

3.7 YÜK AKTARMA ÇUBUĞU BULUNAN DERZLERDE YÜK AKTARMA SİSTEMLERİ

Endüstriyel zemin betonlarında iş derzi ve genleşme derzlerinde çeşitli nedenlerle, derzin bir tarafındaki yükün diğer tarafa aktarılması gerekmektedir. Beton şerit halinde dökülen plaklarda uzun doğrultuda yük aktarımını sağlamak için az miktarda bağlantı donatısı kullanımı mümkün iken, dikdörtgen biçiminde oluşturulan plakların köşelerinde oluşması muhtemel kıvrılmanın önüne geçmek ve plak kenarlarında yük aktarımını sağlamak suretiyle plaklar arasında farklı sehımlere olanak vermemek amacıyla yük aktarma çubukları kullanılmaktadır. Aşağıda bulunan iki alt bölümde önce söz konusu çubukların çalışma şekli üzerinde durulacak ve daha sonra bağlantı donatısı ile ilgili bir miktar bilgi verilecektir. Burada kullanım kolaylığı nedeniyle yük aktarma çubukları dovıl (dowel) olarak anılacaktır.

3.7.1 Yük Aktarma Çubuklarının Tasarımı ve Yük Aktarımı

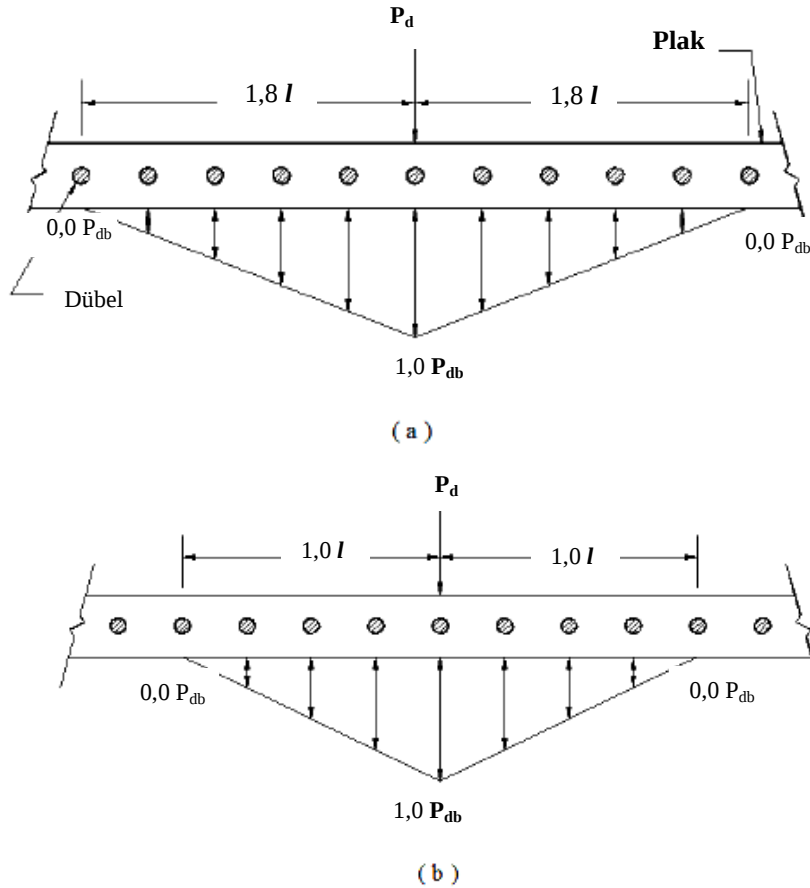
Dovıllar teorik olarak tasarımı her durum için mümkün olsa da, genellikle deneyime dayanan çözümlerin sunulması ve uygulanması yoluna gidilmektedir. Dovılların boyutları, kullanılan plak kalınlığı ile doğrudan ilişkilidir. Bir ön bilgi olarak, aşağıdaki tabloda farklı plak kalınlığı durumunda kullanılması önerilen dovıl boyutları verilmektedir [4,13, 23, 25, 26].

Tablo 3.34 Çeşitli yayınlarda verilen dovıl boyutları ve yerleşiminin karşılaştırılması

Plak Kalınlığı (mm)	Dovıl çapı (mm)			Minimum Gömme Boy (mm)	Dovıl Boyu (mm)			Dübel Aralığı (mm)
	ACI 330	ACI 302	TM 5-809	ACI 330	ACI 330	ACI 302	TM 5-809	ACI 330-ACI 302
125	16	19	19	130	305	410	380	305
150	19	19	19	155	355	410	380	305
175	22	25	19	155	355	460	380	305
200	25	25	25	155	355	460	410	305
225	28	32	25	180	410	460	410	305
250	32	32	25	190	460	460	410	305
275	35	32	25	205	460	460	410	305
300	38	-	32	230	510	460	460	305

Tablodaki ACI 330' a ait sütundan görülebileceği üzere, dovıl çapı plak kalınlığının yaklaşık olarak sekizde biridir. Diğerleri ise bazı sabit değerler vermektedir. Minimum gömme boyu olarak ifade edilen sütundaki değerler, birbirine komşu olan plaklardan ilk dökülen beton içerisinde kalacak dovıl boyunu vermektedir. Esasen tüm dovıl boyunun yaklaşık yarısı kadar olan gömme boyu değerleri farklı çalışmalarda farklı değerlerle verilmektedir. dovıl aralığı olarak tek bir değerin verilmiş olmasına rağmen, belki de hesabı

en karmaşık olan bu mesafenin elde edilmesidir. Yapılan kabuller ve kullanılan hesap yönteminin farklı olmasının yanında, zemin tipine de bağlı olan bu ara mesafenin bulunması için ilk varsayımları Westergaard ve Friberg yapmıştır [13,24]. Bu çalışmada; plak kenarında bulunan bir yükten dolayı, komşu plağı yüklü plağa bağlayan dovillalar yükün her iki tarafında, l bağıl rijitlik yarıçapını ifade etmek üzere, $1,8l$ mesafeye kadar etkili olabilmektedirler. Dovillara iletilen yükün değişimi doğrusaldır ve yükten $1,8l$ kadar uzak mesafede dovillaların aldığı kuvvet sıfır kabul edilir (Şekil 3.68a). Negatif momentin maksimum olduğu noktaya denk geldiği düşünülen bu mesafede kesme kuvvetleri sıfırdır ve yükün etki ettiği noktaya doğru artar. Bu durumda kesme kuvvetinin maksimum olduğu yer yükün tam altıdır. Negatif momentin maksimum olduğu mesafe, değişik araştırmacılar tarafından farklı biçimde tanımlanmaktadır. Tabatabaie (1979) ve Heinrichs (1989) yaptıkları farklı çalışmalar ile dübellerin yük etki mesafesinin her iki tarafta $1,0l$ olarak alınması gerektiğini bildirmişlerdir (Şekil 3.68b) [13,24].



