

Çelik Yapı Elemanları

GKT/YDKT

Ders Notları

5-TASARIMDA TEMEL İLKELER

Prof.Dr. Zeki AY
SDÜ İnş. Müh. Böl.
Isparta 2019

www.zekiay.com.tr

5. TASARIMDA TEMEL İLKELER

5.1 GİRİŞ

5.2 YAPISAL ÇÖZÜMLEME

5.3 YAPISAL ÇÖZÜMLEMEDE ENERJİ TEOREMLERİ

5.4 YAPISAL ÇÖZÜMLEMENİN SINIFLANDIRILMASI

5.5 ÇELİK YAPILARDA TASARIM FELSEFELERİ(ÇYTY-2016)

5.6 ÇELİK YAPILAR İÇİN YÜKLER ve YÜK BİRLEŞİMLERİ

EK 5.1 ÇYTY-2016 BÖLÜM 5

EK 5.2 Louis F. Geschwindner, Judy Liu, Charles J. Carter , Unified Design Of Steel Structures(2017), Chapter 1-8,1-9,1-10,1-11,1-12

5. TASARIMDA TEMEL İLKELER

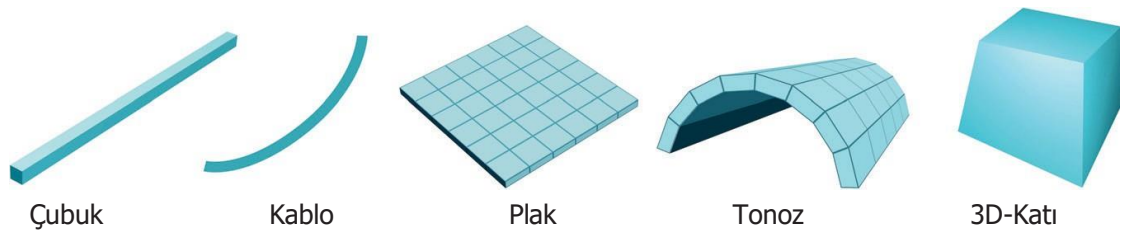
5.1 GİRİŞ

Yapısal tasarım üç esas üzerine oturur. Bunlar sırasıyla, güvenlik, ekonomi ve estetikdir. Güvenlikte temel kural, yapının faydalı ömrü boyunca maruz kalacağı çeşitli etkileri emniyetli bir şekilde karşılaması, böylece olası can ve mal kayıplarının en aza indirilmesidir. Ekonomi ile kastedilen, yapının kendisinden beklenen işlevi belirlenen ömrü boyunca güvenli bir şekilde yerine getirebilmesi için yapılması gerekli tüm giderlerin en düşük seviyede olmasıdır. Estetik ise, sadece, basit bir şekilde yapının hem iç hem de dış görünümü değil, aynı zamanda yine faydalı ömrü boyunca yapının kullanıcılarının beklediği fonksiyonu, kullanıcılarda olumsuz bir etki yaratmaksızın yerine getirmesidir.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik(TÇY 2016)'nın anlaşılabilmesi için, yönetmelikte kullanılan kavramların ve çözümleme yöntemlerinin doğru bilinmesi gerekir. Bu nedenle, bu bölümde, yapı mühendisliğinde kullanılan bazı kavramlar, çözümleme ve tasarım yöntemleri çok fazla detaya girilmeden açıklanmaya çalışılmıştır. Yapısal çözümleme(structural analysis), dış kuvvetler etkisi altındaki bir yapının bu yükler altında iç kuvvetlerin(kesit tesirlerinin), yer değiştirmelerin, gerilmelerin ve şekil değiştirmelerinin hesaplanmasıdır. Yapısal tasarım(structural design), yapısal çözümleme ile hesaplanan kesit tesirlerini ve yer değiştirmeleri kullanılarak belirli kurallar çerçevesinde yapı elemanlarının boyutlandırılmasıdır.

5.2 YAPISAL ÇÖZÜMLEME

Yapıların çözümlemenin amacı, verilen yükler altında yapıda meydana gelen iç kuvvetleri, yer değiştirmeleri, gerilmeleri ve şekil değiştirmeleri belirlemektir. Yapılar, genellikle, belirlenen tasarım esasları çerçevesinde, taşıyıcı istemde yük aktarımı açısından yığma ve karkas, taşıyıcı sistem geometrisi açısından çerçeve, tonoz, kubbe vb., fonksiyon açısından konut, köprü, iş yeri, endüstri yapısı, spor salonu vb., boyut açısından bir, iki ve üç boyutlu, üretim şekline bağlı olarak yerinde üretim ve prefabrik, kullanılan malzemeye bağlı olarak kagir, ahşap, betonarme ve çelik olarak sınıflandırılır.



Şekil 5.1 Yapı sistemlerinde kullanılan başlıca elemanlar

Yapıların çözümlemenin amacı, verilen yükler altında yapıda meydana gelen iç kuvvetleri, yer değiştirmeleri, gerilmeleri ve şekil değiştirmeleri belirlemektir. Yapılar, genellikle, belirlenen tasarım esasları çerçevesinde, taşıyıcı istemde yük aktarımı açısından yığma ve karkas, taşıyıcı sistem geometrisi açısından çerçeve, tonoz, kubbe vb., fonksiyon açısından konut, köprü, iş yeri, endüstri yapısı, spor salonu vb., boyut açısından bir, iki ve üç boyutlu, üretim şekline bağlı olarak yerinde üretim ve prefabrik, kullanılan malzemeye bağlı olarak kagir, ahşap, betonarme ve çelik olarak sınıflandırılır.

Etki(Statik-Dinamik):

Yükler

Titreşimler

Yerdeğiştirmeler

Termal Değişimler

Malzeme(Elastik-Elastik olmayan, Doğrusal-Doğrusal Olmayan):**Yapısal Davranış(Doğrusal-Doğrusal Olmayan):**

Deplasmanlar

Şekil Değiştirmeler

Gerilmeler

Artık Gerilmeler

Bazı Yapısal Çözümleme Türleri:

Doğrusal Olmayan Analiz

P-Delta Analizi

Burkulma analizi

Statik Pushover Analizi

Hızlı Doğrusal Olmayan Analiz

Büyük Yer Değiştirme Analizi

Dinamik Analiz:

Serbest Titreşim ve Modal Analiz

Davranış Spektrumu Analizi

Kararlı Durum Dinamik Analizi

Statik Etki: Etki (Yük) zaman ile hızlı bir şekilde değişmediğinde ve yükün "yavaş" olarak uygulandığı varsayıldığında,

Dinamik Etki: Etki zaman ile hızla değiştiğinde ve "Atalet Kuvveti" önemli hale geldiğinde, Gerçek etkilerin çoğu (Deprem ve rüzgar etkileri gibi) dinamik olmasına karşın yarı statik ve Eşdeğer Statik Yükler olarak ta dikkate alınabilir.

Elastik malzeme: Yükleme ve boşaltma sırasında aynı yolu izler ve yük / uyarımın kaldırılmasından sonra başlangıç deformasyon, gerilme, zorlanma vs. durumuna geri döner

Elastik olmayan(inelastik) malzeme: Gerilme-şekil değiştirme grafiği yükleme ve boşaltma sırasında aynı yolu izlemiyor ve yükün(etki) kaldırılmasından sonra başlangıç şekil değiştirme durumuna geri dönülüyorsa malzeme elastik olmayan malzeme olarak tanımlanır.

| | Malzeme | Davranış | Yapısal Çözümleme |
|---------|----------------|-----------------|---------------------------------------|
| Statik | Elastik | Lineer | Lineer-Elastik-Statik Çözümleme |
| Statik | Elastik | Nonlineer | Nonlineer-Elastik-Statik Çözümleme |
| Statik | İnelastik | Lineer | Lineer-İnelastik-Statik Çözümleme |
| Statik | İnelastik | Nonlineer | Nonlineer-İnelastik-Statik Çözümleme |
| Dinamik | Elastik | Lineer | Lineer-Elastik-Dinamik Çözümleme |
| Dinamik | Elastik | Nonlineer | Nonlineer-Elastik-Dinamik Çözümleme |
| Dinamik | İnelastik | Lineer | Lineer-İnelastik-Dinamik Çözümleme |
| Dinamik | İnelastik | Nonlineer | Nonlineer-İnelastik-Dinamik Çözümleme |

