# ENDÜSTRİYEL BİNALARDA DUMAN TAHLİYE SİSTEMLERİ

**Gamze SAYGILI*** **Nurettin YAMANKARADENİZ**** **Zuhal ŞİMŞEK*****

## *ÖZET*

*Yanma sonucu oluşan duman, havada taşınan katı ve sıvı parçacıklar ile malzemelerin yanması ile oluşan gazlardan meydana gelir. Koyu renkli bir sis perdesi oluşturur. Tahliyeyi, yangına müdahaleyi zorlaştırdığı gibi zehirleyici ve patlayıcı da olabilir. Tüm bu olumsuzlukların önüne uygun bir duman tahliye sistemi ile geçilebilir. Duman tahliye sistemleri doğal ve mekanik sistemler olmak üzerek basit olarak, ilk aşamada ikiye ayrılabilir. Fakat tasarım ölçütleri; ihtiyaçlara, mimari özelliklere, yapı ve bölgede bulunan malzemelere, insan yoğunluğuna göre çeşitlilik gösterebilir. En uygun duman tahliye sistemi için planlanan senaryoya bağlı modellemeler uluslararası standartlar ve yerel yönetmeliklere uyumlu olarak yapılır. Modellemelerden elde edilen sonuçların istenilenleri karşılaması ile tasarım, uygun donanım seçimi ve yerleştirilmesi işlemine geçilir. Testler ve periyodik bakımlar bu sistemlerin de vazgeçilmezleridir.*

## *SMOKE CONTROL SYSTEMS FOR INDUSTRIAL BUILDINGS*

## *ABSTRACT*

*Smoke is a composition of solid and liquid particles and gases which are released by the materials during a combustion process. It forms a foggy layer obstructing the evacuation of people and intervention of the firemen. Smoke can be also poisoning effects according to its resources. The only way to prevent these unfavorable conditions is extraction of the smoke as soon as possible. Simply we can make the classification of the smoke exhaust systems as mechanical and natural. But as we arrive to the designing we should count in many different data based on construction, intended use of building, amount of stock and its kind etc. As well as considering the design approaches, a model should be designed compatible with the related native codes and national standardizations. After the derivation of the optimum results, operation leads to construction with appropriate equipment. As well as all fire protection systems test and periodic maintenances are evitable.*

## GİRİŞ

Duman sözlük anlamı ile 'bir maddenin yanmasıyla çıkan ve içinde katı zerreler bulunan kara ya da esmer renkli Gaz'dır. NFPA 92A standardına göre havada taşınan katı ve sıvı parçacıkları ile malzemelerin bir miktar hava ile yanması ile oluşan gazlardan meydana gelen karışımdır. Buradan da anlaşılacağı gibi dumanın nedeni yanma olgusudur. Dolayısı dumanı oluşmasında maddeleri yapısı büyük önem taşır.

Endüstriyel bina yangınlarına geldiğimizde durum daha da ciddileşir. Bu binalarda oluşabilecek yangınların söndürülmeleri zor olmakla birlikte bu yangınlar sonucu oluşacak duman yoğunluğu hem yangının kaynağını bulmayı ve müdahaleyi zorlaştırırken hem de sağlık açısında tehlike olmaktadır. Ayrıca yanma sonucu açığa çıkan gazlar patlama riski de barındırmaktadırlar. CO, metan, hidrojen sülfür bu gazlara örnek olarak verilebilir. Bunlara etan, propan, butan, metan gibi patlayıcı gazlarda eklenebi-

lir. Alev ve ısının olduğu bir ortamda düşük patlama limitlerine bağlı olarak patlayıcılık özellikleri ile kendilerini gösterirler. Bir de maddelerin yanması sonucu açığa çıkan sodyum nitrat ve anilin gibi boğucu ve zehirleyici gazlar da mevcuttur. Dolayısı ile duman içinde yön bulamamaktan oluşan sıkıntılara bir de boğucu ve tahriş edici gazlardan oluşan zehirlenmeler eklenir. Günümüzde bina yangınlarında ölümlerin çoğu çökme ve yanma sonucu değil, yayılan gazlardan olmaktadır. Oran yaklaşık %90'dır. Bu olay, bina içindeki bireylerin tahliye olurken zehirli gazlara maruz kalmasının önüne geçilmesini zorunlu kılar ve bu da ancak etkili ve uygun duman tahliye sistemleri ile gerçekleştirilebilir.

