



Endüstriyel Hangar Tipi Çelik Yapıda Farklı Makas ve Çapraz Türlerinin Yapısal Sistem Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Investigation The Effects Of Various Truss And Brace Kinds On The Structural System In Industrial Hangar Type Steel Structure

Yağmur Dikiciaşık*¹, İbrahim Tarık Sen¹, Serdar Çarbaş¹

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 70200, Karaman, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 18/09/2023

Kabul / Accepted: 19/10/2023

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2023

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2023

Öz

Teknoloji geliştikçe, yapısal alandaki ihtiyaçlar bilimsel güncel yöntemlere göre değişmektedir. Alternatif yapı metotlarına kıyasla, çelik yapı sistemleri daha dayanıklıdır ve çeşitli yapısal geometrilere güvenli çözümler sunabilmektedir. Bu çalışmada, endüstriyel hangar tipi çelik bir yapının, örgü düzeni ve stabilite durumları değiştirilerek yapısal analizler gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sabit lokasyonda, aynı boyutlarda toplam 24 farklı endüstriyel hangar tipi çelik yapının, farklı 3 makas ve 6 çapraz konfigürasyonu için sabit ve hareketli yükler altında yapısal analizleri gerçekleştirilerek sınır değerler uygulama şartnamelerine göre incelenmiştir. Analizler ve yükleme durumları için TS EN 1991-1-4, TS EN 1991-1-3, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar yönetmelikleri baz alınmıştır. Yapılara, sismik yükler zaman-tanım alanında mod birleştirme yöntemi ile etkililmiş ve 1992 yılında meydana gelen 6,8 Ms büyüklüğündeki Erzincan depreminden elde edilen sismik ivme kayıtları kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır. Çelik elemanların tasarımında Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım hesap yöntemi kullanılmıştır. Yapılarda sadece kapasite tasarımı sınırlandırılarak her tip yapı elemanından en az birinin minimum %80 kapasitede çalışması sağlanıp diğer yapısal tepkiler elde edilmiştir. Yapısal analiz programından elde edilen taban kesme kuvveti, yapı ağırlığı, kolon üst nokta ötelenmesi, tepe noktası ötelenmesi ve maksimum deplasman sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, dışmerkez çaprazlı yapıların yapı ağırlığı açısından, merkezi çaprazlı yapıların ise öteleme açısından daha avantajlı yapısal tepkiler verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Endüstriyel hangar tipi çelik yapı, Merkezi ve dışmerkez çapraz, Kafes yapı sistemi”

Abstract

As technology develops, needs in the structural field evolve in parallel with current scientific methods. Compared to alternative construction methods, steel construction systems are more robust and can provide safe structural solutions to various constructional geometries. In this study, structural analyses of an industrial hangar-type steel structure are carried out by changing the truss arrangement and stability conditions to evaluate comparatively. Structural analyses of a total of 24 different industrial hangar type steel structure having same dimensions on a fixed location are performed for 3 truss and 6 bracing configurations subjected to fixed and live loads to attain limit values according to practice code of structural specifications. Analysis and loading conditions are based on TS EN 1991-1-4, TS EN 1991-1-3, Turkey Building Earthquake Code, Regulation on Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures. Seismic loads are applied to the structures within the time-history mode superposition method and dynamic analyses are performed using seismic acceleration records of the 6.8 Ms Erzincan earthquake occurred in 1992. In the design of the steel elements, the Load and Resistance Factor Design method are considered. By restricting only the capacity design in the structures, at least one of each type of structural element is ensured to operate at a minimum capacity of 80% and other structural responses are obtained. The base shear force, structural weight, column top drift, apex drift and maximum displacement results obtained from the structural analysis program are comparatively evaluated. As a result, it is observed that eccentrically braced structures provide more advantageous structural responses in terms of structural weight, while concentrically braced structures provide more advantageous structural responses in terms of drift and displacement.

Key Words

“Industrial hangar type steel structure, Concentrically and eccentrically brace, Truss structure system”

1. Giriş

Gelişen teknoloji ve değişen dünya koşullarına bağlı olarak farklı yapı inşa yöntemleri ve birçok yapı türü ortaya çıkmıştır. Özellikle ulaşım ağlarının genişlemesi hammadde elde edilmesini kolaylaştırmış, hammadde veya ana ürünlerin konumu ne olursa olsun çeşitli bölgelerde endüstriyel faaliyetlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu bağlamda, endüstriyel yapılarda yaygın olarak betonarme prefabrik veya çelik konstrüksiyon sistemler tercih edilmektedir. Prefabrik sistemler, aşırı yükseklik veya geniş açıklık gerektirmeyen standart tasarımlarıyla maliyet ve işçilik avantajı sunmakta, basit ve hızlı çözüm sağlayabilmektedir. Ancak üretim ve imalat süreçlerinde hava şartları gibi dış etkenlerden etkilenmesi, uzun açıklıklı, çok katmanlı ve düzensiz şekilli yapıların ihtiyacını karşılayamaması bu yapısal sistemler için büyük bir dezavantajdır. Çelik yapı sistemleri ise bünyelerinde çok sayıda destek elemanı (kiriş, kolon vb.) ve ikincil destek elemanlarını (levhalar, civatalar, gergiler vb.) barındıran ve hassas bir projeye göre özenle üretilip monte edilen yapısal sistemler olduğundan ilk yapım maliyeti açısından dezavantajlı yönleri olmasına rağmen, endüstriyel alanlara yönelik gelişmiş yapı taleplerine karşı nitelikli ve daha avantajlı konstrüktif çözümler sunabilmektedirler.

Bu çalışmada günümüz yapı sektöründe önemli bir yere sahip endüstriyel hangar tipi çelik bir yapının değişik tasarım parametrelerine göre yapısal analizleri icra edilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Sabit bir lokasyon üzerinde aynı boyutlara sahip toplam 24 farklı endüstriyel hangar tipi çelik yapının, farklı 3 makas ve 6 çapraz sistemi için sabit ve hareketli yükler altında yapısal analizleri gerçekleştirilmiş, elde edilen sınır değerler incelenmiştir. Bunlara ek olarak çaprazsız ve deprem kırıksız çerçeve sistem ve deprem kirişli ilaveli çerçeve sistem ile yapısal analizler icra edilerek toplamda 8 çerçeve tipi üzerinden elde edilen sonuçlar üzerinde de karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bu çalışmanın literatüre yaptığı katkısı göstermek amacıyla çalışma konusu ile ilgili olarak literatürde var olan mevcut çalışmalar şu şekilde özetlenmiştir; Özcihan (2001) araştırmasında, merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik yapısal sistemlerin doğrusal olmayan davranışını araştırmıştır. Yapının düşey yükler etkisinde doğrusal elastik davranışta bulunduğu, yatay işletme yüklerinin etkisinde ise plastik davranışta bulunduğunu gözlemlemiştir. Bunun yanı sıra TS 4561-Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesaplanmasına İlişkin Kurallar standartlarının güvenlik açısından tutarlı olduğu sonucunu elde etmiştir. Çelik (2003) yaptığı çalışmada, döneminde yürürlükte bulunan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğin (ABYYHY'98) ve Amerikan Çelik Yapı Yönetmeliği'nin 8. Bölümünde yer alan çelik yapılar için sismik tasarım kurallarına yer vermiştir. Çelik yapılara ilişkin daha kapsamlı uluslararası düzenlemeleri (AISC-American Institute of Steel Construction) inceleyerek, bu yönde ülkemiz mevzuatlarının eksik ve yetersiz alanlarını incelemiştir. Ayrıca merkezi ve dışmerkez çaprazlı bir çelik yapı modelleyerek merkezi kirişin eksenel kuvvet değerinin dışmerkez çapraz yapı elemanlarından daha büyük olduğu sonucuna varmıştır. Kocabaş (2005) çalışmasında, TDY 98, TS 498 ve TS 648 yönetmelikleri çerçevesinde üç farklı çelik yapının analiz ve tasarım sürecini tamamlamış ve çapraz uygulamalarının yapının ağırlığını azalttığını ve yer değiştirme değerlerini önemli ölçüde sınırladığını tespit etmiştir. Eşsiz (2005) çalışmasında, sismik kuvvetlerin çoğunluğunun yapılara yatay kuvvetler olarak etki ederek özellikle yüksek binalarda ciddi hasarlara neden olduğunu belirtmiştir. Çelik çaprazların yatay sismik kuvvetleri önemli ölçüde sönmüleyebildiğini, büyük ölçekli yıkımları ve olumsuz sonuçları önleyebildiğini tespit etmiştir. Korkmaz (2007) çalışmasında, çok katlı betonarme bir yapıya çeşitli şekillerde çelik çaprazlar ekleyerek yapısal analizler yapmıştır. Bu çalışmada, V çapraz model tercih ederek yapısal analizlerini aynı doğrultuda, düşey doğrultuda ve farklı doğrultularda olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, düzgün olmayan çaprazlı dağılımla modellenen yapıların yer değiştirme açısından daha olumlu sonuçlar verebileceğini belirtmiştir. Çileli (2008), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY2007) kapsamında farklı tip ve çapraz düzenlemelerine sahip 20 katlı bir çelik yapı tasarlamış ve yapısal analizlerini gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, merkezi çapraz sisteminin yapıda yatay yer değiştirmeleri engelleyebilmek için kesitlere yüksek yükler bindirdiğini ve yapının ağırlığını önemli derecede arttırdığını tespit etmiştir. Ayrıca dışmerkez çaprazlardan özellikle ters V çaprazlı yapı modellerinin küçük kesitli elemanlar için daha fazla ötelenme değerlerine karşı koyabildiğini ve dışmerkez çapraz elemanların genele bakıldığında daha avantajlı kısımda kaldığı bulgusuna varmıştır. Can (2008) çalışmasında, sünekliği yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveye sahip 6 katlı bir yapısal sistem tasarlamıştır. Çalışmanın yapıldığı dönemde Türkiye'de yapı yürürlükte bulunan TDY 2007 ve TS 648 standartlarının yük kombinasyonları ve çapraz türleri açısından yetersiz olduğu sonucuna varmıştır. Standart yapısal limit değerlerin belirlenmesinde ABD yapı mevzuatlarından biri olan Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7) ve American Institute of Steel Construction (AISC 360-05) yönetmeliklerini kullanmıştır. Aynı zamanda X çaprazlı olarak modellediği yapı ile yapısal bir analiz yapmış ve mevzuattaki yetersizliği eleştirmiştir. Mungan (2009), çelik konstrüksiyon sistemli sanayi yapılarında makas modellerinin önemini belirlemek amacıyla TDY 2007 ve TS 648 standartlarını temel alan yapısal analiz programı kullanarak üç farklı makas tipini irdelenmiştir. Bu makas modellerinin yapay enkesitli profil makaslar, prefabrik profillerden üretilmiş makaslar ve kafes sistem yapısına sahip olan makaslar olduğunu belirtmiştir. İlâveten, yüksekliği az ve açıklıkları geniş olan yapılar için kafes sistem makas modelinin sehim değerleri ve yapısal ağırlık açısından daha avantajlı olabileceği sonucuna ulaşmıştır. Civelek (2010) araştırmasında, 1959 senesinde ABD'nin New York eyaletinde mevcut bulunan çok katlı bir çelik yapının günümüz koşullarına ve teknolojisine göre İstanbul-Maslak konumunda yeniden inşasını ele almıştır. Yapısal analizlerde söz konusu binanın inşa edildiği sırada kullanılmayan dışmerkez çapraz modelini kullanmış ve dışmerkez çapraz kullanılan bir bina tasarımının daha avantajlı olabileceği sonucuna varmıştır. Alicioğlu (2011), farklı kesitlere sahip merkezi çaprazlı bir çelik yapının analizini yapmış ve elde edilen sonuçları değerlendirmiştir. Daire kesit, kare kesit, I-kesit, dikdörtgen kesit ve T-kesit gibi beş farklı geometrik modeli eşit kesit alanı ve uzunluklarla irdelenmiştir. Sonuçlar değişik tipte kesitlerin kullanılmasının farklı çapraz tiplerinde optimum değerler verdiğini göstermiştir. Kural ve Zeybek (2011) çok katlı çelik yapılarda moment aktarabilen çerçeve yapılar ile merkezi çelik çapraz modele sahip yapıları ikinci dereceden etkiler açısından karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak çapraz içeren yapısal sistemin ikincil etkiler açısından faydalı sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir. Türk (2016), merkezi çelik çaprazlı yüksek

katlı bir çelik yapı tasarlayarak döneminde taslak halinde bulunan Türküye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2016) ve yürürlükte olan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (ÇYTHYE 2016) yönetmelikleri kapsamında gerçek sismik veriler ile yapısal analizler icra etmiştir. Yapısal analiz sonuçlarına göre göçme sırasında çapraz perde elemanların önemli rol oynadığını ve amaçlandığı gibi plastikleşmenin ilk olarak çaprazlarda başladığını tespit etmiştir. Lekesiz (2016), merkezi çaprazlı perdelerin dört farklı tipini araştırmıştır. Diyagonal tip, ters V tip, X tip ve iki katta bir X tip olarak tasarlanan bu çaprazlı perde modelleri arasında sismik performans açısından ters V tip çaprazlı modelin en olumsuz değerlere sahip olduğu sonucuna varmıştır. Akgönen (2017), dört farklı çerçeve sistemine sahip yüksek katlı çelik yapılar tasarlamış ve bunları yatay kuvvetler altında test etmiştir. Bunlar diyagonal çaprazlar, X çaprazlar, V çaprazlar ve çaprazsız yüksek süneklığe sahip çerçeve sistemler olup yapısal analiz sonucunda X çapraz modelin enerji emilimi ve rijitlik açısından yatay kuvvetlere karşı üstün performans sergileyebileceği sonucuna varmıştır. Nayak vd., (2018) moment aktarabilen çelik çerçeve sistemine ve merkezi çelik çapraz tasarımına sahip üç katlı bir çelik yapıyı çeşitli çapraz düzenler deneyerek analiz etmiştir. Örgü düzeni olarak her katı X tipi, iki katı X tipi ve üç katı X tipi olacak şekilde yapısal analizler yapmıştır. Sonuçlar, çaprazlı yapısal sistemin çaprazsız çerçeveli sisteme göre optimum sonuçlar verdiğini, örgüsel çaprazlı modellerden her katı X tipi olan modelin en avantajlı olduğunu göstermiştir. Bayram vd., (2019) moment aktarabilen çelik çerçeve sistemi ve dışmerkez çelik çapraz modeli olan aynı boyutlardaki 5 katlı iki çelik binayı Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE 2018) yönetmeliğince analiz etmişlerdir. Elde ettikleri değerler dışmerkez çaprazlı yapı sistemlerinin yatay deplasman ve yapısal ağırlık açısından daha avantajlı olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Arıbaş vd., (2019) araştırmalarında inceledikleri 5 katlı çelik bir bina için çaprazsız çerçeve sistemini ve dışmerkez V çaprazlı yapı sistemini ayrı ayrı kullanarak yapısal analizler gerçekleştirmiş ve dışmerkez çapraz sistemlerle modellenen yapıların diğer çerçeve yapılarına göre çok daha optimum değerlerle modellenebileceğini belirtmişlerdir. Sancioğlu vd., (2019) 5 katta sahip bir çelik binanın yapısal analizini çaprazsız çerçeve sistem ve dışmerkez çaprazlı çerçeve sistem tasarımıyla inceleyerek çaprazlı tasarımların kesit alanını azaltıp yapının ağırlığını önemli ölçüde düşürdüğünü ve dolayısı ile sismik kuvvetleri de azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, az katlı çelik yapılarda çaprazların davranışı incelendiğinde geçerli bir sonuç elde edilebilmesi için uzun açıklıklı ve yüksek katlı binalara öncelik verilmesi gerektiğini önermişlerdir. Putra ve Tarigan (2019), moment aktarabilen çerçeve sistemi ve merkezi X çaprazlı çerçeve sisteme sahip 6 katlı bir çelik yapıyı analiz etmişlerdir. Ayrıca yapıya itme analizi uygulamışlardır. Sonuçlar, çaprazsız çerçeve sisteminin yapısal ağırlığının fazla olduğunu ve itme analizi ile çerçeve sisteminin performans sonuçlarının LS (Can Güvenliği) düzeyinde, çaprazlı çerçeve sistemin ise IO (Hemen Kullanım) düzeyinde olduğunu göstermektedir. Verileri değerlendirdikten sonra çaprazlı sistemin daha güvenli ve ekonomik bir çözüm sağlayabileceği kanaatine varmışlardır. Yanık (2019), DBYBHY 2007 çerçevesinde aynı kat planına sahip 4 katlı, 8 katlı ve 12 katlı üç farklı moment aktarabilen çelik binanın yapısal analizlerini gerçekleştirmiştir. Merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik bina modelleri üzerinden yapısal analizler yaparak elde edilen bulguları karşılaştırmıştır. 4 katlı bir bina için analitik değerlerde önemli bir farklılık olmamasına rağmen, 8 katlı ve 12 katlı binalarda dışmerkez çapraz kullanımının güvenlik ve ekonomi açısından olumlu sonuçlar verebileceğini belirtmiştir. Kumar vd., (2020) dört farklı tasarım kullanarak 15 katlı bir çelik yapının yapısal analizini gerçekleştirmiştir. Moment aktarabilen çelik çerçeve sistem, diyagonal çapraz sistem, X tipi çapraz sistem ve V tipi çapraz sistem olarak tasarlanan bu modellerin analizi sonucunda X tipi çapraz sistemin taban kesme kuvveti ve yer değiştirme açısından daha avantajlı bir tasarım olduğu sonucuna varmışlardır. Altan (2020) 5 katlı, 10 katlı ve 15 katlı moment aktarabilen çelik çerçeve sistemlerin analizini SAP2000 analiz programını kullanarak gerçekleştirmiştir. TBDY 2018 şartnamesi kapsamında yapıya merkezi ve dışmerkez çaprazları ekleyerek çeşitli karşılaştırmalar gerçekleştirerek çaprazlı çerçeve sistemlerin çaprazsız çerçeve sistemlere göre daha stabil sonuçlar verdiğini tespit etmiştir. Yıldızhan Sağır (2021) Elazığ'da yapılması düşünülen 5 ve 10 katlı moment aktarabilen çelik yapıların yapısal analizlerini TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2018 kapsamında gerçekleştirmiştir. Yapılarda, merkezi ters V çapraz model ve V çapraz modellerini birleştirerek iki katta bir X çapraz tasarımı oluşturmuştur. Moment aktaran çerçeveler ile çaprazlı modelleri karşılaştırdığında çaprazlı modellerde daha ideal veriler elde ettiğini belirtmiştir. Şeker (2021), 3 katlı ve 5 katlı çelik yapıları dışmerkez çelik çapraz sistemlerle çözerek bir karşılaştırma yapmıştır. Verileri değerlendirdiğinde beklendiği gibi dışmerkez çapraz sistemin moment aktaran çerçeve sistemine göre daha verimli yapısal performans gösterdiği sonucuna varmıştır. Ayrıca dışmerkez diyagonal, ters V ve V çapraz modeller arasında ters V çapraz modelinin yapılar için daha verimli sonuçlara ulaştırdığını tespit etmiştir. Sancioğlu ve Çarbaş (2021), merkezi çelik çapraz sisteme sahip beş katlı bir çelik yapı üzerinde çalışmışlardır. Merkezi çapraz sisteminin, görece kat ötelemeleri ve x- ve y-yönlerindeki yer değiştirme açısından moment aktaran çerçeve sistemine göre avantajları olduğunu elde etmişlerdir. Ayrıca, merkezi çapraz sistemleriyle analiz edilen yapıların daha düşük doğal hakim titreşim periyoduna sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Karataş (2022), beş farklı tasarıma sahip bir çelik yapısal sistemi (çaprazsız çerçeve, diyagonal çapraz, ters V çapraz, V çapraz ve X çapraz) 20 katlı olarak çalışmıştır. Yapılar çeşitli deprem analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiş ve tasarlanmıştır. Ortaya çıkan verilere göre ideal yapısal tasarımın güvenlik, ekonomi, yapısal ağırlık ve taban kesme açısından X çapraz model, yer değiştirme açısından ise ters V çapraz model olduğunu elde etmiştir. Öneri olarak yüksek katlı çelik yapının mutlaka çapraz sistemle çözülmesi gerektiğini de belirtmiştir.

