



İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ALANINDA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Fatih KARAÇOR

yaz
yayınları

İnşaat Mühendisliği Alanında Bilimsel Araştırmalar

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Fatih KARAÇOR

yaz
yayınları

2026

İnşaat Mühendisliği Alanında Bilimsel Araştırmalar

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Fatih KARAÇOR

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8574-73-9

Mart 2026 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Yığma Yapılarda Hatıl Türleri ve Tasarım İlkeleri1

Fırat KIPÇAK

**Deprem Dirençli Yapılaşmada Sistem Tasarımının
Geometrik ve Yapısal Kuralları.....20**

Mehmet Şahin DUYMUŞ

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

YIĞMA YAPILARDA HATIL TÜRLERİ VE TASARIM İLKELERİ

Fırat KIPÇAK¹

1. GİRİŞ

Yığma yapılar geçmişten günümüze farklı coğrafyalarda ve kültürlerde yaygın biçimde inşa edilmiş en eski yapı çeşididir. Taşıyıcı sistemi temel olarak taş, tuğla, briket veya kerpiç gibi birim elemanların çoğunlukla harç aracılığıyla birleştirilmesi ile inşa edilmektedir. Yığma yapılarda düşey ve yatay yükler duvarlar aracılığıyla temele iletilmektedir. Yapı malzemesi gevrek olduğu için deprem gibi yatay etkiler etkisinde dayanımları oldukça düşüktür. Yapı direnci büyük ölçüde duvarları oluşturan birimlerin bağlantısına, sürekliliğine ve bütünlüğüne bağlıdır. Bu tür yapıların malzeme özellikleri nedeniyle en önemli zayıflıkları çekme dayanımının düşük olmasıdır. Yığma yapılar gevrek davranış sergileyerek yatay yükler altında çatlama ve göçme sorunları ile karşı karşıya kalmaktadır. Yığma yapı içerisinde birimlerin bağlantısını güçlendirmek ve çatlama alanını sınırlandırmak amacıyla tarihsel süreç içerisinde farklı yenilikler geliştirilmiştir. Bu yeniliklerin başında ve günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan hatıllar gelmektedir. Hatıllar yapı duvarlarının stabilitesini arttırmak amacıyla duvarlara eklenen düşey ve yatay yapı elemanlarıdır. Yapının bütüncül davranışını iyileştirmeyi amaçlayan bu elemanlar hakkında hasar sınırlayıcı özellikleri bilinse de kapasite üzerindeki etkileri yeterli düzeyde bilinmemektedir (Carabbio,

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, ORCID: 0000-0003-3849-7545.

Pieraccini, Silvestri, & Schildkamp, 2018; Schildkamp, Marques, Araki, & Silvestri, 2024). Hatıllar yığma duvarın tamamında belirli yerleşimde ve kotlarda bulunan ahşap, betonarme veya çelik gibi farklı malzemelerden üretilmektedir. Birimler arasındaki düşey kenetlenme hatıl ile ayrıldığında bazı durumlarda olumsuz etkiler görülmüştür (Fritsch et al., 2019; Schildkamp et al., 2024). Bu nedenle çoğu zaman yatay doğrultuda hatıllar kullanılmaktadır. Hatıllar çoğunlukla subasman üstü seviyesinde, pencere altı ve üstü seviyesinde, döşeme ve çatı altı seviyesinde konumlandırılmaktadır. Hatılların temel amacı düzlem içi ve dışı bulunan duvarları yatay düzlemde birbirine bağlamak, çatlakları sınırlamak, farklı yönlü yüklerin düzenli dağılmasını sağlamaktır. Ayrıca diğer amacı deprem etkisi altında duvarların bir bütün halinde çalışmasını sağlamaktadır. Hatıllar duvarların köşe ve duvar birleşimlerinde süreklilik sağlayarak duvarların ayrılma ve devrilme direncini arttırmaktadır. Hatıl elemanları yapının genel performansını etkileyen bir bileşen olarak değerlendirilmektedir.

Hatıllar uygulama amacına, kullanılan malzemeye ve yerleştirildiği konuma göre sınıflandırılabilir. Uygulama amacına göre hatıllar deprem etkilerini sınırlamak, dayanak oluşturmak, düzlem içi ve dışı duvarları bağlamak gibi görevleri bakımından sınıflandırılabilir. Çoğunlukla malzeme türleri dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda hatıllar malzemeye göre ahşap hatıl, betonarme hatıl ve çelik hatıl olarak ayrılabilir.

Hatıllar yerleştirildiği konuma göre kat seviyesini bölen hatıl, temel hatılı, lento hatılı ve çatı hatılı olarak sınıflandırılabilir. Deprem yönetmelikleri ve diğer standartlar dikkate alındığında uygun tasarlanmış ve doğru detaylandırılmış hatılların yapıların süneklik kapasitesini artırdığı, göçme durumlarını geciktirdiği ve önemli katkılar sağladığı görülmüştür (Khadka & Shakya, 2021; Schildkamp & Araki, 2019b, 2019a). Hatıl yapımı çatlak gelişimi, duvar ayrılması, katlar arası geçişler

ve düzlem dışı duvar göçmesi gibi yığma yapı sorunları için uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Artan çalışmalar ile hatıl geleneksel uygulamalarla sınırlı kalmamaktadır. Yenilikçi malzemeler ve uygulama yöntemleri ile gelişme göstermektedir (Erdil, Kıpçak, & Tapan, 2024; Kıpçak, 2025; Schildkamp et al., 2024). Kompozit yapı teknolojisindeki gelişmeler, detaylı tasarım yaklaşımları ve yönetmelik kuralları ile yeni çözümler üretilmektedir (Europe-6, 2005; TBDY, 2018). Bu bağlamda hatıllar, yığma yapıların dayanım ve deprem direncini arttırmada önemli yapı elemanlarıdır.

2. YIĞMA YAPILARDA HATIL

Yığma yapılar yatay yükler karşısındaki zayıf davranışları nedeniyle erken hasar almakta ve göçmektedir. Yapı göçmesini, can ve mal kayıplarını önlemek için yığma yapılarda çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu önlemlerin en önemlilerinden biri hatıllardır. Hatıllar sadece bulunduğu duvarda hasarı sınırlamaz aynı zamanda birleşim noktalarında duvarların kenetlenmesini sağlamaktadır (Vlachakis, Vlachaki, & Lourenço, 2020). Özellikle yatay hatıllar düşey hatıllara göre daha yaygın kullanılmaktadır. Bazı kaynaklarda düşey hatılların köşe bağlantılarda duvarlara yeterli katkı sağlamadığı belirlenmiştir. Tarihsel süreç içerisinde hatıllar malzeme, yerleşme şekli ve yapısal işlevi açısından farklılıklar içermiştir. Hatılların kullanımına göre geleneksel yapı uygulamalarından modern tekniklere kadar uzanan bir değişim görmüştür. Yığma malzeme basınç dayanımı yüksek ancak çekme ve kesme dayanımı düşük olduğu için çatlak oluşumu kolay olmaktadır. Hatıllar duvarı farklı bölümlere ayırarak çatlağın diğer bölümlere ilerlemesini azaltmaktadır. Bu sayede hasar düzeyi düşmektedir. Hatıllar yerine özellikle taş yapılarda yatay bağ elemanları da kullanılmaktadır. Bu elemanlar iki taş birimini birbirine

kenetlemektedir. Bu tür yapılar çoğunlukla yöresel uygulama tekniklerine göre şekillenmiştir. Bağ elemanın yerleşimi ve belirli kotlarında süreklilik sağlaması esas olmuştur. İlk yatay bağ elemanları ulaşılabilir ve yapım kolaylığı olan malzemeden oluşturulmuştur. Genellikle bu malzeme ahşaptır. Betonarme ve çelik gibi malzemelerin üretilmesi ile birlikte hatıllar daha yüksek dayanım sahip olmuştur. Böylece şekil verilebilir ve üretilebilir malzemeler ile geliştirilmiştir. 6 Şubat 2023'te Maraş-Pazarcık ve Elbistan'da gerçekleşen $M_w=7.7$ ve $M_w=7.6$ büyüklüğündeki depremler sonrasında yapılan araştırmalarda yığma yapılarda ciddi hasarların meydana geldiği görülmüştür. Bu depremler sonrasında yığma yapılarda hatıl elemanlarının önemli ölçüde hasarları sınırladığı ve yapının deprem performansını iyileştirdiği görülmüştür. Bu konudaki araştırmalarda hatılların deprem direncini artırdığı ve hasarları azalttığı belirlenmiştir (Carabbio et al., 2018; Khadka & Shakya, 2021; Ökten & Yüce, 2023; Vlachakis et al., 2020).

3. HATIL SINIFLANDIRILMASI

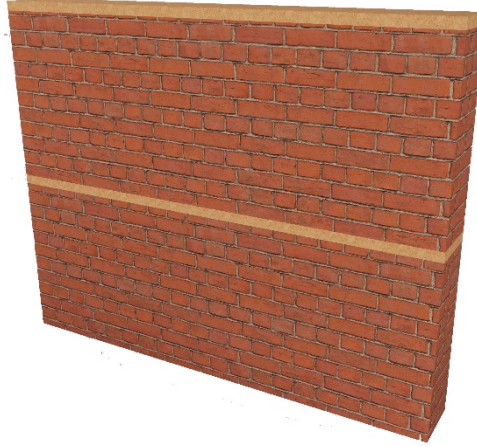
Hatıllar kullanılan malzemeye, yerleşim konumuna ve yapısal işlevlerine bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Hatılların sınıflandırılması davranış üzerindeki etkilerinin daha detaylı öğrenilmesini ve tasarım aşamasında doğru çözümlerin geliştirilmesini sağlamaktadır (Magenes & Calvi, 1997;).

3.1. Malzemeye göre hatıl türleri

3.1.1. Ahşap hatıllar

Yığma yapıda ahşap en eski ve en yaygın kullanılan malzeme türlerinden biridir. Özellikle ahşap malzeme kapı, pencere ve hatıl yapımında kullanılmıştır. Şekil 1'de ahşap hatıl örneği verilmiştir. Ahşabın kolay temin edilebilir olması, atölyede işlenebilirliği ve sünek davranış göstermesi ile yaygın

bir şekilde tercih edilmektedir. Ahşap hatıllar sünek davranışı sayesinde deprem etkisi altında enerji sönümleme kapasitesine sahiptir. Çoğunlukla yatay doğrultuda yerleştirilerek duvarların birlikte çalışması sağlamaktadır (Ökten & Yüce, 2023). Literatürde farklı çalışmalarda ahşap hatılların gevrek göçmeleri sınırlandığı, kırılma alanını sınırlandığı ve yapı bütünlüğünü koruduğu belirlenmiştir (Carabbio et al., 2018; Ökten & Yüce, 2023). Yığma içindeki ahşap malzemenin zamanla bozulması, nem ve biyolojik etkilere karşı dayanıksız olması nedeniyle bakım gerektirmektedir. Bu bağlamda modern yapılarda ahşap kullanımı sınırlı bulunmaktadır (Borah, Kaushik, & Singhal, 2023).

