

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**ÇELİK KOLON TABAN PLAKA TASARIMINDA FARKLI
YÖNETMELİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Ahmad Farzan FAZIL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**ÇELİK KOLON TABAN PLAKA TASARIMINDA FARKLI
YÖNETMELİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Ahmad Farzan FAZIL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2025

ANTALY

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK KOLON TABAN PLAKA TASARIMINDA FARKLI
YÖNETMELİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ahmad Farzan FAZIL
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 03/07/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK (Danışman)	[imza]
Prof. Dr. Ferhat ERDAL	[imza]
Doç. Dr. Barış ERDİL	[imza]

ÖZET

ÇELİK KOLON TABAN PLAKA TASARIMINDA FARKLI YÖNETMELİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ahmad Farzan FAZIL

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Temmuz 2025; 73 sayfa

Kolon taban plakaları, yapılarda yatay ve düşey yüklerin yapıdan temele güvenli bir şekilde aktarılmasının yanı sıra, kolon ile temel arasındaki temas alanının artırılmasına yardımcı olan, kolondan temele uygulanan gerilmeyi azaltan ve temele eşit olarak dağıtan ve sonuçta yapının stabilitesini sağlayan önemli bağlantı elemanıdır. Aslında, uygulanan gerilme, temelin taşıyabileceği gerilme değerine kadar azaltılmalıdır, bu nedenle kolon taban plakasının alanı, kolon kuvvetinden kaynaklanan basınç gerilmesini yeterli güvenilirlikle temele aktaracak kadar büyük olmalıdır. Taban plakası, çekme kuvvetlerini doğrudan taşımaz söz konusu bu kuvvet ankraj çubukları tarafından taşınır. Ancak, bu kuvvetlerin güvenli aktarımı için plakanın yeterli rijitliğe ve şekil bütünlüğüne sahip olması gerekir.

Farklı coğrafi, iklimsel ve operasyonel koşullar, farklı standartların ortaya çıkmasına neden olmuş, bunun sonucunda her standarda kolon taban plakasının tasarımı için kendi kuralları ve düzenlemeleri oluşmuştur. Bu standartların değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasına dayalı olarak, yapısal tasarım, güvenliğin sağlanmasında, yapıların ekonomik optimizasyonunda ve uluslararası koordinasyon ve uyumlulukta önemli bir rol oynamaktadır.

Bu tezde, 1000x1000x406 mm boyutlarındaki temele aynı tip statik yüklerin etkidiği durumlarda kolon taban plakalarının tasarımı için Amerikan (AISC), Avrupa (Eurocode) ve Türkiye (Türk Standartları) olmak üzere üç standart incelenmiştir. Yukarıdaki üç standardın değerlendirilmesinde doğru sonuçlar elde edebilmek için, kolona uygulanan yüklerin türü ve miktarı, kolon profilinin türü, temelin beton basınç dayanımı, kolon ile kolon taban plakası arasındaki bağlantı türü (rijit), uygulama ve yapım koşulları dahil olmak üzere tüm parametrelerin tamamen aynı uygun olduğu kabul edilmiştir. Yukarıdaki koşullar dikkate alındığında, AISC standardına göre kolon tabanı için gerekli minimum plaka kalınlığının 50 mm olduğu, aynı koşullar için Eurocode ve Türk Standartlarına göre ise minimum plaka kalınlığının 32 mm olduğunu sonucuna varılmıştır. Değerlendirme sonuçları, AISC standardına göre minimum ankraj çubuğu

apının 16 mm olduğunu gösterirken, söz konusu değerlerin Türk Standardı ve Eurocode'e göre sırasıyla 22 mm ve 24 mm olduğunu göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: Ankraj ubuğu, elik kolon taban plakası, elik kolon tasarımı, Temel tasarımı

JÜRİ: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Ferhat ERDAL

Doç. Dr. Barış ERDİL



ABSTRACT
COMPARISON OF DIFFERENT CODES IN THE DESIGN OF STEEL
COLUMN BASE PLATES

Ahmad Farzan FAZIL

MSc Thesis in Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

July 2025; 73 pages

Column base plates are important connections in structures that help to safely transfer horizontal and vertical loads from the structure to the foundation, as well as to increase the contact area between the column and the foundation, reducing and evenly distributing the stress applied from the column to the foundation and ultimately ensuring the stability of the structure. In fact, the applied stress must be reduced enough that the foundation can withstand the reduced stresses, so the area of the column base plate must be large enough to transfer the compressive stress due to the column force to the foundation with sufficient reliability. The base plate does not directly resist tensile forces, this function is carried out by the anchor rods. However, in order to ensure the safe transfer of these forces, the plate must possess adequate rigidity and structural integrity.

Different geographical, climatic and operational conditions have led to the emergence of different standards, resulting in each standard having its own rules and regulations for the design of structures, especially the column base plate. Based on the evaluation and comparison of these standards, structural design plays an important role in ensuring safety, economic optimization of structures and international coordination and harmonization.

In this thesis, three standards, namely American (AISC), European (Eurocode) and Turkish (Turkish Standards) are analyzed for the design of column bases when the same type of static loads are acting on a 1000x1000x406 mm foundation. In order to obtain accurate results in the evaluation of the above three standards, it was assumed that all parameters, including the type and amount of loads applied to the column, the type of column profile, the concrete compressive strength of the foundation, the type of connection (rigid) between the column and the column base plate, and the application and construction conditions, are exactly the same or in accordance with the alternative standard. Considering the above conditions, the results obtained show that the minimum thickness required for the column base according to the AISC standard is 50 mm, while the minimum thickness according to Eurocode and Turkish Standards for the same conditions is 32 mm. The evaluation results show that the minimum anchor rod diameter

according to the AISC standard is 16 mm, while according to the Turkish Standards and Eurocode it is 22 mm and 24 mm, respectively.

KEYWORDS: Anchor rod, Base design, Steel column base plate, Steel column design

COMMITTEE: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Ferhat ERDAL

Assoc. Prof. Dr. Barış ERDİL



ÖNSÖZ

Kolon taban plakaları, çelik kolonlar ve beton temelleri arasındaki kritik arayüzü oluşturur, düşey yükleri taşır, moment ve kayma kuvvetlerine karşı koyar ve bir yapının genel stabilitesini sağlar. Bu tez çalışmasında, farklı kod hükümleri altında belirtilen detaylara sahip bir kolon taban plakası tasarlanmış ve sonuçlar dikkate değer bulunmuştur.

Yüksek lisans eğitiminin başlangıcından bitimine kadar süreçte benden yardımlarını esirgemeyen, bana her türlü desteği sağlayan, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK'e teşekkür ederim.

Her zaman bana maddi ve manevi olarak destek eden kıymetli anne ve babama tüm kalbimle teşekkür ederim



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
SEKİLLER DİZİNİ.....	xix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kolon Taban Plakasının Bileşenleri	2
1.2. Hedefler.....	2
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Tarihsel Gelişim	4
2.2. Standartlara Göre Tasarım Hükümleri	4
2.2.1. AISC Tasarım Hükümleri.....	4
2.2.3. Türk Standartlarının Tasarım Hükümleri	5
2.3. Kolon Taban Plakalarının Sınıflandırılması.....	5
2.3.1. Rijit, Yarı Rijit ve Esnek Kolon Taban Plakası Bağlantısı	6
2.3.2. Sabit, Kısmi Sabit ve Mafsallı Kolon Taban Plakası Bağlantısı	6
2.4. Geometrik ve Malzeme Özellikleri Üzerine Parametrik Çalışmalar	8
2.4.1. Berkitme levhası Taban Plakasının Davranışına Etkisi.....	9
2.4.2. Çekme Yüğü Altında Taban Plakası.....	11
2.4.3. Kesme Yüğü.....	13
2.4.4. Taban Plakasında Etkili Kolon Kesiti	15
2.4.5. Büyük Eksantriklik Altında Taban Plakası Bağlantıları.....	16
2.5. Taban Plakalarının Hasar Modları.....	18
2.5.1. Ankraj Çubuğu Hasar Modları	18
2.6. Taban Plakasında Kaynağın Etkisi	20
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1. AISC ile Taban Plakası Tasarımı	22
3.1.1. Malzeme Özellikleri ve Varsayımlar.....	22

3.1.2. Basınç Yüğü ve Moment Tasarımı	23
3.1.3. Çekme Tasarımı.....	25
3.1.4. Kesme Tasarımı.....	27
3.1.5. Taban Plakası Kaynaklarının Tasarımı	27
3.1.6. Tahkikleri	28
3.1.7. Çekme ve Kesme Kuvveti Etkileşimi	36
3.2. Eurocode ile Taban Plakası Tasarımı	38
3.2.1. Malzeme Özellikleri ve Varsayımlar.....	38
3.2.2. Basınç Yüğü ve Moment Tasarımı	40
3.2.3. Çekme Tasarımı.....	43
3.2.4. Kesme Tasarımı.....	44
3.2.5. Taban Plakası kaynaklarının Tasarımı.....	45
3.2.6. Tahkikleri	46
3.2.7. Çekme ve Kesme Kuvveti Etkileşimi	51
3.3. Türk Standardı ile Taban Plakası Tasarımı.....	52
3.3.1. Malzeme Özellikleri ve Varsayımlar.....	52
3.3.2. Basınç Yüğü ve Moment Tasarımı	54
3.3.3. Çekme Tasarımı.....	56
3.3.4. Kesme Tasarımı.....	57
3.3.5. Taban Plakası Kaynaklarının Tasarımı	58
3.3.6. Tahkikleri	59
3.3.7. Çekme ve Kesme Kuvveti Etkileşimi	64
4. BULGULAR.....	65
5. TARTIŞMA	67
6. SONUÇLAR	70
7. KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çelik Kolon Taban Plaka Tasarımında Farklı Yönetmeliklerin Karşılaştırılması” adlı bu çalışmanın, akademik ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

03/07/2025

Ahmad Farzan FAZIL

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_1	: Taban plakası alanı
A_2	: Mesnet yüzey alanı (temel)
A_{brg}	: Saplama, ankraj çubuğu veya başlı deforme çubuğun başının net taşıma alanı
A_c	: Taban plakası ile temas eden beton alanı
A_{c1}	: Etkili destek yüzeyi
A_{co}	: Etkin taban plakası alanı
$A_{c,N}$	: Grup ankrajın gerçek etki çekme alanı
$A_{c,N}^o$	: Tekil ankrajın maksimum etki çekme alanı
$A_{c,V}$	: Grup ankrajın gerçek etki çekme alanı
$A_{c,V}^o$	: Tekil ankrajın maksimum etki çekme alanı
A_h	: başlı bir bağlantı elemanının başının yük taşıma alanı
A_{NC}	: ankraj grubunun öngörülen beton kırılma alanı
A_{Nco}	: tek bir ankrajın öngörülen beton kırılma alanı
$A_{se,V}$	: Ankrajın kaymadaki etkin kesit alanı
A_s	: Kolon profil alanı
A_s	: Ankrajın çekme gerilimi alanı
$A_{se,N}$	: Gerilimli ankrajın etkin kesit alanı
A_{VC}	: tek bir ankrajın öngörülen beton kırılma alanı
A_{Vco}	: bir grup ankraj için öngörülen beton kırılma alanı
A_{we}	: Kaynağın etkin alanı
B	: temel genişliği

B	: Taban plakası genişliği
b_{eff}	: T saplamanın etkin genişliği
b_f	: Kolon flanş genişliği
b_p	: taban plakasının genişliği
b_1	: Taban plakasının etkin genişliği
b_2	: Destek yüzeyinin etkin genişliği
C	: Kolon flanşının altındaki toplam basınç
c	: Varsayılan ek yatak genişliği
$C_{a,min}$	: bir ankrajın merkezinden beton kenarına kadar olan minimum mesafe
C_{a1}	: bir ankrajın merkezinden betonun kenarına tek yönde olan mesafe
C_{a2}	: c_{a1} 'e dik yönde bir ankrajın merkezinden beton kenarına olan mesafe
$C_{cr,N}$	: Çekme yükü altında beton kırılması durumunda (kesme yükü altında beton kenarının hasarı) tek bir bağlantı elemanının veya bir ankraj kanalının ankrajının karakteristik dayanımının aktarılmasını sağlamak için karakteristik kenar mesafesi
$C_{cr,sp}$	: tek bir bağlantı elemanının karakteristik dayanımını sağlamak için karakteristik kenar mesafesi
c_f	: Gerçek ek yatak genişliği
$C_{f,d}$	: Sürtünme katsayısı
d	: Toplam kolon derinliği
d	: genişlik kolon flanşı
d_a	: ankrajın dış çapı
d_b	: Ankraj çapı
d_h	: başlı bir bağlantı elemanının başının çapı
d_{nom}	: bir bağlantı elemanının dış çapı

d_1	: Taban plakasının etkin derinliği
d_2	: Destek yüzeyinin etkin derinliği
D_{head}	: Ankraj başlığının çapı
DL	: Sabit yük
e	: ankrajdan plakanın kenarına kadar olan mesafe
e	: Eksantriklik
e_{crit}	: Kritik eksantriklik
e_v	: makaslanmış bağlantı elemanlarının ağırlık merkezine göre makaslanmış bağlantı elemanlarının sonuç kesme kuvvetinin eksantrikliği
e'_N	: gerilim yüklü bir grup ankraj üzerindeki sonuç gerilim yükü ile gerilim yüklü ankraj grubunun merkez noktası arasındaki mesafe
f	: Kolon merkezi ile ankraj çubuğu arasındaki mesafe
$F_{b,Rd}$	: Taşıma kapasitesi
f_{cd}	: Beton basınç dayanımı tasarımı
f_{ck}	: Beton basınç dayanımı
F_{cRd}	: Tasarım basınç dayanımı
f'_c	: Belirtilen beton basınç dayanımı
F_{nw}	: Yükün yönüne bağlı olarak mukavemet artışı olmaksızın kaynak metalinin nominal gerilimi
$F_{f,Rd}$	: Tasarım sürtünme dayanımı
f_{jd}	: Tasarım taşıma mukavemeti
F_{Rdu}	: Konsantre dayanım kuvveti
F_{T1RD}	: Ankraj çubuğu gerilme dayanımı tasarımı
F_{ub}	: Taban plakasının nihai gerilme mukavemeti
f_{uk}	: nominal karakteristik çelik nihai çekme dayanımı

f_{uta}	: Ankraj çeliğinin belirtilen çekme dayanımı
$f_{p(max)}$	: Maksimum beton taşıma gerilmesi
f_{vw}	: Kaynağın tasarım kesme mukavemeti
f_y	: Belirtilen minimum akma gerilmesi
f_{yb}	: Taban plakası akma dayanımı
$F_{W,Rd}$	: Birim uzunluk başına tasarım kaynak dayanımı
$F_{2,vb,Rd}$	: Kesme kapasitesi
G	: Sabit yük
G_k	: Karakteristik sabit eylem
H	: temel uzunluğu
h	: Kolon derinliği
h	: Temel derinliği
h_a	: taban plakasının uzunluğuna paralel ankrajlar arasındaki mesafe
h_b	: taban plakasının genişliğine paralel ankrajlar arasındaki mesafe
h_{ef}	: Ankrajların etkin gömme derinliği
h_{min}	: beton elemanın izin verilen minimum kalınlığı
h_p	: taban plakasının uzunluğu
K_{cp}	: Pryout mukavemeti için katsayı
k_1	: karakteristik değer
K_2	: karakteristik değer
K_2	: ankraj çubuğu için faktör
K_6	: karakteristik değer
k_8	: şartnameden alınacak faktör

K_9	: karakteristik değer
LL	: hareketli yük
l_e	: kesme için ankrajın yük taşıma uzunluğu
l_{eff}	: T saplamanının etkin uzunluğu
l_f	: ankrajın gömülü derinliği
M	: Taban plakası üzerinde uygulanan moment
M_u	: Kolon eğilme momenti (LRFD)
m	: Kolon flanşından ankraj çubuğuna olan mesafe
m	: N yönünde kolon flanşı ile taban plakası kenarı arasındaki mesafe
M_{p1jRd}	: Plaka kesitinin plastik dayanım momentinin tasarımı
N	: Taban plakası uzunluğu
N_b	: Çatlak betondaki tek bir ankrajın çekmedeki temel beton kopma dayanımı
N_{cbg}	: bir grup ankrajın gerilimdeki nominal beton kopma dayanımı
$N_{c,Ed}$	: Kolondaki normal basınç kuvvetinin tasarım değeri
N_{Ed}	: Ankraj ubuğu başına gerçek gerilim
N_p	: Çatlamış betonda tek bir ankrajın çekme dayanımı
N_{pn}	: tek bir ankrajın gerilimdeki nominal çekme dayanımı
$N_{Rk,s}$	: bir bağlantı elemanının veya bir kanal ankraj çubuğunun çekme yükü altındaki elik dayanımının karakteristik değeri
$N_{Rd,s}$	: Çekme yükü altında bir bağlantı elemanının veya bir kanal ankraj çubuğunun elik dayanımının tasarım değeri
$N_{Rk,c}$	: Çekme yükü altında beton konik hasarı durumunda karakteristik dayanım
$N_{Rk,c}^0$	: Çekme yükü altında beton konik hasarı durumunda ilk karakteristik dayanım
$N_{Rd,c}$	: Çekme yükü altında beton konik hasarı durumunda tasarım dayanımı

$N_{Rk,p}$	: Çekme yükü altında pullout hasarı durumunda karakteristik dayanım
$N_{Rd,c}$	: Çekme yükü altında beton konik hasarı durumunda tasarım dayanımı
$N_{Rk,sp}$	: Çekme yükü altında betonun yarılması durumunda karakteristik dayanım
$N_{Rk,cb}$	: Çekme yükü altında beton püskürtme hasarı durumunda karakteristik dayanım
N_{ua}	: bir grup ankrajdaki ankraja veya tek bir ankraja uygulanan faktörlü çekme kuvveti
N_{sa}	: Tek bir ankrajın veya bir grup ankrajdaki tek bir ankrajın çelik mukavemeti tarafından yönetilen gerilimdeki nominal mukavemeti
n	: B yönünde kolon flanşı ile taban plakası kenarı arasındaki mesafe
n	: Ankrajın inç başına düşen diş sayısı
n	: Taban plakasındaki ankraj çubuklarının sayısı
P	: Taban plakasına uygulanan eksenel basınç yükü
P_u	: Kolon eksenel basınç yükü (LRFD)
Q	: Hareketli yük
Q_k	: Karakteristik değişken eylem
$q_{(max)}$	: Taban plakası altında maksimum yatak basıncı
R_n	: Nominal mukavemet
R_{nwl}	: Boylamasına yüklenmiş köşe kaynaklarının toplam nominal dayanımı
R_{nwt}	: Enine yüklü köşe kaynaklarının toplam nominal dayanımı
h_{ef}	: Ankrajların etkin gömme derinliği
S	: Ankrajların merkezinden merkezine
$S_{cr,N}$	: Çekme yükü altında beton konik hasarı (kesme yükü altında beton kenar hasarı) durumunda bir ankraj kanalının münferit bağlantı elemanlarının veya ankrajlarının karakteristik dayanımını sağlamak için ankraj kanallarının bağlantı elemanlarının veya ankrajlarının karakteristik aralığı
T	: Ankraj çubuğundaki toplam gerilim

T_u	: Taban plakasının gerilme kuvveti
$T_{u(rod)}$	: Ankraj çubuğu başına gerilim yükü
t	: Açılı bacak kalınlığı
t_f	: Kolon flanşının kalınlığı
t_p	: Taban plakası kalınlığı
t_w	: Kolon gövdesinin kalınlığı
V_b	: çatlak betonda tek bir ankrajın kesme işleminde temel beton kopma dayanımı
V_{cp}	: tek bir ankrajın nominal beton pryout dayanımı
V_{cbg}	: bir grup ankrajın kesme işlemindeki nominal beton kopma dayanımı
V_{Ed}	: Ankraj çubuğu başına gerçek kesme
$V_{Rd,cp}$	: Kesme yükü altında betonun yerinden çıkması durumunda tasarım dayanımı
V_n	: Nominal kesme kuvveti
$V_{Rd,c}$	: beton konik kopma dayanımı
$V_{RK,s}$	: kesme yükü altında bir bağlantı elemanının veya bir kanal ankraj çubuğunun çelik dayanımının karakteristik değeri
$V_{Rd,s}$	: Kesme yükü altında bir bağlantı elemanının veya bir kanal ankraj çubuğunun çelik dayanımının tasarım değeri
$V_{RK,cp}$	: Kesme yükü altında beton pryout hasarı durumunda karakteristik dayanım
$V_{RK,c}$	: kesme yükü altında beton kenar hasarı durumunda karakteristik dayanım
$V_{RK,c}^o$	: kesme yükü altında beton kenar hasarı durumunda ilk karakteristik dayanım
V_{sa}	: Çelik mukavemeti tarafından yönetilen tek bir ankrajın veya bir grup ankrajdaki tek bir ankrajın nominal kesme mukavemeti
V_u	: Kolon kesme yükü (LRFD)
V_{ua}	: tek bir ankraja veya ankraj grubuna uygulanan çarpanlara ayrılmış kesme kuvveti
x	: Kolon flanşından ankraj çubuğuna olan mesafe

Y	: Basınç alanının uzunluğu
z_c	: Basınç moment kolu
z_t	: Çekme moment kolu
α	: bitişik bağlantı elemanlarında dış bağlantı elemanları arasındaki boşluk
α_{cc}	: Uzun dönem etki katsayısı
β	: faktör
β_j	: Temel birleşim malzemesi katsayısı
β_w	: Korelasyon faktörü
γ_c	: Beton için kısmi güvenlik faktörü
γ_{Mo}	: Kısmi faktör
γ_{M2}	: Kısmi güvenlik faktörü
γ_{Ms}	: çelik hasarı için kısmi faktör
γ_{Mc}	: beton konik, beton kenar, beton patlaması ve beton pryout hasar modları için kısmi faktör
γ_{Mp}	: malzeme için kısmi faktör
λ_a	: Belirli beton ankraj uygulamalarında hafif betonun azaltılmış mekanik özelliklerini yansıtmak için modifikasyon faktörü
μ	: Sürtünme katsayısı
ϕ_c	: Mesnet için mukavemet azaltma faktörü
$\psi_{a,v}$	: beton kenar hasarı durumunda kenara eğimli bir kesme yükünün etkisini dikkate alan faktör
$\psi_{c,v}$	: betondaki çatlakların etkisine ve ek donatı bulunup bulunmamasına bağlı olarak ankrajların kesme dayanımını değiştirmek için kullanılan kopma çatlama faktörü
$\psi_{c,p}$	: betondaki çatlakların etkisine bağlı olarak ankrajların çekme dayanımını değiştirmek için kullanılan çekme çatlama faktörü

- $\psi_{cp,N}$: çatlamamış betonda ek takviye olmadan kullanılması amaçlanan sonradan monte edilmiş ankrajların çekme dayanımını, yarıлма çekme gerilmelerini hesaba katacak şekilde değiştirmek için kullanılan kopma yarıлма faktörü
- $\psi_{ec,N}$: Uygulanan yüklerin eksantrikliğine bağlı olarak ankrajların gerilme mukavemetini değiştirmek için kullanılan kopma eksantriklik faktörü
- $\psi_{ed,N}$: beton elemanın kenarlarına yakınlığa bağlı olarak ankrajların mukavemeti
- $\psi_{ed,V}$: Beton elemanın kenarlarına yakınlığa bağlı olarak ankrajların kesme dayanımını değiştirmek için kullanılan kopma kenarı etki faktörü
- $\psi_{ec,N}$: Beton konik hasarı durumunda bir grubun tek bağlantı elemanlarına farklı gerilim yükleri etki ettiğinde grup etkisini dikkate alan faktör
- $\psi_{ec,V}$: Beton kenar hasarı durumunda bir grubun tek tek bağlantı elemanlarına farklı kesme yükleri etki ettiğinde grup etkisini dikkate alan faktör
- $\psi_{h,V}$: beton kenar dayanımının eleman kalınlığı ile orantılı olarak artmadığı gerçeğini dikkate alan faktör
- $\psi_{h,v}$: beton içinde bulunan ankrajların kesme dayanımını değiştirmek için kullanılan kopma kalınlığı faktörü
- $\psi_{M,N}$: Eksenel kuvvetin olduğu veya olmadığı eğilme momentleri durumunda fiktür ve beton arasındaki basınç kuvvetinin etkisini dikkate alan faktör
- $\psi_{re,V}$: Beton kenar kırılması durumunda kenarda bulunan donatının etkisini dikkate alan faktör
- $\psi_{re,N}$: kabuk dökülme faktörü
- $\psi_{s,V}$: Beton kenar hasarı durumunda beton elemandaki diğer kenarların yakınlığı nedeniyle betondaki gerilme dağılımının değişimini dikkate alan faktör
- $\psi_{s,N}$: beton konik hasarı durumunda beton elemandaki bir kenara yakınlık nedeniyle betondaki gerilme dağılımının değişimini dikkate alan faktör

Kısaltmalar

ACI	: American Concrete Institute
AISC	: American Institute of Steel Construction
BKT	: Beton Kapasite Tasarımı
CJP	: Complete Joint Penetration
cm	: Santimetre
FEA	: Finite Element Analysis
GKT	: Güvenlik Katsayıları ile Tasarımı
in	: inch
KN	: Kilo Newton
LVDT	: Linear Variable Differential Transformer
mm	: milimetre
MÖ	: makine öğrenimi
Mpa	: Mega Pascal
OSHA	: Occupational Safety and Health Administration
PJP	: Partial Joint Penetration
SEA	: Sonlu Elemanlar Analizi
TS	: Türk Standardı
YDKT	: Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı

SEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kolon tabanı bağlantı bileşeni (Fisher ve Kloiber 2006)	2
Şekil 2.1. Basınç bölgesi için T-stub modeli (Standardization 2005b)	5
Şekil 2.2. Çalışılan modellerin Moment-dönme eğrileri; a) Model 1; b) Model 2; c) Model 3; d) Model 4; e) Model 5 (Shafieifar ve Khonsari 2012).....	6
Şekil 2.3. deneysel ve analitik sonuçlar arasında moment-dönme eğrisi karşılaştırmaları (He vd. 2023)	7
Şekil 2.4. a) Farklı taban plakası kalınlıkları için gerilme dağılımı; b) Farklı taban plakası kalınlıkları için moment-dönme eğrileri; c) Farklı ankraj ankraj çubuğu konfigürasyonları için moment-dönme eğrileri; d) Taban plakasının tek ankraj ankraj çubuğu sırası konfigürasyonunun iki ankraj ankraj çubuğu sırası ile karşılaştırılması (Razzaghi ve Khoshbakht 2015)	8
Şekil 2.5. Taban plakasındaki von mises gerilmeleri; a) Berkitme levhası olmadan; b) Berkitme levhası iler (Sözen ve Atılğan 2021)	9
Şekil 2.6. Eksenel basma yükünün aktarılmasında berkitme levhasının etkisi; a) Berkitme levhasız taban plakası; b) Berkitme levhalı taban plakası	9
Şekil 2.7. Farklı model berkitme levhası; a) Destek levhası; b) Köşebent levhası; c) Düşey berkitmeli U-profil levhası; d) Birleşik berkitme levhası (Al-Sharmootee vd. 2023)	10
Şekil 2.8. a) Berkitme olmadan (S-R); b) İki berkitme levhası ile (R-TC); c) Basıncılı bölgede berkitme levhası (S-C); d) Çekme bölgesinde berkitme levhası (R-T); e) Berkitme levhası düzenlemesinin moment-dönme davranışı üzerindeki etkisi; f) Farklı berkitme türleri için çekme kuvvetlerinin karşılaştırılması (Hugar ve Rajini Umapathi 2019)	11
Şekil 2.9. Berkitme levhası yüksekliği 50 mm'den 200 mm'ye kadar olan ve berkitme levhasız (SR) numuneler için moment-dönme eğrisi (Hugar ve Rajini Umapathi 2019)	11
Şekil 2.10. a) a) Test edilen numuneler için test düzeneğinin görsel yapılandırması; b) LVDT'ler ve gerinim ölçer düzenlemeleri; c) Taban bağlantılarındaki sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki karşılaştırmalar; d) Farklı taban plakası kalınlığı ve iki ankraj ankraj çubuğu ile eksenel basınç ve çekme için ankraj ankraj çubuğu çapının dönme rijitliği üzerindeki etkisi (Nawar vd. 2024)	12

