

# **YIĞMA BİNALARIN ANALİTİK ÇÖZÜMLEMESİ İÇİN BİR HESAP ALGORİTMASI**

Cevdet ŞENTÜRK

İstanbul Aydın Üniversitesi Yüksek Lisans Öğrencisi

cvds@mynet.com

## **ÖZ**

Günümüzde sık tercih edilmeyen bir taşıyıcı sistem türü olmasına karşın ülkemizde geçmişte inşa edilmiş kayda değer bir yığma yapı stoku bulunmaktadır. Yatay yükler altında betonarme ya da çelik yapılara oranla sınırlı dayanım ve süreklilik gösteren yığma yapı sistemlerinin -özellikle elastik ötesi talep istemlerinin söz konusu olacağı şiddetli deprem bölgelerinde- depreme dayanıklı tasarım kurallarına uygun tasarımı önem arz eder. Bu çalışmada mevcut ya da yeni yapılacak yığma yapıların, elektronik tablolar yardımıyla gerilme esaslı analizi için hızlı, kolay ve gerçeğe yakın sonuç veren bir hesap algoritması oluşturulmuş ve hazırlanan programın analiz sonuçları, örnek yapı modelleri için sonlu elemanlar yöntemi ve gerilme esaslı paket program sonuçları ile karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Yığma Yapılar, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Duvar Dayanımı*

## **AN ALGORITHM FOR NUMERICAL ANALYSES OF MASONRY STRUCTURES**

### **ABSTRACT**

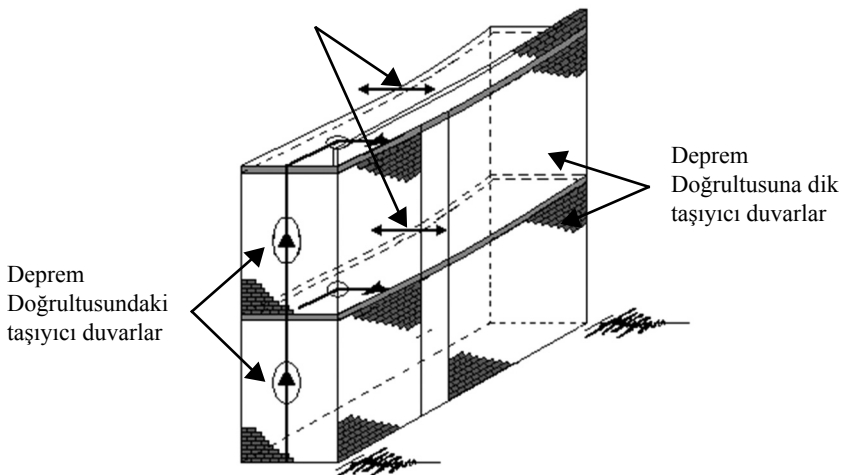
Although there is a type of carrier system that is not frequently preferred today, there is a considerable amount of masonry structure built in the past in our country. It is important to design the masonry structure systems which show limited strength and ductility in comparison with reinforced concrete or steel structures under horizontal loads, especially in severe earthquake regions where there is a demand for extra - elastic demand. In this study, a fast, easy and realistic calculation algorithm for the stress-based analysis of existing and new masonry structures, electronic tables are developed and the analytical results of the prepared program are compared with the results of the end - effector method and stress - based package program for sample structure models.

**Keywords:** *Masonry Structures, Numerical Analyses, Masonry Wall Strength*

## 1. GİRİŞ

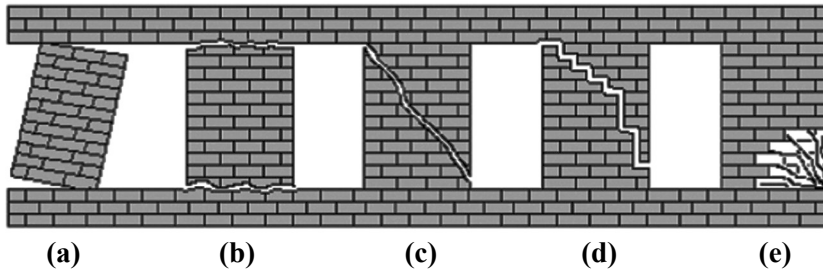
Genel olarak yığma bina, taşıyıcı duvar birimleri ile inşa edilen binalar olarak tanımlanabilir. Yığma yapılarda duvarların hem mimari hem de taşıyıcı olarak işlevi bulunmaktadır. Duvarların bu birden çok görevlerinin olması ve yapım açısından yığma yapıların önemli üstünlüğüdür. Ülkemizde kırsal kesimde inşa edilmiş binaların kayda değer bir bölümünü yığma yapılar oluşturmaktadır. Bu yapıların çoğunlukla yerel malzemeler kullanılarak ve mühendislik hizmetine başvurulmadan yapıldığı ve inşasında çok değişken uygulamalara rastlanılabileceği söylenebilir. Dolayısıyla bu tür binaların düşey yükler ve deprem yükleri altında güvenliğinin belirlenmesinde büyük güçlükler ortaya çıkmaktadır. Genelde 4 ve daha az katlı bu yapıların yığma duvar birimlerinde boşluklu tuğla, briket ve nadiren kerpiç kullanılmıştır ve taşıyıcı duvarlarda bulunan ve depreme dayanıklı yapı tasarımına aykırı boşluklar binaların en belirgin zayıflığıdır. Büyük şehirlerde geçmişte inşa edilen yığma binalar genellikle az katlı olabildiği gibi kimi durumlarda 10 kata kadar ulaşabilen yüksek katlı uygulamalar da söz konusudur.

Belirli bir doğrultuda etkiyen deprem yükleri altında yığma bir binanın taşıyıcı duvarları duvar düzlemi doğrultusunda davranış sergileyen deprem doğrultusundaki taşıyıcı duvarlar ve düzlem dışı davranış sergileyen deprem doğrultusuna dik taşıyıcı duvar olarak iki ayrı davranış sergiler. Bir başka ifadeyle yığma duvarların yatay yükler altındaki davranışı deprem doğrultusuna göre farklılık gösterir. Şekil 1’de yatay deprem etkisi altındaki taşıyıcı yığma duvarlarda bu iki farklı davranışı sergileyen duvarlar işaretlenmiştir.