5.3 YAPISAL ÇÖZÜMLEMEDE ENERJİ TEOREMLERİ

Bir sistemin toplam iş yapma kapasitesine enerji denir. Birim zamanda yapılan işe ise güç denir. Bir yapı sistemi uygulanan dış yüklerin etkisiyle şekil değiştirirken, dış yükler tarafından bir iş yapılır. Diğer taraftan şekil değiştirme süresince, şekil değiştirmeye karşı koyan iç kuvvetler tarafından da bir iş yapılır. Yapı sisteminde, iç kuvvetle dış kuvvetlere karşı koyarken, şekil değiştirmeye zorlandığı için iç kuvvetlerin yaptığı iş negatiftir. Enerjinin korunumu kuralı uyarınca yalıtılmış bir sistemde toplam enerjinin değeri sabit kalır. Bu nedenle bir yapı sistemiyle ilgili iç ve dış işlerin cebirsel toplamı sıfırdır. Bununla beraber iç ve dış işlerin mutlak değerleri düşünülürse, bir yapı sisteminde iç işin dış işe eşit olduğu söylenebilir. Aşağıda verilen enerji prensipleri şekil değiştiren konservatif (dış etkilerden korunmuş) bütün sistemler için geçerlidir. Bu prensipler;

Şekil değiştirme enerjisi ile ilgili teoremler

- Virtüel yer değiştirmeler prensibi
- Castigliano birinci teoremi
- Kararlı(stationary) potansiyel enerji prensibi

Karşıt (complementary) enerji teoremleri

- Virtüel kuvvet yöntemi
- Karşıt enerji yöntemi
- Kararlı potansiyel enerji yöntemi

Özel Yöntemler

- Virtüel birim yük yöntemi (kuvvet yöntemi)
- Castigliano ikinci teoremi
- Castigliano "en az iş " yöntemi

Yukarıda belirtilen teoremleri birleştiren faktör virtüel iş prensibidir. Eğer bir sistem için tek bir virtüel kuvvet düşünülürse virtüel kuvvet prensibinden faydalanarak virtüel birim yük yöntemi türetilir. Virtüel iş prensibinin özel bir uygulaması olarak sistemin şekil değiştirme enerjisinden Castigliano birinci teoremi, sistemin karşıt enerjisinden Karşıt enerji (complementary) yöntemi türetilir. Castigliano ikinci teoremi¹, karşıt enerji yönteminin lineer elastik sistemler için düşünülen özel bir durumudur. Virtüel iş yönteminin daha geniş uygulamaları için kararlı potansiyel enerji ve kararlı karşıt enerji yöntemleri geliştirilmiştir. Castigliano en az iş teoremi, kararlı karşıt enerji prensibinin, lineer elastik sistemlere uygulanan özel bir durumu olarak değerlendirilebilir. Bir ve ikinci grup teoremlere paralel olarak üçüncü gruptaki teoremler ikinci grubun özel durumları olarak nitelendirilebilir. Söz konusu teoremlerin paralel olarak gruplandırılmaları hiperstatik sistemlerin çözümü için özel bir önem taşır. Esas olarak enerji yöntemleri izostatik yapı sistemlerinin yer değiştirme hesabında, hiperstatik sistemlerin kesit tesirlerinin ve yer değiştirmelerin hesabında kullanılır. Birinci gruptaki teoremler yer değiştirme yöntemiyle, ikinci gruptaki teoremler kuvvet yöntemiyle yapıların analizinde kullanılır.

5.4 YAPISAL ÇÖZÜMLEMENİN SINIFLANDIRILMASI

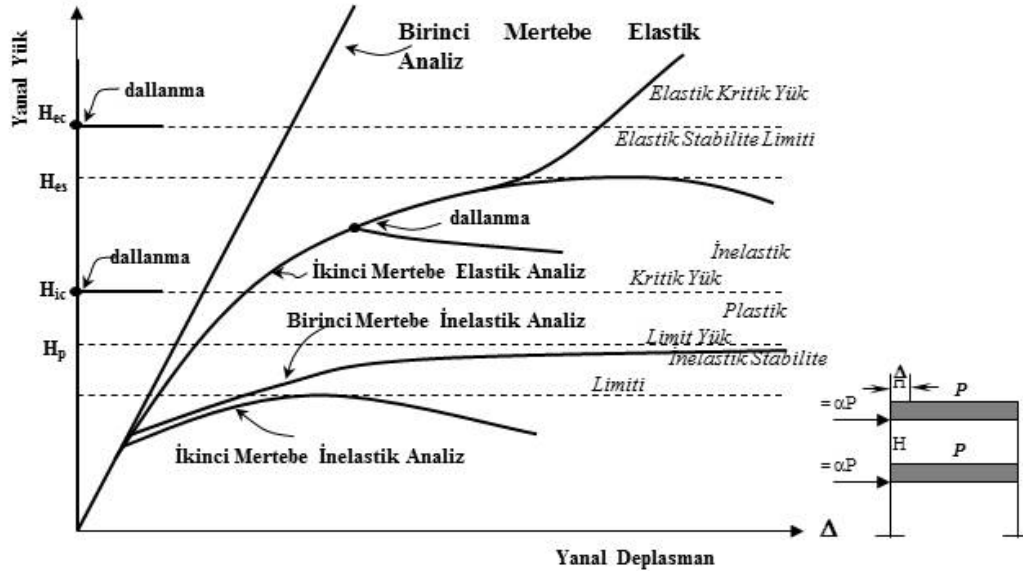
Yapılar malzeme veya geometri bakımından lineer veya doğrusal olmayan davranışları açısından aşağıda verilen sınıflandırma başlıklar altında analiz edilirler. Şekil 5.2'de yapıların analizi için yapıların sınıflandırma yaklaşımları grafik olarak verilmiştir.

Birinci merteye doğrusal elastik çözümleme, hiçbir doğrusal olmama durumunun dikkate alınmadığı çözümleme yaklaşımıdır. Kritik yük, genellikle yapının idealize edilmiş elastik modelin özdeğer analizinden belirlenir. Ayrıca çözümleme sonunda özvektörler hesaplanır ve bu özvektörlerin şekli burkulma modu olarak tanımlanır. Fakat onun genliği belirlenmez.

İkinci merteye elastik çözümleme de ise, denge denklemlerinin formülasyonunda sistemin sonlu deformasyonlarının etkisi ve yer değiştirmeleri dikkate alınır. Yani malzeme doğrusal elastiktir. Denge denklemleri deforme olmuş geometriye göre yazılır. İkinci merteye elastik analiz P- Δ etkileri gibi stabilizeyi bozan tesirlerin açıklanması açısından bir üstünlük sergiler fakat malzeme bakımından doğrusal olmama durumunu belirlemek için bir özelliğe sahip değildir.

Birinci merteye elastik olmayan çözümleme, denge denklemleri deforme olmamış sisteme göre yazılır. inelastik bölgeler tedricen gelişir veya eğer plastik mafsal durumu göz önüne alınmışsa birdenbire yapının davranışı değişir. Sonlu yer değiştirmelerin stabilizeye etkileri nispeten olumsuz olduğu zaman birinci merteye elastik olmayan basit elastik plastik davranışa tam karşılık gelir ve mekanizmanın oluşumu ile göçme meydana gelir. Bu durum şekil 5.2'de basit plastik limit yük durumudur. Fakat birinci merteye elastik olmayan analiz geometrik doğrusal olmama etkilerini belirlemek için yeterli koşullara sahip değildir.

İkinci merteye elastik olmayan çözümlemede ise, Analiz, Denge denklemleri deforme olmuş sistemden yazılır. Yapının davranışına tesir eden bütün geometrik faktörler ve malzeme faktörleri göz önüne alınır. Prensipte olarak deterministik anlamda elastik stabilize analizi de hesaplama ve gerçek yapı davranışının ortaya konulmasında uygun bir yaklaşımdır. İlave yüklere dayanımı için sistemin kapasite noktasında sistem tükenir ve devam eden deformasyonlar neticesinde yük taşıma kapasiteleri azalır. Stabilite de artan doğrusal olmayan davranış yolunun en tepe noktasına ulaşan artımsal davranış yolu inşaat mühendisliği yapılarında göçme modunu oluşturur.



Şekil 5.2 Yapı Analizinin Aşamaları

Güvenliğin taşıma sınır durumuna göre kontrolünde, etkenlerin (yani sisteme gelen yükler, ısı değişim etkisi, mesnet çökme, öngerme etkileri) standart değerleri ağırlık katsayıları adı verilen büyüklüklerle çarpılarak kullanılır. Bu ağırlıklı katsayılar, taşıyıcı sisteme yeterli bir güvenlik sağlamak içindir. Çünkü bu katsayılar etkenlerin karakteristik ve standart değerlerden daha

Prof.Dr. Zeki AY [zekiay](#) İnşaat Mühendislik Ders Notları / Çelik Yapı Elemanları/2019

elverişsiz değerlere ulaşabilme olanağının olması, hesap yöntemlerinde yapılan yaklaşıklıklar, malzeme karakteristiklerindeki ve kullanılan elaman özellikleri belirsizlikler ve taşıyıcı sistemdeki belirsizlikler göz önüne alınmış olunur. Yapı sistemlerinin hesabının amacı dış etkilerden meydana gelen kesit zorlarının, şekil değiştirmelerin ve yer değiştirmelerin bulunmasıdır. Yapı sistemlerinin hesabında *doğrusal ve doğrusal olmayan teorilerde* faydalanılır.

