

MİMARLIK ÖĞRENCİLERİ İÇİN

ÇELİK YAPILAR

DERS NOTU

Prof. Dr. Zeki AY

Süleyman Demirel Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Isparta-2024



5. Tasarımda Temel İlkeler

5.1 Giriş

5.2 Yapısal Çözümleme

5.3 Yapısal Çözümlemede Enerji Teoremleri

5.4 Yapısal Çözümlemenin Sınıflandırılması

5.5 Çelik Yapılarda Tasarım Felsefeleri(ÇYTY-2016)

5.6 Çelik Yapılar İçin Yükler ve Yük Birleşimleri

Ek 5.1 Çyty-2016 Bölüm 5

3. TASARIMDA TEMEL İLKELELER

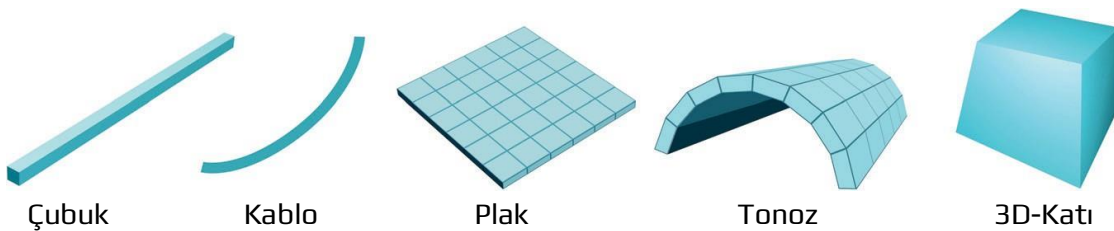
3.1 GİRİŞ

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 çözümlene yöntemlerinin doğru bilinmesi gerekir. Bu nedenle, bu bölümde, yapı mühendisliğinde kullanılan bazı kavramlar, çözümlene ve tasarım yöntemleri çok fazla detaya girilmeden açıklanmaya çalışılmıştır. Yapısal çözümlene(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 çözümlene ile hesaplanan kesit tesirlerini ve yer değiştirmeleri kullanılarak belirli kurallar çerçevesinde yapı elemanlarının boyutlandırılmasıdır.

3.2 YAPISAL ÇÖZÜMLEME

Yapıların çözümlenmenin 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 3.1 Yapı sistemlerinde kullanılan başlıca elemanlar

Yapıların çözümlenmenin 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,

	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

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 dönülmüyorsa malzeme elastik olmayan malzeme olarak tanımlanır.

3.3 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 düşünölen 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 Prof.Dr. Zeki AY

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.

3.4 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.

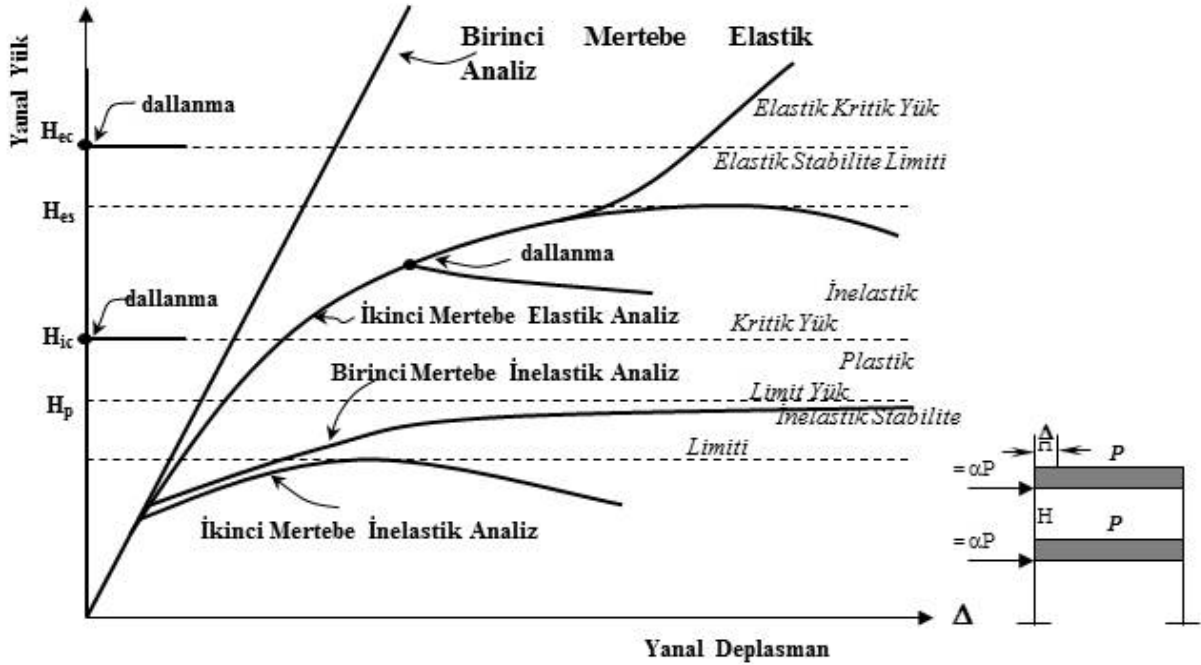
İkinci merteye elastik çözümleme de ise, denge denklemlerinin formülasyonunda sistemin sonlu deformasyonlarının etkisi ve yer değiştirmeleri dikkate alınır. Yani malzeme doğrusal elastiktir. Denge denklemleri deforme olmuş geometriye göre yazılır. İkinci merteye elastik analiz $P-\Delta$ etkileri gibi stabiliteyi 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 stabiliteye 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 3.2'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 stabilite 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.

