

Fire Risk and Precautions in Pneumatic Inflatable Systems

Pnömatik Şişme Sistemlerde Yangın Riski ve Önlemler

Yasemin BAL¹

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi,
Mimarlık Bölümü, Bursa, Türkiye



Zuhal ŞİMŞEK²

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi,
Mimarlık Bölümü, Bursa, Türkiye



Received / Geliş Tarihi	10.12.2024
Revision Requested / Revizyon Talebi	28.12.2024
Last Revision / Son Revizyon	22.02.2025
Accepted / Kabul Tarihi	02.03.2025
Publication Date / Yayın Tarihi	15.03.2025

Corresponding author / Sorumlu Yazar:
Yasemin BAL

E-mail: mimar.yasemin.bal@gmail.com

Cite this article: Bal, Y. & Şimşek, Z.
(2025). Fire Risk and Precautions in
Pneumatic Inflatable Systems.
*PLANARCH - Design and Planning
Research*, 9(1), 117-132.
DOI:10.54864/planarch.1598861



Content of this journal is licensed under a Creative
Commons Attribution-Noncommercial 4.0
International License.

ABSTRACT

Fire is a risk that can cause loss of life and damage in buildings. Fire safety precautions are commonly applied to well-known construction systems such as concrete or steel. However, in structures such as pneumatic (inflatable) systems which are relatively less known and applied fire risks, fire safety precautions, and application methods should be made more widely known. The aim is to identify and analyze fire risks arising from structural characteristics in pneumatic systems in the context of fire safety and risks, and to evaluate the passive and active fire safety precautions that need to be taken. The study consists of a 5 stage method. Stage-1, a research was conducted on fire safety in structures. Stage-2, research was conducted on fire standards in pneumatics, examinations were made on pneumatic structure examples and research was conducted on fire safety in pneumatics by classifying. Stage-3, fire safety parameters were created in pneumatics. Stage-4, the parameters were graded between 0-5 and risk map was created. Stage-5, passive and active fire safety precautions were suggested for possible risks in pneumatics. Thus; fire risks, weaknesses and strengths, active and passive fire safety precautions that can be taken according to structural characteristics of pneumatics are explained in findings. Scientists and the construction sector will be able to gain information about possible fire risks in the application of pneumatics and the precautions to be taken with this study. As a result, pneumatics should be planned holistically with passive and active fire safety precautions specific to each system.

Keywords: Fire safety, pneumatic (inflatable) systems, risk analysis, passive-active fire safety precautions, membrane.

Öz

Yangın, binalarda can ve mal kaybına neden olabilen bir risktir. Beton veya çelik gibi yapımların sistemleri için yangın güvenlik önlemleri yaygın olarak bilinmekte ve uygulanmaktadır. Ancak bu çalışma kapsamında incelenen nispeten az bilinen ve uygulanan pnömatik (şişme) sistemler gibi strüktürlerde yangın riskleri, yangın güvenlik önlemleri ve uygulama yöntemlerinin bilinirliği artırılmalıdır. Pnömatik sistemlerde yangın güvenliği ve yangın riskleri bağlamında yapısal niteliklerden kaynaklanan yangın risklerinin tanımlanması, analiz edilmesi ve alınması gereken pasif ve aktif yangın güvenlik önlemlerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Makale çalışması 5 aşamalı yöntemden oluşmaktadır. Birinci aşamada yapılarada yangın güvenliği hakkında araştırma yapılmıştır. İkinci aşamada pnömatik yapılarada yangın standartları araştırması, pnömatik yapı örnekleri üzerinden incelemeler yapılması ve pnömatik yapıların sınıflandırılması yapılarak, pnömatik sistemlerde yangın güvenliği hakkında araştırma yapılmıştır. Tek cidarlı ve çift cidarlı taşıyıcı ile diğer strüktüre ek iki veya üç katmanlı ile yastık olarak 4 ana grupta sınıflandırılmıştır. Üçüncü aşamada pnömatik yapılarada yangın güvenliği parametreleri oluşturulmuştur. Dördüncü aşamada ise bir önceki aşamada belirlenen parametreler 0-5 arasında derecelendirilerek risk haritası yapılmıştır. Son olarak beşinci aşamada pnömatik yapılarada olası risklere yönelik pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri önerilmiştir. Böylelikle şişirilebilir sistemlerin yapısal özelliklerine göre yangın riskleri, zayıf ve güçlü yönleri, alınabilecek aktif ve pasif yangın güvenliği önlemleri bulgular bölümünde açıklanmıştır. Bilim insanları ve inşaat sektörü, bu çalışma ile pnömatik yapıların uygulanmasındaki olası yangın riskleri ve alınması gereken önlemler konusunda bilgi sahibi olabilecektir. Sonuç olarak pnömatik yapılar her yapı veya sisteme özel pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri ile bütünsel olarak planlanmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Yangın güvenliği, pnömatik (şişme) sistemler, risk analizi, pasif-aktif yangın güvenlik önlemleri, membran.

Giriş

Yapılarda yangın; yangın risklerinden kaynaklanarak tutuşma olayı sonucunda yangının meydana gelmesi, yayılmasının engellenmemesi ve gerekli önlemlerin alınmaması sebebiyle yapısal hasar, yıkım veya can kayıplarına yol açabilen büyük bir tehlikedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan betonarme, ahşap ve çelik gibi malzemelerden inşa edilen yapı sistemleri için yasal düzenlemelerle yangın güvenliği sağlanmaktadır. Ancak bu sistemler dışında yaygın kullanılmayan fakat teknolojinin gelişmesi ile birlikte yaygınlaşan yapı sistemleri ve malzemeler için yapıya özgü yangın risklerinin tanımlanması ve bu risklere yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir. Uluslararası veya ulusal bağlamda yasal düzenlemeler ile çeşitli yapı sistemlerine yönelik yangın güvenliği hakkında hususlar düzenlenmelidir. Çalışma kapsamında incelenen yenilikçi pnömatik (şişme) strüktürler hakkında uluslararası ve ulusal düzeyde yapı sistemi, membran malzeme ve işleve göre çeşitli düzenlemeler bulunmaktadır. Türkiye’de pnömatik sistemler alışveriş merkezi çatı kaplamalarında, geçici spor ve eğlence yapılarında kullanılmaya rağmen yürürlükte olan yıllar içerisinde düzenleme ve eklerle günümüzdeki halini alan “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” bağlamında şişme ve membran yapılarda yangın güvenliğine yönelik tüm pnömatik yapı tipolojileri ve cephede kullanımları açısından doğrudan bir düzenleme yer almamaktadır. Buna ek olarak pnömatiklerin temel membran malzemeleri hakkında geliştirilmiş tutuşma sıcaklığı, yanıcılık, alevlenme, alev iletme, duman ve zehirli gaz salınımı gibi standartlar olmasına rağmen pnömatik yapılarda uygulama sonrasında ortaya çıkabilecek yangın risklerine yönelik düzenlemeler kısıtlı ve diğer yapı sistemleri için geliştirilen düzenlemelere göre daha az sayıdadır. Çalışmanın özgün tarafı pnömatik sistemlerin yapılarda kullanım alanları ve tipolojilerine göre bütüncül yangın risk değerlendirme içermesi, yangın risklerinin derecelendirilmesi, analiz edilmesi ve pasif ile aktif yangın güvenlik önlemlerinin önerilmesidir. Pnömatik strüktürlerin yapı tipolojisi ve malzeme bağlamında yangın risklerinin tanımlanması, yapı tipolojisine göre avantajlı ve dezavantajlı yönleri, malzeme ve yapısal nitelikler bağlamında yangın parametreleri ile alınabilecek pasif ve aktif yangın güvenlik önlemlerinin açıklanması amaçlanmıştır. Makale çalışması toplamda beş aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk iki aşamada araştırma, sonraki üç aşamada analiz ve değerlendirme yapılmıştır. Pnömatik strüktürler; membran malzemelerin kullanılması, geniş açıklıkların geçilmesi, cephelerde tüm yüzeyin kaplanması, sürekli hava sirkülasyonunun strüktür içerisinde dolaşması gibi nitelikleri sebebiyle yangın açısından yüksek riskli olarak görülebilmektedir. Ancak bilinenin aksine alınacak yangın güvenliği önlemleri ile yangın açısından riskli olmayacak hale getirilebilen sistemlerdir. Ayrıca tünel veya geniş açıklıklı yapılarda kompartmantasyon için yangın duvarı olarak kullanılabilen esnek sistemlerdir. Ancak geçici eğlence yapılarında yoğun kullanıcı sayısı; cephede kullanımda yangın durumunda iç mekana etki; tek cidarlı strüktürlerde yangın durumunda sönmeye; malzeme niteliğinin yangın durumunda tutuşma, alevlenme, duman ve zehirli gaz salınımı üzerindeki etkisi gibi her pnömatik yapıya özel riskler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, çalışmada birbirinden farklı niteliklere sahip her pnömatik strüktürlerdeki yapı için yangın riskleri üzerine analiz yapılarak alınması gereken tedbirler sistematiği bir çerçevede açıklanmıştır. İnşa edilecek pnömatik strüktürlü yapılar için risklerin tanımlanması ve risklerin doğuracağı olası tehlikeler bu çalışma ile incelenmiştir. Bu makale çalışması ile bilim insanları ve inşaat sektöründe uygulama yapan profesyoneller için pnömatik sistemdeki yapılara özgü olası yangın riskleri ve önlemlerin alınması ile daha güvenli yapıların inşa edilebilmesi

amacıyla bir analiz gerçekleştirilmiştir. Böylelikle gelecekte inşa edilen her pnömatik sistem için tasarım aşamasında pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri alınarak oluşabilecek tüm can ve mal kayıplarının önüne geçilebilecektir. Teknolojideki ilerlemeler sayesinde pnömatik yapılarda membran malzeme, sistem detayları ile uygulama yöntemlerinin geliştirilebileceği ve yangın açısından risklerin düşürülerek daha güvenli biçimde kullanılabilirlikleri öngörülmektedir.

Kuramsal Çerçeve

Pnömatik Strüktürlerde Yangın Güvenliği

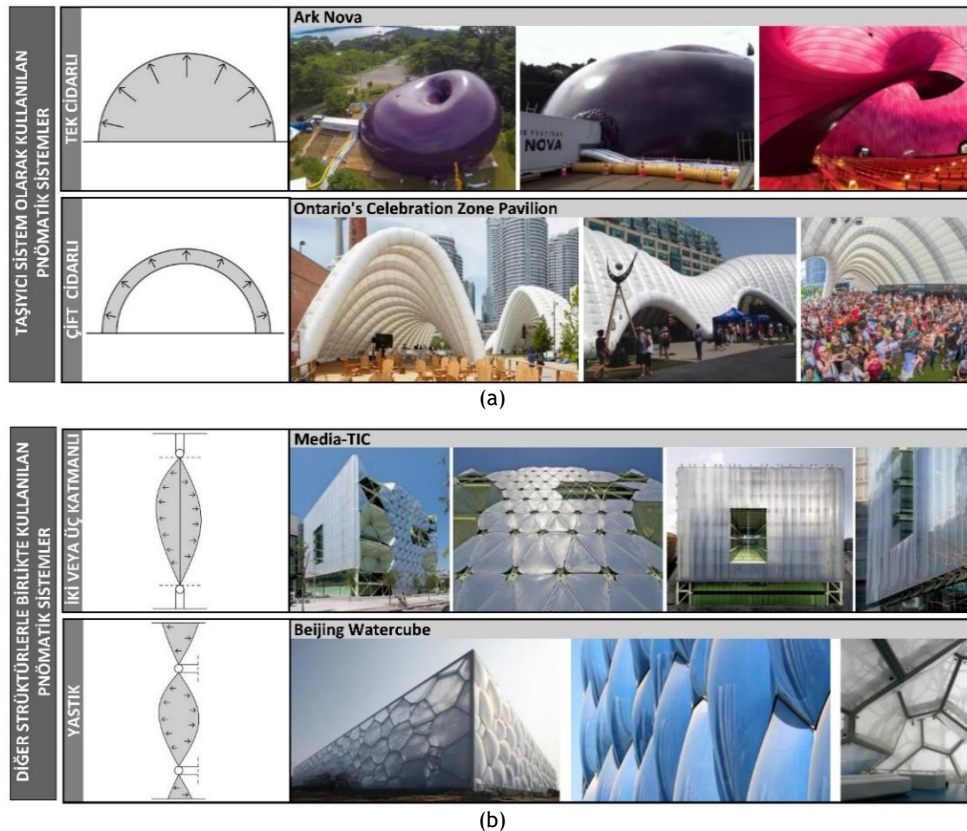
Yanma; yanıcı madde ve gazların hızlı bir şekilde okside olması sonucunda ısı ve ışığın ortaya çıkması olayıdır. Yapılarda yanma sonucunda görülen ölümler genellikle duman ve zehirli gazdan kaynaklanmaktadır (Egan, 1978). Yanma olayı; yanıcı madde, oksijen ve ısı parametrelerinin üçünün de bir arada olması durumunda gerçekleşmektedir. Bileşenlerden birisinin ortamdaki uzaklaştırılması veya sürekliliğinin kesintiye uğratılması ise yangının sönmeye başlamasını sağlamaktadır (Chitty & Mitchell, 2003). İletim (conduction), taşınım (convection) ve ışıma (radiation) yolları ile iletilebilen ısı her hangi bir maddeyi tutuşturması sonucunda yangın başlayarak çeşitli aşamalardan geçmektedir (Şimşek, 2013). Yanıcı madde, oksijen ve ısı unsurları yanma üçgeni olarak adlandırılmaktadır. Bu unsurların bir arada olmasıyla tutuşma başlamakta ve yanma olayını oluşturan zincirleme reaksiyonlar hızlandıkça yangın şiddetlenmektedir (Özgünler, 2005). Tutuşma sonucunda ortaya çıkan yangının gelişim aşamaları tutuşma, gelişme, büyüme (flashover), tam büyüme (backdraught) ve korianma (sönme) olarak 5 aşamada incelenebilmektedir. Yangın en hızlı büyüme ve tam büyüme aşamasında gelişmektedir. Flashover evresinde ortamdaki oksijen miktarının azalması sonucunda tam büyüme aşamasına geçilmektedir. Daha sonrasında sıcaklık ve oksijen azalmasıyla sönmeye aşaması gerçekleşmektedir (Shields & Silcock, 1987). Yangınlardan kaynaklanan ölüm ve yaralanmaların büyük bir kısmı yangının yangına yönelik güvenli bir şekilde tasarlanmamasından kaynaklanmaktadır. Genellikle yetersiz kaçış yolları sebebiyle yapı içerisi duman dolmuş istenmeyen durumlara yol açmaktadır. Toplumsal yapılar yangın güvenliğine yönelik olarak projelendirilirken pasif ve aktif güvenlik önlemleri düşünülerek tasarlanmalıdır (Kılıç & Beceren, 1999). Bu bağlamda yenilikçi yapı sistemlerinin de düzenlenerek tüm yapılar için yangın güvenliğinin sağlanması önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında yangın güvenliği açısından pnömatik strüktürler incelenmiştir.

