

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SUSİSİ YANGIN SÖNDÜRME SİSTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Müh. Selçuk BAYINDIR

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Program: Enerji

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdurrahman KILIÇ

EYLÜL 2002

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji programında yüksek lisans çalışmamı yöneten, olumlu ve olumsuz her türlü eleştirisi ile katkıda bulunan, tezin hazırlanması sırasında dünya görüşümü bir kat daha genişleten sayın hocam Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç'a teşekkürleri bir borç bilirim

Yüksek lisans çalışmaları ve araştırmaları sırasında bana her zaman yön vermeye çalışmış, konular üzerinde destek olmuş sayın hocam Dr. Kazım Beceren'e şükranlarımı sunarım

Modelleme aşamasında yapmış olduğu görüşmelerde olaylara farklı bir açıdan yaklaşmamı sağlayan ve jürimde görev alan sayın hocam Prof. Dr. Haluk Karadoğan'a saygılarımı sunarım

Fokus Mühendislik Taah. Tic. A.Ş.'nin ortakları olan Sn. Adalət Nuzumlalı'ya ve Sn. Cem Hozan'a yüksek lisans çalışmalarımda göstermiş oldukları anlayıştan, Fokus Mühendislik Taah. Tic. A.Ş. çalışanlarından Sn. Demet Erdoğan'a, Sn. Mert Çelebi'ye ve çocukluk yıllarımdan beri en yakın arkadaşlarımdan biri olmuş olan Sn. Hüseyin Kaya'ya tezin hazırlanmasında ve Gaziantep Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü asistanlarından Arş. Gör. Nesli Sözer'e kaynak araştırmaları sırasında vermiş oldukları desteklerden dolayı teşekkür ederim

Bana her konuda manevi yönden destek veren, görüş ve tavsiyeleri ile hayatımda doğruları daha kolay bir şekilde bulmamı sağlayan anne, baba ve kardeşlerim Serkan ve Seda Bayındır'a sevgileri ve muhabbetleri sunarım

Eylül, 2002

SELÇUK BAYINDIR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. SU SİSİ VE SU SİSİ SİSTEMLERİ	5
3.1. Su Sisi	5
3.1.1. Su sisi tanecikleri nin büyüklük dağılımı	5
3.1.2. Su sisi tanecikleri nin momentumu	7
3.1.3. Su sisi kalitesi	8
3.2. Su Sisi Üretim Yöntemleri	9
3.2.1. Darbeli nozuller	10
3.2.2. Basıncılı jet nozulleri	11
3.2.3. Çift akışkanlı nozuller	12
3.3. Aktivasyon Mekaniizmaları Açısından Nozul Çeşitleri	15
3.4. Su Sisi Sistemleri	16
3.5. Su Sisi Sistem Çeşitleri	17
3.6. Su Sisi Sistemlerinde Kısıtlamalar	18
3.7. Su Sisi Sisteminin Söndürme Mekaniizmaları	18
3.7.1. Ana söndürme mekaniizmaları	19
3.7.1.1. Isı çekilmesi (soğutma)	19
3.7.1.2. Oksijeni n seyreltilmesi	20
3.7.1.3. Isı nınla gerçekleşen ısı transferi ni n engellenmesi	20
3.7.2. Yardımcı söndürme mekaniizmaları	21
3.7.2.1. Hava buhar karışımını n seyreltilmesi	21
3.7.2.2. Su sisi ni n al evdeki kinetik etkileri	21
3.8. Su Sisi Uygulama Çeşitleri	21
3.9. Su Sisi Sisteminin Uygulama Alanları	23
3.9.1. Uçak yolcu kabinleri	24

3.9.2. Gemi makina daireleri	24
3.9.3. Türbin etrafı	25
3.9.4. Yolcu ve mürettebat kabinleri	26
3.9.5. Jet motoru test üniteleri	27
3.10. Hidrolik Hesap Yöntemleri	27
3.10.1. Tek akışkanlı düşük basınçlı sistemler	28
3.10.2. Tek akışkanlı orta ve yüksek basınç sistemler	29
3.10.3. Azalan basınçlı sistemler	30
3.10.4. Çift akışkanlı sistemler	31
4. SÜSİSİ SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL OLARAK MODELLEMESİ	33
5. ÇÖZÜM VE DENEYSEL DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRMALAR	43
6. SONUÇLAR	50
6.1. Değişik Boyutlardaki Kontrol Hacimlerinde Söndürme	50
6.2. Tanecik Büyüklüğünün Söndürme Üzerindeki Etkisi	56
6.3. Sonuç	58
KAYNAKLAR	60
EKLER	62
Ek 1. Havanın Fiziksel Özellikleri	62
Ek 2. Değişik Maddeler İçin σ ve ε/k Değerleri	63
Ek 3. Çarpışma İntegrali $\Omega_{D,AB}$ 'nin Değerleri	64
Ek 4. Moody Diyagramı	65
ÖZGEÇMİŞ	66

KISALTMALAR

IMO	: International Maritime Organization
SOLAS	: Safety of Life at Sea
NFPA	: National Fire Protection Association
PS	: Parlama Sıcaklığı
D_v	: Su Tanecikçi Çapı
SMD	: Sauter Mean Diameter
VMD	: Volume Mean Diameter
ALR	: Air-to-Liquid Ratio
ALR_p	: Air-to-Liquid Pressure Ratio
ALR_M	: Air-to-Liquid Mass Ratio
AWWA	: American Water Works Association

TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.2.1	Nozul basınç-debi tablosu [13]	11
Tablo 5.1	Kontrol hacim boyutları ve parametreleri	43
Tablo 5.2	Teorik söndürme zamanlarının 70 Bar'lık deneysel sonuçlarla karşılaştırılması ($D_{0.99} = 800 \mu$)	47
Tablo 5.3	Teorik söndürme zamanlarının 12 Bar'lık deneysel sonuçlarla karşılaştırılması ($D_{0.99} = 1000 \mu$)	48
Tablo 6.1	Değişik büyüklükteki kontrol hacimlerinin teorik söndürme zamanları	56
Tablo 6.2	Tanecik çapına göre ortalama buharlaşma miktarları	57
Tablo 6.3	Tanecik çapına göre teorik söndürme zamanları	57

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1.1 : Yoğunluk dağılımı [4, 13]	7
Şekil 3.2.1 : Darbeli nozul [13]	10
Şekil 3.2.2 : Basıncılı jet nozulları [13]	12
Şekil 3.2.3.1: Çift akışkanlı nozullar [4]	13
Şekil 3.2.3.2: Hava-su miktarı grafiği [4]	15
Şekil 3.8.1 : Yerel uygulama [4]	22
Şekil 3.8.2 : Tüm mahal uygulaması [4]	22
Şekil 3.8.3 : Bölgesel uygulamalar [4]	23
Şekil 4.1 : Kontrol hacmi	33
Şekil 4.2 : Kontrol hacmi sıcaklık değişimi	34
Şekil 4.3 : Su taneciklerinin hareketi	38
Şekil 4.4 : Su taneciklerinin hızı	38
Şekil 5.1 : Kontrol hacmine giren taze hava miktarı	44
Şekil 5.2 : Sürekli rejimde farklı kontrol hacimlerdeki sıcaklık değişimi	44
Şekil 5.3 : 6 MW Yangında Q konsantrasyonundaki değişim	46
Şekil 5.4 : 2 MW Yangında Q konsantrasyonundaki değişim	46
Şekil 5.5 : 1 MW Yangında Q konsantrasyonundaki değişim	47
Şekil 6.1 : 1000 m ³ 'lük kontrol hacimdeki Q konsantrasyonu değişimi, yangının büyüklüğü 6 MW	51
Şekil 6.2 : 1000 m ³ 'lük kontrol hacimdeki Q konsantrasyonu değişimi, yangının büyüklüğü 2 MW	51
Şekil 6.3 : 1000 m ³ 'lük kontrol hacimdeki Q konsantrasyonu değişimi, yangının büyüklüğü 6 MW	52
Şekil 6.4 : 750 m ³ 'lük kontrol hacimdeki Q konsantrasyonu değişimi, yangının büyüklüğü 6 MW	52
Şekil 6.5 : 750 m ³ 'lük kontrol hacimdeki Q konsantrasyonu değişimi, yangının büyüklüğü 2 MW	53
Şekil 6.6 : 750 m ³ 'lük kontrol hacimdeki Q konsantrasyonu değişimi, yangının büyüklüğü 1 MW	53
Şekil 6.7 : 250 m ³ 'lük kontrol hacimdeki Q konsantrasyonu değişimi, yangının büyüklüğü 6 MW	54
Şekil 6.8 : 250 m ³ 'lük kontrol hacimdeki Q konsantrasyonu değişimi, yangının büyüklüğü 2 MW	54
Şekil 6.9 : 250 m ³ 'lük kontrol hacimdeki Q konsantrasyonu değişimi, yangının büyüklüğü 1 MW	55
Şekil 6.10 : Tanecik çapına göre kontrol hacimdeki Q konsantrasyonunun zamanla değişimi	58

SEMBOL LİSTESİ

A	: Kontrol hacminin yüzey alanları
A_F	: Su sisi taneciğinin ön alanı
A_{SU}	: Su sisi taneciğinin yüzey alanı
A_V	: Kontrol hacimindeki ventilasyon alanı
$A_V H^{1/2}$	: Ventilasyon faktörü
C	: Boru sürtünme katsayısı
C_d	: Boşaltma katsayısı
C_D	: Sürtünme katsayısı
$c_{p,hava}$	: Havanın özgül ısısı
d	: Boru iç çapı
$dE_{K.H.} / dt$	: Kontrol hacminin içinde zamanla meydana gelen enerji değişimi
D	: Su sisi taneciği çapı
D_{AB}	: Difüzyon katsayısı
ε	: Boru duvar sertliği
f	: Boru sürtünme faktörü
g	: Yer çekimi vmesi
Gr_H	: Isı transferi hesaplarında kullanılan Grashof sayısı
Gr_M	: Kütle transferi hesaplarında kullanılan Grashof sayısı
h	: Sürtünmeden dolayı gerçekleşen basınç kaybı
h'	: Kütle geçiş katsayısı
k	: Nozul karakteristik sabiti
L	: Boru uzunluğu
m	: Su sisi taneciğinin kütlesi
m_{hava}	: Hava miktarı
m_{su}	: Su debisi
$\dot{m}_{hava}$	: Kontrol hacme giren taze hava miktarı
MW_{HAVA}	: Havanın molekül ağırlığı
MW_{SU}	: Suyun molekül ağırlığı
$\overline{Nu}$	: Ortalama Nusselt sayısı
P_s	: Su buharının su taneciği sıcaklığındaki kısmi basıncı
P_T	: Kontrol hacimdeki gazların toplam basıncı
P_h	: Hava basıncı
P_r	: Prandtl sayısı
P_s	: Su basıncı
Q	: Debi

$\dot{Q}_{K.H.}$	: Kontrol hacmin sınırlarında meydana gelen ısı kaybı
$\dot{Q}_{SINIR}$	: Kontrol hacmin sınırlarında meydana gelen ısı kaybı
$\dot{Q}_{ÜRET}$	: Kontrol hacmi içinde üretilen enerji
$\dot{Q}_{YANGIN}$	: Yangından dolayı açığa çıkan enerji
Re	: Reynold sayısı
Sc	: Schmidt sayısı
$\overline{Sh}$	: Ortalama Sherwood sayısı
t	: Zaman, söndürme zamanı
T_{ϕ}	: Kontrol hacimden çıkan havanın sıcaklığı
T_d	: Çevre sıcaklığı
T_g	: kontrol hacme giren havanın sıcaklığı
T_i	: Kontrol hacmin sıcaklığı
U	: Toplamısı transfer katsayısı
V	: Boru içindeki akışkan hızı
V_T	: Su taneciğinin terminal hızı
x	: Kütle oran
ρ_d	: Dış hava yoğunluğu
ρ_f	: film sıcaklığındaki havanın yoğunluğu
ρ_i	: Kontrol hacim sıcaklığındaki havanın yoğunluğu
ρ_o	: Su sis taneciği sıcaklığındaki havanın yoğunluğu
Δp	: Sürtünme kaybı
ν	: Kinematik viskozite
ψ	: İzafi nem
σ_{AB}	: Çarpışma çapı
$\Omega_{D,AB}$	: Çarpışma integrali

ÖZET

Yangın güvenliği insan hayatı ve mal varlıklarının korunması açısından önemli bir yer tutmaktadır. Bir çok ülkede meydana gelen yangın vakalarına karşı, ülkenin kendi kültür ve yapısına uygun yangın güvenlik standartları oluşturulmuş ve değişik çalışmalar yapılmıştır. Meydana gelebilecek değişik yangın olaylarına göre söndürme veya kontrol altına almayı amaçlayan çok çeşitli sistemler geliştirilmiştir; örneğin sulı, köpüklü, gazlı söndürme sistemleri gibi.

Gelişmekte olan teknoloji ile birlikte mevcut olan söndürme sistemleri daha iyi bir duruma getirilmeye çalışılmaktadır, yahut belirli nedenlerden dolayı alternatif sistemler aranmaktadır. Halon bazlı söndürme sistemlerinin ozon tabakasına olan etkilerinden dolayı bu sistemin yerini alabilecek yeni bir söndürme sistemi çalışmaları başlamıştır. CO₂ söndürme sisteminin de istenmeyen durumlarda oluşan yanlış boşalmalarından dolayı insan hayatını tehdit etmesi alternatif arayışlarını hızlandırmıştır. İlk olarak 1950'li yıllarda ortaya atılan fakat yakın geçmişi içinde gelişen bu olaylar su sisi sistemlerinin önemini arttırmış ve konu üzerinde çok sayıda araştırmalar yapılmasına neden olmuştur. Su sisi kelime anlamı olarak çok küçük tanecikli su spreyleri anlamına gelmektedir. Sistem olarak klasik spriklere benzerken fakat söndürme mekanizmaları bakımından çok farklılıklar göstermektedir, örneğin oksijeni seyreltilmesi, alevi soğutulması, ısıyı taşıyan ısı transferinin engellenmesi gibi. Su sisi sistemlerinde en baskın olan söndürme mekanizması suyun buharlaşarak ortamda bulunan oksijen konsantrasyonunu yavaşlatma işleminin altına düşürmesidir.

Bu çalışmada su sisi sistemlerinin zaman içindeki gelişiminden, nasıl önem kazandığından, sistem gerekliliklerinden, söndürme mekanizmalarından, uygulamaları çeşitleri ve alanlarından, hidrolik hesap yöntemlerinden bahsedilmektedir. Oluşturulan matematiksel modellerle değişik yangın senaryoları altında sistem basıncı ve gerekli olan su debisi miktarı hesaplanmaya çalışılmıştır. Söndürme mekanizmaları içinde oksijen konsantrasyonunun azaltılması ön plana çıkmış ve oksijen konsantrasyonunun yavaşlatma işlemini devamı sağlayacak değerlerin altına nasıl düşürülebileceği tartışılmıştır. Mahal parametreleri ile oynayarak değişik sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar literatür araştırmalarında geçen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve modelin ne kadar geçerli olabileceği konusunda yorumlar yapılmıştır.

SUMMARY

Fire safety is of great importance due to protection for life and property. Because of fire accidents happened before, most countries prepared their own standards which are appropriate to their culture and carried out investigations on this subject. There have been many fire fighting systems developed against different kinds of fire in order to suppress or control; for example water based extinguishing systems, foam systems, gaseous systems, etc.

Available fire fighting systems are being improved in order to be more effective by the developing technology, or wanted to be replaced by an alternative system because of some reasons. A new fire fighting system has been looked for halon based systems because of their negative effect on ozone layer. This search has been accelerated due to being an alternative for CO₂ gaseous systems, which mostly results in deaths during accidental releases. The importance of water mist systems, which was first considered in 1950, has increased due to these kinds of problems occurred in the past and lots of investigations have been carried out on this new technology. Water mist means very fine water sprays. Water mist systems look like classical sprinkler systems, however extinguishing mechanisms differ too much, for example oxygen depletion, cooling of flame, preventing radiation heat transfer, etc. The most dominant extinguishing mechanism in water mist system is to reduce the oxygen concentration in the compartment below to burning rate of fuel.

In this study the development of water mist systems, how they have become so important, water mist system requirements, extinguishing mechanisms, types and fields of application and hydraulic calculation procedures are mentioned. System pressure and water density has been calculated under different fire scenarios by the mathematical model developed in this study. Oxygen depletion is the major extinguishing factor and the ways how this factor can be decreased below limit values are investigated. Different results were obtained by changing the compartment parameters. These results were compared the ones available in the literatures and validity of the mathematical model was discussed.

1. GİRİŞ

Günümüzde bir çok ülke tarafından yasaklanan halon bazlı yangın söndürme sistemlerinin yeri alan su sisi koruma yöntemi geniş çapta kullanılmaya başlanmıştır. Etikli yangın koruma özellikleri olan su sisi sistemi petrol platformları, gaz türbinleri, oteller, trenler, gemiler, uçaklar, uzay mekikleri gibi birçok alanda kullanılmakla inkan sağlanmıştır.

7 Nisan 1990 yılında Scandnavian Star gemisinde çıkan ve 158 insanın hayatını kaybetmesine yol açan trajik yangından sonra Uluslararası Gemicilik Organizasyonu (International Maritime Organization, IMO) denizde hayat güvenliği (Safety of Life at Sea, SOLAS) standartlarında revizyonlara gitmiş ve 1 Ekim 1994 yılından itibaren hizmete giren, uluslararası taşımacılık yapan ve 36 yolcudan fazla kapasiteli gemilerin otomatik sprinkler sistemi veya eşleniğiyle korunmasını zorunlu kılmıştır. Özellikle gemicilik sektöründe sıkça kullanılan halon bazlı söndürücülerin çevresel yan etkilerinden dolayı yasaklanması ve CO₂ söndürme sistemlerinin yanlışlıkla meydana gelen boşalmalardan dolayı insan hayatını tehdit etmesi, yeni bir söndürme sistemi arayışlarına gidilmesine sebep olmuştur. Bu ana nedenlerden dolayı 1950'li yıllarda Braidech ve Rasbash tarafından ortaya atılan ve çok küçük su tanecekleriyle gerçekleştirilen söndürme sistemi 90'lı yıllarda popülaritesini kazanmış ve detaylı olarak incelenmeye başlanmıştır. Su rezervinin kısıtlı olduğu durumlar örneğin uçaklar ve uzay mekikleri gibi ve söndürme sırasında ve sonrasında drenaj sorunları olan uygulamalar da su sisi sistemi için yapılan araştırmaları hızlandırmıştır.

Su sisi nin etkin bir söndürme sistemi olması bu konu üzerinde son yıllarda çok fazla araştırma yapılmasına neden olmuştur. Uluslararası alanda en etkin yangın güvenlik standardı olan Amerikan Ulusal Yangın Güvenlik Kuruluşu (National Fire Protection Association, NFPA) 1993 yılında endüstriyel ve sanayi tesislerinin ortak katılım ile bu yeni söndürme sistemi üzerine bir standart oluşturmaya karar vermiştir. İlk bakışta klasik sprinkler sistemlerine veya açık nozullu sistemlere benzeyen su sisi aslında kendi içinde çok farklı bir mekanizmaya sahiptir. Su sisi söndürme sistemlerindeki amaç sprinkler sisteminde olduğu gibi yakıt veya malhal yüzeylerini ıslatarak yangını söndürmek değildir. Söndürme mekanizması temel

olarak oksijen konsantrasyonunun azaltılması, alevin soğutulması, ısıtılma olan ısı transferinin engellenmesini, yakıt ve/veya mahalde bulunan malzemelerin yüzeylerinin ıslatılması kapsamaktadır. Herhangi bir yangın vakasında yangının türüne ve mahal özelliklerine göre bu mekanizmalardan bir veya birden fazlası söndürme sırasında etkin rol oynar. Ancak yapılan araştırmalarda su sisi sistemlerinde en etkili olan mekanizmanın oksijen seyreltilmesi olduğu tespit edilmiştir. Çok küçük çapta su tanecikleri kullanıldığı için yangına müdahale sırasında bunların buharlaşması çok çabuk olacaktır. Su sıvı fazdan gaz fazına geçerken hacimsel olarak 1700 kat genişler ve eğer bu genişleme çok kısa bir süre içinde gerçekleşirse ortamda bulunan hava su buharı tarafından dışarıya itilerek oksijen konsantrasyonunun düşmesine neden olacaktır. Şayet oksijen konsantrasyon miktarı yangının devamını sağlayacak değerlerin altına inerse yanma işlemi duracaktır. Örnek olarak yanma işleminin devamını sağlayabilen için hidrokarbon kökenli sıvı yakıt yangınlarında (B sınıfı yangınlar) oksijen konsantrasyonunun en az %13 olması gerekmektedir. Tahta ve odun parçalarının oluşturduğu yangınlarda ise (A sınıfı yangınlar) %7 oksijen konsantrasyonunda bile yanma işlemi devam edebilmektedir. Yeni yapılan araştırmalar su sisi sistemlerinin bilgisayar ve elektronik ekipman odalarında kullanıma yönelik olmuştur. Bu gibi mahaller için de-ionize su kullanılmaktadır ve test sonuçlarına göre çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çevresel yan etkilerinin yok denecek kadar az olduğu, söndürme işleminin ise çok kısa zaman diliminde gerçekleştirildiği su sisi sistemleri yakın gelecekte ekonomik açıdan da uygun duruma geldiğinde birçok söndürme sisteminin yerini alacak gibi görünmektedir. Şu an hala gelişme aşamasında olduğu için yatırım maliyeti olarak sprinkler veya CO₂ söndürme sistemleri ile karşılaştırıldığında pahalıdır. Fakat bu problemler de aşıldıca otoriteler tarafından hak ettiği yeri bulacağına inanılmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

1993 yılında toplanan NFPA komitesi geliştirmekte olan ve sprinkler sistemine benzeyen fakat farklı bir mekanizmaya sahip olan bu sistemin bir standart oluşturmaya karar verir ve kısaca NFPA-750 [1] Su Sisi Yangın Güvenlik Sistemlerinde Standart (Standard on Water Mist Fire Protection Systems) diye adlandırılan kodu hazırlar. Bu kodda gelişmişliğinde olan su sisi sistemleri için dizayn aşamasında izlenebilecek yollar, sistem gereksinimlerinden ve uygulamaya çeşitliliklerinden bahsedilmektedir. Ancak çalışmalar tam olarak tamamlanmadığı için gerekli olan dizayn değerlerinden bahsedilememektedir. Notarianni [2] su sisi sisteminin zaman içinde nasıl bir gelişimi zlediğinden bahsetmektedir. Pepi [3] ise bu gelişim sürecinin yanı sıra su sisi sisteminin alternatif olarak kullanıldığı sistemlere karşı olan avantajlarını ve bu sistemi için üretilmiş olan değişik nozulları açıklamaktadır. Mahoney ve Solomon [4] su sisi sistemlerinin söndürme mekanizmaları, kullanılan nozul tipleri, hidrolik hesap yöntemleri ve uygulama yerleri hakkında bilgi vermektedir. Camerio [12] su sisi sistemlerinde oluşturulabilecek standartlardan bahsetmiş ve su sisi taneciklerini büyük dağınılımlarına göre üç farklı alt gruba ayırmıştır.