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 elverişsiz değerlere ulaşabilme olanağının olması, hesap yöntemlerinde yapılan yaklaşımlar, 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.



Şekil 3.2 Yapı Analizinin Aşamaları

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 mertebe teorisi geçerlidir. Tepki kuvvetleri çift yönlüdür ve sistemin boyutları yükleme ile değişmemektedir. Bu varsayımlar sonucu süper pozisyon geçerlidir. Doğrusal teorisinin geçerli olduğu sistemler iki farklı şekilde boyutlandırılabilir.

3.5 YAPILARDA DOGRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ

Yapı elemanlarının analizi ve boyutlandırılmasında, lineer elastik analizin yetersiz kalmasından dolayı, doğrusal olmayan analizin getirdiği olanaklardan faydalanmak için yeni yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Çünkü lineer elastik analiz, yapının gerçek davranışını göstermemekte ve bu nedenle de yapının elastik sınır dayanımının üstündeki dayanımdan faydalanılamamaktadır. Yapının elastik sınır dayanımının üstündeki dayanımdan faydalanabilmek için yapıların doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, modern standartlar, tam veya yaklaşık çözümleme tekniklerini ya da ikinci mertebe veya doğrusal olmayan etkileri göz önüne alarak yapı mühendisleri için önerilerde bulunmaktadır. Yapıların tasarımında beklenmeyen yükler altında yapının davranışı belirleyebilmek için, yapının doğrusal olmayan çözümünün gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Doğrusal olmayan çözümleme iki sınıfa ayrılmaktadır. Birincisi, gerilme şekil değiştirme grafiğinin bir eğri olduğu malzeme yönünden doğrusal olmayan durumdur.

Malzeme bakımından doğrusal olmama durumunu içeren problemlerin çözümünde esas problem, önceden şekil değiştirme özellikleri bilinmeyen malzeme kullanılarak yapının denge denklemlerinin yazılmasıdır. İkinci tür doğrusal olmama durumu ise, geometri bakımından doğrusal olmama durumudur. Bunun anlamı, uygulanan yükler altında yapı rijitliğindeki değişime bağlı sonlu deformasyonlardan meydana gelen ikinci merteye etkilerinin göz önüne alınması durumudur. Geometri bakımından doğrusal olmama durumunda yük-yer değiştirme grafiği bir eğridir. Pek çok inşaat mühendisliği yapısı servis yükleri altında lineer elastik davranış sergilerken, asma sistemler, kemerler, yüksek binalar çoğu zaman lineer elastik davranış sergilemezler. Bunlar çoğu zaman doğrusal olmayan davranış sergilerler ve bu nedenle dayanım limitlerinin incelenmesi gerekir.

