

3.1 ZEMİN BETONUNA ETKİ EDEN YÜKLER VE YÜKLEME ŞEKİLLERİ

Zemin plağı üzerine etki eden dış yükler, plakta momentlerin oluşmasına sebep olurlar. Kolon ve taban plakası vasıtasıyla plağa etkiyen tekil yükler aynı zamanda plak içerisinde kesme kuvvetleri de oluştururlar. Plaklar bu yükleri, bir sınır duruma kadar taşımalıdır. Bu sınır durumun, daima bir güvenlik derecesi ile oluşması istenir, yani uygulanan yük arttığında plağın her zaman bir miktar daha güvenle ek yük taşıma kapasitesinin bulunması arzu edilir. Taşıma gücü sınır değerlerinin yanında, kullanım sınır durumlarının da aşılması istenmez. Dış yüklerle ek olarak rötre gerilmelerinin de plakta çatlama oluşturmaması için tedbirler alınır ve böylece bu gerilmelerin karşılanması sağlanır. Endüstriyel zemin betonu tasarımcısının, imalatı bitmiş betonun kullanım şartlarına göre, plak üzerine etki edebilecek tüm elverişsiz yükleri araştırması ve böylece plak kalınlığını ve diğer detayları belirlemesi istenir.

Genellikle fabrika, atölye ve depo binalarının tabanında yeralan zemin betonları, kamyon ve tır gibi nakliye araçlarının etkisinde kalabileceği gibi yüksek birim hacim ağırlığı olan malzemelerin depolanma yüklerini de taşımak zorunda kalabilecektir. İmalata giren ve çıkan malzemeleri fabrika içerisinde taşıyan ve sürekli olarak iş gören hafif iş aletlerinin yükleri tekerlekler ve ofis olarak kullanılan ara katların ağırlığı da kolon taban plakaları vasıtasıyla zemin plağına aktarılır. Aşağıda verilen iki adet resimde bu yüklerin bir kısmı gösterilmiştir (Şekil 3.1 ve 3.2).



Şekil 3.1 Beton zemin üzerinde düzgün olarak sıralanmış yayılı yük durumu



Şekil 3.2 Beton zemin üzerinde sıralanmış raflardan iletilen tekil yük durumu

3.1.1 Noktasal Yükler

3.1.1.1 Tek noktasal yükler

Noktasal yük nedeniyle oluşan gerilmeleri hesaplamak için yükün boyutları ve temas alanının yarıçapı (a_r) bilinmelidir. Taban plakaları ve araç tekerlekleri genellikle kare olduğu için, aynı temas alanı eşdeğer dairenin çapı olarak hesaplanır. Çeşitli araçlar için tekerlek temas alanı detayları olmaması durumunda temas alanı yük ve lastik basıncıyla hesaplanabilir. Bu iki durum aşağıdaki bağıntılarla verilmektedir [1].

$$a_r = 0,565\sqrt{A} \quad (3.1)$$

$$a_r = 0,565\sqrt{\frac{P}{q}} \quad (3.2)$$

Burada;

A :Yükün temas alanı

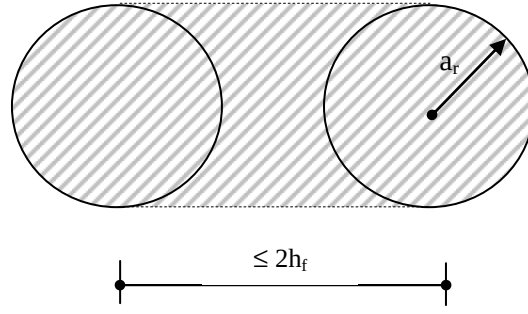
P :Güvenlik katsayısının da içinde bulunduğu toplam hesap yükü

q :Gözönüne alınan tekerlek hava basıncı

olarak kullanılmaktadır.

