

**“Tensile Membrane Structures - Form, Material and Design”**

**Anhalt University of Applied Sciences, Faculty of Architecture**

Master Thesis – 2019

Yavuz Vural

[www.onelli.com.tr](http://www.onelli.com.tr)

**“Asma Germe Membran Yapılar - Form, Malzeme ve Tasarım”**

**Asma Germe Membran Yapılar -Tarihsel Gelişim**

(Tezin önsözü )

## **Önsöz**

Hafif yapı sistemleri tasarlanmanın gerekliliğini belirten ilk bilimsel makale Alman mühendis Fritz Leonhardt (1909-1999) tarafından 1940 yılında yazıldı. Leonhardt bu makalesinde, o dönemde malzeme temininde yaşanan problem nedeniyle, hafif yapı sistemlerini bir gereklilik olarak tanımlar.[AL],[DR] Sorumluluk içinde yapılmış bir yapının mümkün olduğunca hafif olması amaçlanır. Hafiflik, bir yapının üretiminde kullanılan toplam malzeme miktarının azaltılmasıyla sağlanabilir. Bir yapının öncelikli görevi dış yüklere direnç gösterebilmektir. Bir yapının kendi ağırlığının yapının yük taşıma kapasitesine oranı, o yapının hafiflik derecesini gösterir. Çelik halat kullanılarak inşa edilmiş bir asma köprü, kafes kirişle yapılan bir köprüden daha hafiftir.[SC]

Hafif yapı sistemleri için temel soru “bir yapı daha az malzeme kullanılarak nasıl tasarlanabilir?” sorusudur. Bu soruya verilen cevabın yeterliliği, malzeme ve yapı tasarım bilgisindeki ilerlemeye bağlıdır. Membran yapı sistemleri hafif yapı çözümleri sağlar. Bu yapılar geniş bir form ve konstrüksiyon seçeneğine sahiptir. Asma germe membran yapılar, halat ağ yapılar, pnömatik yapılar, kafes ızgara kabuklar, jeodezik küreler yüzeyi membrandan oluşan hafif yapılara örnektir. Bu yapı sistemlerinin her

biri yukarıda sorulan soruya bir cevaptır. Bu sistemlerin tamamı, bir yapı alternatifi olarak 1950'lerden sonra ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni uygun malzeme ve tasarım metotlarının bu dönemde geliştirilmiş olmasıdır.

### **- Tarihsel arka plan**

İğne, M.Ö 60.000'li yıllarda icat edildi. Bu keşif sayesinde hayvan derilerinin birleştirilebilmesi mümkün oldu. Bu tarih, sembolik olarak membran yapıların imalatının başlangıcı olarak kabul edilebilir.[DR] Buz çağı insanı, doğadan korunmak için hayvan derisinden barınak ve giysi yaptı. Bu insanlar, mağaralardan başka, hayvan kemiklerini ve derisini kullanarak yaptığı çadırlarda yaşadı. Buz çağı sona erdiğinde tarımla birlikte yerleşik yaşam başladı. Çamurdan yaptıkları kerpiçleri kullanarak evler inşa ettiler.[LB] Fakat göçebeler çadırlarda yaşamaya devam etti. Antik geçmişi olan "yurtlar" ve "kara çadırlar" göçebeler tarafından hala kullanılmaktadır. Göçebeler zorunluluklar nedeniyle portatif, kolay taşınır, hafif çadır tipleri geliştirdiler. Örtü olarak hayvan derisi ve keçi kılından örülen kumaşlar kullandılar. Kuzey Amerika yerlilerinin kullandığı tepee, Asya'da görülen yurtlar ve kara çadırlar bunlara örnek gösterilebilir. Mısır, Roma ve Asya uygarlıklarında hayvan derisinden ve dokuma kumaşlardan yapılan çadırlar askeri amaçlar için kullanıldı. Roma'da, amfiteyatroların seyir terasları halatlar arasına bağlanan keten kumaşlarla gölgelendirildi. Roma'dan 18. yy'a kadar çadır formlarında çok az ilerleme sağlandı. Bunun nedeni mevcut malzemelerin yeterince kuvvet aktaramaması ve uygun birleştirme tekniklerinin bulunmamasıdır.[FR]

Sanayi devrimiyle birlikte keten, pamuk ve yün iplikler makine aracılığıyla üretilmeye başlandı. Ayrıca bu dönemde tel halat imalatında ilerleme sağlandı. 1829 yılında Fransa'da, dövme demir zincir veya çubuk yerine, tel halat kullanılarak yapılan ilk asma köprü tasarlandı. 1800'lü yıllardan itibaren sirkler popüler eğlence araçları haline geldi. Demiryollarının yaygınlaşmasıyla Amerika'da gezici sirkler ortaya çıktı. Gezici sirk şirketleri kolay sökülüp takılabilir çadırlara ihtiyaç duydular. Bu ihtiyaçtan dolayı sirk çadırı endüstrisi gelişti. Sirk çadırı üreten Stromeyer firması 1872 yılında,

Almanya’da kuruldu.[FR] Modern anlamda asma germe membran yapı sistemlerin ilk örnekleri 1950’lerde bu firmada üretildi.

