

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RUS BETONARME YÖNETMELİKLERİNİN TASARIM ESASLARI, TÜRK
YÖNETMELİKLERİYLE KARŞILAŞTIRMASI VE TASARIM ÖRNEKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Salim Ayalp

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zekai CELEP

MAYIS 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RUS BETONARME YÖNETMELİKLERİNİN TASARIM ESASLARI, TÜRK
YÖNETMELİKLERİYLE KARŞILAŞTIRMASI VE TASARIM ÖRNEKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Salim AYALP

(501101048)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zekai CELEP

MAYIS 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101048 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi
Salim AYALP, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine
getirdikten sonra hazırladığı “**RUS BETONARME YÖNETMELİKLERİNİN**
TASARIM ESASLARI, TÜRK YÖNETMELİKLERİ İLE
KARŞILAŞTIRILMASI VE TASARIM ÖRNEKLERİ” başlıklı tezini aşağıda
imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Zekai CELEP**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kadir GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**

ÖNSÖZ

Ülkemizdeki betonarme tasarımlarında Türk Yönetmeliklerinin yanı sıra Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği'nde geçerli olan şartnamelere de yoğun olarak danışılmaktadır.

Bilindiği üzere, inşaat sektöründeki bir çok Türk firma SSBC etki bölgesindeki ülkelerde sayısız projenin sorumluluklarını üstlenmektedir. Ancak bu tarz bir ekonomik etkileşimin varlığına rağmen, ülkemizde Rus hesap yöntemleriyle ilgili herhangi bir kaynak bulunmamaktadır.

Ayrıca Rusya ve komşu ülkelerde maruz kalınan iklim şartları nedeniyle, hızlı ve geniş bir coğrafyada uygulamaya uygun betonarme yapıların tasarımı büyük bir önem taşımaktadır. Türkiye'deki iklim şartları Rusya'daki baskın iklim özelliklerine benzerlik göstermemekle birlikte, deprem riski ve mevcut bina stoğunun yenilenmesi ihtiyacı benzer bir baskı oluşturmaktadır.

Bu amaçla, Rus betonarme şartnameleri hakkında kaynak araştırması yapılmış, bu iki ülkenin betonarme şartnameleri karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve mukayeseli örnekler çözülmüştür.

Tezin hazırlanması sırasında bilgi ve deneyimleri ile desteğini esirgemeyen danışman hocam, Sn. Prof. Dr. Zekai CELEP'e yol göstericiliği, tavsiyeleri ve cesaretlendirmeleri için en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, yüksek lisans eğitimi sırasında tanıştığım meslektaşlarım Alper AYDIN, Ferhat Uğur BOZAT ve Uğur ÖZORPAK'a teşekkür ederim.

Mayıs 2013

Salim AYALP

(İnşaat Mühendisliği)

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xiii
ÖZET	1
SUMMARY	5
1. MALZEME	9
1.1. Beton	9
1.2. Donatı	17
2. YÜK ŞARTNAMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	27
2.1. Yüklerin Sınıflandırılması	27
2.1.1. Yüklerin sınıflandırılması - SNIP 2.01.07-89	27
2.1.2. Yüklerin sınıflandırılması - TS 498	28
2.2. Yük Kombinasyonları	29
2.2.1. Yük kombinasyonları - SNIP 2.01.07-89	29
2.2.2. Yük kombinasyonları – TS 498	30
2.3. Yapı Elemanlarının Ağırlıkları ve Zemin Yüğü	31
2.3.1. Yapı elemanlarının ağırlıkları, zemin yüğü – SNIP 2.01.07-89	31
2.4. Hareketli Yüğü	32
2.4.1 Hareketli yüğü – SNIP 2.01.07-89	32
2.4.2 Hareketli yüğü – TS 498	35
2.4.3 Kıyaslama	35
2.5. Vinç Yüğü	37
2.5.1 Vinç yüğü – SNIP 2.01.07-89	37
2.6. Kar Yüğü	38
2.6.1 Kar yüğü – SNIP 2.01.07-89	38
2.6.2 Kar yüğü – TS 498	39
2.6.3 Kıyaslama	39
2.7. Rüzgâr Yüğü	39
2.7.1 Rüzgar yüğü – SNIP 2.01.07-89	39
2.7.2 Rüzgar yüğü – TS 498	44
2.7.3 Kıyaslama	45
2.8. Buz Yüğü	45
2.8.1 Buz yüğü – SNIP 2.01.07-89	45
2.8.2 Buz yüğü – TS 498	45
2.9. İklimsel Sıcaklık Etkileri	46
2.9.1 İklimsel sıcaklık etkileri– SNIP 2.01.07-89	46
2.10 Diğer Yüğü – SNIP 2.01.07-89	47
2.11 Sehimler ve yerdeğıştirmeler	47
2.11.1 Sehimler ve yerdeğıştirmeler – SNIP 2.01.07-89	47
2.11.2 Sehimler ve yerdeğıştirmeler – TS 498	49

2.12	Yapı Önem Sınıfı – SNIP 2.01.07-89	50
3	BETONARME ŞARTNAMELERİNİN İNCELENMESİ	51
3.1	Genel-Esaslar	51
3.1.1	SNIP 2.03.01-84’de ifade edilen tasarım esasları	51
3.1.2	TS 500’de ifade edilen tasarım esasları	54
3.2	Beton Elemanlar	55
3.2.1	Beton kesitlerin tasarımı – SNIP 2.03.01-84	55
3.2.1.1	Dış merkezli basınca maruz beton elemanlar	55
3.2.1.2	Eğilmeye maruz beton kesitler	60
3.2.1.3	Beton kesitlerin tasarımı – TS 500	60
3.3	Betonarme Elemanlar	62
3.3.1	Eğilmeye maruz betonarme kesitlerin hesabı.....	62
3.3.1.1	Eğilme elemanlarının kesitlerinin hesabı SNIP 2.03.01-84 ve SNIP 52-101-2003	62
3.3.1.2	Eğilmeye maruz betonarme kesitlerin hesabı- TS 500	67
3.3.2	Dış merkezli basınca maruz elemanların tasarımı	68
3.3.2.1	Basınç elemanlarının tasarımı SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003	68
3.3.2.2	Eksenel basınç ve eğilme – TS 500	73
3.3.3	Çekme etkisi altındaki elemanların tasarımı	75
3.3.3.1	Eksenel çekme - SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003	75
3.3.3.2	Eksenel çekme ve eğilme- TS 500	77
3.3.4	Kesme etkisi altındaki betonarme kesitler	78
3.3.4.1	Kesme etkisine maruz elemanların tasarımı- SNIP 2.03.01-84	78
3.3.4.2	Kesme kuvveti etkisi- TS 500	83
3.3.5	Burulma momentine maruz betonarme elemanlar	85
3.3.5.1	Burulma kapasite hesabı – SNIP 2.03.01-84	85
3.3.5.2	Kesme ve burulma – TS500	88
3.3.6	Noktasal yük etkiyen kesitlerin tasarımı	89
3.3.6.1	Lokal basınca maruz elemanlar – SNIP 2.03.01-84	89
3.3.6.2	Zımbalama etkisi – SNIP 2.03.01-84	94
3.3.6.3	Zımbalama etkisi – TS 500	96
3.3.7	Betonarme elemanların koparma dayanımı – SNIP 2.03.01-84	96
3.3.8	Betonarmede doğrusal olmayan analiz – SP 52-101-2003	97
3.3.9	Tekrarlı yüklere maruz betonarme elemanların tasarımı -SP 52-101-2003	101
3.3.10	Öngerme aşamasında öngerilme hesabı SP 52-102-2004	103
3.4	Kullanım Durumu Analizi- Sınır Durum 2 – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003	104
3.4.1	Çatlak analizi.....	104
3.4.2	Boyuna eksene dik çatlama momenti tarifi	106
3.4.3	Enine çatlak oluşumu ve hesabı	108
3.4.4	Betonarme elemanların deformasyon hesabı	110
3.4.4.1	Betonarme elemanlarda sehim hesabı	110
3.4.5	Betonarme elemanlarda eğrilik hesabı	111
4	YAPISAL ŞARTLAR	115
4.1	Yapıların Geometrik Şartları	115
4.1.1	Yapıların geometrik şartları – SNIP 2.03.01-84	115
4.1.2	Yapıların geometrik şartları – TS 500	116

4.2	Donatı Yerleşimi ile İlgili Şartlar	118
4.2.1	Paspayı Kuralları	118
4.2.1.1	Paspayı kuralları – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003	118
4.2.1.2	Paspayı kuralları – TS 500	119
4.2.2	Donatılar arası minimum mesafe	119
4.2.2.1	Donatılar arası minimum mesafe - SNIP 2.03.01-84	119
4.2.2.2	Donatılar arası minimum mesafe -TS 500	120
4.2.3	Boyuna donatı ile ilgili şartlar	120
4.2.3.1	Boyuna donatı ile ilgili şartlar – SNIP 2.03.01-84	120
4.2.3.2	Boyuna donatı ile ilgili şartlar – TS 500	122
4.2.4	Enine donatı ile ilgili şartlar	124
4.2.4.1	Enine donatı ile ilgili şartlar – SNIP 2.03.01-84	124
4.2.4.2	Enine donatı ile ilgili şartlar – TS 500	127
4.2.5	Donatı ankrajı ile ilgili şartlar	129
4.2.5.1	Donatı ankrajı ile ilgili şartlar – SNIP 2.03.01-84	129
4.2.5.2	Donatı kenetlenmesi – TS 500	132
4.2.6	Donatı eklenmesi	134
4.2.6.1	Donatı eklenmesi – SNIP 2.03.01-84	134
4.2.6.2	Donatı eklenmesi – TS 500	134
4.2.7	Kanca boyu	135
4.2.7.1	Kanca boyu – SNIP 2.03.01-84	135
4.2.8	Sismik tasarım.....	136
5	ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMLERİ	141
6	SONUÇLAR	175
7	KAYNAKLAR	177
8	EK A: Betonun Donma Çözülme Direncinin Tespiti	179
9	EK B: Betonun Su Geçirgenliğinin Tespiti	183
10	EK C: Betonun Basınç Dayanımının Tespiti	189
11	ÖZGEÇMİŞ	193

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Dış duvar hariç yapı elemanlardaki donma direnci ve su geçirgenliği ..	11
Çizelge 1.2: Dış duvar yapı elemanlarında aranan donma direnci.	11
Çizelge 1.3: Deney sonucu okunan basınç ve çekme dayanım sınıflandırılması	12
Çizelge 1.4: Uzun süreli etkilere maruz kesitlerdeki sınır birim uzama değerleri	13
Çizelge 1.5: SP 52-10-2003'e göre beton elastisite modülü	14
Çizelge 1.6: SNIP 2.03.01-84'e göre beton elastisite modülü	14
Çizelge 1.7: SNIP 2.03.01-84'e göre donma ve çözülme katsayıları	14
Çizelge 1.8: SNIP 2.03.01-84'ün öngördüğü nem oranına bağlı olarak kabul edilmesi gereken birim uzama değerler	16
Çizelge 1.9: SNIP 2.03.01-84 doantı sınıflarına bağlı olarak donatı tipi dayanımları	19
Çizelge 1.10: Donatı tipine bağlı olarak çekme dayanım değerleri	20
Çizelge 1.11: Donatı tasarım dayanımları- SP 52-101-2003	21
Çizelge 1.12: Donatı tasarım dayanımları- SP 52-102-2004	23
Çizelge 2.1: Rus yük şartnamesine göre kombinasyon sabitleri	30
Çizelge 2.2: Rus yük şartnamesine göre ölü yük güvenlik katsayıları	31
Çizelge 2.3: Rus yük şartnamesine göre makine, malzeme, araçların tasarım, ve hareketli yüklerin tespitinde kullanılan güvenlik katsayıları	32
Çizelge 2.4: Rus yük şartnamesine göre hareketli yük değerleri	33
Çizelge 2.5: Türk yük şartnamesine göre hareketli yük değerleri	36
Çizelge 2.6: Rus yük şartnamesine göre kolon, perde ve temellere etkiyen hareketli yüklerin azaltılması için önerilen katsayılar	36
Çizelge 2.7: TS 498'e göre kolon, perde ve temellere gelen hareketli yüklerin azaltılması için önerilen katsayılar	38
Çizelge 2.8: Rus yük şartnamesine göre birim alan kar yükü	40
Çizelge 2.9: Rus yük şartnamesinde tarif edilen bölgelere göre rüzgar basıncı	41
Çizelge 2.10: Rus yük şartnamesine göre k katsayı değerleri	41
Çizelge 2.11: Rus yük şartnamesine göre f_1 katsayı değerleri	42
Çizelge 2.12: Rus yük şartnamesine göre ξ katsayı değerleri	42
Çizelge 2.13: Rus yük şartnamesine göre ν katsayı değerleri	43
Çizelge 2.14: Rus yük şartnamesine göre ρ ve χ katsayı değerleri	46
Çizelge 2.15: Rus yük şartnamesine göre eleman ortalama sıcaklık değerleri	48
Çizelge 2.16: Rus yük şartnamesine göre yatay öteleme sınır değerleri	50
Çizelge 3.1: Rus betonarme şartnamesine göre yapı elemanlarında izin verilen maksimum sehim değerleri	53
Çizelge 3.2: Beton eleman tasarım uzunluğu	57

Çizelge 3.3: Beton cinsi faktörü.....	57
Çizelge 3.4: Tekrarlı yüklemelerdeki nem azaltma katsayısı.....	102
Çizelge 3.5: Tekrarlı yüklemelerdeki donatı türü azaltma katsayısı.....	102
Çizelge 3.6: Tekrarlı yüklemelerdeki kaynak tipi azaltma katsayısı	102
Çizelge 3.7: Sınır çatlak çapları- SP 52-101-2003.....	105
Çizelge 4.1: Çeşitli yüzey özellikleri için minimum paspayı kalınlığı.....	118
Çizelge 4.2: Minimum donatı örtüsü- TS 500.....	119
Çizelge 4.3: Rus betonarme şartnamesinin öngördüğü minimum donatı oranları	121
Çizelge 4.4: Donatı ankraj boyunun hesaplanması için gerekli katsayılar	131
Çizelge 4.5: Beton kısmi performans katsayıları.....	132
Çizelge 4.6: Enine donatı minimum şartlar- TS500.....	133

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1:SNIP 2.03.01'e göre betonun 3 kademeli σ - ϵ grafiği.....	15
Şekil 1.2: SNIP 2.03.01'e göre betonun 2 kademeli σ - ϵ grafiği.....	16
Şekil 1.3: GOST 5781-61'e göre donatı tiplerinin yüzey karakteristikleri	18
Şekil 1.4: SNIP 2.03.01'e göre donatının 2 kademeli σ - ϵ grafiği	22
Şekil 1.5:SNIP 2.03.01'e göre donatının 3 kademeli σ - ϵ grafiği	24
Şekil 3.1 :Beton çekme dayanımının ihmal edildiği bir beton elemana etki eden kuvvetlerin şematik olarak gösterilmesi.....	58
Şekil 3.2 :Yalnız eğilme etkisi altındaki dikdörtgen kesit.....	62
Şekil 3.3 :Yalnız eğilme etkisi altındaki T kesit	63
Şekil 3.4 :Dış merkezli basınca maruz dikdörtgen kesit.....	70
Şekil 3.5 :Normal çekme kuvvetinin efektif eş uzaklıkta bulunması hali.....	76
Şekil 3.6 :Normal çekme kuvvetinin efektif eş uzaklıkta bulunmaması hali.....	77
Şekil 3.7 :Betonarme kesitlere kesme etkisi.....	78
Şekil 3.8 :Betonarme elemanların kesit değerlerinin incelenmesi.....	80
Şekil 3.9 :Burulma etkisi altındaki kesitler.....	81
Şekil 3.10 :Lokal basınç durumu.....	87
Şekil 3.11 :Zımbalama kuvveti, zımbalama alanı tarifi.....	95
Şekil 3.12 :Koparma tahkik yapılan kesit tarifi.....	97
Şekil 3.13 :Doğrusal olmayan hesap metoduna göre iç kuvvet-gerilme dağılımı....	98
Şekil 3.14 :Öngerme durumunda kuvvet dağılımı.....	104
Şekil 3.15 : Çatlak analizinde dikkate alınan betonarme gerilme dağılımı.....	107

KISALTMALAR

γ	Açık hava bağıl nem oranı
Ψ_1	Ana yük kombinasyon katsayısı
A_{red}	Azaltılmış kesit alanı
I_{red}	Azaltılmış kesit atalet momenti
x	Basınç bölgesi derinliği
A_s'	Basınç donatısı alanı
$R_{b,n}$	Beton anma basınç dayanımı
$R_{bt,n}$	Beton anma çekme dayanımı
ε_{bo}	Beton basınç akma birim uzama sınır değeri
A_b	Beton basınç bloğu alanı
I_{bo}	Beton basınç bloğunun doğal eksene olan ataleti
S_{bo}	Beton basınç bloğunun doğal eksene olan mukavemet momenti
ε_{b1}	Beton basınç elastik birim uzama sınır değeri
γ_b	Beton basınç güvenlik katsayısı
ε_{b2}	Beton basınç kopma birim uzama sınır değeri
φ_{b1}	Beton cins faktörü (SNIP 2.01.03-84)
β	Beton cinsi etkisi katsayısı
φ_{b2}	Beton cinsi faktörü (SP 52-101-2003)
γ_{bt}	Beton çekme güvenlik katsayısı
$R_{bt,ser}$	Beton çekme kullanım dayanımı
W_{pl}	Beton çekme lifi mukavemet momenti
γ_{b9}	Beton eleman güvenlik katsayısı
α_{bt}	Beton ısı genleşme katsayısı
α	Beton kalitesi katsayısı
Q_b	Beton kesme kapasitesi
$R_{b,loc}$	Beton lokal basınç dayanımı
a	Beton örtü kalınlığı
R_b	Beton tasarım basınç dayanımı
$F_{b,ult}$	Beton zımbalama taşıma kapasitesi
D	Betonarme eleman rijitliği
ε_b	Betonda meydana gelen birim uzama
E_b	Betonun elastik modülü
$\nu_{b,p}$	Betonun poisson oranı
q_{sw}	Birim eleman kesme kapasitesi
l_{an}	Boyuna donatı ankraj boyu
$l_{0,an}$	Boyuna donatı anma ankraj boyu
T_s	Boyuna donatı burulma kapasitesi
N_s	Boyuna donatı burulma kuvveti
R_s	Boyuna donatı tasarım çekme dayanımı
c_{sw}	Burulma durumunda, çatlak yatay izdüşümü uzunluğu
T_0	Burulma kapasitesi

ψ_3	Çatlak- yük tarif katsayısı
ψ_2	Çatlak- boyuna donatı yüzey etki katsayısı
a_{crc}	Çatlak çapı
$\varepsilon_{bt,ult}$	Çatlak durumu, beton çekme sınır değeri
l_s	Çatlak mesafesi
ψ_1	Çatlak- yük etki katsayısı
M_{crc}	Çatlama momenti
A_s	Çekme donatısı alanı
ψ_s	Çekme donatısı çatlak yayma katsayısı
$\varepsilon_{b,ult}$	Doğrusal olmayan analiz- beton basınç sınır değeri
$\varepsilon_{s,ult}$	Doğrusal olmayan analiz- donatı çekme sınır değeri
ε_{s0}	Donatı akma birim uzama sınır değeri
$R_{s,n}$	Donatı anma basınç dayanımı
d_s	Donatı çapı
η_2	Donatı çapı etki katsayısı
E_s	Donatı elastik modülü
η	Donatı etki katsayısı
γ_s	Donatı güvenlik katsayısı
R_{bond}	Donatı kenetlenme dayanımı
R_{su}	Donatı koparma dayanımı- R_{ser}
ε_{s2}	Donatı kopma birim uzama sınır değeri
R_{ser}	Donatı kullanım durumu çekme dayanımı
R_{sc}	Donatı tasarım basınç dayanımı
η_1	Donatı yüzey etki katsayısı
ε_s	Donatıda meydana gelen birim uzama
γ_{b6}	Donma-çözülme güvenlik katsayısı
$A_{b,loc,ef}$	Efektif lokal basınç etkime-kopma alanı
γ_{b4}	Eğik eğilme güvenlik katsayısı
N_{ult}	Eksenel çekme kapasitesi
N_p	Eksenel öngerme kuvveti
l_0	Eleman etkili/tasarım uzunluğu
l	Eleman uzunluğu
$\varepsilon_{bt,max}$	En büyük çekme gerilmesine maruz beton lifi birim uzama değeri
y_t	En çok çekme gerilmesine maruz beton lifi ile azaltılmış kesit ağırlık merkezi arası mesafe
s_w	Enine donatı adım mesafesi
A_{sw}	Enine donatı alanı
T_{sw}	Enine donatı burulma kapasitesi
N_{sw}	Enine donatı burulma kuvveti
ϕ_{w1}	Enine donatı etkisi katsayısı (SNIP 2.01.03-84)
ϕ_{sw}	Enine donatı etkisi katsayısı (SP 52-101-2003)
Q_{sw}	Enine donatı kesme kapasitesi
R_{sw}	Enine donatı tasarım çekme dayanımı
$F_{sw,ult}$	Enine donatı zımbalama taşıma kapasitesi
b_f	Etkili tabla genişliği
W_p	Fırtına (atımlı) rüzgâr basıncı
G	Geçici yükler
e_{0p}	Geometrik eksenel öngerme kuvveti dış merkezliği

HB	Hafif Beton
$R_{bs,loc}$	Hasır donatı dayanımı
$\phi_{s,xy}$	Hasır donatı katsayısı
Ψ_2	İkincil yük kombinasyon katsayısı
p_0	İklimsel kar yükü
w_0	İklimsel rüzgâr yükü
IAC	İnce agregalı beton
$a_{crc,2}$	Kalıcı ve geçici yük etkimesi sonucu meydana gelen kısa süreli çatlak çapı
$a_{crc,1}$	Kalıcı ve uzun süreli geçici yük etkimesi sonucu meydana gelen uzun süreli çatlak çapı
a_{crc}	Kalıcı ve uzun süreli yük etkimesi sonucu meydana gelen kısa süreli çatlak çapı
γ_{b3}	Kalıp etkisi güvenlik katsayısı
d_{on}	Kanca iç çapı
τ_{xy}	Kesit ağırlık merkezi kesme gerilmesi
γ_{b5}	Kesit boyutu güvenlik katsayısı
h	Kesit derinliği
h_0	Kesit etkili derinliği
b	Kesit gövde genişliği
W	Kesit mukavemet momenti
T	Kesite etkiyen burulma momenti
M	Kesite etkiyen dış moment
Q	Kesite etkiyen kesme kuvveti
N	Kesite etkiyen normal kuvvet
e'	Kesite etkiyen normal kuvvet dış merkezliği
c	Kesme durumunda, çatlak yatay izdüşümü uzunluğu
G_{ks}	Kısa süreli yükler
H	Kolon yüksekliği
A_{su}	Koparma bölgesi alanı
N_{cr}	Kritik normal kuvvet
Ψ_b	Lokal etki bölgesi yayılma katsayısı
$A_{b,max}$	Lokal yük maksimum etki alanı
Ψ	Lokal yük yükleme durumu katsayısı
B	Malzeme basınç dayanım sınıfı
D	Malzeme birim hacim kütlesi sınıfı
B_t	Malzeme çekme dayanım sınıfı
F	Malzeme donma-çözülme dayanım sınıfı
Sp	Malzeme rötre sınıfı
W	Malzeme su geçirgenliği dayanım sınıfı
M_{ult}	Moment taşıma kapasitesi
l_0/i	Narinlik oranı
γ_{b1}	Nem etkisi azaltma katsayısı
$A_{b,loc}$	Noktasal kuvvet etkime-kopma alanı
NAB	Normal ağırlıklı beton (SP 52-101-2003'de ağır beton)
$\Delta\sigma_{sp1}$	Öngerme donatı gevşeme kaybı
γ_{b8}	Öngerme donatı güvenlik katsayısı
$\Delta\sigma_{sp2}$	Öngerme donatı sıcaklık kaybı
A_{sp}	Öngerme donatısı/halatı toplam alanı

γ_{sp}	Öngerme genel güvenlik katsayısı
l_p	Öngerme halatı transfer bölgesi uzunluğu
$\Delta\sigma_{sp3}$	Öngermede ankrajlarda meydana gelen deformasyon kaybı
$\Delta\sigma_{sp4}$	Öngermede ankrajlarda meydana gelen elastik kaybı
$\Delta\sigma_{sp5}$	Öngermede beton rötre kaybı
$\Delta\sigma_{sp6}$	Öngermede beton sünme kaybı
$G_{öz}$	Özel yükler
W_i	Rüzgâr yapı iç basıncı
W_m	Sabit (ortalama) rüzgâr basıncı
S	Sabit yükler
γ_{b7}	Salar etki güvenlik katsayısı
ϕ_1	Sehim etkisi katsayısı
$a_{crc,ult}$	Sınır çatlak çapı
h_f	Tabla derinliği
ϕ_f	Tabla etki katsayısı
γ_{s3}	Tekrarlı yük donatı azaltma katsayısı
γ_{s4}	Tekrarlı yük kaynak türü azaltma katsayısı
e_a	Tesadüfî dış merkezlik
$A_{s,tot}$	Toplam boyuna donatı alanı
e_0	Toplam dış merkezlik
M_1	Tüm yüklerden meydana gelen dış moment
G_{uz}	Uzun süreli yükler
M_{1l}	Uzun süreli/sabit yük momenti
e_p	Üretim sonrası eksenel öngerme kuvveti dış merkezliği
W_e	Yapı dış yüzeyine etki eden rüzgar etkisi
γ_{b2}	Yük etkime süresi güvenlik katsayısı
γ_f	Yük güvenlik katsayısı
YRB	Yüksek rötreli beton
u	Zımbalama bölgesi çevre uzunluğu
F	Zımbalama kuvveti

RUS BETONARME YÖNETMELİKLERİNİN TASARIM ESASLARI TÜRK YÖNETMELİKLERİYLE KARŞILAŞTIRMASI VE TASARIM ÖRNEKLERİ

ÖZET

Türkiye Cumhuriyeti sınırları içinde Rusya’da uygulanmakta olan betonarme hesap yöntemleri hakkında bir araştırma yapıldığında Türkiye’deki üniversitelerde yeteri kaynak çeşitliliği bulunmadığı görülmektedir. Bu sebepten ötürü Rusya ve etki bölgesi cumhuriyetlerinde Türk müteahhit firmaları tarafından üstlenilen projelerin büyük bir kısmı ya yerel proje ofisleri tarafından ya da yüksek bedel karşılığı danışman olarak tutulan yabancı firmalar veya şahıslar tarafından geliştirilmektedir.

Literatür veya kaynak araştırması sonucunda MIR yayınları tarafından 1968 yılında basılan ve V. I.MURASHEV.E.Y.SIGALOV ve V.N.BIKOV tarafından yazılmış “Betonarme Yapı Tasarımı (İng: Design of Reinforced Concrete Structures)” adlı kitap bulunmaktadır. Bu kitap betonarme konusunu ayrıntıları ile incelemekte yapılan kabullerin sebeplerini açıklamakta, çok çeşitli betonarme yapı gurupları veya elemanları hakkında çözüm yöntemleri sunmaktadır. Kitabın G.LEIB tarafından İngilizceye tercüme edilmesinin kitabın yaygınlaşmasına büyük katkısı olmuştur. Bu kitap Türkiye’de çok sayıda üniversite kütüphanelerinde mevcuttur.

Sovyet Cumhuriyetleri ve diğer komünist devletler arasındaki ekonomik işbirliğinin arttırılması amacı ile kurulan COMECON ortak ekonomik işbirliği grubu ülkelerdeki ulusal standartların tek bir çatı altında toplanmasını öngörmüştür. Bu sebepten ötürü 1977 yılında bir prensipler kılavuzu yayınlanmıştır (COMECON-22.200.09-77). Bu kılavuz betonarme yapı tasarımında tasarım yöntem esaslarını, malzeme guruplarını ve deneysel özelliklerini kapsamaktadır. Bundan sonraki süreçte SSCB’de yayınlanan şartnamelerin büyük bir kısmı malzemenin tek bir özelliğini inceleyen veya tek bir yapım yöntemi standartlarını belirleyen “GOST” şartnameleridir. Buna örnek olarak betonun donma-çözülme direncini inceleyen GOST 10060.0-87 veya betonun su sızdırmazlığını inceleyen GOST 12730.5-84 verilebilir. Bu şartnamelerin İngilizce veya Türkçe tercümeleri Türkiye’deki üniversitelerde bulunmayıp, gerek görüldüğünde yabancı kaynaklardan temin edilmelidir.

COMECON'ın amaçladığı yaygın standartlaştırma hedefine 1984 yılında yayınlanan Beton ve Betonarme yapı şartnamesi (SNIP 2.03.01-84) ve 1989 yılında yayınlanan yük ve gerilmeler şartnamesi (SNIP 2.01.07-89) ile varılmıştır. Bu şartnameler betonarme tasarım esaslarını tek bir çatı altında toplamıştır. Ayrıca şartname izahnamesi (Referance Manuel to SNIP 2.03.01-84) ayrıntılı bir şekilde hesap esaslarının uygulamadaki karşılıklarını incelemekte ve çok sayıda örnek problem çözümü içermektedir. SNIP 2.01.01-84 betonarme şartnamesinin en son baskısı 1997 yılında yapmıştır. Her ne kadar ayrı bir ön yapım şartnamesi, SNIP 3.09.01-85, 1985 yılında yayınlanmış olsa da betonarme şartnamesi klasik betonarme yapı tasarım kurallarının yanı sıra ön yapım ve ön germe kurallarını da içerdiğinden mukayeseli olarak Rus betonarme tasarım yönteminin anlaşılması bakımından önemlidir. SNIP 2.03.01-84 ülkemizde betonarme konusunda araştırma yapan kurumlarda veya Rusya ve etki bölgesinde proje geliştiren Türk müteahhit firmalarından İngilizce tercümesinin temin edilmesi mümkündür. Ancak şartname izahnamesinin temini için yabancı kaynaklara başvurulmalıdır.

Betonarme şartnamesinin yayınlanmasından itibaren tekrar malzeme özelliklerini tek bir başlık altında inceleyen GOST şartnamelerine önem verilmiştir. Örnek olarak betonun donma-çözülme direncini inceleyen ilgili şartname revize edilerek 1996 yılında eski GOST metninin yerini almıştır (GOST 10060.0-95). Ayrıca bu ikinci dönem GOST şartnameleri ilk dönem yayınlanan GOST şartnamelerine kıyasla konu kapsamı kısıtlı ancak daha ayrıntılıdır. Örnek olarak betonun su geçirimsizlik incelenmesi için yapılacak deneyler iki farklı şartnamede (hızlı ve yavaş yöntemler adı altında) incelenmektedir. Bu ikinci dönem GOST şartnamelerine ülkemizdeki kaynaklardan erişilmesi mümkün olmayıp yabancı kaynaklara yönelinmelidir.

1997 ve 2004 yılları arasında Rus betonarme şartnameleri elden geçirilmiş ve SNIP şartnameleri değişikliklere uğramıştır. 2004 yılında beton ve betonarme yapıların tasarım esasları adı altında bir klavuz yayınlanmıştır (SNIP P 52-101-2003). Bu kılavuza uygun olarak eski betonarme şartnamesi iki yeni şartname olarak düzenlenmiştir. Bunlar Öngermeli Betonarme Tasarım Esasları Şartnamesi SP 52-102-2004 ve Öngerme Harici Betonarme Yapı Tasarımı Şartnamesi SP 52-101-2003'dür. Hem SP 52-101-2003 hem de SP 52-102-2004 malzemenin inelastik kapasitesini açıklayan bir bölüm içermektedir. Ancak her iki şartnamede açıklamaları kısaltmış ve hesaplamalarda sadeleştirme yoluna gitmiştir. Bu son şartnameler inceledikleri yapı gruplarında yaygın olarak kullanılmayan malzemelerin hesap metodları veya güvenlik katsayılarını içermemektedir. Bu sebepten ötürü SNIP 2.03.01-84 yaygın olarak danışılan bir şartname olma özelliğini idame ettirmektedir.

SP 52-101-2003 ve SP 52-102-2004 şartnamelerinin Türkçe tercümeleri bulunmayıp, yabancı kaynaklardan temin edilmelidir.

Çalışmadaki amaç, betonarme konusunda Rusya ve Türkiye arasındaki iletişim ve etkileşim çalışmalarına bir katkıda bulunmaktır.

A COMPARISON OF RUSSIAN AND TURKISH CODE OF PRACTICE FOR REINFORCED CONCRETE DESIGN

SUMMARY

Despite the fact that Russia has been an influential neighbor to Turkish state politics, intellectual and technological interaction between the two has always been limited. Moreover, even though Turkish contractors have undertaken many large scale projects in Russia and former Soviet states, the reality emerges as the insufficiency of Turkish participation on the initial structural and architectural designs of these structures. Issue reveals itself also by the fact that Turkish universities have little or no literal resources on Russian design standards, including but not limited to reinforced concrete design. In fact the Turkish universities, by no means, can be claimed to host sufficient research or study archive of the subject matter.

On the other hand, Russia holds vast natural reserves and, since the end of the cold war, has shown a persistent will to gain benefits of open market system, all of which requires large scale commercial projects to be undertaken. Besides, due to the geographical location, Russian standards are designated to accommodate the needs of short period of site construction, low quality workforce and low-cost maintenance. Due to the vast difference between the economical and geographical characteristics of the two countries, at first sight it might seem that any study on Russian standards would have little or no influence on Turkish construction codes, but a deeper perspective will reveal the urgent need for a better understanding on Russian design rules. For instance, the climatic constraints in Russia, that dictates fast and efficient construction, does not exist in Turkey, but any measures against post-earthquake chaos would require similar techniques. Similarly, even though Turkey does not have any rich natural resources like Russia, Turkish government at force is willing to give priority to large scale projects that will help to reduce energy dependence of Russia and Iran. Thus a careful study on Russian standards and specifications has potential to introduce innovation that will increase productivity and savings.

A resource investigation on the subject will produce a textbook titled as “Design of Reinforced Concrete Structures” written by M.I. Murashev, E.Y. Sgolov and V.N. Bikov. This book is likely to be the most reachable resource available for engineers in

Turkey, since the published and distributed by an organization focused on translations and distributions of Russian books, MIR publications. Even though this book was published before a general standard was adopted through the Soviet Union, it remains as the most through book available. Being translated by G. Leib to English, it can be found in many university libraries in Turkey.

Comecon, an economical organization established to improve economical corporation among Soviet and other Communist states, dictated that all national standards should be unified under one sole standard. For this purpose a principles guide was published in 1977 (Comecon-22.200.09.77). This guide put forward the general rules and principles about the material production, experiments and design of reinforced concrete structures. Thus any standard published thereafter follows the given rule guide. On the other hand, these standards, labeled as “GOST”, focuses on only one subject at a time. Each GOST standard investigate only on characteristics of the material or only one experiment procedure. For example GOST 10060.0-87 only focused on the experiments of concrete frost resistance, and GOST 1270-5-84 investigates the water penetration charecteristic of concrete. These early standards can be labeled as first group of GOST standards, since a second group of such standards, focusing on more specilized subjects, were published a decade later. Unfortunately these early standards are not avaiable in Turkish institutes.

The first generalized standard, standard of reinforced concrete structures, was published in 1984 as dictated by Comecon goals. This standard was followed by a reference manual (Referance manual to SNIP 2.03.01-84) and a standard for loads and stresses in 1989 (SNIP 2.01.07-89). These two standards cover all the subjects about reinforced concrete design. Moreover the referance manual included worked examples and explanations. The final print of the reinforced concrete standard, SNIP 2.03.01-84 was published in 1997. Even though standard of reinforced concrete structure design covers prestressed reinforced concrete design, a separate standard on the same subject matter was published. Standard of reinforced concrete structures, SNIP 2.03.01-84 can be obtained from vaious Turkish universities; but unfortunately reference manual of the text, which is essential to materilze the subject, has not been found in any Turkish institute during the research phase of the study.

The second group of specialized standards, labeled as GOST, were published in 1990's. This second group og GOST standards differ from the firsrt group by a wide range of rules for a more limited subject. For example, there are carious standards for determining water penetration resistance of concrete, each investigating different types of experiments designed for the same goal. Also many first group of GOST

standards has been revised and republished, such as the standard for determining frost resistance of concrete, GOST 10060.0-95. Unfortunately these standards do not stand ready for Turkish engineers, since Turkish institutes do not hold any of GOST standards.

For the next seven years following the second group of GOST standards, Russian reinforced concrete design standards were revised and in 2004 a new principled guide for reinforced concrete structures SNIP P52-101-2003 was published. This principled guide was followed by a new reinforced concrete standard, SP 52-100-2003 and a separate prestressed concrete standard SP 52-102-2004. Both standards excludes materials and techniques that are not widely used for subjects of these standards. Thus these new standards can be labeled as simplified but revised version of SNIP 2.03.01-84. For this reason SNIP 2.03.01-84 is still widely used. These new standards, similar to second group of GOST standards, are not available in Turkish and cannot be obtained from Turkish institutes.

Since this study is a pioneer on the subject matter, the first goal of this study is to break down ever persisting language barrier between the two countries. Other objectives include, but not limited to, being a resource written in Turkish explaining the evolution of Russian building standards with examples.

The study consists of five chapters, explaining the Russian reinforced concrete design perspectives; materials, loads and stresses, reinforced concrete design, design requirements, and examples.

1. MALZEME

1.1. Beton

Sovyet dönemi Rus betonarme şartnameleri, GOST 25192-82 uyarınca, beton ve betonarme elemanlarda kullanılan beton fiziksel özelliklerine göre beş sınıf altında incelenmektedir. Bunlar;

- 1- Birim hacim kütlesi 2200-2500 kg/m³ olan normal-ağırlıklı beton (NAB)
- 2- Birim hacim kütlesi 1800 kg/m³'ten büyük olan ince agregalı beton (IAB)
- 3- Hafif beton (HB)
- 4- Boşluklu beton (Gaz beton)
- 5- Rötresi yüksek beton (YRB)

Her bir beton grubu, basınç (B), çekme dayanımı (B_t), donma-çözölmeye karşı olan hassasiyeti (F), su geçirgenliği (W), birim hacim kütlesi (D) ve rötre sınıfına (S_p) göre ayrıca sınıflandırmaktadır. Bu sınıflandırma yöntemi SSCB yıkıldıktan sonra yeni baskıları yayınlanmaya devam eden SNIP 2.03.01-84'de de kullanılmaya devam edilmektedir. Ancak 2003 yılında yürürlüğe giren yeni betonarme şartnamesinde, SP 52-101-2003, bu tür bir sınıflandırma görölmemektedir.

SNIP 2.03.01-84 beton dayanım sınıflarını "MPa" birimi cinsinden sınıf kısaltmalarıyla tarif etmektedir. Mesela, basınç dayanımı 25 MPa olan normal ağırlıklı beton, "B25-NAB" kısaltmasıyla gösterilmektedir. SNIP P52-01-2003 betonun basınç dayanımını B0,5 ile B120 arasındaki bir skalada, çekme dayanımı B_t0,4 ile B_t6 arasındaki bir skalada incelenmektedir.

Şartname betonun birim hacim kütle birimi olarak kg/m³ kabul edilmektedir. Mesela D1600 kısaltması ile gösterilen bir betonun örneğinin birim hacim kütlesi 1600 kg/m³'tür.

Betonun donma direnci, F, betonun donma çözölme döngüleri etkisi altında fiziksel ve mekanik özelliklerini koruyabilmesi anlamına gelmektedir. Betonun bu özelliği GOST 100060.0-95 şartnamesinde incelenmektedir. Buna göre beton örneğine

atanan bir F sınıfı, o beton örneğinin fiziksel ve mekanik özelliklerini tarif edilen sınır değerler içinde koruyabildiği donma çözülme döngüsü sayısı olarak ifade edilmektedir. Donma-çözülme direnci SNIP P52-01-2003 uyarınca F15 ile F1000 arasındaki bir skalada incelenmektedir. Şartnameye göre donma direnci sadece donma çözülme maruz % 100 nem oranına sahip yapı elemanlarında aranmalıdır. Rusya'da bulunan yapıların büyük bir çoğunluğu mevsimsel donma çözülme maruz kaldıklarından donma direnci büyük önem arz etmektedir. Rus şartnamelerine göre iklimsel olarak daha sıcak bir bölgede bulunan Türkiye'nin coğrafi olarak büyük bir bölümünde bu etkilerin araştırılmasına gerek yoktur.

Betonun su geçirgenlik direnci, W, deneyde beton örneğinin dayandığı maksimum su basıncını ifade edilmektedir ($\text{MPa} \cdot 10^{-1}$). Bu değer W2 ile W20 arasındaki bir skalada incelenmektedir. Su geçirgenliğinin donma direncine doğrudan etkisi olduğundan donma çözülme maruz yapılarda donma direnci dış sıcaklığına bağlı olarak su geçirgenliği ile beraber incelenmelidir. SNIP 2.03.01-84, beton veya betonarme yapıların dış duvarları hariç Çizelge 1.1'de verilen şartları, dış duvarlarda ise Çizelge 1.2'de verilen şartların sağlanmasını şart koşturmaktadır.

Ön yapım elemanların birleşim noktalarının sıfırın altında sıcaklık etkilerine maruz kaldığı durumlarda (inşaat veya kullanım ömrü boyunca) bu birleşim noktalarında kullanılacak beton ön yapım elemanları eş donma direncine ve su geçirgenliğine sahip olmalıdır.

Lineer ısı genleşme katsayıları, α_{bt} , sıcaklık değişiminin -40°C ile $+50^{\circ}\text{C}$ arasında değiştiği durumlarda aşağıda verilen değerleri almaktadır.

- Normal ağırlıklı beton, ince agregalı beton, su geçirgenliği düşük agrega içeren hafif beton için $\alpha_{bt}=1,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Su geçirgenliği yüksek hafif beton için $\alpha_{bt}=0,7 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Boşluklu veya rötresi yüksek beton için $\alpha_{bt}=0,8 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ alınmalıdır.

Çizelge 1.1: Dış duvarlar hariç yapı elemanlarında aranan donma çözülme dirençleri ve su geçirgenliği

Çevre Koşulları			Beton Sınıfı					
Tarif		Dış ortam sıcaklığı	Donma-Çözülme Direnci			Su Geçirgenlik Direnci		
			Yapı Önem Sınıfı					
			1	2	3	1	2	3
Sürekli donma çözülme döngüsü	Eleman yüzeyinin su altında bulunması hali	$t < -40^{\circ}\text{C}$	F300	F200	F150	W6	W4	W2
		$-40^{\circ}\text{C} < t < -20^{\circ}\text{C}$	F200	F150	F100	W4	W2	-
		$-20^{\circ}\text{C} < t < -5^{\circ}\text{C}$	F150	F100	F75	W2	-	-
		$-5^{\circ}\text{C} < t$	F100	F75	F50	-	-	-
	Yüzeyin su temasına açık olması hali	$t < -40^{\circ}\text{C}$	F200	F150	F100	W4	W2	-
		$-40^{\circ}\text{C} < t < -20^{\circ}\text{C}$	F100	F75	F50	W2	-	-
		$-20^{\circ}\text{C} < t < -5^{\circ}\text{C}$	F75	F50	F35*	-	-	-
		$-5^{\circ}\text{C} < t$	F50	F35*	F25*	-	-	-
	Nemli ortam	$t < -40^{\circ}\text{C}$	F150	F100	F75	-	-	-
		$-40^{\circ}\text{C} < t < -20^{\circ}\text{C}$	F75	F50	F35*	-	-	-
		$-20^{\circ}\text{C} < t < -5^{\circ}\text{C}$	F50	F35*	F25*	-	-	-
		$-5^{\circ}\text{C} < t$	F35*	F25*	F15*	-	-	-
Sıfın altındaki sıcaklıklara yapı elemanlarının maruz kalma ihtimali	Eleman yüzeyinin su altında bulunması hali	$t < -40^{\circ}\text{C}$	F150	F100	F75	-	-	-
		$-40^{\circ}\text{C} < t < -20^{\circ}\text{C}$	F75	F50	F35*	-	-	-
		$-20^{\circ}\text{C} < t < -5^{\circ}\text{C}$	F50	F35*	F25*	-	-	-
		$-5^{\circ}\text{C} < t$	F35*	F25*	-	-	-	-
	Yüzeyin su temasına açık olması hali	$t < -40^{\circ}\text{C}$	F75	F50	F35	-	-	-
		$-40^{\circ}\text{C} < t < -20^{\circ}\text{C}$	F50	F35*	F25*	-	-	-
		$-20^{\circ}\text{C} < t < -5^{\circ}\text{C}$	F35*	F25*	F15*	-	-	-
		$-5^{\circ}\text{C} < t$	F25*	F15*	-	-	-	-

Çizelge 1.2: Dış duvar yapı elemanlarında aranan donma direnci ve su geçirgenliği

Çevre Koşulları		Beton Sınıfı					
Ortamdaki Nem Oranı γ , %	Dış ortam sıcaklığı	Donma-Çözülme Direnci			Su Geçirgenlik Direnci		
		Yapı Önem Sınıfı					
		1	2	3	1	2	3
$\gamma> \%75$	$t < -40^{\circ}\text{C}$	F100	F75	F50	F200	F150	F100
	$-40^{\circ}\text{C} < t < -20^{\circ}\text{C}$	F75	F50	F35	F100	F75	F50
	$-20^{\circ}\text{C} < t < -5^{\circ}\text{C}$	F50	F35	F25	F75	F50	-
	$-5^{\circ}\text{C} < t$	F35	F25	F15*	F50	-	-
$\%75 > \gamma > \%60$	$t < -40^{\circ}\text{C}$	F75	F50	F35	F100	F75	F50
	$-40^{\circ}\text{C} < t < -20^{\circ}\text{C}$	F50	F35	F25	F50	-	-
	$-20^{\circ}\text{C} < t < -5^{\circ}\text{C}$	F35	F25	F15*	-	-	-
	$-5^{\circ}\text{C} < t$	F25	F15*	-	-	-	-
$\%60 > \gamma$	$t < -40^{\circ}\text{C}$	F50	F35	F25	F75	F50	-
	$-40^{\circ}\text{C} < t < -20^{\circ}\text{C}$	F35	F25	F15*	-	-	-
	$-20^{\circ}\text{C} < t < -5^{\circ}\text{C}$	F25	F15*	-	-	-	-
	$-5^{\circ}\text{C} < t$	F15*	-	-	-	-	-

Şartname, SNIP 1.03-01-84, sıcaklıkların -50°C 'nin altına düştüğü durumlarda ayrıca deney yapılmasını talep etmektedir. Türkiye'nin iklimsel özellikleri göz önüne alındığında, Türkiye sınırları içinde yukarıda verilen değerler kabul edilmesi yeterlidir.

Rus betonarme şartnamelerinde deney sonucu elde edilen prizmatik basınç dayanımı Rus betonarme şartnamesinde $R_{b,n}$, çekme dayanımı $R_{bt,n}$ olarak tarif edilmektedir. Deney sonucu okunan basınç ve çekme dayanımlarına göre beton sınıfı Çizelge 1.3'de verilmiştir (SP 52-101-2003). Deney sonucu elde edilen değerler betonarme elemanların kullanım durumu (Sınır durum 2) analizinde kullanılacak olan değerlerdir.

Çizelge 1.3: Deney sonucu okunan basınç ve çekme dayanımlarının sınıflandırılması (SP 52-101-2003)

Yükleme Durumu	Beton Tasarım Dayanımları										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Eksenel Basınç, Rb,n	7,5	11,0	15,0	18,5	22,0	25,5	29,0	32,0	36,0	39,5	43,0
Eksenel Çekme, Rbt,n	0,9	1,1	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8

Tasarımda kullanılacak olan beton basınç ve çekme dayanım değerleri, anma değerlerin bir güvenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilir (Denklem 1.1a, 1.1b)

$$R_b = \frac{R_{b,n}}{\gamma_b} \quad (1.1a)$$

$$R_{bt} = \frac{R_{bt,n}}{\gamma_{bt}} \quad (1.1b)$$

Basınç dayanımı güvenlik katsayısı γ_b :

- Sınır durum 1 için 1,3,
- Sınır durum 2 için 1,0 alınmalıdır

Çekme dayanımı güvenlik katsayısı γ_{bt} :

- Basınca maruz beton kesit alanı ile ilgili bir hesap yapılacaksa 1,5
- Eksenel çekmeye maruz beton lifinin dayanımı hesabında 1,3
- Kullanım durumu tahkiklerinde (sınır durum 2) 1,0 alınmalıdır.

Ayrıca şartname yapıya etkiyen kuvvetlerin etkime süreleri, elemanın dış etkilere maruz kalıp kalmaması gibi etmenlerin gözetilmesi için farklı güvenlik katsayıları tarif etmektedir.

Rus betonarme şartnamesi beton lifindeki birim uzamaya kesite etki eden yükün etki süresine bağlı olarak sınırlamalar getirmektedir. Kısa süreli yüklemeye maruz kesitlerde sınır birim uzamalar:

- Eksenel basınç için $e_{b0}=0,002$,
- Eksenel çekme için $e_{bt0}= 0,0001$ alınması istenmektedir.

Betonarme elemana uzun süreli yüklerin etkidiği durumlarda sınır birim kısalma değerleri elemanın bulunduğu ortamdaki bağıl nem oranına bağlı olarak farklılıklar gösterecektir (Çizelge 1.4).

Çizelge 1.4: Uzun süreli etkilere maruz kesitte kabul edilen sınır birim uzama değerleri

Atmosferik bağıl nem oranı, %	Uzun süreli etkilere maruz kesitlerde kabul edilen birim uzama değerleri					
	Basınç dayanımı ($\cdot 10^3$)			Çekme dayanımı ($\cdot 10^3$)		
	e_{b0}	e_{b2}	$e_{bt1,red}$	e_{bt0}	e_{bt2}	$e_{bt1,red}$
$\gamma > \%75$	3,00	4,20	2,40	0,21	0,27	0,19
$\%75 > \gamma > \%40$	3,40	4,80	2,80	0,24	0,31	0,22
$\%40 > \gamma$	4,00	5,60	3,40	0,28	0,36	0,26

Rus betonarme şartnamesi betonun Poisson oranı için tek bir değer kabul etmektedir, $\nu_{b,p}=0,2$.

Rus ve Sovyet betonarme şartnameleri betonun elastisite modülü değeri için bir formül vermekten sakınmışlardır. SNIP 2.03.01-84 elastisite modülü değerleri için ayrıntılı bir çizelge sunmaktadır (Çizelge 1.6). Buna karşılık güncel Rus betonarme şartnamesi SP 52-101-2003 daha özet bir çizelgeyi yeterli görmektedir (Çizelge 1.5). Bu iki şartnamede aynı beton sınıfı için verilen elastik modül değerleri NAB beton tipi değerlerinde yakın olmakla birlikte, diğer beton tipleri için farklılıklar göstermektedir.

SNIP 2.03.01-84 betonarme tasarımında Çizelge 1.6'da verilen değerlerin kabul edilmesini şart koşmaktadır. Yapı elemanlarının solar etkilere maruz kaldığı coğrafi bölgelerde (Türkiye gibi) bu değerler % 15 oranında azaltılmalıdır. Ayrıca şartname donma ve çözülme etkilerine maruz kalan elemanlarda elastisite modülünün Çizelge 1.7'de verilen uygun katsayıyla azaltılmasını öngörmektedir.

Çizelge 1.5: SP 52-101-2003'te beton dayanım sınıflarının elastisite modülü

Beton basınç mdayanımına göre beton elastik modül E_b (MPa- $\cdot 10^3$)										
B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
19,0	24,0	27,5	30,0	32,5	34,5	36,0	37,0	38,0	39,0	39,5

Çizelge 1.6: SNIP 2.03.01-84'te beton dayanım sınıflarının elastisite modülü

Beton		Beton mukavemetine göre beton elastik modülü Eb*10^-3																			
		B1	B1.5	B2	B2.5	B3.5	B5	B7.5	B10	B12.5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60	
NWC betonu	Doğal priz	-	-	-	-	9.5	13.0	16.0	18.0	21.0	23.0	27.0	30.0	32.5	34.5	36.0	37.5	39.0	39.5	40.0	
	1 atm'de ısı	-	-	-	-	8.5	11.5	14.5	16.0	19.0	20.5	24.0	27.0	29.0	31.0	32.5	34.0	35.0	35.5	36.0	
	Basıncılı düzenek	-	-	-	-	7.0	9.8	12.0	13.5	16.0	17.0	20.0	22.5	24.5	26.0	27.0	28.0	29.0	29.5	30.0	
FAC betonu	A-Doğal priz	-	-	-	-	7.0	10.0	13.5	15.5	17.5	19.5	22.0	24.0	26.0	27.5	28.5	-	-	-	-	
	A- 1 atm'de ısı	-	-	-	-	6.5	9.0	12.5	14.0	15.5	17.0	20.0	21.5	23.0	24.0	24.5	-	-	-	-	
	B -Doğal priz	-	-	-	-	6.5	9.0	12.5	14.0	15.5	17.0	20.0	21.5	23.0	-	-	-	-	-	-	
	B -1 atm'de ısı	-	-	-	-	5.5	8.0	11.5	13.0	14.5	15.5	17.5	19.0	20.5	-	-	-	-	-	-	
	Basıncılı düzenek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.5	18.0	19.5	21.0	22.0	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
LWC betonu	D800	-	-	-	4.0	4.5	5.0	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	D100	-	-	-	5.0	5.5	6.3	7.2	8.0	8.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	D1200	-	-	-	6.0	6.7	7.6	8.7	9.5	10.0	10.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	D1400	-	-	-	7.0	7.8	8.8	10.0	11.0	11.7	12.5	13.5	14.5	15.5	-	-	-	-	-	-	
	D1600	-	-	-	-	9.0	10.0	11.5	12.5	13.2	14.0	15.5	16.5	17.5	18.0	-	-	-	-	-	
	D1800	-	-	-	-	-	11.2	13.0	14.0	14.7	15.5	17.0	18.5	19.5	20.5	21.0	-	-	-	-	
	D200	-	-	-	-	-	-	14.5	16.0	17.0	18.0	19.5	21.0	22.0	23.0	23.5	-	-	-	-	
Hücreli Beton Sınıfları	500	1.1	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	600	1.4	1.7	1.8	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	700	-	1.9	2.2	2.5	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	800	-	-	-	2.9	3.4	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	900	-	-	-	-	3.8	4.5	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1000	-	-	-	-	-	5.0	6.0	7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1100	-	-	-	-	-	-	6.8	7.9	8.3	8.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1200	-	-	-	-	-	-	-	8.4	8.8	9.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Çizelge 1.7: SNIP 2.03.01-84'e göre donma çözülme azaltma katsayısı

Donma Çözülme Döngüsü	Sıcaklık	Azaltma Katsayısı	
		NAB, IAB	HB
Suya Doygun Çevre	$t < -40^\circ\text{C}$	0,70	0,80
	$-40^\circ\text{C} < t < -20^\circ\text{C}$	0,85	0,80
	$-20^\circ\text{C} < t < -5^\circ\text{C}$	0,90	1,00
	$-5^\circ\text{C} < t$	0,95	1,00
Suyla Temas	$t < -40^\circ\text{C}$	0,90	1,00
	$-40^\circ\text{C} < t$	1,00	1,00

SP 52.101.2003 kesme modülü hakkında bir yorum veya açıklama yapmamaktadır. Buna karşılık SNIP 2.03.01-84 kesme modülünün, G , elastisite modülünün 0,4 katı olarak alınmasını tavsiye etmektedir.

SNIP 2.03.01-84, B7.5'den daha düşük dayanım sınıfında betonun yapılarda kullanılmasına sınırlama getirmektedir. Yüksek basınca maruz kesitlerde (yüksek katlı yapıların alt kat kolonları gibi) minimum beton dayanım sınıfının B25, diğer kesitlerde ise B15 alınmasını tavsiye etmektedir. Ancak güncel betonarme yönetmeliğinde bu tür bir kısıtlama bulunmamaktadır.