Su sisi sistemi şekil itibarı ile klasik sprinkler sistemlerine benzemekte fakat söndürme mekanizması olarak çok büyük farklılıklar göstermektedir. Bu sistemin söndürme mekanizmaları üzerinde bir çok araştırma yapılmış ve bunların ne kadar etkin olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Kim Yang ve Yoon [5,6] açık ortamda bulunan hidrokarbon kökenli havuz yangınlarını su sisi sistemi ile değişik basınç ve su debisi değerleri altında söndürmeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada açık ortamda yangının söndürülebilmesi için su debisinin basınçtan daha etkin bir parametre olduğuna dikkat çekmişler ve hatta debinin az olduğu durumlarda yangının sönme yerine körüklendiğine işaret etmişlerdir. Yao, Fan ve Liao [7] su sisi sisteminin difüzyon alevi ile olan ilişkisinde su debisinin yeterli olduğu durumlarda yangının oksijen konsantrasyonunu azaltması, ortamdan ısı çekilmesi ve ısınlı havalanma şartlarının değişmesini söndürme mekanizması üzerinde büyük bir

etkisi olduğunu açıklamışlardır. Ndubizu, Ananth, Tatem ve Mtevali [8] su sisi sisteminin difüzyon metan alevi ile olan ilişkisini incelemiş ve geliştirdiği matematik modellerle ısı transfer miktarını ve ısı kayıplarını hesaplamaya çalışmışlardır. Deney sonuçlarında alevi ile aynı yönde etkileşimi içinde bulunan su sisi sisteminde gaz fazındaki soğutmanın oksijenin seyreltilmesinden daha etkili olduğu yorumunu yapmışlardır. Prasad, Li ve Kailasanath [9] su taneciklerinin boyutlarını küçülterek söndürme üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve daha küçük su taneciklerinin alevi ile olan temas yüzeyleri arttığından dolayı daha çabuk buharlaştıklarını ve yangının daha çabuk söndürüldüğünü ortaya koymuşlardır.

Ortaya atılan bu yeni söndürme sisteminin ilk kullanımları yerleri geniş makine daireleri olmuştur. Bu sebepten dolayı IMO değişik onay kuruluşlarına bu konu üzerinde deneyler yapmaları ve sonuçlarını tartışmaları için başvuruda bulunmuştur. Back, Beyler ve Hansen [10] büyüklükleri 100 ile 500 m³ arasında değişen ve değişik havalandırma şartlarının mevcut olduğu makine dairelerinde su sisi sisteminin performansını incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda farklı büyüklükteki mahaller için oluşabilecek en kritik minimum yangın boyutunu tespit etmeye çalışmışlardır. Söndürme mekanizmasının oksijenin seyreltilmesi sayesinde gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Bill, Hansen ve Richards [11] benzer çalışmayı 3000 m³ ten büyük makine daireleri için gerçekleştirmişler ve deney sonuçlarında su sisi sisteminin çok büyük hacimlerde başarılı olduğunu, yangını söndürebilmek için oksijen konsantrasyonunun bir türlü gerekli değerlerin altına çekilemediğini bildirmiştir.

3. SU SİSİ VE SU SİSİ SİSTEMLERİ

3.1. Su Sisi

Su sisi NFPA-750’de [1] nozul ucundan 1 m uzaklıktaki bir düzlemde ve minimum dizayn basıncında hacimsel olarak %99’unun 1000 mikrondan küçük olduğu su spreyleri olarak tanımlanır. NFPA-750’deki su sisi tanıma kadar geniş bir çok nokta göz ardı edilmiştir. Başka kaynaklarda [4] su sisi terimi havada belirli bir süre asılı kalabilen çok küçük su tanecikleri anlamına gelmektedir. Bu terim spreyn belirli bir özelliğini yansıtmakta, su tanecikleri boyutu yağmur veya sprinkler damlacığıyla karşılaştırıldığında çok küçük kalmaktadır. Bu özelliği etkili bir yangın söndürme sistemi için gerekli olan tek özellik değildir. Su sisinin etkili bir söndürme sistemi olduğunu gösteren bundan başka üç farklı özellik vardır. Bunlar (i) taneciklerinin büyüklük dağılımı ve yoğunluğu, (ii) yangının merkezine ulaştırılan hızı; (iii) suyun kendi kalitesi.

3.1.1. Su Sisi Taneciklerinin Büyüklük Dağılımı ve Yoğunluğu

Taneciklerinin büyüklük dağılımı terimi belirli bir spreyn numunesindeki su taneciklerinin büyüklük oranına denk gelmektedir. Spreyin içinde zamanla değişen irili ufaklı tanecik dağılımı vardır. Sürekli bir boşalım sırasında tanecik büyüklüğü dağılımı kaynaktan uzaklaşıp taneciklerinin birbirine çarpması, buharlaşması veya yüzeylere çarpmasıyla değişmektedir. Spreylerin tanecik dağılımını ifade etmek için değişimleri vardır. Bazı durumlarda tanecik dağılımını ifade etmek için tek bir tanecik çapı kullanmak alışkanlık olmuştur, örneğin Ortalama Sauter Çapı (SMD) veya Hacimsel Ortalama Çap (VMD) gibi.

İlk yapılan araştırmalar küçük tanecikli su sisi sistemleri kullanmaya odaklanmıştı. 400 mikrondan küçük su taneciklerini kullanarak istenilen sonuçların elde edilebileceği sıvı yakıt yangınları ilk olarak denenmeye başlanmıştır. Fakat yakıtın geçişte katı yakıt yangınlarında yapılan deneylerde 400 mikrondan büyük su taneciklerinin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. 400 mikrondan büyük

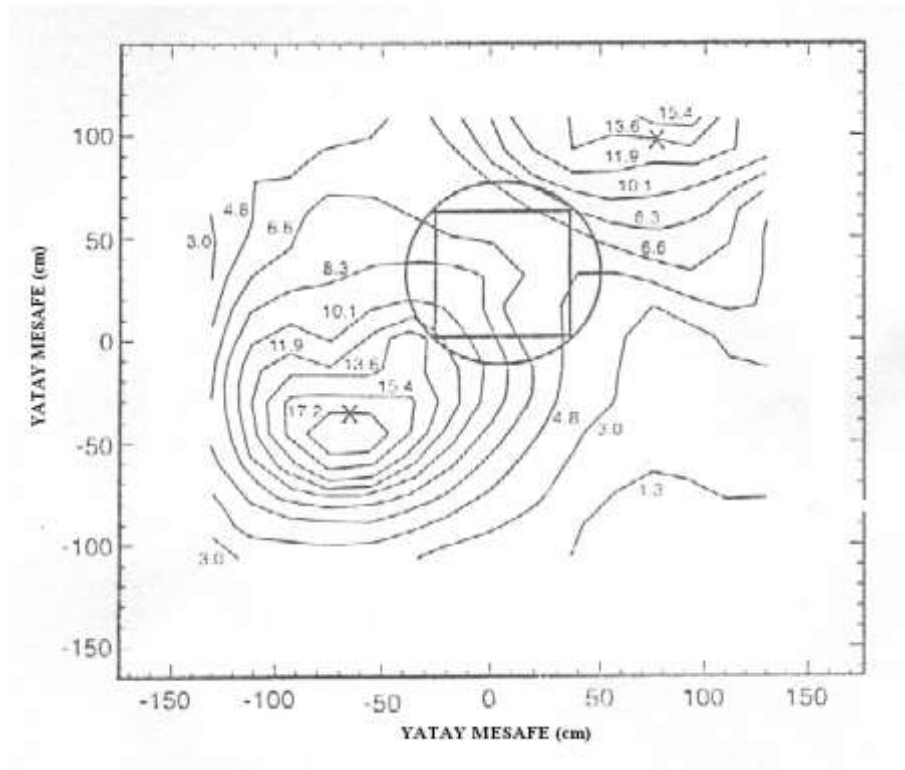
tanecikler katı yakıt veya kor halindeki yangınlarda önemli bir söndürme sistemi olan yakıt yüzeyinin ıslatılması için gereklidir. Bu sebepten NFPA-750’de su sisi hacimsel olarak %99’unun 1000 mikrondan küçük olduğu su tanecikleri olarak tanımlanmaktadır ve sembol olarak $Dv_{0.99} < 1000\mu$ olarak gösterilir. Ancak bu terim çok geniş bir kavramı içermektedir. Büyük ve küçük tanecikler arasındaki farkı tam olarak ortaya koymamaktadır. Bu sebeple su sisi tanecikleri kendi aralarında üç gruba ayrılmışlardır [4, 12].

Hacimsel olarak %90’ının 200 mikrondan küçük olduğu ($Dv_{0.90} < 200\mu$) su sisi 1. sınıf olarak nitelendirilmiştir. Bu sınıf en küçük spreyleri içermektedir. Bu kadar küçük su taneciklerini oluşturmak için büyük enerji gerektirmektedir. Sürtünme etkisi de büyük rol oynadığından dolayı 1. sınıf spreyleri daha büyük spreylere göre yüksek hızla dağıtmak çok zordur. 1. sınıf spreylere mahal özelliğinden dolayı momentum etkisinin azaldığı ve yakıt yüzeyinin ıslatılmasının çok etkili olmadığı yangınlarda kullanılabilir. Hacimsel olarak %90’ının 200 ile 400 mikron arasında kalan su sisi 2. sınıf olarak nitelendirilmiştir ($200\mu < Dv_{0.90} < 400\mu$). Daha büyük su taneciklerinin bulunmasından dolayı 1. sınıfa göre daha fazla debi elde edilebilir. Yüzey ıslatılması büyük oranda gerçekleşeceği için sıradan yangınlarda söndürülmesinde etkili olabilir. 3. sınıf su sisinde ise hacimsel olarak %90’ı 400 ile 1000 mikron arasında kalmaktadır ($400\mu < Dv_{0.90} < 1000\mu$). Bu tip su sisi tanecikleri ile yüksek oranda debi elde etmek mümkündür. Yakıt yüzeyinin ıslatılmasının gerekli olduğu yangın türlerinde kullanılabilir.

Su sisi sisteminin bir yangını söndürmesi kısmi olarak su sisi tanecik büyüklüğüne veya hızına bağlıdır. Aynı zamanda yangın sırasında açığa çıkan ısıya bir bölümünün de su tarafından emilmesi önemli bir rolü vardır. Bu sebepten akı yoğunluğu söndürme sistemleri için önemli bir parametredir ve hacimsel birimlerde ($lt/dak/m^3$) veya alan birimlerinde ($lt/dak/m^2$) ifade edilir. İki ifade de dizayn sırasında önemli rol oynamaktadır fakat her ikisi de gerçekleşen akının zayıf bir tahminidir. Akı yoğunluğunun gerçek değeri yangın şartlarıyla, spray hızıyla değişmektedir ve bu değer tek başına bir dizayn değeri olarak kullanılamaz.

İngiliz denizaltılarında hidrolik ekipman odalarında kullanılan SSC ¾7G5 model nozullar su yoğunluğunun dağılımını göstermek için örnek olarak Şekil 3.1’de verilmiştir. 6.8 Bar basınçta bu nozullar 2. sınıf su sisi oluşturmakta ve yoğunluk dağılım grafiği nozul ucundan 3 m’lik uzaklıkta bulunan yatay bir düzlem için

geçerli olmaktadır. Nozuller için anma debisi 15.1 lt/dak/ m^2 olması na rağmen tam nozul altında 17.2 lt/dak/ m^2 lik, uç kısımlarda 3 lt/dak/ m^2 lik ve iki nozul arasında 6.6 lt/dak/ m^2 lik yoğunluk gerçekleşmiştir. Kısaca gerçekleşen yoğunluk anma yoğunluğunun 0.2 ve 1.1 katı arasında değişmektedir.



Şekil 3.1.1 Yoğunluk Dağılımı [4,13]

3.1.2 Su Sisi Taneciklerinin Momentumu

Yangın söndürmedeki başarı ve başarısızlık genellikle spreynin momentumundaki değişimlere bağlıdır. Sprey momentumunu oluşturan 3 ana faktör vardır. Bunlar;

(1) spre y hız ı, (2) spre yin yang ın böl gesi ne ol an i zafi hız ı, (3) ale vi n mer kezi ne veya yak ıt yüzeyi ne ulaş an su kü tle si.

Bir su sisi sist emi ni n sö ndür me kapasitesi onun ale v le ol an kompl i ke iliş ki si ne, mah al de bu lu nan en gel lere, ha va lan dır ma ş art lar ına, yak ıt öz el li k le ri ne, ta ne ci k boy ut unun da ğ ılı m na, ak ı yo ğ un lu ğ u na ve spre y mo men tum na ba ğ lı dır. Do ğ al ol ar ak yük sek hız da suyun boş alt ıl ma sı yak ıt ın da ğ ıl ma sı na ve yang ı n ın da ha kö t ü so nu ç lar do ğ ru ma sı na se be p ol a ca k tır. Spre y mo men tum unun en fa z la ve ri mi li ğ i spre yin yang ın ale vi ne ba ğ lı ol ar ak ma xi mum i ste ni len öz el li k le ri ve re me si yle ol a ca k tır. Bu se be p ler den do la y ı mo men tum un kon trol ü sa de ce do ğ ru ti p no z ul le ri n se ç il me si yle de ğ il ayn ı za m an da on lar ın stra te jik ol ar ak en do ğ ru bi ç i m de yer le ş ti ri l me si yle ol a ca k tır.

3.1.3 Su Sisi Kalitesi

Bir sö ndür üc ü ol ar ak suyun ki myasal ya pı sı yang ın sö ndür me sis te mi nde ki per for mans ı nı bü y ük öl ç ü de et ki ler. Ya pı lan de ne y ler or ta ya ko y mu ş tır ki bel ir li bir mi k tar so dy um kl or ü r iht i va eden su sisi sis te mi da ha ba ş a rı lı bir ş e kil de yang ı n sö ndür mü ş tır. %2.5 or an ı nda de niz suyu iht i va eden su sisi sis te m le ri saf su kul lan ı lan sis te m le re gö re di zel yak ıt yang ı n lar ı nı da ha az su kul lan ar ak ve %40 – 50 ar a sı da ha kı sa za m an da ba ş a rı lı bir ş e kil de sö ndür mü ş tır. Yang ı n ara ş tır ma la bo ra tu ar lar ı nda ya pı lan di ğ er de ne y ler de %0.3 AFFF kö p ü k kul lan ı lan su sisi sis te m le ri ni n de hi dro kar bon kö ken li yang ı n lar ı n sö ndür ü l me si nde bü y ük ba ş a rı sa ğ l a dı ğ ı gö z l e n e n mi ş tir [4].

Su sisi sis te mi nde kul lan ı la bi le cek baş lı ca ki mya sal lar: an ti friz, yang ı na da ya nı klı tu z lar, man tar ve ba k te ri ü re me si ne en gel le ye cek m ad de ler, fil mol ü ş tu ran m ad de ler, A veya B sı nı fı kö p ü k ol u ş tu ran m ad de ler vb. Kat k ı m ad de le ri ek le ye rek sis te mi n da ha ve ri mi li bir ş e kil de ç a lış ma sı he de f le ni r ken bu ar da ko ro zy on ve i n san sa ğ lı ğ ı na ol a bi le cek yan et ki ler pro ble mi or ta ya ç ı k mı ş tır. Ko ro zy on et ki si sis te mi kul lan a ca k ol an ki ş i le ri veya si go rta ş ir ke t le ri ni di rek ol ar ak yak ı n dan il gi len di re ye, i n san sa ğ lı ğ ı na ol an yan et ki le ri ise h ü k ü m et ve sa ğ lık ku ru lu ş lar ı nı bu ko nu ü ze ri nde da ha de tay lı ara ş tır ma lar ya pıl ma sı na ne den ol mu ş tır.

3.2 Su Sisi Üretimi Yöntemleri

Su sisi üretimi yöntemleri basitten çok kompleks sistemlere doğru gitmektedir. Yüksek hızda dönen diskli sistemler, ultra sesli titreşimli sistemler, parlayıp daha sonra yoğunlaştırılan kızgın buharlı sistemler, çözülmiş gazların ve patlayıcı maddelerin ani den boşaltıldığı sistemler kompleks sistemlere örnek olarak verilebilir. Yangın söndürme de istenilen suyu 1000 mikrondan daha küçük taneciklere ayırabilecek ve amaçlanan söndürme mekanizması için gerekli olan debiyi verebilecek sistemlerdir. Su sisi üretmek için gerekli olan depolanmış enerji veya pompa sisteminin kullanılması ekonomik açıdan tercih nedeni dir.

Su sisi sistemi hala gelişme aşamasındadır. Genel de su sisi nozullerinin dizaynı 3 ana prensipte yapılmaktadır: (i) su jetinin bir deflektör üzerine çarpması, (ii) yüksek hızdaki su jetinin bir nozulden fışkırması, (iii) sıkıştırılmış hava veya azot gazının kullanılarak suyun küçük taneciklere parçalanması. Bu üç metot yıllarca nozul üreticileri tarafından kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir yanlışlık bütün su sisi sistemlerinin yüksek basınç altında çalışmasıdır. Bunun ana sebebi otomatik yangın söndürme sistemlerinde ilk olarak kullanılan su sisi sistemlerinin 68 bar gibi yüksek basınç altında çalışması olmuştur. Fakat günümüzde düşük basınç altında çalışabilen su sisi sistemi tasarlanmıştır. Su sisinin üretimi yöntemi onun söndürme kabiliyetini tek başına belirleyen etken değildir. Söndürme için gerekli olan akı yoğunluğunun, sprej momentumunun, tanecik dağılımının karşılanması çok daha önemlidir. Su sisi üretimi yöntemi sistemin maliyetini ve güvenilirliğini direkt olarak etkileyen faktördür.

Bir grup nozul tarafından üretilen su sisi tek bir nozul tarafından üretilen su sisinden çok farklıdır. Birbiriyle çakışan türbülanslı sprejler tanecik dağılımı değiştireceklerdir. Her bir nozulun sprej özelliği diğer nozuller ile birleştiğinde mahal içinde oluşacak akı yoğunluğunu belirleyecektir. Nozul aralarındaki mesafeler ve her bir nozulun koruyabileceği alan üretici firmanın montaj talimatnamelerine göre yapılmalıdır. NFPA-750’de istenilen nozullerin uluslararası kuruluşlar tarafından onaylanması için birebir test ortamından geçmesi dir. Aynı zamanda uygulama aşamasında da onay alımı sırasında kullanıldığı test ortamının tamamen benzerinde kullanılması şartı vardır.

3.2.1. Darbeli Nozuller

Darbeli nozuller bir su jetinin bir deflektöre çarpması sonucu suyun küçük parçalara bölünmesi prensibi ile çalışır. Bunlar standart sprinklerleri, klasik basınç sistem nozullerini kapsamaktadır. Jet hızı ve çarpmanın olduğu yüzeyin şekli tanecik dağılımı, akı düzgünlüğünü, spreyn momentumunu belirler. Şekil 3.2.1 darbeli nozullere örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.2.1 Darbeli Nozul [13]

Düşük basınçlarda çalışan darbeli nozullerin dizaynı basittir ve bu nedenle maliyeti düşüktür. Bu tip nozuller genelde 2. ve 3. sınıf spreyni oluştururlar. Spreyin koniklik açısı 60 ila 120 derece arasındadır. Deflektörün büyüklüğü ve şekli koniklik açısını belirler. Darbeli nozullerde spreynin yatayda aldığı mesafe suyun deflektöre çarpıp enerji kaybetmesinden dolayı sınırlıdır. Bu çeşit nozullerle A sınıfı ve hatta engellerin mahal üzerindeki etkisini az olduğu sıvı yakıt yangınları söndürülebilir. Deflektöre çarpma sırasında oluşan spreyn momentumundaki düşüş ve akıdaki dengesizlik bu tip nozullerin büyük makine dairelerinde kullanılması engellemiştir.

Nozul akısı ve nozul basıncı arasında sprinkler sisteminde kullanılan basit formülasyon darbeli nozuller içinde kullanılabilir:

$$Q = k\sqrt{P_s} \quad (3.1)$$

Q : açığa çıkan akı (lt/dak veya m³/saat)

k : nozul karakteristik sabiti

P_s : nozul ucundaki su basıncı

Tablo 3.2.1’de Spraying Systems firmasının ürettiği darbeli tip su sisi nozullerine ait basınç-debi değerleri gösterilmektedir.

Tablo 3.2.1. Nozul Basınç-Debi Tablosu [13]

Nozul Giriş Çapı	Spray Açısı (Derece)					Orifis Çapı (mm)	Kapasite lt/dak			
	60	90	120	150	170		0.7 Bar	1.5 Bar	3 Bar	7 Bar
1/4"	x	x	x			2.4	2.6	3.9	5.5	8.4
	x	x	x	x	x	3.2	4.9	7.3	10.3	15.7
	x	x	x	x	x	4.0	7.6	11.2	15.8	24
3/8"	x					2.4	2.6	3.9	5.5	8.4
	x					3.2	4.9	7.3	10.3	15.7
	x					4.0	7.6	11.2	15.8	24
	x	x	x	x	x	4.8	11.4	16.7	24	36
	x	x	x	x	x	5.6	15.1	22	32	48
	x	x	x	x	x	6.4	20	30	42	64
	x	x	x	x	x	7.9	31	46	65	99
1/2"	x	x	x	x	x	9.5	45	67	95	145
		x				10.3	49	70	98	155
	x	x	x	x	x	11.1	62	92	129	198
					x	12.7	80	117	166	255

3.2.2 Basıncılı Jet Nozulleri

Basıncılı jet nozulleri su jetinin oldukça küçük bir orifisten hızlı bir şekilde geçirilmesiyle çalışır. İnce su jetinin küçük parçacıklara ayrılması orifisinin birkaç milimetre içinde başlar. Su jeti orifisi terk ederken akışkan viskozitesini, jet çapını ve havaya göre olan zafı hızını kapsayan kompleks fiziksel olaylar meydana gelir. Şekil 3.2.2’de basıncılı jet nozullerine örnek bulunmaktadır. Su jetinin küçük taneciklere ayrılması nozul iç kısmına yerleştirilecek bir girdap mekanizması ile kolaylaştırılabilir. Bu tip nozullerin açığa çıkardıkları debi tek orifisli nozuller için 1 lt/dak ile çok orifisli nozuller için 45 lt/dak arasında ve spreyn koniklik açısı 20 ile 150 derece arasında değişebilir.