Konu ile ilgili NFPA 92 B'ye bakıldığında duman tahliye sistemlerinden beklenen tahliye, için uygun ortamın sağlanması ve dumanın hareketinin kontrol edilerek diğer bölümlere geçişinin azaltılmasıdır.

Duman tahliye sistemleri, dumanın çıkma ve yayılma oranının ofis yangınlarına göre çok daha farklı olduğu endüstriyel binalarda, fabrikalarda çok daha ciddi olarak ele alınmalıdır. Duman kontrolüne yönelik tahliye sisteminden önce dumanın belli bir bölgeye hapsedilmesi sağlanabilir. Dumanın ısınan gazlardan oluşmasından dolayı yukarı hareketi, onun ilk olarak çatı makasları altında toplanmasına neden olur. Bu durumda duman perdesi veya bariyeri ile hapsedilmesini kolaylaştırır. Dumanın diğer hacimlere geçmesinin önü kesilerek yangının çıktığı bölgeden atılması hem müdahaleyi kolaylaştırır hem de insanların dumandan etkilenmesinin önüne geçilmesi sağlanmış olur.

Duman perdesinin bulunması duman kontrolü için yeterli değildir. Duman belli bir zonda toplansa da mutlaka dışarı atılması gerekir. Bu amaçla mekanik ya da doğal duman atma sistemleri oluşturulur. Doğal duman tahliye sistemleri tavana ya da duvarların tavana yakın kısımlarına yerleştirilen kapaklı pencerelerden sağlanır. Bu pencerelerin özellikleri, kurulumu, işletilmesi çeşitli standartlarla kontrol altına alınmıştır. Konu ile ilgili uluslararası standartlara NFPA 90A, ISO 10294, EN 12101-8, EN 1366-2 ve yangın damperleri dayanım testleri, NFPA 90A iklimlendirme ve UL555 örnek olarak verilebilir.

Duman tahliye sistemlerinin;

- Yangının erken fark edilmesi ve sistemin etkinleştirilmesi,
- Duman gaz akışlarının kontrolü,
- Duman yayılmasının kısıtlanması,
- Dışsal (rüzgâr vs.) içsel (havalandırma-klima sistemleri) faktörlerden bağımsız çalışması,
- İsteğe bağlı olarak alarm çalıştırma

işlevlerini yerine getirmesi gerekir.

Endüstriyel binalarda duman tahliye sistemlerinin özellikleri belirlenirken, bina içerisindeki aktivite, stok, insan sayısı gibi faktörler; binanın yapı malzemesine, inşaat yükseklik ve genişliğine ek olarak dikkate alınır. Bina içindeki malzemelerin çıkaracağı dumanın yoğunluğu, ısı gücü; malzemelerin türü ve miktarına göre değerlendirilir. Bina içerisinde oluşabilecek yangının büyüklüğüne paralellik gösterir. Bu değerlendirme, mekanik tahliye sistemleri için fanın debisi, doğal açıklıklı havalandırma sistemleri içinse uygun değer açıklığının belirlenmesi ve konumlandırılması işlerine temel veri teşkil eder. Ayrıca tasarımın, tavadan biriken dumanın belli bir seviyeden fazla aşağılara inmemesini sağlaması istenir. Böylece güvenli tahliye ve yangın servisi için güvenli müdahale olanağı sağlanır. Bir diğer gereklilik de yangının parlama (flash over) noktasına gelmesinin önlenmesidir.