Şekil 1. Yığma taşıyıcı duvarların deprem doğrultusuna göre çalışma biçimleri (Priestley, 1985)

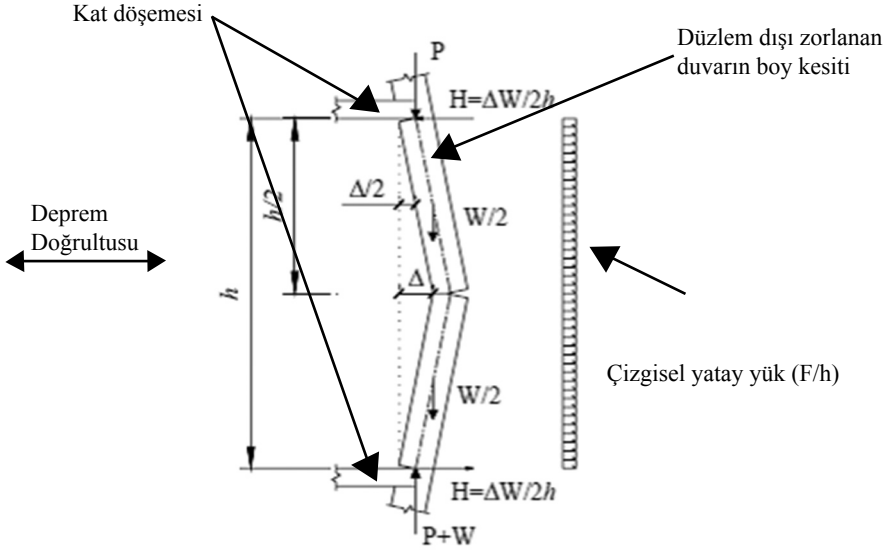
Yatay deprem yükü altında duvar düzlemi doğrultusunda davranış sergileyen taşıyıcı duvarların davranışı üzerine birçok deneysel çalışma yapılmıştır (Abrams and Shah 1992, Magenes and Calvi 1992, Manzouri et al. 1995). Sabit eksenel yük altında yer değiştirme kontrollü çevrimsel yüklerle gerçekleştirilen ve elemanın dayanım ve yer değiştirme sınır durumlarının test edildiği bu tür çalışmalardan elde edilen sonuçlar, performansla yönelik tasarım yönetmeliklerinde (FEMA 273, FEMA 306 vb.) kullanılmaktadır. Örnek olarak FEMA 273 (ATC 1997) yönetmeliğinde kullanılan duvar düzlemi doğrultusunda davranış sergileyen taşıyıcı duvarların son limit durumda bazı kırılma türleri ve hasar biçim tanımları Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2a’da, eğilme etkisiyle duvar boşlukları arasında kalan taşıyıcının alt ve üst birleşiminde eğilme çatlaklarının oluşarak, duvar parçasının rijit dönmemesi, Şekil 2b’de, kesme zorunun taşıyıcının alt ve üst birleşiminde sıva dayanımını aşması ve oluşan kesme hasarı gösterilmektedir. Şekil 2c ve Şekil 2d’de duvar boşlukları arasında kalan taşıyıcı duvara etkiyen zorlardan oluşan asal çekme gerilmelerinin duvar birimi ya da sıvanın çekme dayanımını aşmasıyla meydana gelen diyagonal çatlak ve kesme hasarı gösterilmektedir. Şekil 2e’de gösterilen hasar durumu ise duvar parçasında oluşan yüksek asal basınç gerilmelerinden kaynaklanmaktadır.



**Şekil 2.** Deprem Doğrultusundaki taşıyıcı duvarların farklı kırılma türleri (FEMA 273)

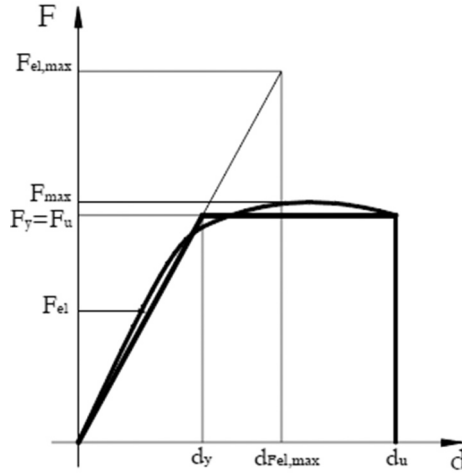
Deprem etkisinde duvar düzlemine dik davranış sergileyen taşıyıcı duvarların üzerinde de birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda sismik etki altında davranış açısından en belirgin faktörün duvarın düzlem dışı stabilitesinin olduğu söylenebilir. Özellikle rijit diyafram davranışı kabulünde önem taşıyan kat döşemelerinin deprem doğrultusundaki duvarların üst uç birleşimlerindeki zayıflıkların söz konusu olduğu durumlarda, düzlem dışı davranacak duvarlarda stabilite kaybı ve dolayısıyla kısmi ya da tümünden göçme söz konusu olabilmektedir. Şekil 3’de deprem doğrultusuna dik olup düzlem dışı davranış sergileyen bir duvar boy kesitinde oluşan ve sınırlandırılması gerekli olan yer değiştirme durumu gösterilmiştir.

Yığma binaların 2007 Tarihli Türk Deprem Yönetmeliğine göre tasarım ve değerlendirilmesinde esas alınan deprem kuvveti, yönetmelikte tanımlanan elastik taban kesme kuvvetinin ( $F_{el,max}$ ), deprem yükü azaltma katsayısına bölünerek ( $R_a(T1) = 2.0$ ) elde edilmektedir (DBYBHY, 2007). Düşey ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında -elastik analiz yapılarak- yığma duvar birimlerinde normal gerilmeler ve kayma gerilmelerinin sınır değerleri aşmaması sağlanmaya çalışılır.



**Şekil 3.** Deprem Doğrultusuna dik taşıyıcı duvarların stabilitesi (Paulay ve Priestley, 1992)

Şekil 4’de, yığma bir binanın elastik taban kesme kuvvetinin ( $F_{el,max}$ ) azaltılmasıyla belirlenen tasarım deprem yükü ( $F_{el} = F_{el,max} / R_a(T_1)$ ) yatay yük - yer değiştirme kapasite eğrisi üzerinde gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi yönetmelikte verilen kurallarına uygun tasarlanmış yığma bir binanın aktüel dayanımı ( $F_u$ ) tasarım dayanımının üzerinde olması beklenir. Yönetmeliklerde esas alınan güvenlik yaklaşımına bağlı gelişen bu duruma dayanım fazlalığı denir. Deneysel incelemelerde yığma binalar için dayanım fazlalığı oranının ( $F_u / F_{el}$ ) 1.5 ~ 2.5 arasında değiştiği belirlenmektedir (Magenes, 2006).



**Şekil 4.** Yığma yapının kapasite eğrisi, elastik taban kesme kuvveti ve tasarım deprem yükü (Magenes, 2006)

Bu çalışmada, düşey ve yatay yüklerin ortak etkisinde zorlanan yığma bir binanın, elastik davranış kabulleriyle belirlenen taşıyıcı duvarlarda gerilmelerin sınır değerler ile karşılaştırılmasına dayanan bir hesap algoritması kullanan ve Excel hesap tablolarıyla bir program hazırlanmıştır. Hazırlanan programın tanıtımı ve analiz sonuçlarının sonlu elemanlar yöntemi ve gerilme esaslı paket program sonuçları ile karşılaştırmalı bir sonraki bölümde özetlenmiştir.

## 2. YIĞMA DUVAR GERİLMELERİNİN ELEKTRONİK HESAP TABLOLARIYLA BELİRLENMESİ

Microsoft Excel elektronik hesap tabloları (Özmen G., 2010) yardımıyla yığma bir yapının taşıyıcı duvar gerilmelerinin saptanmasına yönelik hazırlanan program, örnek bir uygulama üzerinde tanıtılacaktır. Hesap tabloları; yapı bilgi girişi tablosu, analiz bölümü, duvar eksenel gerilme hesap tablosu ve duvar kayma gerilmesi hesap tablosu olmak üzere dört ayrı bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlere ait bilgi girişleri ve / veya hesap esasları aşağıda özetlenmiştir.

