



## Araştırma Makalesi / Research Article

GAP YENEV Binasının Kısmi Göçmesinin İncelenmesi ve Güçlendirme Çalışmaları  
*Investigation of the Collapse of the Gap Yenev Building and the Strengthening Studies*Recep K. Pekgökgöz<sup>1</sup>, M. Arif Gürel<sup>2</sup>, Fatih Avcıl<sup>3</sup><sup>1,2</sup> Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa. recepkdir@harran.edu.tr, agurel@harran.edu.tr<sup>3</sup> Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis. favcil@beu.edu.tr

## MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 7 Aralık 2020  
Düzeltilme: 22 Ocak 2021  
Kabul: 22 Ocak 2021

Anahtar kelimeler:

Konsol dökme, Yük analizi,  
Güçlendirme, Sonlu elemanlar  
yöntemi

## ÖZET

Yapılar ekonomik ömürleri boyunca tasarım veya inşa aşamasında yapılan hatalardan dolayı bazen kısmen, bazen de tamamen göçme durumuyla karşılaşabilmektedir. Kısmen veya tamamen yıkılan binaların incelenmesi ve çökme nedenlerinin araştırılması ile mühendisler için pek çok değerli bilgi ortaya çıkmıştır. Bu bilgi birikimi mühendisler için yeni inşa edilecek yapılarda tasarım ve imalat aşamasında dikkat edilmesi gereken noktalar konusunda bir rehber özelliği taşımaktadır. Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde yer alan Güney Doğu Anadolu Projesi, Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Ar-Ge Merkezi (GAP YENEV) binasının inşası sırasında konsol dökme sisteminde kısmen bir göçme olayı oluşmuştur. Can kaybı yaşanmadan atlantılan bu olay, inşaatın belli bir süre durmasına ve maddi kayıplara neden olmuştur. Bu çalışmada, söz konusu konsol dökmenin çökme nedenleri araştırılmıştır. Yapılan inceleme ve analizler neticesinde yapının mevcut yük durumuyla, onaylı betonarme uygulama projesindeki yük analizlerinin birbiriyle örtüşmediği görülmüştür. Bu durum göçme olayının, yapının hem proje aşamasında hem de imalat aşamasında yapılmış olan ciddi hatalar neticesinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. ABAQUS programı ile binanın birim genişliğindeki konsol yapısı, olması gerektiği gibi ve mevcut haliyle modellenip analiz edilerek moment taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Analizler, konsol dökmenin mevcut halindeki moment kapasitesinin, olması gereken kapasiteden oldukça düşük olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın son bölümünde yapı üzerinde gerçekleştirilen güçlendirme çalışmaları anlatılmıştır. Yapının hem göçme nedenleri araştırılırken hem de güçlendirme çalışmaları sırasında birçok değerli bilgi edinilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.836954

## ARTICLE INFO

Article history:

Received: 7 December 2020  
Revised: 22 January 2021  
Accepted: 22 January 2021

Keywords:

Cantilever slab, Load analysis,  
Structural strengthening, Finite  
element method

## ABSTRACT

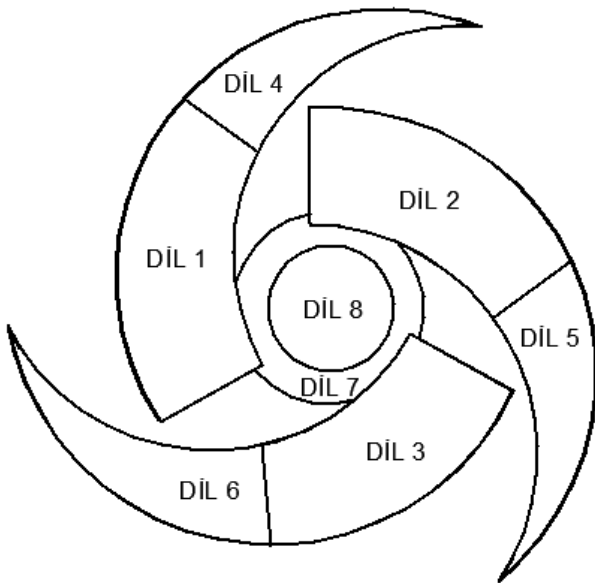
During their economic lifetime, buildings may face partial and sometimes complete collapse due to errors made during the design or construction phase. With the examination of partially or completely collapsed buildings and investigating the reasons for the collapse, a lot of valuable information has emerged for engineers. This knowledge is a guide for engineers about the points to be considered during the design and manufacturing phase of new buildings. During the construction of the South East Anatolia Project, Renewable Energy and Energy Efficiency R&D Center (GAP YENEV) building located in the Osmanbey campus of Harran University, a partial collapse occurred in the cantilever flooring system. This event, which was overcome without loss of life, caused the construction to stop for a certain time and financial losses. In this study, the reasons for the collapse of the mentioned cantilever slab were investigated. As a result of the examinations and analyses made, it has been observed that the current load situation of the building and the load analysis in the approved reinforced concrete application project do not coincide with each other. This situation revealed that the collapse occurred because of serious mistakes made during both the project phase and the manufacturing phase of the building. With the ABAQUS program, the unit-width cantilever of the building was modeled and analyzed both as it should be and in its current form, and its moment carrying capacities were compared. The analysis revealed that the current moment capacity of the cantilever slab was considerably lower than the capacity it should have been. In the last part of the study, the strengthening works carried out on the building are explained. A lot of valuable information was obtained both while investigating the reasons for the collapse of the building and during the retrofitting works.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Recep K. PEKGÖKGÖZ  
✉ recepkdir@harran.edu.tr