Sanayi devriminin önemli sonuçlarından biri yeni malzemelerin geliştirilmesidir. Çelik üretiminde yaşanan teknik ilerlemeler nedeniyle, 1864 yılından itibaren, farklı kalitede çelik profiller ekonomik ve yaygın bir şekilde temin edilebilir hale geldi.[BK] Modern tel halat, 1831-1834 yıllarında, madencilik alanında kullanılmak üzere Alman maden mühendisi Wilhelm Albert tarafından icat edildi.[WW] İlk polyester lifin üretimi 1941 yılında, İngiliz kimyacılar John Rex Whinfield and James Tennant Dickson tarafından ilan edildi.[WY] Bu malzemelerin üretilmesi hafif yapı sistemlerinin gelişmesine zemin hazırladı.

### **- Öncüler**

Rus mühendis Vladimir Grigorevic Shukhov (1853-1939) çelik hafif yapı sistemlerinin en önemli öncülerinden biridir. Shukhov çelik kafes ızgara sistemlerden oluşan hiperboloid kuleler, çatılar ve çadır yapılar tasarladı. Dünyanın ilk antiklastik formda çelik germe yapısı Shukhov tarafından tasarlandı. Shukhov kendinden sonra gelen bir çok mimar ve mühendisi etkiledi. Günümüzde bu etkiler artarak devam etmektedir. [KD], [BK] Shukhov’un en önemli icadı çelik kafes ızgara yapılarıdır. Shukhov bu sistemleri, hafif, ekonomik, sağlam bir yapı sistemi oluşturmak için yoğun bir araştırma sürecinden sonra geliştirdi. Shukhov bir yapıyı oluşturan elemanların boylarının eşit olması durumunda, yüklerin yapı yüzeyinde eşit bir şekilde dağılacığını, böylece hafiflik ve sağlamlığın birlikte başarılabileceğini keşfetti. 1895 yılında bu keşfin patentini aldı. Bu yapı tekniğiyle 1896 Rusya Nizhny Novgorad Fuarı için geniş açıklıklı çadır yapılar inşa etti. Bu çadır yapıların ızgara çatısı, çapraz bir şekilde üst üste binen, birbirine perçinlenmiş ince çelik şeritlerden oluşuyordu.[ED] Yapının çatısını oluşturan çelik ızgara, kendi ağırlığı nedeniyle bir ön gerilim kazanıyor ve bu öngerilim nedeniyle dış yüklere direnç gösterebiliyordu.[DG] Shukhov, aynı konstrüksiyon tekniğini kullanarak, yüzeyi oluşturan elemanların basınca çalıştığı hiperboloid kuleler ve çift eğrilikli kabuk tonoz çatılı ızgara kabuk

yapılar inşa etti. Bu yapıların bir çoğu bugün ayaktadır. Polonyalı-Amerikan mimar Nowicki Dorton Arena'yı tasarlayana kadar çekmeye çalışan ızgara yapı tekniği unutulmuştu.[BK]

Yurt çadırlar, binlerce yıldır Merkezi Asya'da göçebeler tarafından kullanılmaktadır. Bu çadırlar, geleneksel çadır sistemleri içinde yapı tasarım açısından en zengin sistemlerdir. Birçok komplike detay ve yapısal elemandan oluşur. Yurt çadırların duvarları ahşap ızgaralardan bir kabukla çevrilidir. Bu ızgara kabuk, yurt çadıra yüksek düzeyde stabilite ve sağlamlık kazandırır. Shukhov'un basınca çalışan ızgaraları, yurt cephe ızgaralarıyla biçim ve işlev açısından benzerlik göstermektedir. Shukhov, bir mühendis gözüyle bir yurt çadırı incelemiş ve bu ızgara kabuktan ilham almış olabilir. Yurt ızgara kabukları tek yönlü eğriliğe, Shukhov'un tasarladığı ızgara kabuk yapılar iki yönlü eğriliğe sahiptir.

