

PNÖMATİK (ŞİŞME) TAŞIYICI SİSTEMLERİN GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE İNCELENMESİ VE SİSTEMATİK BİR ŞEKİLDE SINIFLANDIRILMASI¹

Yasemin Bal¹, Filiz Şenkal Sezer²

¹ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, yasemin.bal@gmail.com, 0000-0003-0876-813X

² Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, filizs@uludag.edu.tr, 0000-0002-8376-5177

Özet

İnsanoğlu var oluşundan günümüze kadar korunma ve barınma amaçları ile sürekli bir şekilde mekan arayışı içerisinde. Mekan arayışları ile mimari faaliyetler ise taşıyıcı sistemlerin gelişimini sağlamıştır. Taşıyıcı sistemlerin gelişimi doğada halihazırda var olan spontane sistemlerden günümüz gelişmiş taşıyıcı sistemlerine kadar ulaşmıştır. Geleneksel taşıyıcı sistemler, çevrede bulunan malzemeler ile birlikte insan gücü kullanılarak çeşitli yığma ve iskelet strüktürlerle uygulanmıştır. Geleneksel sistemlerden geniş açıklıklı çağdaş taşıyıcı sistemlere geçiş ise Endüstri Devrimi sonucunda gerçekleşmiştir. Nüfus artışı, kentleşme, artan kullanıcı ihtiyaçları, kolonsuz geniş açıklıklı mekan gereksinimleri ile birlikte Endüstri Devrimi'nin geliştirdiği teknoloji, makineleşme, yenilikçi malzemeler, uzmanlaşma imkanları birleşerek geniş açıklıklı çağdaş taşıyıcı sistemler uygulanabilir hale gelmiştir. Böylelikle en az malzeme ile en geniş kolonsuz açıklıkları ince en kesitler ile geçmeye çalışan çağdaş taşıyıcı sistemler ortaya çıkmıştır. Geniş açıklıklı çağdaş taşıyıcı sistemler yüzey aktif sistemler, uzay kafes sistemler, kablolu sistemler ve asma-germe (membran) sistemlerdir. Asma-germe (membran) sistemler ise geçmişi çadıra dayanan ve plastik-polimer esaslı malzemelerin mimaride kullanıma başlanması ile ortaya çıkan sistemlerdir. Bu çalışma kapsamında incelenen pnömatik (şişme) sistemlerde asma-germe (membran) taşıyıcı sistemler grubuna dahil edilmektedir. Pnömatik sistemler yapısal özellikleri ve kullanım alanlarına göre çeşitli niteliklere sahiptir. Bu sebeple de çeşitli kaynaklar tarafından birçok sınıflandırma sistemleri mevcuttur. Bu bağlamda yapılan çalışma ile pnömatik sistemlerin taşıyıcı sistemler ile asma-germe (membran) sistemler içerisindeki yerini tanımlamak ve çeşitli sınıflandırılma parametrelerinden çıkarımlarla yeni bir sınıflandırma sistemi ortaya konması amaçlanmıştır. Pnömatik taşıyıcı sistemlere yönelik olarak belirlenen katman sayısı, hava sistemi, basınç farkı, mimaride kullanım alanı, geometrik katmanlar, taşıyıcı elemanı ve biçimlenme parametrelerine göre bir sınıflandırılma sistemi geliştirilmiştir. Sonuç olarak ise pnömatik sistemlerin mimaride kullanılacak alana, ihtiyaca ve beklenen yapısal özelliklerine yönelik olarak belirlenen parametrelere göre seçilmesi ve uygulanması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pnömatik Sistemler, Şişme Sistemler, Taşıyıcı Sistem, Sınıflandırma.

EXAMINATION OF PNEUMATIC (INFLATABLE) CARRIER SYSTEMS FROM PAST TO PRESENT AND CLASSIFICATION IN A SYSTEMATIC WAY

Abstract

Mankind has been in constant search of space for the purposes of protection and shelter from its existence to the present. The search for space and architectural activities led to the development of carrier systems. The development of carrier systems has ranged from spontaneous systems that already exist in nature to today's advanced carrier systems. Traditional carrier systems have been implemented with various masonry and skeletal structures using manpower together with the materials found in the environment. The transition from traditional systems to modern carrier systems with wide spans took place as a result of the Industrial Revolution. Population growth, urbanization, increasing user needs, column-free wide-span space requirements, together with the technology developed by the Industrial Revolution, mechanization, innovative materials, and specialization opportunities have become applicable to wide-span contemporary carrier systems. Thus, modern carrier systems

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Geliş/Received: 11.11.2022 Kabul/Accepted: 24.12.2022

¹ Bu makale "Geçmişten Günümüze Dünya' da ve Türkiye' de Pnömatik Sistemlerin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi" isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Bal, Y., ve Şenkal Sezer, F. (2022). Pnömatik (Şişme) Taşıyıcı Sistemlerin Geçmişten Günümüze İncelenmesi ve Sistematik Bir Şekilde Sınıflandırılması. *KARESİ Journal of Architecture*, 1(1): 21-42.

have emerged, which try to pass the widest column-free spans with thin cross-sections with the least material. Contemporary carrier systems with large spans are surface active systems, space cage systems, cable systems and suspension-tension (membrane) systems. Suspended-tension (membrane) systems, on the other hand, are systems whose history is based on tents and that emerged with the use of plastic-polymer-based materials in architecture. Pneumatic (inflatable) systems examined in this study are included in the group of suspension-tension (membrane) carrier systems. Pneumatic systems have various qualities according to their structural features and usage areas. For this reason, many classification systems are available by various sources. In this context, it is aimed to define the place of pneumatic systems in carrier systems and tension-tension (membrane) systems and to present a new classification system with inferences from various classification parameters. A classification system has been developed for pneumatic conveyor systems according to the number of layers, air system, pressure difference, usage area in architecture, geometric layers, carrier element and forming parameters. As a result, it has been suggested that the pneumatic systems should be selected and applied according to the parameters determined for the area to be used in architecture, the need and the expected structural features.

Keywords: Pneumatic Systems, Inflatable Systems, Carrier System, Classification.

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze insanoğlu kendisine barınacak ve fiziksel koşullardan korunacak güvenli bir mekan arayışı içerisinde olmuştur. İlk zamanlarda vahşi hayvanlar, diğer insanlar veya zorlu çevresel koşullardan korunma hedefleri ise daha sonraları yerini barınacak güvenli alanlar ve farklı malzeme arayışlarına bırakmıştır. Barınma hedefleri ile mekan oluşturma çabası ise taşıyıcı sistemlerin ortaya çıkarak yeni yapılı çevrelerin gelişmesi ile sonuçlanmıştır. Böylelikle mimari üretimler ile taşıyıcı sistemlerin gelişimleri ortaya çıkmıştır. Taşıyıcı sistemlerin gelişimi açısından ise ilk etrafta bulunan yerel malzemeler aracılığıyla bir mekân oluşturabilme çabası mevcuttur. Daha sonralarında bu malzemelerin çeşitli birleşim şekilleri veya dizilimleriyle yeni strüktürler oluşturulmuştur. Böylelikle spontane sistemler yerini geniş açıklıkları geçen çağdaş taşıyıcı sistemlere bırakmıştır. Zaman ilerledikçe kentleşme, nüfus artışı, teknolojinin gelişimi ve sanayiler doğada bulunamayacak yeni malzemelerin ve taşıyıcı sistemlerin ortaya çıkması ile sonuçlanmıştır.

Çağdaş geniş açıklıklı taşıyıcı sistemler ise Endüstri Devrimi ile birlikte ortaya çıkmıştır. Kentleşme ile artan nüfus yeni geniş açıklıklı ve kolonsuz mekanlara ihtiyaç duymuştur. Bu sebeple geniş açıklıkları en az malzeme kullanarak en ince en kesitte geçmeyi hedefleyen bu sistemler geliştirilen çeşitli malzemeler ile uygulanmaya başlamışlardır. Geniş açıklıklı çağdaş taşıyıcı sistemler Engel (2013) tarafından yüzey aktif sistemler (kabuklar), uzay kafes sistemler, kablolu sistemler ve asma-germe (membran) sistemler olarak incelenmiştir. Pnömatik sistemler ise asma-germe yani membran sistemler içerisinde yer alan ve yüzeylerin taşıyıcı hale getirilerek diğer strüktürler ile birlikte kullanıldığı bir taşıyıcı sistemdir.

Pnömatik sistemlerin de ortaya çıkışı buna paralel bir gelişme göstermektedir. Pnömatik sistemlerinde içinde yer aldığı membran sistemler, eski çağlardaki çadırların yeni malzeme ve yapım teknikleri ile uygulanmış halidir. Sarmaşık, halat, örme ip, hasır örgü, deri, post ve bambu gibi doğada bulunan malzemeler ile milattan önce devirlerde görülen ilk çadırlar barınak olarak kullanılmaktadır. İlk

çadırlardan esinlenerek geliştirilen yeni membran taşıyıcı sistemler ise strüktürel kurgu açısından ilk çadır örneklerinden çok farklı bir sisteme sahip değildir. Asya, Afgan, Amerikan, Mısır, Anadolu toplumlari; Roma ve Osmanlı gibi uygarlıklar; çeşitli coğrafyalarda sarmaşık, ip, halat, ahşap, kumaş, örme kıl, deri gibi birçok malzeme çeşidi ile birlikte çadırları uygulamıştır. Günümüzde ise aynı sistem yenilikçi malzemeler ile birlikte daha geniş açıklıklar için uygulanmaktadır. Endüstri Devrimi ile gelişen teknik ve teknoloji ile birlikte plastik-polimer esaslı malzemelerin mimaride günümüz anlamında yapılarda kullanılması 20. yüzyıla kadar dayanmaktadır. Böylelikle insanların ilk zamanlarda uyguladıkları çadır sistemleri günümüzde plastik-polimer esaslı malzemelerin kullanıldığı membran sistemler ile pnömatik sistemlerin temelini oluşturmaktadır.