3.1.1.2 Noktasal yüklerin birleştirilmesi

Noktasal yüklerin yeterince yakın olması durumunda bunlar tek bir yük olarak ele alınabilir ve temas alanı; taban plakaları eşdeğer daireleri ve aralarındaki alan olarak hesaplanır (Şekil 3.3).

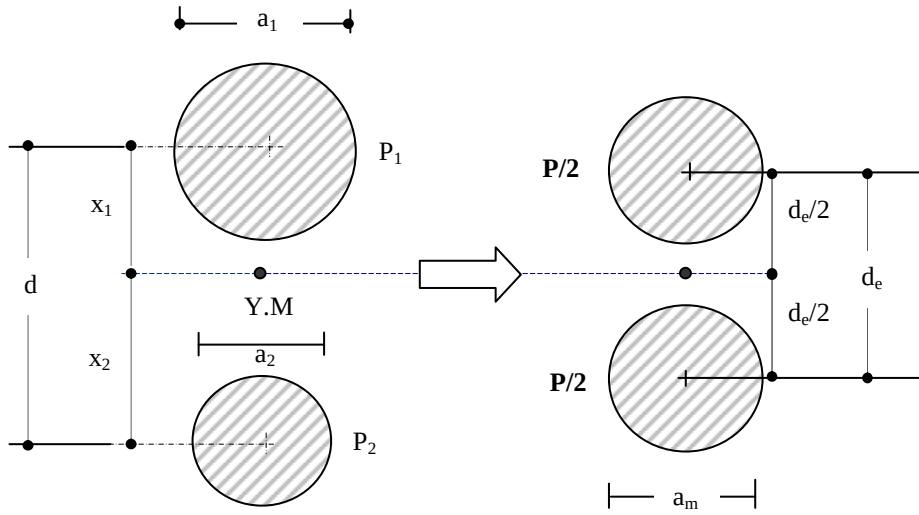


Şekil 3.3 Yanyana iki tekil yük için eşdeğer temas alanının hesaplanması

Bu durum yanyana dizili rafların ayakları veya çift tekerlekli kamyonlar için geçerlidir. Bu yöntem yük merkezleri (Y.M) arasındaki mesafenin plak kalınlığının iki katına kadar olduğu durumlar için kullanılmalıdır [2].

Farklı değerdeki iki yükün ikiz yüke dönüştürülmesi

Bu durumda farklı iki yük, çapı a_m ve aralarındaki uzaklık d_e olan ikiz yük durumuna dönüştürülebilir (Şekil 3.4) [1].



Şekil 3.4 Farklı değerde iki yükün ikiz yüke dönüştürülmesi

Şekil 3.4' teki a_m ve d_e değerleri aşağıdaki bağıntılardan elde edilebilir.