Araştırma kapsamında yapısal tasarımlar için TS EN 1991-1-4, TS EN 1991-1-3, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) ve Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE 2018) yönetmeliği mevzuatları esas alınmıştır. Zaman-tanım alanında mod birleştirme yöntemi kapsamında 1992 Erzincan depreminin 6,8 M_s büyüklüğündeki deprem kayıtları kullanılarak gerçek sismik ivmelerle dinamik analizler yapılmıştır. Çelik elemanların tasarım ve hesabında ÇYTHYE 2018 kapsamındaki Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım yöntemi kullanılmıştır. SAP2000 yapısal analiz programında modellemeleri yapılan yapılara kar yükleri, rüzgar yükleri, deprem yükleri gibi ortak yükler şartnameler uyarınca uygulanmış, TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2018'de bulunan standart analiz parametreleri tanımlanmıştır. Daha sonra bu ortak parametreler kullanılarak 3 farklı makas ve 6 farklı çapraz türü ile tasarlanan 8 farklı çerçeve tipi modellenmiş ve yapısal analiz uygulanmıştır. Elde edilen yapısal bulgularda daha gerçekçi irdelermeler yapılabilmesi için sadece kapasite tasarımı sınırlı tutularak her tip yapı elemanından en az birinin %80 kapasite oranında çalışması

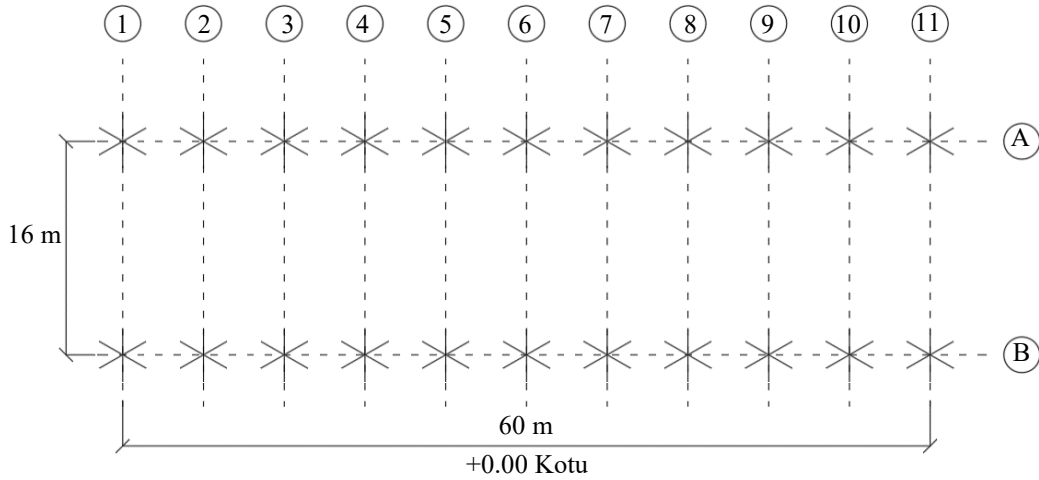
sağlanmıştır. SAP2000 yapısal analiz programından elde edilen verilerden taban kesme kuvvetleri, yapı ağırlıkları, kolon üst nokta ötelenmeleri, tepe noktası ötelenmeleri ve maksimum ötelenme değerleri karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında endüstriyel hangar tipi çelik bir yapı tasarlanmış ve yapısal analizler icra edilmiştir. İlgili yapı için konum olarak Konya sanayi bölgesi 37.92517° enlem ve 32.56292° boylam, zemin sınıfı olarak da ZD Zemin Grubu (orta sıkı kum, çakıl ya da çok katı killer) varsayılarak Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'ndan gerekli veriler temin edilmiştir.

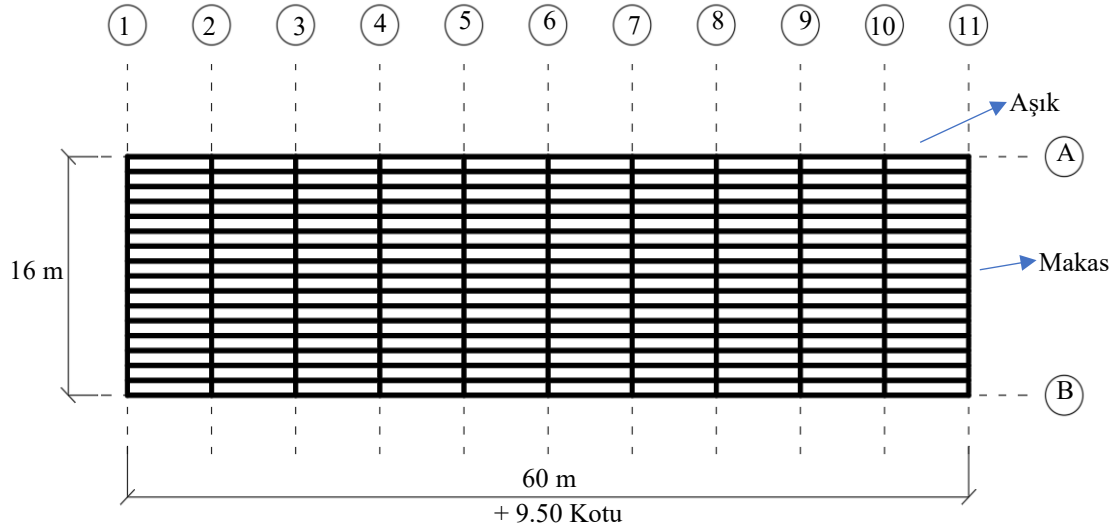
Yapıya etkileyen rüzgar yükleri TS EN 1991-1-4'e göre, kar yükleri ise TS EN 1991-1-3'e göre hesaplanmıştır. Deprem hesap yöntemi olarak TBDY 2018 içerisinde bulunan zaman-tanım alanında mod birleştirme yöntemi (time-history analysis) kullanılmış ve 1992 yılında meydana gelen 6,8 büyüklüğündeki Erzincan depremine ait deprem kaydı dikkate alınarak gerçek deprem ivmeleri ile yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. ÇYTHYDE 2018 kapsamında çelik elemanların tamamı için S235 kalitesinde çelik malzeme dikkate alınmıştır.

Şekil 1'de görüldüğü gibi endüstriyel hangar tipi çelik yapının oturma alanı 60m×16m olacak şekilde tasarlanmış olup, toplam 11 çerçeveden oluşan tek açıklıkta çift kolon-makas yapısal sistemiyle modellenmiştir.



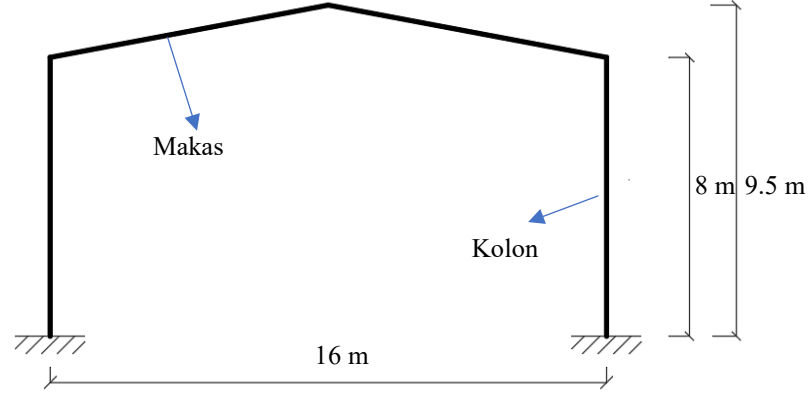
Şekil 1. Endüstriyel hangar tipi çelik yapının kat planı ve ölçüleri.

Tasarlanan endüstriyel hangar tipi çelik yapı taşıyıcı örgü kolonlar, ana kirişler (makaslar), aşıklar, deprem kirişleri ve çaprazlardan oluşmaktadır. Ortak elemanlar olan kolonlar, ana kirişler ve aşık elemanlardan oluşan çerçeve sistem Şekil 2'de gösterilmiştir.

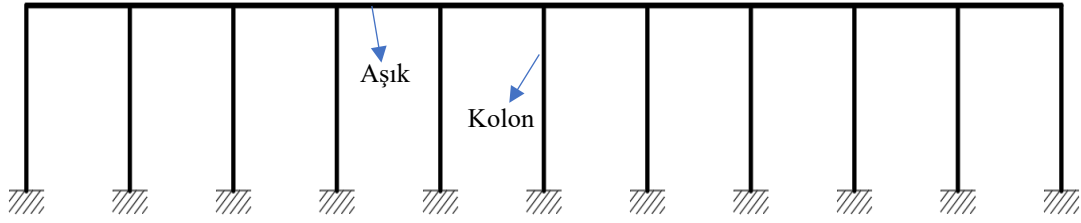


Şekil 2. Endüstriyel hangar tipi çelik yapının kat planı ve taşıyıcı elemanları.

Yapısal modelde çerçeve sistemi oluşturan kolonlar, aşıklar ve makaslardan; kolonların kesitleri HEA profillerden, aşıkların kesitleri IPE profillerden, makasların kesitleri ise tasarıma göre farklılıklar göstermekte olup ince cidarlı dikdörtgen kutu profilden ve IPE profillerden meydana gelmektedir. Yapısal sistem içerisindeki kolonların yüksekliği 8 m, açıklıkları 16 m olarak dikkate alınırken tepe noktası olarak belirlenen mahya yüksekliği 9,5 m olacak şekilde dizayn edilmiştir (Şekil 3). 11 adet çerçeve sistemin bir araya getirilmesiyle oluşturulan endüstriyel çelik hangar yapısında iki çerçeve sistemin aralığı 6 m olarak belirlenirken yapının toplam uzunluğu 60 m olarak belirlenmiştir (Şekil 4).

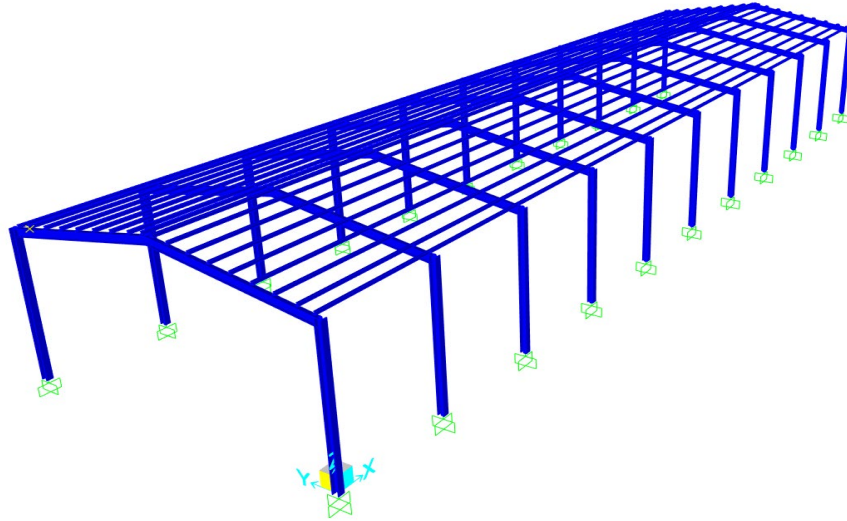


Şekil 3. Yapının 1-1 aksı detayları.



Şekil 4. Yapının A-A aksı detayları.

Aşık elemanlar, çerçevelerin aralığında ve makas üzerinde eşit mesafelerle toplam 18 adet olacak şekilde konumlandırılmış olup yapının üç boyutlu modeli Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Endüstriyel hangar tipi çelik yapının üç boyutlu (3D) görünümü.

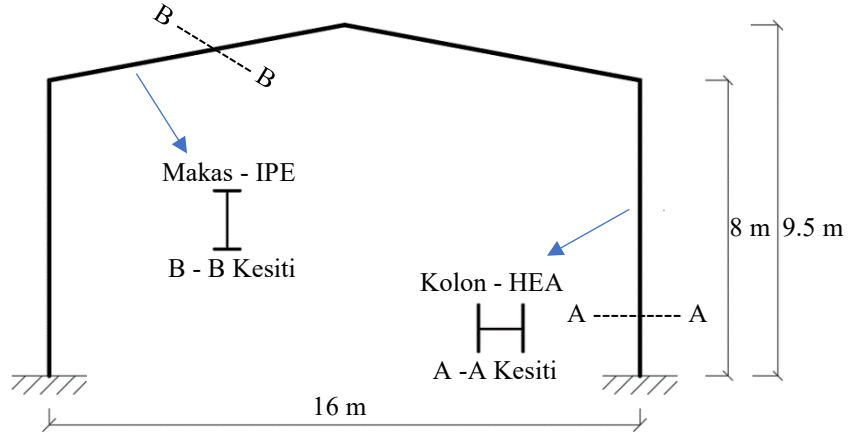
2.1. Makas ve Çapraz Özellikleri

Bu çalışmada ele alınan çelik yapı sistemleri ile analiz edilen farklı örgü düzenindeki endüstriyel hangar tipi çelik yapılar, 6 farklı çapraz tipi ve 3 farklı makas türü olmak üzere toplamda 24 adet olarak ele alınmıştır. Bunlar “Dolu Gövdeli Makas (DGM)”, “Simetrik Kafes Sistem Makas (SKSM)”, “Örgü Kafes Sistem Makas (ÖKSM)” olmak üzere 3 farklı makas türü olarak; “Diyagonal Merkezi Çapraz”, “Ters V Merkezi Çapraz”, “V Merkezi Çapraz”, “Diyagonal Dışmerkez Çapraz”, “Ters V Dışmerkez Çapraz”, “V Dışmerkez Çapraz” olacak şekilde merkezi ve dışmerkez olmak üzere toplam 6 farklı çapraz sistemi olarak isimlendirilmiştir.

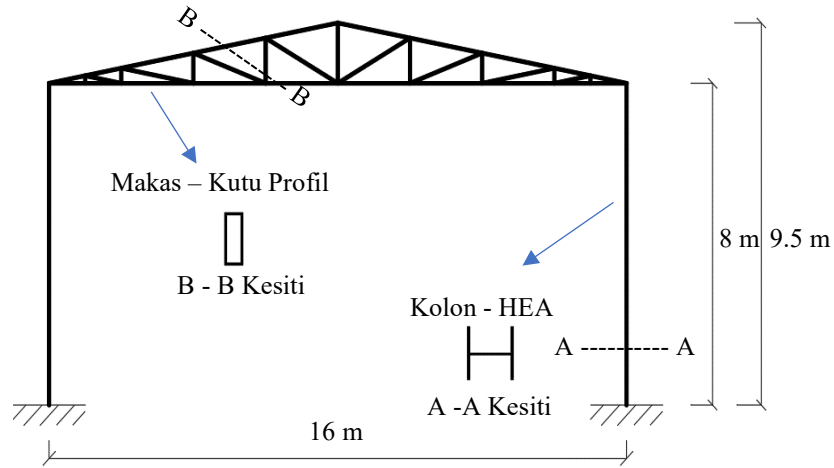
Bunlara ek olarak çaprazsız ve deprem kirişsiz çerçeve sistem ve deprem kirişi ilaveli çerçeve sistem ile yapısal analizler icra edilerek elde edilen sonuçlar üzerinde karşılaştırmalar yapılmıştır.