## Giriş

Mühendislik yapıları, yapımları sırasında veya sonrasında yaralanmalara ve ölümlere neden olan, kısmen veya tamamen göçmelere sıklıkla maruz kalırlar. Bireysel elemanların imalat hatalarını da içeren bu gibi istenmeyen olaylar büyük ekonomik kayıplara ve önemli inşaat gecikmelerine de neden olur. Yapım süreci içerisinde inşaatın ilerlemesini birçok faktör etkilemektedir. Bu etkileri değerlendirmek üzere “yapım aşaması analizi” olarak adlandırılan bir bilim dalı gelişmiştir. Bununla birlikte, insan hatasının ortaya çıkması ve beklenmedik tetikleyici olaylar, başarısızlık önleme stratejilerini etkisiz hale getirebilir. Bu nedenle yapılar projeleri onaylanmadan önce ve inşaat aşamasında sıkı kontrol edilmelidir.

Harran üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde bulunan Güney Doğu Anadolu Projesi Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Ar-Ge Merkezi (GAP YENEV) Binasının inşasına 06.03.2015 tarihinde temeli atılarak başlanmıştır. Üç ana blok halinde inşa edilen yapı 09.01.2017 tarihinde tamamlanarak işletmeye açılmıştır. Yapının planı Şekil 1 ve kuş bakışı görünüşü Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu proje ile güneş, rüzgâr, biyogaz ve diğer yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği konularında araştırmaların yapılacağı kapsamlı laboratuvarların bulunduğu sürdürülebilir düşük enerji tüketimli merkez bir yapı oluşturulması amaçlanmıştır.



Şekil 1 GAP YENEV binasının plan görüntüsü

Binanın inşasının başlamasından dokuz ay sonra 2015 yılının Kasım ayında, yapının 1-4 dilatasyonlarının oluşturduğu iç merkez bölümüne bakan kısmındaki konsol döşemelerinde bölgesel bir göçme oluşmuştur. Olayda bir can kaybı yaşanmamıştır.

Yapıların korunması ve yapısal güvenlik değerlendirilmesi konusunda yapılan bilimsel çalışmalarda, son yıllarda dünyada yapılarda yaşanan dramatik göçme olaylarının bir sonucu olarak, artan bir endişe ifade edilmektedir.



Şekil 2 GAP YENEV binasının kuş bakışı görünümü.

Geçmişte yapılan ve literatüre giren analitik ve deneysel çalışmalar neticesinde deprem yönetmelikleri gelişmiş ve bugün kullandığımız modern hallerini almıştır. Geçmişte yaşanan depremler değerlendirildiğinde konsol şeklinde tasarlanan bina bölümlerinin depremlerde yapının hasar görmesinde en önemli sebeplerden biri olarak ortaya çıktığı değerlendirilmektedir. Bu nedenle deprem yönetmeliklerinde konsol şeklinde tasarlanan taşıyıcı sistemlere özel olarak yer verilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) [1] göre kolonların konsol kirişlere veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne ve iki ucundan mesnetli kirişlere oturtulması yasaklanmıştır. Konsol sistemler içeren binaların deprem hesabında düşey elastik ivme spektrumu kullanılarak düşey deprem etkisinin hesaba katılması gerektiği hüküm altına alınmıştır.

Bu bölümde deprem yönetmeliklerinin gelişmesinde katkıda bulunan çalışmalardan

bazılarına kısaca değinilmiştir. O.C. Çelik ve ark. [2] çalışmalarında konsol kiriş ucuna kolon yapılmasından kaçınılması gerektiğini ve bu tür yapıların deprem hesapları yapılırken yapının bu kısmında, deprem düşey ivme spektrumlarının kullanılmasıyla hesaplanan iç kuvvetlerin belirli katsayılarla çarpılarak artırılmasıyla tasarımın yapılması gerektiği vurgulamıştır. Son yıllarda betona farklı türde ve oranda lif karıştırarak, betonun zayıf çekme dayanımını ve düşük şekil değiştirme kapasitesini artırarak betonun mekanik davranışı iyileştirmeye yönelik kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmaların sayısı oldukça artmıştır. Betonarme konsol kirişlerin deprem davranışlarını iyileştirmeye yönelik R. Daniel ve ark. [3] tarafından yapılan çalışmada geleneksel betonla üretilmiş konsol kirişlere göre lifle güçlendirilmiş betondan üretilen konsol kirişlerin enerji harcama kapasitelerinin lif türü ve oranına bağlı olarak %160 varan oranlarda artırılabilirliğini ve çelik liflerin büyük yer değiştirme seviyelerinde oluşan çatlakların uzunluğunu sınırladığını göstermiştir. Betona kazandırılan mekanik özellikler bu betondan üretilen kompozit malzemelerin yapıların deprem davranışını iyileştirmesi yönünden oldukça önemli olduğu unutulmamalıdır.

Bu bölümde tamamı veya bir bölümü konsol şeklinde tasarlanan ve göçen yapılardan örnekler verilmiştir. Çin'in Anhui eyaletinde elektrik üreten bir fabrikada tasarım ve yükleme hatasından dolayı çelik çerçeveden oluşan taşıyıcı sistemi aniden göçmüştür [4]. Polonya'da bulunan 24 metre açıklığında dairesel kemer şeklinde inşa edilen yapının inşasında dayanımı düşük malzemeler kullanılması sonucu yapıda yeterli rijitlik sağlamadığından kar yağışı sonrası mağaza salonu göçmüştür [5].

