array} \right\}$	$\leq 253 / \sqrt{F_y}$
Kutu kesitler	$b / t_f$	Uygulanamaz	$\leq 238 / \sqrt{F_y}$
	$h_c / t_w$	Uygulanamaz	$\leq 253 / \sqrt{F_y}$
U kesitler	$b / 2t_f$ $h_c / t_w$	I kesitler gibi I kesitler gibi	I kesitler gibi I kesitler gibi
T kesitler	$b_f / 2t_f$ $d / t_w$	Uygulanamaz Uygulanamaz	I kesitler gibi $\leq 127 / \sqrt{F_y}$
Tek köşebent	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$
Çift köşebent (ayrılmış)	$b / t$	I kesitler gibi	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$
Borular	$D / t$	I kesitler gibi	$\leq 3300 / F_y$
Dairesel dolu Çubuk	-	Kompakt Varsayılmıştır	
Dörtköşe	-	Kompakt-olmayan Varsayılmıştır	
Genel	-	Kompakt-olmayan Varsayılmıştır	

**Tablo IV-3**

*AISC - LRFD Yönetmeliğine göre (özel durumlardaki) kesitlerin sınıflandırılması Basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları*

SAP2000 her elemanı, Tablo IV-2 ve Tablo IV-3 (LRFD B5.1, A-G1, Tablo A-F1.1) e göre ve genişlik/kalınlık sınırlama oranlarını dikkate alarak sınıflandırır. Bu tablolardaki gerekli kesit değerlerinin tanımı Şekil IV-1 ve Tablo IV-1 de verilmiştir. Ayrıca, Tablo IV-3 da verildiği gibi, sismik bölgelerdeki kompakt kesitlerin ve basınç alan kompakt-olmayan kesitlerin genişlik/kalınlık oranlarının sınırları için özel şartlar vardır. Narin kesit şartları sağlanmazsa kesit (*aşırı narin*) olarak sınıflanır. ***Aşırı narin kesitlerin gerilme kontrolü SAP2000 programının kapsamının dışındadır.***

I-kesit, kutu ve U-kesitlerin gövde narinliği sınıflamasında, hiç bir ara berkitme levhasının kullanılmadığı varsayılmıştır (ASD F5, G1). Çift köşebentler emniyetli tarafta olmak üzere birbirinden ayrılmış farzedilmiştir.

## ÇARPANLARLA ARTTIRILMIŞ KUVVETLERİN HESAPLANMASI

Her yük kombinasyonu için hesaplanan, çarpanlarla arttırılmış eleman yükleri  $P_u$ ,  $M_{u33}$ ,  $M_{u22}$ ,  $V_{u3}$  ve  $V_{u2}$  sırasıyla çarpanlarla arttırılmış eksenel yük, kuvvetli yöndeki moment, zayıf yöndeki moment, kuvvetli yöndeki kayma kuvveti ve zayıf yöndeki kayma kuvvetine karşı gelirler.

Elemanda basınca yolaçan yük kombinasyonları için çarpanlarla arttırılmış moment  $M_u$  (karşı gelen yönlerdeki  $M_{u33}$  ve  $M_{u22}$ ) ikinci derece etkileri hesaba katmak üzere büyütülür. Herhangi bir yöndeki büyütülmüş moment şu eşitlikle verilir:

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (\text{LRFD C1-1, SAM6})$$

Burada

- $B_1$  = Yanal ötelemesiz momentler için moment arttırma çarpanı
- $B_2$  = Yanal ötelemeli momentler için moment arttırma çarpanı
- $M_{nt}$  = Yanal ötelemeye yolaçmayan çarpanlarla arttırılmış momentler, ve
- $M_{lt}$  = Yanal ötelemeye yolaçan çarpanlarla arttırılmış momentler.

Moment arttırma çarpanları karşı gelen yönlerle ilgilidirler. Yanal ötelemeye yolaçmayan momentler için moment arttırma çarpanı  $B_1$  şu eşitlikle verilir:

$$B_1 = \frac{C_m}{(1 - P_u / P_e)} \geq 1.0 \quad (\text{LRFD C1-2, SAM6-2})$$

Burada  $P_e$  Euler burkulma yükü  $\left( \lambda = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \text{ ile, } P_e = \frac{A_y F_y}{\lambda^2} \right)$

ve

$C_{m33}$  ve  $C_{m22}$  eleman boyuncaki moment dağılımını temsil eden katsayılardır.

Eğer eleman uzunluğu yeniden yazıldıysa	$C_m = 1.0$	
Çekme elemanı ise	$C_m = 1.0$	
Ucu tutulmadıysa	$C_m = 1.0$	
Enlemesine yük yoksa	$C_m = 0.6 - 0.4 (M_a / M_b)$	(LRFD C1-3)
Enlemesine yük var ve ucu ankastre ise	$C_m = 0.85$	
Enlemesine yük var ve ucu ankastre değilse	$C_m = 1.0$	

Burada  $M_a / M_b$  oranı eleman uç momentlerinin, küçüğünün büyüğüne olan oranıdır, çift eğrilik için pozitif ve tek eğrilik içinse negatiftir. Enine yüke maruz basınç elemanları için  $C_m$  1.0 kabul edilir. Çekme elemanlarında  $C_m$  1.0 alınır. Enlemesine yük alan basınç elemanları için eğer uçlarından biri ankastre değilse  $C_m$  değeri 1.0 alınır; eğer her iki ucu da ankastre değilse  $C_m$  değeri 0.85 alınır.  $M_b$  değeri sıfırken  $C_m$  değeri 1.0 alınır. Eğer elemanın mesnetlenmemiş boyu değeri, 1, programın kendisi veya kullanıcı tarafından yeniden tanımlanmış ise yani elemanın boyu mesnetlenmemiş boyuna eşit değilse o zaman  $C_m$  değeri 1.0 alınır. Kullanıcı istediği her elemanın  $C_m$  değerini değiştirebilir.  $C_m$  kuvvetli ve zayıf yönler için iki ayrı  $C_m$  değeri kabul eder  $C_{m22}$  ve  $C_{m33}$ .

Moment artırma çarpanı  $B_1$ , pozitif bir sayı olmalıdır. Bu nedenle  $P_u$ ,  $P_e$ 'den küçük olmalıdır. Eğer  $P_u$ ,  $P_e$ 'ye eşit veya  $P_e$ 'den büyük bulunursa, bir göçme durumunun olduğu ifade edilir.

SAP2000 boyutlama programı P- $\Delta$  etkilerini içeren analiz yapıldığını kabul eder, bu yüzden  $B_2$  her iki yöndeki eğilme için 1.0 alınır. P- $\Delta$  analizinin 1.2 ölü yük (DL) artı 0.5 hareketli yük (LL) şeklindeki çarpanlarla artırılmış yük seviyesinde yapıldığı farzedilir. (LRFD C2.2). White ve Hajjar'a bakınız. (1991).

Eğilme asal eksenleri ile geometrik eksenlerinin (2-2 ve 3-3) çakışmadığı tek köşebentler için, program her iki eğilme asal eksen yönleri için  $B_1$ 'in tek bir değerini kullanır. Bu değer 2-2 ve 3-3 yönleri için hesaplanan iki değer büyüğüdür.

Programın kabulleri özel bir yapı modeli veya elemanı için sağlamazsa kullanıcı her eleman için  $B_1$  ve  $B_2$ 'nin değerlerini belirlemede açıkça bir tercih hakkına sahiptir.

## NOMİNAL DAYANIMLARIN HESAPLANMASI

Kompakt, kompakt-olmayan ve narin kesitler için basınç, çekme, eğilme ve kayma nominal dayanımları aşağıdaki alt bölümlere göre hesaplanır. Enkesitler ile ilgili bütün şekiller için nominal dayanımlar onların eğilme asal eksenleri baz alınarak hesaplanır. Dikdörtgen, I, kutu, U, daire, boru, T ve çift köşebentli kesitler için asal eksenler geometrik eksenlerle çakışır. Köşebent kesitler için asal eksenler hesaplanır ve bütün hesaplamalar ona göre yapılır.

Tek köşebent kesitler için kayma gerilmesi, geometrik eksenler doğrultusunda hesaplanır. Diğer tüm kesitler için kayma gerilmesi, kesitlerin geometrik ve asal eksenleri doğrultusunda hesaplanır.

Dayanım azaltma çarpanı,  $\phi$ , aşağıdakiler gibi alınır. (LRFD A5.3)

$\phi_t$ = Çekme için karşı koyma çarpanı, 0.9	(LRFD D1, H1, SAM2,6)
$\phi_c$ = Basınç için karşı koyma çarpanı, 0.85	(LRFD E2, E3, H1)
$\phi_c$ = Köşebentlerde basınç için karşı koyma çarpanı, 0.90	(LRFD SAM4,6)
$\phi_b$ = Eğilme için karşı koyma çarpanı, 0.9	(LRFD F1, H1, A-F1, A-G2, SAM5)
$\phi_v$ = Kayma için karşı koyma çarpanı, 0.9	(LRFD F2, A-F3, A-G3, SAM3)

*Kullanıcı, "Eleman Boyutlama Giriş Bilgilerini Yeniden Tanımlama" da bir veya daha fazla eleman için nominal dayanımlar belirlerse, bu değerler aşağıdaki alt bölümlerde tanımlandığı gibi, bu elemanlar için yukarıda belirtilen hesaplanmış değerler yerine yazılacaktır. Belirlenen nominal dayanımlar eğilme asal eksenlerine göre hesaplanmalıdır.*

## Basınç Kapasitesi

Nominal basınç dayanımı eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma ve eğilmeli-burulmalı burkulmadan elde edilen minimum değerdir. Bu dayanımlar aşağıdaki alt bölümlere göre belirlenir.

Basınca maruz elemanlar için, eğer  $Kl/r$  değeri 200'den büyükse, bu etkiye ait bir mesaj verilir. (LRFD B7, SAM4). Tek köşebentler için, minimum atalet yarıçapı,  $r_z$ ,  $Kl/r$  nin hesabında  $r_{22}$  ve  $r_{33}$  ün yerine kullanılır.

## Eğilmeli Burkulma

Nominal aksenal basınç dayanımı  $P_n$ , narinlik oranı  $Kl/r$  ve onun kritik değeri  $\lambda_c$  ye bağlıdır. Burada

$$\frac{Kl}{r} = \max \left\{ \frac{K_{33}I_{33}}{r_{33}}, \frac{K_{22}I_{22}}{r_{22}} \right\}, \text{ ve}$$

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \text{ dir.} \quad (\text{LRFD E2-4, SAM4})$$

Tek köşebentler için  $\frac{Kl}{r}$  nin hesaplanmasında minimum atalet yarıçapı,  $r_z$ ,  $r_{22}$  ve  $r_{33}$ 'ün yerine kullanılır.

Kompakt ve kompakt-olmayan kesitler için nominal aksenal basınç dayanımı değeri,  $P_n$ , eğilmeli burkulma için şu şekilde bulunur;

$$P_n = A_g F_{cr}, \quad (\text{LRFD E2-1})$$

Burada

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$$

$$\lambda \leq 1.5 \text{ için,} \quad , \text{ ve} \quad (\text{LRFD E2-2})$$

$$\lambda > 1.5 \text{ için,} \quad F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad (\text{LRFD E2-3})$$

Narin kesitler için  $P_n$ , eğilmeli burkulma için şu şekilde bulunur;

$$P_n = A_g F_{cr}, \quad (\text{LRFD A-B3d, SAM4})$$

burada,

$$\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5 \text{ için} \quad F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y, \text{ ve} \quad (\text{LRFD A-B5-16, SAM4-1})$$

$$\lambda_c \sqrt{Q} > 1.5 \text{ için} \quad F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y \text{ dir.} \quad (\text{LRFD A-B5-16, SAM4-2})$$

Bütün kompakt ve kompakt-olmayan kesitler için azaltma çarpanı  $Q$ , 1.0 alınır. Narin kesitler için  $Q$  aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q = Q_s Q_a, \quad (\text{LRFD A-B5-7, SAM4})$$

burada

$Q_s$  = Takviyesiz narin elemanlar için azaltma çarpanı (LRFD A-B5-3a)

$Q_a$  = Takviyeli narin elemanlar için azaltma çarpanı (LRFD A-B5-3c)

Narin kesitler için  $Q_s$  çarpanı Tablo IV-4 (LRFD A-B5.3c) de tanımlandığı gibi hesaplanır. Narin kesitler için  $Q_a$  çarpanı etkili kesit alanı ve tüm kesit alanının oranı olarak hesaplanır. (LRFD A-B5-3c)

$$Q_a = \frac{A_e}{A_g} \quad (\text{LRFD A-B5-14})$$

Etkili enkesit alanı aşağıdaki etkili kalınlığa dayanarak hesaplanır:

$$A_e = A_g - \sum (b - b_e) t$$

Berkitilmemiş elemanlar için  $b_e$  değeri  $b$  ye eşit alınır. Berkitilmiş elemanlar için Tablo IV-5 (LRFD A-B5.3b) de verildiği gibi  $b$  ye eşit veya daha küçük olarak alınır. I, kutu kesit ve U kesitlerdeki gövdelerde, yukarıdaki denklemde  $h_e$ ,  $b_e$  olarak ve  $h$  ise  $b$  olarak kullanılmıştır.

Kesit Tipi	Berkitilmemiş Narin Elemanlar için Azaltma Çarpanı ( $Q_s$ )	İlgili Eşitlik
I- Kesit	$Q_s = \begin{cases} 1.0, & \text{if } b_f/2t_f \leq 95/\sqrt{F_y}, \\ 1.415 - 0.00437[b_f/2t_f]\sqrt{F_y}, & \text{if } 95/\sqrt{F_y} < b_f/2t_f < 176/\sqrt{F_y}, \\ 20,000/\{[b_f/2t_f]^2 F_y\}, & \text{if } b_f/2t_f \geq 176/\sqrt{F_y}. \end{cases}$ <p>(Hadde)</p>	LRFD A-B5-5, LRFD A-B5-6
	$Q_s = \begin{cases} 1.0 & \text{if } b_f/2t_f \leq 109/\sqrt{F_y/k_c}, \\ 1.415 - 0.00381[b_f/2t_f]\sqrt{F_y/k_c} & \text{if } 109/\sqrt{F_y/k_c} < b_f/2t_f < 200/\sqrt{F_y/k_c}, \\ 26,200 k_c / \{[b_f/2t_f]^2 F_y\} & \text{if } b_f/2t_f \geq 200/\sqrt{F_y/k_c}. \end{cases}$ <p>(Kaynaklı)</p>	LRFD A-B5-7, LRFD A-B5-8
Kutu	$Q_s = 1$	LRFD A-B5-3d
U- Kesit	I-Kesitlerdeki $b_f/2t_f$ yerine $b_f/t_f$	LRFD A-B5-5, LRFD A-B5-6, LRFD A-B5-7, LRFD A-B5-8
T- Kesit	Flanşlar, I- Kesitlerde olduğu gibi. Gövde için: $Q_s \leq \begin{cases} 1.0, & \text{if } d/t_w \leq 127/\sqrt{F_y}, \\ 1.908 - 0.00715[d/t_w]\sqrt{F_y}, & \text{if } 127/\sqrt{F_y} < d/t_w < 176/\sqrt{F_y}, \\ 20,000/\{[d/t_w]^2 F_y\}, & \text{if } d/t_w \geq 176/\sqrt{F_y}. \end{cases}$	LRFD A-B5-5, LRFD A-B5-6, LRFD A-B5-7, LRFD A-B5-8, LRFD A-B5-9, LRFD A-B5-10
Çift Köşebent (Ayrılmış)	$Q_s = \begin{cases} 1.0, & \text{if } b/t \leq 76/\sqrt{F_y}, \\ 1.340 - 0.00447[b/t]\sqrt{F_y}, & \text{if } 76/\sqrt{F_y} < b/t < 155/\sqrt{F_y}, \\ 15,500/\{[b/t]^2 F_y\}, & \text{if } b/t \geq 155/\sqrt{F_y}. \end{cases}$	LRFD A-B5-3, LRFD A-B5-4
Tek Köşebent	$Q_s = \begin{cases} 1.0, & \text{if } b/t \leq 0.446\sqrt{F_y/E}, \\ 1.34 - 0.761[b/t]\sqrt{F_y/E}, & \text{if } 0.446\sqrt{F_y/E} < b/t < 0.910\sqrt{F_y/E}, \\ 0.534/\{[b/t]^2 [F_y/E]\}, & \text{if } b/t \geq 0.910\sqrt{F_y/E}. \end{cases}$	LRFD SAM4-3
Boru	$Q_s = 1$	LRFD A-B5-3d
Yuvarlak Çubuk	$Q_s = 1$	LRFD A-B5-3d
Dörtköşe	$Q_s = 1$	LRFD A-B5-3d
Genel	$Q_s = 1$	LRFD A-B5-3d

**Tablo IV-4**

*Berkitilmemiş Narin Elemanlar için Azaltma Çarpanı,  $Q_s$*

Kesit Tipi	Berkitilmiş Kesitler için Etkin Genişlik	İlgili Eşitlik
I- Kesit	$h_c = \begin{cases} h, & \text{if } \frac{h}{t_w} \leq \frac{253}{\sqrt{f}}, \\ \frac{326 t_w}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{57.2}{(h/t_w)\sqrt{f}} \right], & \text{if } \frac{h}{t_w} > \frac{253}{\sqrt{f}}. \end{cases}$	Sadece basınç, $f = P / A_g$ LRFD A-B5-12
Kutu	$h_c = \begin{cases} h, & \text{if } \frac{h}{t_w} \leq \frac{253}{\sqrt{f}}, \\ \frac{326 t_w}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{57.2}{(h/t_w)\sqrt{f}} \right], & \text{if } \frac{h}{t_w} > \frac{253}{\sqrt{f}}. \end{cases}$	Sadece basınç, $f = P / A_g$ LRFD A-B5-12
	$b_c = \begin{cases} b, & \text{if } \frac{b}{t_f} \leq \frac{238}{\sqrt{f}}, \\ \frac{326 t_f}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{64.9}{(b/t_f)\sqrt{f}} \right], & \text{if } \frac{b}{t_f} > \frac{238}{\sqrt{f}}. \end{cases}$	Basınç veya eğilme, $f = F_y$ LRFD A-B5-11
U- Kesit	$h_c = \begin{cases} h, & \text{if } \frac{h}{t_w} \leq \frac{253}{\sqrt{f}}, \\ \frac{326 t_w}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{57.2}{(h/t_w)\sqrt{f}} \right], & \text{if } \frac{h}{t_w} > \frac{253}{\sqrt{f}}. \end{cases}$	Sadece basınç, $f = P / A_g$ LRFD A-B5-12
T- Kesit	$b_e = b$	LRFD A-B5.3b
Çift Köşebent (Ayrılmış)	$b_e = b$	LRFD A-B5.3b
Tek Köşebent	$b_e = b$	LRFD A-B5.3b
Boru	$Q_a = \begin{cases} 1, & \text{if } \frac{D}{t} \leq \frac{3,300}{F_y}, \\ \frac{1,100}{(D/t)F_y} + \frac{2}{3}, & \text{if } \frac{D}{t} > \frac{3,300}{F_y}. \end{cases}$	Sadece basınç LRFD A-B5-13
Yuvarlak Çubuk	Uygulanamaz	-
Dörtköşe	$b_e = b$	LRFD A-B5.3b
Genel	Uygulanamaz	-

**Tablo IV-5**  
*Berkitilmiş Kesitler için Etkin Genişlik*

## Eğilmeli-Burulmalı Burkulma

Genişlik-kalınlık oranı  $\lambda_r$  den daha az olan elemanlar çift köşebent ve T şekilli basınç elemanlarının eğilmeli-burulmalı burkulmaları için  $P_n$  şu ifadeyle verilir;

$$P_n = A_g F_{crft}, \quad (\text{LRFD E3-1})$$

Burada,

$$F_{crft} = \left( \frac{F_{cr2} + F_{crz}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cr2} F_{crz} H}{(F_{cr2} + F_{crz})^2}} \right], \text{ burada}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{Ar_0^2},$$

$$H = 1 - \left[ \frac{x_0^2 + y_0^2}{r_0^2} \right],$$

$r_0$  : Kayma merkezindeki polar atalet yarıçapı,

$x_0, y_0$  : Ağırlık merkezine göre kayma merkezinin koordinatlarıdır, çift köşebentli ve T şekilli elemanlar (y-eksenine göre simetrik) için  $x_0 = 0$  dır.

$F_{cr2}$  :  $\lambda_e = \frac{Kl}{r_{22}\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$  için zayıf simetri eksenini etrafındaki eğilmeli burkulma için LRFD E2-1 denkleminde hesaplanır.