Bina içerisinde oluşabilecek bir yangının büyüklüğü, o binada yanma sonucu çıkabilecek ısı gücü değerine karşılık gelir. Yangının çeşitli evrelerinde değişkenlik gösteren ısı miktarının en büyük değeri dikkate alınır.NFPA 92B'ye göre endüstriyel hacimler, otel odası ve ofisler için 200-300 kW/m² değerinde bir ısı akısı tasarımı için kullanılabilir. Fakat genel olarak 500kW/m² olarak tutulması güvenli bir tasarım oluşturulmasına olanak sağlar. Sprinkler sistemleri ise yangının büyüklüğünü önemi ölçüde etkiler. Örneğin sprinkler ile korunan bir ofiste yangın büyüklüğü 1MW olarak ele alınabilirken, sprinkler olmaması durumunda bu değer 6MW'ye çıkmakta ve duman yoğunluğunu da etkilemektedir.

Doğal havalandırma açıklıklı duman tahliye sistemlerini ele aldığımızda, yukarıda belirttiğimiz değişkenlere bağlı olarak yapılması gereken en önemli hareket, uygun açıklık alanını belirlemektir. Bunun için açığa çıkan duman miktarının belirlenmesi gerekir.
NFPA 92B'ye göre açığa çıkan duman miktarı:
$M=k_1 Q_C^{1/3} z^{5/3}+k_2 Q_c$
(Qc: açığa çıkan ısı; z: dumana kadar olan yangın yüksekliği)

şeklinde hesaplanır. Daha sonra uygun görülen havalandırma açıklığına karşılık tasarım modeli üstüne yerleştirilerek dumanın tavandan itibaren biriktiği göz önünde tutulmak suretiyle temiz alt bölge yükseklikleri kontrol edilir. Tahliye ve müdahale için temiz alt bölge yüksekliğinin 2.1-3 m arasında olması uygundur.

**Tasarım Kriterleri**

Geniş hacimlerde duman kontrol sistemlerinin tasarım kriterleri, binanın kontrol amacına göre de farklılık gösterebilmektedir. Binanın kullanım amacına göre yangın büyüklüğü değiştiği gibi, duman tahliyesinin gerçekleştirilme hızı, süresi de öncelikli olan tasarım amacına göre değişmektedir.

Örneğin, insanların kaçış süresinin ön planda olduğu, alışveriş merkezi, sinema gibi büyük binalarda gerekli min. kaçış süresine bağlı kalınarak bir duman tahliye tasarımı yapılması gerekir. Buradaki min. tahliye süresi, duman altındaki temiz alanın belli bir kritik yüksekliğe kadar düşme süresidir. Kritik yükseklik 2-3 m arasında, insan boyunun biraz üzerinde alınabilir. Bu şartlarda yangın alarm sistemi faaliyeti için ortalama 280 sn ve insanların bunu duyduktan sonra tahliyeleri için 80 sn'ye ihtiyaçları olduğu deneysel olarak hesaplanmıştır. Tabiki bu değer binadaki yaş ortalamasına, bireylerin psikolojik ve fiziksel sağlık durumlarına göre değişiklik gösterebilir.

Diğer bir kriter de, ortam sıcaklığı ve ısı akısıdır. Bunlar hem kaçış sürelerine hem de itfaiyenin müdahalesine etki eder. Özellikle endüstriyel binalarda metal yüzeylerin fazlalığı çoğunlukla çelik yapı bina malzemelerinden ve bina içinde yer alan makinalardan, raflardan net olarak belli olmaktadır.

Tüm kriterler değerlendirilip binanın özelliklerine uygun tasarım kriterleri belirlendikten sonra, duman hareketlerini incelemeye yönelik sayısal modellemeler yapılır. Bu modellemeler bölge ve alan modelleridir.

Bölge modellerinde, binanın alt kısımlarından taze hava girişi ve üst kısımlarından duman çıkışı olacak şeklide hidrostatik basınç oluşturulur. Dumanın yükselirken soğuması ve alçalması ya da başka bir engele çarpması bu modellemede incelenmezken duman tabakasının kalınlığı, alçalma hızı, sıcaklığı, bileşimi gibi birçok değer elde edilir. Ayrıca ısı kayıpları, egzoz sistemi ile tahliye edilecek hava miktarı, sıcaklık veya duman dedektörlerinin aktivasyon süreleri de hesaplanabilmektedir. Doğal tahliye kapaklarının yerleşmesi için atılması gereken duman kütleleri de yine bu modellemeyi baz alan programlar tarafından öğrenilir. Örnek olarak; ASCOS, ASMET, FIRST, CFAST ve ASET –B verilebilir.