Polonya'da 2000 yılında taşıyıcı yapısı kafes sistem şeklinde oluşturulan Katowice fuar binasının, 2002 yılında kısmi olarak çatı bölümü göçmüştür. Tamiratyapılan yapı yeniden 2006 yılında kar yağması sonrası göçmüş 65 kişinin ölümüne 100'den fazla kişinin ağır yaralanmasına sebep olmuştur [6]. Ülkemizde Diyarbakır ilinde 1983 yılı Ocak ayında Şehitlik Sementi'nde bulunan Hicret Apartmanı göçünce, içinde bulunanlardan 93 kişi yaşamını yitirmiştir

[7]. Ülkemizde 2003 yılında inşa edilen bir sanayi yapısının çatısı kar yağışı sonrası göçmüştür [8]. Konya Merkez, Kerkük Caddesindeki 11 katlı betonarme bir yapı olan Zümrüt Apartmanı 2 Şubat 2004 tarihinde düşey yükler altında tamamıyla göçmüş ve 92 kişi yaşamını yitirmiştir [9]. Türkiye'de 2015 yılında kar yağışından dolayı konsol bir tribünde göçme meydana gelmiştir. Göçen yapının fotoğrafı Şekil 3' de gösterilmiştir. [10].



Şekil 3 Göçen konsol şeklindeki çelik tribün

Yapıların göçmeye karşı en hassas bölümlerinden birisi olan konsol kiriş döşeme sistemlerinde tasarım ve/veya imalat aşamasında yapılacak hatalar, yapıların bu bölümlerinin kolaylıkla göçmesiyle sonuçlanabilmektedir. Bu tür bir göçmeye ait örnekler Şekil 3 ve Şekil 4' de gösterilmiştir. Bu gibi ani göçmeler hem can hem de ekonomik kayıplara neden olmaktadır.



Şekil 4 Betonarme bir binanın göçmüş balkon döşemeleri.



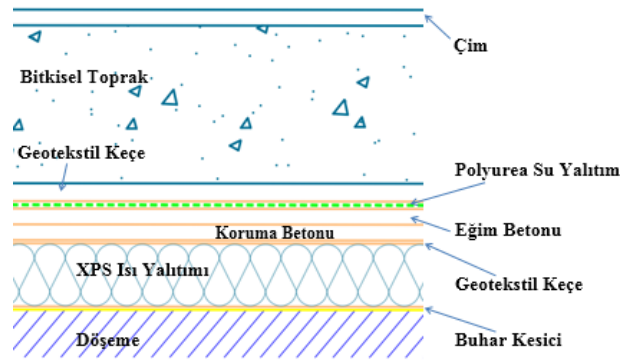
Bu çalışmada, bahsi geçen GAP YENEV binasının göçen bölümlerinin göçme sebeplerinin araştırılması amacıyla, yapının tasarımının değerlendirilmesi, yapısal elemanların uygunluk kontrolleri, malzeme ve saha araştırmaları, yapısal analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Makale çalışmasının yayına hazırlanması için göçme olayıyla ilgili yasal sürecin tamamlanması beklenmiştir.



Şekil 5 GAP YENEV binasının göçen konsol kısmından bir görünüm

### GAP YENEV binasının genel yapısı

Göçme meydana gelen GAP YENEV binası, Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde bulunmaktadır. Yapının inşası sürerken binanın 1-4 dilatasyonlarının teras kısmında kepçe ile toprak serilmesi işlemi tamamlanmıştır. Şantiye bölgesinde yapım çalışmaları sürerken, yağmur nedeniyle diğer bloklara toprak serilmesi işlemine ara verilmiştir. Yağışla birlikte ağırlaşan toprak örtüsü yapının konsol döşemelerinin aniden göçmesine neden olmuştur. Şekil 5 'de yapının göçme olayının gerçekleştiği andan kısa bir süre sonra çekilmiş fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 6 Çatı döşemesinin mimari proje verilen bir kesit detayı.

Yaşanılan göçme olayından sonra inşaat durdurulmuş ve ilgili idare tarafından göçme nedenlerinin araştırılması ve diğer bloklarda benzer bir olayın yaşanmaması için gerekli teknik önlemlerin alınması amacıyla yazarların da içerisinde buldukları bir komisyon oluşturulmuştur. Yapılan incelemeler neticesinde belirlenen eksiklikler ve hatalı imalatlar aşağıda ele alınmıştır.

### Göçen döşeme sistemi hakkında saha araştırmaları

GAP YENEV yapı kompleksi yapım aşamasındayken göçme olayı yapının 1-4 dilatasyonu olarak adlandırılan bölümünün konsol döşeme kısmında oluşmuştur. Meydana gelen göçmenin nedenlerinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmalar, yapının projelerinin incelenmesi ve inşaat aşamasında yapılmış imalat hatalarının tespit edilmesi olmak üzere iki farklı alanda yoğunlaşmıştır. İlk olarak yapıların tasarım ve projelendirme aşamasında yapılmış olabilecek hataların tespit edilmesi üzerine yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Yapının onaylı mimari projesinde, göçen konsol döşemeler için verilen detay çizimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Detay çizim incelendiğinde çatı döşemesi üzerinde yüksekliği 50 cm olan bir toprak tabakası mevcut olduğu görülmüştür. Ayrıca konsol şeklindeki döşemenin uç kısmında betonarmeden, 0.15 m x 1.5 m kesit boyutlarında, üzeri 3 cm kalınlığında, birim hacim ağırlığı 22 kN/m<sup>3</sup> olan Limra taşıyla kaplı parapet duvar bulunmaktadır.