Doğrusal olmaya teori için üç durum söz konusudur. Bunlar, malzeme bakımından doğrusal olmaya teori, geometri bakımından doğrusal olmayan teori ve hem malzeme hem de geometrisi bakımından doğrusal olmayan teoridir. Doğrusal Teoride malzeme doğrusal elastiktir. Yer değiştirmelere ve bunların denge ve geometrik süreklilik denklemlerine etkileri terk edilebilecek kadar küçüktür. Yani birinci mertebeye teorisi geçerlidir. Tepki kuvvetleri çift yönlüdür ve sistemin boyutları yüklemeye ile değişmemektedir. Bu varsayımlar sonucu süper pozisyon geçerlidir. Doğrusal teorisinin geçerli olduğu sistemler iki farklı şekilde boyutlandırılabilir.

5.5 ÇELİK YAPILARDA TASARIM FELSEFELERİ(ÇYTY-2016)

Bir yapı sisteminin tasarımı yapının faydalı ömrü boyunca karşılaşılabileceği yükler altında "dayanım" ve "kullanılabilirlik" sınır durumları göz önüne alınarak gerçekleştirilir. *Dayanım Sınır Durumu*, yapının dayanımı veya stabilite yetersizliği nedeniyle bölgesel ve tümsel göçme sınır durumunu tanımlar. *Kullanılabilirlik Sınır Durumu* ise, yapıdan beklenen fonksiyonları engelleyen sınır durumlarını tanımlar. *Dayanım Sınır Durumu* için güvenlik, *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım(YDKT)* yaklaşımında veya *Güvenlik Katsayıları ile Tasarım(GKT)* yaklaşımında verilen koşulların uygulanması ile sağlanmaktadır. *Kullanılabilirlik Sınır Durumu* ile ilgili koşullar, sıcaklık değişimi, mesnet çökmesi, titreşim ve yatay ve düşey yüklerden kaynaklanan yer ve şekil değiştirmelerle ilgili koşullardır.

Tasarımda, daha önce de belirtildiği gibi "Dayanım Sınır Durumu" ve "Kullanılabilirlik Sınır Durumu" olarak iki sınır durumu vardır. Bir yapı sisteminin tasarımı, öngörülen yük birleşimleri altında ve yapı ömrü boyunca "dayanım ve kullanılabilirlik" sınır durumları aşılmayacak şekilde gerçekleştirilir. Dayanım sınır durumu, eleman ya da sistemin mekanizma yani plastikleşme mukavemet durumunu, burkulma, yorulma, kırılma vb. durumlarını tanımlar. Yani dayanım ve stabilite yetersizliği nedeniyle bölgesel veya tümsel göçme oluşumunu tanımlar. Buna karşılık "kullanılabilirlik sınır durumu" ise yer değiştirmeler, titreşimler, kalıcı deformasyonlar, çatlamlar vb. durumları tanımlar. Yani yapıdan beklenen fonksiyonları engelleyen durumları tanımlar.

Yapıların tasarımında yani boyutlandırılmasında, Gerekli dayanım \leq mevcut dayanım olmalıdır. Çelik yapılarda üç tasarım yaklaşımından söz edilebilir. Bunlar Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım(YDKT), Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) ve Plastik Tasarım (PT). Yeni "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları" adlı yönetmelikte (TÇY 2016) ise; sadece YDKT ve GKT yaklaşımlarından birisini uygulayarak çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerinin tasarımının yapılabileceğinden söz edilmektedir. Tasarım gerçekleştirilirken yapı sistemlerinin analizinin "Doğrusal Elastik Teoriye" göre yapılacağı belirtilmektedir.

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT): Yapıya gelen işletme yüklerinden oluşan gerilmeler, malzemenin doğrusal elastik sınır gerilmesinin bir güvenlik katsayısına bölünmesiyle elde edilen *güvenlik gerilmesinden* daha küçük olacak şekilde sistem boyutlandırılır.

Diğer bir ifade ile gerekli dayanım \leq Güvenli dayanım olmalıdır.

Gerekli dayanım=GKT yük faktörleri ile çarpılarak artırılmış yükler kullanılarak hesaplanmış kesit tesirleridir.

Güvenli dayanım (İzin verilen dayanım)= Nominal (karakteristik) dayanım / güvenlik faktörü

Nominal dayanım: Kesit ve malzeme özellikleri kullanılarak bulunan dayanım yani karakteristik dayanımdır. Burada kuvvet dayanımı dayanım herhangi bir kuvvet(eksenel kuvvet, moment, kesme kuvveti veya burulma momenti) dayanımı olabilir. Tüm yapısal elemanlar için, güvenli dayanım, R_n/Ω 'nın bu tasarım yöntemi için öngörülen GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım, R_a , değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanmaktadır. Doğrusal elastik analiz yapılır

$R_a \leq R_n/\Omega$, R_a =GKT yük bileşenleri için gerekli dayanım , Ω = güvenlik katsayısı ,

Bu tasarım yaklaşımına *elastik tasarım* veya *çalışan gerilme tasarımı* da denir. Çalışan gerilmeler, yapıya sürekli gelen(servis yükleri) yüklerin neden olduğu gerilmelerdir

İşletme yükü: yapıya sürekli gelen yük,

Göçme yükü: Yapıyı kullanılmaz hale getiren yük

Limit yük: Sistemi mekanizma durumuna getiren yük

Servis yükleri: Servis ömrü boyunca beklendiği gibi hesaplanır.

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım(YDKT): Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT), tüm yapısal elemanlar için, tasarım dayanımı, ϕR_n nin bu tasarım yöntemi için öngörülen YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım, R_u , değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanmaktadır.

$\Sigma(\text{Yükler} \cdot \text{Yük Çarpanları}) \leq \text{Dayanım} \cdot \text{Dayanım faktörü}$

Yapısal güvenlik için genel tasarım denklemi aşağıdaki gibidir.

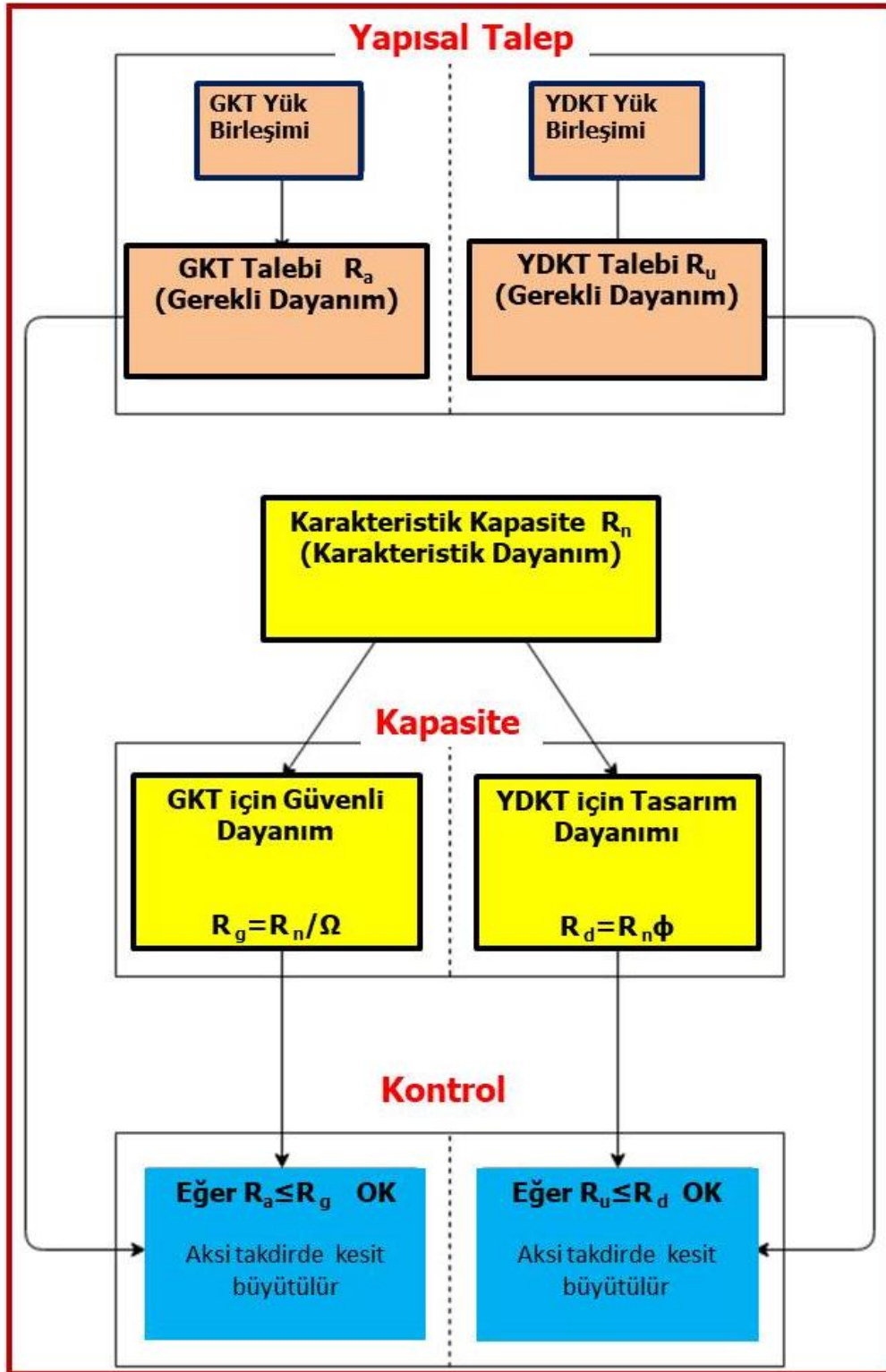
$R_u \leq \phi \cdot R_n$

R_n = Karakteristik dayanım, yani, kesit ve malzeme özelliklerinde bulunan dayanım