Doğrusal Olmama Durumlarının Nedenleri:

Doğrusal elastik çözümlemede malzemenin akmadığı ve özelliklerinin değişmediği kabul edilir ve denge denklemleri deforme olmamış yapının geometrisine dayanılarak formüle edilir. Kısmen şekil değiştiren yapı durumlarında da başlangıç referans eksenine dikkate alınır. Daha sonraki deformasyonlar küçük kabul edilir, sistem davranış modu ve denge durumuna olan etkisi önemsenmez. Geometri bakımından doğrusal olmama durumunda denge denklemlerinin formülasyonunda sonlu yer değiştirmeler ve deformasyonların etkisi dikkate alınır fakat malzeme elastik kalır. Eğer sadece malzeme bakımından doğrusal olmama durumunu göz önüne alacak olursak, eleman malzeme özelliklerindeki değişimin etkilerini de göz önüne almak gerekir. Ayrıca hem malzeme hem de geometrik doğrusal olmama durumunun bir arada dikkate alınması da söz konusu olur. Aşağıda doğrusal olmama durumlarına sebep olan etkiler verilmiştir.

Geometrik Etkiler:

- Üretim hatalarından dolayı düzlemi dışında davranış sergilemesi yani başlangıçta kusurlu olması
- P- etkisi; yapının yatay yer değiştirmelerden dolayı elemanın eksenindeki bozulma nedeniyle düşey etkilerin sebep olduğu etkiler.
- P- etkisi; eksenel kuvvetin etkisinden dolayı elemanın etkisindeki bozulma nedeniyle dış etkilerin sebep olduğu etkiler.

Malzeme Etkileri:

- Çelik yapıların plastik deformasyonları
- Betonarme yapıların sünme ve çatlama
- Eksenel kuvvet, eğilme, kesme ve burulma arasındaki elastik olmayan etkileşim

Birleştirilmiş Etkiler:

- Plastik deformasyon, P- ve/veya P- etkileri
- Birleşimlerdeki deformasyonlar
- Panelzon deformasyonları
- Yapının dayanımı ve rijitliğini olumsuz yönde etkileyen sebepler

Geometri Bakımından Doğrusal Olmama Durumu:

Sistemlerde geometri bakımından doğrusal olmama durumu esas olarak büyük şekil değişikliği ve büyük gerilmelerde ortaya çıkar. Basit bir örnek ile ifade etmek gerekirse, eksenel yüklü bir çubuk da dışmerkezlik meydana gelmesi, geometri bakımından doğrusal olmama durumunun varlığını gösterir. Pratikte karşılaştığımız birçok çelik yapıda geometri bakımından doğrusal olmama durumu ortaya çıkar.

Doğrusal olmayan davranış ile lineer davranış arasındaki büyük farklar şunlardır.

- Şekil değiştirme – yer değiştirme ilişkisi lineer değildir.
- Gerilme - şekil değiştirme ilişkisi lineer değildir.
- Doğrusal olmayan analizde yer değiştirmelerin dağılımının veya büyüklüğünün değişmesine yükler sebep olur.
- Doğrusal olmayan analizde çözüme ulaşmak için iterasyon tekniğinin uygulanması gerekmektedir. Lineer analizde olduğu gibi direk olarak çözüme ulaşamaz.
- Doğrusal olmayan yapı davranışı genellikle doğrusal olmayan malzeme özelliklerinden ve/veya büyük yer değiştirmelerden ortaya çıkar.

Nonlinear Yük-Sehim Eğrisi İçin Çözüm Prosedürleri:

Taşıyıcı sistemin veya elemanın burkulması $P - \delta$ ve $P - \Delta$ etkileri, düğüm noktalarının hareketi ve mesnet çökmeleri, yapılarda stabilite bozukluklarına sebep olduğu daha önce belirtilmişti. Yapıda nonlinear davranış ise geometrideki değişimleri veya mesnet çökmesinin, yüklerin yönünde değişiklik meydana getirmesine sebep olmaktadır. Yük-deplasman yolunun bir eğri olması, ve bu eğri üzerinde snap-back noktaları ve limit noktalar gibi kritik noktaların oluşması halinde yapının davranışı, geometri yönünden nonlinear davranış olarak tanımlanır. Nonlinear problemlerin çözümünde kullanılan yöntemler artımsal, iteratif ve iteratif/artımsal yöntemlerdir.