Alan modellerinde ise bölge modellerindeki kısıtlar aşılarak daha ayrıntılı bilgiler elde edilir. Bu modellerde hacim çok küçük parçalara bölünerek ele alınır; birbirleri arası ısı alışverişi de değerlendirilir.

**Doğal Açıklıklı Duman Tahliyesi**

Endüstriyel binalarda modellemeye bağlı kalınarak hacmin büyük olmasında dolayı duman tahliyesi için gerekli minimum doğal açıklık alanı belirlenir. Böylece ilk maliyette düşük tutulmuş olur.

Hesaplanan minimum doğal açıklık alanı çatı yüzeyine dağıtılarak, tahliye kapakları ile çerçevelenir. Plastik, sünger parçalarının montajının yapıldığı ve benzin dolu istasyonu bulunan bir araba montaj atölyesindeki malzemelerin yanıcılığı ve miktarı göz önüne alındığında, çatı alanın %2'si olacak şekilde tahliye açıklıkları bırakılması uygun olarak hesaplanmaktadır.
Tahliye kapakları çalışma grupları yangın zonları ile aynı olacak şekilde düzenlenir. Her bir duman damperi zonu ile yangın zonu aynı alanı kapsamalıdır. Tahliye edilen hava miktarı, havalandırma kanalı ile açık cam ve kapılardan gelen hava miktarına göre %5 fazla olacak şekilde düzenlenerek ters basıncın oluşmasının önüne geçilir, dumanın hızlı bir şekilde tavan yönünde atılması hedeflenir.

Yerleşim kriterleri belirlenen açıklıklar tahliye kapakları ile çerçevelenir. Bu kapaklar korozyona ve yüksek ısıya dayanıklı, dış ortam şartlarından etkilenmeyecek şekilde imal edilmiş olmalıdır. Sertleştirilmiş alüminyum tercih edilir. Sızdırmazlık özelliklerinin bulunması kesinlikle gereklidir. Sızdırmazlık için donmaya dayanıklı, yüksek sıcaklıklarda hava ve su sızdırmaz özellikli conta kapaklar da kullanılmalıdır. Ayrıca iklim şartlarının sert olduğu bölgelerde kar yükü dayanımları da dikkate alınmaktadır. Duman tahliye kapaklarının standartlarına baktığımızda ise karşımıza NFPA 90A'ya ek olarak DIN EN 12101 normu ve

UL555S standartları da çıkar. Çift ya da tek kapaklı, düz ya da üçgen modeller de bulunabilirler. Binanın çatı yapısına uyumlu olan tercih edilir. Polikarbonat ya da temper camdan yapılan yüzeyleri ile aydınlatma ve havalandırma amaçlı da kullanılabilirler. Düz yüzeylileri olduğu gibi panjur tipi olanları mevcuttur. Bu tiplerde de aydınlatma sağlanabilmesi için kanatları camdan ya da polikarbon levhadan imal edilir.

Çalışma prensiplerine gelindiğinde, duman dedektörlerinden veya sprinkler sistemlerinden gelen alarmlara bağlı olarak elektrikle veya pnömatik olarak açılırlar. Isıya duyarlı elemanların aktif hale gelmesiyle açılabildiği gibi manuel olarak da açılabilecek şekilde dizayn edilebilirler. Elektrik tesisatları mutlaka yangına dayanıklı şekilde yapılmalı ve tercihen galvanizli elektrik kablo tavaları içine yerleştirilmelidirler. NFPA 70'te güvenli bir tesisatın kurulumu için gereklilikler bildirilmiştir. Ayrıca yangın anında zeminden itibaren 2-3 m'de sonra duman tabakasının başlaması şartını sağlayacak şekilde sprinkler mevcut ise sprinkler patlama sıcaklığından 20 derece yukarıda ya da patlamadan 5 dk. sonra şeklinde operasyonlarının başlaması planlanabilir. Duman dedektörlerinden gelecek sinyallere bağlı olarak da yine aynı şartı sağlayacak şekilde otomasyonları yapılabilir. Sinyal alınabilecek bir algılama sisteminin olmadığı veya büyük enerji kesintilerine bağlı problemlerden dolayı devreye girmediği durumlarda manuel olarak eğitimli kişiler ya da itfaiye tarafından açılabilir olmaları gerekir. Bu nedenle kontrol panelleri mutlaka kapı girişlerine yakın, kolay ulaşılabilir şekilde konumlandırılmış olmalıdırlar.