## Burulmalı ve Eğilmeli-Burulmalı Burkulma

Burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulmanın limit durumları ile belirlenen bir basınç elemanının dayanımı,  $P_n$  aşağıdaki gibi belirlenir.

$$P_n = A_g F_{cr}, \quad (\text{LRFD A-E3-1})$$

burada

$$\lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \text{ için} \quad F_{cr} = Q(0.658^{\lambda_e^2}) F_y \quad (\text{LRFD A-E3-2})$$

$$\lambda_e > 1.5 \text{ için} \quad F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right] F_y \quad (\text{LRFD A-E3-3})$$

Yukarıdaki eşitlikte, narinlik parametresi  $\lambda_e$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}, \quad (\text{LRFD A-E3-4})$$

olarak hesaplanır. Burada  $F_e$  aşağıdaki gibi hesaplanır:

- Dikdörtgen, I, kutu ve boru kesitler için:

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_{22} + I_{33}}, \quad (\text{LRFD A-E3-5})$$

- T-kesitler ve çift köşebentler için:

$$F_e = \left[ \frac{F_{e22} + F_{ez}}{2H} \right] \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{e22} F_{ez} H}{(F_{e22} + F_{ez})^2}} \right] \quad (\text{LRFD A-E3-6})$$

- U-kesitler için:

$$F_e = \left[ \frac{F_{e33} + F_{ez}}{2H} \right] \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{e33} F_{ez} H}{(F_{e33} + F_{ez})^2}} \right] \quad (\text{LRFD A-E3-6})$$

- Eşit kollu tek köşebent kesitler için:

$$F_e = \left[ \frac{F_{e33} + F_{ez}}{2H} \right] \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{e33} F_{ez} H}{(F_{e33} + F_{ez})^2}} \right] \quad (\text{LRFD A-E3-6})$$

- Farklı kollu tek köşebent kesitler için,  $F_e$  aşağıdaki kübik denkleminin (LRFD A-E3-7) minimum gerçel kökü olarak hesaplanır:

$$(F_e - F_{e33})(F_e - F_{e22})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{e22}) \left( \frac{x_0}{r_0} \right)^2 - F_e^2 (F_e - F_{e33}) \left( \frac{y_0}{r_0} \right)^2 = 0,$$

Burada,

$x_0, y_0$  ağırlık merkezine göre kayma merkezinin koordinatlarıdır, çift köşebent ve T kesitli elemanlar (y-eksenine göre simetrik) için  $x_0 = 0$  dır.

$$r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_{22} + I_{33}}{A_g}} : \text{kayma merkezindeki polar atalet yarıçapı,}$$

$$H = 1 - \left( \frac{x_0^2 + y_0^2}{r_0^2} \right), \quad (\text{LRFD A-E3-9})$$

$$F_{e33} = \frac{\pi^2 E}{(K_{33} l_{33} / r_{33})^2}, \quad (\text{LRFD A-E3-10})$$

$$F_{e22} = \frac{\pi^2 E}{(K_{22} l_{22} / r_{22})^2}, \quad (\text{LRFD A-E3-11})$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z l_z)^2} + GJ \right] \frac{1}{A r_0^2}, \quad (\text{LRFD A-E3-12})$$

$K_{22}$ ,  $K_{33}$  zayıf ve kuvvetli yöndeki etkili boy çarpanlarıdır,

$K_z$  burulmalı burkulma için etkili boy çarpanıdır ve SAP2000 programında  $K_{22}$ 'ye eşit alınır.

$l_{22}$  ve  $l_{33}$  zayıf ve kuvvetli yönlerdeki etkili boylardır,  $l_z$  burulmalı burkulma için etkili boylardır ve  $l_{22}$ 'ye eşit alınır.

Köşebentlerde, asal atalet momenti ve atalet yarıçapı  $F_e$  'nin hesaplanmasında kullanılır. Aynı zamanda burada  $F_{e22}$  ve  $F_{e33}$  'ün hesaplanmasında  $K_{22} L_{22}$  veya  $K_{33} L_{33}$  yerine  $Kl$  'nin en büyük değeri yani  $(K_{22} L_{22}, K_{33} L_{33})$  değerlerinden en büyüğü kullanılır.

## Çekme Kapasitesi

Nominal eksenel çekme dayanımı değeri  $P_n$  brüt kesit alanına ve akma gerilmesine dayanır.

$$P_n = A_g F_y \quad (\text{LRFD D1-1})$$

**Herhangi bir net kesit kontrolü yapılmadığı belirtilmelidir.** Çekmeye maruz elemanlar için, eğer  $l/r$  değeri 300'den büyükse bu etkiye ait bir mesaj verilir. (LRFD B7, SAM2). Tek köşebentler için  $r_{22}$  ve  $r_{33}$  yerine  $Kl/r$  hesabında atalet yarıçapı  $r_z$  kullanılır.

## Eğilmede Nominal Dayanım

Nominal eğilme dayanımı aşağıdaki kriterlere bağlıdır: Kesitin geometrik şekli, eğilme eksenleri, kesitin kompaktlığı ve yanal-burulmalı burkulma için nerinlik parametresi. Enkesitler ile ilgili bütün şekiller için nominal dayanımlar onların eğilme asal eksenleri baz alınarak hesaplanır. Dikdörtgen, I, kutu, U, daire, boru, T ve çift köşebentli kesitler için asal eksenler geometrik eksenlerle çakışır. Tek köşebent kesitler için asal eksenler hesaplanır ve bütün hesaplamalar ona göre yapılır. Nominal eğilme dayanımı, aşağıdakiler gibi akmanın, enine-burulmalı burkulmanın, başlık yanal burkulmasının ve gövde buruşmasının sınır durumlarına göre elde edilen değerlerin minimumudur.

### Akma

Akma sınır durumu ile belirlenen, kirişlerin eğilmeye göre boyutlandırma dayanımı,

$$M_p = ZF_y \leq 1.5SF_y \quad (\text{LRFD F1-1})$$

### Enine-Burulmalı Burkulma

#### Çift Simetri Eksenli Kesitler ve U-kesitler

Kuvvetli eksen etrafında eğilen I, U, kutu ve dikdörtgen kesitli elemanlar için moment kapasitesi aşağıdaki eşitlikle (LRFD F1) verilir:

$$\begin{aligned} L_b \leq L_p \text{ ise} \quad & M_{n33} = M_{p33} \\ L_p < L_b \leq L_r \text{ ise} \quad & M_{n33} = C_b \left\{ M_{p33} - (M_{p33} - M_{r33}) \left[ \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \right\} \leq M_{p33}, \\ L_b > L_r \text{ ise} \quad & M_{n33} = M_{cr33} \leq M_{p33} \end{aligned} \quad (\text{LRFD F1,F1-2,F1-12})$$

Burada,

$M_{n33}$  = Kuvvetli eksen etrafındaki nominal eğilme dayanımı,

$M_{p33}$  = Kuvvetli eksen etrafındaki plastik moment,

$$Z_{33}F_y \leq 1.5S_{33}F_y, \quad (\text{LRFD F1})$$

$M_{r33}$  = Kuvvetli eksen etrafındaki sınır burkulma momenti,

$$\text{I-kesitler ve U-kesitler için } (F_y - F_r)S_{33}, \quad (\text{LRFD F1-7})$$

$$\text{ve dikdörtgen çubuklar ve kutu kesitler için } F_y S_{\text{eff},33} \quad (\text{LRFD F1-11})$$

$M_{cr33}$  = Kritik elastik moment,

$$\text{I-kesitler ve U-kesitler için } \frac{C_b \pi}{L_b} \sqrt{EI_{22} GJ + \left( \frac{\pi E}{L_b} \right)^2 I_{22} C_w} \quad (\text{LRFD F1-13})$$

$$\text{Kutular ve dikdörtgen çubuklar için } \frac{57000 C_b \sqrt{JA}}{L_b / r_{22}} \quad (\text{LRFD F1-14})$$

$L_b$  = Enine tutulu olmayan boy,  $l_{22}$ ,

$L_p$  = Tüm plastik kapasite için sınırlayıcı enine tutulu olmayan boy,

$$\text{I-kesitler ve U-kesitler için } \frac{300 r_{22}}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{LRFD F1-4})$$

$$\text{Kutular ve dikdörtgen çubuklar için } \frac{3750 r_{22} \sqrt{JA}}{M_{p33}} \quad (\text{LRFD F1-5})$$

$L_r$  = Elastik olmayan yanıl-burulmalı burkulma için sınırlayıcı yanıl tutulu olmayan boy,

I-kesitler ve U-kesitler için, (LRFD F1-6)

$$\frac{r_{22} X_1}{F_y - F_r} \left\{ 1 + \left[ X_2 (F_y - F_r)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/2}$$

$$\text{Kutular ve dikdörtgen çubuklar için } \frac{57000 r_{22} \sqrt{JA}}{M_{r33}} \quad (\text{LRFD F1-10})$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_{33}} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad (\text{LRFD F1-8})$$

$$X_2 = 4 \frac{C_w}{I_{22}} \left( \frac{S_{33}}{GJ} \right)^2 \quad (\text{LRFD F1-9})$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}, \quad (\text{LRFD F1-3})$$

$M_{\max}$ ,  $M_A$ ,  $M_B$  ve  $M_C$  elemanda sırasıyla maksimum momentin, açıklığın 1/4'ündeki, açıklığın ortasındaki ve açıklığın 3/4'ündeki kuvvetli eksen etrafındaki momentlerin mutlak değerleridir.  $C_b$  konsollar için 1.0 olarak alınır. Ancak program elemanın konsol olup olmadığını anlayamayabilir. **Kullanıcı konsollar için  $C_b$ 'yi yeniden düzeltmelidir.** Eğer elemanın tutulu olmayan boyu,  $l_{22}$ , kullanıcı tarafından

düzeltilmişse (yani eleman boyuna eşit değilse),  $C_b$  değeri program tarafından 1.0 alınır. Kullanıcı herhangi bir eleman için  $C_b$ 'yi tanımlayarak düzeltebilir.

Zayıf eksen etrafında eğilen I, U, kutu ve dikdörtgen kesitli elemanlar için moment kapasitesi aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$M_{n22} = M_{p22} = Z_{22}F_y \leq 1.5S_{22}F_y \quad (\text{LRFD F1})$$

Herhangi bir eksen etrafında eğilen borular ve dairesel çubuklar için,

$$M_n = M_p = ZF_y \leq 1.5SF_y \quad (\text{LRFD F1})$$

### ***T-kesitler ve Çift Köşebentler***

T-kesitler ve Çift köşebentler için kuvvetli eksen etrafında nominal eğilme dayanımı aşağıdaki gibi verilir;

$$M_{n33} = \frac{\pi\sqrt{EI_{22}GJ}}{L_b} \left[ B + \sqrt{1 + B^2} \right] \quad (\text{LRFD F1-15})$$

Burada,

$$\text{Çekme başlığında pozitif moment için,} \quad M_{n33} \leq 1.5F_yS_{33} \quad \text{için} \quad (\text{LRFD F1-2c})$$

$$\text{Basınç başlığında negatif moment için,} \quad M_{n33} \leq F_yS_{33} \quad \text{için} \quad (\text{LRFD F1-2c})$$

$$B = \mp 2.3 \frac{d}{L_b} \sqrt{\frac{I_{22}}{J}} \quad (\text{LRFD F1-16})$$

B için pozitif işareti T-kesitinin başlığında veya çift köşebentin dışa açılan kollarında çekme olduğu zaman (pozitif momentler) kullanılır ve negatif işaret başlıkta basınç için (negatif momentler) kullanılır.

T-kesitler ve çift köşebentler için zayıf eksen etrafındaki nominal eğilme dayanımının,

$$M_{n22} = S_{22}F_y$$

olduğu kabul edilir.

## Tek Köşebentler

Tek köşebentler için nominal dayanımlar onların eğilme asal eksenleri baz alınarak hesaplanır. Tek köşebentler için kuvvetli eksen etrafındaki nominal eğilme dayanımı yanal burulmalı burkulmanın sınır durumu için aşağıdakiler (LRFD SAM 5.1.3) gibi verilir:

$$M_{ob} \leq M_{y,kuvvetli} \text{ ise, } M_{n,kuvvetli} = \left\{ 0.92 - 0.17 \frac{M_{ob}}{M_{y,Kuvvet}} \right\} M_{ob} \leq 1.25 M_{y,kuvvetli}$$
$$M_{ob} > M_{y,kuvvetli} \text{ ise, } M_{n,kuvvetli} = \left\{ 1.58 - 0.83 \sqrt{\frac{M_{y,Kuvvet}}{M_{ob}}} \right\} M_{y,Kuvvet} \leq 1.25 M_{y,kuvvetli}$$

Burada,

$M_{y,kuvvetli}$  = Kuvvetli asal eksen etrafındaki eğilmede köşebentin heriki kolunun ucundaki ve köşesindeki akmanın olurluğunu gösteren akma momenti,

$M_{ob}$  = Aşağıda hesaplandığı gibi elastik yanal burulma momenti,

Eşit-kollu köşebentler için elastik yanal burulma momenti,  $M_{ob}$ ,

$$M_{ob} = C_b \frac{0.46 E b^2 t^2}{l}, \quad (\text{LRFD SAM5-5})$$

olarak alınır ve eşit-kollu olmayan köşebentler için  $M_{ob}$ ,

$$M_{ob} = 4.9 E C_b \frac{I_{zayıf}}{l^2} \left[ \sqrt{\beta_w^2 + 0.052 (l t / r_{min})^2} + \beta_w \right], \quad (\text{LRFD SAM5-6})$$

olarak hesaplanır, burada,

$$t = \min(t_w, t_f),$$

$$l = \max(l_{22}, l_{33}),$$

$I_{zayıf}$  = Zayıf asal eksen etrafındaki atalet momenti,

$r_{min}$  = Zayıf asal eksen etrafındaki atalet yarıçapı,

$$\beta_w = \left\{ \frac{1}{I_{33}} \int_A z(w^2 + z^2) dA \right\} - 2z_0 \quad (\text{LRFD SAM 5.3.2})$$

$z$  = Kuvvetli asal eksen boyunca koordinat,

$w$  = Zayıf asal eksen boyunca koordinat, ve

$z_0$  = Ağırlık merkezine göre kuvvetli asal eksen boyunca kayma merkezinin koordinatı,

$\beta_w$ , Eşit kollu olmayan köşebentler için özel bir kesit özelliği olup, basınçta kısa kol için pozitif, basınçta uzun kol için negatif ve eşit kollu köşebentler için sıfırdır. (LRFD SAM 5.3.2). Ancak SAP2000 programında konservatif boyutlandırma için bu katsayı eşit kollu olmayan köşebentler için daima negatif alınır.

## Genel Kesitler

Genel kesitler için kuvvetli ve zayıf eksenler etrafındaki nominal eğilme dayanımlarının

$$M_n = S F_y$$

olduğu kabul edilir.

## Başlıkların Yanal Burkulması

Başlıkların yanal burkulma sınır durumu için kompakt-olmayan ve narin kirişlerin eğilmeli boyutlandırma dayanımı,  $M_n$ , aşağıdakiler gibi (LRFD A-F1-3) hesaplanır:

Kuvvetli eksen etrafındaki eğilme için;

$$\begin{aligned} \lambda \leq \lambda_p & \quad \text{ise} & \quad M_{n33} = M_{p33} \\ \lambda_p \leq \lambda < \lambda_r & \quad \text{ise} & \quad M_{n33} = M_{p33} - (M_{p33} - M_{r33}) \left\{ \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right\}, \\ \lambda > \lambda_r & \quad \text{ise} & \quad M_{n33} = M_{cr33} \leq M_{p33}, \end{aligned} \quad (\text{A-F1-3})$$

ve zayıf eksen etrafındaki eğilme için,

$$\begin{aligned} \lambda \leq \lambda_p & \quad \text{ise} & \quad M_{n22} = M_{p22} \\ \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r & \quad \text{ise} & \quad M_{n22} = M_{p22} - (M_{p22} - M_{r22}) \left\{ \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right\}, \\ \lambda > \lambda_r & \quad \text{ise} & \quad M_{n22} = M_{cr22} \leq M_{p22}, \end{aligned} \quad (\text{A-F1-3})$$

Burada,

$M_{n33}$	=	Kuvvetli eksen etrafındaki hesaplanan eğilme dayanımı,
$M_{n22}$	=	Zayıf eksen etrafındaki hesaplanan eğilme dayanımı,
$M_{p33}$	=	Kuvvetli eksen etrafındaki plastik moment, $Z_{33}F_y \leq 1.5S_{33}F_y$ ,
$M_{p22}$	=	Zayıf eksen etrafındaki plastik moment, $Z_{22}F_y \leq 1.5S_{22}F_y$ ,
$M_{r33}$	=	Kuvvetli eksen etrafında sınırlayıcı burkulma momenti
$M_{r22}$	=	Zayıf eksen etrafında sınırlayıcı burkulma momenti
$M_{cr33}$	=	Kuvvetli eksen etrafındaki burkulma momenti,
$M_{cr22}$	=	Zayıf eksen etrafındaki burkulma momenti,
$\lambda$	=	Kontrol eden narinlik parametresi,
$\lambda_p$	=	$M_n = M_p$ olan en büyük $\lambda$ değeri,
$\lambda_r$	=	Burkulmanın elastik olmadığı en büyük $\lambda$ değeridir.

Başlık yanal burkulması için  $\lambda$ ,  $\lambda_p$ ,  $\lambda_r$ ,  $M_{r33}$ ,  $M_{r22}$ ,  $M_{cr33}$  ve  $M_{cr22}$  parametreleri farklı tip kesitler için aşağıda verilir:

### ***I-Kesitler, U-Kesitler***

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}, \quad (\text{I-kesitler için}) \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f}, \quad (\text{U-kesitler için}) \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$\lambda_p = \frac{65}{\sqrt{F_y}}, \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$\lambda_r = \frac{141}{\sqrt{F_y - F_r}}, \quad \text{hadde kesitler için,}$$

$$\lambda_r = \frac{162}{\sqrt{(F_y - F_r)/k_c}}, \quad \text{kaynaklı kesitler için,} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$M_{r33} = (F_y - F_r)S_{33} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$M_{r22} = F_y S_{22} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$M_{cr33} = \frac{20000}{\lambda^2} S_{33} \quad \text{hadde kesitler için,} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$M_{cr33} = \frac{26000}{\lambda^2} k_c S_{33} \quad \text{kaynaklı kesitler için,}$$

$$M_{cr22} = \frac{20000}{\lambda^2} S_{22} \quad \text{hadde kesitler için,} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$M_{cr22} = \frac{26000}{\lambda^2} k_c S_{22} \quad \text{kaynaklı kesitler için,} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$F_r = 10 \text{ ksi} \quad \text{hadde kesitler için,}$$

$$F_r = 16.5 \text{ ksi} \quad \text{kaynaklı kesitler için}$$

### ***Kutu Kesitler***

$$\lambda = \frac{b_f - 3t_w}{t_f}, \quad \text{hadde kesitler için,} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$\lambda = \frac{b_f - 2t_w}{t_f}, \quad \text{kaynaklı kesitler için,}$$

$$\lambda_p = \frac{190}{\sqrt{F_y}}, \quad (\text{LRFD B5.1, Tablo A-F1.1})$$

$$\lambda_r = \frac{238}{\sqrt{F_y}}, \quad \text{hadde kesitler için,} \quad (\text{LRFD B5.1, Tablo A-F1.1})$$

$$M_{r33} = (F_y - F_r) S_{\text{eff},33} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$M_{r22} = (F_y - F_r) S_{\text{eff},22} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$M_{cr33} = F_y S_{\text{eff},33} (S_{\text{eff},33} / S_{33}) \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$M_{cr22} = F_y S_{\text{eff},22} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$F_r = 10 \text{ ksi}, \quad \text{hadde kesitler için,} \quad (\text{LRFD Tablo A-F1})$$

$$F_r = 16.5 \text{ ksi}, \quad \text{kaynaklı kesitler için,}$$

$S_{\text{eff},33}$  = Narinliğe göre kuvvetli eksen etrafındaki etkili kesit modülleri,

$S_{\text{eff},22}$  = Narinliğe göre zayıf eksen etrafındaki etkili kesit modülleri,

### ***T-Kesitler ve Çift Köşebentler***

SAP2000 programında bu kesitler için yerel burkulma düşünülmemiştir. Eğer özel dizayna gerek olursa kullanıcının bunu ayrıca analiz edeceği farzedilir.