Shukhov'un ızgara kabuk çalışmalarından yaklaşık elli yıl sonra, antiklastik yüzeye sahip bir çatı örtü sistemi, mimar Matthew Nowicki (1910-1950) ve mühendis Fred Severud (1899-1990) tarafından ABD Dorton Arena projesinde uygulandı (1952). Bu projede çatı örtü sistemi, iki karşıt yönde sıralanmış bir kablo ağdan oluşmaktadır. Kablo ağda oluşan yükler, ağın bağlı olduğu kemer şeklindeki çerçeveye aktarılır. Çatı yüzeyi, antiklastik formunu bu kemer geometri nedeniyle kazanır. Dorton Arena çatı örtü tekniği yeni fikirlerin oluşmasına neden oldu.[DG] Dorton Arena projesi, öngerilimli kablo ağla yapılan ilk önemli uygulamadır. 1951 yılında bu projenin yapımı sürerken, ABD'de öğrenci olarak bulunan Alman mimar Frei Otto (1925-2015) projenin mühendisi Severud'le tanıştı.[ST] Otto, bu projeyi inceledikten sonra asma çatılarla ilgilenmeye başladı [MD]. Otto, doktora tezini hazırlarken bu projeden yola çıktı. Nowicki ve Severud'un kablo ağı, Frei Otto'nun çalışmalarına ilham kaynağı oldu ve çadır yapımcısı Peter Stromeyer ile çok verimli bir işbirliği başlatmasına yol açtı.[DG],[BN]

Amerikalı düşünür, mucit, Richard Buckminster Fuller'in (1895-1983) temel tasarım

düşüncesi “daha azla daha çoğunu yapmanın mümkün olduğu” fikrine dayanır. Fuller’e göre insanlığın temel problemi beslenme ve barınmadır. Bu sorunlar, ekonomik ve etkili bir tasarım anlayışı sayesinde çözülebilir.[WN] Fuller’in temel ilgi alanlarından biri, yapı tasarım ve üretim tekniklerini yeniden yapılandırmak ve konutları iyileştirmek için teknolojiyi kullanmaktır.[BF] Fuller'e göre bir yapı sadece estetik açıdan değil yapının hafifliği veya ekolojik uyumu açısından da değerlendirilmelidir.[MG] Fuller bir çok buluş yaptı ve patent aldı. Fuller kendi kendine yeten bir yapı (Dymaxion House) tasarladı, düşük yakıt tüketimi olan aerodinamik otomobil (Dymaxion Car) icat etti. Fuller’in en meşhur keşfi olarak jeodesik küre gösterilebilir.

Jeodezik küre, bir alanı yüksek dayanımda ve az malzeme kullanarak kapatmak için için ideal bir konstrüksiyon tekniğidir.[KD] Fuller, mümkün olduğunca eşit uzunlukta elemanlardan oluşan bir küre yüzeyi geliştirmek için uzun yıllar çalıştı. Fuller, 20 eşit üçgenden (icosahedron) oluşan bir yüzeyden hareket ederek bunu başardı. Daha refine bir küresel yüzey için her bir üçgeni alt üçgenlere böldü.[KP] Jeodezik küre Fuller’den daha önce, Alman Mühendis Walter Bauersfeld (1879-1959) tarafından keşfedilmişti. Bauersfeld tasarımını 1922 yılında Zeiss Planetarium çatısı projesinde uyguladı. Fuller bu tasarımdan habersiz, kendi hesaplamalarıyla jeodezik küreyi yeniden keşfetti. Fuller, 1949 yılında, alüminyum profiller ve vinil örtüden oluşan ilk jeodezik kubbesini kurdu. İlk ticari müşterisi 1953 yılında Ford Motor oldu. Michigan'da bulunan Ford idari binası avlusunun bir kubbeyle kapatılması gerekti, mühendislerin projelendirdiği sistem 160 ton ağırlığındaydı. Mevcut bina bu ağırlığı taşıyamadığı için proje uygulanamıyordu. Problemi Fuller çözdü, avluyu örtmek için bir jeodezik kubbe tasarladı, bu tasarım sayesinde avlu toplam 8.5 ton malzeme kullanılarak kapatıldı.[WN] ABD, Expo 67’ye Fuller’in tasarladığı jeodezik küreyle katıldı. 2000 yılında İngiltere’de yapılan Eden Projesi jeodezik kürelerin önemli uygulamalarından biridir.