Şekil 3.68 Kenardaki bir yük altında olan plakta dovillara iletilen kuvvetin dağılımı

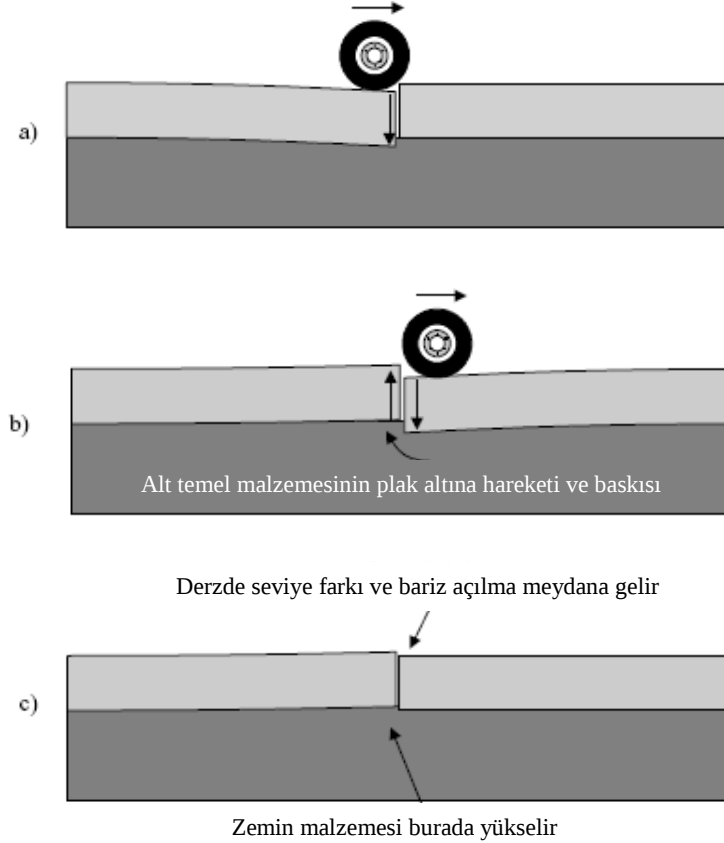
a – Negatif momentin yükten $1,8 l$ mesafede maksimum olduğu varsayımı

b– Negatif momentin yükten $1,0 l$ mesafede maksimum olduğu varsayımı

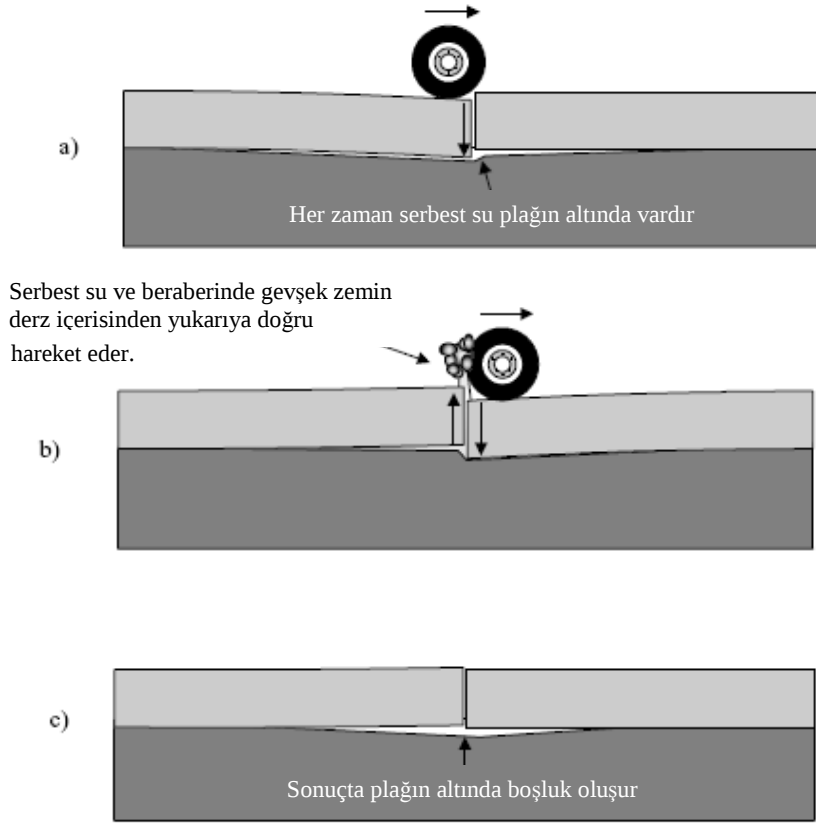
Dovıllı derzlerde en kritik durum araç geçişi sırasında yaşanır. Araç tekerleği tam plak sınırında iken, yüklü plak düşey olarak yerdeğiştirmeye çalışacak ve dovıl sözkonusu

tekerlek yükünün bir kısmını komşu plağa aktaracaktır. Dovıl kullanılmayan plakta oluşan bir dizi davranış Şekil 3.69 ve Şekil 3.70’ de açıklanmaktadır.

Eğer dovılların yük aktarımında tam etkili olarak çalıştığı varsayılırsa, yükün yarısı yüklü plaktan alt temele iletilecek ve diğer yarısı dovıllar aracılığıyla komşu plağa aktarılacaktır. Bu varsayım, yüklü plak ile komşu plağın söz konusu yük altında aynı yerdeğiştirmeyi yaptığını ifade etmektedir. Tekrarlı yükler düşünüldüğünde, dovılların alt ve üst kısımlarında bazı boşlukların oluşması nedeniyle dovılların tam kapasite ile yük aktarabilmesi mümkün olmayabilir. Dovılların tam etkili olmadıkları varsayıldığı durumda komşu plağa aktarılabilen yük, tüm yükün yarısından daha az olacaktır. Bu konuda araştırma yapan Yoder ve Witczak, söz konusu boşlukların etkisinin % 5 ila % 10 arasında kabul edilebileceğini bildirmişlerdir [24]. Aynı araştırmacılar % 5 lik bir azaltmanın dovılların güvenliği açısından uygun olduğunu belirtirlerken, daha güvenli olarak azaltma yapılmaması gerektiğini savunan diğer araştırmacılar da vardır [13].



Şekil 3.69 Aralarında dovıl bulunmayan plakların zemin hareketi açısından davranışı-1
a – Araç tekerlek yükünden dolayı sehîm oluşur
b – Alt temelin sıkışmasından dolayı komşu plak yukarıya doğru hareket eder
c – Yük sonrası durumda plaklar arasında seviye farkı kalır.