### 2.1 Yapı Bilgi Girişi

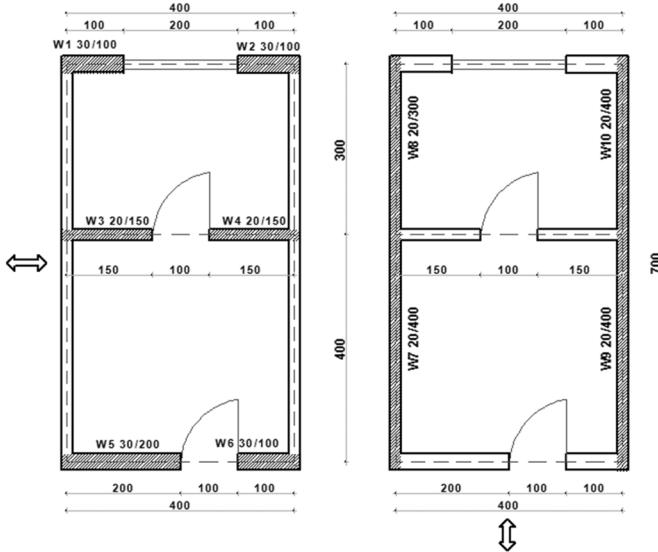
Yapı bilgi girişi tablosunun genel bir görünümü Şekil 5’de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, giriş bilgileri; genel bilgiler, ilave yük bilgileri, deprem bölgesi bilgileri ve yapı aks bilgileri olmak üzere gruplara ayrılmıştır. Bilgi girişinin tamamlanmasının ardından form üzerine yerleştirilen düğmeler yardımıyla - yapı kat sayısına bağlı olarak- duvar özellikleri ve kat döşemesi bilgilerinin tanımlanacağı kat bilgi giriş formları otomatik olarak oluşturulmaktadır.

## YIĞMA BİNALARIN ANALİTİK ÇÖZÜMLEMESİ İÇİN BİR HESAP ALGORİTMASI

| Genel Bilgiler |   |  |                         | Yapı Aks Bilgileri |     |                   |                   |     |     |
|----------------|---|--|-------------------------|--------------------|-----|-------------------|-------------------|-----|-----|
| Y              | I | Kat sayısı   | 1                       | X Plan doğrultusu  |     | Y Plan doğrultusu |                   |     |     |
| G              | M | X plan doğrultusundaki göz sayısı                                | 2                       | Tip                | Ad  | Orjine mesafe (m) | Orjine mesafe (m) |     |     |
| A              | M | Y plan doğrultusundaki göz sayısı                                | 2                       | Orjine             | X1  | 0                 | Y1                | 0   |     |
| 7              | A | X plan boyutu (m)  | 4                       | Diğer              | X2  | 4                 | Diğer             | Y2  | 1   |
| 7              | A | Y plan boyutu (m)  | 7                       |                    | X3  | 0                 |                   | Y3  | 1,5 |
| 9              | Y | Otomatik Yapı Oluştur  | Hızlı Giriş Bilgilerini |                    | X4  | 7                 |                   | Y4  | 2   |
| 11             | P | İlave Yük Bilgileri  |                         |                    | X5  |                   |                   | Y5  | 2,5 |
| 12             | I | Yatay Halı Genişlik ve Yüksekliği (cm)                           | 25 50                   |                    | X6  |                   |                   | Y6  | 3   |
| 13             | B | Yatay Halı Birim Hacim Ağırlığı (t/m <sup>3</sup> )              | 2,40                    |                    | X7  |                   |                   | Y7  | 5   |
| 14             | L | Bir kattaki köşe ve üst duvar ilave ağırlık toplamı (ton)        | 1,00                    |                    | X8  |                   |                   | Y8  |     |
| 16             | G | Bir kattaki pencere ve üst/alt duvar ilave ağırlık toplamı (ton) | 2,00                    |                    | X9  |                   |                   | Y9  |     |
| 17             | I | Duvar sıvasının ortalama kalınlığı (cm)                          | 2,00                    |                    | X10 |                   |                   | Y10 |     |
| 18             | L | Yapı Deprem Bölgesi Bilgileri                                    |                         |                    | X11 |                   |                   | Y11 |     |
| 19             | E | Bina önem katsayısının giriniz (0)                               | 1                       |                    | X12 |                   |                   | Y12 |     |
| 20             | R | Etkin yer ivmesi katsayısının giriniz (A <sub>0</sub> )          | 0,40                    |                    | X13 |                   |                   | Y13 |     |
| 21             | I | Spektrum katsayısının giriniz (S(T))                             | 2,50                    |                    | X14 |                   |                   | Y14 |     |
| 22             | R | Deprem yükü azaltma katsayısının giriniz (Ra(T1))                | 2                       |                    | X15 |                   |                   | Y15 |     |
|                |   |  |                         |                    | X16 |                   |                   | Y16 |     |
|                |   |  |                         |                    | X17 |                   |                   | Y17 |     |
|                |   |  |                         |                    | X18 |                   |                   | Y18 |     |

Şekil 5. Yapı bilgi girişi tablosunun genel görünümü

Programın kullanımının gösteriminde kullanılan örnek yapının kalıp planı Şekil 6'da görülebilir. Taşıyıcı duvarları düşey delikli blok tuğladan imal edilecek olan tek katlı yığma yapıda, kat yüksekliği 3m, yatay plan doğrultusundaki duvar kalınlıkları 30 cm, düşey plan doğrultusu duvarlarının ise 20 cm'dir. Kat döşemesi düşey yükünün 1kN/m<sup>2</sup> olduğu varsayılmıştır. Birinci derece deprem bölgesinde inşa edilecek tek katlı yapının 1. kat giriş bilgileri tablosu Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Yatay ve düşey plan doğrultusundaki taşıyıcı duvarlar

The screenshot shows a spreadsheet with the following data:

| Genel Veri Girişi      |   |  |                |      |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------|---|--|----------------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| A                      | 2 | Dünya desli blok tuğla (delek oran %35'den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)    | $f_{td}$ (MPa) | 1.00 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3                      |   | Dünya desli blok tuğla (delek oran %40'den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile) | $f_{td}$ (MPa) | 0.80 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4                      |   | Dünya desli blok tuğla (delek oran %40'den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile) | $f_{td}$ (MPa) | 0.80 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Genel Bilgileri</b> |   |  |                |      |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6                      |   | Ortalama kat yüksekliği (m)  |                | 3.00 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7                      |   | Ortalama duvar kalınlığı (m)   |                | 0.30 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8                      |   | Dünya Ekman Ortalama Birim Hacim Açıklığı (l/m <sup>2</sup> )                        |                | 1.80 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9                      |   | Sıva Malzemesi Ortalama Birim Hacim Açıklığı (l/m <sup>2</sup> )                     |                | 1.80 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10                     |   | Bir katlıki kapı ve üstü duvar alanı toplamı (ton)                                   |                | 0.00 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11                     |   | Bir katlıki pencere ve üstü duvar alanı toplamı (ton)                                |                | 0.00 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12                     |   | Yatay Hattı Birim Hacim Açıklığı (l/m <sup>2</sup> )                                 |                | 2.40 |  |  |  |  |  |  |  |  |