**Duman perdeleri**

Duman tahliye sistemlerinde diğer bir etkili eleman ise duman perdeleridir. Duman perdeleri kullanılarak dumanın kısmi bir bölgede yoğunlaşması ve buradan tahliyesine olanak sağlanır. Dumanın üst kısımlarda yoğunlaşması tahliye kapaklarının tasarım ilkelerine bağlı olarak daha hızlı açılmasını ve tahliyenin hızlanmasını sağlar. Tam yükseklikleri ara duvarlar, bölmelerde duman perdesi görevi görür. Duman perdelerinin yanmaz malzemeden olmaları kaçınılmazdır. Dumanın geçişini tamamen önleyecek şekilde monte edilmelidirler. Tasarlanırken yarattıkları derinlik oldukça önemlidir. Derinlik artıkça sıcak duman ile aşağıdaki tutuşabilir malzemeler arası mesafe azalmakta ve ışıma ile yangının yayılma riski doğmaktadır. Bu durum yangının yayılmasının yanında görüş mesafesinin azalmasına da sebep olur.

**Mekanik duman tahliyesi**

Doğal tahliye açıklıkları yerine endüstriyel binalar için yapılacak diğer bir sistem de, mekanik duman tahliye sistemleridir. Bu sistemlerde tasarım kriterlerine bağlı olarak dizayn edilen modellerde yangın yüküne bağlı tahliye edilmesi gereken duman kütlesi için egzoz motorları yerleştirilir. Bu egzoz motorlarının görevi sabit hacimli olarak dumanı çekmektir.

Mekanik duman tahliye sistemleri, genellikle dış sıcaklık ve üst katman duman sıcaklık farkının 110 dereceden daha düşük olmasının beklendiği yerlerde kullanılır. Sıcaklık düştükçe dikey yönde hareket eden duman miktarı düşeceğinden dolayı doğal tahliye yetersiz kalmaktadır. Bunun önüne geçmek için hava giriş açıklıklarında yeterli oranda temiz hava alınması gerekir. Bunun sağlanması için de taze hava beslemeleri kurulur. Eğer binadaki havalandırma sisteminin kapasitesi, hızı, menfezlerinin yeri uygun ise taze hava beslemesi için kullanılabilirler. Böylece NFPA 92B'de belirtilen tasarım yaklaşımlardan insanların kaçışı için duman yüksekliğinin uygun bir seviyede muhafaza edilmesi de sağlanmış olur. Tasarımda duman derinliği binanın taban –tavan arası mesafenin %20'si şeklinde limit altına alınabilir.

Mekanik duman tahliyelerinde dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, duman perdesi ile bölümlenmiş kısımlarda dışarı atılacak duman miktarı kütlesel duman debisi değerinden yüksek olmalıdır. Duman perdesi kullanılmamış ise kural tüm kapalı hacim için geçerlidir.

İnsan bulunan atölye ve benzeri yerlerde mekanik duman tahliye sistemleri çalışırken, üfleme fanları insanlara kaçış için gerekli görüş mesafesini ve oksijeni oluşturmak için açık dururken, insan bulunmayan kısımlar için taze hava girişlerinin kapatılması yangının oksijen ile beslenmesini engelleyerek kısa sürede söndürülmesine olanak sağlayabilir. Yangının tamamen söndüğünden emin olunduktan sonra üflemeler tekrar çalıştırılarak ortamın zehirli gazlardan ve dumandan tamamen temizlenmesi sağlanır. Sistemin programlamasında dedektörlerden veya sprinklerlerden alınan alarm ile üfleme ve egzoz kısımlarının çalışmaları düzenlenir.

