Click Here

Eşdeğer deprem yükü hesabı

Bu içeriğimizde, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Taban Kesme Kuvveti hesabı yapacağız. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Taban Kesme Kuvveti Öncelikle örnek bir yapı tanımlayalım. Bina Özellikleri Kat Sayısı: 2 Bina Yüksekliği: 6 metre Bina Tipi: Konut Bina Ağırlığı: 300 ton BKS: 3 Bina Önem Katsayısı (I): 1 Yerel Zemin Sınıfı: ZC Taşıyıcı Sistem Türü: A11 (deprem etkilerinin tamamının moment aktaran "süneklik düzeyi yüksek" betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar) R: 8 D: 3 Tavsiye İçerik Drenaj Nedir? | Drenaj Nasıl Yapılır? | Drenaj Çeşitleri Örnek binanın Kocaeli üniversitesi mühendislik fakültesinin bulunduğu bölgede inşa edileceğini varsayarak AFAD Türkiye deprem tehlike haritasından kullanacağımız verileri alalım; Bu değerlerden DD-2 (Tasarım depremi) kutucuğundakiler alınır. Tx=0.517 Ty=0.567 (Oluşturulan SAP2000 modelinden alınan doğal titreşim periyot değerleridir). Eğer model oluşturmadan yaklaşık bir periyot bulmak için TBDY 2018'de yer alan 4.26 denklemini kullanabilirsiniz. Buradan veya modelinizden aldığınız doğal titreşim periyodunun ayrıca denklem 4.27 sağlaması gerekmektedir. Bina modelimizden aldığımız Tx ve Ty (doğal titreşim periyodu) değerlerini Denklem 4.2'ye göre sağlamasını yapalım; TpA=0.1×6^(3/4)=0.383 bulunan bu değerin 1.4 katı binamızın hakim doğal titreşim periyodundan daha fazla olmamalıdır. Buna göre 0.383×1.4=0.537 limit periyot değeri bulunur. Modelimizden aldığımız doğal titreşim periyotlarıyla karşılaştırırsak x yönünde sağladığını fakat y yönünde sağlamadığını görürüz. Bu nedenle y yönünde limit periyot değerini kullanmamız gerekir. Bu sonuçlar ışığında elde edilen hakim doğal titreşim periyotları şu şekildedir; Tx=0.517 Ty=0.537 Öncelikle TBDY 2018' de yer alan taban kesme kuvveti hesaplamak için verilen denkleme bakalım; Burada x yönünde taban kesme kuvveti bulmak için öncelikle SaR(Tp) azaltılmış tasarım spektral ivmeyi hesaplayalım; Tx=0.517, Ta=0.068, Tb=0.342, olduğundan elastik spektral ivme =SD1/T olacaktır. Sae (T)=SD1/T=0.567/0.517=1.097 Şimdi de öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yükü Azaltma Katsayısı Ra(T) hesaplayalım; Tx > Tb olduğundan denklem (4.1a) kullanılacaktır. Ra(T)=8/1=1 Şimdi kesme kuvvetini hesaplayabiliriz; = 300x(1.097g/8) ≥ 0.04x300x1x1.656×9.81 = 403.56 kN ≥ 195.06 kN koşulunu sağlamaktadır. NOT: "Y" yönündeki taban kesme kuvvetinin hesaplanması benzer olduğundan örnek olarak sadece "X" yönündeki taban kesme kuvveti hesaplanmıştır. "Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Taban Kesme Kuvveti Hesabı" başlıklı içeriğimizde eksik ve/veya hatalı gördüğünüz bölümleri lütfen yorumlarda belirtiniz. Subscribe to get the latest posts sent to your email. Eşdeğer deprem yükü yöntemi, yüksekliği fazla olmayan binalarda gözönüne alınan deprem doğrultusunda bina dinamik davranışının taşıyıcı sistemin hakim titreşim modundaki davranışı ile temsil edilebileceği ve bu modun şeklinin yaklaşık ters üçgen olarak kabul edilebileceği esasına dayanan hesap yöntemidir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi, sadece birinci modun etkisinin gözönüne alındığı dinamik analiz yöntemi olarak da kabul edilebilir. Sadece birinci modun dikkate alınması, 1. modun kütle katılım oranının yüksek olup temel mod olması sebebiyledir. Fakat 1. modun kütle katılım oranının yüksek olması, tabii ki her durumda eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanabilirliği çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörleri, sebep ve amaçları ile ilgili aşağıda açıklamaya çalışalım. Ardından da eşdeğer deprem yükü yöntemi ile bir örnek çözelim. 2. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi Hangi Yapılarda, Ne Zaman Uygulanabilir? Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar TBDY Tablo 4.4'te aşağıdaki şekilde görülen tipik 1. mod'a benzer şekilde olması gerekmektedir. Modal analizde katlara etkiyen kuvvetler mod şekilleri ile Fi=Vbi* mi*φi1/∑ mi*φn1 ile belirlenirken eşdeğer deprem yükü yönteminde birinci modun mod vektörlerinin (φi1 ve φN1)yerine kat yükseklikleri kullanılır. Fi=Vbi* mi*hi1/∑ mi*hn1 Mod şekillerinin kat yüksekliği ile ilişkisini aşağıdaki örnek şekildeki 1. moddan görebilirsiniz. Mod Örnekleri Bina türü yapılarda ilk modun yapısı gereği pozitif tanımlı olması sebebiyle şekildeki diğer mod şekilleri 1. modda oluşmaz, fakat 1. moddaki doğrusallık bozulabilir. Uygulama yönteminin sınırlanmasındaki noktalardan bir tanesi bu doğrusallığın bozulmamasıdır. Örneğin yöntemin tanımında da geçen "bu modun şeklinin yaklaşık ters üçgen olarak kabul edilebileceği" durumunun geçerli olabilmesi içi, bu 1. mod şeklinin doğrusala yakın olması gerekmektedir. TBDY2018 Tablo 4.4 de bahsedilen B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar koşulu işte bu durum ile alakaldır. Bilindiği üzere B2 tipi düzensizlik katlar arası rijitlik değişiminin belirli sınırlar içersinde kalması koşuludur. Katlar arası ani rijitlik değişimi bu doğrusallığı (doğrusala yakınlığı) bozacağından, b2 düzensizliği bulunan (kısa olmayan) yapılarda eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanması yanlış olacaktır ve yönetmelikle bu koşul ile bu durumun önüne geçilmektedir. Bir diğer kıstas da yapının nbi burulma düzensizliği katsayısının 2'den büyük olması durumudur. A1 burulma düzensizliği için sınır 1,2 iken, görüldüğü üzere eşdeğer deprem yükü yöntemi için bu sınır daha büyüktür. Yani A1 düzensizliği TBDY2018'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılmasına (nbi≤2 olduğu sürece) engel değildir. Ancak nbi 1,2-2 arasında bir değer olduğunda yönetmelik ek bir tedbir belirtmektedir. Bu tedbirden önce hatırlanması gereken bir durumun üstünden geçmek gerekir. Yapının modellenmesi ve analizi sonucu burulma olmasa dahi, yapılardaki belirsizliklerden dolayı bir miktar burulma davranışı TBDY 4.5.10 maddesi ile göz önüne alınmaktadır. 4.5.10.1 – Deprem yer hareketinin binaya etkisinde ve taşıyıcı sistemin rijitlik ve kütle dağılımındaki olası belirsizlikleri gözönüne almak üzere ek dışmerkezlik etkisi tanımlanmıştır. Bu maddeye göre deprem yüklerinin kat kütle merkezlerinin yanı sıra bu merkezlerin belirli oranda kaydırılarak ortaya çıkabilecek burulma momenti ve dönme yerdeğiştirmeleri göz önüne alınmaya çalışılır. 4.5.10.2-c maddesine göre eşdeğer deprem yükü yöntemi için kolaylık tanınmış ve bu kaydırma işlemi yerine kütle merkezine Fxe*e kadar (e=%5), yani kat eşdeğer deprem kuvvetinin 0,05 ile çarpımı kadar ek burulma momenti uygulanması uygun görülmüştür. nbi'nin 1,2 ile 2 arasında bir değer olması durumunda da buradaki %5 değeri, bir katsayı ile artırılacaktır. (TBDY 4.7.4). Bu katsayı; Dbi=(nbi/1,2)² ile hesaplanacaktır. (Formül 4.29) Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirliği konusunda en önemli faktör ise yapı yüksekliğidir. Bu sınır koşuluna girmeden önce de açıklanması gereken bir husus bulunmaktadır. Eşdeğer deprem yükünün 1. modu dikkate alması sebebiyle, diğer modların etkileri, bina tepe noktasına ΔFNe=0,0075N.Vte (Formül 4.22) kuvveti etkitilerek karşılanmaktadır. (TBDY 4.7.2) Bilindiği üzere toplam bina yüksekliği arttıkça, yüksek modların etkileri daha belirgin hale gelmektedir. Burada etkitilen ΔFNe bu etkiler için yeterli olamayacağı ve bu modların kayda değer etkileri bulunması durumunda eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanamamaktadır. Bu sınır da deprem tasarım sınıfları ve bina yükseklik sınıflarına göre yukarıda da paylaşılan Tablo 4.4'te belirlenmiştir. 