ϕ = Mukavemet azaltma katsayısı yani dayanım katsayısı: eleman ve diğer dayanımlardaki sapmalardan dolayı

R_n =nominal (karakteristik) dayanım

Sonuç olarak, Her iki boyutlandırma yönteminde hem yapının stabilite kontrolleri yapılmalı hem de şekil değiştirmeler, yer değiştirmeler sınırlı olmalı. Güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarımda malzeme doğrusal elastik sınır gerilmesinin altındadır. Yükler altında yapı davranışı doğrusaldır. (malzeme doğrusal elastik) Taşıma gücüne göre tasarımda, malzeme doğrusal ve elastik olmakla birlikte kesit akma gerilmesine kadar zorlanır. Bu akma gerilmesi kullanılarak kesitin taşıma gücü bulunur. Yükler altında yapı davranışı doğrusaldır.



Şekil 5.3 ÇYTY-2016 Tasarım Yaklaşımları

5.6 ÇELİK YAPILAR İÇİN YÜKLER

Yapıların kendinden beklenen fonksiyonu herhangi bir güvenlik, ekonomi ve estetik problemi oluşturmadan yerine getirmesi için tasarımcı tarafından belirlenen süreye yapının faydalı ömrü

denir. Faydalı ömrü boyunca yapılara etkiyen kuvvetler, yükler olarak adlandırılır. Yapıya gelen yükleri, çok faklı şekilde adlandırmak mümkündür. En basit şekli ile yapının kendinden beklenen faydayı sağlamak için taşıması gereken yükler ve kendi ağırlığı olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Bu bağlamda kendi ağırlığı kapsamında yükler, diğerine ise canlı(hareketli) yükler denilmektedir. Yapının kendi ağırlığı bir yer çekim yüküdür ve yapıda her zaman bulunur. Canlı yükler ise yapıda zaman zaman bulunan yüklerdir. Yükler, statik ve dinamik yükler olarak yapıya etki eder. Eğer yük yapıya zamanın bir fonksiyonu olarak etki ederse o yük dinamik yük, zamanın bir fonksiyonu olarak etki etmezse statik yüküdür. Örneğin deprem ve rüzgar yükü dinamik yüküdür. Yapı içindeki eşyalar, insanlar ve yapının kendi ağırlığı statik yüküdür.

Yapı, kendisine uygulanan yükleri tasarım ömrü boyunca taşıyacak veya dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Ülkemizde halen yürürlükte olan yük standardı "*Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri-TS498*" adlı standarttır. TS 498'e ilave olarak deprem yüklerinin hesabında TDY-2007'den faydalanılır. Ayrıca havuz, enerji hatları vb. özel yapılar için yükler, yapıların kendi şartları içerisinde hesaplanmalıdır.

Yükler, çelik yapılar için aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

Öz yük(Ölü Yük) (G): Yapıya etki eden kalıcı yüklerdir. Bunlar, yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerin kendi ağırlıklarını içerir. Genellikle yerçekimi yükleridir. Öz yükler, duvarlar, döşemeler, çatılar, tavanlar, merdivenler, gömme bölmeler, yüzeyler, kaplama ve benzeri birleştirilmiş mimari ve yapısal öğeler ve sabit servis malzemeleri, binaya dahil edilen tüm yapı malzemelerinin ağırlığından oluşur. Su tesisatı, elektrikli, ısıtma, havalandırma ve klima sistemleri donanımları da öz yük olarak dikkate alınır. Bazı durumlarda yapısal ölü yük, benzer yapıların ağırlıklarına ve boyutlarına dayanan basit formüllerden tatmin edici bir şekilde tahmin edilebilir. Örneğin, çelik çerçeveli binaların ortalama ağırlığı 3 - 3.6 kPa, betonarme binaların ortalama ağırlığı 5 - 6 kPa'dır. Mühendislik açısından bakıldığında, yapının çeşitli bileşenlerinin malzeme ve boyutları belirlendiğinde, ağırlıkları yoğunluklarını listeleyen tablolardan bulunabilir.

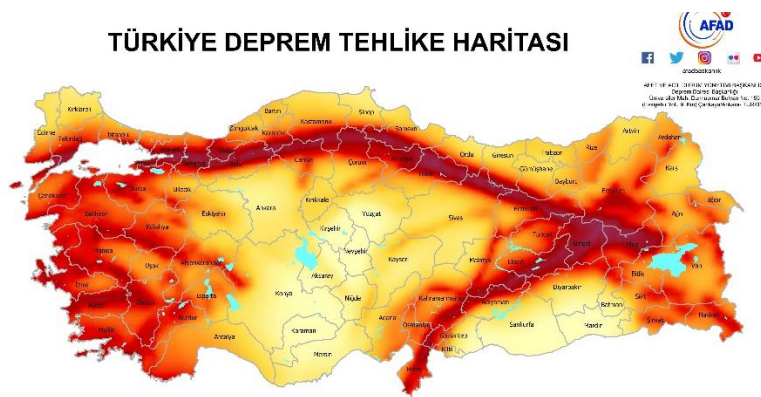
Hareketli Yük (Canlı Yükler)(Q): Kullanım ve doluluk nedeniyle yapıya etki eden kalıcı olmayan yüklerdir. Diğer bir ifade ile yapıda zaman zaman bulunan yüklerdir. Yapıdaki insan yükleri canlı yüküdür. Canlı yüklerin büyüklüğü ve konumu tasarım ömrü boyunca sık sık değişir. Bu nedenle, ölü yüklerle aynı hassasiyetle tahmin edilemezler. Bina katları genellikle tek tip canlı yüklerle veya yoğunlaşmış canlı yüklerle maruz kalır. Yapılar tasarlanırken, bu yükleri emniyetli bir şekilde karşılayacak şekilde tasarlanmaları gerekir.

Rüzgâr Yükleri (W): Rüzgâr yükleri büyüklük olarak rüzgârın hızına ve havanın yoğunluğuna bağlı yüklerdir. Rüzgâr yükleri etkidiği yüzeye dik olarak geldiği kabul edilse de bu her zaman doğru bir yaklaşım olamaz. Rüzgâr bir yüzeye etkimesi yüzeye moment uygulayacak şekilde de olabilir. Bu nedenle, yapının özellikleri ve önemine göre bölgedeki rüzgâr etkilerinin çok iyi analiz edilmesi gereklidir. Bir yapıya gelen rüzgâr yükü, etkidiği yapının yüksekliğine, geometrisine, yapının etrafındaki diğer yapıların geometrisine, bölgenin coğrafyasına, rüzgârın hızına, havanın ağırlığına, rüzgârın etkime geometrisi(yüzeye düzgün doğrusal, eğilme momenti, burulma momenti uygulayacak biçimde), dinamik parametreleri(genlik, periyot, süre vb.) çok farklı parametrelere bağlıdır. Bir Yapı Mühendisi, **Çelik Yapılarda** genellikle rüzgâr ve kar yükünün, deprem yüklerine göre boyutlandırmada belirleyici yük olduğunu, **Betonarme Yapılarda**(yüksek yapılar hariç) ise genellikle deprem yükünün kar ve rüzgâr yüklerine göre boyutlandırmada daha belirleyici yükler olduğunu asla unutmamalıdır. Gerçekte rüzgâr yükleri

dinamik yüklerdir. Yapının önemi ve özellikleri, rüzgâr etkisinin özellikleri göz önüne alarak gerektiğinde dinamik hesap yöntemleri kullanılarak yapı tasarlanmalıdır.