Betonun relatif birim uzama ve gerilmesi arasındaki ilişki, SP 52-101-2003’de iki farklı şekilde tarif edilmiştir. Bu diyagramlar 3 kademeli diyagram ve 2 kademeli diyagramdır.

a. Üç kademeli diyagrama göre (Şekil 1.1):

- $0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}$:

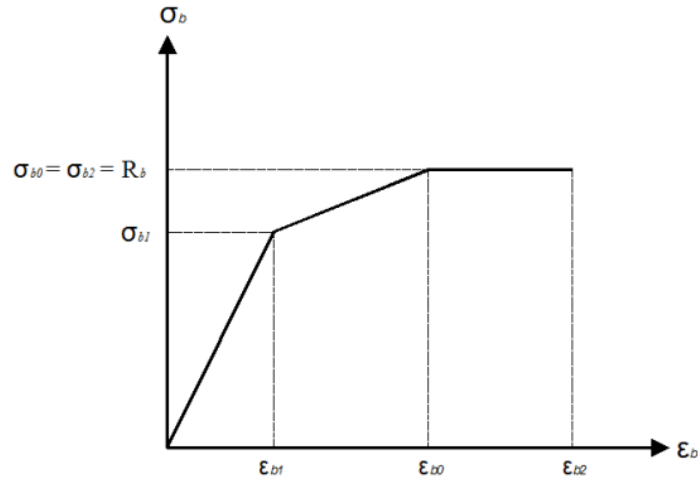
$$\sigma_b = E_b \cdot \varepsilon_b \quad (1.2)$$

- $\varepsilon_{b1} < \varepsilon_b < \varepsilon_{b0}$

$$\sigma_b = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right) \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{b1}} + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right] \cdot R_b \quad (1.3)$$

- $\varepsilon_{b0} < \varepsilon_b < \varepsilon_{b2}$

$$\sigma_b = R_b \quad (1.4)$$



Şekil 1.1: SNIP 2.03.01-84’e göre üç kademeli birim uzama gerilme diyagramı

Üç kademeli diyagramda σ_{b1} Denklem 1.5’de ve ε_{b1} Denklem 1.6’da tarif edilmektedir.

$$\sigma_{b1} = 0,6 \cdot R_b \quad (1.5)$$

$$\varepsilon_{b1} = \frac{\sigma_{b1}}{E_b} \quad (1.6)$$

Rus betonarme yönetmeliğine göre ε_{b2} değeri kısa süreli yükleme durumlarında $\varepsilon_{b2}=0,0035$ alınması istenmektedir. Uzun süreli yükleme durumunda ise ε_{b2} değeri

ortamın nem oranına ve birim elemanın basınç veya çekmeye maruz kalma durumuna göre farklılıklar göstermektedir (Çizelge 1.8).

Çizelge 1.8: SNIP 2.03.01-84'ün öngördüğü nem oranına bağlı olarak kabul edilmesi gereken birim uzama değerleri

Atmosferik nem taşıma kapasitesi, %	Uzun süreli etkilere maruz kesitlerde kabul edilen birim uzama değerleri					
	Basınç dayanımı ($\cdot 10^3$)			Çekme dayanımı ($\cdot 10^3$)		
	ϵ_{b0}	ϵ_{b2}	$\epsilon_{b1,red}$	ϵ_{bt0}	ϵ_{bt2}	$\epsilon_{bt1,red}$
$\gamma > \%75$	3,00	4,20	2,40	0,21	0,27	0,19
$\%75 > \gamma > \%40$	3,40	4,80	2,80	0,24	0,31	0,22
$\%40 > \gamma$	4,00	5,60	3,40	0,28	0,36	0,26

b. İki kademeli diyagrama göre (Şekil 1.2):

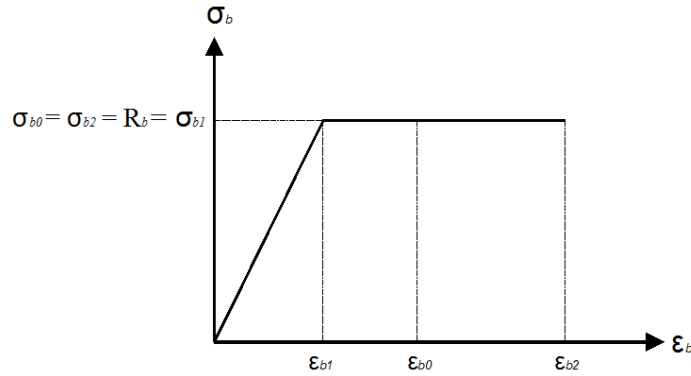
1.1.1. $0 \leq \epsilon_b \leq \epsilon_{b1}$:

$$\sigma_b = E_{b,red} \cdot \epsilon_b \quad (1.7)$$

2. $\epsilon_{b1} \leq \epsilon_b \leq \epsilon_{b2}$:

$$\sigma_b = R_b \quad (1.8)$$

Burada $\epsilon_{b1} = \frac{R_b}{E_{b,red}}$ olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 1.2: SNIP 2.03.01-84'e göre iki kademeli birim uzama gerilme diyagramı

Yüklemenin kısa süreli olması durumunda $\epsilon_{b1,red}=0,0015$ olduğu kabul edilmelidir. Uzun süreli yükleme durumunda ise $\epsilon_{b1,red}$ değeri ortamın bağıl nem oranına veya birim elemanın basınç veya çekmeye maruz kalmasına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir (Çizelge 1.8). İki kademeli diyagramda kabul edilen ϵ_{b2} değerleri ile üç kademeli diyagramda kabul edilen değer özdeştir.

Betonun birim uzamaya bağılı olarak çekme gerilmesi gene iki ya da üç kademeli diyagramlar kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu diyagramlarda kullanılan beton basınç dayanımı, R_b , dolayısıyla beton çekme dayanımı ile değiştirilmektedir. Kısa süreli yükleme durumunda üç kademeli diyagram için $\varepsilon_{b2}=0,00015$ ya da iki kademeli diyagram için $\varepsilon_{b1,red}=0,00008$ alınmaktadır. Uzun süreli yükleme durumlarında Çizelge 1.8'e danışılması önerilmektedir.

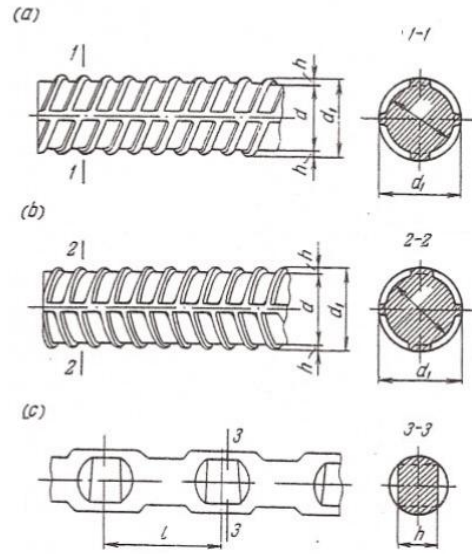
1.2. DONATI

SNIP 2.03.01-84, Sovyet dönemi betonarme şartnamesindeki donatı sınıflandırması, güncel Rus betonarme şartnamesinde (SP 52-101-2003) kullanılmamaktadır. Ancak SNIP 2.03.01-84'de atıfta bulunulan Sovyet dönemi donatı sınıflandırması, GOST 5781-61, bölgede halen daha yaygın olarak başvurulmaktadır. Bunun başlıca sebebi donatı sınıflandırmasında nervürün aldığı şeklin bir sınıflandırma aracı olarak kullanılmasının getirdiği kolaylıklardır. Şartname donatıları nervür şeklinden ayrı olarak mekanik özelliklerini ve akma dayanımlarını da dikkate alarak sınıflandırmaktadır. Ayrıca donatının plastik davranışını temsil etmek için kopma anındaki birim uzama değerleri de dikkate almaktadır. Buna göre yapıda yaygın olarak kullanılan donatı cinsleri aşağıda verilmektedir.

- A-1 sınıf donatı; yüzeyi pürüzsüzdür ve Ct-3 çelik sınıfından imal edilmektedir. Kabul edilen en küçük kopma birim uzaması %25'tir.
- A-2 sınıf donatı; yüzeyi nervürlü, Ct-5 çelik sınıfından imal edilmiştir. Nervür şekli helezoniktir. Çapı 10 mm ile 90 mm arasında imal edilmektedir. Minimum kopma dayanımı 500 MPa, akma dayanımı 300 MPa. (Şekil 1.3a). Kabul edilen en küçük kopma birim uzaması %19'dur.
- A-3 sınıf donatı; yüzeyi nervürlüdür, 25T2C veya 35TC çelik sınıfından imal edilmiştir. Nervürler balık sırtı şeklindedir. Donatı çapı 6 mm ile 40 mm, halat çapı ise 6-9 mm arasında üretilmektedir. Minimum kopma dayanımı 600 MPa, akma dayanımı 400 MPa'dır. Bu donatının alaşım özellikleri %0,6-0,9 silikon, %1,6 manganez, %0,2-0,29 karbondur. Bu donatı cinsi hem basınç hem de çekme donatısı olarak kullanılabilir. Kabul edilen en küçük kopma birim uzaması %14'tür. (Şekil 1.3b).
- A-4 sınıf donatı; yüzeyinde nervürlüdür. 30XT2C çelik sınıfından imal edilmiştir. Minimum kopma dayanımı 900 MPa, akma dayanımı 600 MPa'dır. Bu donatı

cinsi yüksek mekanik özellikleri olduğundan genelde öngerme elemanlarında kullanılmaktadır. Donatının alaşım özellikleri %0,6-0,9 silikon, %1,2-1,6 manganez, %0,6-0,9 krom ve %0,3 karbondur. Bu donatı sınıfının öngerme uygulanmayan betonarme yapılarda kullanılması için eleman dayanımı ve çatlak genişliği için öngörülen hesap kısıtlamalarına dikkat edilmelidir. Kabul edilen en küçük kopma birim uzaması %6'dır.

- Soğukta haddelenmiş donatı. Ct3 çeliğinden imal edilmiştir. Donatı çapı 6 ila 32 mm arasında değişmektedir. Kabul edilen minimum kopma dayanımı 450 MPa'dır. (Şekil 1.3c).



Şekil 1.3: Sovyet federal standartlarına (GOST 5781-61) göre donatı tiplerinin yüzey karakteristikleri. A-2 tip donatı (a), A-3 tip donatı (b), soğukta çekilmiş donatı (c)

Sovyet dönemi Rus betonarme şartnamesi SNIP.03.01-84 bu sınıflandırma yöntemine başvurmakta olup, yapı elemanının öngermeye maruz kalıp kalmaması durumuna göre kullanılmasına sınırlandırmalar getirmektedir. Bu sınırlandırmalarda kullanılan 't' notasyonu donatının ilk üretiminden sonra ürünün bir kez daha termomekanik işleminden geçirilerek dayanımının artırıldığını göstermektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken husus sınıflandırmada ve kısaltmalarda harflerin kullanılması nedeni ile bir karmaşaya mahal vermesidir. Sovyet dönemi donatı sınıflandırmasında :

- A- Sıcakta çekilmiş nervürlü veya nervürsüz termomekanik olarak güçlendirilmesi mümkün donatı türünü,

- b) Bp-Soğukta çekilmiş yüksek dayanıma sahip donatı halat veya teli tarif etmektedir.

Yürürlükte olan betonarme ve öngerme şartnamelerinde, SP 52-101-2003 ve SP 52-102-2004, “Bp” notasyonu soğukta çekilmiş yüksek dayanımlı donatıyı, “K” notasyonu ise halatları ifade etmektedir.

Buna göre SNIP.03.01-84 yapı elemanlarında kullanılacak donatı grupları kullanımına şu kısıtlamaları getirmektedir.

- Boyuna donatı için At4C kullanılmalıdır.
- Boyuna ve enine (etkiye veya donatı olarak) At4C ve At3C kullanılmalıdır.
- Donatı halatı Bp-1, boyuna ve enine donatı olarak kullanılabilir.
- Başka tip bir donatı sınıfı kullanılmadığı takdirde A1, A2, A3 donatı sınıfları kullanılmalıdır.
- Kapalı etkiye veya hasır şeklinde donatı sınıfı için A4, At4 veya At4k kullanılabilir.
- Kapalı etkiye veya hasır şeklinde donatı içeren, eksenel basınç veya çekmeye maruz elemanlarda, boyuna çekme veya basınç donatısı için A5, At5, At5K, At5CK, A6, At6, A6K ve At7 kullanılabilir.
- Öngerme kuvveti olmayan durumlarda A3B grubu donatı tipleri kapalı etkiye veya hasır şeklinde donatı kullanılabilir. Ancak genel olarak şartname A3, At3C, B-1, A1, A2 ve Ac2 donatıların bu durumlarda kullanılmasını tavsiye etmektedir.
- Yapıda kullanılan hasır şeklindeki donatılar kaynak ile birleştiriliyorsa, şartname A3b, At4K ve At5 donatılarının kullanılmasına imkân tanınmaktadır.
- Gaz, sıvı veya granüler malzeme basınca maruz yapılarda öngermesiz donatılarda A1, A2 A3 ve A3C donatı tipi ile Bp-1 kablo sınıfı kullanılmalıdır.

Çizelge 1.9:SNIP 2-03.01-84 donatı sınıflarına bağlı olarak donatı tipi dayanımları

Donatı Sınıfı	Malzeme Çekme Dayanımı R_{sn} ve Sınır Durum 2 Dayanımı R_{ser} (MPa)
A1	235
A2	295
A3	390
A4	590
A5	785
A6	980
A7	1175
A3B	540

Güncel Rus betonarme şartnameleri, SP 52-101-2003 ve SP 52-102-2004'te, yapılarda kullanılacak donatıları 3 ana sınıfta tarif etmektedir. Bunlar;

- Çapı 6-40 mm aralığında olan, sıcak haddelenmiş, nervürlü donatı.
- Çapı 6-40 mm arası değişen termomekanik olarak güçlendirilmiş, nervürlü donatı.
- Soğuk çekilmiş çapı 3-12 mm arası değişen donatı

Bu donatı sınıfları termomekanik olarak dayanımı arttırılmış olup olmamasına bakılmaksızın, donatının üretim şekline bağlı olarak sıcak haddelenmişse Tip A, soğukta çekilmiş ise Tip B olarak adlandırılmaktadır.

Güncel Rus betonarme şartnamesi, SP 52-101-2003'egöre betonarme bir eleman, şartnamede verilen kurallar gözetilerek, aşağıda verilen donatı çeşitlerinden birini içermelidir:

- Düz A240 (A-1) sınıfı,
- Nervürlü A300 (A-2), A400 (A-3, A400c), A500 (A500c), B500 (Bp-1, B500c) sınıfları

Her iki şartname de garanti edilen akma dayanımlarının %0,2 kalıcı şekil değiştirmeye tekabül eden gerilme olarak belirlenmesini talep etmektedir. Güncel Rus betonarme şartnamesine göre, SP 52-101-2003, donatı tipine bağlı olarak nominal çekme dayanım değerleri Çizelge 1.10'de verilmiştir.

Çizelge 1.10: Donatı tipine bağlı olarak çekme dayanımı değerleri $R_{b,t}$

Donatı Sınıfı	Donatı Anma Çapı (mm)	Donatı Çekme Dayanımı $R_{s,n}$
A240	6-40	240
A300	6-40	300
A400	6-40	400
A500	10-40	500
B500	3-12	500

Tasarım çekme dayanımı değeri anma değerinin sınır durumlar gözetilerek verilen güvenlik katsayısı ile azaltılmasıyla elde edilir (Denklem 1.9).

$$R_s = \frac{R_{s,n}}{\gamma_s} \quad (1.9)$$

Güncel Rus betonarme şartnamesinde güvenlik katsayısı donatı tipine bağlı olarak verilmiştir. Buna göre;

- A240, A300, A400 donatı sınıfları için $\gamma_s = 1,10$
- A500 donatı sınıfı için $\gamma_s = 1,15$
- B500 donatı sınıfı için $\gamma_s = 1,10$
- Kullanım durumu hesapları için $\gamma_s = 1,00$

SNIP 2.03.01-84 betonarme elemanlarda donatı elastisite modülü her donatı sınıfı için eşit ve $2,0 \cdot 10^5 \text{MPa}$ olduğu kabul etmektedir. Ayrıca donatıda meydana gelecek birim uzama $\%2,5$ olduğu kabul edilmektedir.

Betonarme eleman tasarımında, sınır durumu 1 analizi için SP 52-101-2003 Çizelge 1.11 de verilen değerler dikkate alınmaktadır.

Çizelge 1.11: SP 52-101-2003'ün öngördüğü donatı tasarım dayanımları

Donatı Sınıfı	Sınır Durum 1 analizi için tasarım değerleri, MPa		
	Çekme Durumu		Basınç R_{sc}
	Boyuna Donatı, R_s	Enine Donatı, R_{sw}	
A240	215	170	215
A300	270	S15	270
A400	355	285	355
A500	435	300	435
B500	415	300	415

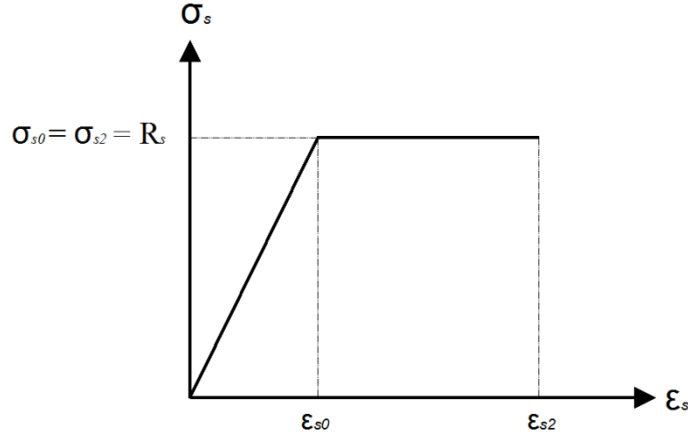
SP 52-101-2003 donatı çeliği birim uzama gerilme bağıntısı için iki kademeli diyagramı esas kabul etmektedir. Buna göre (Şekil 1.4):

- $0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s0}$ ise

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s \quad (1.10)$$

- $\varepsilon_{s0} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2}$ ise

$$\sigma_s = R_s \quad (1.11)$$



Şekil 1.4: İki kademeli birim uzama gerilme diyagramı

Güncel öngerme şartnamesi, SP 52-102-2004, donatı ve halat sınıflarını betonarme şartnamesine göre daha detaylı olarak incelemektedir. Bu şartnameye göre betonarme bir yapı aşağıda verilen donatı tiplerini ihtiva etmelidir.

- Öngerme donatısı olarak
 - Sıcakta çekilmiş, termomekanik olarak güçlendirilmiş donatı tipleri: A600 (A4), A800 (A5), A1000 (A6)
 - Soğuk haddelenmiş donatı tipleri: Bp1200 veya Bp1500 (Bp2)
 - 7- veya 19- kablolu halat: K1400, K1500 (K-7, K1-9)
- Basınç veya çekme donatısı olarak
 - A240 (A1)
 - A300 (A2), A400(A3), A500 (A500C) ve B500 (Bp-1, B500C)

Şartname dış hava sıcaklığının sıfırın altında 40°C ve üzerinde olduğu ortamlarda A600, A300 ve A240 donatı tipleri haricinde yukarıda ifade edilen donatı tiplerinin kullanılmasını olanak tanımaktadır. Bu üç donatı tipi dış hava sıcaklığının -30°C'nin altına düşmediği bölgelerde kullanılabilir.

Modüler olarak tasarlanmış öngerme elemanlarında kaldırma kancaları A240 donatı sınıfından imal edilmelidir.

Çizelge 1.12: SP 52-102-2004'ün öngördüğü donatı tasarım dayanımları

Donatı Tipi	Standard Yarıçap, mm	Çekme Dayanımı R_{sn} veya Sınır Durum 2 Dayanımı R_{ser} (MPa)	Sınır Durum 1 Analizi için Tasarım Değerleri (MPa)	
			Çekme Dayanımı, R_s	Basınç Dayanımı, R_{sc}
A240	6-40	240	215	215
A300	6-40	300	270	270
A400	6-40	400	355	355
A500	10-40	500	435	435 (400)
A600	10-40	600	520	470 (400)
A800	10-32	800	695	500 (400)
A1000	10-32	1000	830	500 (400)
B500	3-12	500	415	415 (360)
Bp1200	8	1200	1000	500 (400)
Bp1300	7	1300	1070	500 (400)
Bp1400	4, 5, 6	1400	1170	500 (400)
Bp1500	3	1500	1270	500 (400)
K1400 (K-7)	15	1400	1170	500 (400)
K1500 (K-7)	6, 9, 12	1500	1250	500 (400)
K1500 (K-19)	14	1500		

SP 52-102-2004'de verilen donatı güvenlik katsayıları SP52-101-2003'de verilen değerlere uygundur. Ancak A600 ve A800 donatı tipleri için $\gamma_s=1,15$ ve Bp1200-1500, K1400, K1500 donatı tipleri için $\gamma_s=1,2$ alınmalıdır.

Donatının basınç dayanımı, R_{sc} , için alınan değerler donatının çekme dayanımına, R_s , eşit olduğu kabul edilmektedir. Ancak tasarımda donatı basınç dayanımı kabulünde donatıyı saran betonun rötre deformasyonu özelliklerini dikkate alınması gerekmektedir. Buna göre donatının basınç dayanımı kısa süreli yüklemelerde 400MPa'dan, uzun süreli yüklemelerde ise 500MPa'dan fazla olmayacağı belirtilmektedir.

Güncel Rus öngerme şartnamesi A ve B donatı tiplerinde, SP 52-101-2003'de olduğu gibi, $E_s=2 \cdot 10^5$ MPa alınmasını uygun görmüştür. Ancak öngerme halatlarında $E_s=1,8 \cdot 10^5$ MPa alınmasını istenmektedir. Şartname A240, A500, B500 donatı tipleri için iki kademeli gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının kullanılmasını isterken, A600-A1000 ve Bp1200-Bp1500 donatı tipleri için üç kademeli lineer gerilme şekil değiştirme diyagramının kullanılmasını istemektedir (Şekil 1.3).

Buna göre:

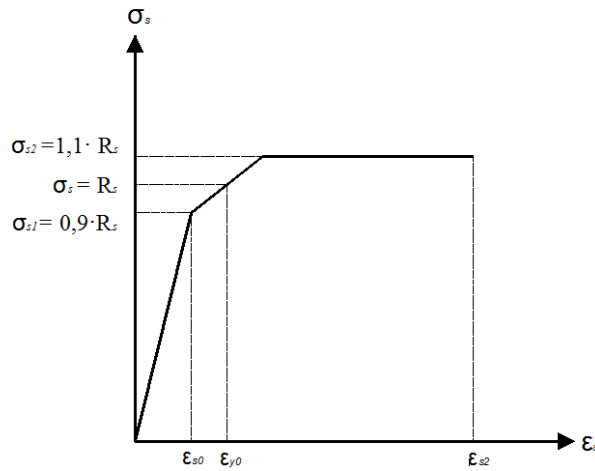
- $0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s0}$ ise

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s \quad (1.12)$$

- $\varepsilon_{s0} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2}$ ise

$$\sigma_s = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{s1}}{R_s} \right) \cdot \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{s1}} + \frac{\sigma_{s1}}{R_s} \right] \cdot R_s \leq 1,1 \cdot R_s \quad (1.13)$$

Burada $\sigma_{s1} = 0,9 \cdot R_s$ ve $\sigma_{s2} = 1,1 \cdot R_s$; $\varepsilon_{s1} = 0,9 \cdot R_s / E_s$ ve $\varepsilon_{s2} = 0,015$ alınmalıdır.



Şekil 1.5: Üç kademeli birim uzama gerilme diyagramı

Şartname öngerme sırasında sıcakta çekilmiş donatıya uygulanacak öngerme gerilmesinin, σ_{sp} , $0,9 \cdot R_{s,n}$ 'den, halat veya soğukta çekilmiş donatılarda $0,9 \cdot R_{s,n}$ 'den az olmasını talep etmektedir.

Öngerme esnasında meydana gelecek kayıplar şartnamede iki grup altında incelenmektedir. Bunlar halatlar veya öngerme donatılarındaki gerilmelerin betona aktarmadan önce meydana gelen ön kayıplar ve aktarma sonrası meydana gelen uzun süreli kayıplardır. Şartname donatıda meydana gelen gevşeme, varsa ısı işlemden kaynaklanan ısı kayıpları ve ankrajlarda meydana gelen uzama kayıpları ön kayıplar adı altında incelenmektedir. Rötire ve sünme kayıpları şartnamede uzun süreli kayıplar adı altında incelenmektedir. Buna göre öngerme işlemi sonucu betonarme bir elemanda meydana gelecek kayıpları şu şekilde incelemelidir:

1) Gevşeme kayıpları

a) A600-A100 donatı tipleri için

i) Mekanik yöntem:

$$\Delta\sigma_{sp1} = 0,1 \cdot \sigma_{sp} - 2,0 \quad (1.14)$$

ii) Elektrikli ısıtma yöntemi:

$$\Delta\sigma_{sp1} = 0,03 \cdot \sigma_{sp1} \quad (1.15)$$

b) Bp1200-Bp1500, K1400 ve K1500 donatı ve halat tipleri için

i) Mekanik yöntem:

$$\Delta\sigma_{sp1} = \left(0,22 \cdot \frac{\sigma_{sp}}{R_{s,n}} - 0,1 \right) \cdot \sigma_{sp} \quad (1.16)$$

ii) Elektrikli ısıtma yöntemi:

$$\Delta\sigma_{sp1} = 0,05 \cdot \sigma_{sp} \quad (1.17)$$

2) Sıcaklık kayıpları: Gerilmeye maruz ısıtma bölgesindeki donatı ile beton arasında meydana gelecek sıcaklık kaybının $\Delta\sigma_{sp2}=1,25 \cdot \Delta t$ alınmasını sıcaklık kaybı için geçerli bir değerin olmadığı durumlarda $\Delta t=65^\circ\text{C}$ alınmasını uygun görmektedir.

3) Ankrajlarda meydana gelen kayıplar:

a) Donatıların veya halatların aynı anda gerilmeye maruz kalmadığı durumlarda ankraj bölgelerinde meydana gelecek deformasyon kaybı:

$$\Delta\sigma_{sp3} = \frac{n-1}{2n} \frac{\Delta l}{l} \cdot E_s \quad (1.18)$$

Burada n: aynı anda gerilmeye maruz kalmayan donatı veya donatı grubu adedi

Δl : ankrajların hareket ötelemesi

Üretim bandının teknik özelliklerinin bilinmediği durumlarda $\Delta\sigma_{sp3}=30\text{MPa}$ alınmalıdır. Şayet üretimde elektrikli ısıtma yöntemi kullanılıyorsa bu kayıplar ihmal edilmelidir.

b) Ankrajlarda meydana gelen elastik kayıplar:

$$\Delta\sigma_{sp4} = \frac{\Delta l}{l} \cdot E_s \quad (1.19)$$

Burada: Δl : Ankraj kilitlerinde meydana gelen kayma miktarıdır. Herhangi bir verinin bulunmadığı durumlarda SP 52-102-2004 öngerme şartnamesi $\Delta l=2 \text{ mm}$ alınmasını talep etmektedir.

4) Betonun r tresinden donatıdaki gerilme kaybı:

$$\Delta\sigma_{sp5} = \varepsilon_{b,sh} \cdot E_s \quad (1.20)$$

Burada $\varepsilon_{b,sh}$ beton sınıfına göre meydana gelecek birim kısılma değerleridir. B35 veya daha düşük basınç beton dayanım sınıfları için $\varepsilon_{b,sh}=0,0002$, B40 beton dayanım sınıfı için $\varepsilon_{b,sh}=0,00025$ ve B45 ve daha yüksek beton basınç dayanım sınıfları için $\varepsilon_{b,sh}=0,0003$ kabul edilmelidir.

5) S nme kayıpları Denklem 1.21'e göre hesaplanmalıdır.

$$\Delta\sigma_{sp6} = \frac{0,8 \cdot \alpha \cdot \varphi_{b,cr} \cdot \sigma_{bpj}}{1 + \alpha \cdot \mu_{spj} \cdot \left(1 + \frac{y_{sj}^2 \cdot A_{red}}{I_{red}}\right) \cdot (1 + 0,8 \cdot \varphi_{b,cr})} \quad (1.21)$$

SP 52-102-2004'de tarif edilen öngerme kuvvetinin betona transfer bölgesi uzunluğu Denklem 1.22'de verilmektedir. Ancak bu değer hiçbir şekilde $10 \cdot d_s$ veya donatı çubuğu için 200mm'den, öngerme halatı için 300mm'den az seçilmemelidir.

$$l_p = \frac{\sigma_{sp} \cdot A_s}{R_{bond} \cdot u_s} \quad (1.22)$$

Burada σ_{sp} :  n kayıplar haricindeki öngerme kuvvetidir.

2. YÜK ŞARTNAMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

2.1. Yüklerin sınıflandırılması

2.1.1. Yüklerin sınıflandırılması – SNIP 2.01.07-89

Rus yük şartnamesi yapıya etki eden yükleri yapıya etki etme sürelerine göre iki ana başlık altında toplamıştır; sabit yükler ve geçici yükler (SNIP 2.01.07-85, Bölüm 1.4-1.9). Geçici yükler üç ayrı gruba ayrılmıştır, kısa süreli yüklemeler, uzun süreli yüklemeler ve özel yüklemelerdir. Uzun süreli yüklemeler, binada taşıyıcı bir özellik gerektirmeyen ve yapının ömrü boyunca yapıya etki etmesi öngörülen yüklerdir. Kısa süreli yüklemeler, yapıda geçici yükleme durumlarının oluşmasına neden olan yükleri kapsamaktadır. Özel yüklemeler yapının ömrü boyunca kısıtlı sayıda maruz kalacağı, ancak yapıda ciddi hasara neden olacağından ayrıca dikkat edilmesi gereken yüklerdir. Bir şema halinde incelenecek olursa;

1. Sabit yükler (S)

- i. Yapının ölü ağırlığı
- ii. Yapıya etki eden zemin ağırlığı veya basıncı, ayrılmış kaya basıncı

2. Geçici yükler (G)

a. Uzun süreli yüklemeler (G_{uz})

- i. Bölme duvarlar ve betonarme makine ayakları
- ii. Sabit makine (motorlar, tanklar, boru hatları, izolasyon ve tankların içini dolduran her tür sıvı) ağırlıkları
- iii. Boru veya tankların içindeki gaz ve sıvı basınçları, havalandırma kanallarında ortaya çıkan basınç farkları
- iv. Depolama alanlarında depolanmış veya yığılmış eşya (tahıl, kitap, arşiv vb.) ağırlıkları
- v. Sabit makinelerin çalışmaları sonucu oluşan ısı etkileri
- vi. Düz çatılarda çatıdaki suyun tahliye edilememesi durumunda biriken suyun ağırlığı
- vii. Sanayi bölgelerinde endüstriyel atıkların veya tozların yapı üzerinde birikmesi

- viii. Nem oranları, sünme ve rötre etkilerinde hesap sonrası meydana gelecek değişiklikler
- ix. Azaltma katsayılarıyla azaltılmış diğer kısa süreli yüklemeler (kar, hareketli yükler, rüzgâr ve ısı etkileri, vinç ve köprü yükleri)
- x. Permafrost tabakanın çözülmesi veya donması gibi zemin özelliklerinde büyük değişimlere neden olmayan zemin etkileri
- b. Kısa süreli yüklemeler (G_{ks})
 - i. Makinelerin yapı içinde monte edilmeleri sırasında yapıda meydana gelen her tür yük durumu
 - ii. Konut, kamu binaları ve tarım binalarına etki eden insan, hayvan veya çatıdaki makine ağırlıkları (hareketli yükler)
 - iii. Seyyar vinçler veya benzeri araçların yapıda meydana getirdiği yükler
 - iv. Kar, rüzgâr, donmuş yağmur ve ısı etkileri
- c. Özel yüklemeler ($G_{öz}$)
 - i. Deprem ve patlama sonucu yapıya etki eden yüklemeler
 - ii. Yapının inşaatı sırasında meydana gelen geçici çökmeler, inşaat sırasında planda yapılan modifikasyonlar veya çeşitli kaza senaryoları
 - iii. Zeminde meydana gelen öngörülmemiş etkiler (zeminin şişmesi, oturmalar vb.)

2.1.2. Yüklerin sınıflandırılması – TS 498

Türk betonarme şartnamesi yük kombinasyonlarının hesabında yükleri 6 başlık altında toplamaktadır. Bunlar, ilgili şartnamede gösterilen kısaltmalarla birlikte;

1. Kalıcı yük etkileri (G)
 - i. Yapı elemanlarının kendi ağırlıkları
2. Hareketli yük etkisi (Q) – Yapı elemanlarına zaman zaman etkiyen ve konum değiştiren statik yükler
 - i. Eşya, insan, hayvan yükleri
 - ii. Kar yükü
3. Sıcaklık değişimi, büzülme, farklı oturma vb. nedenlerle oluşan yük etkileri (T)
4. Yatay kuvvet (örneğin zemin etkisi) etkisi (H)
5. Deprem etkisi (E)
6. Rüzgâr etkisi (W)

Her ne kadar TS 498 “yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri” olarak adlandırılmış olsa da, yapıya etki eden yüklerin hesap değerleri sadece bu kaynak altında toplanmamıştır. TS 498-1997 ve TS ISO 9194-1997 kalıcı yükler, hareketli yükler, kar ve buz etkileri, rüzgâr yükleri ve toprak etkisini içerirken, TS 500 betonarme şartnamesi büzülme, sünme ve sıcaklık farkı etkilerini içermektedir. Ayrıca deprem yüklerinin tayini için Türk Deprem Yönetmeliği’ne, DBYBHY 2007, başvurulmalıdır.

2.1.3. Kıyaslama

Rus yük şartnamesi yükleri yapıya etki etme sürelerine göre sınıflandırmıştır. Ancak Türk yönetmelikleri yüklerin yapıya etki etme sürelerine ek olarak yapıya etki etme doğrultularını dikkate almaktadır. Türk betonarme şartnamesinde düşey yük etkileri kalıcı yük etkileri ve hareketli yük etkileri altında iki başlıkta incelenmiştir.

2.2. Yük Kombinasyonları

2.2.1. Yük Kombinasyonları – SNIP 2.01.07-89

Rus yük şartnamesi yüklerin yapıya olan etkisinde her zaman en elverişsiz durumun incelenmesi şart koşmaktadır (SNIP 2.01.07-89 Mad. 1.10). En elverişsiz durumun tespitinde, şartname iki kombinasyon grubunun oluşturulmasını gerektirmektedir. Bunlar;

1. Temel kombinasyonlar; yapıya sabit, uzun süreli ve kısa süreli yüklerin etki etmesi durumudur. Özel yüklemelerin dikkate alınmadığı bu durum için yapıya etki eden maksimum yük tasarım yükü olarak varsayılmaktadır.

$$= S + \sum \psi_1 \cdot G_{us} + \sum \psi_2 \cdot G_{ks} \quad (2.1)$$

Burada hareketli yükler hesaba dâhil edilirken şartnamede verilen tam değerler alınmalıdır.

ψ : yüklerin aynı anda etki etme ihtimalini göz önüne alan bir katsayıdır. ψ_1 ve ψ_2 için hesaplarda alınacak değerleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Rus yük şartnamesine göre kombinasyon katsayıları

Denklem		Ψ_1	Ψ_2
1	Bir adet kısa süreli yükleme (G_{ks})	-	1,0
1	Bir adet uzun süreli yükleme (G_{uz})	1,0	-
2	Uzun süreli yüklere ek olarak maksimum 3 adet kısa süreli yükleme (G_{ks})	1,0	0,9
2	Uzun süreli yüklere ek olarak 4 veya daha fazla kısa süreli yükleme (G_{ks})	1,0	0,8
2	Şayet kısa süreli yüklerin önem sırası biliniyorsa		
	• Baskın yük		1,0
	• İkinci kısa süreli baskın yük	1,0	0,8
	• Diğer bütün kısa süreli yükler		0,6

2. Özel kombinasyonlar; yapıya sabit, uzun süreli, kısa süreli yüklemeler ve buna ek olarak bir adet özel yükün etkisinin dikkate alındığı durumlardır. Bu durumda yapıya etki eden maksimum yükün hesabında Denklem 2.2 dikkate alınmalıdır.

$$= S + G_{öz} + \psi_2 \cdot G_{ks} + \psi_1 \cdot G_{us} \quad (2.2)$$

Şayet yapı yüksek sismik bir alanda ise ψ_1 ve ψ_2 katsayıları 1,0 alınmalıdır. Yapıya bir aracın çarpması, yangın veya patlama durumları için $\psi_2=0$ alınmalıdır.

2.2.2. Yük Kombinasyonları – TS 498

Yapılarda kullanılacak yük kombinasyonları Türk Betonarme Şartnamesi ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007’de verilmektedir. Deprem yönetmeliği bir yapıya aynı anda hem depremin hem de rüzgârın etki etmeyeceğini varsaymaktadır. Yapının bulunduğu konum ve coğrafi şartlara göre, 4 farklı yüklemenin incelenmesi gerekmektedir, bunlar;

1. Yalnız düşey yükler için;

- i. $=1,4 \cdot S' + 1,6 \cdot Q$
- ii. $=1,0 \cdot S' + 1,2 \cdot Q + 1,2 \cdot T$

2. Rüzgâr yükünün söz konusu olduğu durumda, 1. yükleme ek olarak,

- i. $=1,0 \cdot S' + 1,3 \cdot Q + 1,3 \cdot W$
- ii. $=0,9 \cdot S' + 1,3 \cdot W$

3. Deprem etkisinin söz konusu olduğu durumda, 1. yükleme ek olarak,

- i. $=1,0 \cdot S' + 1,0 \cdot Q + 1,0 \cdot E$
- ii. $=0,9 \cdot S' + 1,0 \cdot E$

4. Yanal toprak etkisinin söz konusu olduğu durumda, 1. yükleme ek olarak,

$$i. = 1,4 \cdot S' + 1,6 \cdot Q + 1,6 \cdot H$$

$$ii. = 0,9 \cdot S' + 1,6 \cdot H$$

Şayet sisteme sıvı basıncı etki ediyorsa ve hazne yüksekliği sınırlı ise, bu basınç 1,4 yük katsayısıyla çarpılarak içinde bu hareketli yük bulunan tüm yük bileşenlerine eklenmektedir.

2.3. Yapı Elemanlarının Ağırlıkları ve Zemin Yüğü

2.3.1. Yapı Elemanlarının Ağırlıkları ve Zemin Yüğü – SNIP 2.01.07-89

SNIP 2.01.07-89 elemanların ağırlıklarının hesaplarda kullanılması için güvenlik katsayısı, γ_f , tarifi yapmaktadır. Önyapım elemanlarının elemanlarının ağırlıkları, şartnamelerin tarif ettiği ve proje çizimleri ile imalat tariflerinde açıklanan değerler kabul edilmelidir. Bütün değerler yapı elemanları için inşaat ve kullanım sırasındaki ihtiva ettikleri nem/su oranlarında dikkate alınarak kesit boyları ve malzeme birim ağırlıkları ile eleman ağırlığının tespiti mümkündür. Yapı elemanları ve zemin için kabul edilecek güvenlik katsayıları Çizelge 2.2’de verilmektedir.

Çizelge 2.2: Rus yük şartnamesine göre ölü yük güvenlik katsayıları

Zemin Tipi veya Yapı Eleman Malzeme Cinsi	Güvenlik katsayısı γ_f
Yapı malzemesi sınıfı	
1.Çelik	1,05
2.Birim hacim kütlesi 1600 kg/m ³ ’den büyük betonarme elemanlar, yığma binalar veya donatı içeren yığma veya ahşap yapılar	1,1
3.Birim hacim kütlesi 1600 kg/m ³ ’e eşit veya daha küçük olan beton izalasyon, kaplama, dolgu amaçlı beton	
• Fabrika üretimi ürün	1,2
• Şantiye üretimi	1,3
Zemin tipi	
1.Doğal durum	1,1
2.Dolgu zemin	1,15

Güvenlik katsayısı hesaba dahil edilirken şu üç hususa dikkat edilmelidir.

- Bir yapı elemanının veya sistemin devrilme durumu incelenirken, zemin ağırlığı katsayısı gerçekte beklenenden farklı olabileceği için $\gamma_f = 0,9$ kabul edilmelidir.
- Zemin yükü hesaba dahil edilirken zemine etki eden tüm yükler, depolanmış malzeme, makine veya araç dikkate alınmalıdır.
- Şayet metal elemanlarda ölü yükün neden olduğu gerilmeler toplam gerilmenin %50’sinden fazlasının teşkil ediliyorsa $\gamma_f = 1,1$ kabul edilmelidir.

2.4. Hareketli yükler

2.4.1. Hareketli yükler– SNIP 2.01.07-89

Rus yük şartnamesi hareketli yükleri 3 başlık altında toplamaktadır. Bunlar;

1. Makine ve depolanmış malzeme veya ürünler,

Makine ve malzeme yüklerinin hesaplara hareketli yük olarak dahil edilebilmesi için, hesaplanan gerçek yük değerinin düzgün yayılı eşdeğer bir yüke çevrilmesine gerek vardır. Şartname makine eşdeğer yükünün hesabında dinamik etkilerin, depolanmış malzeme veya ürün hesaplarında ise döşeme üzerinde çeşitli depolama durumların dikkate alınmasını şart koşmaktadır. Ayrıca eşdeğer yayılı yük, gerçek yük değerinin sistem alanına bölünerek elde edilmesi şartname kurallarına aykırıdır. Eşdeğer yük, Rus yük şartnamesinde, gerçek yükün sistemin herhangi bir kesitinde en büyük kesit etkisini meydana getiren sabit yayılı yük olarak tarif edilmektedir. Üretim ve depolama alanlarında eşdeğer yayılı yük döşeme ve birleşim hesaplarında 3,0kPa'dan, kolon ve temel hesaplarında 2,0kPa'dan az alınmamalıdır. Şayet üretim veya depolama alanlarında taşıma ve kaldırma araçları varsa, hesaplarda dinamik etkilerin de gözetilmesi için bu araçların statik yükleri 1,2 ile çarpılarak arttırılmalıdır. Makine, malzeme ve araç yükü ile ilgili güvenlik katsayıları Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3: Rus yük şartnamesine göre makine, malzeme ve araçların tasarım hareketli yüklerinin tespitinde kullanılan güvenlik katsayıları

Yük Cinsi	Güvenlik katsayısı γ_f
Sabit tehcizat	1,05
Sabit tehcizatın kurulması	1,20
Depolar veya boru hatları	
1. Sıvılar	1,00
2. Süspansiyon sıvılar, gevrek malzemeler veya çamur	1,10
Forklift veya akülü kamyonlar (yükleri ile birlikte)	1,20

2. Sabit yayılı yükler,

İstatistiksel değerlere dayandırılarak belirlenmiş sabit yayılı hareketli yüklerin hesap değerleri Rus yük şartnamesi Bölüm 3.5'den 3.9'a kadar incelenmektedir. Rus yük şartnamesi büyük alanlarda gerçek yüklerin Çizelge 2.4'de verilen istatistiksel değerlerden daha az olacağını öngörmektedir. Rus yük şartnamesine göre yapı sistemindeki en elverişsiz durumun incelenmesinde bazı elemanlara yükün tamamı etkirken, bazı elemanlarda ise azlatılmış değer kadar bir etki olacaktır. Bu nedenle en

elverişsiz durumun incelenmesinde Çizelge 2.4’de verilen tam ve azaltılmış yük durumları dikkate alınmalıdır. Ayrıca kiriş, döşeme, kolon ve temel gibi elemanların hesabında tek bir katın etkisi inceleniyorsa 9 m²’den büyük alanlarda Denklem 2.3’de, 36 m²’den büyük alanlarda ise Denklem 2.4’de verilen azaltma katsayısının kullanılmalıdır.

$$\Psi_{A1} = 0,4 + 0,6 \cdot \sqrt{\frac{A}{A_1}} \quad (2.3)$$

$$\Psi_{A2} = 0,5 + 0,5 \cdot \sqrt{\frac{A}{A_1}} \quad (2.4)$$

Çizelge 2.4: Rus yük şartnamesine göre hareketli yük değerleri

Binalar veya yük depolama alanları	Elemana etkiyen yük miktarı, p, kPA	
	Tam Yük	Azaltılmış Yük
1. Konutlar, apartman daireleri, yatılı okul yatakhaneleri, yazlık yapıların yaşam alanları, oteller, konaklama yapıları, hastane bahçeleri, teraslar	1,5	0,3
2. Teknik, mühendislik, bilimsel veya yönetim binalarının kullanım alanları; eğitim kurumlarının sınıfları, kamu bina ve yapılarının kamu tarafından kullanımına açık yapı bölümleri (tuvaletler, bekleme alanları, temizlik odaları vb.)	2,0	0,7
3. Sağlık, eğitim ve bilimsel araştırma yapan kurumların laboratuvarı; bilgisayar laboratuvarları, kamu binalarının mutfakları ve yemekhaneleri, teknik servis alanları ve temel katlar	en az 2,0	en az 1,0
4. Büyük salonlar, holler - Kütüphaneler - Yemekhaneler (kahveler, restoranlar, kantinler vb.) - Alışveriş merkezleri, sergi alanları - Konferans veya toplantı salonları, bekleme holleri, konser ve spor salonları	2,0 3,0 En az 4,0 4,0	0,7 1,0 En az 1,4 1,4
5. Arşiv veya kitap depolama alanları	En az 5,0	En az 5,0
6. Eğlence alanları, sahneleri	En az 5,0	En az 5,0
7. Seyirci tribünleri - Sabit koltuk - Düzenli oturma alanı bulunmayan tribünler	4,0 5,0	1,4 1,8

8. Çatı katları	0,7	-
9. Alanları üstünü kapayan bölgeler • İnsanların toplanabileceği bölgeler • Toplu hareketin olmayacağı boş bölgeler • Diğer	4,0 1,5 0,5	1,4 0,5 -
10. Balkonlar (daha önceden tarif edilen yüklere ek olarak) • 0,8 m genişliğinde korkuluk bölgesi • Diğer alanlar	4,0 2,0	1,4 0,7
11. Üretim alanlarını makine servis veya bakım alanları	En az 1,5	-
12. Aşağıda verilen maddelerdeki alanlarda lobi, giriş, koridor veya merdiven bulunması durumunda • 1,2 ve 3 numaralı alanlarda • 4, 5, 6 ve 11 numaralı alanlarda • 7 numaralı alanlarda	3,0 4,0 5,0	1,0 1,4 1,8
13. Tren garlarında	4,0	1,4
14. Çiftliklerde • Küçükbaş hayvan • Büyükbaş hayvan	En az 2,0 En az 5,0	En az 0,7 En az 1,8

Kiriş, döşeme, kolon ve temel gibi elemanların hesabında birden fazla katın etkisi inceleniyorsa Çizelge 2.4’de verilen 1, 2, 12.1 numaralı maddeler için Denklem 2.5’de, Çizelge 2.4’de verilen 4, 11, 12.2 numaralı maddeler için ise Denklem 2.6’da verilen azaltma katsayısının kullanılmalıdır.

$$\Psi_{n1} = 0,4 + \frac{(\Psi_{A1} - 0,4)}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

$$\Psi_{n2} = 0,5 + \frac{(\Psi_{A2} - 0,5)}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

Burada n: kat adedidir.

Ayrıca şayet bölme duvarları geçici olarak tasarlandılarsa, ağırlıkları sabit yayılı yük olarak alınmalıdır ve yayılı yük değeri asla 0,5 kPa’dan az öngörülmemelidir.

3. Noktasal yükler ve korkuluk yükleri,

Döşeme, çatı, merdiven, balkon gibi taşıyıcı elemanlar noktasal yük etki etmesi durumunda bu yükün kesit etkilerini tespiti için, diğer hareketli yük etkileri göz ardı edilerek, en elverişsiz durum araştırılması yapılmalıdır. Noktasal yükün etki ettiği yüzey alanı kenarları 100 mm olan kareyi aşmamalıdır. Noktasal ve korkuluk yüklemeleri için güvenlik katsayısı $\gamma_f=1,2$ alınmalıdır. Eğer bu tür taşıyıcı elemanların kesite etkilerinin tespitinde tasarım noktasal bir yük tarif etmemişse, noktasal yük;

1. Merdiven ve döşemeler için 1,5 kN
2. Çatı döşemesi, çatı, teras ve balkon için 1,0 kN
3. Izgara sistemler için 0,5kN kabul edilmelidir.

Balkon veya merdiven korkuluklarındaki hareketli yük değerleri

1. Konut, okul, konaklama merkezleri, hastane ve benzeri tıbbi merkezler için 0,3 kN/m
2. Spor merkezleri ve stadyumlar için 1,5 kN/m
3. Madde 1 ve 2'nin kapsamı dışında kalan bina veya alanlarda 0,8 kN/m alınmalıdır.

2.4.2. Hareketli yükler – TS 498

Hareketli yüklerin hesap değerleri için Türk yük şartnamesi bir tablo sunmaktadır. Taşıyıcı eleman olmayan diğer hareketli yüklerin hesap değerlerinin tespiti için TS ISO 9194'e başvurulmalıdır. TS 498 ayrıca hareketli yük azaltmasına olanak tanımaktadır. Ağır sanayi atölyeleri, imalathaneler ve depolar harici yapılarda şayet kat adedi üçten fazla ise konutlarda %40'a, işyerleri ve imalathaneler için %20'ye varan azaltmalar mümkündür. Azalma oranları Çizelge 2.6'de verilmiştir.

2.4.3. Kıyaslama

Rus yük şartnamesi hareketli yükleri üç ana başlık altında sınıflandırırken, Türk yük şartnamesinde makine yayılı yükü ve noktasal yüklerin hesap değerlerini gösteren bir bölüm mevcut değildir. Türk yük şartnamesinde hastane, okul, stadyumlar ve benzeri yapılarda korkuluklara gelecek yatay ve düşey yükler tarif edilmemiştir.

- Rus yük şartnamesinde iki cins azaltma katsayısı bulunmaktadır. Ancak her iki azaltma katsayısı da yük alan bölgenin kapladığı toplam alanla orantılı olarak

tarif edilmiştir. Kolonlara gelen düşey hareketli yüklerin kat adedine bağlı olarak azaltılması Rus yük şartnamesinde daha ani olmaktadır. Türk yük şartnamesinde daha kademeli olmaktadır, ancak azaltma oranı kat adedi 9 ve üstü olduğu durumda sabit olmaktadır. Her ne kadar Rus yük şartnamesi belirli bir kat adedinden sonra sabit bir azaltma katsayısı vermemiş olsa da, her iki şartname benzer koşullar için kat adedi arttıkça aynı azaltma oranlarına yaklaşmaktadır.

Çizelge 2.5: Rus yük şartnamesinde göre kolon, perde ve temellere gelen hareketli yüklerin azaltılması için önerilen katsayılar

Alan>9 m2	Döşeme yükü azaltma katsayısı	Kat Adedi									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	0,80	1,00	0,68	0,63	0,60	0,58	0,56	0,55	0,54	0,53	0,53
30	0,73	1,00	0,63	0,59	0,56	0,55	0,53	0,52	0,52	0,51	0,50
Alan>36 m2											
40	0,97	1,00	0,84	0,77	0,74	0,71	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65
50	0,92	1,00	0,80	0,74	0,71	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63
60	0,89	1,00	0,77	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62
70	0,86	1,00	0,75	0,71	0,68	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61
80	0,84	1,00	0,74	0,69	0,67	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61
90	0,82	1,00	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60
100	0,80	1,00	0,71	0,67	0,65	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,59

Çizelge 2.6: TS 498'e göre kolon, perde ve temellere gelen hareketli yüklerin azaltılması için önerilen katsayılar

Azaltma Değerleri	Kat Adedi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Konut benzeri yapılar için	1,00	1,00	1,00	0,95	0,88	0,80	0,71	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60
Atölye, işyeri ve imalathane benzeri yapılar	1,00	1,00	1,00	0,98	0,94	0,90	0,86	0,83	0,80	0,80	0,80	0,80

Türk yük şartnamesinde verilen hareketli yük hesap değerleri Rus yük şartnamesine kıyasla daha büyük seçilmiştir. Özellikle stadyum gibi hareketli yüklerin ve dinamik etkilerinin büyük olduğu yapılarda şartnameler arasında %50'ye varan oranda farklar bulunmaktadır.

2.5. Vinç yükleri

2.5.1. Vinç yükleri – SNIP 2.01.07-89

Rus yük şartnamesi bina içindeki vinçlerin betonarme binalara etkisinin hesabı için detaylı bir açıklama vermemektedir. Rus vinç şartnamesi (GOST 25546-82) kullanılacak vinçleri ebadı ve kaldıracakları yüklere göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmanın daha genel hali Rus yük şartnamesi Ek 1’de verilmektedir. İlgili bölümde üç konuya dikkat edilmelidir. Bunlar:

1. Fabrikalarda kullanılan köprü vinçler fren yaptıklarında tekerleklerle gelen yükün %10’unu yatay kuvvet olarak yapı sistemine aktarırlar. Şayet vinç ve yük arasındaki birleşim elastik ise, yani vinç sistemi vincin hareketi durduktan sonra yükün bir miktar daha hareket etmesine olanak tanıyorsa yapıya aktarılan yatay kuvvet tekerleklerle gelen yükün %5’i kabul edilebilir.
2. Vinç sistemlerinin yapı sistemlerine olan dinamik etkilerinin hesaplarda dikkate alınması için vinç boyutlarına bağlı olarak statik yük arttırılacaktır. Orta veya küçük boy vinçler için bu dinamik etki ihmal edilirken, büyük boy vinçlerin açıklıklarına bağlı olarak alınması gereken dinamik etki faktörleri SNIP 2.01.07-89 Bölüm 4,9’da ve GOST 25546-82’de verilmiştir. Bu değerler statik yükün %10 ila %20’si arasında arttırılmasını gerektirmektedir.
3. Şayet yapı sisteminde bir kolon, kirişler aracılığıyla 2 tane vincin aktardığı yükleri taşıyorsa kolon kapasitesinin hesabında vinç kapasitelerinin toplanması çok muhafazakâr bir çözüm oluşturacaktır. Rus yük şartnamesi bu hususu dikkate almış ve vinç boyutlarına bağlı olarak kolonlara aktarılan vinç kapasitelerinin %15’e varan oranlarda azaltılmasını uygun görmektedir (SNIP 2.01.07-89 Madde 4.17).

2.6. Kar yükü

2.6.1. Kar yükü – SNIP 2.01.07-89

Rus yük şartnamesi yapıya etki eden kar yükünün hesabını ilgili şartnamenin 5. bölümünde açıklamaktadır. Buna göre kar yükünün yapıdaki yatay izdüşümü Denklem 2.7'den hesaplanmalıdır.

$$S_k = S_0 \cdot \mu \quad (2.7)$$

Burada; S_0 - Rus iklim raporunda bölgelere göre sınıflandırılmış, yatay 1 m²'lik bir alana etki eden kar yükü, (Çizelge2.7).

μ - S_0 yükünün hesabında kullanılan, kar birikmesinin zeminde olması kabulünün kar yükünün çatıya etki etmesi için gerekli dönüştürme katsayısı. Bu katsayılar çatı çeşitlerine göre farklılıklar göstermekte olup, SNIP 2.01.07-89 Ek 3'de verilmiştir.

Çizelge 2.7: Rus yük şartnamesinde göre birim alan kar yükü

İklimsel haritada ifade edilen kar yükü	1	2	3	4	5	6
S_0 (kPa)	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5

Dağlık, iklimsel araştırmanın yeterli olmadığı veya deniz seviyesinden 1500 metre veya daha yüksek olduğu bölgelerde, Rus yük şartnamesi kar yükü için yerel federal değerlerin kullanılmasını önermektedir. Bu değerlerin geçerli olması için rüzgâr olmayan bir bölgenin en az 10 yıllık bir dönem boyunca gözlemlenmesini şart koşmaktadır.

Rus yük şartnamesi Ek 3'de verilen μ değerleri incelendiğinde iki yaklaşım dikkat çekmektedir. İlki çatı eğiminin az olduğu durumlarda eğim etkisi ihmal edilecek düzeyde olduğudur. Şayet çatı eğimi sabit olmayıp değişkenlik gösteriyorsa, yani çatı kemer, sırtlı vb. şekillerde tasarlanmışsa, kar çatının belirli bölümlerinde birikme göstermektedir. Rus yük şartnamesi bu tür durumların hesaplarda incelenmesi için kar yükünün iki veya daha fazla senaryoyla incelenmesini şart koşmuştur. Gerekli değerler ve yük tabloları SNIP 2.01.07-87 Ek 3'de verilmiştir.

Rus yük şartnamesi çatı kesitlerine ve bölgenin en soğuk üç ayında ölçülen ortalama rüzgâr hızına bağlı olarak kar yükünün %15 oranında azaltılmasına olanak tanımaktadır.

Kar yükü güvenlik katsayısı γ_f şartnamede 1,4 olarak alınmaktadır.

2.6.2. Kar yükü – TS 498

Türk yük şartnamesi kar yükünü yapının bulunduğu bölgeye ve deniz seviyesinden olan yüksekliğine bağlı olarak vermektedir. Şartnamede verilen kar yükü hesap değeri olarak kullanılabilmesi için çatı eğimine bağlı olarak azaltılır. 30°'e kadar eğimli çatılarda kar yükü kar yükü hesap değerine eşit kabul edilmiştir ve çatı alanının plandaki düzgün yayılı yükü olarak dikkate alınmıştır. TS 498 Ek 1'de kar yükü şartnamede ilçe bazında verilmiştir.