Şekil 3.70 Aralarında dovıl bulunmayan plakların zemin hareketi açısından davranışı-2

- a – Araç tekerlek yükünden dolayı sehîm oluşur
- b – Alt temelin sıkışmasından dolayı altta bulunan serbest su ve gevşek malzemeler plak yüzeyine çıkar
- c – Yük sonrası durumda plaklar altında kalıcı bir boşluk oluşur.

Plaklar arasında dovıl bulunması, Şekil 3.69 ve 3.70’ de gerçekleşmesi ihtimali yüksek olan bu tip hareketlere engel olacaktır. Dovıl gruplarına aktarılan yükün belirlenmesi veya seçilmesinin ardından, Şekil 3.68a veya 3.68b’ de gösterilen iki farklı varsayımın birinden hareketle, her bir dovıla etki eden yük veya kesme kuvveti kolayca bulunabilir.

Dovıllar hemen her zaman genişleme derzlerinin iki tarafındaki plakları birbirine bağlamak suretiyle yük aktarımını sağlamaktadırlar. Genleşme derzleri ise genelde 6 mm ila 20 mm arasında değişmektedir. Dış şartlara açık bulunan zemin betonlarında, geniş alanların tek seferde tamamlanabilmesi için açıklığı fazla olan plaklar ve bu sebeple daha geniş derz aralıkları kullanılmaktadır. Genişliği daha fazla olan derzlerde kullanılan dovıllar, diğer derz aralıklarında olanlardan daha fazla zorlanarak yükleri aktarabilirler. Bu nedenle, yüklü plaktan dovıl aracılığıyla komşu plağa aktarılan kuvvetin tüm yükün % 40’ ı kadar alınmasını ($P_{db} = 0,4P_d$), fakat bununla beraber güvenli tarafta kalınması amacıyla teorik olarak elde edilen dübel çapının 1,25 ile çarpılarak artırılması önerilebilir (*% 40 aktarım oranı, yüklü plaktaki etkili yükü % 60 oranında bırakacağından, bu değer yüklü plak için güvenli taraftadır*).

3.7.2 Yük Aktarma ubuklarındaki İç Kuvvetler ve Yük Taşıma Kapasiteleri

Endüstriyel zemin betonlarının dökümüne ara verildiğinde veya geniş alanların dökülmesi durumunda genleşme derzlerinin bırakılması istendiğinde, plakların arasına yük aktarımını sağlayan ve yukarıdaki alt bölümde ifade edilen dovılların yerleştirilmesi sözkonusudur (şekil 3.71). İş derzlerinin aralığı 3 mm ila 6 mm ve genleşme derzlerinin aralığı genelde 6 mm ila 20 mm arasında değişmektedir. Özel retim yapan ve plak bölgesinin aşırı sıcak veya soğuktan etkilenmesi mümkün olan endüstriyel tesislerde, özel olarak bazı hesaplamaların yapılması suretiyle derz aralıklarına karar verilmelidir.



şekil 3.71 Genleşme derzi ve yük aktarımını sağlayan elik çubukların görünüşü

Sözkonusu derzlerin iki tarafındaki plakları bağlayan dovıllar esas itibarıyla kesme ve eğilme gerilmelerini karşılayarak yükleri aktarabilmektedirler. Bu sırada plak kenarlarında betonu ezmek suretiyle düşey yerdeğiştirme yaptıklarından, bu durum elastik zemine oturan bir kirişin davranışına benzetilir. Beton elikten daha zayıf olduğundan, yükün taşınması için gereken dovıl çapı ve boyu, beton ile elik çubuk arasındaki oluşan ezilme gerilmesinin elde edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu durumda izin verilebilen en büyük gerilmenin ifadesi Amerikan Beton Enstitüsü tarafından 1956 yılında ortaya konmuş olan aşağıdaki denklemdir [13].

$$f_b = \left(\frac{55 - d_d}{30} \right) f_{cd} \quad [\text{MPa}] \quad (3.124)$$

Burada;

f_b :İzin verilen ezilme gerilmesi [MPa],

f_{cd} :Betonun hesapta kullanılan silindirik basınç dayanımı (sınıf dayanımı) [MPa],

d_d :Dovıl apı [mm] dir.

Bir yük aktarma çubuğu (dovil) üzerine düşen ezilme gerilmesi

Her bir dovılın payına düşen yük biliniyorsa, betonun esnek bir zemin ve dovılın da bu zemine oturan bir kiriş olarak varsayılması sonucu, maksimum ezilme gerilmesi elde edilebilir. Şekil 3.72' ye göre y_0 değerini bulmaya çalışalım. Burada y_0 olarak ifade edilen terim; esaslı Timoshenko' ya ait olan çözümün kullanılmasıyla elde edilen ve Friberg tarafından 1940 yılında ortaya konmuş olan çalışmada adı geçen dovıl altında betonun yerdeğiştirmesidir. Elastik zemine oturan kiriş için Timoshenko modeli:

$$-ky = E_d I_d \frac{d^4 y}{dx^4} \quad (3.125)$$

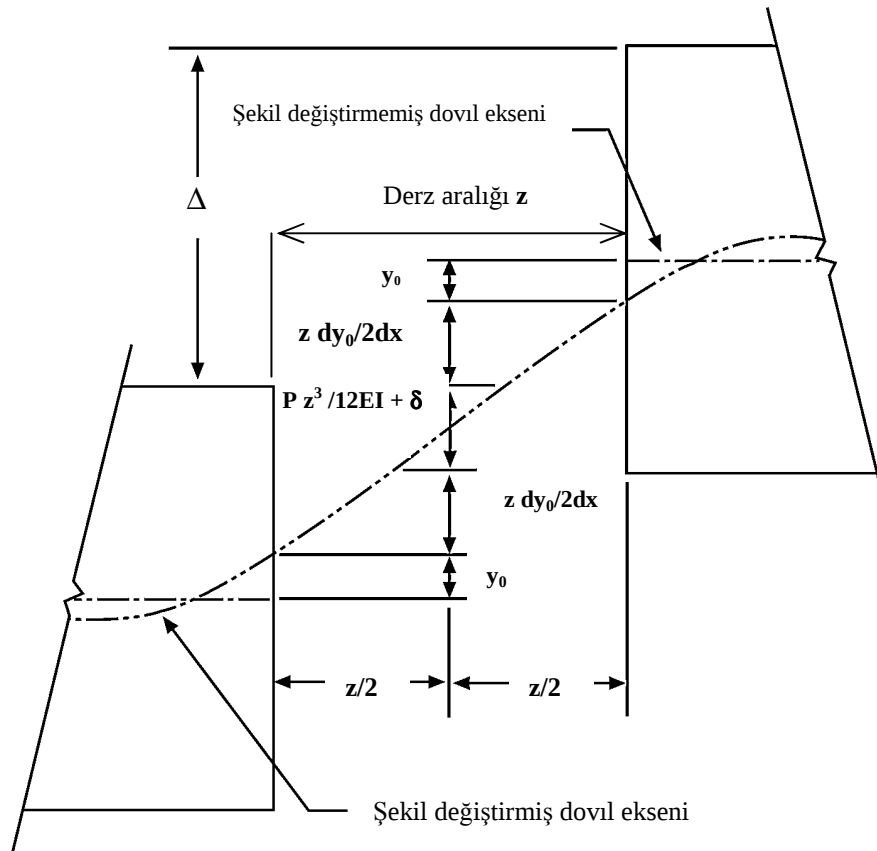
Burada;

k :Yatak katsayısı,

y :Dovılın düşey yerdeğiştirmesi,

E_d :Dovulun elastisite modülü,

I_d :Dovulun atalet momentidir ($= \pi d^4/64$).