Lineer Artımsal Yöntemler:

Nonlinear yük – sehim eğrisi lineer prosedür adımlarıyla teşkil edilir. Yük, küçük artımlar olarak uygulanır ve bu artımların her biri için deformasyondaki değişimler lineer analiz kullanılarak belirlenir. Daha sonra, artımda, her yükün sebep olduğu deplasman değişimleri hesaplanır. Lineer artımsal metod, deplasmanların elde edilmesinde yük adımlarının başlangıcında mevcut deformasyonları ve iç kuvvetlere dayalı TANGENT RİJİTLİK matrisini kullanır. Verilen yük adımlarında, rijitlik matrisinin terimleri sabit kaldığı için, bunun bir defa hesabı yeterlidir.

Nonlinear Artımsal Yöntemler:

Hem yük adımı boyunca oluşan deplasmanlar ve iç kuvvetlerin fonksiyonu hem de yük adımları başındaki mevcut deplasmanların fonksiyonu olan, artımsal rijitlik matrisi kullanılır. Her bir yük artımı içindeki iterasyonlar boyunca, rijitlik matrisi yeniden belirlenir. Bu iterasyonlar artımsal yük ihmal edilecek düzeye gelinceye kadar devam eder ve sonraki yük artımı için tekrar başa dönülür. Böylece artımsal deformasyonları en iyi yaklaşımla hesaplamamız mümkün olmaktadır.

Direkt Yöntemler:

Yük sehim eğrisi boyunca, herhangi bir yüke karşı gelen deformasyon, tek adımda tam yük uygulanarak elde edilir. Bu metot toplam yükler ve toplam deformasyonlar esasına dayanırken, artımsal metotlar, artımsal yükler, artımsal deformasyonlar esasına dayanır. Direkt metot, yükün tek değerine karşı gelen deformasyonu bulmak için uygun bir yöntemdir. Kullanılan matris [K] SEKANT RİJİTLİK matrisi olarak anılır. Bu matris mevcut deformasyonlar ve iç kuvvetlere bağlıdır. Toplam yük etkidiği zaman, hesabın başında bu yükler bilinmediği için [K] matrisindeki terimler iterasyonla belirlenmektedir.

Katlı Kritik Noktalara Sahip Problemler İçin Nonlineer Çözüm Yöntemleri:

Yapıların başlangıç ve ileri kritik burkulma davranışını incelemek için yapının nonlineer yük sehim eğrisinin eldesindeki yaklaşımlar önem kazanmaktadır. Yapıların nonlineer analizinde oldukça geniş bir uygulama alanına sahip Newton-Raphson ve Modified Newton-Raphson yöntemleri gibi değişik Newton-Raphson yaklaşımları tek başlarına, yapıların nonlineer davranışında burkulma yükünün hesabında limit nokta civarındaki noktalarda çözümün sağlanmasında başarısız kalmaktadır. Bu durum iki yönden dezavantajdır. Birincisinde, göçme yükü gerçek yük taşıma kapasitesinden küçük belirlenmiştir. İkincisinde ise, yapının ileri burkulma davranışı tanımlanamamaktadır. İşte bu sorunları ortadan kaldırmak için son yıllar içinde geliştirilen bazı yeni yöntemler şunlardır.

Arc-Lenght yöntemi(küresel ve silindirik)

Deplasman Kontrol Yöntemi

3.6 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 yataç 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).
Prof.Dr. Zeki AY Çelik Yapılar/2024

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.

3.7 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 farklı 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, öz 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 yükleridir. 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 etkilediği 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, etkilediği yapının yüksekliğine, geometrisine, yapının etrafındaki diğer yapıların geometrisine, bölgenin coğrafyasına, rüzgârın hızına, havanın ağırlığına, rüzgârın etkiye 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 değişkenlik 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 Yükü(E):