Betonarme uygulama projelerinde döşemeler için yapılan yük analizlerinde Şekil 7’de görüldüğü gibi toprak örtü ve parapet duvar hesaplarda değerlendirilmeye alınmamıştır. Yük analizi için yapılan hesaplara sadece kaplama, tesviye betonu ve sıva dâhil edilmiştir. Bu durum yüklerin eksik hesaplandığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu ise bina inceleme komisyonu tarafından tasarım aşamasında yapılmış büyük bir hata olarak değerlendirilmiştir.

ÇATI DOSEMESİ			
Kaplama (İZOLASYON )	0.100 t/m <sup>3</sup> × 0.050 m	:	0.005
Tesviye betonu	2.000 t/m <sup>3</sup> × 0.050 m	:	0.100
Sıva	2.200 t/m <sup>3</sup> × 0.020 m	:	0.044
TOPLAM.....		:	0.149

Şekil 7 Betonarme uygulama projesinde çatı döşemesi için verilen yük analizi

İkinci bölümde göçen konsol döşemelerin imalatında yapılmış olabilecek hataların tespit edilmesi amacıyla ilgili alanda saha incelemeleri yapılmıştır.

Tablo 1. Karot numunelerin TS EN 13791göre değerlendirilmesi

Karot numune no	1-4	2-5 dilatasyonu
	dilatasyonu (Göçen Kısım) Basınç dayanımı (Mpa)	(Göçmeyen Kısım) Basınç dayanımı (Mpa)
1	27.11	29.96
2	40.69	35.37
3	40.87	31.39
4	31.92	37.04
5	33.03	35.52
6	37.84	34.75
7	32.92	40.21
8	41.84	35.54
9	35.38	31.72
10	35.74	37.13
Ortalama ( $f_{m is}$ )	35.74	34.86
$f_{ck, is, küp} = f_{m is} - k$	30.74	29.86
$f_{ck, is, küp} = f_{is, endüşük} + 4$	31.11	33.96

Bu amaçla ilk olarak yapıda kullanılan beton dayanımının tespiti için  $\phi 10$  cm çapında 1-4 dilatasyonun bulunduğu binadan 10 adet ve 2-5 dilatasyonunun bulunduğu binadan 10 adet olmak üzere toplam 20 adet karot numunesi alınmıştır. Kısmı göçmenin yaşandığı 1-4 dilatasyonundan alınan karot numunelerden

bazılarının yerleri Şekil 8’deki fotoğrafta gösterilmiştir. Karot numune sonuçları TS EN 13791/Nisan 2010 standardına göre değerlendirilmiştir. Beton dayanımını belirlemek için 1-4 ve 2-5 dilatasyonlarından alınan numuneye sayısı 15 adetten az olduğu için değerlendirme ilgili yönetmelikteki B yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır.

$$f_{ck, is, küp} = f_{m is} - k \quad (1)$$

$$f_{ck, is, küp} = f_{is, endüşük} + 4 \quad (2)$$

Yönetmelikte verilen bu bağıntılarda,  $f_{ck, is, küp}$  150 mm’lik küp dayanımına eşdeğer olarak ifade edilen yapıdaki karakteristik basınç dayanımını,  $f_{m is}$  yerinde alınan karot numunelerin basınç dayanımlarının ortalaması,  $k$  az sayıda deney sonucu ile ilgili sınır değeri ve  $f_{is, endüşük}$  yerinde alınan karot numunelerin basınç dayanımlarından en düşüğünü ifade etmektedir. Yönetmelikte numune sayısının 10-14 adet arasında olması durumunda  $k$  değerinin 5 olarak alınması gerektiği belirtilmiştir. Yapıdaki karakteristik basınç dayanımı olarak bu bağıntılarla hesaplanan değerlerden küçüğü alınmıştır.

Projede öngörülen beton sınıfı C30/37 dir. Bu durumda yapıdaki asgari karakteristik küp beton basınç dayanımının 31 MPa ( $f_{ck, is, küp} = 31$ ) olması gerekmektedir. Numunelerin Tablo 1’de gösterilen değerlendirilmeye göre elde edilen beton basınç dayanımlarının her iki dilatasyonda da yaklaşık olarak projede öngörülen asgari dayanımı sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 8 Binanın göçen kısmından alınmış karot numuneler

Toprak serme işlemi sırasında binanın üzerine çıkarılan ağır iş makinelerinin kullanılmasının yapı üzerinde geçicide olsa ciddi bir ağırlık ve dinamik bir etki oluşturduğu açıktır. Ortaya çıkan göçme olayında bu durumun da etkisinin olduğu kanaati oluşmuştur.

Konsol döşemelerin çekme donatılarının üstten pas payı kadar bir mesafe aşağıda olması gerekirken Şekil 9'de görüldüğü gibi bu donatıların üstten 15 cm kadar aşağı buldukları görülmüştür. Bu durum ilk olarak konsol döşemelerin imalatı sırasında sıkça rastlanılan üstteki çekme donatısının beton dökümü sırasında, işçiler tarafından üzerlerine basılarak aşağıya doğru kayması durumunu akla getirmiştir. Fakat dikkatli bir gözlem sonrasında mevcut durumun bu kadar basit bir hata ile izah edilemeyeceği anlaşılmıştır.