| Dünya Adı |    |           |    | Dünya Adı |      |           |   | Dünya Adı |    |           |      | Dünya Adı |      |           |    | Dünya Adı |    |           |      |   |
|-----------|----|-----------|----|-----------|------|-----------|---|-----------|----|-----------|------|-----------|------|-----------|----|-----------|----|-----------|------|---|
| Dünya Adı |    | Dünya Adı |    | Dünya Adı |      | Dünya Adı |   | Dünya Adı |    | Dünya Adı |      | Dünya Adı |      | Dünya Adı |    | Dünya Adı |    | Dünya Adı |      |   |
| m         | m  | m         | m  | m         | m    | m         | m | m         | m  | m         | m    | m         | m    | m         | m  | m         | m  | m         | m    |   |
| X         | W1 | X3        | Y1 | 1.00      | 0.30 | 3.00      | Y | W7        | X1 | Y1        | 4.00 | 0.20      | 3.00 | D101      | X1 | Y1        | X2 | Y7        | 1.00 | X |
|           | W2 | X3        | Y1 | 1.00      | 0.30 | 3.00      |   | W8        | X2 | Y1        | 3.00 | 0.20      | 3.00 | D102      | X2 | Y1        | X3 | Y7        | 1.00 | X |
|           | W3 | X2        | Y1 | 1.00      | 0.30 | 3.00      |   | W9        | X1 | Y7        | 4.00 | 0.20      | 3.00 |           |    |           |    |           |      |   |
|           | W4 | X2        | Y5 | 1.00      | 0.30 | 3.00      |   | W10       | X2 | Y7        | 3.00 | 0.20      | 3.00 |           |    |           |    |           |      |   |
|           | W5 | X1        | Y1 | 2.00      | 0.30 | 3.00      |   |           |    |           |      |           |      |           |    |           |    |           |      |   |
|           | W6 | X1        | Y5 | 1.00      | 0.30 | 3.00      |   |           |    |           |      |           |      |           |    |           |    |           |      |   |

Şekil 7. Birinci katta duvar döşeme özelliklerinin tanımlanması

## 2.2 Analiz Bölümü

Programın analiz bölümünün genel görünümü Şekil 8'de verilmiştir. Analiz bölümüne yerleştirilen bilgi girişi ve düğmeler yardımıyla, yapısal sistemin taşıyıcı duvarlarındaki gerilme kontrolleri yapılabildiği gibi, Türk Deprem Yönetmeliği 7. Bölüm esaslarına uygun olarak yapısal performans tespiti de yapılabilmektedir.

The screenshot shows a spreadsheet with the following data:

| Gerilme Kontroleri   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Yığma yapı duvarlarında normal ve kayma gerilmelerinin emsilet gerilmeleri ile kıyaslanması için hesap tuşuna basınız. |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| [[Gerilmeleri Kontrol Et]]   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| [[Sonuçları Sil]]  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| Performans Denetimi  |  |  |  | X Duvarları    |     |               |     | Y Duvarları    |     |               |     |
|--|--|--|--|----------------|-----|---------------|-----|----------------|-----|---------------|-----|
| Yığma yığma yapı duvarlarında normal ve kayma gerilmelerinin emsilet gerilmeleri ile kıyaslanması için hesap tuşuna basınız. |  |  |  | Normal Gerilme |     | Kayma Gerilme |     | Normal Gerilme |     | Kayma Gerilme |     |
| Bilgi Düzeyi Katsayısı   |  |  |  | 0.8            | 0.8 | 0.8           | 0.8 | 0.8            | 0.8 | 0.8           | 0.8 |
| 1.00   |  |  |  |                |     |               |     |                |     |               |     |

Şekil 8. Analiz bölümü.

### 2.3 Taşıyıcı Duvar Normal Gerilmeleri Hesap Tablosu

Programda taşıyıcı duvar eksenel gerilme hesabı tek kat için oluşturulan sabit bir hesap tablosu yardımıyla yapılmaktadır. Hesap tablosunda ilgili kat verilerinin girilmesi durumunda düşey gerilme hesabı için gerekli formüller yazılmış olup, program içine yazılan makro kodu yardımıyla mevcut form kat sayısı kadar kopyalanmakta ve kat verileri ilgili hücrelere yazdırılmaktadır. Bu işlemler, programın analiz bölümündeki hesap tuşlarına basılarak otomatik olarak yapılmaktadır. Düşey gerilmelerin program tarafından hesaplanmasına ait görsel aşamalar, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Gerilme hesaplarında kullanılan formülasyon ise aşağıdaki Çizelge 1'de özetlenmiştir.

| Kat | X duvarları    |               | Y duvarları    |               |
|-----|----------------|---------------|----------------|---------------|
|     | Normal Gerilme | Kayma Gerilme | Normal Gerilme | Kayma Gerilme |
| W1  | 1,00           | 0,30          | 3,00           | 0,90          |
| W2  | 1,00           | 0,30          | 3,00           | 0,90          |
| W3  | 1,50           | 0,30          | 3,00           | 0,90          |
| W4  | 1,50           | 0,30          | 3,00           | 0,90          |
| W5  | 2,00           | 0,30          | 3,00           | 0,90          |
| W6  | 1,00           | 0,30          | 3,00           | 0,90          |