Pnömatik (şişme) sistemler plastik-polimer esaslı malzemeler ile oluşturulan yüzeylerin gaz veya sıvı maddeler ile basınçlandırılması sonucunda taşıyıcı hale gelen strüktürlerdir. Bu sebeple pnömatik sistemler yüzeysel olarak taşıyıcı hale gelebilen tek, çift veya çok hücreli katmanlardan meydana gelmektedir. Pnömatik sistemler mimaride farklı fonksiyonlarda ve çeşitli amaçlarla uygulanmaktadır. Aynı zamanda pnömatik sistemler sahip oldukları yapısal bileşenleri açısından birçok varyasyonda niteliklere sahip bir şekilde geliştirilebilmektedir. Bu nedenle sahip oldukları özelliklere göre çeşitli sınıflandırılma sistemleri ortaya konmaktadır. Bu çalışma kapsamında geçmişten günümüze pnömatik sistemler hakkında yapılmış olan çeşitli sınıflandırma sistemleri incelenmiştir. Bu incelemeler ile pnömatik sistemlerin taşıyıcı sistemler içerisindeki yeri, sahip oldukları yapısal özellikler nedeni ile ortaya çıkan parametreleri, kullanım alanları, fonksiyonları ve çeşitli sınıflandırılma şekilleri araştırılmıştır. Ulaşılan veriler ışığında öneri bir sınıflandırma sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Pnömatik sistemlerin katman sayısına göre, hava sistemine göre, basınç farkına göre, mimaride kullanım alanına göre, geometrik katmanlarına göre, taşıyıcı elemanına göre ve biçimlerine göre olarak belirlenen altı parametre ile geliştirildiği bir sınıflandırılma şekli ortaya konmuştur. Sonuç olarak pnömatik sistemlerin yapısal ve kullanım alanına göre birçok niteliğe sahiptir. Bu sebeple ihtiyaca ve uygulanılacak alana göre optimum koşulları sağlaması için pnömatik sistemin niteliklerinin belirlenmesi ve uygun bir sistemin seçilmesi gerekmektedir.

1.1. Taşıyıcı Sistemler İçerisinde Pnömatik (Şişme) Sistemlerin Yeri

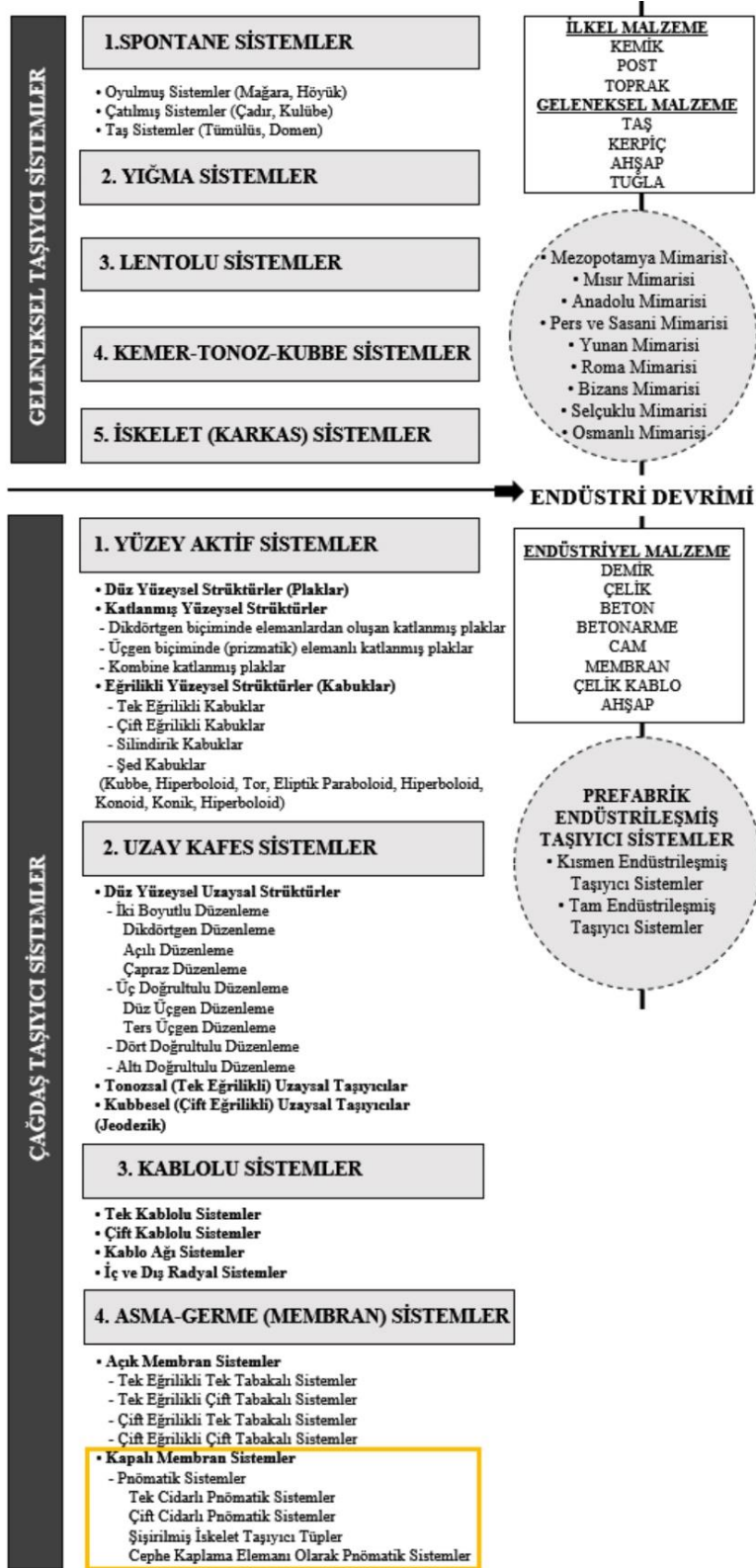
Tarih öncesi devirlerde doğada kendiliğinden var olan alanları barınak olarak kullanan insan eski çağlardan itibaren çevresini şekillendirerek yeni ortamlar yaratmıştır. Yapay çevreler ve yeni hacimler oluşturma çabası mimarlık faaliyetlerinin temelidir. İnsanoğlunun içerisinde yaşamını sürdürmeyi hedeflediği, çevresel ve iklimsel faktörlerden korunduğu, barınak olarak kullandığı doğada bulunan malzemeleri taşıyıcı olarak kas gücü aracılığı ile kurgulanması sonucu ortaya çıkan üç boyutlu mekanlar mimari taşıyıcı sistemlerin başlangıcıdır. İnsan yaşamının bir yansıması olan taşıyıcı sistem eski çağlarda da günümüzde de tüm bilgi birikiminin yansıtıldığı bir olgudur. İnsanlığın gelişmişlik

düzeyinin, tüm bilgi birikiminin ve imkânlarının vücut bulmuş hali taşıyıcı sistemdir. Çünkü strüktürel sistemler ihtiyaçlara yönelik olarak uygulandığı dönemde bilinen malzemenin imkanlar dahilinde kurgulanması sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Taşıyıcı sistemler inşa edilerek oluşturulan sadece bir hacim, boşluk veya form değildir. Aynı zamanda taşıyıcı sistemden yani ortaya çıkan mimari eserden beklenen belirli unsurlar vardır. Üzerine etkileyen yükleri, elemanlarının taşıyıcılığını geçmeyerek güvenle şekilde taşımak ile zemine aktarmak üzere tasarlanmış ve inşa edilmiş dengeli yapı taşıyıcı sistemdir. Bu sistemi sağlamak amacı ile birçok farklı özellikteki taşıyıcı sistem çağlar boyunca insanlar tarafından malzeme, birleşim kurgusu ve uygulama yöntemleri gibi değişken unsurlarda deneyimlenmiştir (Ching vd., 2017). Taşıyıcı sistemlerin doğal yapısında strüktür parça ve malzemelerin bir araya getirilmesi ile olmaktadır, bu bir araya gelme durumu ise strüktür sayesinde imkânlı hale gelmektedir (Picon, 2003). Yapısal yüklerin etkin olduğu kendi ağırlıkları ile üzerine etkileyen yükleri taşıyarak emniyetli bir şekilde zemine aktaran elemanlar topluluğuna taşıyıcı sistem yani strüktür denir (Erol, 1997). Mimari üretimlerde ortaya konan her yapının kendini ve diğer yükleri taşıyan bir strüktürü mevcuttur.

Taşıyıcı sistemin kelime kökeninin gelişimi ise Latince "struere" sözcüğünden ortaya çıkan strüktür yani taşıyıcı sistem, inşa etmek anlamına gelmektedir. Türkçe' de yapı kelimesine tekabül eden strüktür "konstruktion/construction" yani inşaat, inşa ve yapım faaliyetlerine karşılık gelmektedir. Yapı kelimesinin ise her türlü mimarlık yapıtı olarak inşa edilmiş şey ya da unsur olarak çeşitli tanımları bulunmaktadır. Strüktür ile yapı kelimeleri farklı dillerdeki anlamdaş sözcüklerdir. Üzerine etki eden yükleri belli yerlere aktarıp, öngörülen statik dengeyi sağlamak ve sürdürmek amacıyla taşıyıcı elemanların oluşturduğu sistematik bütün o yapının taşıyıcı sistemidir. Mimarlıkta strüktürün ana amacı yük taşımak ve kuvvet açısından önceden planlanan dengeyi kurmaktır (Türkçü, 2003). Bu sebeple taşıyıcı sistemden beklenen niteliklere göre optimum olanını bulmak için geçmişten günümüze birçok strüktür geliştirilmiştir.