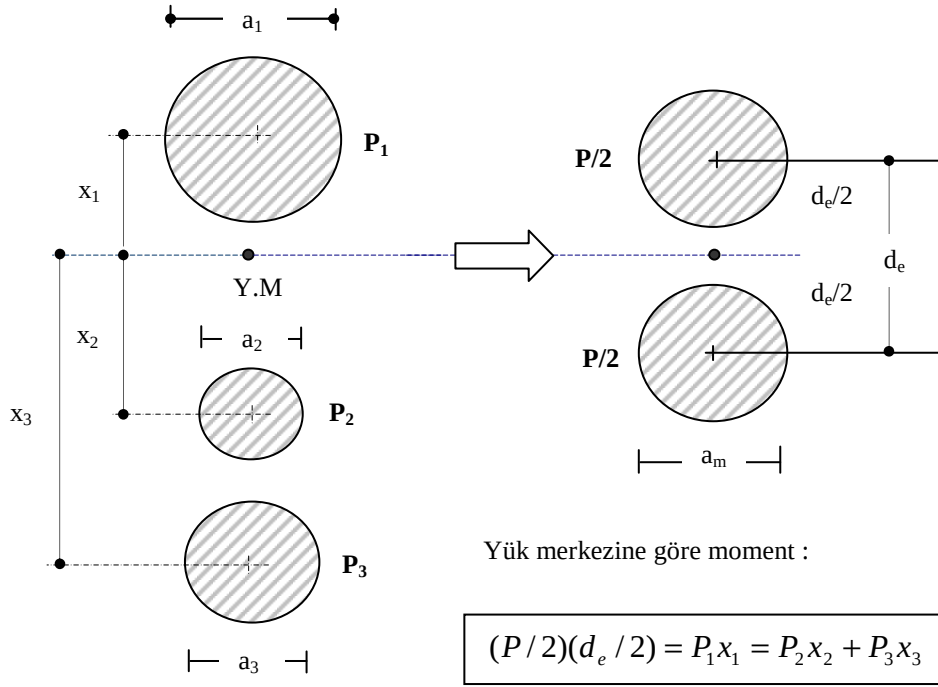
$$\begin{aligned} a_m &= (P_1 a_1 + P_2 a_2) / (P_1 + P_2) \\ &= (P_1 a_1 + P_2 a_2) / P \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$d_e \text{ için Y.M.' ne göre moment; } \left. \begin{aligned} (P/2)(d_e/2) &= P_1 x_1 = P_2 x_2 \\ x_1 &= d P_2 / P \text{ ve } x_2 = d P_1 / P \end{aligned} \right\} \text{ verir.}$$

$$d_e = d \left(\frac{4P_1 P_2}{P^2} \right) \quad (3.4)$$

Farklı değerde üç veya daha fazla yükün ikiz yüke dönüştürülmesi

Üç veya daha fazla farklı değerde yük aynı doğrultuda olması durumunda, çapı a_m ve aralarındaki uzaklık d_e olan ikiz yük durumuna dönüştürülebilir (Şekil 3.5) [1].



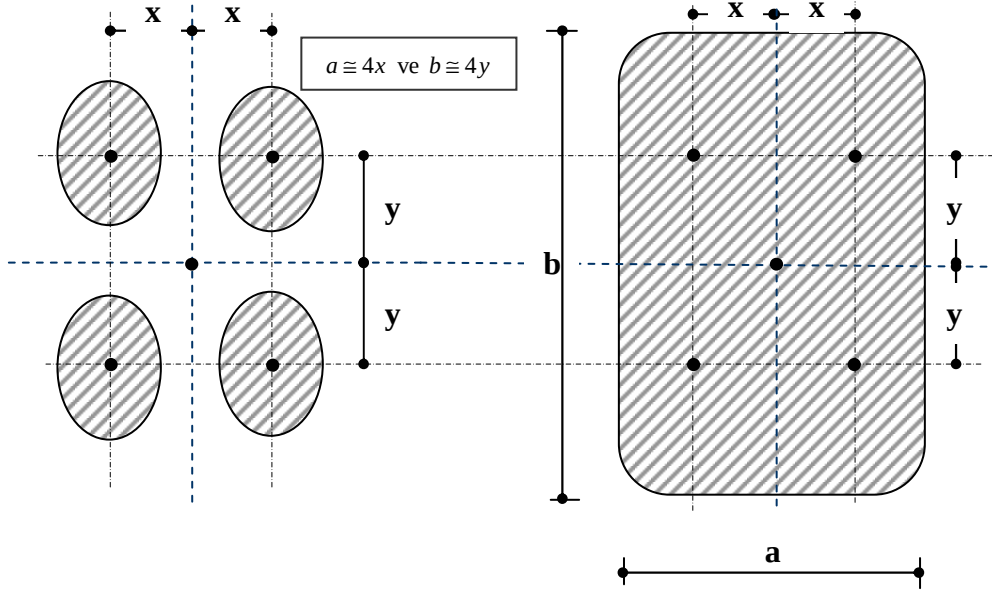
Şekil 3.5 Farklı değerde üç veya daha fazla yük için ikiz yük dönüştürmesi

$$a_m = \sum_{i=1}^{n=3,4,5,\dots} P_i a_i / P \quad (3.5)$$

$$d_e = 4P_1 x_1 / P = 4(P_2 x_2 + P_3 x_3) / P \quad (3.6)$$

Simetrik dörtlü yük grubu

Plak ortasında etki eden simetrik dörtlü yük grubu, Şekil 3.6' ya göre tekil yüke dönüştürülebilir. Eşdeğer yük alanının oval veya daire olmasına, x/y oranına bağlı olarak karar verilmektedir [1].