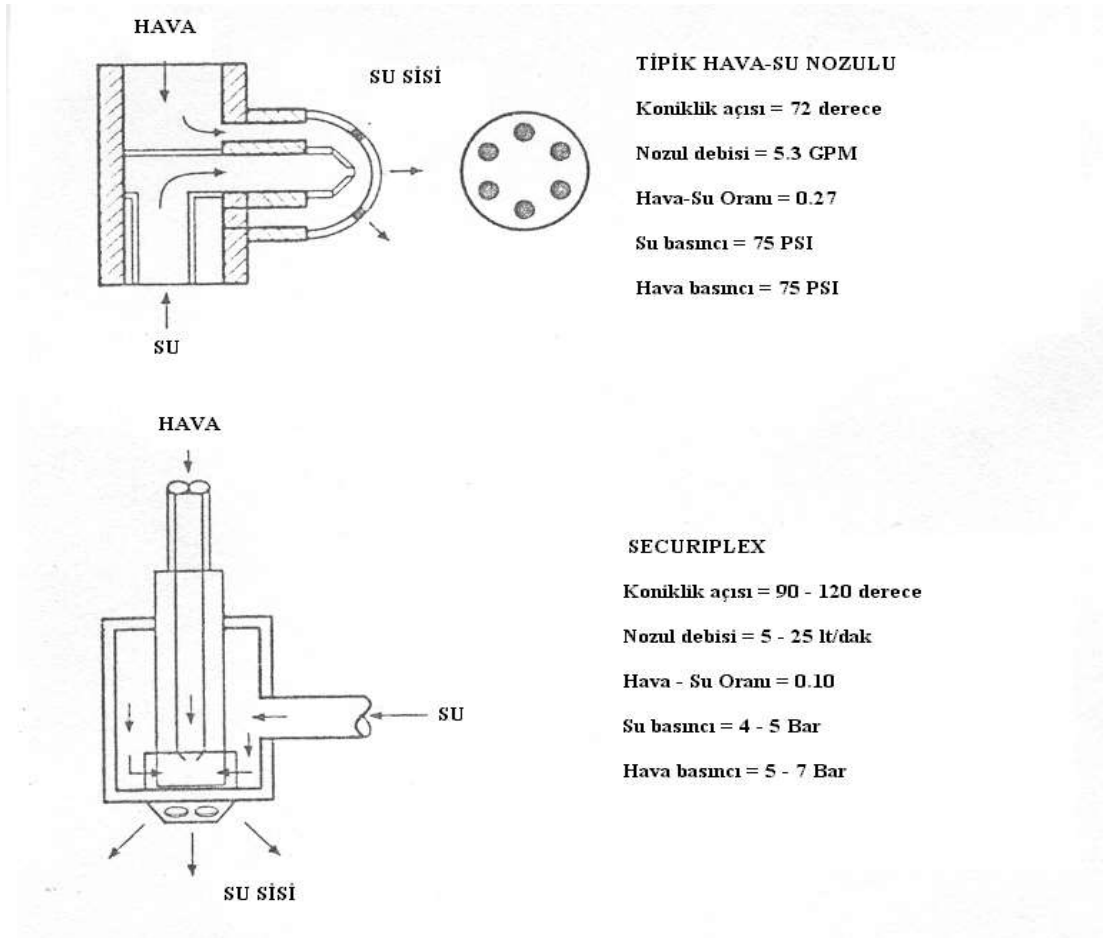
Şekil 3.2.2 Basıncılı Jet Nozullar [13]

Basıncılı jet nozulleri 12 ile 272 bar basınç arasında çalışabilmektedirler. Orifis çapı, nozul iç dizaynındaki detaylar, ör. girdap mekanizmasının dizaynı ve filtre sisteminin bulunması, basıncılı jet nozullerin darbeli nozullere göre daha büyük sistem basıncı gerektirdiğini göstermektedir. Basıncı artmasıyla daha küçük tanecik dağılımı elde etmek mümkün olacaktır. Fakat bu basınç artımında da ulaşılabilecek en üst bir nokta vardır. Daha yüksek basınçların tanecik dağılımı üzerinde yok denecek kadar az etkisi olacaktır.

Çok orifisli jet nozullerde sprinkler sisteminde kullanılan $Q = k\sqrt{P_s}$ formülü debi ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade etmek için kullanılır. Bu durumda üretici firmanın bilgilerine ve onay kuruluşlarının değerlerine danışılmalıdır.

3.2.3 Çift Akışkanlı Nozuller

Çift akışkanlı nozuller aynı zamanda hava atomize eden nozuller olarak da anılırlar. Çalışma prensibi sıkıştırılmış gazın suyu nozul içindeki bir odacıkta parçalara ayırarak orifisten itmesiyle olmaktadır. Çift akışkanlı nozuller düşük basınçlarda (3 – 7 bar) suyun ve sıkıştırılmış gazın etkili bir biçimde kontrol edilmesiyle spreyn momentumunda, tanecik dağılımında, açığa çıkan debide ve koniklik açısında oldukça iyi sonuçlar vermektedirler. Şekil 3.2.3.'de butip nozullere ait örnekler görülmektedir.



Şekil 3.2.3.1 Çift Akışkanlı Nozullar [4]

Çift akışkanlı nozuller yıllardır tarım boyama ve bina nemlendirme sanayisinde kullanılmaktadır. 1980'li yıllarda BP (British Petroleum) petrol kuruluşunun bu tip nozulleri türbin korumalarında kullanmaya başlamasıyla çift akışkanlı nozuller yangın söndürme sistemlerindeki yerlerini almaya başlamışlardır. Çift akışkanlı nozullerde açığa çıkan su ve atomize edici gaz (genellikle hava) miktarı sprinkler sistemlerinde kullanılan $Q = k\sqrt{P_s}$ formülü ile ifade edilemez. Çünkü nozul içinde hava ve su hatları birleşmekte ve birinin basıncı diğerine karşı ters etkili olarak çalışmaktadır. Hava basıncının artmasıyla havanın debisi artacak ve su debisini düşürmeye çalışacaktır. Böylece su hattındaki basıncı değiştirme deneyecektir. Aynı mantıkla su basıncındaki artış hava miktarını kısacak ve hatta aşırı basınç suyun hava hattına girmesine neden olacaktır. Eğer atomize edici ortam çok zorlarsa su sisi düşümü engellenecektir.

Aşağıdaki şekil tipik bir çift akışkanlı nozul için kullanılan atomize edici ve su debisi arasındaki bağlantıyı göstermektedir. Hava - Su (ALR) Oran terimi çift

akışkanlı nozullerde atomize edici ortam ve su ihtiyacını dengelenmede kullanılır. Sistemi ayarlama ve hava ve su debisi arasındaki ilişkiyi kurmada üretici firmaların kataloglarından faydalανılırken genellikle Hava-Su Basınç Oranı (ALR_p) terimini kullanılmaktadır.

$$ALR_p = \frac{P_h}{P_s} \quad (3.2)$$

ALR_p : Hava – Su Basınç Oranı

P_h : Hava basıncı (Bar)

P_s : Su basıncı (Bar)

Değişik nozullerin verimliliğini karşılaştırmak, pnömatik sistem hesaplarını yapabilmek, boru çaplarını belirlemek, basınç regölölör ayarlarını yapabilmek ve sıkıştırılmış gazın toplam miktarını hesaplamak için Hava – Su Oranı genellikle kütleel akış oranlarında verilir

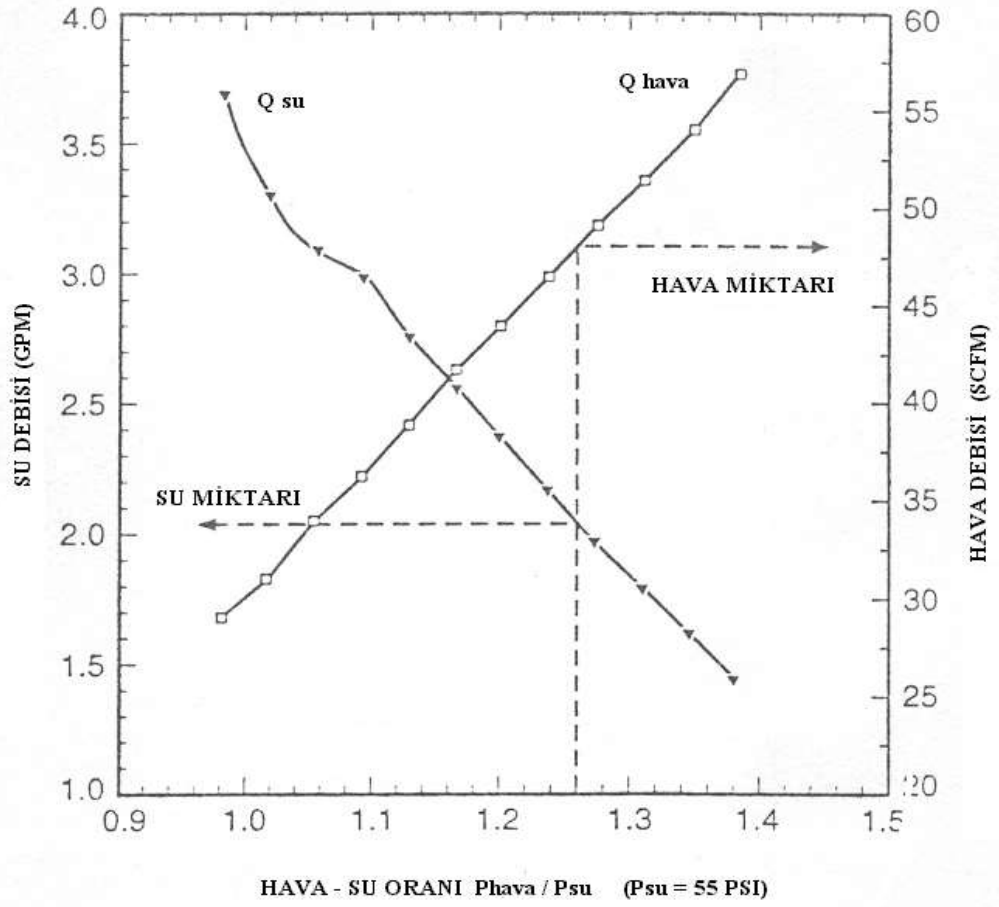
$$ALR_m = \frac{m_{hava}}{m_{su}} \quad (3.3)$$

ALR_m : Hava – Su Kütle Oranı

m_{hava} : Hava debisi (kg/sn)

m_{su} : Su debisi (kg/sn)

Nozul imalatçıları nozullerin en optimumsprey özelliklerini verebildikleri Hava – Su Oranlarını (basınç ve kütleel) vermektedirler. Açık ve birden çok nozulün kullanıldığı sistemlerde toplam sıkıştırılmış gaz miktarı maliyet olarak çok pahalı olabileceğinden atomize edici ortamı minimuma çekmektercih nedeni olacaktır. Çift akışkanlı nozullerde etkili çalışma noktası istenilen spre y özelliklerini en düşük ALR_m de verebilenlerdir, ö. 0.05 ile 0.10 arası gibi.



Şekil 3.2.3.2 Hava-Su Mktarı Grafiği [4]

3.3 Aktivasyon Mekanizmaları Açısından Nozul Çeşitleri

Su sisi üretiminde kullanılan nozuller aktivasyon şekilleri bakımından üç ana gruba ayrılırlar [1,4]: otomatik, otomatik olmayan ve manuel nozuller

Otomatik nozuller sisteminde bulunan diğer nozullerden bağımsız olarak nozul içinde bulunan bir algılama veya aktivasyon mekanizması sayesinde çalışan nozullerdir. Sprinkler tipi düşük basınçta çalışan darbeli nozuller bu kategoriye girmektedir. Isıya duyarlı bir termik elemanın nozul içine yerleştirilmesi ve bunun ısıya maruz kaldığında eriyerek veya patlayarak suyun geçişine izin vermesiyle otomatik tip nozuller çalışmaktadır.

Otomatik olmayan nozuller tanımına baskın sistemlerde kullanılan açık orifisli nozuller girmektedir. Su, bu nozullere bağımsız bir algılama sisteminin su akışını kontrol eden vana grubunu aktive etmesiyle ulaşabilmektedir. Bağımsız

aktivasyon sisteminin dizaynı içerdği detektör tiplerine göre su sisi sistem dizaynının bir parçası olmaktadır. Bütün sistem manuel müdahale olmadan otomatik olarak devreye girmekte fakat nozuller kendi başlarına olası bir yangına tepki vermemektedirler.

Meloz nozuller genelde kapalı olan bir nozulun aktive olmasıyla diğer nozullerin buna bağlı olarak çalıştıkları nozullerdir. Örneğin yangın sırasında bir nozul aktive olduğu zaman diğer nozuller buna bağlı olarak aniden otomatik devreye girmektedir. Bunu sağlamak için nozul ucunda bulunan ısıya duyarlı cam sensörün ucuna elektrik sinyali ile ısınacak bir madde koyulmaktadır. Isınan madde cam kırarak ve böylece nozullerin çalışmasını sağlayacaktır. Bir başka çalışmada nozullerin hidrolik bir pilot hat vasıtasıyla devreye girmesini sağlayacak olan sistem üzerindedir. Fakat bu konu hala araştırılmaktadır.

3.4 Su Sisi Sistemleri

Yangını kontrol etmeyi, bastırma ve söndürmeyi amaçlayan, bir su kaynağına veya su ve atomize edici ortama bağlı bulunan, su sisini istenilen bölgelere ulaştırma hedefleyen, bir veya birden fazla nozul ihtiva eden dağıtım sistemlerine su sisi sistemleri denir [1]. Su sisi sistemleri çalışma basınçlarına göre üç kategoriye ayrılır[1,4]: (i) düşük basınçlı sistemler, (ii) orta basınçlı sistemler, (iii) yüksek basınçlı sistemler

Çalışma basıncı sistemin maliyetini ve performansını bir çok yönden etkiler. Spreyin özellikleri, örneğin tanecik dağılımı, debi, spray momentumu direk olarak çalışma basıncından etkilenir. Aynı zamanda yüksek debide yüksek basınç sistemdeki pompalama maliyeti arttıracığından fiyatın artmasına sebep olacaktır. Ancak bir gerçek vardır ki yüksek basınçlı sistem her zaman en iyisi, düşük basınçlı sistem her zaman en ucuzu değildir. Örneğin sistem basıncının artması boru çaplarının küçülmesine ve nozul arasındaki mesafenin artmasına neden olabilir, böylece sistem ucuzlaşma yoluna gidebilir.

Su sisi dağıtım sistemini 12.1 Bar'dan düşük basınçlara maruz kaldığı sistemler düşük basınçlı sistemler olarak tanımlanır. Orta basınçlı sistemlerde ise sistem basıncı 12.1 ile 34.5 Bar arasında değişmektedir. Basıncının 34.5 Bar'dan fazla olduğu sistemler yüksek basınçlı sistemler olarak tanımlanmaktadır.

3.5 Su Sisi Sistem Çeşitleri

NFPA-750’de [1] su sisi sistemleri sprinkler ve sprej sistemlerinde olduğu gibi dört ana gruba ayrılmışlardır: (i) ıslak borulu sistemler, (ii) baskın sistemler, (iii) kuru borulu sistemler, (iv) ön uyarılı sistemler

Islak borulu sistem kapalı tip nozullardan oluşan ve boruların su ile dolu olduğu sistemdir. Her nozul ısıya karşı duyarlı bir termik elemanı ihtiva etmektedir. Nozuller ısı ile aktive oldukları için açıldıkları anda su boşalmaya başlar. Sprinkler sistemine benzeyen bu uygulamada mahalde birkaç adet nozul bulunduğu anda veya korunacak olan mahallin tamamının su sisi ile kaplanması istenmediği durumlarda uygulanabilir.

Baskın sistemlerde açık nozuller korunacak olan mahalin tamamına veya cismin etrafına yerleştirilir. Suyun sistem girişi kontrol panelinden gelen sinyallerin özel bir vanayı (baskın vana) harekete geçirmesi ile olur. Sistem baskın vanayı tetikleyebilmesi için özel bir algılama sistemine ihtiyaç duymaktadır. Baskın vananın aktive olmasıyla su sisteme girer ve bütün nozullardan aynı anda boşalır. Baskın sistem mahallin tamamının su sisi ile kaplanmasının istendiği durumlarda kullanılmaktadır.

Kuru borulu sistemde kapalı sıcaklıkla aktive olan nozuller kullanılmaktadır. Islak sistemden farklı olarak boru içinde suyun kontrol vanasından geçmesini engelleyen basınçlı hava bulunmaktadır. Sıcaklık sonucu aktive olan nozullardan ilk olarak borularda bulunan hava boşalır ve borulardaki hava basıncının düşmesi ile vana çalışmaya başlayarak suyun sisteme girmesine izin verir. Sisteme giren su sadece açık olan nozullardan boşalır.

Ön uyarılı sistem kuru borulu sistem gibi kapalı nozullardan oluşur ve borularda hava vardır. Sisteme suyun girişi, kontrol vanasını aktive etmek için bir kontrol panelinden gelecek olan sinyale gereksinim duymaktadır. Bu sebepten dolayı sistemde özel bir algılama sistemine ihtiyaç vardır. Algılama sisteminden panele gelen uyarılarla kontrol paneli vanayı tetikler ve borular su ile dolar. Bundan sonra sistem ıslak borulu sistem gibi çalışır ve ancak nozullerinin ısınma sonucu açılmasıyla su boşalır.

3.6 Su Sisi Sistemlerinde Kısıtlamalar

Bir çok ürün veya sistem gibi su sisi sistemlerinin de uygulanmasında sakıncalar doğurabilecek durumlar mevcuttur. Su sisi sistemleri su ile direk olarak tepki neye girdiğinde tehlikeli reaksiyonlar veya zararlı ürünler oluşturabilecek maddelere karşı kullanılmalıdır [1]. Bunlar;

- reaktif metaller, örneğin lityum, sodyum, potasyum, magnezyum, titanyum, plütonyum vb.
- metal alkoksitler, örneğin sodyum metoksit
- metal amidler, örneğin sodyum amid
- karpitler, örneğin kalsiyum karpit
- halitler, örneğin benzoil klorür, alüminyum klorür
- hidritler, örneğin lityum alüminyum hidrit
- okzalitler, örneğin fosfor oksibromit
- silanlar, örneğin triklometilsilan
- sülfidler, örneğin fosfor pentasülfid
- siyanatlar, örneğin metilsiyanat

3.7 Su Sisi Sisteminin Söndürme Mekanizmaları

Su sisi sistemi yapı itibarıyla sprinkler sistemine çok benzerdir. Fakat söndürme mekanizması tamamen farklıdır. Su sisi sisteminin söndürme mekanizması 3 ana ve 2 yardımcı mekanizmadan oluşur. Ana mekanizmalar söndürme işlemi sırasında baskın rol oynar ve yangının söndürülmesinde önemli pay sahibidirler. Bunlar (i) ısı çekilmesi, (ii) oksijen seyreltilmesi ve (iii) ısıyı alan ısı transferinin engellenmesidir. Yardımcı mekanizmalar söndürme sırasında rol alan fakat etkilerinin tam olarak kestirilemediği mekanizmalardır. Bunlar kendi arasında (i) buhar-hava karışımının seyreltilmesi ve (ii) kinetik etkiler olarak iki alt gruba ayrılabilir.

3.7.1. Ana Söndürme Mekanizmaları

3.7.1.1. Isı Çekilmesi (Soğutma)

Bir yangına su ile müdahale edildiğinde ısı üç alanda absorbe edilir: (i) sıcak gazlardan ve alevden, (ii) yakıttan ve (iii) yangın mahallinde bulunan maddelerden ve yüzeylerden. Yakıttan ve mahalde bulunan maddelerden ısı çekilmesi yangının yayılma hızını azaltır ve bu işlemi gerçekleştirebilmek için küçük tanecikli su sisine pek ihtiyaç yoktur. Büyük su tanecikli sistemleri (standart sprinkler sistemi) bu işlemi çok rahat bir şekilde sağlayabilmektedir.

Büyük su tanecikli sistemlerle karşılaştırıldığında su sis sistemi sıcak gazlardan ve alevden ısı çekilmesi işlemi daha hızlı bir biçimde yapmaktadır. Su tanecik boyutlarını küçültmek su kütlesinin temas yüzeyini arttıracığından ısı transfer oranını artacaktır [4, 7, 9]. Sıvı fazda bulunan su taneciklerinin buharlaşarak gaz fazına geçmesiyle ısı emilir ve emilen bu ısı yeterli miktarda olursa alevin sıcaklığı yanma işleminin devamını sağlayacak değerlerin altına düşer. Böylece yangın söndürülür. Teorik çalışmalarda difüzyon alevlerde alev sıcaklığı yaklaşık 1600 K (1327° C) altına düşürülebilirse yanmanın duracağı bildirilmektedir.

Sıvı yakıt yangınlarında alevin soğutulması yakıtın yüzeyine doğru ışınımla olan ısı transfer oranını azaltacaktır. Sonuçta yanıcı yakıt buharının oluşumu düşecektir. Oluşan alev sıcaklığının ve yanıcı buhar oluşumunun düşmesi bazı durumlarda yangının tamamen sönmesiyle sonuçlanır. Parlama sıcaklığının (PS) normal ortam sıcaklığından yüksek olduğu sıvı yakıt yangınları (ör. Dizel yakıtı, $PS \cong 60^\circ C$) alevin soğutulması ve ışınımla olan ısı transferinin azaltılması ile söndürülebilir. Parlama sıcaklığının normal ortamsıcaklığından düşük olduğu sıvı yakıt yangınlarını (ör. Heptan, C_7H_{16} , $PS \cong -4^\circ C$) alevin soğutulması yöntemiyle söndürmek imkansızdır, çünkü yakıt yüzeyinin üzerindeki buhar-hava sıcaklıklarını yanma limitinin altına düşürmek olanaksızdır. Mahalde bulunan herhangi bir sıcak madde veya alev parçası yanmayı tekrar başlatabilir.

Katı yakıt yangınlarında da alevin soğutulması yakıt yüzeyine ışınımla olan ısı transferini ve yakıtın payrolisiz oranını düşüreceklerdir. Fakat kor maddelerde yanma işlemi üst yüzeyde oluşan zengin karbonlu bölgede devam edecektir. Kor bölgesinin üzerindeki difüzyon alevin soğutulması korun iç çatlaklarına doğru olan ışınımla

beslemesini engelleyecektir. Yangının söndürülmesi için su taneciklerinin kor bölgeye girip yanan ve yanmayan yakıt sınırına ulaşması gerekmektedir. Öbür taraftan alev yüksekliği ve yükselen duman hızı az olduğundan dolayı büyük su tanecikleri buharlaşıp yakıt yüzeyini ıslatabilirler.

3.7.1.2 Oksijen Seyreltilmesi

1955 yılında Braidech'in de yapmış olduğu açıklamada su sisi sisteminde söndürme işlemi esas olarak yangın mahallinde bulunan havanın (oksijeni) seyreltilmesiyle gerçekleşmektedir. Yani oksijenin seyreltilmesi alevin soğutulmasından daha baskın bir rol oynamaktadır. Su tanecikleri 1 atm basınçta buharlaştığında yaklaşık 1700 kat hacimsel olarak genişir. Eğer buharlaşma çabuk olursa su buharı havanın yakıtla olantemasını kesecektir. Mevcut olan oksijen belirli bir konsantrasyon değerinin altına düşürülürse yanma verimsiz bir biçimde gerçekleşecek ve soğutma işlemiyle söndürülmesi daha da kolaylaşacaktır. Yanma işlemini sağlayacak oksijen konsantrasyon miktarı yakıtın türüne göre değişmektedir. Genel olarak hidrokarbon kökenli gazlarda ve buharlarda oksijen konsantrasyonu %13'ün altına düştüğü zaman yanma durmaktadır. Katı yakıtlarda ise bu oran %7'ye kadar düşmektedir [4, 7, 10]. Bu sonuç bizlere hidrokarbon kökenli havuz yangınlarının neden tahta parçalarının oluşturduğu yangınlardan daha kolay söndürüldüğünü açıklamaktadır.