8 farklı çerçeve sistem düzeni ve 3 farklı makas yapısı üzerinden değerlendirilen modellerin çerçeve tipleri; “Çaprazsız Çerçeve (Moment Aktaran)”, “Çaprazsız Deprem Kirişli Çerçeve”, “Diyagonal Merkezi Çaprazlı”, “Ters V Merkezi Çaprazlı”, “V Merkezi Çaprazlı”, “Diyagonal Dışmerkez Çaprazlı”, “Ters V Dışmerkez Çaprazlı”, “V Dışmerkez Çaprazlı” şeklinde belirlenmiştir.

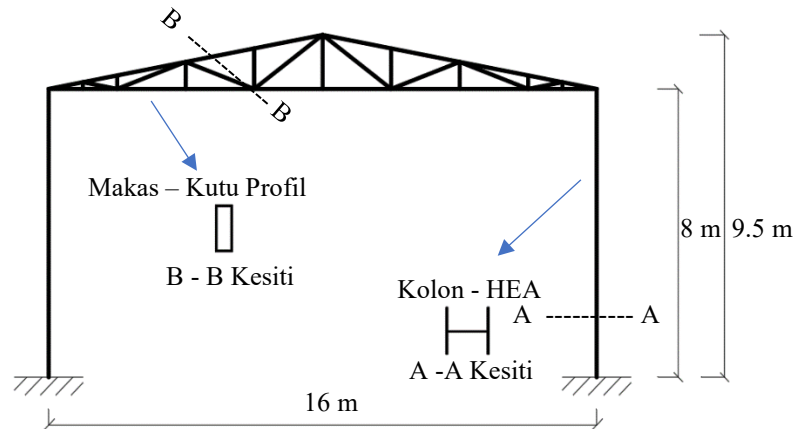
Makas örgü düzeninde incelenen üç ayrı yapısal sistemden ilki dolu gövdeli makas sistem yekpare tek profilden oluşmakta, diğer yapısal sistemler ise kafes sistem mantığında örgü düzeni içinde makas görevi görmektedir. Makas tipleri sırasıyla Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 6. Dolu gövdeli makas türü.

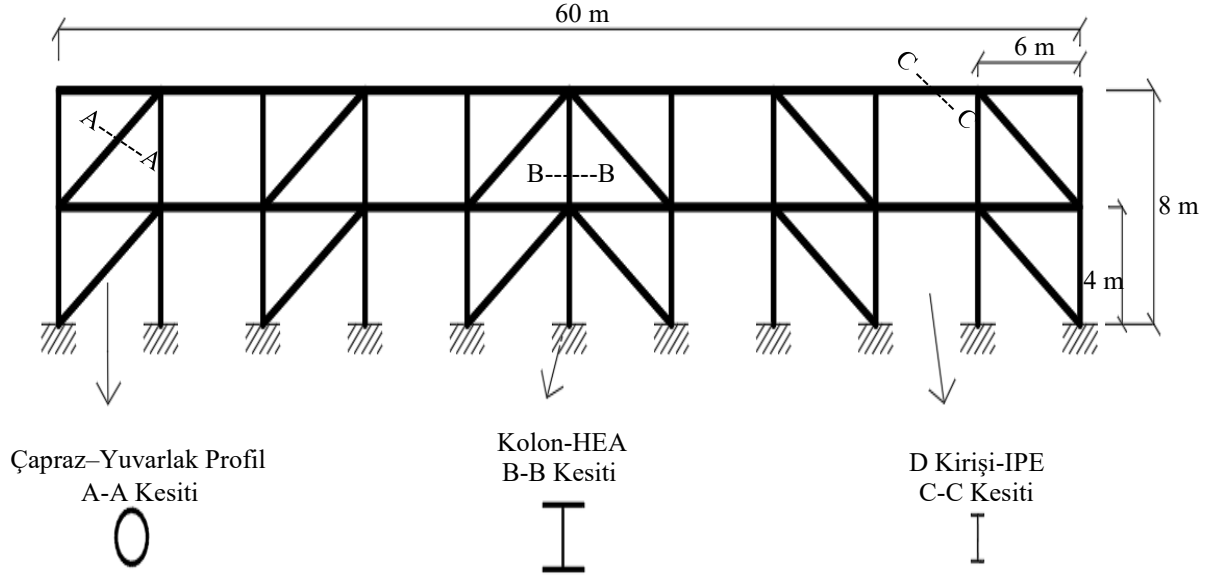


Şekil 7. Simetrik kafes sistem makas türü.

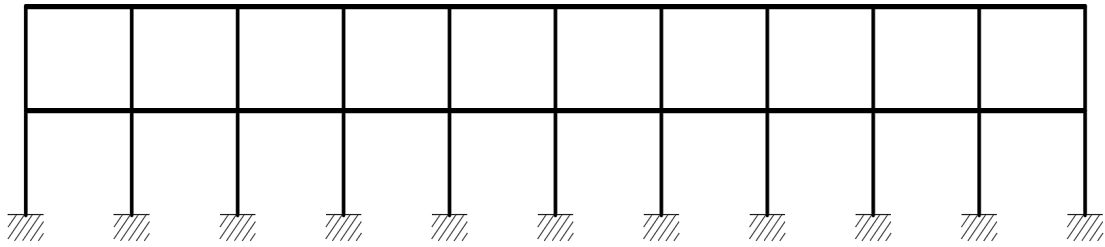


Şekil 8. Örgü kafes sistem makas türü.

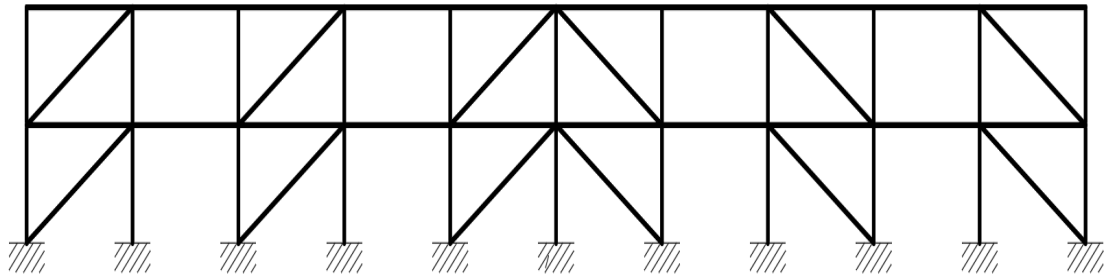
Çapraz elemanların tayininde TBDY 2018’de bulunan merkezi çapraz ve dışmerkez çelik çapraz türleri esas alınmıştır. TBDY 2018’de belirtilen merkezi ve dışmerkez çaprazlardan aynı geometride olan türler seçilmiş, bu sayede aynı geometride merkezi ve dışmerkez çaprazların davranışları karşılaştırıldığında daha net verilerin ortaya çıkabilmesi amaçlanmıştır. Çapraz sisteminin, kolonların ve deprem kirişinin kesit tayini Şekil 9’da, sadece deprem kirişli (çaprazsız) olan çerçeve sistem ise Şekil 10’da belirtilmiştir. Bu doğrultuda kullanılan çerçeve türlerinden diyagonal merkezi çapraz Şekil 11’de, ters V merkezi çapraz Şekil 12’de, V merkezi çapraz Şekil 13’te, diyagonal dışmerkez çapraz Şekil 14’te, ters V dışmerkez çapraz Şekil 15’te, V dışmerkez çapraz Şekil 16’da belirtilmiştir.



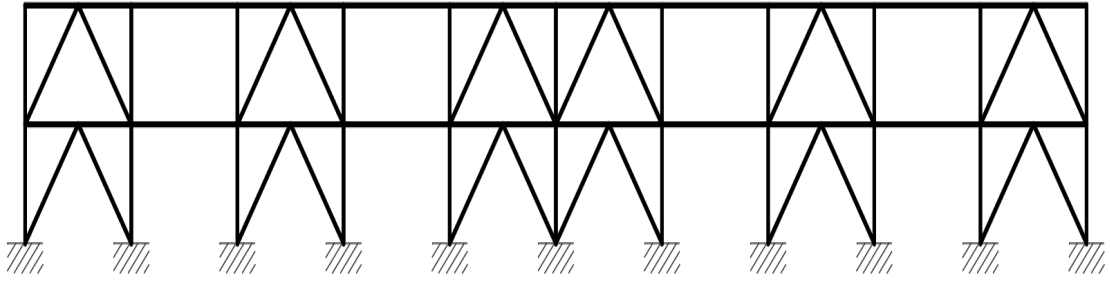
Şekil 9. Çapraz, kolon ve deprem kirişleri detayı.



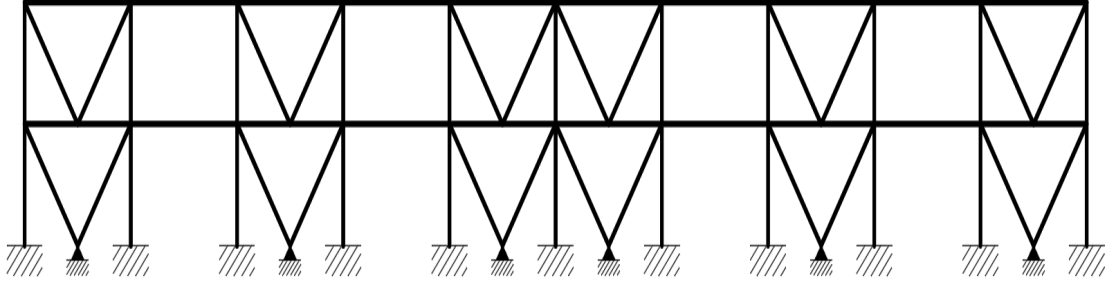
Şekil 10. Çaprazsız deprem kirişli sistem.



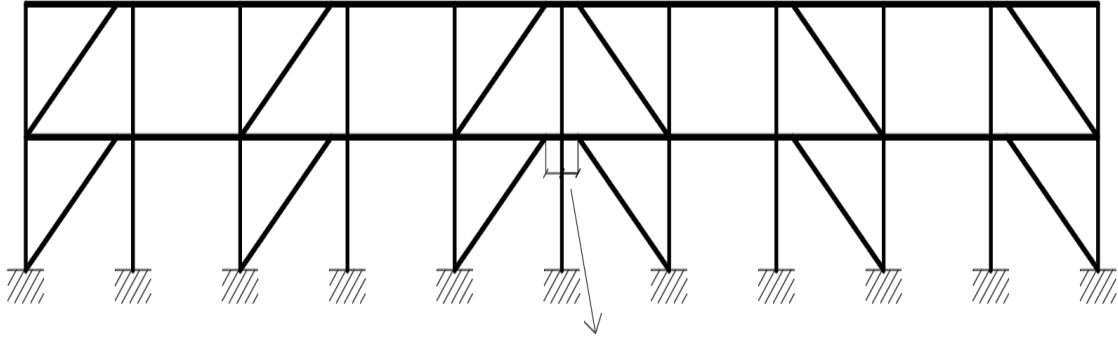
Şekil 11. Diyagonal merkezi çapraz sistem.



Şekil 12. Ters V merkezi çapraz sistem.

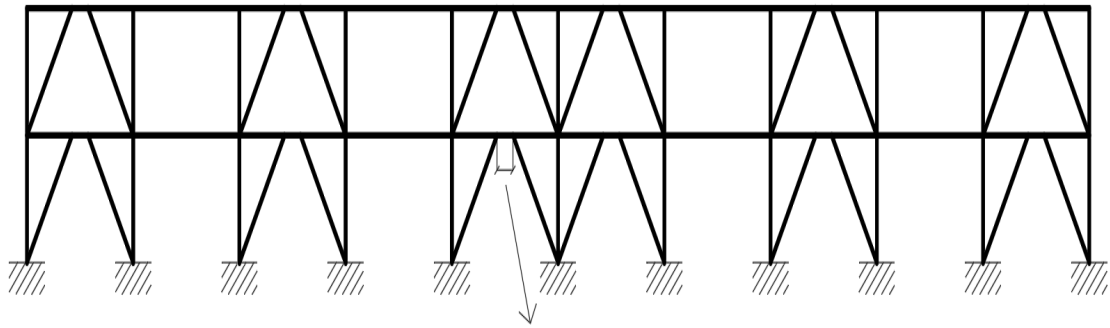


Şekil 13. V merkezi çapraz sistem.



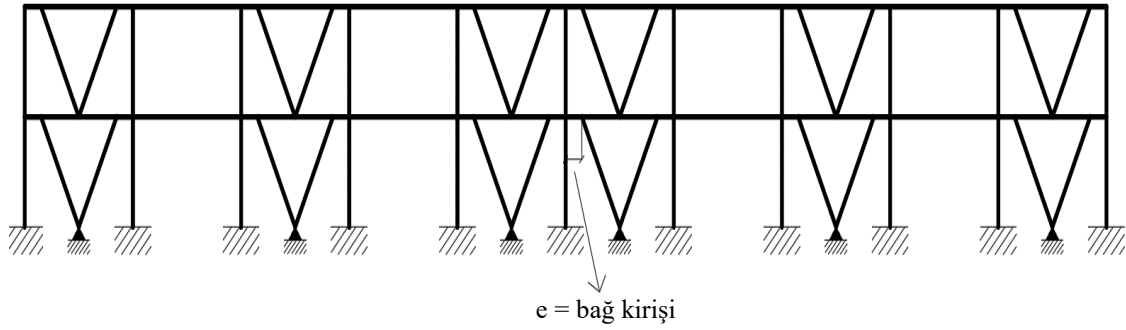
e = bağ kirişi

Şekil 14. Diyagonal dışmerkez çapraz sistem.



e = bağ kirişi

Şekil 15. Ters V dışmerkez çapraz sistem.



Şekil 16. V dışmerkez çapraz sistem.

Dışmerkez çapraz sistemler Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16'da görüldüğü gibi bağ kirişli yapılardır. Bağ kirişlerinin yönetmeliklerde tavsiye edilen boy uzunluğu Denklem 1 ile sınırlandırılmıştır. Denklem 2 ve Denklem 3'te ise hesaplamaları yapılmıştır. Deprem kirişi olarak tayin edilen IPE180 profili ve S235 çelik malzeme sınıfı verileri ile bağ kirişi boyu hesabı yapılmıştır. (Bayram vd., 2019, s.136)

Burada, M_p : eğilme dayanımını, V_p : kesme dayanımını, e : bağ kirişi boyunu, F_y : karakteristik akma dayanımını, t_f : profil başlık kalınlığını, t_w : profil gövde kalınlığını, W_p : mukavemet momentini temsil etmektedir.

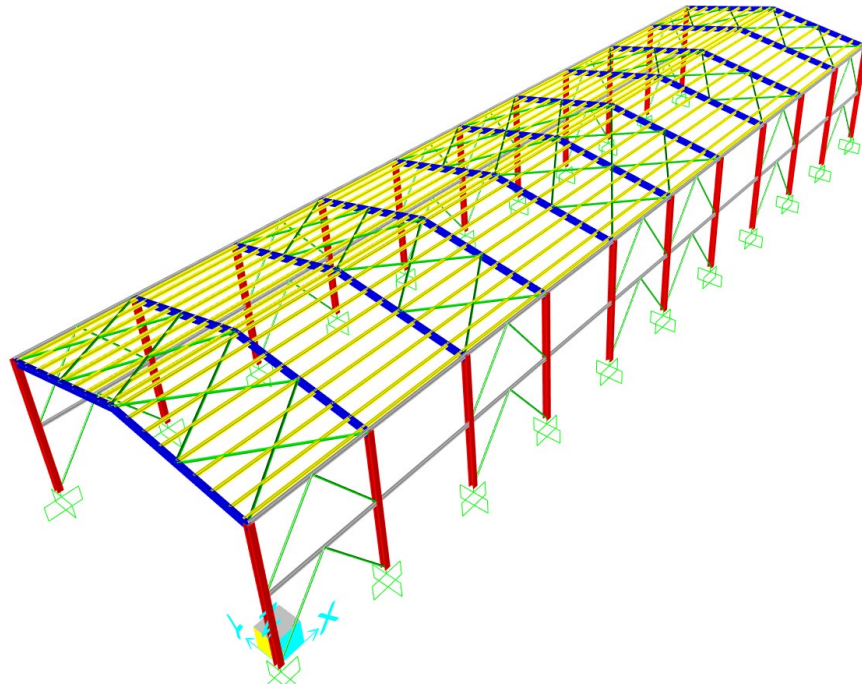
$$1,0 \times \frac{M_p}{V_p} \leq e \leq 1,3 \times \frac{M_p}{V_p} \quad (1)$$

$$M_p = 0,6 \times F_y \times (d - 2t_f) \times t_w \quad (2)$$

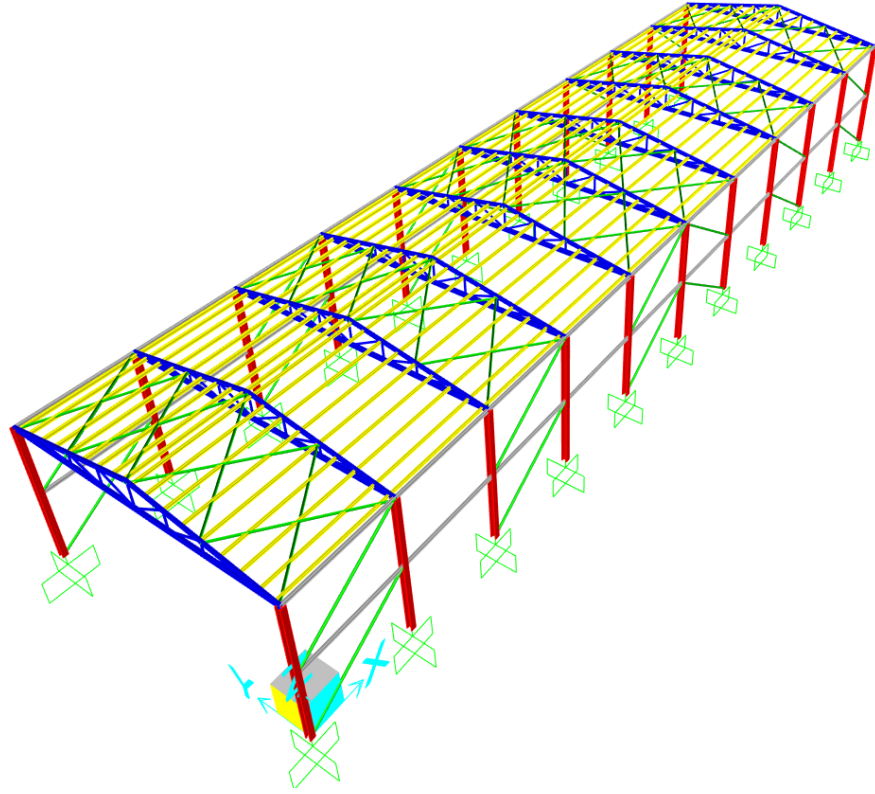
$$V_p = W_p \times F_y \quad (3)$$

$$1,0 \times \frac{M_p}{V_p} \leq e \leq 1,3 \times \frac{M_p}{V_p} \rightarrow 353 \text{ mm} \leq e \leq 460 \text{ mm} \quad (4)$$