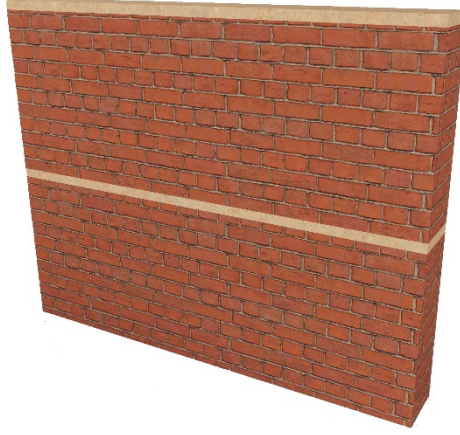


Şekil 1. Ahşap hatıl örneği

3.1.2. Betonarme hatıllar

Geleneksel yapı türüne göre modern yığma yapı sistemlerinde yaygın olarak kullanılan hatıl türüdür. Şekil 2’de betonarme hatıl örneği verilmiştir. Betonarme hatıllar içinde donatı kullanılması sayesinde yüksek dayanım ve rijitlik sağlayarak yığma yapıların yatay yükler etkisindeki performansını iyileştirmektedir (Borah et al., 2023; Oyguc, 2017). Bu hatıllar donatı düzeni, kesit boyutları ve bağlantı

detaylarıyla birlikte yığma yapıların önemli bir elemanı olarak ele alınmaktadır. Donatının katkısı ile çekme gerilmelerini karşılayabilen bu hatıllar deprem dayanımını artırmada etkili olduğu farklı çalışmalarda belirtilmiştir (Borah et al., 2023; Oyguç, 2017). Bu tür hatıllar çoğunlukla, pencere ve kapı boşlukları üstünde, kat seviyelerinde ve döşeme altında sürekli olarak düzenlenmektedir. Farklı deneysel ve nümerik çalışmalarda, betonarme hatılların duvar göçmelerini önemli ölçüde sınırladığı belirtilmiştir.



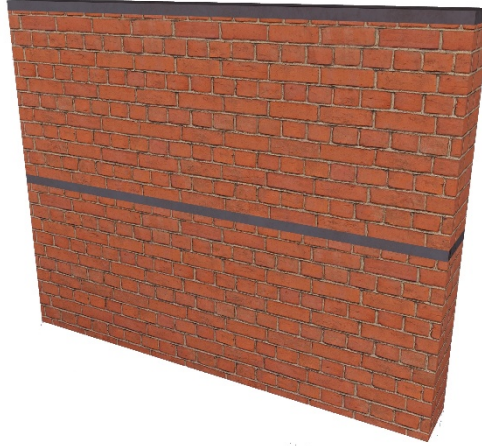
Şekil 2. Betonarme hatıl örneği

3.1.3. Çelik ve kompozit hatıllar

Yığma yapılarda çelik malzeme özellikle güçlendirme uygulamalarında kullanılmaktadır. Şekil 3'te çelik hatıl örneği verilmiştir. Tarihi yapıların deprem direncini arttırmak ve gelecek nesillere aktarmak amacıyla bu yapılarda güçlendirme çalışmaları çoğunlukla çelik ile oluşturulur. Bundan ayrı özel mühendislik çözümlerinde çelik malzemesi tercih edilir. Çelik ile oluşturulan hatıllar çoğu durumda duvarın tamamını kaplar ve sargılar. Çeliğin yüksek çekme dayanımı ve süneklik özellikleri sayesinde yığma yapıların davranışını iyileştirmede etkili olmaktadır. Çelik hatıllar profil ve gergi sistemleri ile oluşturulmakta ve duvarı

çevrelemektedir (Corradi, Di Schino, Borri, & Rufini, 2018; Corradi, Osofero, & Borri, 2019). Literatürde çelik hatıllar deprem performansını artırmak için tercih edildiği, ancak tasarım ve birleşim karışıklığı, korozyon ve maliyet gibi nedenlerle sınırlı kullanım alanına sahip olduğu belirtilmektedir (Corradi et al., 2018, 2019).

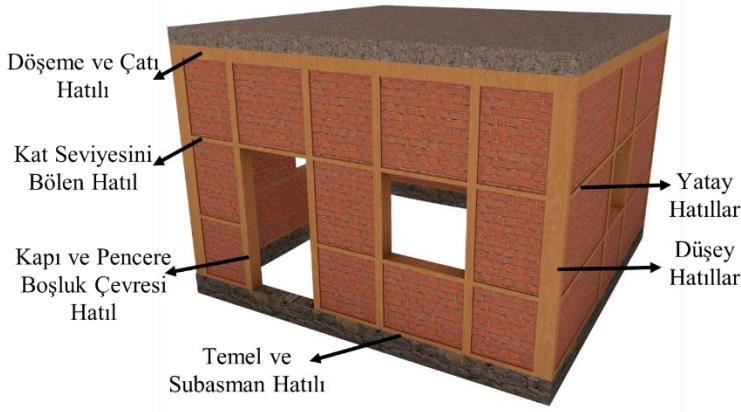
Ayrıca günümüzde lifli polimerler (FRP), lifli betonlar ve hibrit kompozit malzemeler ile geliştirilen yenilikçi hatıl çözümleri geliştirilmektedir. Bu sistemlerde amaç düşük ağırlık, kolay kullanılabilirlik ve yüksek dayanım gibi avantajlar sunmaktadır (Corradi et al., 2018; Dong, Sui, Jiang, & Zhou, 2019). Önemli ölçüde tarihi yığma yapılarda minimum müdahale ile güçlendirme gerektiren çözümlerde kompozit malzemeler kullanılır (Dong et al., 2019).



Şekil 3. Çelik hatıl örneği

3.2. Yığma yapı içindeki konumuna göre hatıllar

Yığma yapı içinde bulunan hatılların türleri ve yerleşimi Şekil 4’te verilmiştir. Hatıllar konumuna göre dörde ayrılmış ve alt başlıklarda tanımlanmıştır.



Şekil 4. Hatıl türleri ve yerleşimleri

3.2.1. Temel ve subasman hatılları

Yığma duvarların temel ile bağlantısını sağlayan hatıl türü subasman hatıllardır. Üst yapıdan gelen yüklerin temele düzgün bir şekilde aktarılmasını sağlayan elemanlardır (Schildkamp, Silvestri, & Araki, 2020). Temelde gerçekleşen deplasmanlar ve ötelenmeler bu bölümde bulunan hatıllar ile minimum düzeye düşmektedir. Ayrıca temel oturmalarından kaynaklanan gerilmeleri azaltmakta ve duvar altında sürekli bir dayanak oluşturmaktadır (Europe-6, 2005).

3.2.2. Kat seviyesini bölen hatıllar

Kat seviyesi hatılları, yığma yapılarda önemli hatıl türlerinden biridir. Duvarları yatay veya düşey düzlemde birbirinden ayıran hatıllardır. Bu hatılların amacı deprem etkisi altında duvarların hasarlarını sınırlamaktır. Çoğunlukla yatay bulunan bu hatıllar hakkında yeterli araştırma bulunmamaktadır. Bu hatılların amacı duvar yükünü düzgün bir şekilde dağıtmak ve lokal bozukların yapı bütününe zarar vermesini engellemektir. Kat bölümleri arasındaki etkileşimi arttırmak ve bütünlüğü sağlamak amacıyla kullanılır.

3.2.3. Kapı ve pencere boşluk çevresi hatıllar

Kapı ve pencere gibi boşluklar yığma yapılarda sürekliliği bozan ve gerilme yığılmasına neden olan zayıf bölgeler arasında yer almaktadır. Boşluk çevresinde bulunan hatıllar gerilmeleri azaltmakta ve çatlak oluşumunu sınırlandırmaktadır (Karaman & Zeren, 2010; Schildkamp & Araki, 2019b). Farklı çalışmalarda boşluk köşelerinde ciddi hasarların meydana geldiği rapor edilmiştir (Khadka & Shakya, 2021). Pencere altı ve pencere üstü hatılları yüklerin açıklık etrafında güvenli bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktadır. Ayrıca duvarlarda oluşan ani çatlakların önüne geçmektedir. Özellikle pencere ve kapı üstünde lento seviyesinde bulunan hatıllar, üstten gelen yüklerin açıklık köşelerinde yığılmasını engelleyerek, duvarın kapasitesini artıran bir giriş olmaktadır. Deneysel ve nümerik çalışmalarda boşluk üstünde ve altında hatıl bulunmayan duvarlarda diyagonal çatlakların duvarın erken göçmesine yol açtığı belirlenmiştir (Magenes & Penna, 2011). Yeterli ankrajla duvarlara bağlanmış hatıllarının, boşluk çevresindeki kesme ve çekme gerilmelerini azalttığı bildirilmektedir (Schildkamp & Araki, 2019a).

3.2.4. Döşeme ve çatı hatılları

Döşeme seviyesinde yer alan hatıllar, döşeme yükünün düzgün bir şekilde duvarlara aktarılmasını sağlamak için kullanılır. Düzlem içi ve dışı hareket eden duvarların birbirine bağlanmasını sağlamaktadır. Bu hatıllar yatay olarak konumlandırılır. Taşıyıcı sistemin sürekliliğini sağlamak ve yapı davranışını iyileştirmek için kullanılır. Ayrıca duvarların üst noktada serbest uç gibi davranmasını engelleyerek yapısal stabiliteyi artırmaktadır. Özellikle geniş ve ağır çatı bulunan yapılarda bu seviyede hatıllarının bulunmaması durumunda duvarların üst kısımlarında hasarların meydana geldiği literatürde belirtilmiştir (Vlachakis et al., 2020). Deprem etkisi nedeniyle yatay deplasman sırasında çatının duvara uyguladığı basıncın

düzenli iletilmesini ve düzlem dışı hareketleri sınırlamada döşeme ve çatı hatılı önemli işlev görmektedir (Vlachakis et al., 2020).

3.3. Doğrultusuna göre göre hatıl türleri

3.3.1. Yatay hatıl elemanlar

Hatılların bağlayıcı, taşıyıcı ve güçlendirici işlevsel görevleri bulunmaktadır. Yatay doğrultuda bulunan hatıllar sürekliliği sağlamaktadır. Özellikle köşe birleşimlerinde yapının monolitik davranış göstermesine katkıda bulunmaktadır (Akgül & Doğan, 2020). Bu hatıllar deprem sırasında duvarların nispeten stabilitesini korumaktadır (Akgül & Doğan, 2020). Bu bağlamda yatay doğrultuda hasar yayılımının sınırlandırılması ve göçmenin geciktirilmesi için kullanılmaktadır. Özellikle boşluk çevresinde yatay hatıllar aktif kullanılmakta, çekme ve kesme gerilmelerini sınırlamak için önleyici eleman olmaktadır. Tarihi yapılarda güçlendirme amaçlı yapı bütünlüğünü korumak için çoğunlukla yatay hatıllar kullanılmaktadır. Yapı bütününe sonradan eklenen hatıllar tarihi yapıların dokusunu bozmadan ve taşıma kapasitelerini arttıran özelliktedir.

3.3.2. Düşey hatıl elemanlar

Düşey hatıllar yığma yapılarda çoğunlukla dikkate alınmayan ancak taşıyıcı sistem davranışı açısından farklı katkılar sağlayan yapısal elemanlardır. Duvar bütünü düşeyde farklı bölümlere ayırmak için kullanılır. Boşluk çevresinde gerilme yığılmalarını önlediği farklı çalışmalarda rapor edilmiştir (Akgül & Doğan, 2020). Ancak yapı bütünü parçalara ayırdığı için çok parçalı davranışın performansa zarar verebilir (Akgül & Doğan, 2020; TBDY, 2018). Yeterli ve uygun teknikte ankrajı yapılmamış düşey hatıllar duvar birleşim köşelerinde düzlem içi ve dışı hareket eden duvarların ayırık hareket etmesine ve düzlem dışı bulunan duvarın erken göçmesine neden olabilir (Akgül & Doğan, 2020; Borah et al., 2023). Bu nedenle ankrajı uygun

yapılmış ve yatay hatıllarla birleştirilmiş düşey hatılların kapasiteleri arttıracığı beklenebilir. Doğru ve güvenilir sonuçların deneysel ve nümerik sonuçlarla belirlenebileceği hatırlanmalıdır. Düşey ve yatay hatıllar birlikte çalıştırılması durumunda duvar bölümleri bir çerçeve etkisi altında tutulabilir. Doğru ankraj ve detaylandırma ile uygulandığında tarihi yapılarda ani ve gevrek göçmelerin önüne geçilmesinde etkili olmaktadır.

