



STADYUM YAPILARINDA KULLANILAN TAŞIYICI SİSTEMLERİN İRDELENMESİ

Utkucan Sürgülü ¹ , Ali Osman Kuruşcu ² 

¹⁻² Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul, Türkiye.

ÖZET

Stadyumlar, antik çağlardan günümüze kadar gelen, spor müsabakalarının yapılabilmesi için özel olarak tasarlanmış, günümüzde kentlerin ve sosyal hayatın önemli odak noktaları haline gelmiş yapılardır. Tarih boyunca stadyumlar üzerinde çok sayıda yapısal form ve taşıyıcı sistem denemesi olmuş, gelişen teknolojiyle birlikte büyük açıklıkları rahatlıkla geçebilen stadyum yapıları inşa edilmiştir. Bu çalışmada, büyük açıklık geçen stadyum yapılarında kullanılan taşıyıcı sistemler incelenmiştir. Taşıyıcı sistemlerini en basit ve en iyi şekilde ifade eden yapıların strüktürleri; geçtiği açıklıklar, eleman boyutları, kullanılan malzemeler, yük akışı vb. gibi konular kapsamında detaylı olarak incelenmiştir. Her bir yapının taşıyıcı sistem elemanları; görseller, çeşitli şematik gösterimler ve kesit çizimleri üzerinden anlatılmıştır. Çalışmada, taşıyıcı sistem seçiminde hangi faktörlerin etkili olduğu göz önünde bulundurularak, büyük açıklıklı stadyum yapıları için hangi sistemin ideal sistem olarak kullanılabileceğini görmek amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında literatür araştırması yöntemine başvurulmuştur. İncelenen örneklerden tablolar oluşturulmuş ve bu örnekler üzerinden bir genelleme yapılarak taşıyıcı sistem seçiminde etkili olan faktörler ve kullanılan strüktür sistemlerinin ne gibi avantaj ve dezavantajlar sağladığı üzerine bir sonuca varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Stadyum, Taşıyıcı Sistem, Asma-Germe Sistem, Kafes Sistem, Dolu Gövdeli Sistem

EXAMINATION OF STRUCTURAL SYSTEM USED IN STADIUM BUILDINGS

ABSTRACT

Stadiums are structures that have been specially designed for sports competitions, which have survived from ancient times to the present and have become important focal points of cities and social life today. Throughout history, there have been many structural form and carrier system trials on stadiums, and stadium structures that can easily pass large openings have been built with the developing technology. In this study, the carrier systems used in stadium structures with large spans are examined. The structures of structures that express the carrier systems in the simplest and best way; openings, element dimensions, materials used, load flow, etc. were examined in detail within the scope of such topics. Carrier system elements of each structure; visuals various schematic representations and section drawings are explained. This study aims to see which system can be used as the ideal system for large-span stadium structures, taking into account which factors are effective in the selection of a carrier system. Within the scope of the study, the literature research method was used. Tables were created from the examples examined, a generalization was made over these examples and a conclusion was reached on the factors that are effective in the selection of the carrier system and the advantages and disadvantages of the structural systems used.

Keywords: Stadium, Carrier System, Suspended-Tension System, Truss System, Solid Webbed System

Sorumlu Yazar : Utkucan Sürgülü

Makale Geliş Tarihi : 23.06.2022

Makale Kabul Tarihi : 11.10.2022

Makale Künye Bilgisi : Sürgülü,U.,Kuruşcu,A.(2022). Stadyum yapılarında kullanılan taşıyıcı sistemlerin irdelenmesi. *KAPU Trakya Journal of Architecture and Design*, 2(2), 1-21

* Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Dr.Öğr.Üyesi Ali Osman Kuruşcu danışmanlığında yürütülmekte olan yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

1. GİRİŞ

Stadyumlar, antik dönemlerde inşa edilmiş bu yana buldukları şehirlerin mimari ögesi olarak odak noktası haline gelmiş, spora olan ilginin artmasıyla kullanıcı istekleri doğrultusunda eşsiz yapılar tasarlanmıştır. Tarih boyunca stadyumlar üzerinde çok sayıda yapısal form ve taşıyıcı sistem denemesi olmuş, gelişen teknolojiyle birlikte büyük açıklıkları rahatlıkla geçebilen stadyum yapıları inşa edilmiştir.

Stadyum çatıları, çoğu zaman büyük açıklık geçen konsollu yapılar oldukları için taşıyıcı sistem elemanlarında çok büyük iç gerilmeler oluşmaktadır. Bu sebeple bu iç kuvvetlere karşı koyacak taşıyıcı sistemin seçimi son derece önemlidir. Günümüzde gelişen yapı teknolojisi ve bilgisayar yazılımları sayesinde bu yapılar betonarme veya çelik, ön germeli, art germeli ve asma-germe sistemler kullanılarak inşa edilmektedir. Ülkemizde ve dünyada stadyum çatılarına bakıldığı zaman genellikle çelik malzemenin kullanıldığı sistemler tercih edilmektedir. Bunun başlıca sebebi çelik malzemenin yüklerle karşı olan dayanımının yüksek olması, yapıların hafif olmasını ve tasarım açısından çeşitliliğe olanak sağlamasıdır (Kozanoğlu & Suk, 2015).

Bu çalışmanın ilk bölümünde stadyumun tanımından ve tarihsel gelişiminden bahsedilmiş ve ikinci bölümde ise gelişen teknolojiyle birlikte günümüz stadyum yapılarında büyük açıklıkların geçilebilmesi için ne tür taşıyıcı sistemlerin kullanıldığı, taşıyıcı sistemlerini en basit ve en iyi şekilde açıklayan örnekler üzerinden incelenmiştir. Dünya üzerinde yer alan stadyum yapılarının tümü çalışma öncesinde taşıyıcı sistem sınıfına göre gruplandırılmıştır. Hakkında kapsamlı ve detaylı bilgiye ulaşılan yapılar makale kapsamında değerlendirilmiştir. Her bir taşıyıcı sistemi en iyi açıklayan yapıların strüktürleri, geçtikleri açıklıklar, eleman boyutları, kullanılan malzemeler, yük akışı vb. gibi konularda detaylı olarak incelenmiş, çeşitli görsellerle taşıyıcı sistem elemanları açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmada incelenen örnekler üzerinden büyüklük, geçilen açıklık, kapasite ve deprensellik gibi konularda çıkarımlar yapılarak stadyumların taşıyıcı sistem seçiminde hangi etkenlerin önemli olduğu ve taşıyıcı sistemlerin bu tür yapılar için ne gibi avantajlar ve dezavantajlar sağladığı üzerine bir sonuca varılmıştır.

2. STADYUM YAPILARINDA KULLANILAN TAŞIYICI SİSTEMLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Stadyumlar, çeşitli spor müsabakalarının yapılabilmesi için uygun fiziksel ortamı sağlayan spor tesisleridir. Daha geniş bir ifadeyle stadyumlar; takım sporlarının, atletizm yarışmalarının yapılmasına elverişli, içerisinde soyunma odaları, sağlık odaları, güvenlik, VIP salonlar vb. gibi alanlar bulunan, buradaki etkinlikleri izleyecek olanların oturma yerleri vb. gibi alanları bünyesinde barındıran büyük spor tesisleridir (Şahin, 2005).

Spor hareketlerinin başladığı ilk dönemlerden itibaren spor alanlarının oluşumu başlamıştır. Bu alanlarda en önemli yeri stadyum binaları oluşturmaktadır. Stadyumlar ilk olarak Antik Yunan uygarlığında ortaya çıkmış ve uygarlık tarihi boyunca değişim ve gelişim göstermiştir. Geçmişten günümüze stadyumlar "Antik Dönem Stadyum Yapıları", "XIX. ve XX. Yüzyıl Stadyum Yapıları" ve "XXI. Yüzyıl Stadyum Yapıları" olarak üç başlık altında incelenmektedir.

2.1 Antik Dönem Stadyum Yapıları

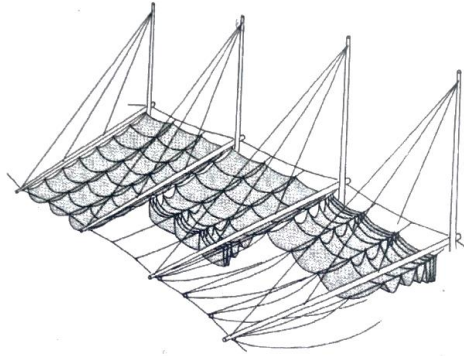
Stadyum yapılarının henüz bir mekân oluşturmadığı Antik dönemde spor etkinlikleri agoralarda gerçekleştirilmiştir. Agora, bilinen işlevinin yanı sıra erkek çocuklarla, gençlerin spor yarışmaları yapıp oyunlar oynadıkları ve daha yaşlı kişilerin toplanarak onları izledikleri 'kırsal spor alanı' rolünü üstlenmiştir (Cesur, 2012).