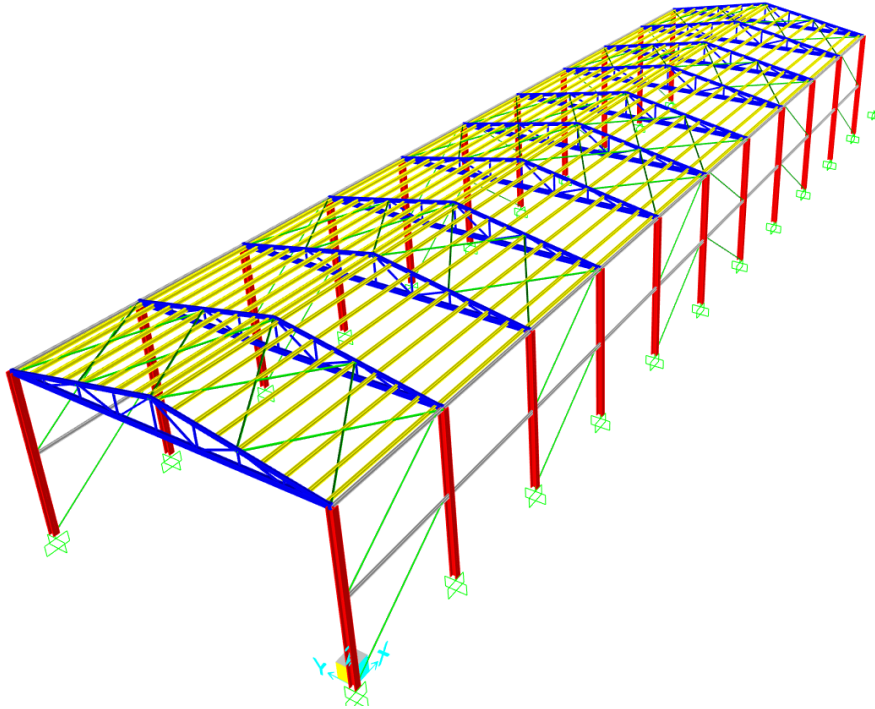
Denklem 4'te görüldüğü üzere tavsiye edilen bağ kirişi mesafesi 353 mm ile 460 mm arasında hesaplanmıştır. Belirtilen aralıktan dışmerkez bağ kirişi uzunluğu 450 mm olarak seçilmiş ve bu değere göre modellemeler yapılmıştır. Şekil 17, Şekil 18 ve Şekil 19'da 3 farklı makas yapısına sahip taşıyıcı yapısal sistemlerin üç boyutlu modelleri gösterilmiştir.



Şekil 17. DGM tipindeki yapının üç boyutlu görüntüsü.



Şekil 18. SKSM tipindeki yapının üç boyutlu görüntüsü.



Şekil 19. ÖKSM tipindeki yapının üç boyutlu görüntüsü.

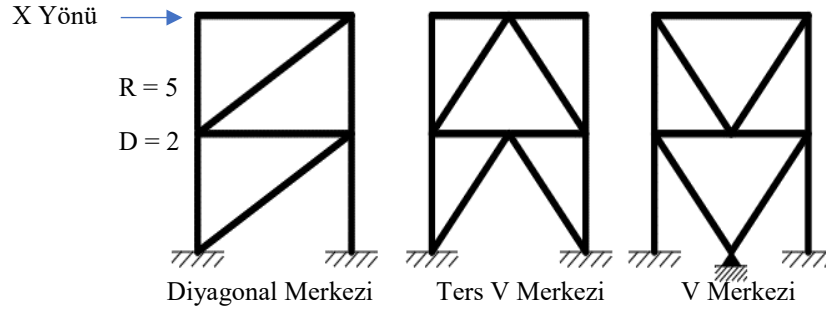
2.2. Yükleme Durumları

Yapısal modellerin analizinde kullanılan deprem verileri AFAD'ın Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması ve TBDY 2018 çerçevesinde irdelenmiştir. Yapının lokasyonu 37.92517° enlem ve 32.56292° boylam olup, konum olarak Konya organize sanayi bölgesinde yer aldığından bu sahanın deprem verileri AFAD web sitesinden alınmıştır (<https://www.tdth.afad.gov.tr>).

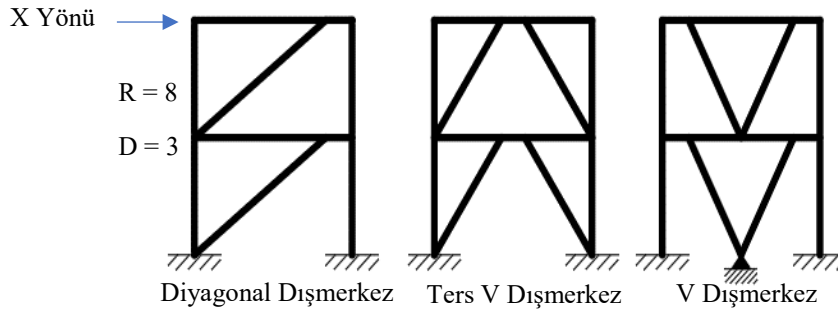
Tasarım için dikkate alınan “DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelendirmektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.” (TBDY 2018, s.7)

Yapının ilgili konum ve boyut bilgileri doğrultusunda, TBDY 2018’den gerekli deprem hesap yöntemi verileri saptanmıştır. TBDY 2018’den alınan taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D), yönetmelikte süreklilik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler bölümü altında çerçeve sistemlerin durumuna ve çaprazların tiplerine bağlı olarak değişmektedir. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (TBDY 2018) Tablo 1’de gösterildiği üzere; çaprazsız çerçeve sistemi için C11 taşıyıcı sistem ve R=8, D=3, merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistem için C13 taşıyıcı sistemi ve R=5, D=2, dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistem için ise C14 taşıyıcı sistem ve R=8, D=3 olarak seçilmiştir.

Tasarımda kullanılan çerçevelerin x-z düzlemindeki görünüşleri ve çapraz tiplerine göre değişen R ve D parametreleri MÇ’li (merkezi çaprazlı) çerçeveler için Şekil 20’de, DMÇ’li (dışmerkez çaprazlı) çerçeveler içinse Şekil 21’de gösterilmiştir.



Şekil 20. Yapılarda kullanılan merkezi çapraz türleri ve katsayılar.

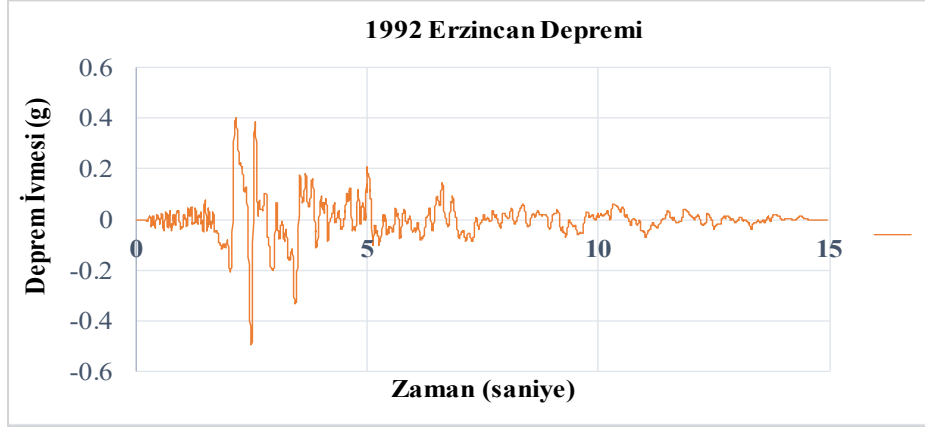


Şekil 21. Yapılarda kullanılan dışmerkez çapraz türleri ve katsayılar.

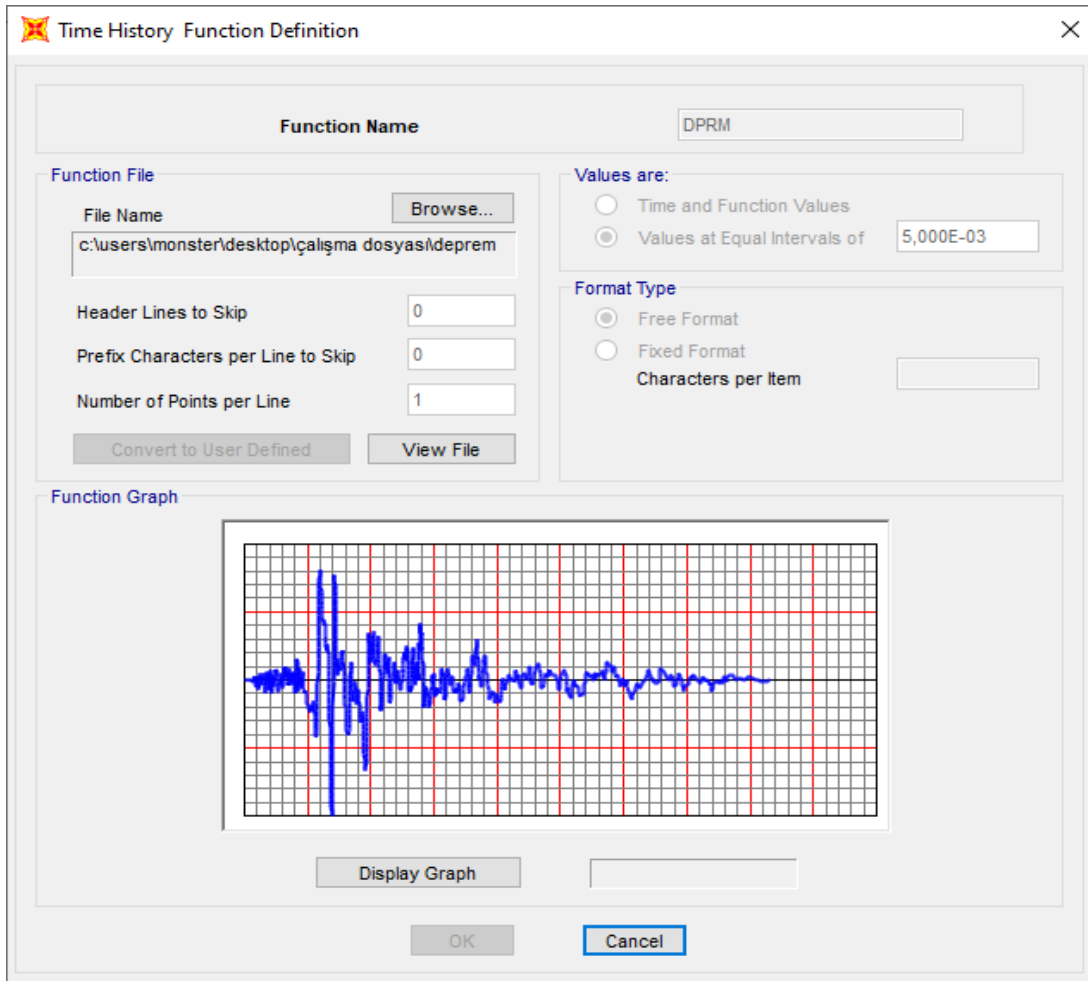
Tablo 1. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (TBDY 2018)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	Bina Yükseklik Sınıfları BYS
C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
C1. Süreklilik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süreklilik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
C12. Deprem etkilerinin tamamının süreklilik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	$BYS \geq 2$
C13. Deprem etkilerinin tamamının süreklilik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	$BYS \geq 4$
C14. Deprem etkilerinin moment aktaran süreklilik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süreklilik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 2$

Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi gerçek deprem verileri ile yapıların değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Analiz için kullanılacak deprem yükleri, bölgesel deprem tehlikesi ve zemin koşulları ile uyumlu tasarım spektrumları veya zaman-tanım alanında analiz için seçilen ivme kayıtları ile belirlenmektedir. Bu çalışmada 1992 Erzincan depremine ait ivme değerleri kullanılarak gerçek sismik kuvvetler SAP2000 yapısal analiz programında modellenen endüstriyel hangar tipi çelik yapılara uygulanmıştır. Şekil 22'de 1992 yılında meydana gelen 15 saniye süren ve 6,8 büyüklüğüne sahip Erzincan depreminin ivme-zaman grafiği görülmektedir. Erzincan depremi, grafikte gösterilen deprem kaydında görülebileceği üzere esas etkisi 2 ile 4 saniye arasında ortaya çıkan ancak genel etkisinin uzun süreli devam etmesinden dolayı seçilmiştir. Geçmiş yıllarda yaşanmış bu depremin verileri çalışma konusu endüstriyel hangar tipi çelik yapılara etki ettirilerek yapısal analizler icra edilmiştir. Yapısal analizler için kullanılan SAP2000 yapısal analiz programına gerçek deprem ivme kaydının tanımlanması Şekil 23'te gösterilmiştir.



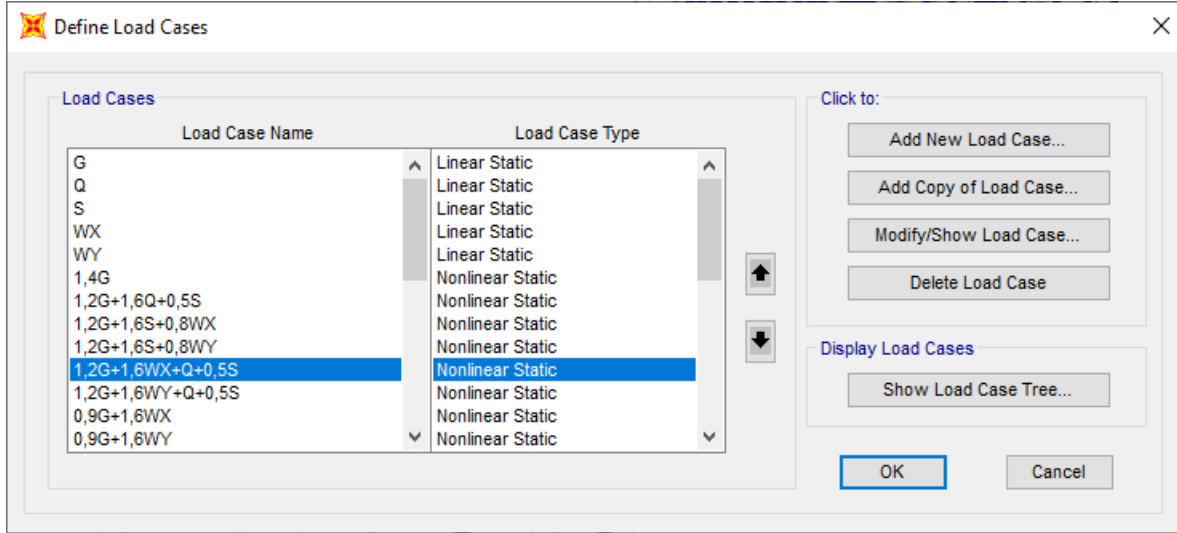
Şekil 22. 1992 Erzincan depremine ait ivme-zaman grafiği.