3. Eşdeğer Deprem Yükü Formülü ve Hesabı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde eşdeğer deprem yükü formülü; olarak verilmiştir. Buradaki x'ler her bir yön için (x ve y) ayrı ayrı hesaplanması gerekliliğinin vurgulanması içindir. VtE= Eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), mt=Toplam bina kütlesi, Sar(Tp)= Hakim doğal titreşim periyoduna bağlı olarak spektrumdan okunan azaltılmış spektral ivme, I=Bina önem katsayısı SDS= Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı 3.1. Hakim Titreşim Periyodu Nasıl Hesaplanır? Bina hakim titreşim modu x ve y yönleri için ayrı ayrı aşağıdaki formülle hesaplanır. Tp hakim titreşim periyodu formülü Burada, mi=i. katın kütlesi, dfi= Fiktif yük ile oluşan deplasman, Ffi=i. kata etkiyen fiktif yüktür. Yukarıdaki formül ile hesaplanan hakim periyot değeri, ampirik formülle hesaplanan periyot değerinin 1.4 katından büyük olmayacaktır. Bu formül ise; Tpa=Ct.Hn^3/4'tür. Ct değerleri; betonarme çerçeveler için 0,1, çelik binalar için 0,08, diğer binalar için ise 0,07 dir. Deprem etkilerinin tamamının perdeler tarafından karşılandığı durum için ise TBDY 4.28a ve 4.28b formülleri geçerlidir. Bu formüller ve formülde geçen parametreler, aşağıda yapacağımız eşdeğer deprem yükü yöntemi örneğinde daha iyi anlaşılacaktır. 4. TBDY2018'e göre Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi Hesap Örneği Eşdeğer deprem yükü yönteminin anlaşılması için Excel ve Sap2000 programlarını kullanarak basit bir örnek çözelim. Bunun için aşağıdaki şekildeki gibi 4 katlı tek açıklıklı bir çerçeve tanımlayalım. (İnşaat mühendislerinin bilmesi gereken programlar yazımızda bu programların öneminden bahsetmiştik, buradan ulaşabilirsiniz.) Örnek Yapı 4.1. Kat Kütlelerinin Tanımlanması Eşdeğer deprem yükü analizi için öncelikle bize kat kütleleri gerekmektedir. Bunun için de örneğin kirişlere 10 Kn/m hareketli ve 20 Kn/m zati yük ekliyoruz. (Hareketli ve Sabit Yükler) Elle hesap kolaylığı olması açısından da kiriş ve kolonların zati ağırlıklarını ihmal edelim. Çerçeve iki yönde de 6 metre açıklıklara sahip olduğundan her katta 6×4=24m toplam kiriş bulunmaktadır. TBDY 4.5.9.2 uyarınca kat kütleleri mi=wgi+nwqi şeklinde tanımlanmaktadır. Tablo 4.3'ten n değerini konut için 0,3 olarak okunur ve her katın kütlelerini G Q G+0,3Q F/g(9,81)= kütle 1. Kat 480 240 552 56,26911315 2. Kat 480 240 552 56,26911315 3. Kat 480 240 552 56,26911315 4. Kat 480 240 552 56,26911315 şeklinde bulunur. Bu değerlerin programda da aynı olduğunu kolonlardaki eksenel kuvvetlerden görülebilir. Kolon Eksenel Kuvvetleri 136,12*2+139,88*2=552 kN 4.2. Fiktif Yükleme Kütlelerden sonra öncelikle amaç hakim titreşim periyodunu bulmaktır. Bunun için fiktif yükleme altında kat deplasmanlarına ihtiyaç vardır. Rastgele bir değer olarak 100kN taban kesme kuvveti bulunduğunu varsayıp katlara etkiyen fiktif kesme kuvvetler aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. mi (kns2/m) h mixhi mi*hi/toplam Fi (kN) Kat 1 56,26911315 3 168,8073 0,1 10 Kat 2 56,26911315 6 337,6147 0,2 20 Kat 3 56,26911315 9 506,422 0,3 30 Kat 4 56,26911315 12 675,2294 0,4 40 toplam 1688,073 1 100 (Bu tablolara aşağıda hesap sonunda Excel formatında