Şekil 9. Düşey gerilmelerin hesabı

| Duvar Ak | Duvar Uzunluğu |      | Duvar Kalınlığı |      | 1. Kat Yüksekliği |      | Duvar Hemi |                 | Birim Hacim Ağırlığı |                  | Duvar Ağırlığı  |                 | Düşey Birim Yükleme |                  | Düşey Yükleme |       | Duvar Yüzyer Alanı (1. Kat) |      | Sıra Ağırlığı |     | İki Katın Cıvaka İleri Yık |     | Duvar Toplam Ağırlığı |     | Duvar Alanı |     | Duvar Düşey Gerilmesi |     | Nerelik Oran |     | Azalma Katsayısı |     | Duvar Basınç Gerilmesi |     | Emniyet Gerilmesi |  | Emniyet Gerilmesi |  | Güvenlik Katsayısı |  |  |  |
|----------|----------------|------|-----------------|------|-------------------|------|------------|-----------------|----------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------------|------------------|---------------|-------|-----------------------------|------|---------------|-----|----------------------------|-----|-----------------------|-----|-------------|-----|-----------------------|-----|--------------|-----|------------------|-----|------------------------|-----|-------------------|--|-------------------|--|--------------------|--|--|--|
|          | m              | d    | m               | m    | m                 | m    | γ          | G <sub>du</sub> | G <sub>du1</sub>     | G <sub>du2</sub> | A <sub>du</sub> | G <sub>du</sub> | G <sub>du1</sub>    | G <sub>du2</sub> | SG            | L × d | σ                           | h/d  | MPa           | m/m | MPa                        | MPa | MPa                   | MPa | MPa         | MPa | MPa                   | MPa | MPa          | MPa | MPa              | MPa | MPa                    | MPa | MPa               |  |                   |  |                    |  |  |  |
| W1       | 1,00           | 0,30 | 3,00            | 0,90 | 1,50              | 1,35 | 0,00       | 0,000           | 6,00                 | 0,14             | 0,00            | 1,49            | 0,30                | 0,05             | 10,00         | 0,89  | 1,00                        | 0,89 | 17,87         |     |                            |     |                       |     |             |     |                       |     |              |     |                  |     |                        |     |                   |  |                   |  |                    |  |  |  |
| W2       | 1,00           | 0,30 | 3,00            | 0,90 | 1,50              | 1,35 | 0,00       | 0,000           | 6,00                 | 0,14             | 0,00            | 1,49            | 0,30                | 0,05             | 10,00         | 0,89  | 1,00                        | 0,89 | 17,87         |     |                            |     |                       |     |             |     |                       |     |              |     |                  |     |                        |     |                   |  |                   |  |                    |  |  |  |
| W3       | 1,50           | 0,30 | 3,00            | 0,90 | 1,50              | 1,35 | 0,00       | 0,000           | 9,00                 | 0,22             | 0,00            | 2,24            | 0,45                | 0,05             | 10,00         | 0,89  | 1,00                        | 0,89 | 17,87         |     |                            |     |                       |     |             |     |                       |     |              |     |                  |     |                        |     |                   |  |                   |  |                    |  |  |  |
| W4       | 1,50           | 0,30 | 3,00            | 0,90 | 1,50              | 1,35 | 0,00       | 0,000           | 9,00                 | 0,22             | 0,00            | 2,24            | 0,45                | 0,05             | 10,00         | 0,89  | 1,00                        | 0,89 | 17,87         |     |                            |     |                       |     |             |     |                       |     |              |     |                  |     |                        |     |                   |  |                   |  |                    |  |  |  |
| W5       | 2,00           | 0,30 | 3,00            | 0,90 | 1,50              | 1,35 | 0,00       | 0,000           | 12,00                | 0,29             | 0,00            | 2,99            | 0,60                | 0,05             | 10,00         | 0,89  | 1,00                        | 0,89 | 17,87         |     |                            |     |                       |     |             |     |                       |     |              |     |                  |     |                        |     |                   |  |                   |  |                    |  |  |  |
| W6       | 1,00           | 0,30 | 3,00            | 0,90 | 1,50              | 1,35 | 0,00       | 0,000           | 6,00                 | 0,14             | 0,00            | 1,49            | 0,30                | 0,05             | 10,00         | 0,89  | 1,00                        | 0,89 | 17,87         |     |                            |     |                       |     |             |     |                       |     |              |     |                  |     |                        |     |                   |  |                   |  |                    |  |  |  |

Şekil 10. Düşey gerilmeler ve duvar malzemesi için hesaplanan güvenlik oranları



**Çizelge 1. Düşey Gerilmelerin Hesap Bağlıntıları.**

| Hesaplanan Büyüklük                                    | Formül                                     | Açıklama  |
|--|--|---|
| Duvar Ağırlığı   | $G7=E7*F7$                                 | 7 numaralı satır için gösterilen formül, “G” sütununun tamamı için geçerlidir.  |
| Duvar Alanı  | $N7=B7*C7$                                 | 7 numaralı satır için gösterilen formül, “N” sütununun tamamı için geçerlidir.  |
| Duvar Toplam Ağırlığı                                  | $M7=G7+I7+K7+L7$                           | 7 numaralı satır için gösterilen formül, “M” sütununun tamamı için geçerlidir. (Duvara etkiyen bütün düşey yükler toplanmıştır.)  |
| Duvar Düşey Gerilmesi                                  | $O7=M7/N7*0,01$                            | 7 numaralı satır için gösterilen formül, “O” sütununun tamamı için geçerlidir. (Burada 0,01 birim çevirmek içindir.)  |
| Narinlik Katsayısı                                     | $P7=D7/C7$                                 | 7 numaralı satır için gösterilen formül, “P” sütununun tamamı için geçerlidir.  |
| Azaltma Katsayısı                                      | $Q7=$<br>EĞER( $P7<7;1.....P7<25;0,51;”$ ) | 7 numaralı satır için gösterilen formül, “Q” sütununun tamamı için geçerlidir. (Burada yönetmelik gereği her narinlik katsayısı değeri için önerme yapılmıştır.)          |
| Azaltılmış Emniyet Gerilmesi                           | $S7=Q7*R7$                                 | 7 numaralı satır için gösterilen formül, “S” sütununun tamamı için geçerlidir.  |
| Güvenlik Katsayısı                                     | $T7=S7/O7$                                 | 7 numaralı satır için gösterilen formül, “T” sütununun tamamı için geçerlidir.  |
| X plan doğrultusuna aktarılan kat ağırlığı,<br>$W_x =$ | $E58=$<br>$G48+I48+K48+G48+M48$            | E58 Hücresine<br>X doğrultusundaki duvarların kendi ağırlığı , sıvanın ağırlığı , döşemeden gelen yükler ve kapı-pencere üstlerindeki duvarların ağırlıkları toplamıdır.  |
| Y plan doğrultusuna aktarılan kat ağırlığı,<br>$W_y =$ | $E118=$<br>$G108+I108+K108+G108+M108$      | E118 Hücresine<br>Y doğrultusundaki duvarların kendi ağırlığı , sıvanın ağırlığı , döşemeden gelen yükler ve kapı-pencere üstlerindeki duvarların ağırlıkları toplamıdır. |
| Toplam kat ağırlığı,<br>$W_i =$                        | $E120=E118+E58$                            | E120 Hücresine<br>Katların iki doğrultudaki ağırlıkları toplamı yazılır.  |

## 2.4 Taşıyıcı Duvar Kayma Gerilmeleri Hesap Tablosu

Programda taşıyıcı duvar kayma gerilme hesabı tek kat için oluşturulan sabit bir hesap tablosu yardımıyla yapılmaktadır. Hesap tablosunda ilgili kat verilerinin girilmesi durumunda düşey gerilme hesabı için gerekli formüller yazılmış olup, program içine yazılan makro kodu yardımıyla mevcut form kat sayısı kadar kopyalanmakta ve kat verileri ilgili hücrelere yazdırılmaktadır. Kayma gerilmesi hesap formlarının oluşturulmasında iki aşamalı bir hesap yöntemi benimsenmiştir. Birinci hesap aşamasında taşıyıcı sistemin rijitliği belirlenmekte, ikinci hesap aşamasında ise X ve Y plan doğrultularında deprem yatay yükleri yapıya etkililmektedir.

### 2.4.1 Yığma binanın kayma rijitlik merkezi hesap tablosu

Yığma binanın taşıyıcı duvar kayma rijitlik merkezi hesapları, programın analiz bölümündeki hesap tuşlarına basılarak otomatik olarak yapılmaktadır. Kayma rijitlik merkezinin hesaplamasına ait formun görünümü Şekil 11’de verilmiştir. Kayma rijitlik merkezinin hesaplarında kullanılan formülasyon ise aşağıdaki Çizelge 2’de özetlenmiştir.