4. YÖNETMELİKLERE UYGUN HATIL YAPIMI

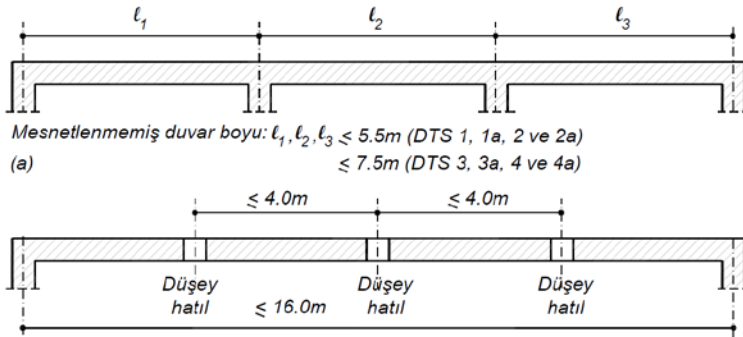
Geçmişte büyük ölçüde geleneksel bilgi ve uygulamalara göre hatıl yapılırken, günümüzde ulusal yönetmelik olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY-2018) uygun hatıllar yapılmaktadır (TBDY, 2018). Hatıllar uygulamada eksik kalan yerlerde uluslararası yönetmeliklerle ve mühendislik esasları çerçevesinde yapılmaktadır. Deprem etkisi altındaki yapıların güvenliğinin sağlanabilmesi için, hatıl malzemesi, yerleşimi ve detaylandırması yönetmelik sınırları ile belirlenmektedir. Bu kitap bölümünde, Türkiye'de yürürlükte olan TBDY-2018 yönetmeliği ve Eurocode 6 temel referans alınmıştır (Europe-6, 2005; TBDY, 2018). Farklı ülkelerdeki yaklaşımlar hatıl sistemlerinin yapımını ve detaylarını değiştirmektedir. Örneğin Japonya ve Çin'de ahşap kültürünün yaygın olması sayesinde ahşaba dair birçok bağlantı türü bulunmaktadır (Schildkamp & Araki, 2019a). Bu sayede yönetmeliklerde farklı detayların nasıl gerçekleştirileceğine dair sınırlar değişmektedir. TBDY-2018 yönetmeliğinde düşey taşıyıcı elemanların belirli yüksekliklerde yatay elemanlarla bağlanması zorunlu tutulmaktadır. TBDY'de ahşap ve çelik hatıllardan çok betonarme hatıllar için kurallar bulunmaktadır. Bu yönetmeliğe ek olarak gelecekte üretilen yeni yığma yapılar yönetmeliğinde eksik kalan tüm detayların bulunması yığma yapılar konusundaki belirsizlikleri giderecektir.

Betonarme hatıllar için minimum kesit boyutları, donatı miktarları ve duvarlarla olan bağlantı koşulları verilmektedir. TBDY'e göre özellikle deprem etkili yerlerde hatıl sürekliliğinin sağlanmasını zorunlu tutulmaktadır. Duvarların ayırık değil, monolitik bir sistem olarak davranması hedeflenmektedir. Yönetmelik güçlendirme uygulamalarında hatıl bulunmasını temel iyileştirme yöntemlerinden biri olarak önermektedir. Hatıl tarihi ve mevcut yapıların iyileştirilmesi için de önemli bir araç olarak ortaya çıkmaktadır (TBDY, 2018). Eurocode 6 kapsamında hatıllar genellikle bağ kirişleri altında tanımlanmakta ve duvarların yatay doğrultuda bağlanması için zorunlu elemanlar arasında yer almaktadır (Europe-6, 2005). Eurocode 6'ya göre hatılların temel işlevi yüklerin yapı içinde dağıtılması, duvar stabilitesinin artırılması ve çatlak oluşumunun kontrol altına alınmasıdır. Bu yönetmeliğe göre hatıl açıkça tanımlamakta ve uygun ankrajın sağlanmasını gerektiği belirtilmiştir. Eurocode 6 yığma yapılarda performans temelli bir yaklaşım benimseyerek, hatılın performansı doğrudan etkileyen bir tasarım unsuru olduğunu belirtmektedir. Özellikle İtalya, Portekiz ve Yunanistan gibi deprem tehlikesi bulunan ülkelerde, Eurocode 6 kurallarında hatıl detaylarının standartlaştırılması sayesinde yığma yapı hasarlarının azaldığı görülmüştür (Vlachakis et al., 2020).

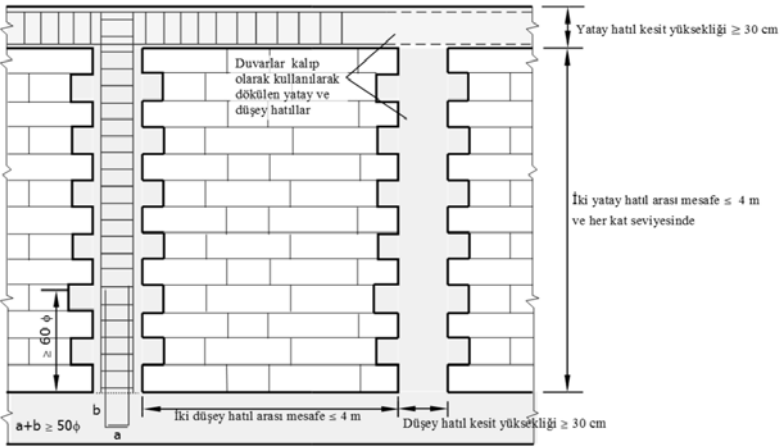
TBDY 2018'e göre hatıllar, taşıyıcı duvarların monolitik davranmasını sağlamak amacıyla zorunlu elemanlar olarak dikkate alınmıştır. Yönetmeliğe göre taşıyıcı sistemi esas olarak yığma duvarlardan inşa edilen ve bu duvarların yatay ve düşey hatıllarla çevrelenerek (kuşatılarak) inşa edildiği yapı türüne kuşatılmış yığma denir. Bu yapı türünde duvarlar yalnız hareket etmemektedir (TBDY, 2018). Kat ve çatı seviyelerinde, açıklıklarda, duvar birleşimlerinde düşey hatıllar belirli aralıklarla kullanılmaktadır. Hatılların oluşturduğu kuşatma sayesinde yığma duvarların deprem performanslarının arttığı yönetmelikte çıkarılmaktadır. Düşey hatıllar için TBDY-2018'de

şu durumlarda kullanılması vurgulanmaktadır: “Taşıyıcı duvarların serbest kenarlarında, alanı 1.5 m^2 'den daha büyük olan duvar boşluklarının her iki yanında, her 4 m duvar uzunluğunda bir, hatıllar arası mesafe 4 m'yi geçmeyecek şekilde, iki taşıyıcı duvarın birleşim noktalarında (en yakın düşey hatıl 1.5 m'den daha uzakta ise) mutlaka düzenlenmelidir.” Yönetmeliğe göre verilen çizimler Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Yatay ve düşey hatılların yığma duvarlar örüldükten sonra inşa edilmesi ve duvarlar kalıp olarak kullanılıp beton dökülmesi yönetmelikte belirtilmektedir. Bu bilgiye ait görsel Şekil 8'de verilmiştir. Düşey hatılların genişliği en az duvar kalınlığı kadar, yüksekliği ise 300 mm'den az olmamalıdır. Boyuna donatı en az 6Ø12, etriye ise Ø8/150 mm olmalıdır. Düşey hatıl donatılarında yeterli bindirme boyları 60ϕ 'den daha kısa olmayacak şekilde sağlanmalıdır. Hatılların üzerindeki aksel kuvvet ihmal edilerek yalnızca beton katkısı dikkate alınarak kesme kuvveti dayanımının hesaplanması belirtilmektedir.

Yığma taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler Şekil 6'ya uymalıdır. Donatılı yığma ve donatılı panel sistemli binalarda bu şekilde verilen boyut sınırları %20 arttırılabileceği yönetmelikte ayrıca belirtilmiştir.

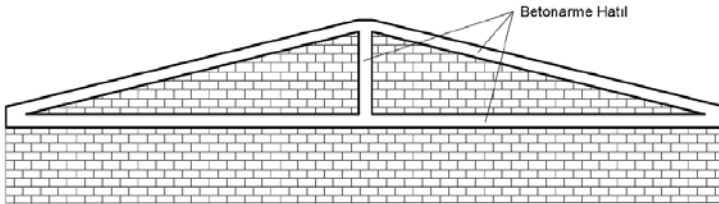


Şekil 6. Düşey hatıl düzenlenmesi (TBDY, 2018)



Şekil 8. Kuşatılmış yığma yapılarda duvarlar ile birlikte hatıl yapımı (TBDY, 2018)

Ayrıca TBDY-2018'e göre çatı duvarının yüksekliği 0.80 m'den büyük ise düşey ve eğik hatıllar yapılmalıdır. Şekil 9'da çatı hatıl yapım görseli verilmiştir. Donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda en üst kat parapet duvarlarının en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler Şekil 6'da verilen sınır şartlarını sağlamalıdır. Parapet yüksekliği 1.00 m'den büyük ise parapet yüksekliği boyunca her 1.00 m'de yatay hatıl yapılması gerekmektedir. Bu koşullara uymayan parapet duvarının yüksekliği duvar kalınlığının dört katını aşmayacaktır. Tüm bu koşullar TBDY-2018'den alınmıştır (TBDY, 2018).



Şekil 9. Çatı seviyesinde düşey ve yatay hatıl yapımı (TBDY, 2018)

5. SONUÇ

Bu kitap bölümünde hatıl sistemlerinin türleri, konumları, yapısal işlevleri ve performansı değerlendirilmiştir. Yığma yapılar geleneksel malzemeler ile yapılması ve gevrek özelliklere sahip olması onların erken göçmesine neden olmaktadır. Geleneksel taş, tuğla, bims ve kerpiç gibi malzemelerin çekme ve kesme dayanımı düşük olması nedeniyle yığma yapılar erken süreçte çatlamaktadır. Çevresel koşullar, yüklerin fazlalığı, deprem etkileri, mesnetlenme koşulları, temelde oluşan oturmalar ve ısı etkileri nedeniyle çatlaklar artarak tüm yapının hasar almasına neden olmaktadır. Bu çatlakların önlenmesi için bu durumda hatıl elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yığma yapının gevrek davranışını sınırlandırmak daha sünek bir yapı sağlamak, duvarların bütünlüğünü korumak ve boşluk çevresinde oluşan çatlakları azaltmak için hatıl kullanılmaktadır. Bu kitap bölümünde farklı amaçlarda kullanılan birçok hatıl türü ele alınmıştır. Bu hatılların düzeni ilgili araştırmaları ve hatılın performansa etkisi açıklanmaya çalışılmıştır. Birçok etki bilinmese de hatılların genelde az sayıda ve yatay düzenlendiği birçok kaynaktan belirtilmiştir. Kitap bölümü kapsamında ahşap, betonarme ve çelik hatıl sistemlerinin malzeme türü ve kullanımına göre özgün avantajlar sağladığı ifade edilmiştir. Çoğunlukla yatay hatılların kat, kapı ve pencere, lento ve çatı seviyelerinde süreklilik sağlayacak şekilde yerleştirilmesi yapı performansını iyileştirmektedir. Düşey ve yatay hatılların uygun teknikte ve birlikte kullanılması durumunda yapı davranışını iyileştirebilir. Literatürde bulunan çalışmaların uygun şekilde tasarlanmış hatıl sistemlerinin çatlak oluşumunu sınırlandırdığını ve yapı sünekliğini artırdığını göstermiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Eurocode 6'da hatıl sistemleri için bazı koşullar sunulmaktadır (Europe-6, 2005). Ülkemizde geçerli olan yönetmelik dikkate alınmış ve hatıllar ile ilgili tüm koşullar bu bölümde verilmiştir. Yönetmelikte hatıllı yapılar kuşatılmış yapı

olarak sınıflandırılmıştır. Yığma yapı güvenliği açısından bu kurallara uyulması gerektiği vurgulanmıştır. Bu konudaki daha geniş çalışmaların hatıl sistemlerin daha detaylı yapılmasını sağlayacak ve yığma yapıların güvenliğini arttıracaktır. Geçerli olan TBDY-2018 yönetmeliğinde özellikle düşey hatıllara değinilmiş ve duvarların kalıp olarak kullanılması ve kilit örgü düzeninde hatılların bu düzeni devam ettirmesi gerektiği belirtilmiştir. Sonuç olarak hatıl sistemleri yapının bütüncül davranışını iyileştirmeyi amaçlayan yapı elemanlarıdır. Gelecekte hatıl kullanımı odaklı deneysel ve nümerik araştırmaların daha çok gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Hatılın doğru mühendislik ilkeleriyle değerlendirilmesi, tarihi ve mevcut yapıların güçlendirilmesi açısından da önemli katkılar sunacaktır.