### **Tek Köşebentler**

Tek köşebentler için hesaplanan dayanımlar onların eğilme asal eksenleri esas alınarak hesaplanır. Tek köşebentler için kuvvetli ve zayıf eksenler etrafındaki hesaplanan eğilme dayanımları başlık yanal burkulma sınır durumu için aşağıdakiler (LRFD SAM 5.1.1) gibi verilir.

$$\begin{aligned} \frac{b}{t} &\leq 0.382 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ ise} & M_n &= 1.25F_y S_c, \\ 0.382 \sqrt{\frac{E}{F_y}} &< \frac{b}{t} \leq 0.446 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ ise} & M_n &= F_y S_c \left\{ 1.25 - 1.49 \left[ \frac{b/t}{0.382 \sqrt{\frac{E}{F_y}}} - 1 \right] \right\} \\ \frac{b}{t} &> 0.446 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ ise} & M_n &= QF_y S_c, \end{aligned}$$

Burada,

$S_c$  = Bir kolun ucunda basınç olması halinde kesit modülleri,

$t$  = Tahkik edilen kolun kalınlığı,

$l$  = Tahkik edilen kolun uzunluğu, ve

$Q$  = Yerel burkulma için narinlik azaltma çarpanı,

Tek köşebentler için başlık yanal burkulma sınır durumunda eğilme dayanımlarının hesabında, kapasiteler heriki ucunda basınçta olabileceği gözönünde tutularak heriki asal eksen içinde hesaplanır. Minimum kapasiteler hesaplanır.

### **Boru Kesitler**

$$\lambda = \frac{D}{t}, \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$\lambda_p = \frac{2070}{F_y}, \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$\lambda_r = \frac{8970}{F_y}, \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$M_{r33} = M_{r22} = \left( \frac{600}{D/t} + F_y \right) S, \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

$$M_{cr33} = M_{cr22} = \left( \frac{9570}{D/t} \right) S, \quad (\text{LRFD Tablo A-F1.1})$$

## ***Dairesel, Dikdörtgen ve Genel Kesitler***

Dairesel katı kesitler, dikdörtgen plaklar için yerel burkulma analizi gerekli değildir. (LRFD Tablo A-F1.1). SAP2000 programında dairesel, dikdörtgen ve genel kesitler için yerel burkulma analizi düşünülmemiştir. Eğer özel dizayna gerek olursa kullanıcının bunu ayrıca analiz edeceği farzedilir.

## **Gövde Bölgesel Buruşması**

SAP2000 programında eğilmeye göre boyutlandırma dayanımları yalnızca kuvvetli eksen etrafındaki eğilme için dikkate alınır. (LRFD Tablo A-F1.1).

## ***I-Kesitler, U-Kesitler ve Kutular***

Gövde buruşmasının sınır durumu için kompakt-olmayan ve narin kirişlerin kuvvetli eksen etrafındaki eğilmelerinde, eğilmeye göre boyutlandırma dayanımı,  $M_n$ , aşağıdaki gibi (LRFD A-F1-1, A-F1-3, A-G2-2) hesaplanır:

$$\begin{aligned} \lambda \leq \lambda_p, \text{ ise} \quad & M_{n33} = M_{p33}, \\ \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r, \text{ ise} \quad & M_{n33} = M_{p33} - (M_{p33} - M_{r33}) \left\{ \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right\} \quad (\text{A-F1, A-G1}) \\ \lambda > \lambda_r, \text{ ise} \quad & M_{n33} = S_{33} R_{PG} R_e F_{cr}, \end{aligned}$$

Burada,

- $M_{n33}$  = Kuvvetli eksen etrafındaki hesaplanan eğilme dayanımı,
- $M_{p33}$  = Kuvvetli eksen etrafındaki plastik moment,  $Z_{33} F_y \leq 1.5 S_{33} F_y$ ,
- $M_{r33}$  = Kuvvetli eksen etrafındaki sınırlayıcı burkulma momenti,  $R_e S_{33} F_y$ ,  
(LRFD Tablo A-F1.1)
- $\lambda$  = Gövde narinlik parametresi,
- $\lambda_p$  =  $M_n = M_p$  olan en büyük  $\lambda$  değeri,
- $\lambda_r$  = Burkulmanın elastik olmadığı en büyük  $\lambda$  değeri,
- $R_{PG}$  = Yapma kirişlerin eğilme dayanımı azaltma çarpanı,
- $R_e$  = Bileşik kiriş çarpanı, ve
- $F_{cr}$  = Kritik basınç başlık gerilmesi, ksi,

Gövde narinlik parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanır, burada  $P_u$ 'nun değeri çekme için sıfır ve basınç için pozitif alınır:

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w},$$

$$\frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0.125, \text{ için } \lambda_p = \frac{640}{\sqrt{F_y}} \left[ 1 - 2.75 \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right],$$

$$\frac{P_u}{\phi_b P_y} > 0.125, \text{ için } \lambda_p = \frac{191}{\sqrt{F_y}} \left[ 2.33 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right] \geq \frac{253}{\sqrt{F_y}},$$

ve

$$\lambda_r = \frac{970}{\sqrt{F_y}} \left[ 1 - 0.74 \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right].$$

Narin gövdeli kesitler için  $R_{PG}$ ,  $R_e$  ve  $F_{cr}$  parametreleri SAP2000 programında aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1,200 + 300a_r} \left[ \frac{h_c}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}} \right], \quad (\text{LRFD A-G2-3})$$

$$R_e = \frac{12 + a_r(2m - m^3)}{12 + 2a_r} \leq 1.0, \quad (\text{LRFD A-G2})$$

burada,

$$a_r = \text{Gövde alanı} / \text{Basınç başlık alanı}, \text{ ve} \quad (\text{LRFD A-G2})$$

$$m = \frac{F_y}{\min(F_{cr}, F_y)}, \text{ 1.0 olarak alınır.} \quad (\text{LRFD A-G2})$$

Yukarıdaki ifadelerde  $R_e$  değeri 1 olarak alınır çünkü şu andaki SAP2000 sadece bileşik olmayan kirişlerle ilgilenmektedir.

SAP2000 programında, narin gövdeli kesitler için kritik basınç başlık gerilmesi,  $F_{cr}$ , yanal burulmalı burkulmanın ve karşı gelen narinlik parametresi  $\eta$  için başlık yanal burkulmasının sınır durumları için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned}
\eta \leq \eta_p \text{ ise,} & \quad F_{cr} = F_y \\
\eta_p < \eta \leq \eta_r \text{ ise,} & \quad F_{cr} = C_b F_y \left[ 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{\eta - \eta_p}{\eta_r - \eta_p} \right] \right] \leq F_y, \quad (\text{LRFD A-G2-4, 5, 6}) \\
\eta > \eta_r \text{ ise,} & \quad F_{cr} = \frac{C_{PG}}{\eta^2},
\end{aligned}$$

Narin gövdeli I, U ve kutu kesitlerinin yanal-burulmalı burkulması için  $\eta$ ,  $\eta_p$ ,  $\eta_r$  ve  $C_{PG}$  parametreleri aşağıda verilir:

$$\eta = \frac{L_b}{r_T}, \text{ (I-kesitler için)} \quad (\text{LRFD A-G2-7})$$

$$\eta_p = \frac{300}{\sqrt{F_y}}, \quad (\text{LRFD A-G2-8})$$

$$\eta_r = \frac{756}{\sqrt{F_y}}, \quad (\text{LRFD A-G2-9})$$

$$C_{PG} = 286000 C_b, \text{ ve} \quad (\text{LRFD A-G2-10})$$

$r_T$  = Basınç başlığı artı gövdenin basınç kısmının üçte birinin atalet yarıçapı, ve bu SAP2000 programında  $b_f / \sqrt{12}$  olarak alınır. (LRFD A-G2).

Narin gövdeli I, U ve kutu kesitlerinin başlık yanal burkulması için  $\eta$ ,  $\eta_p$ ,  $\eta_r$  ve  $C_{PG}$  parametreleri aşağıda verilir:

$$\eta = \frac{b}{t}, \quad (\text{LRFD A-G2-11})$$

$$\eta_p = \frac{65}{\sqrt{F_y}}, \quad (\text{LRFD A-G2-12})$$

$$\eta_r = \frac{230}{\sqrt{F_y / k_c}}, \quad (\text{LRFD A-G2-13})$$

$$C_{PG} = 26200 k_c, \text{ ve} \quad (\text{LRFD A-G2-14})$$

$$C_b = 1.0 \quad (\text{LRFD A-G2-15})$$

### ***T-kesitler ve Çift Köşebentler***

SAP2000 programında bu kesitler için yerel burkulma düşünülmemiştir. Eğer özel dizayna gerek olursa kullanıcının bunu ayrıca analiz edeceği farzedilir.

### ***Tek Köşebentler***

Tek köşebentlerin gövde buruşma sınır durumu için kuvvetli ve zayıf eksenler etrafındaki hesaplanan eğilme dayanımları başlık yanal burkulması için verilenlerle (LRFD SAM 5.1.1) aynıdır. SAP2000 programında bunlara ek olarak bir kontrol düşünülmemiştir.

### ***Kutu kesitler***

Kutu kesitlerin gövde buruşma sınır durumu için kuvvetli ve zayıf eksenler etrafındaki hesaplanan eğilme dayanımları başlık yanal burkulması için verilenlerle (LRFD Tablo A-F1.1) aynıdır. SAP2000 programında bunlara ilave bir kontrol düşünülmemiştir.

### ***Dairesel, Dikdörtgen ve Genel Kesitler***

Dairesel katı kesitler, dikdörtgen plaklar için gövde buruşma analizi gerekli değildir. (LRFD Tablo A-F1.1). SAP2000 programında dairesel, dikdörtgen ve genel kesitler için gövde buruşma analizi düşünülmemiştir. Eğer özel dizayna gerek olursa kullanıcının bunu ayrıca analiz edeceği farzedilir.

## **Kayma Kapasiteleri**

Nominal kayma dayanımı, bütün kesitler için geometrik eksenler etrafında hesaplanır. I, kutu, U, T, çiftköşebent, boru, dairesel ve dikdörtgensel kesitlerde asal eksenler geometrik eksenlerle çakışır. Tek köşebent kesitlerde asal eksen, geometrik eksen ile çakışmaz.

### ***Kuvvetli eksen etrafındaki Eğilme***

I-kesitler, kutular ve U-kesitlerde kuvvetli eksen doğrultusundaki kaymalar için hesaplanan kayma dayanımı,  $V_{n2}$ , aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{418}{\sqrt{F_y}}, \text{ için} \quad V_{n2} = 0.6F_y A_w, \quad (\text{LRFD F2-1})$$

$$\frac{418}{\sqrt{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq \frac{523}{\sqrt{F_y}}, \text{ için } V_{n2} = 0.6F_y A_w \frac{418}{\sqrt{F_y}} / \frac{h}{t_w}, \quad (\text{LRFD F2-2})$$

$$\frac{523}{\sqrt{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 260, \text{ için } V_{n2} = 132000 \frac{A_w}{(h/t_w)^2}, \quad (\text{LRFD F2-3 ve A-F2-3})$$

Diğer bütün kesitler için hesaplanan kayma dayanımı,

$$V_{n2} = 0.6F_y A_{v2}$$

olarak alınır.

### ***Zayıf eksen etrafındaki Eğilme***

Zayıf eksen doğrultusundaki kaymalar için hesaplanan kayma dayanımı,

$$V_{n3} = 0.6F_y A_{v3}$$

olarak alınır.

## KAPASİTE ORANLARININ HESAPLANMASI

Eksenel kuvvet / çift eksenli moment kapasite oranlarının hesabında ilk olarak her yük kombinasyonunda eleman boyuncaki her bölüm için gerçek kuvvet / moment bileşkeleri hesaplanır. Sonra onlara karşı gelen kapasiteler hesaplanır. Daha sonra, her bir boyutlama yük kombinasyonlarının etkisi altında her elemanın her bölümündeki kapasite oranları hesaplanır. Kontrol eden basınç ve/veya çekme kapasite oranında ilgili bölüm ve yük kombinasyonunda elde edilir. 1.0'den büyük bir kapasite oranı bir sınır durumun aşıldığını gösterir.

**Boyutlama esnasında bulonların veya kaynakların varlıklarının etkisi düşünülmemiştir, ve de birleşimler boyutlandırılmamıştır.**

### Eksenel ve Eğilme Gerilmeleri

Etkileşim oranı,  $\frac{P_u}{\phi P_u}$  oranına dayanılarak hesaplanır. Eğer  $P_u$  çekme ise,  $P_n$  hesaplanan eksenel çekme dayanımı ve  $\phi = \phi_t = 0.9$ 'dur; ve eğer  $P_u$  basınç ise,  $P_n$  hesaplanan eksenel basınç dayanımıdır ve  $\phi = \phi_c = 0.85$ 'dir, sadece köşebent kesitlerde  $\phi = \phi_c = 0.90$ 'dır. (LRFD SAM6). Ayrıca eğilme için karşı koyma çarpanı,  $\phi_b = 0.9$ 'dir.

$\frac{P_u}{\phi P_u} \geq 0.2$  için kapasite oranı

$$\frac{P_u}{\phi P_u} + \frac{8}{9} \left\{ \frac{M_{u33}}{\phi M_{n33}} + \frac{M_{u22}}{\phi M_{n22}} \right\} \quad (\text{LRFD H1-1a, SAM6-1a})$$

olarak verilmiştir.

$\frac{P_u}{\phi P_u} < 0.2$  için kapasite oranı

$$\frac{P_u}{2\phi P_u} + \frac{8}{9} \left\{ \frac{M_{u33}}{\phi M_{n33}} + \frac{M_{u22}}{\phi M_{n22}} \right\} \quad (\text{LRFD H1-1b, SAM6-1a})$$

olarak verilmiştir.

Dairesel kesitler için yukarıdaki formüllerle verilen basit cebirsel toplam yerine eksenel yük bileşkelerini toplamadan önce ilk olarak iki eğilme bileşkesinin bir SRSS (kareler toplamının karekökü) kombinasyonu yapılır.

Tek köşebent kesitler için bileşik gerilme oranı, asal eksen etrafındaki kesit değerlerine göre hesaplanır (LRFD SAM 5.3, 6). I, kutu, U, T, çiftköşebent, boru, dairesel ve dikdörtgensel kesitlerde asal eksenler geometrik eksenlerle çakışır. Tek köşebent kesitlerde asal eksen SAP2000 de tayin edilir. Genel kesitler için kesit değerlerinin asal doğrultularda verildiği varsayılmıştır.

## Kayma Gerilmeleri

Normal gerilmelere benzer şekilde her yük kombinasyonu için her bölümdeki çarpanlarla artırılmış kayma kuvveti değerleri ve hesaplanan kayma dayanımı değerlerinden kuvvetli ve zayıf eksen yönleri için kayma kapasitesi oranları şu şekilde bulunur:

$$\frac{V_{u2}}{\phi_v V_{n2}}, \text{ ve } \frac{V_{u3}}{\phi_v V_{n3}},$$

burada  $\phi_v = 0.9$  'dur.

Tek köşebent kesitlerde, kayma gerilme oranı geometrik eksen doğrultusunda hesaplanır. Diğer bütün kesitler için kayma gerilmesi geometrik eksenle çakışan asal eksen doğrultusunda hesaplanır.

---

## Bölüm V

---

# AASHTO 1997'e Göre Boyutlama

Bu bölüm kullanıcı AASHTO Boyutlama Yönetmeliğini (AASHTO 1997) seçtiğinde SAP2000'nin kullandığı yapısal çelik boyutlama ve gerilme kontrolü algoritmalarının ayrıntılarını açıklamaktadır. Bu bölümde kullanılan semboller TabloV-1'de listelenmiştir.

Boyutlama kullanıcı tarafından belirlenen yük kombinezonlarına dayanır. Fakat program birçok yapının boyutlama gereklerini karşılayan önceden hazır olan (default) bir yük kombinezonu takımı sağlar.

Eleman boyuncaki bir noktada aksenal kuvvet/çift eksenli moment kapasite oranlarının hesabında ilk olarak her yük kombinezonunda gerçek eleman kuvvet/moment bileşkeleri ve onlara karşı gelen kapasiteler hesaplanır. Daha sonra dizayn yük kombinezonlarının etkisi altında bu bölümde tanımlanan ilgili denklemleri kullanarak, her bölümdeki kapasite oranları bulunur. Kontrol eden kapasite oranıda elde edilir. 1.0 den büyük bir kapasite oranı bir limit durumunun aşıldığını ifade eder. Benzer şekilde kayma kapasite oranıda ayrıca hesaplanır.

Boyutlama ve kontrol kompozit olmayan, bileşik olmayan ve takviyesiz kesitlerle sınırlandırılmıştır. Kompozit, bileşik ve takviyeli kesitler SAP2000 programından bağımsız olarak kullanıcı tarafından araştırılabilir.

$A$	=	Kesit alanı, inç <sup>2</sup>
$A_g$	=	Brüt kesit alanı, inç <sup>2</sup>
$A_{v2}, A_{v3}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kayma alanları, inç <sup>2</sup>
$A_w$	=	$dt_w$ /Gövde'ye eşit olan kayma alanı inç <sup>2</sup>
$C_b$	=	Eğilme katsayısı
$C_m$	=	Moment katsayısı
$C_w$	=	Çarpılma sabiti, inç <sup>6</sup>
$D$	=	Boruların dış çapı, inç
$D_e$	=	Basınçtaki gövde derinliği, inç
$D_{cp}$	=	Plastik moment altında basınçtaki gövde derinliği, inç
$E$	=	Elastisite modülü, ksi
$F_{cr}$	=	Kritik basınç gerilmesi, ksi
$F_r$	=	Başlıktaki basınç gerilme fazlası, ksi, hadde kesitler için 10.0 ksi ve kaynaklı kesitler için 16.5 ksi kabul edilir.
$F_y$	=	Malzemenin akma gerilmesi, ksi
$G$	=	Kayma modülü, ksi
$I_{22}$	=	Zayıf yöndeki atalet momenti, inç <sup>4</sup>
$I_{33}$	=	Kuvvetli yöndeki atalet momenti, inç <sup>4</sup>
$J$	=	Kesit için burulma sabiti, inç <sup>4</sup>
$K$	=	Etkili boy çarpanı
$K_{33}, K_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki etkili boy $K$ çarpanları
$L_b$	=	Elemanın yanal mesnetlenmemiş boyu, inç
$L_p$	=	Tüm plastik kapasite için sınırlayıcı yanal mesnetlenmemiş boy, inç
$L_r$	=	Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma için sınırlayıcı yanal mesnetlenmemiş boy, inç
$M_{cr}$	=	Elastik burkulma momenti, kip-inç
$M_b$	=	Yanal ötelemeye yol açmayan çarpanlarla arttırılmış momentler, kip-inç
$M_s$	=	Yanal ötelemeye yol açan çarpanlarla arttırılmış momentler, kip-inç
$M_{n33}, M_{n22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki hesaplanan eğilme dayanımı, kip-inç
$M_{p33}, M_{p22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki plastik momentler, kip-inç
$M_{r33}, M_{r22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki sınırlayıcı burkulma momentleri, kip-inç
$M_u$	=	Elemandaki çarpanlarla arttırılmış moment, kip-inç
$M_{u33}, M_{u22}$	=	Elemandaki çarpanlarla arttırılmış kuvvetli ve zayıf yönlerdeki momentler, kip-inç
$P_e$	=	Euler burkulma yükü, kip
$P_n$	=	Hesaplanan aksenal yük dayanımı, kip
$P_u$	=	Elemandaki çarpanlarla arttırılmış aksenal kuvvet, kip
$S$	=	Kesit modülü, inç <sup>3</sup>
$S_{33}, S_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kesit modülleri, inç <sup>3</sup>

**Tablo V-1**  
*AASHTO-LRFD Sembolleri*

$V_{n2}, V_{n3}$	=	Hesaplanan kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kayma dayanımları, kip
$V_{u2}, V_{u3}$	=	Çarpanlarla arttırılmış kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kayma yükleri, kip
$Z$	=	Plastik modül, inç <sup>3</sup>
$Z_{33}, Z_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki plastik modüller, inç <sup>3</sup>
$b$	=	Köşebentlerin büyük ayağının hesap boyutu, inç hadde kutu kesitler için $b_f - 3t_w$ kaynaklı kutu kesitler için $b_f - 2t_w$
$b_f$	=	Flanş genişliği, inç
$d$	=	Elemanın derinliği, inç
$h_c$	=	Başlıklar arasındaki net mesafe eksi yuvarlak dolgu kısımlar, inç hadde kesitler için $d - 2k$ , ve kaynaklı kesitler için $d - 2t_f$ kabul edilir.
$k$	=	Başlığın dış yüzünden başlığın gövde ucuna olan mesafe, inç
$k_c$	=	Kesitleri sınıflandırmak için kullanılan parametre $4 / \sqrt{h / t_w}$ , $0.35 \leq k_c \leq 0.763$
$I_{33}, I_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki mesnetlenmemiş eleman boyları, inç
$r$	=	Atalet yarıçapı, inç,
$r_{33}, r_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki atalet yarıçapları, inç
$r_z$	=	Köşebentler için minimum atalet yarıçapı, inç
$t$	=	Kalınlık, inç
$t_f$	=	Başlık kalınlığı, inç
$t_w$	=	Gövde kalınlığı, inç
$\delta_b$	=	Yanal ötelemeye yol açmayan momentler için moment arttırma çarpanı,
$\delta_s$	=	Yanal ötelemeye yol açan momentler için moment arttırma çarpanı,
$\lambda$	=	Narinlik parametresi,
$\lambda_c$	=	Kolon narinlik parametre,
$\lambda_p$	=	Kompakt elemanlar için sınırlayıcı narinlik parametresi,
$\lambda_r$	=	Kompakt-olmayan elemanlar için sınırlayıcı narinlik parametresi,
$\phi$	=	Karşı koyma çarpanı,
$\phi_f$	=	Eğilme için karşı koyma çarpanı, 0.9
$\phi_c$	=	Basınç için karşı koyma çarpanı, 0.85
$\phi_y$	=	Çekme için karşı koyma çarpanı, 0.9
$\phi_v$	=	Kayma için karşı koyma çarpanı, 0.9

**Tablo V-1**  
*AASHTO-LRFD Sembolleri (devam)*

Giriş bilgileri için İngiliz birimleri olduğu kadar SI ve MKS metrik birimleride kullanılabilir. Fakat yönetmelik kip-inch-saniye sistemine dayanmaktadır. Aksi belirtilmedikçe basitliği sağlamak üzere bu bölümdeki bütün eşitlikler ve açıklamalar kip-inch-saniye birim sisteminde verilmiştir.