Kar Yükleri (S): Kar yükleri, yapının bulunduğu bölge şartlarına ve mevsimlere göre değişiklik gösteren yerçekimi doğrultusunda (ağırlık) yükleridir. Özellikle çelik endüstri yapıları için boyutlandırmada öz yüklerle beraber temel belirleyici yüklerden biridir. Kar birim hacim ağırlığı 0.25 t/m^3 ile 0.9 t/m^3 (buz birim hacim ağırlığı) arasında değişir. Bunun anlamı 1 mm kar yüksekliğinin karşı kar yükü 0.25 kg/m^2 ile 0.9 kg/m^2 arasındadır. Örneğin, 50 cm yüksekliğindeki bir kar yükü $0.25 \cdot 500 = 125 \text{ kg/m}^2$ ile $0.9 \cdot 500 = 450 \text{ kg/m}^2$ arasında değişir. Kar yükü hesaplarında, kar yüksekliğinin, kar birim hacim ağırlığının doğru tahmin edilmesi ve çatı üzerinde yerel kar birikimleri nedeni ile oluşacak dış merkez yükleme durumlarına dikkat edilmesi gerekir.

Deprem Yüğü(E):



Çatı Hareketli Yüğü (L_r): tasarım ömrü boyunca ekiciler, insanlar veya bakım sırasında işçiler, donanım ve malzemelerden kaynaklanan çatıda canlı yüklerdir.

Montaj Yüğü: Özellikle çelik yapıların atölye ya da fabrika şartlarında üretilip yüklenmesi, taşınması, indirilmesi ve şantiyede montaj yapılması, ya da şantiyede üretilip yerinde montaj yapılması göz önüne alındığında, yapı tasarım ömrü boyunca gelecek yüklerden çok farklı yüklere yani montaj yüklerine maruz kalır. Ülkemizde montaj yükleri dikkate alınmadan tasarlanan daha başlangıç aşamasında montaj yüklerinden dolayı kısmen deforme olmuş çelik yapılara sıkça rastlanmaktadır. Özellikle prefabrike çelik uzay kafes sistem yapılarda montaj yüklerinden kaynaklı yapı hasarları çok yaygındır. Bu nedenle, çelik yapı tasarımı ile uğraşan mühendisler bir kural olarak şunu tavsiye ederiz: **Uygun ve ekonomik çelik ürün temini, ekonomik ve güvenli imalat, montaj, ek ve birleşimlerinin nasıl olacağına” karar verilmeyen bir yapının projesine başlanılmaz.**

Yağmur Yüğü: Çatıya birim zamanda düşen yağış miktarının çok olması durumunda, düşey tahliye borularının yetersiz kalması ve tıkanması nedeni ile olukların tamamen dolması veya tıkanmalar nedeni bazı olukların dolu diğer olukların boş olması durumu, yani dış merkez yükleme etkisiyle yapı kısmen veya bütün olarak hasar görebilir. Meteorolojik verilerden hareketle gerekli hidrolojik hesaplara göre oluk ve düşey tahliye borularının kesitleri belirlenmelidir. Pratik olarak, bir oluğun en kesit alanı, o oluğa gelecek yağmur suyunu aktaran çatı yüzeyinin m^2 alanının 0.8-1 katının cm^2 olarak karşılığıdır. Örnek; çatı 50 m^2 ise oluk kesiti: $0.8 \cdot 50 = 40 \text{ cm}^2$ veya $1 \cdot 50 = 50 \text{ cm}^2$ alınır.

Diğer Yükler: Buz Yükü, Zemin Yükleri, Isı Yükleri, Mesnet Çökmeleri, Trafik Yükleri, Katar Yükleri, Kren Yükleri, Fren yükleri, Demeraj yükleri, Lase Yükleri, Mesnet Sürtünme Kuvvetleri, Donanım Kütle kuvvetleri, Dalga Yükleri, Çarpma Yükleri, İskele yükleri,

Çelik yapıların hesabında alınacak yük birleşim değerleri Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) için TÇY 2016'de tanımlanan yük birleşimleri aşağıda verilmiştir.

BÖLÜM 5 TASARIMDA TEMEL İLKELER

Bu bölümde çelik yapıların analiz ve boyutlandırılmasında uygulanan ve esasların tüm bölümleri için geçerli olan temel ilkeler açıklanmaktadır.

5.1 GENEL ESASLAR

Yapı sistemini oluşturan elemanların ve birleşimlerin tasarımı, yapısal analizin temel varsayımları ve yapı sisteminin öngörülen kullanım ve davranış özellikleri ile uyumlu olmalıdır.

5.2 TASARIM PRENSİPLERİ

Çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerin tasarımı aşağıda esasları verilen *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım* (YDKT) veya *Güvenlik Katsayıları ile Tasarım* (GKT) yaklaşımlarından biri uygulanarak gerçekleştirilebilir. Elemanların ve birleşimlerin *gerekli dayanımı*, uygulanan tasarım yaklaşımı için öngörülen ve ayrıntıları **Bölüm 5.3** te verilen yük birleşimleri altında hesaplanır. Sistem analizleri doğrusal-elastik teoriye göre gerçekleştirilebilir.

5.2.1 – Sınır Durumlar

Çelik yapı elemanları ve birleşimlerinin tasarımı, yapının işletme ömrü boyunca kendinden beklenen tüm fonksiyonları belirli bir *güvenlik* altında yerine getirebilecek düzeyde dayanım, kararlılık (stabilite) ve rijitliğe sahip olacak şekilde, dayanım ve kullanılabilirlik sınır durumları esas alınarak gerçekleştirilecektir.

Dayanım sınır durumu, dayanım veya stabilite yetersizliği nedeniyle bölgesel veya tümsel göçme oluşumunu tanımlar. Buna karşılık *kullanılabilirlik sınır durumu*, yapıdan beklenen fonksiyonları engelleyen aşırı yerdeğiştirmeler ve benzeri özellikler cinsinden tanımlanır.

Dayanım sınır durumu için güvenlik, YDKT yaklaşımına göre **Bölüm 5.2.2** de veya GKT yaklaşımına göre **Bölüm 5.2.3** te verilen koşulların uygulanması ile sağlanacaktır.

Kullanılabilirlik sınır durumu için **Bölüm 5.2.6** esas alınacaktır.

5.2.2 – Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT), tüm yapısal elemanlar için, *tasarım dayanımı*, ϕR_n nin bu tasarım yöntemi için öngörülen ve **Bölüm 5.3.1** de verilen YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan *gerekli dayanım*, R_u , değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanmaktadır.

Buna göre, tasarım **Denk.(5.1)** de verilen koşula uygun olarak gerçekleştirilecektir.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (5.1)$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

R_u : YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım.

R_n : Karakteristik dayanım.

ϕ : Dayanım katsayısı.

ϕR_n : Tasarım dayanımı.

Karakteristik dayanım, R_n , ve dayanım katsayısı, ϕ , ilgili bölümlerde (**Bölüm 7 – 14 ve 16**) açıklanmaktadır.

5.2.3 – Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT), tüm yapısal elemanlar için, *güvenli dayanım*, R_n/Ω nın bu tasarım yöntemi için öngörülen ve **Bölüm 5.3.2** de verilen GKT yük birleşimleri altında hesaplanan *gerekli dayanım*, R_a , değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanmaktadır.

Buna göre, tasarım **Denk.(5.2)** de verilen koşula uygun olarak gerçekleştirilecektir.

$$R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \quad (5.2)$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

R_a : GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım.

R_n : Karakteristik dayanım.

Ω : Güvenlik katsayısı.

R_n/Ω : Güvenli dayanım.

Karakteristik dayanım, R_n , ve güvenlik katsayısı, Ω , ilgili bölümlerde (**Bölüm 7 – 14 ve 16**) açıklanmaktadır.

5.2.4 – Stabilite Analizi

Yapı sistemlerinin stabilite analizi, eleman bazındaki ve sistem genelindeki geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini gözönüne alan ikinci merteye teorisine göre hesap yapılmasını öngörmektedir. Bu Esaslar kapsamında uygulanacak stabilite analizi yöntemleri **Bölüm 6** da açıklanmıştır.

5.2.5 – Birleşimlerin Tasarımı

Yapı sisteminin birleşim detayları **Bölüm (13 ve 14)** te verilen kurallara uygun olarak tasarlanacaktır. Birleşimlerin tasarımında esas alınacak iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler, yapısal analiz varsayımlarına ve birleşimden beklenen performans özelliklerine bağlı olarak belirlenecektir.

Kiriş mesnetleri, bu elemanların boyuna eksenleri etrafında dönmelerini önleyecek şekilde teşkil edilecektir.

Pratikte uygulanan birleşimler, genel olarak, *mafsallı birleşimler* ve *moment aktaran birleşimler* olarak iki grupta toplanabilirler.