2.6.3. Kıyaslama

Rus yük şartnamesi coğrafi sebeplerden dolayı daha soğuk bir iklim için hazırlanmıştır. Bu yüzden SNIP 2.01.07-87'de verilen kar yükleri Türk yük şartnamesinde verilenlere kıyasla çok daha büyüktür. Ayrıca Rus yük şartnamesi çatı eğimiyle orantılı bir katsayı yerine her çatı tipi için ayrı hesaplanması gereken bir dönüştürme katsayısı tarif etmektedir. Bu tarifi ifadesinde çatılardaki kar birikmelerine dikkat çekilmektedir. Türk yük şartnamesi kar birikimlerine dikkate almamaktadır. Ayrıca Türk yük şartnamesi kar yükünde rüzgâra veya bina ısı kayıplarına bağlı olarak bir yük azaltması tarifine gitmemiştir. Aynı kar yağışına maruz bir bölgede inşa edilen aynı sabit çatı eğimine sahip bir yapı için her iki şartname aynı sonuçları vermektedir.

2.7. Rüzgâr Yükü

2.7.1. Rüzgâr Yükü – SNIP 2.01.07-89

SNIP 2.01.07-85 adlı Rus yük şartnamesinin 6 numaralı bölümünde yapıya olan rüzgâr etkisinin hesaplanması için gerekli işlem açıklanmıştır. Rus şartnamesi yapıya etki eden toplam rüzgâr kuvvetini aşağıda verilen üç rüzgâr durumunun kombinasyonları olarak tarif etmektedir. Bu kombinasyonlar yapının yüksekliğine, tipine, kullanım durumuna ve ısıtma sistemlerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

- W_e – Yapı dış yüzeyine dik etki eden rüzgâr etkisi
 - W_m – Sabit (ortalama) rüzgâr basıncı
 - W_p – Fırtına (atımlı) rüzgâr basıncı

- W_f – Yapı dış yüzeyine teğet olarak etki eden rüzgâr sürtünme gerilmesi
- W_i – Rüzgâr yapı iç basıncı

Rus şartnamesi uyarınca rüzgâr basıncı ortalama rüzgâr basıncıyla (W_m) atımlı rüzgâr basıncının toplamıdır. Burada sabit rüzgâr basıncı, W_m , Denklem 2.8’e göre hesaplanmaktadır.

$$w_m = w_0 \cdot k \cdot c \quad (2.8)$$

Burada w_0 - Rus iklimsel değerler şartnamesinde verilen Rusya’daki rüzgâr dağılım haritasında verilen ortalama rüzgâr basıncı (Çizelge 2.8). Şartname yapı şayet iklim şartnamesi dışındaki bir bölgede veya yerel etkilerin göz ardı edilemeyeceği yerlerde konumlu ise Denklem 2.9’de verilen eşitliğin kullanılmasını uygun görmektedir.

$$w_0 = 0,61 \cdot v_0^2 \quad (2.9)$$

Burada v_0 yerden 10 m yüksekte ölçülen 5 yıllık ortalama rüzgâr hızıdır.

Çizelge 2.8 : Rus yük şartnamesinde tarif edilen bölgelere göre rüzgâr basıncı

İklimsel haritada ifade edilen normal rüzgâr basıncı	1a	1	2	3	4	5	6	7
w_0 (kPa)	0,17	0,23	0,3	0,38	0,48	0,6	0,73	0,85

k – Yapının bulunduğu alan ve yapı yüksekliğine bağlı olarak verilen katsayı. Bu sabit yapının bölgenin rüzgârın şiddetine olan etkisini üç durum incelemektedir. Bunlar:

- A bölgesi: Hava akımını engelleyecek hiçbir baskın düşey coğrafi yapının olmadığı deniz, göl veya baraj gölü kıyıları, çöller ve tundralar gibi bölgeler,
- B bölgesi: Hava akımını kısmi olarak kesen şehir, ormanlık bölgeler veya 10 m’den yüksek engellerin bulunduğu bölgeler,
- C bölgesi: Çevre binaların 25m’den yüksek olduğu şehir bölgeleri olarak ifade edilmektedir.

Bu bölgeler esas alınarak k sabiti yapı yüksekliğine bağlı olarak değişimi Çizelge 2.9’de verilmiştir.

Çizelge 2.9: Rus yük şartnamesine göre k katsayı değerleri

Yükseklik z (m)	k sabiti değerleri		
	A	B	C
≤5	0,75	0,50	0,40
10	1,00	0,65	0,40
20	1,25	0,85	0,55
40	1,50	1,10	0,80
60	1,70	1,30	1,00
80	1,85	1,45	1,15
100	2,00	1,45	1,15
150	2,25	1,90	1,55
200	2,45	2,10	1,80
250	2,65	2,30	2,00
300	2,75	2,50	2,20
350	2,75	2,75	2,35
≥480	2,75	2,75	2,75

c - Yapı aerodinamik sabiti. Bu sabitin değeri için kabul edilecek değerler Rus yük şartnamesi Ek-4’de diyagramlar halinde verilmiştir. Diyagramlarda incelenmemiş yapılar için deneysel değerlerin kullanılmasına veya başka şartnamelere başvurulmasına Rus yük şartnamesi izin vermektedir.

Fırtına rüzgâr basıncı hesabı rüzgar frekansına bağlı olarak incelenmektedir. Bu amaç doğrultusunda Rus şartnameleri büyük rüzgar frekansı tarifinde bulunmaktadır. Buna göre en büyük rüzgar frekansı değeri, f_1 , yapı geometrisinden doğan atalet kuvvetlerinden bağımsız olarak iklim bölgelerine göre tayin edilmelidir (Çizelge 2.10).

Çizelge 2.10: Rus yük şartnamesine göre f_1 değerleri

Rus iklim bölgeleri	f_1 (Hz) değerleri	
	$\delta=0,3$	$\delta=0,15$
1a	0,85	2,6
1	0,95	2,9
2	1,1	3,4
3	1,2	3,8
4	1,4	4,3
5	1,6	5,0
6	1,7	5,6
7	1,9	5,9

Silindirik yapılarda yapının birinci mod frekansının en büyük rüzgar frekansından küçük olması durumunda ($f_1 < f_l$), genel kontrollere ek olarak rüzgar rezonansı durumunun incelenmesi gerekmektedir.

Çizelge 2.10’da verilen logaritmik salınım sönüm değeri, δ , yatay ötelemenin az olduğu betonarme, yığma, veya çelik çerçeve türü yapılarda $\delta = 0,3$, yatay

ötelemenin göreceli çok olduğu çelik kuleler, bacalar ve köprülerdeki kolon benzeri ayaklarda $\delta = 0,15$ olarak dikkate alınmalıdır.

Yapıda z yüksekliğinde fırtına rüzgar basıncı hesabı en büyük rüzgar frekansı ile yapı frekansı arasındaki ilişkiye bağlı olarak hesaplanmalıdır.

1. En büyük rüzgâr frekansının yapı 1. mod frekansından küçük olması halinde fırtına rüzgâr basıncı Denklem 2.10 uyarınca hesaplanır.

$$w_p = w_m \cdot \zeta \cdot v \quad (2.10)$$

Burada w_m : Denklem 2.8’de tarifi verilmektedir.

ζ : Dinamik basınç katsayısı (Çizelge 2.11)

v : Yapının baskın rüzgar yönüne göre konumunu dikkate alan bir katsayıdır. Dikdörtgen planlı yapılarda hesaplarda Çizelge 2.12 ve 2.13 dikkate alınarak bu değerin tayini yapılmalıdır.

Çizelge 2.11: Rus yük şartnamesine göre ζ katsayı değerleri

Yükseklik z (m)	ζ sabiti değerleri		
	A	B	C
≤ 5	0,85	1,22	1,78
10	0,76	1,06	1,78
20	0,69	0,92	1,50
40	0,62	0,80	1,26
60	0,58	0,74	1,14
80	0,56	0,70	1,06
100	0,54	0,67	1,00
150	0,51	0,62	0,90
200	0,49	0,58	0,84
250	0,47	0,56	0,80
300	0,46	0,54	0,76
350	0,46	0,52	0,73
≥ 480	0,46	0,50	0,68

Çizelge 2.12: Rus yük şartnamesine göre v katsayı değerleri

ρ (m)	χ (m) yüksekliğinde v katsayı değerleri						
	5	10	20	40	80	160	350
0,1	0,95	0,92	0,88	0,83	0,76	0,67	0,56
5	0,89	0,87	0,84	0,80	0,73	0,65	0,54
10	0,85	0,84	0,81	0,77	0,71	0,64	0,54
20	0,80	0,78	0,76	0,73	0,68	0,61	0,51
40	0,72	0,72	0,70	0,67	0,63	0,57	0,48
80	0,63	0,63	0,61	0,59	0,56	0,51	0,44
160	0,53	0,53	0,52	0,50	0,47	0,44	0,38

Çizelge 2.13: Rus yük şartnamesine göre ρ ve χ katsayı değerleri

Şekil 2.1’de tanımlanan tasarım yüzey boyutları	0,95	0,92
z_{0v}	b	h
z_{0x}	$0,4 \cdot a$	h
x_{0v}	b	a

2. Tek serbestlik dereceli olan veya olduğu varsayılabilir yapılar, $f_1 < f_l$ olması halinde Denklem 2.11 geçerlidir.

$$w_p = w_m \cdot \xi \cdot \zeta \cdot \nu \quad (2.11)$$

Burada ξ : dinamik etki katsayısıdır (Şekil 2.2).

Şekil 2.2’de γ_f rüzgar güvenlik katsayısı ($\gamma_f = 1,4$) ve w_0 ortalama rüzgar basıncı olmak üzere ε katsayısı Denklem 2.12 uyarınca hesaplanır.

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\gamma_f \cdot w_0}}{940 \cdot f_1} \quad (2.12)$$

3. Simetrik plana sahip yapılar $f_1 < f_l$ ise $f_1 < f_l < f_2$ durumunda Denklem 2.13 geçerlidir.

$$w_p = w_m \cdot \xi \cdot \zeta \cdot \nu \quad (2.13)$$

Burada w_m : rüzgâr yükünün etkidiği kattaki yapı kütlesi

y : 1. Mod sonucu z katında meydana gelen yatay öteleme

ψ : yapının rüzgar yükünün sabit kabul edildiği r sayıdaki elemana bağlı olarak hesaplanan bir katsayıdır (Denklem 2.14).

$$\psi = \frac{\sum_{k=1}^r y_k \cdot w_{pk}}{\sum_{k=1}^r y_k^2 \cdot M_k} \quad (2.14)$$

Burada M_k : yapının k bölümündeki kat kütlesi

y_k : k bölümünde meydana gelen yatay öteleme miktarı

w_{pk} : k bölümü için Denklem 2.10’da elde edilen w_p değeridir.

Rüzgâr sürtünme gerilmesi (W_f) ve rüzgâr yapı iç basıncı (W_i) için kabul edilmesi gereken değerler ilgili şartnamenin 6 numaralı ekinde diyagramlar halinde

verilmektedir. SNIP 2.01.07-85 rüzgâr iç basıncının hesaplanmasında 40m'den daha kısa çok katlı binalarda ve 36m'den kısa yükseklik/açıklık oranının 1,5'den az olduğu tek katlı endüstriyel yapılarda fırtına basıncının ihmal edilmesine olanak tanımaktadır.

Rüzgâr basıncı için güvenlik katsayısı, $\gamma_f=1,4$ alınmalıdır. Şayet 5 yıllık ortalama rüzgâr hızına göre oluşturulmuş Rus yük şartnamesine göre hesaplanan rüzgâr basınç değerleri bu güvenlik katsayısı ile büyütülürse 50 yıllık rüzgâr ölçümleriyle elde edilen rüzgâr basıncıyla aynı olduğu görülmektedir. [Popov Nikolai A., “The wind load codification in Russia and some estimates of a gust load accuracy provided by different codes, 2000]

2.7.2. Rüzgâr Yüğü – TS 498

Türk yük şartnamesinde verilen hesap yöntemi kendi şartnameleri veya standartları olan, köprü, vinçler, yüksek bacalar, radyo yayın kuleleri veya yüksek gerilim hatları gibi yapılar için geçerli değildir.

Türk yük şartnamesine göre yatay rüzgâr yüğü hesap değeri Denklem 2.11'e göre hesaplanmalıdır.

$$W = C_f \cdot q \cdot A \quad (2.11)$$

Burada C_f : Aerodinamik yük katsayısı, yapı geometrisine veya rüzgârın esiş yönüne bağlıdır. Deney sonucu elde edilir.

q : emme basıncıdır. Denklem 2.12'a göre hesaplanır.

$$q = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (2.12)$$

Burada ρ : havanın birim hacim ağırlığı (1,25 kg/m³ kabul edilir),

v : rüzgâr hızı

A : rüzgar etkisine açık yüzey alanıdır.

Yapı üst yüzeyine dik olarak etki ettiği varsayılan rüzgâr basıncı Denklem 2.13'da verilmektedir.

$$w = C_p \cdot q \quad (2.13)$$

Burada C_p emme katsayısıdır ve Türk yük şartnamesi Çizelge 6'da verilmektedir.

2.7.3. Kıyaslama

Rus yük şartnamesi tıpkı Türk yük şartnamesi gibi rüzgâr yükünü yapı etki eden sabit bir yük olarak hesaplarına dâhil etmektedir. Ancak Rus yük şartnamesi yapıya etki eden rüzgâr hesap değerinin tespitinde rüzgâr frekansını göz önüne almaktadır. Frekans etkisi fırtına/atımlı rüzgâr yükü hesap değerinin tespitinde kullanılmaktadır. Türk yük şartnamesi yükü yapıya etki eden sabit bir değer olarak ele almaktadır ve bu dinamik etkiyi göz önüne almamaktadır.

Ayrıca Türk yük şartnamesi rüzgâr sürtünme etkisini veya yapının içine etki eden rüzgâr kuvvetlerini ihmal etmektedir.

2.8. Buz yükü

2.8.1. Buz yükü– SNIP 2.01.07-89

Rus yük şartnamesine göre buz yükü sadece yüksek gerilim hatları ve kuleleri veya benzeri yüksek kuleler için hesaplanmalıdır. Şartnameye göre buz yükü değerleri kablo benzeri ince elemanların etrafını saran buz tabakasına bağlıdır. Bu yüzden betonarme elemanlar gibi büyük kesitlere sahip elemanlarda bu değer araştırılmasına gerek yoktur.

2.8.2. Buz yükü – TS 498

Türk yük şartnamesi buz yükü için herhangi bir değer vermemektedir. Bunun nedeni olarak buz oluşumunun çok değişkene bağlı olduğunu ileri sürmektedir. Şayet buz yükünün mutlaka hesaba katılmasında gerek görülüyorsa, deniz seviyesinden 400m'den daha yüksekteki yerler için yapının bütün yüzeylerinin 3 cm kalınlığında buzla kaplı olduğu varsayılmalıdır.

2.9. İklimsel sıcaklık etkileri

2.10. İklimsel sıcaklık etkileri – SNIP 2.01.07-89

İklimsel sıcaklık etkileri ani sıcaklık değişimi “v” ve zamana yayılı ortalama sıcaklık değişimi Δt olmak üzere iki ayrı grupta incelenmektedir. Türk yük ve betonarme şartnamesinde bu tür bir etki araştırılmamaktadır.

Zamana yayılı ortalama sıcaklık değişiminin hesaplanmasında sıcak mevsimler ve soğuk mevsimler için gerekli değerler (Δt_w ve Δt_c) ayrı olarak hesaplanmaktadır (Denklem 2.14-15).

$$\Delta t_w = t_w - t_{0c} \quad (2.14)$$

$$\Delta t_c = t_c - t_{0w} \quad (2.15)$$

Burada; t_w ve t_c sıra ile sıcak ve soğuk mevsimlerdeki ortalama eleman sıcaklığı (Çizelge 2.14).

t_{0w} ve t_{0c} sıra ile sıcak ve soğuk mevsimlerdeki ilk sıcaklıklardır. (Denklem 2.16 ve 2.17)

$$t_{0w} = 0,8 \cdot t_4 + 0,2 \cdot t_1 \quad (2.16)$$

$$t_{0c} = 0,2 \cdot t_4 + 0,8 \cdot t_1 \quad (2.17)$$

Burada t_4 ve t_1 sıra ile Rus iklim şartnamesinde verilen Temmuz ve Ocak ayları için hesaplanmış ortama aylık sıcaklık değerleridir.

Çizelge 2.14: Rus yük şartnamesine göre eleman ortalama sıcaklık değerleri

Yapı elemanları,		Isıtmanın olmadığı yapılar	Isıtmanın olduğu yapılar	Sürekli ısıtılan , havalandırma sistemi kurulu yapılar
Güneş Etkilerine Maruz	Sıcak mevsim	$tw = tew + \theta_1 + \theta_4$		$tw = tiw + 0,6 \cdot (tew - tiw) + \theta_2 + \theta_4$
		$vw = \theta_s$		$vw = 0,8 \cdot (tew - tiw) + \theta_3 + \theta_5$
	Soğuk mevsim	$tc = tec - \theta_1$		$tc = tic + 0,6 \cdot (tec - tic) - 0,5 \cdot \theta_2$
		$vc = 0$		$vc = 0,8 \cdot (tec - tic) + 0,5 \theta_2$
Güneş Etkilerinden Korunmuş	Sıcak mevsim	$tw = tew$		$tw = tiw$
		$vw = 0$		
	Soğuk mevsim	$tc = tec$		$tc = tic + 0,6 \cdot (tec - tic) - 0,5 \cdot \theta_2$
		$vc = 0$		

2.11. Diğer Yükler – SNIP 2.01.07-89

Rus yük şartnamesi hareketli yükler, vinç yükleri, kar yükü, rüzgâr yükü ve sıcaklık etkileri haricinde yapıya etki eden yüklerin tamamını “diğer yükler” başlığı altında toplamıştır. Şartname bu yüklerin değerleri ve hesaplama yöntemi için bir açıklamada bulunmamıştır. Özel sıcaklık etkileri, nem, sünme, rötire ve başka rüzgâr etkileri için şartname diğer yönetmeliklere başvurulmasını uygun görmüştür.

2.12. Sehimler ve yer değiştirmeler

2.13. Sehimler ve yer değiştirmeler – SNIP 2.01.07-89

Rus yük şartnamesi elemanların malzeme özelliklerine bağlı olmaksızın ikinci tasarım sınır durum için her elemanda sehim kontrolü yapılmasını şart koşturmaktadır. Nükleer santraller, yüksek gerilim hatlarını taşıyan kuleler ve radyo televizyon kuleleri haricindeki bütün yapılarda eleman boyutlandırılmasında SNIP 2.01.07-89 Bölüm 10’da verilen sınır değerler kontrol edilmelidir (Çizelge 3.1). Kapsam dışında tutulan yapılardaki sehim veya yatay öteleme kontrolleri için bu yapılara özel şartnamelere başvurulabilir.

Sehim veya yatay öteleme kontrolleri aşağıda verilen nedenleri tatmin etmelidir.

- 1.Teknolojik ihtiyaçlar; yapı içindeki mekanik araçlar için uygun ortamın oluşturulması,
- 2.Yapısal sebepler;
- 3.Psikolojik sebepler; yapı içinde uygun yaşam alanlarının oluşturulması
- 4.Ergonomik sebepler; yapıda meydana gelen titreşim veya sehimlerin estetik veya güvenlik kaygılarına neden olmaması

Yapı elemanlarındaki sehim sınırlandırmaları SNIP 2.01.07-89 Bölüm 10 Tablo19’da verilmiştir. Bu tabloda verilmeyen elemanlar için ölü ve hareketli yüklerden meydana gelen sehimler açıklığın 1/150’sini, konsol elemanlar için konsol uzunluğunun 1/75’ini geçmemelidir.

SNIP 2.01.07-89 Rus yük şartnamesi, yapıda meydana gelecek yatay ötelemeler için Çizelge 2.15’de verilen sınır değerlerin aşılmamasını istemektedir.

Çizelge 2.15: Rus yük şartnamesine göre yatay öteleme sınır değerleri

Binalar, perdeler ve bölme duvarlar	İşlevsel elemanların yapı elemanlarına bağlantı durumu	Yatay öteleme sınır değerleri
Çok katlı binalar	-	h/500
Çok katlı binaların her bir katı	akma aktarma bağlantısı	h/300
1. Duvarlar, betonarme paneller, tuğla bölme duvarları	rijit aktarma bağlantısı	h/500
2. Doğal taş, seramik veya cam ile kaplı duvarlar		h/700
Tek katlı binalar	akma aktarma bağlantısı	h/150
1. $h_s \leq 6$		h/200
2. $h_s = 15$		h/200
3. $h_s \geq 30$		h/300

Burada aşağıda verilen noktalara dikkat edilmelidir:

- Tek katlı binalarda Çizelge 1.12’de verilen değerler arasında kalan kat yükseklikleri için lineer interpolasyon yapılmalıdır.
- Çok katlı binaların en üst katları ve tek katlı binaların hareketli yüklere maruz çatı bölümleri için tek katlı binalar için verilen şartlar geçerlidir.
- Akma aktarma bağlantıları bölme duvarları veya benzeri işlevsel elemanların yapı elemanlarına bağlantısı sağlayan hareketi kısıtlayan ancak engellemeyen bağlantıları ifade etmektedir. Rijit aktarma bağlantıları işlevsel elemanlar ile yapı elemanlarının eş öteleme hareketi yapmasına sebep olan elemanlardır.
- Rijit çatı diyaframlarının olmasına bakılmaksızın tek katlı binalarda en büyük yatay öteleme sınır değerlerinin %30 oranında artırılmasına şartname olarak tanınmaktadır.

Ancak Rus yük şartnamesi özel durumlar için herhangi bir sehim veya yatay öteleme kısıtlaması getirmemiştir. Deprem gibi özel durum yüklemeleri sonucu meydana gelecek ötelemeler için kısıtlamalar bu durumlar için yazılmış şartnamelerde incelenmektedir.

Rus yük şartnamesine uyarınca, çerçeve sistemlerde meydana gelecek yatay ötelemelerin hesabında temellerde ortaya çıkan oturmalar ve dönmelerin de dikkate alınmalıdır. Zemindeki dönmelerin hesabında yapı tasarımında dikkate alınna rüzgar kuvvetinin en az %30’u yapıya etkitilmelidir. Rus iklim raporuna göre düşük veya orta şiddetli rüzgar etkisine maruz bölgelerde (rüzgar bölgeleri 1-4, $w_0 < 0,5kPa$) 40 kata kadar yapılarda temellerdeki dönmelerin hesabında bu etkisinin ihmal edilmesi mümkündür. Buna karşılık yük şartnamesi yapı sistemi çerçeve olmayan yapılarda,

bağlantı elemanlarının, duvarların veya rüzgar etkileyen diğer elemanlarda bu hal için dayanım ve çatlak analizlerinin yapılması halinde yapının tamamı için yatay öteleme sınır tarifi yapmamaktadır. Çerçeve kolonlarında veya duvar panellerinde rüzgar etkisiyle meydana gelen yatay öteleme şartname tarafından, l eleman tasarım uzunluğu olmak üzere, $l/200$ sınır değeri ile kısıtlanmıştır. Galeri tipi yapılarda, h temel ile çatı kirişlerinin alt yüzleri arasındaki mesafe olmak üzere, meydana gelecek yatay öteleme $h/250$ 'den daha küçük olması istenmektedir.

Şartnameye göre çerçeve tipi yapılarda sıcaklık farkları ve sünme etkisinden kolonlarda meydana gelen yatay öteleme değerleri aşağıda verildiği değerler hesap yapılmaksızın kabul edilebilir.

- $h_s/250$ – betonarme perdeler, duvar panelleri, tuğla duvarlar
- $h_s/200$ – doğal taş, seramik veya cam paneller ile kaplı duvarlar

Burada h_s kat yüksekliğidir. Sıcaklık etkisi araştırılırken günlük sıcaklık farklarının dikkate alınmasına gerek yoktur. Yukarıda ifade edilen ve şartnamede kabul edilmesine izin verilen sıcaklık ve sünme yatay ötleme değerleri göz ardı edilirse hesap sonucu elde edilen değerler dikkate alındığı durumda, tasarımda yatay öteleme sınır değerleri kontrolünde rüzgar ve temel dönmesi etkileri için ayrı, bu yükler içim ayrı kontrol yapılmalıdır. Bu iki farklı durum için elde edilen değerler toplanarak sınır değer kontrolü araştırılması hatalıdır.

Rus yük şartnamesi kat döşemelerinde meydana gelecek ilk sehmin, l en büyük döşeme açıklığı olmak üzere, $l \leq 3m$ olması halinde 15 mm'den, $l \geq 12m$ olması halinde 40 mm'den küçük olmasını istemektedir. Bu hesapta ilk sehmin tarifi, döşeme ölü ağırlığı ve döşeme kaplama ağırlığı sonucu meydana gelen sehmin olarak ifade edilmektedir. Ara değerler için lineer interpolasyon yapılması uygundur.

2.14. Sehimler ve yer değiştirmeler – TS 498

Türk yük şartnamesi sehimler ve yer değiştirmeler için genel bir sınırlandırma getirmemiştir. Türk betonarme şartnamesi betonarme elemanlar için özel sehmin sınırlandırması, Türk deprem yönetmeliği ise kat öteleme sınırlandırması yapmaktadır. Bu değerler ilgili bölümlerde incelenmiştir.

2.15. Yapı Önem Sınıfı – SNIP 2.01.07-89

Rus şartnameleri yapıların kullanımını dikkate alarak yapı önem sınıfı güvenlik sabiti tarifinde bulunmaktadır. Bu güvenlik sabiti, γ_n , yapıda güç tükenmesi durumunda meydana gelecek can ve mal kaybı gözetilerek belirlenmektedir. Rusya’da geçerli olan başka bir şartnamede aksi ifade edilmediği sürece, endüstri, tarım elektrik üretimi, ulaşım, iletişim, su işleri, konut veya ticari amaçlara hizmet veren yapılarda bu güvenlik sabiti dikkate alınmalıdır. Hesaplarda malzeme dayanımı, izin verilen en büyük birim uzama ve çatlama değerleri bu güvenlik sabitine bölünerek büyütülürken, yükler ve diğer dış etkiler aynı güvenlik sabiti ile çarpılarak azaltılmalıdır (Çizelge 2.16).

Çizelge 2.16: Rus yük şartnamesine göre yapı önem sınıfı güvenlik değerleri

γ_n	Geçerli olduğu durum
1,0	Milli olarak büyük çapta ekonomik veya sosyal öneme sahip olan yapılar Elektrik üretim tesisleri, nükleer santraller, 200m’den yüksek bacalar, televizyon kuleleri, gaz veya petrol üretim ve depolama tesisleri (kapasitesi 10000 m ³ ’den fazla), spor salonları, tiyatro ve gösteri merkezleri, sinemalar, alışveriş merkezleri, eğitim kurumları, ana okullar, hastaneler, bakım binaları, müzeler, devlet arşivleri ve benzeri yapılar.
0,95	Milli olarak ekonomik veya sosyal olarak önemli sınıflandırılacak yapılar. Endüstriyel veya tarımsal yapılar ve 1. ve 3. Sınıfa ($\gamma_n=1,0$ veya 0,9) girmeyen yerleşim yapıları ve konutlar
0,9	Sınırlı öneme sahip yapılar. Ürün sınıflandırması veya ambalajlandırması yapılmayan tarımsal, gübreleme, kimyasal, kömür ve benzeri maddelerin depolama alanları, seralar, tek katlı binalar, enerji nakil hatları, sokak aydınlatmaları, çitler veya 5 yıldan uzun süre hizmet vermesi muhtemel geçici yapılar ve binalar
0,8	5 yıldan daha kısa süre hizmet ömrü olan geçici yapılar ve binalar

Şartname ayrıca yük taşımayan tuğla duvarlarda, sadece kendi ağırlığı etkiyen duvar panellerinde bölme duvarlarda, temel kirişlerinde, kapı elemanlarında, nakliye ve montaj durumu için prefabrik elemanlarda Çizelge 2.16’da verilen değerlerin 0,95 katını geçerli kabul etmektedir.

3. BETONARME ŞARTNAMESLERİNİN İNCELENMESİ

3.1. GENEL – ESASLAR

3.1.1. SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003’de ifade edilen tasarım esasları

Rus betonarme şartnameleri, SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003, Comecon tarafından yayınlanan ST SEV 1406-78 prensipler klavuzunda ifade edilen yapı analiz metodu, tasarım esaslarını, malzeme seçimi, boyutlandırma ve donatılandırma prensiplerini esas kabul etmektedir. Buna göre yönetmelikler ve proje gelişimindeki finansal durum gözetilerek geliştirilen bir tasarımda malzeme, iş gücü ve ekonomide tasarruf ancak aşağıda ifade edilen şartlar sağlandıkça elde edilebilmektedir.

- Amaca hizmet eden malzeme ve yapı tipi seçimi
- Yapının kendi ağırlığının azaltılması
- Malzemenin fiziksel özelliklerinin verimli kullanımı
- Malzemenin ekonomik ömrünün uzatılması için gerek duyulan şartların sağlanması.

Rus betonarme yönetmeliğine göre yapılacak hesapların tamamı sınır durum tasarım ilkelerine göre yapılmalıdır. İncelenecek elemanların tamamı yük taşıma kapasitesi (sınır durum 1) ve kullanılabilirliğin (sınır durum 2) getirdiği şartları sağlamak durumundadır.

Bu şartlar;

- Yük taşıma kapasitesi analizi (Sınır durum 1) aşağıda verilen durumlara karşı emniyetli bir yapı tasarımı için gereklidir.
 1. Ani veya gevrek güç tükenmesi durumu
 2. Yapıda meydana gelebilecek stabilite sorunları, oturmalar
 3. Yapıya tekrarlı yüklerin etki etmesi durumu
 4. Yapının maruz kaldığı çevresel etkilerin yapıda meydana getireceği çatlak, erozyon, donma ve çözülme gibi faktörler

- Kullanılabilirlik analizi (Sınır durum 2) aşağıda verilen değerlerin yapının fonksiyonlarına uygun olarak sınırlandırılması gerektirmektedir

1. Çatlak genişliği
2. Yüklerin yapıda meydana getirdiği sehimler ve yatay ötelemeler

Rus betonarme şartnamesine göre öngörmenin mevcut olmadığı betonarme elamanların tasarımında yukarıda verilen şartlardan tekrarlı yüklerin etki etmesi durumu ve sınır durum 2 şartlarının analiz edilmesine gerek yoktur.

Sınır durum 1 analizinde, yani yük taşıma kapasitesi analizinde kesitlerin boyutlandırılabilmesi için iki farklı yükleme durumu incelenmelidir. Bunlar;

- a) Sabit, uzun veya kısa süreli yüklerin elemana etki etmesi durumu. Bu analizde vinç yükleri, araçlar veya imalat, taşıma ve inşaat sırasında meydana gelen yükler yani geçici yük etkileri ihmal edilmektedir. Bu durumda betonun basınç ve çekme dayanımı için güvenlik faktörü $\gamma_{b2} = 0,9$ 'dür.
- b) Tarif edilen kombinasyonlar oranında geçici yükler dâhil bütün yüklerin yapıya etkidiği durumda betonun basınç ve çekme dayanımı için güvenlik katsayısı $\gamma_{b2} = 1,1$ alınmalıdır.

Betonarme elemanlarda bu sınır durum analizleri elemanın maruz kalacağı her durum (imalat, nakiliye, montaj ve kullanımı) için hesap tekrarlanmalıdır. Önyapım elemanlarda yükler bir dinamik yük oranı ile arttırılmalıdır. Nakliye durumu için bu faktör 1,60; inşaat alanındaki elemanlar için 1,40 alınmalıdır.

Rus betonarme yönetmeliği güneş ışığına maruz yapılarda iklimsel sıcaklık faktörlerinin incelenmesini sadece Rus iklim haritasında IVA veya daha sıcak olarak tarif edilen bölgelerde gerekli görmektedir. Coğrafi bakımdan Türkiye bu şartı sağladığından dolayı, Türkiye'de yapılacak yapılarda iklimsel sıcaklık faktörlerinin etkisi incelenmelidir.

Rus betonarme yönetmeliği betonarme bir elemanın çekmeye maruz kısmında çatlakların ortaya çıkmasıyla yük taşıma kapasitesinin hızla azaldığı elemanlara az donatılı eleman olarak adlandırmaktadır. Başka bir tabirle çatlama momentinin çökme momentinden az olduğu elemanlar az donatılı elemanlar olarak adlandırılmaktadır. Bu tür elemanların yapılmasına Rus betonarme şartnamesi olanak tanımaktadır. Ancak donatılarının tayininde, sınır durum 1 analizi sonucu elde

edilen boyuna donatı alanı en az %15 arttırılmalıdır. Bu koşul sadece rijit bir yüzeye oturan elemanlarda aranmamaktadır.

SP 52-101-2003'e göre betonarme elemanlarında meydana gelecek sehimler, sınır durum 2 uyarınca, aşağıda verilen hassasiyetler gözetilerek kararlaştırılmıştır (Çizelge 3.1);

- Teknolojik gereksinimler (makinelerin ve vinçlerin fonksiyonlarını yerine getirmeleri için gerek duyulan sınırlamalar)
- Tasarım gereksinimleri (elemanların aldıkları yüklerin tespitinde yapılan kabuller)
- Estetik kaygılar (yapıda meydana gelen titreşim, öteleme ve sehimlerin insanlara güvenlik hissi uyandırması için gerekli sınırlamalar)

Çizelge 3.1: Rus betonarme şartnamesine göre yapı elemanlarında izin verilen maksimum sehim

Yapı Elemanları	İzin verilen maksimum sehim
Vinç yüküne maruz kirişler - Manuel işletilen - Elektirikle işletilen	1/500 1/600
Düz döşemeler 1<6 m 6<1<7,5 7,5<1	1/200 3 cm 1/250
Kaset döşemeler veya merdivenler 1<5 5<1<10 10<1	1/200 2,5 cm 1/400
Üretim amaçlı binalarının kaplama elemanları 1<6 m 6<1<10 10<1	1/150 4 cm 1/250
Duvar panelleri 1<6 m 6<1<7,5 7,5<1	1/200 3 cm 1/250

Ayrıca Çizelge 3.1'e ek olarak; şayet döşeme, merdiven, platform gibi elemanlar komşu taşıyıcı elemanlara bağlı değilse 1000N'luk bir kuvvetin elemanın herhangi bir noktasında meydana getirdiği düşey yer değiştirme 0,7 mm'den az olması sağlanmalıdır.

SP 52-102-2004, önerilmeye maruz betonarme elemanlar için kurallar tanımlamaktadır. Buna göre öngermeli betonarme elemanlar üretim, nakliyat, montaj

ve kullanım durumları için tasarım tekrarlanmalıdır. Elemana etki eden kuvvetler, SP 52-102-2004 uyarınca, nakliyat ve montaj durumları için bir dinamik yük sabiti ile arttırılmalıdır. SNIP 2.03.01-84'e benzer bir şekilde, nakliye durumu için dinamik sabit 1,60, montaj durumu için 1,40 alınmalıdır. Gerekli önlemlerin alındığı takdirde dinamik yük sabitinin 1,25'e kadar azaltılabileceğini şartnamede ifade edilmektedir. Ayrıca şartname öngermeli elemanlarda çatlak oluşumuna ve doğrusal olmayan şekil değişimlerinin dikkate alınmasına olanak tanımaktadır.

Şartname üretim durumunda öngerme halatlarında veya donatılarında tasarım değerlerinden farklar oluşacağını öngörmektedir. Buna göre j nolu öngerme halatında meydana geleceği kabul edilen gerilme, σ_{spj} , γ_{sp} güvenlik katsayısı ile modifiye edilmelidir. Buna göre öngermeye katkısı olan durumlarda $\gamma_{sp}=0,90$, aksi durumda $\gamma_{sp}=1,10$ alınmalıdır.

Öngerme elemanlarının kullanım durumunun incelendiği hesaplamalarda doğrusal olmayan model esas alınmalıdır. Ayrıca beton liflerinde meydana gelen gerilme ve birim uzama değerlerinin incelenmesinde üç kademeli birim uzma gerilme diyagramı dikkate alınmalıdır.

3.1.2. TS500'de ifade edilen betonarme tasarım esasları

Türk betonarme şartnamesi yapının kullanım süresi boyunca maruz kalacağı etkilerin incelenmesinde iki sınır durumun incelenmesini şart koşmaktadır. Bunlar,

1. Taşıma gücü sınır durumu. Yapının ömrü boyunca maruz kalacağı etkilere karşı yıkılmaya ve yıkılma türüne (gevrek, sünek) karşı yapının incelenmesidir. Buna göre malzeme dayanımları bir güvenlik katsayısıyla (malzeme katsayıları) azaltılır. Yapının maruz kalacağı yükler verilen kombinasyonlara göre arttırılır ve bunun sonucunda elemanda elde edilen iç kuvvetlerinin malzeme özelliklerinden az olduğu gösterilmelidir.
2. Kullanılabilirlik sınır durumu: Yapı elemanlarından herhangi birinin etkiyen yükler sonucu meydana gelen şekil değiştirmeler, yer değiştirmelerin, çatlakların ve titreşimlerin belirli değerler altında tutulmasıdır.

Türk betonarme şartnamesi taşıma gücüne dayalı kesit hesabında aşağıdaki varsayımlarda bulunmuştur ve şartnamedeki bütün yöntemler bu varsayımlara dayanmaktadır.

- Betonun çekme dayanımı ihmal edilir.
- Donatı ile beton arasında tam aderans bulunduğu kabul edilir, buna göre donatıda meydana gelecek birim uzama donatıyı saran beton lifinin birim uzamasına eşittir.
- Düzlem kesitler, şekil değiştirmeden sonra da düzlem kalmaktadır.
- Taşıma gücüne erişildiğinde, tarafsız eksene en uzak basınç lifindeki birim kısalma $\epsilon_{cu}=0,003$ alınır.
- Donatı çeliğinin elasto-plastik davranış gösterdiği kabul edilmektedir.
- Tüm donatı çeliği için elastisite modülü $E_s=2 \cdot 10^5$ MPa ve kopma birim uzaması $\epsilon_{su}=0,12$ 'dir.

Türk betonarme şartnamesi elemanları yapıdaki görevlerine göre tiplendirmekte ve her bir eleman tipi için verilen donatı yerleştirilmesi, incelenmesi gereken özel şartlar farklılıklar gözetmektedir. Eleman tiplerine örnek olarak temeller, kirişler, yüksek kirişler ve kolonlar verilebilir. Ayrıca kesit boyutlandırılması ve donatı yerleştirilmesi deprem bölgelerinde yapılacak yapılar için Türk deprem yönetmeliğine kıyasla büyük farklılıklar gözetmektedir.

3.2. BETON ELEMANLAR

3.2.1. Beton kesitlerin tasarımı – SNIP 2.03.01-84

3.2.1.1.Dış merkezli basınca maruz beton elemanlar

Sadece beton içeren elemanlar, betonun düşük çekme kapasitesi tazmin edebilecek donatı bulunmadığından, kesitte meydana gelebilecek olası çekme kuvvet etkisinin kesit boyutlandırılmasında göz önüne alınmalıdır. Rus betonarme şartnamesi elemanın işlevinden bağımsız olarak her beton eleman için statik hesap sonucu elde edilen dış merkezliliğe ek olarak bir tesadüfi dış merkezlik, e_a , tanımı yapmaktadır. Bu tesadüfi dış merkezlik hiperstatik yapılarda şayet yapıdaki statik hesap dış merkezliliğinden büyükse kesite etki eden normal kuvvetin toplam dış merkezliliği,

e_0 , olarak kabul edilir. Ancak izostatik yapılarda toplam dış merkezlik statik dış merkezlik ile tesadüfî dış merkezliliğin toplamı olarak tarif edilmektedir.

Bir elemanda kabul edilen tesadüfî dış merkezlik değeri, e_a , aşağıda verilen sınır değerlerden az kabul edilmemelidir:

- Elemanın toplam boyunun veya normal kuvvet sonucu oluşan ötelemeleri engelleyecek mesnetler arası mesafenin $1/600$ 'u
- Kesit yüksekliğinin $1/30$ 'u
- Önyapım elemanlar için 10mm

Narinlik oranı 14'den büyük olan elemanlarda, $l_0/i > 14$, ikincil etkilerin de göz önüne alınması için toplam dış merkezlik, e_0 , değeri η katsayısı ile arttırılmaktadır (Denklem 3.1). Bu durumda normal kuvvet dış merkezliliği olarak sadece tesadüfî dış merkezlik alınmalıdır. Bu tür bir elemanın tasarımında $e_0\eta$ değeri, y ağırlık merkezi ile en çok basınç alan beton lifi arasındaki mesafe olmak üzere, aşağıda verilen değerleri aşmamalıdır:

- Yükleme durumuna bağlı olarak
 - Temel kombinasyonlar için $0,9 \cdot y$
 - Özel kombinasyonlar için $0,95 \cdot y$
- Beton cinsine bağlı olarak
 - B10 veya daha yüksek $y-10$
 - B7.5 veya daha az $y-20$

η katsayısı aşağıda verilen denkleme göre hesaplanmalıdır;

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} \quad (3.1)$$

Burada N_{cr} koşullu kritik normal kuvvettir (Denklem 3.2)

$$N_{cr} = \frac{6,4 \cdot E_b \cdot I}{\varphi_1 \cdot l_0^2} \cdot \left(\frac{0,11}{0,1 + \delta \cdot e} + 0,1 \right) \quad (3.2)$$

Burada;

- δ_e : e_0/h ancak bu değer Denklem 3.3'de hesaplanan değerden az olmamalıdır.

$$\delta_e = 0,5 - 0,01 \cdot \frac{l_0}{h} - 0,1 \cdot R_b \quad (3.3)$$

- l_0 : eleman tasarım uzunluğu (Çizelge 3.2)
- φ_1 : beton eleman sınır durumunda uzun dönemde meydana gelecek sehîm faktörüdür. (3.4)'e göre hesaplanır;

$$\varphi_1 = 1 + \beta \frac{M_{II}}{M_I} \quad (3.4)$$

Burada, β ; beton cinsine bağılı olarak alınan bir katsayıdır (Çizelge 3.3)

M_I ; Sabit, kısa süreli veya uzun süreli yüklerin etkisinden meydana gelen en az basınç alan beton lifine göre hesaplanan moment

M_{II} ; Sabit veya uzun süreli yüklerin etkisinden meydana gelen en az basınç alan beton lifine göre hesaplanan moment

Çizelge 3.2: Beton eleman tasarım uzunluğu

Mesnetlenme Durumu	Tasarım uzunluğu (l_0)
Her iki ucundan mesnetli • Her iki ucu mafsallı • Bir ucu ankraj diğer ucu mafsallı	H
Çok açıklıklı	1,25H
Tek açıklıklı	1,50H
Serbest	2,00H

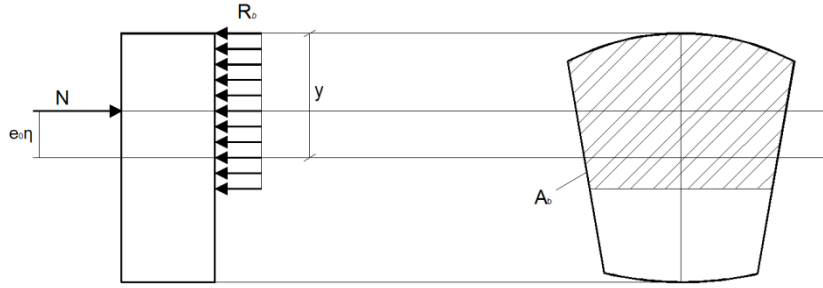
Çizelge 3.3: Beton cinsi faktörü

Beton Cinsi	β katsayısı
• Ağır beton	1,0
• İnce taneli beton ○ A ○ σ ○ B	1,3 1,5 1,0
• Hafif beton ○ Sıkışık ○ Gaz beton ○ Doğal agregalı	1,0 1,5 2,5
• Gaz beton	2,0

Yani; dış merkezli basınca maruz bir elemanın taşıma kapasitesi hesaplanırken beton çekme dayanımı ihmal edilir. Buna göre;

$$N \leq R_b \cdot A_b \quad (3.5)$$

Burada A_b , kesite etki eden normal kuvvet doğrultusunun kesitin ağırlık merkezinden geçmesi koşulunu sağlayan beton basınç bloğu alanıdır (Şekil 3.1)



Şekil 3.1: Beton çekme dayanımının ihmal edildiği bir beton elemana etki eden kuvvetlerin şematik olarak gösterilmesi

Şayet dış merkezli basınca maruz kesite, çatlak oluşumuna izin verilmiyorsa hesap

$$N \leq \frac{R_{bt} \cdot W_{pl}}{e_0 \cdot \eta - r} \quad (3.6)$$

Burada;

$$r = \left(1,6 - \frac{\sigma_b}{R_{b,ser}} \right) \cdot \frac{W}{A} \quad (3.7)$$

W_{pl} : çekme altındaki beton lifinin elastik olmayan uzamayı da gözeterek hesaplanan en çok çekme alan beton lifinin dayanım momentidir. (Denklem 3.8)

$$W_{pl} = \frac{2I_{b0}}{h - x} + S_{b0} \quad (3.8)$$

Burada I_{b0} : beton basınç bloğunun doğal eksene göre ataleti

S_{b0} : Beton çekme bloğunun doğal eksene göre dayanım momentidir.

Örnek 1: Yüksekliği $H=3$ m genişliği $h=250$ mm olan, düşey olarak imal edilmiş yerinde dökme bir beton duvar panelinin; 1 metresine tam yük $N= 900$ kN veya uzun süreli yük $N_l=540$ kN etki etmesi durumunda elemanın dayanımını kontrol edilmektedir. Beton cinsi B15, birim ağırlığı D1600 verilmektedir. ($E_b=14000$ MPa)

Beton bir elemanın hesabında tesadüfi dış merkezlik kabulü yapılmalıdır. SNIP 2.03.01-84, bir kesitin dışmerkezliği genişliğinin 30'da biri, yüksekliğinin 600'de

biri veya 10 mm'den az seçişlemeyeceğini öngörmektedir. Buna göre $h_{/30} = 8.33$ mm ve $H_{/600} = 5$ mm olduğundan elemandaki dışmerkezlik $e_0 = 10$ mm kabul edilmelidir.

Beton elemanın alt ve üst kesitlerinden serbest mesnetli olduğu kabul edildiği taktirde, elemanın narinliği, $l_0/h = 12.0$ bulunacaktır. Narinlik değereri şartnamede verilen sınır değerden, 4, büyük olduğundan dolayı kesit hesabı kesitin deformasyonunu da gözeterek irdelenmelidir.

Beton cinsi faktörü, NAB betonu için $\beta = 1.0$ verilmiştir. Uzun süreli deformasyon etkilerini inceleyen φ_1 katsayısı:

$$\varphi_1 = 1 + \beta \frac{M_{1l}}{M_1} = 1 + 0,6 = 1,6$$

Elemana sadece uzun süreli yüklerin etki ettiği dikkate alındığından $\gamma_{b2} = 0.90$ alınacaktır.

Buna göre beton basınç dayanımı $R_b = 7.7$ MPa alınmalıdır. Servis durumu katsayıları da göz önüne alındığı taktirde, elemanın düşey olarak üretilmesinden dolayı $\gamma_{b3} = 0.85$ alınmalıdır. Eleman beton bir yapının bir parçası olarak tasarlandığından $\gamma_{b9} = 0.90$ alınmalıdır. Buna göre hesapta kullanılacak beton basınç dayanımı $R_b = 7.7 \cdot 0.85 \cdot 0.90 = 5.89$ alınmalıdır.

Buna göre;

$$\delta_{e,min} = 0,5 - 0,01 \frac{l_0}{h} - 0,01 R_b = 0,5 - 0,01 \cdot 12 - 0,01 \cdot 5,89 = 0,321 \geq \frac{e_0}{h} = \frac{10}{250}$$

Yani $\delta_e = \delta_{e,min} = 0.321$ alınmalıdır.

Kesit kritik kuvveti:

$$N_{cr} = \frac{0,533 \cdot E_b \cdot A}{\varphi_1 \cdot \left(\frac{l_0}{h}\right)^2} \left(\frac{0,11}{0,1 + \delta_e} + 0,1\right) = \frac{0,533 \cdot 14 \cdot 10^3 \cdot 250000}{1,6 \cdot 12^2} \left(\frac{0,11}{0,1 + 0,321} + 0,1\right)$$

$N_{cr} = 2925$ kN bulunmaktadır.

Buna göre;

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{900}{2925}} = 1,44$$

$$R_b \cdot A_b = R_b b h \left(1 - \frac{2e_0 \eta}{h}\right) = 1302 kN > N = 900 kN$$

Olduğundan beton eleman dayanımı yeterli olduğu görülmektedir..

3.2.1.2. Eğilmeye maruz beton kesitler

Eğilmeye maruz beton elemanlarda kesite etki eden moment Denklem 3.9 koşulunu sağlamalıdır.

$$M \leq R_{bt} \cdot W_{pl} \quad (3.9)$$

Burada W_{pl} : Denklem 3.8’da hesaplanan değere özdeştir. SNIP 2.03.01-84

dikdörtgen kesitler için $W_{pl} = \frac{bh^2}{3,5}$ kabulü yapılmasına olanak tanımaktadır.

Ayrıca kesitleri I veya T olan elemanlarda Denklem 3.10 şartı da aranmalıdır.

$$\tau_{xy} \leq R_{bt} \quad (3.10)$$

Burada; τ_{xy} kesitin ağırlık merkezinde elastik malzemede meydana gelen kesme gerilmesidir.

3.2.2. Beton kesitlerin tasarımı – TS500

TS 500 betonarme şartnamesi donatı içermeyen ve sadece betondan imal edilen elemanların tasarımına olanak vermemektedir. Türk standartlarında yapılan bir araştırmada, Rus betonarme şartnamesinde tarifi yapılan beton elemanlara benzer elemanları kapsayan bir şartnameye ulaşılmamaktadır. Mukayese amaçlı olarak TS 500’de tarifi verilen az donatılı eleman tiplerinin incelenmesi faydalı olmalıdır. Bu amaç doğrultusunda TS 500’de tarif edilen betonarme temeller ve betonarme duvarlar başlıkları ön plana çıkmaktadır. Ancak betonarme temel elemanları Rus betonarme şartnamesi, SNIP 2.03.01-84’un kapsamı dahilinde değildir. Ayrıca bu tür elemanların tasarımı için noktasal basınç etkisinin araştırılması gerekmektedir. Temellerde yapılacak bu inceleme Rus betonarme şartnamesi SNIP 2.03.01-84’de beton elemanların tasarımında dikkate alınmamaktadır. Bu sebeplerden ötürü Rus betonarme şartnamesinde “beton elemanlar” konusu TS 500’de tarif edilen “betonarme duvarlar” konusu ile kıyaslanabilir.

TS 500’de yapılan tarife göre planda uzun kenarın kısa kenara oranı 7’den büyük olan düşey taşıyıcı elemanlara betonarme duvar olarak nitelendirilmektedir. Şartname ayrıca tarifte bu tür elemanlarda kalınlığın en az 150 mm olmasını istemektedir. TS 500 betonarme duvar hesabında herhangi bir betonarme eleman tasarımında gözetilen ve şartnamede tarif edilen ilkeleri geçerli kabul etmektedir. Ancak bu tür eleman tasarımında özel haller olabileceği için TS 500’de betonarme duvarlara özel yapısal şartlar tarif edilmektedir. Bu özel haller kapı, pencere veya benzeri boşluk bulunmasını kapsamaktadır. Elemanda boşluk bulunması halinde minimum donatıya ek olarak boşluğun her bir kenarına 2 adet $\Phi 16$ donatı teçhiz edilmelidir. Bu donatı çubuklarının kenetlenme boyu en az $40 \cdot \Phi$ seçilmelidir.

Şartname bu tür elemanlarda donatı yerleşimi ile ilgili özel şartlar tarif etmektedir. Duvarın her bir yüzeyinde yatay ve düşey donatı çubuklarından donatı aralığı düzenlenmelidir. Düşey donatı alanı toplamı ya da her iki yüzeydeki toplam yatay donatı alanı duvar kesitinin %0,15’inden az seçilmemelidir. TS 500’e göre düşey ve yatay donatı aralıkları duvar kalınlığının 1,5 katından veya 300 mm’den fazla seçilmemelidir. Ayrıca yerleştirilen donatı $1m^2$ ’lik duvar yüzeyinde 4 adet bağ (çiroz) ile karşılıklı olarak bağlanmalıdır.

TS 500 minimum dış merkezlik değerinin hesabı Rus betonarme şartnamesi SNIP 2.03.01-84’den farklı ve daha sade bir hesap yöntemi önermektedir. Şartnameye göre h kolonun eğilme düzlemindeki kesit boyutu olmak üzere;

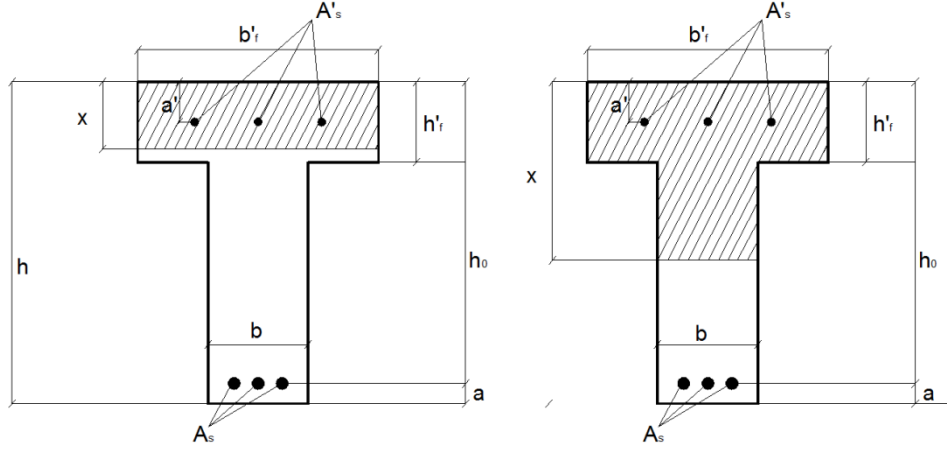
$$e_{\min} = 15 + 0,03 \cdot h \quad (3.11)$$

Rus betonarme şartnameleri, SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003 minimum dış merkezlik koşulunu eksenel etkilere maruz her yapı elemanında ararken, TS 500’de böyle bir yargı yoktur. Ayrıca Rus betonarme şartnameleri dış merkezliği elemanın (kolonun) narinliğine bağlı olarak arttırırken, TS 500 benzer bir yaklaşım sunmamaktadır.

$$M_{ult} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_b \cdot (b'_f - b) \cdot h'_f \cdot (h_0 - 0,5 \cdot h'_f) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h - a') \quad (3.16)$$

Burada

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s - R_b \cdot (b'_f - b) \cdot h'_f}{R_b \cdot b} \quad (3.17)$$



Şekil 3.3: Yalnız eğilme etkisi altındaki T kesitli eleman

Öngerme şartnamesine göre, basınç donatısında ortaya çıkan gerilme, betonda meydana gelen gerilme değerine, σ_{sc} , eşit kabul edilmelidir. Güvenlik katsayısının $\gamma_{b1} = 0,90$ alındığı durumda $\sigma_{sc} = 500 - \sigma_{sp-}$; $\gamma_{b1} = 1,00$ alındığı durumda $\sigma_{sc} = 400 - \sigma_{sp-}$ alınmalıdır.

Tabla genişliği, b'_f , gövde genişliğinin 1/6'sından daha büyük olmamak şartıyla aşağıda verilen değerlerden küçük olanına eşit olduğu kabul edilmelidir:

- $h'_f \geq 0,10 \cdot h$ veya enine kirişlerin bulunduğu durumlarda boyuna kirişler arası mesafenin yarısı
- Enine kirişlerin bulunmadığı durumda $b'_f < 0,10 \cdot h - 6 \cdot h'_f$
- Konsol kirişlerde
 - a. $h'_f \geq 0,10 \cdot h$ ise $6 \cdot h'_f$
 - b. $0,10 \cdot h > h'_f \geq 0,05 \cdot h$ ise $6 \cdot h'_f$
 - c. $h'_f < 0,05 \cdot h$ olduğu durumda konsol durumu gözardı edilir.

Örnek 2: Kesit yüksekliği $h=500$ mm, kesit eni $b=250$ mm ve alt donatı beton paspayı kalınlığı $a=50$ mm olarak kabul edilen bir kesit dikkate alınmaktadır. Bu durumda kısa süreli yükleme durumunun incelenmediği ($\gamma_{b2} = 0,90$) bu elemana $M=$

250 kNm'lik bir eğilme momenti etki etmektedir. Betonarme elemanın beton sınıfı B25 ($R_b = 13 \text{ MPa}$) ve donatı sınıfı A3 ($R_s = 365 \text{ MPa}$) ise donatı alanını tayin ediniz.