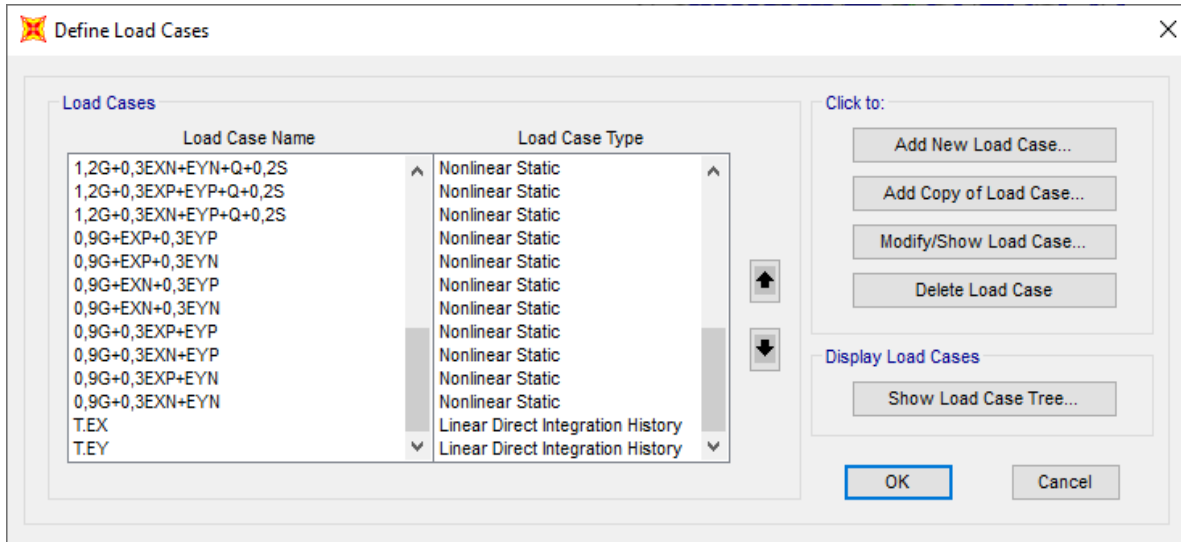
Şekil 23. SAP2000 yapısal analiz programına 1992 Erzincan depreminin ivme-zaman değerlerinin aktarımı.

Yapılarda kullanılacak yükler, deprem yükleri, kar yükleri, rüzgar yükleri ve yapıda kullanılan taşıyıcı sistemin zati ağırlığı olmak üzere dört ana yüklemenden oluşmaktadır. Rüzgar yükleri hesabında TS EN 1991-1-4 Kısım 7- Basınç ve kuvvet katsayıları bölümündeki kurallar baz alındığında yüzey ölçülerine gelen kuvvetler hesaplanmıştır; kar yükleri içinse TS EN 1991-1-3 standardı baz alınarak hesaplanmıştır. Ayıryeten daha önce defaten belirtildiği üzere, çalışma konusu endüstriyel hangar tipi çelik yapıya deprem kuvvetleri TBDY 2018’de bulunan zaman-tanım alanında mod birleştirme yöntemi kullanılarak etkilmiştir. Bu bağlamda, yapısal şartnamelere göre ele alınan yük kombinasyonları x- ve y-yönü olmak üzere iki ayrı sismik kuvvet etkisiyle analiz içerisine işlenmiştir.

Çerçeve elemanları oluşturan çeşitli kesitlerdeki S235 çelik malzeme sınıfına ait çelik taşıyıcı profillerin zati ağırlıkları yapısal analiz programında G yükü olarak ele alınmıştır. Yapıya herhangi bir hareketli yük uygulanmamıştır. TBDY 2018 Bölüm 4.4.4. *Deprem Etkisinin Diğer Etkilerle Birleştirilmesi* bölümündeki yük kombinasyonlarıyla ÇYTHYDE 2018 Bölüm 5.3.1 *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım* kısmında bulunan yük kombinasyonları kullanılmıştır. Şekil 24 ve Şekil 25’de SAP2000 yapısal analiz programına işlenen yük kombinasyonları gösterilmektedir.



Şekil 24. SAP2000 yapısal analiz programına işlenen yük kombinasyonları (1.kısım).



Şekil 25. SAP2000 yapısal analiz programına işlenen yük kombinasyonları (1.kısımın devamı).

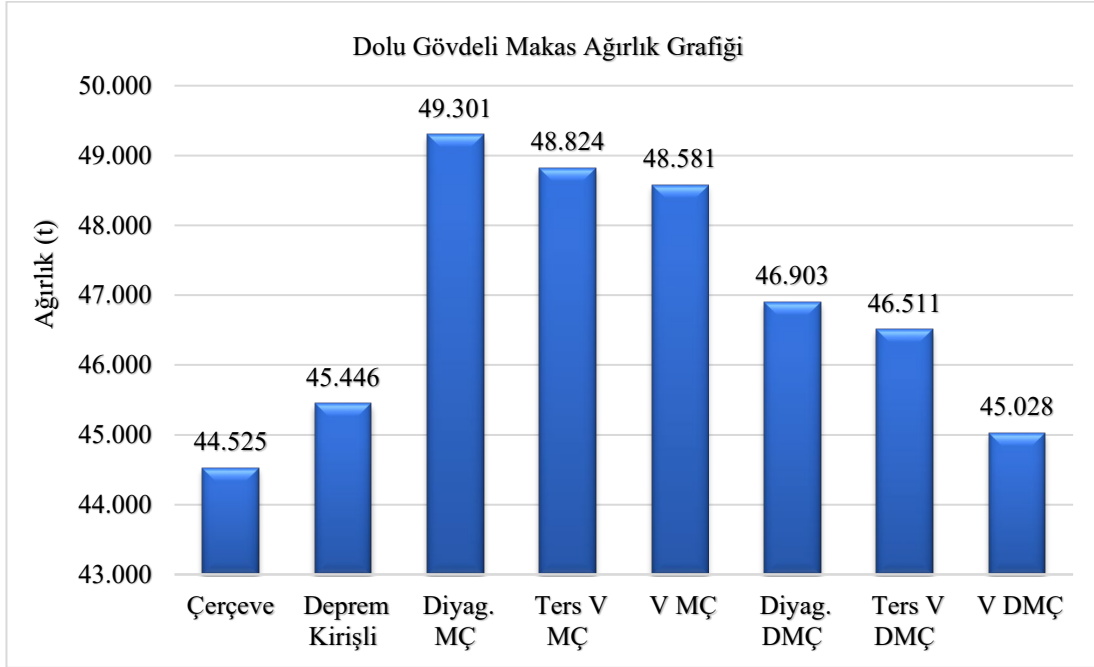
3. Bulgular

Bu çalışmada ele alınan endüstriyel hangar tipi çelik yapı sistemleri 8 farklı çapraz çerçeve sistem ve 3 farklı makas tipi üzerinden irdelenmiş ve kıyaslanmıştır. Makas sistemleri; “Dolu Gövdeli Makas (DGM)”, “Simetrik Kafes Sistem Makas (SKSM)”, “Örgü Kafes Sistem Makas (ÖKSM)”. Çerçeve türleri; “Çaprazsız Çerçeve (Moment Aktaran)”, “Çaprazsız Deprem Kirişli Çerçeve”, “Diyagonal Merkezi Çaprazlı”, “Ters V Merkezi Çaprazlı”, “V Merkezi Çaprazlı”, “Diyagonal Dışmerkez Çaprazlı”, “Ters V Dışmerkez Çaprazlı”, “V Dışmerkez Çaprazlı” şeklinde belirlenmiştir. Yapısal analizler için sınırlayıcı kriterde sadece kapasite tasarımı baz alınmıştır. Endüstriyel hangar tipi çelik yapılarda değerlendirilmek istenilen bulgu, kapasite tasarımını sağlayan elemanlardan meydana gelen bir yapısal sistemin diğer sınır değerlerinde meydana gelen değişimlerdir. Bu açıdan tasarım kriteri, her tip taşıyıcı sistem

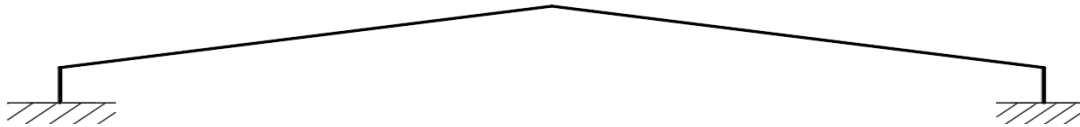
elemanlarından en az birinde kapasite tasarım oranının %80 olması ön koşulu ile kabulü yapılmıştır. Kapasite tasarım şartını sağlayan değişik tipteki örgü düzenine sahip endüstriyel hangar tipi çelik sanayi yapılarının karşılaştırmaları ve değerlendirmeleri yapı ağırlığı, taban kesme kuvveti, kolon üst nokta ötelenmeleri, tepe noktası ötelenmeleri ve yapının maksimum deplasman değerleri üzerinden yapılmıştır.

Yapı ağırlıkları, 3 makas ve 8 çerçeve tipi olmak üzere toplamda 24 farklı yapı üzerinde SAP2000 yapısal analiz programı aracılığı ile hesaplanmış ve grafikler halinde sunularak detaylıca incelenmiştir.

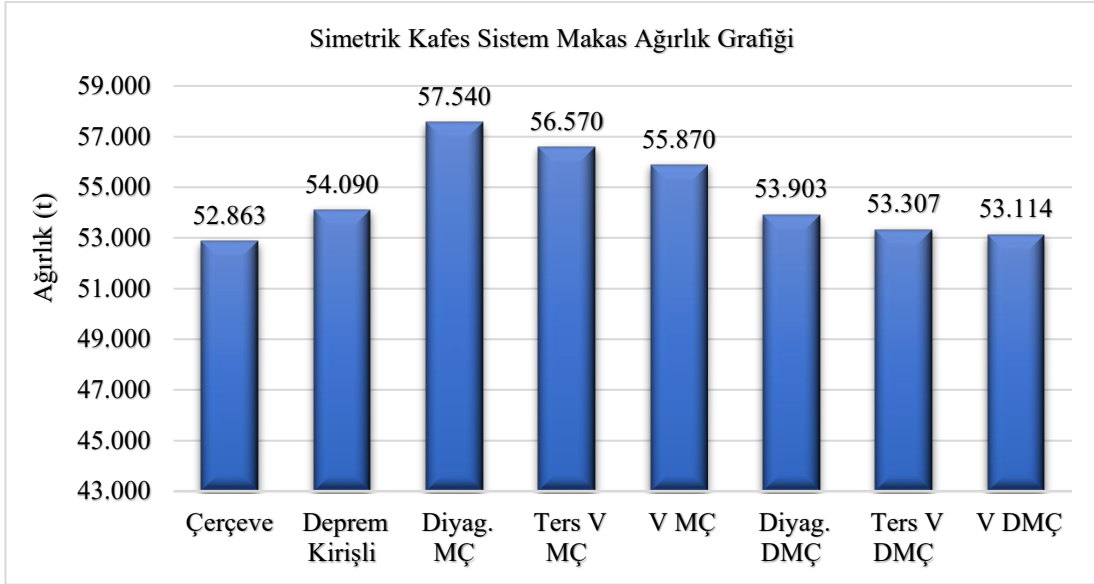
DGM tipinin farklı çerçeve sistemler ile oluşturduğu modellerin ağırlıkları Şekil 26'da ve makas tipinin çerçeve kesiti Şekil 27'de verilmiştir. SKSM tipinin farklı çerçeve sistemler ile oluşturduğu modellerin ağırlıkları Şekil 28'de ve makas tipinin çerçeve kesiti Şekil 29'da verilmiştir. ÖKSM tipinin farklı çerçeve sistemler ile oluşturduğu modellerin ağırlıkları Şekil 30'da ve makas tipinin çerçeve kesiti Şekil 31'de verilmiştir.



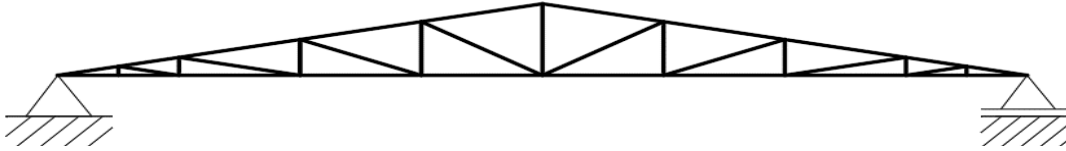
Şekil 26. DGM ağırlık grafiği.



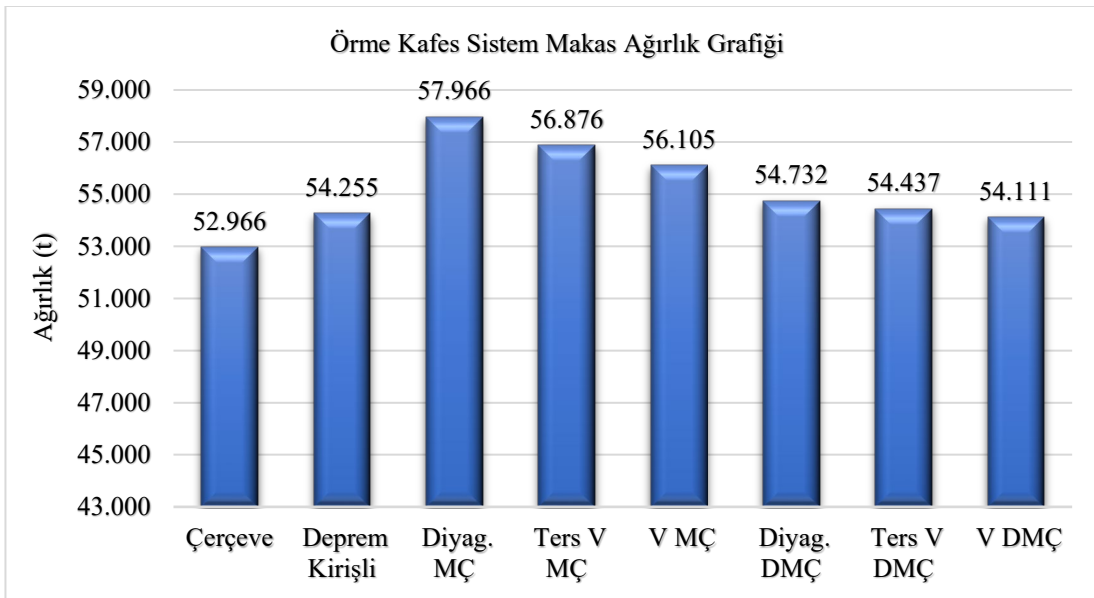
Şekil 27. DGM çerçeve görünüşü.



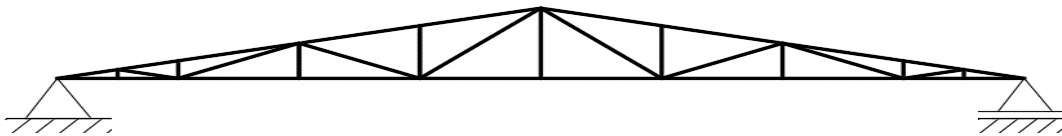
Şekil 28. SKSM ağırlık grafiği.



Şekil 29. SKSM çerçeve görünüşü.



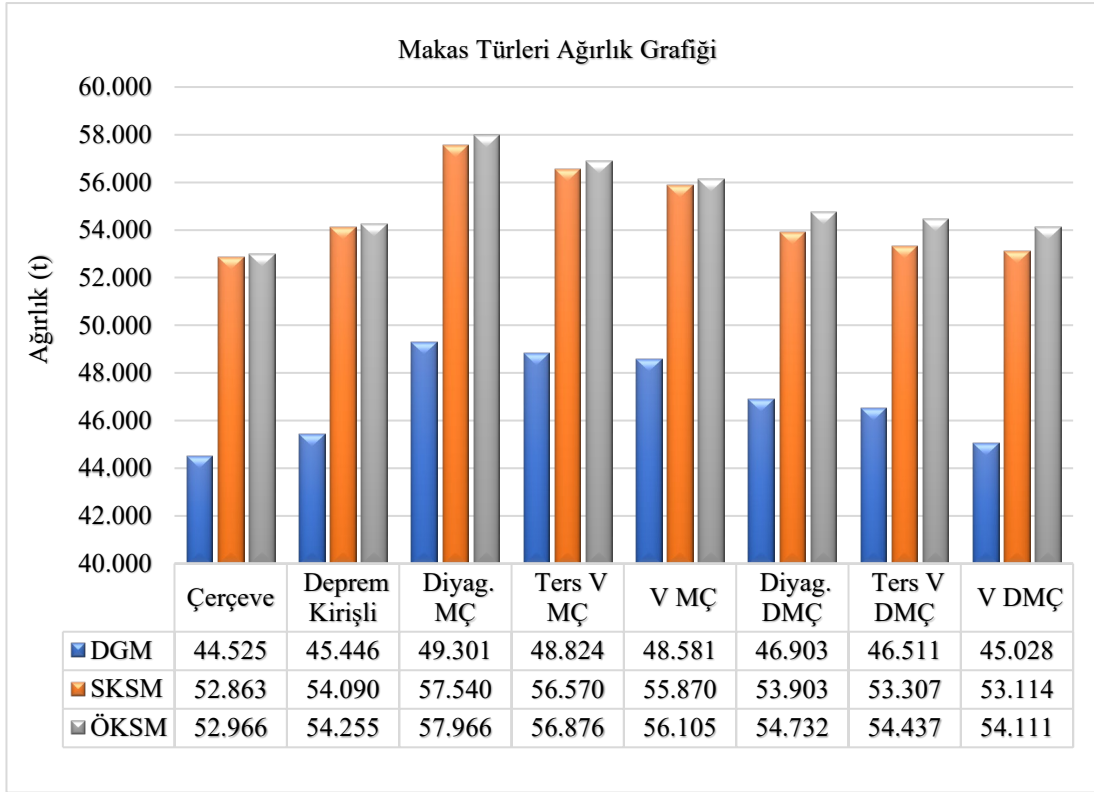
Şekil 30. ÖKSM ağırlık grafiği.



Şekil 31. ÖKSM çerçeve görünüşü.