Şekil 2.11. a) Modelin tipik yer değiştirme modeli; b) Modelin ankraj ankraj çubuğularının tipik gerilme dağılımı (de Macedo ve de Macedo 2017).....	13
Şekil 2.12. Üç kayma dayanım mekanizması; a) Yüzey sürtünmesi; b) Ankraj çubuğu taşıma kapasitesi; c) Kayma kaması taşıma kapasitesi (Gomez vd. 2011)	14
Şekil 2.13. a) Beton kanırtma hasarı $h_{ef}=50$ mm ; b) Ankraj çubuklarının deformasyonu; c) Gömme derinliğinin yük/yer değiştirme eğrisi üzerindeki etkisi; d) Gömme derinliğinin yük/dönme açısı üzerindeki etkisi (Bui vd. 2018).....	15
Şekil 2.14. a) Modellerin 100 KN yük seviyesinde maksimum von mises gerilme dağılımları; b) 100 KN yük seviyesinde taban plakaları üzerindeki von mises gerilme dağılımları (Hussein ve Yavuz 2019).....	16
Şekil 2.15. a) Küçük eksantriklik (basınçta tüm plaka); b) Büyük eksantriklik (basınçta taban plakasının azaltılmış yüzeyi); c) Kalınlık taban plakasının tasarım momenti dayanımı üzerindeki etkisi (Rosca vd. 2013).....	17
Şekil 2.16. a) Tasarlanmış taban plakası altındaki taşıma gerilmesi; b) Taban plakasının temelden ayrılması; c) Temel yüzey çatlaması (Ebadi vd. 2018)	18
Şekil 2.17. Kolon taban plakasının tipik hasar modları; a) Ankraj ankraj çubuğu akması; b) Taban plakası akması; c) Beton kırılması; d) Mafsallı Kolon; e) Harç kırılması (Asif Bin Kabir vd. 2021)	18
Şekil 2.18. Ankraj çubuğu tipleri; a) Sonradan uygulama ankrajlar; b) Yerinde bırakma ankrajlar (Committee 2008)	19
Şekil 2.19. Vidalı ankraj genel hasar modları; a) Kombine çekme/koni kopma; b) Çekme; c-e) Çelik kopması (Mohyeddin vd. 2019).....	19
Şekil 2.20. ABAQUS'ta çekme parametresi kullanılarak beton konik davranışı (Tsavdaridis vd. 2016).....	20
Şekil 2.21. Şunları gösteren çizimler; a) CJP kaynak detayı; b) PJP kaynak detayı (Myers vd. 2009).....	20
Şekil 3.1. AISC'a göre kolon profili ve Temel detayları	21
Şekil 3.2. Çelik Kopması (Committee 2008).....	29
Şekil 3.3. Beton kopması (Committee 2008).....	30
Şekil 3.4. A_{Nco} Hesaplama; a) Hasar konisi boyunca kesit; b) Plan (Committee 2008) .	30

Şekil 3.5. A_{Nc} Hesaplama; a) Tek ankraj; b-c) Ankraj grubu (Committee 2008).....	31
Şekil 3.6. Çekme etkisinde sıyrılma (Committee 2008).....	32
Şekil 3.7. Çekme etkisinde betonda yan yüzey kopma hasarı (Committee 2008).....	33
Şekil 3.8. Kesme etkisinde çelik kopması (Committee 2008).....	33
Şekil 3.9. Kesme Etkisinde Betonun Kopması (Committee 2008).....	34
Şekil 3.10. A_{Vco} Hesaplama; a) Yükseklik ve yan kesit; b) Plan (Committee 2008).....	34
Şekil 3.11. A_{Vc} Hesaplama (Committee 2008)	35
Şekil 3.12. Kesme etkisinde kaldırıcı etkisi (Committee 2008).....	36
Şekil 3.13. Çekme ve Kesme Kuvveti Etkileşimi (Committee 2008)	37
Şekil 3.14. AISC standardına göre tasarlanmış taban plakası	37
Şekil 3.15. Eurocode'e göre Kolon profili ve temel detayları	38
Şekil 3.16. a) Kısmi yüklü alanlar için tasarım modeli; b) Taban plakası altında eksenel kuvvet ve moment etkisiyle oluşan iç kuvvetler (Standardization 2004b)	41
Şekil 3.17. Taban plaka şematik detayları ve Basınç etkin alanı	43
Şekil 3.18. $A_{c,N}^0$ Hesaplama; a) Yan kesit; b) Plan (Standardization 2018).....	47
Şekil 3.19. $A_{c,N}$ Hesaplama (Standardization 2018).....	47
Şekil 3.20. Eurocode standardına göre tasarlanmış taban plakası	52
Şekil 3.21. Türk standardına göre tasarlanmış taban plakası.....	64
Şekil 4.1. Tasarım standardına göre taban plakası kalınlığının karşılaştırılması	65
Şekil 4.2. Ankraj çubuğu çapının tasarım standardına göre karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.1. AISC'de beton temeldeki gerilme dağılımı; a) Konsantrik; b) Küçük eksantriklik; c) Büyük eksantriklik (Lim vd. 2017).....	67
Şekil 5.2. T-stub modeli ve basınç etkin alanı (Rebouças vd. 2024)	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yükler ve moment tipi	21
Çizelge 3.2. Taban plakaya etki eden bileşik yükler ve momenti.....	22
Çizelge 3.3. Ankraj Çubuğu Mevcut Mukavemet (Fisher ve Kloiber 2006).....	26
Çizelge 3.4. Ankraj Çubuğu Beton Çekme Dayanımı (Fisher ve Kloiber 2006)	27
Çizelge 3.5. Minimum iç köşe kaynağı boyutu (Specification 2005).....	28
Çizelge 3.6. AISC'nin çekme hasarları	36
Çizelge 3.7. AISC'nin kesme hasarları	37
Çizelge 3.8. Taban plakaya etki eden bileşik yükler ve momenti.....	39
Çizelge 3.9. Minimum nihai çekme yükleri (Standardization 2013).....	44
Çizelge 3.10. Eurcode'nin çekme hasarları	51
Çizelge 3.11. Eurocode'nin kesme hasarları.....	51
Çizelge 3.12. Taban plakaya etki eden bileşik yükler ve momenti.....	52
Çizelge 3.13. Minimum nihai çekme yükleri (Standardization 2013).....	57
Çizelge 3.14. Türk Standardının çekme hasarları	64
Çizelge 3.15. Türk Standardının kesme hasarları	64

1. GİRİŞ

Kolon taban plakası, çelik bir kolonun alt ucuna yerleştirilen ve kolon ile taşıyıcı betonarme temel arasında yük aktarımını sağlayan yapısal bir çelik elemandır. Bu plaka, kolonun maruz kaldığı eksenel kuvvetler, eğilme momentleri ve kesme kuvvetlerini güvenli bir şekilde temele aktarmakla görevlidir. Aynı zamanda, bu yüklerin betonda yerel ezilmelere neden olmadan geniş bir alana yayılmasını sağlar. Taban plakaları ve ankraj çubukları genellikle tasarlanacak en son yapısal elemanlar olmasına rağmen, uygulama esnasında sahaya teslim edilecek ilk yapısal elemanlardır. Bu durum, yapısal, inşaa edilebilirlik ve montaj kaygıları da dahil olmak üzere tüm bileşenler için ayrıntılı ve hassas bir tasarımın önemini ortaya koymaktadır. Taban plakası ankraj çubuklarının doğru hizalanması ve konumlandırılması, yapının stabilitesi ve genel çerçeve düzeneğinin bütünlüğü için gereklidir.

Taban plakası sadece yükleri kolondan temele taşımakla kalmaz, aynı zamanda kolondaki gerilme seviyelerini önceden belirlenmiş kriterler ve temelin gerilme kapasitesi altında temel için kabul edilebilir seviyelere indirgemektedir. Yapısal sistem içerisinde, sabit ve hareketli yükler kirişler tarafından toplanır ve nihayetinde bu yükler kolonlara iletilir. Kolon daha sonra birleşik yükleri taban plakası aracılığıyla temele aktarır.

Farklı yönetmeliklere göre taban plakası tasarımı, farklı bölgelerdeki yükleme koşulları, malzeme özellikleri, jeolojik şartlar ve güvenlik gereksinimlerinin değişiklik göstermesi nedeniyle oldukça önemlidir. AISC, Eurocode ve Türk Standardı gibi tasarım standartları, bilimsel araştırmalar, yerel deneyim ve mühendislik gereklilikleri temel alınarak geliştirilmiş olup, taban plakası tasarımı için farklı kılavuzlar sunarlar. Bu farklılıklar; güvenlik katsayıları, taşıma gücü sınır durumu ve kullanılabilirlik sınır durumu, zemin taşıma kapasitesi ve deformasyon kontrol kriterlerini kapsamaktadır.

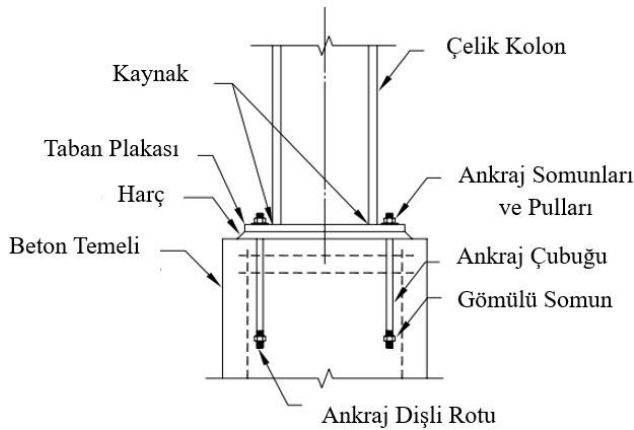
Taban plakaları, kabul görmüş kodlara uygun olarak tasarlandığında, güvenlik ve yükün temele ve zemine aktarılması açısından yapısal yeterlilik sağlamaktadır. Ayrıca, çeşitli kodlar ile yapılan tasarım karşılaştırmaları ve değerlendirmeleri, mühendislerin hem uluslararası hem de yerel projelerle ilgili karar vermelerine ve en ekonomik tasarım yaklaşımının seçilmesine olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, ulusal ve uluslararası standartların kullanılmasının önemi daha iyi yapısal performans, daha düşük inşaat maliyetleri ve nihayetinde yapının hizmet ömrünün veya kullanımının iyileştirilmesine yol açmaktadır.

Bu çalışmada çelik kolon taban plakası tasarımında kullanılan Türk Standartları, Eurocode ve AISC kodlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kapsamda, ele alınan tasarımların karşılaştırılabilirliği için kolon kesiti, malzeme özellikleri ve dış yükler bütün tasarımlarda aynı alınmıştır. Bu nedenle, sonuçlardan elde edilen farklılıklar sadece kodların varsayım ve katsayılarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

1.1. Kolon Taban Plakasının Bileşenleri

Bir kolon taban plakasının ana tipik bileşenleri aşağıdakileri içerir:

- a) **Çelik Kolon:** Yükleri taban plakasına aktaran dikey yapısal elemandır.
- b) **Taban Plakası:** Kolon yüklerini temele dağıtan, eğilme, kesme ve eksenel kuvvetlere dayanacak şekilde tasarlanmış çelik bir plakadır.
- c) **Ankraj Çubukları:** Taban plakasını sabitlemek, çekme ve yatay kuvvetlere karşı koymak için temele gömülü çelik çubuklar.
- d) **Ankraj Somunları ve Pulları:** Somunlar ve pullar, ankraj çubuklarını taban plakasına sabitlemek için kullanılır ve stabiliteyi sağlamaktadır.
- e) **Harç:** Boşlukları doldurmak, eşit yük dağılımı sağlamak ve teması artırmak için taban plakası ile beton temel arasına yerleştirilen çimento veya epoksi bazlı bir malzemedir.
- f) **Beton Temeli:** Kolonu destekleyen ve yükleri zemine aktaran temel sistemdir.
- g) **Kaynak:** Taban plakasını çelik kolona bağlamak için kullanılan birleşim malzemesidir.
- h) **Kayma Kaması:** Yatay kuvvetlere mekanik olarak karşı koymak için taban plakası veya temel üzerindeki bir çıkıntı veya özelliğidir.
- i) **Berkitme Levhaları:** Yük aktarımını artırmak ve eğilmeye karşı koymak için taban plakasına ve kolona kaynaklanmış dikey veya eğimli plakalardır.



Şekil 1.1. Kolon tabanı bağlantı bileşeni (Fisher ve Kloiber 2006)

1.2. Hedefler

Bu çalışmanın temel amacı, kolon taban plakalarının tasarımını AISC, Eurocode 3 ve Türkiye standartlarına göre analiz etmek ve aşağıdaki hedeflere ulaşmaktır.

- 1) **Yapısal güvenliğin sağlanması:** Taban plakalarının tasarımı, kolondan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşımalıdır. Sonuç olarak, her bir koddaki taban plakaları için hesaplama yöntemlerini karşılaştırarak, yapısal olarak daha güvenli bir taban plakası elde edilebilmektedir.

2) Ekonomik tasarımın tanıtımı: Taban plakası tasarımı sadece yapısal olarak güvenli değil aynı zamanda ekonomik olmalıdır. Bu tez, farklı kodlardaki hesaplama yöntemlerini karşılaştırarak daha ekonomik taban plakası tasarımlarını elde etmeyi amaçlamaktadır.

3) Tasarım kararlarının desteklenmesi: Bir taban plakasının tasarımı çok sayıda parametrenin dikkate alınmasını gerektirir. Bu tezin amacı, hesaplama yöntemlerini karşılaştırarak farklı uygulama yönetmeliklerine dayalı olarak daha doğru ve güvenilir hesaplamalar yapılmasını sağlamaktadır.

4) Eğitime katkıda bulunmak: Son olarak, bu çalışma araştırmacılara konuyla ilgili daha kapsamlı ve güncel bilgiler sağlayarak taban plakası hesaplamalarının eğitim sürecini de desteklemektedir.



2. KAYNAK TARAMASI

Kolon taban plakaları, yapısal sistemlerin stabilitesinde ve yük transferinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Kolon ve temel arasında arayüz görevi görürler ve yapısal bütünlüğü sağlarken yüklerin kolondan temele aktarımını sağlamaktadırlar.

2.1. Tarihsel Gelişim

Grauvilardell ve Lee (2005) çelik kolon taban plakası bağlantılarının tasarımına yönelik tarihsel süreci özetlemiştir. Başlangıçta, bu bağlantıların analitik kolaylık sağlamak amacıyla, minimum sayıda ankraj çubuğu ile mafsallı (pinned) davrandığı ve moment taşıma kapasitelerinin ihmal edildiği varsayılmıştır.

Ancak, Northridge (1994) ve Kobe (1995) depremlerinde gözlemlenen ankraj çubuğu kopmaları ve temel hasarları gibi yaygın hasarlar, bu varsayımların yetersizliğini ortaya koymuş ve mevcut tasarım yaklaşımlarının sismik yükler altında yeniden sorgulanmasını zorunlu kılmıştır.

Bu olayların ardından yapılan kapsamlı araştırmalar, iki temel gerçeği kanıtlamıştır; Birincisi, bağlantıların büyük çoğunluğu ne tam mafsallı ne de tam ankastre olup, yarı-rijit (semi-rigid) bir davranış sergilemektedir. İkincisi, bağlantının sismik performansı; levha kalınlığı, ankraj çubuklarının sünekliği, beton dayanımı ve yükleme türü gibi parametrelerin karmaşık etkileşimine bağlıdır.

2.2. Standartlara Göre Tasarım Hükümleri

2.2.1. AISC Tasarım Hükümleri

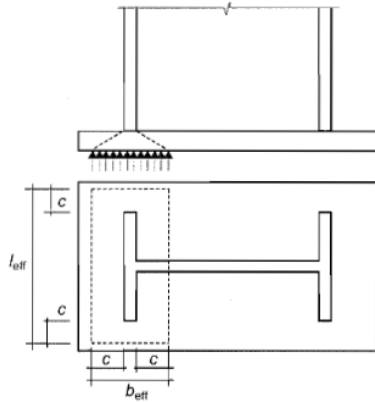
Fisher ve Kloiber (2006) çelik kolon taban plakası tasarımını, teorik hesaplamalar ile imalat ve montaj kolaylığı gibi pratik gereklilikleri birleştiren bütünsel bir çerçevede ele almaktadır. Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı (YDKT) veya Güvenlik Katsayıları ile Tasarımı (GKT) yöntemleriyle uyumlu olan bu metodoloji, farklı yükleme durumları için sınır durumları tanımlar. Bu yaklaşıma göre eksenel basınç yükleri betonun ezilme kapasitesi ve plakanın eğilme akması ile karşılanırken, çekme yükleri tamamen ankraj çubukları ve bunların beton içindeki ankraj dayanımı ile taşınır. Moment etkisindeki tasarımda ise, yüklerin oluşturduğu dış merkezliğe bağlı olarak "küçük momentler" sadece betonun basınç dayanımıyla, "büyük momentler" ise beton basıncı ile ankraj çubuklarında oluşan çekme kuvvetinin oluşturduğu bir kuvvet çiftiyle dengelenir. Kesme kuvveti aktarımı için de sürtünme, kesme kamaları veya ankraj çubukları gibi mekanizmalar kullanılır. Çalışmada ayrıca, OSHA'nın getirdiği minimum dört ankraj çubuğu gibi düzenlemeler de dikkate alınarak güvenli ve uygulanabilir tasarımlar için kapsamlı bir yol haritası çizilmektedir.

2.2.2. Eurocode Tasarım Hükümleri

Eurocode'a göre kolon taban plakası tasarımı, çelik ve beton yapı elemanları arasında güvenli yük aktarımını sağlamak amacıyla birden fazla standardın birlikte

kullanılmasını gerektirir. Bu kapsamda, EN 1993-1-8 standardı çelik birleşimlerin, özellikle de plaka kalınlığı, kaynak ve ankraj düzenlemelerinin belirlenmesini sağlamaktadır. T-stub modeli (Şekil 2.1.) gibi varsayımlar, moment ve çekme etkileri altında plakaların davranışını değerlendirmeye yardımcı olur.

Betonla ilgili dayanım kontrolleri için ise EN 1992-1-1 standardı kullanılır. Bu bölüm, taban plakasının altında oluşabilecek beton ezilmesi veya çekme gibi etkileri sınırlar. Ankraj çubuklarının detaylı tasarımı ise EN 1992-4 standardında açıklanır; bu standart çekme, kesme ve kırılma modları altında ankrajların nasıl boyutlandırılacağını açıklamaktadır.



Şekil 2.1. Basınç bölgesi için T-stub modeli (Standardization 2005b)

2.2.3. Türk Standartlarının Tasarım Hükümleri

Türk Standartları hem AISC hem de Eurocode'e benzer ilkeleri uygulamaktadır, ancak Türkiye'nin coğrafi konumu nedeniyle yerel deprem hususlarına daha fazla önem vermektedir. Bu standart, deprem ilgili potansiyel sorunları ele alan bağlantıların ve ankraj sistemlerinin detaylandırılmasına yönelik özel hükümler içermektedir.

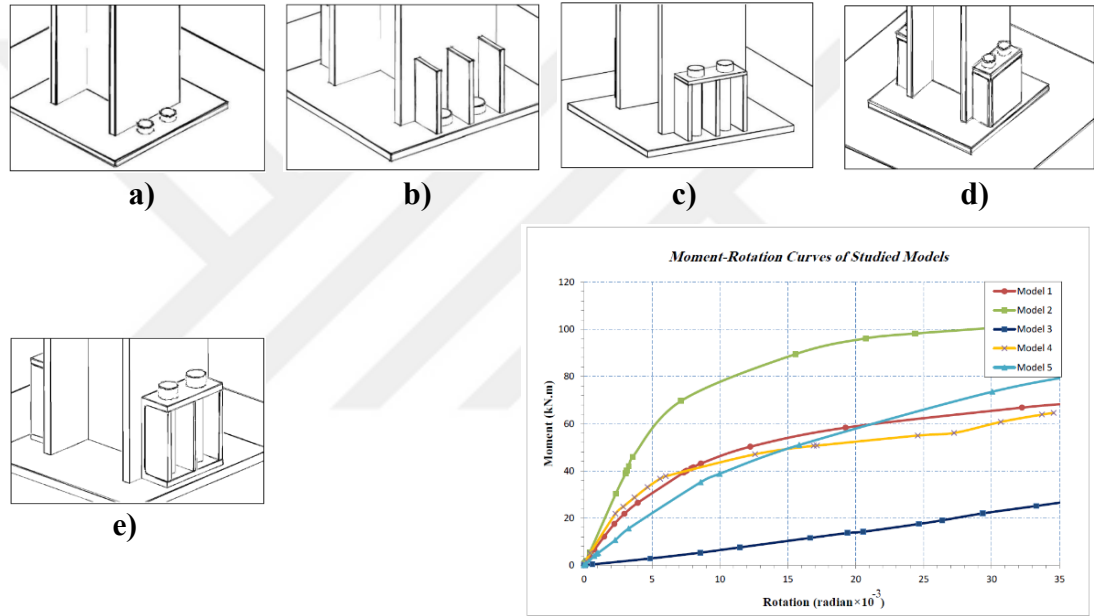
Koç vd. (2013) Türk Standartlarının, yerel malzeme özelliklerini ve inşaat uygulamalarını kılavuzlarına dahil ederek, tasarımların Türkiye'nin özgün koşullarında pratik ve uygulanabilir olmasını sağladığını belirtmektedir. Araştırmacılar, bu standartların aynı zamanda, tasarımın sahada şartnamelere uygunluğunu güvence altına almak için inşaat sırasındaki kalite kontrolünün önemini de vurguladığını ifade etmektedir.

2.3. Kolon Taban Plakalarının Sınıflandırılması

Kolon taban plakaları Açıkta (temel üzerine yerleştirilmiş) veya Gömülü (kısmen veya tamamen kaplanmış) olarak gruplandırılabilir. Açıkta kalan taban plakaları, plakanın davranışına göre (rijit, yarı rijit ve esnek) ve aynı zamanda sabit, kısmi sabit ve mafsallı olarak sınıflandırılan serbestlik derecesine göre sınıflandırılabilir.

2.3.1. Rijit, Yarı Rijit ve Esnek Kolon Taban Plakası Bağlantısı

Shafieifar ve Khonsari (2012) çalışmasında, rijit ve yarı rijit davranış gösteren beş farklı çelik taban plakası tasarımı Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) yöntemiyle incelenmiş ve deneysel verilerle doğrulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, berkitme levhalarının konfigürasyonunun plaka bükülmesi ve ankraj çubuğu deformasyonu gibi hasar modlarını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Nitekim en rijit modelin, yan berkitme levhaları içeren Model olduğu (Şekil 2.2.a; model 1); buna karşılık, Model 3'te rijitliği artırmak amacıyla berkitme levhalarının üzerine yerleştirilen üst plakanın, tasarımın zayıf bir halkası olduğu ve rijitliği düşürdüğü saptanmıştır (Şekil 2.2.c; model 3). Model 4 ve 5 gibi daha detaylı tasarımların ise betondaki gerilme dağılımını optimize ederek dayanım ve performans açısından daha elverişli sonuçlar ürettiği görülmüştür (Şekil 2.2.d; model 4 ve e; model 5).

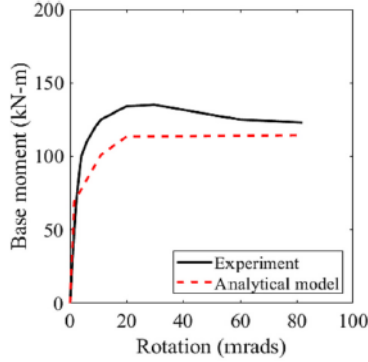


Şekil 2.2. Çalışılan modellerin Moment-dönme eğrileri; a) Model 1; b) Model 2; c) Model 3; d) Model 4; e) Model 5 (Shafieifar ve Khonsari 2012)

2.3.2. Sabit, Kısmi Sabit ve Mafsallı Kolon Taban Plakası Bağlantısı

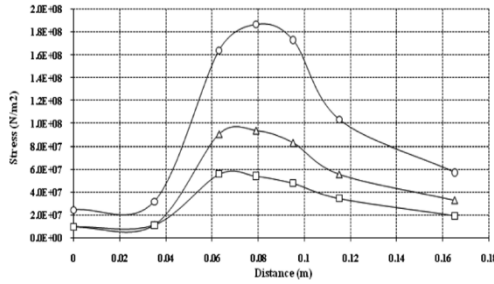
He vd. (2023) tarafından yapılan bir araştırma, geleneksel olarak "mafsallı" kabul edilen çelik kolon taban bağlantılarının, özellikle önemli eksenel kuvvet varlığında, tasarım kodlarının öngördüğünden çok daha yüksek bir dönme rijitliği sergilediğini göstermiştir (Şekil 2.3). Bu durum, bağlantının tabandaki momentlere karşı beklenenden daha fazla dayanım göstermesine ve bunun sonucunda istenmeyen akma veya eksenel kısalma gibi davranışlar sergilemesine neden olabilmektedir. Nitekim yapılan SEA, bu bağlantıların gerçek rijitlik değerlerinin, tasarım kodlarında tavsiye edilen değerlerden 4 ila 100 kat daha fazla olabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle geliştirilen analitik

modeller, taban bağlantılarının tamamen mafsallı bir davranış yerine, gerçek duruma daha yakın olan yarı rijit davranışını dikkate alarak daha doğru tahminler yapabilmektedir.

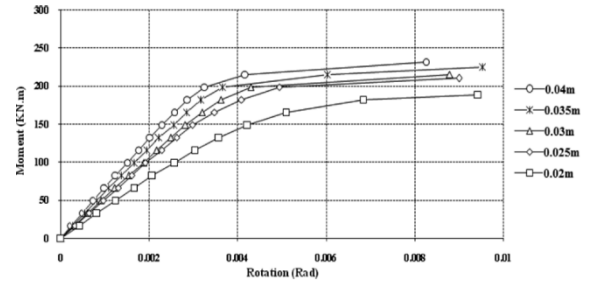


Şekil 2.3. deneysel ve analitik sonuçlar arasında moment-dönme eğrisi karşılaştırmaları (He vd. 2023)

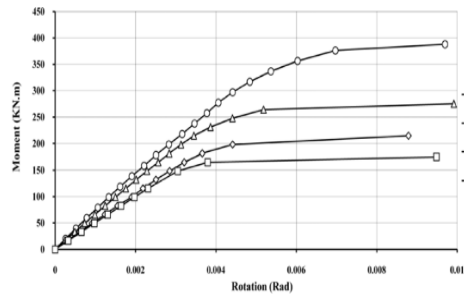
Razzaghi ve Khoshtakht (2015), gerçekleştirdikleri SEA çalışmasında, bir kolon taban plakasının dönme davranışını farklı parametreler altında incelemişlerdir. Çalışmanın önemli bulguları arasında, taban plakası kalınlığının ve ankraj bulonu boyutunun bağlantının genel performansı üzerindeki güçlü etkisi yer almaktadır (Şekil 2.4.a, b, c). Örneğin, tek sıralı ankraj uygulamasına kıyasla iki sıralı ankraj kullanımının toplam kapasiteyi düşürdüğü, ancak dönme rijitliğini artırdığı gözlemlenmiştir (Şekil 2.4.d). Araştırmacılar ayrıca, özellikle nominal plakalardan daha uzun veya daha kalın berkitme levhaları kullanmanın, rijitliği ve toplam kapasiteyi artırmak için etkili bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın sonuçları, kısmi sabitliğin ve yüksek dayanımlı ankrajların dikkate alınmasının daha gerçekçi ve verimli bir tasarıma olanak tanıdığını ortaya koymaktadır.