Oksijen seyreltmenin etkilerinden biri de bize büyük yangınların neden küçük yangınlardan daha kolay söndürüldüğünü açıklamaktadır. Büyük yangın yanmanın başlama safhasında açığa daha çok ısı çıkarır ve böylece su tanecikleri daha çabuk buharlaşır. Aynı zamanda büyük yangında daha fazla oksijen harcanacağından ortamda bulunan oksijenin konsantrasyonu su sisinin de devreye girmesiyle daha kısa bir sürede istenilen değerin altına düşecektir. Bu etkilerin birleşmesiyle büyük yangınları söndürmek için gerekli olan su debisi miktarı küçük yangınlara göre daha azdır.

3.7.1.3 Isının İhtiya Gerçekleşen Isı Transferi nin Engellenmesi

Isının ihtiya gerçekleşen ısı transferi nin engellenmesi yangının yanmamış maddelere sıçramasını önlemeye ve buharlaşma veya pyroliz oranının düşürülmesinde büyük

rol oynar. Su sisi tarafından sağlanan ısıyı engellenmesi yangın sönmeye de maddeleri ve insanları ısıtımın yan etkilerinden korur. Gerçekleştirilen teorik çalışmalarda ısıtımın engellenmesinin su taneciklerinin büyüklüğüne ve yoğunluğuna bağlı olduğu ortaya atılmıştır. Su taneciklerinin çapının 50 mikrometreden küçük olduğu sistemlerde ısıtım etkilerinin daha kolay engellendiği gözlemlenmiştir [9].

3.7.2 Yardımcı Söndürme Mekanizmaları

3.7.2.1 Buhar-Hava Karışımının Seyreltilmesi

Su spreyini içine nüfuz eden hava ve su buharı yakıt yüzeyindeki buhar/hava karışımını yanma limitinin altına düşürebilir. Dizel yakıtlarda ($PS \cong 60^\circ C$) alevin soğutulması yakıt yüzeyine doğru olan ısı akışını azaltacağından yakıtın buharlaşması yavaşlayacaktır. Buharlaşan yakıtın hava ile seyreltilmesi buhar/hava konsantrasyonunu yanma limitlerinin altına çekecektir. Fakat bu işlemin heptan gibi düşük parlama sıcaklığına ($PS \cong -4^\circ C$) sahip yakıtlarda gerçekleşmesi imkansızdır. Bu ekti yardımcı mekanizmalar grubuna girmektedir çünkü tek başına yangının söndürülmesinde nasıl bir etkiye sahip olacağı tam olarak kestirilememektedir [4].

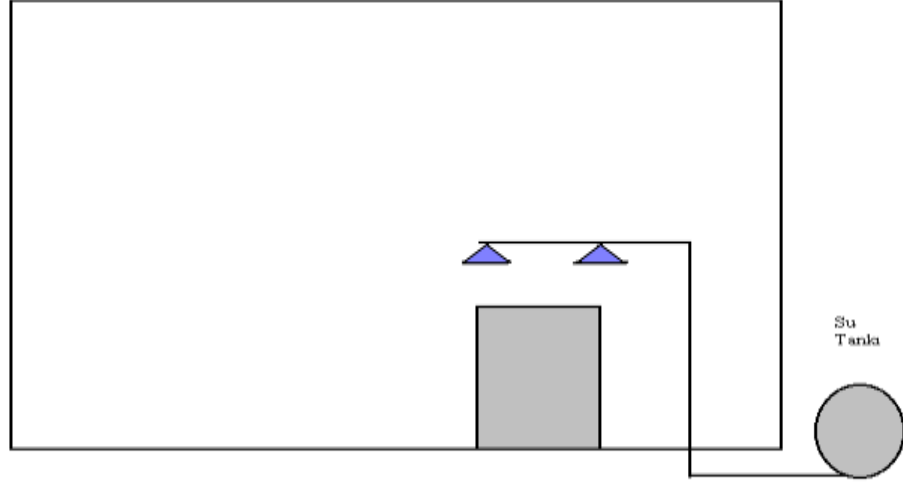
3.7.2.2 Su Sisi'nin Alevdeki Kinetik Etkileri

Bazen havuz yangınları su sisi'nin uygulanmasından sonra körüklenmektedirler. Su sisi'nin ilk temasında yangında parlamanın oluştuğu görülmüş ve hatta açığa çıkan ısı'nın uzun süre boyunca artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bir çok durumda parlamanın ardından alev çabucak sönmüştür ve yangın söndürülmüştür. Eğer sprey özellikleri yangını söndürmede yeterli olmazsa, yangının şiddetini artırarak devamettiği bilinmektedir. Bu konu araştırmaya açık durumdadır [4, 5].

3.8 Su Sisi Sistemleri Uygulama Çeşitleri

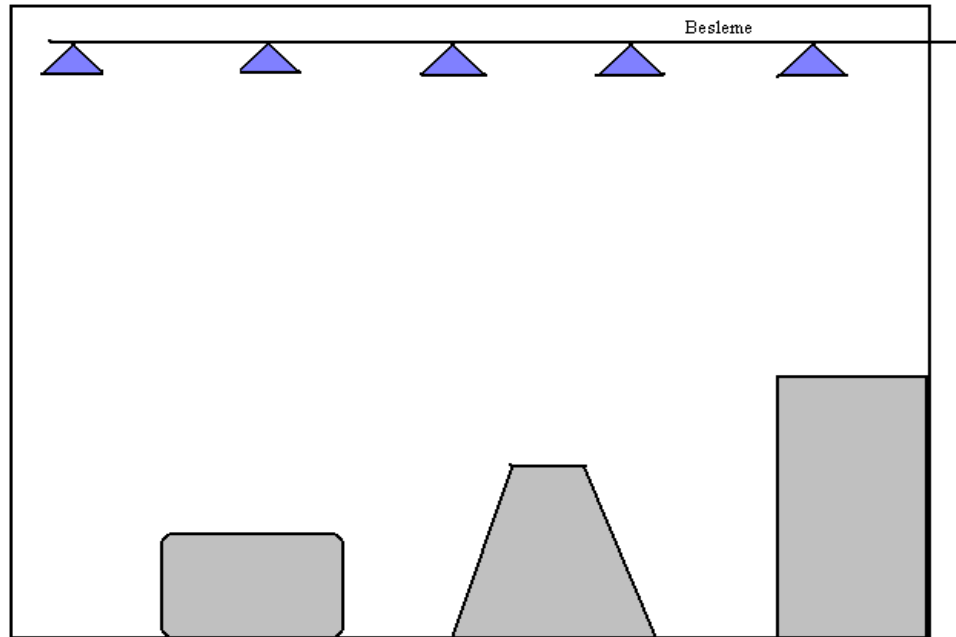
Su sisi sistemlerinin korunacak olan tehlike bölgesine göre üç farklı şekilde uygulanabilirler. Bunlar: (i) yerel, (ii) tüm mahal, (iii) bölgesel uygulamalar

Yerel uygulamalarda su sisli mahal içinde bulunan belirli bir tehlikeli bölgeyi ve nesneyi korumak için dizayn edilirler. Şekil 3.8.1’de su sisli sisteminin tek bir nesneyi korumaya yönelik olduğu görülmektedir.



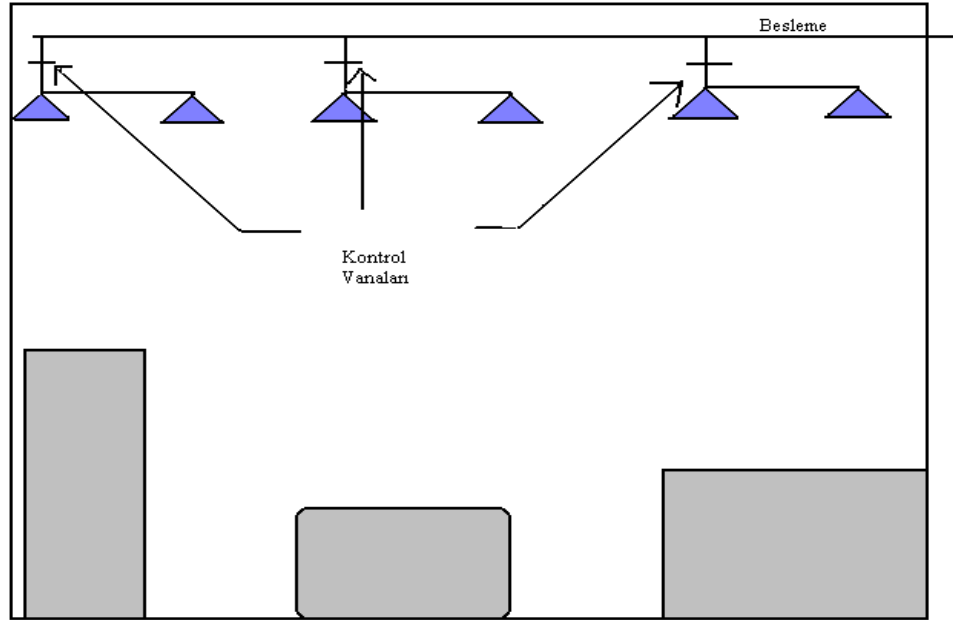
Şekil 3.8.1. Yerel Uygulama [4]

Tüm mahal uygulamaları mahallin tamamını yangından korumayı amaçlar. Açık tip nozullar grid sistemi halinde monte edilmiş olup sistem devreye girdiğinde bütün mahali eşit bir biçimde korur. Aşağıdaki şekil tüm mahal uygulamalarına örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.8.2 Tüm Mahal Uygulaması [4]

Bölgesel uygulamalarda ise mahal içinde çıkabilecek bir yangında sadece belirli bir bölgeyi korumayı amaçlar. Bu sistemler tüm mahalli korumak için gerekli olan su ihtiyacının veya pompa debi ve basıncının yüksek olduğu durumlarda tercih nedeni olabilir. Sistemi bölgelere ayırmak sistemin kendi içinde ayrı bir kontrol ve algılama düzeneğini ve bunların yangın sırasında doğru bir şekilde çalışarak su sisi sistemini harekete geçirmesini gerektirir. Şekil 3.8.3 bölgesel uygulamalara örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.8.3. Bölgesel Uygulama [4]

3.9. Su Sisi Sisteminin Uygulama Alanları

1994 yılında genicilik sektöründe halon bazlı sistemlerin yerine kullanılmaya başlanan su sisi sistemleri ilerleyen zamanlarda sanayi ve endüstri kuruluşlarında da tercih edilmeye başlanmıştır. Bu bölümde su sisi sisteminin başarılı ve/veya başarısız şekilde kullanıldığı uygulama yerlerinden ve hangi tip söndürme mekanizmasının etkin olduğundan bahsedilecektir.

3.9.1. Uçak Yolcu Kabinleri

1984 yılında İngiltere’de meydana gelen uçak kazasında insanlar hayatlarını kaza sonrasında açığa çıkan yangının yakıt zerrecikleriyle etrafa hızlı bir şekilde yayılmasından dolayı kaybetmişlerdir. 1985 yılından itibaren İngiliz Sivil Havacılık Kurumu, Amerikan Federal Havacılık Kuruluşu, Airbus ve Boeing firmalarının katılımıyla uçak yolcu kabinlerinde kullanılabilecek bir su sisi söndürme sistemi geliştirilmeye başlanmıştır. Bu çalışmanın amacı uçak kazaları sonrasında yayılan yakıttan dolayı çıkan yangınlardaki ölüm oranlarını azaltmaya yöneliktir.

Yolcu kabinlerinde kullanılan su sisi sisteminin amacı kabin dışında bulunan sıvı yakıt havuz yangınlarını söndürmek değildir. Esas amaç kabin içine doğru olan yangının engellenmesi ve kabin içine giren sıcak gazların soğutulmasıdır. İstenilen sonuç en azından insanların hayatta kalabileceği minimum 3 dakikalık yaşanabilir ortam sağlayabilmektir. Bu 3 dakika yapılan araştırmalar sonucunda uçağın tamamen boşaltılması için gerekli olan süre olarak tespit edilmiştir. Söndürme mekanizması taşıma ve ısıtım ile olan ısı transferinin ve kabin içine giren sıcak gazların engellenmesinden oluşmaktadır.

Test raporlarında ortaya çıkan sonuç su sisi sisteminin istenilen değerleri rahatlıkla sağladığı ve hatta aştığı yönündedir. Sistem bölgesel olarak uygulanmış ve her bölge otomatik termik olarak devreye girmiştir. Basıncılı kaplarda en az üç dakikalık su ihtiyacını karşılayacak kapasitede su bulunmaktadır. Maliyet analizleri yapıldığında sistemin kurtarılabilecek olan insan sayısı karşısında pahalı olduğu yönünde yorumlar ortaya çıkmış ve yerel yönetimler tarafından yeni imal edilen uçaklarda uygulanması zorunlu kılınmıştır [4].

3.9.2. Gemi Makina Daireleri

Gemi makina dairelerinde oluşan yangınlar genelde diesel yakıtının veya hidrolik yağların ısınmış olan makine yüzeylerinden, yataklardan veya elektrik arklarından dolayı yanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Havuz veya spreysel hidrokarbon kökenli yangınlar çok hızlı bir şekilde yayılabilmekte ve hatta gemiyi tamamen tahrip edebilmektedirler. Uluslararası Gemicilik Organizasyonu (IMO) uzun yıllar boyunca büyük gemilerin makine dairelerinin CO₂ veya halon bazlı söndürme sistemleriyle korunmasını zorunlu kılmıştır. Halon bazlı söndürme sistemlerinin ozon

tabakasındaki olumsuz yan etkilerinden dolayı ve CO₂ sistemlerinin yanlış boşalmalarda ölümcül kazalara sebep olması Uluslararası Gemicilik Organizasyonu'nun alternatif bir söndürme sistemi arayışına itmiştir.

1990 yılından itibaren bir çok firma gemi makine dairelerinde kullanılmak üzere su sisi sistemleri geliştirmeye başlamıştır. Sistem kontrol panelinden, algılama sisteminden, su depolanmasından, filtrasyon ve basınçlandırma işleminden ve özel olarak dizayn edilmiş nozullardan oluşmaktadır. Sistemin amacı etrafa yayılan veya sıçrayan dizek yakıtların, hidrolik yağların çıkardığı yangınları söndürmektir. Yangın boyutları genelde 1 ile 20 MW arasında değişmektedir. Söndürme zamanı olarak 1 ile 3 dakika arasında bir zaman tercih edilmektedir. Söndürme mekanizması alevin, sıcak gazların ve yakıtın soğutulmasını, oksijeni seyreltilmesini, yanmamış yüzeylere doğru olan taşınım ve ışınlama gerçekleşen ısı transferini engellenmesini kapsar. Yanma işleminin daha karışık olması, havalandırmanın ve mahal içinde bulunan engellerin artması, söndürme mekanizmalarının bir veya bir kaçında performanslarının düşmesine sebep olacaktır. Genelde tavana, hatta bazen orta seviyelere, grid sistemde monte edilmiş açık nozullardan oluşan baskın söndürme sistemleri kullanılmaktadır. Nozuller yüksek veya düşük basınçta çalışabilen jet nozuller, çift akışkanlı nozuller veya darbeli nozuller olabilir. Ayrı bir algılama sistemi tarafından aktive olmaktadır. Tatlı veya tuzlu su söndürme kullanılabilir. Uluslararası Gemicilik Organizasyonu en az 30 dakikalık su beslemesini zorunlu kılmalıdır.

3.9.3. Türbin Etrafı

Türbin etrafları aslında bir gemi makine daireesi çeşidir. Türbinler kontrollü bir şekilde havalandırılan kapalı mahallerde bulundurulurlar. Birçok makine daireesinden farklı olarak türbin etrafında yangın oluşturabilecek sebepler sadece türbinin kendisinden ve yakıt hattından kaynaklanmaktadır. Yakıt hatlarında oluşabilecek bir kaçak spreng yangınlarına veya üç boyutlu etrafa sıçrayan yangınlara sebep olabilir. Çalışma sırasında ısınmış olan türbin kanatları ani soğutulmaya maruz bırakılırlarsa çok büyük zarar görürler. Bu sebepten dolayı geçmişte türbin üzerine su püskürtülmesinin tehlikeli olacağı kabul ediliyordu veya en azından türbinin durmasına kadar su ile müdahale edilmiyordu. Halon 1301 gazlı söndürme sistemi bu mahalin tamamını koruyacak şekilde dizayn ediliyorlardı.

İlk olarak Securiplex Technologies firması BP petrol şirketinin Norveç kıyılarında bulunan platformlarındaki türbinler için su sisi sistemini geliştirdi ve bu sistemi çin uluslararası onay kuruluşlarından onay aldı. Sistemin amacı türbin ve türbin kanatlarına zarar vermeden oluşabilecek olan bir yangını söndürmektir. Söndürme mekanizması alevin, sıcak gazların ve etrafa yayılan yakıtın taşınım yoluyla soğutulmasından, ortamda bulunan oksijen konsantrasyonunun suyun buharlaşarak düşürülmesinden, yanmamış yüzeylere doğru olan ışınlı ısı transferinin engellenmesinden ve sıcak metal yüzeylerin soğutulmasından oluşmaktadır. Sistem basınçlı vanadan ve özel olarak dizayn edilmiş algılama sisteminden oluşmaktadır. Nozullar daha önceden çalışmaları yapılmış ve türbin üstüne, etrafına ve hatta altına yerleştirilecek şekilde dizayn edilmişlerdir. Sistem mühendislik çalışmaları önceden yapılmış olan bir sistemdir [4].

3.9.4 Yolcu ve Mirettebat Kabinleri

Yeni gemicilik yönetmeliklerinde yolcu taşıyan gemilerin sprinkler sistemi veya eşleniğiyle korunmasının zorunlu kılınması sonucu yeni bir söndürme sistemi arayışı hızlanmıştır. Mirettebat ve yolcu kabinlerinde çıkabilecek yangınlar orta tehlikeli ve A sınıfı yangınlardan oluşmaktadır. Bu tür yangınların söndürülmesinde yakıt yüzeyinin ıslatılmasının büyük faktörü vardır. Bu nedenle bu tür mahallerde daha büyük tanecek oluşturabilecek su sisi sistemleri tercih edilmektedir. Su sisi sisteminin tercih edilmesinin en büyük nedeni daha küçük boruların kullanılması ve böylece sistemin hafifletilmesidir.

Sistemin amacı kabin içinde çıkabilecek A sınıfı yangının söndürülmesi, koridora veya diğer kabinlere yayılmasının engellenmesidir. Söndürme mekanizması elbiselerin, kağıtların, plastik maddelerin ıslatılmasından, oksijeni kısmen de olsa buharlaşan su ile ortamdan uzaklaştırılmasından, taşınım yoluyla alevin, sıcak gazların ve yakıtın soğutulmasından, yeniden parlamayı engellemek için yanmamış yakıt yüzeylerine doğru olan ışınlı ve taşınım gerçekleşen ısı transferinin engellenmesinden oluşur. Sistem klasik sprinkler sistemi benzeri ıslak borulu, termik elemanlı kapalı nozullardan oluşur. Nozullar küçük orifisli ve darbeli veya yüksek basınçlı jet nozullar olabilir.

3.9.5 Jet Motoru Test Üniteleri

Su sisi sistemlerinde yapılan bir çok deneyde, yangının etrafını saran su sisinin yangının içine kendiliğinden ilerleyip ilerlemediği merak konusu olmuştur ve bu konu Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından araştırılmıştır. Amerikan hava kuvvetleri jet motorlarını izole edilmiş, jet motor sesini susturan ve testler sonucunda açığa çıkan yüksek hızdaki jet gazlarını havalandırma kanalları ile bina dışına atan özel ‘Sessiz Ev’ adı verilen hangarlar da test etmektedirler. Bu hangarların yüksekliği 6 m civarındadır. Bu test hangarlarının tavana monte edilecek su sisi sisteminden beklenen performans hangar da JP-4 jet yakıtından dolayı kaynaklanacak sprey veya havuz yangının uçak kanatları tarafından siper edilmesi de bile başarılı bir şekilde söndürüp söndürmeyeceği yönündedir [4].

Söndürme mekanizması tavandan gelen yüksek hız ve momentumu sahip su sisi taneciklerinin yere çarpıp uçak kanadı altında çıkan veya devam eden yangını söndürmeyi amaçlar. Fakat 6 m yükseklikten boşalan su sisi tanecikleri yere çarpana kadar hızını ve momentumunu kaybetmişler. Çok az miktardaki su sisi yere ulaşabilmiş, yerde sektiikten sonra rast gele ve çok zayıf bir şekilde kanat altına doğru yönelmişlerdir. Sonuç olarak Amerikan Hava Kuvvetleri su sisi sistemlerinin sessiz ev hangarlarında kullanılabileceğine karar vermiştir.

3.10. Hidrolik Hesap Yöntemleri

Yangın güvenlik sistemlerinde dizayn edilen her sistemin hidrolik olarak hesaplanıp doğruluğunun ispatlanması istenmektedir. Yangın güvenlik sektöründe rekabet çok fazla olduğu için genelde yapılan hidrolik hesaplamalar sonucunda optimizasyona gidilerek ve sistem ucuzlatılmaya çalışılmaktadır. Su sisi sistemleri için hidrolik hesap yöntemleri, tek akışkanlı düşük basınçlı sistemlerden başlayıp, tek akışkanlı yüksek basınçlı ve çift akışkanlı sistemlere göre farklılık gösterir.

Dizayn edilecek olan her bir su sisi sistemi boru çaplarının ve pompa boyutunun veya depolanacak olan basınçlı su miktarının belirlenmesi için hidrolik olarak hesaplanması gereklidir. Buna benzer hesaplamalar tipik sprinkler sistemleri için yapılmaktadır. Su sisi sistemleri ise bazen çalışma basıncınca, bazen de iki akışkanlı sistemler olması itibarıyla tipik sprinkler sistemlerinden farklılık gösterirler ve daha

farklı bir şekilde hesap yöntemi gerektirirler. Bu bölümde bu gibi değişik durumlar için hidrolik hesap yöntemlerinden bahsedilmektedir.

3.10.1. Tek Akışkanlı Düşük Basıncılı Sistemler

NFPA-750’de [1] 12.1 Bar’dan düşük basınçlarda çalışan su sisi sistemleri düşük basınçlı sistemler olarak kabul edilmiştir. Bu sebepten dolayı düşük basınçlı sistemler klasik sprinkler sistemleri ile aynı zamanda düşünülmüş ve sprinkler sistemleri için kullanılabilecek olan dikeyli siyah çelik boruların ve fittingslerin su sisi sistemleri içinde kullanılabileceği kabul edilmiştir. NFPA-750’de düşük basınçlı su sisi sistemleri için Hazen- Williams denkleminin kullanılabileceği belirtilmiştir [4]. Buna göre;

$$h = 6.05 \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85}} \frac{L}{d^{4.87}} 10^5 \quad (3.4)$$

h : sürtünmeden dolayı gerçekleşen basınç kaybı (Bar)

Q : debi (lt/dak)

L : boru uzunluğu (m)

C : boru sürtünme katsayısı

d : boru iç çapı (mm)

Bütün düşük basınçlı su sisi sistemlerinin yukarıda yazılı olan Hazen- Williams denklemini uyacaktır diye bir kural yoktur. Aynı gerçekleştiren kişi sistemin daha hafif olması için daha küçük borular kullanmayı tercih edebilir. Bunun sonucunda borularda oluşacak olan akışkan hızı artacak ve Hazen- Williams denkleminin doğruluk payı azalacaktır. Hazen- Williams denkleminde kullanılan C sürtünme katsayısı bu sayının tespiti için yapılan ölçüm aralıklarında geçerlidir. Amerikan AWWA standartlarına göre boru içindeki akışkan hızı 3.05 ile 9.1 m/sn arasında olursa C katsayısı doğru biçimde kullanılabilir. Aynı şekilde standart sprinkler sistemleri için oluşturulmuş vana ve fittingsler için eşdeğer boru uzunlukları tabloları mevcuttur. Aynı gerçekleştiren kişi farklı türde malzeme kullanırsa bunların eşdeğer uzunluklarını üretici firma kataloglarından sağlamak zorundadır.