Antik Yunan döneminde temelleri atılan stadyumlarda geniş alanlar ve seyirci kapasitesinin yüksek olması ön plana çıkmaktadır. Bu dönemde koşu için yapılan stadyumlar ilk zamanlarda dar ve fazla uzun olmayan pistten oluşurken bu pistin kenarlarında seyircilerin karşılaşmaları izleyebileceği alanlar bulunmaktadır. M.Ö. 4. yüzyıldan itibaren stadyumlar anıtsal bir görünüm almaya başlamıştır. Yunan döneminde büyük ve anıtsal stadyumlar yapılırken, Roma döneminde stadyumlar yerine yarışların düzenlendiği arenalar tercih edilmiştir. Roma döneminde spordan çok eğlenceye önem verilmiştir ve bu dönemde daha çok gladyatör ve hayvan dövüşleri, at ve araba yarışları düzenlenmiştir. Bu faaliyetler amfi tiyatro, 'circus'lar ve hipodromlarda gerçekleşmiştir (Cesur, 2012).

Antik dönem stadyum yapılarının genellikle üzeri açık olup çatıları bulunmamaktadır. Bu dönemdeki en önemli yapılardan biri 'Colosseum'dur (Şekil1). Roma dönemi stadyum yapılarından Colosseum plan olarak yaklaşık 190 m x155 m boyutlarında bir elips biçiminde, 50 m yüksekliğinde ve yaklaşık 50.000 kişilik kapasiteye sahiptir. Yapının üzerinin izleyicileri güneşten korumak için gemi yapım tekniklerinden yelkenli teknolojisi kullanılarak açılıp kapanabilir bir sistemle (Şekil 2) örtüldüğü bilinmektedir (Siotor & Schloegl, 2014).



Şekil 1. Collesseum (FeaturedPics, 2020)



Şekil 2. Colesseum Çatı Örtüsü Detayı (Siotor & Schloegl, 2014)

Roma dönemindeki hipodrom ve 'circus'lar plan olarak stadyumlara benzer ancak boyut olarak çok daha büyüktür. 180.000-190.000 kişi kapasiteli olduğu tahmin edilen "Circus Maximus" (Şekil 3) bu yapıların en önemlilerinden biri kabul edilmektedir (Selo, 2018).



Şekil 3. Roma Dönemine Ait Bir Gymnasion, Circus Maximus, (Jean-Claude Golvin İlk Çağlar'da İtalya, Dijital Sanat Arşivi, 2018)

2.2 XIX. Ve XX. Yüzyıl Stadyum Yapıları

Antik çağlardan günümüze kadar stadyumlar, 19. yüzyılda mimari gelişim göstermiş ve bu tür yapılar yalnızca stadyum olmaktan çıkmıştır. Çeşitli spor branşlarına ve aktivitelerine cevap verebilecek açık ve kapalı spor salonlarının inşaatına başlanmıştır. Stadyum yapısının geçmişine bakıldığında, seyirci konforu ve hava koşullarının yanı sıra o zamanki koşullar göz ardı edilerek açık stadyumlar inşa edilmiştir. Zamanla bina koşullarının iyileşmesi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte, kapalı stadyum yapıları inşa edilmiş ve bu yapılar iklime uygun bir mimari oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. İlk dönemlerde taş ve toprak malzeme ile yapılan stadyumlar yerini çelik ve betonarme ile inşa edilen, seyirci tribünlerinin yer aldığı kapalı stadyumlara bırakmıştır. 19. yüzyılda teknoloji ve sanayinin gelişmesiyle birlikte stadyum yapılarında spora olan ilgi giderek artmış ve buna bağlı olarak seyirci sayısında da artış gözlenmiştir.

19. ve 20. Yüzyıl stadyumları Antik dönem stadyumlarını temel almakla birlikte, pek çok açıdan onlardan farklılaşmaktadır. Bu stadyumların mimari yapıları, işlevsellikleri ve konforları ile önceki dönem yapılarından ayrılan özellikleri bulunmaktadır. Bu dönemdeki stadyumların en temel özelliklerinden biri, belirli spor dallarına yönelik olarak tasarlanmaları ve o spor dalına hizmet vermeleridir (Cesur, 2012).

Sadece futbol amaçlı yapılan ilk stadyum örneği 1878 yılında İngiltere’de inşa edilen Victoria Ground Stadyumu’dur (Şekil 4). Boğa güreşleri için yapılan stadyumların aksine mimari kimlik olarak antik dönemlerde yapılan yapılardan farklıdır. Bu yapı modern anlamda yapılan stadyum yapılarının ilk örneklerindedir (Durgun, 2007).



Şekil 4. Victoria Ground Stadyumu, İngiltere, 1878 (Victoria Ground. 2022)

2.3 XXI. Yüzyıl Stadyum Yapıları

21. yüzyıla gelindiğinde stadyum yapıları önemli bir değişim ve gelişime uğramıştır. Bu dönemdeki stadyumlar, güncel teknolojiyle tasarlanmış olup yüksek maliyetli özgün taşıyıcı sistemlere, çatılara, cephelere ve aydınlatma sistemlerine sahiptir. 21. yüzyıl stadyumları; genel anlamda açık hava sporları, konserler ve çeşitli etkinlikler için kullanılan, odağında etkinliğin gerçekleştirildiği bir meydan bulunan ve söz konusu meydanın seyircilerin ayakta ya da oturarak etkinliği izlemelerine olanak verecek şekilde tasarlanmış bir strüktürle çevreleyen yapı olarak ifade bulmaktadır (Gürel & Akkoç, 2011).

2001 yılında Güney Kore’nin Busan kentinde inşa edilen Busan Asiad Main Stadyumu, mimari anlamda geçmişin günümüz teknolojisiyle birleştirildiği yapılara örnektir (Şekil 5). 55.982 kişilik kapasiteye sahip olan yapı üst örtü olarak da stadyum yapılarının çatı çözümlerine örnek olmuştur (Durgun, 2007).



Şekil 5. Busan Asiad Main Stadyumu, 2001, Güney Kore (Anonim, b.t.)

2002 yılında düzenlenen dünya kupası müsabakaları stadyum yapıları açısından önemli bir yere sahiptir. Gerek yapının teknolojisi gerekse mimari açıdan en önemli stadyumlardan birisi 2001 yılında Japonya'nın Sapporo kentinde inşa edilen Sapporo Dome Stadyumu'dur (Şekil 6). Stadyumun çatısı uzay kafes kemerler kullanılarak inşa edilmiştir. Tamamlandığında modern stadyum yapılarının önemli örneklerinden birisi olmuş, form ve işlev anlamında farklı bir tarz yaratmıştır.




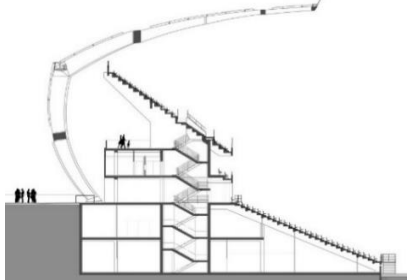

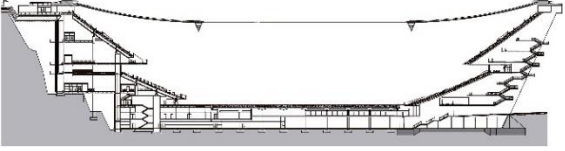

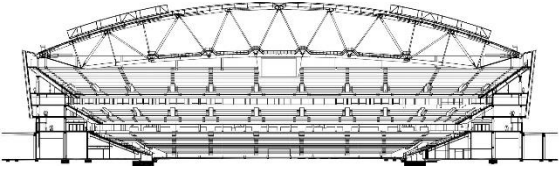

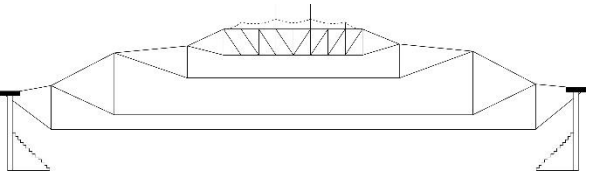

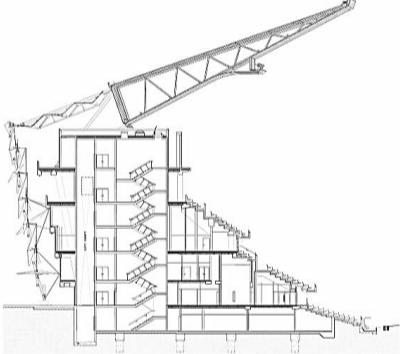
Şekil 6. Sapporo Dome Stadyumu, Japonya, 2001 ("Sapporo Dome", 2019)