Yunanca “pneuma” kelimesinden türetilen pnömatik kelimesi hava ile dolu veya basınçlı hava nedeniyle işler hale gelen herhangi bir nesne anlamına gelmektedir (Jamil, 2005). Pnömatik yani şişme sistemler yapısal bütünlüğün sağlanması amacıyla hava basıncını kullanan, dış ile iç arasında basınç farkı sayesinde sabit hale getirilmiş dengeli yapılar ya da binalardır (Marcipar, Oñate & Canet, 2005). Pnömatik sistemlerin en yaygın örnekleri ise hava ile basınçlandırma yöntemiyle inşa edilmektedir. Kendi içerisinde tek cidarlı (sürekli hava destekli, şişirme-basınç fazlalığı, alçak basınçlı 200 kgf/m²) ve çift cidarlı (şişirilmiş tüpler, hava destekli, emme-basınç azlığı, yüksek basınçlı 2000-70000 kgf/m²) sistemler olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Buna ek olarak yapı cephelerinde tek, çift veya üç katmanlı çeşitli gazlar ile basınçlandırılmış yastıklar olarak da kullanılmaktadır. Kalıcı veya geçici olarak inşa edilen çok amaçlı fonksiyonlara sahip, kullanıcı yükünün fazla olduğu otel, eğlence yapısı, terminal, stadyum, spor salonu ve hatta afet yapısı gibi işlevlerde kullanıldığı yapı örnekleri görülmektedir (Bal & Arpacioğlu, 2023). Pnömatik sistemlerde PVC (polivinil klorür), ETFE (etilen tetrafloroetilen),

PTFE (politetrafloroetilen), PVF (polivinil florür) gibi çeşitli malzemeler kullanılabilir. Pnömatik strüktürler mimaride çok çeşitli işlev, form ve yapı elemanlarında kullanılabilir. Taşıyıcı eleman olarak kullanılmalarının yanı sıra yapı elemanı olarak cephede, çatıda veya yapı kabuğunda uygulanabilirler. Bu sebeple pnömatik strüktürler bu çalışma kapsamında taşıyıcı ve diğer strüktüre ek olmak üzere iki ana grupta incelenmiştir. Taşıyıcı pnömatikler tek veya çift cidarlı olarak uygulanabilir. Taşıyıcı pnömatik yapılar zemine ankraj, pencere ve kapı gibi açıklıklar ve basınçlandırma açısından özel detaylara ihtiyaç duymaktadır. Diğer strüktürlere ek kullanımda ise iki veya üç katmanlı germe yöntemi ile uygulananlar ve kapalı bir modül olarak çalışan yastık sistemler olarak iki gruba ayrılmıştır.

Pnömatik sistemlerde yanma membran yapının yüzeyinde veya yapı içerisinde meydana gelebilir. Dolayısıyla pnömatik yapının temel malzemesi olan membran ve basınçlandırma maddesi yangın üzerinde doğrudan etkilidir. Bu sebeple yangının tutuşma, yayılma, tahliye ve müdahale aşamaları göz önünde bulundurulduğu zaman pnömatik sistemlerdeki yangın riskleri yapı tipolojisi, malzeme ve birleşimler olmak üzere 3 ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Malzeme başlığı altında pnömatik sistemin iki temel unsuru olan membran malzeme ve basınçlandırma maddesi ile birleşim detayları incelenmiştir. Membran kullanılarak uygulanan strüktürler mimaride çeşitli form ve işlevde uygulanabilen esnek sistemlerdir. Bu sebeple çalışma kapsamında şişme yapı tipolojileri taşıyıcı sistem olarak kullanılan ve diğer strüktürlere ek olarak kullanılan pnömatik sistemler olmak üzere iki ana gruba ayrılarak incelenmiştir. Taşıyıcı sistem olarak kullanılanlar tek ve çift cidarlı, diğer strüktürlere ek olarak kullanılanlar ise iki veya üç katmanlı ile yastıklar olarak ayrılmıştır. Pnömatik sistemlerde yapısal nitelikler sebebiyle

farklılaşan yangın riskleri ve önlemlerinin makale kapsamında değerlendirilebilmesi amacıyla oluşturulan sınıflandırma ve bu sınıflandırma gruplarına ait yapı örnekleri aşağıda gösterilmiştir. Şekil 1.a'da taşıyıcı sistem olarak kullanılan tek ve çift cidarlı pnömatik sistem örnekleri gösterilmiştir. "Ark Nova" gezici yapısı Japonya'da deprem sonrası kullanılan yaklaşık 500 kişilik bir konser salonudur (Url 1). Tek katmanlı, dış mekandan mor iç mekandan pembe görülen yarı geçirgen bir membran tabakasının sürekli basınçlandırılması ile form almaktadır. Mekanik sistem yapı ile birlikte tasarlanarak havanın sürekliliği sağlanmaktadır. Yapıya giriş ve çıkışlar özel olarak detaylandırılmış kapılar aracılığıyla sağlanmaktadır. Toronto'da bulunan "Ontario's Celebration Zone Pavilion" eğlence yapısıdır. Kablo ve dikişler ile desteklenen çift cidarlı beyaz membran kemer şişme tüplerden oluşmaktadır. Zemine özel ankraj yöntemleri ile sabitlenmektedir (Url 2). Diğer strüktürel sistemler ile birlikte kullanılan pnömatik sistem örnekleri Şekil 1.b'de gösterilmiştir. Media-TIC, Barcelona'da bulunan bir ofis ve teknoloji merkezi yapısıdır. İklim ve gün ışığı verilerine göre edimsel, farklı cephelerde iki veya üç cidarlı olarak ETFE yüzeylerden oluşmaktadır. Cepheler hava veya nitrojen ile doldurularak basınçlandırılmaktadır (Url 3). "Beijing Watercube" ise Pekin'de su sporları merkezi olarak inşa edilmiştir. Yapı kabuğu yastık olarak eklenen ETFE şişme modüllerden oluşmaktadır. Yapı cephesi bir sera gibi çalışarak enerji tüketiminin düşürülmesi sağlamıştır (Url 4). Örneklerde görüldüğü üzere mimaride çok çeşitli işlevde ve yapı tipolojisinde kullanılabilen şişme yapıların yangın riskleri farklılaşmakta ve buna yönelik önlemler gerektirmektedir. Her yapı sistemine yönelik riskler belirlenerek özel olarak geliştirilmiş yangın güvenlik önlemleri alınmalıdır. Yaygınlaşan pnömatik sistemde yapılar için olası risklere yönelik yangın güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir ve can güvenliği için önem taşımaktadır.



Şekil 1.a. Taşıyıcı Sistem Olarak Pnömatik Sistem Örnekleri Ark Nova (Url 1); Ontario's Celebration Zone Pavilion (Url 2) b. Diğer Strüktürlere Birlikte Kullanılan Pnömatik Sistem Örnekleri Media-TIC (Url 3), Beijing Watercube (Url 4)

Pnömatik Strüktürlerde Malzeme

Pnömatik sistemlerin temel malzemelerinden biri olan membran tekstillerin şişme yapıdaki güvenlik önlemleri için uygun şekilde seçilmesi gereklidir. Kompozit bir bileşen olarak özellikleri aşınma direnci, yaşlanma, engelleme, eğim oluşturma, kopma ve çekmeye dayanım (çekilme), patlama dayanımı, kaplamanın yapışkanlığı, adezyon kuvvetleri, yorgunluk davranışı, yanıcılık, sönmelenme durumu, birim alan başına kütle, paketlenilebilirlik, geçirgenlik, sıcaklık etkileri, kaplama ağırlığı, dikiş veya kaynak ile yapılandırılabilir. Yanıcılık, membran tekstili oluşturan elyaf ve kaplama bileşenlerinin yangına veya yanmaya neden olma kolaylığıdır. Yangın testi yoluyla kumaşın yanmasına neden olmak için gereken zorluk derecesi ölçümlenebilmektedir (Molina Pombo, 2008). Cama göre ETFE yaygın bir çözüm olarak geniş açıklıklarda, esnek geometri ve formlarda; çeşitli renk, doku, geçirgenlik ve kaplama yapısında uygulanabilmektedir. ETFE malzemeler ekonomik bir çözüm olarak cam benzeri rijit malzemelerin kullanılmadığı durumlarda esnek ve hafif çözümler sunabilmektedir. ETFE'nin diğer membran tekstillerde farkı ise ışık geçirgenliği ve uzun ömürlü olmasıdır. Yangın sınıflandırmasının "DIN 4102 B1, alev geciktirici, EN 13501-1 / B-s1, d0" (DIN-Deutsches Institut für Normung ve EN-European Standard) olması sayesinde yangına dayanıklı bir malzemedir (Karaman, 2019). Pnömatik strüktürlü yapılarda yaygın olarak ETFE membran türleri kullanılabilir. Bu bağlamda membran malzeme, yapının projelendirilmesi süreci ile birlikte yangın güvenlik önlemleri alınarak tasarlanmalıdır.

Pnömatik sistemlerin bir diğer malzemesi ise basınçlandırma maddesidir. Tek cidarlı taşıyıcı pnömatik strüktürlerde insanın bulunduğu iç mekan basınçlandırıldığından yalnızca hava kullanılabilir. Ancak diğer pnömatik sistemlerde havaya ek olarak nitrojen ve helyum gibi gazlar da kullanılabilir. Kar (Url 5) göre, gaz molekülleri ortamdaki sıcaklığın yükselmesi durumunda hızlarının artması ve çeperleri zorlamaları sebebiyle patlamalara ya da insanlar üzerinde olumsuz sağlık durumlarına yol açabilmektedir. Gazlar kimyasal niteliklerine göre parlamayan ve yanmayan (hava, azot, helyum, neon, argon, kripton, ksenon, radon, karbondioksit, kükürtdioksit), reaktif (flor, hidrojen, asetilen, metil asetilen, propilen, vinil klorür), toksik (hidrojensülfür, amonyak, karbonmonoksit) ve parlayan, yanan, patlayan gazlar (metan, doğal gaz, LPG-sıvılaştırılmış petrol gazı) olarak incelenmektedir. Toksik yani zehirleyici etkiye sahip olan gazlar ise basit boğucu (azot, karbondioksit, metan), kimyasal boğucu (karbonmonoksit, hidrojen siyanür, hidrojen sülfür), tahriş edici (amonyak, klor, azotdioksit, kükürtdioksit, ozon), sistemik zehir etkisi gösteren (arsin, fosfin, stibin) gazlardır. Durukan (1995), solunum yapılan ve yanma havası olarak adlandırılan havanın, kompozisyon olarak hacimsel bazda %20.95 oksijen, %78.09 azot, %0.93 argon, %0.03 karbondioksitten oluştuğunu belirtmiştir. Yangın durumunda hava ve bileşenlerinin yangına etkisi haricinde başka gazların da yanıcı veya söndürücü etkisi olabilmektedir. Zehirli gaz etkisi gösteren tahriş edici (amonyak, kükürt dioksit, hidrojen klorür), boğucu (klor, fosgen, azot oksitler) ve öldürücü (karbon monoksit, hidrojen siyanür) gazlar kullanıcılara büyük zarar verebilmektedir (Küçük, 2001). Havada yanan herhangi bir madde kokusuz, tatsız ve renksiz bir gaz olan oksijen ile birleşmektedir. Yanma yapıda belirli mekanlarda ilerler iken atmosferde bulunan oksijen yavaş bir şekilde tükenmektedir. Bu durum kullanıcılar yani yangına maruz kalanlar ve yangın müdahale ekipleri için ciddi bir tehlikedir. Havadaki oksijen oranının %6 oranından az olması durumunda 6-8 dakika içerisinde ölüm görülmektedir. Oksijen hem hayati açıdan önemlidir hem de yangının temel elemanlarından birisidir (Eugene, 1997). Bu sebeple pnömatik strüktürlerde gaz maddenin

yanma durumu, zehirleyici etkisi, patlama riskleri değerlendirilerek kullanılmalıdır. Mimaride yapılarda kullanılan tüm maddelerin kullanıcı sağlığı ve güvenliği açısından araştırılarak yangın açısından riskleri değerlendirilmelidir. Etkili bir yangın güvenliğinin temel amacı bu risklerin ortadan kaldırılarak önlemlerin uygulanmasıyla başlamaktadır.

Pnömatik Strüktürlerde Yangın Güvenliği Standartları

Pnömatik sistemlere yönelik yangın güvenliği unsurlarını içeren çeşitli standartlar mevcuttur. Aşağıda çeşitli ülkelere ait bu düzenlemelerden bazıları açıklanmıştır. NFPA (National Fire Protection Association) göre şişme yapı; esnek kumaş malzemeden yapılmış bir veya birden çok üfleyici ile şişirilen ve şeklini korumak için hava basıncına dayanan sistemdir. Şişirilebilir yapılar üretim, işletme ve bakım aşamalarında ASTM F2374-22 (American Society for Testing and Materials International) normu "Standard Practice for Design, Manufacture, Operation and Maintenance of Inflatable Amusement Devices" talimatlarına göre planlanmalıdır. Yanmaz malzeme veya NFPA göre alev yayılım performans kriterlerini karşılayan sertifikalı malzemelerden yapılmalıdır. Elektrik ekipmanları ve jeneratörler NFPA uygun olacak şekilde düzenlenmelidir. Yangın söndürücüler tarihi geçmemiş, uygun sayıda ve konumda düzenlenmelidir. Darlington Borough Council (2016), toplumsal etkinlikler amacıyla kullanılan geçici yapılardan biri olan şişme yapılar için çeşitli güvenlik önlemlerini içeren standart yayınlamıştır. Buna göre risk değerlendirmesi yapılarak tasarım açısından dış mekan ullanıcı veya sıcaklık iklimsel faktörleri, çevresel koşullar, işlev, kullanıcı sayısı, malzeme, ankraj ve sistem detayları gibi tüm faktörler dikkate alınarak yetkili bir kişi tarafından hesaplanmalıdır. Yangına dayanıklı, alev dayanıklı, alev veya yangın geciktirici nitelikte test tarih ve yöntemlerine tabi malzeme, yapı elemanları ve dekorasyon ürünleri kullanılarak inşa edilmelidir.