**Çizelge 2.** Kayma Rijitlik Merkezinin Hesap Bağlılıkları.

| Hesaplanan Büyüklük                        | Formül                   | Açıklama  |
|--|--------------------------|---|
| Duvar Alanı                                | $H_{12}=F_{12}*G_{12}$   | 12 numaralı satır için gösterilen formül, “H” sütununun tamamı için geçerlidir.   |
| Y Yönündeki Duvar Göreceli Kayma Rijitliği | $J_{12} = H_{12}/B_{12}$ | 12 numaralı satır için gösterilen formül, “J” sütununun tamamı için geçerlidir.   |
| X Yönündeki Duvar Göreceli Kayma Rijitliği | $Z_{12}= Y_{12}/S_{12}$  | 12 numaralı satır için gösterilen formül, “Z” sütununun tamamı için geçerlidir.   |
| x*ky Oluşturma                             | $K_{12}=D_{12}*J_{12}$   | 12 numaralı satır için gösterilen formül, “K” sütununun tamamı için geçerlidir. (x duvarın geometrik merkezinin döşeme koordinat sisteminin 0.00 a olan uzaklığıdır)  |
| y*kx Oluşturma                             | $AC_{12}=V_{12}*Z_{12}$  | 12 numaralı satır için gösterilen formül, “AC” sütununun tamamı için geçerlidir. (y duvarın geometrik merkezinin döşeme koordinat sisteminin 0.00 a olan uzaklığıdır) |

| Kat Yüksekliği | Düvar Adı | Geometrik Merkezinin 0,00 a olan uzaklık | Geometrik Merkezinin 0,00 a olan uzaklık | Düvarın Uzunluğu | Düvarın Kalınlığı | Düvar Alanı | A/h  |      | x*ky | y*kx | X-YG  | Y-YG  | x*ky | y*kx |
|----------------|-----------|--|--|------------------|-------------------|-------------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|
|                |           |  |  |                  |                   |             | h    | h    |      |      |       |       |      |      |
|                |           |  |  |                  |                   |             | m    | m    |      |      |       |       |      |      |
| 3,00           | W7        | 0,00                                     | 2,00                                     | 4,00             | 0,20              | 0,80        | 0,00 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | -2,50 | -1,50 | 1,67 | 0,00 |
| 3,00           | W8        | 5,00                                     | 5,50                                     | 3,00             | 0,20              | 0,60        | 0,00 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | -2,50 | 2,00  | 1,25 | 0,00 |
| 3,00           | W9        | 5,00                                     | 2,00                                     | 4,00             | 0,20              | 0,80        | 0,00 | 0,27 | 1,33 | 0,00 | 2,50  | -1,50 | 1,67 | 0,00 |
| 3,00           | W10       | 5,00                                     | 5,50                                     | 3,00             | 0,20              | 0,60        | 0,00 | 0,20 | 1,00 | 0,00 | 2,50  | 2,00  | 1,25 | 0,00 |

Şekil 11. Rijitlik merkezi hesabı

## 2.4.2 Taşıyıcı duvar kayma gerilmeleri hesap tablosu

Birinci hesap adımından belirlenen kayma rijitlik merkezi esas alınarak, taşıyıcı duvarların kayma gerilmesinin saptanmasında dört farklı yükleme durumu dikkate alınmıştır. Bunlar: Taban kesme kuvvetlerinin +X., -X., +Y., -Y. doğrultuları için ayrı ayrı etkiye durumlarıdır. Her bir yükleme durumu için burulma momentleri de hesaba katılarak gerilmeler belirlenmektedir. Bu işlemler, programın analiz bölümündeki hesap tuşlarına basılarak otomatik olarak yapılmaktadır. Kayma gerilmelerinin hesaplamasında kullanılan form Şekil 12’de verilmiştir. Kayma gerilmelerinin hesaplarında kullanılan formülasyon ise aşağıdaki Çizelge 3’de özetlenmiştir.

| Düvar Adı | Düvarın Uzunluğu | Düvarın Kalınlığı | Düvar Alanı | Düvar Kesme Kuvvetleri |      |       |       | Düvar Kayma Gerilmeleri |       |       |         | Düvar Kayma Emniyet Gerilmesi | Güvenlik katsayısı |         |         |         |
|-----------|------------------|-------------------|-------------|------------------------|------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|---------|-------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|
|           |                  |                   |             | L                      | d    | A     | Vx,1  | Vx,2                    | Vy,1  | Vy,2  | tau_x,1 |                               |                    | tau_x,2 | tau_y,1 | tau_y,2 |
|           |                  |                   |             | m                      | m    | m²    | kN    | kN                      | kN    | kN    | MPa     |                               |                    | MPa     | MPa     | MPa     |
| W7        | 4,00             | 0,20              | 0,80        | 0,00                   | 0,00 | 86,28 | 86,28 | 0,000                   | 0,000 | 0,108 | 0,108   | 0,27                          | 2,55               |         |         |         |
| W8        | 3,00             | 0,20              | 0,60        | 0,00                   | 0,00 | 64,71 | 64,71 | 0,000                   | 0,000 | 0,108 | 0,108   | 0,27                          | 2,55               |         |         |         |
| W9        | 4,00             | 0,20              | 0,80        | 0,00                   | 0,00 | 86,28 | 86,28 | 0,000                   | 0,000 | 0,108 | 0,108   | 0,27                          | 2,55               |         |         |         |
| W10       | 3,00             | 0,20              | 0,60        | 0,00                   | 0,00 | 64,71 | 64,71 | 0,000                   | 0,000 | 0,108 | 0,108   | 0,27                          | 2,55               |         |         |         |

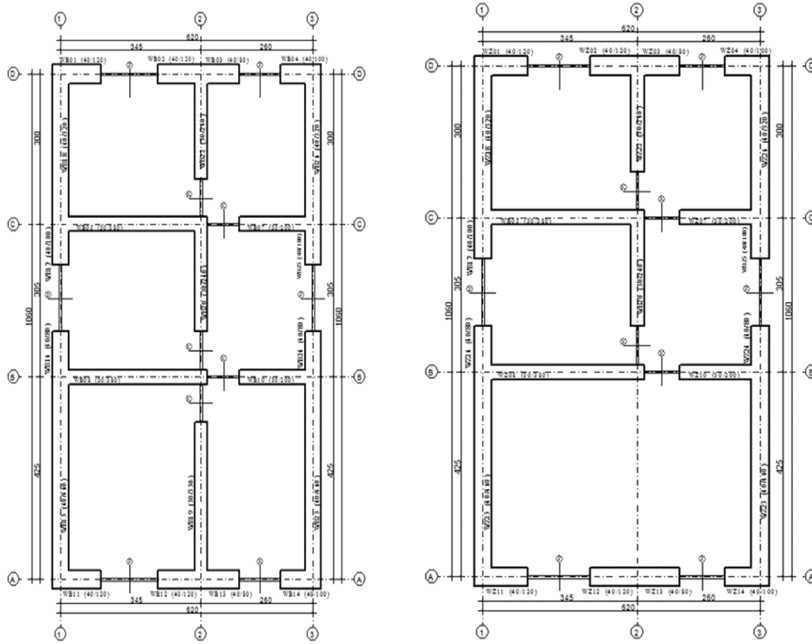
Şekil 12. Duvarlara gelen kesme kuvvetleri ve kayma gerilmenin hesabı

Çizelge 3. Kayma Gerilmelerinin Hesap Bağlıları.