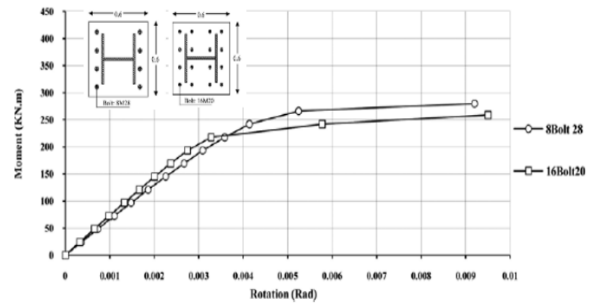
a)



b)



c)



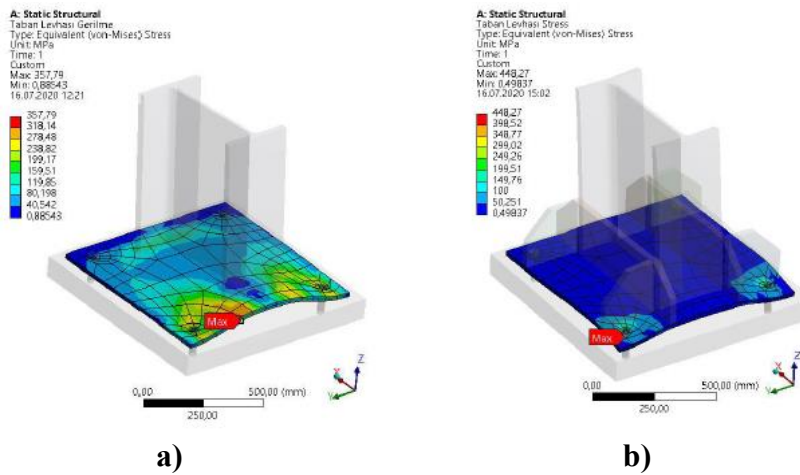
d)

Şekil 2.4. a) Farklı taban plakası kalınlıkları için gerilme dağılımı; **b)** Farklı taban plakası kalınlıkları için moment-dönme eğrileri; **c)** Farklı ankraj çubuğu konfigürasyonları için moment-dönme eğrileri; **d)** Taban plakasının tek ankraj çubuğu sırası konfigürasyonunun iki ankraj çubuğu sırası ile karşılaştırılması (Razzaghi ve Khoshbakht 2015)

2.4. Geometrik ve Malzeme Özellikleri Üzerine Parametrik Çalışmalar

Geometrik özellikler, malzeme parametreleri ve farklı yük durumları, kolon taban plakası bağlantılarını analiz ederken ve tasarlarken en önemli değişkenlerdir. Güvenli yapılar sağlamak için bu sistemlerin farklı yük koşulları altındaki davranışlarını anlamak çok önemlidir. Kolon taban plakası bağlantıları söz konusu olduğunda, genellikle kesme ve moment tasarımları birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, taban plakalarının servis sırasında birden fazla yük türüne maruz kalacağı açıktır. Bu nedenle, farklı yük türlerine maruz kalan taban plakalarının analizleri büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Aşağıdaki tartışmalar, bir kolon taban plakası bağlantılarının geometrik, malzeme parametreleri ve farklı yükleme koşullarını kapsamaktadır.

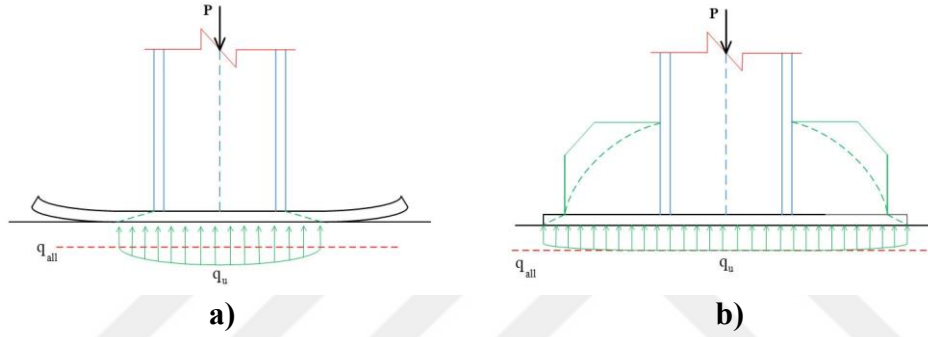
Sözen ve Atılgan (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı tasarım parametrelerine sahip çelik kolon taban plakası bağlantılarının davranışı, statik yükleme altında SEA kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda; kolon tipi (HEB, kutu ve dairesel), taban plakası kalınlığı (20 mm veya 30 mm), ankraj çubuğu sayısı (4 veya 6) ve berkitme levhası gibi parametrelerin kombinasyonlarından oluşan 16 farklı model test edilmiştir. Elde edilen veriler, taban plakası kalınlığının, ankraj çubuğu sayısının ve berkitme levhası kullanımının, bağlantının rijitliğini artırırken kolon ve taban plakası deformasyonunu azalttığını ortaya koymuştur (Şekil 2.5. a ve b). Bu kombinasyonların aynı zamanda ankraj cıvatası delikleri etrafındaki bölgesel gerilmeyi de artırdığı, dairesel kolon bağlantılarının ise en fazla yer değiştirmeyi sergilediği gözlemlenmiştir. Genel olarak çalışma, taban plakası kalınlığı, ankraj çubuğu sayısı ve berkitme levhası montajının, bağlantının mekanik davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve genel mafsallı sertliğinin baskın bir faktör olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.5. Taban plakasındaki von mises gerilmeleri; **a)** Berkitme levhası olmadan; **b)** Berkitme levhası iler (Sözen ve Atılğan 2021)

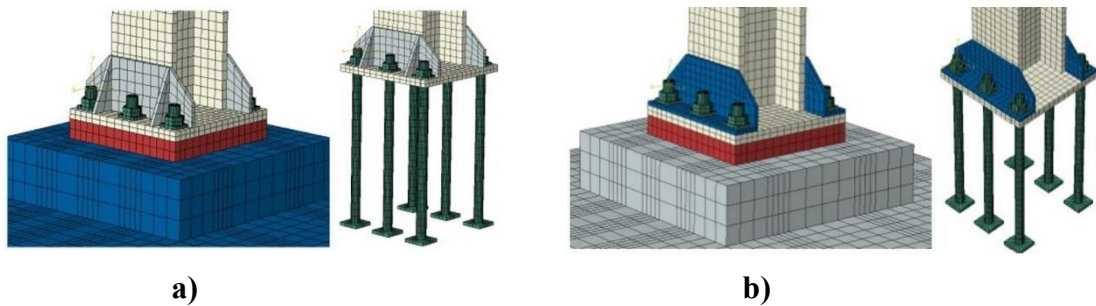
2.4.1. Berkitme levhası Taban Plakasının Davranışına Etkisi

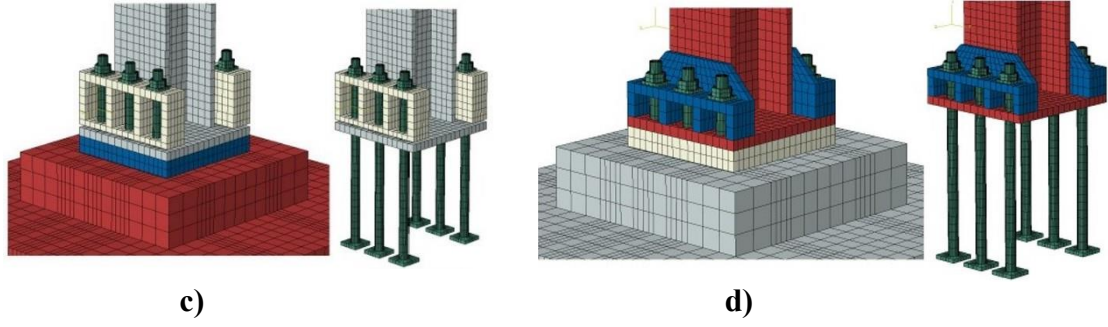
Çelik kolon taban plakası bağlantılarında, plakanın eksenel basınç altında rijit davranmasını sağlamak ve temel üzerinde neredeyse eşit bir taşıma gerilmesi dağılımı elde etmek için dikey berkitme levhalarının kullanılması gereklidir (Şekil 2.6 b). Sadece eksenel yük taşıyan bir kolon, ince ve berkitme levhasız bir taban plakasının üzerine oturduğunda, yük eşit olmayan bir şekilde yayılarak yerel taban plakasının deformasyonuna neden olmaktadır (Şekil 2.6 a). Sadece taban plakasının kalınlığının artırılması rijitliği artırabilir, ancak ekonomik değildir; taban plakasına dik berkitme levhaları eklemek, yükü plakaya ulaşmadan önce daha geniş bir alana dağıtarak etkili bir alternatif sunmaktadır.



Şekil 2.6. Eksenel basma yükünün aktarılmasında berkitme levhasının etkisi; **a)** Berkitme levhasız taban plakası; **b)** Berkitme levhali taban plakası

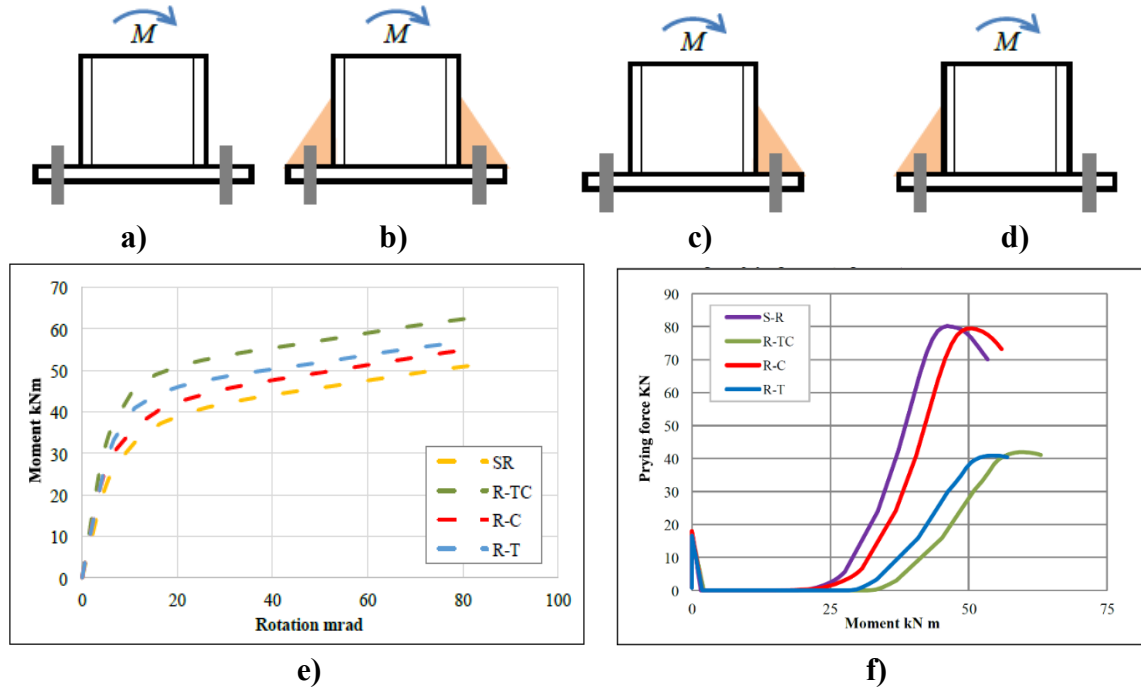
Al-Sharmootee vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, test edilen tüm berkitme levhası düzenlemelerinin oldukça etkili olduğu görülmüştür (Şekil 2.7). Bu düzenlemeler, sadece taban plakasının eğilme mukavemetini ve rijitliğini kolonun talebinin ötesinde artırmakla kalmamış, aynı zamanda birden fazla berkitme levhası kullanıldığında ankraj bulonlarını kritik elemanları haline getirerek kırılma mekanizmasını değiştirmiştir. Araştırmacılar, inceledikleri dört farklı tasarım arasında en yüksek moment kapasitesini ve dönme rijitliğini sağlayan modelin, birleşik berkitme levhalarının kullanıldığı tasarım olduğunu belirtmiştir (Şekil 2.7 d). Bu modelin, tekrarlı yükleme senaryolarında rijit taban varsayımını sağlamak için en etkili çözüm olduğu sonucuna varılmaktadır.





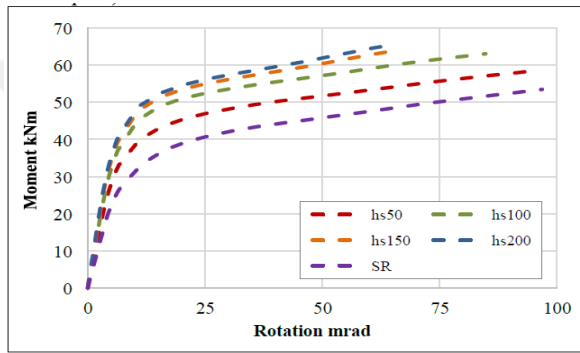
Şekil 2.7. Farklı model berkitme levhası; **a)** Destek levhası; **b)** Köşebent levhası; **c)** Düşey berkitmeli U-profil levhası; **d)** Birleşik berkitme levhası (Al-Sharmootee vd. 2023)

Hugar ve Rajini Umapathi (2019), berkitme levhalarının kolon ve taban plakası arasındaki konumunun, bağlantı davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, berkitmesiz bir plakaya kıyasla, berkitme levhalarının eklenmesinin hem başlangıç dönme rijitliğini hem de nihai eğilme dayanımını önemli ölçüde artırdığı sonucuna varılmıştır. Özellikle plakanın çekme bölgesine yerleştirilen bir berkitme levhasının dayanımı artırmada kritik rol oynadığı; beklendiği gibi, hem çekme hem de basma bölgelerine eklenen berkitme levhalarının ise hem rijitlikte hem de mukavemette en büyük artışı sağladığı gözlemlenmiştir (Şekil 2.8 b). Ankraj çubukları arasında taban plakasının eğilmesine bağlı olarak gelişen kuvvetler de incelenmiştir. Berkitme levhalarının dahil edilmesinin, özellikle hem çekme hem de basma bölgelerinde yer aldığı, taban plakaları altında gelişen çekme kuvvetlerinin olumsuz etkilerini etkili bir şekilde azaltmak için bir yöntem olduğu gösterilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. a) Berkitme olmadan (S-R); **b)** İki berkitme levhası ile (R-TC); **c)** Basınçlı bölgede berkitme levhası (S-C); **d)** Çekme bölgesinde berkitme levhası (R-T); **e)** Berkitme levhası düzenlemesinin moment-dönme davranışı üzerindeki etkisi; **f)** Farklı berkitme türleri için çekme kuvvetlerinin karşılaştırılması (Hugar ve Rajini Umapathi 2019)

Üçgen berkitme levhasının performans üzerindeki etkisinin araştırılmasıyla, aralarında pozitif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Berkitme levhasının yüksekliğinin artırılması, taban plakasının bağlantısının hem ilk rijitliği hem de eğilme dayanımı (moment kapasitesi) üzerinde büyük bir artışa neden olmaktadır (Şekil 2.9). Daha uzun berkitme levhaları daha az plastik deformasyona uğrar ve plakanın daha etkili bir şekilde güçlendirilmesini sağlamaktadır (Hugar ve Rajini Umapathi 2019).



Şekil 2.9. Berkitme levhası yüksekliği 50 mm'den 200 mm'ye kadar olan ve berkitme levhasız (SR) numuneler için moment-dönme eğrisi (Hugar ve Rajini Umapathi 2019)

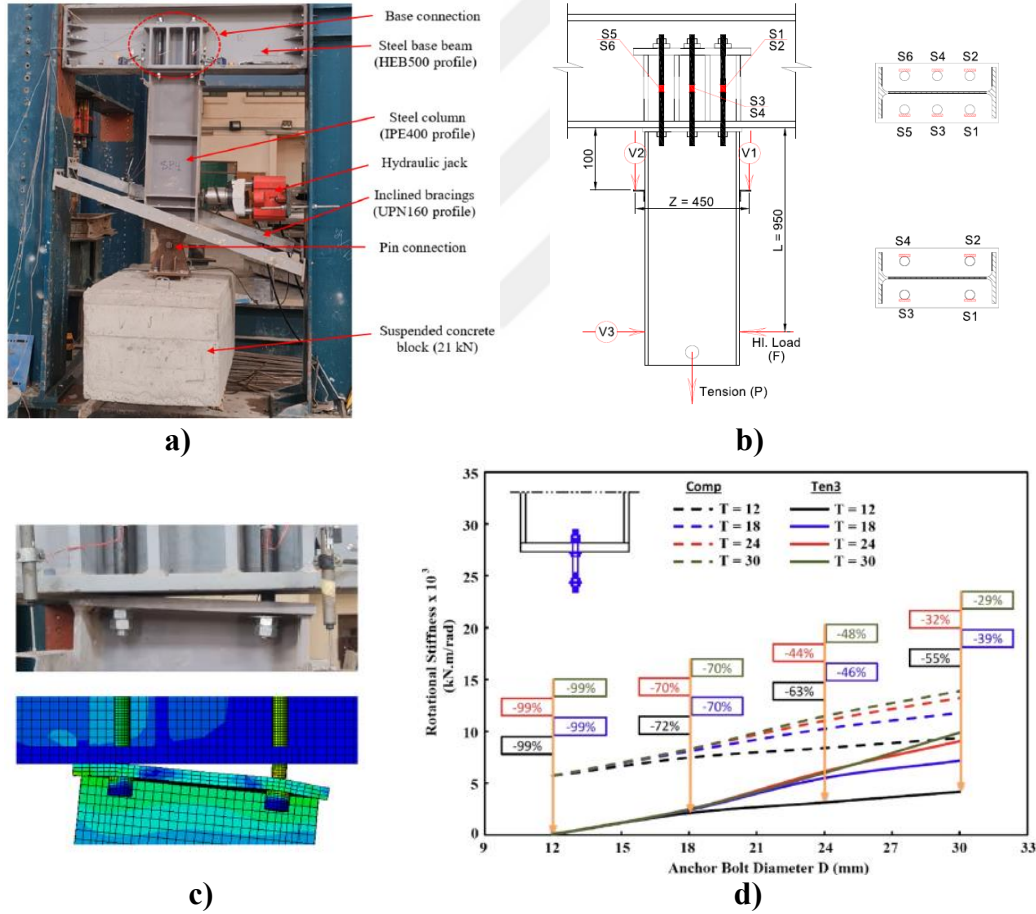
Kiani ve Izadinia (2015), kutu kesitli kolonlara sahip taban plakası bağlantılarının kesme yükü altındaki davranışını, kolon dış merkezliğinin ve berkitme levhalarının etkilerini de dikkate alarak parametrik bir SEA ile incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçları, dış merkezliğin, bağlantının nihai moment kapasitesinde sürekli bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Bu azalmanın büyüklüğü, dış merkezliğin yönüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

2.4.2. Çekme Yükü Altında Taban Plakası

Cui vd. (2015), bir taban plakasının çekme yükü altındaki davranışını incelerken, bu yükün tamamen ankraj çubukları tarafından karşılanması gerektiğini belirtmiştir. Bu nedenle, başarılı bir tasarım için ankraj çubuklarının betona yeterli gömülme derinliğine sahip olması kritik öneme sahiptir. Ayrıca, yüklerin eksantrik olması durumunda hem taban plakasında hem de ankraj çubuklarında kompleks gerilme dağılımları oluşabileceği için, bu elemanların akmasını veya kırılmasını önlemek amacıyla dikkatli bir analiz yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Nawar vd. (2024) IPE400 profil kolonlar, farklı taban plaka kalınlıkları (15 mm, 20 mm) ve ankraj bulunu düzenlemeleri (20 mm veya 25 mm çapında 4 veya 6 adet) içeren bağlantıların davranışını deneysel ve SEA yöntemleriyle incelemiştir. Çalışmada, eksenel

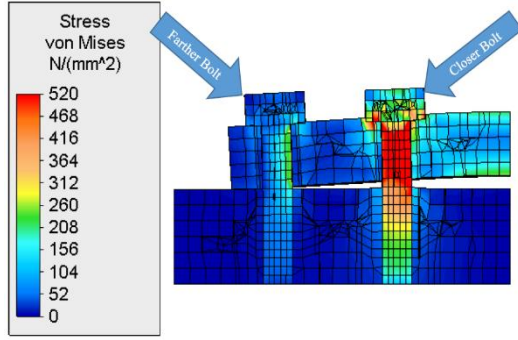
çekme yükü altında artan yatay yüklemeye maruz bırakılan bağlantıların moment-dönme davranışları analiz edilmiştir. Elde edilen temel bulgular, bağlantıların eksenel basınç yerine eksenel çekme yüküne maruz kalmasının, dönme rijitliğinde %99'a varan azalmalarla sonuçlandığını göstermiştir. Bu durumun temel nedeni, çekme kuvveti altındaki taban plakasının temel yüzeyinden ayrılarak bir boşluk oluşturması ve ankraj bulonlarının bu yükü taşımaya çalışmasıdır. İnce taban plakaları ve küçük çaplı ankraj bulonları bu etki altında daha kolay deforme olarak rijitliği daha da düşürmektedir. Araştırmada ayrıca, taban plakası kalınlığı ve ankraj bulonu çapı ile sayısının artırılmasının, çekme yükü altındaki bağlantıların moment dayanımını ve dönme rijitliğini iyileştirdiği; fakat bu iyileşmenin, basınç yükü altındaki bağlantılarda gözlemlenen kadar belirgin olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, çekme kuvvetine maruz kalan bağlantıların davranışının, standart tasarım varsayımlarından önemli ölçüde farklı olduğunu ve potansiyel bir yetersizliğe işaret ettiğini ortaya koymaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. a) Test edilen numuneler için test düzeneğinin görsel yapılandırması; b) LVDT'ler ve gerinim ölçer düzenlemeleri; c) Taban bağlantılarındaki sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki karşılaştırmalar; d) Farklı taban plakası kalınlığı ve iki ankraj çubuğu ile eksenel basınç ve çekme için ankraj çubuğu çapının dönme rijitliği üzerindeki etkisi (Nawar vd. 2024)

De Macedo ve de Macedo (2017) tarafından yapılan bir SEA çalışmasında, geniş flanşlı kolon taban plakası bağlantılarında ankraj bulonlarına etkiyen çekme kuvvetlerinin dağılımı incelenmiştir. Bu çalışmada, yükün bulonlara eşit dağıldığı varsayımının geçerli olmadığı; aksine, kolona en yakın ankraj bulonlarının, daha uzaktaki bulonlara kıyasla çekme yükünün önemli bir kısmını (%81,6'ya karşılık %18,4) taşıdığı ortaya konmuştur (Şekil 2.11).

Araştırmanın bir diğer önemli bulgusu ise, taban plakası kalınlığının artırılmasının (kalınlık oranının 1,4'ten 2,6'ya yükseltilmesi) yük paylaşımını iyileştirmesidir. Bu artış, uzaktaki bulonun taşıdığı yük oranını %11,8'den %40,6'ya yükseltmiştir. İnce plakalarda kaldıraç etkisinden kaynaklanan ilave kuvvetlerin ankraj bulonlarındaki toplam çekme kuvvetini artırdığı da belirtilmiştir. Yük paylaşımı üzerindeki en baskın faktörün, ankraj aralıklarından ziyade plaka rijitliği olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, basitleştirilmiş tasarım yöntemlerinin, iç sıralardaki kritik bulonlarda oluşan kuvvetleri eksik tahmin etme riski taşıdığını göstermektedir.



Şekil 2.11. Modelin ankraj çubuklarının tipik gerilme dağılımı (de Macedo ve de Macedo 2017)

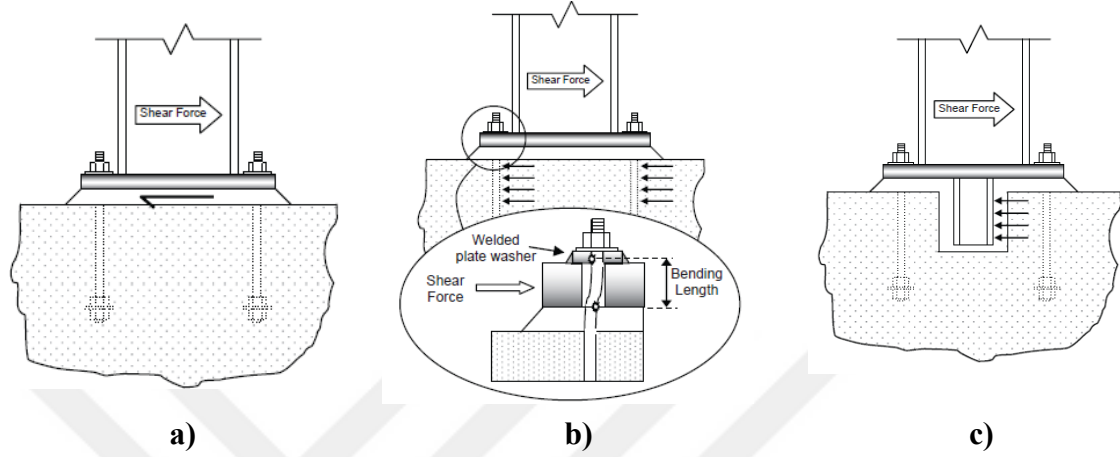
2.4.3. Kesme Yükleri

Taban plakası tasarımında, özellikle deprem gibi yatay yüklerin etkili olduğu durumlarda, kesme kuvvetleri kritik bir öneme sahiptir. Bu kuvvetler, temel olarak taban plakası ile temel arasındaki sürtünme ve ankraj çubuklarının taşıma kapasitesi aracılığıyla aktarılır.

Cui vd. (2015) tarafından yapılan deneysel çalışmalar, yeterli sürtünme ve taşıma kapasitesinin korunması şartıyla, açıkta kalan kolon taban plakalarının mukavemet kaybı yaşamaksızın önemli yatay kesme kuvvetlerine dayanabildiğini göstermektedir.

Gomez vd. (2011) tarafından yapılan bir dizi deneysel testte, açık çelik kolon taban bağlantılarındaki kesme aktarım mekanizmaları incelenmiştir. Bu kapsamda, sürtünme, ankraj çubuğu taşıma kapasitesi ve kayma kaması olmak üzere üç ana mekanizma ele alınmıştır. Çalışmanın sonuçları, ölçülen sürtünme katsayısının (0,46) tipik tasarım değerleriyle uyumlu olduğunu göstermiştir (Şekil 2.12 a). Ankraj çubukları için kullanılan AISC yönteminin, plaka kayması sırasında oluşan ek dayanım aktarımını da

göz önünde bulundurarak güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 2.12 b). Buna karşılık, kayma kamaları analizinde geleneksel 45 derecelik konik modelin, büyük temellerdeki beton kopma dayanımını boyut etkileri nedeniyle abarttığı, Beton Kapasite Tasarımı (BKT) yönteminin ise çok daha isabetli tahminler sunduğu ortaya konulmuştur (Şekil 2.12 c).

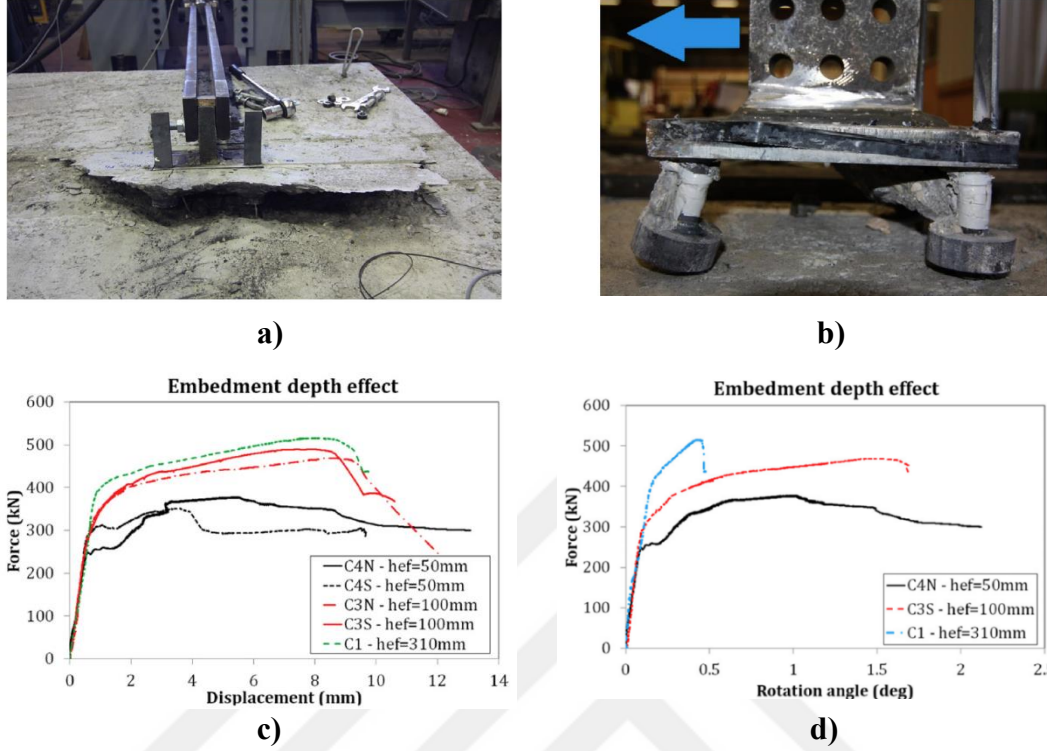


Şekil 2.12. Üç kayma dayanım mekanizması; **a)** Yüzey sürtünmesi; **b)** Ankraj çubuğu taşıma kapasitesi; **c)** Kayma kaması taşıma kapasitesi (Gomez vd. 2011)

Nawar vd. (2021) yaptıkları çalışmada bir taban plakasının moment aktarma kapasitesinin; plaka kalınlığı, ankraj çubuklarının düzeni ve bağlantı detayları gibi çeşitli faktörlerden etkilendiğini araştırmıştır. Çalışmalarında, daha kalın bir taban plakasının artan rijitliği sayesinde genellikle daha yüksek moment dayanımı sağladığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, uygun bir ankraj düzeninin, momentlerin taban plakası boyunca daha etkili bir şekilde dağıtılmasına yardımcı olduğunu da vurgulamışlardır.