SCDF (Singapore Civil Defence Force, 2023) tarafından düzenlenen "Temporary Change of Use Permit Outdoor Inflatable Tent Fire Safety Conditions" göre yapıya erişilebilirlik, yangın kaçış yolları, malzeme nitelikleri, mekanik sistemler, yangın algılama ve söndürme sistemleri hakkında pnömatik yapılarda yangın güvenliği incelenmektedir. Tek veya çift cidarlı tamamen pnömatik strüktürlü yapılarda sahne gösterisi, tanıtıcı etkinlik, sergi, ticaret fuarı ve karnaval düzenlenmesi durumunda geçici yapı sınıfından çıkarak yangın güvenlik önlemleri alınması gerekliliği bildirilmektedir. Şişme yapıda LPG veya yanıcı sıvı ile gazlar kullanılmamalıdır. İç mekanda yemek işlevli pişirme gerçekleşecek bir alan varsa alevli pişirme yapılmamalıdır. Başka bir yapı cephesine en az 3 metre uzaklıkta inşa edilmeli; herhangi bir yangın musluğu, yangın söndürme hattı veya yakındaki başka yapıların yangın kaçış merdivenlerinin 1,5 metre yakınına yerleştirilmemelidir. Şişme yapı eğer yükseltilmiş bir zemin üzerine inşa edildiye zemin altında mal, malzeme veya elektrik alanlarının depolanmasına izin verilmemektedir. Yapının çıkış kapasitesi, kullanıcı yükü, şişirilebilir yapının malzeme niteliğinin yangına göre (British Standard - BS 476: Part 7, Class 2) karşılayacak şekilde seçilmelidir. Yapıda uygun sayıda ve her çıkış en az 1 metre genişlikte olacak şekilde, doğrudan dışarıya tahliye edilecek çıkışlar planlanmalıdır. Çıkışlar yan yana olmayacak şekilde birbirinden uzak ve doğrudan dış alanlara açılacak şekilde konumlandırılmalıdır. Tüm kaçış yolları ve kaçış esnasında geçilecek yerler engellerden arındırılmış olmalıdır. Aynı zamanda kaçış yolları üzerinde kullanıcıların kaçışı için yönlendirecek pille veya yedek güç kaynağıyla çalışan ışıklı "Çıkış" işaretleri ile yönlendirme işaretleri bulunmalıdır. Acil durum aydınlatması yeterli sayıda ve konumda yerleştirilmelidir. Hava üfleyici mekanik sistem, yapının gereksinim duyacağı basınçlandırma

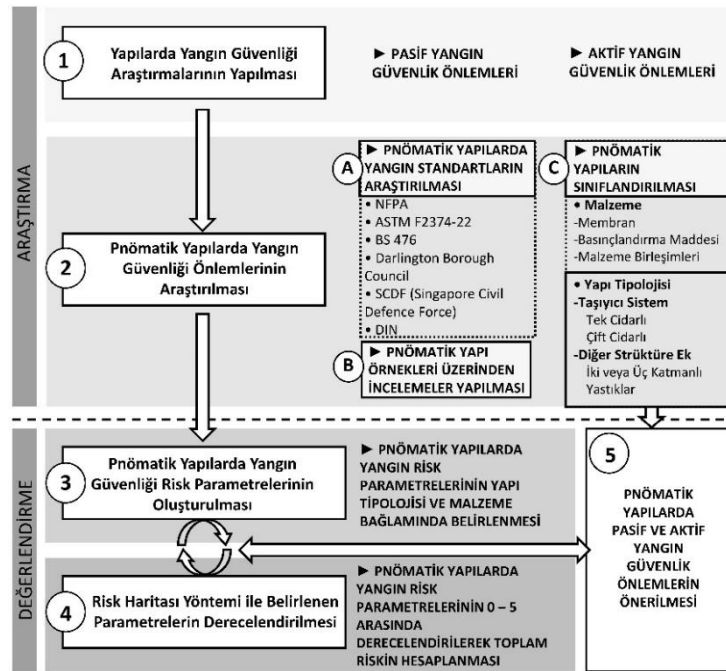
maddesini yeterli ve sürekli elektrik beslemesi ile sağlamalıdır. Yedek güç kaynağı olan jeneratörler varsa yapıdan 3 metre uzağa yerleştirilmelidir. İç mekanda kaçış koridorları ve merdivenler mevcut ise en az 1,2 metre genişlikte olmalıdır. Şişme yapının strüktürel stabilitesi için basınç durumunu ölçecek ve indiğinde tespit ederek alarm verecek otomatik bir algılama sistemi kurulmalıdır. Yangın durumunda şişme yapının çökme riskine karşı çelik çerçeve ya da makaslarla destek elemanları strüktüre eklenmelidir. Aktif önlemler açısından taşınabilir ve görülebilir şekilde (15 metrede bir yerden 1,2 metre yükseklikte) yeterli sayıda yangın söndürücüler, dökülmeyi absorbe ederek daha fazla yayılmasını önleyici emici kit yerleştirilmelidir. Zemin alanı 400 metrekareyi aşan şişme yapılar için manuel alarm sistemi ile yangın hortum sistemi eklenmelidir.

Yukarıda açıklanan bazı standartlarda görüldüğü üzere pnömatik sistemler için farklı yapı türleri veya malzemeye yönelik yasal düzenlemeler mevcuttur. Yangının önlenmesinde ise temel faktör risklerin tanımlanarak düşürülmesidir. Bu sebeple çalışma kapsamında şişme sistemler için yangın riskleri, risklerin derecelendirilmesi ve alınması gerekli optimum önlemler risk haritası yöntemi aracılığıyla incelenerek değerlendirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Pnömatik sistemlerin yapı tipolojisine göre yangın güvenliği açısından incelenmesi için 5 aşamalı bir yöntem izlenmiştir. İlk

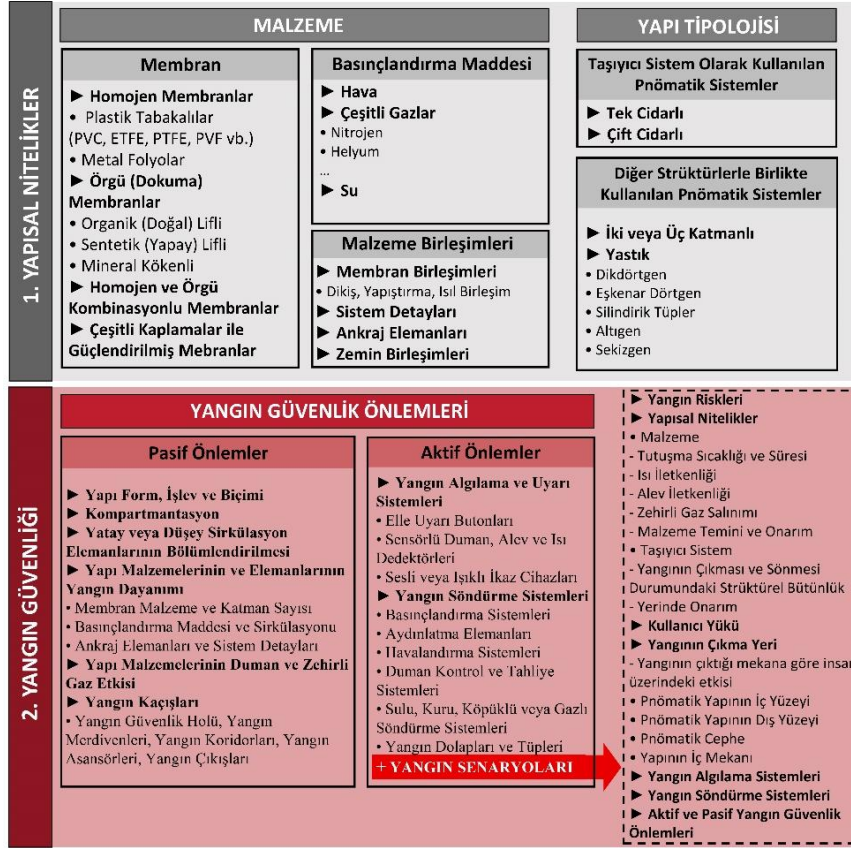
iki aşamada veri toplama ve araştırmayı; diğer üç aşamada toplanan verileri derlemeyi, sınıflandırmayı, derecelendirmeyi içeren değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında öncelikli olarak yapılarda yangın güvenliği konusunda pasif ve aktif önlemler araştırılmıştır. İkinci aşamada pnömatik yapılar bağlamında yangın güvenliği araştırılmıştır. Üç aşamalı olarak A. pnömatik yapılarda bazı yangın standartlarının araştırılması, B. pnömatik yapı örnekleri üzerinden incelemeler yapılması, C. pnömatik yapıların sınıflandırılmasını içermektedir. Pnömatik yapılar yapı tipolojisi açısından, tek ve çift cidarlı strüktür ile diğer strüktüre ek iki veya üç katmanlı ve yastıklar olmak üzere belirli parametrelerde gruplandırılarak 4 yapı tipolojisi belirlenmiştir. Malzeme açısından ise membran, basınçlandırma maddesi ve malzeme birleşimleri olmak üzere 3 grupta incelenmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında pnömatik yapılarda yangın güvenliği risk parametreleri oluşturulmuştur. Dördüncü aşamada risk haritası yöntemi ile belirlenen parametreler derecelendirilmiştir. Pnömatik yapı tipolojilerine göre tespit edilen riskler yüksekte düşüğe doğru derecelendirilerek bir risk haritası oluşturulmuştur. Çalışmanın beşinci aşamasında pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri önerilmiştir. Böylelikle pnömatik yapı tipolojilerine göre yangın açısından güçlü ve zayıf yönleri ile risk değerlerine ulaşılmıştır. Risk durumlarına göre pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri ile can ve mal kaybının en aza indirilebilmesi için öneriler geliştirilmiştir. Çalışmada izlenen yöntemin aşamaları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Araştırma Süreci

Aşağıda Şekil 3’te pnömatik strüktürlere yönelik olarak belirlenen yapısal nitelikler ve yangın güvenlik parametreleri iki ayrı kısımda gösterilmiştir. Yapısal nitelikler malzeme ve yapı tipolojisi başlıklarını içerirken yangın güvenliği kısmında pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri mevcuttur. Pnömatik strüktürlerin yapısal nitelikleri ve alınabilecek yangın güvenlik önlemleri ile oluşturularak çalışmanın yöntemi ışığında belirlenen sınıflandırmaya göre geliştirilmiştir. Pnömatik strüktürler yangın güvenliği açısından yapı tipolojisi ve malzeme olarak iki ana grupta incelenmektedir. Pnömatik strüktürlerin yapısal nitelikleri iki ana malzeme olan membran ve basınçlandırma maddesi ile bunların birleşimleri olmak üzere 3 başlıkta ele alınmıştır. Yapı

tipolojisi olarak tek ve çift cidarlı taşıyıcılar ile diğer strüktürlere ek iki-üç katmanlılar ve yastıklar olarak ayrılmıştır. Yangın güvenlik önlemleri ise pasif ve aktif önlemlerden oluşmaktadır. Pasif önlemler yapı form, işlev ve biçimi; kompartmantasyon; yatay ve düşey sirkülasyon elemanlarının yangın dayanımı; yapı malzemelerinin duman ile zehirli gaz etkisi ve yangın kaçış yollarını kapsamaktadır. Aktif önlemler ise yangın algılama ve söndürme sistemlerini içermektedir. Yangın senaryosu ise yapıya özgü yangın riskleri, kullanıcı yükü, yangının çıkma yeri, yangın algılama ve söndürme sistemleri ile pasif ve aktif önlemleri içermektedir.



Şekil 3. Pnömatik Sistemlere Yönelik Yapısal Nitelikler ve Yangın Güvenlik Parametreleri

Pnömatik sistemlerde yangın risklerinin tespit edilmesi: Yangın güvenliği bağlamında her pnömatik sistem kendi yapısal nitelikleri sebebiyle çeşitli olumlu ve olumsuz yönlere sahiptir. Bu sebeple yapısal faktörlerden doğan risklerin tespit edilerek ortaya koyulması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında pnömatik sistemlere yönelik önerilen sınıflandırmaya göre olası yangın riskleri tanımlanarak pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri risk haritası yöntemiyle değerlendirilmiştir. Pnömatik sistemler yapı tipolojisi, katmanlaşma durumu, kullanım amacı ve yapıda uygulandıkları yere göre farklı nitelikler göstermektedir. Yapı tipolojisine göre değişen yapısal niteliklere karşın sistemin temel unsuru olan membran, basınçlandırma maddesi ve birleşimleri ortak risklere sahiptir. Bu makale çalışması kapsamında pnömatik sistemler; tek cidarlı strüktür, çift cidarlı strüktür, iki veya üç katmanlı diğer strüktüre ek, yastıklar olmak üzere 4 sınıfa ayrılarak yangın riskleri değerlendirilmiştir. Dört ayrı grup için de ortak özellik olarak tanımlanan ve yapı tipolojisine göre oluşturulabilecek yangın risk grupları membran, basınçlandırma maddesi ve birleşim detayları olarak belirlenmiştir.

Risk parametrelerinin belirlenerek yangın risklerinin derecelendirilmesi: Strüktürel sistem ve yapı elemanı olarak kullanımdaki özelliklerine göre yapısal nitelikleri doğrultusunda risk parametreleri belirlenmiştir. Risklerin dereceleri 0 ile 5 arasında olası can kaybı ve hasarlara yönelik olarak;

- Yüksek sayıda can kaybı ve büyük hasarla yıkıma sebep olabilecek riskler 5,
- Orta riskte can kaybına yol açabilecek ve yüksek yapısal hasar verebilecek riskler 4,
- Can kaybına çok düşük olasılık ile neden olup yüksek yapısal

hasar verebilecek riskler 3,

- Can kaybına yol açmayarak orta yapısal hasar verebilecek riskler 2,
- Can kaybına yol açmayarak çok düşük yapısal hasar verebilecek riskler 1,
- Hiçbir can ve mal kaybına yol açmayacak olan riskler 0 yani yok olarak derecelendirilmiştir.

Olası ölümcül tehlikelere, hasara ve yapısal yıkıma neden olabilecek risklerin şiddeti artar iken can kaybına yol açmayarak yapının işlevini ve sürdürülebilirliğini devam ettirebildiği durumda risklerin şiddeti düşmektedir. Tüm pnömatik sistem gruplarının risk değerleri toplanarak yapısal özelliklerine göre yangın durumundaki güçlü ve zayıf yönleri risk haritası yöntemiyle ortaya koyulmuştur. Buna ek olarak risklere yönelik alınabilecek pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri de açıklanmıştır.

Bulgular

Pnömatik strüktürler membran yüzeylerin basınçlandırma maddesi ile şişirilmesinden meydana gelmektedir. Bu sebeple pnömatik yapıların temel unsurları membran, basınçlandırma maddesi ve birleşim elemanlarından oluşmaktadır. Bu yapılarda farklı fonksiyonların ve malzemelerin kullanımı yapı tipolojisi açısından yangın dayanımını doğrudan etkilemektedir. Yangınlarda amaç; kullanıcıların yapıyı tahliye ettikleri süre boyunca yapının ayakta kalmasını sağlanması ve kullanıcıların zehirlenmeden, fiziksel açıdan zarar görmeden güvenli bölgeye tahliye edilebilmesidir. Pnömatik yapılar kendi niteliklerine göre risklerin tanımlanmasını ve özel önlemler alınmasını

gerektirmektedir. Pnömatik strüktürler sınıflandırılarak yangına yönelik riskleri tespit edilmiştir. Yangın risklerinin belirlenmesi ve derecelendirilmesine yönelik bulgular ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Pnömatik sistemlerde yangın risklerinin derecelendirilerek olası can ve mal kayıplarının önüne geçmek veya en aza indirebilmek amacı ile öncelikle bu yapılardaki yangın riskleri belirlenmelidir. Pnömatik sistemlerde yangın risklerine karşın alınan önlemlerin eksikliklerine yönelik bu yapılara özgü yangın güvenlik önlemleri geliştirilmelidir.

Yangın Risklerinin Belirlenmesine Yönelik Bulgular

Pnömatik sistemlerde yangın risklerinin belirlenmesine yönelik bulgular aşağıda Şekil 4'te gösterilmiştir. Yapı tipolojisine göre 4 ana gruba ayrılacak olası yangın riskleri belirlenmiştir. Tüm şişme yapılar için ortak olan malzeme özellikleri membran, basınçlandırma maddesi ve birleşim detayları olarak belirlenmiştir. Her yapı grubu için tespit edilen yangın risklerine yönelik alınabilecek pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri ayrı ayrı açıklanmıştır.