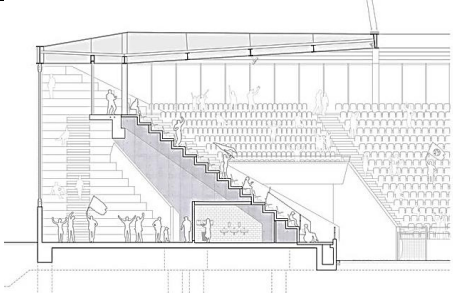

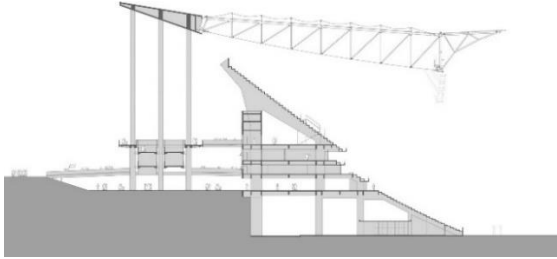
3. STADYUM YAPILARINDA KULLANILAN TAŞIYICI SİSTEM TÜRLERİ

Stadyum yapılarında kullanılan taşıyıcı sistemler yapının ihtiyaçları doğrultusunda geniş açıklıkların geçilebilmesini ve sistemin ayakta kalmasını sağlayarak yapıya etki eden yükleri yapının temeline aktarmaktadır. Stadyum yapılarının çatı strüktürlerinin belirlenmesinde yapının bulunduğu bölgenin iklimi, depremselliği, zemin durumu, rüzgâr yükü, geçilen açıklık ve seyirci konfor koşulları gibi faktörler etkili olmaktadır.

Stadyum çatılarında temel olarak kabuk sistem, asma germe membran sistem, kablo sistem, dolu ve boşluklu gövdeli kirişlerle oluşturulan sistem, düzlem kafes ve uzay kafes kirişlerle oluşturulan sistem ve birden fazla sistemin birlikte kullanıldığı karma sistem gibi strüktürel sistemlerin yanı sıra hareketli sistemler de kullanılmaktadır. Bu bölümde taşıyıcı sistemlerini en basit ve en iyi şekilde yansıtan, hakkında detaylı bilgilere ve çizimlere ulaşabildiğimiz, taşıyıcı sistemlerin her birine örnek teşkil eden 7 adet stadyum yapısı incelenmektedir. İncelenen yapıların taşıyıcı sistemlerindeki yük akışı en iyi bu örnekler üzerinden anlaşılabilir. Çalışmada yer alan stadyum yapıları taşıyıcı sistemlerini açıklayan kesit çizimleriyle birlikte Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. İncelenen stadyumlar ve taşıyıcı sistemleri

Kullanılan Taşıyıcı Sistem	Yapının genel görünümü	Yapının kesiti
<p>Kabuk Sistem</p>	 <p>Arena da Amazonia, Brezilya ("Wallpaper spor"^a, b.t.)</p>	 <p>("Arena da Amazônia / gmp Architects", b.t.)</p>
<p>Kablo sistem</p>	 <p>Estádio Municipal de Braga, Portekiz ("Sporting Braga", 2015)</p>	 <p>(Maza, 2012)</p>
<p>Uzay kafes kirişlerle oluşturulan sistem</p>	 <p>Friends Arena, İsveç ("Friends Arena", b.t.)</p>	 <p>("Micro-perforated façade", 2018)</p>
<p>Asma germe membran sistem</p>	 <p>Georgia Dome, ABD ("Wallpaper spor"^b, b.t.)</p>	 <p>(Levy & Jing, 1994)</p>
<p>Düzlem kafes kirişlerle oluşturulan sistem</p>	 <p>Hazza Bin Zayed Stadyumu, BAE ("Aerial", 2020)</p>	 <p>(Wimmer, 2016)</p>

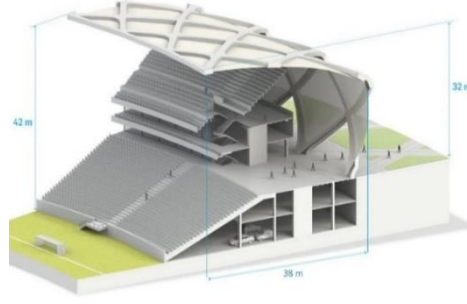
Kullanılan Taşıyıcı Sistem	Yapının genel görünümü	Yapının kesiti
Dolu gövdeli kirişlerle oluşturulan sistem	 <p>Stade de la Tuilière, İsviçre ("Stade de la Tuilière, 2022)</p>	 <p>(Pintos, b.t.)</p>
Asma-germe kablolu sistem + Düzlem kafes kirişlerle oluşturulan sistem (Karma sistem)	 <p>Estádio Nacional de Brasília Mané Garrincha (Cordeiro ,2017)</p>	 <p>("Brasilia National Stadium", nd.)</p>

3.1 Arena da Amazonia, Brezilya

Brezilya'nın Manaus kentinde yer alan stadyum GMP Architekten ve Schlaich Bergermann und Partner tarafından Brezilya'da gerçekleştirilecek olan dünya kupası için tasarlanmış ve 2014 yılında kullanıma açılmıştır (Şekil 7). 44.300 kişi kapasiteli stadyum, taşıyıcı sistem olarak çelik kabuk sistemle inşa edilmiştir. Yapı tropikal bir bölgede yer aldığı için yıllık yağış miktarının çok olmasından kaynaklı yağmur suyunun tahliyesi için büyük oluklar olarak hizmet eden içi boş çelik kutu kirişler diyagonal şekilde yerleştirilerek 38 m açıklık geçilmiştir (Şekil 8). Yapıda kullanılan kirişler Brezilya'da üretilmediği için kargo gemileri aracılığıyla Portekiz'den getirilmiştir (Göppert vd., 2014).

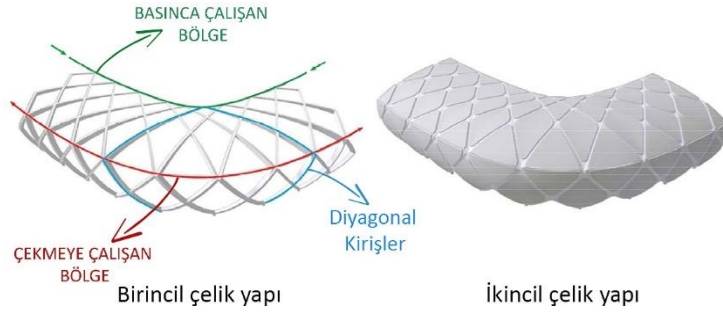


Şekil 7. Arena da Amazonia genel görünüm (Pazuelo, b.t.)

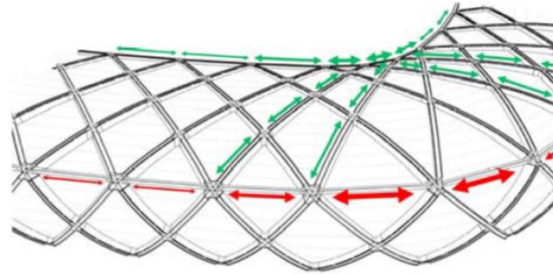


Şekil 8. Geçilen açıklık ve kiriş yükseklikleri (“Arena Amazônia”, b.t.)

Stadyumun çatısında çapraz olarak düzenlenmiş konsol çalışan çelik kutu profiller birincil çelik çatı yapısını oluştururken membran kaplamayı taşıyan iskelet ise ikincil bir çelik çatı yapısını oluşturmaktadır. Çatının iç kısmında oluşturulan halka basınca, dış kısımdaki ise çekmeye çalışmaktadır (Şekil 9). Çatıda oluşan yük diyagonal kirişler ile betonarme yapıya oradan da temele aktarılmaktadır (Şekil 10).