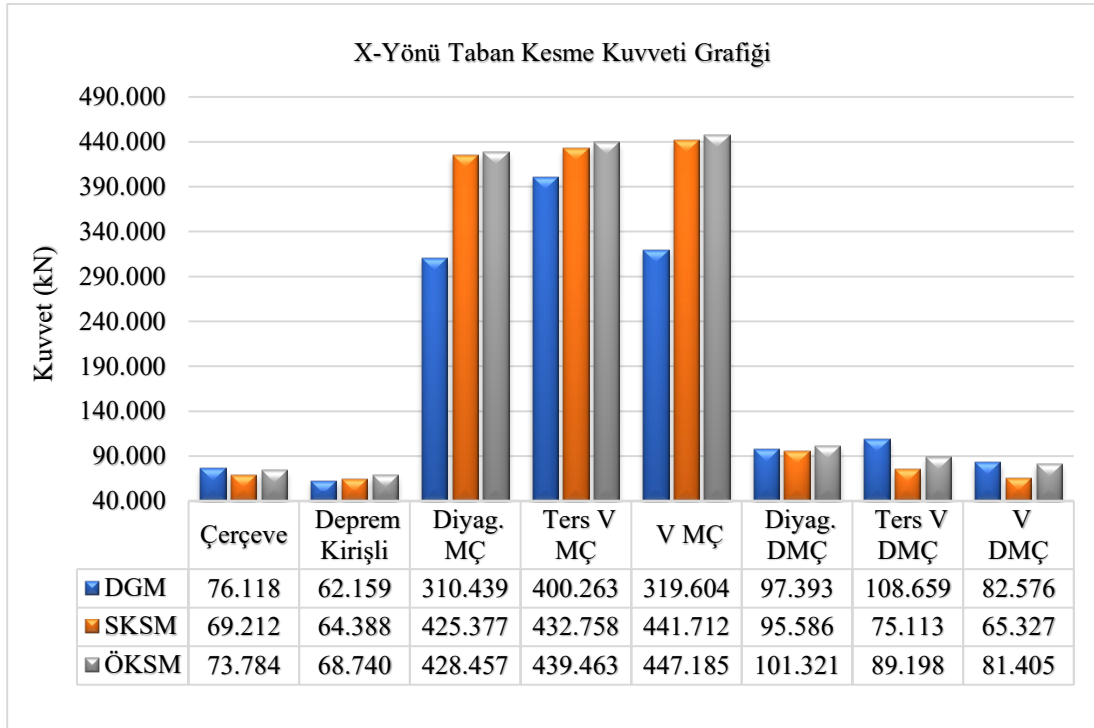
Şekil 32'de makas türlerine ait çerçeve sistemlerin ağırlıkları ayrı ayrı grafik haline getirilmiştir. Şekil 27, Şekil 29 ve Şekil 31'de açıkça görüldüğü üzere üç makas türünde çerçeve sistemden diyagonal MÇ'li sisteme kadar ağırlık artışı olmaktadır. Aynı zamanda diyagonal MÇ'den sonraki çerçeve sistemlere doğru nispeten doğrusal bir ağırlık azalması görülmektedir. Bu artışın sebebi yapılara

sonradan eklenen elemanların ağırlıklarıdır. Azalmanın sebebi ise çerçeve sistemlerin stabilite özelliği ve örgü düzeninden kaynaklı mevcut profil kesitlerinin küçülmesidir. Üç makas türü karşılaştırıldığında ise dolu gövdeli sistemin diğer kafes sistemlere göre daha düşük yapı ağırlığından oluştuğu görülmüştür. Kalan iki kafes sistemin ağırlıkları karşılaştırıldığı zaman makas örgü düzeninden kaynaklı SKSM'lerin genel olarak daha az yapı ağırlığında çözüldüğü görülmüştür. Özet olarak sadece yapı ağırlığı açısından ele alındığında DGM türünün dışmerkez V çapraz tipinin en az yapı ağırlığında çözülmüş olduğu ve en avantajlı yapısal çözümü verdiği görülmektedir.



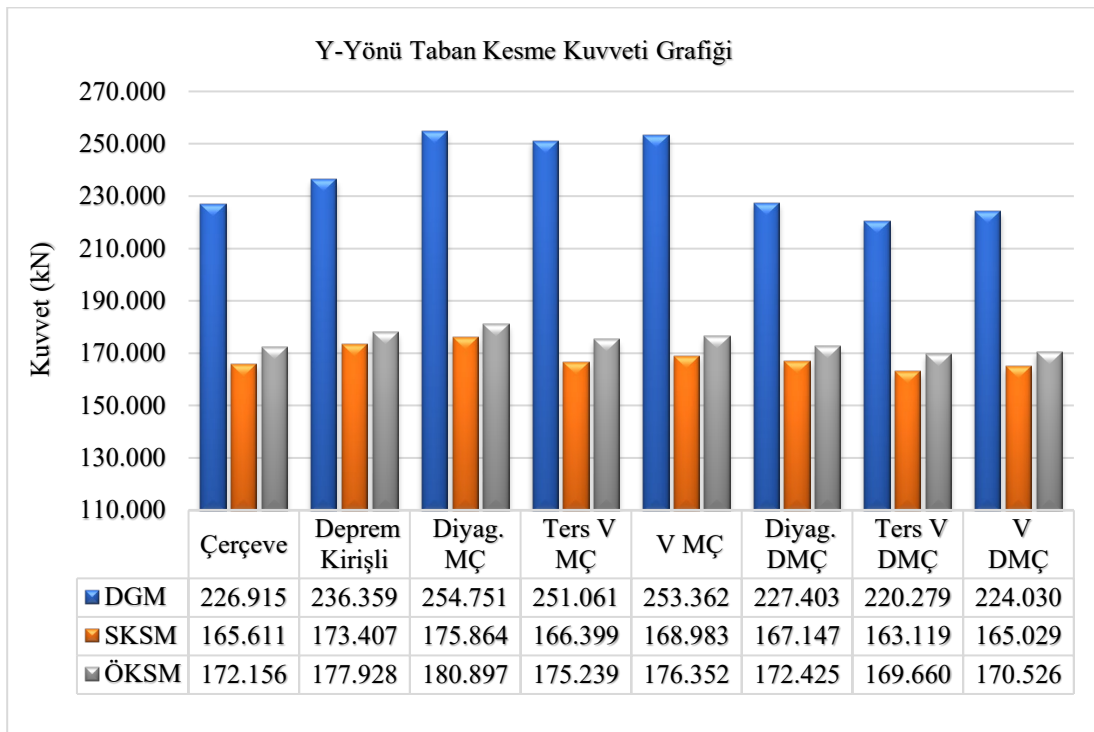
Şekil 32. Makas türleri ağırlık grafiği.

Şekil 33'te yapıların x-yönündeki taban kesme kuvvetleri makas ve çapraz türleri bakımından karşılaştırmalı şekilde verilmiştir. Şekil 33'teki grafikte verilen x-yönü taban kesme kuvvetleri incelendiğinde; çerçeve, deprem kirişli ve DMÇ'li sistemlerin MÇ'li tasarımlara göre çok daha düşük değerlerde taban kesme kuvvetine sahip olduğu açıkça görülmektedir. DMÇ ve MÇ'lerin taban kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında, MÇ'li çerçeve sistemlerin taban kesme kuvvetlerinin DMÇ'li sistemlerin taban kesme kuvvetinin yaklaşık 4 katı olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi ise (Şekil 35'teki grafikte belirtilen) x-yönü ötelenme değerleri olduğu tespit edilmiştir. Grafikler detaylı olarak incelendiğinde yüksek ötelenme değerine sahip yapısal tasarımların taban kesme kuvvetleri düşük değerler taşıırken, düşük ötelenme değerlerine sahip yapısal sistemlerin taban kesme kuvvetleri yüksek değerler taşımaktadır. Bu durum değerlendirildiğinde, DMÇ'li sistemlerin MÇ'li sistemlere göre daha düşük taban kesme kuvveti taşıdığı ve daha avantajlı yapısal durumda olduğu görülmüştür. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde ise SKSM türü V DMÇ'li sisteminin en az taban kesme değerine sahip olduğu, bu açıdan en avantajlı çerçeve sistemi olduğu görülmüştür.



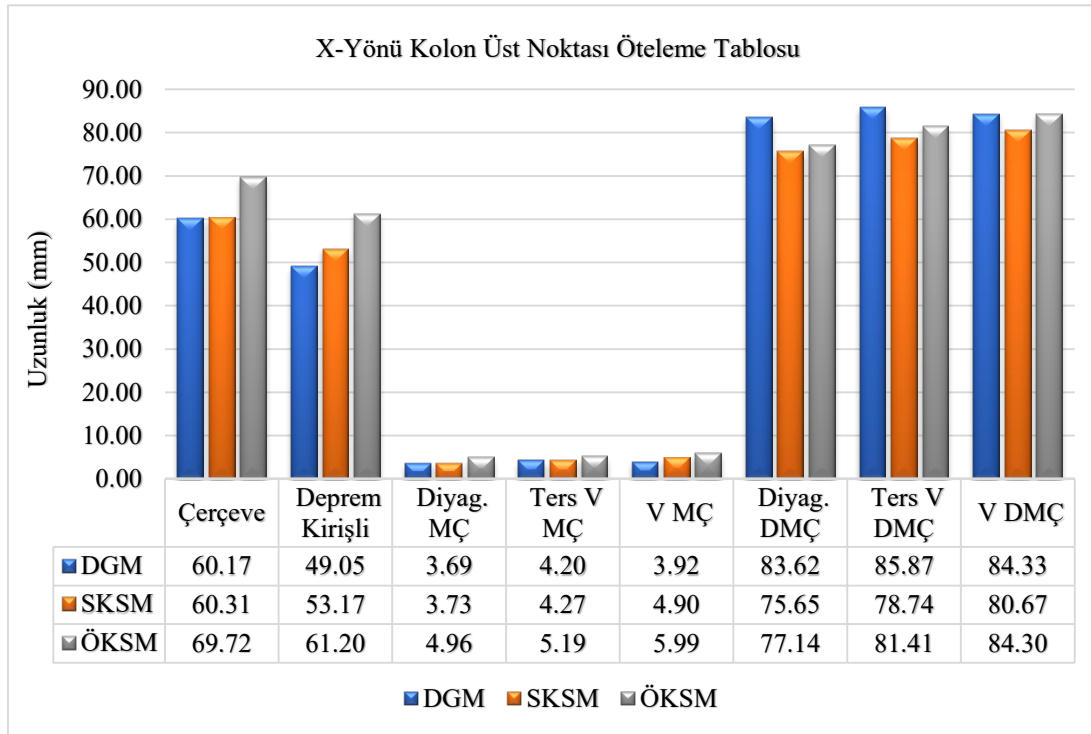
Şekil 33. Makas tiplerine göre elde edilen X-yönü taban kesme kuvveti grafiği.

Şekil 34'te makas ve çapraz türleri bakımından farklı 24 yapının y-yönündeki taban kesme kuvvetleri grafik halinde sunulmuştur. Bu şekil incelendiğinde DGM türünün kafes sistem makas türlerine göre daha yüksek taban kesme kuvvetine maruz kaldığı açıkça görülmektedir. Bu yüksek oranda stabilite durumundan kaynaklanmaktadır. Kafes sistem makasların dolu gövdeli sisteme göre y-yönü taban kesme kuvvetleri açısından daha avantajlı yapısal sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca, y-yönünde herhangi bir çapraz örgü düzeni bulunmadığından, ağırlık miktarı etken faktör olarak ön plana çıkmaktadır. Bu durumun sonucunda ağırlık ile doğrusal olarak ters V ve V dışmerkez çapraz tiplerinin taban kesme kuvvetlerine en az maruz kalan çerçeve tipleri olduğu görülmektedir. Sonuç olarak SKSM türü ters V çapraz çerçeve sisteminin, y-yönü taban kesme kuvveti açısından avantajlı yapısal sonuçlar verebildiği görülmüştür. Burada da açıkça görülmektedir ki taban kesme kuvveti tek bir parametre ile sınırlı ve doğrusal kalmayacak kadar değişken bir kriterdir.



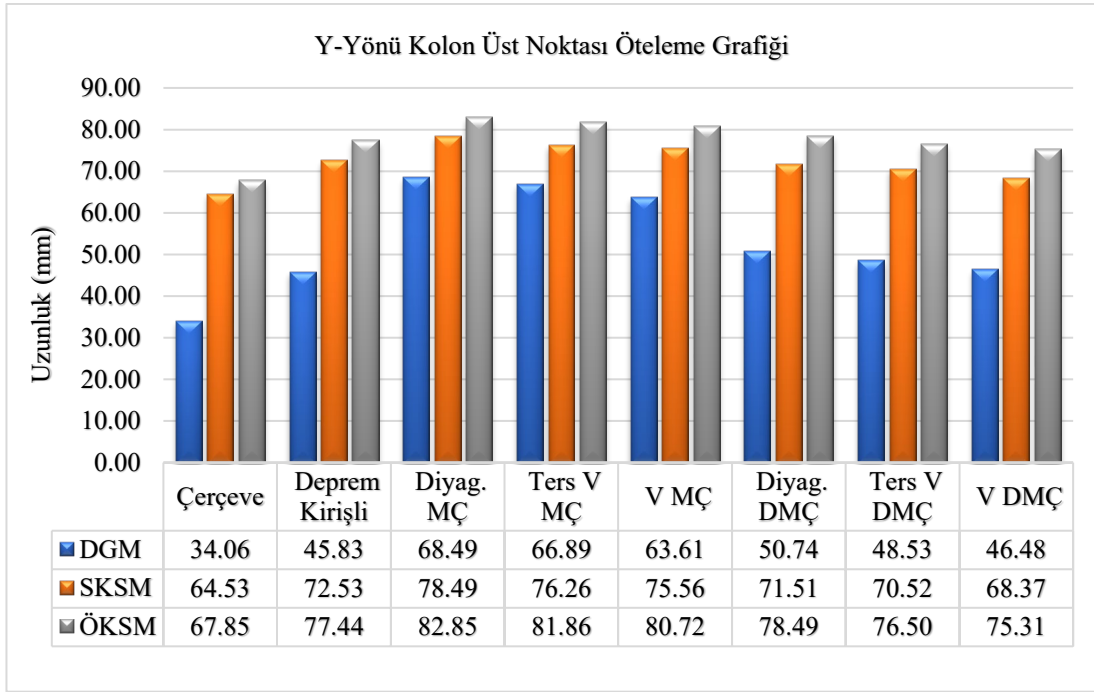
Şekil 34. Makas tiplerine göre elde edilen Y-yönü taban kesme kuvveti grafiği

Şekil 35'te yapıların x-yönündeki kolon üst nokta öteleme değerleri karşılaştırmalı grafik şeklinde gösterilmiştir. Öteleme değerleri, E_y ve E_x olmak üzere iki eksende yapılarca etki ettirilen deprem yüklerinin sonucundaki yer değiştirme verilerinin incelenmesi ile elde edilmiştir. Yapılarda kullanılan kolonların yüksekliği sabit 8 m'dir. Kolon kesitleri HEA profilden tayin edilmiş olup, farklı ölçülere sahiptirler. Kolon alt noktaları ankastre mesnet şeklinde mesnetlendiği için dönme ve ötelenmeler bu noktalarda oluşmamaktadır. Yapıya gelen yükler kolonun diğer uç noktası olan üst kısmında ciddi ötelemeler oluşturmaktadır. Bu ötelemeler ise büyük oranda çapraz elemanlar tarafından karşılanmakta ve yapı bu sayede stabil hale gelmektedir. Kolon üst noktasının öteleme değerleri üzerinden çapraz elemanların ve makas türlerinin karşılaştırılması, çalışma amacına uygun bir değerlendirme olacaktır. Şekil 35'te x-yönü kolon üst noktası öteleme değerleri mm cinsinden 24 farklı çerçeve tasarım için ayrı ayrı verilmiştir. Deprem kirişli çerçeveler ile çaprazsız çerçeve sistemler ile karşılaştırıldığında, deprem kirişlerinin kolon üst nokta ötelemelerini %11-18 arasında değişen oranlarda düşürdüğü görülmüştür. Tabloya bakıldığı zaman çaprazsız çerçeveler ve DMÇ'ler yüksek öteleme değerleri verirken, MÇ'li sistemler diğer sistemlere göre 20 kat daha düşük öteleme değerleri vermektedir. Bu durumun sebebi ise Çizelge 3.1'de belirtilen çerçeve sistemlerin deprem etkilerine karşı tasarım parametreleridir. MÇ'li çerçevelerde deprem etkilerinin tamamı çaprazlar tarafından karşılandığı için çapraz elemanlarının kesitleri büyük olmakta ve yapıyı daha rijit hale getirmektedir. Fakat DMÇ'li yapılarda deprem etkileri çaprazlarla beraber tüm çerçeve sistem ile birlikte karşılandığından kesitler daha küçük olmakta ve buna bağlı olarak yapı ağırlığı nispeten daha az olmaktadır.



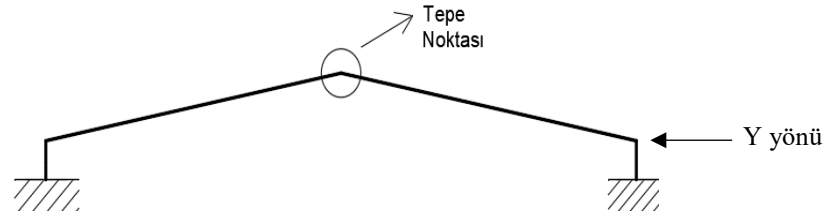
Şekil 35. Makas türleri X-yönü kolon üst noktası öteleme grafiği.