## BOYUTLAMA YÜK KOMBİNEZONLARI

Boyutlama yük kombinezonları, belirtilen yükleme durumlarının, yapının kesit hesaplarında kullanılacak çeşitli birleştirme şekilleridir.

Altı tür ölü yük vardır: taşıyıcı elemanların ve taşıyıcı olmayan eklemelerin ölü yükü (DC), aşağıya doğru çekme yükü (DD), kaplama ve donanım yükü (DW), yatay zemin basınç yükü (EH), düşey zemin basınç yükü (EV), zemin üst yükü (ES). Ölü yüklerden her biri farklı yük çarpanı ile hesaba katılır. (AASHTO3.4.1).

Altı tür hareketli yük vardır: araç hareketli yükü (LL), araç dinamik etkisi (IM), araç merkezkaç kuvveti (CE), araç fren yükü (BR), yaya hareketli yükü (PL) ve zemin üstü hareketli yükü (LS). Bütün bu yükler aynı yük çarpanını gerektirir ve ayrı olarak gözönüne alınmalarına ihtiyaç yoktur. (AASHTO 3.4.1).

Eğer yapı ölü yük (DL), hareketli yük (LL), rüzgar yükü (WL) ve deprem yükü (EL) etkisi altında ise, rüzgar ve deprem yüklerinin yön değiştirebilir özelliği gözönüne alınarak, Dayanım ve Sınır Durum limit durumları için aşağıdaki önceden hazır olan yük kombinezonları tanımlanır. (AASHTO 3.4.1):

1.50DL	(Dayanım-V)
1.25DL + 1.75LL	(Dayanım-I)
0.90DL ± 1.40WL	(Dayanım-III)
1.25DL ± 1.40WL	(Dayanım-III)
1.25DL ± 1.35LL ± 0.40WL	(Dayanım-V)
0.90DL ± 1.0EL	(Sınır Durum-I)
1.25DL + 0.50LL ± 1.0EL	(Sınır Durum-I)

Bunlar aynı zamanda, AASHTO LRFD 1997 Yönetmeliği kullanıldığında SAP2000'nin önceden hazır olan boyutlama yük kombinezonlarıdır. Yönetmelikte programın mevcut durumunda verilen önceden hazır olan yükleme durumlarından farklı başka yükleme durumları da vardır. Ancak kullanıcı yüklerin ve yük kombinezonlarının tanımında tam bir kontrole sahiptir. Kullanıcı gerektiğinde diğer yük kombinezonlarını tanımlayabilir.

Çarpanlarla arttırılmış yüklerde hareketli yükün payını azaltmak için hareketli yük azaltma çarpanı, eleman hareketli yük kuvvetlerine eleman-eleman uygulanır.

AASHTO Yönetmeliği kullanıldığında SAP2000 boyutlama, P-Δ analizinin yanal ötelemeye yol açan momentler için moment arttırma çarpanlarının 1.0 alınarak yapıldığını kabul eder. P-Δ analizinin 1.25 ölü yük (DL) + 1.35 hareketli yük (LL) şeklinde çarpanlarla arttırılmış yük seviyesinde (AASHTO C.4.5.3) yapılması tavsiye edilir. (Bakınız White ve Hajjar 1991).

## KESİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Eksenel basınç ve eğilme için hesaplanan dayanımlar, kesitin kompakt, kompakt-olmayan, veya narin olarak sınıflandırımına bağlıdır. SAP2000 programı Tablo V-2 (AASHTO 6)'de verilen genişlik/kalınlık oran miktarlarına göre farklı elemanları sınıflandırır. Bu tablolarda geçen kesit özelliklerinin tarifleri Şekil V-1 de verilmiştir. **Eğer kompakt-olmayan kesitler için olan sınırlar sağlanmıyorsa, kesit narin olarak sınıflandırılır. Halihazırda SAP2000 programı narin kesitler için bir gerilme kontrolü yapmaz.**

## ÇARPANLARLA ARTTIRILMIŞ KUVVETLERİN HESAPLANMASI

Her yük kombinasyonu için hesaplanan, çarpanlarla arttırılmış eleman yükleri  $P_u$ ,  $M_{u33}$ ,  $M_{u22}$ ,  $V_{u3}$  ve  $V_{u2}$  sırasıyla çarpanlarla arttırılmış eksenel yük, kuvvetli yöndeki moment, zayıf yöndeki moment, kuvvetli yöndeki kayma kuvveti ve zayıf yöndeki kayma kuvvetine karşı gelirler.

Elemanda basınca yolaçan yük kombinasyonları için çarpanlarla arttırılmış moment  $M_u$  (karşı gelen yönlerdeki  $M_{u33}$  ve  $M_{u22}$ ) ikinci mertebe etkileri hesaba katmak üzere büyütülür. Herhangi bir yöndeki büyütülmüş moment şu eşitlikle verilir:

$$M_u = \delta_b M_b + \delta_s M_s, \quad (\text{AASHTO 4.5.3.2.2b})$$

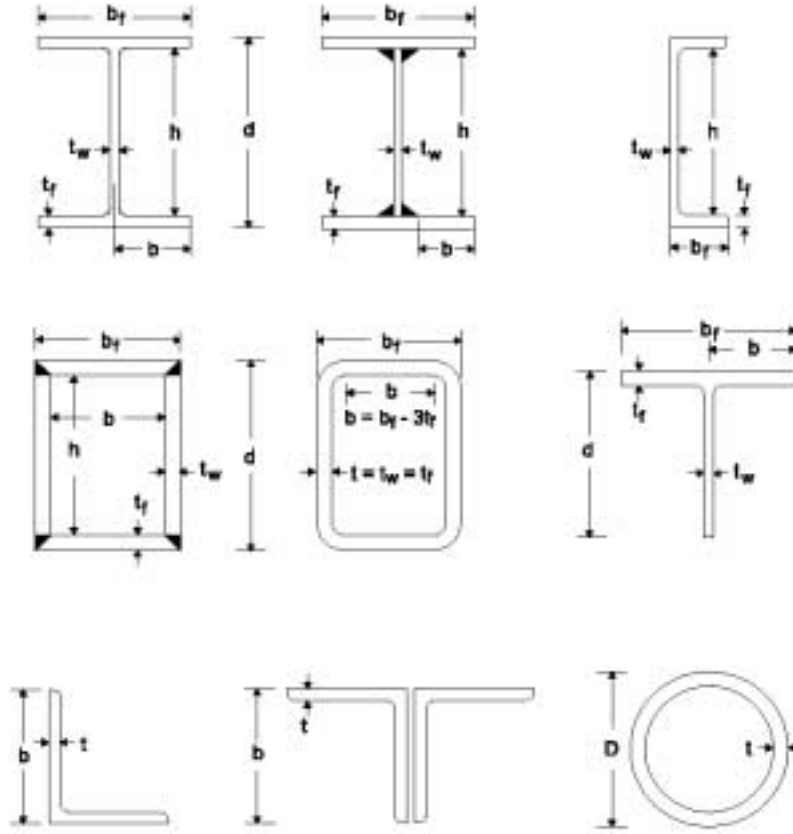
Burada

- $\delta_b$  = Yanal ötelemesiz momentler için moment arttırma çarpanı
- $\delta_s$  = Yanal ötelemeli momentler için moment arttırma çarpanı
- $M_b$  = Yanal ötelemeye yolaçmayan çarpanlarla arttırılmış momentler, ve
- $M_s$  = Yanal ötelemeye yolaçan çarpanlarla arttırılmış momentler.

Kesitin Tanımı	Kontrol Edilen Oran $\lambda$	Kompakt Kesit $\lambda_p$	Kompakt Olmayan Kesit $\lambda_r$
I-kesitler	$b_f / 2t_f$	$\leq 0.382 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\leq 1.38 \sqrt{\frac{E}{F_y \sqrt{2D_c / t_w}}}$
	$2D_\phi / t_w$	$\leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\leq 6.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	$L_b$	$\leq \left[ 0.124 - 0.0759 \frac{M_1}{M_2} \right] \frac{E_y E}{F_y}$	$\leq 1.76 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
<b>Kutu kesitler</b>	-	Kompakt-olmayan varsayılmıştır	
U- kesitler	$b / t_f$	$\leq 65 / \sqrt{F_y}$	$\leq 141 / \sqrt{F_y - 10.0}$
	$h_c / t_w$	For $P_u / \phi_y P_y \leq 0.125$ , $\leq \frac{640}{\sqrt{F_y}} \left( 1 - \frac{2.75 P_u}{\phi_y P_y} \right)$ For $P_u / \phi_y P_y > 0.125$ $\leq \left\{ \frac{191}{\sqrt{F_y}} \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_y P_y} \right) \right\}$ $\geq \frac{253}{\sqrt{F_y}}$	$\leq 970 / \sqrt{F_y}$
<b>T kesitler</b>	$b_f / 2t_f$ $d / t_w$	U- Kesitlerde olduğu gibi Uygulanamaz	U- Kesitlerde olduğu gibi $\leq 127 / \sqrt{F_y}$
<b>Tek köşebent</b>	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$
<b>Çift köşebent (ayrılmış)</b>	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$
<b>Borular</b>	$D / t$	$\leq 2.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\leq 8.80 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
<b>Dairesel dolu Çubuk</b>	-	Kompakt varsayılmıştır	
<b>Dörtköşe</b>	-	Kompakt varsayılmıştır	
<b>Genel</b>	-	Kompakt-olmayan varsayılmıştır	

**Tablo V-2**

*AASHTO Yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırılması  
Eğilme elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları*



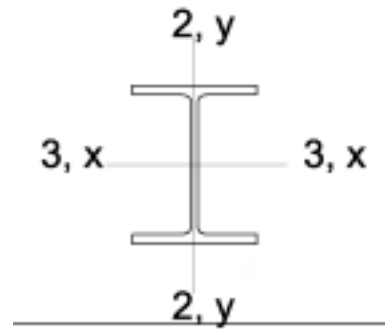
### AASHTO-LRFD97: Profil eksenleri tanımlama kuralları

2-2:

Gövdeye paralel kesit eksenini,  
Borularda daha uzun olan boyut,  
Tek köşebentlerin uzun olan kenarı veya  
Çift köşebentlerin karşı karşıya gelen kenarları.  
Bu, y-y eksenine aynıdır.

3-3:

2-2 eksenine dik olan eksenidir. Bu, x-x eksenidir.



### Şekil V-1

*Geometrik Kesit Değerlerinin AASHTO Yönetmeliğine göre Tanımı*

Moment arttırma çarpanları, onlara karşı gelen yönlerle ilgilidirler. Yanal ötelemeye yolaçmayan momentler için moment arttırma çarpanı  $\delta_b$  şu eşitlikle verilir:

$$\delta_b = \frac{C_m}{(1 - (P_u / \phi_c P_e))} \geq 1.0 \quad (\text{AASHTO 4.5.3.2.2b})$$

Burada  $P_e$  Euler burkulma yüküdür,

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(Kl_u)^2}, \quad (\text{AASHTO 4.5.3.2.2b})$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_a}{M_b}, \quad (\text{AASHTO 4.5.3.2.2b})$$

Burada  $M_a / M_b$  oranı (yatay hareketsiz) eleman uç momentlerinin, küçüğünün büyüğüne olan oranıdır; çift eğrilik için pozitif ve tek eğrilik içinse negatiftir. Enlemesine yüke maruz basınç elemanları için  $C_m$  1.0 kabul edilir. Çekme elemanlarında  $C_m$  1.0 alınır. Enlemesine yük alan basınç elemanları için eğer uçlarından biri ankastre değilse  $C_m$  değeri 1.0 alınır; eğer her iki ucu da ankastre değilse  $C_m$  değeri 0.85 alınır.  $M_b$  değeri sıfırken  $C_m$  değeri 1.0 alınır. Eğer elemanın mesnetlenmemiş boyu değeri,  $l$ , programın kendisi veya kullanıcı tarafından yeniden tanımlanmış ise yani elemanın boyu mesnetlenmemiş boyuna eşit değilse o zaman  $C_m$  değeri 1.0 alınır. Kullanıcı istediği her elemanın  $C_m$  değerini değiştirebilir.  $C_m$  kuvvetli ve zayıf yönlerde ait iki ayrı  $C_m$  değeri kabul eder  $C_{m22}$  ve  $C_{m33}$ .

Moment arttırma çarpanı  $\delta_b$ , pozitif bir sayı olmalıdır. Bu nedenle  $P_u$ ,  $\phi_c P_e$ 'den küçük olmalıdır. Eğer  $P_u$ ,  $\phi_c P_e$ 'ye eşit veya daha büyük bulunursa, bir göçme durumunun olduğu ifade edilir.

SAP2000 boyutlama programı P- $\Delta$  etkilerini içeren analizin yapıldığını kabul eder, bu yüzden  $\delta_s$  heriki yöndeki eğilme için 1.0 alınır. P- $\Delta$  analizinin 1.25 ölü yük (DL) artı 1.35 hareketli yük (LL) şeklindeki çarpanlarla arttırılmış yük seviyesinde yapıldığı farzedilir. (AASHTO C4.5.3.2.1). White ve Hajjor a bakınız. (1991). Programın kabulleri özel bir yapı modeli veya elemanı için sağlamazsa kullanıcı her eleman için  $\delta_b$  ve  $\delta_s$ 'nin değerlerini belirlemede açıkça bir tercih hakkına sahiptir.

## NOMİNAL DAYANIMLARIN HESAPLANMASI

Kompakt ve kompakt-olmayan kesitler için basınç, çekme, eğilme ve kayma hallerindeki nominal dayanımlar aşağıdaki alt bölümlere göre hesaplanır.

Dayanım azaltma çarpanı,  $\phi$ , aşağıdakiler gibi alınır. (AASHTO 6.5.4.2):

$\phi_f$ = Eğilme için karşı koyma çarpanı, 1.0	(AASHTO 6.5.4.2, 6.10.2)
$\phi_v$ = Kayma için karşı koyma çarpanı, 1.0	(AASHTO 6.5.4.2, 6.10.2)
$\phi_y$ = Çekme için karşı koyma çarpanı, 0.95	(AASHTO 6.5.4.2, 6.8.2)
$\phi_c$ = Basınç için karşı koyma çarpanı, 0.90	(AASHTO 6.5.4.2, 6.9.2)

*Yerel burkulmanın, eğilmeli-burulma ve burulmalı burkulmanın veya gövde burkulmasının gözönüne alındığı tek simetri eksenli ve simetri eksenli olmayan kesitler ve narin kesitler için azaltılmış nominal dayanımlar kullanılabilir. Kullanıcı hangi elemanı kullanacaksa bu azaltmayı ayrıca araştırmalıdır.*

*SAP2000 programında AASHTO'ya göre boyutlandırma kompozit-olmayan, bileşik-olmayan ve takviyesiz kesitlerle sınırlandırılmıştır. Kullanıcı hangi kesitleri kullanacaksa bu azaltmayı ayrıca araştırmalıdır.*

*Kullanıcı, "Eleman Boyutlama Giriş Bilgilerini Yeniden Tanımlama" da bir veya daha fazla eleman için nominal dayanımlar belirlerse, bu değerler aşağıdaki alt bölümlerde tanımlandığı gibi, bu elemanlar için yukarıda belirtilen hesaplanmış değerler yerine yazılacaktır.*

### Basınç Kapasitesi

Nominal eksenel basınç dayanımı  $P_n$ , narinlik oranı  $Kl/r$  ve onun kritik değeri  $\lambda_c$ 'ye bağlıdır.

$\frac{Kl}{r}$  değeri,  $\frac{K_{33}l_{33}}{r_{33}}$  ve  $\frac{K_{22}l_{22}}{r_{22}}$  'nin büyük olanıdır, ve

$$\lambda_c = \left( \frac{Kl}{r\pi} \right)^2 \frac{F_y}{E} \quad (\text{AASHTO 6.9.4.1})$$

$P_n$ , eğilmeli burkulma için şu şekilde bulunur:

$$\lambda_c \leq 2.25 \text{ için,} \quad P_n = (0.66^{\lambda_c}) F_y A_g, \text{ ve} \quad (\text{AASHTO 6.9.4.1})$$

$$\lambda_c > 2.25 \text{ için,} \quad P_n = \left[ \frac{0.88}{\lambda_c} \right] F_y A_g, \quad (\text{AASHTO 6.9.4.1})$$

Tek köşebentler için  $r_z$ ,  $r_{22}$  ve  $r_{33}$ 'ün yerine kullanılır. Basınca maruz elemanlar için, eğer  $Kl/r$  değeri 120 den büyükse, bu etkiye ait bir mesaj verilir. (AASHTO 6.9.3).

Kolonun basınç kapasitesinin hesabında kesitlerin aşağıda verilen narinlik kriterlerini sağladığı kabul edilir:

$$\frac{b}{t} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \quad (\text{AASHTO 6.9.4.2})$$

Burada  $k$  sabiti kesitlerin dışa doğru duran elemanlarının mesnetlenme durumlarına bağlı olarak 0.56 ve 1.86 arasında değişir. (AASHTO Tablo 6.9.4.2-1). Eğer bu narinlik kriteri sağlanmazsa, AISC-LRFD (1986) Yönetmeliğinin kullanılması tavsiye edilir. (AASHTO C6.9.4.1). Kullanıcı bu durum için özellikle AISC-LRFD Yönetmeliğine başvurabilir, çünkü SAP2000 programının şu anki versiyonu bu narinlik kriterini hesaba katmıyor.

## Çekme Kapasitesi

Nominal aksenal çekme dayanımı değeri  $P_n$  bürüt kesit alanına ve akma gerilmesine bağlıdır.

$$P_n = A_g F_y \quad (\text{AASHTO 6.8.2-1})$$

Herhangi bir net kesit kontrolü yapılmadığı not düşülmelidir. Çekmeye maruz elemanlar için, eğer  $l/r$  değeri 140'dan büyükse bu etkiye ait bir mesaj verilir. (AASHTO 6.8.4).

## Eğilme Kapasitesi

Nominal eğilme dayanımı aşağıdaki kriterlere bağlıdır: kesitin geometrik şekli, eğilme eksenleri, kesitin kompaktlığı ve yanal-burulmalı burkulma için narinlik parametresi. Nominal eğilme dayanımı akmadan, yanal-burulmalı burkulmadan, başlık yanal burkulmasından ve gövde buruşmasından elde edilen değerlerin minimumudur.

Zayıf eksen etrafındaki nominal moment kapasitesi daima aşağıda olduğu gibi belirtilmesede, zayıf eksen etrafındaki plastik moment kapasitesi olarak alınır.

$$M_{n22} = M_{p22} = Z_{22} F_y$$

Ancak kuvvetli eksen etrafındaki moment kapasitesi aşağıdaki gibi şekillere bağlı olarak belirlenir.

## Genel Kesit

Genel kesitlerin kompakt olmadığı düşünülür ve onların kuvvetli eksen etrafındaki nominal moment kapasitesi,

$$M_n = SF_y ,$$

olarak verilir.