- (a) Mafsallı birleşimler eğilme momentinin sıfır veya sıfıra yakın olduğu, buna karşılık birleşen elemanlar arasında görelî dönme hareketine izin veren birleşimlerdir. Bu birleşimlerin dönme kapasitesi, yapısal analiz ile hesaplanan gerekli dönme hareketi ile uyumlu olmalıdır.
- (b) Moment aktaran birleşimler rijit moment aktaran birleşimler ve yarı rijit (elastik) moment aktaran birleşimler olarak ikiye ayrılırlar.
 - (1) Rijit moment aktaran birleşimlerde, birleşen elemanlar arasındaki görelî dönme hareketinin tam olarak sınırlandırıldığı varsayılmaktadır. Bu durumda birleşimler, görelî dönme hareketinin sıfır olmasını sağlayacak yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olacaktır.
 - (2) Yarı rijit moment aktaran birleşimlerde, birleşen elemanlar arasındaki görelî dönme hareketinin tam olarak sınırlandırılmadığı varsayılmaktadır. Bu durumda, yapı sistemlerinin analizleri için geliştirilen analitik modeller, birleşimlerin kuvvet-şekildeğiştirme karakteristiklerini gözönüne alacak şekilde oluşturulacaktır. Bu davranış

karakteristiklerinin analitik veya deneysel olarak belgelenmesi sağlanacaktır. Bu durumda birleşimler, öngörülen göreceli dönme hareketini sağlayacak yeterli dayanım, rijitlik ve şekildeğiştirme kapasitesine sahip olacaktır.

5.2.6 – Kullanılabilirlik Sınır Durumları İçin Tasarım

Yapı sistemi, yapısal elemanlar ve birleşimler kullanılabilirlik sınır durumları için kontrol edilecektir. Kullanılabilirlik sınır durumları için tasarıma ilişkin kurallar ve koşullar **Bölüm 15** te verilmiştir.

5.2.7 – Kirişlerde Yeniden Dağılım

Doğrusal-elastik teoriye göre analiz edilen (hesaplanan) hiperstatik sistemlerin kirişlerinde, yeniden dağılım prensibi uygulanarak, düşey yüklerden oluşan mesnet momentlerinin en çok %10 oranında azaltılmasına izin verilebilir. Yeniden dağılım prensibi uygulanarak mesnet momentleri azaltılan kirişlerde, açıklık momentleri denge koşulları sağlanacak şekilde arttırılır.

Yeniden dağılım prensibi gerek YDKT, gerekse GKT yöntemleri için uygulanabilmektedir.

Kirişlerde yeniden dağılım prensibi uygulanırken aşağıdaki hususlar gözönünde tutulmalıdır.

- (a) Kiriş enkesiti **Bölüm 5.4.1** de tanımlanan *kompakt enkesit* sınıfına girmelidir.
- (b) Yeniden dağılımın uygulanacağı mesnete komşu kiriş açıklığında basınç başlığının yanal olarak desteklenmeyen uzunluğu, L_b , **Bölüm 9.13.5** te verilen koşulu sağlamalıdır.
- (c) Kiriş malzemesinin karakteristik akma gerilmesi 450 MPa değerini aşmamalıdır.
- (d) Kirişin moment aktaran birleşimleri *yarı rijit (elastik)* olmamalıdır.
- (e) Kiriş eksenel kuvveti, kayıpsız enkesit alanı, A_g ve karakteristik akma gerilmesi, F_y olmak üzere, YDKT için $0.15\phi_c F_y A_g$ veya GKT için $0.15 F_y A_g / \Omega_c$ sınır değerlerini aşmamalıdır. Burada, $\phi_c = 0.90$ veya $\Omega_c = 1.67$ alınacaktır.

5.2.8 – Diyafram ve Yük Aktarma Elemanlarının Tasarımı

Diyaframlar ve yük aktarma elemanları (diyafram dikmeleri), **Ek 3** esas alınmak üzere, **Bölüm 5.3** e göre belirlenen yüklerden oluşan iç kuvvetleri aktaracak şekilde detaylandırılarak, **Bölüm (6 - 14)** te verilen kurallara uygun olarak tasarlanacaktır.

5.2.9 – Betona Ankraj Tasarımı

Yapısal çelik ve betonun kompozit olarak çalıştığı durumda, kompozit bileşenler arasındaki ankraj elemanları **Bölüm 12** de verilen kurallara uygun olarak tasarlanacaktır. Kolon ayakları ve ankraj çubukları **Bölüm 13** te verilen kurallara uygun olarak boyutlandırılacaktır.

5.2.10 – Yapısal Bütünlük İçin Tasarım

Yapısal bütünlük için aşağıda verilen koşullar sağlanacaktır.

Kolon ekleri, G sabit yük ve Q hareketli yük olmak üzere, $G + Q$ yük birleşimi dikkate alınarak hesaplanan eksenel kuvvete eşit veya daha büyük karakteristik çekme kuvveti dayanımına sahip olacaktır.

Kiriş uç birleşimlerinin karakteristik eksenel çekme kuvveti dayanımı en az, **Bölüm 5.2.2** de tanımlanan YDKT yöntemine göre belirlenen gerekli kesme kuvveti dayanımının $2/3$ üne veya **Bölüm 5.2.3** te tanımlanan GKT yöntemine göre belirlenen gerekli kesme kuvveti dayanımına eşit olacaktır. Bu değer 50kN dan az olmayacaktır.

Kolonların stabilitesini sağlayan elemanların uç birleşimlerinin karakteristik çekme kuvveti dayanımı en az, **Bölüm 5.2.2** ile YDKT yöntemine göre belirlenen kolon gerekli eksenel dayanımının 2/3 ü ile hesaplanan değer %1 ine eşit olacaktır. Bu değer, **Bölüm 5.2.3** ile GKT yöntemine göre belirlenen kolon gerekli eksenel dayanımının %1 ine eşit alınacaktır.

Bu bölümde yapısal bütünlük için verilen koşullar diğer dayanım koşullarından bağımsız olarak değerlendirilecektir.

5.2.11 – Gölleme İçin Tasarım

Çatı yüzeyinde su birikmesine karşı yeterli önlem alınmaması durumunda, su birikmesi tehlikesine karşı çatı sisteminin yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olduğu ilgili analiz yöntemleri kullanılarak gösterilecektir. Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla, su birikmesi (gölleme) etkisine karşı çatı sisteminin dayanım ve rijitliği **Ek 1** e göre değerlendirilebilir.

5.2.12 – Yorulma İçin Tasarım

Yorulma etkisi oluşturan tekrarlı yükler altındaki elemanların ve birleşimlerin tasarımında **Ek 2** de verilen kurallar gözönüne alınacaktır. Rüzgar ve deprem etkileri yorulma analizinde gözönüne alınmaz.

5.2.13 – Korozyona Karşı Koruma

Korozyonun yapının dayanım ve kullanılabilirliği açısından olumsuz bir etki oluşturabileceği durumlarda, TS EN 1090-2 Ek F de belirtilen esaslar dahilinde, korozyona karşı yeterince önlem alınacak veya yapısal bileşenler, korozyondan kaynaklanabilecek enkesit kayıpları da gözönüne alınarak tasarlanacaktır.

5.2.14 – Yangına Karşı Koruma

Çelik yapı sistemleri, ülkemizde yürürlükte olan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY 2015) te verilen koşulları sağlayacak şekilde oluşturulacaktır. Çelik yapı elemanlarının yangına karşı korunması için kullanılacak malzemelerin yukarıdaki yönetmelikte yapı bölümleri için tanımlanan yangına karşı dayanım sürelerini sağladığı, **Bölüm 1.3.8** de verilen ilgili standartlar doğrultusunda belgelendirilecektir.

5.3 YÜKLER VE YÜK BİRLEŞİMLERİ

Yapı sistemlerinin tasarımında esas alınan karakteristik yük değerleri, TS 498 e uygun olarak belirlenecektir. Kar yükleri için TS EN 1991 – 1 – 3 te ve rüzgar yükleri için TS EN 1991 – 1 – 4 te verilen koşullar gözönüne alınacaktır. Deprem etkisi, *E* nin ayrıntılı tanımı için DBYBHY koşulları esas alınacaktır.

Rüzgar hızının temel değeri, $V_{b,o} = 28$ m/sn (100 km/sa) den ve binanın ana taşıyıcı sistemine, dış cephe kaplamalarına ve rüzgara maruz yapısal ve yapısal olmayan elemanlarına etkileyen karakteristik rüzgar yükleri 0.5 kN/m² den az olmayacaktır.

Gerekli dayanımı belirlemek için karakteristik yüklere uygulanacak yük birleşimleri, seçilen tasarım yöntemine bağlı olarak, aşağıda YDKT için **Bölüm 5.3.1** de veya GKT için **Bölüm 5.3.2** de verilmiştir.

Bu yük birleşimlerinde yer alan yükler aşağıda tanımlanmıştır.

G : sabit yük

Q : hareketli yük

Q_r : çatı hareketli yükü

S : kar yükü

R : yağmur yükü

W : rüzgar yükü

E : deprem etkisi

F : akışkan madde basınç yükü

T : sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkileri

H : yatay zemin basıncı, zemin suyu basıncı veya yığılı madde basıncı

5.3.1 – Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)

Bu tasarım yönteminde gerekli dayanım, R_u , aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenecektir.