Şekil 36'daki grafikte y-yönü kolon üst noktası öteleme değerleri mm cinsinden 24 farklı çerçeve tasarımı için ayrı ayrı gösterilmiştir. Y-yönündeki kolon üst noktası öteleme grafiği detaylı şekilde irdelendiğinde; çaprazsız çerçevelerden merkezi çaprazlı (MÇ) çerçevelere doğru öteleme verilerinde artım, merkezi çaprazlı çerçevelerden dışmerkez çapraz (DMÇ) çerçevelere doğru öteleme verilerinde ise azalış gözlemlenmiştir. Y-yönü herhangi bir çapraz sisteme sahip olmadığından bu öteleme verilerinde yapı ağırlığı ve makas türüne göre değişiklik saptanmıştır. Bu sebeple, stabilite durumları birbirine yakın olan kafes sistemlerde öteleme verileri de ağırlık verileri gibi birbirine yakın sonuçlar olarak görülmektedir. Dolu gövdeli makaslarda (DGM), kafes sistem makaslara göre daha düşük öteleme verileri olması, makasların moment aktarabilen birleşimlerden oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ek olarak DGM tipinde bulunan kolon kesitinin kafes sistem makas tipinde bulunan kesitten güçlü eksen yönünde (y-yönü) daha rijit olmasından dolayı, öteleme verilerinin değerlerinde düşüş gözlemlenmektedir. Bu bulguların sonucunda düşük değerde öteleme verisine sahip olan (büyük oranda ağırlık etkisinden dolayı), dolu gövdeli makas tipi-V dışmerkez çapraz türünün, y-yönü kolon üst nokta öteleme verisi açısından en ideal çerçeve türü olduğu gözlemlenmiştir.

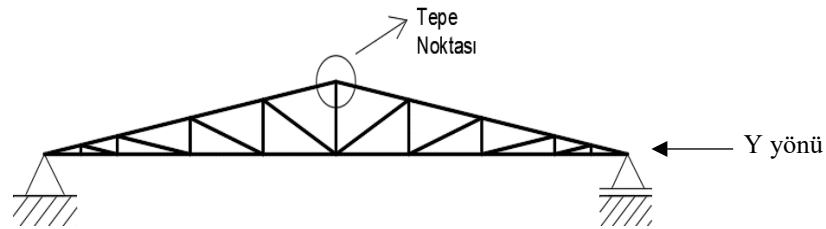


Şekil 36. Makas türleri Y-yönü kolon üst noktası öteleme grafiği.

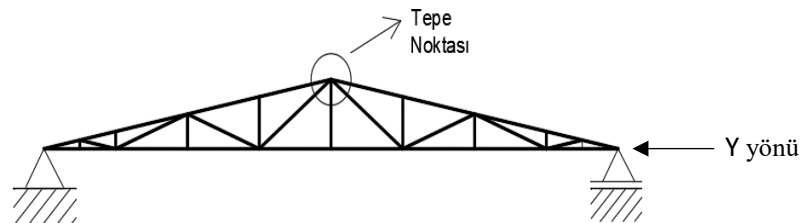
Tepe noktası öteleme değerleri, 3 makas ve 8 çerçeve tipi olmak üzere toplamda 24 farklı yapı üzerinde, SAP2000 yapısal analiz programı aracılığı ile hesaplanmış ve grafikler halinde (Şekil 40 ve Şekil 41) incelenmiştir. Uzunluklar mm (milimetre) cinsinden verilmiştir. Öteleme değerleri, E_x ve E_y olmak üzere iki eksenle yapılaraya etki ettirilen deprem yüklerinin sonucundaki yer değiştirme verileridir. Tepe noktası Şekil 37, Şekil 38 ve Şekil 39'da gösterildiği üzere yapının en üst noktası olan, mahya kotu olarak da isimlendirilen makas sisteminin uç noktasıdır. Bu noktanın yüksekliği tüm çerçeve sistemlerde eşit ve 9.5 m'dir. Makas türlerinin farklılıklarını değerlendirme ve yorumlama açısından tepe noktası ötelemeleri, tıpkı kolon üst noktası ötelemeleri gibi çalışmanın amacına uygun kritik veriler sunmaktadır.



Şekil 37. DGM ve tepe noktası.



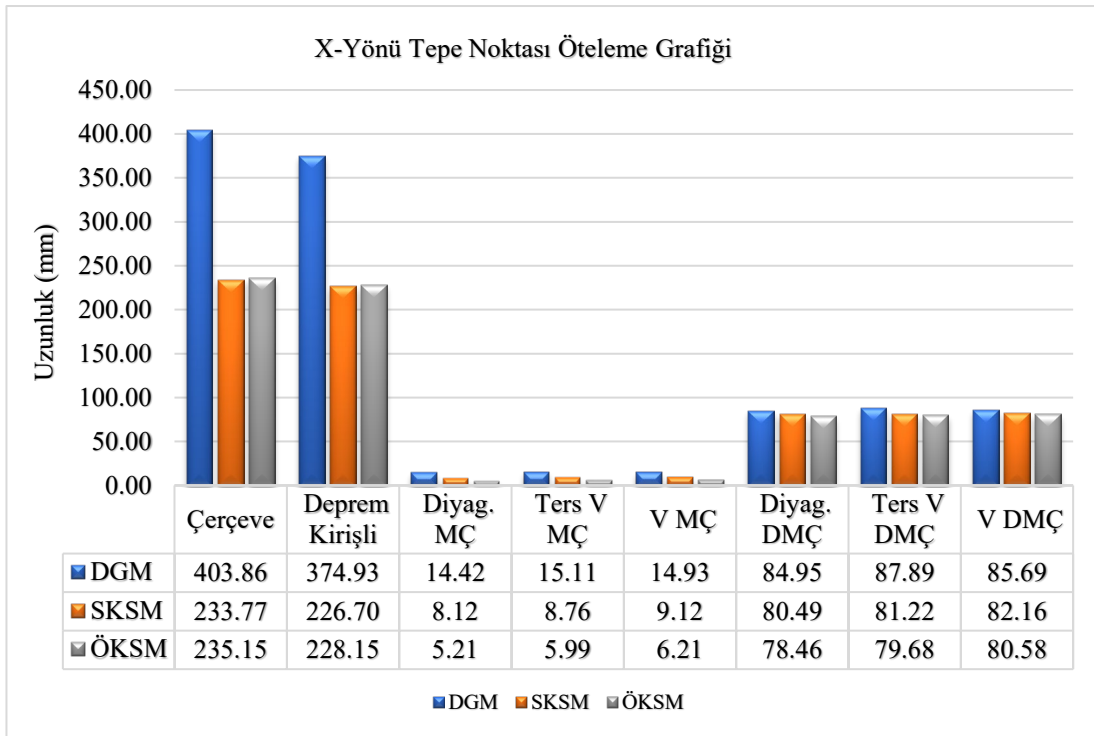
Şekil 38. SKSM türü ve tepe noktası.



Şekil 39. ÖKSM türü ve tepe noktası.

Şekil 40'teki grafikte x-yönü tepe noktası öteleme değerleri mm cinsinden 24 farklı çerçeve tasarım için ayrı ayrı gösterilmiş ve sayısal verilere yer verilmiştir. Bu veriler doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

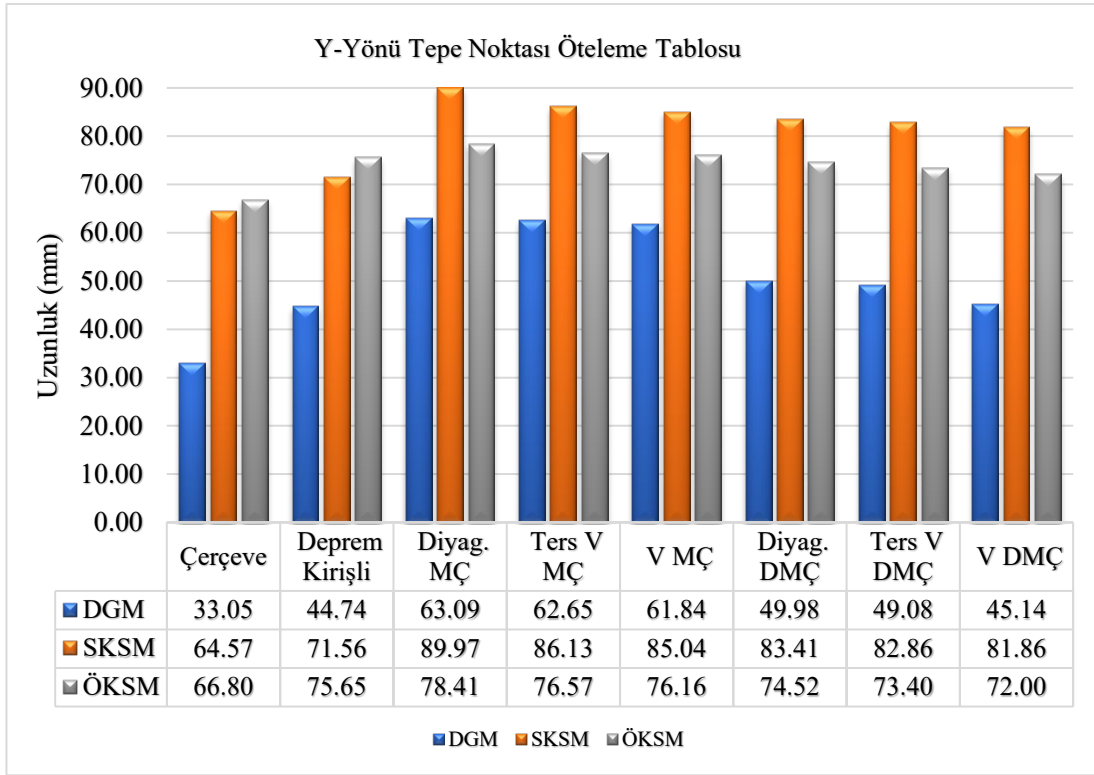
- Çaprazsız çerçeve sistemlerin tepe noktalarında ciddi yer değiştirme değerlerinin oluştuğu ve stabilitenin bozulduğu açıkça görülmekte ve bir kez daha çapraz elemanların yapı tasarımı üzerinde ki önemi ortaya çıkmaktadır.
- Çaprazsız çerçeve sistemlere eklenen deprem kirişlerinin kolon üst noktalarında olduğu gibi tepe noktalarında da yapının öteleme değerlerini etkilediği görülmüştür. Deprem kirişli çerçeve sistemlerde, düz çerçeve sistemlere göre %3-6 oranında değişen miktarlarda daha az yer değiştirme değerleri gözlemlenmektedir.
- DGM'nin düz çerçeve sistemlerinde yüksek öteleme değerleri oluşması, örgü sistem eksikliğinden kaynaklı, yekpare profillerin zayıf eksendeki davranışını göstermektedir. Tepe noktası moment aktaran bir birleşim olduğu halde zayıf eksendeki ötelemeler çapraz elemanların yokluğunda ciddi stabilite sorunlarına yol açmaktadır.
- Şekilde belirtilen yer değiştirme değerleri neticesinde en az öteleme değerine sahip ÖKSM türünde diyagonal MÇ'li çerçeve sistemi olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi ÖKSM türünün tepe noktası olarak ifade ettiğimiz düğüm noktasında sağladığı stabilite durumudur.



Şekil 40. Makas türleri X-yönü tepe noktası öteleme grafiği.

Şekil 41'deki grafikte y-yönü tepe noktası öteleme değerleri mm cinsinden 24 farklı çerçeve tasarım için ayrı ayrı gösterilmiş ve sayısal verilere yer verilmiştir. Bu veriler doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- DGM sisteminde iki yekpare profilin tepe noktasındaki rijit birleşimi, y-yönündeki yer değiştirmeleri ciddi oranda azaltmıştır. Karşılaştırma yapılan diğer kafes sistem makas türlerine oranla ortalama %30 daha az öteleme değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Kafes sistemler bu rijitlikte yani moment aktaran birleşim mantığı ile çalışmamaktadır. Bütün düğüm noktaları mafsallı olarak birleşmekte ve moment aktarmayan biçimde bağlanmaktadır. Ayrıca DGM türünün diğerlerinden daha hafif yapı ağırlığına sahip olduğu da göz önüne alınmalıdır.
- Tepe noktası düğümleri incelendiğinde ÖKSM'nin örgü düzeninin daha stabil olduğu görülmektedir. Bu durumun sonucunda ise ÖKSM türündeki öteleme değerlerinin, SKSM türüne oranla %13 civarında daha az olduğu ve daha avantajlı yapısal sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Sonuç olarak şekilde, yapı ağırlıkları ve düğüm noktası stabilite durumları göz önüne alındığında DGM türü dışmerkez V çapraz sisteminin en az öteleme değerine sahip olduğu görülmektedir.

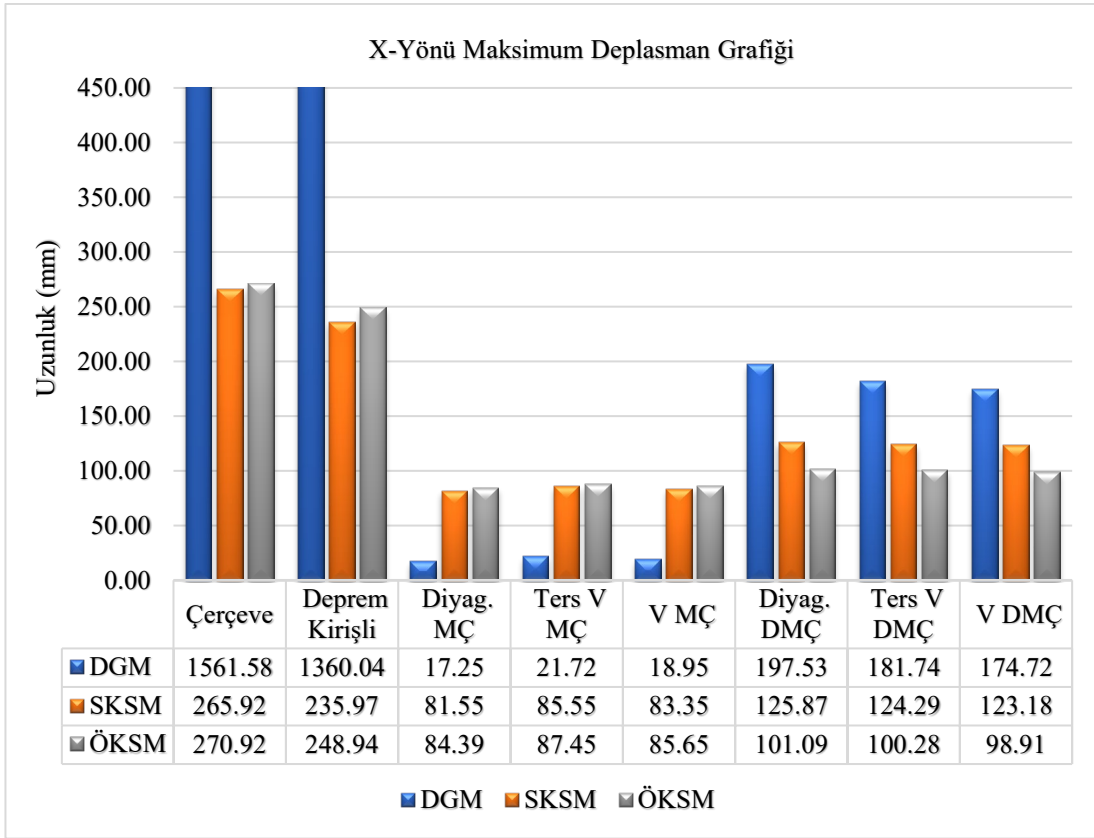


Şekil 41. Makas türleri Y-yönü tepe noktası öteleme grafiği.