Şekil 9 Üstte olması gereken çekme donatılarının göçen konsol kısmındaki konumları

Döşeme sistemini taşıyan kirişlerin bulunması gereken kottan daha düşük bir kotta yapıldığı fark edilmiştir. Kiriş üst kotunun, döşeme üst kotuyla aynı seviyede olması gerekirken, kiriş üst kotu mevcut betonarme döşemenin alt kısmında kalmıştır. Bu durum döşemenin üstünde bulunması gereken çekme donatılarının döşemenin altında yerleştirilmesi durumunu ortaya çıkarmıştır. Bilindiği gibi betonarmede temel felsefe, elemanlarda oluşan çekme gerilmelerinin donatı tarafından karşılanmasıdır. Bu ise ancak donatıların betonarme kesitlerde bu temel felsefeye uygun yerleştirilmesiyle

mümkündür. Kesit içerisinde uygun yerde bulunması gereken donatıların farklı bir konumda bulunması, hatta fazla miktarda olması bile faydadan ziyade zarar oluşturur. Kirişlerin imalatında döşeme kesiti içerisinde çekme donatılarının bulunması gereken yerden başka bir yere yerleştirilmesi imalatta büyük bir uygulama hatası yapıldığını göstermiştir. Böyle bir hatanın ortaya çıkmış olması kontrol mekanizmasının denetimde yetersiz kaldığını göstermiştir.

Mimari uygulama projesinde 5 cm olması gereken koruma betonunun Şekil 10'dan anlaşılacağı üzere kalınlığının yer yer 7 cm ye kadar ulaştığı görülmüştür. Bu durum yapıya hesaplarda ön görünmeyen ilave sabit bir yük olarak etkilemiştir.

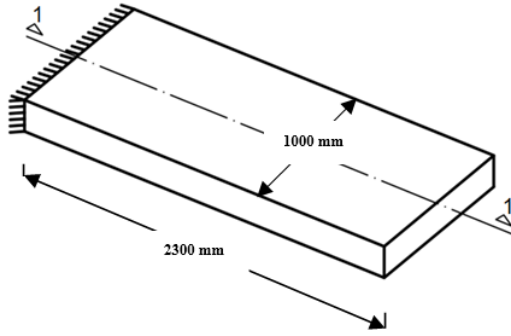


Şekil 10 Döşeme içerisinde 5 cm olması gereken koruma betonu

### **Konsol Döşemelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellemesi**

Bu bölümde, konsol bir döşeme sistemindeki betonarme bir kesitte donatıların bulunması gereken yerde bulunmaması durumunda, kesitte oluşacak taşıma gücü kapasite kaybının gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Şekil 11'de gösterilen ve yapıda kullanılan konsol döşeme sistemini temsil eden konsol döşeme birimi ABAQUS programı kullanılarak modellenmiştir [11].

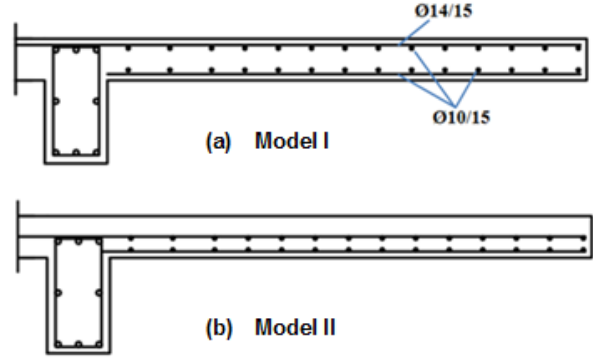




Şekil 11 Konsol çatı döşemesinin 1 m genişlikli birimi

Betonarme kolon-kiriş modelinde beton için C3D8R (an 8-node linear brick), donatı için ise T3D2 (truss) sonlu eleman ağları kullanılmıştır. Döşemenin kirişle birleştiği bölüm ankastre mesnet olarak kabul edilmiştir. Beton, hasarlı beton plastisite modeli kullanılarak modellenmiştir. Kullanılan bu model tipi seçilen beton için plastisite temelli sürekli bir hasarı temsil etmektedir. Bu modelde çekme çatlama ve basınç ezilmesi olmak üzere iki ana göçme mekanizmasının varlığı kabul edilmiştir. Modellemede kullanılan boyuna ve enine donatılar beton içine gömülü olacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece modellenen sistemin bir bütün olarak davranması sağlanmıştır.

Göçen konsol döşeme için ortalama 2.30 m konsol açıklığı, 0.20 m kalınlık ve 1 m genişlik alınarak iki farklı model oluşturulmuştur. Model 1’de betonarme uygulama projesinde belirtilen şekilde donatılar yerleştirilmiş, Model 2’de ise çekme donatılarının üstten 15 cm aşağı yerleştirilmesi durumu incelenmiştir. Analiz edilen modeller ve donatı yerleştirilme krokileri Şekil 12’de gösterilmiştir. Onaylı mimari projede gösterilen döşeme kesitinden yararlanılarak konsol döşemede yük analizi yapılmıştır. Yapılan yük analizinin ayrıntıları Tablo 2’de gösterilmiştir. Döşeme ağırlığına karşı gelen 5 kN/m<sup>2</sup> yük ABAQUS programı tarafından doğrudan hesaba katıldığından yük analizine dahil edilmemiştir.



Şekil 12 Konsol çatı döşemesi 1-1 kesiti (a) Projedeki boy kesit (b) uygulamadaki boy kesit

Analiz neticesinde döşeme üzerine 12.108 kN/m<sup>2</sup> sabit yük ve 5 kN/m<sup>2</sup> hareketli yük etki ettiği belirlenmiştir. Konsol döşemenin uç kısmında bulunan betonarme parapet duvar yükü ise Tablo 3’te gösterilen yük analizinden hesaplanmış ve çizgisel yük olarak döşemenin uç kısmına uygulanmıştır.