Tarihi çağlar boyunca birçok taşıyıcı sistem insanlar ve mimarlar tarafından uygulanmış ve denenmiştir. Bazı taşıyıcı sistemler verimli bir şekilde kullanılarak günümüze kadar gelebilirken, bazıları da istenilen koşulları sağlayamadıklarından unutulup uygulanmamışlardır. Bu denli çok sayıda taşıyıcı sistemin mevcut olması farklı kişiler tarafından belirli kıstaslara göre sınıflandırmaların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Zamana, yaşanan gelişmelere, yük aktarım prensiplerine veya formlarına yönelik olarak taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması Tablo 1' de incelenmiştir. Çağlar boyunca geliştirilerek günümüze dek gelen taşıyıcı sistemler, farklı ölçütlere göre sınıflandırılmaktadır. Çağdaş taşıyıcı sistemlerin de yer aldığı geçmişten günümüze çoğu taşıyıcı sistemi kapsayan bu sınıflandırmalar aynı zamanda strüktürler hakkında bilgi vermektedir. Buna ek olarak geçmişten günümüze taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılmasının içerisinde ise pnömatik sistemlerin yeri belirtilmiştir.



Tablo 1. Geçmişten günümüze taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması

Geleneksel taşıyıcı sistemler doğada bulunan halihazırdaki malzemelerin işlenmeden veya işlenerek yapılarda belirli bir birleşim sistemi ile kurgulanması sonucunda oluşmaktadır. Geleneksel taşıyıcı

sistemler spontane sistemler, yığma sistemler, lentolu sistemler, kemer-tonoz sistemler ve iskelet (karkas) sistemleri kapsamaktadır. Spontane sistemler; doğada kendiliğinden var olan yapıların veya ilkel yöntemler ile etrafta bulunan malzemelerin birleşimi ile oluşan oyulmuş mağara, höyük, çatılmış çadır veya kulübe, tümülüs veya domen gibi taş sistemlerdir. İlkel döneme denk gelen spontane sistemler ilk barınakların oluşumudur. Avcı toplayıcı toplumun konar-göçer yaşamdan tarım faaliyetlerine başlaması ile birlikte yerleşik yaşama geçişi, paleolitik dönemden neolitik döneme geçişi de temsil etmektedir. Bu sayede mimarlığın ilk adımı olan insanların inşa ettiği barınaklar ortaya çıkmıştır. Taş gibi doğada bulunan veya çeşitli karışımlar ile elde edilen kerpiç ve tuğla vb. malzemelerin üst üste yığılması sonucunda yığma sistemler ortaya çıkmıştır. Daha sonra toplumunda gelişmesi ile birlikte mekansal form ve fonksiyonlar gelişerek yeni geometrilere yığma sistemler uyarlanmıştır. Lentolu sistemler ile kemer-tonoz-kubbe sistemler gelişmiştir. Ahşap malzemenin işlenerek bir mekân haline getirilmesi ise günümüzdeki betonarme sistemlerin temeli olan iskelet (karkas) sistemleri geliştirmiştir.

Endüstri Devrimi ile insan yaşamı ve sanayide yaşanan büyük gelişmeler mimariyi de doğrudan etkilemiştir. Nüfus artışı, kentleşme, makineleşme, uzmanlaşma, malzeme ve teknolojinin gelişmesi mimaride taşıyıcı sistemlere yansımıştır. Endüstri Devrimi ile birlikte geleneksel taşıyıcı sistemlerden toplumun yeni ihtiyaçlarını, kolonsuz geniş mekânları ince en kesitler ile en az malzeme kullanarak geçmeyi hedefleyen geniş açıklıklı çağdaş taşıyıcı sistemlere geçilmiştir. Geleneksel sistemlerde kullanılan doğada bulunan veya karışımlarla yapılan kemik, post, toprak veya taş, ahşap, kerpiç, tuğla gibi malzemelerin yerini demir, çelik, beton, betonarme, cam, membran (plastik-polimer esaslı malzemeler), çelik kablolar ve işlenmiş ahşap malzemeler almıştır. Böylelikle ortaya bu malzemeler ile üretilen taşıyıcı sistemler olan yüzey aktif sistemler, uzay kafes sistemler, kablolu sistemler ve asma-germe (membran) sistemler ortaya çıkmıştır.

Pnömatik (şişme) sistemler ise sanayileşme ve hammaddenin işlenmesi sonucunda geliştirilen plastik-polimer esaslı membran malzemelerinin yüzeysel olarak taşıyıcı halde kullanılması ile uygulanabilir olmuştur. Tüm bu taşıyıcı sistemlerin içerisinde pnömatik sistemlerin yeri ise geniş açıklıklı çağdaş taşıyıcı sistemlerin asma-germe yani membran sistemlerinin içerisinde kapalı membran sistemlerdir. Çünkü pnömatik sistemler kapalı membran yüzeylerin gaz veya sıvı (genellikle hava) ile basınçlandırılması sonucunda oluşmaktadır.

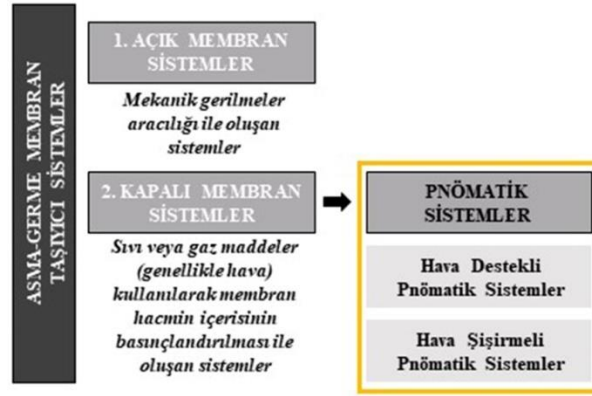
Taşıyıcı sistemlerin gelişimi insanoğlunun varoluşundan günümüze kadar olan süreyi kapsamaktadır. Tarihi devirler boyunca taşıyıcı sistemlerin yavaş bir şekilde gelişmesi, insan teknik bilgisinin ve teknolojisinin malzeme, yapım yöntemleri ile uygulamaları açısından sınırlılığında kaynaklanmaktadır (Özşen ve Yamantürk, 1991). Özetle geçmişten günümüze taşıyıcı sistemler tüm toplumların buldukları zaman dilimini, teknolojiyi, makine gelişimini, yaşam şeklini, malzeme kullanımını, mimarideki uzmanlık seviyesini, gelişmişliğini, kullanılan ekipmanı ve dolayısıyla strüktürleri

yansıtmaktadır. İnsanoğlu yarattığı teknolojiler ile bunları mimaride uygulayarak mimari taşıyıcı sistemlerin oluşumunu ve gelişimini sağlamıştır.

1.2. Membran Sistemler İçerisinde Pnömatik (Şişme) Sistemlerin Yeri

Pnömatik sistemlerinde içinde yer aldığı membran sistemler, eski çağlardaki çadırların yeni malzeme ve yapım teknikleri ile uygulanmış halidir. Sarmaşık, halat, örme ip, hasır örgü, deri, post ve bambu gibi doğada bulunan malzemeler ile milattan önce devirlerde görülen ilk çadırlar barınak olarak kullanılmaktadır. İlk çadırlardan esinlenerek geliştirilen yeni membran taşıyıcı sistemler ise strüktürel kurgu açısından ilk çadır örneklerinden çok farklı bir sisteme sahip değildir. Endüstri Devrimi ile gelişen teknik ve teknoloji ile birlikte plastik-polimer esaslı malzemelerin mimaride günümüz anlamında yapılarda kullanılması 20. yüzyıla kadar dayanmaktadır.

Plastik veya dokuma örtüler ve kablolar kullanılarak oluşturulan ağırlığı az, sadece çekme kuvvetlerine çalışan membran strüktürler, germe kuvvetinin etkisi ile taşıyıcılık özelliği kazanmaktadır (Dansık, 1999). Teknolojik gelişmeler sonucunda membran malzeme; yapılarda taşıyıcı, örtü elemanı ve çekme kuvvetlerine çalışan esnek bir yüzey olarak mimari yapılarda kullanılabilir hale gelmiştir. Ağır yapılar yerine hafif membran malzeme, daha büyük açıklıkları ihtiyaçlara yönelik olarak geçebilmektedir. Bu da yeni malzemelerin geliştirilmesi ve üretilebilmesi sonucunda olmaktadır (Schmitz, 1995). Bu sistemlerde kullanılan ana malzeme olan esnek membran, birçok farklı formda üretilebilir. Aynı zamanda membran yüzey dikme (pilon ve kolon), kemer, kablo ağları (çekme ve basınç çemberleri) ve çerçeve gibi destekleyici taşıyıcı elemanlar ile başka sistemlerle de uygulanabilmektedir. Membran malzemenin yapısal özellikleri sayesinde, geleneksel strüktürler ile geçilemeyecek büyük açıklıklar en ince en kesitte örtülebilir hale gelmektedir. Membran sistemlerin farklı değişkenlikte özellikleri olması sayesinde pek çok form ve fonksiyonda uygulanabilmektedir. Bu nedenle belirli kıstaslarda gruplandırılmış ve başlıklar altında sınıflandırılmışlardır. Membran sistemlerin sınıflandırılmaları açısından ise asma-germe sistemler altında membran strüktürler iki başlık altında toplanmıştır. Membran sistemler açık hacimli membranlar olan çadırlar ve kapalı hacimli membranlar yani pnömatik sistemler olmak üzere, açık ve kapalı membran sistemler olarak incelenmektedir. Açık membran sistemler mekanik gerilme sonucunda oluşan taşıyıcı sistemlerdir. Kapalı membran sistemler ise katı, sıvı, gaz ve genellikle hava destekli veya şişirmeli pnömatik sistemleri kapsamaktadır (Tablo 2).