(1) $1.4G$

(2) $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$

(3) $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0.8W)$

(4) $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1.6W$

(5) $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$

(6) $0.9G + 1.6W$

(7) $0.9G + 1.0E$

Not:

(a) F akışkan madde basınç yükünün mevcut olması halinde, (1) – (4) sayılı birleşimlerde bu yük G yükünün katsayısı ile birleşime girecektir.

(b) H yatay kuvvetinin mevcut olması halinde, bu etki gerekli dayanımı arttıracak yönde ise 1.6 katsayısı ile, gerekli dayanımı azaltacak yönde olması halinde ise 0.9 katsayısı ile birleşime girecektir. H yatay kuvvetinin deprem etkisini içeren yük birleşimlerine katkısı, DBYBHY kapsamında değerlendirilecektir.

(c) T sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkilerinin mevcut olması halinde, bu etkiler gerekli dayanımı arttıracak yönde ise 1.0 katsayısı ile tüm birleşimlere girecektir.

5.3.2 – Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)

Bu tasarım yönteminde gerekli dayanım, R_a , aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenecektir.

(1) G

(2) $G + Q$

(3) $G + (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$

(4) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$

(5a) $G + 1.0W$

(5b) $G + 0.7E$

(6a) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75(W)$

(6b) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75(0.7E)$

(7) $0.6G + W$

(8) $0.6G + 0.7E$

Not:

- (a) F akışkan madde basınç yükünün mevcut olması halinde, (1) – (6) sayılı birleşimlerde bu yük G yükünün katsayısı ile birleşime girecektir.
- (b) H yatay kuvvetinin mevcut olması halinde, bu etki gerekli dayanımı arttıracak yönde ise 1.0 katsayısı ile, gerekli dayanımı azaltacak yönde olması halinde ise 0.6 katsayısı ile birleşime girecektir. H yatay kuvvetinin deprem etkisini içeren yük birleşimlerine katkısı, DBYBHY kapsamında değerlendirilecektir.
- (c) T sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkilerinin mevcut olması halinde, bu etkiler gerekli dayanımı arttıracak yönde ise 0.75 katsayısı ile tüm birleşimlere girecektir.

5.4 ELEMAN ENKESİT ÖZELLİKLERİ

5.4.1 – Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Enkesitlerin Sınıflandırılması

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki enkesitler, yerel burkulma sınır durumu dikkate alındığında, *narın ve narın olmayan enkesitler* olarak ikiye ayrılırlar. Hiç bir enkesit parçasının genişlik (çap) / kalınlık oranı, λ nın **Tablo 5.1A** da verilen λ_r sınır değerini aşmadığı (narın enkesit parçası bulunmayan) enkesitler *narın olmayan enkesit* ve en az bir enkesit parçasının genişlik (çap) / kalınlık oranının λ_r sınır değerini aştığı enkesitler ise *narın enkesit* olarak sınıflandırılır.

Eğilme momenti etkisindeki enkesitler, yerel burkulma sınır durumu dikkate alındığında, *kompakt, kompakt olmayan ve narın enkesitler* olarak üçe ayrılırlar. Eğilme momentinin basınç bileşeni etkisindeki hiç bir enkesit parçasının genişlik (çap) / kalınlık oranı, **Tablo 5.1B** de verilen λ_p sınır değerini aşmayan (kompakt enkesit parçalı) ve başlıkları gövde veya gövdelere sürekli birleştirilen enkesitler *kompakt* olarak sınıflandırılırlar. Basınç bileşeni etkisindeki en az bir enkesit parçasının genişlik (çap) / kalınlık oranı λ_p sınırını aşan; fakat tüm enkesit parçaları için λ_r değeri aşılmayan enkesitler *kompakt olmayan enkesitler*dir. Basınç bileşeni etkisindeki en az bir enkesit parçasının genişlik (çap)/kalınlık oranı, λ_r değerini aşan enkesitler ise *narın enkesit* olarak tanımlanır.

Tablo 5.1A ve **Tablo 5.1B** nin kullanılmasında, *rijitleştirilmemiş enkesit parçaları* ve *rijitleştirilmiş enkesit parçaları* tanımları ve hangi boyutların genişlik olarak alınacağı aşağıda açıklanmıştır.

5.4.1.1 – Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçaları

Basınç kuvveti doğrultusuna paralel sadece bir kenarı boyunca enkesitin diğer bir parçası ile bağlanan, basınç etkisindeki enkesit parçaları *rijitleştirilmemiş enkesit parçaları* olarak tanımlanır. Bu parçalarda, aşağıdaki enkesit boyutları *genişlik* olarak alınacaktır.

- (a) I- ve T- enkesitli elemanlarda yarım başlık genişliği.
- (b) Korniyerlerde kol boyu, U- ve Z-profiller için başlık genişliği.
- (c) Levhalarda serbest kenar ile en yakın komşu bulon veya kaynak sırası arasındaki uzaklık.
- (d) T-enkesitli elemanların gövdeleri için toplam gövde yüksekliği.

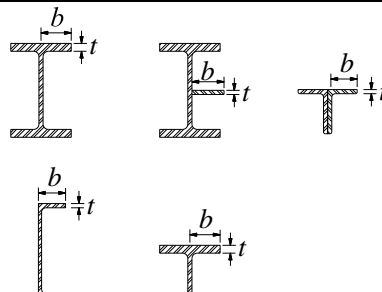
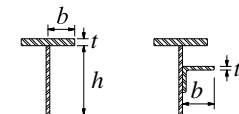
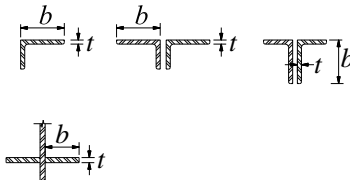
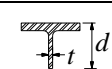
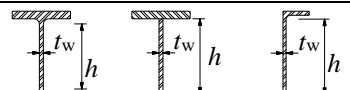
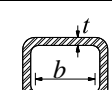
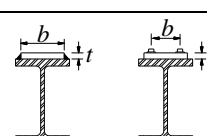
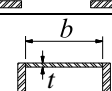
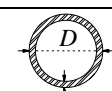
5.4.1.2 – Rijitleştirilmiş Enkesit Parçaları

Basınç kuvveti doğrultusuna paralel iki kenarı boyunca enkesitin diğer parçaları ile bağlanan, basınç etkisindeki enkesit parçaları *rijitleştirilmiş enkesit parçaları* olarak tanımlanır. Bu parçalarda, aşağıdaki enkesit boyutları *genişlik* olarak alınacaktır.

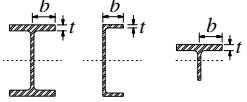
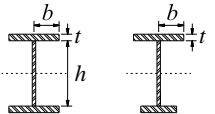
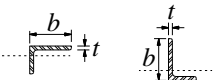
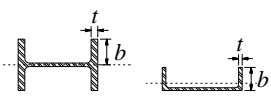
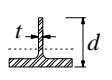
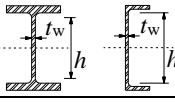
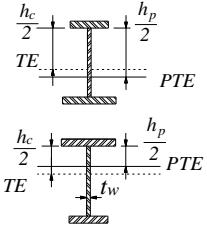
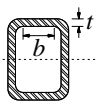
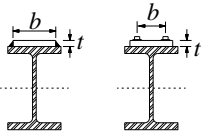
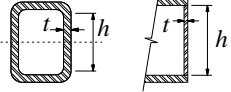
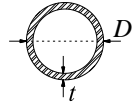
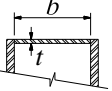
- (a) Hadde profillerinin gövdeleri için h , başlıklar arasındaki uzaklıktan eğrilik yarıçaplarının çıkarılması ile bulunan yükseklik, h_c ise ağırlık merkezi ile basınç başlığı tarafının gövde parçası üzerindeki eğrilik bitim noktası arasındaki uzaklığın iki katı.
- (b) Bulonlu yapma enkesitlerin gövdeleri için h , bulon sıraları arasındaki net yükseklik, kaynaklı yapma enkesitler için h ise, başlık iç yüzeyleri arasındaki net yükseklik. Simetrik olmayan bulonlu yapma enkesitlerde, h_c , ağırlık merkezi ile basınç başlığı tarafındaki en yakın bulon sırası arasındaki uzaklığın veya kaynak kullanılması halinde ağırlık merkezi ile basınç başlığının iç yüzü arasındaki uzaklığın iki katı. Simetrik olmayan bulonlu yapma enkesitlerde, h_p , plastik tarafsız eksen ile basınç başlığı tarafındaki en yakın bulon sırası arasındaki uzaklığın veya kaynak kullanılması halinde plastik tarafsız eksen ile basınç başlığının iç yüzü arasındaki uzaklığın iki katı.
- (c) Yapma enkesitlerin başlık takviye levhaları ve diyafram levhaları için, komşu bulon sıraları veya kaynak çizgileri arasındaki b genişliği.
- (d) Dikdörtgen kutu enkesitlerin başlıklarında, başlık levhasının gövde levhalarına bağlandığı eğrilik bitim noktaları arasındaki b genişliği, gövdelerinde ise, gövde levhasının başlık levhalarına bağlandığı eğrilik bitim noktaları arasındaki h yüksekliği. Eğrilik yarıçaplarının bilinmemesi halinde, b ve h ölçüleri, kutu enkesitin ilgili doğrultudaki dış boyutlarından et kalınlığının üç katı çıkarılarak belirlenir. Et kalınlığı olarak, aşağıda **Bölüm 5.4.2** de tanımlanan *tasarım et kalınlığı* alınacaktır.