Şekil 3.72 Dövl yük aktarımı sırasında plak kesitleri arasında bağıl yer değiştirme

3.125 denkleminin genel çözümü aşağıda verilmiştir.

$$y = e^{\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \quad (3.126)$$

Burada;

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4E_d I_d}} \text{ olarak alınmakta ve dovulun bağıl rijitliğini ifade etmektedir.}$$

3.126 denkleminin sınır koşullarının uygulanması sonucu A, B, C ve D sabitleri elde edilir. Yarı-sonsuz kiriş durumunda noktasal yük (P) ve moment (M_0) terimlerinin eklenmesiyle denklem aşağıdaki biçimi alır.

$$y = \frac{e^{-\beta x}}{2\beta^3 E_d I_d} [P \cos \beta x - \beta M_0 (\cos \beta x - \sin \beta x)] \quad (3.127)$$

Friberg, yukarıdaki denklemde dovulun yarı-sonsuz uzunlukta ve elastik zemine oturduğunu varsayarak plak kenarındaki düşey yerdeğiştirmeyi $x = 0$ da ve $M_0 = 0$ durumunda elde etmiştir [13,24].

$$y_0 = \frac{P_{db}}{4\beta^3 E_d I_d} (2 + \beta z) \quad (3.128)$$

Burada

$$\beta = 3,65 \sqrt[4]{Kd_d / 4E_d I_d} \quad [1/\text{mm}]$$

z :Derz aralığı

Ezilme gerilmesi, düşey yerdeğiştirme ile orantılı olacağından aşağıda verilen biçimde elde edilebilir:

$$\sigma_b = K y_0 = \frac{K P_{db} (2 + \beta z)}{800 \beta^3 E_d I_d} \quad [\text{MPa}] \quad (3.129)$$

Burada

K :Dübel yatak katsayısı olup 80 GN/m³ ila 410 GN/m³ arasında değerler almaktadır.

Denklemlere, bu aralıkta kalan değerler yerleştirilebilir.

Denklem 3.129'daki K dışındaki tüm birimler [N] ve [mm] cinsinden yerlerine yerleştirilmelidir. K için gereken birim açıklandığı gibi GN/m³'tür.

Yukarıdaki denklem ile elde edilen gerçek gerilme değeri eğer Denklem 3.124 ile elde edilenden daha büyük ise, o zaman daha büyük çaplı dovullar kullanılmalı veya daha sık aralıklarla yerleştirilmelidir. Son araştırmalar, ezilme gerilmesinin değerindeki değişmelerin, plak üzerindeki araç tekerlek yükü nedeniyle zeminde oluşan ve plakları birbirlerine göre farklı yerdeğiştirmeye zorlayan etkilerin büyüklüğü ile ilgili olduğunu göstermiştir (bkz. Şekil 3.69, 3.70). Bu durumda, tasarımda ezilme gerilmesinin sınırlandırılması suretiyle, plakta meydana gelebilecek farklı oturmalar uygun değerlere indirilebilmektedir.

Şekil 3.72' te Δ ile gösterilen bağıl yerdeğiştirme dört ana bileşenden oluşmaktadır:

- 1 – Derzin her iki yüzünde yerdeğiştirme değeri, y_0
- 2 – Dovılın eğilmesine karşı gelen yerdeğiştirme, zdy_0/dx
- 3 – Momentin etkisiyle yerdeğiştirme, $P_{db}z^3/12E_dI_d$
- 4 – Kayma etkisiyle yerdeğiştirme, $\delta = \lambda P_{db}z/A_dG_d$ olarak elde edilir.

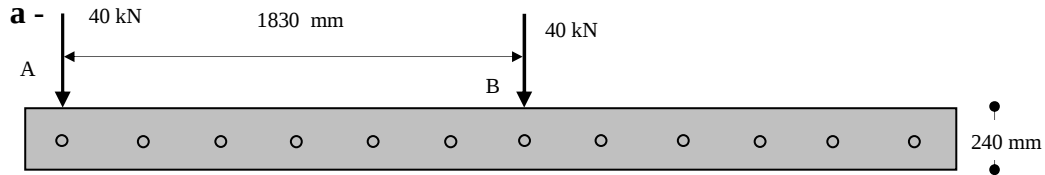
Burada λ ; dovıl biçimine bağlı bir çarpan olup, dairesel kesitli dübeller için 10/9 dur. Neticede toplam yerdeğiştirme Δ , aşağıdaki tek bir denklemle ifade edilebilir.

$$\Delta = 2y_0 + z \frac{dy_0}{dx} + \frac{P_{db}z^3}{12E_dI_d} + \frac{\lambda P_{db}z}{A_dG_d} \quad (3.130)$$

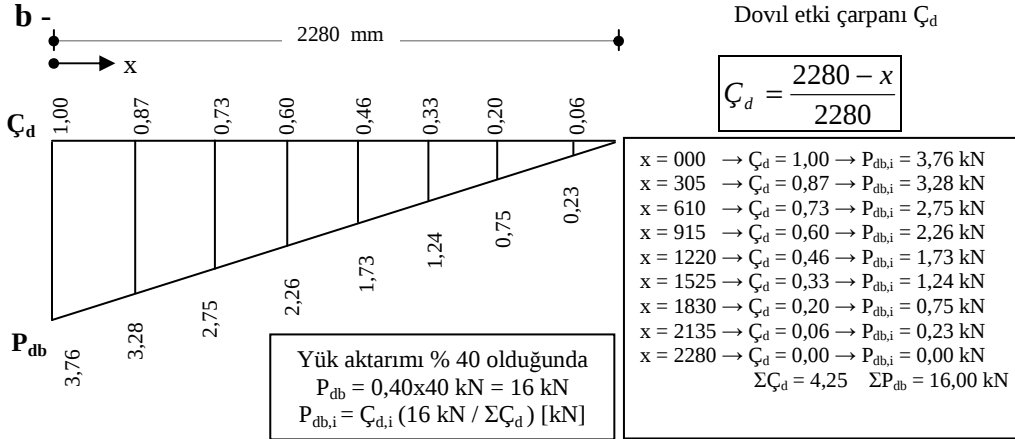
Örnek:

Şekil 3.73a' da verilmiş olan 240 mm kalınlığındaki beton plak, yatak katsayısı 0,0136 N/mm³ olan zemine oturmaktadır. Plak genişliği 3,7 m (3700 mm) olup, 12 adet dovıl 305 mm aralık ile yerleştirilmiştir. 40 kN' luk iki adet yük A ve B noktalarına etki etmektedir. Bu durumda bir adet dovıla etki eden maksimum yükü elde edelim [13].