Tablo 2. Asma-germe (membran) sistemlerin sınıflandırılması ve pnömatik sistemlerin yeri

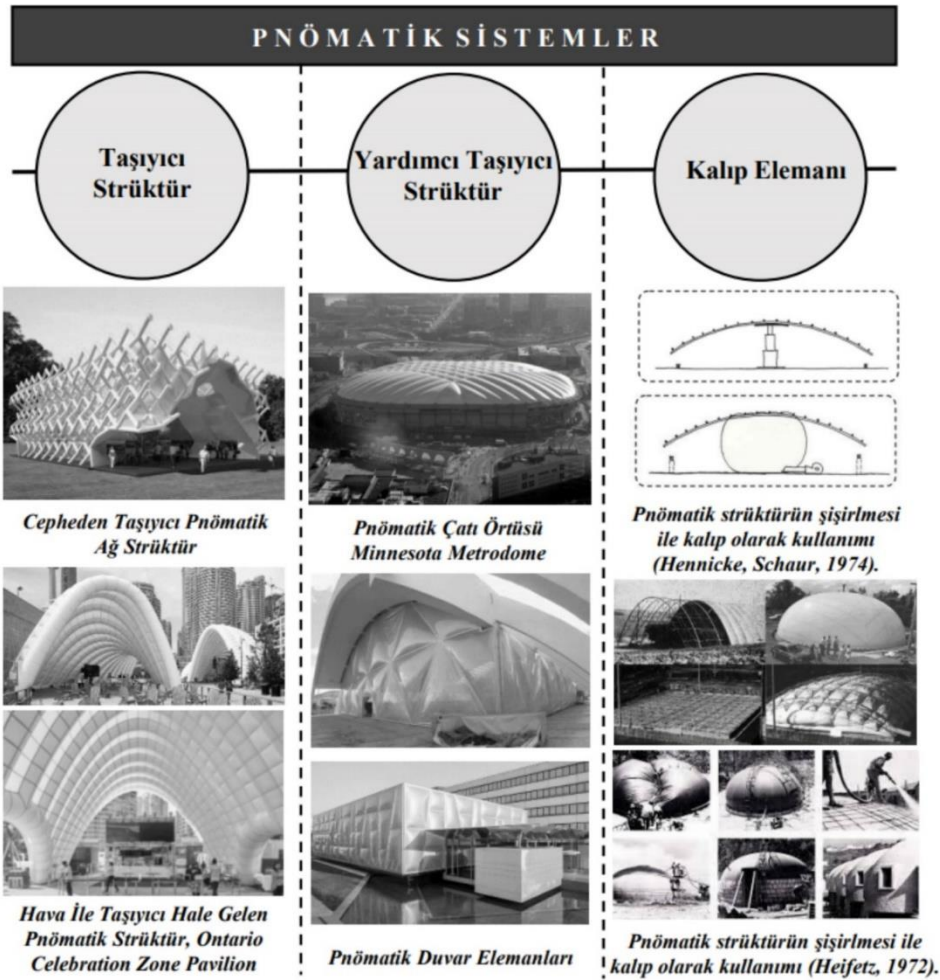
a) Açık Membran Sistemler: Açık membran sistemler örtü görevindeki membran malzemenin yapı elemanları aracılığı ile veya kendiliğinden taşınarak biçimlendirilmesi sonucunda oluşmaktadır. Membran yüzeyinin dış yükler ve yapısal yükünü taşıması için farklı yapı elemanları aracılığıyla desteklenmesi gerekmektedir. Asma elemanları, birleşim detayları, düğüm noktaları, taşıyıcı dikmeler, çelik kablolar, çelik halatlar veya kablo ağlarından oluşan yapı elemanları ile desteklenerek membran örtünün taşıyıcılığı ve geçilen açıklık arttırılmaktadır. Membran yüzeylerin en az bir adet basınç kuvvetlerini karşılayan dikme, kemer, duvar veya yetersiz gelen durumlarda kablo ağları ile desteklenmesi sonucuna oluşan ön gerilmeli sistemlerdir. Bu sayede yapısal ve çevresel yüklerin membran yüzeylerden basınç elemanına ve oradan da zemine aktarılması ile taşıyıcı sistem oluşturulmaktadır. Stadyum, spor salonu, konser salonu, çatı örtüsü gibi geniş açıklıklı yapılarda uygulanan açık membran sistemlerde kablo ağı taşıyıcı bir iskelet olarak kullanılmaktadır. Nokta destekli (askı kabloları, pylon, dikme), kemer destekli, kenar kablolu, kiriş/çerçeve destekli (makaslar, çerçeveler, düz kirişler, eğri kirişler), iç ya da dış çemberli veya kombinasyonlu olarak açık membran sistemlerde ön gerilme veren destek elemanları kullanılmaktadır (Erol, 1997).

b) Kapalı Membran Sistemler (Pnömatik-Şişme Sistemler): Kapalı membran sistemler yani pnömatik sistemler, açık membran sistemlerin aksine iç ve dış mekan arasında basınç farklılıklarının oluşturulması ile taşımının yapıldığı kapalı bir hacim oluşturan strüktürlerdir. Pnömatik strüktürlerde basınçlandırma sıvı veya gaz (genellikle hava) maddeler aracılığı ile yapılabilmektedir. En yaygın kullanım ise hava pompaların ve hava destekli fanların kullanılmasıdır. Pnömatik sistemler kendi içerisinde hava sistemi, basınç durumu, katman sayısı, geometrisi veya malzeme kullanımına göre birçok çeşitli niteliğe sahip olarak uygulanabilmektedir.

1.3. Pnömatik (Şişme) Sistemlerin Sınıflandırılması

Pnömatik kelimesi havanın solunması anlamına gelen Yunanca “pneuma” kelimesinden türetilmiştir. Hava ile dolu veya basınçlı hava nedeniyle işler hale gelen herhangi bir şey anlamına gelmektedir (Jamil, 2005). Pnömatik sistemlerin esas modelleri Rudolph Trostel tarafından geliştirilmiştir (Otto, 1970).

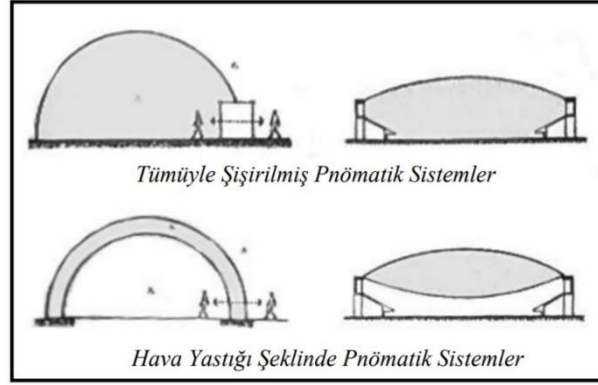
Pnömatik sistemler ilk başta sabun köpüğünden esinlenerek geliştirilen gaz, köpük, sıvı veya artık malzeme ile de basınçlandırılabilmesine rağmen en yaygın kullanılan gaz olarak hava ile olanlardır (Anonim, 1997). Pnömatik yani şişme sistemler yapısal bütünlüğün sağlanması amacıyla hava basıncını kullanan, dış ile iç arasında basınç farkını kullanarak sabit hale getirilmiş dengeli yapılar ya da binalardır (Marcipar vd., 2005). Pnömatik strüktürlerin temel prensibi iç ve dış hacimler arasında basınç farkının oluşturulması sonucunda ön gerilmeli şekilde membran yüzeyinin taşıyıcı hale gelmesidir. Basınç farkının oluşturulduğu yapı bölümüne göre sınıflandırılan pnömatikler mimaride farklı alanlarda kullanılabilir. Özetle pnömatik sistemler membran yüzeylerin sıvı veya gaz genellikle hava ile basınçlandırılması sonucunda taşıyıcı hale gelmesi ile oluşan strüktürlerdir. Mimarlıkta uygulanan pnömatik sistemler; taşıyıcı strüktür, yardımcı strüktür elemanı ve kalıp elemanı olarak kullanılmaktadır (Tablo 3).



Tablo 3. Pnömatik sistemlerin mimaride kullanım alanları

Pnömatik strüktürlerin oluşum şekilleri, geometrileri, membran tabaka sayıları, formları, hava desteği ve basınç durumlarına göre niteliklerini yansıtan geçmişten günümüze birçok şekilde sınıflandırma

sistemi mevcuttur. Özşen ve Yamantürk (1991) pnömatik sistemleri temel özellikleri bağlamında hava ile desteklenerek pozitif bir basınç alanının oluşturulduğu tek cidarlı sistemler ve iki membran tabaka arasının hava yastığı şeklinde şişirilmesi ile oluşan çift cidarlı sistemler olmak üzere iki grupta sınıflandırmıştır (Tablo 4).