PNÖMATİK STRÜKTÜRLERDE YANGIN RİSKLERİ		YANGIN GÜVENLİĞİ		
SINIFLANDIRMAYA GÖRE RİSKLER		PASİF ÖNLEMLER	AKTİF ÖNLEMLER	
Taşıyıcı Sistem Olarak Kullanılan Pnömatik Sistemler	YAPI TİPOLOJİSİ <ul style="list-style-type: none"> • Tutuşma kaynağı kontrolü • Duman yayılımı, zehirleme riski: Bütüncül mekan kullanımı ile dumanın yayılması, yanınca zehirli gaz salınımı, dumanın tahliye edilememesi, havalandırılmaması; insanın bulunduğu iç mekana zehirli gaz ve duman dolması • Patlama riski: Basınçlandırma maddesi, kullanılan diğer malzemeler • Yayılma riski: Tek katmanlı ve bütüncül mekan olması sebebiyle hızlı yayılma riski • Çökme riski: Yangın durumunda membran yüzeyde oluşabilecek bir açıklık sebebiyle yapının hacimsel olarak tamamen sönmesi, hacimsel bütünlüğün korunamaması; zeminden kopmaya yönelik olması sebebiyle zemin ankrajları ve sistem detayları açısından önlem alınmaması <p><i>Çift cidarlılarda yerinde onarım ve çökme riskleri daha düşüktür.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Aktif sistemlerin kullanımında montaj ve aktivasyon riski: Aktif yangın algılama ve söndürme sistemlerinin yapıya monte edilememesi • Yangın sonrası onarım ve kullanım kaynaklı riskler: Tek katman olması sebebiyle yerinde onarım yapılamaması riski • Yapıya müdahale, söndürme riski 	MALZEME <ul style="list-style-type: none"> • MEMBRAN <ul style="list-style-type: none"> • Yangına dayanıklı, tutuşma ve yanma sıcaklığı yüksek, alevli şekilde yanma göstermeyen, alev ve ısı ileticiliği az, zehirli gaz ve duman salınımı yapmayan plastik polimer esaslı membran seçilmesi • Membran malzemenin birleşim yönteminin yapı formu, kalıp kesim semaları ve türüne göre yangına yönelik tasarlanması • BASINÇLANDIRMA MADDESİ <ul style="list-style-type: none"> • Basınçlandırma maddesi niteliklerinin yangına göre seçilmesi • Basınçlandırma maddesinin sürekli veya belirli aralıklarla yapıya takviye edilmesi durumunun yangını destekleyici etki yapmayacak şekilde planlanması • MALZEME BİRLEŞİMLERİ <ul style="list-style-type: none"> • Sistem detayları ve zemin ankraj noktalarının alev ve duman sızdırmaz şekilde uygulanması • Zemine ankraj, sistem detayları veya membran malzeme birleşim yerlerinin yangına yönelik tasarlanması 	<ul style="list-style-type: none"> • Yapı formunun işlev ve kullanıcı sayısına göre planlanması • Kompartmentasyon yapılarak yangın durumunda güvenli alanlar oluşturulması • Kullanıcı sayısına göre belirli aralıklarla yangın kaçışlarının planlanması • Her alanın ve her kullanıcının erişebileceği şekilde yangın merdivenleri, yangın güvenlik holli ve yangın çıkışlarının planlanması • Yangın sonrası malzeme temini ve yerinde onarım yapılabilecek şekilde yapının planlanması • Yapı membran yüzeyi içerisinde bölümler ile yangın ve duman iletiminin engellenmesi • Bütüncül mekan kullanımında kullanıcıların bulunduğu mekanda tahliye sistemlerinin sağlanması • Yapının ankraj elemanları ve strüktürü ile tahliye ve söndürme sürecinde ayakta durarak çökmenin engellenecek şekilde tasarlanması 	
	ÇİFT CİDARLI <ul style="list-style-type: none"> • Membran: Duman ve zehirli gaz salınımı, akma damlama, alev iletime riskleri • Basınçlandırma maddesi: Sürekli basınçlandırma maddesi desteği ve sirkülasyonu olması sebebiyle yangın durumunda yangının güçlenme riski, maddenin yanicılığı ve zehirleme riski • Ankrajlar ve sistem detayları: Zemin ankrajları ve sistem detayları açısından yangın durumunda yapının zeminden ayrılma riski; birleşim yerlerinden duman sızdırma riski 	<ul style="list-style-type: none"> • Tek cidarlılarda özel detaylandırılmış açıklıklar gerektirilmesi • Tek cidarlıların zeminden kopmaya yönelik olması, çift cidarlıların kapalı bir sistem olması • Tek cidarlıların yangın sonrası yerinde onarılamaması, çift cidarlıların yerinde onarılabilmesi • Tek cidarlılarda insanın bulunduğu mekanda sürekli hava desteği olması, çift cidarlılarda membran yüzeylerin arasının basınçlandırılması 		
Diğer Strüktüre Ek Pnömatik Sistemler	YAPI TİPOLOJİSİ <ul style="list-style-type: none"> • Tutuşma kaynağı kontrolü • Duman yayılımı, zehirleme riski: Cephe veya insanın bulunduğu iç mekana zehirli gaz ve duman dolması • Patlama riski: Basınçlandırma maddesi, kullanılan diğer malzemeler • Yayılma riski: Bütüncül bölümlendirilmemiş cephe yüzeylerinin yangını diğer mekanlara iletmesi; cephede çıkan yangının iç mekana iletilmesi; alev, duman veya zehirli gaz iletimi riskleri • Aktif sistemlerin kullanımında montaj ve aktivasyon riski: Aktif yangın algılama ve söndürme sistemlerinin cepheye monte edilememesi • Yangın sonrası onarım ve kullanım kaynaklı riskler: Yerinde onarılamama riskleri • Yapıya müdahale, söndürme riski: <i>Yastık sistemlerde diğer cephelere göre modüllere ayrılmış olması ve her modülün kendi içerisinde yangına ve diğer unsurlara karşı planlanabilmesi (basınç, ısı, yangın algılama ve söndürme cihazları vb.) ve yerinde onarılabilmesi açısından risk daha düşüktür.</i> 	MALZEME <ul style="list-style-type: none"> • Membran: Duman ve zehirli gaz salınımı, akma damlama, alev iletime riskleri • Basınçlandırma maddesi: Sürekli basınçlandırma maddesi desteği ve sirkülasyonu olması sebebiyle yangın durumunda yangının güçlenme riski, basınçlandırma maddesinin yanicılığı ve zehirleme riski • Ankrajlar ve sistem detayları: Farklı strüktürlerin birleşiminin ve sistem detaylarının yangına uygun şekilde planlanarak tasarlanmaması; birleşim yerlerinden duman sızdırma riski 	<ul style="list-style-type: none"> • Yapı formunun işlev ve kullanıcı sayısına göre planlanması • Kompartmentasyon yapılarak yangın durumunda güvenli alanlar oluşturulması • Kullanıcı sayısına göre belirli aralıklarla yangın kaçışlarının planlanması • Her alanın ve her kullanıcının erişebileceği şekilde yangın merdivenleri, yangın güvenlik holli ve yangın çıkışlarının planlanması • Yangın sonrası malzeme temini ve yerinde onarım yapılabilecek şekilde yapının planlanması • Pnömatik sistem ile diğer strüktürel sistemlerin bütünüyle yangına dayanıklı şekilde entegre edilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Yapı cephesi için söndürme amaçlı yağmurlama sisteminin belirli aralıklarla iç mekandan cepheye veya cepheden iç mekana geçişini önleyici şekilde planlanması • Yangın algılama, söndürme ve yönlendirme (ışıklı tabela ve göstergeler, duman veya alev dedektörleri) cihazlarının yapıya uygun konularla belirli aralıklarla detaylandırılarak uygulanması • Her membran bölme özel yangın algılama (duman dedektörü, alev algılama cihazları vb.) planlanarak yangın algılama ve söndürmesinin tasarlanması
	İKİ VEYA ÜÇ KATMANLI <ul style="list-style-type: none"> • Yapıya müdahale, söndürme riski: <i>Yastık sistemlerde diğer cephelere göre modüllere ayrılmış olması ve her modülün kendi içerisinde yangına ve diğer unsurlara karşı planlanabilmesi (basınç, ısı, yangın algılama ve söndürme cihazları vb.) ve yerinde onarılabilmesi açısından risk daha düşüktür.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • İki veya üç katmanlıların yangın durumunda cephede yangını iletmesi riski • İki veya üç katmanlıların yangın sonrası yerinde onarılamaması, yastıkların yerinde onarılabilmesi • Yastık tipolojisinde modülerlik sebebiyle müdahale ve söndürmenin kolay olması 		

Şekil 4. Pnömatik Strüktürlerde Yangın Riskleri ve Yangın Güvenlik Önlemleri

• **Yapı Tipolojisi Sebebiyle Ortaya Çıkan Riskler:** Pnömatik yapılar, membran yüzeylerin katman sayısı ve yapılarda uygulandıkları alana göre farklı yapı tipolojileri göstermektedir. Pnömatik strüktürler kendi başına taşıyıcı olarak uygulanabildikleri gibi uzay kafes sistemler, çelik strüktürler, betonarme kabuk yapılar, tensegrity strüktürler gibi diğer sistemlerle birlikte de kullanılabilirlerdir. Tamamen pnömatik

sistemde uygulanan strüktürler genellikle geçici yapılar, gezici yapılar, sergi yapıları, kentsel ölçekteki öğeler, hangar ve depo yapıları gibi işlevlerde uygulanmaktadır. Geniş açıklıklar bölme veya düşey taşıyıcı olmadan pnömatik sistemler ile geçilebilmektedir. Makale kapsamında yapı tipolojisi olarak pnömatik strüktürler taşıyıcı (tek ve çift cidarlı) ve diğer strüktüre ek (iki veya üç katmanlı ve yastık) olarak ayrılarak riskleri

tanımlanmıştır. Tek ve çift cidarlı, iki ve üç katmanlı ile yastık sistemler incelediğinde yapı tipolojisi açısından 8 adet risk tespit edilmiştir. Bunlar; tutuşma kaynağı kontrolü, duman yayılımı ve zehirlenme, patlama, yayılma, çökme, aktif sistemlerin kullanımında montaj ve aktivasyon, yangın sonrası onarım ve kullanım kaynaklı, yapıya müdahale ve söndürme riskleridir.

Riskler açısından sistemlerin birbirlerinden farkları ise 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 yırtılma, aşınma, delinme veya yangın gibi olumsuz durumlarda sönme olayı tüm hacimde gerçekleşirken çift cidarlılarda belirli modülde gerçekleşmektedir. Çift cidarlı pnömatik sistemlerde membran yüzeyde meydana gelen basınçlandırma maddesinin azalması durumu yerinde onarıma daha müsaittir. Aynı zamanda tek cidarlılarda iç mekandaki basınç oranının sabit tutulması için mekanik sistemler kullanılarak sürekli hava desteği gerektirmektedir. Çift cidarlılarda ise ilk şişirmeden sonra sadece bazı durumlarda basınçlandırma maddesi takviyesi gerekir iken sürekli bir basınç desteği bulunmamaktadır. Tek cidarlı pnömatik sistemlerde basınç maddesinin kontrolü ve kaçışının engellenmesi amacıyla özel detaylandırılmış kapı, pencere, açıklıklar ve zemin ankrajı gerektirmektedir. Çift cidarlı tüp pnömatik strüktürler membran malzemenin kapalı bir sistem olması sebebiyle tek cidarlılar gibi özel detaylandırılmış açıklıklar gerektirmemektedir. Geçici kullanım sunması sebebiyle tek ve çift cidarlı pnömatik sistemlerde bazen yangın güvenlik önlemleri uygulanmayabilmektedir. Bu durum söz konusu yapılarda yangının çıkma olasılığını yükseltmektedir. Bu nedenle geçici veya kalıcı olarak inşa edilen pnömatik sistemlerde de diğer yapılarda olduğu gibi yangın riskleri mevcuttur ve mutlaka önlem alınması gerekmektedir.

• **Malzemeden Kaynaklanan Riskler:** Pnömatik strüktürlerde membran, basınçlandırma maddesi ve birleşim detaylarındaki malzemeler yangın riskleri üzerinde doğrudan etkilidir. Malzeme, yangının yapı içinde ve dışında yayılmasını etkileyen önemli bir etkidir. Tutuşma, yangının yayılımı, patlama, alevlerin yayılması, zehirlenme sonucu ölüm ve yaralanma risklerini oluşturmaktadır. Katı yanıcı madde olarak plastik-tekstil esaslı malzemeler ve gaz yanıcı madde olarak hava ile içeriğindeki bazı gazlar pnömatik yapılarda yangın risklerini arttırabilmektedir. Membran, malzeme bileşenleri ve çeşitli kaplamalarla yangına karşı dayanıklı hale getirilebilmektedir. Yangın risklerine yönelik malzemelerin belirli standartlara göre seçimi ve uygulanması sayesinde şişme yapılarda can ve mal güvenliği optimum düzeyde sağlanabilmektedir. Malzemenin içeriği ve yanarken çıkardığı gazların niteliği insanlar üzerinde boğulma ve zehirlenme riskini oluşturmaktadır. Çıkan gazların yoğunluğu ise görüş mesafesinin azalması açısından olumsuz bir etki oluşturarak tahliyeyi geciktirmekte ve zorlaştırmaktadır. Sistemin ayakta kalmasını sağlayan basınçlandırma gazlarının yangının yayılmasında etkisi bulunabilmektedir. Son olarak; yapının ayakta kalmasını sağlayan sistem ve detay elemanlarının yangın karşısında genişmeleri ve birleşim yerlerinden ayrılmaları da çökme riskini oluşturmaktadır.

Pnömatiklerde yangın güvenliği bağlamında basınçlandırma maddesinin yangın durumundaki davranışı tüm strüktürü ve kullanıcıyı doğrudan etkilemektedir. Pnömatik sistemleri basınçlandırmak için kullanılan gazlar, tutuşma ve patlama riski oluşturan parametreler olarak belirlenmiştir. Yaygın olarak hava kullanılmasına karşın farklı gazlarında kullanıldığı örnekler mevcuttur. Çok nadir olarak birkaç pnömatik yapı örneğinde sıvı madde olarak su ve tuzlu su kullanıldığı da görülmektedir.

Tutuşma ve patlama riskinin yanı sıra şişirme gazlarının yangın sırasında zehirleyici etkisi ve boğulma riski parametresini oluşturduğu görülmektedir. Yanıcı olmayan sıvı madde kullanımı istisnai olarak yangın karşısında dayanıklılık kazandırabilmektedir. Yangın söndürme bağlamında çözüm önerisi olarak sıvı madde kullanımı da önerilebilmektedir. Ancak pnömatik strüktürlerin büyük çoğunluğunun hava ve diğer gazlar ile basınçlandırılması sebebiyle gazların yangın davranışları ve riskleri, yapısal açıdan tüm yapı malzemeleriyle birlikte bütüncül olarak değerlendirilmelidir.

Ankrajlar ve sistem detayları riskleri ise membran malzemenin zemin ve birbiri ile birleşim yerlerindeki riskleri içermektedir. Yangın dayanım sınıfı ve standartlara göre seçilen membran malzeme, yapı formuna göre kalıplar aracılığı ile kesilerek uygulamaya hazır hale getirilmektedir. Membran yüzeyler ısı kullanılarak, yapıştırılarak veya dikiş gibi çeşitli yöntemlerle birleştirilmektedir. Malzemenin birleşim yerleri duman yayılımı açısından risk parametresi olarak tespit edilmiştir. Yangın açısından birleşim yerleri zehirli gazlar, duman veya alev sızdıran riskli bölgelerdir. Pnömatik yapılar membran malzemenin bütünlüğünü koruyan, kendisi ile yükleri taşıması ve strüktürel stabilitenin korunmasını sağlayan, malzemenin ve birleşim yerlerinin yangına yönelik olarak duman sızdırmayan; alev iletmeyen; kullanıcı sağlığına yönelik membran malzemenin yanma durumunda damlama, zehirli gaz ve duman salınımı yapmayan; yangın karşısında bütünlüğünü koruyarak yapının birleşim yerlerinin ayrılmadan ayakta kalmasını sağlayan niteliklerde tasarlanmalıdır.