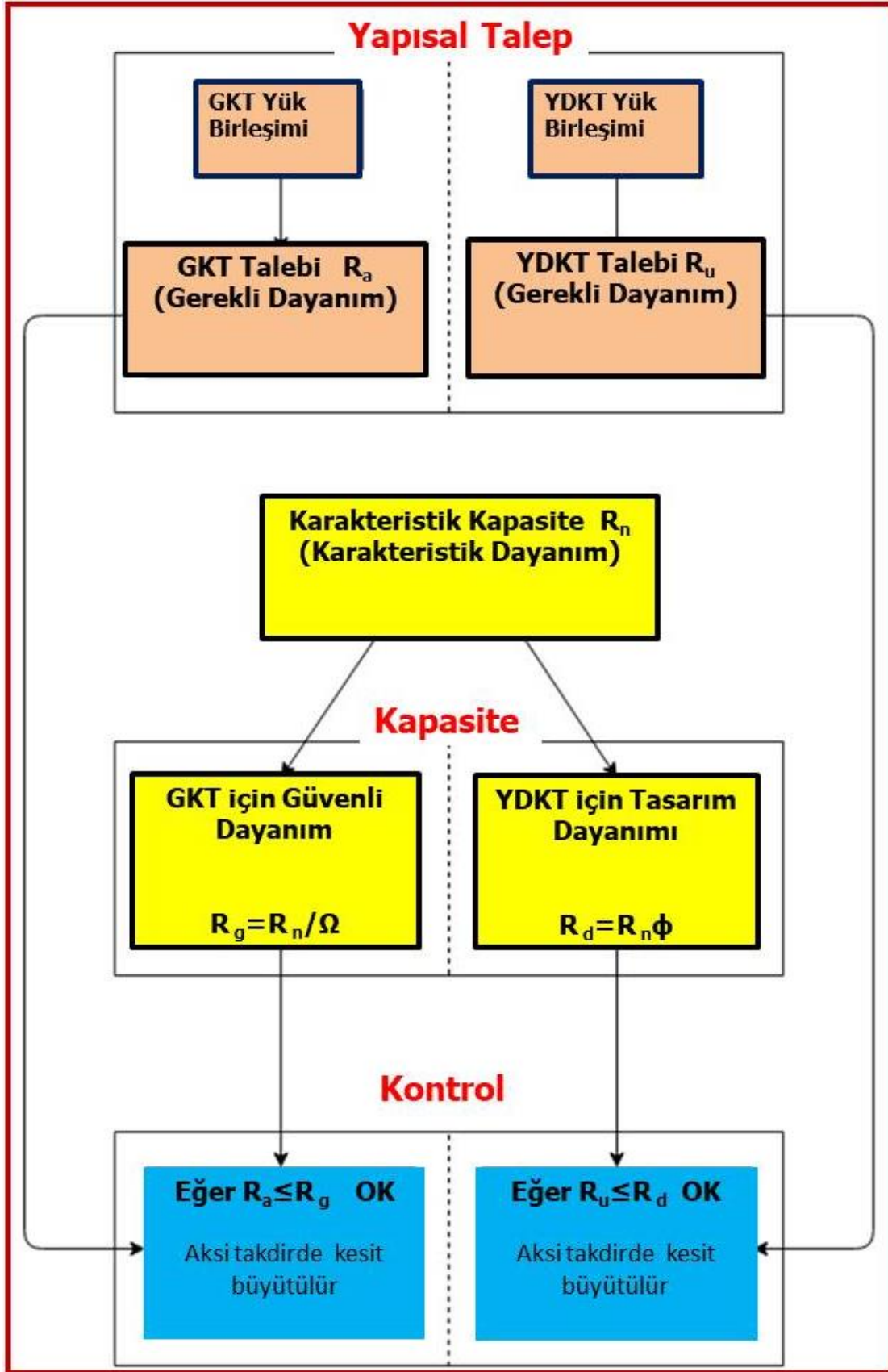
Çatı Hareketli Yüğü (L): tasarım ömrü boyunca ekiciler, insanlar veya bakım sırasında işçiler, donanım ve malzemelerden kaynaklanan çatıda canlı yüklerdir.

Montaj Yüğüleri: 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 yüklerle 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 mühendislere 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 m² alanının 0.8-1 katının cm² olarak karşılığıdır. Örnek; çatı 50 m² ise oluk kesiti: 0.8*50=40 cm² veya 1*50=50 cm² alınır.

Diğer Yüğüler: Buz Yüğü, Zemin Yüğüleri, Isı Yüğüleri, Mesnet Çökmeleri, Trafik Yüğüleri, Katar Yüğüleri, Kren Yüğüleri, Fren yüğüleri, Demeraj yüğüleri, Lase Yüğüleri, Mesnet Sürtünme Kuvvetleri, Donanım Kütle kuvvetleri, Dalga Yüğüleri, Çarpma Yüğüleri, İskele yüğüleri,

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



Şekil 3.3 ÇYTY-2016 Tasarım Yaklaşımları