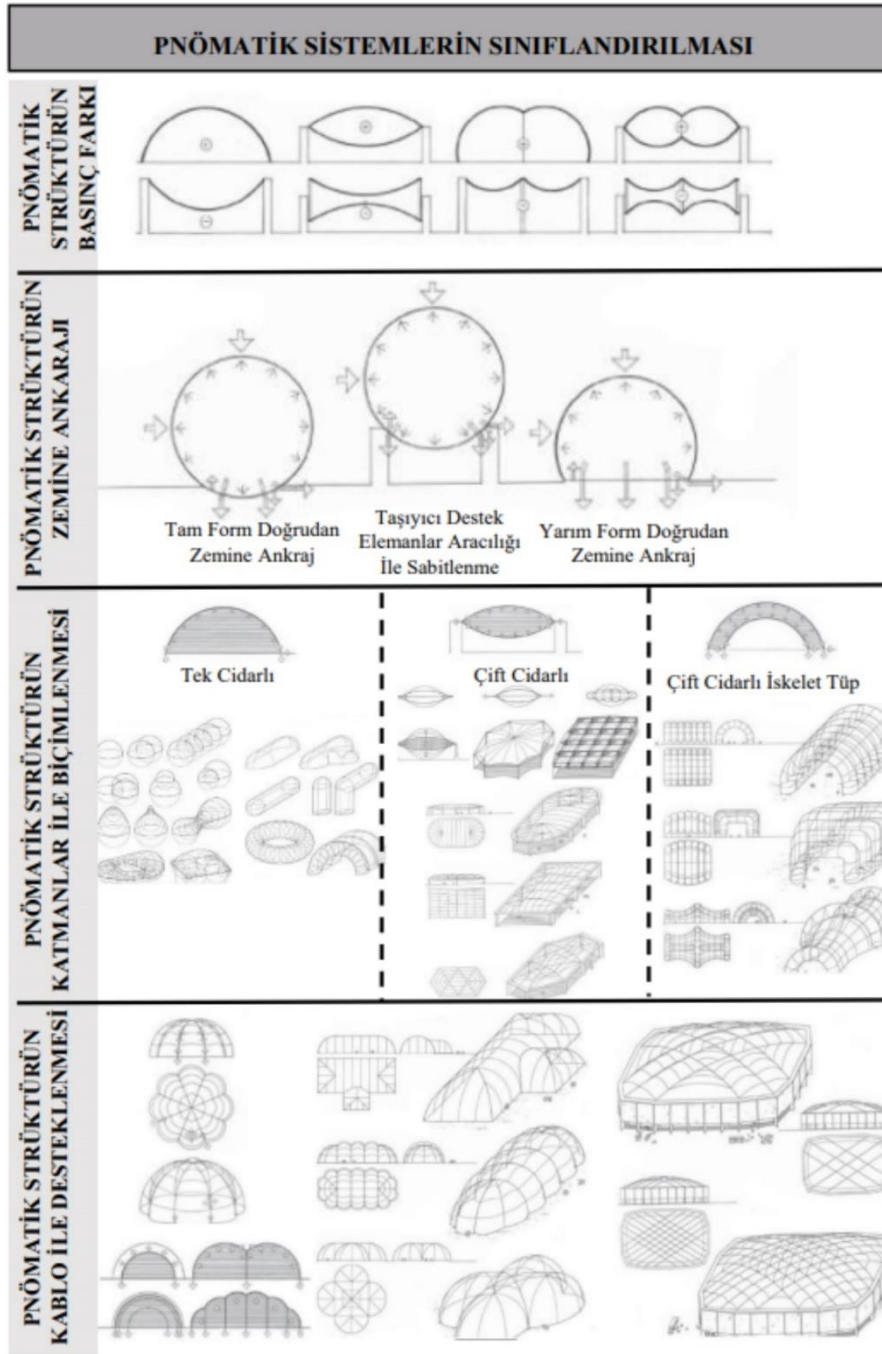
Tablo 4. Özşen ve Yamantürk (1991) tarafından pnömatik sistemlerin sınıflandırılması

Erol (1997), pnömatik sistemleri basınç durumu ile oluşan emme şişirme kuvvetleri, membran tabaka sayısı, taşıyıcı destek elemanı ve biçimlenme kısıtalarına göre incelenmektedir (Tablo 5). Alçak basınçlı pnömatik yapılarda tek ve çift tabakalı yapıların emme şişirme kuvvetleri etkisi ile ek dayanaksız, normal, çizgisel ve hem noktasal hem çizgisel dayanaklı olarak dört kıstasa göre gruplandırmaktadır. Yüksek basınçlı pnömatik yapıları ise düz ve kemer formlarında konik tüpler ve sürekli tüpler olarak sınıflandırmaktadır. Böylelikle pnömatik sistemlerin basınç durumunun strüktürün fiziksel çalışma prensibini ve geometrik açıdan formunu doğrudan etkilediği söylenebilmektedir. Alçak basınç altındaki pnömatik yapıların negatif ve pozitif basınç altında olduğu geniş açıklıklı durumlarda membran yüzeyindeki sarkma nedeniyle normal dayanaklı (dikme-kolon), çizgisel dayanaklı (kablo), noktasal ve çizgisel dayanaklı (hem dikme hem kablo) olarak desteklenmektedir. Tek veya çift zarlı olarak alçak basınç altındaki pnömatikler, emme ve şişirme kuvvetleri etkisinde form almaktadır. Yüksek basınçlı pnömatik strüktürler ise şişirme sonucunda membran malzemeye verilen düz veya kemer biçimini almaktadır.

		ALÇAK BASINÇLI YAPILAR			
		Ek Dayanaksız	Normal Dayanaklı	Çizgisel Dayanaklı	Noktasal ve Çizgisel Dayanaklı
TEK ZARLI YAPILAR	EMME				
	ŞİŞİRME				
ÇİFT ZARLI YAPILAR	EMME				
	ŞİŞİRME				
		YÜKSEK BASINÇLI SİSTEMLER			
		Konik Tüpler		Sürekli Tüpler	
DÜZ					
KEMER					

Tablo 5. Erol (1997) tarafından pnömatik sistemlerin sınıflandırılması

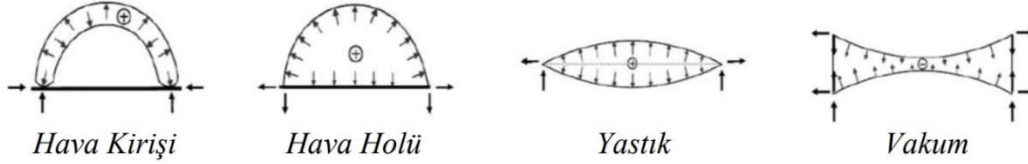
Engel (2013) ise pnömatik taşıyıcı sistemleri negatif pozitif basınç farkı, zemine sabitlenme şekli, tek cidarlı-çift cidarlı-iskelet tüpler olarak biçimlerine göre ve kablo destekli strüktürler ile birlikte incelemektedir (Tablo 6).



Tablo 6. Engel (2013) tarafından pnömatik sistemlerin sınıflandırılması

Membran yüzeyine uygulanan hava basıncı sonucunda kapalı bir alan oluşturan ve membran yüzeyin mimari ya da mühendislik bir tasarım kazandığı hava destekli yapılar pnömatik sistemlerdir. Membran malzemenin basınç ile atmosfer basıncının eşit olduğu durumlarda yapı zar yüzeyi kararsız bir halde olmaktadır. Ancak membran malzeme yüzeyindeki hava basıncının atmosfer basıncından yüksek olduğu durumda yapı zar yüzeyinde oluşan çekme gerilimi dış yüklerle ve yapısal kuvvetlere dayanıklı yapısal nitelik kazanmaktadır (A Sciences, 2017). Bu bağlamda pnömatik sistemlerin bir başka sınıflandırılma

şekli ise basınç maddesi olan havanın tek veya çift cidarlı sistemler için hava kirişleri, hava holü, yastık ve vakum olarak etkilediği modellerdir (Tablo 7) (Knippers vd., 2011)



Tablo 7. Knippers vd. (2011) tarafından pnömatik sistemlerin sınıflandırılması

Türkçü (1997), pnömatik taşıyıcı sistemleri basınç, biçim, tek cidarlı, çift cidarlı ve kablo destekli olmak üzere beş ana grupta incelemektedir (Tablo 8). Basınca göre basınç fazlalığı ile şişirilen alçak basınçlılar, basınç fazlalığı ile şişirilen yüksek basınçlılar, basınç eksikliği ile ön gerilmeliler ve şişirme (hortum) iskelet tüplüleri olarak gruplandırılmıştır. İskelet (hortum) tüplü pnömatik sistemler ise düzlemsel, tek veya çift eğrilikli, küresel ve tensegrity hortum strüktürlerinden oluşmaktadır. Aynı zamanda biçimsel açıdan küre, silindir, tor; membran malzemenin katmanlarına göre tek ve çift cidarlı; kablo taşıyıcı desteği ile silindir, küre, elipsoid ve serbest geometri olarak alt başlıklarda incelenmektedir.

PNÖMATİK SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI				
BASINÇ	BİÇİM	TEK CİDARLI	ÇİFT CİDARLI	KABLO DESTEKLİ
 Basınç Fazlalığı ile Şişirilmiş Alçak Basınçlı Pnömatik Sistemler	 Yarım Küre Yüze Geometrisi		 Çift Cidarlı Bölünmemiş Yastık Strüktür	 Kablo Takviyeli Küre (Silindir Geometrisi)
 Basınç Fazlalığı ile Şişirilmiş Yüksek Basınçlı Pnömatik Sistemler	 Küresel Kesitlerin Kümeleri		 Çift Cidarlı Bölünmüş Hücreli Yastık Strüktür	 Kablo Takviyeli Küre veya Elipsoid
 Basınç Eksikliği ile Öngerilmeli Pnömatik Sistemler	 Küre Silindir Kombinasyonu		 Çift Cidarlı Destekli Yastık Strüktür	 Kablo Takviyeli Serbest Geometri
 Şişirme (Hortum) İskelet Tüplü Pnömatik Sistemler	 Tor Yüzeyler			
HORTUM SİSTEMLERİ		 Düzlemsel Hortum Strüktür	 Tek Eğrilikli Hortum Strüktür	 Çift Eğrilikli Hortum Strüktür
		 Küresel Hortum Strüktür	 Tensegrity Hortum Strüktür	

Tablo 8. Türkçü (1997) tarafından pnömatik sistemlerin sınıflandırılması

Sumovki ve Lanchester (2005) benzer bir sınıflandırma ile alçak ve yüksek basınca göre tek ve çift cidarlı membranları negatif ve pozitif basınç altında destek elemanlarına göre biçimlenmesini gruplandırarak sınıflandırmıştır (Tablo 9). Alçak basınçlı tek ve çift tabakalı membran strüktürler ek dayanaksız, nokta, çizgi ve hem nokta hem çizgi dayanaklı olarak incelenirken yüksek basınçlılar düz, bükülmüş ve kemer biçimlerinde modül, süreksiz ve sürekli olarak sınıflandırılmıştır.