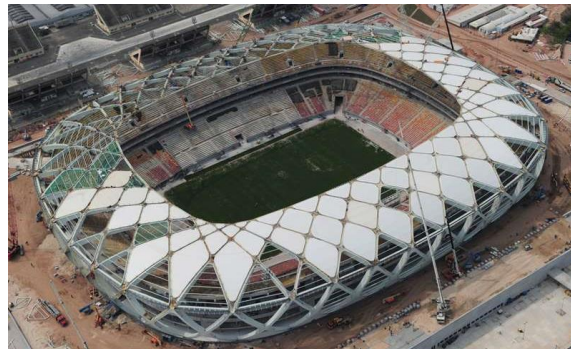


Şekil 9. Çatının taşıyıcı sistem elemanları (Göppert vd., 2014)



Şekil 10. Yük akışının şematik gösterimi (Göppert, 2013)

Yapının çatı ve cephesinin tasarımı için 32.000 m²'lik cam elyaf kumaş kullanılmıştır (Şekil 11). Membran malzeme, yapının bulunduğu konumdan dolayı hava şartlarına, UV ışınlarına ve neme dayanıklı kendi kendini temizleyebilen 3M Dyneon PTFE (politetrafloroetilen) ile kaplanmıştır (“Tensinet”^a, b.t.).



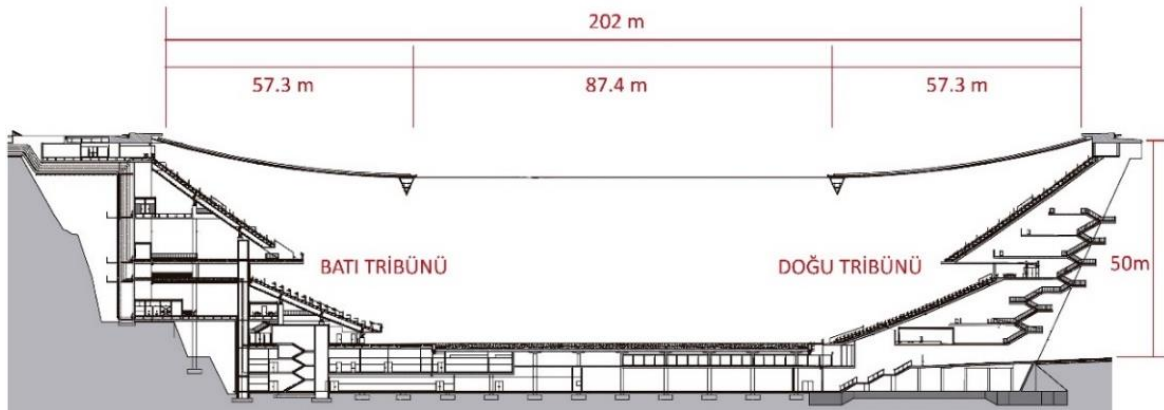
Şekil 11. Çatı ve cephenin membran malzeme ile kaplanması (Botterilli, 2014)

3.2 Estádio Municipal de Braga (Axa Stadyumu), Portekiz

Portekiz'in Braga kentinde yer alan stadyum Eduardo Souto de Moura tarafından 2004 Avrupa Futbol Şampiyonası için tasarlanmış ve 2004 yılında kullanıma açılmıştır (Şekil 12). 30.100 kişi kapasiteli stadyum, taşıyıcı sistem olarak tek doğrultuda yük akışını sağlayan kablo sistemle inşa edilmiştir. Çatıda yer alan kablolar, doğu ve batı olmak üzere her iki tribünün üzerindeki iki büyük kirişe sabitlenmiştir. Yapının batı tribünü 40 m'lik kot farkının bulunduğu bir yamaca otururken doğu tribünü 50 m yüksekliğinde betonarme olarak yapılmıştır (Furtado vd., 2006).



Şekil 12. Braga Stadyumu genel görünüm ("Estadio Municipal de Braga", b.t.)



Şekil 13. Braga Stadyumu'nun kesiti (Maza, 2012)

Stadyumun çatısı, araları 3,75 m olan, çapları 80 mm ile 86 mm arasında değişen 80 adet çekmeye çalışan kablolardan ve tribünlerin üzerini kapatan prefabrik beton plakalardan oluşmaktadır (Şekil 14). Kabloların geçtiği maksimum açıklık 202 m ve tribünlerin üzerini kapatan her bir betonarme döşemenin uzunluğu ise 57,3 m'dir. Geri kalan 87,4 m'lik kısım ise serbest kablolardan oluşmaktadır (Şekil 13). Yapıda kullanılan prefabrike beton plakalar 24,5 cm kalınlığındadır. Her beton levhanın önünde rijitlik sağlayan, aynı zamanda ışık ve ses sistemlerini barındıran enine üçgen bir kafes kiriş bulunmaktadır. Batı tribünün betonarme duvarları kayaya sabitlenmiş ve çatı kablolarında oluşan gerilme kuvvetleri betona gömülü bir şekilde gerdirilerek temele aktarılmaktadır. Yapının çatısının bir tarafı eğimli olarak yapıldığı için yağmur suyu yanal olarak güneydoğu yönünden atılmaktadır (Magalhães vd., 2008).



Şekil 14. Prefabrike beton panellerin yerleştirilmesi (Furtado vd., 2006)

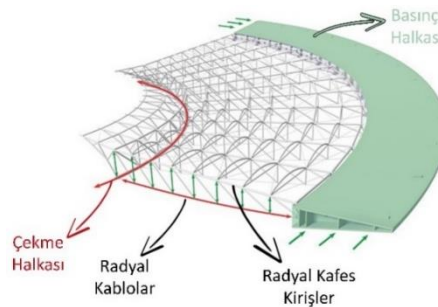
3.3 Estádio Nacional de Brasília Mané Garrincha, Brezilya

Brezilya'nın Brasilia kentinde yer alan stadyum Castro Mello Architects tarafından tasarlanmış ve 2013 yılında kullanıma açılmıştır (Şekil 15). 72.800 kişi kapasiteli stadyum, taşıyıcı sistem olarak asma germe kablolu sistem ve düzlem kafes kirişlerin bir arada kullanıldığı karma sistem ile inşa edilmiştir.

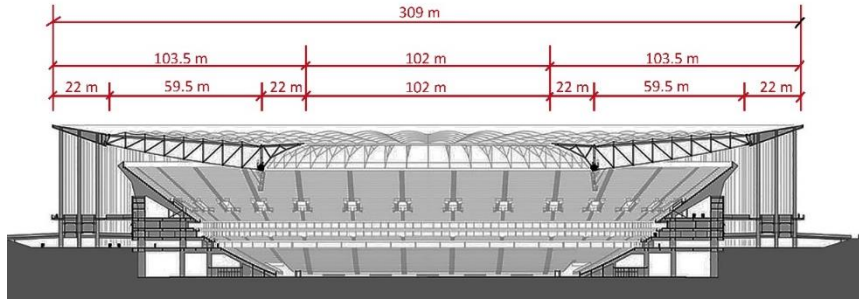


Şekil 15. Estádio Nacional de Brasília Mané Garrincha genel görünüm ("Arena BRB", 2013)

Çatının dış kısmında kısa kenarı 1 m uzun kenarı 5 m, betonarme kutu kiriş olarak yapılmış çapı 309 m, genişliği ise 22 m olan basınç halkası yer almaktadır. İç kısımda ise kablolardan oluşan çekme halkası bulunmaktadır. Burkulma etkisinden dolayı basınç elemanlarının çekmeye çalışanlara göre daha kalın kesitleri bulunmaktadır. Asma germe çatı sistemi basınç halkasını çekme halkasına bağlayan 48 adet radyal kablolardan oluşmaktadır. Radyal kablo demetlerinin her biri kesit alanı 150 mm² olan 2x31 adet halattan oluşmaktadır. Bu kabloların üzerinde ince kesitli çelik kafes kirişler bulunmaktadır (Şekil 16). Stadyumda yüksek basınç kuvvelerine maruz kalan tüm elemanlar betonarme olarak yapılmıştır. Çatıyı taşıyan toplam 288 kolon üç sıra halinde stadyumun etrafına yerleştirilmiştir. Çapı 1,2 m olan kolonlar C60 betonla inşa edilmiştir. Basınç halkasında ise C40 beton kullanılmıştır. Stadyumun çatı kirişleri 81,5 m uzunluğunda ve 22 m konsol çıkacak şekilde tasarlanmıştır (Göppert vd., 2014). Çatının serbest açıklığı ise 102 m'dir (Şekil 17).



Şekil 16. Çatının taşıyıcı sistem elemanları (Göppert vd., 2014)



Şekil 17. Estádio Nacional de Brasília Mané Garrincha kesiti (“Brasilia National Stadium”, 2014)

Stadyumun çatısı çift cidarlı olarak tasarlanmış ve farklı kaplamalar kullanılmıştır. Çatının üst kısmında PTFE kaplı fiberglas kumaş kullanılırken alt katmanda PTFE kaplı cam elyaf membran tercih edilmiştir (Şekil 18). Konsol olarak çıkan kısımda ise toplam 7000 m² polikarbonat levha kullanılmıştır.