SNIP2.03.01-84: Burada $h_0 = 500 - 50 = 450 \text{ mm}$ 'dir. Basınç bloğu derinliği hesaplanacak olunursa:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b} = \frac{365 \cdot 1963,5}{13 \cdot 250} = 157 \text{ mm}$$

Buna göre SNIP 2.03.01-84 Tablo18'den donatı sınıfı A-3 ve beton tipi B25 olan bir eleman için $\phi_{b2} = 0,9$ değeri için $\xi_R = 0,604$ bulunacaktır. Buna göre:

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{157}{450} = 0,348 < 0,604 = \xi_R$$

Şayet donatı tayini $4\Phi 25$ olarak yapıldığı takdirde ($A_s = 1963 \text{ mm}^2$):

$$R_s \cdot A_s \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) = 365 \cdot 1963,5 \cdot (450 - 0,5 \cdot 157) = 266,25 \text{ kN} \cdot \text{m} > M = 250 \text{ kNm}$$

olduğu için kesit Rus betonarme şartnamesine göre gerekli dayanımına sahiptir.

TS500: Verilen değerler incelendiğinde $R_s = 365 \text{ MPa}$ azaltılmış değeri için, $A_3 = 390 \text{ MPa}$ alınacaktır. Yani eleman S390 çeliği ve C25 beton sınıfından imal edilmektedir.

Buna göre $h_0 = 500 - 50 = 450 \text{ mm}$

$$k_1 = 0,85, \quad E_c = 30 \cdot 10^3 \text{ MPa}, \quad E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}, \quad \varepsilon_{su} = 0,1, \quad \varepsilon_{cu} = 0,003$$

$M_d = F_c (d - 0,5 \cdot a)$ denkleminde

$$250 \cdot 10^3 = 0,85 \cdot \frac{25}{1,5} \cdot 10^6 \cdot 0,25 \cdot a \cdot (0,45 - 0,5 \cdot a) \quad \text{eşitliğinden} \quad a_1 = 0,202 \text{ m} \quad \text{ve}$$

$a_2 = 0,698 \text{ m}$ değerleri elde edilecektir. Burada $a_2 > h$ olduğundan dolayı a_1 değeri esas kabul edildiği takdirde,

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} (d - 0,5 \cdot a)} = \frac{250 \cdot 10^6}{339,13 (450 - 0,5 \cdot 202)} = 2112 \text{ mm}^2 \quad \text{olduğu görülmektedir.}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{2112.26}{250 \cdot 450} = 0.018$$

Akma durumu incelenecek olunursa

$$C25 \rightarrow k = 0.85$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \frac{d-c}{c} = 0,003 \frac{450 \cdot 0,85 - 202}{202} = 0,0027$$

$$\varepsilon_s = 0,0027 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{339}{2 \cdot 10^5} = 0,0017$$

$$k_{cb} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_s} = \frac{0,003}{0,003 + 0,0017} = 0,64$$

$$c_b = k_{cb} \cdot d = 0,64 \cdot 450 = 288mm$$

$$a_b = k_1 \cdot c_b = 0,85 \cdot 288 = 245mm$$

$$M_{rb} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot a_b \cdot (d - 0,5 - a_b) = 0,85 \cdot 16,67 \cdot 0,25 \cdot 0,2448 \cdot (d - 0,5 \cdot 0,2448)$$

$$\text{Buradan } M_{rb} = 0,284MNm = 284kNm$$

$$A_{sb} = \frac{M_{rb}}{f_{yd} (d - 0,5 \cdot a_b)} = \frac{284 \cdot 10^6}{339 \cdot (450 - 0,5 \cdot 244,8)} = 2557mm^2$$

$$\rho = \frac{A_{sd}}{bd} = \frac{2557}{250 \cdot 450} = 0.0227$$

$0,85 \cdot \rho_b = 0,019 > p = 0,018$ olduğundan eleman TS500'de aranan şartları sağlamaktadır.

Buna göre her ne kadar TS 500 ve SNIP 2.03.01-84 yakın sonuçlar vermekte olsalar da TS500'de hesaplanan donatı alanının Rus betonarme şartnamesine kıyasla daha çok olduğu dikkati çekmektedir. Rus betonarme şartnamesine göre hesaplanan donatı alanının TS 500 şartnamesine uygun olarak hesaplanan donatı alanına oranı %76'i olarak bulunmaktadır. Kes

Örnek 3: Yüksekliği $h = 500$ mm, kesit eni $b = 300$ mm ve alt donatı beton paspayı kalınlığı $a = 40$ mm olarak kabul edilen bir dikdörtgen kesit dikkate alınmaktadır. Bu durumda kısa süreli yükleme durumunun incelenmediği halde ($\gamma_{b2} = 0,90$) yapı

elemanına $M = 180 \text{ kNm}$ 'lik bir eğilme momenti etki etmektedir. Betonarme elemanın beton sınıfı B15 ($R_b = 7,70 \text{ MPa}$) ve donatı sınıfı A-2 ($R_s = 280 \text{ MPa}$) ise gerekli boyuna donatı alanını hesaplayınız. Aynı elemanda kesit boyutlarından sadece $b = 200 \text{ mm}$ ve yüklerden sadece $M = 200 \text{ kNm}$ değişiklikleri yapıldığı hal için işlemi tekrarlayınız.

Burada $h_0 = 500 - 40 = 460 \text{ mm}$ 'dir

SNIP 2.03.01-84: Kesit tasarımı sırasında basınç donatısının gerekliliğinin araştırılmasında α_m değeri ile α_R değeri arasındaki ilişki incelenmelidir. $\alpha_m < \alpha_R$ olduğu takdirde basınç donatısına ihtiyaç yoktur. Aksi takdirde, basınç donatısı hesabı yapılmalıdır. Buna göre:

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b b h_0^2} = 0,312$$

$$\alpha_R = \xi_R (1 - 0,5 \cdot \xi_R) = 0,447$$

$\alpha_m < \alpha_R$ olduğundan dolayı basınç donatısına ihtiyaç yoktur. Diğer katsayılar için SNIP 2.03.01-84 Tablo 18'e danışılacak olunursa $\alpha_m = 0,312$ ise $\xi = 0,805$ olduğu görülecektir. Buna göre gerekli donatı alanı:

$$A_s = \frac{M}{R_s \cdot \xi \cdot h_0} = \frac{180 \cdot 10^6}{280 \cdot 0,805 \cdot 560} = 2700 \text{ mm}^2 \text{ bulunacaktır. Yani kesit için } 4\phi 30$$

yeterli olacaktır ($A_s = 2827 \text{ mm}^2$)

$b = 200 \text{ mm}$ ve $M = 200 \text{ kNm}$ alındığı durumda

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{200 \cdot 10^6}{7,7 \cdot 200 \cdot 560^2} = 0,519$$

$\alpha_R > \alpha_m$ olduğundan dolayı basınç donatısı tayini yapılmalıdır.

Buna göre basınç donatısı beton paspayı tabakası $a' = 30 \text{ mm}$ alınındığı takdirde:

$$A_s' = \frac{M - 0,4 \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2}{R_{sc}(h_0 - a')} = 578 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{0,55 \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2}{R_s} + A_s' = 1969 \text{ mm}^2$$

Buna göre $A_s = 2123,7 \text{ mm}^2$ ($4\Phi 26$) ve $A'_s = 603,19 \text{ mm}^2$ ($3\Phi 16$) seçilebilmesi muhtemeldir. Hesap kontrolü için atanan donatı alanlarına göre hesaplanan yeni α_m değeri α_R değerinden az olmalıdır. Buna göre $\alpha_m = 0,39 < \alpha_R = 0,449$ olduğundan işlem geçerlidir.

TS 500: A-2 sınıfı donatı TS500'de takriben S300 donatısı olarak ifade edilebilir. Beton sınıfı B15 olarak kabul edilmektedir. Buna göre:

$$180 \cdot 10^3 = 0,85 \cdot \frac{15}{1,5} \cdot 10^6 \cdot 0,3 \cdot a \cdot \left(0,46 - \frac{a}{2} \right)$$

Buradan $a_1 = 0,19$ ve $a_2 = 0,72$ bulunmaktadır. 0,72 değeri kesit boyutundan büyük olduğu için kabul edilemez. Buna göre:

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} (d - 0,5 \cdot a)} = \frac{180 \cdot 10^6}{260(460 - 0,5 \cdot 190)} = 1896 \text{ mm}^2 \text{ elde edilmektedir.}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{1896}{300 \cdot 460} = 0,0137 \text{ olduğu görülmektedir.}$$

Bu örnekte Rus betonarme şartnamesine göre yapılan hesapta elde edilen donatı alanının TS500 şartlarına uygun olarak elde edilen değerden daha fazla olduğu görülmektedir.

3.3.1.2. Eğilmeye maruz betonarme kesitlerin hesabı –TS 500

TS 500 eksenel basınç değeri Denklem 3.18'de tarif edilen sınırın aşılmadığı elemanları eğilme elemanları (eğilmeye maruz betonarme eleman) olarak tanımlamaktadır.

$$N \leq 0,1 \cdot f_{ck} \cdot A_c \quad (3.18)$$

Eğilme elemanları kirişler ve döşemeler olmak üzere iki ayrı eleman gurubunda incelenmektedir. Kirişler ile ilgili şartlar TS 500 Bölüm 7-3'de, döşemeler ile ilgili şartlar TS 500 Bölüm 11'de verilmektedir. TS 500'de tarif edilen tablalı bir kesitin tabla genişliğini aşağıda verilmektedir.

- Simetrik kesitlerde $b_f = b + 0,2 \cdot l_p$
- Simetrik olmayan kesitlerde $b_f = b_1 + 0,1 \cdot l_p$

Burada l_p kirişin iki moment sıfır noktası arasındaki mesafedir. Şartname kesin hesap yapılmadığı durumlarda, “l” kirişin hesap açıklığı olmak üzere, “ l_p ” için aşağıda verilen değerlerin kabul edilmesini istemektedir.

- $l_p = 1,0 \cdot l$ Tek açıklıklı basit mesnetli kiriş
- $l_p = 0,8 \cdot l$ Sürekli kiriş kenar
- $l_p = 0,6 \cdot l$ Sürekli kiriş iç açıklığı
- $l_p = 1,5 \cdot l$ Konsol eleman

TS 500 eğilmeye maruz kiriş hesabında kiriş boyutlarında kiriş boyutlarına dikkat edilmesini istemektedir. Şayet sürekli kirişlerde net açıklık toplam yüksekliğin 2,5 katından veya basit kirişlerde 1,5 katından az ise bu tür kirişler şartname uyarınca yüksek kirişler olarak adlandırılmaktadır. Bu tür elemanların tasarımında kesite etki eden kesme etkileri ihmal edilemeyecek kadar büyüktür. Bu sebepten ötürü yüksek kirişlerin tasarımında doğrusal olmayan birim şekil değiştirme, yanıl burkulma ve kesme tasarımı göz önüne alınmalıdır. Rus betonarme şartnamesi TS 500’den farklı olarak bu noktada bir yorumu mevcut değildir. Yüksek kirişler için gerekli şartlar TS 500 Bölüm 8.5’de verilmektedir. TS 500’de eğilme etkisine maruz diğer bir eleman tipi olarak döşemeler tarif edilmektedir.

3.3.2. Dış merkezli basınca maruz elemanların tasarımı

3.3.2.1. Basınç elemanlarının tasarımı – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus betonarme ve öngerme şartnamelerine göre dış merkezli basınca maruz kesitlerde Denklem 3.19’de verilen şart sağlanmalıdır (Şekil 3.4).

$$N \cdot e' \leq R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A_s' \cdot (h - a') \quad (3.19)$$

Burada e, normal kuvvet ile çekmeye maruz (veya en az basınca maruz) donatı grubunun, kesitin ağırlık merkezi arası mesafedir.

$$e \leq e_0 \cdot \eta \frac{(h - a')}{2} \quad (3.20)$$

Burada η Denklem 3.21’den hesaplanmalıdır.

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} \quad (3.21)$$

Burada; D betonarme eleman rijitliği ve l_0 tasarım uzunluğu olmak üzere, N_{cr} bağlı kritik kuvvettir (Denklem 3.22)

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot D}{l_0^2} \quad (3.22)$$

Kesitin basınç bloğu derinliği x aşağıda verilen şartlar gözetilerek hesaplanmalıdır.

a) $\xi \leq \xi_R$ olduğu durumda x :

$$x = \frac{N + R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b} \quad (3.23)$$

b) $\xi > \xi_R$ olduğu durumda x :

$$x = \frac{N + R_s \cdot A_s \cdot \frac{1 + \xi_s}{1 - \xi_s} - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b + \frac{2 \cdot R_s \cdot A_s}{h_0 (1 - \xi_s)}} \quad (3.24)$$

Hesaplamalarda eleman rijitliği, D , Denklem 3.25’de tarif edildiği üzere hesaplanmasına şartname izin vermektedir.

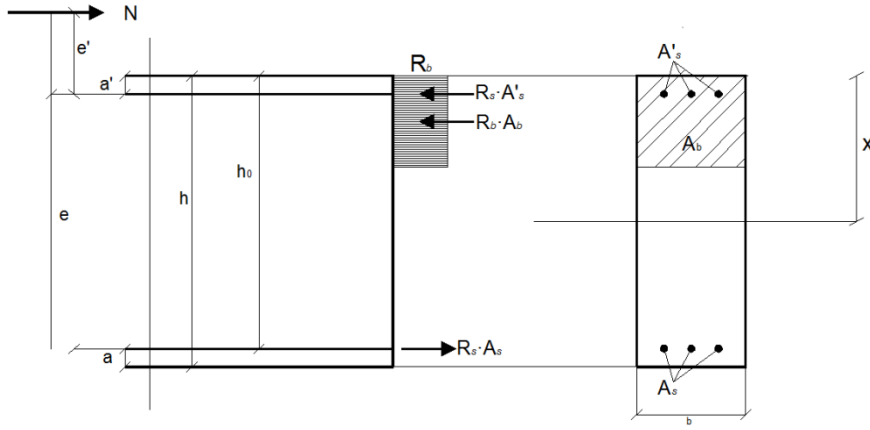
$$D = K_b \cdot E_b \cdot I + K_s \cdot E_s \cdot I_s \quad (3.25)$$

Burada K_b ve K_s sabitleri Denklem 3.26’a göre hesaplanmalıdır.

$$K_b = \frac{0,15}{\varphi_1 (0,3 - \delta_e)} \quad K_s = 0,7 \quad (3.26)$$

Burada φ_1 katsayısı yük etki süresi katsayısıdır. M_1 ve M_{1l} en çok çekme gerilmesine veyahut en az basınç gerilmesine maruz donatı gerilmesinin meydana getirdiği tüm yükleme ve uzun süreli/sabit yük momentleri olmak üzere Denklem 3.27’e göre tarif edilmektedir.

$$\varphi_1 = 1 + \frac{M_{1l}}{M_1} \quad (3.27)$$



Şekil. 3.4: Dış merkezli basınç etkisi altındaki betonarme eleman kesiti ve gerilme dağılımı

Çerçeve sistemlerde dış merkezli normal basınç kuvvetine maruz betonarme elemanların tasarım uzunluğu, l_0 , malzemenin elastik olmayan davranışını ve çatlak oluşması durumunu gözетerek belirlenmelidir. Ancak sabit bir en kesitine sahip normal kuvvet etkisi altındaki bir betonarme elemanda tasarım uzunluğu, l_0 , aşağıda verilen değerlere eşit olduğu kabul edilebilir.

- | | |
|--|---------------------|
| a) Her iki ucundan mafsallı elemanlarda | $l_0 = 1,0 \cdot l$ |
| b) Bir uzundan rijit diğer ucundan serbest elemanlarda | $l_0 = 2,0 \cdot l$ |
| c) Bir ucundan sabit mafsallı diğer ucu | |
| i. Rijit | $l_0 = 0,7 \cdot l$ |
| ii. Dönmesi sınırlı | $l_0 = 0,9 \cdot l$ |
| d) Bir ucunun dönmesi sınırlı diğer ucu | |
| i. Dönmesi sınırlı | $l_0 = 2,0 \cdot l$ |
| ii. Rijit | $l_0 = 1,5 \cdot l$ |

Örnek 4: Kesit eni $b=500$ ve kesit derinliği $h=600$ mm, beton paspayı kalınlığı $a=a'=40$ mm verilen rijit çerçeve kolonu incelenecektir. Beton tipi B20 ($R_b= 10,5$ MPa, $\gamma_{b2}=0,9$ $E_b=2,4 \cdot 10^4$ MPa) ve donatı sınıfı A-3'dir ($R_s=R_{sc}= 365$ MPa, $E_s=2 \cdot 10^5$ MPa). Kesite $N=1000$ kN'luk bir normal kuvvet $e_0=550$ mm lik bir dış merkezlik ile etki etmektedir. Elemanın etkili boyu $l_0=4,8$ m ise kesitin donatı tayinini yapınız.

Rus betonarme şartnamesine göre;

$h_0 = 600 - 40 = 560$ mm'dir. Şartnamenin dikdörtgen kesitler için verdiği deformasyon sınır değerleri incelendiği takdirde, $4 < \frac{l_0}{h} = 8 < 10$ olduğundan dolayı eleman deformasyon katkısı ihmal edilemez. Buna göre, SNIP 2.03.01-84 uyarınca;

$$N_{cr} = 0,15 \frac{E_b A}{(l_0 / h)^2} = 0,15 \frac{2,4 \cdot 10^4 \cdot 500 \cdot 600}{8^2} = 16875 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{1000}{16875}} = 1,063$$

$$e = e_0 + \frac{(h_0 + a')}{2} = 550 \cdot 1,063 + \frac{560 - 40}{2} = 845 \text{ mm}$$

Buna göre gerekli donatı alanları

$$A_s' = \frac{Ne - 0,4 R_b b h_0^2}{R_{sc} (h_0 - a')} = \frac{1000 \cdot 10^3 \cdot 844,65 - 0,4 \cdot 10,5 \cdot 500 \cdot 560^2}{365(560 - 40)} = 981 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{0,55 R_b b h_0 - N}{R_{sc}} + A_s' = \frac{0,55 \cdot 10,5 \cdot 500 \cdot 560 - 1000 \cdot 10^3}{365} + 980,45 = 2671 \text{ mm}^2$$

Burada:

$$\mu = \frac{A_s + A_s'}{A} = \frac{2670,86 + 980,45}{500 \cdot 600} = 0,012 < 0,025 \text{ olduğundan dolayı daha yüksek bir presisyona ihtiyaç yoktur. Donatı seçimi } A_s' = 1062 \text{ mm}^2 (2\Phi 26) \text{ ve}$$

$$A_s = 2724 \text{ mm}^2 (2\Phi 34) \text{ yapılabilir.}$$

TS 500'e uygun olarak hesap yapıldığı takdirde:

$$N_d = 1000 \text{ kN } V_d = 0 \text{ } M_d = 550 \text{ kNm olduğuna göre}$$

$$N_{d\max} = 0,50 \cdot 20 \cdot 0,5 \cdot 0,6 = 3MN = 3000kN > N_d$$

$$\frac{k \cdot l}{i} = \frac{4,8}{1,44} = 33,26 > 22 \text{ olduğundan dolayı kesit narinlik etkisi de göz önünde}$$

bulundurularak incelenmelidir.

$$EI = \frac{0,4 \cdot E_c I_c}{1 + R_m}$$

$$R_m = \frac{N_{gd}}{N_d} = \frac{1,4N_g}{1,4N_g + 1,6N_q} = 1$$

Buradan $EI = 35 \cdot 10^3 kNm^2$ elde edilecektir.

$$N_k = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l_k^2} = \frac{\pi^2 \cdot 35 \cdot 10^3}{4,8^2} = 15 \cdot 10^3 kN$$

$$\beta = \frac{1}{1 - 1,3 \frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1 - 1,3 \frac{1 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3}} = 1,094$$

$$N_d = 1000kN$$

$$M_d = \beta \cdot M_{d2} = 550 \cdot 1,094 = 602kNm$$

$$n_d = \frac{1000}{0,85 \cdot 13300 \cdot 0,5 \cdot 0,6} = 0,295$$

$$m_d = \frac{602}{0,85 \cdot 13300 \cdot 0,5 \cdot 0,52} = 0,355$$

Buna göre, $\rho_m = 0,48$ olduğuna göre.

$$\rho = \frac{\rho_m}{f_{yd} / 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{0,48}{\frac{365}{0,85 \cdot 13,3}} = 0,015 \text{ olup } \rho < \rho_m \text{ 'dir.}$$

Kolonda simetrik donatı bulunması halinde

$$A_s = A_s' = \rho \cdot b \cdot h = 0,015 \cdot 0,5 \cdot 0,6 = 0,0045m^2$$

Yani kesit için

$A_s = A_s' = 4500mm^2$ boyuna donatı yeterli olacaktır. Ancak bu değer Rus betonarme şartnamesinde hesap sonucu talep edilenden çok daha fazladır. Rus şartnamesine uygun olarak hesaplanan donatı alanının TS 500E'e uygun olarak hesaplanan değere yüzdesi %84'dür.

3.3.2.2. Eksenel basınç ve eğilme – TS 500

TS 500 betonarme şartnamesi, Rus betonarme şartnamesinde dış merkezli basınca maruz kesitler olarak nitelendirilen kesitlerin hesap yöntemini eksenel kuvvet ve eğilme altındaki elemanların boyutları ve donatıları ile ilgili koşullar ve narinlik etkisi başlıkları altında incelemektedir (TS 500 Bölüm 7.4 ve 7.6). Rus betonarme şartnamesinde açıkça ifade edilmemesine karşın, TS 500 bu tür elemanları kolon tipi eleman olarak tanımlamaktadır ve ilgili yapısal şartlar şartnamenin ilgili bölümlerinde verilmektedir.

TS 500, kolonların boyutlandırılıp donatılandırılması noktasında, şartnamede verilen yüklere göre, doğrusal olmayan malzeme davranışı, çatlak oluşumu ve betonun sünme ve büzülme durumunun göz önüne alarak ikinci mertebe yapısal çözümlemenin yapılmasını talep etmektedir. Ancak hesabın yapılabilmesi için narinlik etkisinin incelenmesine gerek duyulmaktadır.

Şartname narinlik oranının $l_0 / i < 100$ şartlarının sağlandığı durumlarda hesaplarda şartnamede ifade edilen yaklaşık yöntemin (moment büyütme yöntemi) kullanılmasını izin vermektedir.

Bu yöntemde TS 500 tarif edilen dış merkezlik koşulu sağlanarak ve doğrusal elastik kabul sonucu elde edilen en büyük uç momentleri moment büyütme katsayısı, β , ile büyütülerek tasarım momenti elde edilmektedir. Moment büyütme katsayısı yanal ötelenmenin engellenip engellenmemiş olmasına bağlı olarak farklılık gözetmektedir. Şartname, doğrusal malzeme davranışı kabulü ile yatay ve düşey yükler altında incelenen ikinci mertebe analiz ile aynı kabuller göz önünde bulundurularak yapılan birinci mertebe analiz arasındaki farkın %5'den az olması durumunda bu yapı sistemi yanal ötelenmenin önlemediği sistemler olarak tanımlanmaktadır. Şartname yatay ötelenmeye karşı rijitlik sağlayan perde veya benzeri bir eleman veya eleman grubu bulunması halinde benzer bir kabulün yapılmasına olanak tanımaktadır. Buna göre

yatay ötelemesi önlenmiş kat kolonlarında moment büyütme katsayısı Denklem 3.28`de verildiği üzere hesaplanmalıdır:

$$\beta_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{N_d}{N_k}} \geq 1,0 \quad (3.28)$$

Burada N_d tasarım moment kuvveti, N_k kolon burkulma yüküdür. C_m katsayısı

$$C_m = 0,6 + 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \geq 0,4 \quad (3.29)$$

Burada M_1 ve M_2 kolon uç momentleri ($M_1 \leq M_2$); N_k , kolon burkulma yüküdür (Denklem 3.30).

$$N_k = \frac{\pi^2 \cdot (EI)}{l_k^2} \quad (3.30)$$

Burada l_k kolon etkili boyudur.

Şartname kolon etkili boyu l_k kolon ve yerel destek sağlayan elemanlar arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. Yani kolon etkili boyu, l_k , kolon uzunluğunun, l_a , bir k katsayısı ile çarpılmasıyla elde edilmektedir.

$$\alpha_{1,2} = \frac{\sum \left(\frac{I}{l} \right)_{kolon}}{\sum \left(\frac{I}{l} \right)_{kiris}} \quad \alpha_m = 0,5 \cdot (\alpha_1 + \alpha_2) \quad (3.31)$$

Yanal ötelemesi önlenmiş kat kolonları için $k = 0,7 + 0,05 \cdot (\alpha_1 + \alpha_2) \leq 0,85 + 0,05 \cdot \alpha_1 \leq 1,0$ veya analiz yapılmadığı durumlarda $k = 1,0$ alınmalıdır.

Yanal ötelemesi önlenmiş kolonlarda

- $\alpha_m < 2$ ise $k = \frac{20 - \alpha_m}{20} \cdot \sqrt{1 + \alpha_m}$
- $\alpha_m > 2$ ise $k = 0,9 \cdot \sqrt{1 + \alpha_m}$
- Bir ucu mafsallı kolonlarda $k = 2 + 0,3 \cdot \alpha_2$

α katsayılarının hesabı için TS 500'e danışılmasında fayda vardır.

Yanal ötelenmesi önlenmiş kolonlarda kolona uçları arasında herhangi bir noktada etkiyen yatay yük olması durumunda $C_m = 1,0$ alınması şartname tarafından gerek duyulmaktadır.

Yanal ötelemesi önlenmemiş kat kolonlarında:

$$\beta_2 = \frac{1}{\frac{\sum N_d}{1 - \frac{\sum N_k}{\sum N_d}}} \geq 1,0 \quad (3.32)$$

Burada $\sum N_d$ ve $\sum N_k$ sıra ile kesite etki eden eksenel tasarım yüklerinin ve kolon kritik yüklerinin toplamıdır. TS 500 ayrıca $\sum N_d \leq 0,45 \cdot \sum N_k$ olması durumunda kesitin büyütülmesini istemektedir. Şartname β_2 katsayısı sonucu elde edilen değerden ayrı olarak β_1 katsayısının $C_m = 1,0$ alınarak her bir kolon için ayrı ayrı hesaplanmasını ve elde edilen β_1 katsayısı β_2 'den büyük ise β_1 'in yanal ötelemesi önlenmemiş yapılarda moment büyütme katsayısı olarak dikkate alınmasını talep etmektedir.

Şartname yukarıda verilen narinlik etkisinin dikkate alındığı hesap yöntemini bazı özel durumlar için ihmal etmektedir. Bu durumlar TS 500'de "narinlik etkisinin ihmal edilebileceği durumlar" başlığı altında incelenmektedir. Bu durumda analiz sonucu elde edilen uç momentleri doğrudan kesit boyutlandırılması ve donatılandırılmasında kullanılmalıdır. Yanal ötelemesi önlenmiş elemanlarda şayet narinlik oranı $l_0 / i < 40$ veya $l_0 / i < 34 - 12 \cdot (M_1 / M_2)$ ise narinlik durumu ihmal edilmelidir. Yanal ötelemesi önlenmemiş elemanlarda narinlik durumunun ihmal edilmesi için $l_0 / i \leq 22$ olması şartı aranmaktadır. Burada M_1 ve M_2 uç momentleri kolonun aynı yüzünde basınç meydana getiriyorsa M_1/M_2 pozitif, aksi durumda negatif alınmalıdır.

3.3.3. Çekme etkisi altındaki elemanların tasarımı

3.3.3.1. Eksenel çekme– SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus betonarme şartnamesine göre, eksenel çekme etkisi altındaki bir betonarme kesitin taşıma kapasitesi, betonun çekme dayanımının ihmal edilmesi sebebiyle sadece donatının çekme dayanımıyla ilişkilidir. Buna göre;

$$N \leq N_{ult} \quad (3.33)$$

Burada N , kesite etki eden eksenel çekme kuvveti, N_{ult} ise kesitin eksenel çekme kapasitesidir (Denklemler 3.34).

$$N_{ult} = R_s \cdot A_{s,tot} \quad (3.34)$$

Burada $A_{s,tot}$, kesitteki toplam boyuna donatı alanıdır.

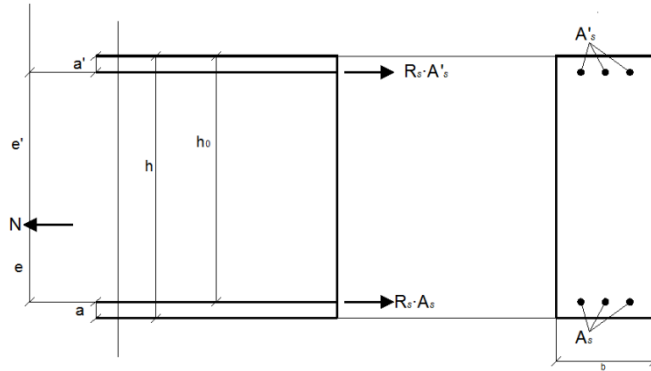
SNIP 2.03.01-84 dış merkezli çekme kuvvetine maruz kesitler iki farklı grup altında toplamaktadır.

- Normal kuvvetin donatılara efektif eş uzaklıkta bulunması durumu (Şekil 3.5)

Bu durumda donatılarda meydana gelen normal kuvvetler Denklemler 3.36-37'den hesaplanmalıdır.

$$N \cdot e \leq M_{ult} = R_s \cdot A'_s (h_0 - a') \quad (3.36)$$

$$N \cdot e' \leq M'_{ult} = R_s \cdot A_s (h_0 - a') \quad (3.37)$$



Şekil 3.5: Normal çekme kuvvetinin donatılara efektif eş uzaklıkta bulunması durumu

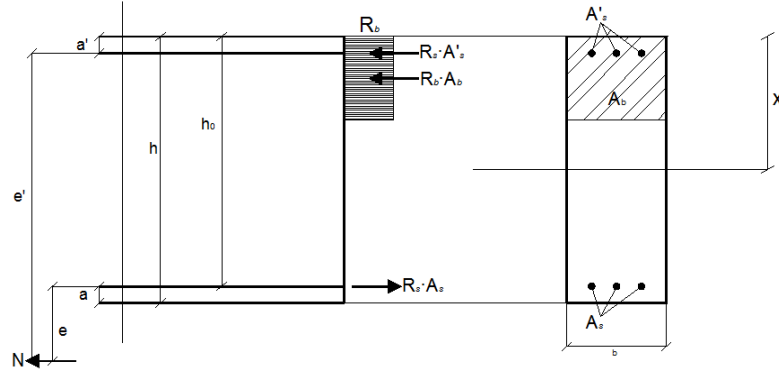
- Normal kuvvetin donatılara efektif eş uzaklıkta bulunmaması durumu (Şekil 3.6)

Bu durumda kesitin taşıyabilebileceği maksimum moment Denklem 3.38'den hesaplanmalıdır

$$M_{ult} = R_b \cdot b \cdot x (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s (h_0 - a') \quad (3.38)$$

Burada

$$X = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s - N}{R_b \cdot b} \quad (3.39)$$



Şekil 3.6: Normal çekme kuvvetinin donatılara efektif eş uzaklıkta bulunmaması durumu

3.3.3.2. Eksenel çekme ve eğilme – TS 500

TS 500 eğilme momenti ile aksenal etkilerine bir etkimesi durumunda aksenal çekme etkisinin ihmal edilmesini istemektedir. Bütün kesitin çekmeye çalıştığı durumda TS 500'e göre beton katkısı ihmal edilmeli ve analizde Denklem 3.40 dikkate alınmalıdır.

$$N_d \leq A_{st} \cdot f_{yd} \quad (3.40)$$

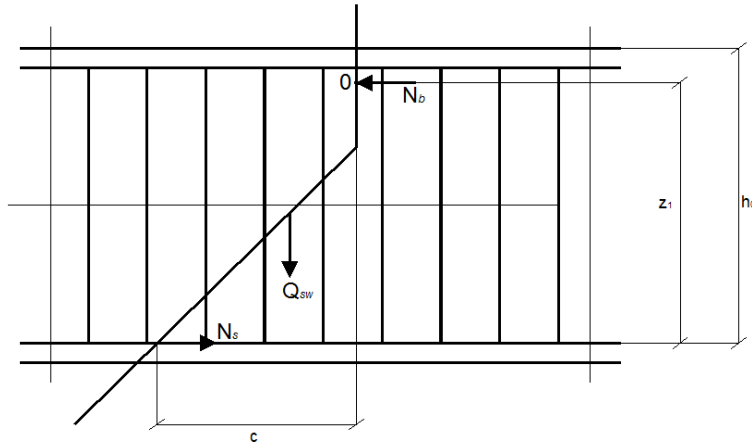
Çekmeye maruz kesitlerde elemanda hesaplanan boyuna donatı oranı Denklem 3.41'da verilen minimum değerden fazla ve donatı yerleşimi olabildiğince simetrik olmalıdır.

$$\rho_t = 1,5 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (3.41)$$

3.3.4. Kesme etkisi altındaki betonarme kesitler

3.3.4.1. Kesme etkisine maruz elemanların tasarımı – SNIP 2.01.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus betonarme şartnamesi kesitlerde kesme kuvveti analizinde eğik bir kesit tarifi yapmakta ve kesit kesme kuvveti dayanımını bu tarife edilen eğik kesite göre şekillendirmektedir.



Şekil 3.7: Kesme kuvveti etkisi altındaki betonarme eleman

SNIP 2.03.01-84 çatlaklar arasında kalan bölgede Denklem 3.42'nin incelenmesini talep etmektedir.

$$Q \leq 0,3 \cdot \varphi_{w1} \cdot \varphi_{b1} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0 \quad (3.42)$$

Burada;Q: Mesnete uzaklığı h_0 'dan fazla olan bir kesitteki kesme kuvvetidir.

φ_{w1} : Boyuna eksene dik etriye donatılarının etkisini araştıran bir katsayıdır.

$\mu_s = \frac{A_{sw}}{b_s}$ olmak üzere Denklem 3.43'de tarif edildiği şekilde hesaplanmalıdır. Ancak

hesaplanan değer 1,3'den az olmalıdır.

$$\varphi_{w1} = 1 + 5 \cdot \alpha \cdot \mu_{sw} \quad (3.43)$$

φ_{b1} : Beton cinsi faktörüdür. Buna göre:

$$\varphi_{b1} = 1 - \beta \cdot R_b \quad (3.44)$$

Burada β katsayısı NAB veya IAB beton tipleri için $\beta = 0,01$, HB sınıfı beton için $\beta = 0,02$ alınmalıdır.

Güncel Rus betonarme şartnamesi SP 52-101-2003 beton cinsi ve etriye etkisini tarif eden katsayıları ellimine ederek Denklem 3.42’de sadeleştirme yoluna gitmiştir. Buna göre $\varphi_{b1}=0,3$ olmak üzere, SP 52-101-2003, çatlaklar arasında kalan bölgelerde kesit tahkikini Denklem 3.45’de tarif etmektedir.

$$Q \leq \varphi_{b1} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0 \quad (3.45)$$

Kesme kuvveti etkisi maruz kesitlerde, güncel Rus betonarme şartnamesi, SP 52-101-2003, kesitin kesme kapasitesini Denklem 3.46’de verildiği üzere tarif etmektedir. Buna göre;

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} \quad (3.47)$$

Burada Q: İzdüşüm boyu c boyunca kesite etki eden kesme kuvveti

Q_b : Eğik düzlem boyunca beton kesit tarafından aktarılan kesme kuvveti (Denklem 3.48)

$$0,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0 \leq Q_b = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c} \leq 2,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0 \quad (3.48)$$

Burada φ_{b2} katsayısı betonarme elemanlarda 1,5 alınmalıdır.

Kesitteki betonun kesme dayanımı tarifi SNIP 2.03.01-84’de farklıdır. Denklem 3.48’de tarif edilen sınır değerler geçerli olmak üzere SNIP 2.03.01-84 Denklem 3.49’u geçerli görmektedir.

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} \cdot (1 + \varphi_f) \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c} \quad (3.49)$$

Burada φ_f : T ve I kesitlerin tabla basınç bölgesinin etkisini araştıran bir katsayıdır (Denklem 3.50). Ancak hesap sonucu elde edilen değerin $\varphi_f=0,5$ ’den büyük seçilmesine şartname izin vermektedir. Buna göre:

$$\varphi_f = 0,75 \frac{(b_f - b) \cdot h_f}{b \cdot h_0} \quad (3.50)$$

Q_{sw} : Eğik kesitte konumlu donatı tarafından aktarılan kesme kuvveti (Denklem 3.51)

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} \cdot q_{sw} \cdot c \quad (3.51)$$

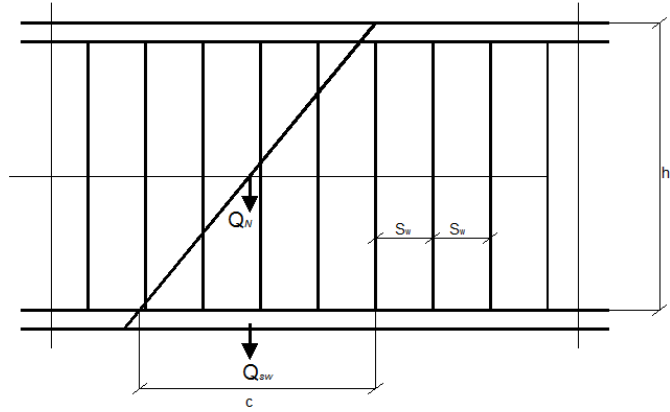
Burada φ_{sw} katsayısı betonarme elemanlarda 0,75 alınmalıdır.

q_{sw} birim eleman boy uzunluğunda donatı vasıtasıyla aktarılan kesme kuvvetidir ve Denklem 3.52’a göre hesaplanmalıdır.

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{S_w} \quad (3.52)$$

Denklem 3.48 ve 3.49'da tanımlanmış olan c izdüşümü uzunluğu, kesitin maruz kalacağı en kötü durum göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Rus betonarme şartnamesi izdüşümü uzunluğunun, c 'nin, $2,0 \cdot h_0$ 'dan daha az seçilmesini şart koşturmaktadır (Şekil 3.8)

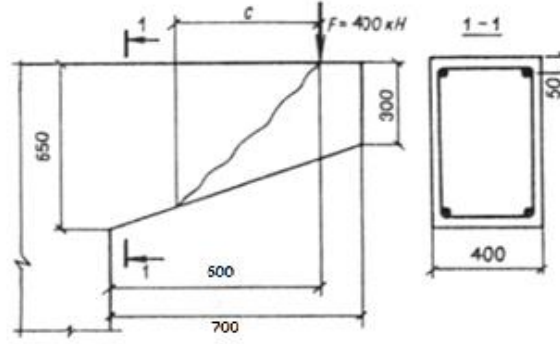
Yukarıda verilen hesap yöntemi kesit boyutlarının kesit boyunca sabit kaldığı veya elemana düzgün yayılı yük etki etmesi halinde geçerli olan en olağan durumu tarif etmektedir. Ne SNIP 2.03.01-84 ne de SP 52-101-2003 noktasal yük durumunu veya kesit boyutlarında meydana gelecek değişiklikler için bir tarifte bulunmamaktadır. Bu durumların incelenmesi gerektiği takdirde SNIP 2.03.01-84 izahnamesine danışılmalıdır.



Şekil 3.8: Betonarme elemanlarda kesit değerlerinin incelenmesi

Örnek 5: Geometrik özellikleri Şekil 3.9'de verilen betonarme elemanın beton tipi B25 (Kısa süreli yükleme olmadığı durumda, $\gamma_{b2} = 0,90$ ise $R_b = 13\text{MPa}$, $R_{bt} = 1.1$) ve donatı tipi A-1 ($R_{sw} = 175\text{MPa}$), etriye çapı 10 mm ise ($A_{sw} = 157,08 \text{ mm}^2$) ve etriyeler arası mesafe $s = 150 \text{ mm}$ ise elemanın kesme tahkikini yapınız ($Q = 450 \text{ kN}$)

Şekil 3.9: Örnek da tarif edilen kesit özellikleri



Buna göre $h_{01} = 650 - (650 - 300) \cdot \frac{600}{700} - 50 = 300 \text{ mm}$ bulunmaktadır. Betonun transfer edebileceği eğilme momenti:

$$M_{b1} = \varphi_{b2} \cdot (1 + \varphi_f) \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_{01}^2 = 2 \cdot (1 + 0) \cdot 1,1 \cdot 400 \cdot 300^2 = 79,2 \text{ kNm}$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s} = \frac{175 \cdot 157,1}{150} = 183,3 \text{ kNm}$$

Şekil 5.1'den $\tan \beta = \frac{650 - 300}{700} = 0,5$. Buna göre:

$$q_{inc} = \varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot \tan^2 \beta = 2 \cdot 1,1 \cdot 400 \cdot 0,5^2 = 220 \text{ N/mm}$$

Buradan:

$$c = \sqrt{\frac{M_{b1}}{q_{inc} + q_{sw}}} = \sqrt{\frac{79,2 \cdot 10^6}{220 + 183,28}} = 445 \text{ mm} = c_0$$

Hesap sonucu elde edilen kritik kesit mesafesi, c, yük ile mesnet arasında konumlu olduğu için o bölgede kesme tahkiki yapılması gerekmektedir. Eğik kesitin sonundaki efektif derinlik:

$$h_0 = h_{01} + c \cdot \tan \beta = 300 + 445 \cdot 0,5 = 522,5 \text{ mm}$$

Ayrıca $2h_0 = 2 \cdot 522,5 > c_0 = 556 \text{ mm}$ olmak üzere,

$$M_b = \varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2 = 2 \cdot 1,1 \cdot 400 \cdot 497^2 = 217,368 \text{ kNm}$$
 elde edilmelidir.

Buna göre kesitin toplam kapasitesi:

$$Q_b + Q_{sw} = \frac{M_b}{c} + q_{sw} \cdot c_0 = \frac{217,4}{0,445} + 183,28 \cdot 0,445 = 570kN > Q = 450kN$$

Eğik kesit için hesaplanan kapasitenin yeterli olduğu görülmektedir.

Yük ile mesnet arasında konumlu bir bölge için kesme tahkiki yapılacak olunursa,

$$h_0 = 650 - 50 = 600mm$$

$$M_b = \varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2 = 2 \cdot 1,1 \cdot 400 \cdot 600^2 = 316,8kNm$$

$$\text{Buradan } c_0 = \sqrt{\frac{M_b}{q_0}} = \sqrt{\frac{316,8 \cdot 10^6}{183,28}} = 1314,7 > 2 \cdot h_0 = 1200mm \text{ olduğundan } c_0 = 1200$$

mm alındığı takdirde

$c_0 = 1200mm > c = 600mm$ olduğu görülecektir. Bu durumda Rus betonarme şartnamesine göre eğik kesitin kesme dayanımının araştırılmasına gerek yoktur.

TS 500:

$$\frac{a_v}{d} = \frac{0,6}{0,65} < 1 \text{ olduğundan dolayı bu kesit bir kısa konsoldur.}$$

$$V_d = 400kN$$

$$H_d = 0 < 0,2V_d \quad a_v = 0,6m$$

$$z = j \cdot d = 0,52m \quad \tan \alpha = \frac{0,52}{0,6} = 0,714 \Rightarrow \alpha = 163^\circ$$

$$F_s = \frac{V_d}{\tan \alpha} = \frac{400}{0,866} = 462kN$$

$$A_{st} = \frac{F_s}{f_{yd}} = \frac{461,54}{191 \cdot 10^3} = 2416mm^2$$

$$\sigma_{c0} = \frac{V_d}{a_c b_w \sin \alpha} = \frac{400 \cdot 10^3}{200 \cdot 400 \cdot 0,655} = 7,63MPa$$

$$\sigma_{c0} < 0,85 \cdot f_{cd} = \frac{25}{1,5} \cdot 0,85 = 14,2MPa$$

$$M_d = 400 \cdot 0,6 = 240kNm$$

$M_d = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot a(d - 0,5a)$ olduğuna göre

$$240 \cdot 10^6 = 0,85 \cdot \frac{25}{1,5} \cdot 400 \cdot a \cdot (600 - 0,5a)$$

Buradan $a_1 = 75,3mm$ ve $a_2 = 1124mm$ bulunacaktır. a_1 değeri geçerli kabul edildiği taktirde:

$$A_{st} = \frac{240 \cdot 10^6}{191 \cdot 562,35} = 2234mm^2 \text{ yeterli bulunmaktadır. Buna göre } 4\phi 28 (2463mm^2)$$

seçilmesi uygundur.

$$V_{d\max} = 0,22 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 0,22 \cdot \frac{25}{1,5} \cdot 400 \cdot 600 = 880 \cdot 10^3 N > V = 400kN$$

Buna göre:

$$A_{vp} = \frac{V_d}{\eta \cdot f_{yd}} = \frac{400000}{1,4 \cdot 191} = 1496mm^2 \quad \text{Buradan } 5\phi 20 (1570mm^2) \text{ seçilmesi uygun}$$

olacaktır.

$$A_{st} = \frac{V_d a_v + 0}{0,8 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{400 \cdot 0,6}{0,8 \cdot 191 \cdot 0,4} = 3926mm^2$$

Şartname uyarınca:

$$A_{st} > \max \left[\frac{2}{3} A_{wf} + A_n, 0,05 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w d \right] \Rightarrow A_{st} = 1047mm^2$$

Buradan $A_{sv} = 0,5(A_{st} - A_n) = 1963mm^2$ bulunacaktır.

3.3.4.2. Kesme kuvveti etkisi – TS 500

TS 500 betonarme şartnamesi kesme etkisi altındaki elemanları “TS 500 - Bölüm 1” başlığı altında incelenmektedir. Şartname genel prensip olarak kesitlerde meydana gelecek asal çekme gerilmelerinin beton ve enine donatı katkısıyla, asal basıncın ise beton tarafından yeter seviyede karşılanmasını benimsemektedir.

Şartname bir elemanda kesme kuvveti hesabının elemanın en büyük kesme etkisine maruz kesitinde araştırılmasını istemektedir. Şartnameye göre düzgün yayılı yüke maruz bir elemanın bulunduğu düzlemde çok yüksek eğilme rijitliğine sahip bir elemana rijit mesnetliği mesnetlere doğrudan mesnet tanımlaması yapılmaktadır ve

mesnet yüzünden h_0 mesafesinde kesme analizi yapılmalıdır. Mesnete mesafesinden daha az bir mesafede tekil yük etkimesi veya mesnetlik yapan elemanın yeter eğilme rijitliği bulunmaması halinde (dolaylı mesnet) kesme hesabı mesnet yüzünden yapılmalıdır.

Bir kesitin kesme kapasitesi TS 500’de açıklandığı üzere, Denklem 3.53’de verilmektedir.

$$V_d \leq V_r = V_c + V_w \quad (3.53)$$

Burada V_c : beton katkısıdır (Denklem 3.54).

V_w : etriye katkısıdır. (Denklem 3.55)

$$V_c = 0,8 \cdot V_{cr} \quad (3.54)$$

$$(3.55)$$

Şartname etkiyen kesme kuvvetinin kritik kesme değerinden az olması halinde ($V_d \leq V_{cr}$), kesme analizi yapılmasını gerek görmemekte, minimum kesme donatısının yeterli olacağını ifade etmektedir.

Kesme etkisi yüzünden oluşabilecek bir güç tükenmesi gevrek bir kırılmaya sebep olacağından, şartname bu durumun önüne geçmek için minimum kesme donatısı ve kesme kuvveti üst sınırı şartlarının gerçekleştirilmesini istemektedir.

Şartname uyarınca kiriş boyuna minimum kesme donatısı tayini yapılmalıdır ve seçilen etriye çapı ve aralığı Denklem 3.56 şartını sağlamalıdır.

$$\frac{A_{sw}}{s_w} \geq 0,3 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \cdot b_w \quad (3.56)$$

Kirişte betonun ezilmesinin önlenmesi için Denklem 3.57’de verilen şart aranmaktadır. Aksi durumda kiriş ebadı büyütülmesi şartname tarafından şart koşulmaktadır.

$$V_d \leq 0,22 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (3.57)$$

3.3.5. Burulma momentine maruz betonarme elemanlar

3.3.5.1. Burulma kapasite hesabı – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Güncel Rus betonarme yönetmelikleri burulma hesabını uzaysal kesitleri inceleyerek tahkik etmektedir. Burulma etkisinin incelendiği uzaysal kesit eğimli düz bir doğrunun çekme etkisine maruz üç kenar etrafında dönmesi sonucu elde edilen kırık bir doğru parçası ve doğru parçasının uç noktalarını birleştiren basınç etkiyen dördüncü bir kenardan oluşmaktadır (Şekil 3.9). SP 52-101-2003 burulma tahkikinde bu uzaysal kesitler ve uzaysal kesitler arası bölgeler için hesapların ayrı ayrı yapılmasını talep etmektedir. Uzaysal kesitler arası bölgelerde Denklem 3.58'deki kontrol yapılmalıdır.

$$T \leq 0,1 \cdot R_b \cdot b^2 \cdot h \quad (3.58)$$

Burada b ve h sıra ile kesitin kısa ve uzun kenar uzunluklarıdır. SNIP 2.03.01-84 beton basınç sınıfının B30'dan büyük olması durumunda B30 için kabul edilen dayanım değerlerinin kullanılmasını talep etmektedir.

Uzaysal kesitlerde kesite etki eden burulma momenti boyuna ve enine donatının burulma kapasiteleri toplamından az olmalıdır. (Denklem 3.60)

$$T \leq T_{sw} + T_s \quad (3.60)$$

Burada T_{sw} :etriye veya benzeri enine donatı burulma kapasitesidir ve Denklem 3.61'e göre hesaplanmalıdır.

$$T_{sw} = 0,9 \cdot N_{sw} \cdot Z_2 \quad (3.61)$$

Burada N_{sw} : enine donatıdaki burulma kuvvetini tarif etmektedir.

$$N_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw,1}}{s_w} \cdot c_{sw} \quad (3.62)$$

Burada R_{sw} : enine donatının çekme dayanımı, $A_{sw,1}$: toplam donatı alanını, s_w : enine donatı adım aralığıdır.

Denklem 3.62'da verilen c_{sw} , burulan kesitteki çekme doğru parçasının yatayla yaptığı projeksiyondur. Basınç etkisine maruz bölgedeki doğru parçasının yatay projeksiyonu, c, olarak tarif edilirse Denklem 3.63 bağıntısı yazılabilir.

$$c_{sw} = \frac{Z_1}{2Z_2 - Z_1} \cdot c \quad (3.63)$$

Denklem 3.41’de tarif edilen T_s , boyuna donatı burulma kapasitesidir ve Denklem 3.64’e göre hesaplanmalıdır.

$$T_s = 0,9 \cdot N_s \cdot \frac{Z_1}{c} \cdot Z_2 \quad (3.64)$$

Uzaysal kesitlerde aranan burulma momenti kapasitesi enine donatı ve boyuna donatı kapasitelerinin toplamı olarak tarif edildiğinden, SP 52-101-2003 enine ve boyuna donatı oranları arasında bir sınır koşulu koymaktadır. Buna göre $q_{sw,1} \cdot Z_1 / R_s \cdot A_{s,1}$ tarif edilen β oranı asla 1,50’den büyük, 0,50’den az olmamalıdır. Kesitlere bu şart gözetilerek donatı tayini yapılmalıdır.

Şekilde verilen, c, basınç doğru parçası yatay projeksiyonu, uzunluğu kesitin en zayıf projeksiyon uzunluğu olarak tayin edilmelidir. Şartname seçilen c uzunluğu için $2Z_2 - Z_1$ ’den az olmama ve $Z_1 \cdot \sqrt{4Z_2 - Z_1}$ ’den çok olmama şartını aramaktadır.

SNIP 2.08.52-87’den farklı olarak SP 52-101-2003 klasik burulma hesabı tarifinden bağımsız olarak burulma hesabı yapılmasına olanak tanımaktadır. Buna göre Denklem 3.65’de verilen şart aranmalıdır.

$$T \leq T_{sw,1} + T_{s,1} \quad (3.65)$$

Burada

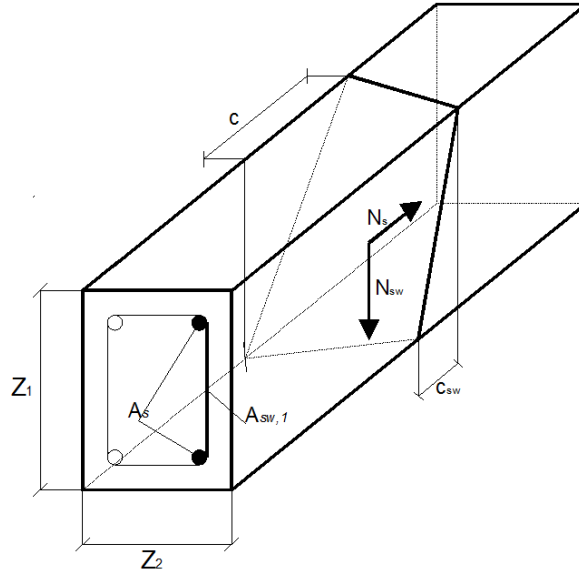
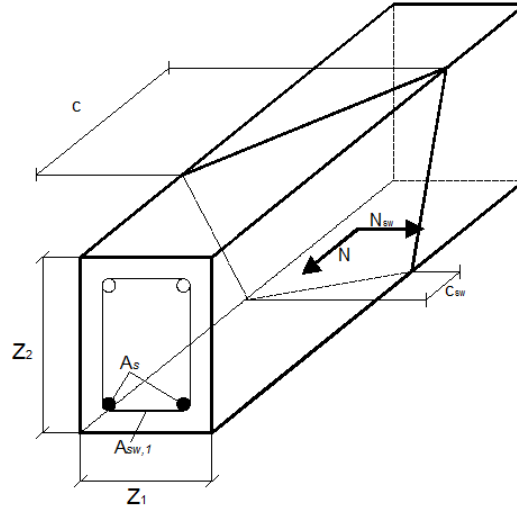
$$T_{sw,1} = q_{sw,1} \cdot \frac{Z_1^2 \cdot Z_2}{2Z_2 - Z_1} \quad (3.66)$$

$$T_{s,1} = 0,5 \cdot R_s \cdot R_{s,1} \cdot Z_2 \quad (3.67)$$

Burulma momenti ile eğilme momentinin kesite aynı anda etki etmesi halinde SP-52-101-2003 Denklem 3.68’de verilen şart aranmalıdır.

$$T \leq T_0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{M}{M_0} \right)^2} \quad (3.68)$$

Burada T_0 uzaysal kesitlerdeki burulma kapasitesidir. Şartname kesite burulma momenti ile eğilme momentinin etki etmesi hali için donatı tayininde her iki durum için tarif edilen şartların gerçekleştirilmesini talep etmektedir.



Şekil 3.9 Burulma etkisi altındaki betonarme eleman

Burulma momenti ile kesme kuvvetlerinin kesite aynı anda etki etmesi için SP 52-101-2003 Denklem 3.69 şartını aramaktadır.

$$T \leq T_0 \cdot \left(1 - \frac{Q}{Q_0} \right) \quad (3.69)$$

Kesitin donatı tayininde hem burulma momentinin hem de kesme etkisinin getirdiği şartlara dikkat edilmelidir.

3.3.5.2. Kesme kuvveti ve burulma – TS 500

Rus betonarme şartnamelerinde sadece burulma etkisinin kesitlerde ortaya çıkardığı sonuçlar incelenmekteyken, TS 500 betonarme şartnamesi bir elemana etki eden burulma etkisini kesme etkisiyle beraber incelemektedir. Ayrıca şartname bir sistemdeki burulmayı iki sınıfta incelemektedir. Bunlar denge burulması ve uygunluk burulmasıdır. TS 500 denge burulmasını kullanabilirlik ve taşıma gücü sınır durumlarında taşıyıcı sistemdeki dengenin sağlanması için hesaba katılması zorunlu olmayan, uygunluk burulmasını ise hesaba katılması zorunlu olan burulma olarak tanımlamaktadır. Buna göre betonarme bir kesitte burulma analizinde eğik çatlama sınırı Denklem 3.70 şartı aranmaktadır.

$$\left(\frac{V_d}{V_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{T_d}{T_{cr}}\right)^2 \leq 1 \quad (3.70)$$

Burada $V_{cr} = 0,65 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \cdot \left(q + \gamma \frac{N_d}{A_c}\right)$ olmak üzere γ katsayısı eksenel basınç durumunda $\gamma=0,07$, eksenel çekme durumunda $\gamma=0,3$ alınmalıdır.

T_{cr} kesitin kritik burulma moment değeridir (Denklem 3.71)

$$T_{cr} = 1,35 \cdot f_{ctd} \cdot S \quad (3.71)$$

Burada “ f_{ctd} ” betonun eksenel çekme dayanımı ve S kesitin burulma dayanım momentidir. Şartname dikdörtgen kesitler için S ’in yaklaşık olarak $S = \frac{b_w^2 \cdot h}{3}$ alınmasını uygun görmektedir.