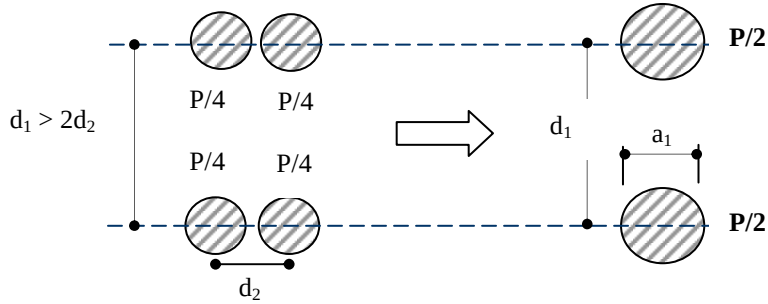


Şekil 3.6 Dört simetrik yük grubunun oval yüke dönüştürülmesi

Oval yük için tam doğru bir yaklaşım bulunamayacağı için, buradaki yaklaşım y' nin x ten çok farklı olmadığı durum için geçerlidir. $x = y$ olması durumunda tek yük dairesel hale gelmektedir. Bu durumda dairenin çapı;

$$a = b = 1,5 \pi x \cong 4,7x \quad (3.7)$$

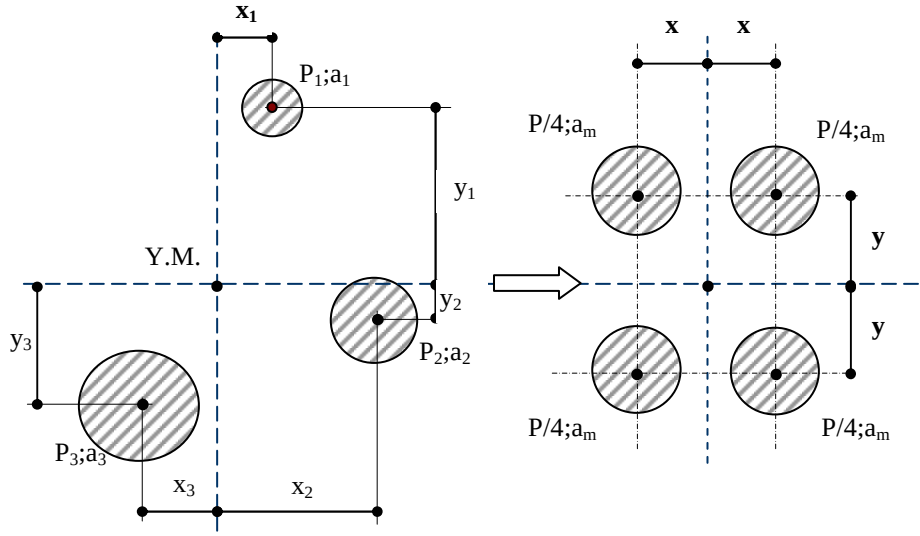
olarak elde edilmektedir. Dörtlü simetrik yükler ikişer grup halinde birbirlerinden uzakta ise, yani x/y veya y/x değerleri ikiden büyükse; her bir ikişer grup yük, ikiz yükten biri olarak çapı a_1 olan yük haline dönüştürülebilir.



Şekil 3.7 Birbirinden uzakta ikili grup yükün ikiz yüke dönüştürülmesi

İkiden fazla farklı değerde yükün dağınık olarak bulunması hali

Çok miktarda farklı değerdeki yükün rasgele biçimde dizilmiş olması durumunda, tüm yükler dörtlü yük grubuna dönüştürülebilir [1].