Şekil 18. Çift cidarlı çatı (Göppert vd., 2014)

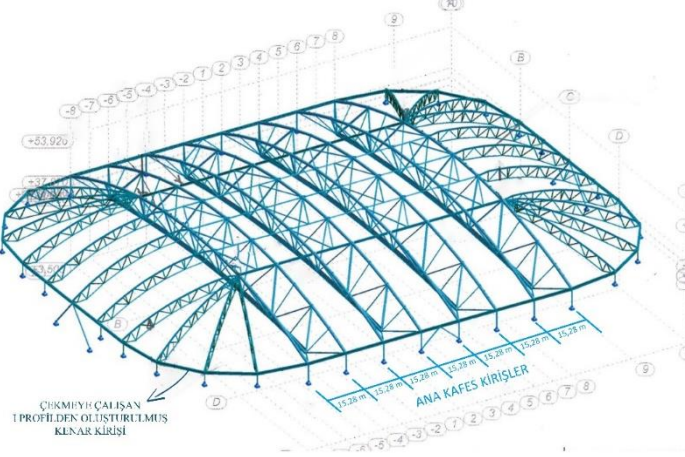
3.4 Friends Arena, İsveç

İsveç'in Solna kentinde yer alan stadyum C. F. Møller Architects, Arkitekterna Krook, Tjäder ve Populous tarafından tasarlanmış ve 2012 yılında kullanıma açılmıştır (Şekil 19). 54.300 kişi kapasiteli stadyum, taşıyıcı sistem olarak uzay kafes girişler ile inşa edilmiştir. Yapının çatısı 20 dakikada açılıp kapanabilecek şekilde tasarlanmıştır (“Friends Arena”, 2012).



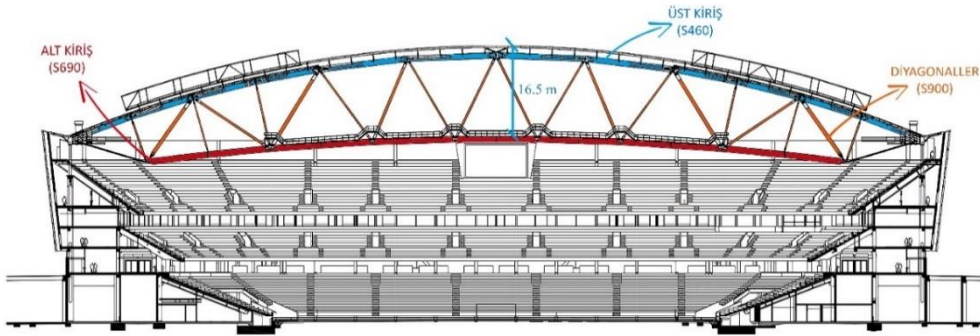
Şekil 19. Friends Arena genel görünüm (Ainali, 2012)

Çatının taşıyıcı sistemi 162 m açıklık geçen dört adet uzay kafesten ve bunların yanında yer alan 47 m açıklığa sahip 4 m yüksekliğindeki uzay kafes makaslardan oluşmaktadır. Ana kafes kirişler 16,5 m yüksekliğe sahip olup 15,28 m aralıklarla yerleştirilmiştir (Şekil 20). Ana kafes kirişlerin üst kirişlerinde S460 sınıfı çelikten oluşan boru profiller, diyagonallerinde S900 sınıfı çelikten oluşan profiller ve alt kirişlerinde ise S690 sınıfı çelikten oluşan U profiller kullanılmıştır (Şekil 21). Açılabilir çatıda ise S550 sınıfı çelikten oluşan soğuk şekillendirilmiş çelik profiller kullanılmıştır (Cederfeldt, 2013).



Şekil 20. Friends Arena'nın strüktür modeli (Cederfeldt, 2013)

Stadyumun çatısı çapları 30 cm ile 46 cm arasında, et kalınlığı ise 14 mm ile 28 mm arasında değişen 40 adet dairesel kolon tarafından desteklenmektedir. Yapının çatı yükleri yapı etrafında yer alan, çekme halkası görevi gören, kaynaklanmış I profillerden oluşturulmuş kenar kirişine oradan da kolonlar aracılığıyla temele aktarılmaktadır. Stadyum çatısında yüksek mukavemetli çelik (HSS) kullanılarak ağırlık ve maliyette tasarruf sağlanmıştır (Cederfeldt, 2013).



Şekil 21. Stadyum kesiti ve taşıyıcı sistem elemanları ("Micro-perforated façade", 2018)

3.5 Georgia Dome, ABD

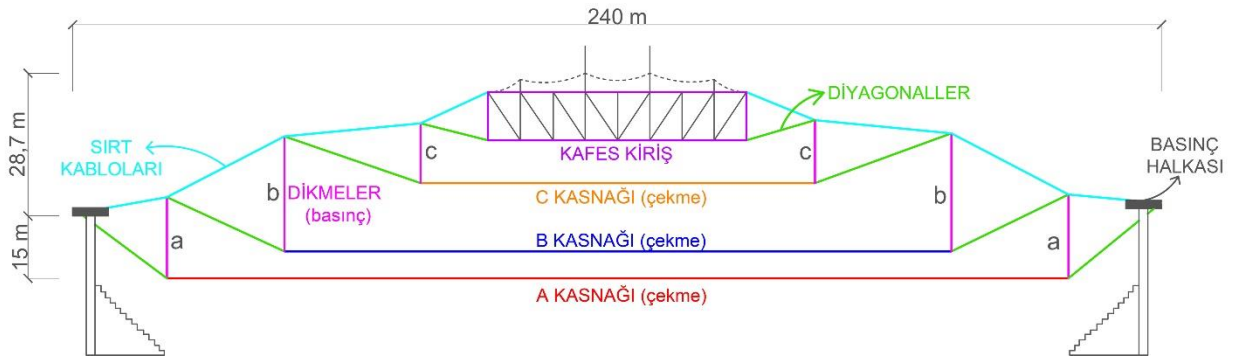
Amerika'nın Atlanta kentinde yer alan stadyum Heery International, Rosser FABRAP International ve Thompson, Ventulett, Stainback & Associates tarafından tasarlanmış ve 1992 yılında kullanıma açılmıştır (Şekil 22). 74.200 kişi kapasiteli stadyum, taşıyıcı sistem olarak asma-germe kablo (tensegrity) sistem ile inşa edilmiştir. Yapı 240 m x 192 m ölçülerinde dünyanın en büyük kablo destekli membran çatısına sahiptir. Yapının çatısı PTFE kaplı fiberglas membran ile kaplanmıştır ("Tensinet"^b, b.t.)



Şekil 22. Georgia Dome genel görünüm (Tucker, 2017)

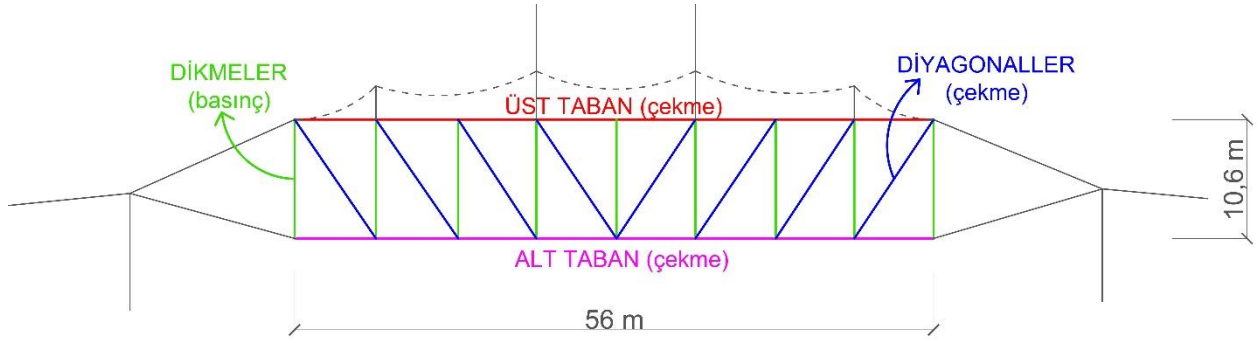
Stadyumun çatısı, planda 1,2 m x 1,8 m kesitli 52 adet kolonun üzerine yerleştirilen, 7,9 m genişliğinde ve 1,5 m yüksekliğinde, yer seviyesinin 60 m üstündeki betonarme basınç halkasına sabitlenen kablolardan oluşmaktadır. Betonarme basınç halkası, rüzgârın yüksek hızda olduğu zaman çatının hafifçe bükülmesine izin veren kayar mekanizmalı teflon yastıklara dayanmaktadır. Yapının kablo destekli çatısında A,B ve C olarak tanımlanan iki adet 3 mm x 9 mm çapında, dört adet 10 cm çapında ve dört adet 9 mm x 15 mm çapında paralel şeritlerden oluşan elips biçimde çekmeye çalışan üç kablo kasnağı (Şekil 23) bulunmaktadır (Melaragno, 1993).

Her bir kasnak basınca çalışan çelik dikmelerin tabanına ve çekmeye çalışan diyagonal kabloların alt ucuna 26 düğüm noktasından bağlanmaktadır. A kasnağındaki dikmeler(a) 40 cm çapında, 12 mm kalınlığında ve 14,9 m yüksekliğindeki çelik borulardan oluşurken B kasnağındaki dikmeler(b) 60 cm çapında, 14 mm kalınlığında ve 24,3 metre yüksekliğindeki çelik borulardan oluşmaktadır. C kasnağındaki dikmeler(c) ise b dikmelerinin aynı çap ve kalınlığa sahip 18,5 m yüksekliğindeki çelik borulardan oluşmaktadır (Melaragno, 1993). Farklı dikmeleri birbirine bağlayan sırt kabloları 2,5 cm ile 7,5 cm arasında değişen kablolardan oluşmaktadır (Ayub & Liu, 1992).

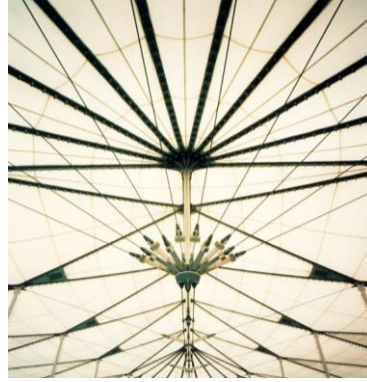


Şekil 23. Georgia Dome kesiti ve taşıyıcı sistem elemanları (Levy & Jing, 1994)

Kablo destekli çatının kubbe merkezinde doğu-batı yönünde uzanan 10,6 m yüksekliğinde ve 56 m uzunluğunda merkez kafes kiriş (Şekil 24) bulunmaktadır (Melaragno, 1993). Kafes kirişte yer alan dikmeler basınca çalışırken diğer elemanlar ise çekmeye çalışmaktadır. Merkez kirişin uç kısmında yer alan dikmenin bağlantı plakalarına eşit açılarda yerleştirilmiş 10 sırt kablosu aralıklı olarak bağlanmaktadır (Şekil 25).



Şekil 24. Merkez kafes kiriş (Levy & Jing, 1994)



Şekil 25. Sırt kabloları (Tomasetti, b.t.)

3.6 Hazza Bin Zayed Stadyumu, Birleşik Arap Emirlikleri

Birleşik Arap Emirlikleri'nin Al Ain kentinde yer alan stadyum Pattern Design tasarlanmış ve 2014 yılında kullanıma açılmıştır (Şekil 26). 25.000 kişi kapasiteli stadyum, taşıyıcı sistem olarak düzlem kafes kirişler ile inşa edilmiştir. Çatının geometrisi, oyun alanı ve tribünler üzerinde yılın her günü saat 17.45'ten sonra tam gölgeleme sağlamak için geliştirilmiştir. Bunun sebebi bölgedeki maçların o saatlerde gerçekleştirilmesi ve seyircilerin güneşten minimum derece etkilenmelerini sağlamaktır (Patel & Kohli, 2015).



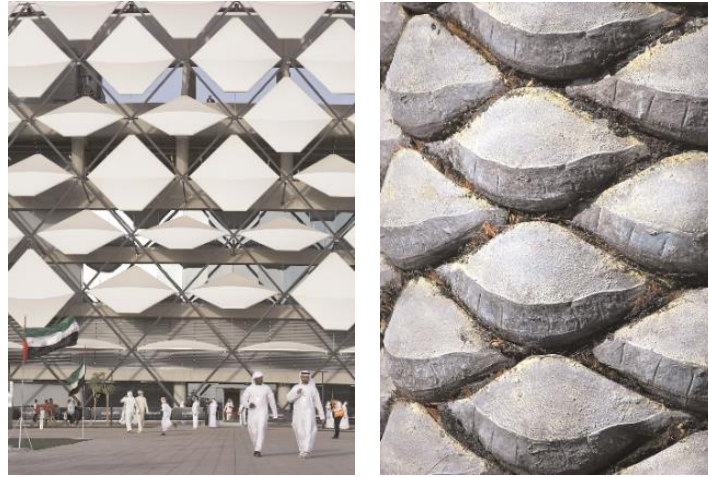
Şekil 26. Hazza Bin Zayed Stadyumu genel görünüm ("Hazza Bin Zayed Stadium, b.t.)

Stadyumun çatısı genişleme derzleriyle dört bölüme ayrılmış ve 62 adet düzlem kafes kiriş ile inşa edilmiştir (Şekil 27). Yapının batıdaki çatısı en yüksek 50,7 m'ye ulaşırken 14 kafes kiriş kullanılarak 38 m'ye kadar açıklık geçilmiş, doğu kısmındaki çatısında ise en yüksek 24,4 m'ye ulaşılırken 14 kafes kiriş ile 20 m'ye kadar açıklık geçilmiştir (Patel & Kohli, 2015). Kuzey ve güney kısmındaki çatıların her birinde ise 17 adet kafes kiriş kullanılmıştır. Kafes kirişlerin alt ve üst kısmında membran kaplaması için

radyal aşıklar (teğet kirişler) yerleştirilmiştir (Paech, Wilbreninck, & Göppert, 2014). Çatının üst kısmı PVC (Polivinil klorür) kaplı polyester membran ile kaplanmıştır. Stadyumun dış cephesinde ise palmiye ağacının gövdesinden ilham alınarak bir çerçeve inşa edilmiş ve PTFE kaplı cam elyaf membran kullanılmıştır (Şekil 28).



Şekil 27. Stadyumun çatısındaki düzlem kafes kirişler (Paech vd., 2014)



Şekil 28. Palmiye ağacının gövdesinden esinlenilmiş stadyum cephesindeki çerçeve sistem (Patel & Kohli, 2015)

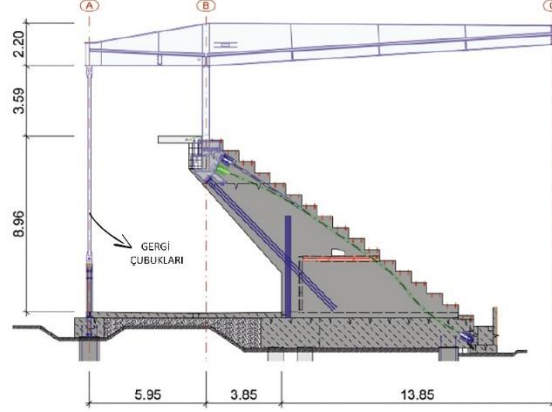
3.7 Stade de la Tuilière, İsviçre

İsviçre'nin Lozan kentinde yer alan stadyum mimari yarışma projesi kapsamında MLZD ve Sollberger Bögli tarafından tasarlanmış ve 2020 yılında kullanıma açılmıştır (Şekil 29). 12.500 kişi kapasiteli stadyum, taşıyıcı sistem olarak dolu gövdeli çelik kirişler ile inşa edilmiştir.



Şekil 29. Stade de la Tuilière genel görünüm ("Stade de la Tuilière", b.t.)

Stadyumun temeli için uzunlukları 10 m ile 13 m arasında değişen 310 adet kazık kullanılmıştır. Köşe kısımlarda yer alan yerinde dökme üçgen plakalar yüksekliği 12,35 m ve yatayda 38° eğim yapacak şekilde inşa edilmiştir. Kesit kalınlığı ise tabanda 90 cm'den başlayarak üst kısımda 28 cm'ye kadar düşmektedir. Tribünlerin ana taşıyıcı elemanları C30/37 beton sınıfında 60 cm kesit kalınlığına sahip öngermeli beton plakalardan yapılmıştır. Basamaklarda ise 20,22 m uzunluğunda ve 15 cm kalınlığında öngermeli beton plakalar kullanılmıştır (Basetti & Kunze, 2021).