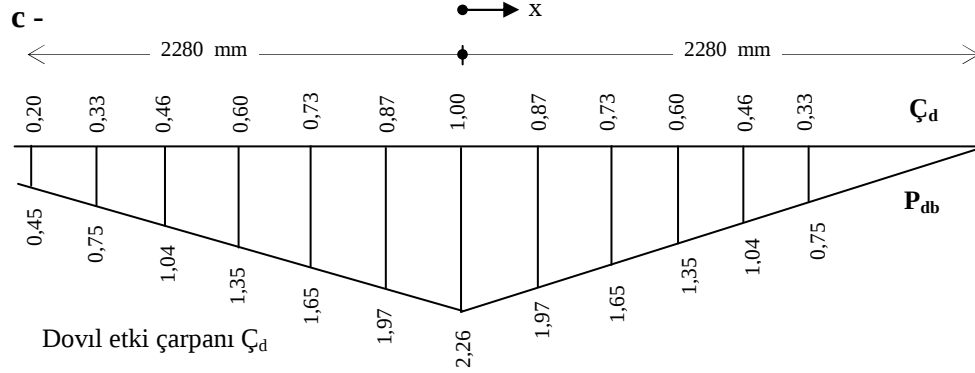
$E = 30000$ MPa ve $\nu = 0,15$ alınarak $l = [Eh_f^3/12k(1-\nu^2)]^{0,25} \Rightarrow l = 1269$ mm elde edilir.



Yükün uygulandığı mesafeden $1,8l$ uzaklıkta dovılların yük almadığı varsayıldığında (Şekil 3.60a), bu değer 2,28 m olarak elde edilir. İlk olarak A noktasında bulunan yükten kaynaklanan dübel kuvvetlerini elde edelim. A noktasının hemen altında etki çarpanı 1,00 iken, yükten 2280 mm uzaklıkta etki çarpanı 0,00 olacaktır.



A noktasındaki 40 kN' luk kuvvetten dolayı elde edilen dovıl kuvvetleri bulunduğundan sonra, B noktasındaki 40 kN' luk yükün dovıllara dağıtılmasına geçilebilir. Üstte yapılan işlemlerin bir benzeri aşağıdaki hesap biçiminde gösterilmiştir.



$$C_d = \frac{2280 - x}{2280}$$

Yük aktarımı % 40 olduğunda
 $P_{db} = 0,40 \times 40 \text{ kN} = 16 \text{ kN}$
 $P_{db,i} = C_{d,i} (16 \text{ kN} / \sum C_d) [\text{kN}]$

Sol taraf

$$\begin{aligned} x = 305 &\rightarrow C_d = 0,87 \rightarrow P_{db,i} = 1,97 \text{ kN} \\ x = 610 &\rightarrow C_d = 0,73 \rightarrow P_{db,i} = 1,65 \text{ kN} \\ x = 915 &\rightarrow C_d = 0,60 \rightarrow P_{db,i} = 1,35 \text{ kN} \\ x = 1220 &\rightarrow C_d = 0,46 \rightarrow P_{db,i} = 1,04 \text{ kN} \\ x = 1525 &\rightarrow C_d = 0,33 \rightarrow P_{db,i} = 0,75 \text{ kN} \\ x = 1830 &\rightarrow C_d = 0,20 \rightarrow P_{db,i} = 0,45 \text{ kN} \\ \Sigma C_d &= 3,19 \end{aligned}$$

Sağ taraf

$$\begin{aligned} x = 000 &\rightarrow C_d = 1,00 \rightarrow P_{db,i} = 2,26 \text{ kN} \\ x = 305 &\rightarrow C_d = 0,87 \rightarrow P_{db,i} = 1,97 \text{ kN} \\ x = 610 &\rightarrow C_d = 0,73 \rightarrow P_{db,i} = 1,65 \text{ kN} \\ x = 915 &\rightarrow C_d = 0,60 \rightarrow P_{db,i} = 1,35 \text{ kN} \\ x = 1220 &\rightarrow C_d = 0,46 \rightarrow P_{db,i} = 1,04 \text{ kN} \\ x = 1525 &\rightarrow C_d = 0,33 \rightarrow P_{db,i} = 0,75 \text{ kN} \\ \Sigma C_d &= 3,99 \end{aligned}$$

İki taraf için genel toplam $\Sigma C_d = 3,19 + 3,99 = 7,08$ elde edilir. $P_{db} = 16 \text{ kN}$

Yük altındaki dübele aktarılan maksimum kuvvet:

$$P_{db,maks.} = C_d (P_{db} / \Sigma C_d) = 1,00(16 \text{ kN} / 7,08) = 2,26 \text{ kN}$$

Şekil 3.73 Dovıllara yük aktarımı ile ilgili örnek çözüm

a – Beton plak ve yükler

b – Kenardaki 40 kN yükten dolayı dovıllara aktarılan kuvvetler

c – Ortadaki 40 kN luk yükten dolayı dovıllara aktarılan kuvvetler

Şekil 3.73b ve 3.73c' den görülebileceği gibi plak kenarına en yakın olan dovıl en kritik durumdadır. Toplam olarak $3,76 + 0,45 = 4,21 \text{ kN'}$ luk yük taşımak zorunda kalan kenar dübel için 20 mm çaplı çelik çubuk kullandığımızı varsayalım ve yüklü plak ile komşu plak arasında 6 mm' lik derz bulunsun. Dovıl için yatak katsayısı $K = 407 \text{ GN/m}^3$ olarak seçilirse, dovıl ile beton arasında aşağıdaki hesaplanan gerilmeler ortaya çıkar:

$$I_d = \pi(20)^4 / 64 = 7854 \text{ mm}^4$$

$$\beta = 3,65 \sqrt[4]{(407 \times 10^9 \times 20) / (4 \times 210000 \times 7854)} = 21,6 [1/\text{mm}]$$