Şekil 3.8 Farklı değerde çoklu dağınık yükün dörtlü yük grubuna dönüştürülmesi

Eşdeğer mesafeler x ve y , aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$x = \frac{2(P_1x_1 + P_2x_2)}{P} = \frac{2P_3x_3}{P} \quad (3.8)$$

$$y = \frac{2(P_2y_2 + P_3y_3)}{P} = \frac{2P_1y_1}{P}$$

Burada;

$P = \sum P_i$ olup, dörtlü yük grubunun herbir yükünün çapı a_m yeter yaklaşıklıkla bulunur.

$$a_m = \frac{\sum P_i a_i}{P} \quad (3.9)$$

Hesaplamalarda ana ilke, yük merkezinin her iki tarafındaki yüklerin yük merkezine göre statik momentlerinin eşit olmasının gerekliliğidir.

Köşede bulunan tekil yüke, plak iç kısımdaki yüklerin etkisi

Plak köşesinde bulunan çeşitli yük durumları için çözüm ileri alt bölümlerde etraflıca anlatılacaktır. Burada değinilmek istenen, plak içerisinde bulunan ve köşeye yakın bir tekil yükün, köşede bulunan yüke etkisini araştırmaktır. Yük ve moment için burada elde edilen sonuç uygulamalar bölümünde kullanılacaktır. Aşağıda yük bağıntısı verilmiş olup, sayfa sonunda ise moment diyagramı bulunmaktadır [1,3].

$$P_{köşe} = P + P_1 \left(1 - \frac{x_1}{1,5l}\right) + P_2 \left(1 - \frac{x_2}{1,5l}\right) + + P_n \left(1 - \frac{x_n}{1,5l}\right) \quad (3.10)$$

Burada;

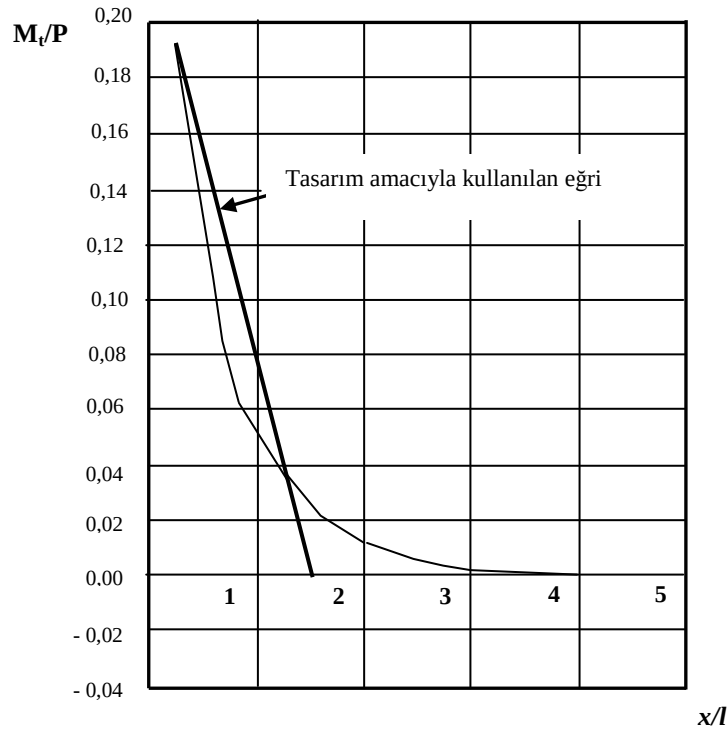
x_i :Plak orta kısmındaki yükün kenarda bulunan yüke mesafesi,

l :Bağlı rijitlik yarıçapı (3.2 alt bölümde etraflıca açıklanmıştır),

P :Kenardaki yük,

P_i :Plak ortasındaki yüklerden herbiri

M_t :Plak köşesine yakın negatif eğilme momenti (m')