KAYNAKLAR

- Akgül, M. & Doğan, O. (2020). 4 Nisan 2019 Elazığ-Sivrice Depreminin Yığma Yapılara Etkisinin Değerlendirilmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(1), 265–277. <https://doi.org/10.29137/umagd.621701>
- Borah, B., Kaushik, H. B. & Singhal, V. (2023). Analysis and Design of Confined Masonry Structures: Review and Future Research Directions. *Buildings*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/buildings13051282>
- Carabbio, R., Pieraccini, L., Silvestri, S. & Schildkamp, M. (2018). How Can Vernacular Construction Techniques Sustain Earthquakes: The Case of the Bhatar Buildings. *Frontiers in Built Environment*, Volume 4-2018. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00018>
- Corradi, M., Di Schino, A., Borri, A. & Ruffini, R. (2018). A review of the use of stainless steel for masonry repair and reinforcement. *Construction and Building Materials*, 181, 335–346. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.034>
- Corradi, M., Osofero, A. I. & Borri, A. (2019). Repair and Reinforcement of Historic Timber Structures with Stainless Steel—A Review. *Metals*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/met9010106>
- Dong, K., Sui, Z., Jiang, J. & Zhou, X. (2019). Experimental Study on Seismic Behavior of Masonry Walls Strengthened by Reinforced Mortar Cross Strips. *Sustainability*, 11(18). <https://doi.org/10.3390/su11184866>
- Erdil, B., Kıpçak, F. & Tapan, M. (2024). Out-of-Plane Behavior of Dry-Stack Brick Masonry Walls. *The Structural Design of*

- Tall and Special Buildings*, 33(5), e2089.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tal.2089>
- Europe-6. (2005). *Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures*. http://iso-iran.ir/standards/bs/BS_EN_1996_3_2009_%2C_Eurocode_6_.pdf
- Fritsch, E., Sieffert, Y., Aligusab, H., Grange, S., Garnier, P. & Daudeville, L. (2019). Numerical Analysis on Seismic Resistance of a Two-Story Timber-Framed Structure With Stone and Earth Infill. *International Journal of Architectural Heritage*, 13(6), 820–840.
<https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1479804>
- Karaman, Ö. Y. & Zeren, M. T. (2010). Geleneksel Türk Konutunda Kullanılan ve Kârgir Sistemi Destekleyen Ahşap Yapısal Elemanların Önemi ve Bozulma Nedenleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 12(2), 75–87.
- Khadka, B. & Shakya, M. (2021). Seismic Characteristics of Unreinforced Mud Masonry Houses in Nepal: A Miserable Scenario Before and After the 2015 Gorkha (Nepal) Earthquake. *Engineering Failure Analysis*, 124, 105308.
<https://doi.org/10.1016/J.ENGFAILANAL.2021.105308>
- Kıpçak, F. (2025). Numerical Study of the Out-of-Plane Response of Dry-Stack Double-Wythe Brick Walls with Header Bricks. *Buildings*, 15(23).
<https://doi.org/10.3390/buildings15234342>
- Ökten, M. S. & Yüce, A. (2023). Yığma Yapılarda Günümüzde Yapılan Hatıl Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 52, 259–271.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue//1339624>

- Oyguç, R. A. (2017). 2011 Van Depremlerinden Sonra Yığma Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar. *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 296–315. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.348482>
- Schildkamp, M. & Araki, Y. (2019a). Cost Analysis of Mountain Schools in Nepal: Comparison of Earthquake Resistant Features in Rubble Stone Masonry vs. Concrete Block Masonry. *Frontiers in Built Environment*, Volume 5-2019. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00055>
- Schildkamp, M. & Araki, Y. (2019b). School Buildings in Rubble Stone Masonry With Cement Mortar in Seismic Areas: Literature Review of Seismic Codes, Technical Norms and Practical Manuals. *Frontiers in Built Environment*, Volume 5-2019. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00013>
- Schildkamp, M., Marques, R., Araki, Y. & Silvestri, S. (2024, April 17). *Preservation of Stone Masonry Buildings: Benchmarking of Modelling Approaches for Seismic Assessment and International Call to Action*.
- Schildkamp, M., Silvestri, S. & Araki, Y. (2020). Rubble Stone Masonry Buildings With Cement Mortar: Design Specifications in Seismic and Masonry Codes Worldwide. *Frontiers in Built Environment*, Volume 6-2020. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.590520>
- TBDY. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (Turkey Building Earthquake Regulation)*. Republic of Turkey Ministry of Environment and Urbanization.
- Vlachakis, G., Vlachaki, E. & Lourenço, P. B. (2020). Learning from Failure: Damage and Failure of Masonry Structures After the 2017 Lesvos Earthquake (Greece). *Engineering Failure Analysis*, 117, 104803. <https://doi.org/10.1016/J.ENGFAILANAL.2020.104803>

DEPREM DİRENÇLİ YAPILAŞMADA SİSTEM TASARIMININ GEOMETRİK VE YAPISAL KURALLARI

Mehmet Şahin DUYMUŞ¹

1. GİRİŞ

1.1. Yapısal Düzen ve Sismik Performans İlişkisi

Deprem yükleri altındaki bir yapının performansı, büyük ölçüde kütle ve rijitlik dağılımının sürekliliğine bağlıdır (FEMA, 2018). Yapı sistemindeki düzensizlikler, deprem enerjisinin yapı içerisinde homojen dağılmasını engelleyerek, belirli bölgelerde gerilme yığılmalarına ve dolayısıyla ağır hasarlara veya ani göçmelere neden olmaktadır (Ghanem vd., 2024).

Akademik literatürde "düzensiz yapılar" olarak adlandırılan ve geometrik süreksizlik içeren yapılar, sismik analiz süreçlerini karmaşıktırmakta ve tasarımda ek güvenlik önlemleri gerektirmektedir (Raj vd., 2025a). Yapısal formun planda ve kesitte (düşeyde) süreklilik arz etmesi, dinamik karakteristiklerin (periyot, mod şekilleri) kontrol altında tutulmasını sağlar (Nady vd., 2022). Özellikle burulma etkileri (*torsion*), plandaki asimetri ve rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki eksantrisiteden (dış merkezlik) kaynaklanan en kritik hasar nedenlerinden biridir (Anagnostopoulos vd., 2013).

¹ Öğretim Görevlisi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-1295-1909.

1.2. Deprem Dirençli Yapılaşmada Sistem Tasarımının Geometrik ve Yapısal Kuralları

Modern deprem mühendisliğinde temel felsefe; yapının sadece düşey yükler altında değil, aynı zamanda deprem gibi dinamik yatay yükler altında da öngörülebilir ve güvenli bir davranış sergilemesini sağlamaktır (Paulay & Priestley, 1992). Yapısal tasarım süreci, sadece eleman boyutlandırması değil, en başta kavramsal tasarım aşamasında belirlenen geometrik ve sistem bütünlüğü ile başlar (Allen & Zalewski, 2009). Depreme dayanıklı yapı tasarımı temel amaç, yapının deprem enerjisinin sünek elemanlar yoluyla sönmlemesidir (Chopra, 2015). Ancak bu süneklik, kütle ve rijitlik merkezlerinin birbirine yakın olduğu, yük aktarım yollarının kesintiye uğramadığı sistemlerde öngörülebilir şekilde gerçekleşir (Ersoy & Özcebe, 2021).

2. ÇALIŞMA İÇERİĞİ

2.1. Temel Sistem Tasarım Kuralları ve Sismik Etkileri

Kitabın bu bölümünde; depremler sonucunda binalarda meydana gelmiş olan yapısal hasarların, gerek proje gerekse imalat aşamasında tespit edilen sistem tasarım problemlerinde öne çıkan 13 başlık altında kategorize edilmeye çalışılmıştır. Binalarda tespit edilen 13 belirgin yapısal tasarım hataları, TBDY 2018, 3.6. Deprem Etkisi Altında Düzensiz Binalar Başlığında ele alınan temel parametreler çerçevesinde detaylandırılmıştır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

TBDY 2018'e göre düzensiz bina tanımı şu şekilde yapılmıştır: **“3.6.1. Düzensiz Binaların Tanımı** Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken *“düzensiz binalar”*ın tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda

düzensizlik meydana getiren durumlar **Tablo 3.6'**da, bunlarla ilgili koşullar ise **3.6.2'**de verilmiştir.” Denilmiş olup açıklamalar ile “A-Planda düzensizlik durumları” ve “B-Düşeyde Düzensizlik Durumlar” detaylandırılmıştır.

Yapısal düzensizliklere ait detaylar: Düzensiz Binalar: TBDY Tablo 3.6- de verilmiştir. TBDY 2018 in Bilgilendirme Eki 3/A da: “Deprem Etkisi Altında Uygun Tasarım İçin Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Düzenlenmesi” ne dair açıklamada: “Bina taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesinde aşağıdaki genel kurallar göz önüne alınmalıdır. Bu bağlamda **3.6'da** tanımlanan planda ve düşeyde düzensiz taşıyıcı sistemler’ den olabildiğince kaçınılmalıdır.” İfadelerine yer verilmiş ve ana hatlarıyla yapısal düzensizliğin önüne geçilmesi için Yapısal Tasarımın Temel 6 Parametresi aşağıdaki başlıklar ile şu şekilde ifade edilmiştir.

3A.1. TAŞIYICI SİSTEMİN SADELİĞİ VE BASİTLİĞİ

“Deprem yer hareketinin karmaşık yapısı ve yapısal analizlerde kullanılan modelleme yaklaşımlarındaki belirsizlikler nedeniyle, yapı davranışının mümkün olduğunca öngörülebilir olması önem taşır. Bu nedenle taşıyıcı sistemin karmaşık geometrilerden kaçınılarak sade ve anlaşılabilir bir düzen içinde tasarlanması önerilmektedir. Basit ve açık bir yük aktarım mekanizmasına sahip sistemler deprem davranışının daha güvenilir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlar.

3A.2. TAŞIYICI SİSTEMİN DÜZENLİ VE SİMETRİK OLARAK DÜZENLENMESİ

Taşıyıcı sistemin plan düzleminde düzenli ve mümkün olduğunca simetrik bir biçimde düzenlenmesi, döşemelerdeki kütlelerin oluşturduğu eylemsizlik kuvvetlerinin düşey taşıyıcı elemanlara dengeli biçimde aktarılmasına yardımcı olur. Bu tür bir düzenleme aynı zamanda kütle merkezi ile rijitlik merkezi

arasında oluşabilecek dışmerkezliliklerin azaltılmasına katkı sağlayarak burulma etkilerinin sınırlandırılmasını sağlar.

Düşey doğrultuda da taşıyıcı sistem sürekliliğinin korunması gereklidir. Kat rijitliği veya kat dayanımındaki ani değişimler deprem davranışını olumsuz etkileyebileceğinden, özellikle yumuşak kat ve zayıf kat oluşumuna yol açabilecek düzensiz düzenlemelerden kaçınılmalıdır.