		ALÇAK BASINÇLI YAPILAR			
		Tek Membran Tabakalı Strüktürler			
		Ek Desteksiz	Ek Nokta Destekli	Ek Çizgi Destekli	Ek Nokta ve Çizgi Destekli
PNÖMATİK TAŞIYICI SİSTEMLER	NEGATİF				
	POZİTİF				
		Çift Membran Tabakalı Strüktürler			
		Ek Desteksiz	Ek Nokta Destekli	Ek Çizgi Destekli	Ek Nokta ve Çizgi Destekli
	NEGATİF				
	POZİTİF				
		YÜKSEK BASINÇLI YAPILAR			
		Tek Modül	Süreksiz	Sürekli	
	DÜZ				
	BÜKÜLMÜŞ				
	KEMERLİ				

Tablo 9. Sumovki ve Lanchester (2005) tarafından pnömatik sistemlerin sınıflandırılması

Pnömatik taşıyıcı sistemler sahip oldukları nitelikler sayesinde birçok farklı kullanım alanı ve yapısal özelliğe sahiptir. Katman sayısı (cidar), mimaride kullanım alanı, hava ve basınçlandırma sistemleri, geometrileri, formları, diğer taşıyıcı sistemler ile kullanımları, ek destek elemanları (kolon, kablo gibi) ile kullanımları, yapılarda kullanım yerleri, malzeme ölçütlerine göre çeşitli kaynaklarda oluşturulmuş farklı sınıflandırmaları mevcuttur. Pnömatik sistemlerin uygulanacak olan yapının ihtiyacına, kullanıcı

gereksinimlerine ve beklenen performanslarına göre bu parametreleri optimum düzeyde sağlayacak şekilde seçilmesi ve uygulanması gerekmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM: PNÖMATİK (ŞİŞME) SİSTEMLERİ SINIFLANDIRMA PARAMETRELERİ

Pnömatik sistemler geçmişten günümüze çeşitli parametrelere göre birçok sınıflandırma sistemine sahiptir. Genellikle sınıflandırma sistemlerinde ortaya konan parametreler bazı durumlarda aynı sistemli pnömatikleri belirtirken bazı durumlarda da farklı özelliklerini nitelemektedir. Bu bağlamda incelenen sınıflandırma sistemlerinden yola çıkarak mimaride kullanım alanına göre ve yapısal özelliklerine göre olmak üzere çeşitli inceleme kriterleri ortaya konmuştur. Mimaride kullanım alanları fonksiyona bağlı olarak hizmet ettiği amaç olan taşıyıcı strüktür, yardımcı taşıyıcı strüktür ve kalıp elemanı olarak kullanılmasıdır. Pnömatik sistemlerin yapısal özelliklerine göre sınıflandırılması konusunda katman sayısı, hava sistemi, basınç farkı, mimaride kullanım alanı, geometrik katmanlar, taşıyıcı eleman ve biçimlenmeleri şeklinde yedi parametre belirlenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda belirlenen parametreler açıklanarak bu parametrelere göre oluşturulmuş bir sınıflandırma sistemin sonraki bölümde ortaya koymak hedeflenmiştir.

a) Katman Sayısı: Pnömatik sistemler membran yüzeylerin basınçlandırılarak taşıyıcı hale getirilmesi ile oluşmaktadır. Bu bağlamda pnömatik sistemler tek veya çift katmanlı olarak uygulanmaktadır. Tek katmanlı pnömatik sistemlerin iç mekanı bütüncül olarak basınçlandırılırken çift katmanlı pnömatik sistemlerde iki membran arası yüzey basınçlandırılmaktadır. Tek ve çift cidarlı pnömatik sistemler yapısal olarak membran malzemenin basınçlandırılarak oluşmasına rağmen yapısal özellikler açısından birçok farklılık göstermektedir. Tek cidarlı pnömatik sistemlerde iç mekan basınçlandırıldığından dolayı sürekli hava desteği gerekmektedir. Bu nedenle hava kontrolünün daha zor olduğu tek cidarlı pnömatik strüktürlerde özel detaylandırılmış kapı-pencere ve zemin ankraj noktaları gerekmektedir. Tek cidarlı pnömatik sistemlerde insanın bulunduğu iç hacim bütünüyle basınçlandırılırken çift cidarlı pnömatik sistemlerde iki membran yüzeyin arası basınçlandırılmaktadır. Bu nedenle tek cidarlı pnömatik sistemlerde sönme olayı tüm hacimde gerçekleşirken çift cidarlılarda belirli modülde gerçekleşmektedir. Bu nedenle çift cidarlı pnömatik sistemlerde membran yüzeyde meydana gelen delik, yırtılma veya aşınma durumu yerinde onarıma daha müsaittir. Ayrıca çift cidarlı pnömatik sistemler tek cidarlılar gibi özel detaylandırılmış kapı-pencere, zemine ankraj veya sürekli hava desteği gerektirmemektedir.

b) Hava Sistemi: Pnömatik sistemlerin membran yüzeylerinin taşıyıcı hale gelmesi hava basıncı sayesinde gerçekleşmektedir. Bu sebeple hava sistemi ana yapısal niteliklerden birisidir. Tek ve çift katmanlı pnömatik sistemlerde hava sistemi farklılık göstermektedir. Tek cidarlı pnömatik sistemlerde iç mekan bütüncül olarak hava ile şişirilmektedir. Tek cidarlı olma sebebi ile de sürekli olarak hava desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda hava kontrolü için özel detaylandırılmış açıklıklar

gerekmektedir. Çift cidarlı pnömatik sistemler ise iki katman arası basınçlandırılarak taşıyıcı hale gelen kapalı membran yüzeylerden oluşmaktadır. Bu sebeple sürekli olarak değil belirli aralıklar ile hava desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Hava tek cidarlı pnömatik sistemlerde olduğu gibi kullanıcının bulunduğu mekanda değil iki membran yüzey arasında olduğundan dolayı kontrol edilmesi daha kolaydır. Çift cidarlı pnömatik sistemlerde hava kontrolü için özel detaylandırılmış açıklıklar gerekmemektedir.

c) Basınç Farkı: Pnömatik sistemlerin ana taşıyıcı elemanı olan membran ve hava basınç farkı oluşturarak sistemi taşıyıcı hale getirmektedir. Ortalama 200 kgf/m² basınç altında çalışan pnömatik sistemler alçak basınçlıdır. Alçak basınçlı pnömatik sistemler sürekli hava destekli tek cidarlı pnömatik sistemlerdir. Bu sistemlerde basınçlandırılan alan kullanıcının bulunduğu mekandır ancak çok düşük etkisi sebebiyle insanlar tarafından hissedilmemektedir. Yüksek basınçlı pnömatik sistemler ise ortalama basınç seviyesinin 2000-7000 kgf/m² arasında olduğu durumlarda oluşmaktadır. İki membran yüzey arasında bu basınç durumunun elde edilmesinden dolayı kullanıcıya herhangi bir olumsuz etkisi olmamaktadır. Yüksek basınçlı pnömatik sistemler hava destekli çift cidarlı pnömatik sistemlerdir. Aynı zamanda pozitif veya negatif basınç durumları yani alçak ve yüksek basınçlar membran yüzeylerin formu ile biçimlenişini etkilemektedir.

d) Mimaride Kullanım Alanı: Pnömatik sistemler, yapısal özellikleri sebebiyle farklı fonksiyonlarda kullanıma uygun strüktürlerdir. Membran yüzeylerin çeşitli geometri ve formlarda basınçlandırılması ile tamamen taşıyıcı olarak mimaride kullanılabilirler. Taşıyıcı strüktürler olarak örtü, eğlence yapıları, sanat öğeleri, enstalasyonlar, hangar yapıları gibi işlevlerde çeşitli mekanlarda pnömatik sistemler uygulanmaktadır. Ana taşıyıcı strüktür olarak kullanılan pnömatik sistemler aynı zamanda yardımcı taşıyıcı sistemler olarak da uygulanabilmektedir. Örneğin pnömatik sistemler; betonarme karkas sistemde inşa edilen bir yapıda duvar elemanı, uzay kafes sistem ile inşa edilen bir yapıda örtü elemanı, tarihi yapılara ek yapı elemanları gibi yardımcı taşıyıcı strüktürler olarak da kullanılabilirler. Aynı zamanda pnömatik strüktürlerin yapılarda cephe kaplama elemanları olarak kullanıldığı pek çok yapı örneği mevcuttur. Örneğin; uzay kafes sistem ile inşa edilen Beijing Water Cube, Eden Project gibi yapıların cephe kaplama elemanı olarak, betonarme ve çelik strüktürler ile inşa edilen Münich Allianz Arena stadyum yapısının cephe yastığı olarak kaplamasında, çok katlı betonarme ve çelik strüktürlü Media-TIC yapısının cephe kaplamasında uygulanmış pnömatik yardımcı strüktürel sistemler mevcuttur. Pnömatik sistemlerin ana veya yardımcı strüktürler şeklinde kullanımına ek kalıp elemanı olarak da uygulanabilmektedir. Dante Bini' nin "Binishell" metodu ile pnömatik strüktürleri betonarme yapılarda kalıp olarak kullanılabilirler. "Bubble House" örneğinde görüldüğü üzere aynı zamanda pnömatik sistemlerin mimaride kalıp elemanı olarak kullanımı söndürülüp şişirilme ile aynı formda tekrarlı olarak yapı üretimine olanak vermektedir. Bu sebeple pnömatik sistemler; köprü, acil durum yapıları, müze, sergi salonları, stadyum, spor salonları, konut, uzay yapıları, geçici yapılar,

taşıyıcı yapı elemanları, yüksek kaplı yapılarda cephe elemanları, kinetik cephe elemanları, konser salonu, tarihi yapılara ek, kalıp elemanı gibi fonksiyonlarda ana taşıyıcı strüktür, yardımcı taşıyıcı strüktür, cephe kaplama elemanı ve kalıp elemanı olarak mimaride uygulanabilen sistemlerdir.