Hazen- Williams denkleminde dikkat edilmesi gereken bir nokta daha vardır. Bu denklem akışkanın sıcaklık ile değişecek olan yoğunluk ve viskozite terimlerini ihmal etmektedir. Eğer sistemde akışkan yoğunluk ve viskozitesi standart sprinkler sisteminden farklılık gösteriyorsa dizaynı gerçekleştiren kişi Darcy-Weisbach denklemine başvurmak zorundadır.

3.10.2. Tek Akışkanlı Orta ve Yüksek Basıncılı Sistemler

Darcy-Weisbach denklemi akışkanın sıcaklığını, viskozitesini, türbülans durumunu, boru sürtünme faktörünü ve gerçek akışkan hızını ihmal eder. Bu denklem orta ve yüksek basınçlı su sistemi sistemlerinde Hazen- Williams denkleminin yerine kullanılır.

Darcy-Weisbach denklemi [4];

$$\Delta p = 2.252 \frac{f L p Q^2}{d^5} \quad (3.5)$$

Δp : sürtünme kaybı (Bar)

L : boru uzunluğu (m)

Q : debi (lt/dak)

d : boru iç çapı (mm)

f : sürtünme faktörü

Bu denklemde sürtünme faktörünü belirleyebilmek için Moody diyagram kullanılmaktadır. Bu diyagramda sürtünme faktörü akışkanın hızına, yoğunluğuna, borunun sürtünme katsayısına bağlıdır. Ek 4'te Moody diyagram bulunmaktadır. Moody diyagramının kullanılması için boru içindeki akışkanın Reynolds sayısı ve borunun izafi sertliğinin tespit edilebilmesi gerekmektedir.

$$Re = \frac{Vd}{\nu} \quad (3.6)$$

Re : Reynolds sayısı

V : boru içindeki akışkan hızı (m/sn)

ν : kinematik viskozite (m²/sn)

d : boru iç çapı (m)

$$\text{İzafi – sertlik} = \frac{\varepsilon}{d} \quad (3.7)$$

ε : borunun duvar sertliği (mm)

d : boru iç çapı (mm)

İlk denklemden bir çok parametre dizaynı yapan kişi tarafından bilinmektedir (ör. boru iç çapı, boru uzunluğu, debi). Burada tespit edilecek tek değişken f sürtünme katsayısıdır. Bu katsayıyı bulmak için öncelikle boru içindeki akışın Reynolds sayısı belirlenir. Daha sonra borunun izafi sertliği 3.7 nolu denklem kullanılarak hesaplanır. Bu iki parametrenin bilinmesiyle Moody diyagramından sürtünme katsayısı bulunur. Daha sonra bütün veriler bilindiği için birinci denklem çözülerek sistemde gerekli olan basınç kaybı hesaplanır.

3.10.3 Azalan Basıncılı Sistemler

Sıkıştırılmış gazla ve depolanmış enerji ile çalışan sistemler iki türlü olabilir. Düşük basınçlı sistemler bir basınç regülatörü sayesinde yüksek basınç kaynağından gelen enerjiyi bütün sistem boyunca sabit bir seviyede tutarak çalışırlar. Bu tür sistemlerin hidrolik hesabı düşük basınçlı sistemlerin hidrolik hesabına benzerdir.

Yüksek basınçlı depolanmış enerji ile çalışan sistemlerde zamanla akış olduğu sürece sistemdeki basınç düşmeye başlayacaktır. Bu tip sistemler için gerekli olan boşaltma süresini, nozul basıncını hesaplayabilmek için özel hidrolik hesap yöntemleri kullanmak gerektirir.

Azalan basınçlı sistemler için başlangıç aşamasında toplam debi her bir nozulün belirlenmiş bir zaman içinde harcayacağı su miktarını kabaca hesaplayarak ve bir yüzde sayıyla güvenlik faktörü ekleyerek tahmin edilebilir. Bu çok basit ve doğruluk payı çok az olan bir yöntemdir. Sistem su ihtiyacını, basınç gereksinimi, akış

zamanı, depolama basıncını ve boru çaplandırmasını hesaplamak için daha farklı bir yöntemle yapmak gerekmektedir.

İlk aşama olarak her bir nozulün basınç-zaman değişimini tahmin etmekle başlanabilir. Doğal olarak böyle bir bağlantıyı önceden bilmek kolay değildir. Başlangıç aşamasında her bir nozulün başarılı bir şekilde çalışması için gerekli olan minimum ve maksimum basınç değişimi lineer kabul edilebilir. Her bir nozuldeki basınç değişimi zamanın bir fonksiyonu şeklinde ifade edilir $P=f(t)$. Aynı zamanda her bir nozulden boşalan debi de basıncın bir fonksiyonu olarak yazılır $Q=f(P)$. Bu ifadedeki basınç zaman cinsinden denklemin içine yazılırsa $Q=f[P(t)]$ debi zamanla bağlı olarak ifade edilmiş olur. Bu fonksiyonun altındaki alanın integrali alınırsa sistemin harcaması gereken toplam su miktarı ortaya çıkar. Bu miktarı nozullerin performanslı bir şekilde çalıştıkları zamanı ve daha sonradan basıncın düşmesiyle akan etkisiz su miktarını kapsar. Bir sonraki aşama hidrolik hesapları yaparak borulardaki sürtünme kayıplarının belirlenmesi olur. En son olarak dizayn yapan kişi kullanacak basınçlı kabın gerekli olan debiyi istenilen zamanda verebileceğini ispat etmesi olur.

Basıncın zamanla azaldığı sistemlerde nozul sayısı arttıkça hidrolik hesaplamalar karmaşık hale gelmektedir. Bu gibi durumlarda imalatçı firmaların onay veren kuruluşların direktifleri doğrultusunda ürettikleri ürünler için gerekli olan dizayn ve basınç değerlerini kullanıcıya vermeleri beklenmektedir.

3.10.4 Çift Akışkanlı Sistemler

Çift akışkanlı sistemler istenilen su sesi özelliklerini gerçekleştirebilmek için basınçlı suya ve sıkıştırılmış gaz ihtiyacı duyarlar. Her iki akışkan nozullere farklı iki borulama sisteminden ulaştırılır. Dizayn gerçekleştiren kişi her iki borulama sistemi için ayrı ayrı hidrolik hesapları yapmak zorundadır. Sıkıştırılmış gaz (hava) ve basınçlı su miktarı her bir nozul için nozulün özelliğine ve Hava – Su (ALR) oranına bağlıdır. Eğer hava basıncı çok fazla olursa suyun nozule girişini engelleyecektir. Eğer su basıncı çok fazla olursa hava nozule giremeyecektir ve böylece istenilen spray özellikleri elde edilemeyecektir. Bu sebepten dolayı çift akışkanlı sistemlerin hesabı özel bir yöntem gerektirmektedir.

Basit ama pahalı bir yöntem vardır. Sistemdeki bütün boru çapları gereğinden çok büyük olacak şekilde seçilirse borulardaki basınç kaybı ihmal edilebilecek

seviyede olur. Her bir boru bir kollektör gibi çalışır ve sonuçta her boruda basınç eşit olur. Bu tür uygulamalar genellikle yangın söndürme sistemlerinde kullanılmaktadır. Amaç sistemi en optimum ve ekonomik seviyeye getirmektir.

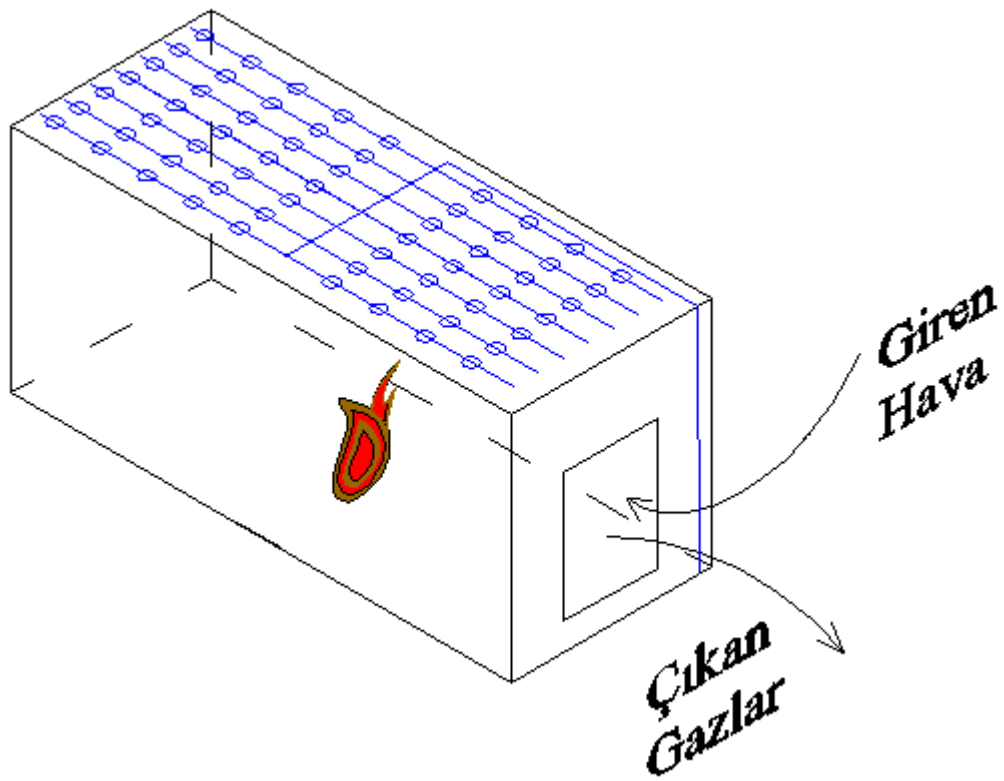
Başka bir yöntem her iki boru için hidrolik ve pnömatik hesapları aynı anda yapmaktır. Hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan nozul basınçlarının ve iki akışkan arasındaki basınç farklılıklarının kabul edilebilir seviyede olup olmadıkları kontrol edilir. Genellikle üretici firmalar onay kuruluşlarının direktifleri sonucunda bu tür bilgileri kullanıcıya verirler. Yapılacak olan birkaç denemeden sonra uygun bir Hava – Su (ALR) oranı tespit edilir. Özet olarak;

$$ALR_{min} < ALR_{hesaplanan} < ALR_{mak}$$

elde edilmeye çalışılır.

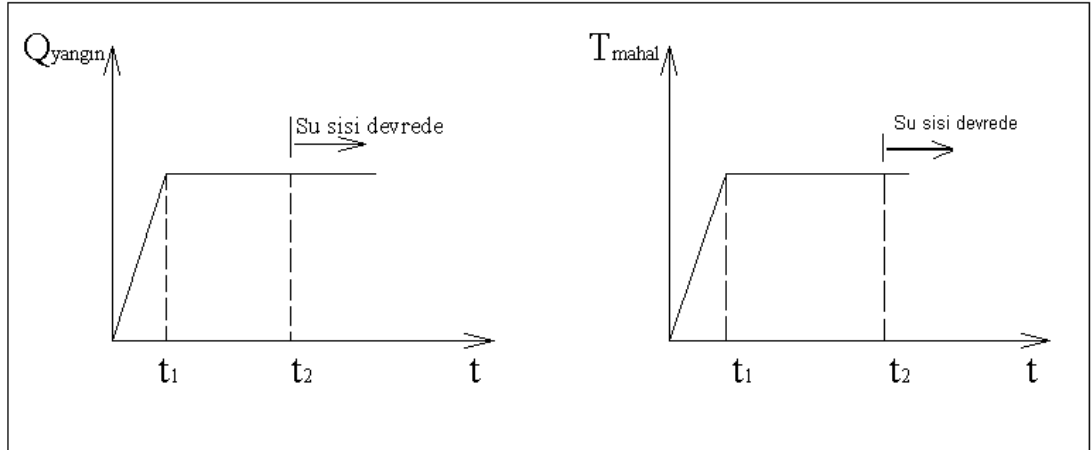
4. SU SİSİ SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL OLARAK MODELLENMESİ

Su sisi sistemlerinin verimliliğini tartışabilen ve/veya herhangi bir mahal için uygulanacak olan söndürme sisteminin mahalın özelliklerine bağlı olarak davranışını tahmin edebilen için bu bölümde yangın söndürme sistemi matematiksel olarak modellenmiştir.



Şekil 4.1 Kontrol Hacı m

Modelleme yapılırken su sisi sistemi ve mahal özellikleri ile ilgili aşağıda belirtilen kabullenneler yapılmıştır. Yangının çıktığı mahal modellemenin uygulanacağı kontrol hacmi olarak düşünülmüş ve açığa çıkan enerjiden dolayı kontrol hacminin sıcaklığının belirli bir değere ulaştığı kabul edilmiştir.



Şekil 4.2 Kontrol Hacı mSıcaklık Değişimi

- Yangının bütün kontrol hacmini tamamını kapsadığı kabul edilmiştir.
- Nozullerin kontrol hacme su sisini homojen bir şekilde dağıtabilmeleri için yeterli miktarda monte edildiği düşünülmüş ve her birinden aynı miktarda su boşaldığı kabul edilmiştir, yani nozuller arasında oluşacak olan imbalans ihmal edilmiştir.
- Yanma işleminin tamamlandığı ve tamamının kontrol hacmini içinde yer aldığı kabul edilmiştir (açığa çıkan ısı miktarı sabittir).
- Kontrol hacmi içindeki sıcaklığın her zaman sabit olduğu ve değişmediği ve yanma sonucu açığa çıkan gazların mahal sıcaklığında olduğu kabul edilmiştir. Söndürme sürekli rejimde gerçekleşmektedir.
- Kontrol hacmin sınırlarında gerçekleşen ısı transferi için sabit bir ısı transfer katsayısı kullanılmıştır.
- Sınırlarda oluşan ısı transferinin hesaplanmasını kolaylaştırmak için ısı transferinin tek boyutlu olduğu kabul edilmiş, köşelerin ve kenarların etkisi ihmal edilmiştir.
- Su taneciklerinin alev ile olan ilişkisi ihmal edilmiştir.
- Yanma sonucunda açığa çıkan gazların hava ile aynı özelliğe sahip oldukları ve kontrol hacmi sıcaklığında bulundukları kabul edilmiştir.

Su sisi söndürme sistemi ni aktive ol m adan önce kontrol hac m in ulaşabileceği sıcaklık değeri ni hesaplayabil nek için sürekli rejimdeki genel enerji denklemi

$$\dot{Q}_{K.H.} + \sum \dot{m}_g h_g = \frac{dE_{K.H.}}{dt} + \sum \dot{m}_\varsigma h_\varsigma + \dot{W}_{K.H.} + \dot{Q}_{\dot{U}RET} \quad (4.1)$$

şeklinde yazılır. Bu ifadede yer alan $\dot{Q}_{K.H.}$ teri ni kontrol hac m n sınırlarında meydana gelen ısı kaybına ($\dot{Q}_{K.H.} = \dot{Q}_{SINIR}$) , kontrol hac m n içinde zamanla meydana gelen enerji değışı ni yangından dolayı açığa çıkan enerji denklem sürekli rejim de yazıldığı için sıfıra ($dE_{K.H.} / dt = 0$) , kontrol hac mi çinde üretilen enerji yangından dolayı açığa çıkan ısıya ($\dot{Q}_{\dot{U}RET} = \dot{Q}_{YANGIN}$) eşitlenirse ve kontrol hac m n çevresiyle iş alış-verişinde bulunmadığı düşünülürse, genel enerji denklemi tek giriş ve tek çıkışı olan kontrol hac mi için

$$\dot{Q}_{SINIR} + \dot{m}_g h_g = \dot{Q}_{YANGIN} + \dot{m}_\varsigma h_\varsigma \quad (4.2)$$

şeklini alır. Kontrol hacme giren hava miktarı çıkan hava miktarına eşitlenirse, yani yangından dolayı çıkan gazların etkisi ihmal edilirse $\dot{m}_g = \dot{m}_\varsigma = \dot{m}_{hava}$ yazılabilir. Böylece genel enerji denklemi miz

$$\dot{Q}_{SINIR} + \dot{m}_{hava}(h_g - h_\varsigma) = \dot{Q}_{YANGIN} \quad (4.3)$$

formuna gelir. Bağrıtıda yer alan hava miktarı [10]

$$\dot{m}_{hava} = \frac{2}{3} A_v H^{1/2} C_d \rho_d \sqrt{2g} \left[\frac{\frac{\rho_d - \rho_i}{\rho_d}}{\left(1 + \sqrt[3]{\frac{\rho_d}{\rho_i}} \right)^3} \right]^{1/2} \quad (4.4)$$

for mül ü yard ı m ı l a kg/sn c i n s i n d e n h e s a p l a n a b i l i r . F o r m ü l d e 4.4' d e y e r a l a n b a z ı p a r a m e t r e l e r a ş a ğ ı d a k i g i b i d i r ;

A_v : k o n t r o l h a c ı n d e k i v e n t i l a s y o n a l a n ı (m²)

$A_v H^{1/2}$: v e n t i l a s y o n f a k t ö r ü (m^{5/2})

C_d : b o ş a l t ı m a k a t s a y ı s ı (0.7 o l a r a k a l ı n a b i l i r) [10]

ρ_d : d ı ş h a v a y o ğ u n l u ğ u (k g / m³)

ρ_i : k o n t r o l h a c ı m ı s ı c a k l ı ğ ı n d a k i h a v a n ı n y o ğ u n l u ğ u (k g / m³)

g : y e r ç e k i m i v n e s i (9.81 m/s²)

4.3 n o ' l u d e n k l e m d e b u l u n a n e n t a l p i t e r m i n e r i n y e r i n e $h = c_p T$, s ı n ı r l a r d a n o l a n ısı t r a n s f e r i y e r i n e $\dot{Q}_{SINIR} = UA(T_d - T_i)$ i f a d e l e r i y a z ı l ı r s a ;

$$UA(T_d - T_i) + \dot{m}_{hava} c_{p,hava} (T_g - T_{\zeta}) = \dot{Q}_{YANGIN} \quad (4.5)$$

f o r m ü l ü e l d e e d i l i r .

U : t o p l a m ısı t r a n s f e r k a t s a y ı s ı (W / m² K)

A : k o n t r o l h a c ı n ı n y ü z e y a l a n l a r ı (m²)

T_i : k o n t r o l h a c ı n ı n s ı c a k l ı ğ ı (° C)

T_d : ç e v r e s ı c a k l ı ğ ı (° C)

$c_{p,hava}$: h a v a n ı n ö z g ü l ısı s ı (J / k g K)

T_g : k o n t r o l h a c ı n a g i r e n h a v a n ı n s ı c a k l ı ğ ı (° C)

T_{ζ} : k o n t r o l h a c ı n d a n ç ı k a n h a v a n ı n s ı c a k l ı ğ ı (° C)

E n s o n e l d e e d i l e n (4.5) n o ' l u f o r m ü l d e b u l u n a n t e r m i n e r d e n s a d e c e $\dot{m}_{hava}$, T_{ζ} v e T_i b i l i n m e k t e d i r . K a b u l l e n m e l e r d e k o n t r o l h a c ı m d e n ç ı k a n g a z l a r ı n s ı c a k l ı ğ ı n ı n k o n t r o l h a c ı n ı n s ı c a k l ı ğ ı n d a o l d u ğ u b e l i r t i l m i ş t i v e k o n t r o l h a c ı n a g i r e n h a v a n ı n

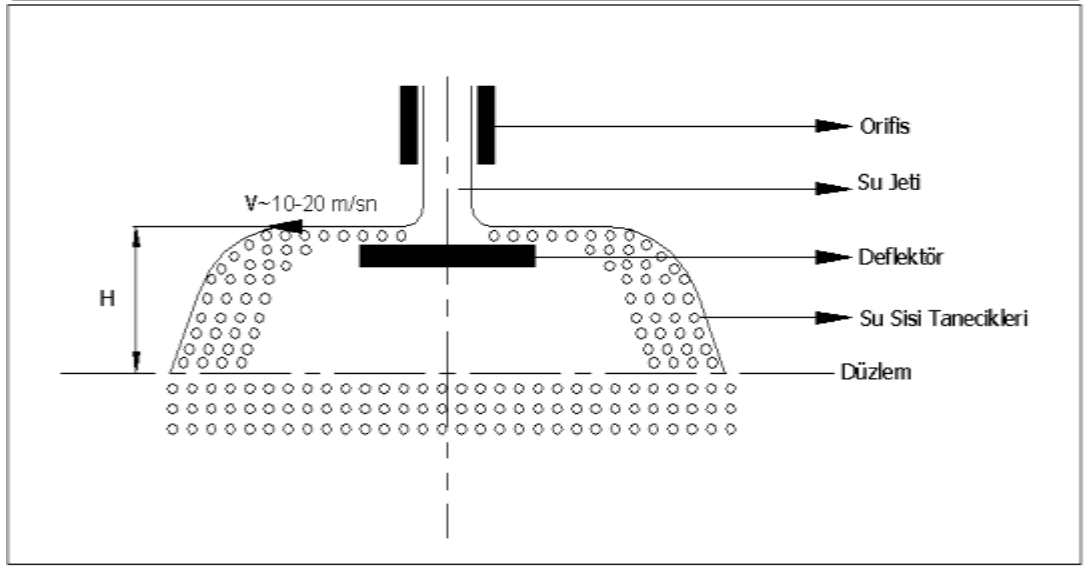
çevre sıcaklığında olduğu da kabul edilirse $T_i = T_c$ ve $T_d = T_g$ olur. $\dot{m}_{hava}$ çıkan gazların sıcaklığına bağlı olarak deneğe yanılma yöntemi ile tespit edilir.

Deneğe yanılma yapılırken önce herhangi bir hava debisi formüle yazılır ve çıkan gazların ve kontrol hacminin sıcaklığı hesaplanır. Bu sıcaklığa bağlı olarak yeni bir hava debisi tespit edilip genel formülde yeniden sıcaklık hesabına girilir. Hava debisinin ve sıcaklığın birbirine yakınsadığı şartlar elde edilene çalışılır.

Kontrol hacminin yangın sırasındaki sıcaklığı değişkisi transfer katsayısı, yangın büyüklüğü ve farklı kontrol hacim boyutları için yazılmış bir program sayesinde hesaplanmıştır. Tablo 5.1’de belirtilen değişik kontrol hacim boyutları için farklı kontrol hacim parametrelerinde kontrol hacminin ulaşabileceği sürekli rejimdeki sıcaklık değerleri ve kontrol hacme giren taze hava miktarları Şekil 5.1 ve 5.2’de gösterilmiştir.