Şekil 3.9 Köşedeki yük durumunda, döşeme iç kısmına yakın yüklerin hesaba katılması için yaklaşık yöntemde kullanılan diyagram

3.1.2 Araç Aks Yükleri

Endüstriyel beton zeminlerde en çok kullanılan araç, imalata giren ve imalattan çıkan malzemeleri kaldırmaya ve taşımaya yarayan araçlardır. Bu araçlara ait tekerleklerin içi genellikle doludur ve özel olarak imal edilmiştir. Böylelikle, küçük alanda sert tekerlekler vasıtasıyla büyük yükler zemine aktarılmaktadır. İçi boş olan tekerleklere göre daha yüksek gerilmelere sebep olarak, özellikle derz geçişlerinde hasara neden olan etkiler meydana gelebilmektedir. Söz konusu kaldırma araçlarına ait özel kataloğunda belirtilmekte ise de, esasen yükünün % 95 lik kısmı (kendi yükü dahil) ön tekerleklerdedir. Plak kalınlığı, hemen her zaman bu aks yüklerinin büyüklüğü ile orantılı olarak belirlenir. Araç yüklerinden meydana gelen etkileri hesaplamak için aşağıdaki bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir [4].

Tablo 3.1 Araç aks yüklerinden dolayı hesap için gereken bilgilerin toplanması

Sıra No	İstenen Bilgi	Birim
1	Araç Model No	
2	Kaldırması gereken yük miktarı	kN
3	Araç ağırlığı	kN
4	Aks tekerlek bilgisi (Tek tekerlek, çift tekerlek)	
5	Tekerlek açıklığı	m
6	Çift tekerleklide ikiz tekerlek aralığı S_d	m
7	Tekerlek biçimi (Katı, Havalı)	
8	Tekerleğin lastik genişliği	m
9	Tekerleğin basıncı	N/mm ²
10	Tekerlek temas alanı	m ²

Tasarım için istenen değerlerden en çok dikkat edilmesi gerekenler; aracın aks yük kapasitesi, tekerlek sayısı ve aralıkları, tekerlek malzemesi ve temas alanıdır. Bunlardan aks kapasitesi ve tekerlek malzemesini elde etmek kolay, tekerleğin temas alanını belirlemek ise oldukça güçtür ve iyi bir ihtimalle tahmin edilmeye çalışılır. İyi bir yaklaşım olarak; en küçük temas alanını hesaplarda kullanmak için, tekerlek yükünün en büyük lastik basıncına bölünmesi suretiyle bulunmasını önerilebilir.

Havalı (pnömatik) tekerleklerin lastik basınçları 0,6 ile 0,9 N/mm² (MPa) civarında iken, katı tekerleklerin temas alanı bulunmasında kullanılacak lastik basınçları; 1,25 ile 1,75 N/mm² arasında değişmektedir. Aksın her iki tarafında bulunan birbirine yakın ikişer tekerlek için temas alanının, her bir tekerleğin temas alanlarının tekerlekler arasındaki alan ile birlikte kullanılmasıyla yeter yaklaşıklıkla elde edilebileceği varsayılır. Yükün aksa iletilen miktarı hassas biçimde elde edilemiyorsa, aracın statik olarak taşıdığı tüm yükte beraber ön aksta toplandığı kabul edilebilir. Bu yaklaşım sadece yükün aksın merkezinde olduğu durum için (aracın doğrultuda yol aldığı veya hafifçe döndüğü) geçerlidir. Aracın yükte beraber döndüğü ve ani fren yaptığı durum için uygun bir varsayım değildir. Bu tarz varsayımların geçerli olması bir dereceye kadar zeminin düzgün ve pürüzsüz olması ile de ilgilidir. Tasarımcının bu aşamada dikkatli davranması ve öngörülen yüzey ile araçların yük dengesini iyi ayarlaması gerekmektedir.