ulaşabilirsiniz.) Katlara etkiyen ve toplamı 100 kN olan bu fiktif yükleri aşağıdaki şekilde yapımızın kütle merkezlerine her iki yönde de etkiterek kat yer değiştirmelerini Sap2000 programı yardımıyla hesaplayalım. (dix ve diy) Fiktif Yükleme 4.3. Hakim Titreşim Periyodu Hesabı Bu yüklemeler altında analiz yapıp yerdeğiştirmeleri ve 4.26 formülünden hakim periyot aşağıdaki şekilde bulunur. dix (m) diy (m) m*di^2-x m*di^2-y Fi*dx Fi*dy Kat 1 0,0019 0,0016 0,000203 0,000144 0,019 0,016 Kat 2 0,0053 0,0049 0,001581 0,001351 0,106 0,098 Kat 3 0,0086 0,0082 0,004162 0,003784 0,258 0,246 Kat 4 0,011 0,011 0,006809 0,006809 0,44 0,44 Toplam 0,012754 0,012087 0,823 0,8 Tx 0,782174 sn Ty 0,772322 sn Bu değerler ampirik formül olan Tpa=Ct.Hn^3/4 (TBDY 4.27) ile karşılaştırılmalıdır. Betonarme yapı için Ct değerini 0,1 alınarak Tp(ampirik)= 0,1×12^(3/4)=0,645 sn olarak bulunur. 0,782 ve 0,772 sn değerleri 0,645 * 1,4=0,9 sn değerinden küçük olduğu için hakim periyotlar olduğu şekilde, yani x yönü için 0, 782174 sn, y yönü için 0,772322 sn olarak kabul edilebilir. 4.4. Tasarım Spektrumunun Bulunması Periyot değerleri elde edildikten sonra spektral ivme değerinin okunabilmesi için tasarım spektrumunun elde edilmesi gerekmektedir. Bilindiği üzere bu spektrum, yapının bulunduğu konum, zemin özellikleri ve deprem düzeyine göre Türkiye Deprem Tehlike Haritasından elde edilir. Örnek yapının Sds değerini 0,713, Sd1 değerini 0,203 olarak aldığımızı kabul edelim. Bu durumda Deprem Tasarım Sınıfını DTS=2 ve Bina Yükseklik Sınıfını da, BYS=6 olarak alabiliriz. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Tasarım spektrumundan görebileceğimiz şekilde, yapı periyotları 0,77 ve 0,78 sn değerleri Tb-TL arasındadır. 4.5. Azaltılmış Spektral İvme Hesabı Amacın aşağıdaki formül ile her iki yön için eşdeğer deprem yükünü elde etmek olduğunu tekrar hatırlayalım. Burada Sar(Tp) (azaltılmış spektral ivme) değerine ihtiyaç duyulmaktadır. TBDY 2018 formül 2.8'e göre Sar(Tp) = Sae(T) / Ra(T) şeklinde hesaplanmaktadır. Sae(T)= Yatay elastik tasarım spektral ivmesi, Ra(T) = Deprem yükü azaltma katsayısı, Sae(T) değeri TBDY 2.2 denkleminden Tb≤T≤Tl için Sd1/T şeklinde hesaplanmaktadır. Bu durumda; Sd1 0,203 sn Sds 0,713 sn Tx 0,782 sn Ty 0,772 sn Sea(Tx)= 0,260 Sea(Ty)= 0,263 olacaktır. Ra(T) ise TBDY 4.2.1.2 maddesinde belirtildiği üzere T>Tb için R/I şeklinde hesaplanmaktadır. Burada R= taşıyıcı sistem davranış katsayısı, I ise bina önem katsayısıdır. R değerini TBDY tablo 4.1'den A11 için 8 üst sınır olarak alınabilir. I değeri ise Tablo 3.1'den konut sınıfı için 1 olarak alınır. Bu durumda her iki yön için de; Rax-y(T) = R/I =8/1=8, Sarx(Tp) = Saex(T) / Rax(T) =0,260/8= 0,032 Sary(Tp) = Saey(T) / Ray(T) =0,263/8= 0,033 olacaktır. Spektral ivmeler g cinsinden olduğu için bu değerler aşağıda ayrıca 9,81 ile çarpılacaktır. 4.6. Eşdeğer Deprem Taban Kesme Kuvvetinin Bulunması Vt=mt*Sar(T)>=0,04 mt*I*Sds*g için Toplam kütle= 225,08 kNs²/m g=9,81 m/sn² Vtx= 225,08 x 0,032 x 9,81≥0,04 x 225,08 x 1 x 0,713 x 9,81 71,63 ≥62,97 olduğundan Vtx=71,63 Kn olarak belirlenir. Vty= 225,08 x 0,032 x 9,81≥0,04 x 225,08 x 1 x 0,713 x 9,81 72,55 ≥62,97 olduğundan Vtx=72,55 Kn olarak belirlenir. Bu değerler yapımızın x ve y yönlerindeki taban kesme kuvvetleri ve taban eşdeğer deprem yükleridir. Vtx=71,63 Kn Vty=72,55 Kn Hesap için kullanılan Excel tablosuna buradan ulaşabilirsiniz. 