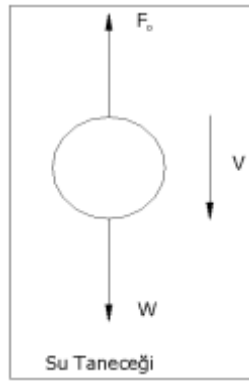
Şekil 4.2’de görüldüğü gibi t_0 anından itibaren yangının başladığı, gelişimini t_1 anında tamamladığı ve belirli bir zaman sonra (t_2 anında) algılama sisteminin devreye girmesiyle su sisi söndürme sisteminin aktive olduğu kabul edilmiştir. Su sisi söndürme sistemlerinde esas söndürme mekanizması çok küçük su taneciklerinin ortamdan aldıkları ısı ile buharlaşıp oksijen konsantrasyonunun düşürülmesi ve yangının verimsiz bir şekilde yanarak zamanla sönmesi dir. Burada sorabileceğimiz en önemli sorulardan bir tanesi su sisi taneciklerinin ne kadarının birim zamanda buharlaşabileceği dir. Bunun için ısı ve kütle transferleri bağıntıları araştırılmış ve buradan yola çıkılarak kontrol hacimde zamanla değişen konsantrasyon değişimi incelenmeye çalışılmıştır.

Novozhilov [15] yapmış olduğu araştırmalarda nozul ucundan çıkan suyun hızının dizayn basıncına ve su debisi miktarına göre 10-20 m/sn arasında olabileceğini belirtmiştir. Ne var ki nozul deflektörüne çarpan su momentum kaybına uğrayarak küçük taneciklere parçalanacak ve hızını kaybedecektir. Şekil 4.3’te gösterildiği gibi deflektöre çarpan su ilk önce yatay yönde akacak ve daha sonra deflektörden belirli bir mesafe uzaklıkta hareketine düşey doğrultuda sabit hızla devam edecektir.



Şekil 4.3 Su Taneciklerinin Hareketi

Aşağıya düşen su taneciklerinin hızının ne olacağı sorusuna cevap terminal hızın hesaplanması ile çözülebilir. Su taneciğinin ağırlığı sürtünme kuvvetine eşit olduğunda terminal hıza ulaşacaktır.



Şekil 4.4 Su Taneciğinin Hızı

$$W = F_D \quad (4.6)$$

$$mg = C_D A_F \rho_i \frac{V_T^2}{2} \quad (4.7)$$

m : su sisi taneciğinin kütlesi (kg)

g : yer çekimi ivmesi (m/s^2)

C_D : sürtünme katsayısı

A_F : su sisi taneciğinin ön alanı (m^2)

ρ_i : havanın yoğunluğu (kg/m^3)

V_T : su taneciğinin terminal hızı (m/s)

4.7 no'lu denklem sayesinde terminal hızı hesaplayabilmek için C_D sürtünme katsayısının bulunması gerekmektedir, bunun için Schlichting tarafından hazırlanmış, akışın Reynolds sayısına göre değişimi gösteren eğri kullanılmaktadır. 4.7 no'lu formül ve bu eğri yardımıyla deneme yanılma yöntemine başvurularak yapılan hesaplamalarda su taneciği terminal hızının cm/s mertebelerinde olduğu fark edilmiştir. Bu durumda Reynolds sayısı çok küçük kalmış ve viskoz etkilerin yok denecek kadar az olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda su taneciklerinin deflektör ucundan belirli bir mesafeden sonra sanki havada asılı kalıyor gibi davrandıkları anlaşılmış ve buharlaşan su miktarının hesaplanması için ısı transferinin doğal taşınım sonucu olabileceği düşünülmüştür.

Dgheym Chesnau, Pietri ve Zeghami [16] yakıt taneciklerinin yanma odasındaki davranışını, küresel taneciklerin sıcak atmosferdeki buharlaşmalarına benzetmiş ve doğal taşınım vasıtasıyla zamanla buharlaşacak olan yakıt miktarını hesaplamaya çalışmışlardır. Zamanla bağlı olarak ürettikleri ısı ve kütle transferi denklemlerini bilgisayar programları vasıtasıyla çözmüş ve bu denklemlerin ortama değerlerini

$$\overline{Nu} = 1.31 Gr_H^{0.26} Pr^{0.33} \quad (4.8)$$

$$\overline{Sh} = 1.484 Gr_M^{0.25} Sc^{0.155} \quad (4.9)$$

şeklinde ifade etmişlerdir. Bu ifadelerde yer alan terimler;

$\overline{Nu}$: ortalama Nusselt sayısı

Gr_H : ısı transferi hesaplarında kullanılan Grashof sayısı

Pr : Prandtl sayısı

$\overline{Sh}$: ortalama Sherwood sayısı

Gr_M : kütle transferi hesaplarında kullanılan Grashof sayısı

Sc : Schmidt sayısı

$\overline{Nu}$ sayısı ısı transferi hesaplarında, $\overline{Sh}$ sayısı ise kütle transferi hesaplarında kullanılmaktadır. Amacımızın modellemizde buharlaşacak olan su sisi miktarını hesaplayabilmek olduğu için $\overline{Sh}$ sayısı daha önem kazanmaktadır. $\overline{Sh}$ sayısı tanım olarak yüzeydeki boyutsuz konsantrasyon gradyanına eşittir ve kütle transferi hesaplarındaki önemi $\overline{Nu}$ sayısının ısı transferinde sahip olduğu öneme eşdeğerdir. 4.9 no'lu denklemde $\overline{Sh}$ sayısının hesaplanabilmesi Sc ve Gr_M sayılarının bilinmesini gerektirir;

$$Sc = \nu / D_{AB} \quad (4.10)$$

$$Gr_M = \frac{gD^3}{\nu^2} \left(\frac{\rho_0 - \rho_i}{\rho_f} \right) \quad (4.11)$$

4.10 ve 4.11 no'lu formlerde yer alan terimler;

ν : kinematik viskozite (m^2/sn)

D_{AB} : difüzyon katsayısı (m^2/sn)

g : yer çekim kuvveti (m/sn^2)

D : su sisi taneciğinin çapı (m)

ρ_0 : su sisi taneciğinin sıcaklığındaki havanın yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_i : kontrol hacim sıcaklığındaki havanın yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_f : film sıcaklığındaki havanın yoğunluğu (kg/m^3)

4.9, 4.10 ve 4.11 no'lu denklemler aracılığıyla hesaplanan $\overline{Sh}$ sayısı sayesinde kütle transferi hesabında kullanılacak olan kütle geçiş katsayısı bulunacaktır;

$$\overline{Sh} = \frac{h'D}{D_{AB}} \quad (4.12)$$

$$h' = \frac{\overline{Sh}D_{AB}}{D} \quad (4.13)$$

h' : kütle geçiş katsayısı (m/sn)

Hesaplanan kütle katsayısı sayesinde tanecikten zamanla buharlaşacak ortalama su miktarını

$$\dot{m} = h' \rho_f (x_{susi} - x_{K.H}) A_{SU} \quad (4.14)$$

denklemlerle hesaplayabiliriz. Bu denklemlerde yer alan;

ρ_f : akışkanın film sıcaklığındaki yoğunluğu (kg/ m³)

x : kütle oran ($m_{su} / m_{kuruhava}$)

A_{SU} : su taneciğinin yüzey alanı (m²)

ifade etmektedir. Kütle oran ise;

$$x = 0.622 \frac{\psi P_s}{P_T - \psi P_s} \quad (4.15)$$

formülü ile bulunur.

ψ : izafi nem

P_s : su buharının su taneciği sıcaklığındaki kısmi basıncı (kPa)

P_T : toplam basınç (kPa)

4.10, 4.12 ve 4.13 no'lu formlerde yer alan difüzyon katsayısı (D_{AB}) sıcaklığın fonksiyonu olarak değişmekte ve farklı büyüklükteki her yangın ve kontrol hacmi için hesaplanmalıdır. Özışık [17] D_{AB} 'nin hesaplanması için aşağıdaki formülü önermektedir;

$$D_{AB} = \frac{1.8583 \times 10^{-3}}{P_T \sigma_{AB}^2 \Omega_{D,AB}} T_i^{3/2} \sqrt{\frac{1}{MW_{SU}} + \frac{1}{MW_{HAVA}}} \times 10^{-4} \quad (4.16)$$

P_T : basınç (Bar)

T_i : kontrol hacminin sıcaklığı (K)

MW_{SU} : suyun moleköl ağırlığı (18 kg/kmol)

MW_{HAVA} : havanın moleköl ağırlığı (28.97 kg/kmol)

σ_{AB} : çarpışma çapı (Å)

$\Omega_{D,AB}$: çarpışma integrali veya sıcaklığa ve moleküller arası sıcaklığa bağlı boyutsuz fonksiyon

Ek 2’de bulunan A ve B (su ve hava) maddeleri için σ_A , σ_B , $(\varepsilon/k)_A$ ve $(\varepsilon/k)_B$ değerleri okunur. Buradan;

$$\sigma_{AB} = \frac{1}{2}(\sigma_A + \sigma_B) \quad (4.17)$$

olarak hesaplanır. Ek 3’te bulunan kT/ε ’nin fonksiyonu olan $\Omega_{D,AB}$ değerini hesaplamak için gerekli olan veriler Ek 2’deki tablo ve aşağıda verilen formler vasıtasıyla hesaplanır.

$$\frac{kT}{\varepsilon} \equiv \frac{T}{(\varepsilon/k)_{AB}} \quad (4.18)$$

$$\left(\frac{\varepsilon}{k}\right)_{AB} = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon}{k}\right)_A \left(\frac{\varepsilon}{k}\right)_B} \quad (4.19)$$

Ek 1’de havanın değişik sıcaklıklardaki fiziksel özellikleri verilmiş ve sıcaklığa bağlı olarak değişen Hava-Su diffüzyon katsayısı (D_{AB}) ayrıca hesaplanıp tabloya eklenmiştir.

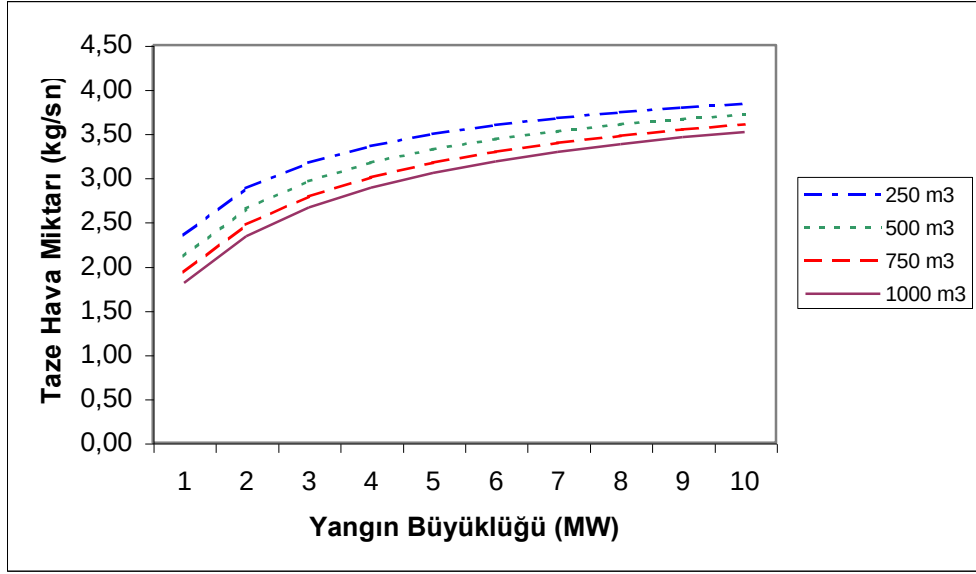
5. ÇÖZÜM VE DENEYSEL DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRMALAR

Bölüm 4'te modellenen su sisi söndürme sistemine ait sonuçlar ve karşılaştırmalar bu bölümde verilmiştir. Modelleme sonuçları 250, 500, 750 ve 1000 m³'lük hacimlere sahip olan kontrol hacimlerde uygulanmış ve sonuçların sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi kontrol hacimler gemi makine daireleri olarak düşünülmüştür. Tablo 5.1'de bu kontrol hacimlere ait olan geometrik boyutlar, yüzey alan büyüklükleri gösterilmiştir.

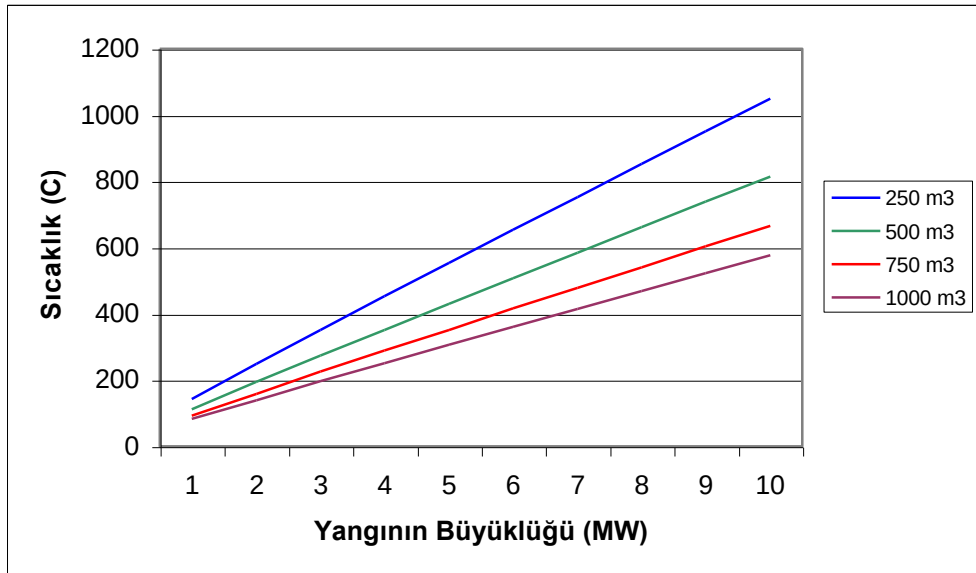
Tablo 5.1 Kontrol Hacim Boyutları ve Parametreleri

Uzunluk (m)	Gerişlik (m)	Yükseklik (m)	Ventilasyon Alanı (m ²)	Ventilasyon Faktörü (m ^{5/2})	Toplam Yüzey Alanı (m ²)	Toplam Hacim (m ³)
10	5	5	4	5	196	250
10	10	5	4	5	296	500
15	10	5	4	5	396	750
12.5	10	8	4	5	481	1000

Su sisi söndürme sistemi modellenirken Şekil 4.1'de de gösterildiği gibi yangının belirli bir zaman (t_1 anından) sonra sürekli rejime girdiği, açığa çıkan enerjini sabit olduğu ve kontrol hacminin sabit bir sıcaklık seviyesine ulaştığı kabul edilmiştir. Literatürde bulunan makalelerle karşılaştırmayı yapabilmek için kontrol hacimlerinde bulunan ventilasyon alanı 4 m², ventilasyon faktörü 5 ve toplamısı transfer katsayısı 30 W/m²K olarak alınmıştır. Bölüm 4'te kontrol hacim sıcaklığı hesaplaması sırasında doğal taşınım sonucu ventilasyon alanından geçecek olan taze hava miktarı Denk. 4.4 ve 4.5'in aynı anda deneme yanılma yöntemi ile çözülmesiyle hesaplanmıştır. Sürekli rejimde yazılan denklemler sayesinde farklı büyüklüklerdeki kontrol hacimleri (gemi makine daireleri) için hesaplanan sıcaklık ve sıcaklık farklılığından dolayı kontrol hacmine giren taze hava miktarları Şekil 5.1 ve 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Kontrol Hacmine Göre Taze Hava Miktarı



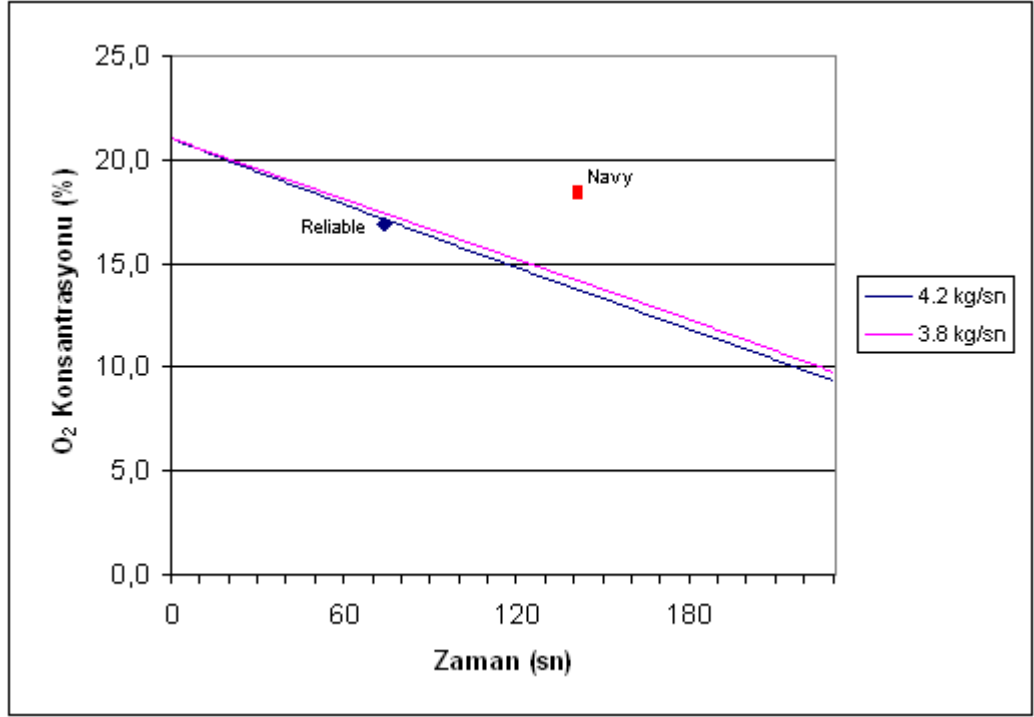
Şekil 5.2 Sürekli Rejimde Farklı Kontrol Hacimlerde Sıcaklık Değişimi

Şekil 5.1 ve 5.2 karşılaştırıldığında kontrol hacmin boyutları küçüldükçe ısı transferi kayıplarının azalacağı, bunun sonucunda sürekli rejimdeki sıcaklığın

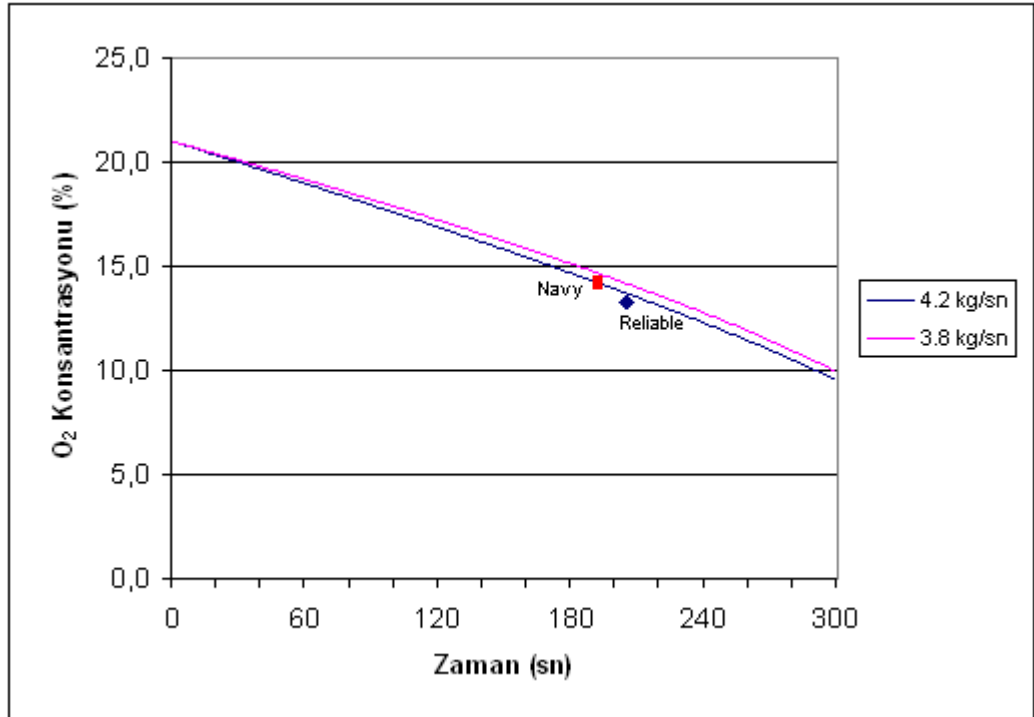
yükselceği ve büyük sıcaklık farklılığından dolayı kontrol hacmine giren taze hava miktarının da artacağı görülmektedir. Kontrol hacmine giren havanın küçük yangınlarda önemli farklılıklar gösterdiği, yangının yaklaşık 8 MW'tan büyük olduğu durumlarda giren taze hava miktarının neredeyse sabit olduğu görülmektedir.

Oluşturulan modelleme ile elde edilebilecek sonuçlar Back, Beyler ve Hansen'in [10] yapmış olduğu deneysel çalışmalarıyla karşılaştırılmış ve modellemenin doğruluğu incelenmiştir. 500 m³ büyüklükte olan kontrol hacminde 4 m² ventilasyon alanı ve ventilasyon faktörü 5 alınarak 6, 2 ve 1 MW'lık yangınlarda değişik su sis debilerinde oksijen konsantrasyonundaki değişimi hesaplanmış ve deney sonuçlarında elde edilen söndürme zamanları ve oksijen konsantrasyonları Şekil 5.3, 5.4 ve 5.5'te gösterilmiştir. Modelleme oluşturulurken kontrol hacmin sıcaklığının sabit kaldığı kabul edilmiştir. Bu hesaplamalar sırasında hata miktarını arttıracığı için kontrol hacimlerinin sıcaklığı teorik olarak hesaplanan sürekli rejideki ve deneyler sonucunda elde edilen söndürme sıcaklıklarının ortalaması olarak alınmıştır. Kontrol hacim gemi makine dairesine benzetildiği için yangının kaynağının hidrokarbon kökenli yakıtlar olabileceği varsayılmıştır. Deneme yanılma yöntemleri ile modellemenin deneysel sonuçlara hangi tanecik çapında yaklaşacağı araştırılmış ve bu değer Back, Beyler ve Hansen'in yapmış oldukları 70 Bar'lık test düzeneği için 800 µ olduğu tespit edilmiştir.