3A.3. TAŞIYICI SİSTEMDE FAZLA-BAĞLILIK ÖZELLİĞİNİN SAĞLANMASI

Deprem güvenliği açısından taşıyıcı sistemin yalnızca belirli elemanlara bağımlı olmayacak şekilde tasarlanması önemlidir. Bu nedenle sistemde alternatif yük aktarım yollarının bulunması, yani yeterli düzeyde yedeklilik sağlanması gerekir. Böylece bazı elemanların deprem sırasında hasar görmesi veya taşıma kapasitesini kaybetmesi durumunda, yükler diğer elemanlar aracılığıyla aktarılmaya devam edebilir ve yapı genel kararlılığını sürdürebilir.

Bina bloklarının yapısal derzlerle ayrılması konusu da bu çerçevede dikkatle değerlendirilmelidir. Gereksiz derz uygulamaları deprem sırasında bloklar arasında çarpışma riskini artıracığından, yalnızca zorunlu durumlarda tercih edilmelidir.

3A.4. TAŞIYICI SİSTEMDE YETERLİ DAYANIM VE RİJİTLİK

Deprem etkisi yapı üzerinde farklı doğrultularda ortaya çıkabildiğinden, taşıyıcı sistem elemanlarının plan içinde iki ana doğrultuda yeterli dayanım ve rijitlik sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Kolon ve perdelerin dengeli dağılımı bu açıdan önemlidir.

Ayrıca burulma etkilerinin azaltılması amacıyla yüksek rijitliğe sahip taşıyıcı elemanların yapı planında uygun biçimde

konumlandırılması gereklidir. Özellikle betonarme perdelerin yapı çevresine yakın yerleştirilmesi burulma rijitliğini artırarak deprem davranışını olumlu yönde etkileyebilir.

3A.5. TAŞIYICI SİSTEMDE YETERLİ SÜNEKLİK

Deprem sırasında oluşan etkilerin güvenli biçimde karşılanabilmesi için taşıyıcı sistemin sünek davranış gösterebilmesi gerekir. Bu nedenle tasarım sürecinde yönetmelikte tanımlanan sünek tasarım ve kapasite tasarımı ilkelerine uygun düzenlemeler yapılmalıdır. Böylece deprem sırasında oluşabilecek hasarların belirli bölgelerde kontrollü biçimde oluşması sağlanabilir.

3A.6. KATLARDA VE GEÇİŞ KATLARINDA YETERLİ DÖŞEME RİJİTLİĞİ VE DAYANIMI

Döşemeler deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcı elemanlara iletilmesinde önemli bir rol üstlenir. Bu nedenle döşemelerin düzlem içi rijitliğinin yüksek ve dayanımının yeterli olması gerekir. Döşemelerde oluşan yatay kuvvetlerin kolon ve perdelerle güvenli biçimde aktarılabilirdiği hesaplarla doğrulanmalıdır.

Plan içinde büyük döşeme boşluklarının bulunması kuvvet aktarımını olumsuz etkileyebileceğinden mümkün olduğunca sınırlı tutulmalıdır. Boşluk bulunması durumunda ise boşluk çevresinde yeterli rijitlik sağlayacak elemanların düzenlenmesi gerekir.

Özellikle normal rijitlikteki katlardan bodrum gibi daha rijit katlara geçiş yapılan bölgelerde yer alan döşemelerin, üst katlarda oluşan deprem kuvvetlerini güvenli biçimde bodrum perdelerine aktarabilecek kapasitede olması önemlidir.

Yapısal Tasarımın Temel 6 parametresi ile yapılan değerlendirmeler sonucunda örneklem sayılarının artırılması mümkündür lakin bu kitap bölümünde özellikle 17 Ağustos 1999

depremleri, 240 Ocak 2020 Elazığ depremi ve 6 Şubat 2023 depremleri sebebiyle betonarme yapılarda gözlemlenmiş olan yapısal tasarım hataları ele alınmış ve bunun sonucunda da yapısal düzensizlik durumundaki yapıların deprem sırasındaki dinamik davranışını doğrudan etkileyen kritik parametrelerin doğru ve hatalı tasarımlarına dair ana başlıklar altında kategorize edilmeye çalışılmıştır.

Betonarme binalarda planda ani rijitlik değişimi çoğunlukla şu tasarım kararlarından doğar: perdelerin yalnız merdiven-asansör çekirdeği çevresinde ve planın tek tarafında toplanması; uzun bir cephede çok sayıda perde bulunurken karşı cephede yalnız moment aktaran çerçevelerin bırakılması; zemin katta geniş ticari kullanım için taşıyıcı duvar/perde sürekliliğinin azaltılması; büyük galeri, atrium veya tesisat boşlukları nedeniyle döşeme diyaframının parçalanması; çıkmalı, L, U, T, H, C benzeri girintili-çıkıntılı planlarda kanat rijitliklerinin ana gövdeye göre belirgin biçimde farklı olması. Eurocode 8 bu nedenle C, H, I ve X biçimli planların özellikle döşeme rijitliği ve yan kolların rijitlik dengesi açısından dikkatle incelenmesi gerektiğini söyler (Comité Européen de Normalisation (CEN), 2004).

Türkiye’de de bu davranış özellikle çekirdeğin eksantrik yerleştiği, asmolen veya boşluklu döşeme düzeninin bulunduğu ve perdelerin mimari nedenle dengesiz dağıtıldığı, zayıf aksın bulunduğu, plan düzensizliklerinin olduğu yapılarda sık görülür. TBDY 2018’de A2 düzensizliği kapsamında döşeme düzlem içi rijitlik ve dayanımındaki ani azalmalar ayrıca vurgulanmıştır; bu da plan içi rijitlik değişiminin yalnız düşey taşıyıcı elemanlardan değil, diyafram sürekliliğinden de kaynaklanabileceğini göstermektedir (Comité Européen de Normalisation (CEN), 2004) , (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

2.2. Deprem davranışına etkileri

Bu tür rijitlik düzensizliğinin en temel sonucu, deprem etkilerinin taşıyıcı sistem elemanlarına eşit olmayan biçimde dağılmasıdır. Burulmaya bağlı olarak planın bir kenarında görece kat ötelemeleri büyürken, karşı tarafta daha sınırlı kalabilir. Bunun sonucu olarak dış aks kolonlarında moment ve kesme talepleri artar; perde uç bölgelerinde daha yüksek zorlanmalar oluşabilir; ikincil etkiler ve bazı akslarda daha kritik hale gelebilir. Eurocode 8'in yeterli torsiyonel rijitlik istemesi ve ASCE(American Society of Civil Engineers) yaklaşımının düzensiz konfigürasyonların tasarım varsayımlarını zayıflatabileceğini vurgulaması bu sebeptendir (Comité Européen de Normalisation (CEN), 2004).

Son yıllardaki çalışmalar, plan asimetrisinin ve torsiyonel düzensizliğin, kat ötelemesi taleplerini ve düzensiz eleman zorlanmalarını artırabildiğini; ayrıca komşu yapı çarpışması, zemin-yapı etkileşimi ve doğrultu etkisi gibi ikincil mekanizmalarla birleştiğinde olumsuz sonuçların büyüdüğünü göstermektedir (Hu vd., 2024).

2020 Elazığ (Sivrice) ve 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında gerçekleştirilen saha incelemelerinde; perdelerin simetrik olmayan yerleşim düzeninin ağır konsollarla birleşerek yarattığı burulma düzensizliğinin, özellikle dış aks üzerinde konumlu kolonlarda plastik mafsallı oluşumunu belirgin biçimde tetiklediği ve bu elemanlarda yoğunlaşan hasarların olduğu gözlemlenmiştir.

Bu gözlemler sonucunda, plan içi rijitlik merkezinin yalnızca teorik bir düzenlilik kriteri olmaktan çok öte, deprem sırasında gözlenen gerçek hasar mekanizmalarıyla doğrudan ve güçlü bir bağa sahip olduğunu net bir şekilde doğrulamaktadır (Demir vd., 2025).

2.3. TBDY 2018 açısından A1 Burulma Düzensizliği ve A2 Döşeme Süreksizliği

TBDY 2018’de “planda ani rijitlik değişimi” pratikte en çok A1 Burulma Düzensizliği ile temsil edilir. A1 için esas kontrol, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî kat ötelemeye oranıdır ve η_{bi} ’nin 1.2’den büyük olması durumu, ayrıca görelî kat ötelemeleri, $\pm\%5$ ek dışmerkezlik etkileri dikkate alınarak hesaplanır. Döşeme düzlem içi rijitlik/dayanımındaki ani azalmalar ise A2 kapsamında değerlendirilir. (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Eurocode 8 açısından: plan düzenliliğini daha doğrudan simetri, kompaktlık, diyafram rijitliği ve torsiyonel hassasiyet üzerinden tarif eder. Yapının plan içinde yaklaşık simetrik olması, döşemelerin yeterince rijit davranması, girintili-çıkıntılı planlarda rijit diyafram varsayımının bozulmaması ve kütle merkezi–rijitlik merkezi ilişkisinin torsiyonel açıdan uygun olması beklenir

Eurocode 8 de plan düzenliliği: planın yaklaşık simetrik olması, diyafram rijitliğinin yeterli olması, rijitlik ve kütle dağılımının dengeli olması şeklinde tanımlanır (Comité Européen de Normalisation (CEN), 2004)

ASCE/SEI 7 yaklaşımı: özellikle betonarme perde-çerçeve sistemlerde plan rijitlik dağılımının performans üzerindeki belirleyici rolünü destekler. Betonarme binalarda planda ani rijitlik değişimi, esas olarak yatay taşıyıcı sistemin rijitliğinin planda dengesiz dağılmasından kaynaklanan bir burulma hassasiyeti sorunudur. Bu dengesizlik, rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki eksantriklik mesafesini artırır ve deprem yükü altında yapının hem ötelenme hem de burulma hareketlerini aynı anda şiddetlendirir. Bu yüzden güncel deprem yönetmelikleri, plan düzeninde yaklaşık simetriyi, döşemelerin

yeterli diyafram rijitliğini, burulma rijitliğini ve taşıyıcı elemanların dengeli dağılımını temel tasarım prensipleri arasında saymaktadır (Comité Européen de Normalisation (CEN), 2004).

Eurocode 8, özellikle çevrede yerleştirilen ana yatay dayanım elemanlarının torsiyonel rijitlik açısından avantaj sağladığını; büyük açıklıklı veya girintili planlarda döşeme davranışının ayrıca incelenmesi gerektiğini vurgular (Comité Européen de Normalisation (CEN), 2004).

3. KURAL : PLANDA ANİ RİJİTLİK DEĞİŞİMİ

Deprem mühendisliğinde, planda ani rijitlik değişimi, kat planındaki rijitlik dağılımındaki süreksizlikler olarak tanımlanır; bunlar köşeler (girinti), çıkıntılar veya döşeme süreksizlikleri nedeniyle rijitlik merkezinin kütle merkeziyle çakışmaması sonucu burulma düzensizliği (torsional irregularity) yaratır (Santos vd., 2024). Bahse konu bu düzensizlikler, TBDY 2018'de A1 tipi (burulma), A2 tipi (döşeme süreksizliği) ve A3 tipi (girinti-çıkıntı) şeklinde detaylandırılır; ASCE 7-16'da Type 2a/2b (torsional), Eurocode 8'de ise plan düzensizliği olarak detaylandırılır (FEMA, 2018).