Mekanik duman tahliyesi sistemleri de binaya ait veriler ve tasarım ihtiyaçları doğrultusunda, gerekli matematiksel işlemler yapılarak, akışkan ve yangın modellemeleri içeren bilgisayar programları kullanılarak uygulanabilir hale getirilir ve yerleştirilir.

## SONUÇ

Kurulan sistemlerin gerek duyulduklarında etkin bir şekilde çalışabilmesi için uygun modellemelerin yapılması gibi kurulumundan itibaren mutlaka test, kontrol ve bakımlarının düzenli gerçekleştirilmesi gerekir. Test aşamasında NFPA 92B'de belirtildiği gibi sistemin tasarıma uygun şekilde faaliyeti, damperlerin açılması, varsa fanları çalışması, açık kapı ve benzeri açıklıklardan oluşabilecek hava basınçlarında dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Testlerin altı ayda bir tekrarlanması öngörülmelidir.

## KAYNAKLAR

[1] http://www.isgum.gov.tr/rsm/file/isgdoc/IG15-yeraltinda_bulunan_zararli_gazlar_ve_metan_drenaji.pdf
[2] http://www.birimmuhendislik-tr.com/tr-TR/Default.aspx?c=23
[3] http://www.yangin.org/dosyalar/duman_kontrol_gerekliligi.pdf
[4] TTMD sayı 38
[5] TESKON 2005 program bildirileri /YAN-33
[6] http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/948e7d277b05c6a_ek.pdf?dergi=1306

## *ÖZGEÇMİŞ*

***Gamze SAYGILI***
*Galatasaray Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümündeki eğitimi sürecinde Oyak Renault, TÜPRAŞ, Glaxo Smith Kleine ve OTTO firmalarında staj yaptı. Üniversitenin ardından 2005 yılında Oyak Renault Otomobil fabrikalarında Risk Mühendisliği görevine başladı. Görev sürecinde Paris CNPP eğitim kurumunda Cycle technique incendie'(Teknik Yangın Eğitimi),'Cycle superieur de risque incendie'(Yangın Riski Yönetimi) eğitimlerini tamamladı. 'Cycle superieur de risque incendie' diploması ile Fransa Devleti Agrepi (Risk ve Güvenlik Kurumu) Türkiye temsilcisi oldu. Halen Oyak Renault otomobil fabrikaları yangın güvenliği, Atex, deprem, acil durum sistemi, kriz yönetimi sorumlulukları ile birlikte İtfaiye Amirliği görevini yürütmektedir.*

***Nurettin YAMANKARADENİZ***
*Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde 2004 yılında mühendislik eğitimini, 2007 yılında lisansüstü, 2011 yılında Termodinamik Anabilim Dalında doktora eğitimini tamamlamıştır. 2004 yılından itibaren Uludağ Üniversitesi T.B.M.Y.O'da Öğretim Görevlisi olarak çalışmakta olup, aynı meslek yüksek okulunda 2012 yılından itibaren İklimlendirme Soğutma Teknolojisi Programında Program Başkanlığı görevini yürütmektedir. C sınıfı iş güvenliği uzmanı olan Dr. Nurettin Yamankaradeniz, iş güvenliği konusunda 4 yılı aşkın süredir çeşitli eğitim kurumlarında ders vermekte olup, aynı zamanda iş güvenliği konusunda sanayi ile yakın iş birliği sürdürmektedir.*

***Zuhal ŞİMŞEK***
*12002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesinde lisans eğitimini, 2005 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde yüksek lisans ve 2013 yılında doktora eğitimini tamamlamıştır. Bu süreç içerisinde "Yapı yeraltı kabuğunda su ve neme karşı alınabilecek önlemlerin irdelenmesi sonucu çözümün geçirimsizliği sağlanmış beton gereç ile oluşturulması" başlıklı yüksek lisans tezini ve "Sağlık yapılarında yangın güvenliğinin ve duman kontrolünün sağlanmasına ilişkin modelleme yöntemi" başlıklı doktora tezlerini hazırlamıştır. Şimşek 2004 yılında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak başladığı görevine halen devam etmektedir.*