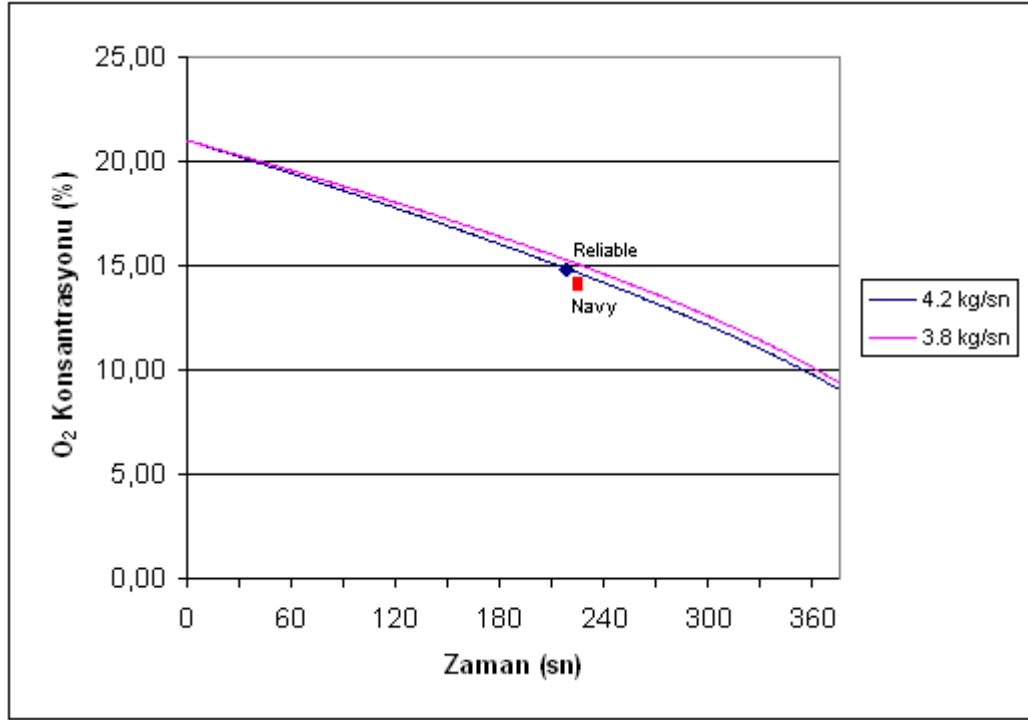
Su sis sisteminden buharlaşacak olan su miktarı hesaplanırken öncelikle tek bir taneciğin davranışı incelenmiş ve elde edilen sonucun bütün tanecikler için aynı olacağı kabul edilerek buharlaşacak toplam su miktarı hesaplanmıştır. Hesaplamalar için öncelikle kontrol hacminde bulunan havanın fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Daha sonra 4.10 ve 4.11 no'lu formlerde yer alan Schmit ve Grashof sayıları hesaplanmıştır. Bundan sonra kütle transferi hesaplarında kullanılan Sherwood sayısı Grashof ve Schmidt sayıları 4.9 no'lu formülde yerlerine konularak bulunmuştur. Kütle transferinde Sherwood sayısının sahip olduğu önemi transferinde Nusselt sayısının kiyle aynıdır. Elde edilen Sherwood sayısından kütle transferi için kullanacağımız kütle geçiş katsayısı hesaplanır. Daha sonra tek bir su taneciğinden ortalama buharlaşacak olan su miktarı 4.13 no'lu denklem yardımıyla elde edilebilir.



Şekil 5.3 6 MW Yangında O_2 Konsantrasyonundaki Değişim



Şekil 5.4 2 MW Yangında Oksijen Konsantrasyonundaki Değişim



Şekil 5.5 1 MW Yangınında Oksijen Konsantrasyonundaki Değişim

Şekil 5.3, 5.4 ve 5.5'te elde edilen teorik sonuçlar Tablo 5.2 ve 5.3'te kısaca özetlenmiştir.

Tablo 5.2 Teorik Söndürme Zamanlarının 70 Bar'lık Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması ($D_{0.99} = 800 \mu$)

Sistem	Basınç (Bar)	Yangın Büyüklüğü (MW)	Su Debişi (kg/sn)	O ₂ Konsantrasyonu (%)	t (Deneysel [10]) (s)	t (Teorik) (s)
Reliable	70	6	4.2	16.9	75	62
Navy	70		3.8	17.8	123	53
Reliable	70	2	4.2	13.6	205	177
Navy	70		3.8	14.2	193	174
Reliable	70	1	4.2	14.7	218	202
Navy	70		3.8	14.5	224	218

Tablo 5.3 Teorik Söndürme Zamanlarının 12 Bar'lık Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması ($D_{0.99} = 1000 \mu$)

Sistem	Basınç (Bar)	Yangın Büyüklüğü (MW)	Su Debişi (kg/sn)	O ₂ Konsantrasyonu (%)	t (Deneysel [10]) (s)	t (Teorik) (s)
Grinnell	12	6	5.6	15	285	113
Kidd-Fenwal	12		5.3	17.5	300	68
Grinnell	12	2	5.6	12.8	325	226
Kidd-Fenwal	12		5.3	14.2	382	197
Grinnell	12	1	5.6	12.7	390	285
Kidd-Fenwal	12		5.3	13.6	440	264

Teorik sonuçlar söndürme zamanları bakımından Navy firmasına ait olan deneysel verilerle 2 ve 1 MW büyüklüğündeki yangınlarda oldukça iyi uyum göstermiş ve benzer uyumu Reliable firmasına ait olan bütün deneylerde de ortaya koymuştur. 6 MW'lık yangında Navy firmasına ait olan sonuçta söndürme zamanı Reliable firmasınınkinden %64 daha uzun olarak kaydedilmiştir. Tablo 5.3'de özetlenen Grinnell ve Kidd-Fenwal firmalarına ait sonuçlarda büyük farklılıklar bulunmaktadır ve bu firmalara ait veriler şekillerde gösterilmiştir. Modelleme ortalama 800 μ büyüklüğündeki su tanecikleri için özetle 70 Bar'lık sistemlerle uyum içersindedir. 12 ve 70 Bar'lık sistemler arasındaki modellemeye ait olan uyumsuzluk sistem basınçlarındaki farklılıklardan ve sprey taneciklerinin büyüklük dağılımlarından olabilir. Back, Beyler ve Hansen deneylerinde kullanılan nozul tiplerinden ve bunların ortalama tanecik büyüklüklerinden bahsetmemişlerdir. Deneysel sonuçlarda örneğin 6 MW'lık yangında 5.6 ve 5.3 kg/sn'lik su debilerindeki söndürme zamanları 4.2 ve 3.8 kg/sn'lik debilerdeki denekten çok büyüktür. Oysa modelleme sonuçlarında debi değeri arttıkça, buharlaşan su miktarı artmış ve söndürme zamanları ters orantılı olarak azalmıştır. 12 Bar'lık sistemlerde kullanılan nozullar hakkında teorinin doğru olduğu kabul edilirse 1000 μ dan büyük su tanecikleri üretiyorlar gibi bir yorumda bulunabilir ve söndürme sistemlerinin oksijen konsantrasyonunu düşürmek değil de, yangını soğutarak söndürmek olduğunu söyleyebiliriz.

Deney ve modelleme sonuçlarında dikkat edilebilecek bir nokta da yangının büyüklüğünün söndürme üzerindeki etkisidir. Teorik olarak yangından dolayı açığa

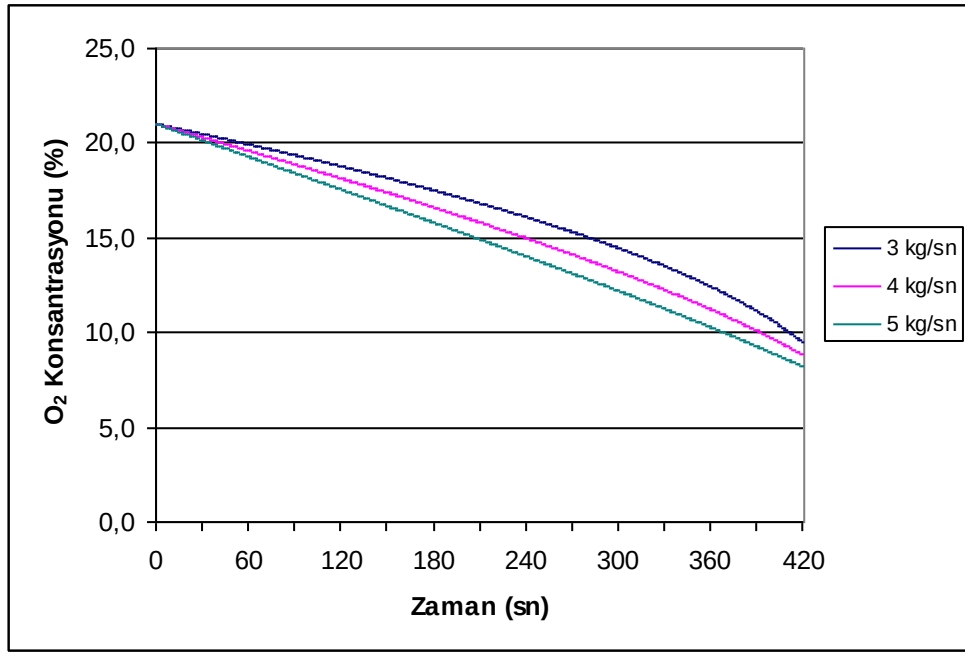
çıkan enerji miktarı arttıkça, buharlaşacak olan su miktarı artacak, kontrol haciminde bulunan hava yanma sırasında daha kısa sürede tüketilecek ve sonuç olarak oksijen konsantrasyonu çok çabuk bir şekilde yangının verimsiz bir şekilde yanması için gerekli olan değerlerin altına düşecektir. Deney ve modelleme sonuçlarında bu teoremin doğruluğu gösterilmiştir. Örneğin 6 MW büyüklüğündeki yangın Reliable firmasının söndürme sistemi ile 75 sn'de, modelleme ile 77 sn'de, 1 MW yangını ise 218 ve 223 saniyelerde söndürülmüştür. Yangının büyüklüğü altıda birine indirildiğinde deneysel olarak söndürme zamanı %290, modelleme de ise %289 oranında artmıştır. Küçük yangınlarda kontrol hacmin ulaşabileceği sürekli rejimdeki sıcaklıklar büyük yangınlara göre düşüktür. Bunun sonucunda asıl amacı oksijen konsantrasyonunun düşürmek olan su sisi sisteminden buharlaşacak olan su miktarı azalmakta ve aynı anda yanma sırasında harcanan oksijen miktarı da büyük yangınlarla karşılaştırıldığında düşük kalmaktadır. Bu sonuçlar bizlere su sisi söndürme sistemlerinde küçük yangınlara göre neden daha zor söndürüldüğünü ve neden daha kritik olduklarını açıklamaktadır.

6. SONUÇLAR

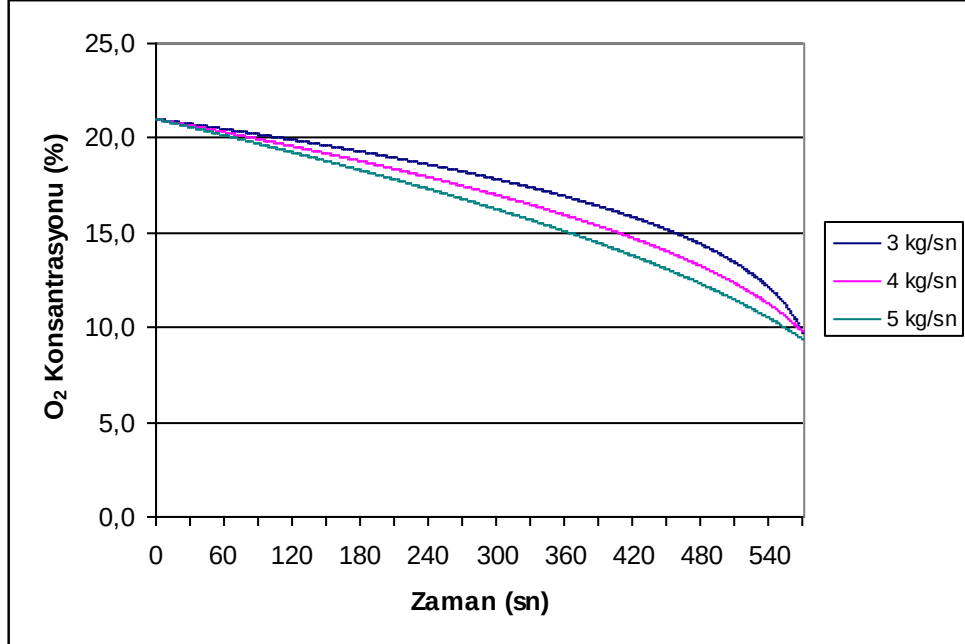
Bu bölümde modelleme ile elde edilebilecek olan farklı sonuçlar teorik olarak incelenmiş, literatürde yer alan yorumlarla olan uyumu tartışılmış ve modellemeden genel olarak ne tür sonuçlar elde edilebileceği, modellemenin eksiklikleri ve bundan sonraki çalışmalarda neler yapılabileceği bildirilmiştir.

6.1. Değişik Boyutlardaki Kontrol Hacimlerde Söndürme

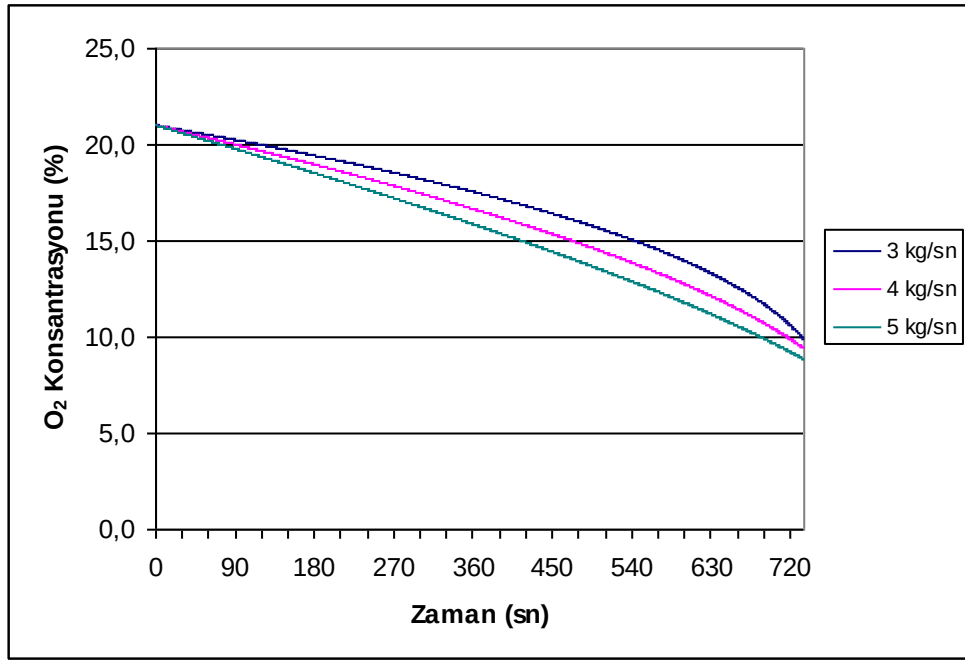
Bu kısımda değişik kontrol hacim büyüklüğünün söndürme üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Deneysel ve teorik verileri 500 m³ büyüklüğündeki kontrol hacmi için incelenmiş ve diğer kontrol hacimler için davranış nasıl olacağı merak konusu olmuştur. Deneysel ve teorik çalışmalar karşılaştırılırken kontrol hacmin sıcaklığı hesaplanan yangın ve tespit edilen söndürme sıcaklıklarının ortalama alınmış ve teorik sonuçlar 800 µ için elde edilmişti. Bu bölümde ise 250, 750 ve 1000 m³'lük kontrol hacimler için deneysel sonuçlar bulunmadığından dolayı kontrol hacmin sıcaklığı yangın sırasındaki sıcaklık olarak alınmış ve 500 m³'lük deneysel sonuçlara 900 µ büyüklüğündeki su taneciklerinde yaklaşılmıştır. Bu nedenle bu bölümde teorik sonuçlar incelenirken su sis taneciklerinin ortalama büyüklüğü 900 µ olduğu kabul edilmiştir. Sonuçlar 1, 2 ve 6 MW büyüklüğündeki yangınlar ve 3, 4 ve 5 kg/sn'lik su debileri için hesaplanmış ve Şekil 6.1 – 6.9'larda grafik olarak gösterilmiş ve Tablo 6.1'de özetlenmiştir. Söndürme zamanları hesabı için iñilecek oksijen konsantrasyonu değeri deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içinde olan Reliable firmasının sonuçlarına göre yapılmıştır.



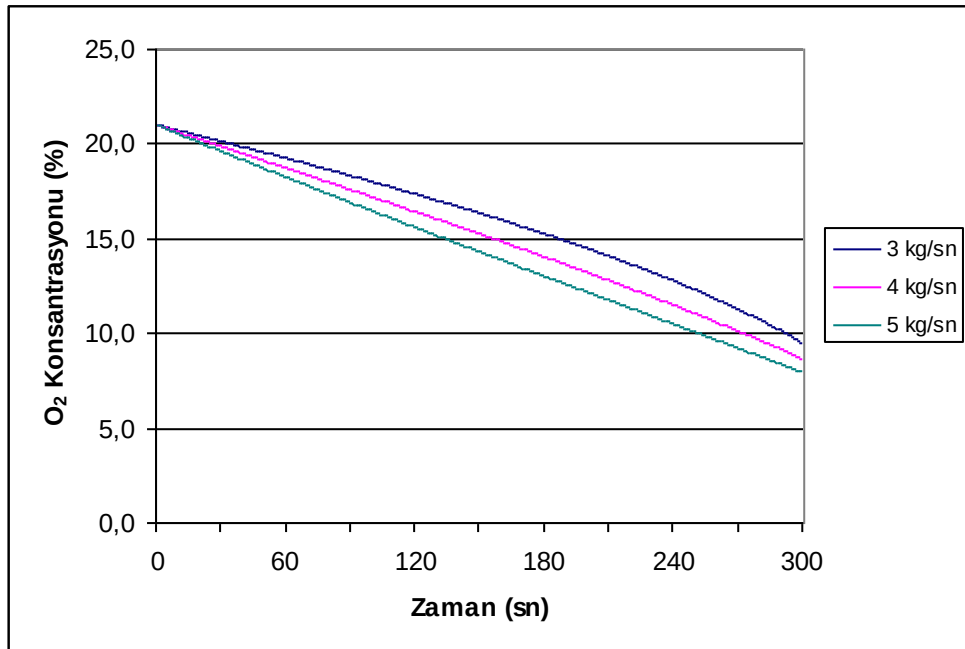
Şekil 6.1 1000 m³'lük Kontrol Hacı mdaki O₂ Konsantrasyonu Değişimi, Yangın Büyüklüğü 6 MW



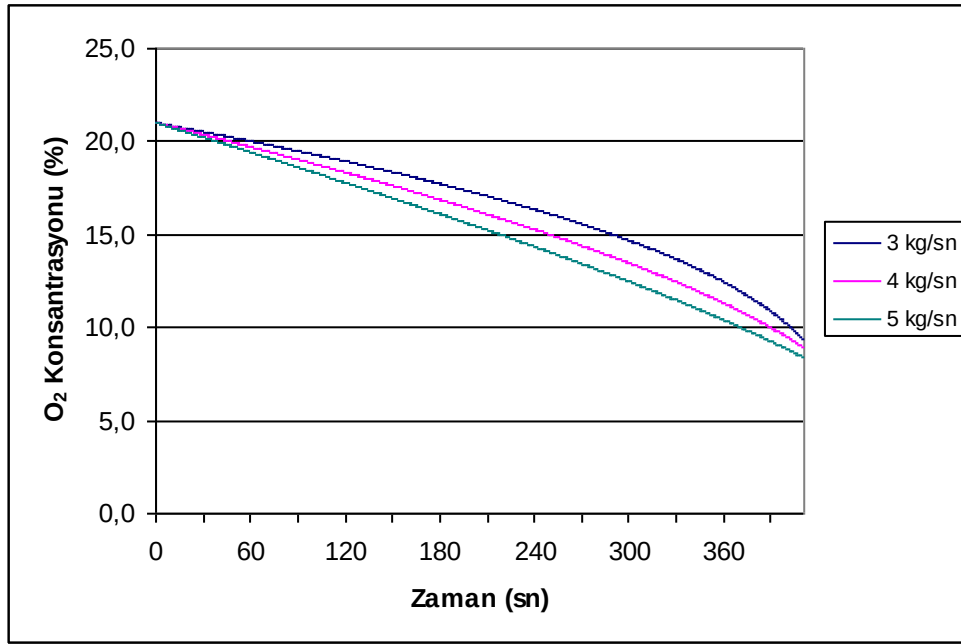
Şekil 6.2 1000 m³'lük Kontrol Hacı mdaki O₂ Konsantrasyonu Değişimi, Yangın Büyüklüğü 2 MW



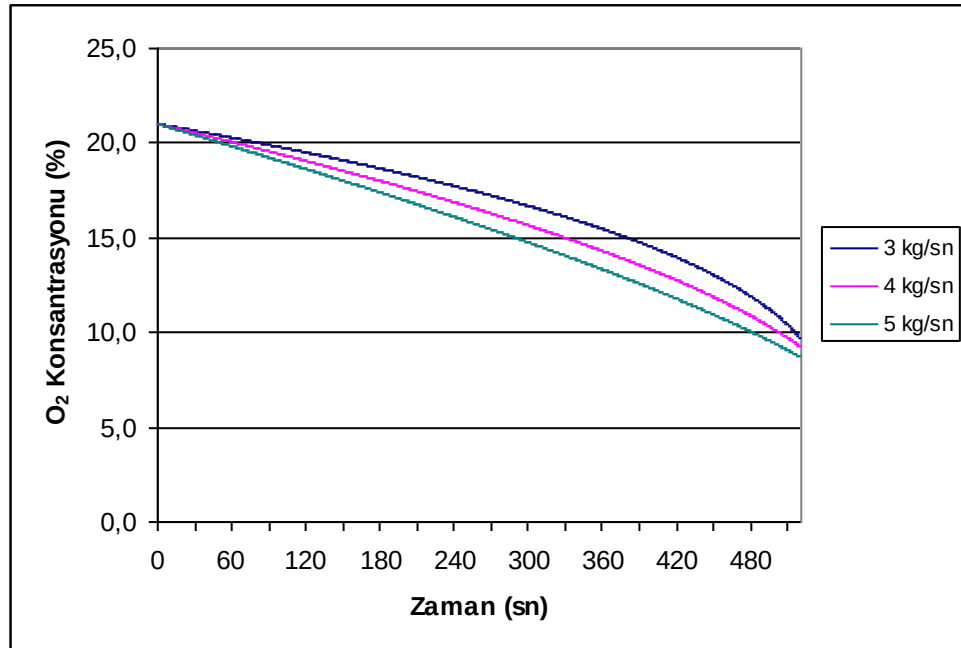
Şekil 6.3 1000 m³'lük Kontrol Hacı ndaki O₂ Konsantrasyonu Değişimi, Yangın Büyüklüğü 1 MW