Tasarım kuvvetlerinin hesaplanmasında, TS 500 burulma sınıflarını dikkate almaktadır. Denge burulması durumunda elastik çözüm sonucu elde edilen burulma moment tasarım değeridir ve kesit boyutlandırılmasında ve donatılandırılmasına bu değer esas kabul edilmelidir. Uygunluk burulması hesabında burulma durumu analizine gerek görülmemektedir. Şartnameye göre bu tür kesitlerin analizinde doğrudan çatlama momenti dikkate alınmalı ve gevrek kırılmanın önlenmesi için gerekli minimum donatı teçhiz edilmelidir.

Ayrıca şartname $T \leq 0,65 \cdot f_{ctd} \cdot S$ olması durumunda minimum etriye koşulunun sadece kesme durumu için araştırılmasını yeterli görmektedir.

TS 500 Denklem 3.70’de kontrolün sağlanmadığı durumlarda burulma etriyesi hesabını gerekli görmektedir.

$$\frac{A_0}{s} = \frac{A_{ov}}{s} + \frac{A_{ot}}{s} \quad (3.72)$$

$$\frac{A_{ov}}{s} = \frac{b_w \cdot (V_d - V_c)}{d \cdot n \cdot f_{ywd}} \quad (3.73)$$

$$\frac{A_{ot}}{s} = \frac{T_d}{2 \cdot A_e \cdot f_{ywd}} \quad (3.74)$$

$$A_{sl} = \frac{A_{ot}}{s} \cdot u_e \cdot \frac{f_{ywd}}{f_{yd}} \quad (3.75)$$

Buna göre Denklem 3.72, 73, 74 ve 75’de verilen şartlar sağlanarak enine ve boyuna donatı tayini yapılmalıdır. Burulma durumunda hesaplanan boyuna donatı, eğilme eksenel kuvvet için gerekli boyuna donatıya eklenerek kesit donatılandırılmalıdır.

Burulma etkisine maruz kesitlerde gevrek güç tükenmenin önlenmesi için TS 500 minimum donatı ve maksimum etki sınırları tarif etmektedir. Buna göre gevrek kırılmanın önlenebilmesi için Denklem 3.76 şartı aranmaktadır.

$$\frac{A_o}{s} \geq 0,15 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \left(1 + 1,3 \frac{T_d}{V_d \cdot b_w} \right) \cdot b_w \quad (3.76)$$

Burada $T_d / V_d b_w \leq 1,0$ alınmalıdır.

Betonun ezilmesinin önlenmesi amacı ile, kesite etkiyen yüklere bir üst sınır getirilmektedir. Aksi halde TS 500 kesit ebadının büyütülmesini istemektedir.

$$\left(\frac{T_d}{s} + \frac{V_d}{b_w \cdot d} \right) \leq 0,22 \cdot f_{cd} \quad (3.77)$$

3.3.6. Noktasal yük etkiyen kesitlerin tasarımı

3.3.6.1. Lokal basınca maruz elemanlar – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus Betonarme şartnamelerine göre bu tür elemanlarda Denklem 3.78 şartı aranmalıdır.

$$N \leq \psi \cdot R_{b,loc} \cdot A_{b,loc} \quad (3.78)$$

Burada N: elemana uygulanan dış basınç kuvveti

$A_{b,loc}$: Basınç kuvveti uygulama veya kopma bölgesi

$R_{b,loc}$: Lokal basınca maruz elemanlardaki beton basınç dayanımıdır (Denklem 3.79).

$$R_{b,loc} = \alpha \cdot \varphi_b \cdot R_b \quad (3.79)$$

Burada, ψ : Yükleme karakteristiği katsayısıdır ve lokal yükün düzgün yayılı bir yük olduğu durumda $\psi = 1,0$ alınmalıdır. Düzgün yayılı olarak tarif edilemeyecek diğer bütün yükleme durumları için elemanın betonu NAB, IAB veya HB beton tiplerinde ise $\psi = 0,75$, boşluklu beton için $\psi = 0,50$ alınmalıdır. (SNIP 2.03.01-84).

Denklem 3.52’de verilen α beton kalitesi katsayısıdır. Bu katsayı SP 52-101-2003’de her beton sınıfı için $\alpha = 1,0$ alınmaktadır. Ancak bir önceki şartname SNIP 2.03.01-84 için belli şartları göz önüne almaktadır.

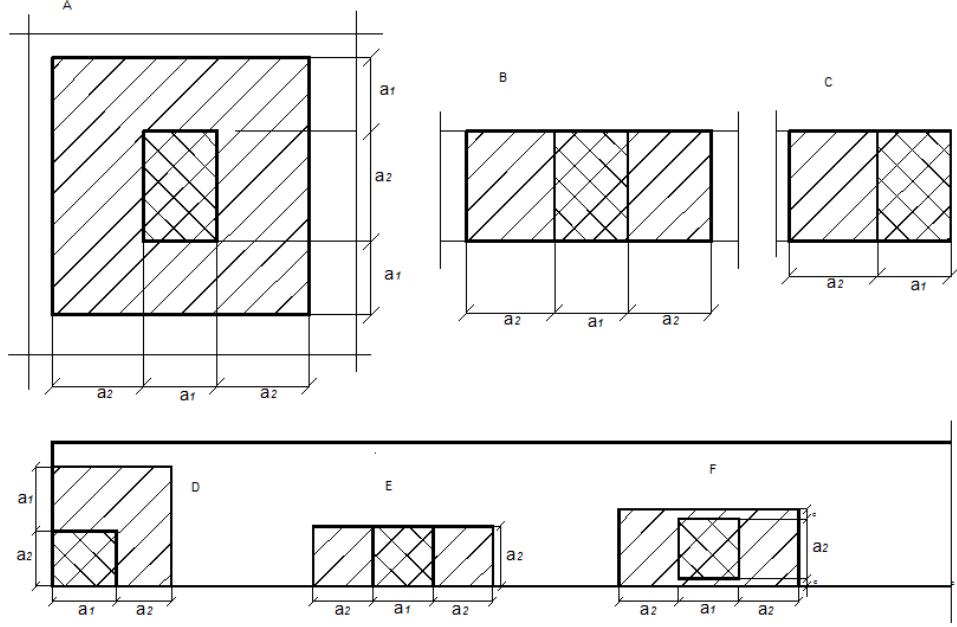
Bu şartlar:

- Şayet beton basınç sınıfı B25’den düşük ise $\alpha = 1,0$,
- Şayet beton basınç sınıfı B25 veya üstü ise $\alpha = 13,5 \cdot R_{bt} / R_b$ alınmalıdır

Denklem 3.51’de verilen ψ_b katsayısı, etki bölgesi yayılma katsayısıdır. SP 52.101-2003 bu katsayıyı Denklem 3.80’de tarif etmektedir. Ancak burada hesaplanan değer 2,5’den büyük 1,0’den az olmamasına dikkat edilmelidir.

$$\psi_b = 0,8 \sqrt{\frac{A_{b,max}}{A_{b,loc}}} \quad (3.80)$$

Burada $A_{b,max}$ maximum etki bölgesidir. Çeşitli kesitler için farklılıklar gözetmekte olup, şartnamede diyagramlar şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 3.10). Bu şekillere danışılıyorken $A_{b, loc}$ olarak tarif edilen lokal basınç alanının ağırlık merkezinin $A_{o,max}$ olarak tarif edilen maksimum etki bölgesinin ağırlık merkezi ile çakışmasına dikkat edilmelidir. Eski Rus betonarme şartnamesi, SNIP 2.03.01-84, ψ ’nın hesaplanmasında daha geniş bir kapsamı içermektedir. Betonarme yapılarda yaygın olarak kullanılan NAB betonu için şartnamelerde takriben aynı değerleri sunuyorken, SNIP 2.03.01-84 tipi farklı beton sınıfları için çeşitli sınır değerler belirlemektedir. Tasarımda kullanılan beton HB, IAB veya boşluklu beton olarak seçilmişse veya beton basınç sınıfı B7,5’den az ise SNIP 2.03.01-84’e danışılmasında yarar vardır.



Şekil 3.10: Lokal basınca maruz betonarme elemanlarda kabul edilmesi gereken kopma bölgeleri. A- kenarlara uzak bir kesit. B – elemanın bütün genişliği boyunca. C– lokal basınç kuvvetinin elemanın ucuna etki etmesi. D – köşede konumllu bir bölgeye loakl basınç kuvveti etki etmesi. E – bir kenara komşu bölge tarifi. F- kenara yakın bir bölgedeki koparma bölgesi

Kaynaklı hasır donatı içeren betonarme elemanlarda, lokal basınca maruz kesit hesabı Denklem 3.81'e göre yapılmalıdır.

$$N \leq \psi \cdot R_{bs,loc} \cdot A_{b,loc} \quad (3.81)$$

Burada $R_{bs,loc}$: hasır donatı katkısı göz önüne alınarak hesaplanan beton basınç dayanımıdır (Denklem 3.82 ve 3.83).

$$R_{bs,loc} = R_{b,loc} + 2 \cdot \varphi_{s,xy} \cdot R_{s,xy} \cdot \mu_{s,xy} \quad (3.82)$$

$$\varphi_{s,xy} = \sqrt{\frac{A_{b,loc,ef}}{A_{b,loc}}} \quad (3.83)$$

Burada: $A_{b,loc,ef}$: efektif lokal basınç bölgesidir. Hasır donatı bölgesi göz önüne alınarak belirlenmeli ve $A_{b,max}$ değerinden az olmalıdır.

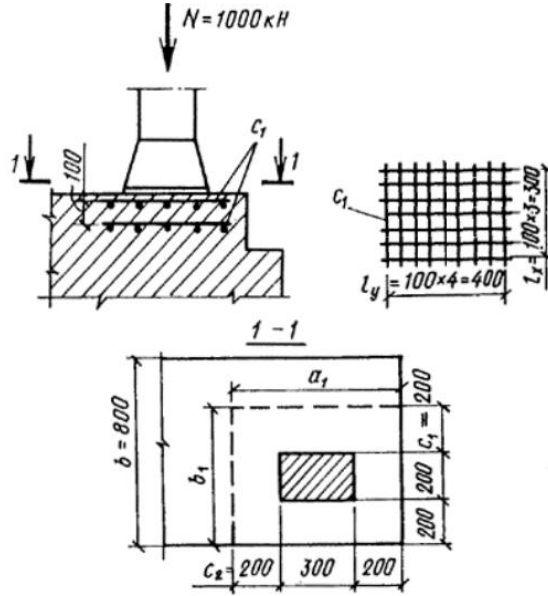
$\varphi_{s,xy}$ katsayısı hasır donatı katsayısıdır ve Denklem 3.84'e göre hesaplanmalıdır.

$$\mu_{s,xy} = \frac{n_x \cdot A_{sx} \cdot l_x + n_y \cdot A_{sy} \cdot l_y}{A_{b,loc,ef}^s} \quad (3.84)$$

Örnek 6: Lokal Basınca Maruz Kesit

Şekilde verilen mütemadi temele $N=1000\text{kN}$ 'luk bir normal kuvvet etki etmektedir. Beton sınıfı B10 ($R_b=5,4\text{ MPa}$ ve $\gamma_{b2}=0,9$) olduğuna göre, lokal basınç tahkikini yapınız.

Örnekte tarif edilen kesit özellikleri



Lokal basınç hesabında öncelikle elemana etki eden yüklerin etki alanları incelenmelidir. Donatı alanı tayini yapılması gereken alan, A_{loc2} , ve yükün etki ettiği bölge, A_{loc1} , hesaplanmalıdır.

Şekilden görüleceği üzere $A_{loc1} = 300 \cdot 200 = 60000\text{mm}^2$ 'dir.

$c_1=200\text{ mm} < b=800\text{ mm}$ olduğundan dolayı $a_1 = 200 \cdot 2 + 300 = 700\text{mm}$ ve $b_1 = 200 \cdot 2 + 200 = 600\text{mm}$ bulunacaktır. Buna göre $A_{loc2} = 700 \cdot 600 = 420000\text{mm}^2$ bulunacaktır.

Şartname uyarınca beton sınıfı B25'den düşük olduğu için $\alpha=1,0$ seçilmelidir. Ayrıca beton sınıfı B7'den yüksek olduğu için $\varphi_b < 2,5$ şartı aranmalıdır.

$$\varphi_b = \sqrt[3]{\frac{A_{loc2}}{A_{loc1}}} = \sqrt[3]{\frac{420000}{60000}} = 1,9 < 2,5 \text{ bulunacaktır.}$$

Hesapta tarif edilen beton basınç dayanımı $R_b = 0,9 \cdot 5,4 = 4,86$ bulunacaktır. Buna göre lokal basınç dayanımı $R_{b,loc} = \alpha \cdot \varphi_b \cdot R_b = 1 \cdot 1,9 \cdot 4,86 = 9,234 MPa$ bulunacaktır. Şartname yük dağılımı katsayısını, ψ , kesite düzgün yayılı yükler etki etmesi durumunda $\psi=1,0$ olarak tarif etmiştir. Buna göre yalnızca betonun lokal basınç kapasitesi araştırılacak olursa:

$\psi R_{b,loc} A_{loc1} = 1 \cdot 0,234 \cdot 60000 = 554 kN < N = 1000 kN$ olduğu görülecektir. Buna göre, yalnızca beton kapasitesi yeterli olamamaktadır. Şayet donatı cinsi 3mm çapında ve ara mesafesi $s=50mm$ olan Bp-1 donatı seçilirse ($R_{s,xy}=375MPa$):

Gerekli donatı oranı μ_{xy} hesabı için, x doğrultusundaki donatı sayısı $n_x=9$, etki uzunluğu $l_x=300$ mm, y doğrultusundaki donatı sayısı $n_y=7$, etki uzunluğu $l_y=400$ mm, donatı alanı $A_{sx} = A_{sy} = 7 \text{ mm}^2$, etkili bölge alanı

$A_{ef} = l_x \cdot l_y = 300 \cdot 400 = 120000 \text{ mm}^2 > A_{loc1} = 60000 \text{ mm}^2$ bulunacaktır. Buna göre donatı oranı

$$\mu_{xy} = \frac{n_x A_{sx} l_x + n_y A_{sy} l_y}{A_{ef} s} = \frac{9 \cdot 7,1 \cdot 300 + 7 \cdot 7,4 \cdot 400}{120000 \cdot 50} = 0,065 \text{ bulunacaktır.}$$

$$\psi = \frac{\mu_{xy} \cdot R_{s,xy}}{R_b + 10} = 0,045$$

$$\varphi = \frac{1}{0,23 + \psi} = 3,634$$

Buna göre $\varphi_s = 4,5 - 3,5 \frac{A_{loc1}}{A_{ef}} = 2,75$ olduğuna göre donatıya sahip beton basınç

dayanımı:

$$R_{b,loc}^* = R_b \varphi_b = \varphi \mu_{xy} R_{s,xy} \varphi_s = 5,4 \cdot 1,9 + 3,63 \cdot 0,0063 \cdot 375 \cdot 2,75 = 16,96 MPa$$

Yani, kesit kapasitesi kontrolü yapılacak olunursa,

$$R_{b,loc}^* A_{loc1} = 16,96 \cdot 60000 = 1017,79 kN > N = 1000 kN \text{ olduğu görülecektir.}$$

Şartname lokal basınca maruz kalan kesitlerde yukarıda örneği hesaplanan hasır donatıdan düşeyde en az iki sıra halinde döşenmesini talep etmektedir. Bu sıra donatılar arasındaki mesafe en az:

$h_d = \varphi_d \left(\sqrt{\frac{N}{R_b}} - \sqrt{A_{loc1}} \right) = 93mm$ bulunacaktır. Buna göre düzey adım mesafesi $s=100$ mm seçilebilir.

3.3.6.2. Zımbalama etkisi – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus betonarme şartnamelerine göre, bir kesitin zımbalama etkisine karşı olan dayanımının hesaplanmasında boyuna donatıya dik enine donatının mevcudiyeti önem taşımaktadır.

a) Etriye bulunmaması durumunda Denklem 3.85’de verilen şart sağlanmalıdır.

$$F \leq F_{b,ult} = R_{bt} \cdot A_b \quad (3.85)$$

Burada kesite etki eden zımbalama kuvveti F , beton kesitin zımbalama taşıma kapasitesi $F_{b,ult}$ ’dır. $F_{b,ult}$ hesaplanmasında kullanılan A_b alanı, h_0 kesit etkili derinliği olmak üzere, etki eden noktasal zımbalama kuvveti F ’in alan sınırından $0,5 \cdot h_0$ mesafede tanımlanmış tasarım zımbalama alanıdır (Şekil 3.11).

Şekil 3.11’de tarif edilen zımbalama alanı Denklem 3.86’de verilmiştir.

$$A_b = u \cdot h_0 \quad (3.86)$$

Burada h_0 - ortalama etkili kesit derinliğidir. $h_0 = 0,5 \cdot (h_{0x} + h_{0y})$

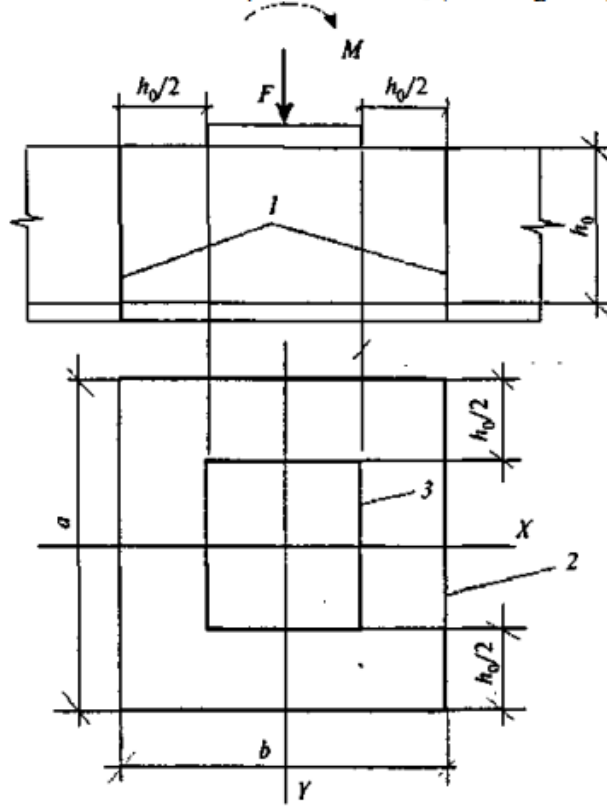
b) Etriye donatısının bulunması durumunda Rus betonarme şartnamesi Denklem 3.87’de verilen şartın sağlanmasını talep etmektedir.

$$F \leq F_{b,ult} + F_{sw,ult} \quad (3.87)$$

Burada $F_{b,ult}$ – Beton kesitin zımbalama taşıma kapasitesidir (3.88).

$F_{sw,ult}$ – Etriye donatısının kesite kazandırdığı taşıma kapasitesidir (3.89).

$$F_{sw,ult} = 0,8 \cdot q_{sw} \cdot u \quad (3.88)$$



Şekil 3.11: Zımbalama kuvveti, zımbalama alanı tanımı

Burada;

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{S_w} \quad (3.89)$$

Rus Betonarme Şartnamesi denklem Denklem 3.56'de hesaplanan kapasitenin, beton kesitin zımbalama kapasitesi, $F_{b,ult}$ 'un 2 katından az olması şartını getirmektedir. Ayrıca, etriye vasıtasıyla elde edilen katkı, $F_{su,ult}$, beton katkısının 1/4'ünden, yani $0,25 \cdot F_{b,ult}$, az olmamalıdır.

Moment ve noktasal kuvvetin aynı anda etki ettiği kesitlerin zımbalama dayanımı Rus betonarme şartnamesi bu durumda Denklem 3.90'nın sağlanmasını şart koşmaktadır.

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M}{M_{b,ult}} \leq 1 \quad (3.90)$$

Burada F: Noktasal dış kuvvet

$M_{b,ult}$: Zımbalama hesabında dikkat edilen dış moment (Denklem 3.91)

$$M_{b,ult} = R_{bt} \cdot W_b \cdot h_0 \quad (3.91)$$

3.3.6.3. Zımbalama etkisi – TS 500

Rus betonarme şartnamesinde “lokal basınca maruz betonarme elemanlar” başlığı noktasal veya küçük bir alana etki eden yüklerin beton veya betonarme bir temele etkimesi incelenmektedir. Rus betonarme şartnamesinde zımbalama analizi ise döşeme gibi betonarme plaklara noktasal veya göreceli küçük bir alana etki eden yüklerin etkimesi durumu için geçerlidir. TS 500 her iki durumu tek bir başlık zımbalama altında incelemektedir. Türk betonarme şartnamesi, TS 500, zımbalama durumunda Şekil 1’de verilen zımbalama çevresi ve kesit alanlarını esas almaktadır.

Bir plak elemanın etkiyen dış kuvvetlerine karşı zımbalama dayanımının için Denklem 3.92’de verilen şart sağlanmalıdır.

$$V_{pr} = \gamma \cdot f_{ctd} \cdot u_p \cdot d \geq V_{pd} \quad (3.92)$$

Burada γ katsayısı eğilme etkisini dikkate alan katsayıdır. Eksenel yükleme durumunda $\gamma = 1,0$ alınırken kesite normal kuvvet ve moment etkisi durumunda Denklem 3.93 esas alınmalıdır.

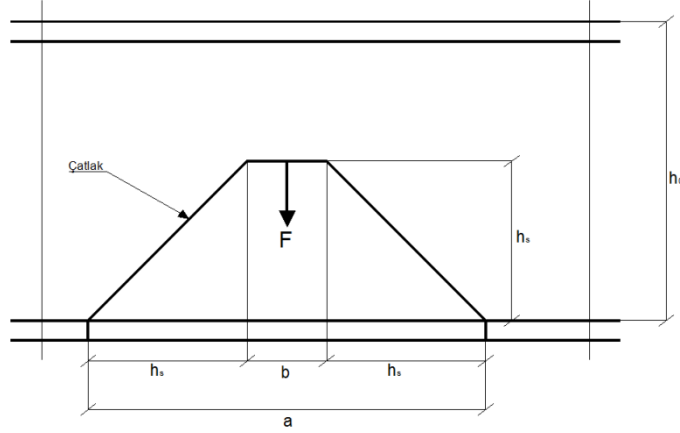
$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{b_2}{b_1}}} \cdot \frac{e}{w_m} \cdot u_p \cdot d} \quad (3.93)$$

Burada Denklem 3.93 denkleminde $b_2 \geq 0,7 \cdot b_1$ olması şartına dikkat edilmelidir. Şartname zımbalama etkisine maruz elemanlarda, yükleme alanına $5 \cdot d$ ’den daha uzak boşlukların etkisini zımbalama çevresi hesaplanırken ihlal edilmelidir (Şekil 3). Ayrıca Rus betonarme şartnamelerinden farklı olarak TS 500’de yükleme alanı boyutları oranının 3’den fazla olması durumunda $h = 3 \cdot b$ kabulü yapılmaktadır. Bir başka farklılık olarak kenar kolonlarında meydana gelecek bir zımbalama etkisinin araştırılmasında TS 500 iki farklı durumun tasarımı incelenmesini istemektedir.

3.3.7. Betonarme elemanların koparma dayanımı – SNIP 2.03.01-84

Ön yapım tekniği ile inşa edilen yapılarda montaj kolaylığı sağlaması amacıyla elemanda delikler açıklamakta ve yapı elemanları bu deliklerden geçirilen halatlar

vasıtası ile montajı yapılmaktadır. SNIP 2.03.01-84'e göre, bu durumda delik bulunan bölge için ayrıca bir hesap kontrolü yapılmalıdır (Şekil 3.10)



Şekil 3.12: Koparma tahkiki yapılan kesit

Bu elemanların tasarımı için güncel Rus Betonarme şartnamesi, SP 52-101-2003, herhangi bir açıklamada bulunmamaktadır. Sadece SNIP 2.03.01-84'de bu tür bir tasarım için bir bölüm mevcuttur. Buna göre F uygulanacak koparma kuvveti ise Denklem 3.94 sağlanmalıdır.

$$F \left(1 - \frac{h_s}{h_0} \right) \leq \sum R_{su} \cdot A_{su} \quad (3.94)$$

Burada $\sum R_{su} A_{su}$ koparma bölgesi içinde tarif edilen toplam enine donatı kapasitesidir ve formülden de görüleceği üzere Rus betonarme şartnamesi bu hesaplarda betonun çekme dayanımını ihmal etmektedir.

3.3.8. Betonarmede doğrusal olmayan analiz – SP 52-101-2003

SP 52-101-2003 doğrusal olmayan kesit analiz modelini dış kuvvetler ile iç kuvvetlerin dengesi prensibine dayandırmaktadır. Buna göre aşağıda verilen kabullerde bulunmaktadır.

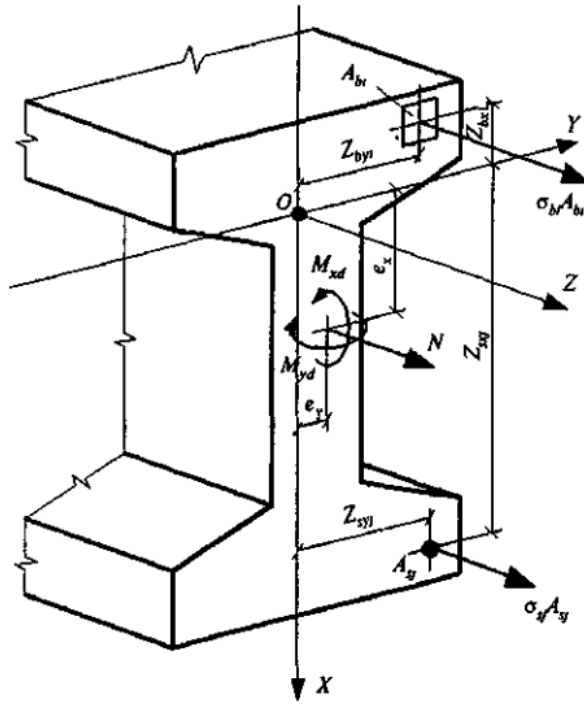
1. Bir elemanın yüksekliği boyunca beton ve donatıdaki relatif deformasyonların doğrusal olduğu kabul edilmektedir.
2. Eksenel gerilmeler ile relatif deformasyonlar arasındaki ilişki betonunun ve donatının deformasyon diyagramlarına göre seçilmektedir.

3. Çekme bölgesindeki beton çekme dayanımı her zaman göz önünde bulundurulmak zorunda değildir. Ancak çatlak oluşuma izin verilmeyen dış merkezli aksenal basınca veya eğilmeye maruz elemanlarda kesitin dayanım hesabı betonun çekme kapasitesi ihmal edilmeden hesaplanmalıdır.

Gerilme diyagramından genelleştirilmiş iç kuvvet dağılımına geçiş elemanın enine kesitindeki iç gerilmelerin integrasyonu ile elde edilmektedir.

Deformasyon modeline göre betonarme elemanın dayanım hesabında aşağıda verilen yön kabulleri yapılmaktadır (Şekil 3.13).

1. Kesite dik basınç kuvveti ve ayrıca betonda veya donatıda boy kısalmasına sebep olan gerilmeler negatif işaret ile ifade edilmektedir.
2. Kesite dik çekme kuvveti ve ayrıca betonda veya donatıda boy uzamasına sebep olan gerilmeler pozitif işaret ile ifade edilmektedir.



Şekil 3.13: Doğrusal olmayan hesap modeline göre iç kuvvetler

Boyuna eksene dik kesitlerdeki dayanım hesabı aşağı verildiği üzere incelenmektedir.

- Eleman kesitindeki dış kuvvetler ile iç kuvvellerin denge denklemleri:

$$M_x = \sum_i \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot Z_{bxi} + \sum_j \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot Z_{sxj} \quad (3.95)$$

$$M_y = \sum_i \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot Z_{byi} + \sum_j \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot Z_{syj} \quad (3.96)$$

$$N = \sum_i \sigma_{bi} \cdot A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \quad (3.97)$$

- Kesitteki deformasyon dağılımı denklemleri:

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} \cdot Z_{bxi} + \frac{1}{r_y} \cdot Z_{byi} \quad (3.98)$$

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} \cdot Z_{sxj} + \frac{1}{r_y} \cdot Z_{syj} \quad (3.99)$$

- Gerilmeler ile betonun ve donatının relatif deformasyonları arasındaki bağıntılar:

$$\sigma_{bi} = E_b \cdot \nu_{bi} \cdot \varepsilon_{bi} \quad (3.100)$$

$$\sigma_{sj} = E_s \cdot \nu_{sj} \cdot \varepsilon_{sj} \quad (3.101)$$

$$\sigma_{sj} = E_s \cdot \nu_{sj} \cdot (\varepsilon_{sj} + \varepsilon_{spj}) \quad (3.102)$$

Burada M_x , M_y ; M_{xd} ve M_{yd} Şekil 3.13’de verilen eksenlere göre dış kuvvetlerin meydana getirdiği eğilme momentleri olmak üzere:

$$M_x = M_{xd} + N \cdot e_x \quad (3.103)$$

$$M_y = M_{yd} + N \cdot e_y \quad (3.104)$$

A_{bi} , Z_{bxi} , Z_{byi} , σ_{bi} : Sıra ile betonun i nolu kesitinin alanı, ağırlık merkezinin kordinatları ve ağırlık merkezindeki gerilme değeridir.

A_{sj} , Z_{sxj} , Z_{syj} , σ_{sj} : Sıra ile j nolu donatının alanı, ağırlık merkezinin kordinatları ve ağırlık merkezindeki gerilme değeridir.

ε_0 : Seçilen eksenindeki beton lifinin relatif deformasyonudur.

$1/r_x$ ve $1/r_y$: Dış momentlerin (M_x ve M_y) etki ettiği kesitlerin eğimidir.

E_b : Betonun elastik modülü

E_{sj} : j nolu donatının elastik modülü

ν_{bi} : i nolu beton birim alanının poisson oranı (Denklem 3.105)

ν_{sj} : j nolu donatının poisson oranı

$$\nu_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{E_b \cdot \varepsilon_{bi}} \quad (3.105)$$

$$\nu_{si} = \frac{\sigma_{si}}{E_s \cdot \varepsilon_{si}} \quad (3.106)$$

Betonarme kesitlerin dayanıklılık testi için aşağıda verilen şartlar aranmalıdır.

Burada $\varepsilon_{b,max}$: En çok basınç gerilmesine maruz kalan beton lifindeki relatif birim uzama

$\varepsilon_{s,max}$: En çok çekme gerilmesine maruz donatıdaki relatif birim uzama

$\varepsilon_{b,ult}$: Betonda meydana gelmesine izin verilen sınır relatif deformasyon değeri

$\varepsilon_{s,ult}$: Donatı çeliğinde meydana gelmesine izin verilen sınır relatif deformasyon değeridir.

Betonarme bir elemana şayet iki yönde eğilme momentine ve ayrıca dış merkezli eksenel kuvvete maruz ise $\varepsilon_{b,max}$ ve $\varepsilon_{s,max}$ değerleri aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$M_x = D_{11} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{12} \cdot \frac{1}{r_y} + D_{13} \cdot \varepsilon_0 \quad (3.107)$$

$$M_y = D_{12} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{22} \cdot \frac{1}{r_y} + D_{23} \cdot \varepsilon_0 \quad (3.108)$$

$$N = D_{13} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{23} \cdot \frac{1}{r_y} + D_{33} \cdot \varepsilon_0 \quad (3.109)$$

Burada D_{ij} ($i,j=1,2,3$) aşağıda verilen denklemlerden elde edilmelidir:

$$D_{11} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bxi}^2 \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sxj}^2 \cdot E_{sj} \cdot \nu_{si} \quad (3.110)$$

$$D_{22} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{byi}^2 \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{syj}^2 \cdot E_{sj} \cdot \nu_{si} \quad (3.111)$$

$$D_{12} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bxi} \cdot Z_{byi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sxj} \cdot Z_{syj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{si} \quad (3.112)$$

$$D_{13} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bxi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sxj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{si} \quad (3.113)$$

$$D_{23} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{byi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{syj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{si} \quad (3.114)$$

$$D_{33} = \sum_i A_{bi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{si} \quad (3.115)$$

Şayet betonarme kesit iki yönde eğilme momentine maruz iken dış merkezli eksenel bir kuvvet yok ise yukarıda verilen denklemlerde $N=0$ alınmalıdır. Kesitin simetri eksenini doğrultusunda dış merkezli eksenel basınç kuvvetine maruz bir betonarme kesitte $M_y=0$ ise $D_{12}=D_{22}=D_{33}=0$ olduğu görülmektedir. Yani:

$$M_x = D_{11} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{13} \cdot \varepsilon_0 \quad (3.116)$$

$$N = D_{13} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{33} \cdot \varepsilon_0 \quad (3.117)$$

Simetri eksenini doğrultusunda burulma momentine maruz dış merkezli eksenel basınç kuvvetinin olmadığı bir betonarme elemanda $N=0$, $M_y=0$, ve $D_{12}=D_{22}=D_{33}=0$ olacaktır. Buna göre aşağıda verilen denklemler yazılabilir:

$$M_x = D_{11} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{13} \cdot \varepsilon_0 \quad (3.118)$$

$$0 = D_{13} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{33} \cdot \varepsilon_0 \quad (3.119)$$

Çatlak oluşumuna izin verilmeyen dış merkezli eksenel basınca maruz betonarme elemanlarda, hesaplar beton çekme bloğunun katkısı dikkate alınarak yapılmalıdır. Buna göre:

$$\varepsilon_{bt,max} \leq \varepsilon_{bt,ult} \quad (3.120)$$

Burada $\varepsilon_{bt,max}$: En büyük çekme gerilmesine maruz beton lifindeki relatif birim uzama değeri

$\varepsilon_{bt,ult}$: Beton lifinde meydana gelmesine izin verilen en büyük birim çekme birim deformasyonu

Şayet betonarme eleman eğilmeye veya büyük dış merkezliliği sahip bir eksenel çekme veya basınca maruz ise $\varepsilon_{b,ult}$ ve $\varepsilon_{bt,ult}$ değerleri malzemenin iki basamaklı gerilme-birim uzama diyagramında verilen ε_{b2} ve ε_{bt2} değerlerine eş alınmalıdır. Ancak eğer kesit eksenel basınca veya çekmeye maruz ise beton uç lifleri arasındaki birim uzama değerlerinin oranına bağlı olarak $\varepsilon_{b,ult}$ ve $\varepsilon_{bt,ult}$ değerleri hesaplanmalıdır. $|\varepsilon_2| \geq |\varepsilon_1|$ olmak üzere:

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0}) \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \quad (3.121)$$

Doğrusal olmayan kesit hesabında donatının sınır relatif deformasyonu $\varepsilon_{s,ult}=0.025$ alınmalıdır.

3.3.9. Tekrarlı yüklere maruz betonarme elemanların tasarımı – SNIP 2.03.01- 84

SNIP 2.03.01-84, tekrarlı yüklemeye maruz betonarme elemanlar için yorulma analizi yapılması talep etmektedir. Rus Betonarme Şartnameleri bu analizi elemanların kısmi güvenlik katsayılarını değiştirmek suretiyle yapmaktadır.

Betonarme elemanlarda beton donatı veya kaynaklı birleşimler için bu güvenlik katsayıları sıra ile γ_{b1} , γ_{s3} ve γ_{b4} olarak tarif edilmektedir (Çizelge 4, 5, 6).

Bu çizelgelerde katsayıların belirlenmesinde kullanılan ρ_b bileşeni kesite etki eden eğilme momenti döngüsünün maksimum ve minimum değerlerine bağlı olarak tarif edilmiş olan bir katsayıdır. Buna göre döngünün minimum momentinin maksimum momentine oranı “ ξ ” olarak tarif edildiği taktirde $0 < \xi < 0.2$ için $\rho_b = 0.30$, $0.2 < \xi < 0.75$ için $\rho_b = 0.15 + 0.8 \cdot \xi$ ve $0.75 < \xi$ için $\rho_b = \xi$ alınmalıdır. Ayrıca grup 1 kaynak farklı yarı çaplı donatı uçlarının birbirlerine kaynatılmasını, grup 2 aynı yarı çapa sahip donatıların birbirlerine kaynatılmasını ve grup 3 tür kaynak donatıların üst üste bindirilmesi suretiyle elde edilen çeşitli kaynak türlerini ifade etmektedir.

Çizelge 3.4: Tekrarlı yüklemelerdeki nem azaltma katsayısı, γ_{b1}

γ_{b1}		Betondaki minimum ve maksimum gerilme oranı, ρ_b						
Beton Sınıfı	Nem Durumu	0-0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
NAB	Doğal	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,00
	%100	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	1,00
HB	Doğal	0,60	0,70	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
	%100	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,00

Çizelge 3.5: Tekrarlı yüklemelerdeki donatı türü azaltma katsayısı, γ_{s3}

γ_{s3}	Yük tekrarlama asimetri katsayısı, ρ_s								
Donatı Türü	-1	-0,2	0	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1,0
A-1	0,41	0,63	0,70	0,77	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
A-2	0,42	0,51	0,70	0,77	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
A-3	$\Phi 6-8$ mm $\Phi 10-40$ mm	0,33	0,38	0,42	0,47	0,57	0,85	0,95	1,00
		0,38	0,36	0,40	0,45	0,55	0,81	0,91	0,95
A-4	-	-	-	-	0,38	0,72	0,91	0,96	1,00
B-2	-	-	-	-	-	0,77	0,97	1,00	1,00

Çizelge 3.6: Tekrarlı yüklemelerdeki donatı kaynak azaltma katsayısı, γ_{s4}

γ_{s3}	Yük tekrarlama asimetri katsayısı, ρ_s							
Donatı Türü	Kaynak Grubu	0	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1
A-1, A-2	1	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	2	0,65	0,70	0,75	0,90	1,00	1,00	1,00
	3	0,25	0,30	0,35	0,50	0,65	0,85	1,00
A-3	1	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	2	0,60	0,65	0,65	0,70	0,75	0,85	1,00
	3	0,20	0,25	0,30	0,45	0,60	0,80	1,00
A-4	1	-	-	0,95	0,95	1,00	1,00	1,00
	2	-	-	0,75	0,75	0,80	0,90	1,00
	3	-	-	0,30	0,35	0,55	0,70	1,00

Çizelge 3.4-5-6'da verilen güvenlik katsayılarla çarpılarak beton ve çelik dayanımı azaltılan elemanlarda daha sonra dış etkiler altındaki elastik davranışı analizi incelenir. Basınç bloğundaki betonun elastik olmayan birim uzamasına yorulma analizinde izin verilir. Donatı beton aktarılma katsayısı α beton sınıfı B15, B25, B30, B40 için sıra ile $\alpha=25$, $\alpha=20$, $\alpha=15$ ve $\alpha=10$ alınmalıdır. Tekrarlı yüklemeye maruz betonarme elemanlarda meydana gelecek maksimum asal çekme gerilmesi betonun servis yükleri altındaki çekme gerilmesinden, $R_{bt,ser}$, az olmalıdır. Burada $R_{bt,ser}$ servis çekme dayanımı şartnamede verilen çekme dayanımının Çizelge 3.4'de verilen beton güvenlik katsayısı γ_{b1} ile çarpılmasıyla edilecektir. Şayet maksimum asal çekme gerilmesi betonun çekme dayanımından fazla ise, yorulmaya maruz betonarme elemanlarda betonun çekme bloğundaki katkısı ihmal edilmesini şartname talep etmektedir. Ayrıca şartname yorulma analizinin basınç etkisi altındaki donatılarda incelenmesini gerek görmemektedir.

Güncel Rus betonarme şartnamesi SP 52-101-2003 betonun inelastik davranışı için daha tatmin edici bir bölüm sunmakla birlikte, ön yapım veya öngerme elemanlar şartname kapsamında olmaması nedeniyle betonarme elemanlarda yorulma kapasitesi konusuna değinmemiştir.

3.3.10. Öngerme aşamasında öngerilme Hesabı – SP 52-102-2004

Öngerme aşamasında elemana etki ettiği kabul edilen öngerme kuvveti:

$$N_p = (\sigma'_{sp} - 330) \cdot A'_{sp} + \sigma_{sp} \cdot A_{sp} \quad (3.122)$$

Burada A'_{sp} ve A_{sp} : sıra ile en çok basınç ve öekme kuvvetlerine maruz kalan donatı alanıdır.

σ'_{sp} ve σ_{sp} ilk kayıplar sonrası $\gamma_{sp} = 1,10$ kabul edilerek hesaplanmış olan sıra ile A'_{sp} ve A_{sp} alanlarına etki eden öngerilme gerilmeleridir.

Dikdörtgen kesitler için öngerme aşamasında eleman dayanımı Denklem 3.123'de verilen şart aranmalıdır.

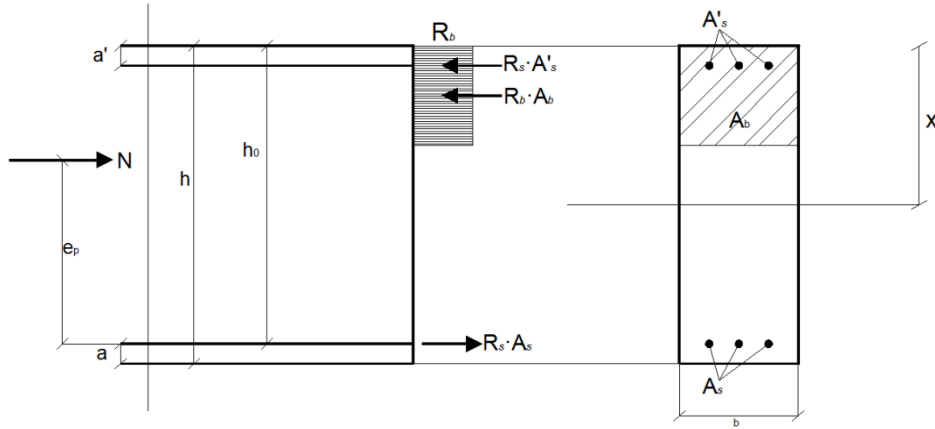
$$N_p \cdot e_p \leq R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a') \quad (3.123)$$

Burada: e_p , uygulanan N_p kuvvetinin üretim aşamasında elemana etki ettiği dış merkezliği tanımlamaktadır (Denklem 3.124).

$$e_p = e_{op} + 0,5h - \alpha \pm \frac{M}{N_p} \quad (3.124)$$

Burada e_{op} : Geometrik olarak hesaplanmış dış merkezlik mesafesidir (Şekil 3.14)

R_{sc} , Öngerme aşamasında donatının tasarım basınç dayanımıdır. Bu aşama hesabında $R_{sc} \leq 330 \text{ MPa}$ olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 3.14: Öngerme aşamasında dikdörtgen bir kesitte meydana gelen kuvvetler ve gerilme dağılımı (SP 52-102-2004)

3.4. Kullanım durumu analizi – Sınır Durum 2 – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus Betonarme Şartnamesi, öngermeye maruz kesitlerin dayanım hesaplarının yanı sıra, sınır durum 2'nin getirdiği şartların da araştırılmasını talep etmektedir. TS 500 Türk betonarme şartnamesinden farklı olarak, Rus betonarme şartnameleri öngerme etkisinin olmadığı kesitlerde kullanım durumu analizini zorunlu kılmamaktadır. Bu kullanım durumu şartları,

- Çatlak oluşması, sıklığı ve çatlak genişliğinin araştırılması
- Şehim durumunun incelenmesidir.

Sınır durum 2 hesaplarında yüklerin tümünde güvenlik katsayısı $\gamma_f = 1,0$ alınmalıdır.

3.4.1. Çatlak analizi

SP 52-101-2003 çatlak analizinin sadece betonarme kesite uygulanan momentin, M , o kesitin çatlama momentinden, M_{cr} , daha büyük olduğu durumlarda araştırılmasını

talep etmektedir. Tabiiyatıyla merkezi çekme etkisine maruz kesitlerde uygulanan normal kuvvet, N , çatlama kuvvetinden, N_{cr} , büyük olmalıdır.

Betonarme kesitlerde çatlak analizi yüklerin etki etme sürelerine bağlı olarak iki durumda incelemektedir. Bunlardan ilki kısa süreli çatlak olarak adlandırılan, sabit, S , ve geçici (G - kısa veya uzun) çatlama durumudur. Diğer hal sabit ve yapıya uzun süreli etki eden geçici yüklerin neden olduğu uzun süreli çatlak oluşması durumudur. Her iki durum için Denklem 3.125 şartı aranmalıdır.

$$a_{crc} \leq a_{crc,ult} \quad (3.125)$$

Burada a_{crc} çatlak çapını, $a_{crc,ult}$ ise kesitte izin verilen maksimum çatlak çapıdır. Çatlak çapı sınır değerleri güncel Rus şartnamelerinde farklılıklar gözetmektedir. Betonarme elemanlar için SP 52-101-2003'ün öngördüğü sınır değerlere başvurulmalıdır (Çizelge 3.7). Öngerme şartnamesi Sp 52-102-2004 ise elemanda mevcut olan donatı sınıfına bağlı olarak farklı sınır değerler öngörmektedir. Buna göre:

- A240-A600 ve B500 donatı sınıflarında
 - a. Uzun süreli yüklemelerde 0,30 mm
 - b. Kısa süreli yüklemelerde 0,40 mm
- A800, A100 ve Bp1200-Bp1400 ve 12 mm çapındaki K1400, K1500 (K-19 veya K-7) donatı sınıflarında
 - a. Uzun süreli yüklemelerde 0,20 mm
 - b. Kısa süreli yüklemelerde 0,30 mm
- Bp 1500 ve 6 veya 9 mm çapındaki K1500 (K-7) donatı sınıflarında
 - a. Uzun süreli yüklemelerde 0,10 mm
 - b. Kısa süreli yüklemelerde 0,20 mm
- Hava sızdırmazlık durumunun araştırıldığı durumlarda
 - a. Uzun süreli yüklemelerde 0,20 mm
 - b. Kısa süreli yüklemelerde 0,30 mm

. Çizelge 3.7: Sınır çatlak çapları (SP 52-101-2003)

Sınır Çatlak Çapı (mm)	Donatı korezyonu sınırı	Su geçirgenlik sınırı
Uzun süreli yük etkimesi durumu	0,30	0,20
Kısa süreli yük etkimesi durumu	0,40	0,30

Betonarme kesitlerde çatlak çapı a_{crc} , uzun süreli çatlak çapı (Denklem 3.126) ve kısa süreli çatlak çapı (Denklem 3.92) ayrı hesaplanmaktadır.

$$\text{Uzun süreli} \quad a_{crc}=a_{crc,1} \quad (3.126)$$

$$\text{Kısa süreli} \quad a_{crc}=a_{crc,1}+a_{crc,2}-a_{crc,3} \quad (3.127)$$

Burada $a_{crc,1}$ kalıcı ve uzun süreli geçici yüklemenin neden olduğu uzun süreli çatlak çapı

$a_{crc,2}$ kalıcı ve geçici yüklerin neden olduğu kısa süreli çatlak çapı

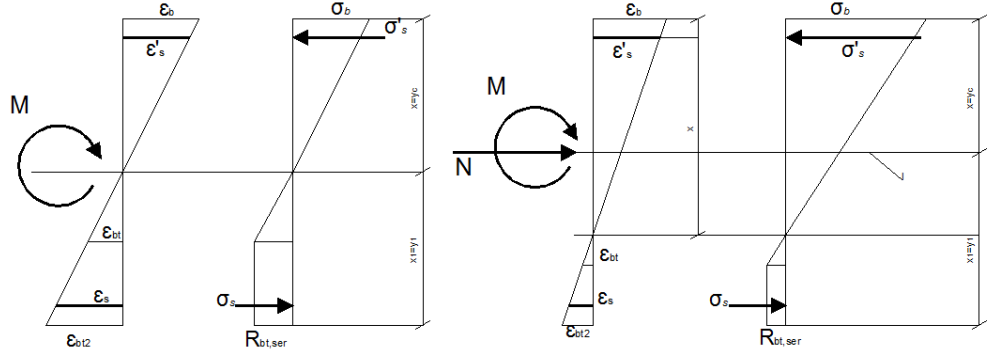
$a_{crc,3}$ kalıcı ve uzun yüklemelerin neden olduğu kısa süreli çatlak çapı

3.4.2. Boyuna eksene dik çatlama momenti tarifi

Rus betonarme şartnamesi, SP 52-101-2003, çatlama momentinin hesaplanmasında çekmeye maruz kesitinde inelastik deformasyonları hesaplarda ihmal etmemektedir. SNIP 2.03.01-84 betonun inelastik özelliğini göz ardı ettiğinden bu tür bir hesap yaklaşımı içermemektedir. SP 52-101-2003 inelastik özellikleri dikkate alırken, aşağıdaki faraziyelere başvurmuştur.

- Düzlem kesitler düzlem kalır.
- Kesitin gerilme dağılımı tarifinde basınç bloğu tıpkı elastik hesaptaki gibi üçgen dağılım göstermektedir (Şekil 3.15)
- Kesitin gerilme dağılımı tarifinde çekme bloğu ikiz kenar yamuk şeklindedir ve maksimum gerilme betonun çekme tasarım dayanımını $R_{bt,ser}$ değerini aşmamalıdır.
- Maksimum çekmeye maruz beton lifindeki maksimum birim uzama $\varepsilon_{bt,ult}$ olarak alınmalıdır. İki kademeli diyagramda $\varepsilon_{bt,ult}=0,0015$ 'dir.

Donatıdaki gerilme elastik kesitteki göreceli birim uzamaya bağlı olarak alınmalıdır.



Şekil 3.15: Çatlak analizi için beton gerilme dağılımı

Betonarme kesitlerin çatlama momenti hesabında, şayet çekme bloğundaki inelastik kapasite ihmal edilecekse Denklem 3.128 geçerlidir.

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W \pm N \cdot e_x \quad (3.128)$$

Burada W: kesitin dayanım momentidir.

I_{red} : kesitin doğal azaltılmış ağırlık merkezidir.

A_{red} : azaltılmış kesit alanıdır. α çeliğin elastisite modülünün betonun elastisite modülüne olan oranı olarak tarif edilirse

$$I_{red} = I + I_s \cdot \alpha + I_s' \cdot \alpha \quad (3.129)$$

$$A_{red} = A + A_s \cdot \alpha + A_s' \cdot \alpha \quad (3.130)$$

Çatlama momenti hesabında kullanılan y_t , en çok çekmeye maruz beton lifinin azaltılmış kesitin ağırlık merkezine olan mesafesidir (Denklem 3.131)

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} \quad (3.131)$$

Rus betonarme şartnamesi SP 52-101-2003 kesitin dayanım momentinin (W), hesabında donatı katkısının ihmal edilmesine olanak tanımaktadır. Şartname donatı katkısı ihmal edilen dikdörtgen kesitlerin dayanım momentinin $W = b \cdot h^3 / 6$ alınmasını uygun görmektedir. Ayrıca SP 52-101-2003 eksenel çekmeye maruz kesitler için Denklem 3.132 hesaplanmasını talep etmektedir.

$$N_{crc} = A_{red} \cdot R_{bt,ser} \quad (3.132)$$

SNIP 2.03.01-84, güncel Rus betonarme şartnamesine, SP 52-101-2003, kıyasla farklılıklar içermektedir. Bu farklılıklar:

1. SNIP 2.03.01-84'ün sunduğu hesap yöntemi SP 52-101-2003'e kıyasla daha karmaşık ve ayrıntılıdır.
2. SNIP 2.03.01-84 çekme bloğundaki betonda meydana gelen gerilmeyi blok boyunca sabit ve $R_{bt,ser}$ 'e eşit almaktadır.
3. SNIP 2.03.01-84 donatıdaki gerilmelerin hesabında rötre ve sünem etkisinden doğan gerilmeri dikkate alırken SP 52-101-2003'de bu noktaya değinilmemiştir.
4. SNIP 2.03.01-84 açık bir şekilde tekrarlı yüklemeye maruz kesitlerin şartname kapsamı olduğunu belirtmektedir (SNIP 2.03.01-84 madde 4.2). Şartname bu sebepten ötürü yorulmanın meydana geleceği tekrarlı yüklere maruz kesitlerde çatlak oluşmasına olanak tanımamaktadır.
5. SNIP 2.03.01-84 eksenel çekmeye maruz kesitlerin kritik eksenel kuvvetinin hesabında farklılıklar göstermektedir.

3.4.3. Enine çatlak oluşumu ve hesabı

Enine çatlak hesabı Denklem 3.133'e göre yapılmalıdır.

$$a_{crc} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s \quad (3.133)$$

Burada l_s : donatı tipinden bağımsız çatlaklar arası mesafedir. (Denklem 3.134)

$$l_s = 0,5 \cdot \frac{A_{bt}}{A_s} \cdot d_s \quad (3.134)$$

Denklem 3.99'da kullanılacak beton çekme bloğu alanı A_{bt} , hesabında blok yüksekliği 2·a'dan az veya 0,5·h'dan büyük olmamalıdır.

Denklemde verilen katsayılar incelenecek olursa, ψ_1 elemana yükün etki süresi katsayısı, ψ_2 boyuna donatı yüzey özellik katsayısı, ψ_3 ise yük tarif katsayısıdır.

Kısa süreli yükleme durumunda $\psi_1=1,00$, uzun süreli yükleme durumunda $\psi_1=1,40$ alınmalıdır. SNIP 2.03.01-84 ise kısa süreli yükleme durumunda SP 52-101-2003 ile aynı, $\psi_1=1,00$, kabul edilmektedir. Uzun süreli yükleme durumunda beton tipine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Ağır beton sınıfı için $\psi_1=1,60-15 \cdot \mu$ (burada μ elemandaki donatı oranıdır) suya doymun bölgelerde $\psi_1=1,20$, donma ve çözülmenin olduğu bölgelerde $\psi_1=1,75$ alınmalıdır. Ayrıca ince agregalı betonlarda A sınıfı için $\psi_1=1,75$, B sınıfı için $\psi_1=1,50$ ve V sınıfı için $\psi_1=2,00$ alınmaktadır.

Donatı yüzeyi etkisi için SP 52-101-2003 genel olarak nervürlü donatılarda $\psi_2=0,50$ ve düz donatılarda $\psi_2=0,80$ alınmasını talep etmektedir. Önceki şartname, SNIP 2.08.01-84, nervürlü donatılar için $\psi_2=1,00$, düz donatı için $\psi_2=1,30$, yüzeyi nervürlü halat veya öngerme çubukları için $\psi_2=1,20$ ve düz halatlar için $\psi_2=1,40$ alınmasını talep etmektedir.

Yük tarif katsayısı, ψ_3 , için her iki şartnamede aynı değerlere başvurmaktadır. Çekmeye maruz kesitlerde $\psi_3=1,30$, eğilmeye veya dış merkezli basınca maruz kesitlerde $\psi_3=1,00$ alınmalıdır.

Ayrıca şartname çatlak çapı hesabında çekme etkisi altındaki donatıda gerilmelerin eşdeğer yayılmayacağı kabulünde bulunmaktadır. Bu sebepten ötürü denklemde ψ_s katsayısı tarif edilmektedir (Denklem 3.135)

$$\psi_s = 1 - 0,8 \cdot \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} \quad (3.135)$$

Eğilme etkisi aldındaki kesitlerde Denklem 3.135 yerine Denklem 3.136 kullanılabilir.

$$\psi_s = 1 - 0,8 \cdot \frac{M_{s,crc}}{M_s} \quad (3.136)$$

Çekme etkisine maruz boyuna donatıda meydana gelecek gerilme, σ_s , Denklem 3.137'de verildiği üzere hesaplanmalıdır.

$$\sigma_s = \left[\frac{M \cdot (h_0 - y_c)}{I_{red}} \pm \frac{N}{A_{red}} \right] \cdot \alpha_{s1} \quad (3.137)$$

Burada α_{s1} betonun basınç altındaki inelastik davranışını tarif eden bir katsayıdır. Betonarme kesitler için maksimum relatif deformasyon $\varepsilon_{b1,red}=0,0015$ alındığı takdirde

$$\alpha_{s1} = \frac{E_b}{E_{b,red}} \quad (3.138)$$

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{b1,red}} \quad (3.139)$$

3.4.4. Betonarme elemanların deformasyon hesabı

SP S2-101-2003 betonarme elemanlarda deformasyon araştırmasını elemandan meydana gelecek sehim ve eğrilik yarı çapı başlıkları altında yapmaktadır.

3.4.4.1. Betonarme elemanlarda sehim hesabı

Betonarme kesitlerde sehim kontrolünde Denklem 3.140 şartı aranmaktadır.

$$f \leq f_{ult} \quad (3.140)$$

Burada f_{ult} -betonarme elemanda izin verilen maksimum sehimdir. (SNIP 2.01.07-85) sabit, uzun ve kısa süreli geçici yükleme durumlarında kiriş veya plaklarda f_{ult} açıklığın 1/150'sini veya konsol boyunun 1/75'ini geçmemelidir.