## **- Metot**

Bir yapının hafiflik derecesi, yapının kendi ağırlığının, yapının yük taşıma kapasitesine oranıyla anlaşılır. Bu bağlamda hafiflik ölçülebilir nesnel bir kriterdir. Bir yapı öncelikle çevresel yüklere karşı direnç gösterir. Bu yükler, kar, rüzgar ve deprem olabilir. Bir yapının bu yüklere karşı dayanım kapasitesi, yapının formuna (geometrik şekil) bağlıdır. Yapının yük taşıma kapasitesini artıracak en uygun formu araştırma işlemi “form bulma” olarak adlandırılır. Bir yapı için ideal formu belirlerken, doğal fenomenler bir yol göstericidir. Yer çekimi, minimum enerji prensibi çıplak gözle görülen pratik form verici etkilerdir. Bu bağlamda “form bulma” işlemi deneyseldir ve kaynağını doğal fenomenlerden alır. Canlı veya cansız bir unsurun doğal fenomenler etkisinde, kendi kendine bir form oluşturması “self-forming” olarak adlandırılır.

İspanyol mimar Antoni Gaudi'nin Colonia Güell Kilisesi doğa yasalarına dayanılarak yapılan tasarıma bir örnektir.[TM] Mimar Antoni Gaudi (1852-1926) eserlerinde katenari eğrilerini kullanır. Gaudi bu eğrileri ilk kez Colonia Güell Kilisesi tasarımında kullandı. Ters çevrilmiş bir katenari eğrisi sadece kendi ağırlığını taşıyan bir kemer için en ideal formdur. Bu kemer biçimi kendi ağırlığı altında aksenal basınç gösterir, kemerde kayda değer bir eğilme momenti oluşmaz.[LR] Antoni Gaudi, belki de bir yapının bütün geometrisini belirlemek için, fiziksel bir modelin kendi “kendine oluşturduğu” formu kullanan ilk kişidir. Gaudi, Colonia Güell kilisesinin formunu üç boyutlu bir fiziksel asma model kullanarak belirledi. Bu amaçla, 1:10 ölçeğinde bir plakaya asılı bir funiküler sistem oluşturdu. Gaudi, iplerden oluşan bu sisteme kurşun bilye dolu torbalar asarak ölü yükü simüle etti. Bu fiziksel model -kendi yükü altında dirençli bir yapıyı belirleyen, bir denge figürünün oluşmasını sağladı. Gaudi bu fiziksel modelden sağladığı figürü ters çevirdiğinde, sistemi oluşturan elemanların -eğilme momentine maruz kalmadan- kendi ağırlığı altında sadece aksenal basınç taşıdığı bir yapısal form elde etti.[WD]

İsviçreli mühendis Heinz Isler (1926-2009) betonarme kabuk yapıların öncülerinden biridir. Isler, deneysel yönetime dayanan form bulma teknikleriyle ünlüdür. Isler'in

tasarımlarında, doğayla kurduğu yakın ilişki etkili oldu. Midye, yemiş, yumurta kabuklarından ilham aldı. Isler'in deneysel yöntemler kullanarak ürettiği kabuk yapılar, doğa yasalarıyla şekillenen bu gibi formların sonucudur. Isler bu yaklaşım sayesinde en az malzeme kullanarak en sağlam yapısal formlar üretmeyi başardı.[KT] Isler, tasarladığı betonarme kabukların formunu bulmak için farklı metotlar geliştirdi. En tatmin edici sonuçları asılı bez parçaları kullanarak yaptığı formlardan edindi. İkonik projesi olan Deitengen Servis İstasyonu tasarımını bu form bulma metodunu kullanarak yaptı. Isler, ıslatılmış bir bez parçasını dört noktadan asarak dondurucu gece soğuna bıraktığında oluşan form donarak bir kabuğa dönüştü. Isler, kullandığı en verimli form bulma yöntemini buradan hareket ederek geliştirdi. Ölçekli olarak hazırladığı platforma, alçı vb. içeren özel bir karışımla sıvanmış bez parçası astı. Yer çekimi etkisinde oluşan form katılaştı, formu ters çevirdiğinde, basınca çalışan bir kabuk yapı için gerekli stabil modeli elde etti. Isler, bu ölçekli modelin geometrisini, x, y, z koordinatlı bir platformda, manuel aletler kullanarak üretim için yeterli hassaslıkta tanımladı.[CH]