Denklem 3.129' dan meydana gelen gerilme:

$$\sigma_b = K y_0 = \frac{407 \times 10^9 \times 2260(2 + 21,6 \times 6)}{800(21,6)^3 210000 \times 7854} = 9,10 \text{ MPa} \text{ olarak elde edilir.}$$

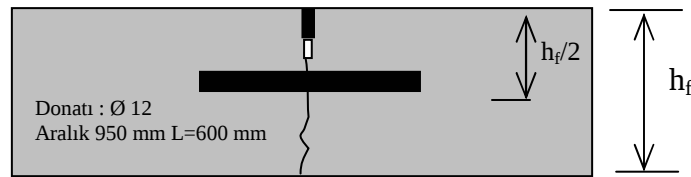
Denklem 3.124 kullanılarak hesaplanan ve betonun emniyetle taşıyabileceği gerilme ile meydana gelen gerilmenin karşılaştırılması aşağıda verilmektedir.

$$f_b = \left(\frac{55 - 20}{30} \right) \frac{25}{1,5} = 19,44 \text{ MPa} > 9,10 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Yukarıda verilen örnek çözümde 1,8l yerine 1,0l kullanıldığında elde edilen sonuçlar daha kritik olmakta ve yüke yakın olan her bir dovila aktarılan kuvvet büyümekte ise de, 1,0l' den daha uzaktaki yüklerin etkisinin olmadığı varsayımı nedeniyle etki azalmaktadır. Bununla beraber en iyi çözüm yöntemi olarak, kenardaki yük için 1,0l ve plak ortasında olan bir yük durumunda söz konusu yükün kenara etkisini artırmak için 1,8l' nin kullanılabileceği önerilmektedir.

3.7.3 Bağlantı Donatıları

Bir seferde dökülen endüstriyel zemin betonu alanı, mevsime ve malzeme teminine göre değişiklik gösterse bile 2000 m² ila 3000 m² arasında olabilir. Bu durumda beton dökümünü takibeden 24 saat içerisinde betonun kesilmesi suretiyle büzülmeden dolayı ortaya çıkan çatlakların önlenmesi istenir. Çubuk donatılı zemin betonlarında, sözkonusu donatılar sürekli olarak bir plaktan kesilmiş derzin diğer tarafına geçebildiklerinde, ayrıca bir dovül mekanizması oluşturarak yük aktarımının sağlanmasına gerek kalmayabilir. Bununla beraber; tek sıra çubuk donatılı plaklar ile üstteki donatı katının derz kesimi sırasında kesilebileceği ihtimalinin bulunduğu çift sıra donatılı plaklarda, yük aktarımının dovıllar aracılığıyla yapılması kaçınılmaz olmaktadır. Aralarında derz bulunan plaklar için kullanılan dübeller ile ilgili olan açıklamalar bir üstteki bölümde etraflıca konu edilmiş olup, burada donatı çubuklarının yük aktarım payları üzerinde kısaca durulacaktır. Aşağıda plakta çubuk donatı bulunmaması durumu için yük aktarma görevi gören dübellerin şematik kesiti bulunmaktadır (Şekil 3.74). Çelik tel donatılar kullanılması durumunda, plakta ayrıca yapısal olarak çubuk donatı bulunmuyorsa, söz konusu yük aktarma elemanları olarak sadece dovıllar kullanılır. Bu durumda dovıllar, beton dökümü öncesi özel sehpalar vasıtasıyla zemin üzerine özenle yerleştirilir ve daha sonraki derz kesiminde yararlanılmak üzere doğrultuları belirlenir (Şekil 3.75).



Şekil 3.74 Çubuk donatı bulunmayan kesme derzinde dovül ile yük aktarımı



Şekil 3.75 Plakta derz kesimi yapılması planlanan bölgelerde beton dökümü öncesi hazırlanmış yük aktarma çubuklarının (dovillaların) yerleşimi

Bağlantı donatıları (veya çubukları) için gereken miktar, donatılı plak için kullanılan ve enine ve boyuna donatı çubuklarının hesaplanmasında yararlanılan bilgiler ışığında bulunabilir. Söz konusu genel bilgiler bu durum için düzenlenirse, aşağıda bulunan ve çok kullanılan denklem haline dönüşür:

$$A_s = \frac{\gamma_b h_f L' \mu_s}{f_y} \quad (3.131)$$

Burada;

γ_b : Betonun birim hacim ağırlığı (24 kN/m³)

L_9 : Plagın, donatı gerekmeyen ucundan bağlantı donatısına olan paralel uzunluğu (m)

μ_s : Plak ile alt zemin arasındaki ortalama sürtünme katsayısı (1,5 alınmaktadır)

f_y : Donatı çeliğinin akma dayanımı (MPa)

A_s : Plagın birim boyu için gereken donatı alanıdır (mm²/m)

Bağlantı donatısının (veya çubuğunun) uzunluğu aderans gerilmesi (f_a) ile ilgilidir. Nervürlü çubuklar için bu değerin genellikle 2,4 MPa olarak alınabileceği bilinmektedir. Çubuğun boyunun (t) bulunmasında, çubuğun taşıma gücü esas alınır ve aşağıdaki denklem elde edilir:

$$t = 2 \left(\frac{A_0 f_y}{f_a \Sigma o} \right) \quad (3.132)$$

Burada;

t : Bağ çubuğu boyu (mm)

A_0 : Çubuğun alanı (mm²)

Σo : Çubuğun çevresidir (mm).

Örnek:

Kalınlığı 200 mm olan çelik tel donatılı beton plak 3,6 m genişliğinde 2 sıra halinde dökülecek biçimde tasarlanmıştır. İki plağın yük aktarımında BÇ I kullanılması şartı olduğuna göre, $f_y=220$ MPa; donatı çapının, çubuk boyunun ve aralığının hesaplanması istenmektedir.