Eğilmeye maruz betonarme elemanlarda sehim Denklem 3.141'de verilen işlem aracılığıyla elde edilmelidir.

$$f = \int_0^1 \bar{M}_x \left(\frac{1}{r} \right)_x dx \quad (3.141)$$

Burada M_x : en kötü yükleme durumunda elde edilen maksimum eğilme morentidir.

$\left(\frac{1}{r} \right)_x$: sehim tahkiki yapılan doğrultudaki eğriliktir.

Eğilmeye maruz, ancak elemanın elemana dik başka elemanlarla kesildiği durumlarda, bu elemanın orta noktasında meydana gelecek sehim Denklem 3.142 ile ifade edilmektedir. Bu hesap yönteminde eleman n adet eş boyda bölünmektedir. ($n > 6$).

$$f = \frac{l^2}{12n^2} \left\{ \left(\frac{1}{r} \right)_{sup,l} + \left(\frac{1}{r} \right)_{sup,r} + 6 \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}-1} i \left[\left(\frac{1}{r} \right)_{il} + \left(\frac{1}{r} \right)_{ir} \right] + \left(3n - \left(\frac{1}{r} \right)_{cl} \right) \right\} \quad (3.142)$$

Burada $\left(\frac{1}{r} \right)_{sup,l}$ ve $\left(\frac{1}{r} \right)_{sup,r}$ eleman parçasının sıra ile sol ya da sağ birleşim noktalarındaki eğriliktir.

$\left(\frac{1}{r} \right)_{ir}$: kesitin simetri ekseni ile orta noktası arasındaki ölçülen eğrilik

$\left(\frac{1}{r}\right)_c$: kesitin orta noktasında meydana gelen eğriliktir.

Serbest uçlu veya konsol betonarme elemanlar için Denklem 3.143 geçerlidir.

$$f = s \cdot l^2 \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{\max} \quad (3.143)$$

Burada s- yükleme tipine veya eleman tasarım durumuna bağlı olarak tespit edilen bir katsayıdır. Düzgün yayılı yüke maruz betonarme elemanlar için, şayet eleman serbest uçluysa $s = 0,104167$, eleman konsolsa $s = 0,25$ alınmalıdır.

$\left(\frac{1}{r}\right)_{\max}$: elemana etki eden maksimum etki sonucu ortaya çıkan eğriliktir.

3.4.5. Betonarme elemanlarda eğrilik hesabı

SP52-101-2003 eğrilik hesabının merkez dışı basınca ya da çekmeye maruz elemanlarda araştırılmasını talep etmektedir. Hesap yöntemi çekme bloğunda çatlak olup olmamasına bağlı olarak iki tiptir. Buna çekme bloğunda çatlak olmayan elemanların hesabında Denklem 3.144, çatlak olan elemanların hesabında Denklem 3.45 geçerlidir.

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 \quad (3.144)$$

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3 \quad (3.145)$$

Burada Denklem 3.144’de $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ kısa süreli yüklenin kısa süreli etkisi ile sabit ve uzun süreli yüklerin uzun süreli etkileri sonucu meydana gelen eğriliktir. Denklem 3.145’de tarif edilen $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ sabit ve geçici yüklerin kısa süreli etkileri sonucu meydana gelen eğrilik ve $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ bu yüklerin uzun süreli etkileri sonucu meydana gelen eğriliklerdir.

Şartnamede ifade edilen eğrilik, kesite etki eden momentin azaltılmış kesitin eğilme rijitliğine bölünmesiyle elde edilir (Denklem 3.146). Burada eğilme rijitliği betonun rötresini dikkate alan azaltılmış elastik modül, E_{b1} , ile azaltılmış atalet momentinin çarpılmasıyla elde edilmektedir (denklem 5). Şartnamede azaltılmış elastisite modülü olarak tarif edelin E_{b1} , kısa süreli yükleme durumunda betonun elastisite modülünün % 85'idir. Uzun süreli yükleme durumunda, E_b , $\varphi_{b,cr}$ rötre katsayısı olmak üzere, Denklem 3.146 ile ifade edilmektedir.

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{D} \quad (3.146)$$

$$D = E_{b1} \cdot I_{red} \quad (3.147)$$

$$E_{b1} = E_{br} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}} \quad (3.148)$$

Çatlamamış bir kesitin azaltılmış ataleti, I_{red} 'i Denklem 3.149 bağlantısı vasıtasıyla elde edilmektedir. Burada donatıların dönme ataletleri Denklem 3.150 bağıntılarına göre hesaplanmalıdır. Bu denklemlerde görüldüğü üzere şartname donatıların doğal ataletlerini ihmal etmektedir. Denklemlerde ifade edilen α katsayısı donatı elastisite modülünün beton elastisite modülüne olan oranıdır.

$$I_{red} = I + I_s \cdot \alpha_{s2} + I_s' \cdot \alpha_{s1} \quad (3.149)$$

$$\text{Burada: } I_s = A_s (h_0 - y_c)^2, \quad I_s' = A_s' (h_0 - y_c)^2 \text{ olarak elde edilmelidir.} \quad (3.150)$$

Güncel Rus betonarme şartnamesi SP 52-101-2003 çatlamış betonarme elemanların eğriliklerinin hesabı için kabullerde bulunmaktadır. Bunlar

- Deformasyon sonrası kesitler düz kalır.
- Beton basınç bloğundaki gerilmelerin hesabında elastik prensipler geçerlidir.
- Çatlak içeren kesitteki beton çekme katkısı ihmal edilmektedir.
- Çatlaklar arası bölgelerdeki beton katkısı, beton-donatı beraber çalışma katsayısı ψ_s vasıtası ile belirlenmelidir.

Çatlamış betonarme elemanların eğrilik hesabında çatlamamış kesit için hesaplanan eğilme rijitliği, D ve azaltılmış beton elastisite modülü E_{b1} eş değer olarak kullanılmaktadır. Ancak kesitin ψ_s eş değer atalet momenti beton kesitin hepsini değil sadece beton basınç bloğu ve donatıları hesapta dikkate almaktadır (Denklem 3.151).

$$\psi_s = 1 - 0,8 \cdot \frac{M_{erc}}{M} \quad (3.151)$$

Donatı atalet katkısı hesabında, y_c yerine beton basınç bloğu derinliği x_m kullanılmalıdır. Ayrıca elastisite modülleri oranları olan α_{s1} ve α_{s2} elastisite modül tarifleri değiştiği için çatlama kesitten farklıdır (Denklem 3.152-153).

$$\alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} \quad (3.152)$$

$$\alpha_{s2} = \frac{E_{s,red}}{E_{b,red}} \quad (3.153)$$

4 YAPISAL ŞARTLAR

Rus betonarme şartnamesi kapasitenin yapı sisteminde sürekli olması, yani dayanımın öngörülen sınırlar içerisinde korunması için hesap sonucu elde edilen değerlere ek olarak yapısal şartların yerine getirilmesini şart koşturmaktadır. Bu yapısal şartlar üç ana madde altında incelenmektedir.

1. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında göz önünde bulundurulması gereken şartlar
2. Donatı için gerekli şartlar (donatı yerleştirilmesi, paspayı kalınlığı, donatıların bindirilme uzunluğu)
3. Çevre etkilerine karşı alınması gereken önlemler.

4.1 Yapıların geometrik şartları

4.1.1 Yapıların geometrik şartları – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında, SP 52-101-2003 betonarme şartnamesi dört hassasiyetin göz önünde bulundurmaktadır. Bunlar:

1. Donatı yerleştirilmesinde ve beton dökümü gibi durumlarda meydana gelecek zorlukların önüne geçilmesi
2. Yapıda elemanın birinde veya yapının tümünde rijitliğin kademeli olarak değişmesi
3. Yapının işlevine bağlı olarak yangın, radyasyon, korozyona karşı direncinin, ısı, su ve ses yalıtımının sağlanması
4. İnşaat sahasında inşaat kalitesinin artması

Bu şartlara ek olarak, eleman rijitliğinin sürekliliğinin tayini için dış merkezli etkiyen betonarme elemanlarda eleman narinliği (l_0/i) hiçbir doğrultuda aşağıda verilen değerleri geçmesi şartname tarafından tavsiye edilmektedir.

- Betonarme elemanlar için $l_0/i < 200$,
- Binaların betonarme kolonları için $l_0/i < 120$,
- Beton elemanlar için $l_0/i < 90$.

Bununla birlikte Rus betonarme şartnameleri yapı elemanlarının boyutlarına kesin sınırlamalar getirmemektedir. Elemanın maruz kaldığı dış etkiler gözetilerek tasarım yapılmalıdır.

4.1.2 Yapıların geometrik şartları – TS 500

Rus betonarme yönetmeliklerinin öngördüğü prensipler esasta TS 500 ile uyumlu olmakla beraber TS 500 her bir yapı eleman tipi için farklı geometrik şartların yerine getirilmesini istemektedir. Her bir eleman tipi için talep edilen geometrik şartlar incelenecek olursa:

1.Eğilmeye maruz betonarme elemanlar: Rus şartnameleri ve yönetmeliklerinde eğilmeye maruz olarak nitelendirilen kesitler TS 500 betonarme yapıların tasarım ve yapım koşullarında eğilme elemanlarının boyutları ve donatıları ile donatılan ile ilgili koşullar (TS 500 Madde 7.3) adlı başlık altında incelenmektedir. Bu tür elemanlar ile ilgili şartlar Şartnamede kirişler ve döşemeler olmak üzere ayrı incelenmektedir.

- Kiriş toplam derinliği 300 mm'den veya döşeme kalınlığının üç katından daha küçük seçilmemelidir. Kiriş gövde genişliği 200 mm'den büyük ve kiriş toplam derinliği ile kolon genişliği toplamından daha az olmalıdır. Ancak bu sınırlamalar dışlı döşeme dışları, ikincil kirişler ve önyapım önerilmeli kirişler için geçerli görülmemektedir.

TS 500 düzgün yayılı yük taşıyan ve uzun kenarın kısa kenarına oranı 2'den büyük olan betonarme plakları bir doğrultuda çalışan plaklar olarak sınıflandırmaktadır. Bu tür plaklarda şartname uyarınca eğilme donatısının uzun doğrultuda yerleştirilmesine gerek yoktur. Hesaplarda kullanılacak olan döşeme hesap açıklığı, serbest açıklık ile döşeme kalınlığının toplamına eşittir. Ancak serbest döşeme hesap açıklığı mesnet eksenleri arasındaki uzaklıktan fazla veya serbest açıklığın 1,05 katından az olmamalıdır. Bir doğrultuda çalışan plaklarda plak kalınlığının serbest açıklığa oranı aşağıdaki verilen değerlere eşit veya fazla olmalıdır.

- Basit mesnetli veya tek açıklıklı değerlerde 1/25
- Sürekli döşemelerde 1/30
- Konsol döşemelerde 1/12
- İki doğrultuda çalışan plak döşemeler, TS 500 betonarme şartnamesi uyarınca, düzgün yayılı yük taşıyan, dörtkenarı boyunca mesnetlenmiş ve uzun kenarın kısa kenarına oranı 2'ye eşit veya küçük olan döşemeler olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca kirişsiz döşemeler (doğrudan kolonlara oturan döşemeler) bu başlık altında incelenmektedir. Bu tür döşemelerin geometrik şartları incelenecek olursa döşeme kalınlığı aşağıda verilen değerlerden büyük olmalıdır.
 - Tablasız kirişsiz döşemelerde $h \geq l_n / 30$ veya $h \geq 180mm$
 - Tablalı kirişsiz döşemelerde $h \geq l_n / 35$ veya $h \geq 140mm$

Şartname ayrıca iki doğrultuda çalışan plak döşemelerin tasarımında zımbalama konusunda bir hassasiyet göstermektedir. Şartname, döşeme kalınlığının belirlenmesinde yukarıda verilen değerlerden daha çok ek bir zımbalama doğrultusuna ihtiyaç duyurmayan tasarımlara öncelik tanınması tavsiyesinde bulunmaktadır.

- TS 500 dişli döşemeleri bir doğrultuda çalışan dişli döşemeler ve iki doğrultuda çalışan kirişli döşemeler olarak iki başlık altında incelemektedir. Bir doğrultuda çalışan dişli döşemeler, şartnamede, serbest aralıkları 700 mm'yi geçmeyecek biçimde düzenlenmiş kirişlerden ve ince bir tabladan oluşan döşemeler olarak tanımlanmaktadır. Şartname dişler yani kirişlerin, dış etkenler altında tablalar ile beraber çalışacağından dolayı tespitinde tablalı kiriş yaklaşımlarının kullanılmasına olanak tanımaktadır. Ancak şartname kesit boyutlandırmalarında basınç donatısının ihmal edilmesini talep etmektedir. Bir doğrultuda çalışan dişli döşemelerde tabla kalınlığı dişler arası net mesafenin % 10'nundan veya 50 mm'den büyük veya eşit olmalıdır. Dişler arası mesafe en fazla 700 mm seçilmeli ve diş genişliği 100 mm'den büyük olmalıdır.
- Ayrıca toplam kesit yüksekliğinin serbest açıklığa olan oranı, basit mesnetli tek açıklıklı döşemelerde 1/20, sürekli döşemelerde 1/25, konsollarda 1/10'dan az olmamalıdır.
- İki doğrultuda çalışan kirişli döşemeler, bir doğrultuda çalışan kiriş döşemelerde öngörülen prensipler gözetilerek tasarlanmalıdır.

2.Rus betonarme şartnamesinde eksenel basınca maruz kesit başlığı altında incelenen kesitler TS 500 betonarme şartnamesinde kolonlar başlığı altında incelenmektedir. Şartname dikdörtgen kolonların kesit genişliğinin en az 250 mm, I , T veya L kesite sahip kolonlarda en küçük kalınlığın en az 200 m, kutu kesitli kolonlarda ise pas payının en az 120 mm olmasını talep etmektedir. TS 500`e göre daire kesitli kolonların kolon çapı 300 mm ye eşit veya büyük seçilmelidir.

4.2 Donatı yerleşimi ile ilgili şartlar

4.2.1 Paspayı kuralları

4.2.1.1 Paspayı kuralları – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus betonarme şartnamesi, SP 52-101-2003, paspayı değerinin tayininde dört hususu göz önünde bulunmaktadır. Bunlar;

1. Donatı ile betonun beraber çalışması,
2. Donatının betona aderansı,
3. Donatının çevresel etkilerden korunması (zararlı ortam şartları vb.),
4. Yangın durumu veya yangına karşı güvenlik,

Şartname bu hassasiyetleri göz önünde bulundurarak, betonarme elemanların taşıyıcı karakter gösteren donatılarında gerekli minimum paspayı kalınlıklarını Çizelge 4.1’de vermiştir. Konstriktif donatılarının tayininde tabloda verilen değerler 5 mm azaltılmalıdır. Ayrıca ön yapım elemanlarda, imalatın kontrol altında üretim bandında olması sebebiyle, taşıyıcı donatı için paspayı 5 mm azaltılmalıdır.

Çizelge 4.1: Çeşitli yüzey özellikleri için minimum paspayı kalınlığı

Eleman durumu	İzin verilen minimum paspayı
Normal veya düşük nem oranına sahip kapalı alanlarda	20
Ek tedbir alınmadığı nem oranı yüksek kapalı alanlarda	25
Açık havaya maruz yüzeylerde	30
Temellerde	40

SNIP 2.03.01–84, güncel Rus betonarme Şartnamesinden farklı olarak eleman tipine bağlı olarak minimum pas payı tarifi yapmaktadır. Bununla beraber paspayının ana boyuna donatı çapından (öngerme halatı, nervürlü donatı v.b.) daha az olmaması ilkesi şartnamede benimsenmektedir.

Buna göre:

- Döşeme ve duvarlarda kalınlığın 100 mm veya daha az olduğu durumlarda 10 mm, 100 mm'den daha fazla olduğu durumda 15 mm seçilmelidir.
- Kirişler ve kiriş gövdelerinde 250 mm²'den daha büyük kiriş derinliklerinde 20 mm, aksi durumda 15 mm seçilmelidir.
- Kolonlardan 20 mm, temel kirişlerinde 30 mm seçilmelidir. Temel ön yapım elemanlarında ise paspayı 30 mm seçilmesi uygunken, yerinde dökme temellerde temel altında beton tabakası varsa paspayı 35 mm, yoksa 70 mm seçilmelidir.

Enine donatıların paspayı mesafesi enine donatı çapında veya kesit derinliği 250 mm'den az olan elemanlarda 10 mm 250 mm'ye eşit veya büyük elemanlarda 15 mm seçilmektedir.

4.2.1.2 Paspayı kuralları – TS 500

TS 500 betonarme şartnamesi beton örtüsü ile ilgili şartları yeteri donatı-beton aderansının sağlanması ve donatının dış etkilere korunması amacı ile getirmektedir. Bu bağlamda şartname beton örtü kalınlığı ile ilgili minimum değer tarifinde bulunmaktadır. Ancak elverişsiz durumlarda Çizelge 4.2'de verilen değerlerden daha büyük değerlerin kabul edilmesine şartname olarak tanımaktadır.

Çizelge 4.2: Minimum donatı örtüsü – TS 500

Zeminle doğrudan ilişkide olan elemanlarda	$Cc \geq 50$ mm
Hava koşullarına açık kolon ve kirişlerde	$Cc \geq 25$ mm
Yapı içinde, dış etkilere açık olmayan kolon ve kirişlerde	$Cc \geq 20$ mm
Perde duvar ve döşemelerde	$Cc \geq 15$ mm
Kabuk ve katlanmış plaklarda	$Cc \geq 15$ mm

4.2.2 Donatılar arası minimum mesafe

4.2.2.1 Donatılar arası minimum mesafe – SNIP 2.03.01-84

Şatnamelere göre donatılar arasındaki minimum iç mesafe donatıyla betonun birlikte çalışmasına olanak tanımalı ve inşaatta kolaylıklar sağlamalıdır. Ayrıca donatılar arası mesafe en büyük donatı çapından veya kesitteki donatı konumuna bağlı olarak şartnamede tanımlanmış olan mesafelerden az olmamalıdır.

4.2.2.2 Donatılar arası minimum mesafe – TS 500

TS 500 aynı sırada konumlu donatı çubukları arası net mesafenin donatı çapından, en büyük agrega çapının %133 katından veya 25 mm'den daha az seçilmesine olanak tanımamaktadır. Eleman donatılandırılırken iki veya daha fazla yatay donatı sırası gerekli görüldüğü durumlarda, donatı sıraları arasındaki mesafe 25 mm'den veya donatı çapından fazla seçilmemelidir. Kolonlarda ise iki boyuna donatı arasındaki net mesafe donatı çapının 1,5 katından, en büyük agrega çapının %133'ünden veya 40 mm'den fazla seçilmelidir. TS 500 betonarme şartnamesi en fazla üç nervürlü donatının demet donatı olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu tür durumlarda n adet donatı içeren bir demet donatı, hesaplarda eşdeğer donatı çapı ile ifade edilmelidir (Denklem 4.1).

$$\phi_e = 1,2 \cdot \phi \sqrt{n} \quad (4.1)$$

4.2.3 Boyuna donatı ile ilgili şartlar

4.2.3.1 Boyuna donatı ile ilgili şartlar – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus betonarme şartnamesi betonarme kesitlerde boyuna çekme donatısı alanının (şayet kesit hesabında basınç donatısı alanı gerekli görüldüyse, toplam boyuna donatı alanı) kesit etkili alanına olan oranı ile elde edilen donatı oranı aşağıda verilen değerlerden az olmamalıdır.

- %0,1 -eğilmeye, eksantik çekmeye veya eksantik basınca maruz narinlik oranı 17'den az olan kesitler
- %0,2- basınca maruz narinlik oranı 87'den büyük olan kesitler (dikdörtgen kesitler için bu sınır değeri $l_0/i=25$ 'dir)
- Narinlik oranı 17 ila 87 arasında olan değerler için lineer interpolasyon yapılmalıdır.

Aşağıdaki şartları sağlandığı durumlarda boyuna konstruktif donatı konulması zorunlu görülmektedir.

1. Eleman boyunca kesit boyutlarında ani değişiklikler olan bölgelerde
2. Betonarme duvarlardaki süreksizliklerin (kapı pencere açıklıkları) alt ve üst kısımlarında

3. Beton çekme dayanımının ihmal edildiği merkez dışı yüklemeye maruz elemanlar.

Lineer betonarme yapılarda ve plaklarda boyuna donatıların birbirlerine olan aks mesafeleri;

- Kiriş ve plaklarda

$h < 150$ mm ise	200 mm,
$h > 150$ mm ise	$1,5 \cdot A$ veya 400 mm,

- Kolonlarda

Plak eğilme düzlemine dik kesitte	400 mm,
Plak eğilme düzleminde	500 mm alınmalıdır.

Betonarme taşıyıcı duvarlarda (perde) düşey donatı aks mesafesi plak kalınlığının iki katından veya 400 mm'den fazla, yatay donatı mesafesi gene 400 mm'den fazla alınmamalıdır.

Her ne kadar güncel Rus betonarme şartnamesi minimum donatı oranı için bir şart koşturmasın olsa da, 2.03.01–84 minimum donatı oranı Çizelge 4.3'de tarif etmektedir.

Çizelge 4.3: Rus betonarme şartnamesinin öngördüğü minimum donatı oranları

Donatının maruz kaldığı durum	Boyuna donatı oranı üst sınırı
1. Çekme donatısı, S, normal kuvvetin kesite etkili derinliğinden fazla olduğu eğilme veya dış merkezli çekme durumu	0,05
2. Basınç donatısı içeren çekmeye maruz elemanlarda normal kuvvetin çekme ve basınç donatısı arasında bulunması hali	0,05
3. Dış merkezli basınç maruz basınç donatısı içeren elemanlarda a. $l_0/I < 17$ b. $17 < l_0/I < 35$ c. $35 < l_0/I < 83$ d. $83 < l_0/i$	0,05 0,10 0,20 0,25

Şartname bu değerlerin kesitteki boyuna donatının üniform bir dağılım gösterdiği veya eksenel çekmeye maruz elemanlarda Çizelge 4.2'de verilen değerlerin iki katının esas sınır değer olarak alınmasını ön görmektedir. Dış merkezli basınç maruz elemanlarda yani kolon benzeri elemanlarda, şayet karşılaştırılmış donatı alanı tasarım donatı alanının iki katından fazla ise, mesela ek bölgelerinde, elemanın narinlik oranına bağlı olmaksızın, minimum donatı oranı 0,05 kabul edilmelidir.

SNIP 2.03.01–84, ayrıca nakil ve montaj durumlarının incelenmesinde minimum boyuna donatı için verilen değerlerin ihmal edilmesini talep etmektedir. Şartname nakil ve montaj durumlarında elemandaki boyuna donatı alanının sadece sınır 1 durumunda hesaplandığı şekilde incelenmesini gerektirmektedir. Döşeme türü plak elemanlarda çizelgede verilen değerler geçerli değildir.

Şartname, SNIP 2.03.01–84, boyuna donatı çaplarına ve beton donatı tipine bağlı olarak sınırlama getirmektedir.

Dış merkezli basınca maruz betonarme elemanlarda donatıların kesit merkezleri arasındaki minimum mesafe eğilme eksenine dik doğrultuda 400 mm'yi, eğilme eksenine doğrultusunda 500 mm'yi aşmamalıdır. Genişliği 150 mm'den fazla olan kirişlerde en az iki boyuna donatı mesnete gömülü olmak zorundadır. Genişliği 150 mm'den az olan kiriş türü yapı elemanlarında ön yapım, döşeme; kaset döşeme olmasına bakılmaksızın en az bir adet boyuna donatı mesnete gömülü olmak zorundadır. Mesnete gömülü donatılar arası mesafe 400 mm'den fazla olmamalı ve donatı alanı döşemenin maruz kaldığı mesnete tekabül eden donatı alanının en az üçte birine eşit olmalıdır.

Döşemelerin açıklık ortasında veya mesnet noktalarında donatılar arası minimum mesafe tabliye kalınlığının 150 mm'den durumlarda 200 mm'den az, 150 mm'den fazla olduğu durumlarda döşeme kalınlığının 1,5 katından fazla olmamalıdır.

700 mm'den daha büyük kesit derinliğine sahip eğilme etkisine maruz elemanlarda tek sıra boyuna donatı yeterli olmamaktadır. Bu tür elemanlarda, donatılar arası düşey mesafe en fazla 400 mm ve minimum donatı alanı en az % 0,1 olmalıdır.

4.2.3.2 Boyuna donatı ile ilgili şartlar – TS 500

TS 500 betonarme şartnamesi boyuna donatı ile ilgili şartları her bir eleman cinsi için konu başlıklarında incelenecektir. Bu şartlar maddeler halinde incelenirse:

- Kirişlerde boyuna donatı tayininde 12 mm veya daha küçük çapa sahip donatı TS 500 tarafından uygun görülmektedir. Kirişin açıklığında hesaplanan çekme donatısının en az üçte biri mesnete kadar uzatılıp mesnete kilitli olmalıdır. Toplam boyuna donatı oranı için şartnamede ifade edilen üst sınır şöyle ifade edilmektedir.

○ Bindirme bölgeleri dışında $p_t' < 0,04$

○ Bindirme bölgelerinde $p_t < 0,06$

- Kolonlarda toplam boyuna donatı oranı TS 500`de ifade edilen minumum boyuna donatı oranından fazla olmalıdır:

$$p_t = \frac{A_{st}}{A_c} > 0,01 \quad (4.2)$$

Ancak şartname hesap sonucu elde edilen değerin 1,3 katının kesitte sağlanması halinde toplam boyuna donatı oranının $p_t=0,005$ `den daha büyük seçilmesine olanak tanımaktadır. TS 500 ayrıca kolonlarda boyuna donatı yerleşiminde her bir dış köşede en az bir boyuna donatı olmasına dikkat edilmesini istemektedir. Fretli kolon tasarımında ise en kesitte en az 6 donatı tayini yapılmış olmasına dikkat edilmelidir. Kolonlarda 14 mm`den daha ufak bir çapa sahip donatı kullanılmasına şartname izin vermemektedir.

- Eksenel çekmeye veya eğilmeye maruz kesitlerde boyuna donatı dağılımı en kesitte olabildiğince simetrik seçilmelidir. TS 500 bütün kesitin çekme etkisine maruz kaldığı durumda boyuna donatı oranı tayininde dikkat edilmesi istenmektedir. Bu minimum değer:

$$p_t = 1,5 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (4.3)$$

- Burulma etkisine maruz kesitlerde donatı kesit çevresine eş dağıtılıp, köşelerde 12 mm veya daha büyük çapa sahip donatılar tayin edilmelidir. Bu tür kesitlerde TS 500 boyuna donatılar arası mesafenin 300 mm`den az olmasını istemektedir.
- Döşemelerde teçhiz edilecek donatılar TS 500`de tek bir başlık altında incelenmektedir. Konu her bir döşeme tipi için ayrı olarak ifade edilmektedir. Minimum donatı oranı, donatı yerleşimi ve boyutlandırılmasıyla ilgili konular; bir yönde çalışan plak döşemeler için TS 500 11.2.3 nolu maddede, iki doğrultuda çalışan plak döşemeler için TS 500 11.4.2 nolu maddede, bir doğrultuda çalışan dişli döşemeler ve iki doğrultuda çalışan dişli döşemeler için TS 500 11.3.3 nolu maddede incelenmektedir. Tek doğrultuda çalışan plaklarda boyuna donatı oranı donatı çekme grubuna bağlı olarak farklılık gösterir. TS 500 de S220 donatı grubu için minimum sınır değer 0,003, S420 ve S500 donatı grubu için 0,002 olarak belirlenmektedir. Boyuna taşıyıcı donatılar arası mesafe 200 mm`den veya döşeme kalınlığının 15 katından az olmalıdır. Tek açıklıklarda

boyuna alt donatının % 50'sinin mesnete kesilmeden uzatılması istenmektedir. Sürekli plaklarda bu oran 1/3'dür. Boyuna dağıtma donatı belirlenirken, şartname dağıtma donatı oranının taşıyıcı donatı oranının % 20'sinden fazla seçilmesi istenmektedir. Boyuna dağıtma donatısı ara mesafe 300 mm'den daha az seçilmelidir. Tek doğrultuda çalışan plaklarda, kısa kenar doğrultusundaki kirişler ile plak arasında, plak üst yüzeyinde mesnet donatısı bulundurulması, şartname tarafından istenmektedir. Bu donatı alanı boyuna taşıyıcı donatının % 60'ından fazlası seçilmeli ve kısa açıklığın % 25'i kadar plak içine uzatılmalıdır. Şartname ayrıca çelik sınıflarına bağlı olarak mesnet donatısı tayininde minimum çap maksimum mesafe kısıtlaması getirmektedir. TS 500 S220 çelik sınıfı için $\Phi 8/200$ mm, S420 için $\Phi 8/300$, S500 için $\Phi 5/150$ mm minimum şartların yerine getirilmesini zorunlu kılmaktadır.

- İki doğrultuda çalışan plaklarda dikkat edilmesi gerekli boyuna donatı ile ilgili şartlar kirişler için TS 500 Bölüm 7'de tarif edilen değerlere özdeştir. Ancak iki doğrultuda çalışan kirişli veya kirişsiz döşemelerde minimum donatı oranı, TS 500 madde 11.4.5'de ayrı olarak ifade edilmektedir. Buna göre her bir asal doğrultuda boyuna donatı alanı minimum 0,0015, her iki donatıdaki donatı alanları toplamı S220 için %0,4 S420 ve S500 için %0,35 den fazla olmalıdır. Tablasız döşemelerde donatı aralığı döşeme kalınlığının 1,5 katından, kısa doğrultuda 200 mm, uzun doğrultuda 250 mm'den fazla seçilmemelidir.

4.2.4 Enine donatı ile ilgili şartlar

4.2.4.1 Enine donatı ile ilgili şartlar– SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus betonarme şartnamesi SP 52-10-2003 kesme donatısı alanı ve adedinin tayininde kesit zorlarına ek olarak çatlak çapı sınırlandırması, boyuna donatının tasarıma uygun imalatı ve boyuna donatının yatay burulmalar veya bel vermesi konularına da dikkat edilmesini şart koşturmaktadır.

- Kapalı etriyeye sahip dış merkezli basınca maruz kesitlerde, kesme donatısı çapı en büyük çaplı donatın çapının dörtte birinden ya da 6 mm'den az olmamalıdır. Eğilmeye maruz kesitlerde kesme donatısı çapı 6 mm'den az seçilmemelidir..
- Betonarme duvarlarda, kesme kuvvetlerinin yalnız beton kapasitesi ile karşılanmadığı durumlarda, kesme donatısı ara mesafesi $0,5 \cdot h_0$ ya da 300 mm'den fazla olmamalıdır. Düzlem boyunca sabit kalınlığa sahip plaklarda,

kalınlığı 300 mm ve kaset kirişı derinliğı 150 mm'den az olan kaset döşemelerde kesme donatısına gerek yoktur. Aksi durumda, bu tür kaset döşemelerde donatı aralığı $0,75 \cdot h$ 'ı veya 500 mm'yi geçmeyecek şekilde kesme donatısı ile teçhiz edilmelidir.

- Dış merkezli yüke maruz lineer elemanlarda veya boyuna donatıda burkulmanın engellenmesi gerekli olduğı eğilmeye maruz elemanlarda sargı donatısı adım aralığı $15 \cdot d$ yada 500 mm'den büyük olmamalıdır. Şayet betonarme kesitin basınca maruz kenarda basınca maruz boyuna donatı alanı kesitin alanını %1,5'i aşıyorsa, kesme donatısı adım aralığı $10 \cdot d$ ya da 300 mm'den büyük olmamalıdır.
- Burulma etkisine maruz kalması olası kesitlerde, sargı donatıları (etriyeler) kapalı bir çerçeve oluşturmalıdır.
- Zımbalama etkisine maruz kesitlerde zımbalama bölgesine dik kesitlerde kesme donatısı aralığı $h_0/3$ yada 300 mm'den büyük olmamalıdır. Zımbalama kuvvetine en yakın donatı, etki çevresine $h_0/3$ den daha uzak $h_0/2$ den daha yakın olmalıdır. Zımbalama alanının kenarlarına paralel konumlu kesme donatıları arasındaki aks mesafesi, o alan kenarının boyunun 4'de birinden büyük olmamalıdır.

SNIP 2.03.01–84'nin enine donatı ile ilgili ön gördüğü şartlar aşağıda ifade edilmiştir.

- Enine donatılar boyuna donatıları dıştan sarmalıdır. Enine donatılar arası mesafe 600mm^2 'den veya elemanın eninin iki katından fazla seçilmemelidir.
- Merkezi boyuna öngermeye etkisindeki betonarme elemanlar (betonarme kazık gibi) dış merkezli basınca maruz, beton kesme etkisini karşılıyorsa elemanda enine donatı kullanılmasına gerek yoktur.
- Şayet kesit genişliğı 150 mm veya daha azsa, eğilmeye maruz sadece tek bir boyuna donatıya sahip eğilme etkisine maruz elemanlarda enine donatı konulması zorunlu değildir.
- Merkezi basınca maruz elemanlarda veya analiz sonucu boyuna basınç donatısının gerekli görüldüğü eğilmeye maruz elemanlarda, etriyeler arası mesafe belirlenirken aşağıda verilen şartlara dikkat edilmelidir.

1. NAB, IAB, HB ve AC'dan imal edilmiş betonarme elemanlarda $R_{sc} \leq 400\text{MPa}$ ise, etriyelerin boyuna donatıya bağlandığı durumda 500 mm veya $15 \cdot d$ 'den

kaynaklı kafeslerde $20 \cdot d$ 'den fazla olmamalıdır. Şayet $R_{sc} \geq 400 MPa$ ise etriyelerin boyuna donatıya bağlandığı durumda 400 mm veya $12 \cdot d$ 'den kaynaklı kafeslerde $15 \cdot d$ 'den fazla olmamalıdır.

2. Boşluklu betonda, 500 mm veya $40 \cdot d$ 'den fazla olmamalıdır.

- Enine donatı boyuna donatının hiçbir yönde burkulmasına izin vermemelidir.
- Boyuna donatının bindirme bölgesi boyun ve merkez dışı basınca maruz elemanlarda etriyeler arası mesafe $10 \cdot d$ 'den fazla olmamalıdır.
- Şayet hesap sonucu kararlaştırılan boyuna basınç donatısı oranı $S' \%1,5$ ve şayet bütün kesit basınç altında ve toplam donatı oranı $\%3$ den büyük ise, etriyeler arası mesafe $10 \cdot d$ 'den veya 300 mm'den fazla olmamalıdır.
- Boyuna donatı çapı 12 mm veya daha az veya beton pas payı mesafesinin yarısından daha büyük değilse enine donatı ile ilgili şartlar aranırken boyuna basınç donatıları ihmal edilmemelidir.
- Etriye boyuna donatıları dıştan sarmalıdır. Şayet etriye donatısında bir değişiklik varsa küçük açının tarif edildiği noktada boyuna donatı teçhiz edilmelidir.
- Dış merkezli basınca maruz etriyelerin çelik tellerle boyuna donatıya bağlandığı elemanlarda etriye çapı en az $0,25 \cdot d$ veya 5 mm olmalıdır. Aynı cins bir eleman eğilmeye maruz ise minimum etriye çapı kesit derinliği 800 mm veya daha az olduğu takdirde 5 mm, büyük ise 8 mm bulunmalıdır. Etriyelerin boyuna donatıya kaynatıldığı durumda etriye çapı sınır değerleri için kaynak teknikleri ile ilgili GOST protokollerine danışılmalıdır.
- 150 mm'den daha derin kirişlerde ve 800 mm'den daha derin kaset döşemelerde enine donatı bulunması zorunludur. Düz döşemelerde derinliği ne olursa olsun enine donatı teçhiz edilmesi zorunlu değildir. Ancak bu durumda kesme donatısı (enine donatı) içermeyen kesitlerin kesme tahkiki incelenmelidir. Benzer bir analiz 150 mm'den daha az bir derinliğe sahip kirişler ve 300 mm'den daha az bir derinliğe sahip kaset döşemelerde yapılmalıdır.
- Mesnetten açıklığın dörtte biri mesafede, şayet kesit derinliği 450 mm'ye eşit veya az ise etriyeler arası mesafe $h/2$ veya en fazla 150 mm, büyük ise $h/3$ veya en fazla 500 mm olmalıdır. Açıklığın diğer bölümlerinde etriyeler arası mesafe $0,75 \cdot h$ veya en çok 500 mm olmalıdır.

- Enine donatının uçları kesme yükünü aktarabilmesi için donatı uçları yeterli ankrajı sağlayabilecek bir şekilde kaynatılmalı veya boyuna donatıyı sarmalıdır.
- Zımbalama etkisine maruz bölgelerde enine donatılar arası mesafe tabliye derinliğinin üçte birinden veya 200 mm'den fazla olmamalıdır. Ayrıca enine donatı sıklaştırılması yapılan zımbalama alanının tarifiede, genişlik en az 1,5·h alınmalıdır.
- Kısa konsollarda etriyeler ya yatay yada 45 derece konumlu olacak şekilde teçhiz edilmelidir. Etriyeler arası mesafe, h konsol derinliği olmak üzere, h/4 veya 150 mm'den fazla olmamalıdır.
- Hem burulmaya hemde eğilmeye maruz betonarme elemanlarda, enine donatılar boyuna donatılara kaynatılarak kapalı bir etriye oluşturulmalıdır.

4.2.4.2 Enine donatı ile ilgili şartlar – TS 500

Rus betonarme şartnameleri yönetmeliklerinde ifade edilen enine donatı TS 500 betonarme yapıların tasarımı ve yapım kurallarında etriye olarak ifade edilen donatı ile aynı görevleri üstlenmektedir. Bu yüzden TS 500'de etriye ile ilgili verilen yerleşimi kesit oran veya benzeri özellikler SNIP 2.03.01–89 Rus betonarme şartnamesinde enine donatı ile ilgili şartlar başlığı altında incelenmektedir. Etriyeler ile ilgili şartlar TS 500'den incelendiğinde şartların eleman tiplerine bağlı olarak ayrı başlıklarda incelendiği görülmektedir.

- Kolonlarda boyuna donatılar kolon yüksekliği boyunca enine donatılar ile sarılmalıdır ve enine donatı çapı en büyü donatı çapının üçte birine eşit veya daha büyük seçilmelidir. Kolonlardaki enine donatı aralığı en küçük aralık çapının 12 katından veya 200 mm den fazla seçilmemelidir. Kolonlardaki enine donatı şartları TS 500 madde 7.4.1'de incelenmektedir.
- Kirişlerde enine donatı alanı TS 500 madde 8.1.5 Başlığı altında incelenmektedir. Buna göre kirişlerde açıklık boyunca etriye teçhiz edilmeli ve seçilen enine donatı alanı Denklem 4,4'de verilen şartı sağlamalıdır.

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0,3 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \cdot b_w \quad (4.4)$$

- Kirişlerde etriye aralığı kiriş faydalı derinliğinin yarısından seçilmelidir. Tasarım kesme kuvvetinin kirişteki kesme kuvvetini dayanımına olan beton katkısının üç

katını aştığı durumlarda etriye aralığı faydalı derinliğin dörtte biri olarak belirlenmelidir. Şartname TS 500 madde 8.1.6'da çerçeve kirişlerin mesnete yakın bölgelerinde (mesnete giriş derinliğinin iki katı mesafede) etriye sıklaştırması yapılmasını istemektedir. Buna göre etriyeler arası mesafe aşağıda verilen şartları sağlamalıdır:

- $s \leq d/4$
- $s \leq 8\Phi$
- $s \leq 150 \text{ mm}$
- Burulma ve kesme etkisinin birlikte etkidiği elemanlarda enine donatı etriye uçları 135° kancalı kapalı etriye özelliği göstermeli ve uçları kesit çekirdeği içine gömülmelidir. Etriyeler arası mesafe aşağıda verilen değerlerden ufak olanından fazla seçilmemelidir:
 - $s < d/2$
 - $s < u_e/8$
 - $s < 300 \text{ mm}$
- Kısa konsollarda konsolun üst yüzeyinden $2d/3$ derinliğe kadar yatay kapalı etriye tehciz edilebilir. TS 500 betonarme şartnamesi bu tür etriye tayini için Denklem 4.5'de verilen asgari şartın sağlanmasını talep etmektedir.

$$A_{sv} \geq 0,5(A_{st} - A_n) \quad (4.5)$$

- Derin giriş tasarımında, TS 500, kesme donatı aralığının $h_0/5$ veya 400 mm'den fazla alınmasını istemektedir.
- Duvar altı temellerde aralığı 300 mm'yi aşamayan en az $\Phi 8$ 'lık kapalı etriye tehciz edilmelidir.

Bir doğrultuda çalışan dişli döşemelerin kesme donatısı hesabı kirişlerin kesme hesabı ile aynıdır. Ancak hesap kesme kuvvetinin kesme çatlama dayanımını aşmadığı durumlarda minimum enine donatı şartının yerine getirilmesine gerek yoktur. Bu durumda açık etriye kullanılabilir ve minimum mesafe en fazla 250 mm seçilmelidir.

4.2.5 Donatı ankraji ile ilgili şartlar

4.2.5.1 Donatı ankraji ile ilgili şartlar – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus betonarme şartnamesi donatı ankrajını aşağıda verilen donatı durumu veya bunların kombinasyonları olarak tanımlamaktadır.

1. Donatının beton içinde doğrudan sonlanması
 2. Donatı ucunun kanca oluşturması
 3. Donatının kaynaklanması ya da kesme donatısına eklenmesi
 4. Ek için kullanılan manşon benzeri çeşitli ankraj elemanlarının kullanılması
- Donatının direk sonlandığı durumlarda düz donatı kullanılmasına şartname izin verilmemektedir. Bu tür bir ankraj için, nervürlü donatı gibi donatı yüzeyinde pürüzlerin, girinti çıkıntıların olması şarttır.
 - Çekmeye maruz düz donatılarda donatı ucunda halka oluşturulmalı, kaynaklı kesme donatısına eklenmeli ya da uygun ankraj araçları kullanılmalıdır. Basınca maruz donatılarda, halka veya plakların kullanılması tavsiye edilmektedir. Ancak kombinasyonlarından birinde veya birkaçında donatının çekme etkisi altında olduğu görünüyorsa düz donatıda bu tür bir uygulamaya gidilebilir.
 - Donatının ankraj boyunun hesabında, göz önüne alınması gereken faktörler şunlardır.
 - Ankraj türü,
 - Donatı sınıfı ve profili,
 - Donatı çapı,
 - Beton sınıfı,
 - Ankraj boyu boyunca ki betonun gerilme durumu,
 - Ankraj boyunca eleman kesitlerindeki yapısal donatılar, konumları vb.

Donatı ankraj boyu Denklem 4,6'den hesaplanmalıdır.

$$l_{0,an} = \frac{R_s \cdot A_s}{R_{bond} \cdot u_s} \quad (4.6)$$

Burada A_s ve u_s sıra ile ankraji yapılan donatının alanı ve çevresidir.

R_{bond} donatı boyunca düzgün dağılım gösterdiği kabul edilen kenetlenme dayanımıdır ve Denklem 4.7'ye göre hesaplanmalıdır.

$$R_{bond} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot R_{bt} \quad (4.7)$$

Burada;

- η_1 donatı yüzey katsayısıdır
 - a) Düz donatı için 1,5
 - b) Soğukta çekilmiş donatı için 2,0
 - c) Sıcak haddelenmiş veya termomekanik olarak üretilmiş nervürlü donatı için 2,5'dir.
- η_2 donatı çapı etki katsayısıdır:
 - a) $d_s < 32$ m için 1,0
 - b) $d_s < 36$ veya 40 0,9 alınmalıdır.

Rus öngerme şartnamesi donatı özelliklerini tarif eden η_1 ve η_2 katsayılarını ayrı ayrı tanımlamak yerine aynı denklemde geçerli olmak üzere tek bir η katsayısı tanımlamaktadır.

Buna göre η katsayısı:

- a) Soğukta haddelenmiş donatı tipleri için, 3 mm çaplı Bp 1500 donatı sınıfı ve 6 mm çaplı K1500 donatı sınıfı için 1,70
 - b) 4 mm'den daha büyük çapa sahip Bp1500 sınıfı donatı için 1,80
 - c) Öngerme halatları için 2,20
 - d) A sınıf donatı tipleri için 2,50 alınmalıdır.
- Yapısal etkilerin göz önüne alındığı durumlarda Denklem 4.8 geçerlidir.

$$l_{an} = \alpha \cdot l_{0,an} \cdot \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} \quad (4.8)$$

Burada α katsayısı betonun ve donatının gerilme durumu ve ankraj tipini dikkate alan bir katsayıdır. Kancalı düz donatıda, basınç altında $\alpha = 0,75$ çekme altında $\alpha = 1,0$ alınmalıdır.

- Rus betonarme şartnamesi prensip olarak donatı ankraj boyu azaltmak için hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, hesaplanan donatının ankraj boyunun doğrudan ankraj boyu değerinden %30'ünden daha az kabul edilemeyeceğini ifade etmektedir.

Eski Rus betonarme şartnamesi, SNIP 2.03.01–84, Güncel Rus betonarme şartnamesinden farklı bir ankraj boyu hesabı talep etmektedir. Buna göre, donatı ankraj boyu Denklemi 4.9'den hesaplanmalıdır.

$$l_{an} = \left(w_{an} \cdot \frac{R_s}{R_b} + \Delta\lambda_{an} \right) \cdot d \quad (4.9)$$

Ancak denklem sonucu elde edilen değer hiçbir durumda $l_{an} = \Delta\lambda_{an} \cdot d$ değerinden az alınmamalıdır. Denklem 4.9’de verilen w_{an} , $\Delta\lambda_{an}$, λ_{an} katsayıları için Çizelge 4.4’ye başvurulmalıdır. İnce agregalı betondan (IAB) imal edilmiş beton elemanlar için Denklem 4.9’dan hesaplanan l_{an} değeri basınca maruz beton bloğu için $5 \cdot d$, çekmeye maruz beton bloğu için $10 \cdot d$ değer kadar arttırılmalıdır. Şayet çekmeye maruz beton bloğunda çatlaklar mevcut ise, donatı betonun basınç bloğunda hesaplanan ankraj boyu kadar konumlu olmalıdır.

Ayrıca SNIP 2.03.01–84, beton kısmi performans katsayılarının ankraj boyu hesaplarında dikkate alınabileceğini ifade etmektedir. Şartname kısmi performans katsayılarını davranış katsayıları adı altında da incelemektedir. Çizelge 4.5’de verilen kısmi performans katsayıları, sınır durum 1 hesabında kullanılacak olan beton basınç ve çekme dayanımlarının, sıra ile R_b ve R_{bt} , azalması veya kimi durumlarda arttırılması için şartname tarafından uygun görülen katsayılardır. Donatı ankraj boyu hesabında, Denklem 4.9, öngörülen beton basınç dayanımı, R_b , çizelge 4.5’de verilen kısmi performans katsayıları ile arttırılabilir veya azaltılabilir. Ancak şartname kısmi performans katsayılarından yükleme süresini dikkate alan γ_{b2} katsayısının bu hesapta göz ardı edilmesini istenmektedir.

Çizelge 4.4: Donatı ankraj boyunun hesaplanması için gerekli katsayılar

Donatının çalışma durumu		Nervürlü Donatı				Düz Donatı			
		ω_{an}	$\Delta\lambda_{an}$	$\Delta\lambda_{an}$	l_{an}	ω_{an}	$\Delta\lambda_{an}$	$\Delta\lambda_{an}$	l_{an}
				minimum boy				minimum boy	
1.Donatının gömülmesi	Çekmeye maruz kesitteki çekme donatısı	0,70	11	20	250	1,20	11	20	250
	Basınca maruz kesitteki basınç donatısı	0,50	8	12	200	0,80	8	15	200
2. Donatının bindirmesi	Çekmeye maruz kesitteki donatı	0,90	11	20	250	1,55	11	20	250
	Basınca maruz kesitteki donatı	0,65	8	15	200	1,00	8	15	200

Çizelge 4.5: Beton kısmi performans katsayıları

Etkenler	Beton kısmi performans katsayıları	
	Notasyon	Değer
Tekrarlı yükleme durumu	γ_1	Çizelge 3.1
Yük etkime süresi 1. Anlık yük etkime durumu hariç NAB, IAB ve HBbeton cinsleri için Beton basınç dayanımına olumlu katkı olacağı durumlarda (elemanın yer altında konumlu olması, nem oranının %75 ve üzerinde olması) Diğer durumlarda Gaz beton 2. Anlık yükleme durumunda	γ_2	1,00 0,90 0,85 1,10
Kalıp yüksekliğinin 1,5 m'den fazla olduğu kalıplarda 15. NAB, IAB ve HBbetonu için 16. Gaz betonu için	γ_3	0,85 0,80
Eğilim eğilme durumunda	γ_4	$\gamma_{b4} = \frac{1 - \frac{\sigma_{mc}}{R_{b,ser}}}{0,2 + \alpha\beta}$
En küçük kesit genişliğinin veya çapının 300mm'den az olan kolonlar için	γ_5	0,85
Betonun donma-çözölmeye maruz kalması	γ_6	Çizelge 1.7
Sıcak iklimlerde betonun solar etkilere maruz kalması durumu	γ_7	0,85
Öngerme elemanlarında 1. Halat ile öngermede HBbeton sınıfı Diğer beton sınıfları 2. Donatı ile öngerme HBbeton sınıfı Diğer beton sınıfları	γ_8	1,25 1,10 1,35 1,20
Beton yapılar	γ_9	0,90

A-1 sınıf düz donatıların boyunu ankraj SNIP 2.03.01–84 sadece donatı ucuna plaka kaynaklı ise izin vermektedir. Donatıların konstrüktif kullanıldığı durumda donatı ucuna kanca şekli verilmelidir.

4.2.5.2 Donatının kenetlenmesi – TS 500

TS 500 betonarme şartnamesi donatı kenetlenmesini betonarme yapılarda beton ile donatının birlikte çalışması ve eş gerilme birim uzama dağılımı kaböllerinin geçerli kalabilmesi için zorunlu kılmaktadır. Şartname donatının elemanda bulunduğu konuma bağılı olarak iki konum grubu tarifi yapmaktadır. Şartnamede tarif edilen hesap yöntemine bağılı olarak elde edilen donatı kenetlenme boyu konum gurubuna bağılı olarak artırılmaktadır. Buna göre:

- Konum Grubu 2: Betonlama sırasında yatayla eğimi 45° veya 90° olan donatılar veya kesitin alt yarısına veya kesitin serbest üst yüzünden 300 mm'den daha uzak olan yatay konumlu donatılar
- Konum Grubu 1: Konum grubu 2 tarifine uymayan her tür donatı

Çekme gerilmesi altındaki nervürlü donatılarda, düz kenetlenme boyu Denklem 4.10 de verilmektedir.

$$l_b = \left(0,12 \cdot \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \cdot \phi \right) \quad (4.10)$$

Burada l_b değeri $20 \cdot \Phi$ 'den büyük seçilmelidir. Şartname ayrıca donatı çapının $32mm < \phi < 40mm$ olması durumunda Denklem 4.1'de hesaplanan düz kenetlenme boyunun $100 / (132 - \phi)$ katının dikkate alınmasını talep etmektedir. Düz donatılarda Denklem 4.1'de hesaplanan deperin iki katı tasarım değerine eşittir. Şartname ayrıca özel hallerde düz kenetlenme boyunun azaltılmasına olanak tanımaktadır, ancak bu durum Afet Bölgelerinde Yapılacak Olan Yapılar Hakkında Yönetmelikte kural dışı olarak tanımlandığından herhangi bir geçerliliği yoktur.

TS 500 betonarme şartnamesi boyuna donatının enine donatıya kaynakla birleştirilerek gerekli kenetlenmenin sağlanabilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca enine donatılarda hesaplanan kenetlenme boyu Çizelge 4.6'da verilen şartları sağlamalıdır.

Çizelge 4.6: Enine Donatı minimum şartlar – TS 500

Donatı yüzeyi	Φ (mm)	Konum1		Konum 2	
		n	lb	n	lb
Düz Donatı	$\Phi < 8,5$ mm	3	450	3	350
	$\Phi > 8,5$ mm	4	500	4	400
Nervürlü Donatı	$\Phi < 8,5$ mm	3	350	3	300
	$\Phi > 8,5$ mm	3	450	3	350

TS 500 betonarme şartnamesi özel hallerde kenetlenmenin donatı ucuna kaynaklanan veya vidalanan plaklar ile sağlanmasına olanak tanımaktadır. Ancak şartname bu durumun genel bir yöntem olmaktan daha çok yalnızca özel hallerde başvurulması gereken bir yöntem olduğunu tarif edilmektedir.

4.2.6 Donatı eklenmesi

4.2.6.1 Donatı eklenmesi – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Rus betonarme şartnamesi SP 52-101-2003'e göre donatı eklenmesi iki tiptir.

1. Kaynaksız Birleşimler:

- a. Nervürlü donatının doğrudan sonlanması.
- b. Kesme donatılarına kaynaklı doğrudan sonlanma.
- c. Donatı uçlarında plak konulması veya halka şeklinin verilmesi

2. Kaynaklı ve mekanik uç birleşimler:

- a. Donatıları kaynaklanması.
- b. Özel mekanik araçlarla sağlanan birleşimler (Manşonlu birleşim).
 - Kaynaksız donatı bindirilmesi ancak donatı çapının 40 mm'den az olduğu durumlarda geçerlidir. Bu hesaplarda, donatı ankrajı ile ilgili şartlar geçerlidir. Denklem 4.3 de kullanılan α katsayısı bindirme durumları için farklılık göstermektedir.
 - Hangi tip bir bindirme söz konusu olursa olsun bindirme boyu $0,4 \cdot \alpha \cdot l_{0,an}$ ya da $20 \cdot d_s$ ya da 260 mm'den az olmamalıdır.
 - Donatıların kaynak vasıtasıyla birleştirildiği durumlarda Rus kaynak şartnamesinin talep ettiği şartlar sağlanmalıdır.(GOST 14098-90). Ayrıca nükleer tesisler gibi yapı türünün özel olduğu durumlarda ilgili yönetmelikler geçerlidir.
 - Manşonlu birleşmelerde, manşonun kendi taşıma kapasitesi en az donatının taşıma kapasitesi kadar olmalıdır.

4.2.6.2 Donatı eklenmesi – TS 500

TS 500 donatı eklenmesi için üç yöntemi geçerli görmektedir. Bunlar bindirme ekler, manşolu ekler ve kaynaklı eklerdir.

1. Bindirme ekler: TS 500 betonarme şartnamesi bu tür ekelrde donatıların olabildiğince bitişik olmasını talep etmektedir. Aralık bırakılmasının zorunlu görüldüğü hallerde bu aralık bindirme boyunun 1/6'sından veya 100 mm'den fazla seçilmemelidir. Şartnameye göre çekmeye maruz donatılarda bindirme boyu Denklem 4.11'de verilmektedir.

$$l_0 = \alpha_1 \cdot l_b \quad (4.11)$$

Burada $\alpha_1 = 1 + 0,5 \cdot r$ olarak ve “r” aynı kesite eklenen çekme donatısının toplam donatı oranı olarak tarif edilmektedir. Bütün kesitin çekmeye maruz kaldığı durumlarda $\alpha_1=1,8$ alınmalıdır. Şartname ayrıca donatı kenetlenmesinde tarif edilen konum şartlarını gözeterek Denklem 4.11’de verilen donatı boyunun, konum grubu 1 olan çekmeye maruz donatı çubuklarında 1,4 katının tasarımda geçerli kabul etmektedir. Şartnamede tarif edilen diğer şartlar aşağıda verilmektedir.

- Bindirmeli eklerde çubuk uçları kancalı ise, bindirme boyu Denklem 4.11’de hesaplanan değerin 0,75 katı kabul edilir.
- Çekme etkisine maruz donatılarda bindirme yapıldığı takdirde bindirme bölgesi sargı donatısı tehviz edilmelidir. Bu sargı donatısının çapı eklenen boyuna donatının 1/3’ünden veya $\Phi 8$ seçilmelidir. Bindirme bölgesinde en az 6 sargı donatısı bulundurulmalı ve aralarındaki mesafe 200 mm’den veya kesit yüksekliğinin 0,25’inden az olmalıdır.
- Birden fazla çekme donatısında birdirme yapılması gerektiği durumlarda, ek yerleri aynı kesitte bulunmamalı ve en az $1,5 \cdot l_0$ kadar mesafe konulmalıdır. TS 500 bu düzenlemeyi ek yerlerinin şaşırtılması olarak ifade etmektedir.