Doğa ve tasarım arasındaki ilişkiyi göstermek için, daha önceleri “bionics” ve “biomimicry” terimleri kullanılıyordu. Güncel olarak bu kavramlar yerine “biyomimetik” terimi kullanılmaktadır. Biyomimetik, biyolojik yapıları ve süreçleri ve bunların benzer teknolojik uygulamalarını, yöntemlerini veya prosedürlerini anlamayı gerektirir. Biyomimetik, doğanın, ne maddi ve işlevsel ne de yaratıcı bağlamda taklit edilmesi değil, doğal prensiplerin kavranmasıdır. Richard Buckminster Fuller ve Frei Otto gibi mühendisler ve mimarlar 1950'lerden beri “doğal yapılar” ile ilgilendiler ve güncelliğini hala kaybetmemiş yapılar geliştirdiler. Frei Otto, diğer uzmanlarla işbirliği yaparak doğal formların ve yapı süreçlerinin işlevsel temellerini anlamaya çalıştı.[PH]

Asma germe membran yapı sistemlerinin öncüsü Frei Otto 1961 yılında antropoloji ve biyoloji profesörü Johann-Gerhard Helmcke'le (1908-1993) tanıştı. Bu tanışmaya kadar Otto'nun temel ilgi alanı yapısal hafiflik araştırmalarıyla sınırlıydı. Otto, bu dönemde sabun köpükleriyle oluşturduğu minimal formlar üzerinde çalışma



yapıyordu. Helmck'le tanıştıktan sonra Otto'nun formlara olan ilgisinin kapsamı genişledi. Özellikle, diyatom ve radyolaryya fotoğraflarını incelemesi Otto'nun çalışma alanına biyolojiyi de ekledi. Otto, bu fotoğraflarda, sabun köpükleriyle oluşturduğu formların benzerlerini gördü. Otto ve Helmcke, birlikte yaptıkları onlarca yıl süren çalışmalarda, bu formları ve bu formların arkasındaki benzerliğin nedenini anlamaya çalıştılar. Helmcke ve Otto arasındaki ortak çalışma 1993 yılına kadar devam etti.[FB] Doğal yapı formları üzerine yapılan çalışmalar, doğada canlı ve cansız nesnelere ilişkin araştırmalar bugün ve yarın kullanılabilir bir tasarım yaklaşımı başlattı. Doğadaki formların benzerliklerinin tespiti ve bu benzerliklerin arka planının araştırılması tüm zamanlar için geçerli bir tasarım anlayışı olarak ele alınabilir. Frei Otto ve ekibi, bize, sadece bir tasarım teorisi olarak yardım eden değil ayrıca geleceğe ilişkin sorumluluklarımızı yerine getirmemizi sağlayan bir tasarım düşüncesi geliştirdi. [AL]

## **- İlerleme**

II. dünya savaşı sonrası gelenekten kopmak isteyen yenilikçi mimar ve mühendisler [KN], savaş esnasında geliştirilen yeni malzemeler, yapı endüstrisinin kazandığı deneyim, bilgisayar bilimlerinde ve yapı analiz tekniklerinde yaşanan gelişmeler, Tacoma Narrows Köprüsünün yıkılmasıyla (1940) rüzgarın dinamik etkilerine karşı kazanılan teorik bilgi [FR], hafif yapı alanında bir tarihsel sıçramanın yaşanmasına zemin hazırladı. Frei Otto yönetiminde, Stuttgart Teknik Üniversitesi, Hafif Yapılar Enstitüsü'nde (IL) yapılan çalışmalarda, asma germe membran yapı sistemlerinin tasarım ve üretimine ilişkin, kapsamlı teorik ve pratik bilgiler üretildi.

Otto, asma germe membran yapı sistemleri, kablo ağlar, girid kabuklar, pnömatik yapılar, açılır kapanır sistemlerin örneklerini tasarladı. Bu tasarımlar farklı alanlardan bir çok uzmanın katkısıyla gerçekleşti. Hafif yapı sistemleri açısından, Expo 67 Almanya pavyonu (1967 - Mimar Gutbord ile birlikte), Münih Olimpiyat Stadyumu (1972 - Mimar Behnisch ile birlikte), Mannheim Multihalle (1975 - Mimar Carlfried Mutschler ve Joachim Langner ile birlikte) projeleri yapı tasarım tarihi açısından çığır

açıcı örneklerdir.

Frei Otto 1925 yılında Almanya’da doğdu. Otto 1943 yılında mimarlık fakültesine kayıt hakkı kazandı, ancak aynı yıl orduya alındı. 1945 yılında savaş esiri olarak tutuklandı. Fransa’da savaş esirlerinin bulunduğu kampta iki yıl kaldı. Bu kampta mimari ekip içinde yer aldı. Otto, “bir alanı en az malzemeyle kapatma” konseptini burada geliştirdi. 1947 yılında serbest kalarak eve döndü. 1952 yılında Berlin Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi’nden mezun oldu. 1950-51 yıllarında bir bursla Amerika’ya gitti, önemli mimarların yapılarını inceledi. Ayrıca bu dönemde Virginia Üniversitesi’nde sosyoloji ve kentsel gelişim üzerine çalıştı. 1952’de Berlin’de kendi mimarlık ofisini kurdu. 1954 yılında Berlin Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde “Asma Çatı, Form ve Yapı” (Das Hangende Dach, Gestalt und Struktur) isimli doktorasını tamamladı. Aynı yıl çadır imalatçısı Peter Stromeyer ile çalışmaya başladı.[MK], [DC], [MG]

Federal Bahçe Fuarı için 1955 yılında Kassel’de, 1957 yılında Cologne’de asma germe membran yapı sistemlerinin ilk örneklerini uyguladı. Bu sistemler basit, mütevazı bir görünüme sahip olmasına rağmen, teknik mükemmelliği yansıtıyordu.[NR] Bu çalışmalar Otto’ya ulusal tanınırlık kazandıran ilk çalışmalar oldu.[MK] Otto, bu çalışmaların her birinde, yeni form fikirleri, farklı membran malzemeler, farklı öngerme, montaj ve birleştirme metotları denedi.[FR],[DG] Peter Stromeyer ile birlikte yapılan bu çalışmalar antiklastik yüzeye sahip ilk modern asma germe membran yapı örnekleridir. 1958 yılında, Berlin’de, Hafif Yapı Konstrüksiyonları Geliştirme Enstitüsü’nü kurdu. Devam eden yıllarda Amerika’nın önemli üniversitelerinde misafir profesör olarak dersler verdi. 1961 yılında Berlin’de Antropolog Biyolog J. G. Helmcke ile birlikte "Biyoloji ve Yapı" araştırma grubunu kurdu.[MK]

Firtz Leonhardt (1909-1999), Otto’yu Hafif Yapı Enstitüsü’nü (IL) kurması için, Stuttgart Üniversitesi’ne davet etti.[AL] Enstitü 1964 yılında kuruldu. Enstitü

çalışmaları kapsamında, SFB 64 (Long-Spanning Surface Structures 1970-1985) ve SFB 230 (Natural Structures 1984-1995) adlı iki özel araştırma projesinde çalışma yapıldı. SFB 64 programında doğa ve teknoloji, biyoloji ve yapı alanlarında çalışma yapıldı.[PH] SFB 64, Münih Olimpiyat Stadını başarılı bir şekilde tasarlamak ve inşa etmek için gerekli olan tüm teknoloji, tasarım yöntemi ve malzeme bilimini bir araya getirdi.[BN] SFB 230 programında, mimarlık, şehircilik, binaların yapısı konularında çalışma yapıldı. Bu programda canlı, cansız tüm doğadaki “form bulma” ve “self-forming” süreçleri göz önünde bulunduruldu. Bu araştırma programında doğayı anlamak doğayı kullanmaktan daha önemliydi.[PH] SFB 230 araştırma projesinde felsefeciler, biyologlar, mimarlar, farklı uzmanlıklara sahip mühendisler ve şehir plancıları çalıştı.[AL] Enstitüde yapılan çalışmalar deneysel metoda dayanıyordu. Örümcek ağları, sabun köpükleri, bambular, mikro organizmalar “form” konsepti içinde incelendi.

Otto ve çalışma arkadaşları, binlerce yıllık geçmişi olan hafif germe yapı tekniğini, doğadan yola çıkarak yeni bir yaklaşımla yorumladı.[KN] Bugün kullanılan asma germe yapı tasarım kavramlarının, analiz ve üretim tekniklerinin bir çoğu Hafif Yapılar Enstitüsü’nde o dönem yapılan çalışmalara dayanır.[BN] Onlarca yıl süren bu çalışmalar, hafif yapı sistemleri alanında bir çok uzmanın yetişmesini sağladı.[TR] Bir çok mimar ve mühendis, SFB 64 ve SFB 230’da yapılan doğal yapıları araştırma çalışmalarından etkilendi. Bu çalışmalar hafif yapı sistemlerinin ve minimal formların anlaşılmasını sağladı. Günümüzün, enerji tasarrufu sağlayan, malzemeyi etkin kullanan yapı hedefleri dikkate alındığında, doğadan yola çıkılarak yapılan “form bulma” araştırmaları gittikçe önem kazanmaktadır.[PH]

Otto’nun Expo 67 projesi, Shukhov’un Nizhny Novgorod ve Nowicki’nin Dorton Arena projelerinden sonra, kablo ağlardan oluşan hafif yapı sistemleri alanında yeni bir dönem başlattı. Bu proje, Otto’nun vizyonunu ortaya koyduğu ilk proje oldu.[NR] Otto sabun filmlerle bulduğu minimal formu, 8000m<sup>2</sup> büyüklüğünde bir projeye dönüştürmeyi başardı. Bu yapı, formu ve malzemesi nedeniyle asma germe membran

yapı sistemlerinin sağladığı yüksek olanakların anlaşılmasını sağladı. Expo 67 projesi yapısal açıdan bir matematiksel kanıtlama olmadan yapıldı. Bunun nedeni o dönemde bu yüzeylerin modellenmesi ve yapısal davranışını kontrol etmek için bir sayısal tekniğin bulunmamasıdır. Projenin bir kısmının 1:1 ölçekli modeli yapıldı, bu model üzerinde hidrolik jaklar kullanılarak direklere gelen yükler kontrol edildi. Expo 67 projesi, bu özelliği nedeniyle, Otto'nun çalışmaları içinde bir istisnadır.[MD] Otto, Expo 67 projesiyle uluslararası tanınırlık kazandı.[MK] Bu proje, Fritz Leonhardt (1909-1999), Wolfhardt Andrä (1914-1996) ve Klaus Linkwitz'in (1927-2017) teknik katkılarıyla gerçekleşti.[BN] Expo 67 Almanya Pavyonu projesi, hafif yapı sistemlerinin en önemli simgesi olarak görülen Münih Olimpiyat Parkı projesine teorik ve pratik altyapı sağladı. Expo 67 Almanya Pavyonu projesi, bir kablo ağa alttan asılı polyester esaslı membrandan oluşmaktadır.

Münih Olimpiyat Parkı projesi, Otto'nun sabun köpükleriyle bulduğu minimal bir formdan oluşan diğer bir projedir. Bu proje, günümüzde hafif yapı sistemlerinin en önemli simgelerinden biridir. Bu proje Otto'nun fiziksel modellemeye dayanan imalat ve analiz yöntemlerinden bilgisayar teknolojisinin kullanıldığı sayısal modelleme ve analiz yöntemlerine geçişi göstermektedir. Bu özelliği nedeniyle Münih Olimpiyat Parkı projesi asma germe membran yapı sistemlerinin tasarım, imalat ve analiz yöntemlerinde yeni bir dönem başlattı. İlk sayısal form bulma metodu olan Force Density Method, Linkwitz ve H. J. Schek, tarafından 1969 yılında, bu projenin tasarımı aşamasında geliştirildi. 75000m<sup>2</sup> alanı kapatan bu projenin üst örtüsü, çelik halatlardan oluşan ağa akrilik cam paneller sabitlenerek üretildi. Projenin yapısal hesapları Leonhardt ve Andrä tarafından yapıldı.

Otto'nun doğal fenomenlerden yola çıkarak bulduğu bir formu uyguladığı diğer bir çığır açıcı proje Mannheim Multihalle projesidir. Otto, bu projenin yüzey geometrisini bir zincir örgünün yer çekimi etkisinde aldığı formu ters çevirerek oluşturdu. Projenin yüzeyi basınca çalışan bir ahşap ızgara sisteminden oluşmaktadır. Yaklaşık elli yıl geçmesine rağmen bu yapının formu hala günceldir. Bu projenin statik hesapları

Ove Arup (1895-1988) ve Edmunt Happold (1930-1996) tarafından yapıldı. Proje 7400m<sup>2</sup> alanı kapatmaktadır. Üst örtü olarak polyester esaslı membran kullanıldı.