Tablo 2. Döşeme bölümünde kullanılan malzemeler ve yük analizi

	Kalınlık (m)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Sabit Yük (kN/m <sup>2</sup> )
Bitkisel Toprak	0.5	18	9
Geotekstil Keçe	0.07	10	0.7
Su Yalıtımı	0.005	12	0.06
Eğim ve Koruma Betonu	0.1	23	2.3
XPS Isı Yalıtımı	0.16	0.3	0.048
<b>Toplam</b>			<b>12.108</b>

Analiz modellerinde, döşemenin kirişle birleştiği bölüm ankastre mesnet olarak kabul edilmiştir. Modellerin taşıyabilecekleri yükü ve bu yükün mesnette oluşturduğu momenti belirlemek için döşemelerin taşıma kapasitelerine ulaşmaya kadar kademeli olarak yüklenmesi öngörülmüştür. Her iki modelde döşeme ağırlığı

ve konsol ucundaki çizgisel sabit yükün sistem üzerinde sürekli bulunduğu kabul edilmiştir.

*Tablo 3. Parapet duvar için kullanılan malzemeler ve yük analizi*

	Boyutlar (m)	Birim hacim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Birim uzun. sabit yük (kN/m)
Parapet	0.15x1.5	25	5.63
Limra taşı	0.03x1.5	22	0.99
Toplam			6.62

Modellerin yüklenmesi 12.108 kN/m<sup>2</sup> sabit ve 5 kN/m<sup>2</sup> hareketli yükün toplamı olan 17.108 kN/m<sup>2</sup> yükün %10' luk değerinden başlanarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin yüklenmesine yük kademeli olarak artırılıp, kesit taşıma kapasitesine ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Konsol ucundaki oluşan sehim miktarı, beton ve donatılarda oluşan gerilmeler hesaplanmıştır. Konsol döşemelerde oluşan yerdeğiştirmeler Şekil 13 ve Şekil 14'te gösterilmiştir.

Yönetmeliğe göre kullanım güvenliği yönünden konsol döşemedeki en büyük yerdeğiştirmenin  $L_n/240$ 'tan küçük olması gerekmektedir [12].  $L_n$  net konsol döşeme uzunluğunu göstermektedir. Betonarme uygulama projesinde, göçen konsol çıkmanın ortalama uzunluğu 2300 mm dir.

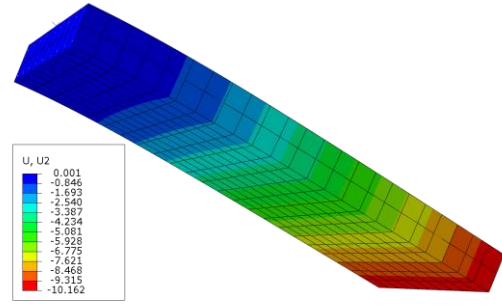
$$\delta_{max} \leq \frac{2300}{240} = 9.58 \text{ mm} \quad (3)$$

olmalıdır. Yönetmeliğe göre döşeme sisteminin konfor şartları içerisinde kullanılabilmesi için bu sehim sınırının aşılmaması gerekmektedir. Döşeme sisteminde en büyük sehim sınırının aşılması döşemenin taşıma gücü kapasitesine ulaştığı anlamına gelmemektedir.

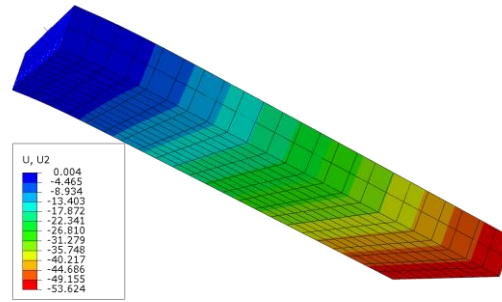
Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ) 30 Mpa ve donatının karakteristik akma dayanımı ( $f_{yk}$ ) 420 Mpa olarak alınmıştır. Betonun karakteristik çekme dayanımı ( $f_{ctk}$ ) ise,

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (4)$$

bağıntısı kullanılarak 1.9 Mpa, olarak hesaplanmıştır. Program tarafından modellerde betonda oluşan gerilmelerden veya donatıda oluşan gerilmelerden herhangi biri bu kritik değerlere ulaşıncaya sistemin taşıma kapasitesine eriştiği kabul edilerek analize otomatik olarak son verilmektedir. Program tarafından analize son verilmesi incelenen kesitin göçtüğü anlamına gelmektedir.



*Şekil 13 Model 1 döşemesinde göçme anındaki yerdeğiştirme durumu*



*Şekil 14 Model 2 döşemesinde göçme anındaki yerdeğiştirme durumu.*

Model 1'de sistem üzerinde döşeme kendi ağırlığı ve konsol uçundaki parapet duvar mevcut iken, sabit ve hareketli yüklerin toplamı olan 17.108 kN/m<sup>2</sup> yükün %10'luk değerinden başlanarak sistem yüklenmiştir. Bu yük kademeli bir şekilde artırılarak sistem yüklenmeye devam edilmiştir. Yükün tamamı Model 1 üzerine uygulandığı anda, konsol döşeme ucundaki yerdeğiştirme miktarı yönetmelikten hesaplanan sınır sehim değerini aşmıştır. Fakat bu durumda kesit henüz taşıma kapasitesine ulaşmamıştır. Bu anda sistem üzerindeki yüklerden ankastre mesnette oluşan momentin değeri 73.704 kNm olarak belirlenmiştir.