Pnömatik Sistemlerde Yangın Güvenlik Önlemleri

Pasif yangın güvenlik önlemleri yapısal olarak tasarım aşamasında alınan tüm önlemleri kapsamakta iken aktif yangın güvenlik önlemleri yangın algılama, uyarma ve söndürmeyi içeren mekanik elemanlardır. Mimaride kullanıcıya sağlıklı ve güvenli bir mekan sunulması pnömatik yapıda pasif ve aktif önlemlerle sağlanmaktadır. Bu bağlamda çalışma kapsamında incelenen pnömatik strüktürlere yönelik tanımlanan risklere göre alınabilecek yangın güvenlik önlemleri aşağıda açıklanmıştır.

• **Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri:** Pnömatik yapılarda yerleşim, form, erişilebilirlik, açıklıklar, malzeme nitelikleri ve sınıfları, kullanıcı sayısı, işlevi, yükseklik ve yapı alanı, membran cidar sayısı, zemin ankrajı, diğer taşıyıcı sistemler ile entegrasyonu, malzeme birleşimleri, sistem detayları, membran malzemenin birleştirme yöntemleri (dikiş, yapıştırma, ısıl birleşim ve kablolama), cephe elemanlarının yangın ve alev iletim durumu ve iç mekana etkisi, yangın kaçışları, kaçış yerleri ve büyüklükleri, kompartmanlar gibi tüm parametrelerin yangına yönelik tasarlanması ve uygulanması pasif önlemler kapsamındadır. Membran; yanma sıcaklığı, alev iletkenliği, zehirli gaz-duman salınımı, duman geçirgenliği, damlama ve akma gibi yanma niteliklerine göre seçilmelidir. Pnömatik sistemlerde yangın kesiciler ile strüktür veya yapı kabuğundan yayılım engellenmelidir. Kompartmanlar; yangına dayanıklı kapılar, duvarlar, kaplamalar, havalandırma elemanları ile birlikte oluşturulan güvenli alanlardır. Pnömatik yapılarda kompartmantasyon, bütüncül iç mekan içerisinde yangını kesme niteliği gösteren yapı elemanları ile sağlanabilmektedir. Aynı zamanda duman perdesi oluşturularak duman ve alevin yapı içerisinde yayılması engellenebilmektedir. Yangın kaçış yolları her kullanıcıya ve mekana erişen, bütüncül, engelsiz, basınçlandırılmış bir şekilde yangın güvenlik holü, yangın koridoru, yangın merdiveni, yangın anında itfaiye erişimi için yangın asansörleri, kaçış rampaları, yangın kapıları ve çıkışları kapsamaktadır. Kılıç (2003), yangın kaçış yolları için bazı

nitelikleri tanımlamıştır. Yangın kaçış kapıları kilitsiz, duman sızdırmaz, yangına dayanıklı, belirli genişliklerde ve açılış yönü uygun olacak şekilde konumlandırılmalıdır. Kaçış yolları ise yapının büyüklüğü, ölçüleri ve kullanıcı kapasitesine yönelik hesaplanarak planlanmalıdır. Kaçış merdiveni kovaları basınçlandırılarak dumana ve yangına karşı güvenli hale getirilmelidir. Asansörler pozitif basınçlandırılarak yangın durumunda itfaiyenin kullanacağı şekilde tasarlanmalıdır. Yapının çökme riskleri minimize edilerek itfaiye erişimi ve söndürme sürecinde tahliye için kullanıcı sayısına göre belirli bir süre dayanıklılık göstermelidir. Elektrik tesisatı ise yangın kaçış yolları ve kompartmanlara doğrudan açılmamalı ve yangına belirli süre dayanıklı olmalıdır. Sulu söndürme, kaçış ve kompartmanlardaki tesisatlar yapının genel tesisatından ayrı planlanmalı ve yangın durumunda belirli süre çalışmaya devam edebilmelidir.

• **Aktif Yangın Güvenlik Önlemleri:** Pnömatik sistemlerde aktif yangın güvenlik önlemleri yangın algılama, uyarı ve söndürme elemanlarıdır. Aktif yangın güvenlik önlemleri yangın olayının meydana gelmesi ile başlayan ve söndürmeye kadar olan süreç içerisindeki yangının algılanmasını, kontrol altına alınarak gelişiminin engellenmesini, kullanıcıların güvenli bir alana tahliyesini kapsamaktadır. Yangın algılama ve uyarı sistemleri, duman kontrol sistemleri, yangın engelleme ve söndürme elemanları aktif önlemlerdir. Yangın algılama ve uyarı sistemleri yangının ortaya çıkışındaki duman veya alev algılaması yapan otomatik veya manuel algılama sistemlerini içermektedir. Yapı içerisinde kaçış yollarını gösteren göstergeler uygun konumlara yerleştirilmelidir. Duman kontrol sistemleri ise doğal veya yapay havalandırma elemanları ile duman tahliyesinin gerçekleştirilmesini, kaçış yollarının basınçlandırılmasını kapsamaktadır. Şişme yapının mevcutta kullanılan basınçlandırma sistemi de yangın kontrolü için kullanılabilir bir öneridir.

Yangının meydana gelmesi durumunda insanların buldukları mekandan sağlıklı şekilde güvenli alana ulaştırılmalarındaki kaçış yolu boyunca acil durum aydınlatmaları, yönlendirme ve işaretleme elemanları, yangın algılama sistemleri, sesli ve ışıklı uyarı sistemleri bütüncül olarak planlanması gerekli olan aktif yangın güvenlik önlemleridir. Aynı zamanda söndürme elemanları insanlı veya otomatik olmak üzere iki metotla sağlanabilmektedir (Yavuz, 2002). İnsanlı söndürmeler bina içi ya da dışı (hidrant) hortumlar ve taşınabilir söndürücüler iken otomatik söndürmeler sulu, köpüklü, söndürücü gazlı, kuru kimyasal söndürücü tozlu olabilmektedir. Pnömatik yapıda kullanılan membran malzeme ve basınçlandırma maddesine göre uygun söndürme sistemi seçilmelidir. Taşıyıcı pnömatik yapılarda sprinkler sistem ve çıkışları gösteren ışıklı tabelaların yapı yüzeyine sabitlenememesi nedeniyle zeminde veya yapı içerisinde kurulan ek strüktür üzerinde her bölgeye erişecek şekilde planlanma yapılmalıdır. Aynı zamanda havalandırma ve basınçlandırma sistemleri yangına yönelik pozitif ve negatif basınç alanları oluşturarak duman ile yangın kontrolü sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Aktif sistemlerin elle veya otomatik olarak aktive olması belirli zaman aralıkları ile kontrol edilerek çalışmaması durumundaki riskler de düşürülmelidir. Diğer strüktüre ek olan pnömatiklerde yapı kabuğu yayılımı engellenmesi için belirli aralıklarda yangın algılama, uyarı ve söndürme elemanları ile birlikte inşa edilmelidir. Modüler yastık sistemlerde her birimdeki yangın çıkma durumunun kontrol altında tutulması için duman ve alev dedektörleri, yangın çıkma durumunda ise müdahale edilebilmesi için uygun otomatik söndürme sistemi yapı yüzeyine eklenmelidir. Yangının oluşabileceği durumlara göre yangın senaryoları oluşturularak can ve mal güvenliğinin korunacağı şekilde söndürme önerileri ve kaçışlar, her yapıya özgü şekilde planlanmalıdır.

Pnömatik Sistemlerde Yangın Risklerinin Derecelendirilmesi ve Bulguların Değerlendirmesi

Pnömatik yapılar çeşitli malzeme, tipoloji ve strüktürel sebepleriyle yangın durumunda farklı nitelikler göstermektedir. Yapısal niteliklerine yönelik olarak pnömatik yapılar yangın açısından zayıf ve güçlü yönleri sahiptir. Bu unsurları ortaya koymak, riskleri tanımlamak, risk derecelendirmesini yapmak, yüksek risk derecesine sahip parametrelerin düşürülmesine yönelik önlemleri tanımlamak ve riskin azaltılmasının önüne geçen engelleri tanımlamak amacıyla pnömatik sistemlere yönelik Şekil 5 oluşturulmuştur. Riskler yangın öncesi, yangın durumu ve sonrasında göre ayrılmakta iken pnömatik yapı sistemi türleri tek cidarlı taşıyıcı, çift cidarlı taşıyıcı, iki veya üç katmanlı diğer strüktürelere ek ve yastıklar olarak 4 ana grupta incelenmiştir. Riskler yöntem bölümünde belirtilen şekilde 0 ile 5 arasında derecelendirilerek puanlanmıştır. Aynı zamanda risklere yönelik önlemler eklenmiştir. Risk haritasında belirlenen risklerin derecelendirme yöntemiyle puanlanması sonucunda toplam risk değerlerine ulaşılmıştır. Tek cidarlı taşıyıcı sistemlerde 101, çift cidarlı taşıyıcı sistemlerde 89, iki veya üç katmanlı diğer strüktürelere ek sistemlerde 73, yastık sistemlerde 65 olarak hesaplanmıştır. Böylelikle taşıyıcı olarak kullanılanlar yapı kabuğunda veya cephede kullanılanlara göre daha risklidir; taşıyıcı olarak kullanılanlar içerisinde tek cidarlı olanlar çift cidarlılara göre daha risklidir; yapı kabuğu veya cephede kullanılan pnömatik sistemlerde iki veya üç katmanlı diğer strüktürelere ek olanlar yastıklara göre daha risklidir sonuçlarına ulaşılmıştır.

Yangının kontrol altına alınmasında ilk önlem tutuşmanın önlenmesidir. Yapının fonksiyonu gereği tutuşma kaynaklarının kontrol edilememesi yangını başlatıcı unsurdur. Yapı tipolojisi, katman sayısı veya form gibi sebepler yangının yayılma ve söndürülme süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Bu durum mekan içerisindeki fonksiyonların düzenlenmesi, tutuşma kaynağının uzaklaştırılması veya kontrol edilmesiyle mümkün olacaktır. Ancak membranın alevleri iletilmesiyle yayılma derecesi artabilmektedir. Tek ve çift cidarlı sistemlerde bu riskler 4 yüksek olarak tespit edilmiş olup ancak malzeme seçimi ve kompartmantasyon ile yangın riskleri düşürülebilmektedir. Diğer strüktüre ek yapı kabuğunda bulunan pnömatiklerde ve yastıklarda tutuşma ile yayılma riskleri tüm yapıya oranla daha düşük olduğundan orta risk 3 değerindedir.

Yangınlarda yaşam kayıplarının en büyük nedeni dumandan zehirlenmelerdir. Duman kesintisiz mekanlarda, yatay ve düşey shaftlarda hızlı bir şekilde yayılabilmektedir. Bu durumda insan üzerinde zehirlenme ve ölüm gibi etkilere neden olduğundan yangın riskleri tek cidarlı taşıyıcılarda ve iki-üç katmanlı diğer strüktüre ek olanlarda 5 derecesinde çok yüksek ve çift katmanlı taşıyıcılar ile yastıklarda 4 yüksek olarak belirlenmiştir. Bu fark bölümler ile modüler oluşan tipolojilerde duman iletiminin kesintiye uğramasından kaynaklanmaktadır. Pnömatik sistemler bütüncül bir hacim olarak kullanıldığında dumanın yapı içerisinde ilerlemesi ölümcül risk doğurabilmektedir. Dumanın ilerlemesi duman perdesi veya duman ve alev geçirmeyen kompartman bölmeleriyle engellenebilmektedir. Pnömatik strüktürlerin özelliklerinden dolayı duman perdelerinin membran yüzeye monte edilmesi zordur. Ayrıca yangın anında aktive olan yanmayan şişme duvarlar kompartman geçişlerinde kullanılabilir bir diğer önlemdir.

Yapılarda patlama riski en ölümcül olabilecek tehlikelerdendir. Pnömatik yapılarda ise patlama riski basınçlandırma maddesinden kaynaklanabileceğinden yangına yönelik malzeme seçimi gerektirmektedir.

YANGIN RİSKLERİ	TEHLİKE	PNÖMATİK YAPI SİSTEMİ TÜRLERİ				YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ
		TAŞIYICI		DİĞER STRÜKTÜRE EK		
		TEK CİDARLI	ÇİFT CİDARLI	İKİ VEYA ÜÇ KATMANLI	YASTIK	
TİPOLOJİ						
► TUTUŞMA RİSKLERİ						
• Yapıda kullanılan yapı elemanları veya malzemelerin tutuşma sıcaklığının düşük olması riski	Yangının başlaması	4	4	3	3	Yangına yönelik malzeme seçimi
• Yapıda tutuşma kaynağının kontrol edilememesi riski	Yangının yayılması	4	4	3	3	Kompartmantasyon
► DUMAN YAYILIMI RİSKİ						
• Bütüncül cephe veya mkanlarda duman yayılım riski	Zehirlenme ve ölüm	5	4	5	4	Duman kesici veya duman perdesi
• Yangın sebebiyle oluşan zehirli gaz veya dumanın tahliye edilememesi riski	Zehirlenme ve ölüm	5	4	5	4	Kompartmantasyon, yangın kaçışları, duman kesici veya duman perdesi
► PATLAMA RİSKİ						
• Yapıda kullanılan malzeme veya eşyaların patlama riski	Yıkıcı hasar ve ölüm	5	5	4	4	Yangına yönelik malzeme seçimi
► YANGIN YAYILIMI RİSKİ						
• Kompartmantasyon veya bölme elemanları yapılmaması sebebiyle yangının yayılım riski	Yangının yayılması	4	4	3	3	Yapı içinin kompartmanlara veya cephenin bölümlere ayrılması
• Bütüncül cephe veya mekanlarda yangının hızlı yayılım riski	Yangının yayılması	4	3	3	2	Yangın kesicilerin yerleştirilmesi
• Yapının form ve mkanlarından (bütüncül iç mkan, plan, geometri, yapısal bütünlük vs.) dolayı yangının yayılımını destekleme riski	Yapısal hasar ve ölüm	4	3	3	2	Yangın kesicilerin yerleştirilmesi ve yapının kompartmanlara ayrılması
► ÇÖKME RİSKİ						
• Yapı yüzeyi veya cephesinde oluşan delik veya açıklık sebebiyle yapının hacimsel olarak çökmesi riski	Yıkıcı hasar ve ölüm	5	4	3	2	Yapıya ek bir strüktür eklenmesi, yangına dayanıklı malzemeler seçilmesi
► AKTİF SİSTEMLERİN KULLANIMINDA MONTAJ VE AKTİVASYON RİSKİ						
• Yangın algılama ve söndürme sistemlerinin (yangın durumunda aktive olacak aydınlatmalar, yön gösterici tabelalar, kaçış yollarını gösteren elemanlar, kuru-sulu yağmurlama (sprinkler sistemleri) yapıya entegre edilememesi riski	Yangının otomatik algılanamaması ve hızlı söndürülebilmesi	4	4	3	3	Otomatik veya elle yangın algılama, uyarı ve söndürme sistemlerinin zemine veya ek strüktüre entegrasyonu ile yapının tüm mekanlarında çözülmesi
• Yangın algılama, uyarı ve söndürme sistemlerinin aktive olmaması riski	Yangına müdahale edilememesi	4	4	3	3	Aktif sistemlerin çalışır durumda olması ve rutin araklarla kontrol edilmesi
► YANGIN SONRASI ONARIM VE KULLANIM KAYNAKLI RİSKLER						
• Yapının kullanım esnasında yangına yönelik yeniden düzenlenememesi riski	Yapının yangın riskleri taşıması	3	2	2	1	Tüm sistemin modüler veya bağımsız birimlerden oluşan, bütüncül olmayan tasarımı yeniden düzenlenebilir olması
• Yapının yangın sonrasında yerinde onarılamama riskleri	Ekonomik zarar	3	2	1	1	
► YAPIYA MÜDAHALE VE SÖNDÜRME RİSKİ						
• Yapıya müdahale ve söndürmenin hızlı yapılamaması riski	Yapısal hasar ve ölüm	4	4	3	3	Yangın asansörü veya itfaiye erişimi
• Yapıya müdahale ve söndürme çalışmaları süresince çökme riski	Yıkıcı hasar ve ölüm	5	4	3	2	Yapı malzeme ve strüktürünün yangına belirli bir süre dayanacak şekilde inşası
• Yapının bütüncül kaçış yolları ile tahliye edilememesi riski	Ölüm	5	5	4	4	Bütüncül yangın kaçışlarının yapılması
MALZEME						
► MEMBRAN						
• Membran malzemenin yangını destekleme riski	Yangının yayılması	4	4	3	3	Uygun standartlara göre malzeme seçimi
• Membran malzemenin standartlara göre alev iletme, damlama, düşük yanma sıcaklığı, zehirli gaz-duman salınımı riski	Yangının yayılması zehirlenme, ölüm	5	4	3	3	Alev iletmez, damlamayan, zehirli gaz duman salmayan membran seçimi
• Yangın sonrasında malzemenin yeniden temin edilememesi riski	Onarılamama, yıkım, ekonomik zarar	3	2	1	1	Erişilebilir ve ekonomik membran malzeme seçimi
► BASINÇLANDIRMA MADDESİ						
• Yanıcı gaz olması sebebiyle yangını şiddetlendirme riski	Yangının yayılması	4	4	3	3	Yanıcı ve patlayıcı gazlardan basınçlandırma maddesi seçilmemesi
• Malzemenin yangını destekleme sonucunda patlama riski	Yıkıcı hasar ve ölüm	5	5	4	4	
• Basınçlandırma maddesinin yapı içerisindeki sirkülasyonu sebebiyle yangını artırması riski	Yangının yayılması, alevlerin şiddetlenmesi	4	3	3	2	Basınçlandırma maddesinin kontrolü, negatif-pozitif alanlar oluşturulması
► ANKRAJLAR VE SİSTEM DETAYLARI						
• Malzeme birleşimlerinden duman, alev veya zehirli gazların iletilmesi riski	Zehirlenme ve ölüm	4	4	3	3	Malzeme birleşimleri ile zemin ankrajının sağlam, dayanıklı, belirli süre ayakta kalacak ve yangına uygun şekilde sızdırmaz olarak tasarlanması
• Zemin ankraji sebebiyle yangın esnasında yapının stabilitesinin korunamaması ve zeminden kopması riski	Yapısal hasar ve ölüm	4	3	2	2	
YANGIN RİSKLERİ TOPLAMI		101	89	73	65	