Başlık kalınlıkları değişken olan enkesitlerde ortalama kalınlık, başlığın serbest ucu ile gövde levhasına birleşen kenarı arasındaki orta noktanın kalınlığı olarak alınacaktır.

TABLO 5.1A – EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİNDEKİ ENKESİT PARÇALARI İÇİN GENİŞLİK / KALINLIK ORANLARI

| | Durum | Tanım | Genişlik / Kalınlık Oranı, λ | Genişlik / Kalınlık Oranı Sınır Değeri, λ_r | Enkesit |
|------------------------------------|-------|--|--------------------------------------|---|---|
| Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçası | 1 | Hadde I-profillerinin başlıkları, bu profillere bağlanan levhalar, boşluksuz olarak sürekli birleştirilen çift korniyerlerin dış kolları, U- ve T-profillerin başlıkları | b/t | $0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 2 | Yapma I-profillerin başlıkları, bu profillere bağlanan levhalar ve korniyerlerin dış kolları | b/t | $0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ ^[a] |  |
| | 3 | Tek korniyerlerin kolları, birbirlerine boşluklu olarak bağlanan çift korniyerlerin kolları ve tüm rijitleştirilmemiş elemanlar | b/t | $0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 4 | T-profillerin gövdeleri | d/t | $0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| Rijitleştirilmiş Enkesit Parçası | 5 | U-profillerin ve çift simetri eksenli I-profillerin gövdeleri | h/t_w | $1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 6 | Üniform kalınlıklı dikdörtgen ve kare kutu enkesitlerin gövde ve başlıkları | b/t | $1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 7 | Birleşim araçları arasında kalan takviye levhaları ve diyafram levhaları | b/t | $1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 8 | Tüm diğer rijitleştirilmiş enkesit parçaları | b/t | $1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 9 | Boru enkesitli elemanlar | D/t | $0.11 \frac{E}{F_y}$ |  |

TABLO 5.1B – EĞİLME MOMENTİNİN BASINÇ BİLEŞENİ ETKİSİNDEKİ ENKESİT PARÇALARI İÇİN GENİŞLİK / KALINLIK ORANLARI

| | Durum | Tanım | Genişlik/ Kalınlık Oranı, λ | Genişlik / Kalınlık Oranı Sınır Değerleri | | Enkesit |
|------------------------------------|-------|---|---|---|--|---|
| | | | | λ_p (kompakt / kompakt olmayan) | λ_r (kompakt olmayan / narin) | |
| Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçası | 10 | Hadde I-profiller, U-profiller ve T-enkesitli elemanların başlıkları | b/t | $0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | $1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 11 | Tek ve çift simetri eksenli yapma I-enkesitli elemanların başlıkları | b/t | $0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | $0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$ [a] [b] |  |
| | 12 | Tek korniyerlerin kolları | b/t | $0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | $0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 13 | Zayıf eksen etrafında eğilme etkisindeki tüm I-enkesitli elemanlar ve U-profiller | b/t | $0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | $1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 14 | T-enkesitli elemanların gövdeleri | d/t | $0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | $1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| Rijitleştirilmiş Enkesit Parçası | 15 | U-profillerin ve çift simetri eksenli I-profillerin gövdeleri | h/t_w | $3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | $5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 16 | Tek simetri eksenli I-enkesitli elemanların gövdeleri | h_c/t_w | $\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \leq \lambda_r$ [c] $\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2$ | $5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 17 | Üniform cidar kalınlıklı kutu enkesitli elemanların başlıkları | b/t | $1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | $1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 18 | Takviye levhaları ve birleşim araçları arasında kalan diyafram levhaları | b/t | $1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | $1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 19 | Kutu enkesitli elemanların gövdeleri | h/t | $2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | $5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |
| | 20 | Boru enkesitli elemanlar | D/t | $0.07 \frac{E}{F_y}$ | $0.31 \frac{E}{F_y}$ |  |
| | 21 | Yapma kutu enkesitlerin başlıkları | b/t | $1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | $1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ |  |

TABLO 5.1B – EĞİLME MOMENTİNİN BASINÇ BİLEŞENİ ETKİSİNDEKİ ENKESİT PARÇALARI İÇİN GENİŞLİK / KALINLIK ORANLARI (DEVAM)

[a] : $k_c = 4/\sqrt{h/t_w}$ ve $0.35 \leq k_c \leq 0.76$

[b] : Narin gövdeli I-enkesitli elemanlar için ve kompakt veya kompakt olmayan gövdeli, $W_{ext} / W_{exc} \geq 0.7$ olan, yapma I-enkesitli elemanların kuvvetli eksenleri etrafında eğilme etkisinde olması halinde, $F_L = 0.7F_y$.

Kompakt veya kompakt olmayan gövdeli, $W_{ext} / W_{exc} < 0.7$ olan, yapma I-enkesitli elemanların kuvvetli eksenleri etrafında eğilme etkisinde olması halinde ise, $F_L = F_y W_{ext} / W_{exc} \geq 0.5F_y$.

[c] : M_y , en dış lifin akmasına karşı gelen eğilme momenti ve M_p , plastik eğilme momenti ($M_p = F_y W_{px}$).

E : Çelik elastisite modülü, (200000 MPa).

F_y : Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi.

W_{ext} : x-ekseni etrafında çekme bölgesi için elastik mukavemet momenti.

W_{exc} : x-ekseni etrafında basınç bölgesi için elastik mukavemet momenti.

W_{px} : x-eksenine göre plastik mukavemet momenti.

5.4.2 – Boru ve Kutu Enkesitli Elemanların Tasarım Et Kalınlığı

Boru ve kutu enkesitli elemanların kesit hesaplarında *tasarım et kalınlığı* gözönüne alınır. Tasarım et kalınlığı, t , tozaltı ark kaynağı ile oluşturulan elemanlarda nominal et kalınlığına, elektrik direnç kaynaklı elemanlarda ise nominal et kalınlığının 0.93 katına eşit olarak alınacaktır.

5.4.3 – Kayıpsız ve Net Enkesit Alanları

(a) Elemanın *kayıpsız enkesit alanı*, A_g , yerel burkulma nedeniyle etkin olmayan enkesit parçalarının veya açılan delikler nedeniyle oluşan kayıpların gözönüne alınmadığı toplam enkesit alanı olarak tanımlanır.

(b) *Net (kayıplı) enkesit alanı*, A_n , elemanın kırılma çizgisi üzerinde yer alan bulon deliklerinin veya konstrüktif nedenlerden dolayı oluşan kesit kayıplarının çıkarılması ile elde edilen net genişlik ile kalınlığın çarpımı olarak tanımlanır.

Çekme ve kesme kuvveti etkisindeki elemanların kırılma çizgisi üzerindeki net enkesit alanı hesabında, delik açılırken delik çevresindeki çelik malzemenin hasar görme olasılığı gözönüne alınarak, karakteristik delik çapından 2mm daha büyük olarak alınan *etkin delik çapı*, d_e , kullanılacaktır.

Şaşırtmalı veya şaşırtmalı olmayan delikler için, kırılma çizgisi boyunca net alan **Denk.(5.3)** ile belirlenecektir.

$$A_n = A_g - \sum d_e t + \sum \frac{s^2 t}{4g} \quad (5.3)$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

A_g : Toplam (kayıpsız) enkesit alanı.

A_n : Net (kayıplı) enkesit alanı.

d_h : **Bölüm 13** de tanımlanan karakteristik bulon deliği çapı.

d_e : Etkin delik çapı, ($= d_h + 2\text{mm}$).

s : Ardışık iki deliğin merkezleri arasında, kuvvet doğrultusundaki aralık.

t : Eleman kalınlığı.

g : Ardışık iki deliğin merkezleri arasında, kuvvete dik doğrultudaki aralık.

Boru veya kutu enkesitlerde, bazı kaynak birleşimleri için yapılan kesimler nedeniyle net (kayıplı) alan, kesim işlemiyle çıkarılan genişlik ve eleman tasarım et kalınlığının çarpımı ile belirlenen alanın boru veya kutu elemanın toplam enkesit alanından çıkarılması ile elde edilir.

Dairesel ve oval delik kaynaklarında, kaynak alanı net enkesit alanına katılamaz.

Delik içermeyen elemanların net enkesit alanı, A_n , toplam enkesit alanı, A_g ye eşittir.