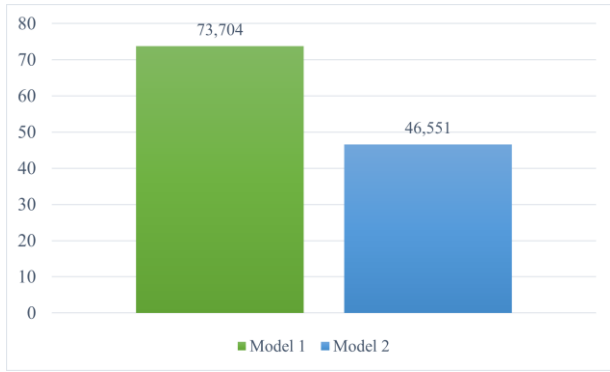
Bu durumda kesitin taşıma kapasitesine ulaşıldığına ve göçtüğüne hükmedilmiştir. Bu anda ankastre mesnette oluşan momentin değeri

## Yapı kompleksinde uygulanan güçlendirme çalışmaları

Tablo 4. Analizlerde kullanılan parametreler ve elde edilen sonuçlar

Malzemeler ve mekanik özellikleri			Hesap yükleri			Model I			Model II		
			Döşeme		Prapet duvar						
Beton	Bet. Çeliği	Bet. Çeliği	G	Q	G	Yük. oranı (%)	Mom. kap. (kNm)	Sehim miktarı (mm)	Yük. oranı (%)	Mom. kap. (kNm)	Sehim miktarı (mm)
$f_{ck}$ (Mpa)	$f_{ctk}$ (Mpa)	$f_{yk}$ (Mpa)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m)						
30	1.9	420	12.108	5.0	6.62	100	73.704	10.16	40	46.551	53.60

46.551 kNm olarak hesaplanmıştır. Model 2’de konsol ucunda oluşan yerdeğiştirmenin yönetmelikten hesaplanan sınır değerinin yaklaşık altı katı olduğu görülmüştür. Her iki modelin mesnetlerinde oluşan moment değerleri Şekil 15’de gösterilmiştir.



Şekil 15 Modellerin göçme durumunda mesnetlerinde oluşan moment tepkileri

Yapılan analizler neticesinde Model 2’de oluşan ankastrelik momentin, Model 1’de oluşan momentin %63 olduğu belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan parametreler ve elde edilen bulgular Tablo 4’te özetlenmiştir. Model 1’in taşıyabileceği moment kapasitesini %100 kabul edersek Model 2’nin moment taşıma kapasitesinde %37’lük bir kapasite kaybının olduğu görülmektedir. Projede öngörülen konsol döşeme sistemi, üzerindeki yükleri taşımakta kritik bir durumda iken, çekme donatılarının bulunmaları gereken konumda yerleştirilmemesi kesitin taşınması gereken yüklerden daha küçük yüklerde göçmesine neden olmuştur.

GAP YENEV binasında göçme yaşandıktan sonra yapının durumunu incelemek ve güvenli bir şekilde hizmet vermesini sağlamak için görevlendirilen komisyon tarafından, yapılan değerlendirme çalışmaları neticesinde yapılması gereken işlemlerin iki aşamada uygulanmasına karar verilmiştir.

Birinci aşamada 1-4 dilatasyonlarının bulunduğu bina üzerindeki teras kısmına serilen toprak tabakasının yapıdan derhal uzaklaştırılması gerektiği ilgili idareye bildirilmiş ve bu işlemin kısa sürede tamamlanması sağlatılmıştır. Toprak örtünün kaldırılmasında küçük boyutlu bir iş makinasının kullanılmasına dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Yapının teras bölümünde serili toprağın yapıdan uzaklaştırılması işlemlerine ait çalışmalar Şekil 16’da gösterilmiştir. Diğer 2-5 ve 3-6 dilatasyonlarının yer aldığı binalar üzerinde toprak tabakası bulunmadığından bunlarda toprak tabakanın uzaklaştırılması işlemi söz konusu olmamıştır.



*Şekil 16 Çatı döşemesine serilen toprağın göçme sonrası tahliyesi*

İkinci aşamada konsol döşemeleri göçen 1-4 dilatasyonlarının bulunduğu binanın göçen döşemelerinin konsol ucuna betonarme kolon ve kirişler yerleştirilerek konsol döşeme sistemi, kirişli döşeme sistemine dönüştürülmüştür. Bu çalışmaların devam ettiği sırada çekilmiş bir fotoğraf Şekil 17’de gösterilmiştir.

GAP YENEV binasının 1-4 dilatasyonlarının bulunduğu binanın çatı döşemesinde meydana gelen göçme sonrası, göçmeyen 2-5 ve 3-6 dilatasyonlarının bulunduğu binalarda yaşanması muhtemel benzer bir göçmenin önlenmesi için yapının bu bölümlerinde güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda, çelik kolon ve kirişlerden oluşan bir taşıyıcı sistem mevcut betonarme döşemelerle birlikte çalışacak ve onu destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece binaların konsol döşemelerinin bulunduğu bölümler için Şekil 18’de gösterilen güçlendirme sistemi oluşturulmuştur.



*Şekil 17 Göçen çatı döşemesi için betonarme sistemle güçlendirme çalışmaları.*

### **Bulgular**

Şanlıurfa ili Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde bulunan GAP YENEV binası gerek mimarisi gerekse kullanım amacı olarak kendine özgü bir yapıdır. Bu çalışmada yapının 1-4 dilatasyonlarının bulunduğu binada yaşanan göçme olayının nedenleri araştırılmıştır.