Şekil 5. Pnömatik Sistemlerde Yangın Güvenliğine Yönelik Risk Haritası

Taşıyıcı pnömatik sistemlerde patlama iç mekanda bulunan insan yaşamını doğrudan tehdit ettiğinden 5 yüksek riskli, cephede diğer strüktüre ek olarak kullanılan pnömatik strüktürlerde iç mekana etki edeceğinden 4 risk derecesi olarak tespit edilmiştir.

Yangının yayılması kompartmantasyon yapılmaması ve kesintisiz cephelerin bulunması, form, plan, geometri ve bütüncül mekanlar sebebiyle yangının desteklenmesi risklerini içermektedir. Taşıyıcı olan pnömatik sistemlerde bütüncül iç mekanda yangının yayılması tek cidarlı strüktürlerde 4 risk derecesinde belirlenmiştir. Çift cidarlılarda ise strüktürel stabilitenin 2 katmandan dolayı daha uzun süre olabilesinden kaynaklanan avantaja ek olarak kompartmantasyon yapılmaması 4, bütüncül mekan ve yapı formundan kaynaklanan riskler 3 olarak derecelendirilmiştir. Diğer taşıyıcı sistemlere ek olarak kullanılan pnömatiklerde ise bölümlenmemiş cephe sebebiyle iki veya üç katmanlılar 3 risk derecesinde tespit edilmiş iken yastık olan türler kendi içerisinde kapalı modüllerden oluşması sebebiyle 2 olarak daha düşük risk seviyesinde belirlenmiştir. Yapı içerisinde kompartman bölgeleri oluşturulması, yangın kesicilerin yerleştirilmesi veya yangın kesici elemanlarla yangının ilerleyişi engellenebilmektedir. Aynı zamanda yangının hızlı yayılmasından kaynaklı çökme insanın bulunduğu mekanda gerçekleşme olasılığı sebebiyle taşıyıcı pnömatiklerde tek cidarlılarda 5 çok yüksek riskli, çift cidarlılarda 4 yüksek riskli olarak tanımlanmıştır. Diğer strüktürelere ek pnömatiklerde ise çökme durumu taşıyıcı olanlardaki gibi insan yaşamını doğrudan tehdit etmediğinden iki veya üç katmanlılarda 3 orta, yastıklarda modülerlikten dolayı 2 düşük riskte olduğu tespit edilmiştir.

Pnömatik yapı yüzeylerinde membran katmanların kullanılmasından dolayı aktif sistemlerin kullanımında montaj riskleri görülmektedir. Taşıyıcı pnömatiklerde aktif sistemlerin kullanımında montaj ve aktivasyon riskleri yüksek riskli 4 olarak belirlenir iken diğer strüktüre ek pnömatiklerde ve yastıklarda 3 orta risk derecesinde belirlenmiştir. Yapı yüzeylerindeki membran katmanın delinmesi sistemin taşıyıcı niteliğini yitirmesine sebep olabileceğinden bu sistemlerde otomatik veya elle yangın algılama, uyarı ve söndürme elemanları zemine veya ek bir strüktüre entegre edilerek çözümlenmelidir. Bu sistemlerin aktive olmaması riski ise yangının algılanmaması, uyarı ve söndürmede yangına müdahale edilememesi risklerini içermektedir.

Yangına yönelik mevcut yapıların yeniden düzenlenebilmesi de yapıdaki risklerin önüne geçebilmektedir. Tek cidarlı taşıyıcı pnömatikler bir katman membran yüzeyden oluşması sebebiyle yerinde onarılamamaktadır. Ancak bu durumun doğrudan ölümcül bir tehlike içermemesi ve yerinde onarıma durumunun zorluğu nedeniyle 3 orta riskli olarak belirlenmiştir. Çift cidarlılar ve iki veya üç katmanlı cephede kullanılan pnömatikler ise katman sayısının birden çok olması sebebiyle aynı riskler görüldüğünden ortak olarak 2 ve yastıklar 1 ile düşük risk derecelendirilmesi verilmiştir. Taşıyıcı pnömatikler yerinde onarılır iken bütüncül mekan olması durumundan tek cidarlılar 3, çift cidarlılar 2; diğer strüktüre ek pnömatikler ise kolaylıkla yerinde onarılabildiğinden düşük riskli 1 olarak belirlenmiştir. Yastıklar ise modüler kapalı birimlerden oluştuğundan kolaylıkla birim onarımı ve yeniden düzenlenme yapılabilmektedir. Yerinde onarılabilmek ve yeniden düzenlenebilme durumu ekonomik açıdan da yangın sonrası yüksek zararların önüne geçebilmektedir.

Yapıda çıkan yangına müdahale ve söndürme yapılırken hızlı yapılamaması, söndürme çalışmaları süresince yapının çökmesi ve yapıya bütüncül kaçış yolları yapılmaması sebebiyle tahliye edilememesi ölümcül tehditler içeren büyük tehlikelerdir. Yapıya

müdahale ve söndürmenin hızlı yapılamaması yapısal hasar ve ölüme sebep olabilmektedir. Taşıyıcı pnömatiklerde bu risk yüksek olduğundan 4, diğer strüktüre ek pnömatiklerde ise 3 olarak derecelendirilmiştir. Yapıya yangın asansörünün inşa edilmesi veya itfaiye erişiminin çözümlenmesi ile bu tehlikeler önlenmektedir. Yapının yangına müdahale edilirken belirli bir süre strüktürel stabilitesini koruması gerekmektedir. Taşıyıcı tek cidarlılarda bir membran katmanı bulunması ve delinmesi durumunda doğrudan sistemin insanın bulunduğu mekan üzerine çökmesi nedeniyle çok yüksek 5 risk derecesi tanımlanmıştır. Çift cidarlılarda iki membran katmanı olması nedeniyle çökme süresi daha uzun olacağından 4 yüksek riskli olarak belirlenmiştir. Diğer strüktüre ek olanlar ana taşıyıcı olmadığından yıkıcı hasar veya ölüm açısından iki veya üç katmanlıların orta 3, yastıkların ise düşük 2 riskinde olduğu belirlenmiştir. Yapıda yangın kaçış yollarının her mekana hizmet edecek ve bütüncül olarak güvenli dış alana ulaşacak şekilde inşa edilmemesi ise ölümcül tehlike içermektedir. Bu sebeple taşıyıcı olanlarda çok yüksek riskli 5, diğerlerinde ise ana taşıyıcı sistem olmamaları nedeniyle yüksek riskli 4 olarak belirlenmiştir.

Malzeme nitelikleri pnömatik strüktürlerin yangın güvenliği konularını doğrudan etkilemektedir. Pnömatik sistemler membran, basınçlandırma maddesi ve bunların birleşim detaylarından oluşmaktadır. Membran malzemenin seçimi yangının desteklenmesi riskinden dolayı yangının yayılması tehlikesini içermektedir. Taşıyıcı strüktürlerde yangının yayılması doğrudan insanın bulunduğu mekanı etkileyeceğinden yüksek riskli 4, diğerlerinde ise yapı kabuğunda olması sebebiyle orta 3 risk derecelendirilmesinde tanımlanmıştır. Membran malzemenin standartlara göre alev iletme, damlama, düşük yanma sıcaklığı, zehirli gaz-duman salınımı riskleri yangının yayılması, zehirlenme ve ölüm gibi tehlikeleri doğurmaktadır. Bu sebeple tek cidarlı taşıyıcı pnömatik strüktürlerde doğrudan taşıyıcılık ve insan yaşamını etkilediğinden 5 çok yüksek riskli olarak tespit edilmiştir. Çift cidarlı taşıyıcılarda ise iki katman olması sebebiyle çökme ve yayılma daha uzun bir süre olarak, bu süre içerisinde tahliyenin gerçekleştirilebilme imkanı olduğundan yüksek risk derecesi 4 olarak belirlenmiştir. Diğer strüktüre ek pnömatiklerde yapı kabuğunda bulunan membran yüzeylerin doğrudan taşıyıcı olmaması sebebiyle riskler orta 3 ile derecelendirilmiştir. Yangın sonrasında ise malzemenin temin edilememesi riski onarılamama, yıkım ve ekonomik zararlara yol açabilmektedir. Ancak bu riskler ölümcül olmaması sebebiyle düşük risk gruplarında tanımlanmıştır. Tek cidarlı taşıyıcılar bir katman membran olması ve sistemin bütünlüğünü sürdürememesi sebebiyle yerinde onarılamadığından orta 3, çift cidarlılar ise tek cidarlılara göre yerinde daha kolay bir şekilde onarılabildiğinden düşük 2 ile derecelendirilmiştir. Diğer strüktüre ek olan pnömatikler ise yerinde kolaylıkla birimler halinde onarılabildiğinden çok düşük 1 risk derecesinde olduğuna ulaşılmıştır. Standartlara göre uygun, alev iletmez, damlamayan, zehirli gaz ve duman salınımı yapmayan, erişilebilir ve ekonomik membran malzeme seçimi ile malzemeden kaynaklanan yangın risklerinin önüne geçebilmektedir.

Basınçlandırma maddesinin seçimi pnömatik strüktürlerin yangın güvenliğini doğrudan etkilemektedir. Yanıcı bir gaz seçilmesi yapıda ortaya çıkabilecek bir tutuşma sonrasında yangının şiddetlenmesi ve hatta patlama ile sonuçlanabilmektedir. Yangının yayılması riski taşıyıcı pnömatiklerde yayılımın bütüncül mekanda kontrol edilememesi nedeniyle yüksek 4 diğerlerinde ise 3 orta olarak belirlenmiştir. Yapıda patlama riski ise yıkıcı hasar ve ölüme yol açabilen yüksek tehlikeye sahiptir. Taşıyıcı pnömatiklerde doğrudan yapıda insanın bulunduğu mekanı etkilediğinden çok yüksek 5, diğer

strüktüre ek olan pnömatiklerde ise yüksek 4 risk derecelendirmesinde yapılmıştır. Yanıcı veya patlayıcı gazların basınçlandırma maddesi olarak seçilmemesi, uygun standartlara göre belirlenmesi ile olası risklerin önüne geçilebilmektedir. Aynı zamanda basınçlandırma maddesinin yapı içerisindeki sirkülasyonu yangının yayılması ve alevlerin şiddetlenmesine yol açabilmektedir. Tek cidarlı pnömatiklerde doğrudan iç mekan basınçlandırılmaktadır ve bu mekanda yalnızca hava kullanılabilir. Ancak hava yanıcı ve yangını destekleyebilir nitelikte bir gaz bileşimidir. Bu sebeple tek cidarlılarda bu risk 4 olarak tanımlanmıştır. Çift cidarlı taşıyıcılar ve iki veya üç katmanlı diğer strüktüre ek pnömatiklerde ise membran katmanların arası basınçlandırıldığından seçilen basınçlandırma maddesi sirkülasyonu sınırlı kapalı alanda gerçekleşmektedir. Bu sebeple orta risk olarak 3 ile derecelendirilmiştir. Yastıklarda ise kapalı modüller içerisinde basınçlandırma maddesi sirkülasyonu gerçekleştiğinden düşük 2 riski verilmiştir. Bu risklerin düşürülmesinde veya engellenmesinde ise yapı içerisinde dolaşan gazın basınç kontrolü ve negatif-pozitif basınç alanlar oluşturulması önerilmektedir.

Birleşim detayları, taşıyıcılık ve sızdırma açısından riskler içermektedir. Taşıyıcı pnömatiklerin yangın sırasında bütünlüğünü koruyamaması çökme riskini de doğurmaktadır. Malzeme birleşimlerinden duman, alev veya zehirli gazların iletilmesi riski zehirlenme ve ölüm tehlikesini içermektedir. Taşıyıcı pnömatikler doğrudan membran malzeme ve basınçlandırma maddesinin birbiri ile birleşimi sayesinde taşıyıcı hale geldiği ve insanın bulunduğu mekanı etkileyebileceği duman, alev ve zehirli gaz iletiminden kaynaklanan tehlikeleri barındırması sebebiyle yüksek 4, diğer strüktürlere ek olan pnömatiklerde bu risklerin daha düşük olması nedeniyle ise orta 3 risk derecesi verilmiştir. Zemin ankrajları taşıyıcı pnömatik strüktürlerde yangın durumunda yapının zeminden kopması sebebiyle yapısal hasar ve ölüme neden olabilmektedir. Tek cidarlı taşıyıcı sistemler zemin ile ankraj sayesinde kapalı bir strüktür haline geldiğinden zeminden kopma durumunda doğrudan çökebilmektedir. Bu sebeple 4 yüksek riskte olduğu belirlenmiştir. Ancak çift cidarlı taşıyıcı pnömatikler kapalı iki katman arasında çalışarak zemine sadece sabitleme ile çözümlenmeleri sebebiyle daha düşük tehlike gösterdiğinden orta 3 riski ile derecelendirilmiştir. Diğer strüktürlere ek olan pnömatik sistemlerde strüktürden kopma durumunda kapalı birimlerden oluşmaları ve ana taşıyıcı olmamaları sebebiyle düşük 2 riski tanımlanmıştır. Malzeme birleşimleri ile zemin ankrajının sağlam, dayanıklı, belirli bir süre ayakta kalacak ve yangına uygun şekilde sızdırmaz olarak tasarlanması alınabilecek önlemlerdir.