Şartname basınca maruz donatılarda bindirme boyu düz kenetlenme boyuna eşit kabul edilmesini istemektedir. Ancak denklem 4.10’da hesaplanan değer 300 mm’den büyük olmalıdır. Bindirme bölgesinde sargı donatısı ara mesafesi $d/4$ ’den az seçilmelidir. Şartname ayrıca $\Phi 30$ ve daha büyük çapa sahip donatılarda bindirme yapılmasına izin vermemekte bu durumda manşolu ek yapılmasını istemektedir.

4.2.7 Kanca boyu

4.2.7.1 Kanca boyu – SNIP 2.03.01-84 ve SP 52-101-2003

Betonarme bir elemanda kancalı donatı çapının belirlenmesinde kanca içindeki betonun ezilmesi veya kancanın sökülmesi noktalarına dikkat edilmelidir.

Donatı kanca çapı d_{on} diye tarif edilirse, minimum kanca çapı,

Düz donatıda $d_s < 20$ mm ise $d_{on} = 2,5 \cdot d_s$

$$d_s > 20 \text{ mm ise } d_{on} = 4 \cdot d_s$$

Nervürlü donatıda $d_s < 20 \text{ mm ise } d_{on} = 5 \cdot d_s$

$$d_s > 20 \text{ mm ise } d_{on} = 8 \cdot d_s \text{ alınmalıdır.}$$

4.2.8 Sismik tasarım

Rusya’da inşa edilecek herhangi bir yapının depreme karşı dayanıklı olması için, sismik alanlardaki inşaatlar, SNIP II-7-81’in öngördüğü şartlar sağlanmalıdır. Sismik tasarım ayrı bir tez konusu olabileceği için detaylı olarak incelenmeyecektir. SNIP II-7-81 deprem şiddetini ve büyüklüğünü tarif ettikten sonra çeşitli konut, kamu ve endüstriyel bina ve yapı tipleri için şartlar talep etmektedir. Bu yapı grupları çerçeve sistemler, ön yapım büyük panelli binalar, yığma veya taş duvar sistemleri ve binaları yapı sistemleridir.

Şartname sonraki bölümlerde ulaşım yapıları ve hidrolik yapıları için gerekli şartları tarif etmektedir. Betonarme yapı tasarımı ile ilgili olduğu düşünülen başlıklar bu bölüm altında incelenmektedir. Her hangi bir konut, kamu ve endüstriyel betonarme yapı tipi için, genel şartlar aşağıda sıralanmıştır:

- Binalar arası veya tek bir binada yatay planda geometrik düzensizlik bulunması hallerinde deprem derzlerinin kullanılması zorunludur. Tek bir binada, aynı katta düşey yükseklik farkının 5 m veya daha fazla olması halinde, bu bölümler arasında deprem derzi gerekli görülmektedir.
- Deprem derzleri binayı düşey eksenin tümünde bölmelidir. Şayet oturma veya ısı dilatasyonları ile deprem derzleri aynı eksene denk geliyorsa deprem derzi ile ilgili şartların temellerde sağlanmasına gerek yoktur.
- Deprem derzleri ile ilgili şartlar SNIP II-7-81’de ayrıntılı olarak verilmektedir. Deprem derzleri genişlikleri Deprem şartnamesi SNIP II-7-81’de verilen yük ve yatay ötemelere bağlı olarak belirlenmelidir. Ancak hesaplanan değer ne olursa olsun derz genişliği yüksekliği 5 m ye kadar olan yapı veya binalarda 30mm’den az olmamalıdır. 5m’den yüksek yapılarda ise 30 mm derz genişliği eklenen her 5 m yapı yüksekliği için 20 mm arttırılmalıdır.
- Deprem derzlerinin arası yatay hareketi engelleyecek herhangi bir malzeme ile doldurulmalıdır.

- Balkonlar veya döşemeye ankrajlı herhangi bir sistem konsol kiriş veya döşeme olarak incelenmelidir.

Sismik bölgelerde inşaa edilecek çerçeve sistemler aşağıda verilen şartları sağlamalıdır.

- Çerçeve sistemlerde, yatay deprem kuvvetleri çerçeve, dolu çerçeve, düşey ekseninde çapraz elemanlar içeren çerçeveler, diyafram çerçeveleri veya rijit çekirdek sistemleri ile karşılanmalıdır.
- Dış duvarları yığma, iç duvarları betonarme veya metal çerçeve olan sistemler deprem yoğunluğu 7 ve 8 olan bölgelerde, yığma bina standartlarını sağlamak şartı ile, inşa edilmesine şartname izin vermektedir. Ancak bütün yapıların yüksekliği 7 m'yi aşmamalıdır. Yığma bina ile ilgili diğer şartlar için Rus deprem şartnamesine başvurulması tavsiye edilir.
- Betonarme çerçeve sistemlerde rijit bağlantı noktaları, kaynaklı hasır donatı, spiral veya kapalı dikdörtgen etriyeler ile güçlendirilmelidir. Rijit donatı noktalarının ve kat yüksekliğinin 1,5 katı mesafede olan sisteme entegre kolonların hepsi yatay kapalı etriyeler ile güçlendirilmelidir. Etriyeler arası mesafe 100 mm'den fazla seçilmemelidir. Diyafram çerçevelerinde etriyeler arası mesafe 200 mm'ye kadar arttırılmasına izin verilmektedir.
- Yatay kuvvetlerin iletilmesini sağlayan diyaframlar, düşey çaprazlar ve rijit çekirdek sistemi yapı yüksekliği boyunca sürekli ve yapının ağırlık merkezine her iki doğrultuda simetrik ve üniform olmak zorundadır.
- Çerçeve sistemlerde dış duvarlar hafif panellerden imal edilmelidir. Yığma veya taş panellerin bu tür bir kullanımı için yığma duvar ile ilgili şartların sağlanması esastır.
- Yapı içindeki işlevsel duvarlar, taşıyıcı sistemin yatay hareketine izin veren boşluklar içermelidir. Bu boşluk duvarlar ile çerçeve kolonlar arasında en az 20 mm seçilmelidir. Planda iki dik ekseninde duvarların kesiştiği bölgelerde duvar derinliği boyunca deprem derzleri teşkil edilmelidir.
- Binalardaki asansör bacası ve merdivenler deprem durumunda çerçeve veya çekirdek sisteme herhangi bir katkısı olmadığı kabul edilmelidir.

- 16 kattan yüksek binalarda (yüksek katlı yapılarda) çerçeve sistemler diyafram, düşey çapraz elemanlar içeren ya da rijit çekirdek prensibine dayalı olarak tasarlanmış sistemlerden biri seçilmelidir. Bu sistemler arasında seçim yapılırken elastik sınırın çerçevenin yatay elemanında ulaşılan sistem tercih edilmelidir.
- Yüksek katlı çerçeve sistemlerde deprem etkisi araştırılıyorken çerçeve kolonlarının eğilme ve kesme diyagramları tahkikinin yanı sıra, eksenel deformasyonlar temellerdeki eğilme ve devrilme kontrolleri de yapılmalıdır.
- Yüksek katlı yapıların gevşek zemin tiplerinde üzerine inşa edilmesinden kaçınılmalıdır. Burada adı geçen gevşek zemin tipinin sınıflandırılması SNIP II-7-81' e göre zemin tipi 3 adı altında incelenen bütün zemin gruplarını içermektedir. Zemin tipi 3 gevşek ince kum, şiltli kum, silt tabakaları ve bazı kil gruplarını içermektedir.
- Kayalık zemin özelliğine sahip olmayan bölgelerde inşa edilecek yüksek katlı binalarda, kazık temel veya yaygın temel kullanılmalıdır.

Sismik bölgelerde inşaa edilecek betonarme yapılar aşağıda verilen şartları sağlamalıdır:

- Eğilmeye veya eksenel basınca maruz betonarme elemanların tahkikinde beton basınç bloğu derinliği $\xi_R=0,85$ faktörü ile azaltılmalıdır.
- Sismik yoğunluk sınıfı 8 veya 9 olan dış merkezli basınç veya eğilmeye maruz betonarme elemanların basınç bölgesinde konumlu etriyeler arası mesafe etriyelerde $R_{sc} \leq 400MPa$ olduğu durumda boyuna donatıya bağlı ise $12 \cdot d$ 'den veya 400 mm 'den, donatıya kaynaklı ise $10 \cdot d$ 'den fazla olmamalıdır. $R_{sc} \geq 400MPa$ olduğu durumlarda etriyeler boyuna donatıya bağlı ise etriyeler arası mesafe $300mm$ 'den veya $15 \cdot d$ 'den etriyeler kalınlığı ise 12 'den fazla olmamalıdır. Burada d basınca maruz kalan en küçük boyuna donatının çapıdır. Enine donatı basınca çalışan boyuna donatının herhangi bir doğrultuda burkulmasına engel olmalıdır. Bindirme bağlantılarında, etriyeler arası mesafe $8 \cdot d$ 'den fazla olmamalıdır. Dış merkezli basınca maruz elemanlarda donatı oranı $\%3$ 'den fazla ise etriyeler arası mesafe 250 mm 'den veya $8 \cdot d$ 'den fazla olmamalıdır.

- h kolon kesitinin en ufak kesit uzunluğu olmak üzere sismik yoğunluğu 8 ve 9 dan bölgelerde çok katlı betonarme çerçeve binaların tasarımında kolonlardaki etriyeler arası mesafe $0,5 \cdot h$ 'den fazla olmamalıdır. Şayet çerçeve sistem diyagraf içeriyorsa bu mesafe h'ya eşit alınabilir. Ancak her halükarda etriye çapı 8 mm²'den az olmamalıdır.
- Etriye uçları boyuna donatıyı etrafında döndükten sonra etriye çapının en az altı katı kadar kesite gömülü olmalıdır. Şartname etriyenin boyuna donatıyı kaç derece saracağı hakkında bir açıklama içermemektedir.
- Öngerme elemanlarında sınır durumu 1 analizi sonucu elde edilen kesit taşıma kapasitesi, eleman çatlamaya neden olan yüklerden en az % 25 daha fazla olmalıdır.
- Çatlama sonrası donatılarda meydana gelen elastik uzamanın %2'den az olduğu öngerme elemanlarının inşasına şartnamede izin verilmektedir.
- Sismik yoğunluğu 9'un üstünde olan yapılarda, özel ankraj yöntemlerinin kullanılmadığı 28 mm'den büyük çapa sahip nervürlü donatıların kullanılmasına şartnamede izin vermemektedir.

5 Örnek Problemler

Örnek Problem 1: Plak Döşemenin Kesme Tahkiki

Plak derinliği sabit olan 6 m'ye 6m ebatlara sahip, plak kalınlığı $h=300$ mm olan döşeme kenarlarından kirişlere oturmaktadır. Döşemeye sabit yayılı bir kuvvetin, $v=50$ kN/m² ve sabit yayılı bir ölü yükün, $g=16,875$ kN/m² etki ettiği varsayılmaktadır. Beton paspayı kalınlığı $a=20$ mm, beton tipi B25 ($R_{bt}=0,95$ MPa ve $\gamma_{b2}=0,90$) olduğuna göre kesitin kesme tahkikini yapınız.

Rus Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

Etkili derinlik: $h_0 = 300 - 20 = 280$ mm olduğu görülmektedir. Kesme tahikinin yapılması için 1 m genişliğinde bir eleman varsayımı yapılacaktır. Yani $b=1000$ mm alınmalıdır. Döşeme yüzeyine etki eden toplam yayılı yük $q = v + g = 66,875$ kN/m'dir.

Mesnetlerde meydana gelecek kesme kuvveti:

$$Q_{\max} = \frac{ql}{2} = \frac{66,875 \cdot 6}{2} = 200,6 \text{ kN}$$

Buna göre enine donatı bulunmayan kesitlerin kesme tahkiki yapıldığı takdirde:

1. $2,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0 = 2,5 \cdot 0,95 \cdot 1000 \cdot 280 = 665 \text{ kN} > Q_{\max} = 200,6 \text{ kN}$
2. Plak kenarları kirişlere oturuyor olmasından dolayı $\alpha = 1 + 0,005b/h = 2,42$ elde edilecektir. Ancak şartname $\alpha > 1,25$ olması durumunda $\alpha=1,25$ kabulü yapılmasını talep etmektedir.

Buna göre:

$$c_{\max} = \frac{2,5}{\alpha} \cdot h_0 = 2 \cdot 280 = 560 \text{ mm} \text{ elde edilecektir.}$$

$$q_l = g + v / 2 = 16,875 + 25 = 41,8 \text{ kN / m}$$

SNIP 2.03.01-84 Tablo 20'den $\phi_{b4}=1,5$ okunacaktır. Buna göre:

$$\frac{\varphi_{b4} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c} = \frac{1,5 \cdot 0,95 \cdot 1000 \cdot 280^2}{560} = 199,5 > Q = Q_{\max} - q_1 \cdot c = 267,5 - 41,87 \cdot 0,56 = 177,2 \text{ kN}$$

Olduğundan dolayı kesit yeterli kesme kapasitesine sahiptir.

Türk Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$h_f = 0,3 \text{ m} \quad v = 50 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad g = 16,875 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$d' = 20 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 300 - 20 = 280 \text{ mm}$$

$$g + v = 50 + 16,875 = 66,875 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$V = \frac{66,875 \cdot 6}{2} = 200,625 \text{ kN}$$

Kesme Kuvveti Kontrolü

$V_d \leq V_r$ olmalı.

$$V_r = V_c + V_w \quad \text{Burada:}$$

V_w : elemanın kesme dayanımına enine donatının katkısı

V_c : elemanın kesme dayanımına betonun katkısı ($= 0,8 \cdot V_{cr}$)

$$V_{cr} = 0,65 \cdot f_{ctd} \cdot b \cdot d = 0,65 \cdot 950 \cdot 1 \cdot 0,28 = 172,9 \text{ kN}$$

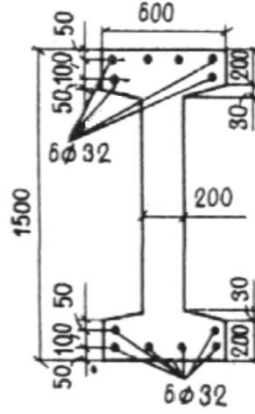
$$V_c = 0,8 \cdot V_{cr} = 0,8 \cdot 172,9 = 138,32 \text{ kN}$$

200,625 kN > 138,32 kN kesit büyütülmeli ya da donatı kullanılmalıdır.

Örnek Problem 2: I Kesite Sahip Öngerilmiş Betonarme Eleman

Şekil 5.4’de verilen geometrik özelliklere sahip elemanın beton tipi B30 ($E_b=2,9 \cdot 10^4$; $R_b=19$ MPa ve $\gamma_{b2}=1,1$) ve donatı sınıfı A-3’dür ($R_s = R_{sc} = 365$ MPa). Donatı seçimi $6\Phi 32$ olarak yapılmıştır ($A_s=A'_s=4825,71$ mm²). Kesite etki eden kuvvetler ve eğileme momnetleri incelenirse, uzun süreli yükleme durumu için $N_I= 2200$ kN ve $M_I= 2000$ kNm, ve bütün yüklemeler için $N=2400$ kN ve $M=3400$ kN·m verilmektedir. Eleman uzunluğu $l= 10$ m, düzlemsel eğilme boyu $l_0= 15$ m ve düzlem dışı eğilme boyu $l_0= 10$ m’dir. Buna göre kesitin dayanımını tahkik ediniz.

Şekil 5.4 Örnek 2’de tarif edilen kesit özellikleri



Şekil 5.3’den I kesitin efektif tabla genişliğinin ortalama yüksekliği h'_f
 $= h_f = 200 + 30/2 = 215$ mm olduğu görülmektedir. Kesitin alanı $A=$
 $472 \cdot 10^3$ mm² ve eğilme düzelemine göre ataleti $I=1279 \cdot 10^8$ mm⁴ hesaplanmaktadır.

Buna göre kesitin eylemsizlik yarıçapı:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1279 \cdot 10^8}{472 \cdot 10^3}} = 520 \text{ mm}$$

$$\frac{l_0}{i} = \frac{16200}{520} = 31,1 < 35 \text{ ve } \frac{l_0}{i} > 14 \text{ olduğundan dolayı kritik normal kuvvet:}$$

$$N_{cr} = \frac{2 \cdot E_b \cdot I}{l_0^2} = \frac{2 \cdot 2,9 \cdot 10^4 \cdot 1279 \cdot 10^8}{15000^2} = 32969 \text{ kN}$$

$$\text{Buradan } \eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{2400}{32969}} = 1,078$$

Donatıların ağırlık merkezinin en yakın kenara olan mesafesi $a=83,33$ mm, yani $h_0 = h - a = 1416,67$ mm'dir. Buna göre elemanın sehimini de göz önüne alınarak hesaplanan dış merkezlik değeri:

$$e = e_0 \cdot \eta + \frac{h_0 - a}{2} = \frac{3400 \cdot 10^6 \cdot 1,078}{2400 \cdot 10^3} + 666 = 2193 \text{ mm}$$

Simetrik donatıya yerleşimine sahip I elemanlarda basınç bloğu derinliği kontrolü için:

$R_b \cdot b_f \cdot h_f = 19 \cdot 600 \cdot 215 = 2451 \cdot 10^3 \text{ N} = 2451 \text{ kN} > N = 2400 \text{ kN}$ olduğu için kesitin basınç bloğu elemanın gövdesinde konumludur. Buna göre Basınç bloğu derinliği

$$x = \frac{N - R_b \cdot A_{bv}}{R_b \cdot b} = \frac{2400 \cdot 10^3 - 19 \cdot 8600}{9 \cdot 20} = 201 \text{ mm}$$

SNIP 2.03.01-84 Tablo 18'den $\xi_R = 0,523$ bulunur. Hesaplanan x değeri $\xi_R \cdot h_0 = 0,523 \cdot 1416,76 = 740,96$ mm'den az olduğu için kesitin dayanımı aşağıda verildiği şekilde araştırılmalıdır:

$$Nr \leq R_b b x (h_0 - x / 2) + R_b A_{bv} (h_0 - h_f / 2) + R_{sc} A_s (h_0 - a)$$

Buna göre $5491,94 \text{ kN} > 2400 \cdot 2,193 = 5263,2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ olduğu için kesitin eğilme kapasitesi bu tür bir yükleme için yeterlidir.

Elemanın düzlem dışı eğilmesinin tahkiki:

$$I = \frac{2 \cdot 215 \cdot 600^3}{12} - \frac{1070 \cdot 200^3}{12} = 845 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{845 \cdot 10^7}{472 \cdot 10^3}} = 134 \text{ mm}$$

Buna göre kesitin narinliği $l_0/i = 10000/134 = 74,63$ düzlemsel eğilme flexibilitesine kıyasla çok büyük olduğu için tesadüfi bir dış merkezlik hesabı yapılmalıdır. Buna göre $e_a = \frac{600}{30}$ veya $\frac{10000}{600}$ veya 10 mm'den küçük olanı olarak kabul edilmelidir. Yani $e_a = 20$ mm kabul edilecektir. $l_0/h < 20$ mm olduğu için dikdörtgen kesitmiş gibi hesapta incelebilir. Bu noktada I kesitin gövdesindeki basınç bloğu ihmal

edilmektedir. Yani $b = 2 \cdot 215 = 430 \text{ mm}$ 'dir. Tablolarda bulunan donatı alanı $6\Phi 32$ $A_{s,int} = 4826 \text{ mm}^2$ bulunmalıdır. Buna göre $A_{s,int}/A_{s,tot}$ 'ün 3'de biri ne eşit veya küçük olduğu için betonarme kesit hesabında şartname açıklama metninde verilen $\phi_{sb} = 0,724$ alınacaktır. Buna göre $\alpha_s = 0,724 > 0,5$ bulunacaktır. Yani $\phi = \phi_{sb} = 0,724$ alınabilir.

Buna göre,

$$\phi(R_b \cdot A + R_{sc} \cdot A_{s,tot}) = 0,724(19 \cdot 430 \cdot 600 + 365 \cdot 4826 \cdot 2) = 6099 > N = 2500 \text{ kN}$$

Kesit gerekli şartları sağlamaktadır.

Örnek Problem 3: Kısa Konsol

Kısa konsolun yüklemeye maruz bölümünün uzunluğu $l_{sub,f} = 300 \text{ mm}$, konsolun genişliği $b = 400 \text{ mm}$, gövde yüksekliği $h = 2 \cdot l_1 = 800 \text{ mm}$ 'dir. Konsol B25 sınıfı betondan ($R_b = 13 \text{ MPa}$, $R_{bt} = 0,95 \text{ MPa}$, $\gamma_{b2} = 0,9$, $E_b = 27 \cdot 10^3 \text{ MPa}$) ve A-3 ($R_s = 365 \text{ MPa}$) boyuna donatıdn imal edilmiştir. Kısa konsola etki eden yük $Q = 750 \text{ kN}$ 'dur. Buna göre kısa konsolun kesme dayanımını tahkik ediniz ve boyuna donatı ve etriye alanlarını tarif ediniz.

Rus Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$h_{01} = h - a = 800 - 30 = 770 \text{ mm} \text{ bulunmaktadır.}$$

Konsolun kesme dayanımının araştırılması için,

$$3,5R_{bt}bh_0 = 3,5 \cdot 0,95 \cdot 400 \cdot 770 = 1024,1 \text{ kN} > Q = 750 \text{ kN}$$

$$2,5R_{bt}bh_0 = 2,5 \cdot 0,95 \cdot 400 \cdot 770 = 731,5 \text{ kN} > Q = 750 \text{ kN} \text{ olduğuna göre konsolun dayanımı:}$$

$$l_{sup} = 2 / 3 \cdot l_{sub,f} = 600 / 3 = 200 \text{ mm}$$

Buna göre etriyeler arası mesafe $s_w = 150 \text{ mm}$ seçilirse, kontrol yapıldığı takdirde:

$$s_w = 150 \text{ mm} < \frac{h}{4} = \frac{800}{4} = 200 \text{ mm}$$

Buna göre 2 adet 10 mm çaplı $A_{sw} = 157 \text{ mm}^2$ seçilirse

$$\mu = \frac{A_s}{bs_w} = \frac{157}{400 \cdot 150} = 0,00262$$

$$\sin^2 \theta = \frac{h_0^2}{h_0^2 + l_1^2} = \frac{770}{770^2 + 400^2} = 0,8287$$

Buna göre kesme tahkiki yapılacak olunursa

$$0,8R_b b l_{sup} \sin^2 \theta (1 + 5\alpha\mu_w) = 0,8 \cdot 13 \cdot 400 \cdot 200 \cdot 0,8287 \cdot (1 + 5 \cdot 7,4 \cdot 2,62 \cdot 10^{-3}) = 756kN > Q = 750kN$$

Boyuna donatı alanı hesaplanması için:

$$A_s = \frac{Q l_1}{h_0 R_s} = \frac{750 \cdot 10^3 \cdot 400}{770 \cdot 365} = 1067 mm^2$$

Buna göre 3Φ22 (A_s=1140mm²) yeterli olacaktır.

Türk Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$b = 400mm \quad h = 800mm \quad l = 300mm \quad Q = 750kN$$

$$d' = d - a = 800 - 30 = 770mm$$

Asal basınç gerilmeleri nedeniyle gövde betonunun ezilmemesi için kesme kuvveti

$$\text{üst sınırı: } V_{d(maks.)} \leq 0,22 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_d = 750kN$$

$$V_{d(maks.)} = 0,22 \cdot 13 \cdot 400 \cdot 770 \cdot 10^{-3} = 880kN \quad V_d < V_{d(maks.)} \text{ kesit yeterlidir.}$$

$$A_s = \frac{V_d \cdot a_v + H_d \cdot (h - d)}{0,8 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{750 \cdot 10^3 \cdot 400}{0,8 \cdot 365 \cdot 770} = 1334,28 mm^2$$

Kesme – Sürtünme Donatısı

$$A_{wf} = \frac{V_d}{f_{yd} \cdot \mu} = \frac{750 \cdot 10^3}{365 \cdot 1,4} = 1467,71 mm^2 \quad (\text{Birdöküm üretim } (\mu = 1,4))$$

$$A_{st} \geq \begin{cases} \frac{2}{3} \cdot A_{wf} + A_n = \frac{2}{3} \cdot 1467,71 + 0 = 978,48 mm^2 \\ 0,05 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot d = 0,05 \cdot \frac{13}{365} \cdot 400 \cdot 770 = 548,49 mm^2 \end{cases} \quad \text{koşulları sağlanıyor.}$$

Seçilen Donatı : 2 Φ 22 + 2 Φ 22 (1521 mm²)

Örnek Problem 4: Dikdörtgen Kesite Sahip Betonarme Bir Elemanın Donatı Tahkiki

Yüksekliği $h=750$ mm, kesit eni $b=250$ mm ve alt donatı beton paspayı kalınlığı $a=50$ mm, üst donatı beton paspayı kalınlığı $a'=30$ mm olarak kabul edilen dikdörtgen bir kesit dikkate alınmaktadır. Eleman kesitine $M= 600$ kNm'lik bir eğilme momenti etki etmektedir. Betonarme elemanın beton sınıfı B25 ($R_b= 13$ MPa) ve donatı sınıfı A3($R_s=R_{sc}= 365$ MPa) seçilmektedir. Çekme donatısı alanı $A_s=3217\text{mm}^2$ ($4\Phi 32$) ve basınç donatısı alanı $A_s'=452\text{mm}^2$ ($4\Phi 12$) olduğuna göre kesit kapasitesini tahkik ediniz.

Rus Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

Burada $h_0= 750 - 50 = 700$ mm'dir

Basınç bloğu derinliği aşağıda verildiği şekilde incelenmektedir.

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_s'}{R_b \cdot b} = \frac{365 \cdot (3217 - 452)}{13 \cdot 250} = 310,5\text{mm}$$

Buna göre SNIP 2.03.01-84 Tablo18'e göre $\xi_R=0,604$, $\alpha_R=0,422$ 'dir.

Yani $x = 310,53\text{mm} < \xi_R \cdot h_0 = 0,604 \cdot 700 = 422\text{mm}$ olduğu için kesit tahkiki aşağıda verildiği üzere incelenmelidir.

$$M = 600\text{kNm} \leq R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) + R_{sc} \cdot A_s' (h_0 - a')$$

$$600\text{kNm} \leq 13 \cdot 250 \cdot 310,5 \cdot (700 - \frac{310,5}{2}) + 365 \cdot 452(700 - 30) = 660 \text{ olduğuna göre}$$

kesit donatısı yeterli ve şartnameye uygundur.

Türk Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$\text{Çekme Donatısı Oranı} : \rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{3217}{250 \cdot 700} = 0,018$$

$$\text{Basınç Donatısı Oranı} : \rho' = \frac{A_s'}{b_w \cdot d} = \frac{452}{250 \cdot 700} = 0,00258$$

$$\rho_{\min} = 0,8 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0,8 \cdot \frac{1}{365} = 0,0022 \quad \rho > \rho_{\min}$$

$$\rho_b = 0,85 \cdot k_1 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_{yd}} \right) = 0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{13}{365} \cdot \left(\frac{600}{600 + 365} \right) = 0,016$$

Çekme donatısı için akma kontrolü :

$$\rho - \rho' = 0,01542 < \rho_b \quad \text{çekme donatısı akıyor.}$$

Basınç donatısı akma kontrolü :

$$\sigma'_s = 600 \cdot \left(1 - k_1 \cdot \frac{d'}{a} \right)$$

Taşıma Gücü Durumunda Kesitte Kuvvet Denge Denklemi

$$\Sigma F_{basınç} = \Sigma F_{çekme}$$

$$0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot a + A_s' \cdot \sigma_s' = A_s \cdot \sigma_s$$

$$0,85 \cdot 13 \cdot 300 \cdot a + 452 \cdot \left(1 - 0,85 \cdot \frac{30}{a} \right) = 3217 \cdot 365 \quad a = 279,85 \text{ mm}$$

$$\sigma'_s = 600 \cdot \left(1 - k_1 \cdot \frac{d'}{a} \right) = 600 \cdot \left(1 - 0,85 \cdot \frac{30}{279,85} \right) = 545,33 \text{ mPa} > 365 \text{ mPa}$$

Kiriş taşıma gücüne ulaştığında basınç donatısı gerilmesi akma dayanımına eşittir.

Yeniden basınç bloğu derinliği hesaplanmalıdır.

$$\Sigma F_{basınç} = \Sigma F_{çekme}$$

$$0,85 \cdot 13 \cdot 250 \cdot a + 452 \cdot 365 = 3217 \cdot 365 \quad a = 365,33 \text{ mm}$$

Taşıma Gücü Durumunda Kesitte Moment Denge Denklemi

$$M_r = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot a \cdot (d - 0,5 \cdot a) + A_s' \cdot \sigma_s' \cdot (d - d')$$

$$= [0,85 \cdot 13 \cdot 250 \cdot 365,33 \cdot (700 - 0,5 \cdot 365,33) + 452 \cdot 365 \cdot (700 - 30)] \cdot 10^{-6} = 632,64 \text{ kNm}$$

$$M_d = 600 \text{ kNm} < M_r = 632,64 \text{ kNm} \quad \text{Kesit yeterli ve şartnameye uygundur.}$$

Örnek Problem 5: Dairesel Kolon Hesabı

Çapı $D = 500$ mm olan, beton paspayı kalınlığı $a = 35$ mm seçilen B25 beton sınıfından ($R_b=13\text{MPa}$, $\gamma_{b2}=0,9$ ve $E_b=2,7 \cdot 10^4\text{MPa}$) ve A-3 donatı tipinden ($R_s=R_{sc}=365$ MPa ve $E_s=2 \cdot 10^5\text{MPa}$) imal edilmiş olan kesitteki toplam donatı alanı $A_{s,\text{tot}}=3769,11\text{mm}^2$ 'dir ($12\Phi 20$). Elemanın etkili boyu $l_0=6\text{m}$ 'dir. Ölü ve uzun süreli yükleme durumu $N_l=400\text{kN}$, $M_l=100\text{kNm}$ ve bütün yükleme durumları için $N=600\text{kN}$ ve $M=150\text{kNm}$ olduğuna göre, gerekli kontrolleri yapınız.

Rus Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

Verilen kesit boyutlarına göre toplam alan $A = \frac{\pi D^2}{4} = 196350\text{mm}^2$ 'dır.

Kesitin eylemsizlik yarıçapı $i = \frac{D}{4} = 125\text{mm}$ olduğuna göre:

Elemanın narinlik oranı $\frac{l_0}{i} = 40 > 14$ olduğu için hesaplar elemanın deformasyonunu da göz önüne alarak yapılmalıdır. Efektif yarıçap

$$r_s = \frac{D}{2} - a = 215\text{mm}$$

$$\varphi_1 = 1 + \beta \cdot \frac{M_{l1}}{M_1} = 1 + 1 \frac{100 + 400 \cdot 0,215}{150 + 600 \cdot 0,215} = 1,67$$

$$\frac{e_0}{h} = \frac{250}{500} = 0,5 > \delta_{e,\min} = 0,5 - 0,01 \frac{l_0}{h} - 0,01 R_b$$

$\delta_e = 0,5$ alınmalıdır.

Buna göre:

$$N_{cr} = \frac{6,4 \cdot E_b}{l_0^2} \left[\frac{I}{\varphi_1 \left(\frac{0,11}{0,1 + \delta_e} + 0,1 \right)} + \alpha \cdot I_s \right] = \frac{6,4 \cdot 2,7 \cdot 10^4}{6000^2} \left[\frac{3068 \cdot 10^6}{1,67 \left(\frac{0,11}{0,1 + 0,5} + 0,1 \right)} + 7,4 \cdot 87 \cdot 10^6 \right] = 5588\text{kN}$$

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{600}{5587,92}} = 1,12$$

$$\alpha_n = \frac{N}{R_b A} = \frac{600 \cdot 10^3}{13 \cdot 196350} = 0,235$$

$$\alpha_s = \frac{R_s A_{s,tot}}{R_b A} = 0,54$$

Rus Betonarme Şartname İzahnamesi Şekil 41'e göre $\alpha_m = 0,51$ bulunacaktır. Buna göre:

$\alpha_m R_b A_r = 0,51 \cdot 13 \cdot 196350 \cdot 200 = 260kNm > Ne \quad \eta = 168kNm$ olduğu için kesit yeterli taşıma kapasitesine sahiptir.

Türk Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$a = 35mm \quad A_s = 3769,11mm^2$$

Hesaba esas tesirler : $N = 600kN \quad M = 150kNm$

$$\text{Brüt kesit alanı} : A_c = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 196350mm^2$$

$$\text{Narinlik Oranı} : \frac{l_k}{i} = \frac{6000 - 2.500}{125} = 40 < 100$$

TS500 Madde 7.62'de verilen Yaklaşık Yöntem kullanılabilir.

(Moment Büyütme Yöntemi)

Minimum Dışmerkezlik Koşulu : $e_{min} = 15mm + 0,03 \cdot 500 = 30mm$

En küçük moment : $M_{min} = N_d \cdot e_{min} = 600 \cdot 0,03 = 18kNm < 150 kNm$

$$I = \frac{\pi \cdot R^4}{4} = 0,0491m^4 \quad EI = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + R_m} = \frac{0,4 \cdot 27 \cdot 10^7 \cdot \frac{\pi \cdot 0,5^4}{4}}{1 + 0,67} = 317451,35$$

$$N_k = \frac{\pi \cdot EI}{l_k^2} = 27702,86kN \quad \text{Kolon burkulma yükü}$$

$$\beta = \frac{1}{1 - 1,3 \cdot \frac{600}{27702,86}} = 1,04 \quad M_r = \beta \cdot M = 1,04 \cdot 150 = 156kNm$$

Eksenel kuvvete göre boyutların kontrol edilmesi:

$$N_d = N_{dm} < 0,5 \cdot A_c \cdot f_{ck}$$

$600.10^3 < 0,5.196350.20 = 1963,5.10^3$ olduğundan eksenel kuvvet, yönetmelik koşullarını sağlamaktadır.

Kullanılacak diyagram için boyutsuz oranların belirlenmesi :

$$n = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{600.10^3}{196350.13} \cong 0,24$$

$$m = \frac{M_d}{A_c \cdot d_0 \cdot f_{cd}} = \frac{156.10^3}{196350.500.13} \cong 0,20$$

$\Psi \cong 0,48$ okunur. Kesitteki boyuna donatı alanı :

$$\rho_t = \psi \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,48 \cdot \frac{13}{365} = 0,017$$

$$A_{st} = \rho_t \cdot A_c = 0,017.196350 = 3337,95 \text{ mm}^2 < 3769,11 \text{ mm}^2$$

Mevcut donatı miktarı gereken donatı miktarından büyük olduğundan kesit uygundur.

Örnek Problem 6: Simetrik Donatılı Dikdörtgen Kesitli Kolon Hesabı

Bu soruda kesit eni ve boyu $b=h=500$ mm, beton paspayı kalınlığı $a=a'=40$ mm verilen rijit çerçeve kolonu incelenecektir. Beton tipi B25 ($E_b=2,7 \cdot 10^4 \text{ MPa}$) ve donatı sınıfı A-3 ise ($R_s=R_{sc}= 365 \text{ MPa}$, $E_s=2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $A_s=A_s'= 1232 \text{ mm}^2$ -2Φ28) kesite kısa ve uzun süreli yüklerin etki etmesi durumunu ($N_l=700 \text{ kN}$ ve $M_l=150 \text{ kNm}$) ve rüzgâr etkisi durumunu ($N_{sh}=65 \text{ kN}$ ve $M_{sh}=80 \text{ kNm}$) inceleyiniz. Kesit etkili boyu $l_0=8 \text{ m}$ 'dir.

Rus Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

Buna göre $h_0 = 500 - 40 = 460$ mm'dir.

SNIP 2.03.01-84: Rus betonarme şartnamesi bir yapı elemanına farklı kuvvet gruplarının etki etmesi durumunda hesabın her grup için ayrı ayrı incelenmesine gerekli olup olmadığını incelemek üzere aşağıda verilen tahkiki yapmaktadır. Buna göre bütün etkilerden meydana gelecek toplam kuvvetler $N = 700 + 65 = 765 \text{ kN}$ ve $M = 150 + 80 = 230 \text{ kNm}$ 'dir. Sıra ile kısa süreli etkinin (rüzgâr) hesaba katıldığı ve katılmadığı çekme donatısına göre dış momentler M_1 ve M_{11} :

$$M_2 = M_1 = M + N \frac{h_0 - a'}{2} = 230 + 765 \frac{0,46 - 0,04}{2} = 390,4 kNm$$

$$M_1 = M_{1l} = M_l + N_l \frac{h_0 - a'}{2} = 150 + 700 \frac{0,46 - 0,04}{2} = 297 kNm$$

Buradan $0,82 \cdot M_2 = 0,82 \cdot 390,4 = 320,16 kNm > M_1 = 297 kNm$ olduğuna göre hesap bütün yüklerin etki etmesi hali için incelenmelidir. Yani güvenlik katsayısı $\gamma_{b2}=1,1$ alınmalıdır. Buna göre beton hesap basınç dayanımı $R_b=16 MPa$ 'dır. Aksi bir durumda, yani $0,82 \cdot M_2 > M_1$ şartının sağlanmadığı hallerde, hesap her yükleme durumu için ayrı ayrı tekrarlanmalı, ve hesap sonucu elde edilecek donatı alanlarından büyük olan seçilmesi gerekmektedir.

Kolon narinlik oranı $\frac{l_0}{h} = \frac{8}{0,5} = 16 > 10$ olduğu için hesaplarda kolonda meydana gelecek deformasyonlar göz ardı edilmemelidir. Buna göre:

$$N_{cr} = \frac{6,4 \cdot E_b}{l_0^2} \left[\frac{I}{\varphi_l} \left(\frac{0,11}{0,1 + \delta_e} + 0,1 \right) + \alpha \cdot I_s \right] \text{ şartı sağlanmalıdır. Dikdörtgen kesitler}$$

için bu formül:

$$N_{cr} = \frac{1,6 \cdot E_b \cdot b \cdot h}{(l_0 / h)^2} \left[\frac{\frac{0,11}{0,1 + \delta_e} + 0,1}{3 \cdot \varphi_l} + \mu \cdot \alpha \cdot \left(\frac{h_0 - a'}{h} \right)^2 \right]$$

Buna göre, NAB için $\beta = 1,0$ olmak üzere

$$\varphi_1 = 1 + \beta \cdot \frac{M_{1l}}{M_1} = 1 + 1 \cdot \frac{297}{390,4} = 1,76$$

$$\mu \cdot \alpha = \frac{A_s + A'_s}{b \cdot h} \cdot \frac{E_s}{E_b} = \frac{2 \cdot 1232}{500^2} \cdot \frac{2 \cdot 10^5}{2,7 \cdot 10^4} = 0,073$$

Kesit tahkikinde tesadüfi dışmerkezlik dikkate alınıp alınmayacağı kararı için:

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{230 \cdot 10^6}{765 \cdot 10^3} = 300 mm > e_a = \frac{h}{30} = 167 mm \text{ olduğuna göre tesadüfi dışmerkezlik}$$

dikkate alınmalıdır.

$$\frac{e_0}{h} = \frac{300}{500} = 0,6 > \delta_{e,\min} = 0,5 - 0,01 \frac{l_0}{h} - 0,01 R_b = 0,8 \quad \text{olduğuna göre } \delta_e = 0,6$$

alınmalıdır.

Buna göre

$$N_{cr} = \frac{1,6 \cdot 2,7 \cdot 10^4 \cdot 500^2}{(16)^2} \left[\frac{\frac{0,11}{0,1+0,6} + 0,1}{3 \cdot 1,76} + 0,073 \left(\frac{460-40}{500} \right)^2 \right] = 4209,9 kN$$

$$\text{Buradan } \eta = \frac{1}{1 - \frac{765}{4209,93}} = 1,22 \quad \text{ve} \quad e = e_0 \cdot \eta + \frac{h_0 - a'}{2} = 0,575m \quad \text{elde edilmelidir..}$$

Buna göre kesit basınç bloğu derinliği:

$$x = \frac{N}{R_b \cdot b} = \frac{765 \cdot 10^3}{16 \cdot 500} = 95,625 \quad \text{ve} \quad \xi_R = 0,55 \quad \text{olduğuna göre}$$

$$x = 95,6mm < \xi_R \cdot h_0 = 0,55 \cdot 460 = 253mm$$

Buna göre kesit kapasitesi tahkiki:

$$R_b \cdot b \cdot x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} \cdot A_s' (h_0 - a') = 16 \cdot 500 \cdot 95,6 (460 - 0,5 \cdot 95,6) + 365 \cdot 1232 (460 - 40) = 504 kNm$$

Yani $504 kNm > N \cdot e = 765 \cdot 0,55 = 440,64 kNm$ olduğuna göre kesit şartnamenin öngördüğü şartları sağlamaktadır.

Türk Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$b = 300mm \quad h = 500mm \quad a = a' = 40mm$$

$$\text{Hesaba Esas Tesirler : } N = 800 kN \quad M = 250 kNm$$

$$h_0 = 500 - 25 = 475mm$$

$$i = \sqrt{\frac{I_c}{A}} = \sqrt{\frac{b \cdot h^3 / 12}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{0,3^2}{12}} = 0,087 \quad \frac{l_k}{i} = 55,56 \quad \text{Narin Kolon}$$

$$\text{Sünme Oranı : } R_m = \frac{N_{gd}}{N_d} = \frac{700}{765} = 0,91$$

$$EI = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + R_m} = \frac{0,4 \cdot 2,7 \cdot 10^7 \cdot 0,5 \cdot 0,5^3 / 12}{1 + 0,91} = 29450,26 kNm^2$$

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2} = \frac{\pi^2 \cdot 29450,26}{8^2} = 4541,60 \text{ kN} \quad (\text{kolon burkulma yükü})$$

Rüzgarın da bulunduğu temel yük birleşimi için :

$$\beta = \frac{1}{1 - 1,3 \cdot \frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1 - 1,3 \cdot \frac{765}{4541,60}} = 1,280$$

Temel yük birleşimi için :

$$\beta = \frac{1}{1 - 1,3 \cdot \frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1 - 1,3 \cdot \frac{700}{4541,60}} = 1,250$$

Değeri büyük olan β (moment büyütme katsayısı) ile hesaba devam edilecek olursa; $M_r = \beta \cdot M_2$

Minimum dışmerkezlilik : $e_{\min} = 15 \text{ mm} + 0,03 \cdot h = 15 + 0,03 \cdot 500 = 30 \text{ mm}$

En küçük moment : $M_{\min} = N_d \cdot e_{\min} = 700 \cdot 0,03 = 21 \text{ kNm} < M_1, M_2$

$$M_r = 1,28 \cdot 230 = 294,4 \text{ kNm}$$

$$A_c = b \cdot h = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ m}^2$$

$$\rho_t = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{2,1232}{500 \cdot 500} = 0,00986 \quad \omega_t = \rho_t \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,00986 \cdot \frac{365}{13} = 0,277$$

$$\frac{z_s}{h} = \frac{h - 2d'}{h} = \frac{500 - 2 \cdot 40}{500} = 0,84 \quad \lambda = 0 \quad (\text{Ara donatı yok.})$$

$$n = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{765 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 0,5 \cdot 13} = 0,24$$

Hesaplanan 'n' değeri için Karşılıklı Etki Diyagramından okuma yapılacak olursa;

$$m = 0,14 = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \quad M_d = 0,14 \cdot 500 \cdot 500^2 \cdot 13 \cdot 10^{-6} = 227,5 \text{ kNm}$$

Eleman tarif edilen boyut ve malzeme koşullarıyla, verilen yükler altında yetersizdir.

Örnek Problem 7: Simetrik Donatılı Dikdörtgen Kesitli Kolon Hesabı

Kesit eni ve boyu $b=300$ mm $h=500$ mm, beton paspayı kalınlığı $a=a'=25$ mm verilen rijit çerçeve kolonu incelenecektir. Beton tipi B25 ($E_b=2,7 \cdot 10^4$ MPa) ve donatı sınıfı A-3 ise ($R_s=R_{sc}= 365$ MPa, $E_s=2 \cdot 10^5$ MPa, $A_s=A_s'= 1232$ mm²-2Φ28) kesite kısa ve uzun süreli yüklerin etki etmesi durumunu ($N_l=600$ kN ve $M_l=150$ kNm) ve rüzgâr etkisi durumunu ($N_{sh}=200$ kN ve $M_{sh}=100$ kNm) inceleyiniz. Kesit etkili boyu $l_0=8$ m'dir.

Rus Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$h_0 = 500 - 25 = 475 \text{ mm'dir.}$$

Rus betonarme şartnamesi bir yapı elemanına farklı kuvvet gruplarının etki etmesi durumunda hesabın her grup için ayrı ayrı incelenmesine gerekli olup olmadığını incelemek üzere aşağıda verilen tahkiki yapmaktadır. Buna göre bütün etkilerden meydana gelecek toplam kuvvetler $N = 500 + 200 = 700$ kN ve $M = 150 + 100 = 250$ kNm'dir. Sıra ile kısa süreli etkinin (rüzgâr) hesaba katıldığı ve katılmadığı çekme donatısına göre dış momentler M_1 ve M_{1l} :

$$M_2 = M_1 = M + N \frac{h_0 - a'}{2} = 250 + 700 \frac{0,475 - 0,025}{2} = 407,5 \text{ kNm}$$

$$M_{1l} = M_{1l} = M_l + N_l \frac{h_0 - a'}{2} = 150 + 500 \frac{0,475 - 0,025}{2} = 282,5 \text{ kNm}$$

Buradan $0,82 \cdot M_2 = 0,82 \cdot 407,5 = 334,15 \text{ kNm} > M_{1l} = 282,5 \text{ kNm}$ olduğuna göre hesap bütün yüklerin etki etmesi hali için incelenmelidir. Yani güvenlik katsayısı $\gamma_{b2}=1,1$ alınmalıdır. Buna göre beton hesap basınç dayanımı $R_b=16$ MPa'dır. Kolon narinlik oranı $\frac{l_0}{h} = \frac{8}{0,5} = 16 > 10$ olduğu için hesaplarda meydana gelecek deformasyonlar göz ardı edilmemelidir.

Buna göre, NAB için $\beta=1,0$ olmak üzere

$$\varphi_1 = 1 + \beta \cdot \frac{M_{1l}}{M_1} = 1 + \frac{282,5}{407,5} = 1,69$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{250 \cdot 10^6}{700 \cdot 10^3} = 357,14 \text{ mm} > e_a = \frac{h}{30} = 16,7 \text{ mm}$$

$$\frac{e_0}{h} = \frac{357,14}{500} = 0,71 > \delta_{e,\min} = 0,5 - 0,01 \frac{l_0}{h} - 0,01 R_b \text{ olduğuna göre } \delta_e = 0,715$$

alınmalıdır.

İlk yaklaşım için $\mu=0,01$ seçilirse

$$N_{cr} = \frac{1,6 \cdot 2,7 \cdot 10^4 \cdot 300 \cdot 500}{16^2} \left[\frac{\frac{0,11}{0,1+0,715} + 0,1}{3 \cdot 1,69} + 0,074 \left(\frac{475-25}{500} \right)^2 \right] = 2690,5 kN$$

$$\text{Buradan } \eta = \frac{1}{1 - \frac{700}{2690,51}} = 1,351 \text{ ve } e = e_0 \cdot \eta + \frac{h_0 - a'}{2} = 707 mm \text{ elde edilecektir.}$$

$$\alpha_n = \frac{N}{R_b b h_0} = \frac{700 \cdot 10^3}{16 \cdot 300 \cdot 475} = 0,307$$

$$\alpha_{m1} = \frac{Ne}{R_b b h_0^2} = \frac{700 \cdot 10^3 \cdot 707,7}{16 \cdot 300 \cdot 475^2} = 0,457$$

$$\delta = \frac{a'}{h_0} = \frac{25}{475} = 0,053$$

SNIP 2.03.01-84 Tablo18'den $\xi_R = 0,55$ bulunacaktır.

Buna göre $\alpha_n < \xi_R$ olduğuna göre simetrik donatı seçilmesi muhtemeldir. Yani

$$A_s = A'_s = \frac{R_b b h_0}{R_s} \cdot \frac{\alpha_{m1} - \xi(1 - \xi/2)}{1 - \delta} = \frac{16 \cdot 300 \cdot 475}{365} \cdot \frac{0,457 - 0,307(1 - 0,30/2)}{1 - 0,053} = 1300 mm^2$$

$$\mu = \frac{2A_s}{bh} = \frac{2 \cdot 1300}{300 \cdot 500} = 0,014 > \mu_{kabul} = 0,01 \text{ olduğundan dolayı kritik normal kuvvet}$$

hesabında yapılan μ kabulü geçersizdir. Daha iyi bir yaklaşım için $\mu = 0,013$ kabulü yapıldığı takdirde,

$$N_{cr} = \frac{1,6 \cdot 2,7 \cdot 10^4 \cdot 300 \cdot 500}{16^2} \left[\frac{\frac{0,11}{0,1+0,715} + 0,1}{3 \cdot 1,69} + 0,012 \cdot 7,4 \left(\frac{475-25}{500} \right)^2 \right] = 2993,8 kN$$

Buradan $\eta = \frac{1}{1 - \frac{700}{2993,8}} = 1,305$ ve $e = e_0 \cdot \eta + \frac{h_0 - a}{2} = 691mm$ elde edilmelidir.

$$\alpha_{m1} = \frac{Ne}{R_b b h_0^2} = \frac{700 \cdot 10^3 \cdot 690,89}{16 \cdot 300 \cdot 475^2} = 0,446$$

$$A_s = A_s' = \frac{R_b b h_0}{R_s} \cdot \frac{\alpha_{m1} - \xi(1 - \xi/2)}{1 - \delta} = \frac{16 \cdot 300 \cdot 475}{365} \cdot \frac{0,446 - 0,307(1 - 0,307/2)}{1 - 0,053} = 1227,7mm^2$$

Kesit için 2Φ28 ($A_s=1231,5$) yeterli olmalıdır.

Türk Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$b = 300mm \quad h = 500mm \quad a = a' = 25mm$$

Hesaba Esas Tesirler : $N = 800 \text{ kN}$ $M = 250 \text{ kNm}$

$$h_0 = 500 - 25 = 475 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I_c}{A}} = \sqrt{\frac{b \cdot h^3 / 12}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{0,3^2}{12}} = 0,087 \quad \frac{l_k}{i} = 91,95$$

$$\text{Sünme Oranı} : R_m = \frac{N_{gd}}{N_d} = \frac{600}{800} = 0,75$$

$$EI = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + R_m} = \frac{0,4 \cdot 27 \cdot 10^7 \cdot 0,5 \cdot 0,3^3 / 12}{1 + 0,75} = 23142,86 kNm^2$$

$$N_k = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l_k^2} = \frac{\pi^2 \cdot 23146,86}{8^2} = 3568,92 kN \quad (\text{kolon burkulma yükü})$$

Rüzgarın da bulunduğu temel yük birleşimi için :

$$\beta = \frac{1}{1 - 1,3 \cdot \frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1 - 1,3 \cdot \frac{800}{3568,92}} = 1,41$$

$$M_r = \beta \cdot M_2$$

$$\text{Minimum dışmerkezlik} : e_{\min} = 15 \text{ mm} + 0,03 \cdot h = 15 + 0,03 \cdot 300 = 24 \text{ mm}$$

$$\text{En küçük moment} : M_{\min} = N_d \cdot e_{\min} = 800 \cdot 0,024 = 19,2 \text{ kNm} < M_1, M_2$$

$$M_r = 1,41 \cdot 250 = 352,5 \text{ kNm}$$

$$A_c = b \cdot h = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15 \text{ m}^2$$

$$\rho_t = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{2.1232}{500.300} = 0,028 \quad \omega_t = \rho_t \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,028 \cdot \frac{365}{13} = 0,80$$

$$\frac{z_s}{h} = \frac{h - 2d'}{h} = \frac{500 - 2.25}{300} = 0,83 \quad \lambda = 0 \text{ (Ara donatı yok.)}$$

$$n = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{800.10^3}{0,5.0,3.13} = 0,41$$

Hesaplanan 'n' değeri için Karşılıklı Etki Diyagramından okuma yapılacak olursa;

$$m = 0,405 = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \quad M_d = 0,405.500.300^2.13.10^{-6} = 236,93 \text{ kNm}$$

Eleman tarif edilen boyut ve malzeme koşullarıyla, verilen yükler altında yetersizdir.

Örnek Problem 8: Simetrik Donatılı Dikdörtgen Kesitli Kolon Hesabı-2

Kesit eni ve boyu birbirine eşit, $b=h=500$ mm, beton paspayı kalınlığı $a=a'=40$ mm verilen rijit çerçeve kolonu incelenecektir. Beton tipi B20 ($E_b=2,4 \cdot 10^4$ MPa) ve donatı sınıfı A-3 ise ($R_s=R_{sc}= 365$ MPa, $E_s=2 \cdot 10^5$ MPa) kesite kısa ve uzun süreli yüklerin etki etmesi durumunu ($N_l=2200$ kN ve $M_l=260$ kNm) ve rüzgâr etkisi durumunu ($N_{sh}=0$ kN ve $M_{sh}=55$ kNm) inceleyiniz, kesitin donatı tayinini yapınız. Kesit etkili boyu $l_0=6$ m'dir.

Rus Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$h_0 = 500 - 40 = 460 \text{ mm' dir.}$$

$$M = M_l + M_{sh} = 260 + 55 = 315 \text{ kNm}$$

$$N = N_l = 2200 \text{ kN}$$

$$M_1 = M_{ll} = M_l + N_l \frac{h_0 - a'}{2} = 260 + 2200 \frac{0,46 - 0,04}{2} = 722 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M_1 = M + N \frac{h_0 - a'}{2} = 315 + 2200 \frac{0,46 - 0,04}{2} = 777 \text{ kNm}$$

Buradan $0,82 \cdot M_2 = 0,82 \cdot 777 = 637,4 \text{ kNm} < M_1 = 722 \text{ kNm}$ olduğuna göre hesapher iki durum için ayrı ayrı incelenmelidir. Yani sabit veya uzun süreli yükleme durumu için güvenlik katsayısı $\gamma_{b2}=0,9$ alınmalıdır. Buna göre beton hesap basınç dayanımı $R_b=10,5$ MPa alınmalıdır. Ancak rüzgâr etkisinin araştırıldığı durumda $\gamma_{b2}=1,1$ ve $R_b=12,5$ MPa alınmalıdır.

İlk durum, sabit veya uzun süreli yükleme durumu, incelenecek olunursa

Kolonnun narinlik oranı $\frac{l_0}{h} = \frac{2}{0,5} = 12 > 4$ olduğu için hesaplarda kolonda meydana

gelecek deformasyonlar göz ardı edilemez.

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{260 \cdot 10^6}{220 \cdot 10^3} = 118 \text{ mm} > e_a = \frac{500}{30} = 16,7 \text{ mm} \quad \text{olduğuna göre tesadüfi}$$

$$\text{dışmerkezlik } e = e_0 + \frac{(h_0 + a')}{2} = 118 + 110 = 328 \text{ mm alınmalıdır.}$$

Gerekli donatı alanının hesabı için:

$$\alpha_n = \frac{N}{R_b b h_0} = \frac{2200 \cdot 10^3}{10,5 \cdot 500 \cdot 460} = 0,91$$

$$\alpha_{m1} = \frac{Ne}{R_b b h_0^2} = \frac{2200 \cdot 10^3 \cdot 328}{10,5 \cdot 500 \cdot 460^2} = 0,649$$

$$\delta = \frac{a}{h_0} = \frac{40}{460} = 0,087 \quad \text{ve SNIP 2.03.01-84 Tablo18'den } \xi_R = 0,628 \text{ bulunmalıdır.}$$

Buna göre $\alpha_n = 0,91 > \xi_R = 0,604$ olduğuna göre simetrik donatı seçilmesi muhtemeldir. Yani

$$\alpha_{s1} = \frac{\alpha_{m1} - \alpha_n (1 - \alpha_n / 2)}{1 - \delta} = \frac{0,649 - 0,91(1 - 0,91 / 2)}{1 - 0,087} = 0,167$$

$$\xi = \frac{\alpha_n (1 - \xi_R) + 2 \alpha_n \xi_R}{1 - \xi_R + 2 \alpha_s} = \frac{0,91(1 - 0,628) + 2 \cdot 0,167 \cdot 0,628}{1 - 0,628 + 2 \cdot 0,167} = 0,777$$

$$A_s = A_s' = \frac{R_b b h_0}{R_s} \cdot \frac{\alpha_{m1} - \xi(1 - \xi / 2)}{1 - \delta} = \frac{10,5 \cdot 500 \cdot 460}{365} \cdot \frac{0,649 - 0,777(1 - 0,777 / 2)}{1 - 0,087} = 1260 \text{ mm}^2$$

İkinci durum, yani rüzgâr etkisi, incelendiği taktirde,

$$\mu = \frac{2A_s}{bh} = \frac{2 \cdot 1300}{500^2} = 0,0104$$

$$\varphi_1 = 1 + \beta \cdot \frac{M_{1l}}{M_1} = 1 + 1 \cdot \frac{722}{777} = 1,93$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{315 \cdot 10^6}{2200 \cdot 10^3} = 143 \text{ mm}$$

$$\frac{e_0}{h} = \frac{143}{500} = 0,286 > \delta_{e,\min} = 0,5 - 0,01 \frac{l_0}{h} - 0,01 R_b = 0,255 \text{ olduğuna göre } \delta_e = 0,286$$

alınmalıdır.