*Şekil 18 Göçme oluşmayan çatı döşemelerinin çelik konstrüksiyon sistemle güçlendirilmiş hali*

Göçme olayının oluşmasında etkili olan sebeplerden birisi, mimari projede bulunan 50 cm kalınlığındaki toprak bölümün ve konsol şeklinde tasarlanan çatı döşemesinin uç kısmında yer alan parapet duvarın betonarme uygulama projesinin yük analizleri bölümünde hesaba katılmamış olmasıdır. Bu durumda eksik yüklere göre

tasarlanan betonarme kesitler mevcut yükleri taşımada yetersiz kalmıştır.

Göçme olayına neden olan diğer önemli bir sebep ise, binada göçen döşeme kısmına mesnet görevi yapan kirişlerin bulunması gereken kottan daha düşük bir kotta yapılmalarıdır. Bu nedenle döşemenin üst bölümünde bulunması gereken çekme donatıları döşemenin altına yerleştirilmek durumunda kalınmıştır. Bu durum mesnet bölümünde oluşan negatif eğilme momentlerinin oluşturduğu çekme gerilmelerinin donatılar tarafından karşılanamaması sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Yaşanılan göçme olayından sonra teknik komisyon tarafından yapı statik ve betonarme olarak yeniden değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar göçen bölümün betonarme olarak yeniden yapılmasını ve göçmeyen yapı bölümlerinin çelik sistemlerle güçlendirilmesini gerektirmiştir.

Mimari ve betonarme uygulama projesindeki tutarsızlıklar ve betonarme elemanların imalatında yapılan hatalar ve bu hataların düzeltilmesi için öngörülen çözümler bu konuda çalışan mühendisler için öğretici olmuştur.

## Tartışma ve Sonuç

GAP YENEV binasının konsol döşemelerinde yaşanan kısmı göçme olayı konsol şeklinde çalışan yapı kısımlarının ve yapısal sistemlerin gerek tasarım gerekse imalat aşamasında daha dikkatli davranılması gerektiğini bir kez daha göstermiştir.

İnşa edilecek yapılara ait projelerin imalat aşamasına geçilmeden önce ihale dosyasını hazırlayan teknik personel tarafından dikkatli bir şekilde incelenmesinin, mimari ve betonarme uygulama projelerinin karşılaştırılarak örtüşmeyen veya eksik kısımların olup olmadığının kontrol edilmesinin önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır.

Bahsi geçen kontroller ihaleyi kazanan yüklenici firmanın teknik personeli tarafından da tek tek ele alınarak dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Böylece imalata geçilmeden önce projede varsa eksiklik ve hatalar düzeltilmelidir. Projenin uygulanma aşamasına geçildiğinde yapılacak her bir imalatın

projeye uygun yapılıp yapılmadığı, şantiyede çalışan saha mühendisleri ve kontrol mühendisleri tarafından sürekli kontrol edilmelidir. Bazen basit görülen bir detayın yanlış yapılması telafisi mümkün olmayan sonuçların oluşmasına neden olabilir. Bu konularda gösterilecek dikkat ve titizlik hiçbir zaman basite alınmamalıdır. Konuyla ilgili çalışan teknik personel tarafından, hasar gören yapının göçme nedenleri araştırılırken ve güçlendirme çalışmalarının yapımı aşamasında birçok bilgi ve deneyim kazanılmıştır.

## Kaynaklar

- [1] Afet ve Acil Durum Yönt. Baş., “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, Ankara, 2018.
- [2] O.C. Celik, K. Özgen and F. Cili, “Cantilevers in Reinforced Concrete Structure”, 11 th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Paris, 1-10, (1998).
- [3] R. Daniel, R. Claudia, L. Laura, and L. Maria, “Performance of cantilever reinforced concrete beams with fibers loaded with cyclic forces”, Revista Ingenieria de Construcción, vol. 30, no 1, April 2015.
- [4] G.S. Tong, L.P. Young, , M. Bradford, “Buckling failure of an unusual braced steel frame supporting an electric dust-catcher,” Engineering Failure Analysis, vol. 16, pp. 2400–2407, 2009.
- [5] A. Biegus, A. Kowal., “Collapse of halls made from cold-formed steel sheets,” Engineering Failure Analysis, vol. 31, pp. 189–194, 2013.
- [6] A. Biegus, K. Rykaluk, “Collapse of Katowice fair building,” Engineering. Failure. Analysis, vol. 16, pp. 1643–1654, 2009.
- [7] Türkiye Gazetesi, URL: <https://www.turkiyegazetesi.com.tr/yazarlar/Ismail-kapan/606526.aspx>, (Erişim zamanı; Şubat, 12,2019).
- [8] O. Caglayan, E. Yuksel, “Experimental and finite element investigations on the collapse of a Mero space truss roof structure - a case study,” Engineering Failure Analysis, vol. 15, pp. 458–470, 2008.
- [9] İMO, URL: <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/9647.pdf>, (Erişim zamanı; Mayıs, 1,2004)
- [10] A.C. Altunışık, Ş. Ateş, M. Hüsem, “Lateral buckling failure of steel cantilever roof of a tribune due to snow loads,” Engineering Failure Analysis, vol. 72, pp. 67–78, 2017.
- [11] ABAQUS user’s manual, version 6.14-1. Providence, RI, USA: Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., (2014).
- [12] TS-500, Türk Standartları Enstitüsü. “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Ankara, Türkiye, (2000).