## I-Kesitler

Kompakt I kesitler için, kuvvetli eksen etrafındaki moment kapasitesi aşağıdaki gibi verilir:

$$M_n = ZF_y \quad (\text{AASHTO 6.10.6.2, 6.10.5.2.3a, 6.10.5.1.3})$$

Kompakt-olmayan I-kesitler için kuvvetli eksen etrafındaki moment kapasitesi aşağıdaki gibi verilir:

$$M_n = R_h R_b SF_y , \quad (\text{AASHTO 6.10.6.3.1, 6.10.5.3.2a, 6.10.5.3.1})$$

Burada  $R_h$  bileşik kesit çarpanıdır, ve bileşik-olmayan kesitler için

$$R_h = 1.0, \text{ ve} \quad (\text{AASHTO 6.10.5.4.1a})$$

$R_b$  yük etki çarpanıdır ve bileşik olmayan kesitler için,

$$\left. \begin{array}{l} \frac{2D_c}{t_w} \leq \lambda_b \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise,} \\ \frac{2D_c}{t_w} > \lambda_b \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise,} \end{array} \right\} \begin{array}{l} R_b = 1.0, \\ R_b = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r} \left[ \frac{2D_c}{t_w} - \lambda_b \sqrt{\frac{E}{f_c}} \right] \end{array}$$

Burada,

$$a_r = \frac{2D_c t_w}{b_f t_f}, \text{ ve} \quad (\text{AASHTO 6.10.5.4.2a})$$

$$\lambda_b = 5.76 \text{ 'dır.} \quad (\text{AASHTO 6.10.5.4.2a})$$

Narin takviyesiz I-kesitler için basınç başlığının tutulu olmayan uzunluğu  $L_b$ , kompakt olmamaklık kriterini aştığında ( $L_b > 1.76r_t \sqrt{E/F_y}$ ) (AASHTO 6.10.5.3.3d), ve kompakt-olmayan kesitler için gövde narinliği ve basınç başlığı narinliği kriterleri sağlandığında, (AASHTO 6.10.5.3.2b, 6.10.5.3.3c), kuvvetli eksen etrafındaki moment kapasitesi aşağıdaki gibi verilir. (AASHTO 6.10.6.4.1):

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq \lambda_b \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise,}$$

$$M_n = 3.14EC_b R_h \left[ \frac{I_y}{L_p} \right] \sqrt{0.772 \left( \frac{J}{I_y} \right) + 9.87 \left( \frac{d}{L_b} \right)^2} \leq R_h M_y, \quad (\text{AASHTO 6.10.6.4.1})$$

$$\frac{2D_c}{t_w} > \lambda_b \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ve } L_p < L_b \leq L_r \text{ ise,}$$

$$M_n = C_b R_b R_h M_y \left[ 1.0 - 0.5 \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_b R_h M_y, \quad (\text{AASHTO 6.10.6.4.1})$$

$$\text{ve } \frac{2D_c}{t_w} > \lambda_b \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ve } L_b > L_r \text{ ise,}$$

$$M_n = C_b R_b R_h \frac{M_y}{2} \left( \frac{L_r}{L_b} \right)^2 \leq R_b R_h M_y, \quad (\text{AASHTO 6.10.6.4.1})$$

Burada,

$$J = \frac{dt_w^3}{3} + \sum \frac{b_f t_f^3}{3}, \quad (\text{AASHTO 6.10.6.4.1})$$

$$L_p = 1.76r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \quad (\text{AASHTO 6.10.6.4.1})$$

$$L_r = \sqrt{19.71 \frac{I_y d E}{S_{33} F_y}}, \quad (\text{AASHTO 6.10.6.4.1})$$

$$\lambda_b = 5.76, \text{ ve} \quad (\text{AASHTO 6.10.6.4.1})$$

$$C_b = 1.75 - 1.05(M_a / M_b) + 0.3(M_a / M_b)^2 \leq 2.3 \quad (\text{AASHTO 6.10.5.5.2})$$

$C_b$  moment değişim düzeltme çarpanıdır,  $M_a / M_b$  oranı eleman uç momentlerinin, küçüğünün büyüğüne olan oranıdır ve çift eğrilik için negatif ve tek eğrilik içinse pozitiftir.  $M_b$  sıfır olduğunda  $C_b$  değeri 1.0 alınır. Eğer elemanın tutulu olmayan boyu  $l$ , kullanıcı tarafından düzeltilirse (yani eleman boyuna eşit değilse)  $C_b$  değeri 1.0 alınır. Kullanıcı herhangi bir eleman için  $C_b$  değerini tanımlayarak değiştirebilir.

$r_T$  basınç halinde, basınç başlığı artı gövdenin üçte birinin düşey eksenini etrafında alınan minimum atalet yarıçapıdır. (AASHTO 6.10.5.3.3d).

Narin takviyesiz I-kesitler için basınç başlığı kompakt olmama kriterini aştığında yani  $b_f / 2t_f > 1.38\sqrt{E/(f_c\sqrt{2D_{cp}/t_w})}$  olduğunda (AASHTO 6.10.5.3.3c), fakat kompakt olmayan kesitler için  $b_f / 2t_f \leq 2.52\sqrt{E/(f_c\sqrt{2D_{cp}/t_w})}$  ve basınç başlığı tutulu ve gövde narinlik şartları sağlandığında (AASHTO 6.10.5.3.3d, 6.10.5.3.2d), kuvvetli eksen etrafındaki moment kapasitesi aşağıdaki gibi verilir. (AASHTO 6.10.5.6.2):

$$M_n = \left\{ 1.0 - \left\{ 1.0 - \frac{0.7}{M_p / M_y} \right\} \left\{ \frac{Q_p - Q_n}{Q_p - 0.7} \right\} \right\} M_p \leq M_p, \quad (\text{AASHTO 6.10.5.6.2})$$

Burada,

$$Q_p = 3.0, \text{ ve} \quad (\text{AASHTO 6.10.5.6.2})$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{b_f}{2t_f} \leq 0.382\sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise,} \\ \frac{b_f}{2t_f} > 0.382\sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise,} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Q_n = \frac{30.5}{\sqrt{\frac{2D_{cp}}{t_w}}}, \\ Q_n = \frac{4.45}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \frac{E}{\sqrt{\frac{2D_{cp}}{t_w}} F_y}, \end{array} \quad (\text{AASHTO 6.10.5.6.2})$$

## Kutu Kesitler

Bileşik olmayan kutu kesitlerin kompakt olmadıkları düşünülür ve kuvvetli eksen etrafındaki nominal moment kapasitesi aşağıdaki gibi verilir:

$$M_n = \left\{ 1 - 0.064 \frac{F_y S I_{22}}{AE} \sqrt{\frac{2(d_w / t_w + b_f / t_f)}{I_{22}}} \right\} S F_y \leq M_p, \quad (\text{AASHTO 6.12.2.2.2})$$

## Boru Kesit

Kompakt boru kesitler için ( $D/t < 2\sqrt{E/F_y}$ ) kuvvetli eksen etrafındaki moment kapasitesi,

$$M_n = ZF_y \quad (\text{AASHTO 6.12.2.2.3})$$

olarak verilir.

Kompakt olmayan boru kesitler için ( $2\sqrt{E/F_y} < D/t \leq 8.8\sqrt{E/F_y}$ ) kuvvetli eksen etrafındaki moment kapasitesi,

$$M_n = SF_y \quad (\text{AASHTO 6.12.2.2.3})$$

olarak verilir.

## Dairesel Dolu Çubuklar

Katı dairesel çubuklar yanal-burulmalı burkulmaya maruz kalmazlar. Bu kesitlerin kompakt oldukları düşünülür ve kuvvetli eksen etrafındaki nominal moment kapasitesi,

$$M_n = ZF_y$$

olarak verilir.

## Dikdörtgen ve U-Kesitler

Dikdörtgen ve U-kesitlerin kuvvetli eksen etrafındaki nominal moment kapasitesi aşağıdaki gibi akma ve yanal-burulmalı burkulma sınır durumlarına dayanılarak AISC-LRFD 1986 yönetmeliğine göre hesaplanır. (AASHTO 6.12.2.2.4a):

Kuvvetli eksen etrafında eğilen U-kesitli ve dikdörtgen çubuklar için, eğer  $L_b \leq L_p$  ise

$$M_{n33} = M_{p33} ,$$

Eğer  $L_p < L_b \leq L_r$  ise

$$M_{n33} = C_b \left[ M_{p33} - (M_{p33} - M_{r33}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_{p33} , \quad (\text{LRFD F1-3})$$

ve Eğer  $L_b > L_r$  ise,

$$M_{n33} = M_{cr33} \leq C_b M_{r33} \leq M_{p33}, \quad (\text{LRFD F1-12})$$

Burada,

$$\begin{aligned} M_{n33} &= \text{Kuvvetli eksen etrafındaki nominal eğilme dayanımı,} \\ M_{p33} &= \text{Kuvvetli eksen etrafındaki plastik moment, } Z_{33} F_y \leq 1.5 S_{33} F_y, \\ M_{r33} &= \text{Kuvvetli eksen etrafındaki, sınırlayıcı burkulma momenti,} \end{aligned}$$

$$\text{U-kesitler için } (F_y - F_r) S_{33}, \text{ ve} \quad (\text{LRFD F1-7})$$

$$\text{Dikdörtgen çubuklar için } F_y S_{33} \quad (\text{LRFD F1-11})$$

$M_{cr33}$  = Kritik elastik moment,

$$\text{U-kesitler için, } \frac{C_b \pi}{L_b} \sqrt{EI_{22} GJ + \left( \frac{\pi E}{L_b} \right)^2 I_{22} C_w} \quad (\text{LRFD F1-13})$$

$$\text{Dikdörtgen çubuklar için, } \frac{57000 C_b \sqrt{JA}}{L_b / r_{22}} \quad (\text{LRFD F1})$$

$L_b$  = Yanal tutulu olmayan boy,  $l_{22}$ ,

$L_p$  = Tüm plastik kapasite için sınırlayıcı yan al tutulu olmayan boy,

$$\text{U-kesitler için, } \frac{300 r_{22}}{\sqrt{F_y}} \text{ ve} \quad (\text{LRFD F1-4})$$

$$\text{Dikdörtgen çubuklar için, } \frac{3750 r_{22} \sqrt{JA}}{M_{p33}} \quad (\text{LRFD F1-5})$$

$L_r$  = Elastik olmayan yan al-burulmalı burkulma için sınırlayıcı yan al tutulu olmayan boy,

$$\text{U-kesitler için, } \frac{r_{22} X_1}{F_y - F_r} \left\{ 1 + \sqrt{1 + X_2 (F_y - F_r)^2} \right\}^{1/2} \quad (\text{LRFD F1-6})$$

$$\text{Dikdörtgen çubuklar için, } \frac{57000 r_{22} \sqrt{JA}}{M_{r33}} \quad (\text{LRFD F1-10})$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_{33}} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}, \quad (\text{LRFD F1-8})$$

$$X_2 = 4 \frac{C_w}{I_{22}} \left\{ \frac{S_{33}}{GJ} \right\}^2, \quad (\text{LRFD F1-9})$$

$$C_b = 1.75 - 1.05(M_a / M_b) + 0.3(M_a / M_b)^2 \leq 2.3, \quad (\text{AASHTO 6.10.5.5.2})$$

Kompakt-olmayan U-kesitler için nominal eğilme dayanımları, bu kesitler için mümkün olan değişik yerel burkulma modlarının aşağıda formüllerle verilen dayanımlarından daha büyük alınmazlar. Başlığın ve gövdenin yerel burkulmasının sınır durumları için nominal eğilme dayanımları  $M_n$ ,

Kuvvetli eksen etrafındaki eğilme için,

$$M_{n33} = M_{p33} - (M_{p33} - M_{r33}) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \quad (\text{LRFD A-F1-3})$$

ve Zayıf eksen etrafındaki eğilme için,

$$M_{n22} = M_{p22} - (M_{p22} - M_{r22}) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \text{ dir} \quad (\text{LRFD A-F1-3})$$

Burada,

$M_{r33}$  = Kuvvetli eksen etrafındaki sınırlayıcı burkulma momenti, (LRFD Tablo A-F1.1)  
U-kesitlerin başlık burkulması için  $(F_y - F_r)S_{33}$ , ve  
U-kesitlerin gövde burkulması için  $F_y S_{33}$ ,

$M_{r22}$  = Zayıf eksen etrafındaki sınırlayıcı burkulma momenti, (LRFD Tablo A-F1.1)

U-kesitlerin başlık burkulması için  $F_y S_{22}$ ,

$\lambda$  = Kontrol eden narinlik parametresi,

$\lambda_p$  =  $M_n = M_p$  olan en büyük  $\lambda$  değeri, ve

$\lambda_r$  = Burkulmanın elastik olmadığı en büyük  $\lambda$  değeridir.

## T-Kesitler ve Çift Köşebentler

T-kesitler ve çift köşebentler için kuvvetli eksen etrafındaki nominal eğilme dayanımı,

$$M_{n33} = C_b \frac{\pi \sqrt{EI_{22}GJ}}{L_b} \left[ B + \sqrt{1 + B^2} \right] \leq F_y S_{33}, \quad (\text{LRFD F1-15})$$

olarak verilir. Burada,

$$B = \mp 2.3 \frac{d}{L_b} \sqrt{\frac{I_{22}}{J}}. \quad (\text{LRFD F1-16})$$

B için pozitif işaret T-kesitinin başlığında veya çift köşebent'in dışa açılan kollarında çekme olduğunda (pozitif momentler) kullanılır ve negatif işaret başlıkta basınç olduğunda (negatif momentler) kullanılır.

### **Tek Köşebentler**

Tek köşebentler için kuvvetli ve zayıf eksenler etrafındaki nominal eğilme dayanımlarının,

$$M_n = SF_y$$

olduğu kabul edilir.

## Kayma Kapasiteleri

### *Kuvvetli Eksen Etrafındaki Eğilme*

I-kesitler, kutular ve U-kesitlerde kuvvetli eksen yönündeki kaymalar için nominal kayma dayanımı,  $V_{n2}$ , aşağıdaki gibi, kirişlerin takviyesiz olduğu kabul edilerek hesaplanmıştır. (AASHTO 6.10.7):

$$\frac{d}{t_w} \leq 2.46 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ için,}$$

$$V_{n2} = 0.58F_y A_w, \quad (\text{AASHTO 6.10.7.2})$$

$$2.46 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t_w} \leq 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ için,}$$

$$V_{n2} = 1.48t_w^2 \sqrt{EF_y}, \text{ ve} \quad (\text{AASHTO 6.10.7.2})$$

$$\frac{d}{t_w} > 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ için,}$$

$$V_{n2} = 4.55 \frac{t_w^3 E}{d} \text{ dir.} \quad (\text{AASHTO 6.10.7.2})$$

Diğer bütün kesitler için nominal kayma dayanımı,

$$V_{n2} = 0.58F_y A_{v2}$$

olarak verilir.

### *Zayıf Eksen Etrafındaki Eğilme*

Zayıf eksen yönündeki kaymalar için nominal kayma dayanımının,

$$V_{n3} = 0.58F_y A_{v3}$$

olduğu kabul edilir.

## KAPASİTE ORANLARININ HESABI

Eksenel kuvvet / çift eksenli moment kapasite oranlarının hesabında ilk olarak her yük kombinasyonunda eleman boyunca her bölüm için gerçek kuvvet / moment bileşikleri hesaplanır. Sonra onlara karşı gelen kapasiteler hesaplanır. Daha sonra, her bir boyutlama yük kombinasyonlarının etkisi altında her elemanın her bölümündeki kapasite oranları hesaplanır. Kontrol eden basınç ve/veya çekme kapasite oranında ilgili bölüm ve yük kombinasyonunda elde edilir. 1.0'den büyük bir kapasite oranı bir sınır durumun aşıldığını gösterir.

**Boyutlama esnasında bulonların veya kaynakların varlıklarının etkisi düşünülmemiştir, ve de birleşimler boyutlandırılmamıştır.**

### Eksenel ve Eğilme Gerilmeleri

Etkileşim oranı,  $\frac{P_u}{\phi P_u}$  oranına dayanılarak hesaplanır. Eğer  $P_u$  çekme ise,  $P_n$  hesaplanan eksenel çekme dayanımıdır ve  $\phi = \phi_t = 0.95$ 'dir; ve eğer  $P_u$  basınç ise,  $P_n$  hesaplanan eksenel basınç dayanımıdır ve  $\phi = \phi_c = 0.90$ 'dir. Ayrıca eğilme için karşı koyma çarpanı,  $\phi_b = 1.0$ 'dir.

$\frac{P_u}{\phi P_u} < 0.2$  için kapasite oranı

$$\frac{P_u}{2\phi P_u} + \left\{ \frac{M_{u33}}{\phi_f M_{n33}} + \frac{M_{u22}}{\phi_f M_{n22}} \right\} \quad (\text{AASHTO 6.8.2.3, 6.9.2.2})$$

olarak verilmiştir.

$\frac{P_u}{\phi P_u} \geq 0.2$  için kapasite oranı

$$\frac{P_u}{\phi P_u} + \frac{8}{9} \left\{ \frac{M_{u33}}{\phi_f M_{n33}} + \frac{M_{u22}}{\phi_f M_{n22}} \right\} \quad (\text{AASHTO 6.8.2.3, 6.9.2.2})$$

olarak verilmiştir.

Dairesel kesitler için yukarıdaki formüllerle verilen basit cebirsel toplam yerine eksenel yük bileşiklerini toplamadan önce ilk olarak iki eğilme bileşiklerinin bir SRSS (kareler toplamının karekökü) kombinasyonu yapılır.

## Kayma Gerilmeleri

Normal gerilmelere benzer şekilde her yük kombinasyonu için her bölümdeki çarpanlarla artırılmış kayma kuvveti değerleri ve hesaplanan kayma dayanımı değerlerinden kuvvetli ve zayıf eksen yönleri için kayma kapasitesi oranları şu şekilde bulunur:

$$\frac{V_{u2}}{\phi_v V_{n2}}, \text{ ve}$$

$$\frac{V_{u3}}{\phi_v V_{n3}}$$

---

## Bölüm VIII

---

### EUROCODE3'e Göre Boyutlama/Kontrol

Bu bölüm kullanıcı Eurocode3 Boyutlama Yönetmeliğini (CEN 1992) seçtiğinde SAP2000'nin kullandığı yapısal çelik boyutlama ve gerilme kontrolü algoritmalarının ayrıntılarını açıklamaktadır. Program dayanım ve stabilite sınır durumlarını araştırır fakat kullanılabilirlik sınır durumlarını içermez. Bu bölümde kullanılan semboller TabloVIII-1'de listelenmiştir.

Boyutlama kullanıcı tarafından belirlenen yük kombinezonlarına dayanır. Fakat program birçok yapının boyutlama gereklerini karşılayan önceden hazır olan (default) bir yük kombinezonu takımı sağlar.

Eleman boyuncaki bir noktada eksenel kuvvet/çift eksenli moment kapasite oranlarının hesabında ilk olarak her yük kombinezonunda gerçek eleman kuvvet/moment bileşmeleri ve onlara karşı gelen kapasiteler hesaplanır. Daha sonra dizayn yük kombinezonlarının etkisi altında bu bölümde tanımlanan ilgili denklemleri kullanarak, her bölümdeki kapasite oranları bulunur. Kontrol eden kapasite oranında elde edilir. 1.0'den büyük bir kapasite oranı bir limit durumunun aşıldığını ifade eder. Benzer şekilde kayma kapasite oranında ayrıca hesaplanır.

Giriş bilgileri için İngiliz birimleri olduğu kadar SI ve MKS metrik birimleride kullanılabilir. Fakat yönetmelik kip-inch-saniye sistemine dayanmaktadır. Aksi belirtilmedikçe basitliği sağlamak üzere bu bölümdeki bütün eşitlikler ve açıklamalar **Newton-Milimetre-Saniye** birim sisteminde verilmiştir.