Bui vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, beton dökümü öncesi yerleştirilen ankraj gruplarının davranışı hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir. Referans olarak kabul edilen, derin gömme mesafesine (310 mm) ve yeterli kenar mesafesine sahip numunelerde, nihai hasarın yaklaşık 516-549 kN yük seviyelerinde ankraj çubuğu kopması şeklinde meydana geldiği görülmüştür. Çalışmada, betonda 1 mm'lik başlangıç çatlağının bulunmasının ne hasar modunu ne de nihai kesme dayanımını etkilemediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kenar mesafesinin azaltılmasının, beton kenar kopması riskini artırdığı ve kayma dayanımında doğrusal bir azalmaya yol açtığı belirtilmiştir (Şekil 2.13 c). Gömme derinliğinin azaltılması ise hasar modunu değiştirerek, yaklaşık 50 mm derinlikte (350-380 kN) beton kopmasına ve yaklaşık 100 mm derinlikte (470-490 kN) artan plaka dönmesiyle birlikte çelik kopmasına neden olmuştur (Şekil 2.13).

Ayrıca, tekrarlı yüklemenin, monoton yüklemeye kıyasla kesme dayanımını ve rijitliği yaklaşık %20 oranında azalttığı sonucuna varılmıştır.



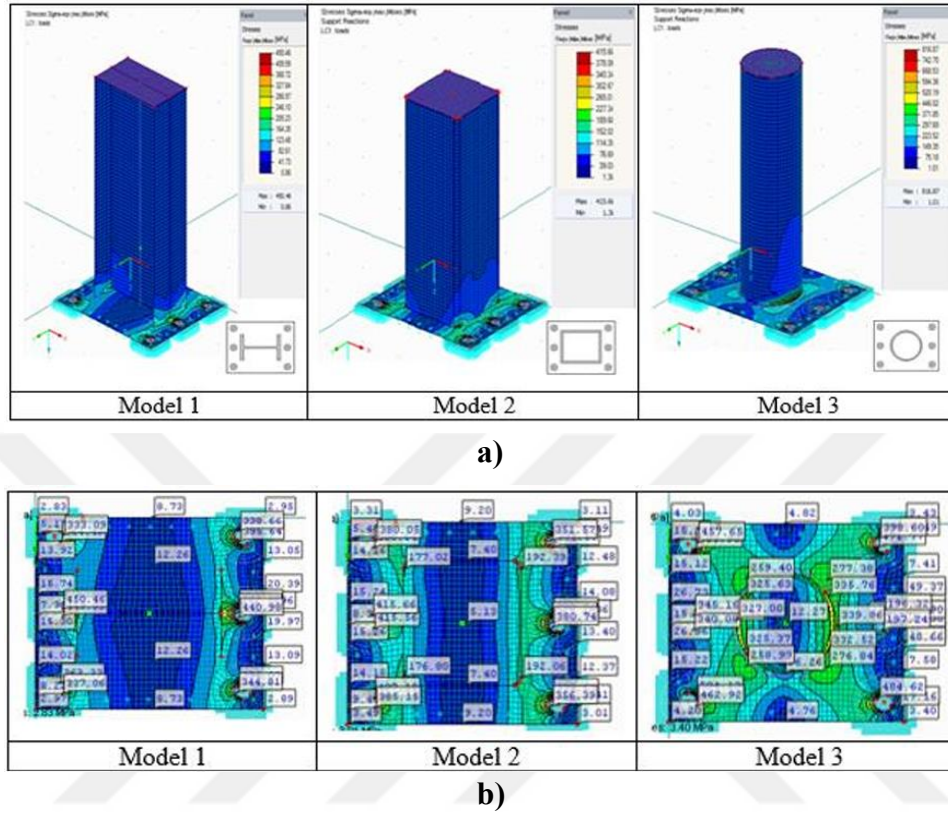
Şekil 2.13. a) Beton kanırtma hasarı $h_{ef}=50$ mm ; **b)** Ankraj çubuklarının deformasyonu; **c)** Gömme derinliğinin yük/yer değiştirme eğrisi üzerindeki etkisi; **d)** Gömme derinliğinin yük/dönme açısı üzerindeki etkisi (Bui vd. 2018)

2.4.4. Taban Plakasında Etkili Kolon Kesiti

Da Silva Seco vd. (2021) kolonlarda kullanılan kesit tipinin (örneğin I, H, kutu veya diğer özel profiller) taban plakasına aktarılan kuvveti ve dolayısıyla bağlantının eğilme ile eksenel yük dayanımını doğrudan etkilediğini belirtmiştir. Araştırmacılara göre, bağlantının düzlem içi eğilme dayanımına katkı sağlayan kesit, kolon gövdesinden ve toplam basınç alanından gelen katkılarla belirlenmekte ve bağlantı kapasitesi de buna bağlı olmaktadır.

Hussein ve Yavuz (2019) AISC ve YDKT yöntemlerine göre tasarlanmış W kesitli, kare HSS ve dairesel HSS kolonlar için açık taban plakası bağlantılarını SEA yöntemiyle analiz etmiştir. Çalışmanın bulgularına göre, W kesitli bağlantı 5,3 mm ile en az üst kolon yanal deplasmanını sergilemiştir (Şekil 2.14 a; model 1). Kare HSS bağlantısı ise 415 MPa ile en düşük maksimum Von Mises gerilmesine sahip olarak uygun bir gerilme dağılımı göstermiştir (Şekil 2.14 b; model 2). Buna karşılık, dairesel HSS bağlantısı, en fazla yanal yer değiştirme (13.2 mm) ve en yüksek maksimum gerilme (816 MPa) ile ankraj çubukları etrafında yüksek bölgesel gerilme yığılmaları sergileyerek en az beklenen davranışı göstermiştir (Şekil 2.14 b; model 3). Bu sonuçlara dayanarak

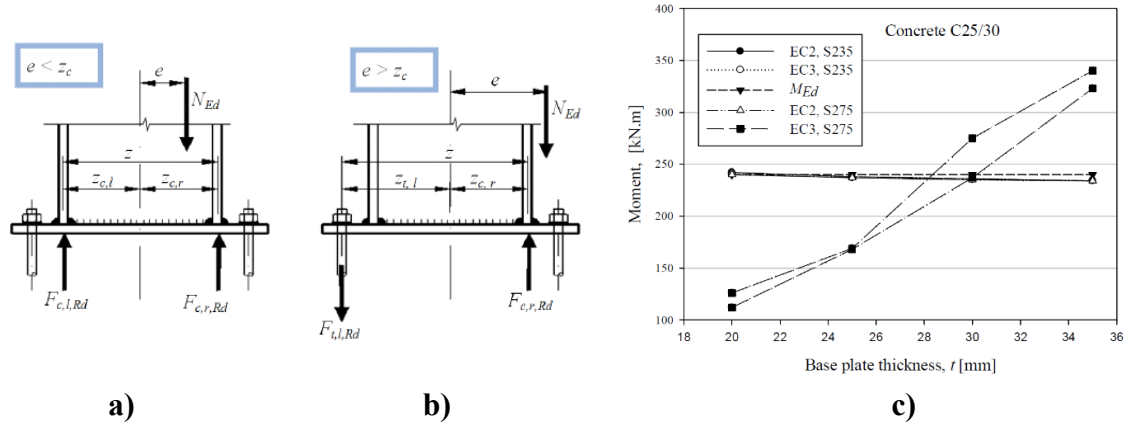
araştırmacılar, kayma kontrolü açısından W kesitinin daha iyi bir seçenek olacağını, ancak gerilme performansı dikkate alındığında kare HSS bağlantısının en ideal çözüm olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.14. a) Modellerin 100 KN yük seviyesinde maksimum von mises gerilme dağılımları; **b)** 100 KN yük seviyesinde taban plakaları üzerindeki von mises gerilme dağılımları (Hussein ve Yavuz 2019)

2.4.5. Büyük Eksantriklik Altında Taban Plakası Bağlantıları

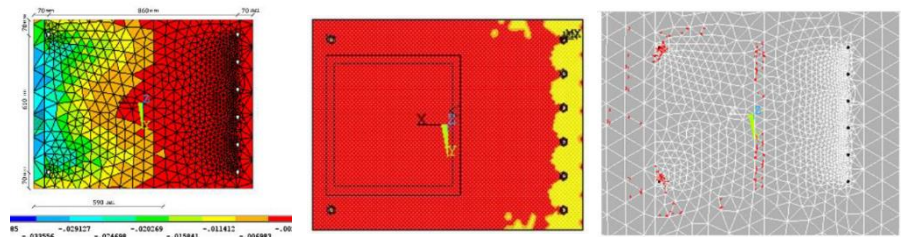
Rosca vd. (2013) özellikle tasarımın eğilme momentleri tarafından kontrol edildiği büyük eksantrik çelik kolon taban plakası tasarımlarını incelemiştir. Bu çalışmada, Eurocode 3'te yer alan bileşen yönteminin, ankraj bulonu çekme gerilmesi ile beton basıncı arasındaki dengeyi dikkate alarak bu durumu nasıl ele aldığı açıklanmaktadır (Şekil 2.15 b). Sayısal bir çalışma ile farklı sonuçları karşılaştıran araştırmacılar, Eurocode 3'ün moment dayanımının taban plakası kalınlığı ile arttığını belirttiğini, Eurocode 2'nin ise moment dayanımının değişmediğini, yani yalnızca çekme ve basınç kuvvetlerinin dengesine dayandığını ortaya koymuştur (Şekil 2.15 c). Bu durum, büyük dış merkezliğe maruz kalan bağlantıların tasarımında, özellikle daha kalın plakalar düşünüldüğünde, Eurocode 3'ün daha güvenli bir yaklaşım sunabileceğini göstermektedir.



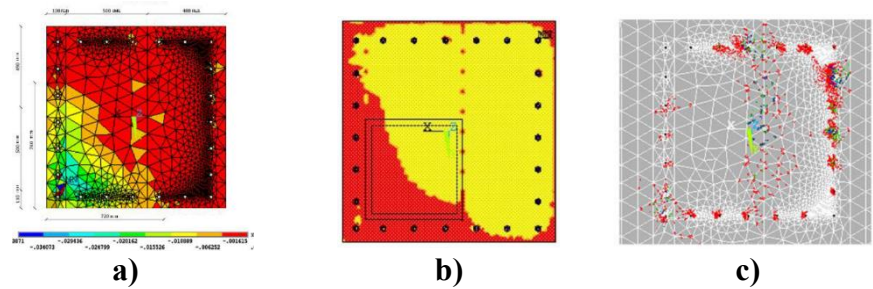
Şekil 2.15. a) Küçük eksantriklik; b) Büyük eksantriklik; c) Taban plaka kalınlığının moment taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi (Rosca vd. 2013)

Ebadi vd. (2018) yaptıkları çalışmada büyük dış merkezli (eksantrik) yüklere maruz kalan taban plakaları için iki eksenli durumu da kapsayan bir tasarım yöntemi sunmuştur. Bu yöntemde, büyük dış merkezlik durumları için üçgen gerilme dağılımı varsayımı yapılarak ankraj çubuğu gerilmesi tespit edilmektedir. Tek ve çift eksenli dış merkezlik modelleri ($h=180\text{mm}$ ve $h=190\text{mm}$) üzerinde ANSYS kullanılarak yapılan SEA de bu değerlendirmeyi doğrulamıştır (Şekil 2.16 a). Büyük dış merkezlik durumlarında, taban plakasının temelden önemli ölçüde ayrıldığı (kalktığı) (Şekil 2.16 b) ve betonda çatlamlar meydana geldiği (%50'si çift eksenli modelde) gözlemlenmiştir (Şekil 2.16 c). Çalışmada ayrıca, berkitme levhalarının gerilme dağılımını önemli ölçüde iyileştirdiği, plakanın temelden ayrılmasını ve çatlamayı azalttığı gösterilmiştir. Genel olarak, süperpozisyon yönteminin, büyük eksantriklik taban plakalarının pratik tasarımı için SEA sonuçlarıyla kabul edilebilir düzeyde uyumlu bir yaklaşım sunduğu sonucuna varılmıştır.

Tek eksenli modeli



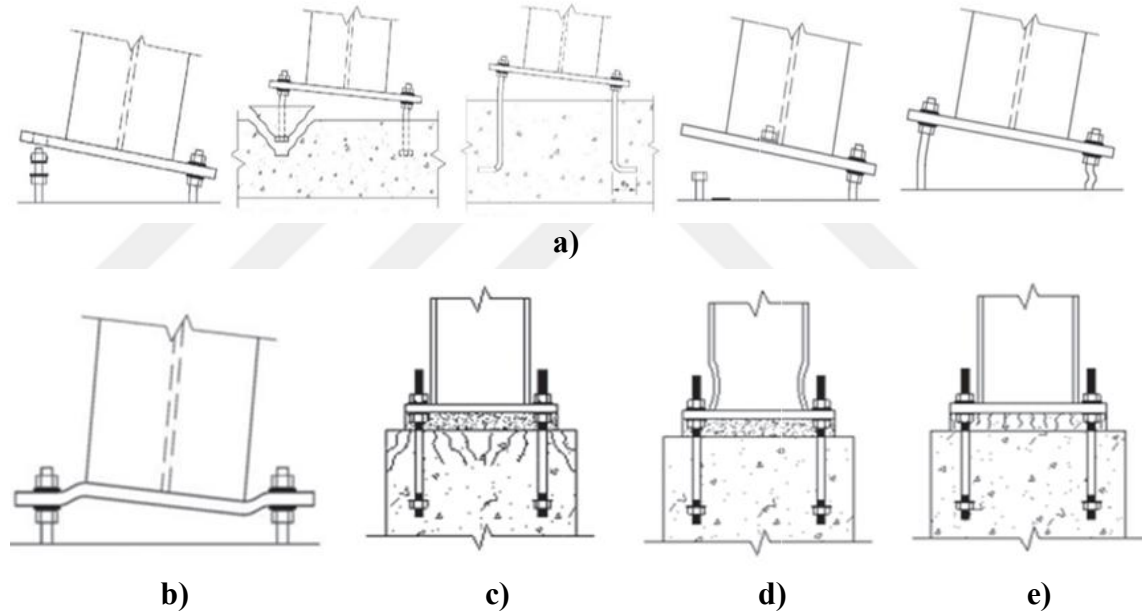
Çift eksenli modeli



Şekil 2.16. a) Tasarlanmış taban plakası altındaki taşıma gerilmesi; **b)** Taban plakasının temelden ayrılması; **c)** Temel yüzey çatlaması (Ebadi vd. 2018)

2.5. Taban Plakalarının Hasar Modları

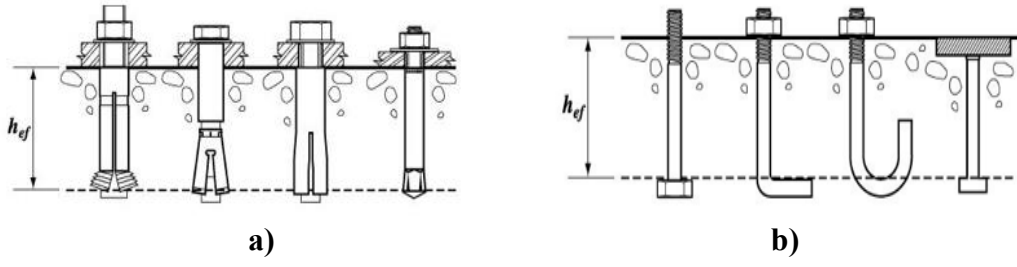
Asif Bin Kabir vd. (2021) çalışmalarında, çelik kolon taban plakası bağlantılarının hasar modlarını tahmin etmek amacıyla, 189 deneysel çalışmadan oluşan bir veri tabanı kullanarak Makine Öğrenimi (MÖ) modellerinin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışmada, kolon bağlantılarındaki hasarlar; ankraj çubuğu akması, taban plakası akması ve diğer hasar türleri olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılmıştır. Geliştirilen modellerin hasar modlarını tahmin etmede en etkili parametrelerin; taban plakası kalınlığı, gömme derinliği ve ankraj çapı olduğu belirlenmiştir. Araştırmanın önemli bir sonucu olarak, geliştirilen MÖ modelinin, özellikle en yaygın hasar modu olan ankraj çubuğu akması olaylarını yüksek bir doğrulukla tahmin etmede başarılı olduğu görülmüştür (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Kolon taban plakasının tipik hasar modları; **a)** Ankraj çubuğunun akması; **b)** Taban plakasının akması; **c)** Beton kırılması; **d)** Mafsallı Kolon; **e)** Harç kırılması (Asif Bin Kabir vd. 2021)

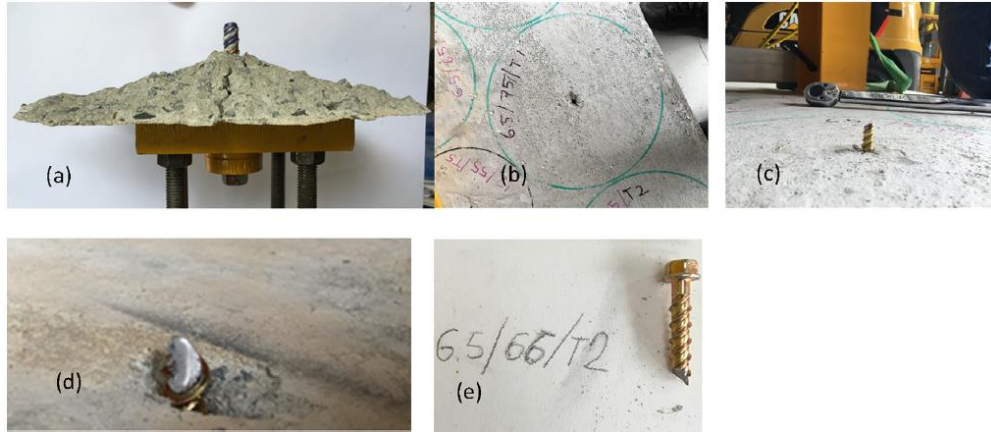
2.5.1. Ankraj Çubuğu Hasar Modları

Ankraj çubukları özellikle kolonun devrilmesini veya kaymasını önlemek için kullanılmaktadır. Ankraj çubukları beton öncesi yerleştirme ve sonradan uygulama olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Ankraj çubuğu tipleri; **a)** Sonradan uygulama ankrajlar; **b)** Yerde bırakma ankrajlar (Committee 2008)

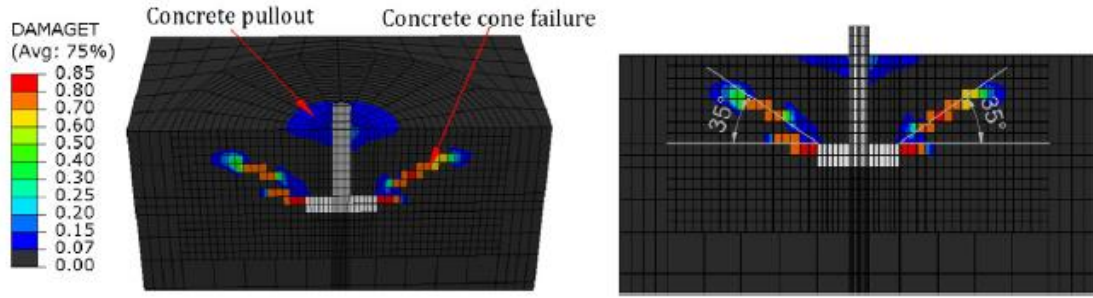
Mohyeddin vd. (2019) belirli bir tip vidalı ankraj üzerinde 180'den fazla test gerçekleştirerek, bu ankrajların davranışını incelemiştir. Yazarlar, hâkim hasar modlarının çekme/konik kopma hasarı (yaklaşık %60) ve sadece çekme hasarı (%40) olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 2.19 a ve b). Çalışmada ayrıca, Beton Kapasite Tasarımı (BKT) yönteminin, ankrajların çekme kapasitesini ortalama %24 oranında fazla tahmin ederek deneysel performansla tam uyumlu olmadığı belirtilmiştir. Üretici tarafından yayınlanan kapasitelerin de yüksek düzeyde değişkenlik gösterdiği ve genellikle deneysel sonuçlardan daha yüksek olduğu vurgulanmıştır.



Şekil 2.19. Vidalı ankraj genel hasar modları; **a)** toplam çekme/koni kopması; **b)** Çekme; **c-e)** Çelik kopması (Mohyeddin vd. 2019)

Tsavdaridis vd. (2016) başlıklı ankrajların kullanıldığı taban plakası bağlantılarında gözlemlenen temel hasar modlarını incelemiştir. Bu çalışmada hasar modları; ankraj çubuğu kopması ile beton hasarları (kopma, parçalanma vb.) olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2.20). Hangi hasar modunun baskın olacağını belirleyen en kritik değişkenin ankraj gömme derinliği olduğu belirtilmiştir. Yetersiz gömme derinliği durumunda, beton genellikle aniden ve kırılgan bir şekilde istenmeyen davranış göstermektedir. Yeterli gömme derinliğinde ise beton kırılmasının daha sünek ve öngörülebilir bir davranış sergilediği ve nihai göçmenin çelik kopmasıyla meydana geldiği tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, modellemenin doğruluğuna bağlı olarak, taban plakasında çelik

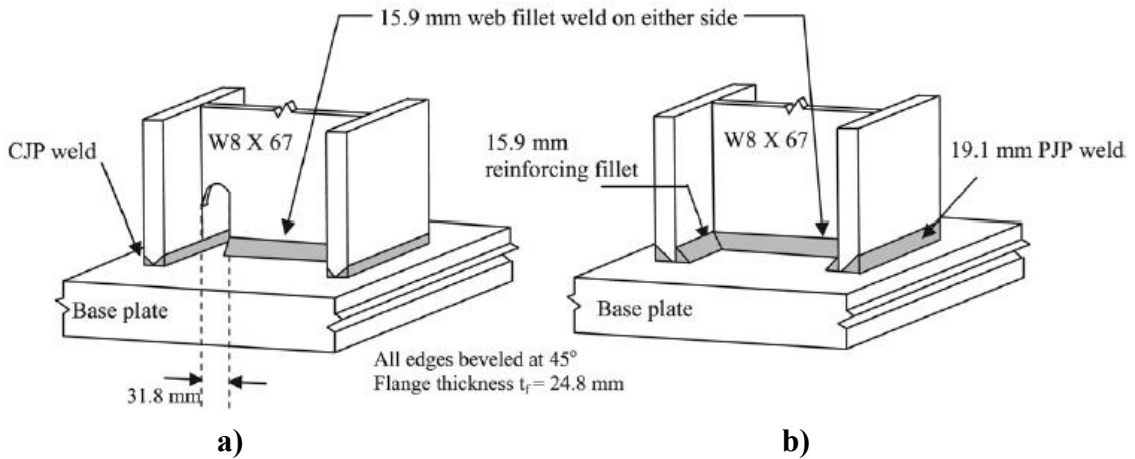
akmasına yol açabilecek yüksek gerilme yığılmalarının oluşabileceği de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. ABAQUS program analizinde çekme parametresi kullanılarak beton konik davranışı (Tsavdaridis vd. 2016)

2.6. Taban Plakasında Kaynağın Etkisi

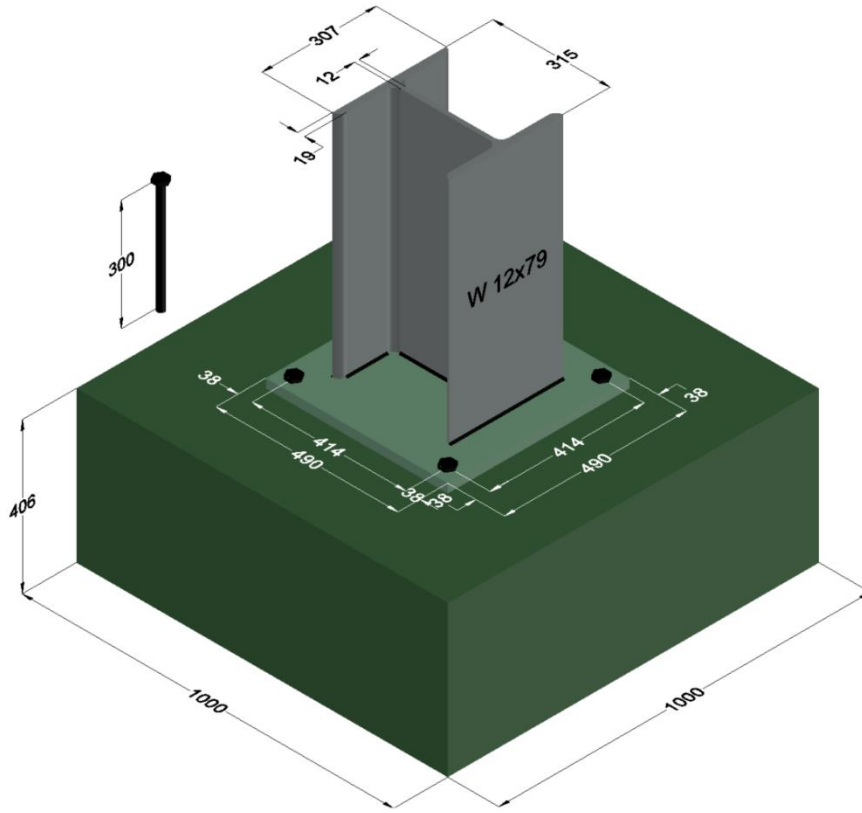
Myers vd. (2009) çelik kolonların temellere bağlantısında kullanılan iki farklı kaynaklı birleşim tekniğinin performansını incelemiştir (Şekil 2.21 a ve b). Her iki bağlantı tekniğinin de kolonlarda herhangi bir hasar oluşmadan önce %6 ila %9 arasında yatay ötelenme kapasitesine sahip olduğu ve beklenenin üzerinde bir süneklik sergilediği görülmüştür. Hasarların büyük çoğunluğunun kaynaklı birleşim bölgesinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Özellikle, kısmi nüfuziyetli kaynak ile yapılan ve daha az güvenilir olduğu düşünülen bağlantı tipinin, ek güçlendirme sayesinde en yüksek akma kapasitesini gösterdiği ve bu durumun kolonu daha fazla akmaya zorlayarak sünek bir davranışa yol açtığı belirtilmiştir.



Şekil 2.21. a) Tam nüfuziyetli kaynak (CJP); **b)** Kısmi nüfuziyetli kaynak (PJP) (Myers vd. 2009)

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, 1000×1000×406 mm boyutlarındaki bir temel üzerinde, farklı standartlara göre taban plakası tasarımı gerçekleştirilmiştir. Daha gerçekçi bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla, AISC standardı kapsamında Amerikan menşeli bir profil (W12×79), Eurocode ve Türk standardı kapsamında, seçilen Amerikan profiline benzer özellikler gösteren Avrupa profillerinden biri (HE320B) kolon olarak tercih edilmiştir. Taban plakası boyutları her üç standart için sabit tutulmuş ve 490×490 mm olarak belirlenmiştir. Tüm malzeme özellikleri ve varsayımlar, her üç standart için aynı ve sabit olacak şekilde kabul edilmiştir.