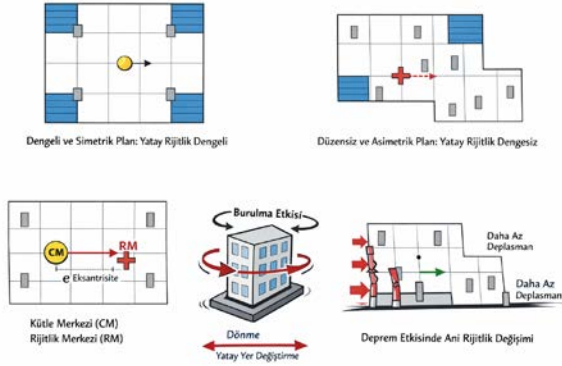
Ani rijitlik değişimi, plan geometrisinde iç/dış köşe süreksizlikleri veya döşeme boşlukları nedeniyle oluşur; rijitlik oranı (η) kritik olup, dış merkezlik burulma momenti doğurur (Raj vd., 2025b).

3.1. Riskler

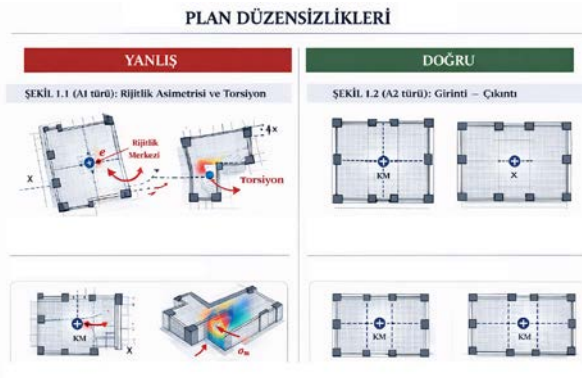
Ani rijitlik değişimleri, depremde gerilme birikimleri ve kesme kırılması riskini artırır; burulma deplasmanlarını yükseltir (Marcilla & Liel, 2018).

3.2. Çözümler

Dilatasyon derzleri, perde duvarlar ve simetrik planlar ile risk azaltılır. (Bonnet vd., 2008)



Şekil 1-1. Planda Ani Rijitlik Değişimi



Şekil 1-2. Planda Ani Rijitlik Değişimi

4. KURAL: PLANDA SİMETRİ

Bina planda olabildiğince basit geometrik ve simetrik şekilde olmalıdır. Bununla birlikte birkaç eksen etrafında simetrilik de deprem ve yapısal burulma açısından faydalıdır. Planda simetri, bir yapının yatay taşıyıcı sistem elemanlarının

(kolon, perde, çerçeve, çekirdek vb.) plan düzleminde geometrik ve rijitlik açısından dengeli ve yaklaşık simetrik dağılıma sahip olması durumudur. Depreme dayanıklı yapı tasarımında plan simetrisi, yapı davranışının öngörülebilir ve düzenli olmasını sağlayan temel tasarım ilkelerinden biridir (Pranava vd., 2025a).

Deprem etkileri altında yapı kütlesi genellikle kütle merkezinde (Center of Mass – CM) etkili kabul edilir. Buna karşılık yatay taşıyıcı sistem elemanlarının rijitlik dağılımı ise rijitlik merkezini (Center of Rigidity – CR) belirler. Eğer plan düzeni simetrik ise:

$$CM \approx CR$$

olur ve yapı deprem sırasında ağırlıklı olarak yalnızca öteleme hareketi yapar. Buna karşılık plan asimetrisi oluştuğunda iki merkez arasında eksantrisite meydana gelir:

$$e = | CM - CR |$$

Bu eksantrisite deprem etkileri altında burulma momenti oluşturur.

Planda simetrik yerleşim, deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanlarına daha homojen dağılmasını sağlar. Bu durum aşağıdaki mühendislik avantajlarını doğurur:

Plandaki geometrik düzensizlikler (L, U, T şekilleri), kütle merkezi (CM) ile rijitlik merkezi (CR) arasında dış merkezlik (e) oluşturur. Bu durum, deprem sırasında yapıda ek bir burulma momenti (M_t) meydana getirir. Simetrik planlarda rijitlik merkezi ile kütle merkezi çakışmaya yakın olduğundan:

$$M_t = V \cdot e$$

burulma momenti küçük olur. Burada: M_t = burulma momenti, V = kat kesme kuvveti , e = eksantrisite olarak verilmiştir.

Eksantrisite küçüldükçe burulma etkisi azalır. Simetrik planlı yapılarda: $\Delta_{max} \approx \Delta_{avg}$ olur.

Bu nedenle TBDY 2018’de tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı : $\eta b = \Delta_{max} / \Delta_{ort}$

olarak hesaplanır. TBDY 2018’e göre: $\eta b > 1.2$ ise A1 Burulma Düzensizliği oluşur.

Simetrik planlarda: eksenel kuvvet dağılımı daha dengeli olur. Bu durum özellikle: plastik mafsallaşmayı, süneklik davranışı, enerji sönümleme kapasitesini olumlu yönde etkiler. Betonarme binalarda plan simetrisi yalnız geometrik değil bir düzen olarak düşünülmemelidir, aynı zamanda rijitlik simetrisi olarak değerlendirilmelidir. Aşağıdaki tasarım ilkelerine örnekler sunulmuştur:

- Perdeler mümkün olduğunca: planın dört kenarına, karşılıklı akslara, merkezden uzak bölgelere yerleştirilmelidir. Bu düzenleme yapının torsiyonel rijitliğini artırır.
- Asansör ve merdiven çekirdeği: planın tam merkezine veya iki yönde simetrik olacak şekilde yerleştirilmelidir. Tek tarafta yoğunlaşan çekirdekler ciddi torsiyon düzensizliği yaratabilir.
- Depreme dayanıklı yapı tasarımında tercih edilen plan şekilleri: kare , dikdörtgen, kompakt planlardır.
- Riskli plan geometrileri: L plan, U plan, T plan, H plan, C plan bu planlarda rijitlik dağılımı dengesiz olabilir.

Araştırmalar plan simetrisinin deprem performansı üzerindeki etkisini açık şekilde göstermektedir (Raj vd., 2025c)

Plan asimetrik binalarda: kat ötelemesi talepleri, kolon momentleri, torsiyonel etkiler önemli ölçüde artmaktadır (Veldurthi, 2021).

Simetrik planlı yapılarda: deprem kuvvetleri daha dengeli dağıldığı, torsiyon etkisinin azaldığı, sünek davranışın daha iyi geliştiği gösterilmiştir (Pranava vd., 2025b).

Plan asimetrisinin özellikle: yüksek katlı yapılarda, perde çekirdekli sistemlerde, torsiyonel düzensizliği büyüttüğünü ortaya koymuştur (Yousef vd., 2025).

4.1. TBDY 2018

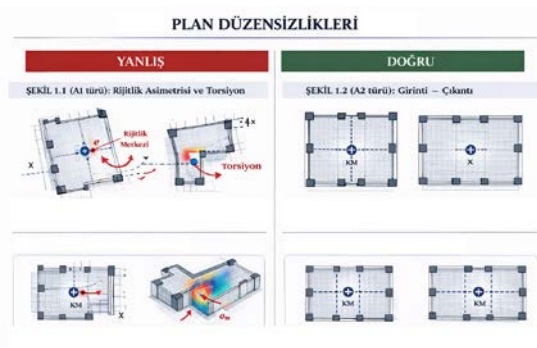
Plan düzenliliği özellikle şu düzensizlikler üzerinden değerlendirilir: A1 Burulma Düzensizliği, A2 Döşeme Süreksizliği, A3 Planda Çıkıntılar dır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında plan simetrisi için temel mühendislik prensibi şöyledir: taşıyıcı sistem elemanları plan içinde mümkün olduğunca simetrik ve dengeli yerleştirilmeli; rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki eksantrisite minimize edilmelidir.

4.2. Riskler

Asimetri, depremde burulma etkilerle gerilme birikimleri ve kesme kırılması riskini artırır; düzensiz planlar düzenli olanlara göre fazla hasar alır.

4.3. Çözümler

Simetrik planlar, dilatasyon derzleri ve perde duvarlar ile burulma risk azaltılır.



Şekil 2: Planda Simetri/Plan Düzensizlikleri

5. KURAL: PLANDA GİRİNTİ VE ÇIKINTI

Plandaki girinti ve çıkıntılardan kaynaklı özellikle köşelerde gerilme yığılmaları, ekzantrisiteden dolayı aşırı burulma etkileri oluşacaktır. Deprem mühendisliğinde, bina planındaki girinti ve çıkıntı düzensizlikleri, sismik yük dağılımını bozarak burulma momenti ve gerilme yığılmalarını artırır. Bu düzensizlikler, yapısal performansı düşürür ve tasarım kodlarında (TBDY 2018, ASCE 7-16, Eurocode 8) A3 tipi olarak sınıflandırılır (Department of Civil Engineering, School of Engineering, Institute of Technology vd., 2023).

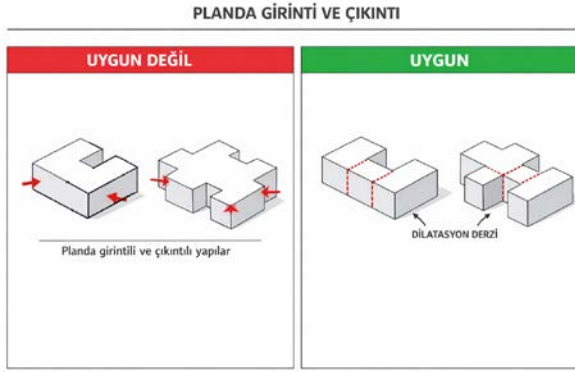
Girinti ve çıkıntılar, plan geometrisinde iç/dış köşe süreksizlikleri yaratır; çıkıntı oranı (A/L) kritik olup, girinti çıkıntılı köşelerde döşeme boşlukları %33'ü aşmamalıdır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018). Deprem mühendisliğinde, bina planındaki girinti ve çıkıntı düzensizlikleri, sismik yük dağılımını bozarak burulma momenti ve gerilme yığılmalarını artırır. Bu düzensizlikler, yapısal performansı düşürür ve tasarım kodlarında (TBDY 2018, ASCE 7-16, Eurocode 8) A3 tipi olarak sınıflandırılır.

5.1. Riskler

Burulma, deplasman amplifikasyonu ve kesme kırılması riskleri yükselir; çıkıntılı planlarda iç kuvvet artışı gözlenir.

5.2. Çözümler

Dilatasyon derzleri (min. 3 cm), perde duvarlar ile risk azaltılır; simetrik planlar tercih edilir.



Şekil 3. Planda Girinti ve Çıkıntı

6. KURAL: DÖŞEME BOŞLUKLARI

Deprem mühendisliğinde döşeme boşlukları; merdiven, asansör veya atrium gibi mimari açıklıklar nedeniyle oluşan kat süreksizlikleri olarak tanımlanır. Bu boşluklar sismik yük dağılımını doğrudan etkiler. Bahse konu döşeme yırtıkları: TBDY-2018'de A2 tipi, ASCE 7-16'da diyafram süreksizliği, Eurocode 8'de ise kat rijitliği yetersizliği olarak sınıflandırılır.

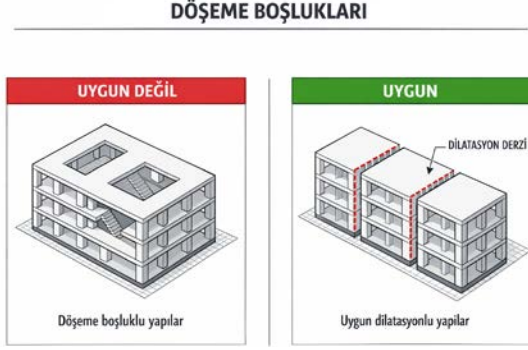
Döşeme boşlukları/yırtıkları, yapının rijit diyafram işlevini zayıflatarak yük aktarımı sırasında burulma ve gerilme yoğunlaşmalarına yol açar. Teknik olarak, boşluk alanının toplam kat alanına oranı yönetmelik sınırlarını aştığında diyafram bölge esnek kabul edilir. Bu durumda, yük dağılımını doğru modellemek için Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) kullanımı gerekmektedir. Özellikle L, C ve H tipi plan geometrilerinde, boşluk kaynaklı rijitlik kayıpları yapısal düzensizliği daha kritik hale getirir.