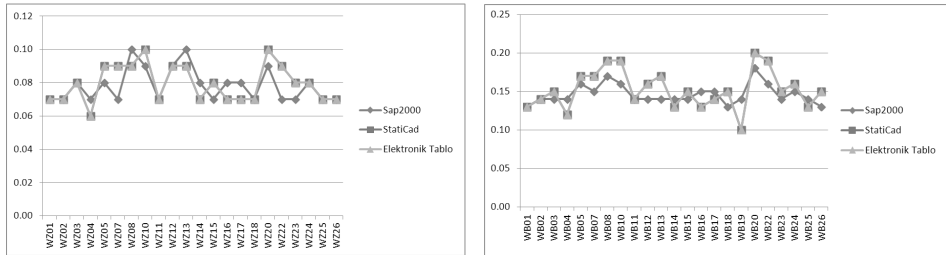
| Hesaplanan Büyüklük                           | Formül   | Açıklama   |
|---|--|--|
| +X doğrultusundaki<br>Duvar Kesme Kuvveti     | $V_{x,1} = \frac{I12 \cdot G113}{Z64} + I113 \cdot I12 \cdot (N12 - I80) / I87$  | 129 numaralı satır için gösterilen formül, "F" sütununun tamamı için geçerlidir. |
| -X doğrultusundaki<br>Duvar Kesme Kuvveti     | $V_{x,2} = \frac{I12 \cdot G114}{Z64} + I114 \cdot I12 \cdot (N12 - I80) / I87$  | 129 numaralı satır için gösterilen formül, "G" sütununun tamamı için geçerlidir. |
| +Y doğrultusundaki<br>Duvar Kesme Kuvveti     | $V_{y,1} = \frac{J12 \cdot G115}{AA64} + I115 \cdot J12 \cdot (M12 - I80) / I87$ | 129 numaralı satır için gösterilen formül, "H" sütununun tamamı için geçerlidir. |
| -Y doğrultusundaki<br>Duvar Kesme Kuvveti     | $V_{y,2} = \frac{J12 \cdot G116}{AA64} + I116 \cdot J12 \cdot (N12 - I80) / I87$ | 129 numaralı satır için gösterilen formül, "I" sütununun tamamı için geçerlidir. |
| +X doğrultusundaki<br>Duvar Kayma Gerilmeleri | $\tau_{x,1} = F129 \cdot 0,001 / E129$   | 129 numaralı satır için gösterilen formül, "J" sütununun tamamı için geçerlidir. |
| -X doğrultusundaki<br>Duvar Kayma Gerilmeleri | $\tau_{x,2} = G129 \cdot 0,001 / E129$   | 129 numaralı satır için gösterilen formül, "K" sütununun tamamı için geçerlidir. |
| +Y doğrultusundaki<br>Duvar Kayma Gerilmeleri | $\tau_{y,1} = H129 \cdot 0,001 / E129$   | 129 numaralı satır için gösterilen formül, "L" sütununun tamamı için geçerlidir. |
| -Y doğrultusundaki<br>Duvar Kayma Gerilmeleri | $\tau_{y,2} = I129 \cdot 0,001 / E129$   | 129 numaralı satır için gösterilen formül, "M" sütununun tamamı için geçerlidir. |

### 3. KARŞILAŞTIRMALAR

Bu bölümde İstanbul İli, Fatih İlçesi, Gül Sokaktaki bir yığma bina farklı programlar altında hesaplanıp karşılaştırılacaktır. Söz konusu bina toplamda 146 m<sup>2</sup>, 2 katlı olup, I. derece deprem bölgesi özellikleri göz önüne alınarak hesaplama yoluna gidilmiştir.