Gereken toplam çubuk alanı

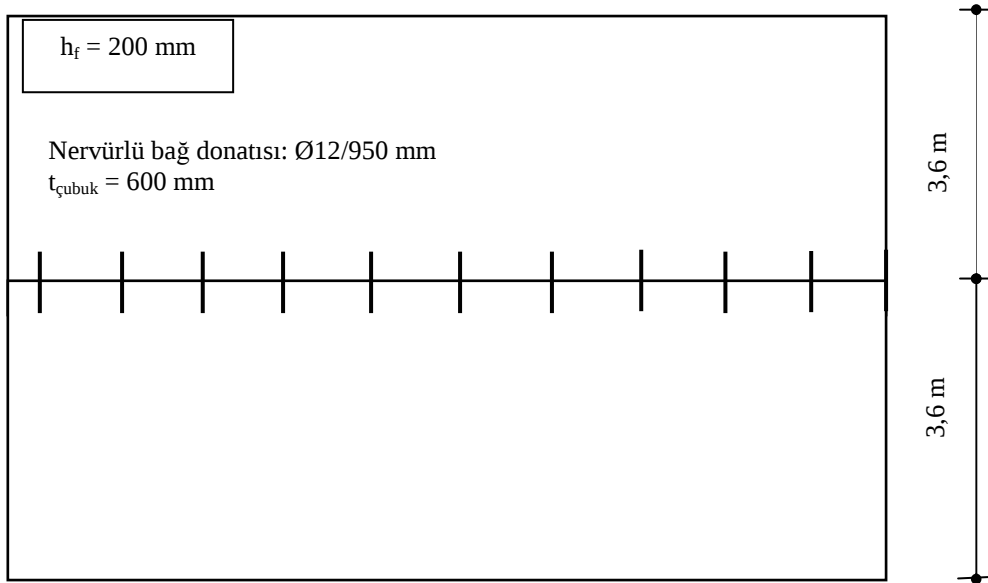
$$A_s = \frac{24 \times 200 \times 3,6 \times 1,5}{220} = 118 \text{ mm}^2/\text{m} \text{ bulunur ve } \varnothing 12 \text{ Nervürlü çubuk seçilir.}$$

Gereken çubuk aralığı

$\varnothing 12$ için $A_0 = 113 \text{ mm}^2$ olduğundan, aralık $s = (113/118) \times 1000 \approx 950 \text{ mm}$ bulunur.

Gereken çubuk boyu 3.130 denkleminde

$$t = 2 \left(\frac{113 \times 220}{2,4(3,14 \times 12)} \right) = 550 \text{ mm} \text{ bulunur. Güvenli tarafta kalınması için } 600 \text{ mm} \text{ seçilir.}$$

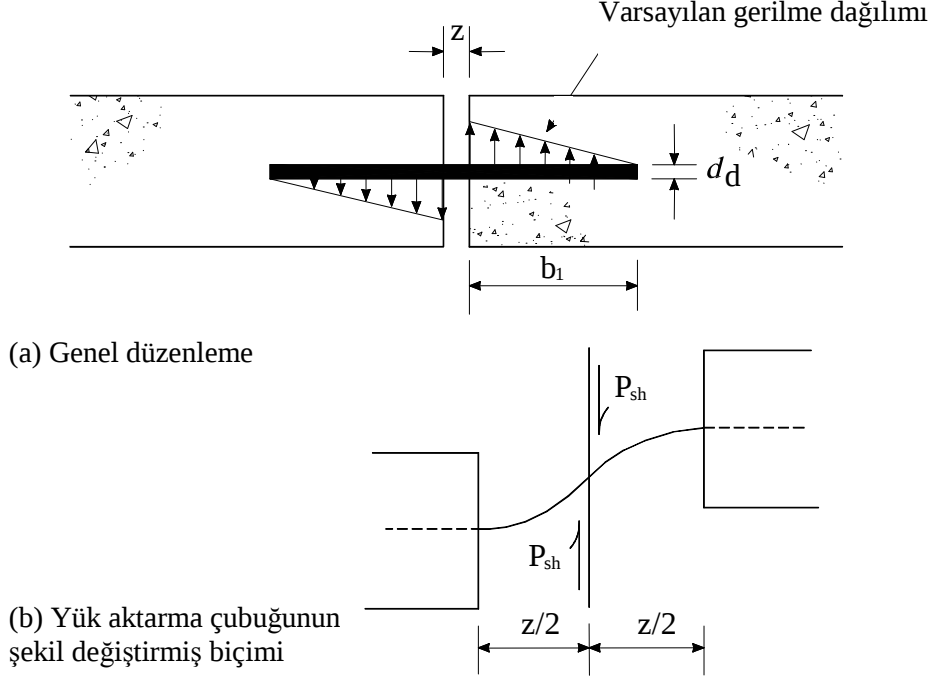


Şekil 3.76 Örnekte çözümü yapılan plağın şematik gösterimi

3.7.4 Yük Aktarma Sistemlerinde TR34 Yaklaşımı

3.7.4.1 elik ubuklar ile yük aktarımı

Aşağıdaki basit hesap kare ve dairesel yk aktarma çubuklarına uygulanabilir. şekil 3.77’de yk aktarma çubuklarının yerleşimi görülmektedir. şekilde z derz genişliğini, d_d yük aktarma çubuğunun çapını (veya karenin bir kenarı (d) kenar boyutunu) ve b yük taşıma uzunluğunu göstermektedir [12].



şekil 3.77 Yük aktarma çubuklarının yerleşimi ve deformasyon yapmış durumu

Etkili yk aktarma çubuğu sayısı

Uygulanan yükten $(1,8l)$ mesafe içindeki yük aktarma çubuklarının yükün aktarılmasına katkısı olduğu belirtilmektedir (l : bağlı rijitlik yarıçapı). Uygulanan yükün merkez çizgisinden uzaklaştıkça yk aktarma çubuğu tarafından taşınan yük azalır. Yük aktarma çubuklarının kapasitesi merkez çizginin her iki tarafından $(0,9l)$ uzaklıkta kontrol edilmelidir. Yük aktarma ubuğu, Tablo 3.35’te gösterildiği gibi tam kapasite çalışma-lıdır [12]. Yük aktarma çubuğu başına kayma kapasitesi P_{sh} aşağıdaki formülle ifade edilir;

$$P_{sh} = 0,6A_v \frac{f_y}{\gamma_{ms}} \quad (3.133)$$

Burada;

f_y : Çeliğin akma dayanımı,

A_v :Kayma alanı = 0,9x(kesit alanı),

γ_{ms} :Çelik çubuk için güvenlik katsayısıdır (1,15 alınır).

Yük aktarma çubuğu başına taşıma kapasitesi $P_{taş}$, aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$P_{taş} = 0,5b_1d_d \frac{f_{cu}}{\gamma_{mc}} \quad (3.134)$$

Burada

b_1 :Etkin taşıma uzunluğu ($8d_d$ 'den büyük alınmaz)

d_d :Yük aktarma çubuğu çapı (veya dairesel olmayan kesitlerin genişliği)

f_{cu} :Karakteristik beton küp basınç dayanımı N/mm^2

γ_{mc} :Beton için güvenlik katsayısıdır (1,5 alınır).

Yük aktarma çubuğu eğilme kapasitesi derz açıklığının bir fonksiyonudur ve aşağıdaki formülle hesaplanır [12];

$$P_{eğ} = \frac{2Z_p}{z} \frac{f_y}{\gamma_{ms}} \quad (3.135)$$

Burada Z_p ;yük aktarma çubuğunun plastik bölümünün modülüdür. Kare kesitli olanlar için: $(d_d)^3/4$, dairesel kesitli olanları için: $(d_d)^3/6$ olarak hesaplanabilir.