Expo 67 ve Münih Olimpiyat Parkı projelerinin tarihsel önemi dikkate alındığında Leonhardt'ın hafif yapı sistemlerine katkısı önemlidir. Leonardt modern inşaat mühendisliğinin en önemli öncülerinden biridir.[DR] Otto ve Leonhardt, ilk özel araştırma grubu olan SFB 64'ün kurucularıdır. Bu araştırma grubu, 1972 Olimpiyat Parkı projesinin uygulanabilir olması için bilimsel temel hazırladı. 1972 Olimpiyat Parkı projesinin planlanması ve inşası, Leonhardt'ın çok yönlülüğü ve yüksek mühendislik kapasitesinin bir kanıtıdır. Leonhardt, geleneksel köprü tasarımlarından daha ekonomik olan gelişmiş uzun-açıklıklı asma köprüler için yeni sistemler geliştirdi. Ayrıca, öngermeli beton için yeni sistemler ve inşaat yöntemlerine öncülük etti.[TR]

Otto'nun önemi asma germe membran yapı sistemlerine ilişkin ilk uygulamaları yapmış olmasıyla sınırlı değildir. Otto hafif yapı sistemlerine felsefi bir temel geliştirmeye çalışmıştır. Otto'ya göre, doğal yapılar üzerine yapılan bu çalışmalar, doğa yasalarını izleyen rasyonel bir form bulma sürecinin bir parçası olmakla birlikte, aynı zamanda kendisiyle ve doğayla uyumlu, barışçıl ve özgür bir topluma yönelik daha büyük bir vizyonun da bir parçasıdır.[NR] Otto'nun mimarisi her zaman, Almanya'da Nazi döneminde sözde bir sonsuzluk için inşa edilmiş ağır yapılara bir tepki olacaktır. Otto'nun çalışmaları, o dönemin mimarisinin aksine, hafif, doğaya açık, demokratik, düşük maliyetli ve hatta bazen geçiciydi.[MK]

## **Referanslar**

[DR] F. H. Dieringer “Numerical Methods for the Design and Analysis of Tensile Structures” Technischen Universität München PhD-Thesis 2014

[MK] “Frei Otto 2015 Laureate Media Kit” The Pritzker Architecture Prize

[TM] J. Tomlow “A ghost image of the Colonia Guell church by Antoni Gaudi” Hochschule Zittau/Gorlitz (FH), Fachbereich Bauwesen, Germany

[KT] T. Kotnik, J. Schwartz “The Architecture of Heinz Isler” J. IASS Vol. 52 (2011) No. 3

[CH] J. Chilton “Form-finding and fabric forming in the work of Heinz Isler”

[AL] I. L. Aldinger “Frei Otto: Heritage and Prospect” International Journal of Space Structures 2016, Vol. 31(1) 3–8

[SC] J. Schlaich, M. Schlaich “Lightweight Structures”

[BN] M. Barnes and M. Dickson “Widespan Roof Structures” Thomas Telford 2000

[FR] B. Forster “A brief history of cable and membrane roofs” The Arup Journal Vol. 15 No. 3 October 1980

[KD] B. Kádár “World Exhibitions as laboratories for structural innovation” Periodica Polytechnica 42/1 (2011)

[BK] M. Beckh “Hyperbolic structures - Shukhov’s lattice towers – forerunners of modern lightweight construction”

[ED] E. Edemskaya, A. Agkathidis “Rethinking Complexity: Vladimir Shukhov’s Steel Lattice Structures”

[ST] P. Steadman “The Evolution of Designs” Routledge, 2008

[WN] R. G. Weingardt “The Father of Synergetics” Structure Magazine, January 2006

[BF] <https://www.bfi.org/about-fuller/biography>

[PH] G. Pohl, Werner Nachtigall “Biomimetics for Architecture & Design” Springer, 2015

[LR] M. G. Lorenzi, M. Francaviglia “Journal of Applied Mathematics” Volume 3, 2010

[KP] J. Knippers, T. Speck “Design and construction principles in nature and architecture”

[TR] M. Trautz, L. Lin “The Stuttgart School of Building Design” Structure Magazine, April 2008

[NR] W. Nerdinger “Frei Otto Complete Works Lightweight Construction Natural Design” Birkhauser, 2005

[MG] H. F. Mallgrave, D. Goodman “An Introduction to Architectural Theory” Wiley-Blackwell, 2011

[WD] D. Wendland “Model-Based Formfinding Processes: Free Forms in Structural and Architectural Design”

[FB] D. Fabricius “Architecture before architecture: Frei Otto's ‘Deep History’” The Journal of Architecture, Volume 21 Number 8, 2016

[LB] T. Lambert “A Brief History of Houses”

<http://www.localhistories.org/houses.html>

[WY] [https://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic\\_fiber](https://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_fiber)

[WW] [https://en.wikipedia.org/wiki/Wire\\_rope](https://en.wikipedia.org/wiki/Wire_rope)

[MD] “Frei Otto - In Conversation with the Emergence and Design Group” Morphogenetic Design, 2004

[DC] M. Dickson “Frei Otto – inspired inventor, researcher and designer” The Structural Engineer, August 2015