Şişirilebilir yapılar yeterli gerilme kuvvetleri etkisinde dış yüklere dayanıklı olacak şekilde kumaşlardan meydana gelmektedir. Yapısal kumaşlar yangın güvenliği amacıyla kaplanmaktadır. Pnömatik yapılar tasarlanırken ve dijital olarak üretilirken güçlü malzemeler veya destekler ile birlikte geliştirilerek çökme mekanizmaları, doğal afetler, estetik ve yangından korunma durumları dikkate alınmalıdır (luorio & Matharou, 2019). Tünelde güvenliğin sağlanması için pnömatik strüktürlü şişirilebilir yapılar kullanılabilir. Böylelikle yangın güvenliği açısından tünel içerisindeki oksijen mevcudiyeti engellenerek hava akışı kısıtlanmaktadır veya su baskınları ile sel durumlarında akış engellenebilmektedir (Ghosh, 2012). Hava destekli pnömatik sistemli membran yapıların örneği olan kömür depolama amacıyla kullanılan bir yapı üzerinde yangın simülasyonu yapılarak yangın durumundaki yapısal kararlılık, sıcaklık alanları, duman yayılımı ve ısı akışı radyasyonu analiz edilmiştir (Chai vd., 2019). Pnömatik sistemde cephe örneklerini de barındıran adaptif cepheler yapısal açıdan güvenli, hizmet verebilen, dayanıklı, sağlam olmalı ve yangın güvenliği açısından

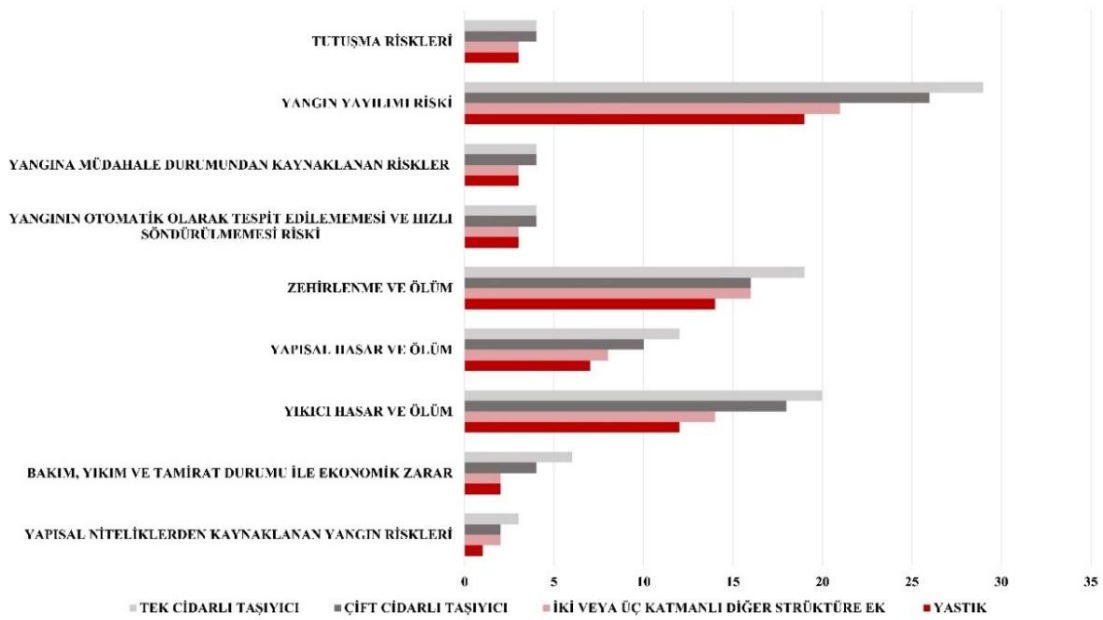
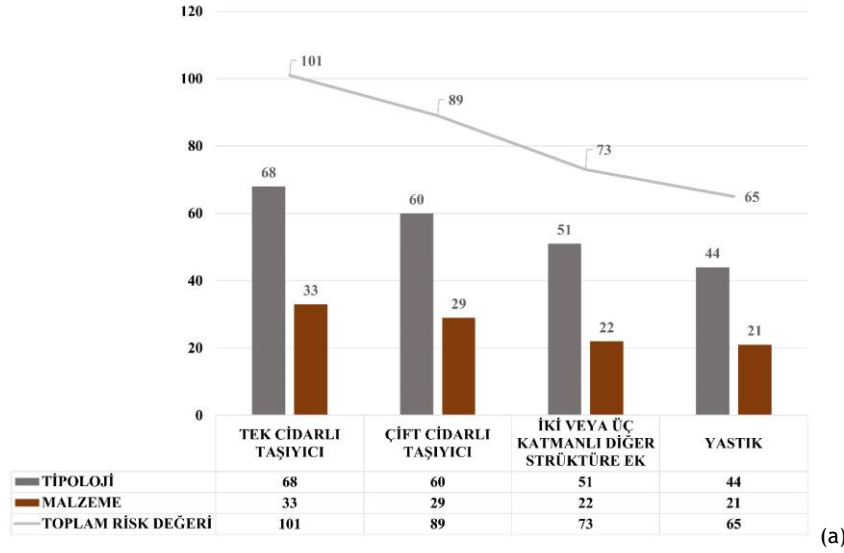
gerekli koşulları sağlamalıdır (Bedon vd., 2019). Yapı cephesinin tamamının pnömatik yastıklar ile kaplı olduğu "Münich Allianz Arena Stadium" örneğinde görüldüğü üzere yapı kabuğunun her yerine kurulan yaklaşık 20 000 adet sprinkler ve dört merkezi sprinkler noktası ile yapı yangın açısından koruma altına alınmıştır. İki sprinkler pompası ile düzenlenen su temini ana şebekeden yangın ile mücadele için su sağlayabilmektedir. Su sistemine su sağlayan iki su tankı mevcuttur. Su temin borularındaki su basıncının düşmesi durumunda ölçüm istasyonları alarm vererek durum dört yangın alarm merkezine iletilmektedir (Url 6). Hava destekli şişirilebilen yastık sistemli cephelerde kullanılan ETFE membran malzeme ile oluşturulan yastıklar, yüksek yangın güvenliği performansı gösterebilmektedir. Yastık strüktür, alevlerin yayılmasını önleyerek ve yapının içinde yangın çıkması durumunda yapının çökmesini geciktirerek can güvenliği sağlayabilecek nitelikte tasarlanabilmektedir. Yüksek tavanlı olarak tasarlanan mekanlarda veya alevlerin yastık yapısına ulaşmadığı durumlarda, sensörler yangını algılayarak acil durumlarda havalandırma pencerelerini açabilir olarak tasarlanabilmektedir. Ancak ETFE yüzeylerin yangın koşulları altında zehirli duman salması risklidir (Candemir, 2003). Yukarıda aktarılan kaynaklarda görüldüğü üzere pnömatik sistemler ve yangın konuları hakkında çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmanın özgün tarafı ise pnömatik yapılar hakkında taşıyıcı ve diğer strüktüre ek olmak üzere katmanlaşma açısından farklılaşan bir sınıflandırma kullanılarak bu yapı gruplarına özgü yangın risklerin tanımlanması, risk haritası yöntemi kullanılarak derecelendirilmesi, analiz edilerek değerlendirilmesi ve yangın güvenlik önlemlerinin önerilmesidir. Bu sayede pnömatik yapı sistemleri için kapsayıcı ve bütüncül bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Tartışma

Pnömatik strüktürlerde yangın riskleri hakkında belirlenen parametreler tipoloji ve malzeme olmak üzere iki ana grupta incelenmiştir. Tipolojiden kaynaklanan parametreler tutuşma, duman yayılımı, patlama, yangın yayılımı, çökme, aktif sistemlerin kullanımında montaj ve aktivasyon riski, yangın sonrası onarım ve kullanım kaynaklı riskler, yapıya müdahale ve söndürme riskleri; malzemeden kaynaklı parametreler ise membran, basınçlandırma maddesi ile birleşim detaylarından kaynaklanan riskler olarak tanımlanmıştır. Taşıyıcı olarak kullanılanlarda tek cidarlıların yapının yıkılması, zehirlenme ve ölüm açısından çift cidarlılara göre daha yüksek risk barındırdığı tespit edilmiştir. Bunun nedenleri bütüncül iç mekan, tek katmanlı membran yüzey, insanın bulunduğu iç mekânın basınçlandırılması, yerinde onarılamaması ve zeminden kopmaya yönelik olmasıdır. Çift cidarlı strüktürler kapalı bir sistem halinde işleyebildiğinden yangının yayılımı azalırken yangın sonrası yerinde onarım daha kolaydır. Diğer strüktüre ek sistemlerde ana taşıyıcı olmamaları nedeniyle yangın kabuğunun yıkılma riski doğrudan can kaybına yol açmamakta ve sadece yangının yayılmasında etkili olmaktadır. Yastık sistemlerin diğer strüktüre ek iki veya üç katmanlı sistemlere göre birimler halinde ayrı ayrı çözümlenmesi sayesinde yangın yayılımı açısından daha düşük riske sahip olduğu belirlenmiştir. Tüm şişme yapılarında ise membran malzeme, basınçlandırma maddesi, birleşim detayları ve aktif sistemlerin yapıya entegrasyonu hususunda ortak sorunlar mevcuttur. Ancak bunların entegre edilememesinden dolayı oluşabilecek tehlikenin derecesi taşıyıcı olanlarda daha fazladır. Aşağıda Şekil 6.a'da yapı tipolojisi ve malzemeye göre pnömatik yapı türlerinin toplam riskleri gösterilmiştir. Şekil 6.b'de yangın risklerinden kaynaklanan tehlikeler yapı türüne göre gösterilmiştir. Yangının başlaması, yangının yayılması, yangının

otomatik algılanamaması ve hızlı söndürülememesi, yangına müdahale edilememesi, zehirlenme ve ölüm, yapısal hasar ve ölüm, yıkıcı hasar ve ölüm, onarılmama-yıkım, yapının yangın

riskleri taşıması ve ekonomik zarar olarak belirlenerek risklerin pnömatik yapı tipolojilerine göre değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.a. Pnömatik Strüktürlerde Tipoloji ve Malzemeye Göre Yangın Risklerini Gösteren Grafik b. Yangın Risklerinden Kaynaklanan Tehlikeleri Yapı Türüne Göre Gösteren Grafik

Pnömatik strüktürlerin ana taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı tek cidarlılar ile çift cidarlılar genellikle geçici ve gezici işlevlerde, sürekli kullanıma sunulmayan veya insanların belirli sürelerde kullandığı şekilde uygulandıklarından dolayı yangın önlemleri alınmamış halde olabilmektedir. Bu durumun aksine taşıyıcı pnömatik yapılarda kullanım yoğunluğunun fazla olması sebebiyle yangın güvenlik önlemlerinin alınması beklenmektedir.

Yapı elemanı olarak yapı kabuğu, çatı veya cephelerde kullanılan pnömatik strüktürler içerisinde ise yastıklar yaygın olarak kullanılmaktadır. Modüler olması ve her modülün çeşitli mekanik cihazlarla kontrol edilebilir şekilde tasarlanması nedeniyle tüm yapı sistemsel olarak kontrol altındadır. Her modüle kendi içerisinde basınç ve ısı kontrol elemanları, yangın algılama ve söndürme sistemleri entegre edilebilmekte ve denetlenebilmektedir. Yangın anında şişme yapının strüktürel

stabilitesini korumaması, taşıyıcı olan yapılarda yıkım ile can kaybına neden olabileceğinden daha önemli risk iken (tek cidarlılarda daha büyük risk oluşturmaktadır) cephede kullanımda insanın bulunduğu mekana çökme riskinin olmaması ve yapısal hasara sebep olabileceğinden daha düşük bir risk unsurudur. Tek veya çift cidarlı taşıyıcılarda yıkılma veya çökme riskinin membran ve basınçlandırma maddesinin seçimi, ek bir destek strüktür tasarımı ve zemine ankrajların sağlam yapılması ile düşürülebileceği tespit edilmiştir. Diğer strüktüre ek olarak kullanılan pnömatik sistemlerde ise ana taşıyıcı sistemin yangına dayanıklı olması ve yıkılma riski içermemesi gerekmektedir. Çünkü pnömatik sistem ana taşıyıcı değildir ancak yangın yayılımındaki riskleri düşürülmelidir. Bu sebeple yapı kabuğunda kullanılan şişme sistemlerde yangın-duman kesiciler ve bölme elemanları ile yangının yayılım risklerinin düşürülebileceği

belirlenmiştir. Bu bağlamda pnömatik sistemler kendisine özgü yapısal niteliklerine göre yangın uyarı, algılama ve söndürme stratejileri ile yangın senaryoları geliştirilerek uygulanmalıdır. Böylelikle yangın anında hızlı müdahale ile can ve mal kaybı en aza indirgenebilecektir.

Pnömatik sistemlerde yangın güvenliği hakkında bir düzenleme önerilmesi durumunda bu sistemlerin yapıda taşıyıcı veya diğer strüktüre ek olarak hangi türde kullanılacağına seçilmesi ilk aşama olmalıdır. Sonrasında yapıya özgü riskler tanımlanmalıdır. Bu risklerin yapısal hasar veya can kaybı durumu derecelendirilmelidir. Böylelikle risklerin olumsuz etkileri analiz edilebilecektir. Riskler tanımlandıktan sonra her yapının niteliğine özgü olarak pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri yangının gerçekleşme aşamaları olan yangının tutuşma ile çıkması, yangının yayılması, algılanması, önlenmesi ve söndürülmesi aşamalarına göre önerilmelidir. Tutuşma için olası riskler, membran malzemenin yangın durumundaki etkisi, basınçlandırma sebebiyle hava sirkülasyonunun yapıda bulunması gibi tehlikeler ortak olmasına rağmen bu çalışma kapsamında önerilen sınıflandırmaya göre taşıyıcı ve diğer strüktüre ek pnömatikler için ayrı öneriler getirilerek farklı çözümler sunulmalıdır. Taşıyıcı olarak kullanılan pnömatik yapılarda bütüncül iç hacim sebebiyle duman ve alevlerin yayılmasının engellenmesi için kompartman yapılması, alev ve duman kesiciler eklenmesi, yangın kaçışlarının yapıda kullanıcı sayısına ve alana göre planlanması, aktif sistemlerin çözümlenmesi gerekmektedir. Tek cidarlı strüktürlerde özellikle mekan içerisindeki basınçlandırma sebebiyle oluşan hava akımının yangını desteklemesi veya yayılmasının artması riskine karşı yapıda pozitif ve negatif basınç alanları oluşturulmalıdır. Taşıyıcı olan pnömatik sistemlerde kaçışlar ve yapı yüzeyine aktif sistemlerin entegrasyonu yapıya özgü sistem detayları ile çözümlenmelidir. Yapının her noktasını kapsayacak şekilde yangın söndürme sistemleri düzenlenmelidir. Yapıda insanın bulunduğu mekanın üzerinin doğrudan membran bir yüzey ile geçilmesi sebebiyle membran malzemenin tutuşma ve yanma sıcaklığının yüksek olması, alev iletilmemesi, zehirli gaz veya duman salınımı yapmaması, akma ve damlama yapmayacak şekilde seçilmesi can güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Diğer strüktüre ek olan pnömatik sistemlerde modüler birimlerin her birinde yangının algılanacağı ve söndürülebileceği sistemler, yapı yüzeyinde yangının iletilmemesi için yangın kesiciler, duman iletilmemesi için duman kesiciler ile önlemler alınarak risklerin önüne geçilmelidir. Bu sayede yangının tutuşma ile başlamasını tetikleyecek olan risklerin belirlenmesi, yangının yayılması, duman veya alevlerin iletilmesi, yangının algılanması, müdahale edilmesi ve yangının söndürülmesi aşamalarında alınması gereken yangın güvenlik önlemlerinin yapıya özgü olarak belirlenmesi sağlanacaktır. Böylelikle tüm pnömatik yapı sistemleri için yangın güvenliğinin sağlanabileceği bütüncül bir düzenleme geliştirilebilecektir. Sonuç olarak diğer strüktüre ek olan pnömatik sistemler taşıyıcı olanlara göre yangın güvenliği açısından bütüncül bir yapı yerine modüler bir sistem olmaları sebebiyle yangının yayılması, duman ve alevin iletilmesi, strüktürel stabilite ve yangına müdahale durumunda daha az risklidir. Ancak görüldüğü üzere pnömatik sistemlerin yapısal niteliklerine göre olası riskler ve önlemler farklılaşmaktadır. Yapı içerisinde her noktadan erişilebilen ve yapı dışına bütüncül bir şekilde ulaşan yangın kaçış yolları, yangın standartlarına göre seçilen malzemeler, yapı işlevi ve kullanıcı sayısına göre yapı formu gibi pasif önlemler ile yangın uyarı, algılama ve söndürme sistemleri gibi aktif önlemler pnömatik yapının tasarım aşamasından kullanım aşamasına kadar planlanmalıdır.

Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak pnömatik sistemler, mimaride yenilikçi ve esnek çözümler sunmalarına rağmen yangın güvenliği açısından çeşitli risklere sahiptir. Pnömatik strüktürlerin yangın güvenliği ile ilgili eksikliklerinin araştırıldığı bu çalışma ile yangın risklerinin tanımlanması ve risk haritası yöntemiyle değerlendirilmesi gibi metodolojik bir yaklaşım izlenmiştir. Bu yöntem ile birbirinden farklılaşan pnömatik yapı türleri için olası riskler, dereceleri ve yapı üzerindeki hasar veya can kaybına neden olması durumu ayrı ayrı analiz edilebilmiştir. Tek cidarlı taşıyıcı, çift cidarlı taşıyıcı, iki veya üç katmanlı diğer strüktüre ek ve yastık olarak sınıflandırılan pnömatik sistemler için tutuşma riskleri, yangın yayılım riski, yangına müdahale durumundan kaynaklanan riskler, yangının otomatik olarak tespit edilememesi ve hızlı söndürülebilmesi riski, zehirlenme ve ölüm, yapısal hasar ve ölüm, yıkıcı hasar ve ölüm, bakım-yıkım ve tamirat durumu ile ekonomik zarar, yapısal niteliklerden kaynaklanan yangın riskleri; tipoloji ve malzeme olarak belirlenen parametreler bağlamında her yapı gurubunun avantajlı ve dezavantajlı olduğu yönlerin ortaya konmasını sağlamıştır. Böylelikle bu yöntem ile sonuçlar üzerindeki yangının tutuşma ile başlaması, yayılması, algılanması, müdahale ve sönmeye sürecinde her yapıya özgü olası riskler ve etkiler değerlendirilebilmiştir.

Pnömatik sistemler mimaride çeşitli işlevlerde uygulanabilen yenilikçi strüktürlerdir. Pnömatik strüktürler; membran malzeme kullanılması, genellikle hava olmak üzere bir gaz madde ile basınçlandırılmaları ve yapılarda hava-gaz sirkülasyonunun olması gibi nedenlerden dolayı yangın açısından riskli olarak değerlendirilmektedir. Ancak pnömatik strüktürlerde yangın riskleri tanımlanarak uygun malzeme seçimi ve önlemler ile tüm risklerin önüne geçilebilmektedir. Tipoloji, katman sayısı, yapıda kullanım yeri, işlev ve malzeme seçimleri gibi nitelikleri sebebiyle farklı özellikler göstermesi, her yapıya özgü yangın risklerinin tanımlanmasını ve bu risklere yönelik önlemlerin alınmasını gerektirmektedir. Bu sebeple çalışma kapsamında belirlenen 4 tip pnömatik yapı türü için öncelikle yangın riskleri tanımlanarak daha sonrasında derecelendirilmiştir. Risk haritası yöntemiyle taşıyıcı şişme sistemlerde tek cidarlıların çift cidarlılara, diğer strüktürlere ek olan şişme sistemlerde iki veya üç katmanlıların yastık sistemlere göre daha riskli olduğunu ulaşılmıştır. Bu durum taşıyıcı olanlarda yangın durumunun doğrudan kullanıcı üzerinde etkili olması ve yapı kabuğunda kullanılanların modüler birimlerden oluşmasından kaynaklanmaktadır. Tüm pnömatik yapılarda kullanılan membran malzeme, basınçlandırma maddesi ve birleşim detayları ortak riskler barındırmaktadır. Ancak yapısal nitelikleri sebebiyle yangın risk etkisi farklılaşmaktadır. Bu sebeple pnömatik sistemlerde yangın risklerinin tanımlanması gerekliliği çalışma kapsamında da incelenen ana husus olarak büyük önem taşımaktadır.

Pnömatik strüktürler yoğun kullanıcı barındıran mekânlarda taşıyıcı veya yapı kabuğu elemanı olarak kullanıldıklarından yapıya özgü yangın güvenlik önlemleri alınmalıdır. Pnömatik sistemler hakkında yangın risklerinin tanımlandığı, risklerin düşürülmesine yönelik pasif ve aktif yangın güvenlik önlemlerinin önerildiği ve yapıya özgü sistemlerin geliştirildiği bütüncül bir planlama ile bu yapıların mimaride kullanımında yangın risklerine yönelik can ve mal kaybının en aza indirgenebileceği öngörülmektedir. Teknolojideki ilerlemeler ile birlikte membran malzemeler yangına yönelik iyileştirilmiş niteliklere sahip olabilmektedir. Bu bağlamda pnömatik sistemler membran malzeme, basınçlandırma maddesi, birleşim detayları, yangın riskleri, pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri bağlamında bütüncül olarak tasarlanmalıdır. Yoğun kullanıma ve yangın

açısından çeşitli risklere sahip olabilecek bu sistemlerde yapıya özgü risklere yönelik yangın güvenlik önlemlerinin geliştirilmesi ve güvence altına alınması önem taşımaktadır. Bu makale çalışması ile hem akademik hem de uygulama açısından bilim insanları ve inşaat sektörü profesyonelleri; pnömatis sistemli yapılar hakkında olası yangın riskleri, bu risklerin yapıda oluşturabileceği can kaybı veya yapısal hasarlar, risklerin dereceleri ve bu risklere yönelik olarak alınması gerekli olan pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri hakkında bilgi sahibi olabilecektir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir - Y.B., Z.Ş.; Tasarım - Y.B., Z.Ş.; Denetleme - Y.B., Z.Ş.; Kaynaklar - Y.B., Z.Ş.; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi - Y.B., Z.Ş.; Analiz ve/ veya Yorum - Y.B., Z.Ş.; Literatür Taraması - Y.B., Z.Ş.; Yazıyı Yazan - Y.B., Z.Ş.; Eleştirel İnceleme - Y.B., Z.Ş.

Etik Kurul Onay Belgesi: Yazarlar, etik kurul onay belgesine gerek olmadığını beyan etmiştir.

Çıkar Çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazarlar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept - Y.B., Z.Ş.; Design - Y.B., Z.Ş.; Supervision - Y.B., Z.Ş.; Resources - Y.B., Z.Ş.; Data Collection and/or Processing - Y.B., Z.Ş.; Analysis and/or Interpretation - Y.B., Z.Ş.; Literature Search - Y.B., Z.Ş.; Writing Manuscript - Y.B., Z.Ş.; Critical Review - Y.B., Z.Ş..

Ethics Committee Approval Certificate: The authors declared that an ethics committee approval certificate is not required.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

Kaynaklar

ASTM F2374-22, Standard Practice for Design, Manufacture, Operation, and Maintenance of Inflatable Amusement Devices, <https://www.astm.org/f2374-22.html> (erişim tarihi: 13.01.2025)

Bal, Y., & Arpacıoğlu, Ü. (2023). Model Proposal for the Use of Pneumatic (Inflatable) Structures in the Case of Earthquake Disaster. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 8(Special Issue), 241-258. <https://doi.org/10.30785/mbud.1334419>

Bedon, C., Honfi, D., Machalická, K. V., Eliášová, M., Vokáč, M., Kozłowski, M., Wüest, T., Santos, F. & Portal, N. W. (2019). Structural characterisation of adaptive facades in Europe - Part I: Insight on classification rules, performance metrics and design methods. *Journal of Building Engineering*, vol. 25, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.02.013>

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete, 19.12.2007, Sayı: 26735, Ankara.

British Standart - BS 476 Fire Tests, <https://www.firesafe.org.uk/british-standard-476-fire-tests/> (erişim tarihi: 13.01.2025)

Candemir, K. U. (2003). Inflatable Pillow System as a Glass Substitute In Terms of Building Envelope. *Master of Architecture*, İzmir Institute of Technology, İzmir.

Chai, G., Zhu, G., Zhou, J., Wang, Z., Gao, S. & Gao, Y. (2019). Fire Risk Analysis of Air-supported Membrane Structure Coal Storage Shed. *2019 9th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering (ICFSFPE)*, Chengdu, China, 2019, pp. 1-9,

<https://doi.org/10.1109/ICFSFPE48751.2019.9055817>

Chitty, R. & Mitchell, J. F. (2003). *Fire Safety Engineering A Reference Guide*. Building Research Establishment, London.

Darlington Borough Council (2016). Darlington Public Event Safety Advisory Group A12 - Temporary Structures and Inflatables. BP/DC April 2016. https://www.darlington.gov.uk/media/3471/a12_temporary_structures.pdf ve <https://www.darlington.gov.uk/> (erişim tarihi: 17.11.2024)

DIN (Deutsches Institut für Normung), <https://www.din.de/en/about-standards/din-standards> (erişim tarihi: 13.01.2025)

Durukan, M. (1995). Yanma Gaz Analizleri ve Doğalgaz Uygulamalarındaki Önemi. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Ocak-Şubat, Sayı 18, https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/7af4fb322bb5c89_ek.pdf (erişim tarihi: 11.12.2024)

Egan, M. D. (1978). *Concepts in Building Firesafety*. Jhon Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

EN (European Standard), <https://www.cencenelec.eu/european-standardization/european-standards/> (erişim tarihi: 13.01.2025)

Eugene, M. (1997). *Chemistry of Hazardous Materials*. Lewis University, New Jersey.

Ghosh, S. (2012). Evaluation of Reduced-Scale Confined Inflatable Structure for Tunnel Safety. *Graduate Theses*, West Virginia University. Dissertations, and Problem Reports, 4858. <https://researchrepository.wvu.edu/etd/4858>

Iuorio, O. & Matharou, H. S. (2019). Inflatable Structures and Digital Fabrication. *Proceedings of the Fourth International Conference on Structures and Architecture (ICSA 2019)*. ICSA 2019, 24-26 Jul 2019, Lisbon, Portugal. (Edited by Paulo J.S. Cruz, 2019, Structures and Architecture - Bridging the Gap and Crossing Borders, CRC Press, London), ISBN 9781315229126, <https://doi.org/10.1201/9781315229126>

Jamil, R. (2005). Study and Adaptability of Pneumatic Structures. *Civil Engineering*, Advisor: Zahid Tauqeer, vol 13. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25855.61608>

Kar, H. , Temel Kimya Dersi-5, Mustafa Kemal Üniversitesi, Atatürk Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Ders Notları. Url 5 - <https://www.mku.edu.tr/files/1062-894b9c00-614f-46a3-834d-016668942fd.pdf> (erişim tarihi: 10.12.2024)

Karaman, S. (2019). The Energy Performance Evaluation Of ETFE (Ethylene Tetrafluoroethylene) Cusion Systems Integrated On The South Façade Of A Hypothetical Test Room And Comparison Of It With Glass Façade Systems. *Master Thesis*, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Yaşar University, İzmir.

Kılıç, A. & Beceren, K. (1999). Mimari Tasarımda Yangın Güvenliği. *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 737-746.

Kılıç, M. (2003). Yapılarda Yangın Güvenliği ve Söndürme Sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1). <https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/2df5162c-b648-4525-8f88-1b577bb5c82d/content>

Küçük, S. (2001). Yanma Sırasında Oluşan Yanma Ürünleri ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Olumsuz Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Marcipar, J., Oñate, E. & Canet, J.M. (2005). Experiences in the Design Analysis and Construction of Low Pressure Inflatable Structures. In: Oñate, E., Kröplin, B. (eds) *Textile Composites and Inflatable Structures*. Computational Methods in Applied Sciences, vol 3. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-3317-6_15

Molina Pombo, J. C. (2008). Mechanical Characterization of Fabrics for Inflatable Structures, *Graduate Theses*, West Virginia University. <https://researchrepository.wvu.edu/etd/1913/>

NFPA (National Fire Protection Association). https://docinfofiles.nfpa.org/files/AboutTheCodes/5000/5000_A2023_B_LD_INT_FD_FRReport.pdf ve <https://www.nfpa.org/> (erişim tarihi:

- 19.11.2024)
- Özgünler, M. (2005). Yangın Kaçış Yollarında Kullanılan Duman Perdelerinin Duman Hareketine Etkisinin Belirlenmesi İçin Bir Yöntem Önerisi. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- SCDF (Singapore Civil Defence Force), (2023). Temporary Change of Use Permit Outdoor Inflatable Tent Fire Safety Conditions. (Updated 25 April 2023). https://www.scdf.gov.sg/docs/default-source/fire-safety-docs/permits-and-certification/4-outdoor-inflatable-tent.pdf?sfvrsn=22a6be9_1 ve <https://www.scdf.gov.sg/> (erişim tarihi: 18.11.2024)
- Shields, T. J. & Silcock, G. W. H. (1987). *Buildings and Fire*. Longman Scientific & Technical, England.
- Şimşek, Z. (2013). Sağlık Yapılarında Yangın Güvenliğinin ve Duman Kontrolünün Sağlanmasına İlişkin Modelleme Yöntemi. *Doktora Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Url 1. Ark Nova: Blow-up concert hall inflates in Japan. Writing: Shannon Siow from CNET Website: <https://www.cnet.com/culture/ark-nova-blow-up-concert-hall-inflates-in-japan/> (erişim tarihi: 06.11.2024)
- Url 2. Ontario's Celebration Zone Pavilion / Hariri Pontarini Architects. Archdaily Website: <https://www.archdaily.com/775880/ontario-celebration-zone-pavilion-tectoniks> (erişim tarihi: 06.11.2024)
- Url 3. Media-TIC. Fotoğraflar: Jose Miguel Hernandez, Gunnar Knechtel, Enric Ruiz-Geli from Arkitektuel Website: <https://www.arkitektuel.com/media-tic/> (erişim tarihi: 07.11.2024)
- Url 4. Watercube - National Swimming Centre; Beijing, China. Architizer Website: <https://architizer.com/projects/watercube-national-swimming-centre/> (erişim tarihi: 07.11.2024)
- Url 6. Allianz Arena wins prestigious fire safety award, 10/04/06, Allianz Arena Website: <https://allianz-arena.com/en/news/2006/04/allianz-arena-fire-safety> (erişim tarihi: 11.01.2025)
- Yavuz, G. (2002). Yapılarda Yangın Güvenliği. Seminer Notları, YANGIN-A, İYEM, Gebze, 6-31.