A	=	Brüt kesit alanı, mm <sup>2</sup>
A <sub>v2</sub> , A <sub>v3</sub>	=	2- ve 3- yönlerindeki kayma alanları, mm <sup>2</sup>
C <sub>1</sub>	=	Eğilme katsayısı
E	=	Elastisite modülü, Mpa
G	=	Kayma modülü, Mpa
I <sub>t</sub>	=	Burulma sabiti, mm <sup>4</sup>
I <sub>w</sub>	=	Çarpılma sabiti, mm <sup>6</sup>
I <sub>33</sub>	=	Kuvvetli eksen etrafındaki atalet momenti, mm <sup>4</sup>
I <sub>22</sub>	=	Zayıf eksen etrafındaki atalet momenti, mm <sup>4</sup>
K	=	Etkili boy çarpanı
L	=	Boy, açıklık, mm
K <sub>33</sub> , K <sub>22</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki etkili boy çarpanları
M <sub>b,Rd</sub>	=	Burkulmaya karşı gelen boyutlama momenti, N-mm
M <sub>cr</sub>	=	Yanal-burulmalı burkulma için kritik elastik moment, N-mm
M <sub>g,Sd</sub>	=	Yanal ötelemeye yol açmayan boyutlama momentleri, N-mm
M <sub>s,Sd</sub>	=	Yanal ötelemeye yol açan boyutlama momentleri, N-mm
M <sub>v,Sd</sub>	=	Kesme kuvveti etkisi altında boyutlandırma moment kapasitesi, N-mm
M <sub>33,Sd</sub>	=	Kuvvetli eksen etrafındaki boyutlandırma moment değeri, N-mm
M <sub>22,Sd</sub>	=	Zayıf eksen etrafındaki boyutlandırma moment değeri, N-mm
M <sub>33,Rd</sub>	=	Kuvvetli eksen etrafındaki boyutlandırma moment kapasitesi, N-mm
M <sub>22,Rd</sub>	=	Zayıf eksen etrafındaki boyutlandırma moment kapasitesi, N-mm
N <sub>b,Rd</sub>	=	Basınç elemanının boyutlandırma burkulma kapasitesi, N
N <sub>b33,Rd</sub>	=	Basınç elemanının kuvvetli eksen etrafındaki boyutlandırma burkulma kapasitesi, N
N <sub>b22,Rd</sub>	=	Basınç elemanının zayıf eksen etrafındaki boyutlandırma burkulma kapasitesi, N
N <sub>c,Sd</sub>	=	Basınç kuvvetinin boyutlandırma değeri, N
N <sub>c,Rd</sub>	=	Boyutlandırma basınç kapasitesi, N
N <sub>t,Sd</sub>	=	Çekme kuvvetinin boyutlandırma değeri, N
N <sub>t,Rd</sub>	=	Boyutlandırma çekme kapasitesi, N
N <sub>pl,Rd</sub>	=	Boyutlandırma plastik kayma kapasitesi, N
V <sub>2,Sd</sub>	=	Kuvvetli eksen yönündeki kayma kuvvetinin boyutlandırma değeri, N
V <sub>3,Sd</sub>	=	Zayıf eksen yönündeki kayma kuvvetinin boyutlandırma değeri, N
V <sub>2,Rd</sub>	=	Kuvvetli eksen yönündeki boyutlandırma kayma kapasitesi, N
V <sub>3,Rd</sub>	=	Zayıf eksen yönündeki boyutlandırma kayma kapasitesi, N
W <sub>el,33</sub> , W <sub>el,22</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf eksenlerdeki elastik kesit modülleri, mm <sup>3</sup>
W <sub>pl,33</sub> , W <sub>pl,22</sub>	=	Kuvvetli ve zayıf eksenlerdeki plastik kesit modülleri, mm <sup>3</sup>
b	=	Genişlik, mm
c	=	Başlık genişliğinin 1/2 uzunluğu, mm
d	=	Gövdenin derinliği, mm

**Tablo VIII-1**  
*Eurocode3 Sembolleri*

$f_y$	=	Çelik malzemenin hesap akma dayanımı, Npa
$h$	=	Elemanın derinliği, mm
$l_{33}, l_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf eksen yönlerindeki mesnetlenmemiş eleman boyları, mm
$i_{33}, i_{22}$	=	Kuvvetli ve zayıf eksenlerdeki atalet yarıçapları, mm
$i_z$	=	Köşebentler için minimum atalet yarıçapı, mm
$k_{33}, k_{22}$	=	Etkileşim denklemlerinde kuvvetli ve zayıf eksenlerdeki boyutlandırma momentlerine uygulanan katsayılar, mm
$k_{LT}$	=	Yanal-burulmalı burkulmanın sebep olduğu göçmeyi kontrol eden etkileşim denkleminde kuvvetli eksendeki boyutlandırma momentlerine uygulanan katsayı,
$t$	=	Kalınlık, mm
$t_f$	=	Başlık kalınlığı, mm
$t_w$	=	Gövde kalınlığı, mm
$\alpha$	=	Kesitlerin sınıflandırılmasında kullanılan oran,
$\gamma_{M0}, \gamma_{M1}$	=	Malzeme kısmi güvenlik çarpanları

$$\varepsilon = \left\{ \frac{235}{f_y} \right\}^{1/2}, \quad (f_y \text{ 'nin birimi, Mpa'dır})$$

$\rho$	=	Azaltma katsayısı
$\tau_{ba}$	=	Kritik-ötesi kayma dayanımı
$\chi_{33}, \chi_{22}$	=	3-3 ve 2-2 eksenleri etrafındaki burkulma için azaltma katsayıları
$\chi_{LT}$	=	Yanal-burulmalı burkulma için azaltma katsayısı
$\psi$	=	Tutulmamış parçanın uç momentlerinin küçüğünün büyüğüne oranıdır
$\psi_s$	=	II. mertebe etkilerinden oluşan momentler için büyütme katsayısı

**Tablo VIII-1**  
*Eurocode3 Sembolleri (devam)*

## BOYU TLAMA YÜK KOMBİNEZONLARI

Boyutlama yük kombinezonları, yapının kesit hesaplarında kullanılacak yükleme durumlarının çeşitli çarpanlarla arttırılmış birleştirme şekillerini tanımlar. Boyutlama yük kombinezonları, uygun kısmi güvenlik katsayıları ile karakteristik yüklerin çarpımıyla elde edilir. Eğer bir yapıda yalnızca ölü yük (DL) ve hareketli yük (LL) mevcut ise, boyutlama yalnızca bir yük kombinezonu ile yani (1.35DL + 1.50LL) ile yapılır.

Ancak ölü yük ve hareketli yüke ek olarak eğer yapı rüzgar (WL) ve deprem kuvvetlerine (EL) maruz ise, ve rüzgar ve deprem kuvvetlerinin yön değiştirebilir kuvvetler olduğunda gözönünde tutularak, aşağıdaki yük kombinezonları tanımlanabilir. (EC3 2.3.3):

1.35DL	
1.35DL + 1.50LL	(EC3 2.3.3)
1.35DL ± 1.50WL	
1.00DL ± 1.50WL	
1.35DL + 1.35LL ± 1.35WL	(EC3 2.3.3)
1.00DL ± 1.00EL	
1.00DL + 1.5 0.3LL ± 1.00EL	(EC3 2.3.3)

Gerçekte diğer kritik boyutlandırma durumlarını oluşturmak için kullanıcı tarafından yeniden yazılabilen veya kullanılabilen önceden hazır olan yük kombinezonları vardır. Bu önceden hazır olan yük kombinezonları son sınır durumları için ölü, hareketli, rüzgar ve deprem yüklerinden oluşan kombine kuvvetler ile kalıcı ve geçici boyutlandırma durumları için üretilirler. (EC3 2.3.2.2). Eurocode1 (CEN 1994)'un 9.4 bölümüne ve Tablo1, 3 ve 4'e ve İngiltere-Uygulama Dökümanı (NAD)'ın 4.bölümüne bakınız.

Önceden hazır olan yük kombinezonları genelde birçok yapının boyutlandırılması için yeterli olacaktır. Kullanıcı, eğer ayrıca çatı hareketli yükü tanımlanacaksa, diğer tip yükler mevcutsa veya örnek hareketli yükler düşünülüyorsa diğer uygun yükleme kombinezonları kullanmalıdır.

Çarpanlarla arttırılmış yüklerde hareketli yükün payını azaltmak için hareketli yük azaltma çarpanı, eleman hareketli yük kuvvetlerine eleman-eleman uygulanır.

Önceden tanımlanan yüklere ilaveten, geometrik kusurlar için uygun ilave yük durumları kullanıcı tarafından düşünülmelidir. Bu uygun yük, İngiliz Yönetmeliğinin yönetmelik yüküyle benzerdir ve kat sayısına ve her kattaki kolon sayısına bağlıdır. (EC3 5.2.4.3). Bu yük durumları içinde ilave yük kombinezonlarına gerek yoktur.

Eurocode3 Yönetmeliği kullanıldığında SAP2000 boyutlama, P- $\Delta$  analizinin yanal ötelemeye yol açan momentler için moment arttırma çarpanlarının 1.0 alınarak yapıldığını kabul eder. P- $\Delta$  analizinin 1.35 ölü yük (DL) + 1.35 hareketli yük (LL) şeklinde çarpanlarla arttırılmış yük seviyesinde yapılması tavsiye edilir. White ve Hajjar (1991) bakınız.

## KESİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Moment veya aksenal yükten dolayı basınca maruz bir kesitin boyutlandırma dayanımı, Sınıf 1 (Plastik), Sınıf 2 (Kompakt), Sınıf 3 (Yarı-Kompakt) veya Sınıf 4 (Narin) gibi kesitin sınıflandırmasına bağlıdır. Eurocode3 Yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırması başlık ve gövde elemanlarının sınıflandırmasına bağlıdır. Sınıflandırma basınç elemanlarının sadece basınç, sadece eğilme veya aksenal kuvvet ve eğilmenin birleşik etkisi altında olup olmamasına da bağlıdır. (EC3 5.3.2).

SAP2000 programı basınç elemanlarını basınç elemanlarını Tablo VIII-2 ve Tablo VIII-3 e göre emniyetli tarafta olmak üzere sınıflandırır. Tablo VIII-2, kesit sadece basınç kuvvetinin etkisi altında olduğunda veya basınç kuvveti ile birlikte eğilme momentinin etkisinde olduğu zaman kullanılır. Tablo VIII-3 ise kesit sadece eğilme etkisi altında olduğunda veya aksenal çekme ile birlikte eğilme momentinin etkisinde olduğu zaman kullanılır. Tablolarda kullanılan kesit boyutları Şekil VIII-1'de verilmiştir. Eğer kesit boyutları tablolarda verilen sınırları sağlıyorsa, kesit uygun olan Sınıf 1, Sınıf 2 veya Sınıf 3 olarak sınıflandırılır. Kesit basınç elemanlarının verilen en yüksek sınıfı (en az uygun olan) ile sınıflandırılır.

**Eğer kesit, Sınıf 3 kesitler için sınırları sağlamada yetersiz ise, kesit Sınıf 4 olarak sınıflandırılır. Şu anki SAP2000 programı Sınıf 4 kesitler için gerilme kontrolü yapmaz.**

Sınırlayıcı genişlik-kalınlık oranının hesabında belirleyici çarpanlardan biri  $\varepsilon$ 'dur. Bu parametre kesit sınıflandırmasında akma gerilmesinin etkisini gözönüne almak için kullanılır.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (\text{EC3 5.3.2})$$

I, kutu, U, çiftköşebent ve T kesitlerin sınıflandırılmasında iki diğer çarpan ( $\alpha$ ,  $\psi$ ) aşağıda tanımlanmıştır:

$$\alpha = \begin{cases} \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{N_{c,St}}{ht_w f_f}, & \text{I, U ve T kesitler için} \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{N_{c,St}}{2ht_w f_f}, & \text{Kuru ve çift U-Kesit için} \end{cases}$$

$$\psi = - \left( 1 + 2 \frac{N_{c,St}}{Af_y} \right),$$

Bu ifadelerde,  $N_{c,St}$  çekme için artı ve basınç için eksi olarak alınır. Tam çekme için  $\alpha = 0$ , Tam eğilme için  $\alpha = 0.5$  ve tam basınç için  $\alpha = 1.00$  dır. Tam çekme için  $\psi = -3$ , Tam eğilme için  $\psi = -1$  ve tam basınç için  $\psi = 1.00$  dır.

$$0 < \alpha \leq 1.0,$$

$$-3.0 < \psi \leq 1.0.$$

Kesitin Tanımı	Eleman	Kontrol edilen oran	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3
I-Kesitler	Gövde	$d/t_w$	$\alpha > 0.5$ ise, $\frac{396 \epsilon}{(13\alpha - 1)}$ bunun dışında $\alpha \geq 0.5$ , $\frac{36 \epsilon}{\alpha}$	$\alpha > 0.5$ ise, $\frac{456 \epsilon}{(13\alpha - 1)}$ bunun dışında $\alpha \geq 0.5$ , $\frac{41.5 \epsilon}{\alpha}$	$\psi > -1$ ise, $\frac{42 \epsilon}{0.67+0.33\psi}$ bunun dışında $\psi \geq -1$ , $\frac{62\epsilon(1-\psi)}{\sqrt{-\psi}}$
	flaş	$c/t_f$ (rolled)	10 $\epsilon$	11 $\epsilon$	15 $\epsilon$
		$c/t_f$ (kaynaklı)	9 $\epsilon$	10 $\epsilon$	14 $\epsilon$
Kutu kesitler	Gövde	$d/t_w$	I-Kesitteki gibi	I-Kesitteki gibi	I-Kesitteki gibi
	flaş	$(b-3t_f)/t_f$ (hadde)	42 $\epsilon$	42 $\epsilon$	42 $\epsilon$
		$b/t_f$ (kaynaklı)	42 $\epsilon$	42 $\epsilon$	42 $\epsilon$
U- kesitler	Gövde	$d/t_w$	I-Kesitteki gibi	I-Kesitteki gibi	I-Kesitteki gibi
	Flaş	$b/t_f$	10 $\epsilon$	11 $\epsilon$	15 $\epsilon$
T kesitler	Gövde	$d/t_w$	33 $\epsilon$	38 $\epsilon$	42 $\epsilon$
	flaş	$b/2t_f$ (hadde)	10 $\epsilon$	11 $\epsilon$	15 $\epsilon$
		$b/2t_f$ (kaynaklı)	9 $\epsilon$	10 $\epsilon$	14 $\epsilon$
Çift köşebent (ayrılmış)	-	$\frac{h}{t}$ $(b+h)/[2\max(t,b)]$	Uygulanamaz	Uygulanamaz	15 $\epsilon$ 11.5 $\epsilon$
Tek köşebent	-	$\frac{h}{t}$ $(b+h)/[2\max(t,b)]$	Uygulanamaz	Uygulanamaz	15 $\epsilon$ 11.5 $\epsilon$
Borular	-	$d/t$	50 $\epsilon^2$	70 $\epsilon^2$	90 $\epsilon^2$
Dairesel dolu Çubuk	-	yok	Sınıf 1 varsayılmıştır		
Dörtköşe	-	Yok	Sınıf 2 varsayılmıştır		

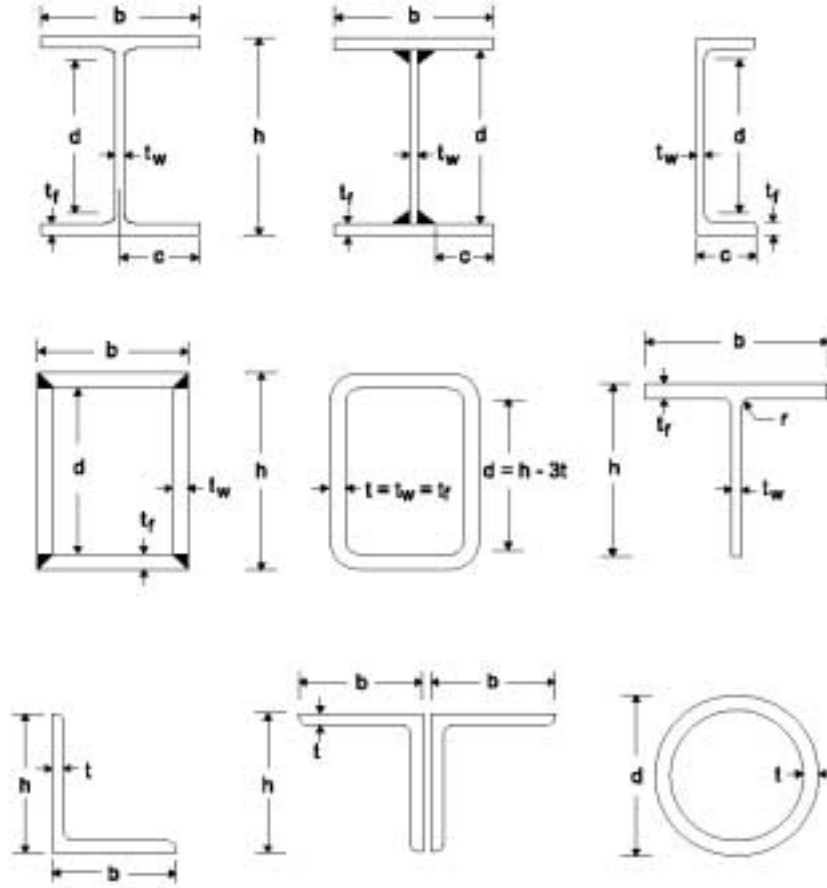
**Tablo VIII-2**

*EUROCODE Yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırılması  
Basınç ve eğilme elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları*

Kesitin Tanımı	Eleman	Kontrol edilen oran	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3
I-kesitler	Gövde	$d/t_w$	72 ε	83 ε	124 ε
	flaş	$c/t_f$ (hadde)	10 ε	11 ε	15 ε
		$c/t_f$ (kaynaklı)	9 ε	10 ε	14 ε
Kutu kesitler	Gövde	$d/t_w$	72 ε	83 ε	124 ε
	flaş	$(b-3t_f)/t_f$ (hadde)	33 ε	38 ε	42 ε
		$b/t_f$ (kaynaklı)	33 ε	38 ε	42 ε
U- kesitler	Gövde	$d/t_w$ (Kuvvetli Eksen)	72 ε	83 ε	124 ε
		$d/t_w$ (Zayıf eksen)	33 ε	38 ε	42 ε
	Flaş	$b/t_f$	10 ε	11 ε	15 ε
T kesitler	Gövde	$d/t_w$	33 ε	38 ε	42 ε
	flaş	$b/2t_f$ (hadde)	10 ε	11 ε	15 ε
		$b/2t_f$ (kaynaklı)	9 ε	10 ε	14 ε
Çift köşebent (ayrılmış)	—	$h/t$ $(b+h/[2 \max(t,b)])$	Uygulanamaz	Uygulanamaz	15,0 ε 11,5 ε
Tek köşebent	—	$h/t$ $(b+h/[2 \max(t,b)])$	Uygulanamaz	Uygulanamaz	15,0 ε 11,5 ε
Borular	—	$d/t$	$50\epsilon^2$	$70\epsilon^2$	$90\epsilon^2$
Dairesel dolu Çubuk	—	yok	Sınıf 1 varsayılmıştır		
Dörtköşe	—	Yok	Sınıf 2 varsayılmıştır		
Genel	—	Yok	Sınıf 3 varsayılmıştır		

**Tablo VIII-3**

*EUROCODE Yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırılması  
Sadece Basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları*



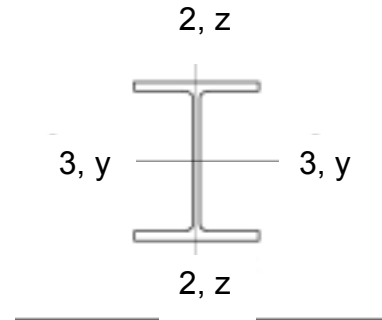
### Eurocode3: Profil eksenleri tanımlama kuralları

2-2:

Gövdeye paralel kesit eksenini,  
 Borularda daha uzun olan boyut,  
 Tek köşebentlerin uzun olan kenarı veya  
 Çift köşebentlerin karşı karşıya gelen kenarları.  
 Bu, z-z ekseniniyle aynıdır.

3-3:

2-2 eksenine dik olan eksenidir. Bu, y-y eksenidir.



### Şekil VIII-1

*Geometrik Kesit Değerlerinin Eurocode3 Yönetmeliğine göre Tanımı*

## ÇARPANLARLA ARTTIRILMIŞ KUVVETLERİN HESAPLANMASI

Her yük kombinasyonu için hesaplanan, boyutlandırma iç kuvvetleri  $N_{t,Sd}$  veya  $N_{c,Sd}$ ,  $M_{33,Sd}$ ,  $M_{22,Sd}$ ,  $V_{2,Sd}$  ve  $V_{3,Sd}$  sırasıyla çekme veya basınç aksenal yükü, kuvvetli eksen etrafındaki moment, zayıf eksen etrafındaki moment, kuvvetli eksen yönündeki kayma kuvveti ve zayıf eksen yönündeki kayma kuvvetinin boyutlandırma değerlerine karşı gelirler. Bu boyutlandırma yükleri her çerçeve elemanın önceden belirlenen her noktasında hesaplanır.