6.1. Riskler

Boşluklar, burulma düzensizliği (A1 tipi) ve deplasman amplifikasyonu riskini artırır, rijitlik kaybı, iç kuvvetleri yükseltir.

6.2. Çözümler

Dilatasyon derzleri, perde duvarlar ve rijit dolgu ile risk azaltılır; simetrik planlar tercih edilir.



Şekil 4: Döşeme Boşlukları

7. KURAL: CEPHEDE ANİ RİJİTLİK DEĞİŞİMİ

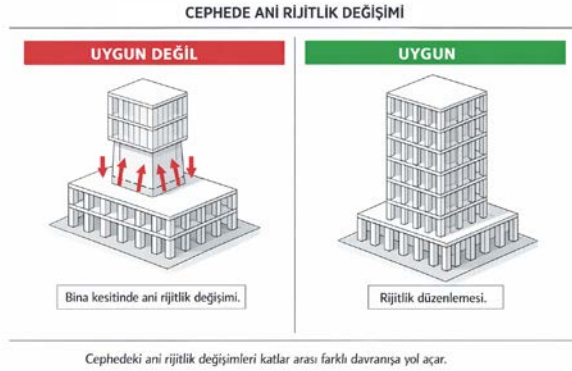
Cephe süreksizlikleri yada cephedeki ani rijitlik değişimleri, büyük gerilme yığılmalarına ve dış ve ikincil veya deprem etkileri altında katlar arasında farklı davranışa neden olan, bu, katlar arası yanal rijitlik veya dayanım farklarının sismik yük dağılımının bozmasıdır.

7.1. Riskler

Bu değişim, deformasyonların yumuşak katta yoğunlaşmasına yol açar; burulma, kesme kırılması ve çökme riskini artırır.

7.2. Çözümler

Perde duvar ekleme, dilatasyon derzleri ve güçlü kolon-zayıf kiriş tasarımı ile risk azaltılır; simetrik cephe tercih edilir



Şekil 5: Cephede Ani Rijitlik Değişimi

8. KURAL: KESİTTE SİMETRİ

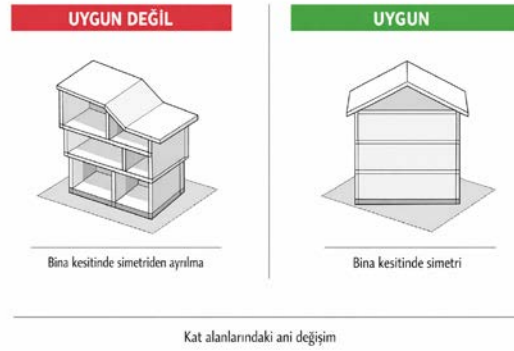
Yapı yüksekliği boyunca kat alanlarında meydana gelen ani ve büyük değişimler sebebiyle deprem etkileri altında yapı davranışını olumsuz yönde etkiler. Deprem mühendisliğinde, kesitte (düşey düzlemde) simetri, yapının katlar arası rijitlik, kütle ve taşıyıcı sistem dağılımının düzenli olmasını ifade eder; bu, sismik yüklerin dengeli dağılımını sağlar ve burulma etkilerini minimize eder.

8.1. Riskler

Asimetri, deformasyonların belirli katlarda yoğunlaşmasına yol açar; burulma, kesme kırılması ve çökme riskini artırır.

8.2. Çözümler

Simetrik kesitler, perde duvar ekleme ve dilatasyon derzleri ile sağlanır; güçlü kolon-zayıf kiriş tasarımı önerilir. Kesit simetrisi, düşey taşıyıcı elemanların (kolon, perde duvar) kesintisiz ve simetrik yerleşimini gerektirdiği gibi, kat rijitliği ve kütlesi sabit veya kademeli azalması durumunu da beraberinde gerektirebilir.



Şekil 6. Kesitte Simetri

9. KURAL: YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİ

Deprem yönüne paralel teşkil edilmiş olan dolgu duvarlar yapıya önemli bir rijitlik kazandırmakta, deprem esnasında taşıyıcı elemanlar gibi destek sağlamaktadır (Moretti vd., 2014). Herhangi bir katının tuğla veya benzeri malzemeli duvarla örülmemiş "yumuşak kat" yapılar deprem açısından oldukça sakıncalıdır. Düşey doğrultudaki rijitlik değişimleri, özellikle zemin katlarının ticari amaçla yüksek ve bölme duvarı içermeyen şekilde tasarlanmasıyla ortaya çıkar. Paulay ve Priestley (1992), bu durumu “süneklik tek bir katta toplanması” olarak tanımlar ve bu katın bir “mekanizma” oluşturarak ani göçmeye neden olduğunu belirtir.

Yumuşak kat düzensizliği genellikle B2 düzensizliği (TBDY 2018) kapsamında değerlendirilir. Teknik olarak, bir katın yanal rijitliği (k_i), üst katın yanal rijitliğinin belirli bir oranından düşük olduğunda yumuşak kat düzensizliği oluşur.

Deprem mühendisliğinde, yumuşak kat düzensizliği, bir katın yanal rijitliğinin bitişik katlara göre belirgin düşük olmasıyla tanımlanır; bu, sismik yüklerin alt katlarda yoğunlaşmasına yol açar

Yumuşak kat, genellikle zemin katlardaki geniş açıklıklar (garaj, dükkan) nedeniyle oluşur; teknik olarak, kat rijitlik oranı (η_{ki}) hesaplanır; bu, sonlu elemanlar analizi (FEA) ile değerlendirilir. Zayıf kat ile karıştırılmamalı; yumuşak kat rijitlik, zayıf kat dayanım odaklıdır.

9.1. Riskler

Yumuşak kat düzensizliği, deprem sırasında deformasyonların tek bir katta yoğunlaşmasına yol açarak iç kuvvetleri artırır ve yapının çökme riskini önemli ölçüde artırır.

9.2. Çözümler

Perde duvar ekleme, çelik çaprazlar ve güçlendirme ile risk azaltılır; rijitlik al ve üst katlar düzeyine getirilir.



Şekil 7 -1. Yumuşak Kat Düzensizliği



Şekil 7-2. Diyafram Süreksizlikleri ve Düşey Alanda Düzensizlikler

10. KURAL : RİJİTLİK DÜZENSİZLİĞİ

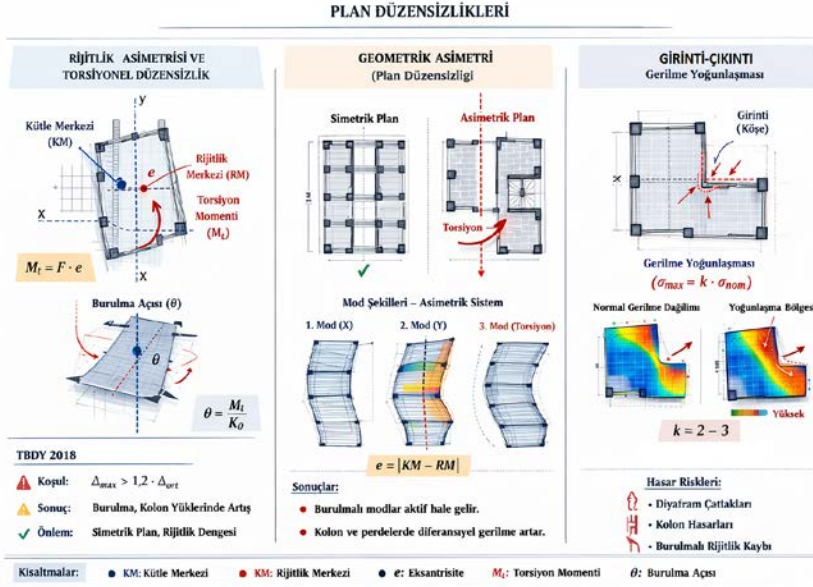
Rijitlik ve kütle düzensizlikleri ile kolon boylarındaki ani değişimler, deprem sırasında yerel gerilme yığılmalarını artırarak yapının hasar görme ve çökme riskini önemli ölçüde yükseltir. Bu tür düzensizlikler bir arada bulunduğu anda, kesme ve moment talebi tasarım değerlerinin çok üzerine çıkmakta ve gevrek kırılma olasılığını güçlendirmektedir.

10.1. Riskler

Görelî kat ötelemesi, büyük yatay deplasman, yumuşak katta kesme etkisinde ani artış ve göçme riski, katlar arası büyük ötelenmeler sebebiyle olası onarım maliyetinde artış gibi riskler görülebilir.

10.2. Çözümler

Bu düzensizlikleri önlemek; zemin katlarda perde teşkili, katlara arası denk rijitlik, etriye sıklaştırması ile sağlanabilir.



Şekil 8. Planda Rijitlik Düzensizliği

11. KURAL: PLANDA NARİNLİK

Planda bir boyutu diğerine göre belirgin şekilde uzun olan yapılar, titreşim, ısı genleşmesi, rötre ve zemin kaynaklı farklı oturmalar nedeniyle uygun genişlikte dilatasyon derzleriyle bölümlere ayrılmalıdır. Bu önlem, deprem sırasında gerilme yığılmalarını, burulma etkilerini ve termal-hacimsel hareketlerden doğan ek yükleri kontrol altına alarak yapının bütünlüğünü korur.

11.1. Riskler

Yüksek diferansiyel oturmalar, uzun doğrultuda düşük rijitlik olasılığı, gibi riskler görülebilir.

11.2. Çözümler

Bu düzensizlikleri önlemek amacıyla; kareye yakın plan tasarımı ,uzun kenar boyunca perde eleman teşkili, taban alanının genişletilmesi, sistemsel dilatasyon ile yapıların bloklar halinde inşası sağlanabilir.



Şekil 9: Planda Narınlık

12. KURAL: KESİTTE NARİNLİK

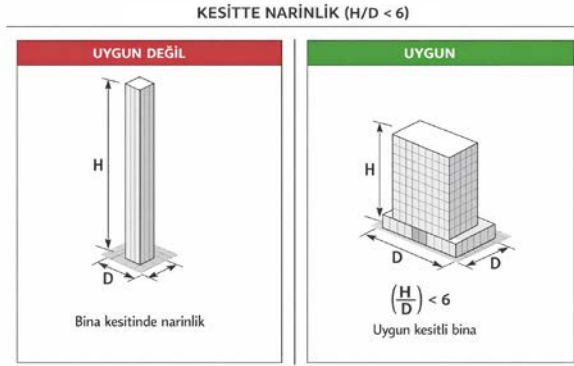
Çok dar taban alanına sahip yüksek yapıların inşası, deprem etkisi altında aşırı narınlık nedeniyle ciddi riskler taşır; bu nedenle yapı yüksekliği ile taban genişliği arasındaki oran (H/D) 6'yı aşmamalıdır. Bu sınırın aşılması durumunda yatay deplasman, burulma momentleri ve belirgin şekilde artar, yapının sismik güvenliğini tehlikeye atar.

12.1. Riskler

Yüksek yatay deplasmanlar, rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasında dış merkezlikte artışa bağlı burulma momentinde artış gibi riskler görülebilir.

12.2. Çözümler

Bu düzensizlikleri önlemek amacıyla; sismik izolatörler, taban alanının genişletilmesi, kat seviyelerinde kademeli daraltma tercih edilmelidir.