Buna göre

$$N_{cr} = \frac{1,6 \cdot 2,4 \cdot 10^4 \cdot 500^2}{12^2} \left[\frac{\frac{0,11}{0,1 + 0,286} + 0,1}{3 \cdot 1,93} + 0,0768 \left(\frac{460 - 40}{500} \right)^2 \right] = 6947 \text{ kN}$$

$$\text{Buradan } \eta = \frac{1}{1 - \frac{2200}{6949}} = 1,463 \text{ elde edilecektir.}$$

Şartname çok katlı rijit çerçevelerde rüzgâr yüklerinin meydana getireceği momentlerin η_v ve η_h katsayıları ile artırılmasını talep etmektedir. Düşey bir etki olmadığı için $\eta_v=1,0$ alınmalıdır. Yatay eksede doğrultusndaki momentler ise $\eta=\eta_h=1,463$ katsayısı ile arttırılacaktır. Yani:

$$M = M_v \cdot \eta_v + M_h \cdot \eta_h = 260 \cdot 1 + 55 \cdot 1,463 = 340,5 kNm \text{ 'dir.}$$

$$e = e_0 \cdot \eta + \frac{h_0 - a'}{2} = 364 mm$$

$$\alpha_n = \frac{N}{R_b b h_0} = \frac{2200 \cdot 10^3}{12,5 \cdot 500 \cdot 460} = 0,765$$

$$\alpha_{m1} = \frac{Ne}{R_b b h_0^2} = \frac{2200 \cdot 10^3 \cdot 328}{12,5 \cdot 500 \cdot 460^2} = 0,607$$

$$\alpha_n = 0,765 > \xi_R = 0,55 \text{ olduğuna göre}$$

$$\alpha_{s1} = \frac{\alpha_{m1} - \alpha_n (1 - \alpha_n / 2)}{1 - \delta} = 0,147$$

$$\xi = \frac{\alpha_n (1 - \xi_R) + 2 \alpha_n \xi_R}{1 - \xi_R + 2 \alpha_s} = 0,68$$

$$A_s = A_s' = \frac{R_b b h_0}{R_s} \cdot \frac{\alpha_{m1} - \xi (1 - \xi / 2)}{1 - \delta} = \frac{12,5 \cdot 500 \cdot 460}{365} \cdot \frac{0,607 - 0,68 (1 - 0,68 / 2)}{1 - 0,087} = 1313 mm^2$$

İkinci durum için hesaplanan donatı alanı ilkinden büyük olduğu için 4Φ22 (1520mm²) seçilmesi uygundur.

Türk Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$a = a' = 40 mm$$

$$h_0 = 500 - 40 = 460 mm$$

$$\text{Hesaba Esas Tesirler : } N = 2200 kN \quad M = 315 kNm$$

$$i = \sqrt{\frac{I_c}{A}} = \sqrt{\frac{b \cdot h^3 / 12}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{0,5^2}{12}} = 0,144 \quad \frac{l_k}{i} = 41,67$$

Sünme Oranı : $R_m = 1$

$$EI = \frac{0,4.E_c.I_g}{1+R_m} = \frac{0,4.24.10^7.0,5.0,5^3/12}{1+1} = 25000 \text{ kNm}^2$$

$$N_k = \frac{\pi^2.EI}{l_k^2} = \frac{\pi^2.25000}{6^2} = 6853,89 \text{ kN} \quad (\text{ kolon burkulma yükü })$$

$$\beta = \frac{1}{1-1,3.\frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1-1,3.\frac{2200}{6853,89}} = 1,72$$

$$M_r = \beta.M_2$$

$$M_r = 1,72 \cdot 315 = 541,8 \text{ kNm}$$

$$A_c = b \cdot h = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{N_d}{b.h.f_{cd}} = \frac{2200.10^3}{500.500.10,5} = 0,82$$

$$m = \frac{M_d}{b.h^2.f_{cd}} = \frac{541,8.10^3}{500.500^2.10,5} = 4,06.10^{-4}$$

Hesaplanan değerler için Karşılıklı Etki Diyagramından okuma yapılacak olursa;

$$\omega = 0,09 = \rho_t \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

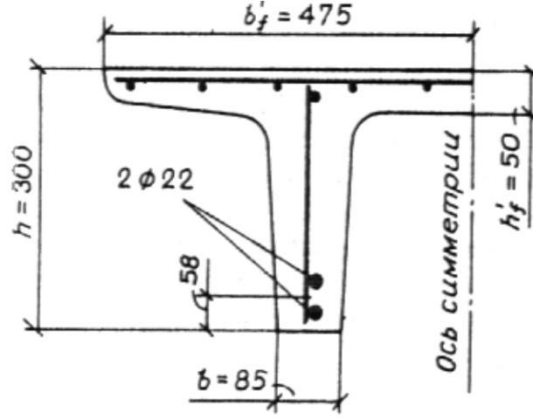
$$\rho_t = \frac{0,09.10,5}{365} = 2,63.10^{-3} \quad \frac{\Sigma A_s}{500.500} = 2,63.10^{-3} \quad A_s = 657,74 \text{ mm}^2$$

Seçilen Donatı : 4 Φ 16 (804 mm²)

Örnek Problem 9: T Kesite Sahip Betonarme Bir Elemanın Kesme Hesabı

Kesit boyutları Şekil 5.1’de verilen betonarme döşeme kirişi B20 sınıfı ($R_b=10,5\text{MPa}$, $R_{bt}=0,80\text{MPa}$, $\gamma_{b2}=0,90$ ve $E_b=24\cdot 10^4\text{MPa}$) betondan ve nervürlü 8mm çapa sahip A-3 sınıfı etriyeden ($R_{sw}=285\text{MPa}$, $A_{sw}=50,3\text{mm}^2$ ve $E_s=20\cdot 10^4\text{MPa}$) imal edilmiştir. Etriye donatısı adım aralığı $s=100\text{mm}$ seçilmektedir. Elemana $v=25\text{kN/m}$ ’lik bir geçici yayılı yük, ölü ağırlık yükü olarak $g=3,9\text{kN/m}$ ve mesnet bölgesinde $Q=65\text{kN}$ ’luk bir kesme kuvveti etki etmektedir. Buna göre kesitin kesme tahkikini yapınız.

Şekil 5.1: Örnek 7’de tarif edilen kesit boyutları



Burada $h_0 = 300 - 58 = 242\text{mm}$ ’dir. Eğik kesitler arasındaki betonarme bölge hesabı yapılacak olunursa:

$$\mu_w = \frac{A_{sw}}{bs} = \frac{50,3}{85 \cdot 100} = 0,0059$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{2 \cdot 10^5}{24 \cdot 10^4} = 8,33$$

$$\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha\mu_w = 1,24$$

Bundan dolayı $\varphi_{b1} = 1 - \beta R_b = 1 - 0,01 \cdot 10,5 = 0,895$ bulunmaktadır. Buna göre eğik kesitler arasındaki betonarme bölgenin kapasitesi:

$0,3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_b b h_0 = 0,3 \cdot 1,24 \cdot 0,895 \cdot 10,5 \cdot 85 \cdot 242 = 71,9\text{kN} > Q_{\max} = 65\text{kN}$ olduğundan dolayı kesit gerekli kapasiteye sahiptir.

Kesme etkisine maruz kesitlerin kapasite kontrolü yapıldığı takdirde,

Beton cinsi NAB olduğundan dolayı $\varphi_{b2} = 2,0$ seçilmelidir.

$b_f - b = 475 - 85 = 390\text{mm} > 3h_f = 150\text{mm}$ olduğundan dolayı $b_f - b = 150\text{mm}$ alınmalıdır. Buna göre

$$\varphi_f = 0,75 \frac{(b_f - b)h_f}{bh_0} = 0,75 \frac{150 \cdot 50}{85 \cdot 242} = 0,334 < 0,5$$

$$M_{b1} = \varphi_{b2} \cdot (1 + \varphi_f) \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_{01}^2 = 2 \cdot (1 + 0,334) \cdot 0,8 \cdot 85 \cdot 242^2 = 10,6\text{kNm}$$

$$\varphi_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s} = \frac{285 \cdot 50,3}{100} = 143\text{kNm}$$

$\varphi_{b3} = 0,6$ seçildiği takdirde,

$$Q_{b,min} = \varphi_{b3} (1 + \varphi_f) R_{bt} b h_0 = 0,6 \cdot (1 + 0,334) \cdot 0,8 \cdot 85 \cdot 242 = 13,17\text{kN}$$

$$\frac{Q_{b,min}}{2h_0} = \frac{13,17}{2 \cdot 0,242} = 27,2\text{kN} / \text{m} < q_{sw} = 143\text{kN} / \text{m} \quad \text{olduğundan} \quad \text{dolayı} \quad \text{moment}$$

düzenlemesine gerek yoktur. En çok zorlanan kesitteki genel izdüşüm mesafesinin, c, tarifi için:

$$q_1 = g + \frac{v}{2} = 3,9 + \frac{25}{2} = 16,4\text{kN} / \text{m}$$

$0,56q_{sw} = 0,56 \cdot 143 = 80\text{kN} / \text{m} > q_1 = 16,4\text{kN} / \text{m}$ olduğundan dolayı genel izdüşüm mesafesi aşağıda verildiği üzere hesaplanmalıdır.

$$c = \sqrt{\frac{M_b}{q_1}} = \sqrt{\frac{10,68}{16,4}} = 0,87\text{m}$$

Buna göre betonun kesme kapasitesi

$$Q_b = \frac{M_b}{c} = \frac{10,68}{0,807} = 13,23 > Q_{b,min} = 13,17\text{kN}$$

Genel izdüşüm mesafesindeki kesme kuvveti:

$$Q = Q_{max} - q_1 c = 65 - 16,4 \cdot 0,807 = 51,76\text{kN}$$

Buna göre izdüşüm mesafesi incelendiği takdirde,

$$c_0 = \sqrt{\frac{M_b}{q_{sw}}} = \sqrt{\frac{10,68}{143}} = 0,273m < 2h_0 = 0,484m \text{ olduğundan dolayı } c_0 = h_0 = 0,242m$$

alınmalıdır. Buna göre donatının kesme kapasitesi:

$Q_{sw} = q_{sw}c_0 = 143 \cdot 0,242 = 34,6kN$ bulunmaktadır. Kesitin toplam kapasitesi incelendiği durumda:

$Q_b + Q_{sw} = 47,77kN < Q = 51,76kN$ olduğundan dolayı kesit yeterli kesme kapasitesine sahip değildir.

Kesit ebatlarında bir değişiklik yapmak yerine, etriye donatıları arasındaki mesafe azaltılırsa kesitin kesme kapasitesi artacaktır. Buna göre $s = 85$ mm seçilip işlem tekrarlanırsa,

$$\mu_w = \frac{A_{sw}}{bs} = \frac{50,3}{85 \cdot 85} = 0,00692$$

$$\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha\mu_w = 1,29$$

Bundan dolayı $\varphi_{w1} = 1 - \beta R_b = 1 - 0,01 \cdot 10,5 = 0,895$ bulunmaktadır. Buna göre eğik kesitler arasındaki betonarme bölgenin kapasitesi:

$0,3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_b b h_0 = 0,3 \cdot 1,29 \cdot 0,895 \cdot 10,5 \cdot 85 \cdot 242 = 74,8kN > Q_{max} = 65kN$ olduğundan dolayı kesit gerekli kapasiteye sahiptir.

Kesme etkisine maruz kesitlerin kapasite kontrolü yapıldığı takdirde,

$$\varphi_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s} = \frac{285 \cdot 50,3}{85} = 168,5kNm$$

$$\frac{Q_{b,min}}{2h_0} = \frac{13,17}{2 \cdot 0,242} = 27,2kN / m < q_{sw} = 168,24kN / m \text{ olduğundan dolayı moment}$$

düzenlemesine gerek yoktur. En çok zorlanan kesitdeki genel izdüşüm mesafesinin, c, tarifi için:

$$q_1 = g + \frac{v}{2} = 3,9 + \frac{25}{2} = 16,4kN / m$$

$0,56q_{sw} = 0,56 \cdot 168,24 = 94,2kN / m > q_1 = 16,4kN / m$ olduğundan dolayı genel izdüşüm mesafesi aşağıda verildiği üzere hesaplanmalıdır.

$$c = \sqrt{\frac{M_b}{q_1}} = \sqrt{\frac{10,68}{16,4}} = 0,87m$$

Buna göre betonun kesme kapasitesi

$$Q_b = \frac{M_b}{c} = \frac{10,68}{0,807} = 13,23 > Q_{b,min} = 13,2kN$$

Genel izdüşüm mesafesindeki kesme kuvveti:

$$Q = Q_{max} - q_1 c = 65 - 16,4 \cdot 0,807 = 51,76kN$$

Buna göre izdüşüm mesafesi incelenecek olunursa,

$$c_0 = \sqrt{\frac{M_b}{q_{sw}}} = \sqrt{\frac{10,68}{168,24}} = 0,251m < 2h_0 = 0,484m \text{ olduğundan dolayı}$$

$c_0 = h_0 = 0,242m$ alınmalıdır. Buna göre donatının kesme kapasitesi:

$Q_{sw} = q_{sw} c_0 = 168,24 \cdot 0,242 = 40,71kN$ bulunmaktadır. Kesitin toplam kapasitesi incelendiği takdirde:

$Q_b + Q_{sw} = 53,88kN > Q = 51,76kN$ olduğundan dolayı kesit yeterli kesme kapasitesine sahiptir.

Ayrıca adım mesafesi için şartnamede tarif edilen kontrol yapılmalıdır.

$$s_{max} = \frac{\varphi_{b4} R_{bt} b h_0^2}{Q_{max}} = 91,9mm > 85mm \text{ ve } s < h / 2 = 150mm \text{ olduğundan dolayı}$$

seçilen adım mesafeleri uygundur.

Örnek Problem 10: Dikdörtgen Kesite Sahip Betonarme Bir Elemanın Kesme Hesabı

Açıklığı $l=5\text{m}$ olan, $v=40\text{kN/m}$ 'lik geçici yüklemeye ve $g=14\text{ kN/m}$ 'lik kalıcı yüklemeye maruz $b=200\text{mm}$ ve $h=400\text{ mm}$ boyutlara sahip betonarme dikdörtgen kesit B20 beton sınıfından ($R_b= 10,5\text{ MPa}$, $R_{bt}= 0,80\text{MPa}$, $\gamma_{b2}= 0,90$) ve A-3 sınıfı etriye donatısından ($R_{sw}= 285\text{MPa}$) imal edilmektedir. Beton paspayı kalınlığı 50mm olduğuna göre kesitin kesme tahkikini yapınız.

Rus Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

Kesite etki eden en büyük kesme kuvveti $Q_{\max} = \frac{ql}{2} = \frac{54 \cdot 5}{2} = 135\text{kN}$ bulunacaktır.

Burada $q = v + g = 54\text{kN} / \text{m}$ 'dir.

Mesnet bölgesinde gerek görülen donatı alanı hesabı için,

Tabla tarifi olmadığından $\varphi_f = 0$ alınmalıdır. Ayrıca beton cinsi NAB olduğundan dolayı $\varphi_{b2} = 2,0$ seçilmelidir.

$$M_b = \varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2 = 2 \cdot 0,8 \cdot 200 \cdot 350^2 = 39,2\text{kNm}$$

Buna göre:

$$q_1 = g + \frac{v}{2} = 14 + \frac{40}{2} = 34\text{kN} / \text{m}$$

$$Q_{b1} = 2\sqrt{M_b q_1} = 73,015\text{kN}$$

Burada,

$$\frac{Q_{b1}}{0,6} = \frac{73,01}{0,6} = 121\text{kN} < Q_{\max} = 135\text{kN} \text{ ve } Q_{\max} < \frac{M_b}{h_0} + Q_{b1} = \frac{39,2}{0,35} + 73 = 185\text{kN} \text{ elde}$$

edilmektedir.

Buna göre donatı alanı hesaplandığı takdirde:

$$q_{sw} = \frac{(Q_{\max} - Q_{b1})^2}{M_b} = 98,1\text{kN} / \text{m}$$

$$\frac{Q_{\max} - Q_{b1}}{2h_0} = 88,2kN / m < 98,1kN / m \quad \text{olduğundan} \quad \text{dolayı} \quad q_{sw} = 98,1N / mm$$

alınmalıdır.

Etriye donatıları adım mesafeleri ile ilgili şartlar incelendiğinde adım mesafesinin mesnette $h/2=200$ mm veya 150 mm'den daha çok olmaması gerektiği görülecektir. Mesnetten uzak bölgelerde ise izin verilen en büyük adım mesafesi $0,75h=300$ mm veya 500mm'dir. Adım mesafesi hesaplanacak olunursa,

$$s_{\max} = \frac{\varphi_{b4} R_{bt} b h_0^2}{Q_{\max}} = \frac{1,5 \cdot 0,8 \cdot 200 \cdot 350^2}{135 \cdot 10^3} = 218mm \text{ bulunacaktır.}$$

Buna göre adım mesafesi mesnetlere yakın bölgeler için $s_1 = 150mm$ ve açıklıkta $s_2 = 300mm$ alındığı takdirde gerekli donatı alanı:

$$A_{sw1} = \frac{q_{sw} s_1}{R_{sw}} = \frac{98,06 \cdot 150}{285} = 52mm^2 \text{ elde edilmektedir. Buna göre } 2\Phi 8 \text{ donatı yeterli}$$

olduğu görülmektedir. Hesap kontrolü yapıldığı takdirde:

$$q_{sw1} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s_1} = \frac{175 \cdot 100,5}{150} = 117,3N / mm$$

$$q_{sw2} = 0,5q_{sw1} = 58,6N / mm$$

Buna göre:

$$Q_{b,min} = \varphi_{b3} (1 + \varphi_f) R_{bt} b h_0 = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 200 \cdot 350 = 33,6kN$$

$$\frac{Q_{b,min}}{2h_0} = \frac{33,6}{2 \cdot 0,350} = 48N / mm < q_{sw1} = 117,3N / mm$$

$$\frac{Q_{b,min}}{2h_0} = 48N / mm < q_{sw2} = 58,6N / mm \quad \text{olduğundan} \quad \text{dolayı} \quad \text{bir} \quad \text{düzenleme}$$

yapılmasına gerek yoktur. Mesnete yakın bölge tarifi için:

$$c_{01} = \sqrt{\frac{M_b}{q_{sw1}}} = \sqrt{\frac{39,2 \cdot 10^6}{117,28}} = 578mm$$

$$l_1 = \frac{Q_{\max} - Q_{b,\min} - q_{sw2}C_{01}}{q_1} = \frac{135 \cdot 10^3 - 33600 - 58,64 \cdot 578,14}{34} = 1407mm > \frac{l}{4} = 1,25m$$

Buna göre mesnete 1,4m mesafede bulunan kesitler için s=150mm, diğer kesitler için s=300 alınması ekonomik bir çözüm sunmaktadır.

Türk Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

$$v = 40kN / m \quad g = 14kN / m \quad l = 5m \quad b = 200mm \quad h = 400mm$$

$$V_{\max} = \frac{(40+14) \cdot 5}{2} = 135kN$$

Asal basınç gerilmeleri nedeniyle gövde betonunun ezilmemesi için kesme kuvveti üst sınırı:

$$V_{d(\max)} \leq 0,22 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{d(\max)} = 0,22 \cdot 10,5 \cdot 200 \cdot 350 = 161,7kN > 135kN \quad \text{kesit yeterlidir.}$$

$$V_d \leq V_r \quad \text{olmalı.}$$

$$V_r = V_c + V_w \quad \text{Burada:}$$

V_w : elemanın kesme dayanımına enine donatının katkısı

V_c : elemanın kesme dayanımına betonun katkısı ($= 0,8 \cdot V_{cr}$)

$$V_{cr} = 0,65 \cdot f_{ctd} \cdot b \cdot d = 0,65 \cdot 900 \cdot 0,2 \cdot 0,35 = 40,95kN$$

$$V_c = 0,8 \cdot V_{cr} = 0,8 \cdot 40,95 = 32,76kN$$

Tasarım kesme kuvvetinden Beton katkısı (V_c) çıkarılarak etriyenin karşılaması gereken kesme kuvveti (V_w) hesaplanır.

$$V_r = 103,38 + 32,76 = 136,14kN > V_{\max} = 135kN$$

$$\Phi 8 \text{ için : } A_0 = 50,26mm^2 \quad A_{sw} = 2 \cdot 50,26 = 100,52mm^2$$

$$s = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot d}{V_w} = \frac{100,52 \cdot 191 \cdot 350}{102,24 \cdot 10^3} = 65,73mm^2$$

$$s_k \leq \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_k}{3} = \frac{400}{3} = 133mm \\ 10 \cdot \Phi_{\min} = 10 \cdot 8 = 80mm \\ 150mm \end{array} \right\} s = s_{\min} = 65mm$$

TS500 Koşulu : $\frac{A_{sw}}{s} \geq 0,3 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \cdot b_w$

$$\frac{100,52}{65} = 1,55 > 0,3 \cdot \frac{1,15}{191} \cdot 200 = 0,36$$

Bu aralıkla yerleştirilecek etriyenin karşılayacağı kesme kuvveti:

$$V_w = \frac{2.50, 26.191, 350}{65 \cdot 10^3} = 103,38kN$$

Betonun katkısı da dikkate alındığında taşınabilecek maksimum kesme kuvveti:

$$V_w = \frac{2.50, 26.191.350}{65 \cdot 10^3} = 103,38kN$$

$$V_r = 103,38 + 32,76 = 136,14kN > V_{\max} = 135kN$$

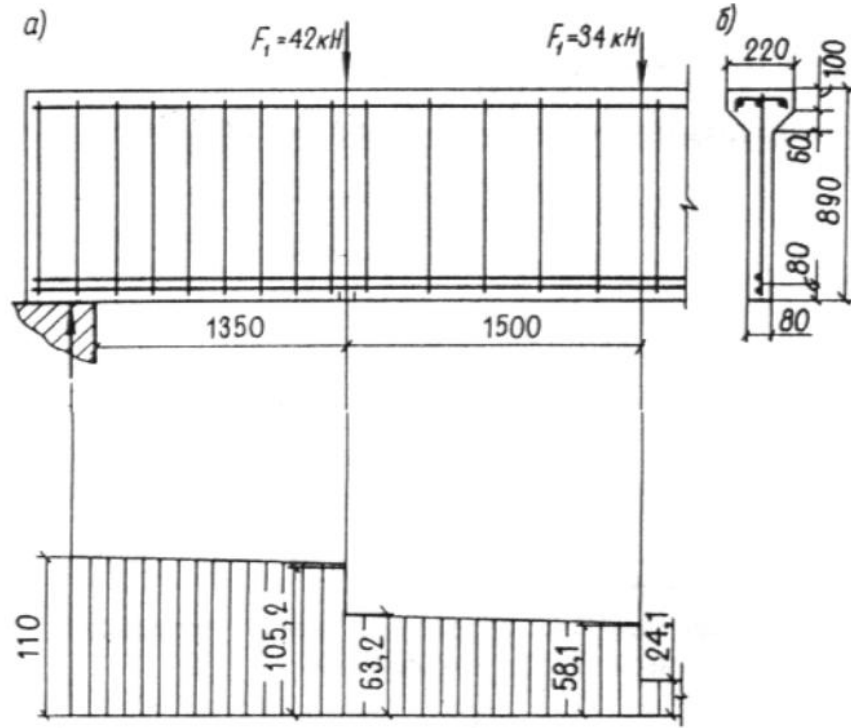
Buna göre sarılma bölgesinde $s = 65mm$ geri kalan bölgede $s = 150 mm$ alınması

TS500'e göre uygundur.

Örnek Problem 11: T Kesite Sahip Betonarme Bir Elemanın Kesme Hesabı

Kesit özellikler ve yükleme durumu Şekil 5.1’de verilen betonarme eleman B15 beton sınıfından ($R_{bt}= 0,67\text{MPa}$ ve $\gamma_{b2}= 0,90$) ve etriye A1 donatı sınıfından ($R_{sw}= 175 \text{ MPa}$) imal edildiğine göre etriye çaplarını ve adım mesafelerini hesaplayınız.

Şekil 5.2: Örnek 11’de tarif edilen kesit özellikleri



Rus Şartnamesi'ne Göre Çözüm:

Betonun taşıyabildiği kesme kuvveti $Q_b = M_b/c$ bağıntısı ile hesaplanmalıdır. Buna göre SNIP 2.03.01-84 SP 52-101-2003'den farklı olarak, $M_b = \varphi_{b2} \cdot (1 + \varphi_f) \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2$ bağıntısını geçerli görmektedir. Buna göre,

$$\varphi_{b2} = 2,$$

$$h'_f = 100 + 60/2 = 130 \text{ mm}$$

$$b'_f - b = 220 - 80 = 140 \text{ mm} < 3 \cdot h'_f$$

$$h_0 = 890 - 80 = 810 \text{ mm}$$

$\varphi_f = 0,75 \frac{(b_f - b) \cdot h_f}{b \cdot h_0} = 0,75 \cdot \frac{140 \cdot 130}{80 \cdot 810} = 0,211 < 0,5$ bulunmaktadır. Buna göre $M_b = 82,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$ hesaplanmaktadır.

Mesnete 1350 mm mesafedeki durum incelendiğinde, $c_1 = 135 \text{ mm}$, Şekil 5.1'den kesite etki eden kesme kuvveti $Q_1 = 105,2 \text{ kN}$ olduğu görülmektedir. Buna göre beton kesme kapasitesi $Q_{b1} = M_b / c$ bağıntısından $Q_{b1} = 63,11 \text{ kN}$ bulunmaktadır. Ancak şartname betonun kesme kapasitesi hesabında Q_{b1} 'in minimum bir değerden az olmamasını talep etmektedir. $Q_{b,\min}$ değeri $\varphi_{b3} \cdot (1 + \varphi_f) \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2$ bağıntısı ile hesaplanmalıdır. Burada φ_{b3} katsayısı NAB betonu için $\varphi_{b3} = 0,60$ alınmalıdır. Buna göre $Q_{b1} > Q_{b,\min} = 31,55 \text{ kN}$ hesaplandığından dolayı $Q_{b1} = 63,11 \text{ kN}$ kabul edilmelidir.

Kesme kuvvetlerinin düzgün yayılı değil noktasal olarak etki ettiği durumlarda SNIP 2.03.01-84 bir χ katsayısı tarif etmektedir. Buna göre:

$$\chi = \frac{Q_1 - Q_{b1}}{Q_{b1}} = \frac{105,2 - 63,11}{63,11} = 0,667$$

$c_1 = 1,35 \text{ m} < 2 \cdot p_0 = 2 \cdot 0,81 = 1,62 \text{ m}$ alınmalıdır.

Şayet $c_0 = c_1 = 1,35 \text{ m}$ alındığı takdirde,

$$\chi_{01} = \frac{Q_{b,\min}}{Q_{b1}} \cdot \frac{c_0}{2 \cdot h_0} = \frac{31,55}{63,11} \cdot \frac{1,35}{2 \cdot 0,81} = 0,417$$

Buna göre $\chi_{01} = 0,417 < \chi_1 = 0,667 < c_1/c_2 = 1$ olduğundan dolayı:

$$q_{sw(1)} = \frac{Q_1 - Q_{b1}}{c_0} = \frac{105,2 - 63,11}{1,35} = 31,9 \text{ kN} / \text{m}$$

İkinci yük durumu için işlem tekrarlanırsa, $c_2 = 285 \text{ mm}$ olmak üzere,

$$Q_{b2} = \frac{M_b}{c_2} = \frac{85,20}{2,85} = 29,9 \text{ kN} < Q_{b,\min} = 31,6 \text{ kN}$$

Bu sefer hesaplanan Q_{b2} değeri $Q_{b,\min}$ değerinden az olduğundan dolayı $Q_{b2} = 31,55 \text{ kN}$ olduğu kabul edilmelidir. Ayrıca izdüşüm boyu efektif kiriş derinliğinin iki katından daha büyük olamayacağından dolayı $c_0 = 1,62 \text{ m}$ alınmalıdır. Buna göre,

$$\chi_2 = \frac{Q_2 - Q_{b2}}{Q_{b2}} = \frac{58,1 - 31,55}{31,55} = 0,842 < \chi_{02} = \frac{Q_{2,\min}}{Q_{b2}} \cdot \frac{c_0}{2 \cdot h_0} = 1$$

Buradan:

$$q_{sw(2)} = \frac{Q_2}{c_0} \cdot \frac{\chi_{02}}{\chi_{02} + 1} = \frac{58,1}{1,62} \cdot \frac{1}{2} = 17,9 kN / m$$

Buna göre $q_{sw} = q_{sw(1)} = 31,28 kN/m$ alınmalıdır.

Etriye tipi olarak $\phi 6$ seçildiği takdirde ($A_{sw} = 28 mm^2$), mesnet bölgesinde

$$s_1 = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{q_{sw}} = \frac{175 \cdot 28,3}{31,18} = 159 mm$$

Buna göre $s_1 = 150 mm$ seçilmektedir. Ayrıca betonarme elemanın mesnete uzak kalan bölgesinde etriyeler arası mesafe $s_2 = 2 \cdot s_1 = 300 mm$ seçilmelidir. Mesnete yakın bölgedeki etriyeler arası mesafenin, s_1 , eleman boyunun ne kadarı boyunca geçerli olduğunun anlaşılması için aşağıda verilen kontroller yapılmalıdır.

$$q_{sw1} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s_1} = \frac{175 \cdot 28,3}{150} = 33 N / mm$$

$$q_{sw2} = 0,5 \cdot q_{sw1} = 0,5 \cdot 33 = 16,5 N / mm$$

Şayet s_1 uzunluğu mesnet ile ilk yük arasındaki mesafe olarak tanımlanırsa, yani $l_1 = 1,35$, kesitin tamamı için Denklem 3.32 şartı aranmalıdır. Buna göre $c = 2,85 m > l_1$ alındığı takdirde,

$$c_{01} = \sqrt{\frac{M_b}{q_{sw1}}} = \sqrt{\frac{85,1}{33}} = 1,6 m < 2 \cdot h_0 = 1,62 m$$

Elde edilen c_{01} değeri ($c - l_1$) değerinden az olduğu için Q_{sw} :

$$Q_{sw} = q_{sw} \cdot c_{01} - (q_{sw1} - q_{sw2}) \cdot (c - l_1) = 33 \cdot 1,6 - 16,5 \cdot 1,5 = 28,1 kN$$

$$Q_b = Q_{b,min} = 31,6 kN$$

$$Q_b + Q_{sw} = 33,55 + 28,05 = 59,6 kN > Q_2 = 58,1 kN$$

Elde edilecektir. Buna göre kesite atanan etriye ebatları ve ara mesafeleri yeterlidir.

B15 beton sınıfı, C12/15 beton sınıfına karşılık gelmesi ve A1 donatı sınıfının nervürsüz yapıda olmasıyla birlikte Türk Şartnameleri C12/15 sınıfını taşıyıcı beton olarak kabul etmemekte ve nervürsüz donatı ile öngörülen konstrüksiyona izin

vermemektedir. Bu nedenle Türk Şartnamesine göre belirli malzeme ve boyutlardaki eleman için çözümleme yapılmamıştır.

6. SONUÇLAR

Rusya ve etki bölgesinde yoğun olarak uygulamaları bulunan Rus betonarme şartnamesi üzerine yapılan bu incelemede aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır:

1. Aynı donatı ve beton sınıfından imal edilen elemanların aynı yüke maruz tasarımında şartnamelerin donatı tayini incelendiğinde, TS 500 Rus betonarme şartnamelerine kıyasla daha fazla donatı tehviz edilmesini gerektirmektedir. Bu oran eğilmeye maruz elemanlarda Rus betonarme şartnamesine göre hesaplanan değer TS 500'e uygun olarak hesaplanan değer %25 olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak bu noktada her iki şartnamenin eleman sınıflandırmasına ayrıca dikkat edilmelidir. Şartnameler eleman tipi sınıflandırmasında tam olarak örtüşmemektedir. Bu sebepten ötürü şartnameler arasında farklılık gösteren bir eleman eleman her iki şartnamede de aynı eleman tipi varsayılarak hesap yapıldığı taktirde çok farklı sonuçlar elde edilmesi muhtemeldir.
2. Rus betonarme şartnamesi hesap yöntemi olarak TS500'e benzer bir hesap yöntemi sunmaktadır. Ancak her iki şartname de coğrafyalarından yoğun şekilde etkilenmektedir. Türk betonarme şartnamesi TS 500'ün izin verdiği yöntemler kullanılırken Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmeliğe danışılmadan hesap yapılması kaçınılmazken, SNIP ve SP kodlu şartnamelere uygun hesap yapılırken iklim ve kullanım durumlarının derinlemesine incelenmesinde yarar vardır. Donatı tayini ve yapısal şartlar incelenirken bu noktaya dikkat edilmelidir.
3. Yüklerin sınıflandırılması ve güvenlik katsayıları şartnamelerde benzerlik gösterse de örtüşmemektedir.
4. Rus yük ve betonarme şartnameleri, ülkenin bulunduğu konum sebebi ile, betonun tipleri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesine daha fazla önem vermektedir. Bu sebepten ötürü Rus betonarme şartnameleri beton ve donatı

sınıflarının çeşitli durumlardaki davranışlarını ifade eden katsayılar tanımlamaktadır. Bu tür bir katsayı ifadesine TS 500’de rastlanmaz.

5. Rus betonarme şartnameler elemanların maruz kaldığı gerilme durumuna bağlı olarak analiz tarifiinde bulunmaktadır. Şartname izahnameleri gerilme durumlarının yapı eleman cinsleri için nasıl tarif edilmesi gerektiğine açıklık kazandırmaktadır. Türk betonarme şartnamesi, TS 500, ise gerilme durumlarını incelerken eleman tiplerini ve her bir elemanın tasarımı için hangi noktalara dikkat edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Ancak TS 500’ün Rus betonarme şartnameleri izahnamelerine kıyaslanabilecek bir örnekler kitabı mevcut değildir.
6. Rus şartnameleri bir yenileme sürecinden geçmektedir. SSCB döneminde yayınlanan şartnamelerin büyük bir çoğunluğu yürürlükten kaldırılmaktadır. Ancak yeni yayınlanan şartnameler hesaplarda sonuç değerlerinde büyük değişikliklere neden olacak katsayı değişikliklerinden kaçınmaktadır. Bu konuda araştırma yapılırken yeni şartnamelerin, daha açıklayıcı olması sebebi ile eski şartnameler ile birlikte incelenmesinde fayda vardır.

KAYNAKLAR

Celep, Z. Ve Kumbasar, N. , 2005 Betonarme Yapılar

COMECON 22.200.09-77; Principles Guide

GOST 10060.0-87; Method of Determination of Frost Resistance

GOST 12730-5-84; Methods of Determination of Water Resistance

GOST 251292-82; Concrete Classification and Technical Requirements

Odabası, Y. 1997 Betonarme İnşaat Elemanları

Rules

SNIP 2.01.07-89; Loads and Stresses

SNIP 2.03.01-84: Design of Concrete and Reinforced Concrete Structures, 1984

SNIP 2.03.01-84: Reference Manual on Design of Concrete and Reinforced Concrete Structures Made of Heavy and Light Concrete without Reinforcement Prestressing, 1984

SNIP P52-01-2003; Concrete and Reinforced Concrete Structures, Principal

SP 52-10-2003: Set of Rules for Design and Construction of Concrete and Reinforced Concrete Structures without Prestressing, 2004

SP 52-102-2004: Set of Rules for Design and Construction of Prestressed Concrete Structures, 2004

EK A: Betonun Donma Çözünme Direncinin Tespiti

Şartname betonun donma direncini donma ve çözülme döngüleri boyunca fiziksel ve mekanik özelliklerini koruyabilmesi olarak tarif etmektedir.

Betonun donma direncinin tespiti için beş farklı deney şartname tarafından uygun görülmektedir. Bu deneyler üç başlık altında toplanmaktadır:

1. Temel yöntemleri: 1 nolu deney (Yol veya yüzey betonu hariç her beton cinsi için) ve 2 nolu deney (Yol yüzey kaplamasında kullanılan beton tipleri için)
2. Tekrarlı donma ve çözülme döngü yöntemleri, 2 ve 3 nolu deneyler
3. Tek bir donma çözülme araştırması gerektiren yöntemler 4 ve 5 nolu deneyler

Bu deney yöntemlerinin kapsamı ve solüsyon özellikleri ÇizelgeA.1’de verilmektedir.

Çizelge A.1: Deneyde kullanılacak solüsyon özellikleri

Deney Tipi	Örneğin Donma Deney Ortamı	Donmuş Örneğin Bekletilme Hali	Donmuş Örneğin Çözülme Deney Ortamı	Deneye Uygun Beton Tipleri
Temel Deneyler				
1 nolu deney	Su	-18°C (±2) hava	Su	Yol veya yüzey kaplama betonu hariç her beton tipi
2 nolu deney	%5’lik NaCl solüsyonu	-18°C (±2) hava	%5’lik NaCl solüsyonu	Yol ve yüzey kaplama beton tipleri
Tekrarlı donma ve çözülme döngü yöntemleri				
2 nolu deney	%5’lik NaCl solüsyonu	-18°C (±2) hava	%5’lik NaCl solüsyonu	Yol veya yüzey kaplama betonu ve ortalama birim hacim kütlesi D1500’den az HB beton grubu hariç her beton tipi
3 nolu deney	%5’lik NaCl solüsyonu	%5’lik NaCl solüsyonu	%5’lik NaCl solüsyonu	Ortalama birim hacim kütlesi D1500’den az HB beton grubu hariç her beton tipi
Tek bir donma çözülme araştırması gerektiren yöntemler				
4 nolu deney	Su	%5’lik NaCl solüsyonu	Su	Yol veya yüzey kaplama betonu hariç her beton tipi
5 nolu deney	Su	-18°C (±2) hava	-18°C (±2) hava	Yol veya yüzey kaplama betonu hariç her beton tipi

Donma direncinin tespiti için aynı betondan alınan örnekler iki farklı grup altında toplanmaktadır. Kontrol grubu donma deneyine maruz bırakılmayan deney öncesi betonun basınç dayanımının araştırıldığı örnek grubudur. Deney grubu ise donma ve çözülme deneylerinin uygulanacağı örnekleri içermektedir. Deney tipine bağlı olarak örnek boyutları ve deneyle ilgili diğer özellikler ÇizelgeA.2’de verilmektedir.

Donma-çözülme direncinin araştırıldığı örneklerde gözle görülür herhangi bir kusur olmamalı ve herhangi bir örnek ile ortalama hacimsel kütle arasındaki fark 50 kg/m³'den daha küçük olmalıdır.

Çizelge A.2: Deneyde kullanılacak örnek boyutları

Deney Tipi	Örnek Boyutları, mm	Örnek Adedi	
		Kontrol Grubu	Deney Grubu
1 nolu deney	100x100x100 veya 150x150x150	6	12
2 nolu deney	100x100x100 veya 150x150x150	6	12
3 nolu deney	100x100x100 veya 70x70x70	6	6
4 nolu deney	100x100x100 veya derinliği ve çapı 70 mm olan silindir	-	3
5 nolu deney	100x100x100 veya 150x150x150	3	3

Deneyler aşağıda verilen aşamalar gözetilerek gerçekleştirilmektedir.

- Basınç dayanım deneylerinden önce deney grubu tuzlu solüsyona batırılmalıdır. Bu işlem her bir deney tipi için özdeştir ve üç kademeyi kapsamaktadır. İlk kademedede beton örneği 24 saat süre ile yüksekliğinin 1/3 kadar, ikinci kademedede aynı süre ile örnek yüksekliğinin 2/3 ü kadar ve üçüncü kademedede beton örneğinin üst yüzeyi su yüzeyine en az 20 mm olacak şekilde solüsyonda 48 saat bekletilmelidir. Burada solüsyon özellikleri deney tipine bağlı olarak Çizelge 1'de verilmektedir.
- Solüsyonda bekletilen beton örnekleri en fazla her 24 saatte bir donma çözülme döngüsüne maruz bırakılmalıdır. Betonun dönme çözülme sınıfı deney sonucu okunan değerlere göre Çizelge A.3'de tarif edilmektedir.

Çizelge A.3: Deney sonuçları sınıflandırma tablosu

Deney Tipi	Beton Cinsi	Gerek görülen donma çözülme direnci için gerekli donma-çözülme döngü sayısı							
		F25	F35	F50	F75	F100	F150	F200	F300
1 nolu deney	Yol veya yüzey kaplama betonu hariç her beton tipi	25	35	50	75	100	150	200	300

2 ve 3 nolu deneyler	Yol veya yüzey kaplama betonu ve ortalama birim hacim kütlesi D1500'den az HB beton grubu hariç her beton tipi	-	-	8	13	20	30	45	75
2 ve 3 nolu deneyler	Yol ve yüzey kaplama beton tipleri	-	-	50	75	100	150	200	300

EK B: Betonun Su Geçirgenliğinin Tespiti

Su geçirgenliğinin tespit edileceği betonarme örnekte minimum örnek yüksekliği betonun içerdiği en büyük agrega danesi boyutuna bağlı olduğu ifade edilmektedir. Bunun için Çizelge B1'e danışılmalıdır.

Çizelge B.1: Su geçirgenlik deneyinde izin verilen örnek boyutları

En büyük agrega çapı	İzin verilen minimum örnek yüksekliği
5	30
10	50
20	100

Herhangi bir deney yapılmadan önce örnek yüzeyleri çimento kalıntıları veya tuz/kum gibi yüzey geçirgenliğini etkileyebilecek maddelerden metal bir fırça veya benzeri bir alet ile temizlenmelidir.

Betonun su geçirgenliğinin tespiti için yaygın olarak 1984 yılında yayınlanan GOST 12730-5-84 adlı GOST protokolüne danışılmaktadır. Bu şartname su geçirgenlik tespiti için iki yöntemi geçerli görmektedir. Bunlar ıslak yüzey yöntemi ve hava geçirgenlik testi ile su geçirgenliğinin tespiti yöntemleridir. Ancak her iki yöntem ile

1. Islak yüzey yöntemi

Bu yöntemde kullanılacak test cihazı aşağıda verilen şartnamenin gerektirdiği sağladığı şartları sağladığı sürece istenen malzemeden veya uygun tasarımdan üretilebilir.

- Beton örneğini sabitleyecek en az 6 adet cıvataya sahip olmalıdır.
- Beton örneğinin alt yüzeyine artan su basıncının uygulanmasına olanak tanınmalıdır.
- Beton örneğinin üst yüzeyinin gözlemlenmesini sağlayan bir üst tasarıma sahip olmalıdır.

Test edilen beton örneğinin elde edilmesinde kullanılan silindirik kalıpların iç çapı 150 mm ve iç yükseklikleri, Çizelge B.1'e uygun olması açısından, 150, 100, 50 veya 30 mm olmalıdır.

Test edilen beton örneğinin elde edilmesinde kullanılan silindirik kalıplar, ıslak yüzey yönteminde olduğu gibi, en az 150 mm bir iç çapa sahip olmalı ve iç yüksekliği 150, 100, 50 veya 30 mm olmalıdır.

Testte kullanılan siliko jelin teknik özellikleri için GOST 3956'ya ölçü aletlerinin seçimi için GOST 24104'e danışılmalıdır.

Filtrasyon yöntemi aşağıda verilen aşamalar dikkate alınarak uygulanmalıdır.

- Beton örneği oda sıcaklığı (20 -2) ve bağıl nem oranı %95 den az olmayan bir depoda muhafaza edilmelidir. Laboratuar ortamında muhafaza edilen örneklerde günlük kütle kaybı (buharlaşma benzeri) % 0,1'den fazla olmamalıdır.
- Test öncesi her bir beton örneği kabına uygun oturup oturmamasının veya örnekte mevcut olan gazdan kaynaklanabilecek bozuklukların araştırması için bir ön teste etrafı su sızdırmaz bir izolasyona örtülü olan beton örneğine yeni test grubu ve alttan 0,1-0,3 MPa arası bir su basıncı uygulanırken su ile örtülmüş olan üst yüzeyi gözlemlenmektedir. Şayet üst yüzeyde üst yüzeye çıkan hava kabarcıkları eş bir dağılım gösteriyor ve kenardaki izolasyon gurubunda bir kusur gözlemlenmiyorsa, bu test grubu filtrasyon yöntemine uygun olduğu ifade edilebilir. Ancak su kabarcıkları bazı bölgelerde veya hatlarda yoğunlaşıyorsa, bu test grubu reddedilmelidir. Örneğin kenarlarındaki izolasyon görevini yerine getirmediği durumlarda, mevcut izolasyon temizlenir ve beton örneğinin etrafına tekrardan bir izolasyon yapılır ve ön teste tekrardan maruz bırakılır. Testlerde kullanılacak su, beton ve betonarme elemanlardaki incelemelerde kullanılan su ve özellikleri adlı GOST 23732 protokolüne uygun seçilmelidir.

Islak yüzey testi aşağıda tarif edilen aşamalar dikkate alınarak uygulanmalıdır.

- Beton örneği oda sıcaklığı (20-2) C ve bağıl nem oranı %95 den az olmayan bir depoda muhafaza edilmelidir.
- Test öncesi örneklerin laboratuar ortamında en fazla bir gün tutulmasına izin verilmektedir.
- Test edilmeye müsait beton yüzeyi en az 130 mm çapında olmalıdır.
- Örnek şartnameye uygun üretilen test cihazına yerleştirilir ve cihazlar sıkılarak sistem teste hazır hale getirilir.
- Örnek yerleştirildikten sonra 1-5 dakika süre içinde, beton örneğine alttan etki eden su basıncı 0,2 MPa'lık basınç artırımını adımları ile çizelge A.2'de verilen zaman aralıkları gözetilerek arttırılmalıdır. Test betonunun üst yüzeyinde su damlaları veya ıslak bir yüzey elde edilinceye kadar devam ettirilir.

Çizelge A.2: Deney adım süreleri

Örnek yüksekliği, mm	Her bir adım için gerekli süre, saat
150	16
100	12

50	6
30	4

- Beton örneğinin su geçirgenliği yüzeyde su henüz rastlanmadığı maksimum su basıncına bağlı olarak tespit edilir.Şayet örnek sayısı yarım düzinenin katları ise yukarıda tarif edilen maksimum su basıncı 6 örnekten 4 ünde gözlenen değerdir.
- Maksimum su basıncına bağlı olarak, betonun su geçirgenliğini rotasyonun tarifi Çizelge B.3’de verilmektedir.

Çizelge B.3: Deney sonuçlarının notasyon tayini

Maksimum su basıncı, MPa	Beton su geçirgenlik notasyonu
0,2	W2
0,4	W4
0,6	W6
0,8	W8
1,0	W10
1,2	W12

2-Filtrasyon Yöntemi:

Filtrasyon yönteminin uygulanabilmesi için Şekil 1’de verilen bir cihaz düzeneğinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu düzenek 1.3 MPa lık su basıncına dayanıklı olarak tasarlanmalıdır.Mevcut beton veya betonarme elemanlarda alınan karotlarda su geçirgenliğinin araştırılmasında sadece izolasyonun yeterli olup olmadığı araştırılır, bölgesel kusurlar araştırılmaz. Filtrasyon yönteminin uygulanması için karot örneğinin çapı en az 50 mm seçilmelidir.

- Filtrasyon testinde kullanılacak su örneği ıslak yüzey testinde olduğu gibi GOST 23732 protokolüne uygun olarak seçilmelidir. Ancak su en az bir saat kaynatılarak çözünmüş gazlardan arıtılmalıdır. Deney esnasında su sıcaklığı $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ olmalıdır.
- Test 6 örneğin aynı anda incelenmesini gerektirmektedir.Test grubu sisteme yerleştirildikten 1-5 dakika sonra yüzeyde su tespit edilinceye kadar 0,2 MPalık su basıncı artırımına maruz bırakılır.Her bir basınç arttırılmasından sonra diğer adımın uygulanmasına kadar bir saat beklenmelidir.
- Sızan su toplama kaplarında toplanır. Bu kaplardaki su her yarım saatte bir ve her bir beton örneği için en az 6 kere tartılmalıdır.

- Yüzeyde su damlalarının gözlemlenmesinden 96 saat sonrasında, betonun içindeki su orana sika jeli enjekte ederek ortaya çıkartılır ve toplam su miktarı (filtrasyon suyu) tartılmalıdır.

Filtrasyon yöntemine göre betonun su geçirgenliği filtrasyon sabitine göre tespit edilir. (Denklem A.1)

$$K_f = \frac{\eta \cdot Q \cdot \delta}{S \cdot z \cdot \rho} \quad (A.1)$$

Burada: η -suyun değişik sıcaklıklardaki viskozitesini inceleyen katsayıdır. (Çizelge A.4)

Q-ölçülen filtrasyon suyu ağırlığıdır. N,

δ -örnek kalınlığı. cm,

S-örnek yüzey alanı. cm ,

Z-test süresi; s

P-örneğin maruz kaldığı su basıncı, MP,

Çizelge B.4: Su viskozite katsayısı

Su sıcaklığı, C°	η katsayısı
15	1,13
20	1,00
25	0,89

Şayet test 150 mm den daha küçük bir çapa sahip karot örneği için uygulandıysa filtrasyon sabiti düzeltme katsayısı, K_c , ile çarpılarak arttırılmalıdır (Çizelge B.5).

Çizelge B.5: Örnek çapı düzeltme katsayısı, K_c

Örnek Çapı	Düzeltilme Katsayısı, K_c
150	1,0
130	1,1
120	1,4
100	1,8
80	2,8
50	5,5

6'lı bir grup beton örneği için bu testin uygulanmasında K_c değeri küçükten büyüğe sıralandığında, 3. ve 4. değerlerin aritmetik ortalaması bu grubun filtrasyon sabitini vermektedir. Elde edilen filtrasyon sabiti, Çizelge B.6'ya danışılarak betonun su geçirgenlik grubunu ifade etmektedir.

Çizelge B.6: Filtrasyon sabiti ile su geçirgenlik sınıfının tayini

Filtrasyon sabiti, K_f , cm/s	Su geçirgenlik sınıfı
$K_f < 6 \cdot 10^{-11}$	W12
$6 \cdot 10^{-11} < K_f < 1 \cdot 10^{-10}$	W10
$1 \cdot 10^{-10} < K_f < 6 \cdot 10^{-10}$	W8
$6 \cdot 10^{-10} < K_f < 2 \cdot 10^{-9}$	W8
$2 \cdot 10^{-9} < K_f < 7 \cdot 10^{-9}$	W4
$7 \cdot 10^{-9} < K_f$	W2

EK C: Betonun Basınç Dayanım Sınıfının Tespiti

SNIP 2.03.01-84 Rus betonarme şartnamesinde tarif edilen betonun prizmatik basınç dayanımı en son baskısı 2005 yılında yapılmış olan GOST 2452-80 şartnamesine uygun olarak belirlenmelidir. İlgili şartname beton basınç dayanımının, elastik modülü ve poisson oranının tayinini kapsamaktadır. Deneylerde silindirik örneklerde örnek yüksekliğin örnek çapına, kare prizmada yüksekliğin taban kenarlarına olan oranın 4 olduğu kalıplar kullanılmaktadır. Taban kenar uzunlukları veya çapı 70, 100, 150, 200 veya 300 mm seçilebilir. Yani örnek yüksekliği sıra ile 280, 400, 600, ve 800 mm olmalıdır. En yaygın kullanılan deney örnek kalıp, boyutları 150x150x150 mm olan kare prizmadır. Mevcut yapılardan karot örneği üzerine deney yapılacaksa yürürlükte olan şartname GOST 10180-90 mevcut beton örneklerinin dayanım sınıflarının tespiti adlı şartnamedir. Beton örneklerinde kullanılan su GOST 23732-79 beton ve çimentolarda kullanılan su ve karakteristikleri adlı şartnamenin getirdiği yükümlükleri sağlamak zorundadır.

Basınç dayanımının tespitinde kullanılan cihaz $1 \cdot 10^{-5}$ hassasiyete sahip olmalıdır. Bu aletin basınç etkileyen elemanları GOST 8.001-80 ve ME 8.7-77 basınca maruz makine kollarının tasarımı adlı şartnamelere uygun olmalıdır.

Maddeler halinde incelenecek olursa,

- Deney sonucu yapılacak beton örnekleri 28 gün boyunca oda şartlarında bekletilmelidir. Her bir örnek grubu 3'er adet örnek içermelidir. Deney esnasında oda sıcaklığı 10°C ila 30°C arasında bulunmalıdır. Deney ortamı ile ilgili koşulları belirleyen şartname GOST 18957-73'dür. Deneyin yapılacağı odaya getirilen örnekler en az 2 saat boyunca ortam koşullarına uyum sağlaması için bekletilmelidir. Bu dinlendirme süresi yangın durumunda betonun karakteristik özelliklerinin incelendiği deneylerde geçerli değildir.
- Deney örnekleri kalıplardan çıkartılarak çatlak ve kırık araştırması yapılmalıdır. Kesit boyutları tekrardan ölçülmelidir. Yüzay ufak taşlardan veya deney kalitesini etkileyebilecek herhangi bir maddeden (toz, yağ benzeri) temizlenmelidir. Rus betonarme şartnamesi bu incelemenin üstün körü yapılmamasını, GOST 10180-78 şartnamesinde tarif edilen inceleme yöntemine uygun olarak yapılmasını istemektedir.

- Deney örnekleri üst ve alt yüzeylerine elemanın ağırlık merkezinin gösteren bir koordinat sistemi işaretlenmelidir. Örnekteki boyuna birim uzama değerlerini kaydeden cihazın, kesitin en üst ve en alt yüzeylerinden ölçüm yapma zorunluluğu yoktur. Ancak ölçümde dikkate alınan örnek yüksekliği toplam örnek yüksekliğinin 2/3'ünden fazla seçilmelidir. Ayrıca alt ve üst yüzeylere olan mesafe eşit olmalıdır.
- Örnekte meydana gelecek boy değişimlerinin kaydında referans noktalarında meydana gelecek hareketin önlenmesi için ölçüm yapam cihaz veya cihazlar çelik bir kafes monte edilmelidir. Buradaki amaç yangın ve kimyasal etki durumu halinde meydana gelebilecek farklılıkların öngörülebilir düzeyde tutulmasıdır.
- Elastik modül ve poisson oranının aratırıldığı deneylerde cihazlar örnekte güç tükenmesine neden olacak kuvvetin en az %140'ına dayanacak şekilde tasarlanmış olmalıdır.
- Deneyde örneğe etki edecek ilk basınç kuvveti, tahmini güç tükenmesi kuvvetinin en az %20 ±5'si kadar olmalıdır. Tahmini veya beklenen değerler, GOST 10180-78 uyarınca beton örneğin elde edilmesinde kullanılan karışım dikkate alınarak belirlenmelidir. Bu tahmini değer deney sonucu okunan değerden az veya çok olabilir. Ancak deney sonucu dikkate alınan değer %80'inden az olmamalıdır.
- Kesitte güç tükenmesi oluncaya kadar, örneğe etki eden basınç kuvveti 0.6±0.2 MPa/s olan adımsal artırımlarla artırılmalıdır. Her adımdaki kuvvet artması tahmini güç tükenmesi kuvvetinin en fazla %10'una karşılık gelen değer kadar olmalıdır.
- Her bir adımda kesitin yüksekliği, ve her iki yatay doğrultudaki kesit genişliğindeki değişimler kaydedilmelidir.

Buna göre deney sonucu okunan değerlerin ortalamaları dikkate alınarak, aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir:

- Betonun prizmatik basınç dayanımı hesabı:

$$R_{b,n} = \frac{P_p}{F}$$

Burada P_p - örnekte güç tükenmesine neden olan kuvvet

F – Örnek en kesit alanıdır

- Beton elastik modülünün tayini:

$$E_{\sigma} = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1y}}$$

Burada σ_1 – güç tükenmesi durumuna neden olan kuvvetin %30'unun neden olduğu gerilme arttırımı

ε_{1y} - güç tükenmesi durumuna neden olan kuvvetin %30'unun neden olduğu birim boy uzaması

- Beton poisson modülünün tespit edilmesine Rus betonarme şartnamelerine göre gerek yoktur. Bu değerin $\nu_{b,p}=0,2$ alınması yeterli görülmektedir. Ancak deney ile bu değere ulaşılması istendiği takdirde:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{2y}}{\varepsilon_{1y}}$$

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Salim Ayalp

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul- 22 Haziran 1989

Adres: Karanfil Caddesi Bambu Sokak No:5 Levent-
Beşiktaş İstanbul

E-Posta: sayalp76@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi