

## ÜSKÜP HAVAALANI'NIN DEPREME KARŞI TASARIMI

### ASEISMIC DESIGN OF SKOPJE AIRPORT

Sukan KÜLEKÇİ<sup>1</sup> ve İhsan Engin BAL<sup>2</sup>

#### ÖZET

Üsküp, sonuncusu 1963'de meydana gelen sarsıcı birçok deprem geçirmiş bir Balkan şehridir. TAV tarafından bu şehirde gerçekleştirilmekte olan Üsküp Büyük İskender Uluslararası Havalimanı da, projede deprem tehlikesinin öneminin bilindiği ve buna karşı tasarım ve inşaat tedbirlerinin alındığı bir proje olmuştur. Sismik tehlike analizleri IZIIS enstitüsü tarafından sağlanmıştır. Yerel zemin koşulları ve beklenen en büyük deprem ivmesinin belirlenmesi takiben, Makedon Yönetmeliği'ne göre yapılan tasarımda lineer olmayan analizler gerekli olmuştur. Bunun sebebi yapının önemli bir yapı olması ve Yönetmelik şartlarına göre bulunan elastik yüklerin gerçekte ne oranda oluştuğunun saptanması gerekliliğidir.

Bu makalede, Üsküp Havalimanı'nın depreme karşı yerel yönetmeliğe göre yapılan tasarımında karşılaşılan hususlar ile tasarımda dikkat edilen noktalar okuyucuyla paylaşılmıştır. Sismik tehlike analizi sonuçları, yerel zemin durumu, deprem yüklemesi, yönetmelik tahkikleri ve son olarak da lineer olmayan analiz sonuçları ile lineer analiz sonuçlarının karşılaştırılması yolu ile elde edilen bulgular bu makalede tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Depreme karşı tasarım, Üsküp, Havalimanı, doğrusal olmayan analiz

#### ABSTRACT

Skopje is a Balkan city, which has suffered several destructive earthquakes the latest of which occurred in 1963. The Turkish airport construction and operation company, TAV, has started the construction of the Skopje Alexander the Great Airport. This is a project in which the seismic risks are seriously taken into account. Seismic hazard studies for the region were provided by IZIIS (the earthquake research institute of the country). Following the determination of the local soil conditions, the Macedonian Code, due to the high importance level of the structure, required nonlinear verification analyses. In such cases the Code requires the verification of the base shear and storey shears used in the elastic analysis to be verified by the nonlinear dynamic analyses.

This paper discusses the design issues for this important project as well as the considerations in the aseismic design of the building. The findings obtained by comparing the linear design cases with the nonlinear verification analyses, as well as the other issues of aseismic design of the building, are discussed in this paper.

Keywords: Reinforced concrete, Aseismic design, Skopje, Airport, nonlinear verification analyses

#### GİRİŞ

Makedonya'nın başkenti Üsküp, Balkanlar ve Doğu Avrupa için önemli bir hava transfer noktası olma potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda öncelikle hava trafiği altyapısının ve bunun bir parçası olarak da mevcut Üsküp Havaalanı'nın hem terminal ve yan hizmet binaları ve hem de uçuş pistinde yeniliklere gidilmesine karar verilmiştir. Açılan ihalede Türkiye'den TAV İnşaat işletme

<sup>1</sup> İnş. Y. Müh., İNTAÇ İnşaat Ltd. Şti., Ataköy, İstanbul, sukan@intacinsaat.com

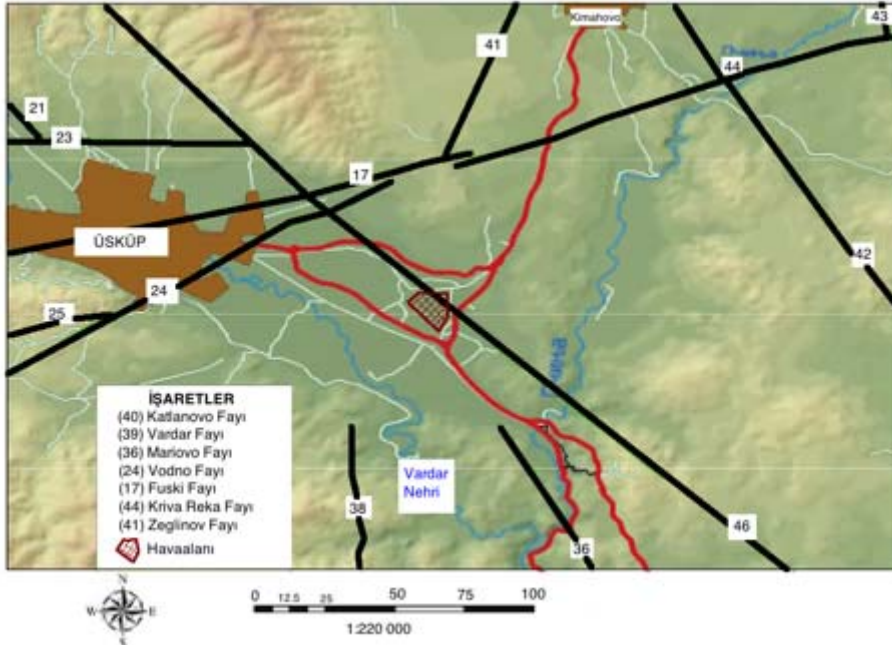
<sup>2</sup> Dr., EUCENTRE (Üsküp Havaalanı Projesi'nin danışmanlığını yaptığı tarihteki kurumu), Pavia, ihsan.bal@eucentre.it

karşılığı inşaat işini üstlenmiştir. Havaalanının mimari tasarımı GMW Mimarlık, İstanbul tarafından yapılmış, statik proje ve çizimler ise İntaç İnşaat, İstanbul tarafından üstlenilmiştir. Üsküp Havaalanı, son yıllarda bölgede etkinliği gittikçe artan Türk inşaat sektörünün inşaat işlerinden işletme, tasarım ve mühendislik hizmetlerine de geçişinin önemli göstergelerinden biri olması açısından da önemli bir projedir.

Üsküp, Balkanlar'ın ciddi deprem tehlikesine sahip şehirlerinden biridir. En son 27 Temmuz 1963'de meydana gelen 6.1 büyüklüğündeki Üsküp Depremi'nde şehir büyük hasar almıştır. 1963 Depremi şehirde bulunan orta ve çok katlı betonarme binalar ve yığma binalar ile ve Osmanlı devrinden kalma kaleye ve bunun betonarme olarak inşa edilen müzesine büyük zarar vermiştir (bkz. Şekil 2). Bu yoğun hasarda depremin büyüklüğünün yanısıra şehre çok yakın oluşu (50km'den az), şehrin kurulduğu Vardar Nehri çevresinin zemin koşulları ve ayrıca depremin yüzeye 5km yakında gerçekleşmesi gibi sebepler de önemli rol almışlardır. IZIIS tarafından bu proje için özel olarak hazırlanan deprem tehlikesi raporunda (Sesov v.d., 2010), aşağıda verilen harita elde edilmiştir (bkz. Şekil 1). Burada şehrin etrafını ve havaalanı çevresini saran fay sistemi görülebilmektedir.

Sahadan alınan zemin numuneleri üzerinde yapılan basit çevrimsel kayma deneylerinden IZIIS tarafından zemin doğrusal olmayan özelliklerine geçilmiştir. Bu özellikler daha sonra zemin profilinin yaratılması ve bu profil üzerinde eşdeğer doğrusal olmayan tek boyutlu tepki analizleri koşullarında yüzeyde meydana gelmesi muhtemel deprem kaydı ve buna ait ortalama spektrumun elde edilmesinde kullanılmıştır (Sesov v.d., 2010). Buna göre 500 yıl dönüş periyotlu beklenen deprem için, ki bu deprem tasarım depremi olarak kullanılmıştır, ana kayada 0.305g ve yüzeyde ise 0.395g en büyük ivme beklendiği bulunmuştur. Örneğin 100 yıl dönüş periyotlu servis depreminde bu değerler sırasıyla 0.140g ve 0.182g olarak saptanmıştır.

Sahanın geoteknik özellikleri ENAR, İstanbul tarafından belirlenmiştir. Buna göre, örneğin terminal binasında önerilen izin verilen zemin emniyet gerilmesi, yapının bodrumsuz kısımlarında 200kPa (kil tabakası), tek bodrumlu kısımlarında ise 500kPa (çakıl tabakası) olarak bulunmuştur. Sahada yeraltı su seviyesi 7 ila 8m civarlarında olup, özellikle sahanın topoğrafyası nedeni ile mevsimsel değişimler göstermektedir. Yapı temelleri en derin yerinde 6m'ye oturduklarından yeraltı su seviyesi ile ilişkileri yoktur.



Şekil 1. Havaalanı bölgesi ve çevresindeki fay sistemi (Sesov v.d., 2010'dan uyarlanmıştır)



Şekil 2. 26 Temmuz 1963 Üsküp Depremi'nden sonra hasar görünüşleri: Üsküp'ün içinde betonarme bina hasarları (üstte), yığma bina bloklarından hasarlar (altta solda) ve Üsküp Tren İstasyonu'nun depremden sonraki hali (altta sağda). Resimler Ambraseys – IZIIS'den alınmıştır.

### MAKEDON DEPREM YÖNETMELİĞİ KOŞULLARI

Makedonya'daki cari deprem yönetmeliği, eski nesil yönetmelikler kategorisindedir. Buna göre, öncelikle deprem bölgeleri olasılıksal olarak hesaplanan beklenen yer ivmesine göre değil, daha evvelki depremlerden elde edilen tecrübeler ışığında hazırlanan şiddet değerlerine göre belirlenmiştir. Ayrıca verilen spektrumda kısa periyotlar için de plato değeri kullanılmış ve uzun periyotlarda da spektrum değeri sabit olarak önerilmiştir (Şekil 3).

structures listed in section 3 of this article,  $K_p = 1.0$ ;

For structures built of reinforced masonry, and for braced ste

For masonry structures, strengthened by means of vertical re  
for reinforced-concrete shear-wall structures which do not  
article 68 of this Code; for very high and slender structures;  
high industrial chimneys, aerials and masts, water-towers

Şekil 3. Makedon Yönetmeliği'nde deprem yüklerinin bulunmasında kullanılan  $K_d$  katsayısının yapı periyodu ve zemin kategorisine bağlı değişimi

Yapıya etkiyen tasarım taban kesme kuvveti aşağıda Denklem (1)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$S = K * G \quad (1)$$

Burada K yatay yük katsayısı, G ise yapının toplam sismik ağırlığıdır. K katsayısının hesabı aşağıda Denklem (2)'de verilmiştir.

$$K = K_0 * K_s * K_d * K_p \quad (2)$$

Denklem (2)'de  $K_0$  bina kategorisine bağlı bir katsayı,  $K_s$  deprem şiddeti katsayısı,  $K_d$  dinamik tepki katsayısı (bkz. Şekil 3), ve  $K_p$  ise düktilite ve sönüm katsayısıdır.  $K_s$  katsayısı, Mercalli şiddet ölçüsüne göre VII, VIII ve IX şiddetine sahip bölgelerde sırasıyla 0.025, 0.050 ve 0.100 şeklindedir. Havaalanı bölgesi IX şiddetinde bir deprem etkisinin beklendiği bir bölgedir.  $K_p$  katsayısı, modern betonarme binalarda 1.0 olarak kabul edilmektedir. Bu değer, örneğin yığma binalarda 1.3 olmaktadır. Okul, hastane gibi önemli binalarda  $K_0$  yapı önem katsayısı 1.5 olarak alınmakta ve deprem yatay yük katsayısı 0.15 olarak bulunmaktadır. Ancak havaalanı gibi önemli yapılar kategori dışı olarak kategorize edilmekte ve bu yapılarda doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap ile bulunacak taban kesme kuvvetlerinin kullanılması istenmektedir. Dinamik analiz yolu ile bulunacak kat kesme kuvvetlerinin, yukarıda tarif edilen katsayılar ile bulunacak olan değerlerin %75'inden daha düşük olmaması ve 0.02 değerinin altına ise kesinlikle düşmemesi istenmektedir.

Makedon Yönetmeliği'nin önemli özelliklerinden biri de getirdiği deformasyon sınırlarıdır. Bu sınırlara göre, doğrusal hesap kullanılarak yapılan tasarımda yapı tepe noktasının yatay ötelenmesi, toplam bina yüksekliğinin 600'de 1'ini geçemez.

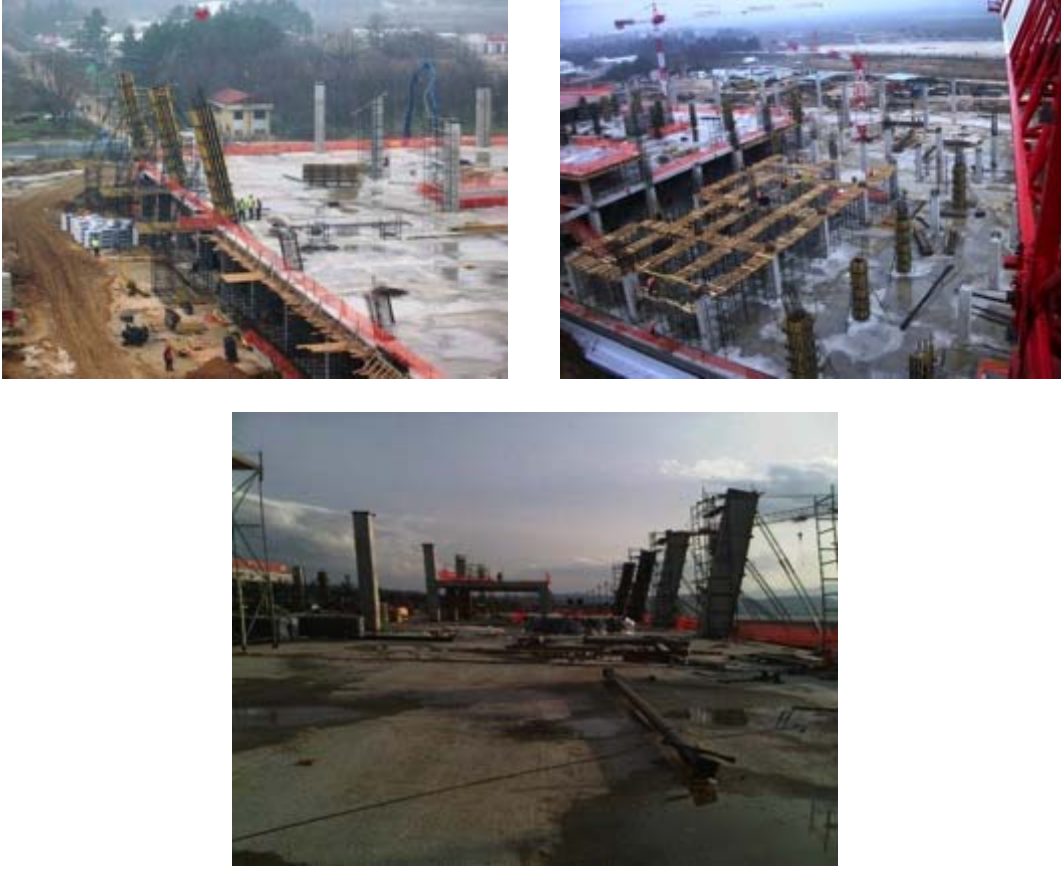
### ÜSKÜP HAVAALANI PROJESİ

Üsküp Havaalanı, 8 bloktan oluşan toplamda 3 ila 4 katı terminal binaları ile bunların etrafında bulunan kargo, itfaiye ve diğer yönetim binalarından oluşan bir kompleks şeklinde düşünülmüştür. Sadece terminal binası 40,000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir (bkz. Şekil 4). Havaalanının yıllık kapasitesi 3 milyon yolcudur. Terminal binasından uçaklara 6 adet yolcu köprüsü planlanmıştır. Kargo binasının yıllık hacmi 40,000 tondur. Bunların yanında yönetim binası da 5,000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir.



Şekil 4. Havaalanının bilgisayar yardımı ile hazırlanmış 3 boyutlu görünümü

Havaalanı yapılarında, yönetim binası hariç diğer tüm yapılar uzay kafes çatı sistemi ile örtülmüştür. Bu sistem kolon başlıklarına kayıcı mesnetler vasıtası ile yerleştirilmiştir. Yapımı halen devam eden havaalanının 20 ay gibi kısa bir sürede, Kasım 2011'de teslimi öngörülmektedir. Şantiyeden kısa süre önce elde edilen resimler Şekil 5'de görülebilir.



Şekil 5. Terminal binası şantiyesinden görünümeler

## TASARIM AŞAMASI VE LİNEER OLMAYAN ANALİZLER

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap (ZTDH), mevcut değerlendirme yönetmeliklerinde (yapıların deprem dayanımlarının ve beklenen hasarın belirlendiği yöntemler) gerek kaldıkça başvurulmuş bir analiz tipidir. Ancak bu karmaşık analiz tipinin tasarım esnasında kullanılmasına hem iş yükü ve hem de konsept açısından birtakım zorluklar bulunmaktadır.

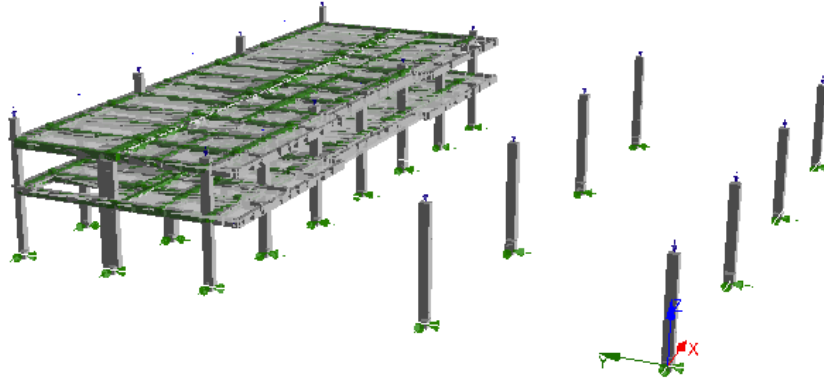
Tasarım genelde bir iterasyon işidir. İlk adımda tecrübe ile belirlenen kesitler daha sonra birkaç kez değiştirilebilir. Ancak ZTDH uzun zaman almasından dolayı bu analizlerin iterasyon şeklinde kullanılmaları oldukça zordur. Bu tip bir hesap tarzında teknik bazı zorluklar da mevcuttur. Bu zorlukların başında yapının tasarımında birtakım güvenlik katsayıları (yüklemelerde) kullanılmasına rağmen ZTDH ile yapılan analizlerde bu katsayıların fiziksel anlamını yitirmesi sayılabilir. Ayrıca tasarımda sıkça kullanılan süperpozisyon ilkesi, yani farklı yüklemelerden bulunan sonuçların rahatlıkla üst üste eklenmesi ile kombine yüklerin elde edilmesi teorisi, sadece yüklemenin elemanları elastik bölgede tuttuğu durum için geçerlidir. Bu durumda, örneğin ZTDH koşullarında bulunan deprem yükleri, hareketli veya ölü yükler ile aynı kombinasyonda birleştirilemezler.

### Modelleme ve Analizler

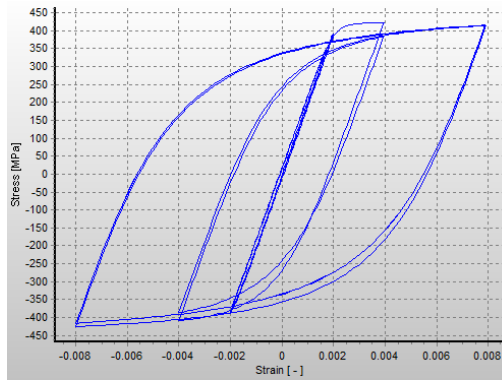
Makedon Yönetmeliği'nin yukarıda bahsedilen zorlukların üstesinden gelmek için içerdiği yöntem, sadece kat kesme kuvvetlerinin ZTDH ile, en azından yaklaşık ve birtakım kabullere bağlı kalınarak bulunması, bunun akabinde bu yüklemenin yine statik yük olarak elastik modelde

kullanılmasıdır. Bunun için statik proje müellifi İntaç firması tüm yapıların elastik modellerini, normal tasarım akışı içerisinde hazırlamış ve ilk tasarımı yapmıştır. Daha sonra doğrusal olmayan hesap yapma yeteneğine sahip, plastikleşmenin tüm eleman boyunca yayılı olduğu kabulü ile çalışan SeismoStruct programı (SeismoStruct, 2010) kullanılarak yapılar bir kez de doğrusal olmayan ortamda modellenmiş ve aşağıda açıklanan deprem kayıtları ile analiz edilmiştir.

Yapılan modellerde S420 donatı ile C30 beton malzemesi kullanılmıştır. Sargılı betonun olduğu kolon kesitlerinde ise sargılı beton modeli tarif edilmiştir. Seçilen çevrimsel donatı modeli Menegetto v.d. (1970) modeline uygundur (bkz Şekil 7). Sargılı beton modeli ve sargısız beton modeli davranışları da sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Modellerde kullanılan elemanlar, plastikleşmenin tüm eleman boyunca yayılı olduğu kabulüne göre çalışmaktadırlar. Bu elemanlar hakkında daha detaylı bilgi Neuenhofer v.d. (1997 ve 1998), Taucer v.d. (1991) ve Spacone v.d. (1992) kaynaklarında bulunabilir.

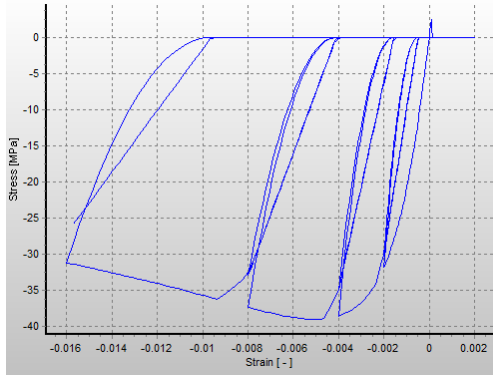


Şekil 6. Terminal bloklarından birinin Seismostruct programında hazırlanan doğrusal olmayan modeli

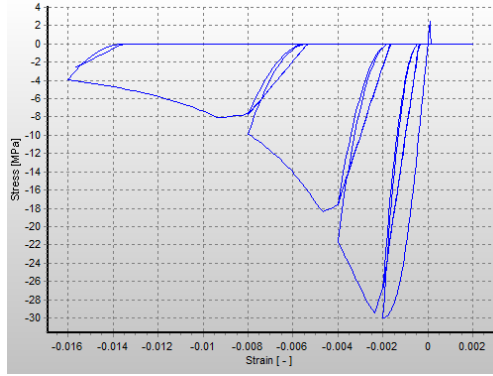


Şekil 7. Seçilen çevrimsel donatı modeli (Menegotto-Pinto-Giuffre Model, 1970)

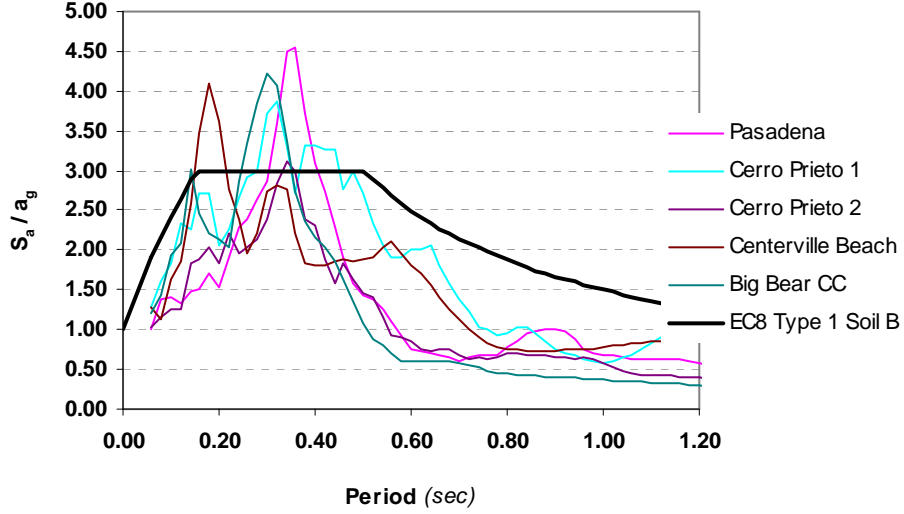
Yapılan ilk analizlerde Eurocode uyumlu kayıtlar seçilmiştir. Bunda, mevcut Makedon Yönetmeliği'nde bulunan spektrumun şekil olarak gerçekçi olmaması rol oynamıştır. Ancak seçilen ve kayıtların uydurulduğu spektrum Eurocode şekline sahip olsa da, PGA (en büyük yer ivmesi) değeri, IZİIS tarafından belirlenen maksimum yer ivmesi 0.4g mertebesinde tutularak kayıtlar ölçeklendirilmiştir. Bu kayıtların seçimi ve Eurocode spektral şekline uyumu için Bommer ve Acevedo (2004) kaynağına başvurulmuştur. Seçilen kayıtlarda ölçeklendirme yapılırken, yapının birinci mod periyodu  $T_1$  olmak üzere, spektrumun  $0.2T_1$  ve  $2T_1$  aralığında ortalama spektrum değerinin hiçbir noktada yönetmelik spektrumunun %90'ının altına düşmemesi şartı gözetilmiştir (bkz. Şekil 10). Kayıtlara ait sayısal değerler ise Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Modellerde kullanılan iyi sargılanmış betonda çevrimsel (sargı etkinlik faktörü 1.35) gerilme şekil değiştirme eğrisi



Şekil 9. Modellerde kabuki betonunun tarifi için kullanılan çevrimsel gerilme-şekil değiştirme ilişkisi



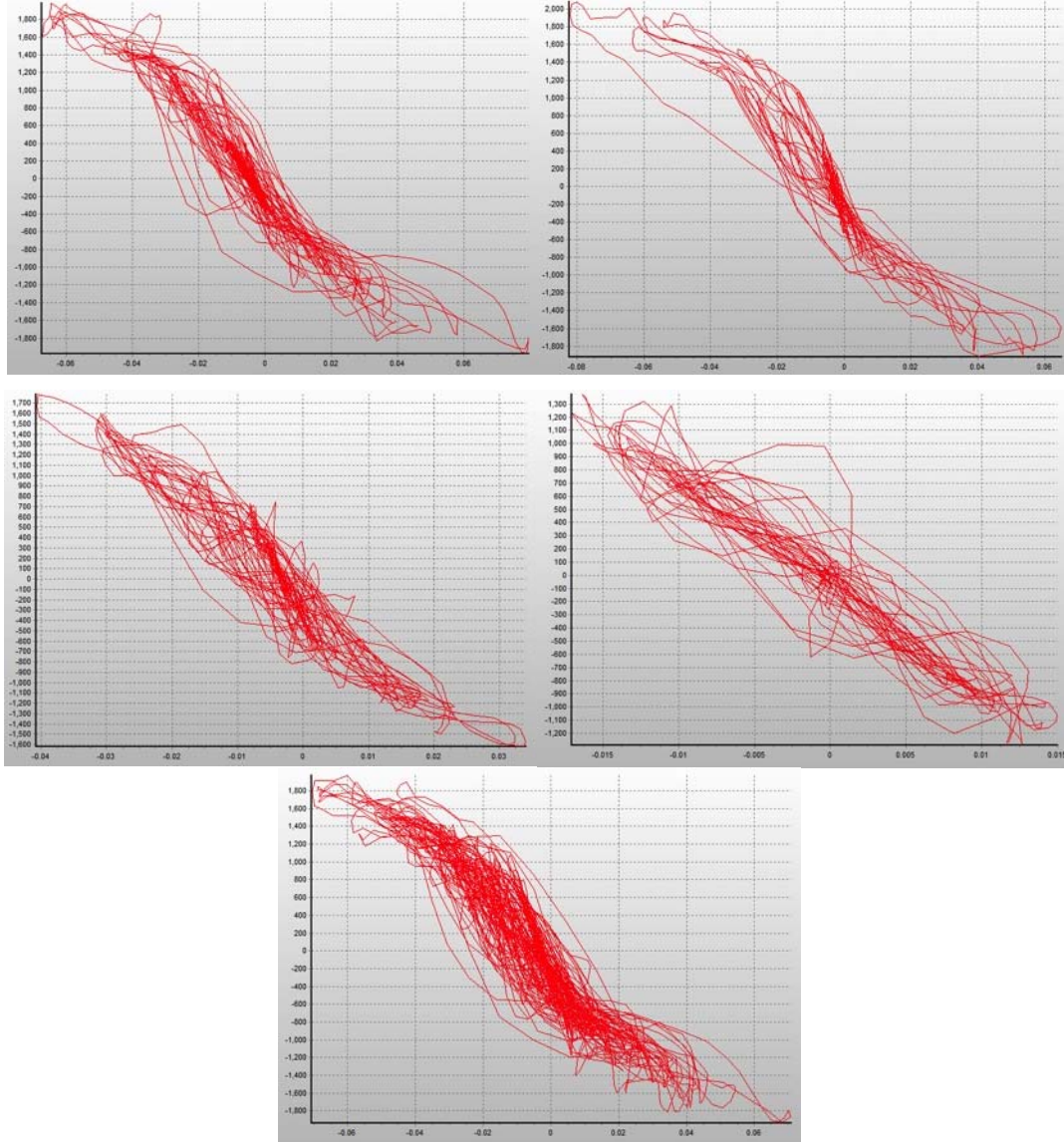
Şekil 10. Seçilen kayıtlara ait spektral büyütme katsayıları

Tablo 1. ZTDH analizlerinde kullanılan kayıtlara ait sayısal özellikler

Depremin Tarihi	İstasyon	En Büyük Yer İvmesi (g)	Ölçek Katsayısı
09/02/1971	Pasadena JPL	0.218	1.80
15/10/1979	Cerro Prieto	0.167	1.80
26/04/1992	Centerville Beach	0.440	1.00
26/04/1992	Centerville Beach	0.257	1.30
26/04/1992	Big Bear CC	0.545	0.70

Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler iki açıdan değerlendirilmiştir. İlk olarak bu analizlerden bulunan en büyük kat kesme kuvvetleri kaydedilmiş ve bunlar elastik modele yeniden işlenerek tüm model ikinci kez bu elastik deprem yükleri ile koşularak kesitler yenilenmiştir. İkinci olarak da, yapılan bu analizlerde her bir kesitteki birim şekil değiştirme durumları kontrol edilmiş, ve tasarlanan kesitlerde malzeme sınırlarının aşılmış aşılmadığı kontrol edilmiştir.

Eşdeğer deprem yüklemesi sonuçları ile doğrusal olmayan analiz sonuçlarını karşılaştıran bir tablo, terminal binasının iki bloğu için, aşağıda verilmiştir (bkz. Tablo 2). Burada 2 ve 8 numaralı bloklar arasındaki en temel fark, 2 nolu blokta yoğun toprak perdelerinin bodrum katta bulunması, 8 nolu blokta ise bodrum katta çok az perde olması ve bu katın rijit kat olmamasıdır. Bu yüzden eşdeğer deprem yüklemesinde 2 nolu blokta ilk katta (bodrum kat) ortaya çıkan taban kesme kuvveti, üst katta ortaya çıkan taban kesme kuvvetinden daha fazladır, 8 nolu blokta ise bunun tam tersidir.



Şekil 11. Yapılan ZTDH analizlerinden elde edilen tepe yer değiştirmesi (m) – taban kesme kuvveti (kN) grafikleri: Pasadena (sol üst), Centerville Beach No11 (sağ üst), Centerville Beach No12 (orta sol), Big Bear CC (orta sağ) ve Cerro Prieto (alt) kayıtları (*değerler bloğun ana aksından okunmuştur*)

Doğrusal olmayan hesaplarda bulunan kat kesme kuvvetlerinin eşdeğer deprem yüklemesi ile bulunan kuvvetlerden fazla olduğu hemen göze çarpar. Bunun sebebi, deprem kayıtları ile elde edilen talebin, spektrum ve yönetmelik katsayıları ile elde edilen talebi geçmesidir. Bu aşılma durumuna rağmen, Şekil 11'den de görüleceği üzere, yapı doğrusal sınırlar içerisinde hareket etmeye devam etmekte, doğrusal olmayan bölgeye çok az geçmektedir. Bunda malzeme ve



Yüklerde kullanılan güvenlik faktörlerinin rolü olduğu söylenebilir. Yani bir başka deyişle, yapı eşdeğer deprem yüklerine göre tasarlanırsa ve yükler bu eşdeğer yük takımını aşsa dahi, yapının rezerve kapasitesinden dolayı yapıda ya hiç hasar meydana gelmeyecek veya çok az hasarla deprem atlacaktır.

Tablo 2. Terminal binasına ait iki farklı blokta eşdeğer deprem yükü ve ZTDH ile bulunan kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Blok	Kat	Eşdeğer Deprem Yükü (kN)	ZTDH İle Bulunan Deprem Yükü (kN)
02	1	4300	6650
02	2	1300	1520
08	1	4400	1700
08	2	2372	2000

1

Yapı elemanlarının limit durumlarının kontrolü için Priestley v.d. (2007) kaynağında, düzgün olarak sargılanmış betonarme kesitlere ait verilen limit birim şekil değiştirmeler kullanılmıştır. Buna göre kabuk betonunda ilk çatlama %0.2 basınç, donatı çeliğinde akma ise %0.24 çekme birim şekil değiştirme değerinde meydana gelmektedir. Çekirdek betonunda ikinci ve üçüncü limit durumlar ancak betonun basınç birim şekil değiştirmesi sırasıyla %0.6 ve %1.25 değerlerini aştığında meydana gelmektedir. Donatı çeliğinde ise bu değerler %1.5 ve %3.5'dir. İkinci limit duruma ulaşan elemanda dayanım kaybı olur, hasar kalıcıdır ve onarım gerektirir. Üçüncü limit duruma ulaşan elemanda ise artık elemanı onarmak da mümkün değildir. Birinci limit duruma hafif hasara veya sıfır hasara denk gelmektedir. Yapılan analizlerde, yapı elemanlarında ilk tasarımda sadece birkaç kırışte ilk limit durum aşılmış, diğer tüm elemanlarda hiç hasar gözlenmemiştir. Tasarımın ZTDH ile bulunan yeni kat kesme kuvvetleri kullanılarak yenilenmesinden sonra yapılan analizlerde ise tüm elemanların birinci limit durumun altında kaldıkları tespit edilmiştir. İntaç tarafından Seismostruct modelleri kullanılarak yapılan analizler bir kez de IZIIS tarafından, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin modellenmesine dayanan INELA (1993) programı kullanılarak modellenmiş, benzer kat kesme kuvvetleri elde edilmiştir (Apostolska v.d., 2010).

## SONUÇLAR

TAV tarafından Makedonya'nın başkenti Üsküp'de inşa edilmekte olan Üsküp Büyük İskender Havaalanı, bölgesinde önemli prestij projelerine imza atan Türk inşaat sektörünün, artık mimari ve mühendislik tasarımı ile de öne çıkmaya başladığı örnek projelerden biri olması nedeni ile önemlidir.

Bu havaalanı projesinde deprem tehlikesi oldukça öne çıkmış, bu tehlikenin ve Makedon deprem yönetmeliğinin öngörülerini çerçevesinde, alışlagelmişin dışında bir tasarım yaklaşımı izlenmiştir. Normalde mevcut binaların deprem riskinin değerlendirilmesi için kullanılması öngörülen zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri, bu projede tasarlanan binanın doğrulanması ve tasarımın güncellenmesi amacı ile kullanılmıştır. Doğrusal olmayan hesaptan bulunan kat kesme kuvvetleri yapıların rezerve kapasitelerinden dolayı, ki bu kapasiteler yönetmeliklerdeki türlü güvenlik katsayılarından ileri gelmektedir, eşdeğer deprem yükü seçeneği ile bulunan kat kesme kuvvetlerinden her zaman daha büyük olacaktır. Bu yeni büyük kuvvetler tekrar elastik tasarım modeline girilerek yeni bir tasarım yapılmış ve bu elastik yük takımı diğer yüklerle (ölü yükler, hareketli yükler v.s.) süperpoze edilerek tasarım yenilenmiştir. Yeni tasarımın ayrıca yine Makedon yönetmeliğinde verilen kat arası ve tepe göreli deplasman oranlarını sağlaması gerekmektedir. Yukarıda izah edilen yolun izlenmesi durumunda ve işverenin talebi halinde tasarım mühendisleri yaptıkları tasarımı tersten giderek doğrulama yolunu kullanabilirler.

## Teşekkür

Yazarlar katkı ve görüşlerinden dolayı TAV'a, GMW Mimarlık'a, ENAR Mühendislik'e ve IZIIS'e teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Apostolska R, Necevska-Cvetanovska G, Garevski M, Sendova V, Gjorgjievska E, Gjorjiev I, ve Zlaeski A (2010) "Definition of Seismic Loads for Analysis of the Structural Blocks of the Alexander the Great Airport in Skopje", University Ss Cyril and Methodius, Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Skopje, May 2010, IZIIS Report 2010-33.
- Bommer J J, Acevedo A B (2004) "The Use of Real Earthquake Accelerograms as Input to Dynamic Analysis," *Journal of Earthquake Engineering*, 8: Special Issue 1, pp. 43-91.
- Giuffrè, A ve Pinto PE (1970) "Il comportamento del cemento armato per sollecitazioni cicliche di forte intensità", *Giornale del Génio Civile* (İtalyanca).
- INELA (1993) "Inelastic Analysis Software", University Ss Cyril and Methodius, Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Skopje, 1993.
- Neuenhofer A ve Filippou F C (1997) "Evaluation of nonlinear frame finite-element models", *ASCE Journal of Structural Engineering*, 123(7), pp. 958-966.
- Neuenhofer A ve Filippou F C (1998) "Geometrically nonlinear flexibility-based frame finite element", *ASCE Journal of Structural Engineering*, 124(6), pp. 704-711.
- Priestley M J N, Calvi G M ve Kowalsky MJ (2007) "Displacement-based seismic design of structures", IUSS Press, Pavia, Italy.
- SeismoStruct (2010) "SeismoStruct: A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures" Available at the URL: <http://www.seismosoft.com>.
- Sesov V, Dragi D, Dusan A, Edip K, Cvetanovska J, Gadza V, Zafirova I, Gjorgeska I, Necevska-Cvetanovska G, and Graveski M (2010) Evaluation of the Seismic Potential of the Site , for the Development Project of the Skopje Airport, University Ss Cyril and Methodius, Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Skopje, Report IZIIS 2010/21, March 2010.
- Spacone E, Ciampi V ve Filippou F C (1992) "A beam element for seismic damage analysis", Report No. UCB/EERC-92/07. Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, August, 1992.
- Taucer F, Spacone E ve Filippou F C (1991) "A fiber beam-column element for seismic response analysis of reinforced concrete structures", Report No. UCB/EERC-91/17, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley. December 1991.