Şekil 10: Kesitte Narınlık

13. KURAL: BİTİŞİK BİNALARDA ÇARPIŞMA, ÇEKİÇLEME ETKİSİ

Bitişik binaların birbirine çarpma/çekiçleme etkilerini ortadan kaldırmak için en üst kenarın deplasman miktarları nispetince yapılar arasında dilatasyon derzi bırakılmalıdır. Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve bu değere 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

13.1. Riskler

Bu düzensizlikler, temas bölgelerinde yüksek yerel kuvvet oluşumu ve çekiçleme etkisine bağlı deformasyon, çarpışma durumunda alt katlarda ani yük artışı gibi riskler görülebilir.

13.2. Çözümler

Binalar arasına maksimum deplasman miktarına göre yeterli dilatasyon teşkili, aynı kat seviyelerinin sağlanmasına çalışılmalıdır.



Şekil 11. Bitişik Binalarda Çarpışma Etkisi (Çekiçleme Etkisi)

14. KURAL : KISA KOLON DAVRANIŞI (Farklı Kat Yükseklikleri)

Bitişik veya kademeli yerleşime sahip yapılarda ya da döşeme kotlarının farklı seviyelerde düzenlendiği durumlarda taşıyıcı sistemde rijitlik düzensizliği ortaya çıkabilir. Bu tür düzenlemelerde diğerlerine göre serbest yüksekliği daha az olan kolonlar kısa kolon davranışı göstererek deprem etkileri altında daha büyük yatay kesme kuvvetlerine maruz kalırlar. Deprem mühendisliğinde, rijitlik ve kütle düzensizlikleri, yapının katlar arası rijitlik veya kütle dağılımındaki dengesizlikler olarak tanımlanır; bunlar, sismik yüklerin dengesiz dağılımına yol açarak deprem sırasında büyük gerilme birikimleri ve deformasyon yoğunlaşması yaratır.

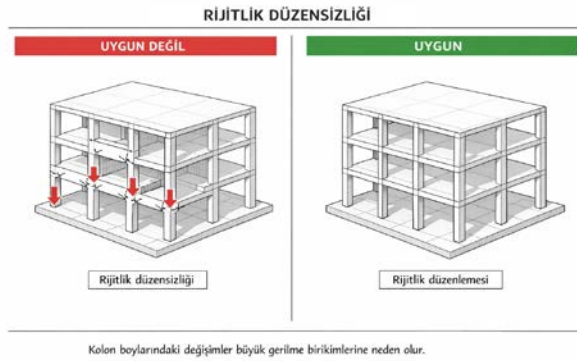
Rijitlik düzensizliği, bir katın yanal rijitliğinin bitişik katlara göre düşük olmasıyla oluşur; kütle düzensizliği ise kat kütlelerinin dengesiz dağılımı (örneğin, ağır çatı katları) nedeniyle rijitlik merkezini kaydırır.

14.1. Riskler

Bu düzensizlikler, depremde gerilme birikimleri ve kesme kırılması riskini artırır; kütle asimetrisi burulma, rijitlik düşüklüğü çökme olasılığını yükseltir.

14.2. Çözümler

Perde duvar ekleme, farklı kat yükseklik teşkilinde kaçınma, asma kat teşkilinden kaçınma, dilatasyon derzleri ve kütle dengesi ile risk azaltılır; simetrik tasarım tercih edilir.



Şekil 12. Rijitlik Düzensizliği

15. KURAL: BANT PENCERE VE KISA KOLON

Bodrum ve zemin katlarda oluşturulan bant pencereler veya asma kat düzenlemeleri, kolonların serbest yüksekliğini kısaltarak kısa kolon oluşumuna neden olabilir. Deprem etkisi altında bu elemanlarda önemli gerilme yoğunlaşmaları meydana gelir ve kolonlar çoğunlukla gevrek karakterli kesme kırılması ile hasara uğrayarak yapısal açıdan ciddi risk oluştururlar. Deprem mühendisliğinde, bant pencere düzensizlikleri, cephede düşey elemanlar arasında yatay uzanan pencere boşluklarının kolon serbest boyunu kısaltarak kısa kolon etkisi yaratmasıyla tanımlanır; bu olumsuz tasarım; deprem yükleri altında kolon elemanlarda yüksek kesme kuvvetleri ve gerilme birikimleri

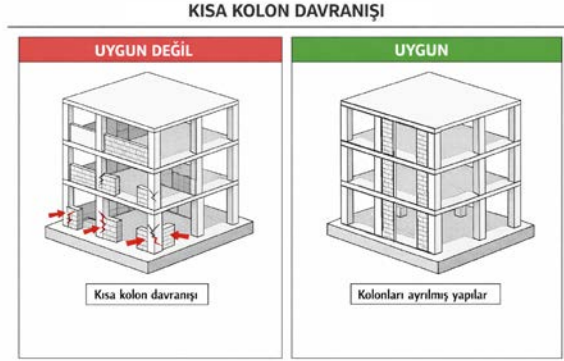
oluşumuna yol açar. Bant pencereler, kolonların etkili yüksekliğini azaltarak rijitliği artırır; bu, kat rijitlik oranını (η_{ki}) bozar ve kesme kuvvetlerini yoğunlaştırır.

15.1. Riskler

Bant pencereler, depremde kesme kırılması (X çatlakları) ve gerilme birikimi riskini artırır; kısa kolonlar kat kuvvetlerini yoğunlaştırır.

15.2. Çözümler

Esnek derzler (min. 3 cm), etriye sıkılaştırması, kolona bitişik dolgu elemanlar ile rijit olmayan bağlantı ve kolon boyunca dolgulu geçiş ve FRP güçlendirme ile risk azaltılır; simetrik cephe tercih edilir.



Şekil 13. Bant Pencere ve Kısa Kolon Etkisi

16. SONUÇ

Sonuç olarak, depreme dayanıklı yapı tasarımı, salt matematiksel modelleme ve hesaplama süreçlerinden çok daha kapsamlı bir disiplindir; mimari formun yarattığı geometrik ve kinematik koşulların, yapısal davranışın sismik performansı ile tam bir uyum içinde olmasını zorunlu kılar. İncelenen plan ve düşey düzensizlikler, rijitlik-kütle merkezlerinin

uyumsuzluğundan kaynaklanan burulma etkileri, deformasyon yoğunlaşması, momentler, kesme göçmesi ve kısmi göçme mekanizmaları gibi kritik hasar modlarını tetikleyebilmekte; bu da deprem sırasında can ve mal kaybının başlıca belirleyicilerinden biri haline gelmektedir.

Bu çalışmada ortaya konan tasarım kurallarının bir ön kabul olarak uygulanması ve mühendislik vizyonu ile şekillendirilmesi, yalnızca yapısal güvenliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda deprem sonrası kullanım sürekliliğini ve ekonomik sürdürülebilirliği de önemli ölçüde güçlendiren temel bir ön koşuldur.

KAYNAKLAR

- Allen, E., & Zalewski, W. (2009). *Form and Forces: Designing Efficient, Expressive Structures*. <https://www.wiley.com>
- Anagnostopoulos, S. A., Kyrkos, M. T., & Stathopoulos, K. G. (2013). *Earthquake Induced Torsion In Buildings: Critical Review And State Of The Art*.
- Bonnet, P. A., Williams, M. S., & Blakeborough, A. (2008). Evaluation of numerical time-integration schemes for real-time hybrid testing. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 37(13), 1467-1490. <https://doi.org/10.1002/eqe.821>
- Chopra, A. K. (2015). *Dynamics of Structures*. Pearson Education.
- Comité Européen de Normalisation (CEN). (2004). *EN 1998-1: Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance (EN 1998-1:2004)*. Comité Européen de Normalisation (CEN). <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf>
- Demir, A., Celebi, E., Ozturk, H., Ozcan, Z., Ozocak, A., Bol, E., Sert, S., Sahin, F. Z., Arslan, E., Dere Yaman, Z., Utkucu, M., & Mert, N. (2025). Destructive impact of successive high magnitude earthquakes occurred in Türkiye's Kahramanmaraş on February 6, 2023. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 23(3), 893-919. <https://doi.org/10.1007/s10518-024-01865-5>
- Department of Civil Engineering, School of Engineering, Institute of Technology, Suthar, J., Purohit, S., & Department of Civil Engineering, School of Engineering, Institute of Technology. (2023). Seismic behaviour of re-entrant dominant RC frame buildings. *Research on Engineering Structures and Materials*. <https://doi.org/10.17515/resm2022.629me1230>
- Ersoy, U., & Özcebe, G. (2021). *Betonarme Davranış ve Hesap İlkeleri* (11. bs., C. 1). Evrim Yayınevi. <https://www.seckin.com.tr/kitap/629681395>

- FEMA. (2018). *Assessing Seismic Performance of Buildings with Configuration Irregularities: Calibrating Current Standards and Practices* (FEMA P-12).
- Ghanem, A., Lee, Y.-J., & Moon, D.-S. (2024). Seismic Vulnerability of Reinforced Concrete Frame Structures: Obtaining Plan or Vertical Mass Irregularity from Structure Use Change. *Journal of Structural Engineering*, 150(3), 04023243. <https://doi.org/10.1061/JSENDH.STENG-12440>
- Hu, Y., Lumantarna, E., Lam, N., & Tsang, H.-H. (2024). New Behavioural Trends of Plan Asymmetric Limited Ductile Buildings Revealed by Incremental Dynamic Analysis. *Journal of Earthquake Engineering*, 28(13), 3724-3743. <https://doi.org/10.1080/13632469.2024.2350547>
- Marcilla, T., & Liel, A. (2018). Torsional Irregularity As A Collapse Indicator For Older Concrete Buildings. *Los Angeles*.
- Moretti, M., Papatheocharis, T., & Perdikaris, P. (2014). Design of Reinforced Concrete Infilled Frames. *Journal of Structural Engineering*, 140, 040140621-0201406210. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001042](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001042)
- Nady, O., Mahfouz, S. Y., & Taher, S. E.-D. F. (2022). Quantification of Vertical Irregularities for Earthquake Resistant Reinforced Concrete Buildings. *Buildings*, 12(8), 1160. <https://doi.org/10.3390/buildings12081160>
- Paulay, T., & Priestley, M. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. Wiley. <https://www.wiley.com>
- Pranava, K., Avinash, A. R., Chaithra, M., Anil, S., & Kamath, K. (2025a). Seismic Performance of Torsionally Irregular Multistorey RC Buildings with Optimised Shear Wall Configurations. *Infrastructures*, 10(11), 296. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10110296>
- Pranava, K., Avinash, A. R., Chaithra, M., Anil, S., & Kamath, K. (2025b). Seismic Performance of Torsionally Irregular

- Multistorey RC Buildings with Optimised Shear Wall Configurations. *Infrastructures*, 10(11), 296. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10110296>
- Raj, K. G., Roopanjali, S., & Akshatha, P. (2025a). Impact of irregularities on seismic fragility of reinforced concrete structures. *Discover Civil Engineering*, 2(1), 101. <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00258-0>
- Raj, K. G., Roopanjali, S., & Akshatha, P. (2025b). Impact of irregularities on seismic fragility of reinforced concrete structures. *Discover Civil Engineering*, 2(1), 101. <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00258-0>
- Raj, K. G., Roopanjali, S., & Akshatha, P. (2025c). Impact of irregularities on seismic fragility of reinforced concrete structures. *Discover Civil Engineering*, 2(1), 101. <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00258-0>
- Santos, D., Melo, J., & Varum, H. (2024). Code Requirements for the Seismic Design of Irregular Elevation RC Structures. *Buildings*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/buildings14051351>
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği* 2018. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf>
- Veldurthi, B. (2021). *Study on Torsion Behaviour of Asymmetric Buildings Under Seismic Loads Using Etabs*. 10(8).
- Yousef, A. M., Ghaleb, A. A., Awad, D. M., & Ghannam, M. (2025). Torsional irregularity of NSC and HSC asymmetric multistory 3-D buildings. *Innovative Infrastructure Solutions*, 10(7), 283. <https://doi.org/10.1007/s41062-025-02052-4>

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ALANINDA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com