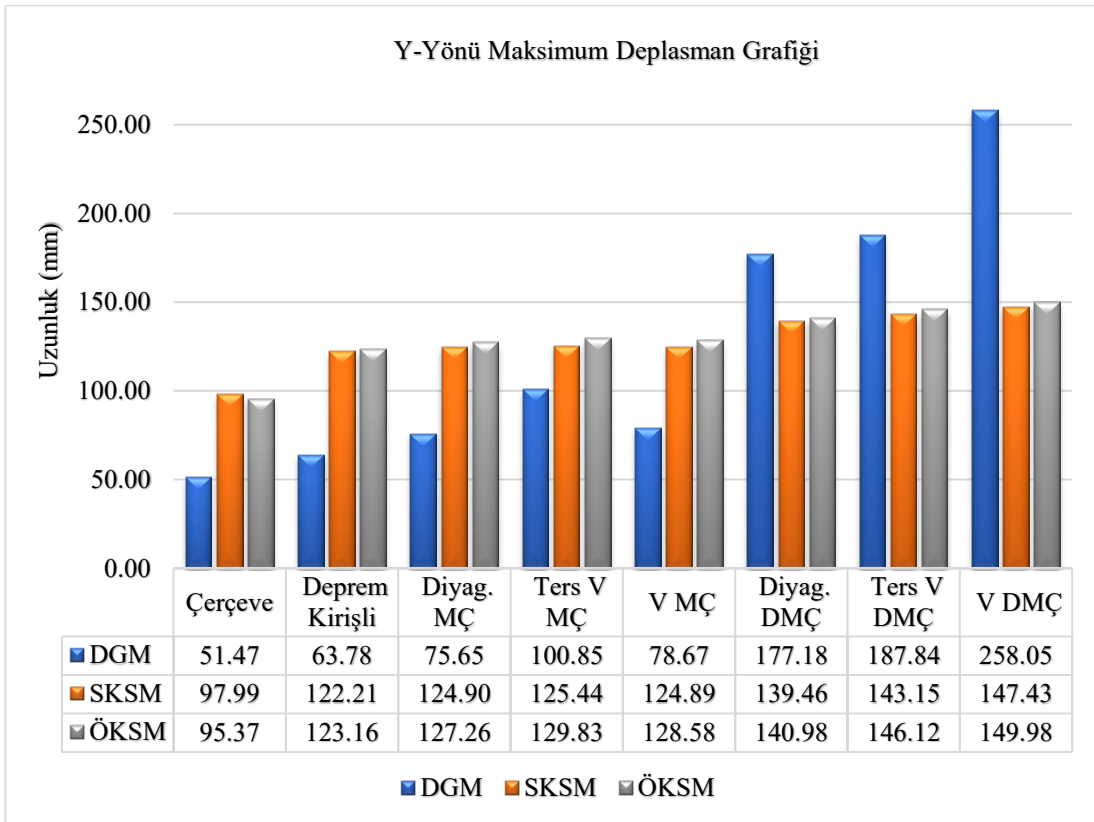
Maksimum öteleme değerleri, 3 makas ve 8 çerçeve tipi olmak üzere toplamda 24 farklı yapı üzerinde, SAP2000 yapısal analiz programı aracılığı ile hesaplanmış ve grafikler halinde incelenmiştir. Öteleme değerleri tüm yük kombinasyonlarının ana iki eksende yapılara etki ettirilmesiyile oluşan yer değiştirme değerleridir. Maksimum değerler yapıların stabilite durumları hakkında önemli veriler sunabilmektedir. Bu parametre üzerinden asıl gözlemlenmek istenen ise, hangi örgü düzeninin hangi çapraz sistem ile daha stabil çalıştığı ve nasıl sonuçlar verdiği hususudur.

Bu amaçla, Şekil 42’de x-yönü ve Şekil 43’te y-yönü maksimum deplasman değerleri mm cinsinden 24 farklı çerçeve tasarım için ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil 42 ve Şekil 43’te verilen grafiklerdeki veriler doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- DGM’nin çaprazsız çerçeve sistemlerinin x-yönü deplasman sonuçlarına bakıldığında ciddi oranda yer değiştirmeler olduğu görülmektedir. Dışmerkez ve merkezi çaprazlı çerçeve sistemler karşılaştırıldığında %90’lara varan yer değiştirme farklılıkları görülmektedir. Bu durumun sonucunda ise DGM türünün MÇ’li çerçeveler ile daha uyumlu çalıştığını söylemek mümkündür.
- X-yönünde iki kafes sistem arasında değerlendirme söz konusu olduğunda, SKSM türünün merkezi çaprazlar ile ÖKSM türünün dışmerkez çaprazlar ile daha uyumlu çalıştığı görülmektedir.
- Y-yönü maksimum deplasmanlar incelendiğinde, DGM türünün dışmerkez çaprazlı sistemlerle uyumlu çalışmadığı görülmüş ve merkezi çaprazlı sistemlere göre %150’lere varan oranlarda yer değiştirme miktarında artış olduğu gözlenmiştir.
- Y-yönünde kafes sistem makas türleri incelendiğinde, maksimum deplasmanlar açısından merkezi çaprazlar ile dışmerkez çaprazlar arasında %20 civarında bir farklılık olduğu görülmektedir.
- Sonuç olarak maksimum deplasmanlar açısından, hem x-yönünde hem de y-yönünde DGM diyagonal MÇ’li sistem en düşük yer değiştirme değerlerini vermektedir. Maksimum deplasmanlar ile alakalı daha bağlayıcı genel değerlendirmeler tartışma, sonuçlar ve öneriler bölümünde detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 42. Makas türleri x-yönü maksimum deplasman grafiği.



Şekil 43. Makas türleri y-yönü maksimum deplasman grafiği.

4. Tartışma, Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan bu çalışmada sadece kapasite tasarım değerleri sınır değer olarak tercih edilmiştir. Her taşıyıcı eleman türünün en az bir elemanının %80 kapasite değerine ulaşması, karşılaştırma için ön koşul olarak kabul edilmiştir. Diğer karşılaştırma parametreleri serbest bırakılmış ve sonuçlar buna göre gözlemlenmiştir.

Tablo 2’de yapılan analizler ve çalışmalar sonucunda dikkate alınan karşılaştırma kriterlerine göre elde edilen ideal örgü düzenlerinin ayrıntılarına yer verilmiştir. İdeal örgü düzeni olarak sunulan bu tablodaki veriler çapraz türlerinin sonuç değerleri üzerinden belirlenmiştir. Çerçeve ve deprem kirişli sistemler çalışma amacı doğrultusunda bu karşılaştırmaya dahil edilmemiştir.

Nihai sonuç değerlendirmeleri ise maddeler halinde aşağıda sunulmuş ve ayrıca önerilere de yer verilmiştir.

Tablo 2. Karşılaştırma kriterlerine göre elde edilen genel sonuçlar

Ağırlık (ton)	İdeal Örgü Düzeni							
	Taban Kesme Kuvveti (kN)		Kolon Üst Noktası Ötelemesi (mm)		Tepe Noktası Ötelemesi (mm)		Maks. Deplasman (mm)	
	X maks	Y maks	X	Y	X	Y	X	Y
DGM	SKSM	SKSM	DGM	DGM	ÖKSM	DGM	DGM	DGM
<i>V DMÇ</i>	<i>V DMÇ</i>	<i>Ters V DMÇ</i>	<i>Diyagonal MÇ</i>	<i>V DMÇ</i>	<i>Diyagonal MÇ</i>	<i>V DMÇ</i>	<i>Diyagonal MÇ</i>	<i>Diyagonal MÇ</i>

- Sonuçlar değerlendirilirken en az bir taşıyıcı elemanın %80 kapasite değerine ulaşması ön koşul olarak kabul edilip diğer parametreler serbest bırakıldığından, yapısal davranışların incelenmesinin amaçlandığı bu çalışmanın bütün sınır değerleri sağlayan benzer çalışmalar ile doğrudan karşılaştırılması sağlıklı sonuçlar vermeyecektir.
- Çaprazsız yapıların genel olarak çok yüksek öteleme değerleri taşıdığı açıkça görülmüştür. Bu durumun çözümü ise çapraz stabilite elemanları ile örgü düzeni oluşturmaktır. Örgü düzenine sahip yapılarda öteleme değerlerinde %95 oranında azalma olduğu görülmüştür. Sonuç olarak çapraz elemanların yapılarda kullanılmasının çok önemli ve gerekli olduğu görülmüştür.
- Deprem kirişli yapıların öteleme ve taban kesme değerlerine bakıldığında, çerçeve sistemlere oranla %5 ile %10 arasında değişen miktarlarda daha avantajlı değerler ortaya çıktığı görülmektedir. Deprem kirişinin de çapraz elemanlar gibi stabilite açısından yapılarda gerekli bir eleman olduğu görülmüştür.
- Çaprazsız çerçeve sistemlerin, DMÇ’li ve MÇ’li sistemlere oranla daha düşük yapı ağırlığına sahip olduğu görülmektedir. DMÇ’li sistemlerin yapıya yaklaşık %5, MÇ’li sistemlerin ise yaklaşık %10 civarında ilave ağırlık getirdiği görülmüştür. Sonuç olarak stabiliteyi sağlamak için kullanılan elemanların yapı ağırlığındaki payı %5 ile %10 arasında değişmektedir.
- DGM tipinin diğer kafes sistem makas tiplerine oranla yaklaşık %15 daha az yapı ağırlığına sahip olduğu görülmüştür. DGM türü ile kafes sistem makas türlerinin birebir karşılaştırılması yapılacağından, kafes sistem makas türlerinde makaslar arası stabilite elemanları kullanılmamış ve oluşan öteleme değerleri gözlemlenmeye çalışılmıştır. Durum bu şekilde olduğundan kafes sistem makasların elemanları yüksek enkesitli profillerden oluşmuş ve yapı ağırlığı artmıştır.
- Taban kesme kuvvetlerinin oluşmasında yapı ağırlığı ve stabilite durumu en etkili iki parametredir. Yapılan bu çalışmada kafes sistem makas türlerinin ağırlıktan kaynaklı olarak taban kesme kuvvetlerinin de yüksek çıktığı görülmektedir. Fakat DMÇ’li sistemlerin kafes sistem makas türleriyle oluşturduğu stabilite uyumu sonucunda düşük taban kesme kuvvetleri ortaya çıkmıştır. Özellikle SKSM türünün *V DMÇ*’li sistem ile uyumu en düşük taban kesme kuvvetini oluşturmuştur. Sonuç olarak DGM türlerin MÇ’li sistemler ile, kafes sistem makas türlerin ise DMÇ’li sistemler ile uyumlu ve stabil çalışmakta olduğu görülmüştür. Ayrıca DMÇ’li sistemlerin taban kesme kuvveti yönünden, MÇ’li sistemlere oranla yaklaşık %75 daha düşük sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Kolon üst noktası ötelemelerine bakıldığında deprem kirişli yapıların, çerçeve yapılara oranla %10 ile %15 arasında değişen değerlerde daha düşük öteleme değerleri verdiği görülmüştür. MÇ’li ve DMÇ’li sistemler karşılaştırıldığında, MÇ’li yapıların kolon üst ötelemeler konusunda yaklaşık %90 daha stabil değerler taşıdığı görülmüştür.
- Tepe noktası öteleme değerleri, kolon üst noktası öteleme değerlerine benzer bir durumda olup, kafes sistemler arasında farklılıklar görülmektedir. Tepe düğüm noktasında daha stabil olan ÖKSM türü, SKSM türüne göre %5 ile %30 arasında değişen değerlerde daha düşük öteleme miktarlarına ulaşmaktadır. Y-yönünde yapılarda oluşturulan herhangi bir çapraz düzeni bulunmadığından öteleme değerleri genel olarak ağırlık ile paralel ilerlemektedir. Bu durumun y-yönü kolon üst noktası ve tepe noktası ötelemeleri için geçerli olduğu görülmektedir.
- Deprem kuvvetlerinin oluşturduğu ötelemeler kolon üst noktası ve tepe noktası özelinde değerlendirilirken, dikkate alınan yük kombinasyonlarının oluşturduğu deplasman yapının tümü için değerlendirilmiştir. Maksimum deplasman değerlerine bakıldığında özellikle DGM türünün çaprazsız çerçeve sisteminin çok yüksek deplasman değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca taban kesme değerlerinde olduğu gibi maksimum deplasman değerlerinde de DGM türünün MÇ’li sistemler ile, kafes sistem makas türünün ise DMÇ’li sistemler ile uyumlu ve stabil çalışmakta olduğu görülmüştür.

- Ters V ve V çapraz türleri diyagonal çapraz türü ile karşılaştırıldığında, V çapraz türleri yapı ağırlığı ve taban kesme kuvvetleri yönünden avantaj sağlarken, ötelemeler ve maksimum deplasman açısından ise dezavantajlı sonuçlar vermektedir. Ters V ve V çapraz türlerinin verileri karşılaştırıldığında V çapraz türünün daha avantajlı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.
- DGM türünün kafes sistem makas türlerine göre yaklaşık %16 daha az yapı ağırlığına sahip olduğu görülmektedir. Düşük yapı ağırlığına sahip yapıların inşaat maliyeti yönünden avantajlı olduğu göz önüne alındığında, DGM türünün kafes sistem makaslara göre daha ekonomik çözümler sunabileceği sonucuna ulaşılmıştır.
- Genel olarak çapraz elemanların stabilite açısından yapıda çok önemli bir yeri olduğu, deprem kirislerinin yapıda tam stabilite sağlanması için kullanılması gerektiği, MÇ'li sistemlerin ötelemeler açısından, DMÇ'li sistemlerin ise yapı ağırlığı ve taban kesme kuvvetleri açısından avantajlı sonuçlar verdiği, MÇ'li türler arasında diyagonal çapraz türünün, DMÇ'li sistemler arasında ise V çapraz türünün avantajlı sonuçlar verdiği ve bunlara ek olarak genel değerlendirme yapıldığında DGM türünün ve V DMÇ'li sisteminin verimli sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında tamamlanmış olan “Hangar türü çelik sanayi yapısında farklı makas ve çapraz tiplerinin yapısal sistem üzerindeki etkilerinin incelenmesi” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında yer alan sonuçların ve bulguların bir bölümünü kapsamaktadır.

Referanslar

AFAD. (2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <https://www.tdth.afad.gov.tr>.

Akgönen, A. İ. (2017). Yüksek Sünek Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Yatay Yükler Altında Davranışının İncelenmesi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 16-23.

Alicioğlu, M. (2011). Merkezi Çelik Çaprazlı Yapılarda Uygun Çapraz Kesiti Geometrisinin ve Çapraz Türünün Belirlenmesi. *Sakarya Üniversitesi*.

Altan, Y. (2020). Merkezi ve Dışmerkez Çaprazlı Çelik Bina Yapılarında Deprem Performansının Belirlenmesi. *İstanbul Gelişim Üniversitesi*.

Arıbaş, S., Sancioğlu, S. ve Çarbaş, S. (2019). Dışmerkez V Çaprazların Çelik Bir Yapı Üzerinde İncelenmesi. *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 79-97.

Bayram, B., Sancioğlu, S. ve Çarbaş, S. (2019). Çelik Bir Yapıda Dışmerkez Diyagonal Çaprazların Etkisi. *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1, 128-145.

Can, M. (2008). Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler ile İlgili Tasarım Kurallarının Değerlendirilmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.

Civelek, O. (2010). Süneklik Düzeyi Yüksek Çok Katlı Bir Çelik Yapının Tasarımı. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.

Çelik, B. (2003). Çelik Yapılarda Çaprazlı Çerçevelerin Süneklik Düzeyini Belirleyen Tasarım Kuralları. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.

Çileli, E. (2008). Çok Katlı Çelik Yapılarda Çaprazlı Çerçeve Sistemlerin DBYBHY 2007'ye Göre Tasarımı ve Süneklik Düzeylerinin Karşılaştırılması. *Sakarya Üniversitesi*.

ÇYTHYDE (2018). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.

Eşsiz, Ö. (2005). Deprem Bölgelerindeki Yapılarda Çelik Çapraz Çerçeve Sistemlerinin Avantajları. *Deprem Sempozyumu, Kocaeli*, 665-667.

Karataş, R. (2022). Farklı Çapraz Tipine Sahip Çok Katlı Çelik Yapıların Analizi. *Konya Teknik Üniversitesi*.

Kocabaş, S. (2005). Çelik Yapıların SAP2000 Programı ile Analiz ve Tasarımı. *Çukurova Üniversitesi*.

Korkmaz, K. A. (2007). Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilen Betonarme Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 8(2), 191-201.

- Kumar, M., Raj, V. S., Babu, S. ve Sundararajan, S. (2020). Inelastic Behaviour of Braced Steel Framed Structure by Pushover Analysis. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 9(1), 1876-1879.
- Kural, M. ve Zeybek, Ö. (2011). Merkezi Çelik Çaprazla Teşkil Edilmiş Çok Katlı Çelik Yapıların İkinci Mertebe Analizi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1-14.
- Lekesiz, İ. (2016). Tipik Bir Çelik Endüstri Yapısında Çaprazlı Perde Tipinin Deprem Performansına Etkisinin İncelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi*.
- Mungan, Ö. (2009). Tek Açıklıklı Endüstri Yapılarında Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırılması. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Nayak, B., Kamath, K. ve Avinash, A. (2018). Pushover Analysis Of Three Dimensional Steel Braced Structure With Varying Bracing Heights. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9(4), 265-274.
- Özcihan, B. (2001). Merkezi ve Dışmerkez Çaprazlı Çelik Yapı Sistemlerinde Lineer Olmayan Davranışın İncelenmesi ve Süneklik Düzeyinin Belirlenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Putra, Z. ve Tarigan, J. (2019). Performance Analysis of Steel Portal Structures with Braces Designed Based on Allowable Interstory Drift Limits. *Simetrikal Journal of Engineering and Technology*, 01(02), 87-102.
- Sancioğlu, S. ve Çarbaş, S. (2021). Merkezi Çelik Çaprazların Bir Çelik Yapı Üzerinde İncelenmesi. *1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*, 558-565.
- Sancioğlu, Sadrettin, Arıbaş, S., Bayram, B., Şimşek, M. ve Çarbaş, S. (2019). Çelik Bir Binada Kullanılan Çapraz Tiplerinin Deprem Etkisi Altında Analizi.
- SAP2000. (2021). Structural Software for Analysis and Design.
- Şeker, S., Tunç, Ö., Börekçi, D. ve Göktaş, B. (2021). Dışmerkez Çelik Çaprazların Yapılar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2021(2), 172-181. doi:10.47137/usufedbid.991094
- TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TS EN 1991-1-3 (2007). Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri (Eurocode 1). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1991-1-4 (2007). Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-4: Genel Etkiler-Rüzgâr Yükleri (Eurocode 1). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türk, B. (2016). Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeve Taşıyıcı Sistemin Tasarım Kurallarının ve Performansının Değerlendirilmesi. *İstanbul teknik Üniversitesi*.
- Yanık, E. (2019). Çelik Taşıyıcı Sistemlerde Kullanılan Çaprazların Yapı Davranışı Üzerine Etkilerinin Araştırılması.
- Yıldızhan Sağer, B. (2021). Moment Aktaran ve Merkezi Çaprazlı Çok Katlı Çelik Yapıların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Analizi ve Tasarımı. *Çukurova Üniversitesi, Adana*.