Şekil 3.1. AISC’e göre kolon profili ve Temel detayları

Çizelge 3’te görüldüğü üzere kolona uygulanan farklı sabit yükler, hareketli yükler ve moment alınmıştır.

Çizelge 3.1. Yükler ve moment tipi

Yük tipi	Sabit	Hareketli
Düşey yükler	374 KN	178 KN
Yatay yükler	22.5 KN	66.7 KN
Moment	88.5 KN·m	39.6 KN·m

3.1. AISC ile Taban Plakası Tasarımı

3.1.1. Malzeme Özellikleri ve Varsayımlar

Yükler ve Moment Birleşim:

Bu bölümde yük birleşimi ACI 318-19'a göre yapılmaktadır (Committee 2008).

$$P_u = 1.2DL + 1.6LL$$

$$P_u = 1.2 \times 374 + 1.6 \times 178 = 734 \text{ KN}$$

$$V_u = 1.2DL + 1.6LL$$

$$V_u = 1.2 \times 22.5 + 1.6 \times 66.7 = 134 \text{ KN}$$

$$M_u = 1.2M_D + 1.6M_L$$

$$M_u = 1.2 \times 88.5 + 1.6 \times 39.6 = 170 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Çizelge 3.2. Taban plakaya etki eden bileşik yükler ve momenti

Yükler	Bileşik Yükler
Düşey yük	734 KN
Yatay yük	134 KN
Moment	170 KN·m

Beton ve Taban p Plaka Detayları (Construction 2006):

$$f'_c = 28 \text{ Mpa}$$

ASTM A36

$$f_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 400 \text{ Mpa}$$

Ankraj Çubuğunun Detayları:

ASTM F1554 Gr. 36

$$f_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 400 \text{ Mpa}$$

Kolon Profilin Detayları (W12×79):

$$d = 315 \text{ mm}$$

$$b_f = 307 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$t_f = 16.7 \text{ mm}$$

$$A_s = 149.7 \text{ cm}^2$$

3.1.2. Basınç Yüğü ve Moment Tasarımı

Buradaki kullanılan tüm eşitlikler AISC Steel Design Guide 1'den alınmaktadır (Fisher ve Kloiber 2006).

Taban plakası boyutunu seçme:

$$N > d + (2)(8 \text{ cm}) = 31.5 + (2)(8 \text{ cm}) = 47.5 \text{ cm}$$

$$B > b_f + (2)(8 \text{ cm}) = 30.7 + (2)(8 \text{ cm}) = 46.7 \text{ cm}$$

Seçilen boyutlar $N = 49 \text{ cm}$ ve $B = 49 \text{ cm}$

e Ve e_{crit} belirtmesi:

$$e = \frac{M_u}{P_u} \quad (3.1)$$

$$e = \frac{170 \times 10^2}{734} = 23.1 \text{ cm}$$

$$f_{p(\max)} = \phi_c \cdot (0.85 f'_c) \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (3.2)$$

$$f_{p(\max)} = (0.65)(0.85 \times 28) \sqrt{2} = 21.6 \text{ Mpa}$$

$$q_{(\max)} = f_{p(\max)} \times B \quad (3.3)$$

$$q_{(\max)} = 0.0216 \times 490 = 10.4 \text{ KN/mm} = 104 \text{ KN/cm}$$

$$e_{crit} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2q_{\max}} \quad (3.4)$$

$$e_{crit} = \frac{49}{2} - \frac{734}{2 \times 104} = 20.6 \text{ cm}$$

$e > e_{crit}$ Bu nedenle, bu büyük momentli taban plakası durumudur.

Denklemin eşitsizliğini kontrol etmek,

$$\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 \geq \left[\frac{2P_u(e+f)}{q_{\max}}\right] \quad (3.5)$$

Bu nedenle ankraj çubuğu kenar mesafesinin 38mm olduğunu varsayın,

$$\left(20.3 + \frac{49}{2}\right)^2 \geq \left[\frac{2 \times 734(23.1 + 20.3)}{104}\right]$$

$$1976 \text{ cm}^2 > 613 \text{ cm}^2$$

Eşitsizlik sağlandığından belirtti ki Y için gerçek çözüm mevcuttur.

Taba plakasının altındaki basınç gerilme uzunluğu (Y) ve ankraj çubukta çekme kuvveti (T_u) hesaplaması:

$$Y = \left(f + \frac{N}{2}\right) \pm \sqrt{\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 - \left[\frac{2P_u(e+f)}{q_{\max}}\right]} \quad (3.6)$$

$$Y = \left(20.3 + \frac{49}{2}\right) \pm \sqrt{\left(20.3 + \frac{49}{2}\right)^2 - \left[\frac{2 \times 734(23.1 + 20.3)}{104}\right]}$$

$$Y = 44.45 + 36.83 = 81.28 \text{ cm}$$

$$Y = 44.45 - 36.83 = 7.62 \text{ cm}$$

$$T_u = q \times Y - P_u \quad (3.7)$$

$$T_u = 104 \times 8.32 - 734 = 58.48 \text{ KN}$$

Minimum plaka kalınlığını belirtmek Basınç ara yüzeyinde:

$$m = \frac{N - 0.95d}{2} \quad (3.8)$$

$$m = \frac{49 - (0.95 \times 31.5)}{2} = 9.5 \text{ cm}$$

$$f_p = f_{p(\max)} = 21.6 \text{ Mpa}$$

Eğer $Y < m$;

$$t_{p(req)} = 2.11 \sqrt{\frac{f_{P(max)} Y \left(m - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} \quad (3.9)$$

$$t_{p(req)} = 2.11 \sqrt{\frac{2.16 \times 7.62 \left(9.5 - \frac{7.62}{2} \right)}{25}} = 4 \text{ cm}$$

Çekme ara yüzeyinde:

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{t_f}{2} \quad (3.10)$$

$$x = 20.3 - \frac{31.5}{2} + \frac{1.67}{2} = 5.5 \text{ cm}$$

$$t_{p(req)} = 2.11 \sqrt{\frac{T_u x}{BF_y}} \quad (3.11)$$

$$t_{p(req)} = 2.11 \sqrt{\frac{(58.48)(5.5)}{(49)(25)}} = 1.08 \text{ cm}$$

n değerini kullanarak taban plakasının kalınlığını kontrol edilmek:

$$n = \frac{N - 0.8b_f}{2} \quad (3.12)$$

$$n = \frac{49 - (0.8)(30.7)}{2} = 12.2 \text{ cm}$$

$$t_{p(req)} = 2.11 \sqrt{\frac{2.16 \times 8.32 \left(12.2 - \frac{8.32}{2} \right)}{25}} = 4.96 \text{ cm}$$

Çekme ara yüzeyine göre taban plakasının kalınlığı belirtmektedir.

$$t_p = 5 \text{ cm}$$

3.1.3. Çekme Tasarımı

$$T_u = 58.48 \text{ KN}$$

Ankraj Sayıları 4 (Her tarafta 2 ankraj)

$$T_{u(rod)} = \frac{58.48}{2} = 29.3 \text{ KN}$$

Tablo 3.2'den 36. Çelik sınıfına göre ankraj çubuğunun tasarım dayanımı belirtmektedir. Çubuk için önerilen delik boyutu $1\frac{5}{16}in(3.34cm)$ kabul edilmektedir (Fisher ve Kloiber 2006).

Çizelge 3.3. Ankraj Çubuğu Mevcut Mukavemet (Fisher ve Kloiber 2006)

Table 3.1. Anchor Rod (Rod Only) Available Strength, kips							
Rod Diameter, in.	Rod Area, A_r , in ²	LRFD ϕR_n , $\phi = 0.75$			ASD R_n / Ω , $\Omega = 2.00$		
		Grade 36, kips	Grade 55, kips	Grade 105, kips	Grade 36, kips	Grade 55, kips	Grade 105, kips
$\frac{5}{8}$	0.307	10.0	12.9	21.6	6.7	8.6	14.4
$\frac{3}{4}$	0.442	14.4	18.6	31.1	9.6	12.4	20.7
$\frac{7}{8}$	0.601	19.6	25.4	42.3	13.1	16.9	28.2
1	0.785	25.6	33.1	55.2	17.1	22.1	36.8
$1\frac{1}{8}$	0.994	32.4	41.9	69.9	21.6	28.0	46.6
$1\frac{1}{4}$	1.23	40.0	51.8	86.3	26.7	34.5	57.5
$1\frac{1}{2}$	1.77	57.7	74.6	124	38.4	49.7	82.8
$1\frac{3}{4}$	2.41	78.5	102	169	52.3	67.6	113
2	3.14	103	133	221	68.3	88.4	147
$2\frac{1}{4}$	3.98	130	168	280	86.5	112	186
$2\frac{1}{2}$	4.91	160	207	345	107	138	230
$2\frac{3}{4}$	5.94	194	251	418	129	167	278
3	7.07	231	298	497	154	199	331
$3\frac{1}{4}$	8.30	271	350	583	180	233	389
$3\frac{1}{2}$	9.62	314	406	677	209	271	451
$3\frac{3}{4}$	11.0	360	466	777	240	311	518
4	12.6	410	530	884	273	353	589

Ankraj Çapı: $\frac{5}{8}in = (16mm)$

$$T_{n(rod)} = 10 \text{ kips} = 44.48 \text{ KN}$$

Her bir ankraj çubuğunun ağır altıgen somunlu çekme dayanımı, Tablo 3.3'den 11.6kips(51.6KN) olarak seçilmiştir; bu değer, çubuk başına gerekli dayanım olan (29.3KN) değerinden büyüktür (Fisher ve Kloiber 2006).

Çizelge 3.4. Ankraj Çubuğu Beton Çekme Dayanımı (Fisher ve Kloiber 2006)

Table 3.2. Anchor Rod Concrete Pullout Strength, kips					
Rod Diameter, in.	Rod Area, A_r , in ²	Bearing Area, in ²	Concrete Pullout Strength, ϕN_p		
			Grade 36, kips	Grade 55, kips	Grade 105, kips
5/8	0.307	0.689	11.6	15.4	19.3
3/4	0.442	0.906	15.2	20.3	25.4
7/8	0.601	1.22	20.5	27.3	34.1
1	0.785	1.50	25.2	33.6	42.0
1 1/8	0.994	1.81	30.4	40.5	50.7
1 1/4	1.23	2.24	37.7	50.2	62.8
1 1/2	1.77	3.13	52.6	70.1	87.7
1 3/4	2.41	4.17	70.0	93.4	117
2	3.14	5.35	90.0	120	150
2 1/4	3.98	6.69	112	150	187
2 1/2	4.91	8.17	137	183	229
2 3/4	5.94	9.80	165	220	274
3	7.07	11.4	191	254	318
3 1/4	8.30	13.3	223	297	372
3 1/2	9.62	15.3	257	343	429
3 3/4	11.0	17.5	294	393	491
4	12.6	19.9	334	445	557

3.1.4. Kesme Tasarımı

Öncelikle, bağlantı sürtünmesinin uygulanan kesme kuvvetinden büyük olup olmadığı kontrol edilmektedir, eğer büyük olursa kayma kaması için tasarıma gerek olmaktadır.

$$\phi V_n = \phi \mu P_u \leq 0.2 \cdot f'_c \cdot A_c \quad (3.13)$$

$$\mu = 0.55 (\text{Çelik ve beton için})$$

$$(0.75)(0.55)(734) \leq (0.2)(2.8)(2401)$$

$$303KN < 1345KN$$

Sürtünme kesme kuvvetini tek başına yatay yükü 134KN aktarabilmektedir ve kayma kaması veya gömülü taban plakası tasarlamaya gerek kalmamaktadır.

3.1.5. Taban Plakası Kaynaklarının Tasarımı

AISC, J2.4c maddesinde, hem boyuna hem de enine yönde yerleştirilmiş eşit boyutuna sahip köşe kaynaklarından oluşan kaynak grupları için, toplam nominal bağlantı dayanımının aşağıdaki iki denklemle elde edilen sonuçların en büyüğüne eşit olarak alınmasını şart koşmaktadır (Specification 2005).

$$R_n = R_{nwl} + R_{nwt} \quad (3.14)$$

$$R_n = 0.85R_{nwl} + 1.5R_{nwt} \quad (3.15)$$

$$R_{wt} = R_n \text{ for both side of flange} = F_{nw} A_{we} \quad (1.16)$$

Genel durumda, E70 elektrot 250 ila 420Mpa arasındaki değerlere sahip çelikler için kullanılmaktadır. Birleştirilen daha ince parçanın malzeme kalınlığına göre (burada kolon web $t_w=12\text{mm}$), minimum 5mm köşe kaynağı boyutu seçilmektedir.

Çizelge 3.5. Minimum iç köşe kaynağı boyutu (Specification 2005)

TABLE J2.4 Minimum Size of Fillet Welds	
Material Thickness of Thinner Part Joined, in. (mm)	Minimum Size of Fillet Weld, ^[a] in. (mm)
To 1/4 (6) inclusive	1/8 (3)
Over 1/4 (6) to 1/2 (13)	3/16 (5)
Over 1/2 (13) to 3/4 (19)	1/4 (6)
Over 3/4 (19)	5/16 (8)

^[a] Leg dimension of fillet welds. Single pass welds must be used.
Note: See Section J2.2b for maximum size of fillet welds.

$$t = (0.707) \times \text{Minimum köşe kaynağının boyutu} \quad (3.17)$$

$$t = (0.707) \times (5) = 3.54\text{mm} = 0.354\text{cm}$$

$$R_{wt} = (0.60 \times 48.2) \left((2 \times 30.7) + (4 \times 14.8) \right) \times 0.354 = 1235\text{KN}$$

$$R_{wl} = R_n \text{ Çapraz web kaynağı için} = F_{nw} A_{we} \quad (3.18)$$

$$R_{wl} = (0.60 \times 48.2) \times (2 \times 27.8) \times 0.354 = 569\text{KN}$$

$$R_n = R_{nwl} + R_{nwt} = 1235 + 569 = 1804\text{KN}$$

$$R_n = 0.85R_{nwl} + 1.5R_{nwt} = (0.85 \times 1235) + (1.5 \times 569) = 1903\text{KN}$$

$$R_n = 1903\text{KN}$$

$$\phi = 0.75 \text{ (YDKT)}$$

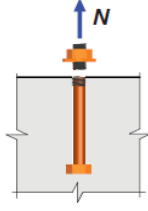
$$\phi \cdot R_n = (0.75)(1903) = 1428\text{KN}$$

3.1.6. Tahkikleri

Buradaki kullanılan tüm eşitlikler ACI 318-19, bölüm 17.5.1.2' e göre alınmaktadır (Committee 2008).

Çekme Kuvveti Etkisiyle Meydana Gelen Hasarlar

Çelik Kopması



Şekil 3.2. Çelik Kopması (Committee 2008)

$$N_{sa} = A_{se,N} \times f_{uta} \quad (3.19)$$

$$f_{uta} \leq \left(\frac{1.9 f_{ya}}{400 Mpa} \right)_{\min}$$

$$1.9 f_{ya} = 1.9 \times 250 = 475 Mpa$$

$$f_{uta} = 400 Mpa = 40 \frac{KN}{cm^2}$$

$$A_{se,N} = \frac{\pi}{4} \times \left(d_b - \frac{0.9743}{n} \right)^2 \quad (3.20)$$

$$A_{se,N} = \frac{\pi}{4} \times \left(1.6 - \frac{0.9743}{10} \right)^2 = 1.78 cm^2$$

$$N_{sa} = 1.78 \times 40 = 71 KN$$

$$\phi = 0.70 \text{ Koşul B (Donatısız)}$$

$$\phi N_{sa} = 0.70 \times 71 = 50 KN$$

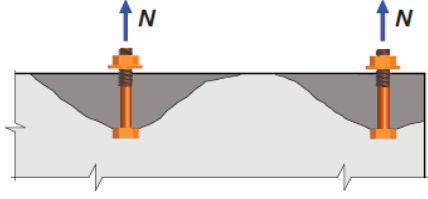
$$\frac{N_{ua}}{(\phi N_{sa})} = \left(\frac{29.3}{50} \right) = 0.58$$

Beton Kopması

Ancak $3h_{ef}$, S mesafesinden büyüktür, bu nedenle ankraj grubu etkisi kritiktir.

$$3h_{ef} = 3 \times 30.5 = 91.5 cm$$

$$S = 40.6 \text{ cm} < 3h_{ef}$$



Şekil 3.3. Beton kopması (Committee 2008)

$$N_{cbg} = \frac{A_{NC}}{A_{Nco}} \times \psi_{ec,N} \times \psi_{ed,N} \times \psi_{c,N} \times \psi_{cp,N} \times N_b \quad (3.21)$$

$$h_{ef} \geq 28 \text{ cm için}$$

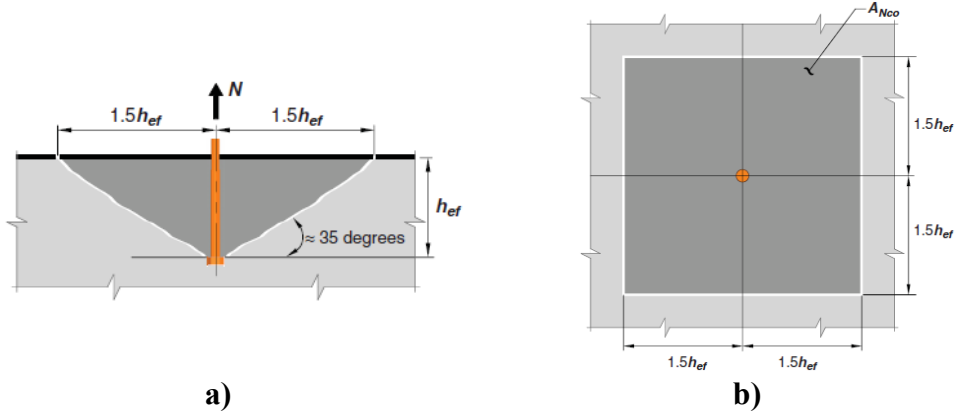
$$N_b = 16 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h_{ef}^{5/3} \quad (3.22)$$

$$N_b = 16 \times \sqrt{2800} \times (30.5)^{5/3} = 252076 \text{ N}$$

$$N_b = 252.1 \text{ kN}$$

$$A_{Nco} = 9 \times h_{ef}^2 \quad (3.23)$$

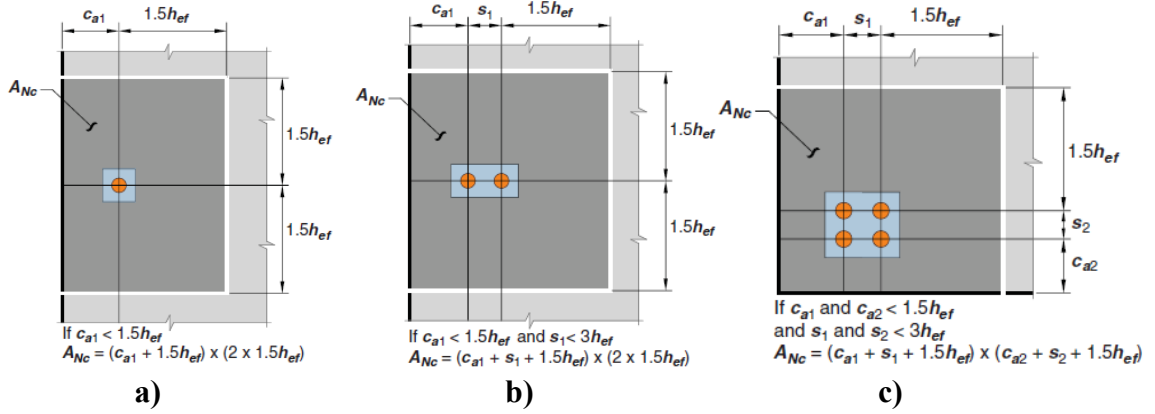
$$A_{Nco} = 9 \times (30.5)^2 = 8372 \text{ cm}^2$$



Şekil 3.4. A_{Nco} Hesaplama; **a)** Hasar konisi boyunca kesit; **b)** Plan (Committee 2008)

$$A_{NC} = (C_{a1} + s_1 + 1.5h_{ef})(C_{a2} + s_2 + 1.5h_{ef}) \quad (3.24)$$

$$A_{NC} = (28 + 40.6 + 45.75)(28 + 40.6 + 45.75) = 13076 \text{ cm}^2$$



Şekil 3.5. A_{NC} Hesaplama; **a)** Tek ankraj; **b-c)** Ankraj grubu (Committee 2008)

$$\psi_{ec.N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \leq 1 \quad (3.25)$$

$e'_N = 0$ (Çekme yükü tüm ankrajlarda aynı olduğunda)

$$\psi_{ec.N} = 1.0$$

$$\psi_{ed.N} = 1.0, \text{ Eğer } C_{a,\min} \geq 1.5h_{ef}$$

$$\psi_{ed.N} = 0.7 + 0.3 \left(\frac{C_{a,\min}}{1.5h_{ef}} \right), \text{ Eğer } C_{a,\min} < 1.5h_{ef} \quad (3.26)$$

$$\psi_{ed.N} = 0.7 + 0.3 \left(\frac{28}{1.5 \times 30.5} \right) = 0.88$$

$$\psi_{c.N} = 1.25 \text{ (Yerinde bırakma ankrajlar ve çatlaksız beton için)}$$

$$\psi_{ep.N} = 1.0 \text{ (Yerinde bırakma ankrajlar için)}$$

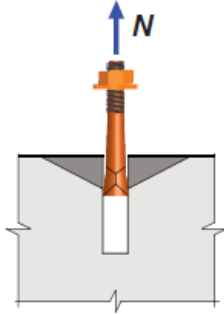
$$N_{cbg} = \frac{13076}{8372} \times 1 \times 0.88 \times 1.25 \times 1 \times 252.1 = 433 \text{ KN}$$

$$\phi = 0.7 \text{ Koşul B (Donatısız)}$$

$$\phi N_{cbg} = 0.7 \times 433 = 303 \text{ KN}$$

$$N_{ua} / (\phi N_{cb}) = 29.3 / 303 = 0.097$$

Sıyırılması



Şekil 3.6. Çekme etkisinde sıyırılma (Committee 2008)

$$N_{pn} = \psi_{c,p} \times N_p \quad (3.25)$$

$$\psi_{c,p} = 1.4 \text{ (Çatlaksız beton için)}$$

Somun başlı ankraj için

$$N_p \leq 8 \times A_{brg} f'_c \quad (3.27)$$

$$A_{brg} = \frac{\pi}{4} (D_{head}^2 - d_b^2) \quad (3.28)$$

$$D_{head} \geq 1.5 \times d_b$$

$$A_{brg} = \frac{\pi}{4} (3.5^2 - 1.6^2) = 7.6 \text{ cm}^2$$

$$N_p = 8 \times 7.6 \times 2.8 = 170 \text{ KN}$$

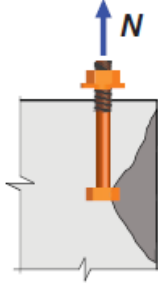
$$N_{pn} = 1.4 \times 170 = 238 \text{ KN}$$

$$\phi = 0.7 \text{ Koşul B (Donatısız)}$$

$$\phi N_{pn} = 0.7 \times 238 = 166.6 \text{ KN}$$

$$N_{ua} / (\phi N_{pn}) = 29.3 / 166.6 = 0.176$$

Betonda Yan Yüzey Kopma Hasarı

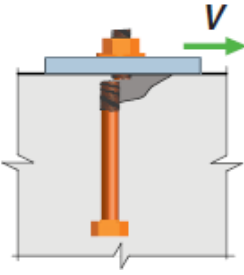


Şekil 3.7. Çekme etkisinde betonda yan yüzey kopma hasarı (Committee 2008)

$$h_{ef} < 2.5C_{a,1} \text{ (Betonda yan yüzey kopma hasarı yoktur)}$$

$$h_{ef} = 30.5cm < 2.5C_{a,1} = 70cm$$

Kesme Kuvveti Etkisiyle Meydana Gelen Hasarlar Kesme Etkisinde Çelik Kopması



Şekil 3.8. Kesme etkisinde çelik kopması (Committee 2008)

$$V_{sa} \leq n \times A_{se,V} \times f_{uta} \quad (3.29)$$

$$f_{uta} \leq \left(\frac{1.9f_{ya} \text{ veya } 400 \text{ Mpa}}{\quad} \right)_{\min}$$

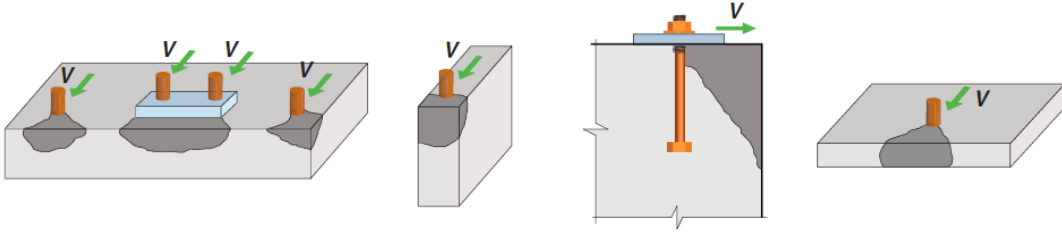
$$A_{se,V} = A_{se,N} = 1.78cm^2$$

$$V_{sa} = 4 \times 1.78 \times 40 = 285 \text{ KN}$$

$$\phi = 0.65 \text{ (Kesme)}$$

$$\phi V_{sa} = 0.65 \times 285 = 185 \text{ KN}$$

$$V_{ua} / (\phi V_{sa}) = (134 / 185) = 0.72$$

Kesme Etkisinde Betonun Kopması**Şekil 3.9.** Kesme Etkisinde Betonun Kopması (Committee 2008)

$$V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \times \psi_{ed,V} \times \psi_{c,V} \times \psi_{h,V} \times V_b \quad (3.30)$$

$$V_b = 8 \left(\frac{\ell_e}{d_o} \right)^{0.2} \times \sqrt{d_o} \times \lambda_a \times \sqrt{f'_c} \times (C_{a1})^{1.5} \quad (3.31)$$

$$\lambda_a = 1.0 \text{ (Normal beton için)}$$

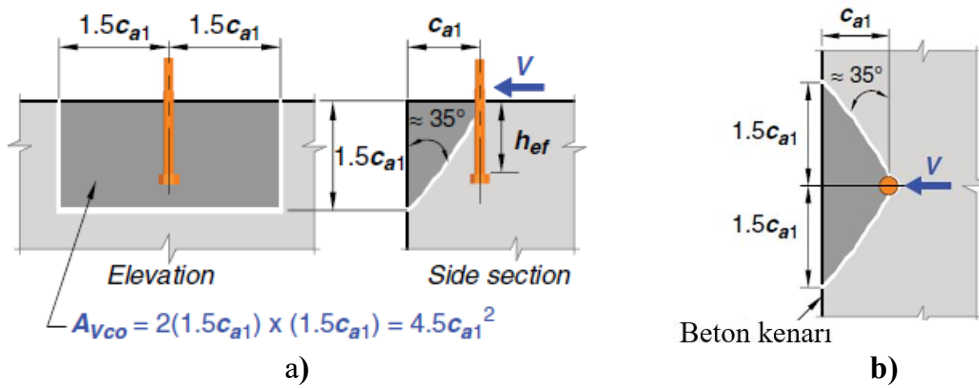
$$\ell_e = \left(\begin{array}{l} h_{ef} = 30.5 \\ 8d_o = 8 \times 1.6 \end{array} \right)_{\min}$$

$$\ell_e = 8 \times 1.6 = 12.8 \text{ cm}$$

$$V_b = 8 \left(\frac{12.8}{1.6} \right)^{0.2} \times \sqrt{1.6} \times 1.0 \times \sqrt{2800} \times (28)^{1.5} = 120250 \text{ N} = 120.25 \text{ KN}$$

$$A_{Vco} = 4.5 \times C_{a1}^2 \quad (3.32)$$

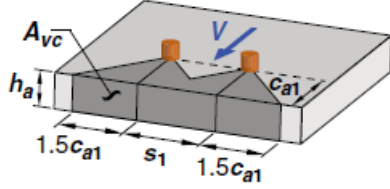
$$A_{Vco} = 4.5 \times (28)^2 = 3528 \text{ cm}^2$$

**Şekil 3.10.** A_{Vco} Hesaplama; a) Yükseklik ve yan kesit; b) Plan (Committee 2008)

Eğer $h_a < 1.5c_{a1}$ ve $s_1 < 3c_{a1}$

$$A_{vc} = [2 \times (1.5C_{a1}) + S_1] \times (h_a) \quad (3.33)$$

$$A_{vc} = (2 \times (1.5 \times 28) + 40.6) \times (40.6) = 5058 \text{ cm}^2$$



Şekil 3.11. A_{vc} Hesaplama (Committee 2008)

$$\psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3 \left(\frac{C_{a2}}{1.5C_{a1}} \right) \quad \text{Eğer } C_{a2} < 1.5C_{a1} \quad (3.34)$$

$$\psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3 \left(\frac{28}{1.5 \times 28} \right) = 0.9$$

$$\psi_{c,V} = 1.4 \text{ (Çatlaksız beton için)}$$

$$\psi_{h,V} = \sqrt{\frac{1.5C_{a1}}{h_a}} \quad \text{Eğer } h_a < 1.5C_{a1} \quad (3.35)$$

$$\psi_{h,V} = \sqrt{\frac{1.5 \times 28}{40.6}} = 1.02$$

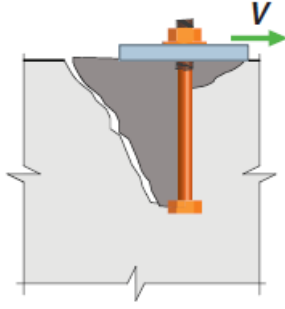
$$V_{cbg} = \frac{5058}{3528} \times 0.9 \times 1.4 \times 1.02 \times 120.25 = 221 \text{ KN}$$

$$\phi V_{cbg} = 0.7 \times 221 = 155 \text{ KN}$$

$$V_{u(ankraj)} = \frac{134}{2} = 67 \text{ KN}$$

$$V_{ua} / (\phi V_{cbg}) = 67 / 155 = 0.43$$

Kesme Etkisinde Beton Kaldıraç Etkisi



Şekil 3.12. Kesme etkisinde kaldıraç etkisi (Committee 2008)

$$V_{cp} = K_{cp} \times N_{cbg} \quad (3.36)$$

$$h_{ef} = 30.5 \text{ cm} \geq 6.35 \text{ cm} \text{ İçin}$$

$$K_{cp} = 2.0$$

$$N_{cbg} = \frac{A_{NC}}{A_{Nco}} \times \psi_{ec,N} \times \psi_{ed,N} \times \psi_{c,N} \times \psi_{cp,N} \times N_b$$

$$N_{cbg} = \frac{13076}{8372} \times 1 \times 0.88 \times 1.25 \times 1 \times 252.1 = 433 \text{ KN}$$

$$V_{cp} = 2 \times 433 = 866 \text{ KN}$$

$$\phi V_{cp} = 0.7 \times 866 = 606 \text{ KN}$$

$$\frac{V_{ua}}{(\phi V_{cp})} = \frac{134}{606} = 0.22$$

3.1.7. Çekme ve Kesme Kuvveti Etkileşimi

Çekme ve kesme kuvvetinin maksimum mod hasarı değerine göre, her ikisinin toplamı birden küçük olmayacak şekilde etkileşim uygulanmaktadır.