3.1.3 Koridorlarda Düzgün Yayılı Yükler

Zemine oturan plaklar üzerinde tam anlamıyla bir düzgün yayılı yük olması durumunda, yükün bulunduğu alan içerisinde eğilme momenti oluşmaz. Bununla beraber, gerçek bir düzgün yayılı yüke her zaman rastlanmaz. En genel durumda düzgün yayılı yük olarak düşünülen, tam paletlerin ve mesnetlerinin bulunduğu bölgelerdir. Plakta en kritik yer; iki tarafında eşit düzgün yayılı yük bulunan bölgenin ortasında kalan koridorun tam orta noktasıdır. Bu noktasal bölgenin, yani plağın üst tarafında negatif momentler oluşur. Burada meydana gelen bir çatlak, koridorun hemen ortasında olduğu ve görülebildiği için özellikle önem taşır. Sözkonusu çatlağın oluşmasına sebep olan belli bir koridor genişliği vardır ve bu genişlikten daha geniş koridorlarda meydana gelen gerilmeler daha azdır.

Bu yük durumunda elde edilmesi gereken bilgiler; Düzgün yayılı yükün büyüklüğü ve öngörülen koridor genişliğidir. Tasarımcının bilmesi gereken husus, yüklerin yerlerinin ve koridor genişliğinin sabit olarak alınıp alınmayacağı, diğer bir deyişle, tasarımcının koridor genişliğinin değiştirilebilmesi üzerinde ne kadar etkili olabildiğidir.

3.1.4 Raf ve Raf Ayaklarının Oluşturduğu Yükler

Endüstri binalarının bir çoğunda eşyalar raflarda sergilenir ve saklanır. Bu raflar yüklerinin tamamını, raf platformlarını taşıyan düşey taşıyıcılar vasıtasıyla zemine aktarırlar. Raf gruplarının yüksekliği kullanım amacına bağlı olarak 27 m ve bazen de daha yüksek olabilmektedir. Raf ayaklarının her birinin taşıdığı düşey yük çoğu zaman 14 kN (1,4 ton) değerine ulaşmaktadır. Bu çeşit yük durumunda oluşan eğilme gerilmesi, plağın alt kısmında meydana gelen çekme gerilmesidir. Bu gerilme raf ayağı civarında en büyük değerini alır.

Plağa oturan raflar ve raf ayaklarından dolayı oluşan gerilmeleri en kritik yapan veriler; raf ayağının zemin betonuna temas ettiği bölgede kullanılan taban plakası boyutları ve raf ayaklarının iki doğrultuda yerleşimidir. Bu durumda plakta sadece eğilme gerilmeleri değil, aynı zamanda kayma gerilmeleri de oluşur. Zımbalama etkisinin bu tip plaklarda genelde pek etkili olmadığı bilinmesine rağmen, raf ayaklarının taşıdığı yükler artarken taban plakası boyutları küçük kalıyorsa veya taban plakası etrafında bir koruma bölgesi bırakılmadığı için bu bölge civarında araçların geçişi taban plakasına yakın gerçekleşiyor ise, zımbalama kritik olabilir.

Bazı durumlarda iki raf sistemi birbirine çok yakın yerleşmiş ve her bir raf bloğunun ayak aralıkları nispeten az olabilir. Belki de bu yükleme tipi için en kritik olan bu durumda, yan yana bulunan raf ayaklarının taban plakalarının boyut seçimi (yer darlığı nedeniyle taban plakası dışmerkez yapılmakta veya dikdörtgen biçime dönüştürülmekte) oldukça zor olmaktadır.

Bu yükleme durumunda önemli olan bir diğer husus, derzlerin konumlarına karar verilmesinden sonra, kullanım sırasında rafların farklı bölgelere yerleştirilmesindeki güçlüğüdür. Bu nedenle, rafların yerleşiminde herhangi bir kesin bilgi yoksa, rafların derz kenarlarına yerleştirileceği olasılığına karşı sözkonusu derzlerin yük aktaracak biçimde tasarlanması gerekebilir.