Bileşik kesme ve eğilme etkisinde kaldığında, yük aktarma çubuğu başına düşen yük aktarma kapasitesi şu formülle hesaplanır;

$$\frac{P_{uy}}{P_{sh}} + \frac{P_{uy}}{P_{eğ}} \leq 1,4 \quad (3.136)$$

Tablo 3.35'te gösterilen tek yük aktarma çubuklarının kapasiteleri 3.133, 3.134 ve 3.135 denklemleriyle hesaplanmış ve aşağıdaki tasarım kriterleri kullanılmıştır;

- Çelik yük aktarma çubuğu karakteristik çekme dayanımı, $f_y = 250 N/mm^2$
- Betonun karakteristik basınç dayanımı, $f_{cu} = 40 N/mm^2$
- Çelik yük aktarma çubuğunun elastisite modülü, $E_d = 200 kN/mm^2$
- Çelik yük aktarma çubuğu kayma modülü, $G = 0,4E_d kN/mm^2$
- Derz genişliği, $z \rightarrow 5, 10$ ve $15 mm$
- Çelik için güvenlik katsayısı, $\gamma_{ms} = 1,15$
- Beton için güvenlik katsayısı, $\gamma_{mc} = 1,5$

Tablo 3.35 Kayma, eğilme ve yük taşıma durumlarında yük aktarma çubuğu taşıma kapasiteleri

Yük aktarma çubuğunun boyutu	Toplam yük aktarma çubuğu uzunluğu (mm)	P_{kay} (kN)	$P_{eğ}$ (kN)	$P_{eğ}$ (kN)		
				$x = 5$	$x = 10$	$x = 15$
12 mm dairesel	400	13,3	15,4	26,1	13,1	8,7
16 mm dairesel	400	23,6	27,3	61,9	31,0	20,6
20 mm dairesel	500	36,9	42,7	121,0	60,5	40,3
20 mm kare	500	47,0	42,7	173,9	87,0	58,0

Örnek: Bileşik Eğilme ve Kayma etkisi

Yük aktarma çubuğu başına 30 kN'luk bir yük aktarımı istenmektedir. Derz açıklığı 15 mm'dir.

20 mm çaplı dairesel yük aktarma çubuğu:

$(30/36,9) + (30/40,3) = 0,813 + 0,744 = 1,557 > 1,4 \Rightarrow$ 20 mm dairesel yük aktarma çubuğu uygun değildir.

20 mm kenar uzunluklu kare kesitli yük aktarma çubuğu:

$(30/47,0) + (30/58,0) = 0,638 + 0,517 = 1,155 < 1,4 \Rightarrow$ 20 mm'lik kare kesitli yük aktarma çubuğu, istenen yük aktarımını sağlayabilir.

Böylece, bir kenarı 20 mm olan kare kesitli yük aktarma çubuğunun gereken yükün aktarılması için yeterli olduğu sonucuna varılabilir.

3.7.4.2 Zımbalama yükleri

Yük aktarma çubuklarının betonu zımbalama olasılığı genellikle ihmal edilir, ancak maksimum yük aktarımını sağlamak için ince plaklarda zımbalama etkisini kontrol etmek gereklidir.

Yük aktarma çubuğunun plak derinliğinin ortasında olduğu kabul edilirse, zımbalama için kritik bölge $2x(1/2h_f) = h_f$, yüklü uzunluk ise $8d_d$ (yük aktarma çubuğu çapının 8 katı) olarak bulunur. Yük aktarma çubuğu aralıkları az olursa yük aktarma çubuğu kritik çevrelerinin çakışması söz konusu olabileceğinden, yük aktarma çubuklarının bulunduğu kesit boyunca kesme kapasitesi kontrol edilmelidir. Ağırlığı fazla yüklerin bulunduğu durumlarda derzin her iki yanında boyuna ve enine donatılar gerekli olabilir.

Bazı plak kalınlıkları ve yük aktarma çubuğu boyutları için yük aktarma çubuğu başına düşen maksimum yükler Tablo 3.36'da verilmiştir. Bu tablodaki değerler basınç dayanımı 40 N/mm^2 olan beton için hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar çelik tel donatıların zımbalama etkisini kontrol etmede yardımcı olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.36 Zımbalama etkisine karşı yük aktarma çubuğuna (dovıla) uygulanacak maksimum yük (kN)

Yük aktarma çubuğu (dovıl) boyutu	Plak kalınlığı		
	150 mm	175 mm	200 mm
12 mm dairesel	28,4	36,9	46,6
16 mm dairesel	31,2	40,3	50,4
20 mm dairesel	34,1	43,6	54,2
20 mm kare	34,1	43,6	54,2

Yük aktarma çubuklarının düşey yer değiştirmesi δ_d , şu şekilde ifade edilir;

$$\delta_d = 2 \left[\left(\frac{Pz^3}{24E_d I_d} \right) + \left(\frac{PF}{2GA_d} \right) \right] \quad (3.137)$$

Burada;

A :Yük aktarma çubuğu kesit alanı,

E_s :Çeliğin elastisite modülü,

F :Kayma durumu için şekil katsayısı (kare kesitli yük aktarma çubukları için 6/5, dairesel kesitli olanlar için 10/9),

G :Yük aktarma çubuğunun kayma modülü,

I :Yük aktarma çubuğunun atalet momenti (kare kesitli yük aktarma çubukları için $d_d^4/12$, dairesel kesitli olanlar için $d_d^4/64$),

P :Yük aktarma çubuğu başına uygulanan yük,

Düşey yer değiştirme hesaplarında P servis yükünü gösterir. Denklem 3.137' yi kullanarak yük aktarma çubuğu düşey yer değiştirme hesaplandığında çok küçük değerler elde edilir. Tablo 3.37'de 20 mm çaplı dairesel yük aktarma çubuğu ve çeşitli derz aralıkları için düşey yer değiştirme değerleri verilmiştir. Bu değerlerin hesabı için kayma durumunda maksimum yük kapasitesi $P_{kay} = 36,9$ kN ve yükleme için güvenlik katsayısı 1,2 alınmış ve böylece servis yükü $36,9/1,2 = 30,7$ kN olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.37 20 mm dairesel kesitli yük aktarma çubuğu için yer değiştirme değerleri

x (mm)	δ_d (mm)
5	$1,57 \times 10^{-3}$
10	$3,00 \times 10^{-3}$
15	$6,89 \times 10^{-3}$

Derzin toplam düşey yer değiştirmesi yük aktarma çubuğunun ve betonun düşey yer değiştirmelerinin toplamıdır, ancak yine de genellikle toplam yer değiştirme oldukça küçüktür.