4.7. Sonuçların Sap2000 Programı ile Kontrolü Bu değerleri SAP2000 programından kontrol edecek olursak; Girilen veriler; SAP2000 Eşdeğer Deprem Yükü Tanımlama Not: Örnekte eleman iç kuvvetleri hesaplanmayacağı için eksantrisite verilmedi. İlgili yönler toplandığında sonuçlar; Sap2000 programında yönler ile ilgili detaylı yazımıza buradan ulaşabilirsiniz. X YÖNÜ EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ Vtx=(24,99+10,86)*2=71,7 kN Y YÖNÜ EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ Vty=(31,13+5,18)*2=72,62 kN olarak bulunur ve bu değerler el ile yapılan hesaba oldukça yakındır. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile ilgili yorum ya da sorularınızı aşağıdaki yorumlar bölümünden iletebilirsiniz. Eşdeğer deprem yükü yöntemi, yüksekliği fazla olmayan binalarda gözönüne alınan deprem doğrultusunda bina dinamik davranışının taşıyıcı sistemin hakim titreşim modundaki davranışı ile temsil edilebileceği ve bu modun şeklinin yaklaşık ters üçgen olarak kabul edilebileceği esasına dayanan hesap yöntemidir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi, sadece birinci modun etkisinin gözönüne alındığı dinamik analiz yöntemi olarak da kabul edilebilir. Sadece birinci modun dikkate alınması, 1. modun kütle katılım oranının yüksek olup temel mod olması sebebiyledir. Fakat 1. modun kütle katılım oranının yüksek olması, tabii ki her durumda eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanabileceği anlamına gelmemektedir. Bu yöntemin uygulanabilirliği çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörleri, sebep ve amaçları ile ilgili aşağıda açıklamaya çalışalım. Ardından da eşdeğer deprem yükü yöntemi ile bir örnek çözelim. 2. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi Hangi Yapılarda, Ne Zaman Uygulanabilir? Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar TBDY Tablo 4.4'te aşağıdaki şekilde görülen tipik 1. mod'a benzer şekilde olması gerekmektedir. Modal analizde katlara etkiyen kuvvetler mod şekilleri ile Fi=Vbi* mi*φi1/∑ mi*φn1 ile belirlenirken eşdeğer deprem yükü yönteminde birinci modun mod vektörlerinin (φi1 ve φN1)yerine kat yükseklikleri kullanılır. Fi=Vbi* mi*hi1/∑ mi*hn1 Mod şekillerinin kat yüksekliği ile ilişkisini aşağıdaki örnek şekildeki 1. moddan görebilirsiniz. Mod Örnekleri Bina türü yapılarda ilk modun yapısı gereği pozitif tanımlı olması sebebiyle şekildeki diğer mod şekilleri 1. modda oluşmaz, fakat 1. moddaki doğrusallık bozulabilir. Uygulama yönteminin sınırlanmasındaki noktalardan bir tanesi bu doğrusallığın bozulmamasıdır. Örneğin yöntemin tanımında da geçen "bu modun şeklinin yaklaşık ters üçgen olarak kabul edilebileceği" durumunun geçerli olabilmesi içi, bu 1. mod şeklinin doğrusala yakın olması gerekmektedir. TBDY2018 Tablo 4.4 de bahsedilen B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar koşulu işte bu durum ile alakaldır. Bilindiği üzere B2 tipi düzensizlik katlar arası rijitlik değişiminin belirli sınırlar içersinde kalması koşuludur. Katlar arası ani rijitlik değişimi bu doğrusallığı (doğrusala yakınlığı) bozacağından, b2 düzensizliği bulunan (kısa olmayan) yapılarda eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanması yanlış olacaktır ve yönetmelikle bu koşul ile bu durumun önüne geçilmektedir. Bir diğer kıstas da yapının nbi burulma düzensizliği katsayısının 2'den büyük olması durumudur. A1 burulma düzensizliği için sınır 1,2 iken, görüldüğü üzere eşdeğer deprem yükü yöntemi için bu sınır daha büyüktür. Yani A1 düzensizliği TBDY2018'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılmasına (nbi≤2 olduğu sürece) engel değildir. Ancak nbi 1,2-2 arasında bir değer olduğunda yönetmelik ek bir tedbir belirtmektedir. Bu tedbirden önce hatırlanması gereken bir durumun üstünden geçmek gerekir. Yapının modellenmesi ve analizi sonucu burulma olmasa dahi, yapılardaki belirsizliklerden dolayı bir miktar burulma davranışı TBDY 4.5.10 maddesi ile göz önüne alınmaktadır. 4.5.10.1 – Deprem yer hareketinin binaya etkisinde ve taşıyıcı sistemin rijitlik ve kütle dağılımındaki olası belirsizlikleri gözönüne almak üzere ek dışmerkezlik etkisi tanımlanmıştır. Bu maddeye göre deprem yüklerinin kat kütle merkezlerinin yanı sıra bu merkezlerin belirli oranda kaydırılarak ortaya çıkabilecek burulma momenti ve dönme yerdeğiştirmeleri göz önüne alınmaya çalışılır. 4.5.10.2-c maddesine göre eşdeğer deprem yükü yöntemi için kolaylık tanınmış ve bu kaydırma işlemi yerine kütle merkezine Fxe*e kadar (e=%5), yani kat eşdeğer deprem kuvvetinin 0,05 ile çarpımı kadar ek burulma momenti uygulanması uygun görülmüştür. nbi'nin 1,2 ile 2 arasında bir değer olması durumunda da buradaki %5 değeri, bir katsayı ile artırılacaktır. (TBDY 4.7.4). Bu katsayı; Dbi=(nbi/1,2)² ile hesaplanacaktır. (Formül 4.29) Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirliği konusunda en önemli faktör ise yapı yüksekliğidir. Bu sınır koşuluna girmeden önce de açıklanması gereken bir husus bulunmaktadır. Eşdeğer deprem yükünün 1. modu dikkate alması sebebiyle, diğer modların etkileri, bina tepe noktasına ΔFNe=0,0075N.Vte (Formül 4.22) kuvveti etkitilerek karşılanmaktadır. (TBDY 4.7.2) Bilindiği üzere toplam bina yüksekliği arttıkça, yüksek modların etkileri daha belirgin hale gelmektedir. Burada etkitilen ΔFNe bu etkiler için yeterli olamayacağı ve bu modların kayda değer etkileri bulunması durumunda eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanamamaktadır. Bu sınır da deprem tasarım sınıfları ve bina yükseklik sınıflarına göre yukarıda da paylaşılan Tablo 4.4'te belirlenmiştir. 3. Eşdeğer Deprem Yükü Formülü ve Hesabı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde eşdeğer deprem yükü formülü; olarak verilmiştir. Buradaki x'ler her bir yön için (x ve y) ayrı ayrı hesaplanması gerekliliğinin vurgulanması içindir. VtE= Eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), mt=Toplam bina kütlesi, Sar(Tp)= Hakim doğal titreşim periyoduna bağlı olarak spektrumdan okunan azaltılmış spektral ivme, I=Bina önem katsayısı SDS= Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı 3.1. Hakim Titreşim Periyodu Nasıl Hesaplanır? Bina hakim titreşim modu x ve y yönleri için ayrı ayrı aşağıdaki formülle hesaplanır. Tp hakim titreşim periyodu formülü Burada, mi=i. katın kütlesi, dfi= Fiktif yük ile oluşan deplasman, Ffi=i. kata etkiyen fiktif yüktür. Yukarıdaki formül ile hesaplanan hakim periyot değeri, ampirik formülle hesaplanan periyot değerinin 1.4 katından büyük olmayacaktır. Bu formül ise; Tpa=Ct.Hn^3/4'tür. Ct değerleri; betonarme çerçeveler için 0,1, çelik binalar için 0,08, diğer binalar için ise 0,07 dir. Deprem etkilerinin tamamının perdeler tarafından karşılandığı durum için ise TBDY 4.28a ve 4.28b formülleri geçerlidir. Bu formüller ve formülde geçen parametreler, aşağıda yapacağımız eşdeğer deprem yükü yöntemi örneğinde daha iyi anlaşılacaktır. 4. TBDY2018'e göre Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi Hesap Örneği Eşdeğer deprem yükü yönteminin anlaşılması için Excel ve Sap2000 programlarını kullanarak basit bir örnek çözelim. Bunun için aşağıdaki şekildeki gibi 4 katlı tek açıklıklı bir çerçeve tanımlayalım. (İnşaat mühendislerinin bilmesi gereken programlar yazımızda bu programların öneminden bahsetmiştik, buradan ulaşabilirsiniz.) Örnek Yapı 4.1. Kat Kütlelerinin Tanımlanması Eşdeğer deprem yükü analizi için öncelikle bize kat kütleleri gerekmektedir. Bunun için de örneğin kirişlere 10 Kn/m hareketli ve 20 Kn/m zati yük ekliyoruz. (Hareketli ve Sabit Yükler) Elle hesap kolaylığı olması açısından da kiriş ve kolonların zati ağırlıklarını ihmal edelim. Çerçeve iki yönde de 6 metre açıklıklara sahip olduğundan her katta 6×4=24m toplam kiriş bulunmaktadır. TBDY 4.5.9.2 uyarınca kat kütleleri mi=wgi+nwqi şeklinde tanımlanmaktadır. Tablo 4.3'ten n değerini konut için 0,3 olarak okunur ve her katın kütlelerini G Q G+0,3Q F/g(9,81)= kütle 1. Kat 480 240 552 56,26911315 2. Kat 480 240 552 56,26911315 3. Kat 480 240 552 56,26911315 4. Kat 480 240 552 56,26911315 şeklinde bulunur. Bu değerlerin programda da aynı olduğunu kolonlardaki eksenel kuvvetlerden görülebilir. Kolon Eksenel Kuvvetleri 136,12*2+139,88*2=552 kN 4.2. Fiktif Yükleme Kütlelerden sonra öncelikle amaç hakim titreşim periyodunu bulmaktır. Bunun için fiktif yükleme altında kat deplasmanlarına ihtiyaç vardır. Rastgele bir değer olarak 100kN taban kesme kuvveti bulunduğunu varsayıp katlara etkiyen fiktif kesme kuvvetler aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. mi (kns2/m) h mixhi mi*hi/toplam Fi (kN) Kat 1 56,26911315 3 168,8073 0,1 10 Kat 2 56,26911315 6 337,6147 0,2 20 Kat 3 56,26911315 9 506,422 0,3 30 Kat 4 56,26911315 12 675,2294 0,4 40 toplam 1688,073 1 100 (Bu tablolara aşağıda hesap sonunda Excel formatında ulaşabilirsiniz.) Katlara etkiyen ve toplamı 100 kN olan bu fiktif yükleri aşağıdaki şekilde yapımızın kütle merkezlerine her iki yönde de etkiterek kat yer değiştirmelerini Sap2000 programı yardımıyla hesaplayalım. (dix ve diy) Fiktif Yükleme 4.3. Hakim Titreşim Periyodu Hesabı Bu yüklemeler altında analiz yapıp yerdeğiştirmeleri ve 4.26 formülünden hakim periyot aşağıdaki şekilde bulunur. dix (m) diy (m) m*di^2-x m*di^2-y Fi*dx Fi*dy Kat 1 0,0019 0,0016 0,000203 0,000144 0,019 0,016 Kat 2 0,0053 0,0049 0,001581 0,001351 0,106 0,098 Kat 3 0,0086 0,0082 0,004162 0,003784 0,258 0,246 Kat 4 0,011 0,011 0,006809 0,006809 0,44 0,44 Toplam 0,012754 0,012087 0,823 0,8 Tx 0,782174 sn Ty 0,772322 sn Bu değerler ampirik formül olan Tpa=Ct.Hn^3/4 (TBDY 4.27) ile karşılaştırılmalıdır. Betonarme yapı için Ct değerini 0,1 alınarak Tp(ampirik)= 0,1×12^(3/4)=0,645 sn olarak bulunur. 0,782 ve 0,772 sn değerleri 0,645 * 1,4=0,9 sn değerinden küçük olduğu için hakim periyotlar olduğu şekilde, yani x yönü için 0, 782174 sn, y yönü için 0,772322 sn olarak kabul edilebilir. 4.4. Tasarım Spektrumunun Bulunması Periyot değerleri elde edildikten sonra spektral ivme değerinin okunabilmesi için tasarım spektrumunun elde edilmesi gerekmektedir. Bilindiği üzere bu spektrum, yapının bulunduğu konum, zemin özellikleri ve deprem düzeyine göre Türkiye Deprem Tehlike Haritasından elde edilir. Örnek yapının Sds değerini 0,713, Sd1 değerini 0,203 olarak aldığımızı kabul edelim. Bu durumda Deprem Tasarım Sınıfını DTS=2 ve Bina Yükseklik Sınıfını da, BYS=6 olarak alabiliriz. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Tasarım spektrumundan görebileceğimiz şekilde, yapı periyotları 0,77 ve 0,78 sn değerleri Tb-TL arasındadır. 4.5. Azaltılmış Spektral İvme Hesabı Amacın aşağıdaki formül ile her iki yön için eşdeğer deprem yükünü elde etmek olduğunu tekrar hatırlayalım. Burada Sar(Tp) (azaltılmış spektral ivme) değerine ihtiyaç duyulmaktadır. TBDY 2018 formül 2.8'e göre Sar(Tp) = Sae(T) / Ra(T) şeklinde hesaplanmaktadır. Sae(T)= Yatay elastik tasarım spektral ivmesi, Ra(T) = Deprem yükü azaltma katsayısı, Sae(T) değeri TBDY 2.2 denkleminden Tb≤T≤Tl için Sd1/T şeklinde hesaplanmaktadır. Bu durumda; Sd1 0,203 sn Sds 0,713 sn Tx 0,782 sn Ty 0,772 sn Sea(Tx)= 0,260 Sea(Ty)= 0,263 olacaktır. Ra(T) ise TBDY 4.2.1.2 maddesinde belirtildiği üzere T>Tb için R/I şeklinde hesaplanmaktadır. Burada R= taşıyıcı sistem davranış katsayısı, I ise bina önem katsayısıdır. R değerini TBDY tablo 4.1'den A11 için 8 üst sınır olarak alınabilir. I değeri ise Tablo 3.1'den konut sınıfı için 1 olarak alınır. Bu durumda her iki yön için de; Rax-y(T) = R/I =8/1=8, Sarx(Tp) = Saex(T) / Rax(T) =0,260/8= 0,032 Sary(Tp) = Saey(T) / Ray(T) =0,263/8= 0,033 olacaktır. Spektral ivmeler g cinsinden olduğu için bu değerler aşağıda ayrıca 9,81 ile çarpılacaktır. 4.6. Eşdeğer Deprem Taban Kesme Kuvvetinin Bulunması Vt=mt*Sar(T)>=0,04 mt*I*Sds*g için Toplam kütle= 225,08 kNs²/m g=9,81 m/sn² Vtx= 225,08 x 0,032 x 9,81≥0,04 x 225,08 x 1 x 0,713 x 9,81 71,63 ≥62,97 olduğundan Vtx=71,63 Kn olarak belirlenir. Vty= 225,08 x 0,032 x 9,81≥0,04 x 225,08 x 1 x 0,713 x 9,81 72,55 ≥62,97 olduğundan Vtx=72,55 Kn olarak belirlenir. Bu değerler yapımızın x ve y yönlerindeki taban kesme kuvvetleri ve taban eşdeğer deprem yükleridir. Vtx=71,63 Kn Vty=72,55 Kn Hesap için kullanılan Excel tablosuna buradan ulaşabilirsiniz. 4.7. Sonuçların Sap2000 Programı ile Kontrolü Bu değerleri SAP2000 programından kontrol edecek olursak; Girilen veriler; SAP2000 Eşdeğer Deprem Yükü Tanımlama Not: Örnekte eleman iç kuvvetleri hesaplanmayacağı için eksantrisite verilmedi. İlgili yönler toplandığında sonuçlar; Sap2000 programında yönler ile ilgili detaylı yazımıza buradan ulaşabilirsiniz. X YÖNÜ EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ Vtx=(24,99+10,86)*2=71,7 kN Y YÖNÜ EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ Vty=(31,13+5,18)*2=72,62 kN olarak bulunur ve bu değerler el ile yapılan hesaba oldukça yakındır. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile ilgili yorum ya da sorularınızı aşağıdaki yorumlar bölümünden iletebilirsiniz. SİMGELERAt = Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan eşdeğer alan [m2]Awj = j'inci perdenin gövde enkesit alanı [m2]Ct = Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayıDbi = i'inci katta ek dışmerkezlik büyütme katsayısıdfi(X) = (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yerdeğiştirme [m]Ffi(X) = (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yük [kN]FiE(X) = (X) deprem doğrultusunda i'inci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü [kN]fjE(S) = j'inci sonlu eleman düğüm noktasına etkiyen eşdeğer deprem yükü [kN]g = Yerçekimi ivmesi [m/s2]HN = Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam yüksekliği [m]Hw = Perde yüksekliği [m]hi = i'inci katın yüksekliği [m]I = Bina Önem Katsayısılwj = Perdenin plandaki boyu [m]N = Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'deki toplam kat sayısıSaR(T) = Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]SDS = Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]T = Doğal titreşim periyodu [s]TpA = Amprik olarak hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu [s]Tp(X) = (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]ΔFNE(X) = (X) deprem doğrultusunda binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü [kN]nbi = i'inci katta burulma düzensizliği katsayısıEşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında binaya etkiyen depremler için ayrı ayrı uygulanacaktır. Aşağıdaki bağıntılar (X) deprem doğrultusu için verilmiştir. Bodrumlu ve bodrumsuz binalarda bina tabanı ve bina yüksekliği tanımları için 3.3.1 esas alınacaktır. 4.7.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi4.7.1.1 – Gözön