Yüksek rafların bulunduğu zeminde, yükleme ve boşaltma yapmak için kullanılan araçların yüksekliği fazladır. Plak yüzeyinde herhangi bir seviye bozukluğu veya pürüz, bu araçların üst kısımlarının tabanlarına göre düşeyde doğrultudan uzaklaşmalarına sebep olmaktadır. Bu tip bir hata araçların, eşyaların ve çalışanların zarar görmesine yol açtığı gibi zemin plağında da ek yük oluşmasına meydan vermektedir. Bu durumun tasarımcı tarafından dikkate alınması ve öngörülen seviye farkına göre aracın tasarımda kullanılan yük özelliklerinin uygun biçimde değiştirilmesi gerekmektedir.

3.1.5 Ara Kat Kolon Yükleri

Kolon yükleri raf yüklerinden daha ağır ve kolon ara mesafeleri raf ayaklarının mesafelerinden daha fazladır. Bu sebeple kapsamlı biçimde dikkate alınmalıdır. Genelde bir kolon yükü, diğer kolonların yük etkisinden uzak bir tekil yük olarak düşünülmektedir. Bununla beraber zemin üzerinde bulunan ve ayrıca temeli olmayan hafif veya ağır yüklü silolar, farklı amaçlı üretim bantları, ayaklı su tankları veya arakat merdivenleri birbirlerine yakın kolon ayaklar üzerine oturabilirler. Bu durumda tasarımcının en uygun ve elverişsiz çözümü bulması güç olabilir. Böyle durumlarda en iyi yaklaşım; 3.1.1 ve 3.1.2 alt bölümlerde verilen bilgilerin ışığında yükleri tek noktalara toplayarak çözüm üretebilmektir.

Tasarımcının aynı zamanda kolon zati ve hareketli yüklerini beraber hesaba katması, taban plakası boyutlarını optimum tutması, ağır yüklü kolonların yakınında derz oluşturmaması ve gerekiyorsa kolon altında döşeme kalınlığını artırması (zımbalama çevresi dışına kadar) durumlarını da gözönünde bulundurması önerilmektedir.

3.1.6 Özel veya Beklenmedik Yükler

Beton plağın, endüstri işletmesinin amaçlarına uygun yükler kullanılarak imal edilmesi her zaman karşılaşılan durumdur. Yukarıda tanımlanan yük durumlarının haricinde plak üzerine farklı yüklerin etkimesi ihtimali nadir de olsa mevcuttur. Yönetmeliklerdeki değişiklik, işletmeye bazen ek bölümlerin yapılması veya farklı bir imalat düzeninin kurulması, değişik yük ve yük gruplarının oluşmasına sebep olur. Bu sayılan yükler sonradan etki eden ve tanımlanabilen yüklerdir. Bununla beraber, beton plağa etki edebilecek ve önceden varlığı bile tartışılmayan yükler de bulunabilir. Doğal veya dolgu zeminin kabarması veya çökmesi, plakta beklenmeyen negatif ve pozitif momentlere neden olabileceği gibi yüzey düzgünlüğünü de etkiler. Depo olarak kullanılan ve ısı izolasyonu bulunmayan işletmelerde, özellikle taneli dolgu kullanılarak değiştirilen zemin, dış drenaj yetersiz ise, dışarıdan sıcak günlerde aldığı suyu tutar ve kış mevsiminde donarak şişer. Buna ilaveten, yine dolgu zeminlerin altında bulunan killi zemin ile bir ayırım malzemesi (Geotekstil) bulunmuyorsa, kilin taneli dolgu zemine ulaşarak davranışı etkilemesi kaçınılmazdır. Tasarımcı ve uygulayıcılar tarafından bu durumların dikkatle incelenmesi ve şantiyede çıkan problemlerin teşhisinin doğru biçimde yapılarak sonuca ulaşılması önerilmektedir.