Boyutlandırma momentleri ve kuvvetleri ikinci mertebe etkileri için düzeltilirler. Bu düzeltme momentlerin II. mertebe ve I. mertebe bileşkeleri için farklıdır. Yönetmelik bir katın üst seviyesinin alt seviyesine göre yaptığı yatay yerdeğiştirme ile verilen ilave II. mertebe momentlerin aşağıdaki yöntemlerden birinde çerçevenin elastik analizinde hesaba katılması gerektiğini ifade eder. (EC3 5.2.6.2):

- Direkt olarak - P-Δ analizini kullanan global çerçeve analizi yapılarak. Eleman boyutlama I. mertebe modu için düzlem içinde burkulma boyları kullanılarak yapılabilir.
- İndirekt olarak - İkinci mertebe etkilere müsaade eden bir yaklaşım metodu kullanan lineer elastik bir analiz sonuçları düzeltilerek. Bunu yapmak için iki alternatif yöntem vardır. - "arttırılmış II. mertebe moment metodu" veya "II. mertebe düzlem içinde burkulma metodu".

**SAP2000 boyutlandırma programı P-Δ etkilerinin analizde yer aldığı kabul eder. Bu yüzden ikinci mertebe etkilerden dolayı II. mertebe momentlerin her artımı zaten hesaba katılıyor, yani aşağıdaki denklemde  $\psi_s$  değeri 1.0 alınır.** P-Δ analizinin 1.35DL artı 1.35LL şeklinde çarpanlarla arttırılmış yük seviyesinde yapılması tavsiye edilir. White ve Hajjor'a bakınız. (1991). Ancak kullanıcı kuvvetli ve zayıf eksenler etrafındaki eğilmeler için  $\psi_s$  nin değerini yeniden belirleyebilir, ki herhangi bir yöndeki  $M_{Sd}$  aşağıdaki gibi alınır:

$$M_{Sd} = M_{g,Sd} + \psi_s M_{s,Sd} \quad (EC3 5.2.6.2)$$

Burada,

$M_{g,Sd}$  = Ötelemeye neden olmayan boyutlandırma momentleri,

$M_{s,Sd}$  = Yanal-ötelemeye neden olan boyutlandırma momentleri,

Yanal ötelemeye neden olmayan momentler için moment büyüümüne bütün burkulma etkileşim denklemlerinde yer verilir.

II. mertebe momentler, bir çerçevede II. mertebe yerdeğiştirmeler sonucunda herhangi bir yükün uygulanması ile oluşurlar. Yatay yüklerin daima II. mertebe momentler oluşturduğu kabul edilebilir. Ancak eğer yük veya çerçeve simetrik değilse II. mertebe momentler düşey yükler tarafından oluşturulur. Simetrik düşey yüklü simetrik bir çerçeve durumunda, II. mertebe momentleri sadece çerçevedeki yatay yüklerden dolayı oluşan iç momentlerdir. (EC3 5.2.6.2).

## KESİT KARŞI KOYMASININ (KAPASİTENİN) HESAPLANMASI

Basınçta, çekmede, eğilmeye ve kaymada nominal dayanımlar Sınıf 1, 2 ve 3 kesitleri için aşağıdaki alt bölümlere göre hesaplanır. Program tarafından kullanılan malzeme kısmi güvenlik çarpanları:

$$\gamma_{M0} = 1.1, \text{ ve} \quad (\text{EC3 5.1.1})$$

$$\gamma_{M1} = 1.1 \text{ dir.} \quad (\text{EC3 5.1.1})$$

*Yerel burkulmanın, eğilmeli-burulmalı ve burulmalı burkulmanın veya gövde burkulmasının gözönüne alındığı, Sınıf 4 (narin) kesitler ve tek simetri eksenli ve simetri eksenli olmayan kesitler için azaltılmış kesit kapasiteleri kullanılabilir. Kullanıcı hangi elemanı kullanacaksa bu azaltmayı ayrıca araştırmalıdır.*

*Eğer kullanıcı, "Eleman Boyutlama Giriş Bilgilerini Yeniden Tanımlama"da bir veya daha fazla eleman için nominal kapasiteler belirlerse, bu değerler aşağıdaki alt bölümlerde tanımlandığı gibi, bu elemanlar için yukarıda belirtilen hesaplanmış değerler yerine yazılacaktır.*

### Çekme Kapasitesi

SAP2000 programında bütün sınıf kesitler için boyutlandırma çekme kapasitesi aşağıdaki gib belirlenir:

$$N_{t,Rd} = Af_y / \gamma_{M0} \quad (\text{EC3 5.4.3})$$

Birleşim elemanları için deliklerde net kesitin boyutlandırma nihai kapasitesinin hesaplanmadığı ve kontrol edilmediği not edilmelidir. Kullanıcının bunu bağımsız bir şekilde araştıracağı kabul edilir.

### Basınçta Karşı Koyma (Kapasite)

Kesit boyutlandırma basınç kapasitesi, brüt kesit boyutlandırma plastik kapasitesinin ( $N_{pl,Rd}$ ) ve brüt kesit boyutlandırma yerel burkulma kapasitesinin ( $N_{b,Rd}$ ) küçüğü olarak alınır.

$$N_{c,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{b,Rd}) \quad (\text{EC3 5.4.4})$$

Sınıf 1, Sınıf 2 ve Sınıf 3 ün plastik kapasitesi,

$$N_{pl,Rd} = Af_y / \gamma_{M0} \quad (EC3 5.4.4)$$

ile verilir.

Bir basınç elemanının boyutlandırma burkulma kapasitesi,

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \beta_A Af_y / \gamma_{M1}, \quad (EC3 5.4.4)$$

olarak alınır. Burada,

Sınıf 1, 2 veya 3 kesitleri için  $\beta_A = 1.0$ ,

$\chi$  uygun burkulma modu için azaltma çarpanıdır. Bu çarpan bütün elemanların üniform kesitli olduğu kabulüne dayanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\chi = \frac{1}{\varphi + [\varphi^2 - \bar{\lambda}^2]^{1/2}} \leq 1, \quad (EC3 5.5.1.2)$$

Burada,

$$\varphi = 0.5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right],$$

$$\bar{\lambda} = \left\{ \frac{\lambda}{\lambda_1} \right\} [\beta_A]^{0.5},$$

$$\lambda = \frac{K_{33} l_{33}}{i_{33}} \text{ veya } \frac{K_{22} l_{22}}{i_{22}} \text{ dir.}$$

$\lambda$  nın iki değeri  $\chi_3$  ve  $\chi_2$  yi verir.  $\chi_{min}$  bu iki değerin küçüğüdür.  $K = \frac{l}{L} \leq 1$ ,

K, SAP2000 boyutlandırma programında konservatif şekilde 1.0 olarak alınır. (EC3 5.5.1.5). Ancak kullanıcı eğer gerekli görürse bu önceden hazır olan seçeneği yeniden yazabilir. K nın geçerli bir tahmini değeri yönetmeliğin Annex E' sinden elde edilebilir. EC3 5.2.6.2(2) ye de bakınız.

$l$ : Burkulma boyudur,

$L$ : Kolonun boyudur,

$i$ : Tarafsız eksen etrafındaki atalet yarıçapıdır, ve brüt kesitin özellikleri kullanılarak hesaplanır.

$$\lambda_1 = \pi \left[ \frac{E}{f_y} \right]^{1/2}, \text{ ve}$$

$\alpha$  imalat hatası katsayısıdır, ve Tablo VIII-4'den elde edilir. Farklı tip kesitler, burkulma eksenleri ve malzeme kalınlıkları için bu çarpanın değerleri Yönetmeliğin Tablo 5.5.1 ve Tablo 5.5.3'den elde edilirler.

Basıncıdaki tek köşebentler, U-kesitler ve T-kesitler, etkili kesitin tarafsız eksenlerinin yerdeğiştirmesinden dolayı ilave momentlere maruz kalırlar. (EC3 5.4.4). SAP2000 programı bu eksantrikliği gözönüne almaz. Kullanıcının bu konuyu ayrıca araştıracağı kabul edilir.

Kesitin Tanımı	Sınırlar	$\alpha$ (Kuvvetli eksen)	$\alpha$ (Zayıf eksen)
<b>I-Kesitler (Hadde)</b> <b>h/b &gt; 1.2</b>	$t_f \leq 40$ mm	0.21	0.34
	$t_f \leq 40$ mm	0.34	0.49
<b>I-Kesitler (Hadde)</b> <b>h/b <math>\leq</math> 1.2</b>	$t_f \leq 100$ mm	0.34	0.49
	$t_f \leq 100$ mm	0.76	0.76
<b>I-Kesitler (Kaynaklı)</b> <b>h/b <math>\leq</math> 1.2</b>	$t_f \leq 40$ mm	0.34	0.49
	$t_f \leq 40$ mm	0.49	0.76
<b>Kutu kesitler</b>	Hadde	0.21	0.21
	Kaynaklı	0.34	0.34
<b>U-Kesitler</b>	Herhangi	0.49	0.49
<b>T kesitler</b>	Herhangi	0.49	0.49
<b>Çift köşebent</b>	Herhangi	0.49	0.49
<b>Tek köşebent</b>	Herhangi	0.49	0.49
<b>Borular</b>	Herhangi	0.21	0.21
<b>Dairesel dolu Çubuk</b>	Herhangi	0.49	0.49
<b>Dörtköşe</b>	Herhangi	0.49	0.49
<b>Genel</b>	Herhangi	0.49	0.49

**Tablo VIII-4**

*( $\alpha$ ) Farklı kesitler için farklı eksenlerde burkulma çarpanları*

## Kayma Kapasitesi

Kesitin boyutlandırma kayma kapasitesi, plastik kayma kapasitesi ve burkulma kayma kapasitesinin minimumudur. Bütün kesit tipleri için plastik kayma kapasitesi,

$$V_{Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3}} / \gamma_{M0}, \quad (\text{EC3 5.4.6})$$

olarak hesaplanır. Burada  $A_v$ , kesit ve uygun eğilme eksenleri için etkili kayma alanıdır.

Eğer genişlik-kalınlık oranı büyük ise ( $d/t_w > 69\epsilon$ ), I, kutu ve U-kesitler için yalnızca burkulma kayma kapasiteleri hesaplanır. Kapasiteler,

$$V_{Rd} = V_{ba,Rd} = dt_w \tau_{ba} / \gamma_{M1}, \quad \left( \frac{d}{t_w} > 69\epsilon \text{ için} \right) \quad (\text{EC3 5.6.3})$$

olarak hesaplanır. Burada,  $\tau_{ba}$ , aşağıdaki gibi hesaplanan basit kritik-ötesi kayma dayanımıdır.

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.8 \text{ için,} \quad \tau_{ba} = \frac{f_{yw}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{EC3 5.6.3})$$

$$0.8 < \bar{\lambda}_w < 1.2 \text{ için,} \quad \tau_{ba} = \left[ 1 - 0.625(\bar{\lambda}_w - 0.8) \right] \frac{f_{yw}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{EC3 5.6.3})$$

$$\bar{\lambda}_w \geq 1.2 \text{ için,} \quad \tau_{ba} = \left[ 0.9 / \bar{\lambda}_w \right] \frac{f_{yw}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{EC3 5.6.3})$$

Burada  $\bar{\lambda}_w$  gövde narinlik oranıdır.

$$\bar{\lambda}_w = \frac{d/t_w}{37.4\epsilon\sqrt{k_\tau}}, \text{ ve} \quad (\text{EC3 5.6.3})$$

ve  $k_\tau$  kayma için burkulma katsayısıdır. Mesnetlerde aradaki enine takviyeler değilde, enine takviyeli gövdeler için,

$$k_\tau = 5.34' \text{ tür.} \quad (\text{EC3 5.6.3})$$

## Momente Karşı Koyma (Kapasite)

Kuvvetli ve zayıf eksenler etrafındaki moment kapasitesi kesit sınıflandırmasına bağlıdır. Moment kapasitesi kesitteki kesme kuvveti ve eksenel kuvvetin bulunmasıyla da zorlanır. Eğer kesme kuvveti kayma kapasitesinin yarısından daha düşük ise moment kapasitesi zaten kesme kuvvetinin bulunmasından etkilenmez. Eğer kesme kuvveti kayma kapasitesinin yarısından büyükse ilave çarpanların düşünülmesine ihtiyaç vardır.

$$V_{Sd} \leq 0.5V_{pl,Rd} \text{ ise,}$$

- Sınıf 1 ve Sınıf 2 kesitler için

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}, \quad (\text{EC3 5.4.5.2})$$

- Sınıf 3 kesitleri için

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0}, \quad (\text{EC3 5.4.5.2})$$

$$V_{Sd} > 0.5V_{pl,Rd} \text{ ise}$$

- 3-3 eksen etrafında eğilen I-, kutu- ve U-kesitler için kayma kuvvetlerinin etkileride gözönüne alınmış moment kapasiteleri,

$$M_{v,Rd} = \left[ W_{pl} - \frac{\rho A_v^2}{4t_w} \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq M_{c,Rd}, \quad (\text{EC3 5.4.7})$$

olarak hesaplanır. Burada,

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right]^2.$$

- Bütün diğer durumlar için, kayma kuvvetinin oluşundan dolayı moment kapasitesinin azaltımı düşünülmemiştir. Kullanıcı ayrıca azaltılmış moment kapasitesini araştırmalıdır.

## Yanal Burulmalı-Burkulma

Yanal-burulmalı burkulma kapasitesinin belirlenmesi için, kesitin üniform, çift simetri eksenli, uçlarda standart sınır şartları altında ve kayma merkezinden yüklü olduğu kabul edilir. Bir kirişin yanal-burulmalı burkulma kapasitesi,

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \beta_w W_{pl,33} f_y / \gamma_{M1}, \quad (\text{EC3 5.5.2})$$

olarak hesaplanır, Burada

$$\text{Sınıf 1 ve Sınıf 2 kesitler için,} \quad \beta_w = 1,$$

$$\text{Sınıf 3 kesitler için,} \quad \beta_w = \frac{W_{el,33}}{W_{pl,33}},$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \left[ \varphi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]^{1/2}} \leq 1, \text{ burada}$$

$$\varphi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right], \text{ burada,}$$

$$\begin{aligned} \text{hadde kesitler için,} \quad & \alpha_{LT} = 0.21, \\ \text{kaynaklı kesitler için,} \quad & \alpha_{LT} = 0.49, \text{ ve} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\beta_w W_{pl,33} f_y}{M_{cr}} \right]^{0.5}, \text{ burada}$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_{22}}{L^2} \left[ \frac{I_w}{I_{22}} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_{22}} \right]^{0.5} \quad (\text{EC3 F1.1})$$

$$\begin{aligned} I_t &= \text{Burulma sabiti,} \\ I_w &= \text{Çarpılma sabiti,} \\ L &= \text{Zayıf eksen etrafındaki burkulma için yanal olarak tutulmamış boy,} \end{aligned}$$

$$C_1 = 1.88 - 1.40\psi + 0.52\psi^2 \leq 2.7, \text{ ve}$$

$\psi$  = Mesnetlenmemiş parçanın uç momentlerinin küçüğünün büyüğüne oranı,  $M_a / M_b$  dir.  $\psi$  değeri -1 ile 1 arasında değişir. ( $-1 \leq \psi \leq 1$ ).  $M_a$  ve  $M_b$ , mesnetlenmemiş parçanın uç momentleridir ve  $M_a$  değeri  $M_b$  değerinden daha küçüktür,  $\left( \frac{M_a}{M_b} \right)$  oranı

çift eğrilik için negatif ve tek eğrilik içinse pozitiftir. Eleman parçası içindeki bir moment değeri  $M_b$  den daha büyükse  $C_1$  değeri 1.0 olarak alınır. Eğer elemanın mesnetlenmemiş boyu,  $l$ , kullanıcı tarafından düzeltilirse (yani eleman boyuna eşit

değilse), program  $C_1$  değerini 1.0 olarak alır.  $C_1$  değeri konsollar için 1.0 olarak alınmalıdır. Ancak program elemanın konsol olup olmadığını belirleyemeyebilir. Kullanıcı herhangi bir eleman için  $C_1$  değerini tanımlayarak değiştirebilir.

Eğer  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$  ise yönetmelik tarafından yanal burulmalı burkulma kontroluna gerek duyulmaz ve boyutlandırmada gözönüne alınmaz.

U, T, köşebent, çift köşebent ve genel şekillerin yanal burulmalı burkulmaya (karşı koyma) kapasitesi şöyle değerlendirilir:

$$M_{b,Rd} = W_{el,33} f_y / \gamma_{M1}$$

Dikdörtgen, daire ve boru kesitlerin yanal burulmalı burkulmaya (karşı koyma) kapasitesi ise şöyle değerlendirilir:

$$M_{b,Rd} = W_{pl,33} f_y / \gamma_{M1}$$

**SAP2000 in şu andaki sürümü, dikdörtgen, daire, boru, U, T, köşebent, çiftköşebent ve genel kesitlerin burkulma direnci hesabındaki diğer özel konuları dikkate almaz.**

## KAPASİTE ORANLARININ HESABI

(Eksenel kuvvet)/(çift eksenli moment) kapasite oranlarının hesabında ilk olarak her yük kombinasyonunda eleman boyunca her nokta için gerçek eleman kuvvet/moment bileşkeleri hesaplanır. Sonra onlara karşı gelen kapasiteler hesaplanır. Daha sonra her bir boyutlama yük kombinasyonlarının etkisi altında her elemanın her noktasındaki kapasite oranları hesaplanır. Kontrol eden basınç ve/veya çekme kapasite oranında ilgili nokta ve yük kombinasyonunda elde edilir. 1.0'den büyük bir kapasite oranı bir sınır durumunun aşıldığını gösterir.

**Boyutlama esnasında bulonların veya kaynakların varlıklarının etkisi düşünülmemiştir, ve de birleşimler boyutlandırılmamıştır.**

### Eğilme, Eksenel Basınç ve Düşük Kesme Kuvveti

Mevcut kaymanın boyutlama değeri,  $V_{sd}$ , plastik kapasite,  $V_{pl,Rd}$  ve burkulma kapasitesi  $V_{ba,Rd}$  'den uygun olanının yarısından daha az olduğu zaman,

$$V_{sd} \leq 0.5V_{pl,Rd} \text{ , ve} \quad (EC3 5.4.9)$$

$$V_{sd} \leq 0.5V_{ba,Rd} \text{ ,} \quad (EC3 5.4.9)$$

kapasite oranları farklı tip kesitler için aşağıdaki gibi hesaplanır:

Sınıf 1 ve Sınıf 2 kesitler için kapasite oranı konservatif olarak,

$$\frac{N_{c,Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{33,Sd}}{M_{pl,33,Rd}} + \frac{M_{22,Sd}}{M_{pl,22,Rd}} \quad (EC3 5.4.8.1)$$

alınır. Sınıf 3 kesitler için kapasite oranı konservatif olarak,

$$\frac{N_{c,Sd}}{Af_{yd}} + \frac{M_{33,Sd}}{W_{el,33}f_{yd}} + \frac{M_{22,Sd}}{W_{el,22}f_{yd}} \quad (EC3 5.4.8.1)$$

alınır. Burada,  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ .

## Eğilme, Aksenal Basınç ve Yüksek Kesme Kuvveti

Mevcut kaymanın boyutlama değeri,  $V_{Sd}$ , plastik kapasite,  $V_{pl,Rd}$  ve burkulma kapasitesi  $V_{ba,Rd}$  'den uygun olanının yarısından daha fazla olduğu zaman, kaymanın yüksek olduğu düşünülür.

$$V_{Sd} > 0.5V_{pl,Rd}, \text{ veya} \quad (EC3 5.4.9)$$

$$V_{Sd} > 0.5V_{ba,Rd}, \quad (EC3 5.4.9)$$

ise kayma kuvveti yüksektir.