e) Geometrik Katmanlar: Pnömatik sistemlerin membran yüzeylerin basınçlandırılması ile oluşmaktadır. Bu sebeple membran yüzeylerin geometrisi yapının formunu doğrudan etkilemektedir. Geometrik katmanlarına göre pnömatik sistemler tek boyutlu ve iki boyutlu olarak incelenebilmektedir. Tek boyutlu olanlar membran yüzeylerden oluşur iken iki boyutlu olanlar kapalı yüzeysel yastıklar veya şişirme hacimli hücrelerden oluşmaktadır. Böylelikle yapılarda taşıyıcı sistem veya cephe elemanı olarak kullanımında birbirlerinden ayrı şekilde çalışabilen, kontrol edilebilen veya farklı nitelikler kazandırılabilen özellikler sağlamaktadır.

f) Taşıyıcı Eleman: Pnömatik sistemler mimaride sadece kendi strüktürleri ile taşıyıcı olarak uygulanabilmektedir. Ancak bazı durumlarda güçlendirme, daha fazla yük taşıma veya çok geniş açıklıklarda membran yüzeylerinin başka bir taşıyıcı sistem ile desteklenmesi gerekebilmektedir. Kablolar tek veya iki yönlü olarak uygulanarak membran yüzeyi daha dayanımlı hale getirilebilmektedir. İç veya dış bir noktadan düşey yönlü taşıyıcılar ile pnömatik sistem güçlendirilebilmektedir. Buna ek olarak günümüzde tensegrity veya kinetik strüktürler de pnömatik sistemler ile birlikte kurgulanabilmektedir. Böylelikle pnömatik sistemler diğer strüktürler ile birlikte geliştirilerek yapılarda çeşitli form veya fonksiyonda uygulanabilmektedir.

g) Biçimlenme: Pnömatik sistemler membran bir yüzeyin basınçlandırılması sonucunda oluştuklarından genellikle her daim küresel formlara ulaşmaya çalışan strüktürlerdir. Membran yüzeyin kapalı bir şekilde form verilerek hava ile desteklenmesi sonucunda ise yastık ve hücre olarak adlandırılan çift cidarlı pnömatik strüktürlerin temel elemanı oluşmaktadır. Alçak basınçlı olan pnömatik sistemlerde küre, silindir, küre silindir kesişimi formlar ortaya çıkarken yüksek basınçlar ile birlikte kapalı olan yüzeyler tüp, hortum formlarını oluşturmaktadır. Aynı zamanda pnömatik sistemler ile birlikte kullanılabilen kablolu, uzay kafes, tensegrity gibi taşıyıcı sistemler de yapısal açıdan biçimi ve dolayısıyla yapının alacağı formu belirlemektedir.

Pnömatik sistemler hakkında incelenen kaynaklardan çıkarımlarla katman sayısı, hava sistemi, basınç farkı, mimaride kullanım alanı, geometrik katmanlar, taşıyıcı eleman ve biçimlenmeleri şeklinde belirlenen parametreler açıklanmıştır. Bir sonraki bölümde bu parametrelerin pnömatik sistemlerin niteliklerine göre gruplandırmaları ve yapısal özellikleri hakkında bir sınıflandırma sistemi geliştirilmiştir.

3. BULGULAR

Pnömatik sistemler Endüstri Devrimi ile birlikte gelişen teknoloji, makineler, uzmanlaşma ve yeni malzemeler ışığında plastik-polimer esaslı membran malzemelerin mimaride uygulanması ile gelişen bir yapım sistemidir. Mimaride taşıyıcı, yardımcı taşıyıcı ve kalıp elemanı olarak kullanılabilen pnömatik sistemler membran yüzeylerin sıvı veya gaz maddeleri ile basınçlandırılarak mukavemet kazanması sonucunda kullanılabilir. Bu sebeple oluşturulan yüzeyler, havanın basıncı, basınç farklılıkları, mimaride fonksiyonuna göre kullanım alanları, geometrik katmanları ve biçimlenmeleri tüm sistemin yapısal özelliklerini belirlemektedir. Geçmişte pnömatik sistemler hakkında yapılmış olan sınıflandırma sistemleri incelenerek belirlenen bu yedi parametre ile yapılmış olan sınıflandırma sistemi (Tablo 10) aşağıda gösterilmektedir.











PNÖMATİK TAŞIYICI SİSTEMLER	1. KATMAN SAYISINA GÖRE PNÖMATİK SİSTEMLER	2. HAVA SİSTEMİNE GÖRE PNÖMATİK SİSTEMLER	3. BASINÇ FARKINA GÖRE PNÖMATİK SİSTEMLER
	a) Tek Cidarlı Pnömatik Sistemler	a) Sürekli Hava Destekli Pnömatik Sistemler (şişirme-basınç fazlalığı)	a) Alçak Basıncılı (200 kgf/m ²) Pnömatik Sistemler
	b) Çift Cidarlı Pnömatik Sistemler - Şişirilmiş İskelet Tüpler	b) Hava Destekli Pnömatik Sistemler (emme-basınç azlığı)	b) Yüksek Basıncılı (2000-70000 kgf/m ²) Pnömatik Sistemler
	4. MİMARİDE KULLANIMINA PNÖMATİK SİSTEMLER	7. BİÇİMLERİNE GÖRE PNÖMATİK SİSTEMLER	
	a) Esas Taşıyıcı Strüktürel Sistem b) Yardımcı Taşıyıcı Strüktürel Sistem c) Kalıp Elemanı	<p>► Alçak Basıncılı Pnömatik Sistemlerde Biçim</p> <ul style="list-style-type: none"> • Saf Pnömatikler <ul style="list-style-type: none"> a) Küre Geometrisi (Yarım Küre) b) Küresel Kesitlerin Geometrisi c) Silindirik Geometrisi d) Silindirik ve Küre Kombinasyonu e) Tor Yüzeyi • Kablo Destekli Pnömatikler <ul style="list-style-type: none"> a) Kablo Takviyeli Küre (Silindirik Geometrisi) b) Kablo Takviyeli Küre veya Elipsoid c) Kablo Destekli Serbest Geometri <p>► Yüksek Basıncılı Pnömatik Sistemlerde Biçim</p> <ul style="list-style-type: none"> • Saf Pnömatikler <ul style="list-style-type: none"> a) Lineer / Doğrusal (Hortum) Geometri <ul style="list-style-type: none"> - Düzlemsel Hortum Pnömatik Strüktür - Tek Eğnlikli Hortum Pnömatik Strüktür - Ters Eğnlikli Hortum Pnömatik Strüktür - Küresel Hortum Pnömatik Strüktür b) Yüzeysel (Yastık) Geometri c) Hacimsel (Hücre) Geometrisi ► Kablo Destekli Pnömatikler <i>Kablo destekli çift cidarlı membranlar, Tensegrity kullanılarak geliştirilmiş pnömatik strüktürler.</i> 	
	5. GEOMETRİK KATMANLARINA PNÖMATİK SİSTEMLER		
	a) Tek Boyutlu Pnömatikler b) İki Boyutlu Pnömatikler - Yüzeysel Yastıklar - Şişirme Hacimli Hücreler		
6. TAŞIYICI ELEMANINA GÖRE PNÖMATİK SİSTEMLER			
a) Saf (Yalın) Pnömatik Sistemler b) İçeriden Dikme (Kolon) Destekli c) Dışarıdan Dikme (Kolon) Destekli d) Kablo veya Kablo Ağı Takviyeli (Paralel-Radyal Tek veya Çift Tabakalı) e) Tensegrity Strüktür ile Destekli f) Kinetik Strüktür ile Destekli			

Tablo 10. Pnömatik sistemlerin sınıflandırılması

Pnömatik sistemler üç ana etmeden oluşmaktadır. Bunlar; membran yüzeylerin oluşturduğu katmanlar, hava basıncı ve oluşan basınç farkıdır. Tablo 10' da gösterilen katman sayısına göre pnömatik

sistemler, hava sistemine göre pnömatik sistemler ve basınç farkına göre pnömatik sistemler bu üç ana etmeni yansıtan parametrelerdir. Katman sayısına göre pnömatik sistemler tek cidarlı ve çift cidarlı olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir. Çift cidarlı pnömatik sistemler ise aynı zamanda iki katman arasında bölümlendirmeler veya tüpler ile oluşturulabilen şişirilmiş iskelet tüpleri de kapsamaktadır. Hava sistemine göre pnömatik sistemler sürekli hava destekli pnömatik sistemler (şişirme ile basınç fazlalığı sağlayarak taşıyıcı hale gelenler) ve hava destekli pnömatik sistemler (emme-basınç azlığı ile iki membran yüzeyin arasının süreksiz olarak hava basınçlandırması yapılması) olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir. Basınç farklarına göre pnömatik sistemler ise ortalama 200 kgf/m² basınçlandırılan alçak basınçlı pnömatik sistemler ve ortalama 2000-7000 kgf/m² arasında basınçlandırılan yüksek basınçlı pnömatik sistemlerdir. Bu üç ana yapısal parametrenin gösterdiği tek cidarlı, sürekli hava destekli ve alçak basınçlı pnömatik sistemler; çift cidarlı, hava destekli, yüksek basınçlı pnömatik sistemler aynı yapısal özelliklere sahiptir.

Mimaride kullanım alanına göre pnömatik sistemler ise esas taşıyıcı strüktürel sistem, yardımcı taşıyıcı strüktürel sistemler (duvar, örtü, kolon gibi yapısal bir öğenin başka taşıyıcı sistemler ile birlikte kullanılması durumu), kalıp elemanı (Dante Bini' nin geliştirmiş olduğu Binishell metodu ile pnömatik sistemli yapının betonarme kabuk gibi üretimlerde şişirme ve söndürmeler ile tekrarlı olarak kullanımı) ve cephe kaplama sistemi olarak uygulanmasını kapsamaktadır. Bu ana sınıflandırmaya göre alt sınıflandırma başlıkları Tablo 11' de yapı örnekleri ile birlikte gösterilmiştir. Geometrik katmanlarına göre pnömatik sistemler ise tek boyutlu ve iki boyutlu yüzeysel yastıklar ile şişirme hacimli hücreler olarak iki ana grupta sınıflandırılmıştır.

TAŞIYICI SİSTEM				
	<i>Ark Nova</i>	<i>Ontario Pavilion</i>		
Katman Sayısı	• Tek Cidarlı,	• Çift Cidarlı,		
Hava Desteği	• Sürekli Hava Destekli (şişirme ile basınç fazlalığı) ve	• Hava Destekli (emme-basınç azlığı) ve		
Basınç Farkı	• Alçak Basıncılı Pnömatik Sistemli Yapı Örneği	• Yüksek Basıncılı Pnömatik Sistemli Yapı Örneği		
YARDIMCI TAŞIYICI SİSTEM				
	<i>Munich Allianz Arena</i>	<i>Beijing Water Cube</i>	<i>Media-TIC</i>	<i>Eden Project</i>
Geometrik Katman	• Tek veya İki Boyutlu Yüzeysel Yastıklar ya da Şişirme Hacimli Hücreler			
				
	<i>Bubble Houses</i>			
KALIP ELEMANI	Dante Bini'nin geliştirmiş olduğu Binishell metodu ile pnömatik kalıp kullanımı			

Tablo 11. Pnömatik sistemlerin sınıflandırılmasının yapı örnekleri ile gösterilmesi (Görseller Url 1, Url 2, Url 3, Url 4, Url 5, Url 6, Url 7 kaynaklarından alınmıştır.)

Taşıyıcı elemanına göre pnömatik sistemler başlığı ise sadece yalın olarak membran yüzey(ler)in basınçlandırılması sonucunda taşıyıcı hale gelen pnömatik sistem ve başka taşıyıcı sistemlerle (içeriden dikme-kolon ile noktasal olarak destekli; dışarıdan dikme-kolon ile noktasal olarak destekli; dizilimine göre paralel, radyal tek veya çift tabakalı kablo veya kablo ağı ile yüzeysel olarak destekli; tensegrity strüktür ile destekli; kinetik strüktür ile destekli) birlikte kurgulanan pnömatik sistemler olarak incelenmektedir. Pnömatik sistemlerin çok ince membran yüzeyler ile geniş açıklıklarda uygulanması bazı durumlarda destek açısından yardımcı strüktürlere ihtiyaç duyabilmektedir. Bu durumda pnömatik sistemler, başka taşıyıcı sistemler ile birlikte kombineli olarak da uygulanmaya elverişli strüktürlerdir.

Pnömatik sistemlerin ana yapı malzemesi membran yüzeylerdir. Membran yüzeylerin kesim ve dikimleri sonucunda basınçlandırılması ile oluşan formlar doğrudan yapının kendisini ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple basınç durumu, membran yüzeyin kesim şekli, birleşimi, geometrisi ve diğer taşıyıcı sistem destekleri pnömatik sistemin biçimini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda biçimlerine göre pnömatik sistemler alçak basınç altında saf pnömatikler (küre, yarım küre, küresel kesit, silindir,

silindir ve küre kombinasyonu, tor yüzey geometrileri) ve kablo destekli (kablo destekli küre, silindir, elipsoid, serbest geometrileri) biçimlerini almaktadır. Yüksek basınç altında pnömatik sistemler saf pnömatikler (lineer/doğrusal-hortum, düzlemsel hortum, tek eğrilikli hortum, ters eğrilikli hortum, küresel hortum geometrileri), yüzeysel (yastık) ve hacimsel (hücre) geometrilerini biçimlendirmektedir. Kablo destekli pnömatik sistemle ise kablolar aracılığı ile çift katmanlı veya tensegrity destekli biçimlenmeleri kapsamaktadır. Böylelikle pnömatik sistemler hakkında belirlenen parametrelere göre alt başlıkları ile bir sınıflandırma sistemi ortaya konmuştur.

4. SONUÇ

Geçmiş ilkel dönemlerdeki çadırlara değin dayanan pnömatik sistemlerin Endüstri Devrimi ile gelişen teknoloji, makineleşme ve yenilikçi plastik-polimer esaslı membran malzemeler ile uygulanabilir hale gelmesi sonucunda mimaride kullanımı da başlamıştır. Geçmişten günümüze birçok form ve fonksiyonda kullanılabilen pnömatik sistemler, yapısal özellikleri nedeni ile çeşitli niteliklere sahiptir. Yapısal niteliklerine göre tüm özellikleri değişebilen pnömatik sistemlerin bu sebeple hangi amaca, ihtiyaca ve alana yönelik olarak uygulanacağına dair uygun bir şekilde seçilmesi önemlidir. Bu sebeple pnömatik sistemlerin ortaya çıkışından günümüze kadar farklı kaynaklar tarafından sınıflandırılmaları yapılmıştır. Bu çalışmada ise bu sınıflandırma sistemleri incelenerek yeni bir sınıflandırma sistemi ortaya konmuştur. Geliştirilen sınıflandırma sistemi ile pnömatik (şişme) sistemler farklı isimlerde ancak aynı niteliklerde olan pnömatik sistemler ile diğer yapısal özelliklerini belirleyen katman sayısı, hava sistemi, basınç farkı, mimaride kullanım alanı, geometrik katmanlar, taşıyıcı eleman ve biçimlenme parametreleri bağlamında incelenmiştir. Pnömatik sistemlerin mimaride kullanılacak alana, ihtiyaca ve beklenen yapısal özelliklerine yönelik olarak belirlenen bu parametrelere göre seçilmesi ve uygulanması önerilmektedir. Böylelikle kullanıcı veya mimar tarafından pnömatik sistemlerden beklenen nitelikler yapısal olarak optimum koşullarda sağlanabilecektir.

Kaynakça

- A Sciences, (2017). Tensile Membrane Structures. s. 1-50.
- Anonim, (1997). Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi. Yem Yayınları, İstanbul.
- Ching, F. D. K., Onouye, B. S., Zuberbuhler, D. (2017). Çizimlerle Taşıyıcı Sistemler/Şemalar, Sistemler ve Tasarım. *YEM Yayınları*, 2. Baskı, ISBN:978-605-4793- 02-0.
- Dansık, F. (1999). *Force Density Method and Configuration Processing*. (Doctoral Thesis) Space Structures Research Centre Department of Civil Engineering University of Surrey. UK.
- Engel, H. (2013). *Structure Systems*. Hatje Cantz Yayınları, 5. Baskı, Almanya.
- Erol, A. İ. (1997). *Yapılarda Taşıyıcı Sistemler*. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

- Heifetz, H. (1972). Domecrete Building System (Israel). Bauen + Wohnen = Construction + Habitation = Building + Home, *Internationale Zeitschrift*, vol. 26, no. 6, s. 262-263.
- Hennicke, J., Schaur, E. (1974). *Gitterschalen – Gridshells, Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentrachwerke* (IL). Universität Stuttgart, Almanya.
- Jamil, R. (2005). *Study and Adaptability of Pneumatic Structures*.(submitted paper for the degree of Bachelor of Science in Civil Engineering), University Of Sciences And Technology Rawalpindi, Pakistan, vol 13.
- Knippers, J., Cremers, J., Gabler, M., Lienhard, J. (2011). *Construction manual for Polymers+ Membranes, Materials. Semi-Finished Products, form Finding and Design*, Birkhäuser.
- Marcipar, J., Onate, E., Canet, J. M. (2005). Experiences in the Design Analysis and Construction of Low Pressure Inflatable Structures. *Textile Composites and Inflatable Structures*, vol (3), s. 241-257.
- Otto, F. (1970). F.Otto: Shells and Membranes. *Genetics Sychology Monographs*, Berlin.
- Özşen, E. G., Yamantürk, E. (1991). *Taşıyıcı Sistem Tasarımı*. Birsen Yayınevi, İstanbul, ISBN: 975-511-058-5.
- Picon, A. (2003). Architecture, Science, Technology and the Vitual Realm. In: A. Picon, A. Ponte (Eds.), *Architecture and the Sciences Exchanging Methaphors, Princeton Architectural Press*, New York, s. 292-313.
- Schmitz, G. (1995). *Course Material for Architecture*. Department of Architecture, School of Architecture and Planing, State University, New York.
- Sumovki, J. A., Lanchester, E. F. W. (2005). *A Brief History of Pneumatic Structures*. <https://documents.pub/document/a63-a-brief-history-of-pneumatic-structuresosaka1970-exposure-on-pneumatic-structures.html> (erişim tarihi: 12.05.2022)
- Türkçü, H. Ç. (1997). *Çekmeye Çalışan Taşıyıcı Sistemler*. Eylül Yayınları, İzmir.
- Türkçü, H. Ç. (2003). *Çağdaş Taşıyıcı Sistemler*. Birsen Yayınevi, İzmir.
- Url-1, Ark Nova yapısı görseli, <https://www.cnet.com/culture/ark-nova-blow-up-concert-hall-inflates-in-japan/> (Erişim tarihi: 22.04.2022)
- Url-2, Ontario Pavilion yapısı görselleri, <https://www.archdaily.com/775880/ontario-celebration-zone-pavilion-tectoniks> (Erişim tarihi: 28.04.2022)
- Url-3, Münich Allianz Arena yapısı görseli, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Allianz-Arena-M%C3%BCnchen.jpg> (Erişim tarihi: 21.11.2022)
- Url-4, Beijing Water Cube yapısı görseli, <https://lebbeuswoods.wordpress.com/2011/08/26/report-from-beijing-3-water-cube/> (Erişim tarihi: 21.11.2022)
- Url-5, Media-TIC yapısı görseli, <https://www.arkitektuel.com/media-tic/> (Erişim tarihi: 21.11.2022)
- Url-6, Eden Project yapısı görseli, <https://grimshaw.global/projects/culture-and-exhibition-halls/the-eden-project-master-plan/> (Erişim tarihi: 21.11.2022)
- Url-7, Bubble Houses yapısı görselleri, <https://www.fluxmagazine.com/bubble-houses-architecture-book/> (Erişim tarihi: 21.11.2022)