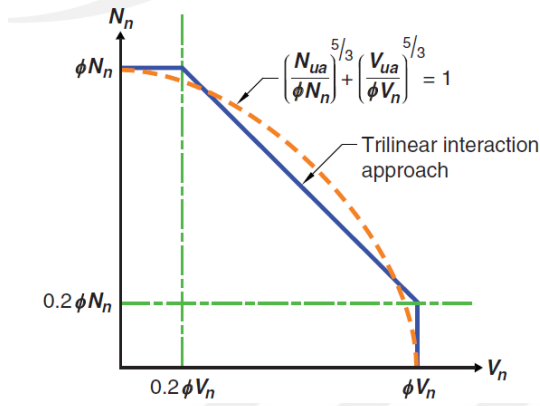
Çizelge 3.6. AISC'nin çekme hasarları

Hasar Modu	Kuvvet Kullanım oranı
Çelik kopması	0.58 (mak)
Beton kopması	0.097
Sıyrılma	0.176
Betonda Yan Yüzey Kopması	N.A.

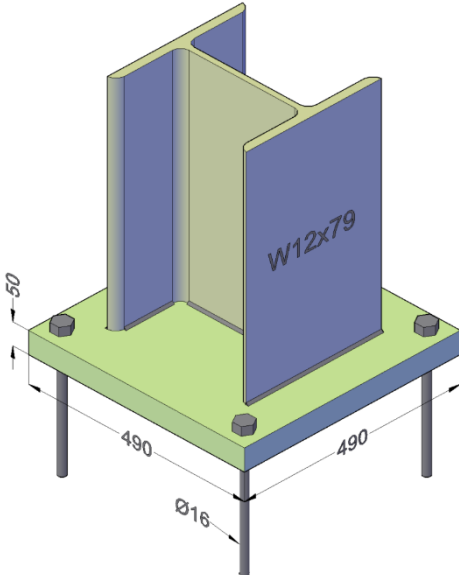
Çizelge 3.7. AISC'nin kesme hasarları

Hasar Modu	Kuvvet Kullanım oranı
Çelik kopması	0.72 (mak)
Beton kopması	0.43
Kaldıraç	0.22

$$\left(\frac{N_{ua}}{\phi N_n} \right)^{5/3} + \left(\frac{V_{ua}}{\phi V_n} \right)^{5/3} < 1.0 \quad (3.37)$$

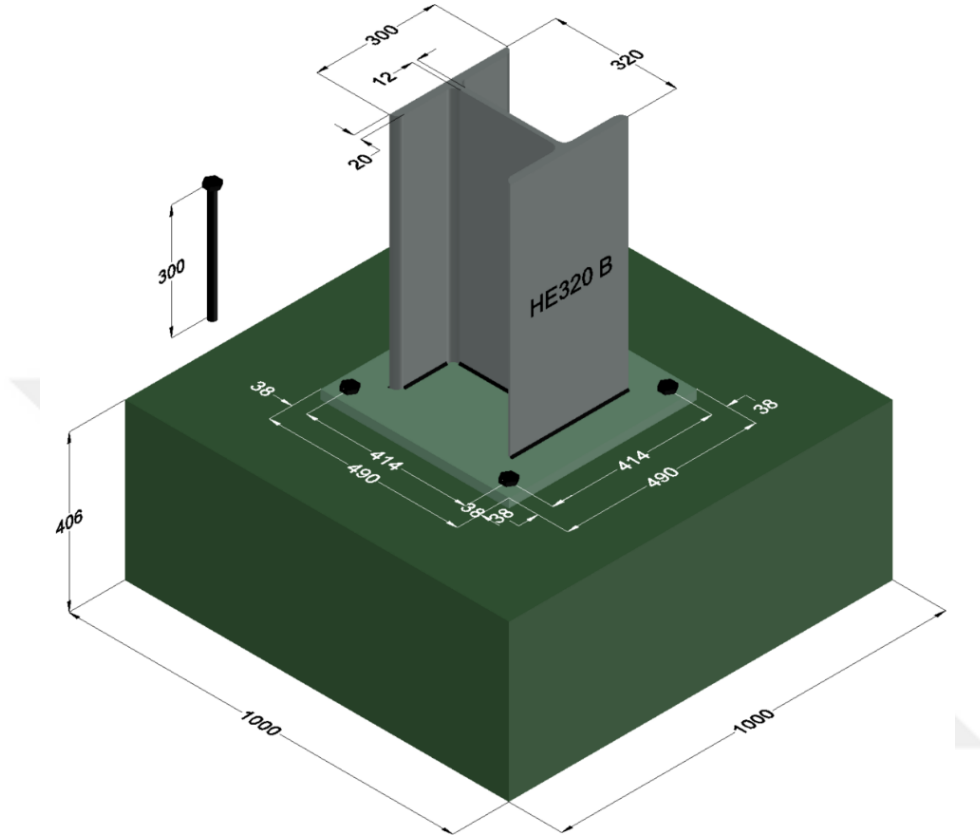
**Şekil 3.13.** Çekme ve Kesme Kuvveti Etkileşimi (Committee 2008)

$$(0.58)^{5/3} + (0.72)^{5/3} = 0.98 < 1.0$$

**Şekil 3.14.** AISC standardına göre tasarlanmış taban plakası

3.2. Eurocode ile Taban Plakası Tasarımı

3.2.1. Malzeme Özellikleri ve Varsayımlar



Şekil 3.15. Eurocode'e göre Kolon profili ve temel detayları

Yükler ve Moment Birleşimi:

Bu bölümde yük birleşimi EN 1990'a göre yapılmaktadır (Standardization 2004a).

$$P_u = 1.35G_k + 1.5Q_k$$

$$P_u = 1.35 \times 374 + 1.5 \times 178 = 772 \text{ KN}$$

$$V_u = 1.35G_k + 1.5Q_k$$

$$V_u = 1.35 \times 22.5 + 1.5 \times 66.7 = 130.5 \text{ KN}$$

$$M_u = 1.35M_G + 1.5M_Q$$

$$M_u = 1.35 \times 88.5 + 1.5 \times 39.6 = 179 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Çizelge 3.8. Taban plakaya etki eden bileşik yükler ve momenti

Yükler	Bileşik Yükler
Düşey yük	772 KN
Yatay yük	130.5 KN
Moment	179 KN·m

Kolon profili ve detayları: HE320 B (Standardization 2017)

$$h = 320 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 11.5 \text{ mm}$$

$$t_f = 20.5 \text{ mm}$$

$$A_s = 16100 \text{ mm}^2$$

Taban plakasının boyutları:

$$b_p = 500 \text{ mm}$$

$$h_p = 500 \text{ mm}$$

$$t_p = 32 \text{ mm} \text{ (Varsayılmıştır)}$$

Temel boyutları:

Aşağıdaki detaylar EN 1992-1-1'e göre alınmıştır (Standardization 2004b).

$$f_{ck} = 25 \text{ Mpa} \text{ (Beton)}$$

$$a_{cc} = 1.0$$

$$\gamma_c = 1.5$$

$$B = 1000 \text{ mm}$$

$$H = 1000 \text{ mm}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = 2$$

Ankraj çubuğunun detayları:

$$d_b = 24 \text{ mm} \text{ (Varsayılmıştır)}$$

$$h_a = 424 \text{ mm}$$

$$b_a = 424 \text{ mm}$$

$$e = 38 \text{ mm}$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2$$

Aşağıdaki detaylar EN 1993-1-8'e göre alınmıştır (Standardization 2005b).

$$\beta_j = \frac{2}{3}$$

$$F_{ub} = 400 \text{ Mpa (Bulon)}$$

$$f_{yb} = 320 \text{ Mpa (Bulon)}$$

$$k_2 = 0.90$$

$$\gamma_{Mo} = 1.0$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

Aşağıdaki detaylar EN 1993-1-1'e göre alınmıştır (Standardization 2005a).

$$f_y = 275 \text{ Mpa (Taban plakası)}$$

3.2.2. Basınç Yüğü ve Moment Tasarımı

$$\sum M = 0 \quad T(z_t + z_c) + P \times z_c + M = 0 \quad (3.38)$$

$$\sum V = 0 \quad -T - P + C = 0 \quad (3.39)$$

$$z_t = \frac{h_a}{2} = \frac{424}{2} = 212 \text{ mm}$$

$$z_c = \frac{(h_c - t_f)}{2} = \frac{(320 - 20.5)}{2} = 150 \text{ mm}$$

$$T = \left(\frac{M}{z_t + z_c} \right) - p \times \left(\frac{z_c}{z_t + z_c} \right) \quad (3.40)$$

$$T = \left(\frac{179 \times 10^3}{212 + 150} \right) - 772 \times \left(\frac{150}{212 + 150} \right) = 174.6 \text{ KN}$$

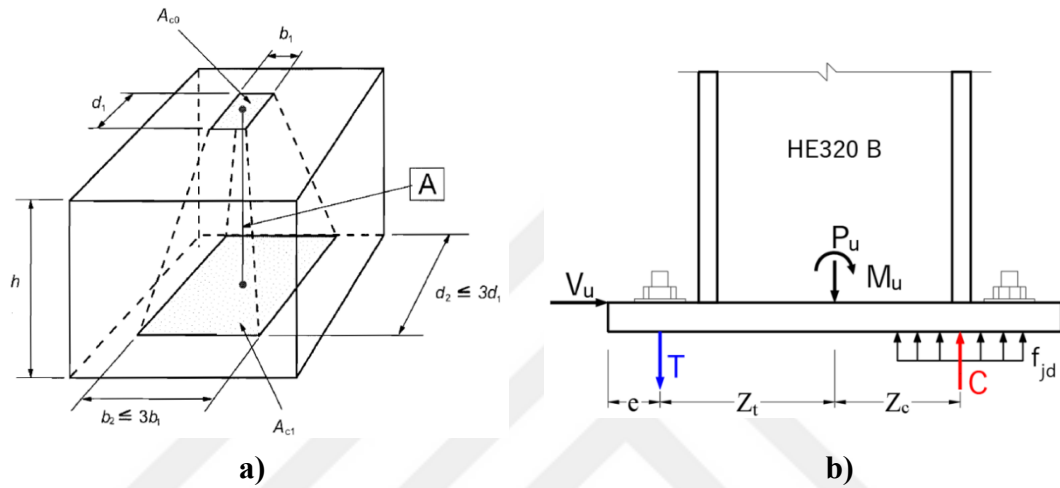
$$C = P + T = 772 + 174.6 = 946.6 \text{ KN}$$

Aşağıdaki eşitlik EN 1992-1-1'e göre alınmıştır (Standardization 2004b).

$$f_{cd} = a_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.41)$$

$$f_{cd} = 1.0 \times \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ Mpa}$$

$$c = 65 \text{ mm (Varsayıldı)}$$



Şekil 3.16. a) Kısmi yüklü alanlar için tasarım modeli; **b)** Taban plakası altında eksenel kuvvet ve moment etkisiyle oluşan iç kuvvetler (Standardization 2004b)

Aşağıdaki eşitlikler EN 1993-1-8'e göre alınmıştır (Standardization 2005b).

$$b_1 = t_f + 2(c)$$

$$b_1 = 20.5 + 2(65) = 151 \text{ mm}$$

$$d_1 = d + 2(c)$$

$$d_1 = 320 + 2(65) = 450 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = b_1 \times d_1$$

$$A_{c0} = 151 \times 450 = 6.79 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$b_2 = b_1 + 2(105) < 3b_1$$

$$b_2 = 151 + 2(105) = 361 \text{ mm} < 453 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_1 + 2(80) < 3d_1$$

$$d_2 = 450 + 2(80) = 610 \text{ mm} < 1350 \text{ mm}$$

$$A_{c1} = b_2 \times d_2$$

$$A_{c1} = 361 \times 610 = 2.2 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

Aşağıdaki eşitlik EN 1992-1-1'e göre alınmıştır (Standardization 2004b).

$$F_{Rdu} = A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{co}}} \leq (3.0) \times f_{cd} \times A_{co} \quad (3.42)$$

$$F_{Rdu} = (6.79 \times 10^4) \times 16.67 \times \sqrt{\frac{2.2 \times 10^5}{6.79 \times 10^4}} \leq (3.0) \times 16.67 \times (6.79 \times 10^4)$$

$$F_{Rdu} = 2037 \text{ KN} \leq 3396 \text{ KN}$$

Aşağıdaki eşitlikler EN 1993-1-8'e göre alınmıştır (Standardization 2005b).

$$f_{jd} = \beta_j \frac{F_{Rdu}}{A_{co}} \quad (3.43)$$

$$f_{jd} = \left(\frac{2}{3}\right) \times \frac{2037 \times 10^3}{6.79 \times 10^4} = 20 \text{ Mpa}$$

$$c = t_p \times \sqrt{\frac{f_y}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{M0}}} \quad (3.44)$$

$$c = 32 \times \sqrt{\frac{275}{3 \times 20 \times 1.0}} = 68.5 \text{ mm}$$

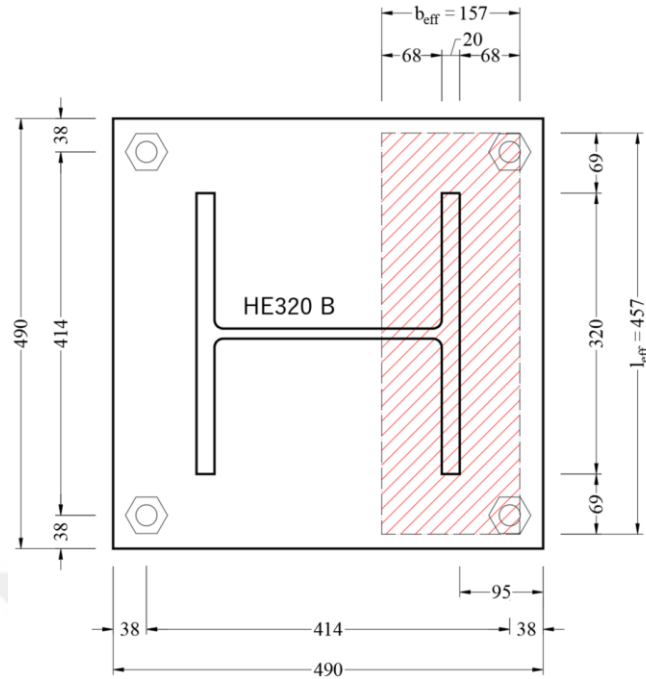
C'nin gerçek değeri varsayılan değerden biraz daha yüksektir, bu nedenle $c = 67 \text{ mm}$ kabul edilmektedir. Ayrıca varsayılan taban plakası kalınlığı 32mm doğrudur.

$$b_{eff} = 2(c) + t_f \quad (3.45)$$

$$b_{eff} = 2 \times 68.8 + 20.5 = 157.5 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = d_1 = d + 2(c)$$

$$l_{eff} = 320 + 2(68.5) = 457 \text{ mm}$$



Şekil 3.17. Taban plaka şematik detayları ve Basınç etkin alanı

$$F_{cRd} = b_{eff} \times l_{eff} \times f_{jd} \geq C \quad (3.46)$$

$$F_{cRd} = 157.5 \times 457 \times 20 = 1439550 \text{ N} = 1440 \text{ KN} > 946.6 \text{ KN}$$

$$M_{pljRd} = 0.25 \times l_{eff} \times t_p^2 \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.47)$$

$$M_{p1jRd} = 0.25 \times 457 \times 32^2 \times \frac{275}{1}$$

$$M_{p1jRd} = 32173000 \text{ N} \cdot \text{mm} = 32.17 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$m = \frac{h_a - h_c}{2} = \frac{424 - 300}{2} = 62 \text{ mm}$$

$$F_{TIRd} = \frac{M_{p^1 j R d}}{m} \geq T \quad (3.48)$$

$$F_{TIRd} = \frac{32.17 \times 10^3}{62} = 519 \text{ KN} > 174.6 \text{ KN}$$

3.2.3. Çekme Tasarımı

Aşağıdaki eşitlikler EN 1993-1-8'e göre alınmıştır (Standardization 2005b).

Ankraj çubuğunun çapı

$$N_{Ed} = \frac{T}{2} = \frac{174.6}{2} = 87.3 \text{ KN}$$

$$F_{tRd} = \frac{k_2 \times F_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \geq N_{Ed} \quad (3.49)$$

$$87.3 = \frac{0.9 \times 400 \times A_s}{1.25}$$

$$A_s = \frac{(87300 \times 1.25)}{(0.9 \times 400)} = 304 \text{ mm}^2$$

Sınıf 4.8 ve M24:

$$A_s = 353 \text{ mm}^2$$

$$148 \text{ KN} > 87.3 \text{ KN}$$

Çizelge 3.9. Minimum nihai çekme yükleri (Standardization 2013)

Thread ^a <i>d</i>	Nominal stress area <i>A_{s,nom}</i> ^b mm ²	Property class								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
		Minimum ultimate tensile load, <i>F_{t,min}</i> (<i>A_{s,nom}</i> × <i>R_{m,min}</i>), N								
M3	5,03	2 010	2 110	2 510	2 620	3 020	4 020	4 530	5 230	6 140
M3,5	6,78	2 710	2 850	3 390	3 530	4 070	5 420	6 100	7 050	8 270
M4	8,78	3 510	3 690	4 390	4 570	5 270	7 020	7 900	9 130	10 700
M5	14,2	5 680	5 960	7 100	7 380	8 520	11 350	12 800	14 800	17 300
M6	20,1	8 040	8 440	10 000	10 400	12 100	16 100	18 100	20 900	24 500
M7	28,9	11 600	12 100	14 400	15 000	17 300	23 100	26 000	30 100	35 300
M8	36,6	14 600 ^c	15 400	18 300 ^c	19 000	22 000	29 200 ^c	32 900	38 100 ^c	44 600
M10	58	23 200 ^c	24 400	29 000 ^c	30 200	34 800	46 400 ^c	52 200	60 300 ^c	70 800
M12	84,3	33 700	35 400	42 200	43 800	50 600	67 400 ^d	75 900	87 700	103 000
M14	115	46 000	48 300	57 500	59 800	69 000	92 000 ^d	104 000	120 000	140 000
M16	157	62 800	65 900	78 500	81 600	94 000	125 000 ^d	141 000	163 000	192 000
M18	192	76 800	80 600	96 000	99 800	115 000	159 000	—	200 000	234 000
M20	245	98 000	103 000	122 000	127 000	147 000	203 000	—	255 000	299 000
M22	303	121 000	127 000	152 000	158 000	182 000	252 000	—	315 000	370 000
M24	353	141 000	148 000	176 000	184 000	212 000	293 000	—	367 000	431 000
M27	459	184 000	193 000	230 000	239 000	275 000	381 000	—	477 000	560 000
M30	561	224 000	236 000	280 000	292 000	337 000	466 000	—	583 000	684 000
M33	694	278 000	292 000	347 000	361 000	416 000	576 000	—	722 000	847 000
M36	817	327 000	343 000	408 000	425 000	490 000	678 000	—	850 000	997 000
M39	976	390 000	410 000	488 000	508 000	586 000	810 000	—	1 020 000	1 200 000

^a Where no thread pitch is indicated in a thread designation, coarse pitch is specified.

^b To calculate *A_{s,nom}*, see 9.1.6.1.

^c For fasteners with thread tolerance 6az in accordance with ISO 965-4 subject to hot dip galvanizing, reduced values in accordance with ISO 10684:2004, Annex A, apply.

^d For structural bolting 70 000 N (for M12), 95 500 N (for M14) and 130 000 N (for M16).

3.2.4. Kesme Tasarımı

Aşağıdaki eşitlikler EN 1993-1-8'e göre alınmıştır (Standardization 2005b).

$$V_{Ed} = \frac{V}{4} = \frac{130.5}{4} = 32.6 \text{ KN}$$

3.2.4.1 Ankraj Çubuğun Kapasitesi

Tasarım yük kapasitesi aşağıdaki denklemlerden en az olanı olmaktadır.

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{0.6 \times F_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \quad (3.50)$$

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{0.6 \times 400 \times 353}{1.25} = 67780 \text{ N} = 67.78 \text{ KN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{ub} \times d_b \times t_p}{\gamma_{M2}} \quad (3.51)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{400 \times 24 \times 32}{1.25} = 245760 \text{ N} = 245.7 \text{ KN}$$

$$F_{2,vb,Rd} = 67.78 \text{ KN} \text{ (Kabuldür)}$$

Sürtünme Kapasitesinin Tasarımı

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \times P_u \quad (3.52)$$

$$F_{f,Rd} = 0.2 \times 772 = 154.4 \text{ KN}$$

$$F_{c,Rd} = F_{f,Rd} + nF_{vb,Rd} \geq N \quad (3.53)$$

$$F_{c,Rd} = 154.4 + (4 \times 67.78) = 425 \text{ KN} > N = 130.5 \text{ KN}$$

3.2.5. Taban Plakası kaynaklarının Tasarımı

Aşağıdaki eşitlikler EN 1993-1-8'e göre alınmıştır (Standardization 2005b).

$$f_{vw} \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \times \gamma_{M2}} = 0.54 \times f_u \quad (3.54)$$

$$\beta_w = 0.85 \text{ (S275)}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

$$F_{vw} = 0.54 \times f_u \times 0.7 \times \text{bacak uzunluğu}$$

$$\text{Bacak uzunluğu} = 6 \text{ mm}$$

$$F_{vw} = 0.54 \times 400 \times 0.7 \times 6 = 907 \text{ N/mm}$$

$$F_{w,Rd} = F_{vw,d} \times a$$

$$F_{w,Rd(flange)} = 0.907 \times ((2 \times 300) + (4 \times 144.25)) = 1067 \text{ KN}$$

$$F_{w,Rd(web)} = 0.907 \times (2 \times 320) = 580 \text{ KN}$$

$$F_{w,Rd} = F_{w,Rd(flange)} + F_{w,Rd(web)} \geq N$$

$$F_{w,Rd} = 1067 + 580 = 1647 \text{ KN} > 130.5 \text{ KN}$$

3.2.6. Tahkikleri

Aşağıdaki eşitlikler EN 1992-4'e göre alınmıştır (Standardization 2018).