Bu şartlar altında kapasite oranları farklı tip kesitler için aşağıdaki gibi hesaplanır (EC3 5.4.9):

Sınıf 1, 2 ve 3 kesitler için kapasite oranı konservatif olarak,

$$\frac{N_{c,Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{33,Sd}}{M_{v,33,Rd}} + \frac{M_{22,Sd}}{M_{v,22,Rd}} \quad (EC3 5.4.8.1)$$

alınır. Burada  $M_{v,33,Rd}$  ve  $M_{v,22,Rd}$  sırasıyla kuvvetli ve zayıf eksenler etrafındaki, yüksek kayma etkisinde gözönüne alınmış boyutlama moment kapasiteleridir. (Bakınız Sayfa 142)

## Eğilme, Basınç ve Eğilmeli Burkulma

Aksenal basınç  $N_{Sd}$ , kuvvetli eksen etrafındaki eğilme  $M_{33,Sd}$  ve zayıf eksen etrafındaki eğilme  $M_{22,Sd}$  ye maruz kalan Sınıf 1, 2 ve 3 kesitli bütün elemanlar için, kapasite oranı,

$$\frac{N_{c,Sd}}{N_{b,min,Rd}} + \frac{k_{33}M_{33,Sd}}{\eta M_{c,33,Rd}} + \frac{k_{22}M_{22,Sd}}{\eta M_{c,22,Rd}} \quad (EC3 5.5.4)$$

olarak verilir. Burada,

$$N_{b,min,Rd} = \min\{N_{b,33,Rd}, N_{b,22,Rd}\}$$

$$\eta = \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M1}},$$

$$k_{33} = 1 - \frac{\mu_{33}N_{c,Sd}}{\chi_{33}Af_y} \leq 1.5,$$

$$k_{22} = 1 - \frac{\mu_{22} N_{c,Sd}}{\chi_{22} A f_y} \leq 1.5 ,$$

$$\mu_{33} = \bar{\lambda}_{33} (2\beta_{M,33} - 4) + \left[ \frac{W_{pl,33} - W_{el,33}}{W_{el,33}} \right] \leq 0.9 , \quad (\text{Sınıf 1 ve Sınıf 2})$$

$$\mu_{22} = \bar{\lambda}_{22} (2\beta_{M,22} - 4) + \left[ \frac{W_{pl,22} - W_{el,22}}{W_{el,22}} \right] \leq 0.9 , \quad (\text{Sınıf 1 ve Sınıf 2})$$

$$\mu_{33} = \bar{\lambda}_{33} (2\beta_{M,33} - 4) \leq 0.9 , \quad (\text{Sınıf 3 kesitler için})$$

$$\mu_{22} = \bar{\lambda}_{22} (2\beta_{M,22} - 4) \leq 0.9 , \quad (\text{Sınıf 3 kesitler için})$$

$\beta_{M,33}$  = 2-2 yönünde tutulu noktalar arasında 3-3 eksenini etrafında eğilmeli burkulma için eşdeğer uniform moment çarpanı, ve

$\beta_{M,22}$  = 3-3 yönünde tutulu noktalar arasında 2-2 eksenini etrafında eğilmeli burkulma için eşdeğer uniform moment çarpanı,

Eşdeğer uniform moment çarpanları  $\beta_{M,33}$  ve  $\beta_{M,22}$

$$\beta_M = (1.8 - 0.7\psi) + \frac{M_Q}{\Delta M} (0.7\psi - 0.5) \text{ 'den hesaplanır, ve}$$

$M_Q$  = Uç noktaların sadece basit mesnetli olması durumunda yanal yükten dolayı oluşan mutlak değerce maksimum moment,

$\psi$  = Küçük uç momentinin daha büyük uç momentine oranının mutlak değeri,  $\psi$  değeri -1 ve 1 değerleri arasında değişir. ( $-1 \leq \psi \leq 1$ ). Negatif değer çift eğriliği gösterir.

$\Delta M$  = İşaret değişimi olmayan moment diyagramında momentin mutlak değerce maksimumu,

$\Delta M$  = İşaret değişimi olan moment diyagramında momentin mutlak değerce maksimum ve mutlak değerce minimumunun toplamıdır.

## Eğilme, Basınç ve Yanal-Burulmalı Burkulma

Eksenel basınç  $N_{Sd}$ , kuvvetli eksen etrafındaki eğilme  $M_{33,Sd}$  ve zayıf eksen etrafındaki eğilme  $M_{22,Sd}$  ye maruz kalan Sınıf 1, 2 ve 3 kesitli bütün elemanlar için, kapasite oranı,

$$\frac{N_{c,Sd}}{N_{b,22,Rd}} + \frac{k_{LT} M_{33,Sd}}{M_{b,Rd}} + \frac{k_{22} M_{22,Sd}}{\eta M_{c,22,Rd}} \quad (EC3 5.5.4)$$

olarak verilir. Burada,

$k_{22}$  ve  $\eta$  önceki altbölümde "Eğilme, Basınç ve Eğilmeli Burkulma" tanımlandığı gibidir,

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{c,Sd}}{\chi_{22} A f_y} \leq 1, \text{ Burada}$$

$$\mu_{LT} = 0.15 \bar{\lambda}_{22} \beta_{M,LT} - 0.15 \leq 0.9, \text{ ve}$$

$\beta_{M,LT}$  = Yanal-burulmalı burkulma için eşdeğer uniform moment çarpanıdır. y-y yönünde tutulu iki nokta arasında ve y-y eksenini etrafındaki eğilme için hesaplanır.

## Eğilme, Eksenel Çekme ve Düşük Kesme Kuvveti

Diğer kesit tesirleriyle birlikte etkiyen kesme kuvvetinin boyutlama değeri,  $V_{Sd}$ , plastik dayanımı,  $V_{pl,Rd}$  veya burkulma dayanımı  $V_{ba,Rd}$  için karşı gelen kapasitelerin yarısından daha az olduğu zaman,

$$V_{Sd} \leq 0.5 V_{pl,Rd}, \text{ ve} \quad (EC3 5.4.9)$$

$$V_{Sd} \leq 0.5 V_{ba,Rd}, \quad (EC3 5.4.9)$$

kapasite oranları farklı tip kesitler için aşağıdaki gibi hesaplanır:

Sınıf 1 ve Sınıf 2 kesitler için kapasite oranı konservatif olarak,

$$\frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{33,Sd}}{M_{pl,33,Rd}} + \frac{M_{22,Sd}}{M_{pl,22,Rd}} \quad (EC3 5.4.8.1)$$

alınır. Sınıf 3 kesitler için kapasite oranı konservatif olarak,

$$\frac{N_{t,Sd}}{A f_{yd}} + \frac{M_{33,Sd}}{W_{el,33} f_{yd}} + \frac{M_{22,Sd}}{W_{el,22} f_{yd}}. \quad (\text{EC3 5.4.8.1})$$

## Eğilme, Eksenel Çekme ve Yüksek Kesme Kuvveti

Diğer kesit tesirleriyle birlikte etkiyen kesme kuvvetinin boyutlama değeri,  $V_{Sd}$ , plastik dayanımı,  $V_{pl,Rd}$  veya burkulma dayanımı  $V_{ba,Rd}$  için karşı gelen kapasitelerin yarısından daha fazla olduğu zaman, kayma kuvveti değerinin yüksek olduğu düşünülür.

$$V_{Sd} > 0.5V_{pl,Rd}, \text{ veya} \quad (\text{EC3 5.4.9})$$

$$V_{Sd} > 0.5V_{ba,Rd}, \quad (\text{EC3 5.4.9})$$

ise kayma kuvveti yüksektir.

Bu şartlar altında kapasite oranları farklı tip kesitler için aşağıdaki gibi hesaplanır (EC3 5.4.9):

Sınıf 1, 2 ve 3 kesitler için kapasite oranı konservatif olarak,

$$\frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{33,Sd}}{M_{v,33,Rd}} + \frac{M_{22,Sd}}{M_{v,22,Rd}}. \quad (\text{EC3 5.4.8.1})$$

## Eğilme, Eksenel Çekme ve Yanal-Burulmalı Burkulma

Eksenel çekme kuvveti yanal-burulmalı burkulma için yararlı bir etkiye sahiptir. Elemanın yanal-burulmalı burkulma altında göçüp göçmediğini kontrol etmek için, 3-3 eksenini etrafındaki efektif iç moment aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$M_{\text{eff},33,Sd} = M_{33,Sd} - \psi_{\text{vec}} \frac{N_{t,Sd} W_{\text{com},33}}{A}, \quad (\text{EC3 5.5.3})$$

Burada,

$$\psi_{\text{vec}} = 0.8, \text{ (EC3 kutu değerine göre), ve}$$

$W_{\text{com},33}$  basınç uç lifindeki mukavemet momenti.

Eksenel Çekme  $N_{t,Sd}$ , kuvvetli eksen etrafındaki eğilme  $M_{33,Sd}$  ve zayıf eksen etrafındaki eğilme  $M_{22,Sd}$  ye maruz kalan Sınıf 1, 2 ve 3 kesitli bütün elemanlar için, kapasite oranı,

$$\frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} + \frac{k_{LT} M_{33,Sd}}{M_{b,Rd}} + \frac{k_{22} M_{22,Sd}}{\eta M_{c,22,Rd}} - \psi_{vec} k_{LT} \frac{N_{t,Sd} W_{com,33}}{A M_{b,Rd}} \quad (EC3 5.5.4)$$

olarak verilir. Burada,  $k_{LT}$ ,  $k_{22}$  ve  $\eta$  önceki alt bölümde tanımlandığı gibidir.

## Kesme Kuvveti

Yük kombinasyonlarının her biri için her noktadaki kesme kuvvetinin boyutlama değerleri ve kesme kuvveti dayanım değerlerinden, kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kesme kuvveti kapasite oranları aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{V_{2,Sd}}{V_{2,Rd}} \text{ ve } \frac{V_{3,Sd}}{V_{3,Rd}}.$$



---

## Bölüm IX

---

# Boyutlama Çıktıları

### GENEL

SAP2000 boyutlama çıktıları üç farklı ana formatta oluşturur - grafik görüntüleme, tablo çıkışı ve ayrıntılı eleman özel boyutlama bilgileri.

Çelik boyutlama çıktılarının grafik görüntülemesi giriş ve çıkış boyutlama bilgilerini içerir. Giriş boyutlama bilgileri, boyutlama bölüm adını, K çarpanlarını, hareketli yük azaltma çarpanlarını ve diğer boyutlama parametrelerini içerir. Çıkış boyutlama bilgileri Eksenel kuvvet-Eğilme momenti etkileşim oranlarını ve kayma gerilmesi oranlarını içerir. Bütün grafik çıktıları bastırılabilir.

Tablo çıktıları bir dosyada saklanabilir ya da bastırılabilir. Tablo çıktıları görüntülenebilir bilgilerin pek çoğunu kapsar. Bunlar proje mühendisine ek bir kolaylık olarak düzenlenmişlerdir.

Ayrıntılı eleman özel boyutlama bilgileri kesit hesaplarının mühendis açısından ayrıntılarını gösterir. Belirli bir elemanın her kesit hesabı noktasında ve bütün yük kombinezonları için kesit boyutlarını, malzeme özelliklerini, boyutlama ve müsaade edilebilir gerilmeleri veya çarpanlarla artırılmış ve nominal dayanımları ve bazı ara sonuçları gösterir.

Aşağıdaki bölümlerde bazı tipik grafik görüntüleme, tablo çıkışı ve ayrıntılı eleman özel boyutlama bilgileri açıklanacaktır. Bazı boyutlama bilgileri programda bulunan ve mühendisin seçmiş olduğu çelik boyutlama yönetmeliğine özgüdür, ve gerektiği yerde açıklanacaktır. Bu bölümün bundan sonraki kısmında AISC-ASD89 boyutlama yönetmeliği açıklanmıştır. Diğer şartnamelerde boyutlama çıktıları benzerdir.

## BOYUTLAMA ÇIKTILARININ GRAFİK GÖRÜNTÜLENMESİ

Grafik çıktılar ya renkli ekran görüntüsü olarak ya da gri ölçeklenmiş baskı olarak üretilebilir. Ayrıca, elde edilen ekran görüntüsü doğrudan doğruya yazıcıya gönderilebilir. Boyutlama çıktılarının grafik görüntülemesi giriş ve çıkış boyutlama bilgilerini içerir.

AISC-ASD89 yönetmeliği için giriş boyutlama bilgileri şunlardır:

- Boyutlama bölümü adları,
- Kuvvetli ve zayıf eksen doğrultularında burkulma K çarpanları,
- Tutulu olmayan uzunluk oranları,
- $C_m$  çarpanları,
- $C_b$  çarpanları,
- Hareketli yük azaltma çarpanları,
- $\delta_s$  -çarpanları,
- $\delta_b$  -çarpanları,
- Boyutlama tipi,
- Eksenel, eğilme ve kayma durumlarında müsaade edilebilir gerilmeler,

Görüntülenebilen boyutlama çıkış bilgileri şunlardır:

- P-M etkileşim oranlarının değerleriyle veya olmaksızın renkli görüntülenmesi, ve
- Kayma gerilmesi oranlarının renkli görüntülenmesi,

Grafik görüntülemeye **Design** menü (Boyutlama menüsü)'den erişilebilir. Örneğin, renkli ve değerli P-M etkileşim oranları **Design** menüden **Display Design Info** (Boyutlama Bilgilerini Görüntüle) seçilerek görüntülenebilir. Bu **Display Design Results** (Boyutlama Sonuçlarını Görüntüle) menüsünü çıkarır. Bu durumda kullanıcı **Design Output** (Boyutlama Çıktısı) düğmesini (önceden hazır olan) açık durumuna getirmeli ve aşağı inen menü kutusundan **P-M Ratios Color & Values** (Renkli ve Değerli P-M Etkileşim Oranları) seçilmelidir. Bundan sonra **OK** düğmesine tıklayınca aktif olan ekranda etkileşim oranları görüntülenir.

Grafikler ya iki boyutlu (2D) ya da üç boyutlu (3D) durumda görüntülenebilir. SAP2000 nin standart görünüm dönüşümleri bütün çelik boyutlama giriş ve çıktı görüntülemeleri için kullanılabilir durumdadır. Ana araç çubuğunda grafik görüntülemenin 3D veya 2D bakışı arasında birbirine geçiş için birkaç düğme vardır.

Görünüm, **View** (Görünüm) menüsünden **Set 3D View** (Görünümü Üç Boyutlu Yap) seçilerek dönüşümlü olarak değiştirilebilir.

Aktif penceredeki görüntü SAP2000 programında gri ölçeklenmiş siyah-beyaz olarak bastırılabilir. Grafik çıktıyı doğrudan yazıcıya göndermek için, **File** (Dosya) menüsünden **Print Graphics** (Grafığı Yazdır) düğmesini tıklayın. Aktif penceredeki ekranın windows işletim sisteminde sağlanan yollarda alınması mümkündür.

## **BOYU TLAMA ÇIKTILARININ TABLO GÖSTERİMİ**

Boyutlama çıktı tabloları doğrudan bir dosyaya ya da yazıcıya gönderilebilir. Tablo çıktılarının yazıcıda basılmış şekli dosya çıktısının aynıdır, sadece basılmış çıktıda font büyüklükleri ayarlanmıştır.

Boyutlama çıktı tabloları, seçilmiş olan şartnameye bağlı olan biriş ve çıkış bilgilerini içerir. AISC-ASD89 yönetmeliği için çıktı tabloları aşağıdaki bilgileri içerir. Her tablonun bir başlığı olduğu ve kendisini açıklar durumda olduğundan bu tabloların daha ayrıntılı açıklaması verilmemiştir.

Giriş boyutlama bilgileri aşağıdakileri içerir:

- **Yük Kombinezonu Çarpanları**
  - Kombinezon adı,
  - Yük tipleri, ve
  - Yük çarpanlar.
- **Eleman Çelik Boyutlama Bilgileri (Şartnameye Bağlı Olarak)**
  - Çubuk adı,
  - Boyutlama kesit adı,
  - Kuvvetli ve zayıf eksen doğrultularında burkulma K-çarpanları,
  - $C_m$  -çarpanları,
  - $C_b$  -çarpanları, ve
  - Hareketli yük azaltma çarpanları,
- **Çelik Moment Büyültme Çarpanları (Şartnameye Bağlı Olarak)**
  - Çubuk adı,
  - Kesit adı,
  - Çerçeveleme tipi,
  - $\delta_b$  -çarpanları, ve
  - $\delta_s$  -çarpanları.

Boyutlama çıktı bilgileri aşağıdakileri içerir:

- **Çelik Boyutlama Çıktıları (Şartnameye Bağlı Olarak)**

- Çubuk adı,
- Kesit yerleşimi,
- P-M etkileşimini kontrol eden yük kombinezonunun adı,
- Çekme veya Basınç gösterimi,
- Eksenel kuvvet-Eğilme momenti etkileşim oranı,
- Kuvvetli ve zayıf eksenlerdeki kesme kuvvetlerini kontrol eden yük kombinezonunun adı, ve
- Kayma gerilmesi oranları.

Çıktı tablolarına File (Dosya) menüsünden **Print Design Tables** (Boyutlama Tablolarını Bas) seçilerek erişilebilir. Bu bir diyalog kutusunu getirir. Bu durumda kullanıcı, sonuçların tablolaştırılacağı boyutlama değerlerini belirtebilir. Hazır durumdaki çıktı yazıcıya gönderilir. Eğer kullanıcı, sonuçların bir dosyaya yönelmesini istiyorsa **Print to File** (Dosyaya yaz) kutusunu işaretleyebilir. Başka bir seçenekte **File Name**'i tıklayarak bir dosya listesi elde edilir. Bu durumda **OK** (Tamam) düğmesini tıklayarak çıktı tabloları istenen doğrultuya yöneltmiş olur.-dosyaya ya da yazıcıya.

## ELEMANLARA ÖZEL BİLGİLER

Eleman özel boyutlama bilgileri, mühendis bakış açısından hesabın ayrıntılarını gösterir. Elemanın geometrisine, malzeme bilgilerine, diğer giriş bilgilerine, hesap kesiti boyutlarına, hesap ve müsaade edilebilir gerilmelere, donatı detaylarına ve bazı ara sonuçlara erişim olanağı sağlar. Boyutlama ayrıntı bilgileri, bir çerçeve elemanının belirli bir hesap kesiti ve belirli bir yük kombinezonu için görüntülenebilir.

Ayrıntılı boyutlama bilgilerine, istenen çerçeve elemanı üzerine **sağ tıklama** ile erişilir. Bu belirli bir eleman için aşağıdaki tablolaştırılmış bilgileri içeren **Steel Stress Check Information** (Çelik Boyutlama Bilgisi) adlı dialog kutusunu getirir.

- Çubuk adı,
- Kesit adı,
- Yük kombinezonunun numarası,
- Hesap kesitinin yeri,
- Eksenel kuvvet-Eğilme momenti etkileşim oranı, ve
- İki eksen boyunca kayma gerilmesi oranı.

Ek bilgilere, dialog kutusunda **Redesign** (Yeniden Boyutlama) ve **Details** (Ayrıntılar) düğmelerine tıklayarak erişilebilir. **Redesign** (Yeniden Boyutlama) düğmesini tıklayarak elde edilebilecek ek bilgiler aşağıdaki gibidir:

- Boyutlama Çarpanları (Şartnameye Bağlı Olarak)
  - Kuvvetli ve zayıf eksenler doğrultularında burkulma için K-etkin boy çarpanları,
  - Mesnetlenmemiş boy oranları,

- $C_m$  - çarpanları,
- $C_b$  - çarpanları,
- Hareketli yük azaltma çarpanları,
- $\delta_s$  - çarpanları, ve
- $\delta_b$  - çarpanları.

- Eleman kesit adı,
- Eleman çerçevenme tipi,
- Yeniden belirlenen müsaade edilebilir gerilmeler.

**Details** (Ayrıntılar) düğmesini tıklayarak elde edilebilecek ek bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Çerçeve, kesit, hesap noktası ve yük kombinezonu adları,
- Kesit geometrik bilgileri ve grafik gösterimi,
- Çeliğin malzeme özellikleri,
- Moment çarpanları,
- Eksenel kuvvet ve iki eksenli momentler için boyutlama ve müsaade edilebilir gerilmeler, ve
- Kayma için boyutlama ve müsaade edilebilir gerilmeler.



## KAYNAKÇA:

AASHTO, 1997

*AASHTO LRFD Bridge Design Specifications — U.S. Units*, 1997 Interim Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1997.

AISC, 1989

*Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design*, 9th Edition, American Institute of Steel Construction, Chicago, Ill, 1989.

AISC, 1994

*Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design*, 2nd Edition, American Institute of Steel Construction, Chicago, Ill, 1994.

BSI, 1990

*Structural Use of Steelwork in Building, Part 1, Code of Practice for Design in Simple and Continuous Construction: Hot Rolled Sections, BS 5950 : Part 1 : 1990*, British Standards Institution, London, UK, 1990.

CEN, 1992

*Design of Steel Structures, Part 1.1 : General Rules and Rules for Buildings, ENV 1993-1-1 : 1992*, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 1992.

CISC, 1995

*Handbook of Steel Construction, CAN/CSA-S16.1-94*, 6th Edition, Canadian Institute of Steel Construction, Willowdale, Ontario, Canada, 1995.

CSI, 1998a

*SAP2000 Getting Started*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, 1998.

CSI, 1998b

*SAP2000 Quick Tutorial*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, 1998.

CSI, 1997

*SAP2000 Analysis Reference, Vols. I and II*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, 1997.

ICBO, 1997

*Uniform Building Code, 1997*, International Conference of Building Officials, Whittier, California, 1997.

D. W. White and J. F. Hajjar, 1991

“Application of Second-Order Elastic Analysis in LRFD: Research to Practice,” *Engineering Journal, American Institute of Steel Construction, Inc.*, Vol. 28, No. 4, 1991.