Şekil 30. Stadyum kesiti (Basetti & Kunze, 2021)

Yapıda kullanılan tüm çelik bileşenler S355 sınıfı çelik kalitesiyle yüksek mukavemetli olarak tasarlanmıştır. Stadyumun çatısında 23,65 m uzunluğunda haddelenmiş dolu gövdeli kirişler kullanılmış ve 17,7 m açıklık geçilmiştir. Kirişler 20,22 m ve 19,05 m aralıklarla yerleştirilmiştir. Kirişlerin yerden yüksekliği 12,55 m ve kiriş yüksekliği ise 2,20 m'dir (Şekil 30). Çatı panellerinin montajını sağlamak için ana kirişlerin alt kısmına haddelenmiş HEA 500 çelik profillerden oluşan aşıklar 4,45 m aralıklarla yerleştirilmiştir (Şekil 31). Bu aşıklara akustik açıdan yalıtım sağlayan trapez sac paneller monte edilmiştir. Stadyumun konsol çalışan kirişlerinin yer çekimi etkisiyle oluşan kuvvetini karşılamak adına kirişlerin arka kısmında gergi çubukları kullanılmıştır. Çatı konstrüksiyonunun her birinin ortasında 50 mm hareketlere izin veren genleşme derzleri yapılmıştır (Basetti & Kunze, 2021).



Şekil 31. Ana kirişler ve aşıklar (Basetti & Kunze, 2021)

4. SONUÇ

Sonuç olarak çalışmada ele alınan yapılar buldukları konum, iklimsel koşullar, seyirci gereksinimleri vb. gibi ölçütlere göre farklı yapı sistemleriyle tasarlanmıştır. İncelenen örneklerde de görüldüğü üzere taşıyıcı sistem türünün geçilen açıklığı, yapının ağırlığını, stadyum kapasitesini ve maliyeti etkilediği görülmüştür. Tablo 2'de de görüldüğü üzere taşıyıcı sistemde kabloların kullanıldığı Georgia Dome ve Braga Stadyumu'nda incelenen diğer örneklerle göre daha büyük açıklıkların geçildiği tespit edilmiştir. Kabloların kullanıldığı yapılarda kullanılan çelik miktarının azalmasından dolayı hem daha

hafif hem de daha az maliyetli yapıların inşa edildiği görülmektedir. Kablo sistemler deprem yükleri karşısında avantajlı durumdayken rüzgâr yükleri karşısında çeşitli önlemlerin alınmasını gerektirmektedir.

Tablo 2. Stadyumların taşıyıcı sistemleri, geçtiği açıklıklar ve kapasiteleri

Stadyum	Taşıyıcı sistem türü	Geçilen açıklık(m)	Kapasite (kişi)	Maliyet
Stade de la Tuil�re	Dolu g�vdeli kirişlerle oluşturulan sistem	17,7 m	12.500	80 milyon CHF (€73 milyon)
Arena da Amazonia	Kabuk sistem	38 m	44.300	€200 milyon
Hazza bin Zayed Stadyumu	Düzlem kafes kirişlerle oluşturulan sistem	38 m	25.000	425 milyon AED (€84 milyon)
Est�dio Nacional de Bras�lia Man� Garrincha	Asma germe kablolu sistem- Düzlem kafes kirişlerle oluşturulan sistem (Karma sistem)	103,5 m	72.800	€660 milyon
Friends Arena	Uzay kafes kirişlerle oluşturulan sistem	162 m	54.300	€300 milyon
Est�dio Municipal de Braga	Tek doğrultuda y�k aktaran kablo sistem	202 m	30.100	€83 milyon
Georgia Dome	Tensegrity sistem (Asma germe kablo sistem)	240 m	74.200	215 milyon \$ (€183 milyon)

Yapılan bu çalışmanın sonucunda seçilen yapılar taşıyıcı sistem bağlamında incelenmiş olup;

- Yapılarda kapasite arttıka geçilen açıklığın da arttığı,
- Kullanılan malzemeye göre çeliğin ve kabloları bu tür yapılarda daha avantajlı olduğu,
- Büyük açıklıklı stadyum yapılarında asma-germe sistemlerin ve uzay kafes sistemlerin kullanılmasıyla daha büyük mesafelerin geçilebildiği (Tablo 2),
- Deprem bölgelerinde yer alan veya zemin durumunun kötü olduğu yerlerde inşa edilecek olan stadyum yapılarında daha hafif taşıyıcı sistemlerin kullanıldığı (Tablo 3),
- Stadyum yapıları gibi büyük ölçekli projelerde maliyetin kullanılan sistemlere göre büyük değişimler gösterdiği(Tablo 2),
- Büyük açıklıklı stadyum yapılarında kablo sistemlerin ideal sistem olarak tercih edilebileceği, gibi sonuçlara ulaşılmıştır.

Yapılarda detaylı analizler yapıldıktan sonra taşıyıcı elemanların hangi bölgelerinin ne kadar gerilmeye maruz kaldığı tespit edilmeli ve buna yönelik tedbirler alınmalıdır. Stadyum yapıları oldukça karmaşık yapılar olduğu için bu yapıların mimari bağlamda değerlendirilmesi farklı bir çalışmanın konusu olacaktır. Yapılan bu çalışma ile stadyumlarda taşıyıcı sistem seçiminde dikkat edilmesi gereken konulara değinilmiş ve gelecekte inşa edilecek olan stadyumların taşıyıcı sistem tasarımlarına katkı sağlamak hedeflenmiştir.

Tablo 3. Çalışmada yer alan yapıların strüktür, malzeme, depremsellik ve açıklık açısından karşılaştırılması

YAPI	YAPILAR							
	Arena da Amazonia	Estádio Municipal de Braga	Estádio Nacional de Brasília Mané Garrincha	Friends Arena	Georgia Dome	Hazza bin Zayed Stadium	Stade de la Tuileries	
Taşıyıcı sistem türü	Kabuk Sistem							
	Düzlem Kafes Kirişlerle Oluşturulan Sistem							
	Asma-germe sistem							
	Uzay Kafes Kirişlerle Oluşturulan Sistem							
	Kablo Sistem							
	Dolu Gövdeli Kirişlerle Oluşturulan Sistem							
	Asma germe kablolu sistem- Düzlem kafes kirişlerle oluşturulan sistem (Karma Sistem)							
Taşıyıcı Sistemde Kullanılan Malzeme	Çelik profiller							
	Beton							
	Çelik Kablo							
Depremsellik	Çok Riskli Deprem Bölgesi							
	Riskli Deprem Bölgesi							
	Orta Riskli Deprem Bölgesi							
	Az Riskli Deprem Bölgesi							
Geçilen Açıklık	0-50 m							
	50-100 m							
	100-150 m							
	150-200 m							
	200-250 m							

EXTENDED ABSTRACT

Research Problem & Purpose: Stadiums are structures that have been specially designed for sports competitions, which have survived from ancient times to the present, and have become important focal points of cities and social life today. Throughout history, there have been many structural form and carrier system trials on stadiums, and stadium structures that can easily pass large openings have been built with the developing technology. In this study, the carrier systems used in stadium structures with large spans are examined and the structures of the structures that express the carrier systems well; openings, element dimensions, the material used, load flow, etc. have been studied in detail within the scope of topics such as. Carrier system elements of each structure; visuals, various schematic representations, and section drawings are explained. This study aims to see which system can be used as the ideal system for large-span stadium structures, taking into account which factors are effective in the selection of a carrier system.

Methodology: Within the scope of the study, the literature research method was used.

Findings: In the first part of this study, the definition of the stadium and its historical development are mentioned, and in the second part, what kind of carrier systems are used to pass large openings in today's stadium structures with the developing technology, through the examples that explain the carrier systems in the simplest and best way. All of the stadium structures in the World were grouped according to the carrier system class before the study and the structure for which comprehensive and detailed information was obtained was evaluated within the scope

of the article. The structures of the structures that best describe each carrier system, the openings they pass through, the element dimensions, the materials used, the load flow, etc. The elements of the carrier system have been tried to be explained with various visuals. Within the scope of the study, it is best to express the structures system in order to explain each of the shell system, tension membrane system, cable system, the system formed with the solid and hollow body beams, the system formed with the plane trusses and space trusses, and the mixed systems in which more than one system is used together examples were examined. The first example examined, the Arena da Amazonia in Brazil, was built shell system, and the hollow steel box beams were placed diagonally, resulting in a 38 m span. Estádio Municipal de Braga stadium, located in Portugal, was designed with a cable system that provides load flow in one direction, and a span of 202 m was passed. The roof of the stadium consists of 80 pulling cables, 3.75 m apart, with diameters ranging from 80 mm to 86 mm, and prefabricated concrete plates covering the tribunes. Estádio Nacional de Brasília Mané Garrincha stadium in Brazil was built as a mixed system by using the tension cable system and plane trusses together, and a 103 m span was passed in the building with this system. 48 radial cables were used on the roof of the building. Four space trusses with a span of 162 m and 4 m high space trusses with a 47 m span next to them were used at the Friends Arena in Sweden. Georgia Dome, located in Atlanta, USA, has the largest cable-supported membrane roof in the World and a span of 240 m could be easily passed with the tension membrane system. In the roof structure of Hazza bin Zayed Stadium in the United Arab Emirates, spans ranging from 20m to 38 m were used by using 62 flat trusses. In Stade de la Tuilière, the last stadium examined, a span of 17.7 m was passed with 2.2 m high solid steel beams.