3.2.6.1. Çekme Kuvveti Etkisiyle Meydana Gelen Hasarlar

Çelik Kopması

$$N_{Rk,s} = A_s \times f_{uk} \quad (3.55)$$

$$N_{Rk,s} = 353 \times 400 = 141200 \text{ N} = 141.2 \text{ KN}$$

$$\gamma_{Ms} = 1.25$$

$$N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = \frac{141.2}{1.25} = 112.96 \text{ KN} > N_{Ed} = 87.3 \text{ KN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}} = \frac{87.3}{112.96} = 0.77$$

Beton Kopması

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \times \psi_{s,N} \times \psi_{re,N} \times \psi_{ec,N} \times \psi_{M,N} \quad (3.56)$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \times \sqrt{f_{ck}} \times h_{ef}^{1.5} \quad (3.57)$$

$$k_1 = k_{urc,N} = 12.7 \text{ (Çatlaksız beton için)}$$

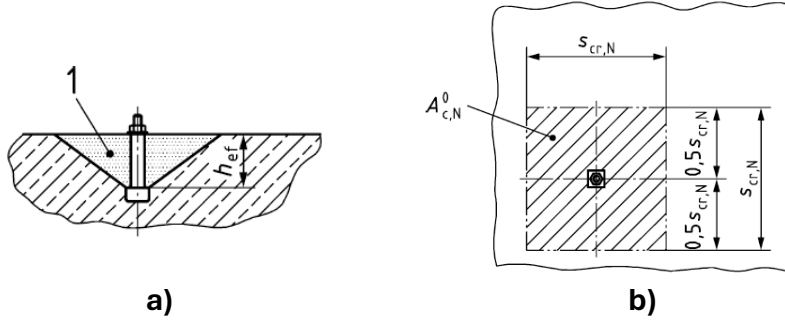
$$N_{Rk,c}^0 = 12.7 \times \sqrt{25} \times 305^{1.5} = 338240 \text{ N} = 338.24 \text{ KN}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \times s_{cr,N}$$

$$s_{cr,N} = 2c_{cr,N} = 3h_{ef}$$

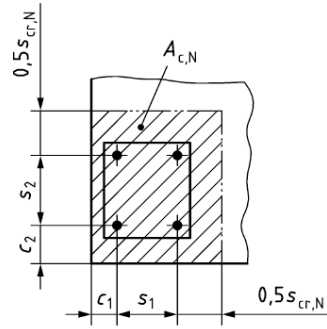
$$A_{c,N}^0 = 9h_{ef}^2 \quad (3.58)$$

$$A_{c,N}^0 = 9 \times (30.5)^2 = 8372 \text{ cm}^2$$



Şekil 3.18. $A_{c,N}^0$ Hesaplama; a) Yan kesit; b) Plan (Standardization 2018)

$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0.5s_{cr,N}) \times (c_2 + s_2 + 0.5s_{cr,N}) \quad (3.59)$$



Şekil 3.19. $A_{c,N}$ Hesaplama (Standardization 2018)

$$c_1 \text{ and } c_2 \leq c_{cr,N}$$

$$s_1 \text{ and } s_2 \leq s_{cr,N}$$

$$s_{cr,N} = 3h_{ef}$$

$$0.5s_{cr,N} = 45.75$$

$$A_{c,N} = (27.9 + 40.64 + 45.75) \times (27.9 + 40.64 + 45.75)$$

$$A_{c,N} = 13062 \text{ cm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \times \left(\frac{c}{c_{cr,N}} \right) \leq 1 \quad (3.60)$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \times \left(\frac{27.9}{45.75} \right) = 0.88 < 1$$

$$\psi_{re,N} = 1.0 \quad (h_{ef} \geq 100 \text{ mm})$$

$$\psi_{ec,N} = 1.0 \quad (\text{Her bir ankraja eşit yük uygulandığında})$$

$$\psi_{M,N} = 1.0 \quad (c < 1.5h_{ef})$$

$$N_{Rk,c} = 338.24 \times \frac{13062}{8372} \times 0.88 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 464.4 \text{ KN}$$

$$\gamma_{Mc} = 1.5 \quad (\text{Çatlaksız beton için})$$

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{464.4}{1.5} = 309.6 \text{ KN} > N_{Ed} = 87.3 \text{ KN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,c}} = \frac{87.3}{309.6} = 0.28$$

Çekme Etkisiyle Sıyrılması

$$N_{Rk,p} = k_2 \times A_h \times f_{ck} \quad (3.61)$$

$$A_h = \frac{\pi}{4} (d_h^2 - d_b^2) \quad (3.62)$$

$$d_h = 2d_b = 2 \times 24 = 48 \text{ mm}$$

$$A_h = \frac{\pi}{4} (48^2 - 24^2) = 1357 \text{ mm}^2$$

$$k_2 = 10.5 \quad (\text{Çatlaksız beton için})$$

$$N_{Rk,p} = 10.5 \times 1357 \times 25 = 356200 \text{ N} = 356.2 \text{ KN}$$

$$\gamma_{Mp} = 1.5$$

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}} = \frac{356.2}{1.5} = 237.5 \text{ KN} > N_{Ed} = 87.3 \text{ KN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,c}} = \frac{87.3}{237.5} = 0.37$$

Beton Hasarı

Aşağıdaki koşul yerine getirildiği nedeniyle tahkike gerek yoktur.

$$N_{Rk,sp} \quad (\text{Tahkike gerek yoktur})$$

$$c \geq 1.0 c_{cr,sp}$$

$$h \geq h_{\min}$$

$$h_{\min} = c_{cr,sp}$$

Betonda Yan Yüzey Kopması

$$N_{Rk,cb} = 1 \quad (c \leq 0.5 h_{ef}) \quad (\text{Tahkike gerek yoktur})$$

3.2.6.2. Kesme Kuvveti Etkisiyle Meydana Gelen Hasarlar

Kesme Etkisiyle Çelik Kopması

$$V_{Rk,s} = k_6 \times A_s \times f_{uk} \quad (3.63)$$

$$k_6 = 0.6 \left(f_{uk} \leq 500 \frac{N}{mm^2} \right)$$

$$V_{Rk,s} = 0.6 \times 353 \times 400 = 84720 \text{ N} = 84.72 \text{ KN}$$

$$\gamma_{Ms} = 1.25 \quad (\text{Çatlaksız beton için})$$

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = \frac{84.72}{1.25} = 67.77 \text{ KN} > V_{Ed} = 32.6 \text{ KN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}} = \frac{32.6}{67.8} = 0.48$$

Kesme Etkisiyle Betonun Kopması

$$V_{RK,c} = V_{RK,c}^0 \times \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \times \psi_{s,V} \times \psi_{h,V} \times \psi_{ec,V} \times \psi_{a,V} \times \psi_{re,V} \quad (3.64)$$

$$V_{RK,c}^0 = k_9 \times d_{nom}^\alpha \times l_f^\beta \times \sqrt{f_{ck}} \times c_1^{1.5} \quad (3.65)$$

$$k_9 = 2.4 \quad (\text{Çatlaksız beton için})$$

$$\alpha = 0.1 \times \left(\frac{l_f}{c_1} \right)^{0.5} \quad (3.66)$$

$$l_f = h_{ef} \leq 12 d_{nom} \quad (d_{nom} \leq 24 \text{ mm})$$

$$\alpha = 0.1 \times \left(\frac{288}{279.4} \right)^{0.5} = 0.1$$

$$\beta = 0.1 \times \left(\frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0.2} \quad (3.67)$$

$$\beta = 0.1 \times \left(\frac{24}{279.4} \right)^{0.2} = 0.061$$

$$V_{Rk,c}^0 = 2.4 \times 24^{0.1} \times 288^{0.061} \times \sqrt{25} \times 279.4^{1.5} = 108800 \text{ N} = 108.8 \text{ KN}$$

$$A_{c,v}^0 = 4.5 \times c_1^2 (h < 1.5c_1 \text{ and } s_2 \leq 3c_1) \quad (3.68)$$

$$A_{c,v}^0 = 4.5 \times (27.94)^2 = 3513 \text{ cm}^2$$

$$A_{c,V} = (2 \times 1.5c_1 + s_2) \times h \quad (3.69)$$

$$(h < 1.5c_1 \text{ and } s_2 \leq 3c_1)$$

$$A_{c,V} = ((2 \times 1.5 \times 27.94) + 40.64) \times 40.64 = 5058 \text{ cm}^2$$

$$\psi_{s,V} = 0.7 + 0.3 \times \left(\frac{c_2}{1.5c_1} \right) \leq 1 \quad (3.70)$$

$$\psi_{s,V} = 0.7 + 0.3 \times \left(\frac{27.94}{1.5 \times 27.94} \right) = 0.9 < 1$$

$$\psi_{h,V} = \left(\frac{1.5c_1}{h} \right)^{0.5} \geq 1 \quad (3.71)$$

$$\psi_{h,V} = \left(\frac{1.5 \times 27.94}{40.64} \right)^{0.5} = 1.02 > 1$$

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + 2 \times \frac{e_V}{(3c_1)}} \leq 1 \quad (3.72)$$

$$e_V = 0 \text{ (Her bir ankraja eşit yük uygulandığında)}$$

$$\psi_{ec,V} = 1.0$$

$$\psi_{\alpha,V} = 1.0$$

$$\psi_{re,V} = 1.0 \text{ (Çatlaksız beton için)}$$

$$V_{RK,c} = 108.8 \times \frac{5058}{3513} \times 0.9 \times 1.02 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 143.8 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{143.8}{1.5} = 95.87 \text{ KN} > V_{Ed} = 32.6 \text{ KN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = \frac{32.6}{95.87} = 0.34$$

Kesme Etkisinde Betonun Kaldırıcı

$$V_{Rk,cp} = k_8 \times N_{Rk,c} \quad (3.73)$$

$$k_8 = 2.0$$

$$V_{Rk,cp} = 2 \times 464.4 = 929 \text{ KN}$$

$$\gamma_{Mc} = 1.5$$

$$V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}} = \frac{929}{1.5} = 619 \text{ KN} > V_{Ed} = 32.6 \text{ KN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,cp}} = \frac{32.6}{619} = 0.053$$

3.2.7. Çekme ve Kesme Kuvveti Etkileşimi

Çekme ve kesme kuvvetinin maksimum mod hasarı değerine göre, her ikisinin toplamı birden küçük olmayacak şekilde etkileşim uygulanmaktadır.

Çizelge 3.10. Eurcode'nin çekme hasarları

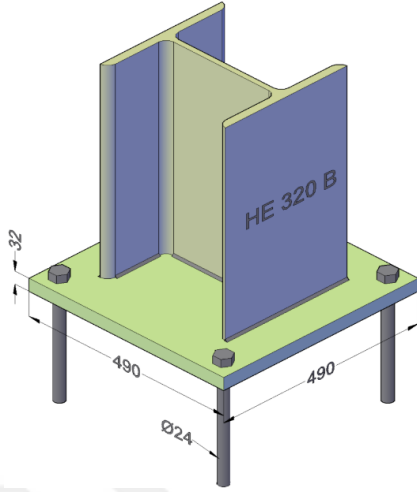
Hasar Modu	Kuvvet Kullanım oranı
Çelik kopması	0.77 (mak)
Beton kopması	0.28
Sıyrılma	0.37
Betonda Yan Yüzey Kopması	N.A.

Çizelge 3.11. Eurocode'nin kesme hasarları

Hasar Modu	Kuvvet Kullanım oranı
Çelik kopması	0.48 (mak)
Beton kopması	0.34
Betonun Kaldırıcı	0.053

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.74)$$

$$(0.77)^2 + (0.48)^2 = 0.82 < 1$$



Şekil 3.20. Eurocode standardına göre tasarlanmış taban plakası

3.3. Türk Standardı ile Taban Plakası Tasarımı

3.3.1. Malzeme Özellikleri ve Varsayımlar

Önceki hesaplamalara göre sabit ve hareketli yükler için yük ve moment birleşimleri aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

Yükler ve Moment Birleşimi:

Bu bölümde yük birleşimleri Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)'a göre yapılmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018).

$$P_u = 1.2G + 1.6Q$$

$$P_u = 1.2 \times 374 + 1.6 \times 178 = 734 \text{ KN}$$

$$V_u = 1.2G + 1.6Q$$

$$V_u = 1.2 \times 22.5 + 1.6 \times 66.7 = 134 \text{ KN}$$

$$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$$

$$M_u = 1.2 \times 88.5 + 1.6 \times 39.6 = 170 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Çizelge 3.12. Taban plakaya etki eden bileşik yükler ve momenti

Yükler	Bileşik Yükler
Düşey yük	734 KN
Yatay yük	134 KN
Moment	170 KN·m

Kolon profili ve detayları:

HE320 B (Standardization 2017)

$$h = 320 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 11.5 \text{ mm}$$

$$t_f = 20.5 \text{ mm}$$

$$A = 16100 \text{ mm}^2$$

Taban plakasının boyutu:

$$b_p = 500 \text{ mm}$$

$$h_p = 500 \text{ mm}$$

$$t_p = 32 \text{ mm} \text{ (Varsayılmıştır)}$$

Temel boyutları:

Aşağıdaki detaylar TS EN 1992-1-1'e göre alınmıştır (Bakanlığı 2004).

$$f_{ck} = 25 \text{ Mpa} \text{ (Beton)}$$

$$a_{cc} = 1.0$$

$$\gamma_c = 1.5$$

$$B = 1000 \text{ mm}$$

$$H = 1000 \text{ mm}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = 2$$

Ankraj çubuğunun detayları:

$$d_b = 24 \text{ mm} \text{ (Varsayılmıştır)}$$

$$h_a = 424 \text{ mm}$$

$$b_a = 424 \text{ mm}$$

$$e = 38 \text{ mm}$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2$$

Aşağıdaki detaylar Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'e göre alınmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018).

$$\beta_j = \frac{2}{3}$$

$$F_{ub} = 400 \text{ Mpa (Bulon)}$$

$$f_{yb} = 320 \text{ Mpa (Bulon)}$$

$$k_2 = 0.90$$

$$\gamma_{Mo} = 1.0$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

$$f_y = 275 \text{ Mpa (Taban plakası)}$$

3.3.2. Basınç Yüğü ve Moment Tasarımı

$$\sum M = 0 \quad T(z_t + z_c) + P \times z_c + M = 0 \quad (3.75)$$

$$\sum V = 0 \quad -T - P + C = 0 \quad (3.76)$$

$$z_t = \frac{h_a}{2} = \frac{424}{2} = 212 \text{ mm}$$

$$z_c = \frac{(h_c - t_f)}{2} = \frac{(320 - 20.5)}{2} = 150 \text{ mm}$$

$$T = \left(\frac{M}{z_t + z_c} \right) - p \times \left(\frac{z_c}{z_t + z_c} \right) \quad (3.77)$$

$$T = \left(\frac{170 \times 10^3}{212 + 150} \right) - 734 \times \left(\frac{150}{212 + 150} \right) = 165.5 \text{ KN}$$

$$C = P + T$$

$$C = 734 + 165.5 = 900 \text{ KN}$$

Aşağıdaki eşitlik TS EN 1992-1-1'e göre alınmıştır (Bakanlığı 2004).

$$f_{cd} = a_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.78)$$

$$f_{cd} = 1.0 \times \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ Mpa}$$

$$c = 65 \text{ mm} \text{ (Varsayılmıştır)}$$

$$b_1 = t_f + 2(c)$$

$$b_1 = 20.5 + 2(65) = 151 \text{ mm}$$

$$d_1 = d + 2(c)$$

$$d_1 = 320 + 2(65) = 450 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = b_1 \times d_1$$

$$A_{c0} = 151 \times 450 = 6.79 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$b_2 = b_1 + 2(105) < 3b_1$$

$$b_2 = 151 + 2(105) = 361 \text{ mm} < 453 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_1 + 2(80) < 3d_1$$

$$d_2 = 450 + 2(80) = 610 \text{ mm} < 1350 \text{ mm}$$

$$A_{c1} = b_2 \times d_2$$

$$A_{c1} = 361 \times 610 = 2.2 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

Aşağıdaki eşitlik TS EN 1992-1-1'e göre alınmıştır (Bakanlığı 2004).

$$F_{Rdu} = A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{co}}} \leq (3.0) \times f_{cd} \times A_{co} \quad (3.79)$$

$$F_{Rdu} = (6.79 \times 10^4) \times 16.67 \times \sqrt{\frac{2.2 \times 10^5}{6.79 \times 10^4}} \leq (3.0) \times 16.67 \times (6.79 \times 10^4)$$

$$F_{Rdu} = 2037 \text{ KN} \leq 3396 \text{ KN}$$

$$f_{jd} = \beta_j \frac{F_{Rdu}}{A_{co}} \quad (3.80)$$

$$f_{jd} = \left(\frac{2}{3}\right) \times \frac{2037 \times 10^3}{6.79 \times 10^4} = 20 \text{ Mpa}$$

$$c_f = t_p \times \sqrt{\frac{f_y}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{M0}}} \quad (3.81)$$

$$c_f = 32 \times \sqrt{\frac{275}{3 \times 20 \times 1.0}} = 68.5 \text{ mm}$$

C_f 'nın gerçek değeri varsayılan değerden biraz daha yüksektir, bu nedenle $c = 67 \text{ mm}$ kabul edilmektedir.

$$b_{eff} = 2(c_f) + t_f \quad (3.82)$$

$$b_{eff} = 2 \times 68.5 + 20.5 = 157.5 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = d + 2(c)$$

$$F_{cRd} = b_{eff} \times l_{eff} \times f_{jd} \geq C \quad (3.83)$$

$$F_{cRd} = 157.5 \times 457 \times 20 = 1439550 \text{ N} = 1440 \text{ KN} > 900 \text{ KN}$$

$$M_{pljRd} = 0.25 \times l_{eff} \times t_p^2 \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.84)$$

$$M_{pljRd} = 0.25 \times 457 \times 32^2 \times \frac{275}{1}$$

$$M_{pljRd} = 32173000 \text{ N} \cdot \text{mm} = 32.17 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$m = \frac{h_a - h_c}{2} = \frac{424 - 300}{2} = 62 \text{ mm}$$

$$F_{TlRd} = \frac{M_{pljRd}}{m} \geq T \quad (3.85)$$

$$F_{TlRd} = \frac{32.17 \times 10^3}{62} = 519 \text{ KN} > 165.6 \text{ KN}$$

3.3.3. Çekme Tasarımı

Ankraj çubuğun çapı

$$N_{Ed} = \frac{T}{2} = \frac{165.5}{2} = 82.8 \text{ KN}$$

$$F_{tRd} = \frac{k_2 \times F_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \geq N_{Ed} \quad (3.86)$$

$$82.8 = \frac{0.9 \times 400 \times A_s}{1.25}$$

$$A_s = \frac{(82800 \times 1.25)}{(0.9 \times 400)} = 287.5 \text{ mm}^2$$

Sınıf 4.8 ve M22:

$$A_s = 303 \text{ mm}^2$$

$$127 \text{ KN} > 82.8 \text{ KN}$$

Çizelge 3.13. Minimum nihai çekme yükleri (Standardization 2013)

Thread ^a <i>d</i>	Nominal stress area <i>A_{s,nom}</i> ^b mm ²	Property class								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
		Minimum ultimate tensile load, <i>F_{m,min}</i> (<i>A_{s,nom}</i> × <i>R_{m,min}</i>), N								
M3	5,03	2 010	2 110	2 510	2 620	3 020	4 020	4 530	5 230	6 140
M3,5	6,78	2 710	2 850	3 390	3 530	4 070	5 420	6 100	7 050	8 270
M4	8,78	3 510	3 690	4 390	4 570	5 270	7 020	7 900	9 130	10 700
M5	14,2	5 680	5 960	7 100	7 380	8 520	11 350	12 800	14 800	17 300
M6	20,1	8 040	8 440	10 000	10 400	12 100	16 100	18 100	20 900	24 500
M7	28,9	11 600	12 100	14 400	15 000	17 300	23 100	26 000	30 100	35 300
M8	36,6	14 600 ^c	15 400	18 300 ^c	19 000	22 000	29 200 ^c	32 900	38 100 ^c	44 600
M10	58	23 200 ^c	24 400	29 000 ^c	30 200	34 800	46 400 ^c	52 200	60 300 ^c	70 800
M12	84,3	33 700	35 400	42 200	43 800	50 600	67 400 ^d	75 900	87 700	103 000
M14	115	46 000	48 300	57 500	59 800	69 000	92 000 ^d	104 000	120 000	140 000
M16	157	62 800	65 900	78 500	81 600	94 000	125 000 ^d	141 000	163 000	192 000
M18	192	76 800	80 600	96 000	99 800	115 000	159 000	—	200 000	234 000
M20	245	98 000	103 000	122 000	127 000	147 000	203 000	—	255 000	299 000
M22	303	121 000	127 000	152 000	158 000	182 000	252 000	—	315 000	370 000
M24	353	141 000	148 000	176 000	184 000	212 000	293 000	—	367 000	431 000
M27	459	184 000	193 000	230 000	239 000	275 000	381 000	—	477 000	560 000
M30	561	224 000	236 000	280 000	292 000	337 000	466 000	—	583 000	684 000
M33	694	278 000	292 000	347 000	361 000	416 000	576 000	—	722 000	847 000
M36	817	327 000	343 000	408 000	425 000	490 000	678 000	—	850 000	997 000
M39	976	390 000	410 000	488 000	508 000	586 000	810 000	—	1 020 000	1 200 000

^a Where no thread pitch is indicated in a thread designation, coarse pitch is specified.

^b To calculate *A_{s,nom}*, see 9.1.6.1.

^c For fasteners with thread tolerance 6az in accordance with ISO 965-4 subject to hot dip galvanizing, reduced values in accordance with ISO 10684:2004, Annex A, apply.

^d For structural bolting 70 000 N (for M12), 95 500 N (for M14) and 130 000 N (for M16).

3.3.4. Kesme Tasarımı

$$V_{Ed} = \frac{V}{4} = \frac{134}{4} = 33.5 \text{ KN}$$

Ankraj Çubuğun Kapasitesi

Tasarım yük kapasitesi aşağıdaki denklemlerden en az olanı olmaktadır.

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{0.6 \times F_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \quad (3.87)$$

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{0.6 \times 400 \times 303}{1.25} = 58170 \text{ N} = 58.17 \text{ KN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{ub} \times d_b \times t_p}{\gamma_{M2}} \quad (3.88)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{400 \times 22 \times 32}{1.25} = 225300 \text{ N} = 225.3 \text{ KN}$$

$$F_{2,vb,Rd} = 58.17 \text{ KN} \text{ (Kabuldür)}$$

Sürtünme Kapasitesi Tasarımı

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \times P_u \quad (3.89)$$

$$F_{f,Rd} = 0.2 \times 734 = 146.8 \text{ KN}$$

$$F_{c,Rd} = F_{f,Rd} + nF_{vb,Rd} \geq N \quad (3.90)$$

$$F_{c,Rd} = 146.8 + (4 \times 58.17) = 380 \text{ KN} > N = 134 \text{ KN}$$

3.3.5. Taban Plakası Kaynaklarının Tasarımı

Aşağıdaki detaylar Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'e göre alınmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018).

$$f_{vw,d} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \times \gamma_{M2}} = 0.54 \times f_u \quad (3.91)$$

$$F_{vw} = 0.54 \times f_u \times 0.7 \times \text{bacak uzunluğu}$$

$$\text{Bacak uzunluğu} = 6 \text{ mm}$$

$$F_{vw} = 0.54 \times 400 \times 0.7 \times 6 = 907 \text{ N/mm}$$

$$F_{w,Rd} = F_{vw,d} \times a$$

$$F_{w,Rd(flange)} = 0.907 \times ((2 \times 300) + (4 \times 144.25)) = 1067 \text{ KN}$$

$$F_{w,Rd(web)} = 0.907 \times (2 \times 320) = 580 \text{ KN}$$

$$F_{w,Rd} = F_{w,Rd(flange)} + F_{w,Rd(web)} \geq N$$

$$F_{w,Rd} = 1067 + 580 = 1647 \text{ KN} > 130.5 \text{ KN}$$

3.3.6. Tahkikleri

Aşağıdaki eşitlikler TS EN 1992-4'e göre alınmıştır (Enstitüsü 2020).

Çelik Kopması

$$N_{Rk,s} = A_s \times f_{uk} \quad (3.92)$$

$$N_{Rk,s} = 303 \times 400 = 141200 \text{ N} = 141.2 \text{ KN}$$

$$\gamma_{Ms} = 1.25$$

$$N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = \frac{141.2}{1.25} = 112.96 \text{ KN} > N_{Ed} = 82.8 \text{ KN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}} = \frac{82.8}{112.96} = 0.73$$

Beton Kopması

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \times \psi_{s,N} \times \psi_{re,N} \times \psi_{ec,N} \times \psi_{M,N} \quad (3.93)$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \times \sqrt{f_{ck}} \times h_{ef}^{1.5} \quad (3.94)$$

$$k_1 = k_{urc,N} = 12.7 \text{ (Çatlaksız beton için)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = 12.7 \times \sqrt{25} \times 305^{1.5} = 338240 \text{ N} = 338.24 \text{ KN}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \times s_{cr,N} \quad (3.95)$$

$$s_{cr,N} = 2c_{cr,N} = 3h_{ef}$$

$$A_{c,N}^0 = 9h_{ef}^2$$

$$A_{c,N}^0 = 9 \times (30.5)^2 = 8372 \text{ cm}^2$$

$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0.5s_{cr,N}) \times (c_2 + s_2 + 0.5s_{cr,N}) \quad (3.96)$$

$$c_1 \text{ and } c_2 \leq c_{cr,N} \quad s_1 \text{ and } s_2 \leq s_{cr,N}$$

$$s_{cr,N} = 3h_{ef}$$

$$0.5s_{cr,N} = 45.75$$

$$A_{c,N} = (27.9 + 40.64 + 45.75) \times (27.9 + 40.64 + 45.75)$$

$$A_{c,N} = 13062 \text{ cm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \times \left(\frac{c}{c_{cr,N}} \right) \leq 1 \quad (3.97)$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \times \left(\frac{27.9}{45.75} \right) = 0.88 < 1$$

$$\psi_{re,N} = 1.0 \quad (h_{ef} \geq 100 \text{ mm})$$

$$\psi_{ec,N} = 1.0 \text{ (Her bir ankraja eşit yük uygulandığında)}$$

$$\psi_{M,N} = 1.0 \quad (c < 1.5h_{ef})$$

$$N_{Rk,c} = 338.24 \times \frac{13062}{8372} \times 0.88 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 464.4 \text{ KN}$$

$$\gamma_{Mc} = 1.5 \text{ (Çatlaksız beton için)}$$

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{464.4}{1.5} = 309.6 \text{ KN} > N_{Ed} = 82.8 \text{ KN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,c}} = \frac{82.8}{309.6} = 0.27$$

Çekme Etkisiyle Sıyırılması

$$N_{Rk,p} = k_2 \times A_h \times f_{ck} \quad (3.98)$$

$$A_h = \frac{\pi}{4} (d_h^2 - d_b^2) \quad (3.99)$$

$$d_h = 2d_b = 2 \times 22 = 44 \text{ mm}$$

$$A_h = \frac{\pi}{4} (44^2 - 22^2) = 1140 \text{ mm}^2$$

$$k_2 = 10.5 \text{ (Çatlaksız beton için)}$$

$$N_{Rk,p} = 10.5 \times 1140 \times 25 = 299250 \text{ N} = 299.25 \text{ KN}$$

$$\gamma_{Mp} = 1.5$$

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}} = \frac{299.25}{1.5} = 199.5 \text{ KN} > N_{Ed} = 82.8 \text{ KN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,c}} = \frac{82.8}{199.5} = 0.41$$

Beton Hasarı

Aşağıdaki koşul yerine getirildiği nedeniyle tahkike gerek yoktur.

$$N_{Rk,sp} \text{ (Tahkike gerek yoktur)}$$

$$c \geq 1.0 c_{cr,sp}$$

$$h \geq h_{\min}$$

$$h_{\min} = c_{cr,sp}$$

Betonda Yan Yüzey Kopma Hasarı

$$N_{Rk,cb} = 0 \quad c \leq 0.5 h_{ef} \text{ (Tahkike gerek yoktur)}$$

Kesme Kuvveti etkisiyle Meydana Gelen Hasarlar

Kesme Etkisiyle Çelik Kopması

$$V_{Rk,s} = k_6 \times A_s \times f_{uk} \quad (3.100)$$

$$k_6 = 0.6 \left(f_{uk} \leq 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$V_{Rk,s} = 0.6 \times 303 \times 400 = 72720 \text{ N} = 72.72 \text{ KN}$$

$$\gamma_{Ms} = 1.25 \text{ (Çatlaksız beton için)}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = \frac{72.72}{1.25} = 58.2 \text{ KN} > V_{Ed} = 33.5 \text{ KN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}} = \frac{33.5}{58.2} = 0.58$$

Kesme Etkisiyle Beton Kopması

$$V_{RK,c} = V_{RK,c}^0 \times \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \times \psi_{s,V} \times \psi_{h,V} \times \psi_{ec,V} \times \psi_{a,V} \times \psi_{re,V} \quad (3.101)$$

$$V_{RK,c}^0 = k_9 \times d_{nom}^\alpha \times l_f^\beta \times \sqrt{f_{ck}} \times c_1^{1.5} \quad (3.102)$$

$$k_9 = 2.4 \text{ (Çatlaksız beton için)}$$

$$\alpha = 0.1 \times \left(\frac{l_f}{c_1} \right)^{0.5} \quad (3.103)$$

$$l_f = h_{ef} \leq 12d_{nom} \text{ (} d_{nom} \leq 24 \text{ mm)}$$

$$d_{nom} = 22 \text{ mm}$$

$$l_f = 12 \times 22 = 264 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0.1 \times \left(\frac{264}{279.4} \right)^{0.5} = 0.097$$

$$\beta = 0.1 \times \left(\frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0.2} \quad (3.104)$$

$$\beta = 0.1 \times \left(\frac{22}{279.4} \right)^{0.2} = 0.06$$

$$V_{RK,c}^0 = 2.4 \times 22^{0.097} \times 264^{0.06} \times \sqrt{25} \times 279.4^{1.5} = 105690 \text{ N} = 105.69 \text{ kN}$$

$$A_{c,v}^0 = 4.5 \times c_1^2 \text{ (} h < 1.5c_1 \text{ and } s_2 \leq 3c_1 \text{)} \quad (3.105)$$

$$A_{c,v}^0 = 4.5 \times (27.94)^2 = 3513 \text{ cm}^2$$

$$A_{c,V} = (2 \times 1.5c_1 + s_2) \times h \quad (3.106)$$

$$(h < 1.5c_1 \text{ and } s_2 \leq 3c_1)$$

$$A_{c,V} = ((2 \times 1.5 \times 27.94) + 40.64) \times 40.64 = 5058 \text{ cm}^2$$

$$\psi_{s,V} = 0.7 + 0.3 \times \left(\frac{c_2}{1.5c_1} \right) \leq 1 \quad (3.107)$$

$$\psi_{s,V} = 0.7 + 0.3 \times \left(\frac{27.94}{1.5 \times 27.94} \right) = 0.9 < 1$$

$$\psi_{h,V} = \left(\frac{1.5c_1}{h} \right)^{0.5} \geq 1 \quad (3.108)$$

$$\psi_{h,V} = \left(\frac{1.5 \times 27.94}{40.64} \right)^{0.5} = 1.02 > 1$$

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + 2 \times \frac{e_V}{(3c_1)}} \leq 1 \quad (3.109)$$

$e_V = 0$ (Her bir ankraja eşit yük uygulandığında)

$$\psi_{ec,V} = 1.0$$

$$\psi_{\alpha,V} = 1.0$$

$$\psi_{re,V} = 1.0 \text{ (Çatlaksız beton için)}$$

$$V_{Rk,c} = 105.69 \times \frac{5058}{3513} \times 0.9 \times 1.02 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 139.7 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{139.7}{1.5} = 93.2 \text{ KN} > V_{Ed} = 33.5 \text{ KN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = \frac{33.5}{93.2} = 0.36$$

Kesme Etkisiyle Betonun Kaldırıcı

$$V_{Rk,cp} = k_8 \times N_{Rk,c} \quad (3.110)$$

$$k_8 = 2.0$$

$$V_{Rk,cp} = 2 \times 464.4 = 929 \text{ KN}$$

$$\gamma_{Mc} = 1.5$$

$$V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}} = \frac{929}{1.5} = 619 \text{ KN} > V_{Ed} = 32.6 \text{ KN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,cp}} = \frac{33.5}{619} = 0.054$$

3.3.7. Çekme ve Kesme Kuvveti Etkileşimi

Çekme ve kesme kuvvetinin maksimum mod hasarı değerine göre, her ikisinin toplamı birden küçük olacak şekilde etkileşim uygulanmaktadır.