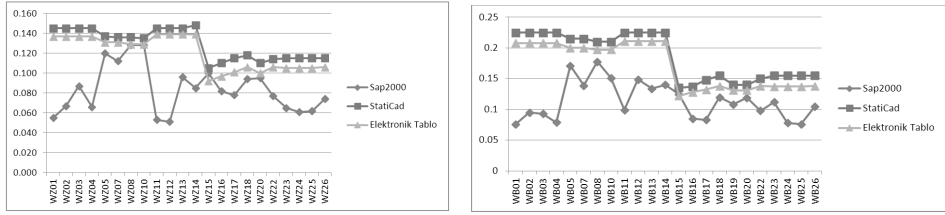


Şekil 13. Zemin Kat Planı ve 1. Kat Planı



Şekil 14. Zemin ve 1. Kat Düşey Gerilmelerinin Karşılaştırmalı Grafikleri

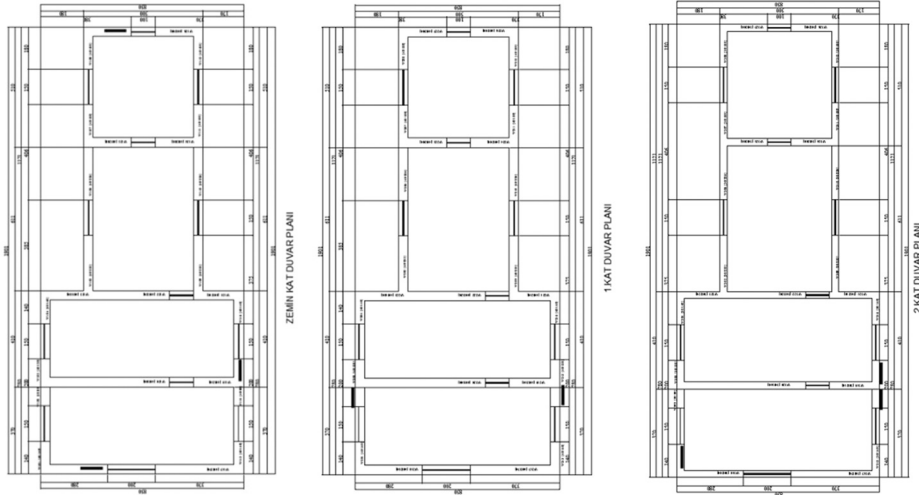
## YIĞMA BİNALARIN ANALİTİK ÇÖZÜMLEMESİ İÇİN BİR HESAP ALGORİTMASI



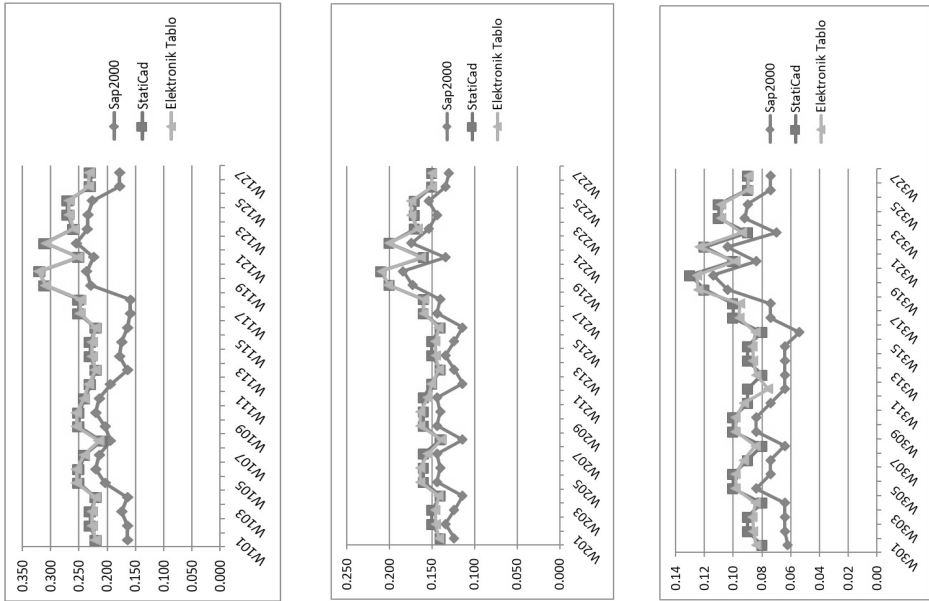
**Şekil 15.** Zemin ve 1.Kat Kayma Gerilmelerinin Karşılaştırmalı Grafikleri

Ele alınan bir diğer örnekte ise yine geliştirilen program ve diğer programlar ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu bina, İstanbul İli, Kadıköy İlçesi, Bostancı Semtinde bulunan bir yığma binadır.

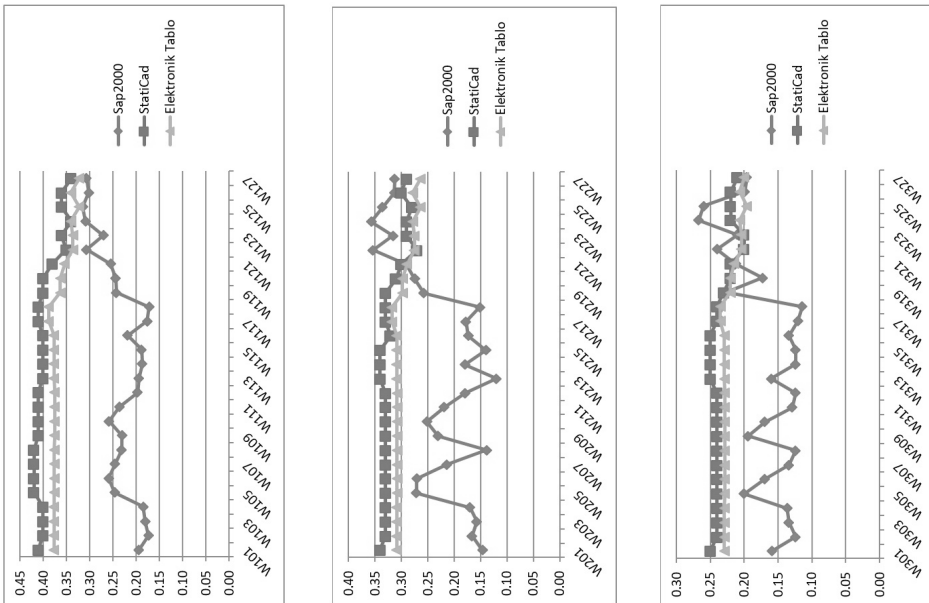
Söz konusu bina toplamda 366 m<sup>2</sup>, 3 katlı olup, I. derece deprem bölgesi özellikleri göz önüne alınarak hesaplama yoluna gidilmiştir.



**Şekil 16.** Zemin, 1. ve 2. Kat Planı



Şekil 17. Zaman, 1. ve 2. Kat Düşey Gerilmelerinin Karşılaştırmalı Grafikleri



Şekil 18. Zaman, 1. ve 2. Kat Kayma Gerilmelerinin Karşılaştırmalı Grafikleri

#### 4. SONUÇ

Yığma binalar da düşey yüklerden dolayı oluşan basınç gerilmelerini ve yatay yüklerden dolayı oluşan kayma gerilmeleri Microsoft Excel elektronik hesap tabloları ile bir algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma ile kat sayılar ve geometrik yapıları farklı iki örnek üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Farklı iki yapı Elektronik Hesap Tablosu Yöntemin, StatiCAD ve sonlu elemanlar metodu (Sap2000) ile gerilmeleri karşılaştırılma neticesinde.

- 1) Mevcut yönetmelik ve şartnameye uygun, hızlı data girişi, ekonomik, pratik olan bu yöntem oldukça güvenilir netice vermektedir.
- 2) Elektronik Hesap Tablosu Yönteminde çıkan sonuçları StatiCAD program yazılımı biri birine çok yakın sonuçlar vermektedir. Sonlu elemanlar metodu ile çıkan sonuçlar biraz daha farklıdır. Hesap yöntemlerinin farklılığından dolayı farkın olması beklenen bir sonuçtur.
- 3) Farklı malzemelere, farklı döşeme tipleri ve farklı deprem bölgelerinin tablolarda hazır olması, veri girişinde kolaylık sağlamaktadır.
- 4) Sonlu eleman analizlerinin saatler aldığı ve sonuç datalarının çıktılarının derlenip, yorumlanması ve her bir duvar için tablolarda derlenmesi göz önünde bulundurulursa bu basitleştirilmiş hesap yöntemi ile azımsanmayacak kadar bizlere zaman kazandıracaktır.

#### KAYNAKLAR

- Abrams, D.P. and Shah, N. (1992), *Cyclic Load Testing of Unreinforced Masonry Walls*, College of Engineering, University of Illinois at Urbana, Advanced Construction Technology Center Report.
- DBYBHY 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007
- Magenes, G. (2006), *Masonry building design in seismic areas: recent experiences and prospects from a European standpoint*, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland.
- Magenes, G. and Calvi, G. M. (1992), *Cyclic Behavior of Brick Masonry Walls*, Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, pp. 3517-3522.
- Manzouri, T., Shing, P.B., Amadei, B., Schuller, M. and Atkinson, R. (1995), *Repair and Retrofit of Unreinforced Masonry Walls: Experimental Evaluation and Finite Element Analysis*, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University Of Colorado: Boulder, Colorado, Report CU/SR-95/2.
- Özmen G., *İnşaat Mühendisleri İçin Excell*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2010
- Özmen G., Orakdoğan E., Darılmaz K., *Örneklerle Sap 2000-V15*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2012
- Paulay T. and M. J. N. Priestley (1992), *Seismic Design of Reinforced Concrete*



*and Masonry Buildings, ISBN: 978-0-471-54915-4. 768 pages.*

*Priestley, M. J. N. (1985), Seismic behaviour of unreinforced masonry walls, Bulletin of the New Zealand Nat. Soc. Earthq. Engrg. 18(2).*

*SAP2000, Structural Analysis Program, Versiyon 18.2.0*

*StatiCAD-Yığma, Yığma Yapılar İçin Hesap ve Çizim Programı, Versiyon 3.0.7.5 Professional*