Conclusions and Recommendation: By making inferences on issues such as size, span, capacity, and seismicity on the samples examined in the study, a conclusion was reached on which factors are important in the selection of the carrier system of the stadiums and what advantages and disadvantages the carrier systems provide for such structures. As a result, the structures discussed in the study are related to their location, climatic conditions, audience requirements, etc. It has been designed with different construction systems, according to criteria such as. As can be seen in the examples examined, it has been observed that the type of carrier system affects the span passed, the weight of the structure, the stadium capacity, and the cost. It was determined that larger openings were passed than the other examples examined in Georgia Dome and Braga Stadium, where cables were used in the carrier system. Due to the decrease in the amount of steel used in the structures where cables are used, it is seen that both lighter and less costly structures are built. While cable systems are advantageous against earthquake loads, they require various precautions to be taken against wind loads. As a result of this study, the selected structures were examined in the context of the load-bearing system;

- As the capacity in the buildings increases, the span passed also increases,
- According to the material used, steel and cables are more advantageous in such structures,
- Greater distance can be passed by using suspension-tension systems and space cage systems in large-span stadium structures,
- Lighter carrier systems are used in stadium structures that are located in earthquake zones or will be built in places where the ground condition is bad,
- In large-scale projects such as stadium structures, the cost varies greatly according to the systems used, such results have been achieved.

KAYNAKLAR

- Aerial. (2020). <https://www.anique-ahmed.com/wp-content/uploads/2020/01/aerial-photography-dubai40.jpg> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Ainali, J. (2012). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Friends_arena_2.JPG (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Anonim. (b.t.) <https://steemitimages.com/DQmPA2Vdct1UdWpnVLvh4S7tpiFj5sA4YwRDjigJF2QSNFt> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Arena da Amazônia / gmp Architects. (b.t.). <https://www.archdaily.com/527272/arena-da-amazonia-gmp-architekten/53c37bb9c07a80aa890000c1-arena-da-amazonia-gmp-architekten-section> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Arena Amazônia. (b.t.). <https://infograficos.estadao.com.br/public/copa2014/amazonia/> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Arena BRB (Estádio Mané Garrincha). (2013). http://stadiumdb.com/stadiums/bra/estadio_nacional_man_e_garrincha (Erişim tarihi: 30.03.2022)

- Ayub, M., & Liu, F. (1992). *Investigation of October 17, 1991 Roof Cable Structure Accident at Georgia Dome Construction Site, Atlanta, Georgia*. U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration.
- Basetti, A., & Kunze, M. (2021). Gefaltet und vorgespannt- Das Tragwerk des Stade. *Stahlbetonbau*, 116(5), 387-395.
- Botterilli, S. (2014). Vista aérea da Arena Amazônia, em Manaus. <https://placar.abril.com.br/galeria-de-fotos/arena-da-amazonia> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Brasilia National Stadium / schlaich bergemann und partner + Castro Mello Arquitetos + gmp Architects. (2014). <https://www.archdaily.com/527293/brasilia-national-stadium-gmp-architekten> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Cederfeldt, L. (2013). High Strength Steel In Friends Arena Savings In Weight And Cost. *IABSE Symposium: Long Span Bridges and Roofs- Development, Design and Implementation*. Kolkata.
- Cesur, F. (2012). *Sürdürülebilir Stadyum Binalarının Üretimi Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Durgun, D. (2007). *Türkiye'de Sporun Gelişimi ve Değişen Kullanıcı Gereksinimlerini Karşılıyıcı Yönde Modern Stadyum Yapılarının Temel Planlama Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Estadio Municipal de Braga. (b.t.). https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g189171-d4559521-i455086229-Estadio_Municipal_de_Braga-Braga_Braga_District_Northern_Portugal.html (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Friends Arena opens in Sweden. (2012). <https://www.designcurial.com/news/friends-arena-opens-in-sweden> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Furtado, R., Quinaz, C., & Bastos, R. (2006). The New Braga Municipal Stadium, Braga, Portugal. *Fédération Internationale du Béton Proceedings of the 2nd International Congress*. Napoli: International Federation for Structural Concrete.
- Göppert, K., Stockhusen, K., & Dziewas, S. (2014). Das Estádio Nacional Mané Garrincha in Brasília. *Stahlbau*, 83(6), 376-382.
- Göppert, K. (2013). High Tension- Tensile Architecture New Stadium Project. *VI International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures* (s. 21-26). Münih: K.-U. Bletzinger, B. Kröplin and E. Oñate.
- Göppert, K., Stockhusen, K., & Grotz, S. (2014). Arena da Amazonia, Manaus. *Stahlbau*, 83(6), 383-389.
- Gürel, E., & Akkoç, U. (2011). Stadyum: Benzerlikler, Koşutluklar ve İzdüşümler. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(19), 342-370.
- Hazza Bin Zayed Stadium-Pattern Architects. (b.t.). <http://ececakir.com/al-ain-stadium> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Kozanoğlu, C., & Suk, R. (2015). Çelik Malzemeyle Yapılmış Stadyum Tribün Çatısının Taşıyıcı Sistemine Bağlı Maliyet Karşılaştırılmasının Yapılması. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 183-193.
- Levy, M., & Jing, T.-F. (1994). Floating Saddle Connections for the Georgia Dome, USA. *Structural Engineering International*, 148-150.
- Magalhães, F., De Sa Caetano, E., & Cunha, A. (2008). Operational Modal Analysis of the Braga Sports Stadium Suspended Roof. *Engineering Structures*, 30(6), 1688-1698.
- Maza, R. M. (2012). Apuntes... sobre el Estadio de Braga. *En Blanco*, 4(8), 8-15.
- Melaragno, M. (1993). Tensegrities for Skeletal Domes: The Georgia Dome; Case Study. *Periodica Polytechnica Architecture*, 37, 73-79.
- Paech, C., Wilbrenninck, S., & Göppert, K. (2014). Fast-track design and build of a FIFA compliant stadium; The Hazza Bin Zayed Stadium in Al Ain. *Stahlbau*, 83(6), 394-399.

- Patel, D., & Kohli, J.-S. (2015). Hazza Bin Zayed Stadium. P. Culley, & J. Pascoe içinde, *Stadium and Arena Design (Stadium Engineering, 2nd edition)* (s. 203-210). ICE Publishing.
- Selo, K. (2018). Spor Mekanı Olarak Stadyum'un Gelişimi. *Kent Akademisi*, 11(4), 559-574.
- Siator, I. G., & Schloegl, C. (2014). New Structural Technologies For Stadium Roofs. *Lighweight Structures in Civil Engineering* (s. 44-51). Warsaw: Micro Publisher- Jan B. Obrebski.
- Stade de la Tuilière. (b.t.). <https://www.ewz.ch/edl/fr/home/projets/stade-la-tuiliere.html> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Şahin, H. M. (2005). *Beden Eğitimi ve Spor Sözlüğü*. İstanbul: Morpa Kültür Yayınları.
- Tensinet ^a (b.t.). Arena da Amazonia. <https://www.tensinet.com/index.php/component/tensinet/?view=project&id=4603> (Erişim tarihi: 15.05.2022)
- Tensinet ^b (b.t.). <https://www.tensinet.com/index.php/component/tensinet/?view=project&id=3755> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Tomasetti, T. (b.t.). Georgia Dome. <https://www.thorntontomasetti.com/project/georgia-dome> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Tucker, T. (2017). The Atlanta Journal-Constitution. <https://www.ajc.com/sports/how-the-georgia-dome-will-implode-and-remembered/k8qypDTGBwRN4WPVShzd2L/> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Wallpaper spor ^a. (b.t.) <https://besthqwallpapers.com/tr/spor/arena-da-amazonia-amazon-arena-arena-vivaldo-lima-palma-manaus-amazonlar-78944> (Erişim tarihi: 30.03.2022)
- Wallpaper spor ^b. (b.t.) <https://besthqwallpapers.com/tr/spor/georgia-dome-%C5%9Ffeftali-bowl-stadyumu-georgia-state-panthers-stadyumu-atlanta-georgia-133368>
- Wimmer, M. (2016). *Stadium Buildings: Construction and Design Manual*. DOM Publishers.