Çizelge 3.14. Türk Standardının çekme hasarları

Hasar Modu	Kuvvet Kullanım oranı
Çelik kopması	0.73 (mak)
Beton kopması	0.27
Sıyrılma	0.41
Betonda Yan Yüzey Kopması	N.A.

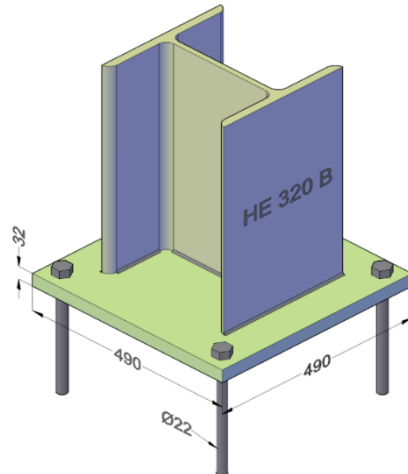
Çizelge 3.15. Türk Standardının kesme hasarları

Hasar Modu	Kuvvet Kullanım oranı
Çelik kopması	0.58 (mak)
Beton kopması	0.36
Betonun Kaldırıcı	0.054

Aşağıdaki eşitlik Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'e göre alınmıştır (Bakanlığı 2018).

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}} \right)^{5/3} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}} \right)^{5/3} \leq 1 \quad (3.111)$$

$$(0.73)^{5/3} + (0.58)^{5/3} = 0.85 < 1$$



Şekil 3.21. Türk standardına göre tasarlanmış taban plakası

4. BULGULAR

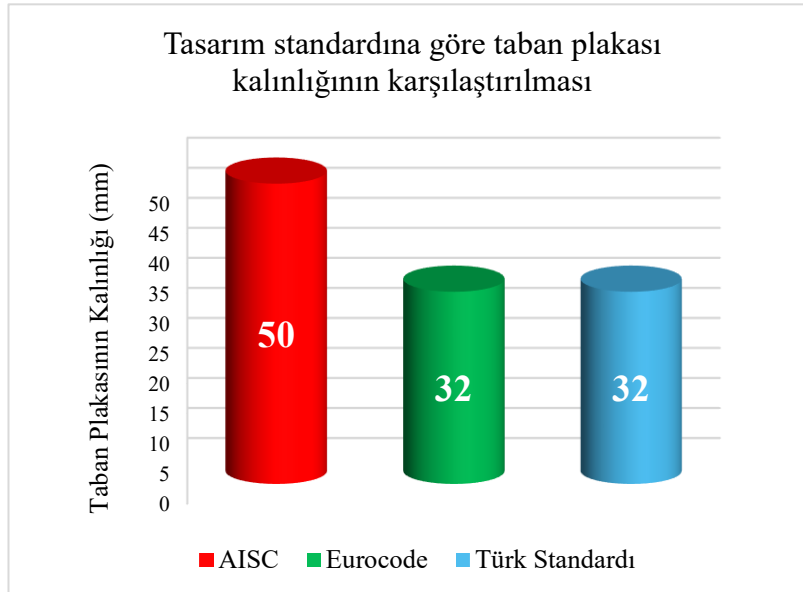
Bu tez çalışması kapsamında, kolon taban plakası tasarımına yönelik Amerikan (AISC), Avrupa (Eurocode) ve Türk Standartları, belirlenen aynı yükler, malzeme özellikleri ve temel boyutları altında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan sayısal hesaplamalar sonucunda, üç farklı standardın tasarım yaklaşımları arasındaki temel farkları ortaya koyan somut bulgulara ulaşılmıştır. Bu bulgular, taban plakası kalınlığı ve ankraj çubuğu çapı olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir.

Taban Plakası Kalınlığı Açısından Elde Edilen Bulgular:

Çelik kolon taban plakası tasarımının karşılaştırılması, eksenel ve yatay yükler, temel boyutu, beton dayanımı, bağlantı rijitliği, ankraj çubuklarının gömülmesi ve kolon kesiti dahil olmak üzere tüm yönetmelik parametreleri sabit tutularak gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde, üç standardın da güvenli tasarıma imkân tanıdığı ancak malzeme kullanımı açısından farklı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

- Amerikan (AISC) standardına göre yapılan hesaplamalar, gerekli minimum taban plakası kalınlığının 50 mm olduğunu ortaya koymuştur.
- Buna karşılık, Avrupa (Eurocode) ve Türk Standartları ile yapılan aynı koşullardaki tasarımlarda ise bu değerin 32 mm olarak hesaplandığı görülmüştür.

Bu durum, AISC standardının, Eurocode ve Türk Standartlarına kıyasla daha güvenli bir yaklaşım benimsediğini ve daha kalın bir plaka tasarımına yol açtığını göstermektedir. Şekil 4.1’de bu karşılaştırma grafiksel olarak sunulmuştur.



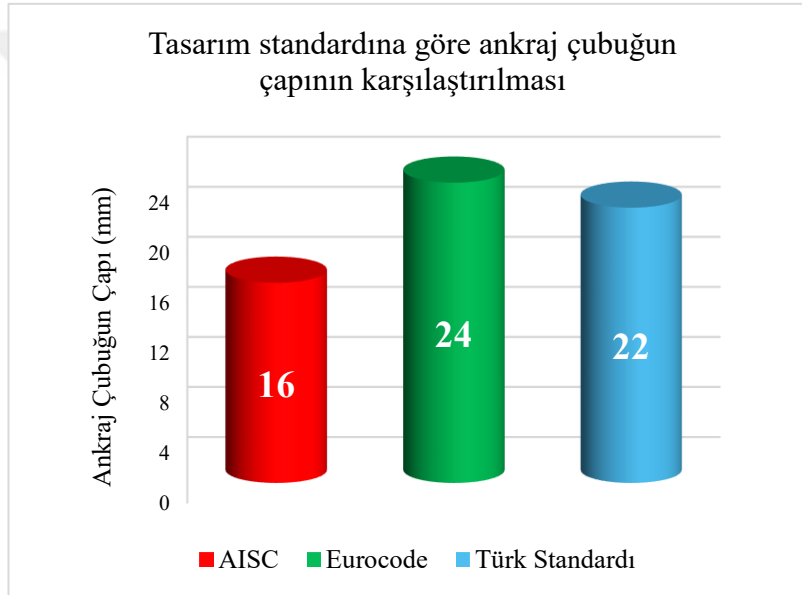
Şekil 4.1. Tasarım standardına göre taban plakası kalınlığının karşılaştırılması

Ankraj Çubuğu Çapı Açısından Elde Edilen Bulgular:

Tasarımda önemli bir diğer parametre olan ankraj çubuğu çaplarında ise standartlar arasında farklı bir eğilim gözlemlenmiştir.

- AISC standardı için gerekli ankraj çubuğu çapı 16 mm olarak yeterli bulunmuştur.
- Türk Standardı, aynı tasarım için 22 mm çapında ankraj çubuğu kullanımını öngörmüştür.
- Eurocode ise 24 mm ile en büyük ankraj çubuğu çapını gerektirmiştir.

Bu sonuç, plaka kalınlığı bulgusunun aksine, ankraj çubuğu tasarımında en büyük çapı Eurocode'un, en küçük çapı ise AISC'nin gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Standartlara göre değişen ankraj çubuğu çapları Şekil 4.2'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.2. Ankraj çubuğu çapının tasarım standardına göre karşılaştırılması

Özetle, yapılan karşılaştırmalı analizler; AISC'nin daha kalın bir taban plakası fakat daha küçük çaplı bir ankraj çubuğu ile tasarıma olanak tanırken, Eurocode ve Türk Standartlarının daha ince bir taban plakası ancak daha kalın ankraj çubukları gerektiren bir tasarım yöntemine sahip olduğunu net bir şekilde ortaya koymuştur.

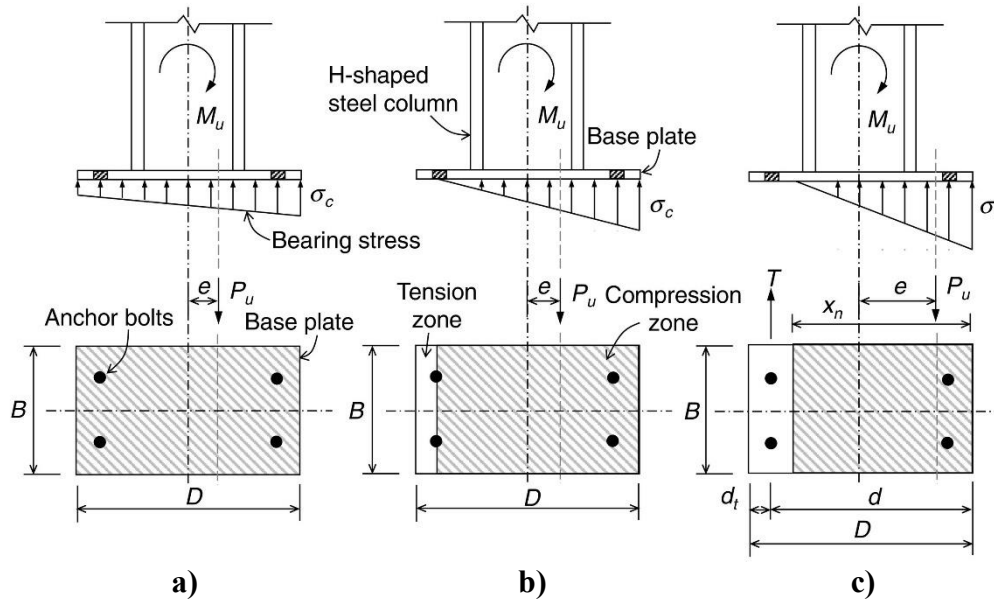
5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, Amerikan (AISC), Avrupa (Eurocode) ve Türk Standartları kullanılarak yapılan kolon taban plakası tasarımlarını ortaya koymuştur. Bulgular, AISC standardının daha kalın bir taban plakası (50 mm) fakat daha ince ankraj çubukları (16 mm) gerektirdiğini; Eurocode ve Türk Standartlarının ise daha ince bir taban plakası (32 mm) ancak daha kalın ankraj çubukları (sırasıyla 24 mm ve 22 mm) ile tasarıma imkân tanıdığını göstermiştir. Bu farklılıklar, standartlardan birinin "doğru" veya "yanlış" olduğu anlamına gelmemektedir. Aksine, bu durum, her bir standardın temelinde yatan farklı mühendislik yöntemleri, güvenlik yaklaşımları ve yük aktarım mekanizması varsayımlarından kaynaklanmaktadır.

Plaka Kalınlığındaki Farklılığın Temel Nedeni: Rijit Plaka ve Etkin Alan Varsayımları

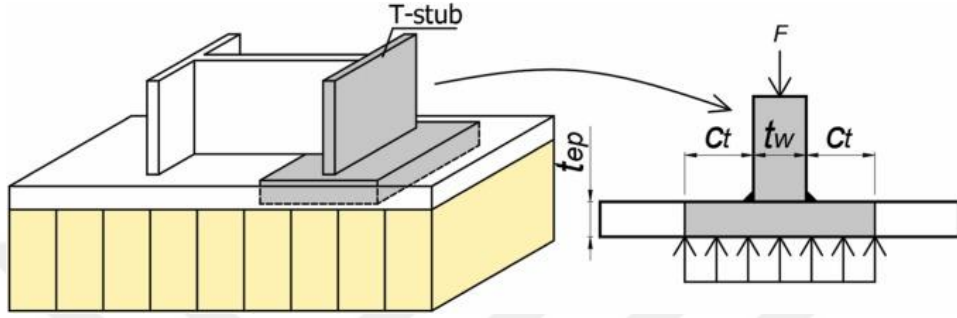
Taban plakası kalınlığındaki en belirgin fark, standartların plakanın davranışını modelleme biçiminden kaynaklanmaktadır.

AISC yaklaşımı, taban plakasını büyük ölçüde rijit bir eleman olarak kabul etme eğilimindedir. Plakanın, kolon yüzeyinden dışarı doğru bir konsol gibi çalıştığını varsayar. Bu modelde, basınç gerilmeleri plakanın daha geniş bir alanına yayılır (Şekil 5.1). Bu geniş konsol mesafesi üzerinde oluşan eğilme momentini karşılayabilmek ve plakanın deformasyonunu sınırlı tutmak için, daha ataletli, yani daha kalın bir plaka kesitine ihtiyaç duyulur. Bu yaklaşım, plakanın kendisi için daha fazla güvenli bir tasarıma yol açar.



Şekil 5.1. AISC'de beton temeldeki gerilme dağılımı; a) Konsantrik; b) Küçük eksantriklik; c) Büyük eksantriklik (Lim vd. 2017)

Eurocode ve Türk Standardı yaklaşımı ise, "T-stub" modeline dayanan etkin alan konseptini benimser (Şekil 5.2). Bu yöntem, plakanın mükemmel rijit olmadığını ve esneyebileceğini kabul eder. Bu nedenle basınç kuvvetinin kolon kesitine daha yakın, daha küçük ve daha konsantre bir alanda toplandığını varsayar. Eğilme momentinin etkidiği konsol kolu daha kısa olduğu için, bu momenti karşılamak üzere gereken plaka kalınlığı daha az olur. Yani bu standartlar, plakanın esnekliğinden faydalanarak daha malzeme-verimli, daha ince bir plaka tasarımına olanak tanır.



Şekil 5.2. T-stub modeli ve basınç etkin alanı (Rebouças vd. 2024)

Ankraj Çubuğu Çaplarındaki Zıt Eğilimin Mantiğı: Kuvvet Dengesinin Sonuçları

Plaka kalınlığında gözlemlenen durum, ankraj çubuğu çaplarında tam tersine döner. Bunun nedeni, moment dengesi prensibidir.

Eurocode ve Türk Standartlarında, basınç kuvveti daha küçük bir alana yoğunlaştığı için, moment dengesini (Moment = Kuvvet × Kuvvet Kolu) sağlamak adına karşı taraftaki çekme kuvvetinin (T) daha büyük olması gerekir. Tezdeki hesaplamalarda da bu durum net bir şekilde görülmektedir (Eurocode için $T=174.6$ kN, Türk Standardı için $T=165.5$ kN, AISC için $T=58.48$ kN). Ankraj çubuklarına gelen bu yüksek çekme kuvvetini karşılayabilmek için doğal olarak daha büyük çaplı ankraj çubuklarına ihtiyaç duyulur.

AISC'de ise rijit plaka varsayımıyla basınç alanı genişlediği için, aynı dış momenti dengeleyecek olan çekme kuvveti (T) daha düşük olur. Daha düşük bir çekme kuvveti de daha küçük çaplı ankraj çubukları ile güvenle karşılanabilir.

Güvenlik ve Yük Faktörlerinin Rolü

Standartlar arasındaki farkı yaratan bir diğer etmen de güvenlik faktörleridir. AISC, yükleri 1.2 (sabit) ve 1.6 (hareketli) katsayılarıyla artırırken, Eurocode 1.35 (sabit) ve 1.5 (hareketli) kullanır. Bu durum, sabit yüklerde Eurocode'u, hareketli yüklerde ise AISC'yi biraz fazla güvenli yapar. Ancak asıl fark, dayanım tarafındaki güvenlik faktörlerinden (AISC'de ϕ faktörleri, Eurocode'da γ faktörleri) ve bu faktörlerin farklı hasar modlarına (çelik akması, beton kopması, sıyrılma vb.) uygulanış şekline kaynaklanır. Bu karmaşık etkileşim, nihai eleman boyutları arasındaki farklara katkıda bulunur.

Mühendislik ve Ekonomi Açısından Sonuçlar

Bu tartışma, mühendisin bir seçim yapmasını gerektirir:

AISC Yolu: Daha kalın bir plaka kullanarak daha rijit bir bağlantı elde edilir. Bu durum, özellikle sehim ve deformasyon kontrolünün kritik olduğu durumlarda avantaj sağlayabilir. Malzeme maliyeti plaka çeliğinde artarken, ankraj çubuklarında azalır.

Eurocode/TS Yolu: Daha optimize ve malzeme-verimli bir plaka tasarımı sunar. Ancak bu verimlilik, yükü taşıması için daha güçlü ve kalın ankraj çubuklarına güvenilerek elde edilir. Maliyet, plaka çeliğinden ankraj çeliğine kayar.

Sonuç olarak, her üç standardın da güvenli ve geçerli mühendislik çözümleri sunduğu açıktır. Aralarındaki farklar, temel varsayımların ve tasarım yöntemlerinin bir yansımasıdır. Bir projedeki öncelikler (minimum maliyet, maksimum rijitlik, malzeme temini, imalat kolaylığı) hangi standardın o proje için daha "uygun" bir çözüm sunacağını belirleyecektir. Bu tez, bu farklılıkları sayısal olarak ortaya koyarak mühendislere bilinçli bir karar verme imkânı sunmaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, çelik kolon taban plakası tasarımlarının Amerikan (AISC), Avrupa (Eurocode) ve Türk Standartları (TS) arasındaki farklılıkları, özdeş yük ve sınır koşulları altında incelenmiştir. Yapılan kapsamlı hesaplamalar sonucunda, her bir standardın kendine özgü tasarım yöntemini yansıtan net ve karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşılmıştır. Elde edilen temel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Taban Plakası Kalınlığı: Çalışmanın en temel bulgularından biri, standartların gerektirdiği taban plakası kalınlıkları arasındaki belirgin farktır. AISC standardı, yapılan hesaplamalar neticesinde 50 mm'lik bir minimum plaka kalınlığı gerektirmiştir. Buna karşılık, Eurocode ve Türk Standartları için aynı koşullar altında hesaplanan minimum plaka kalınlığı 32 mm olarak bulunmuştur. Bu sonuç, AISC'nin, plaka tasarımında Eurocode ve Türk Standartlarına kıyasla yaklaşık %36 daha güvenli bir yaklaşım sergilediğini ve plakanın rijitliğini ön planda tutan bir tasarım felsefesine sahip olduğunu göstermektedir.

2. Ankraj Çubuğu Çapı: Plaka kalınlığında gözlemlenen durumun aksine, ankraj çubuğu çaplarında tam tersi bir eğilim tespit edilmiştir. Momentten kaynaklanan çekme kuvvetlerini karşılamak üzere Eurocode, 24 mm ile en büyük ankraj çubuğu çapını gerektirmiştir. Türk Standardı, 22 mm çapında ankraj çubuğu kullanımını öngörmüştür. AISC ise 16 mm ile en küçük ankraj çubuğu çapını yeterli bulmuştur. Bu bulgu, standartların moment aktarımını ve oluşan kuvvet çifti (basınç-çekme) dengesini farklı mekanizmalarla ele aldığı açık bir göstergesidir.

3. Tasarım Yöntemi ve Parametreler Arası İlişki: Bu iki temel bulgu bir arada değerlendirildiğinde, standartlar arasında bir tasarım farklılığının olduğu ortaya çıkmaktadır. AISC, daha kalın ve dolayısıyla daha rijit bir plaka kullanarak ankraj çubukları üzerindeki çekme gerilmelerini azaltmayı tercih etmektedir. Eurocode ve Türk Standartları ise, daha ince ve malzeme açısından daha ekonomik bir plaka tasarımına izin vermekte, ancak bunun karşılığında oluşan daha büyük çekme kuvvetlerini karşılamak için daha kalın ve güçlü ankraj çubukları gerektirmektedir.

Nihai olarak bu tezde, üç yönetmeliğin de güvenli tasarımlar sunduğunu, ancak mühendislik ve ekonomi açısından farklı yollar izlediğini sayısal verilerle kanıtlamıştır. Sonuç olarak tasarımcı mühendis, projesinin önceliklerine (malzeme maliyeti, imalat kolaylığı, bağlantı rijitliği vb.) göre hangi standardın daha avantajlı olacağına dair karar vermesi gerekmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Al-Sharmootee, M. Lavasani, S. H. H. Hosseini, M. H. and Ali, M. 2023. The Cyclic Performance of Column Base Plate Connections Using Different Types of Stiffeners. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 51: 449-460.
- Asif Bin Kabir, M. Sajid Hasan, A. and Muntasir Billah, A. H. M. 2021. Failure mode identification of column base plate connection using data-driven machine learning techniques. *Engineering Structures*, 240: 112389.
- Bakanlığı, B. v. İ. 2004. TS EN 1992-1-1:2004 – Eurocode 2: Beton yapıların tasarımına ilişkin kurallar – Bölüm 1-1: Genel kurallar ve yapılar için kurallar (TS EN 1992-1-1:2004). *T. S. Enstitüsü*.
- Bakanlığı, Ç. v. Ş. 2018. Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelik (30474). *Resmî Gazete*.
- Bui, T. T. Limam, A. Nana, W. S. A. Arrieta, B. and Roure, T. 2018. Cast-in-place Headed Anchor Groups Under Shear: Experimental and Numerical Modelling. *Structures*, 14: 178-196.
- Committee, A. 2008. Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary. *American Concrete Institute*.
- Construction, A. I. o. S. 2006. Steel Construction Manual. *American Institute of Steel Construction*.
- Cui, Y. Liu, H.-W. and Li, H. 2015. Shear Behavior of Exposed Column Base Plate Connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 114: 349–361.
- Da Silva Seco, L. Couchaux, M. Hjiat, M. and Costa Neves, L. 2021. Column base plates under biaxial bending moment and axial force. *Engineering Structures*, 249: 112893.
- de Macedo, R. S. and de Macedo, L. F. S. 2017. 03.18: Anchor bolt tensile load distribution: Effects of the column base-plate design: Wide flange column bases – loading on additional line of bolts. *ce/papers*, 1(2-3): 649-658.
- Ebadi, P. Soleimani, M. and Beheshti, M. 2018. Design methodology of base plates with column eccentricity in two directions under bidirectional moment. *Civil Engineering Journal*, 4(11): 2773-2786.
- Enstitüsü, T. S. 2020. TS EN 1992-4: Eurocode 2 – Beton yapıların tasarımı – Bölüm 4: Betonda kullanılan sabitleme tertibatlarının tasarımı. *Türk Standardları Enstitüsü*.
- Fisher, J. and Kloiber, L. 2006. Base Plate and Anchor Rod Design (AISC Design Guide 1). *American Institute of Steel Construction*.
- Gomez, I. R. Kanvinde, A. M. and Deierlein, G. G. 2011. Experimental Investigation of Shear Transfer in Exposed Column Base Connections. *Engineering Journal*, 48(4): 245-264.

- Grauvilardell, J. E. and Lee, D. 2005. Synthesis Of Design, Testing And Analysis Research On Steel Column Base Plate Connections In High-Seismic Zones. *Structural Engineering Report*.
- He, J. Clifton, G. Ramhormozian, S. and Hogan, L. 2023. Numerical and analytical study of pinned column base plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 204: 107846.
- Hugar, G. and Rajini Umapathi, B. R. 2019. Mechanical Behavior and Stiffening Effects of Connecting a Steel Column Base Plate. *International Journal of Steel Structures*, 19(2): 348–359.
- Hussein, P. S. H. and Yavuz, G. 2019. An Investigation of Base Plate Connections of a Steel Industrial Building Having Different Column Cross-Sections. *Natural and Engineering Sciences*, 4(2): 84-91.
- Kiani, A. and Izadinia, M. 2015. Investigating the Effect of Stiffener and Eccentricity in Columns on Behavior of Column-Base plate Connection, Using Finite Element Method. *Cumhuriyet Science Journal*, 36: 350-362.
- Koç, A. Caner, A. and Yucemen, M. S. 2013. Calibration of Turkish LRFD bridge design code for slab on steel plate girders. *Bridge Structures*, 9: 115-121.
- Lim, W. Y. Lee, D. and You, Y.-C. 2017. Exposed column-base plate strong-axis connections for small-size steel construction. *Journal of Constructional Steel Research*, 137: 286-296.
- Mohyeddin, A. Gad, E. F. and Lee, J. 2019. Failure modes and tensile strength of screw anchors in non-cracked concrete. *Construction and Building Materials*, 221: 501-513.
- Myers, A. T. Kanvinde, A. M. Deierlein, G. G. and Fell, B. V. 2009. Effect of weld details on the ductility of steel column baseplate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(6): 1366-1373.
- Nawar, M. T. Matar, E. El-Zohairy, A. Alaaser, A. and Maaly, H. 2024. Experimental and FE analysis of the behavior of steel column base connections under tension and bending moment. *Structures*, 54: 1311–1327.
- Nawar, M. T. Matar, E. B. Maaly, H. M. Alaaser, A. G. and El-Zohairy, A. 2021. Assessment of Rotational Stiffness for Metallic Hinged Base Plates under Axial Loads and Moments. *Buildings*, 11(10), 470.
- Razzaghi, J. and Khoshbakht, A. 2015. Numerical evaluation of column base rigidity. *International Journal of Steel Structures*, 15(1): 39-49.
- Rebouças, A. S. Branco, J. M. Lourenço, P. B. and Diógenes, H. J. F. 2024. Characterization of steel T-stub compressing timber parallel to the grain component. *Engineering Structures*, 314: 118310.
- Rosca, V.-E. Teleman, E.-C. Axinte, E. and Baetu, G. 2013. Design of steel column base connections for large eccentricities. *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, 59(6): 137.

- Shafieifar, M. and Khonsari, S. V. 2012. Studying the Behaviour of Base Plates with High Degree of Rigidity. *15th world Conference on Earthquake Engineering*. Lisbon, Potugal.
- Sözen, Ş. and Atılgan, M. 2021. Çelik Kolon Taban Levhalarının Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 9(1): 19-27.
- Specification, A. 2005. Specification for structural steel buildings. *ANSI/AISC*, 36010.
- Standardization, E. C. f. 2004a. EN 1990: Eurocode – Basis of structural design. *CEN*.
- Standardization, E. C. f. 2004b. EN 1992-1-1: Eurocode 2 – Design of concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings (Incorporating corrigenda January 2008; November 2010). *CEN*.
- Standardization, E. C. f. 2005a. EN 1993-1-1: Eurocode 3 – Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings. *CEN*.
- Standardization, E. C. f. 2005b. EN 1993-1-8:2005(E): Eurocode 3: Design of steel structures—Part 1-8: Design of joints. *CEN*.
- Standardization, E. C. f. 2017. EN 10365:2017 Hot-rolled structural steel sections Tolerances, dimensions, sectional properties. *CEN*.
- Standardization, E. C. f. 2018. EN 1992-4: Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 4: Design of fastenings for use in concrete. *CEN*.
- Standardization, I. O. f. 2013. ISO 898-1:2013(E): Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel—Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes—Coarse thread and fine pitch thread. *ISO*.
- Tsavdaridis, K. D. Shaheen, M. A. Baniotopoulos, C. and Salem, E. 2016. Analytical approach of anchor rod stiffness and steel base plate calculation under tension. *Structures*, 8: 1-16.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmad Farzan FAZIL

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2022-2025	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2014-2019	Polytechnic Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kabul, Afganistan