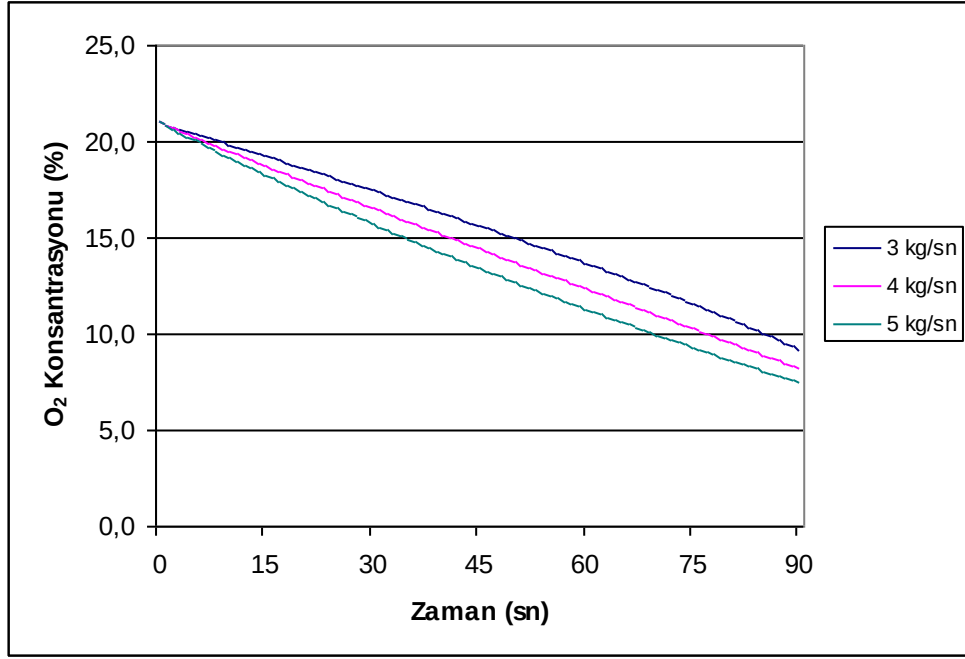
Şekil 6.4 750 m³'lük Kontrol Hacı ndaki O₂ Konsantrasyonu Değişimi, Yangın Büyüklüğü 6 MW



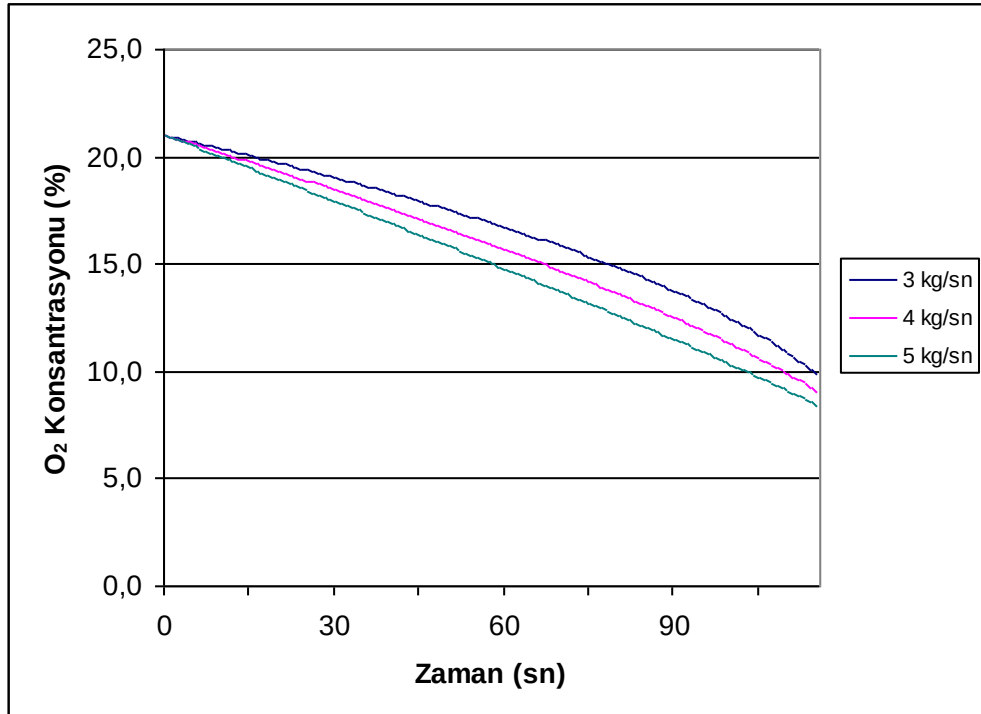
Şekil 6.5 750 m³'lük Kontrol Hacı ndaki O₂ Konsantrasyonu Değişimi, Yangın Büyüklüğü 2 MW



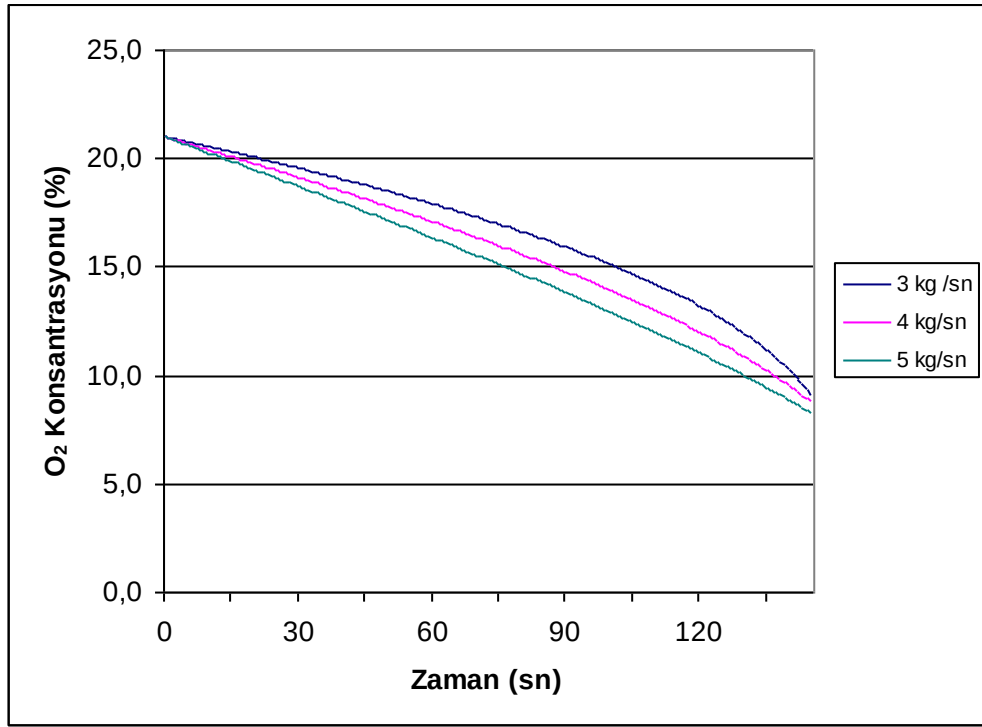
Şekil 6.6 750 m³'lük Kontrol Hacı ndaki O₂ Konsantrasyonu Değişimi, Yangın Büyüklüğü 1 MW



Şekil 6.7 250 m³'lük Kontrol Hacı ndaki O₂ Konsantrasyonu Değişimi, Yangın Büyüklüğü 6 MW



Şekil 6.8 250 m³'lük Kontrol Hacı ndaki O₂ Konsantrasyonu Değişimi, Yangın Büyüklüğü 2 MW



Şekil 6.9 250 m³'lük Kontrol Hacı ndaki O₂ Konsantrasyonu Değişimi, Yangın Büyüklüğü 1 MW

Kontrol hacmin boyutlarındaki artış su sisi sistemlerini n başarı oranını ters yönde etkilemektedir. Şekil 6.1 – 6.9 ve Tablo 6.1’den anlaşılabileceği gibi büyük kontrol hacimlerde söndürme zamanları çok uzamış ve oksijen konsantrasyonunun düşürülerek söndürülmesi amaçlanan küçük yangınlarda çok fazla daha debiye ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu mantık esas amacı az miktarda su kullanarak söndürmek olan su sisi sistemleri için zıtlık oluşturmaktadır. Daha fazla su debisine ihtiyaç duyarak, söndürme sisteminin klasik sprinkler sistemine benzetmesine ve ana söndürme mekanizmasının oksijen seyreltme yerine, yakıt yüzeyinin ıslatılarak yangından ısı çekilmesine neden olacaktır. Bill, Hansen ve Richards [11] 3000 m³’ten büyük gemi makine dairelerini su sisi ile söndürmeye çalışmışlar, fakat başarılı olamamışlardır. Bunun sebebinin de ortamda çok fazla oksijenin bulunmasına ve su sisi sisteminin oksijeni istenilen seviyelerin altına indiremediğine dikkat çekmişlerdir. Kim Yang ve Yoon [5,6] benzer çalışmayı atmosfere açık yangınlar için yapmışlar ve deneylerinde su debisinin büyüklüğünün söndürme etkin bir parametre olduğunu belirtmişlerdir. Yukarıdaki sonuçlardan çıkarılabileceğimiz özet su sisi sisteminin kontrol hacim büyüklüğüne bağlı olarak performansının önemli ölçüde değiştiği olacaktır. Örneğin 250 m³’lük mahaldeki 1 MW’lık yangın

için söndürme süreleri 1.5 – 2 dakika arasında değişmiş, fakat 1000 m³'lük kontrol hacim ve aynı büyüklükteki yangının bu süre 7 – 10 dakika arasında kalmıştır.

Tablo 6.1 Değişik Büyüklükteki Kontrol Hacimlerinin Teorik Söndürme Zamanları

Kontrol Hacim Büyüklüğü (m ³)	Yangın Büyüklüğü (MW)	O ₂ Konsantrasyonu (%)	Debi (kg/s)	t (Teorik) (s)
1000	1	14,7	3	561
			4	491
			5	433
	2	13,6	3	504
			4	466
			5	427
	6	16,9	3	203
			4	168
			5	142
750	1	14,7	3	391
			4	342
			5	302
	2	13,6	3	331
			4	295
			5	263
	6	16,9	3	134
			4	107
			5	90
250	1	14,7	3	105
			4	91
			5	80
	2	13,6	3	91
			4	80
			5	71
	6	16,9	3	35
			4	28
			5	23

6.2 Tanecik Büyüklüğünün Söndürme Üzerindeki Etkisi

Su sisi NFPA-750’de nozul ucundan 1 m uzaklıktaki bir düzlemde hacimsel olarak %09’unun 1000 µ dan küçük olan su tanecikleri olarak tanımlanır. Bu geniş bir kavramdır. Yani su tanecikleri 0 – 1000 µ arasında herhangi bir büyüklükte olabilir. Fakat bilinen bir gerçek vardır ki su taneciklerinin boyutları küçüldükçe buharlaşma oranı artacak ve ortamda bulunan oksijen konsantrasyonu daha hızlı bir şekilde düşürülecektir. Buna paralel olarak yangının daha çabuk bir şekilde sönməsi sağlanacaktır. Fakat en küçük tanecikli su sisi sisteminin oluşturmak dizayn basıncını

yükseltecek, nozul dizaynını zorlaştıracaktır. Bunlar da sistem ekonomisi yönünden negatif etki yapabilir. Bu bölümde değişik tanecik çaplarında 500 m³ lük kontrol hacimle çıkan 1 MW büyüklüğündeki yangının deney sonuçlarıyla iyi uyum gösterdiği için Reliable firması için kullanılan debi (4.2 kg/s) ile söndürülmesi incelenmiştir. Modelleme uygulanırken tanecik çapının bütün tanecikler için aynı olduğu ve ortalama büyüklüğün Bölüm 5.1’de olduğu gibi 800 µ olduğu kabul edilmiştir. Tablo 6.2’de değişik tanecik çaplarında taneciklerin ağırlıkları ve birim zamanda buharlaşan su miktarları gösterilmiştir.

Tablo 6.2 Tanecik Çapına Göre Ortalama Buharlaşma Miktarları

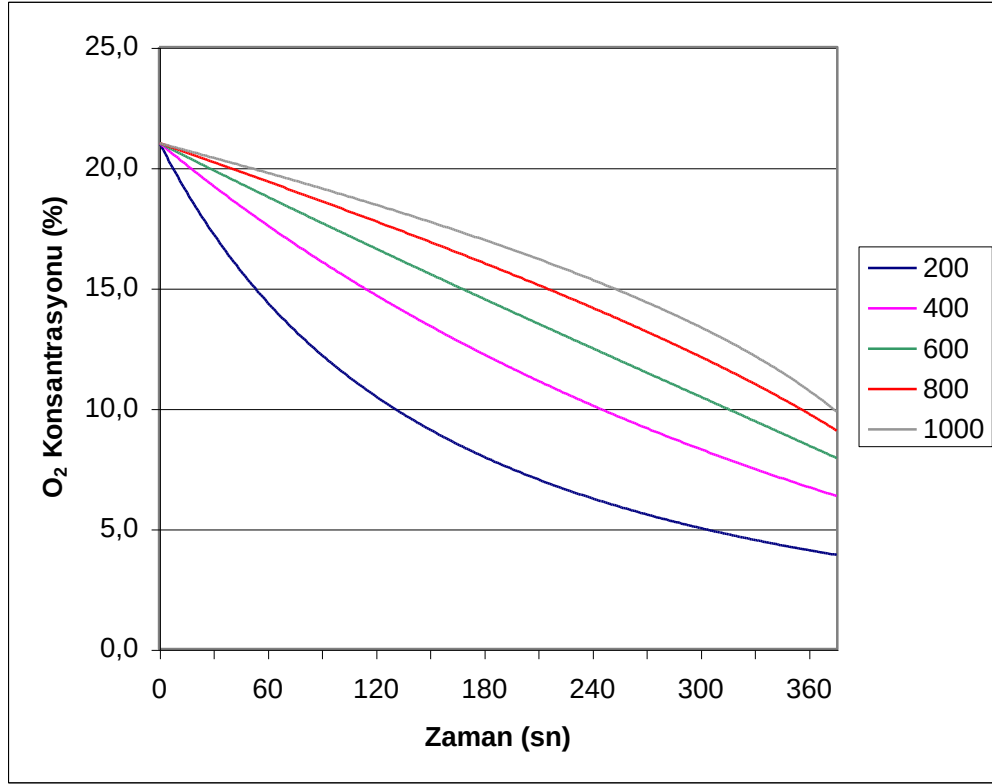
Tanecik Çapı (µ)	Ağırlık kg x 10 ⁹	Buharlaşma Miktarı kg/sn x 10 ⁹	Buharlaşma Oranı %/ s
200	4,18	2,61	62,4
400	33,51	8,80	26,26
600	113,09	18,05	15,96
800	268,08	29,58	11,03
1000	523,59	43,77	8,35

Bu veriler modelimizde uygulanırsa Şekil 6.10’daki eğriler ve %4.7 lik oksijen konsantrasyonu için Tablo 6.3’teki sonuçlar elde edilebilir.

Tablo 6.3 Tanecik Çapına Göre Teorik Söndürme Zamanları

Tanecik Çapı (µ)	200	400	600	800	1000
t (Teorik) (s)	56	120	177	224	262

Şekil 6.10 ve Tablo 6.3 incelendiğinde 500 m³ lük kontrol hacim ve 1 MW büyüklüğündeki yangın için 4.2 kg/sn’lik su debisi kullanılırsa söndürme zamanlarının 56 – 262 saniye arasında (≈ 1 – 4.3 dakika) değiştiği görülmektedir. Bu debi altında istenebilecek söndürme zamanını 1 veya 2 dakika olursa Tablo 6.3’ün yardımı ile diyebiliriz ki su sisli söndürme sistemi 200 – 400 mikron (1. ve 2. sınıf su sisli) arasında tanecikler gönderebilmelidir. Veya söndürme zamanının maksimum 3 dakika olmasını isteniyorsa bir yorum olursa, ortalama tanecik büyüklüğü 700 µ’un üzerine çıkmamalıdır diye fikir belirtebiliriz.



Şekil 6.10 Tanecik Çapına Göre Kontrol Hacı ndaki O_2 Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

6.3 Sonuç

Su sisi söndürme sistemi için oluşturulan modelleme bizlere özellikle yüksek basınçlı sistemlerde ve birçok farklı yangın senaryolarında fikir verebilecek niteliktedir. Herhangi bir mahal için boyutlarına, parametrelerine, tehlike sınıfına, yangın büyüklüğüne bağlı olarak dizayn edilebilecek bir su sisi söndürme sisteminin nasıl bir performans sergileyebileceğini gösterebilir. Hatta o mahal için söndürme zamanı şu kadar saniye isteniyor diye bir koşul konulursa bunu sağlayabilecek su sisi taneciği büyüklüğü hakkında da bilgi vermektedir.

Modelleme esas olarak oksijen konsantrasyonunun zamanla azalıp yangının söndürülme süresini tahmin edebilmek için oluşturulmuştur. Modellemede bütün tanecik büyüklükleri aynı kabul edilmiş ve hesaplamalar bu kabullenme üzerine yapılmıştır. Oysa gerçekte su sisi sistemlerinde tanecik çapı 0 – 1000 μ arasında değişmekte ve bu değişim oranı ancak üretici firmanın katalog değerlerinden tespit

edilebil mektedir. Herhangi bir i malatçı firmanın nozullerinin ürettiği su sisi taneciklerinin büyüklük dağılımı bilgi olarak verilirse, bu dağılımın söndürme üzerindeki etkisi modellenmenin modifiye edilmesi ile incelenebilir. Ayrıca söndürme sırasında bütün nozullerin aynı miktarda su açığa çıkardığı ve bir myüzeye düşen su taneciği (su debisi) miktarının sabit olduğu kabul edilmişti. Ancak gerçek durumlarda su deflektöre çarpıp taneciklere parçalandığında birbirleri arasında etkileşimde bulunmakta ve bir myüzeylere nozul ucundan farklı mesafelerde değişik değerlerde su debileri düşmektedir (Bkz. Şekil 3.1.1). Modelleme gerçekleştirilirken yangının çıktığı mahaldeki engellerin etkisi incelenmektedir. Gerçekte yangının çıktığı herhangi bir mahalde mutlaka su sisinin alev ile ilişkisini engelleyecek değişik nesneler bulunacaktır ve bunlar, a macı oksijen konsantrasyonunu düşürmek olan su taneciklerinin perforansını negatif yönde etkileyecektir. Engellerin söndürme üzerindeki olumsuz etkileri ve su taneciklerinin birbirleri ile olan etkileşimi deneysel çalışmalarla detaylı bir şekilde incelenebilir. Modelleme gerçekleştirilirken sıcaklığın kontrol haciminde sabit kaldığı kabul edilmişti. Fakat su tanecikleri buharlaşmaya başladıkları andan itibaren ortamdan ısı çekmekte ve mahal sıcaklığının düşmesine neden ol maktadırlar. Mahalin sıcaklık değişimi modelde ifade edilememiştir.. Bu noktada çıkarılabilecek olan diğer sonuç gerçekleştirilen modelleme sadece oksijen konsantrasyonunun düşürülmesi ile yangını söndürmeyi hedeflemiştir. Su sisi sistemlerinde söndürme sırasında aktif olarak oynayan 3 farklı mekanizma vardır; ısı çekilmesi, oksijen seyreltilmesi ve ışınlıma olan ısı transferinin engellenmesi. Deneysel çalışmaların hiçbirinde bu mekanizmaların hangisinin ne kadar etkili olduğu konusunda herhangi bir açıklama bulunmamaktadır ve Ma whiney ve Solomon'a göre [4] bunların teker teker etkilerini hesaplayabilmek imkansızdır. Kontrol hacmin buharlaşan su miktarına bağlı olarak sıcaklık değişimi modelin yeniden oluşturulmasıyla farklı bir çalışma konusu olarak çözülebilir. Modelleme için her zaman doğru sonuçları verebilecek bir çalışmadır yorumunu yapmamız yanlış olacaktır, lakin en azından herhangi bir sistemin dizaynı gerçekleştirilirken bizlere bir ön bilgi verebilecek niteliktedir.

KAYNAKLAR

- [1] **NFPA 750**, 1996. Standard on water mist fire protection systems, National Fire Protection Association
- [2] **Notarianni, K**, 1994. Water mist fire suppression systems, Proceeding of Technical Symposium on Halon Alternatives, Society of Fire Protection Engineers and PLC Education Foundation, Knoxville, TN June 27 – 28
- [3] **Pepi, J**, 1997. Water mist fire protection – When less is better, Fire Protection Products, Tyco Flow Control.
- [4] **Mahoney, J. and Solomon, R**, 1999. Water mist fire protection systems, Fire Protection Handbook, 18th Edition
- [5] **Kim M, Jang Y and Kim J**, 1996. Burning rate of a pool fire with downward directed sprays, *Fire Safety Journal*, **27**, 37 – 38
- [6] **Kim M, Yang Y and Yoon M**, 1997. Extinction limit of a pool fire with a water mist, *Fire Safety Journal*, **28**, 295 – 306
- [7] **Yao, B, Fan, W and Liao, G**, 1999. Interaction of water mists with a diffusion flame in a confined space, *Fire Safety Journal*, **33**, 127 – 139.
- [8] **Ndubizu, C, Ananth, R, Tate P. and Motevalli, V**, 1998. On water mist fire suppression mechanisms in a gaseous diffusion flame, *Fire Safety Journal*, **31**, 253 – 276.
- [9] **Prasad, K, Li, C and Kailasanath, K**, 1999, Simulation of small scale methanol liquid pool fires, *Fire Safety Journal*, **33**, 327 – 362
- [10] **Back, G, Beyler, C and Hansen, R**, 2000. A quasi-steady state model for predicting fire suppression in spaces protected by water mist systems, *Fire Safety Journal*, **35**, 327 – 362
- [11] **Bill, R, Hansen, R and Richards, K**, 1997. Fine-spray (water mist) protection of shipboard engine rooms, *Fire Safety Journal*, **29**, 317 – 336

- [12] **Gamero, V.**, 1996. Water mist: A new standard in fire fighting. Dorval, Quebec, Canada
- [13] **Spraying Systems**, 2000. General product catalogue
- [14] **White, F. M.**, 1994. Fluid Mechanics, Third edition, Mc Graw Hill International Editions
- [15] **Novozhilov, V.**, 2001. Flashover control under fire suppression conditions, *Fire Safety Journal*, **36**, 641 – 660
- [16] **Dghem J., Chesneau, X., Hetri, L. and Zeghmati, B.**, 2002. Heat and mass transfer correlations for liquid droplet of a pure fuel in combustion, *Heat and Mass Transfer*, **38**, 543 – 550
- [17] **Özışık, M.N.**, 1985. Heat Transfer, A Basic Approach, Mc Graw Hill International Editions
- [18] **Incropera, F. P., DeWitt, D. P.**, 1996. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fourth edition, John Wiley & Sons
- [19] **Genceli, O.E.**, 1999-2000. Isı ve kütle transferi ders notları

EKLER

Ek 1 Havanın Fiziksel Özellikleri [18]

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg K)	$\mu \times 10^7$ (Ns/m ²)	$\nu \times 10^6$ (m ² /sn)	$k \times 10^3$ (W/m K)	$\alpha \times 10^6$ (m ² /sn)	$D_{AB} \times 10^6$ (m ² /sn)	Pr
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	2.29	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	5.23	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	9.40	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	14.79	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	21.22	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	28.74	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	37.25	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	46.54	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	56.85	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	67.86	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	79.64	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	92.17	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	105.42	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	119.25	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	133.78	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	148.99	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	164.69	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	181.37	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	198.12	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	233.79	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	271.87	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	311.93	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	353.90	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	379.44	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	443.39	0.688

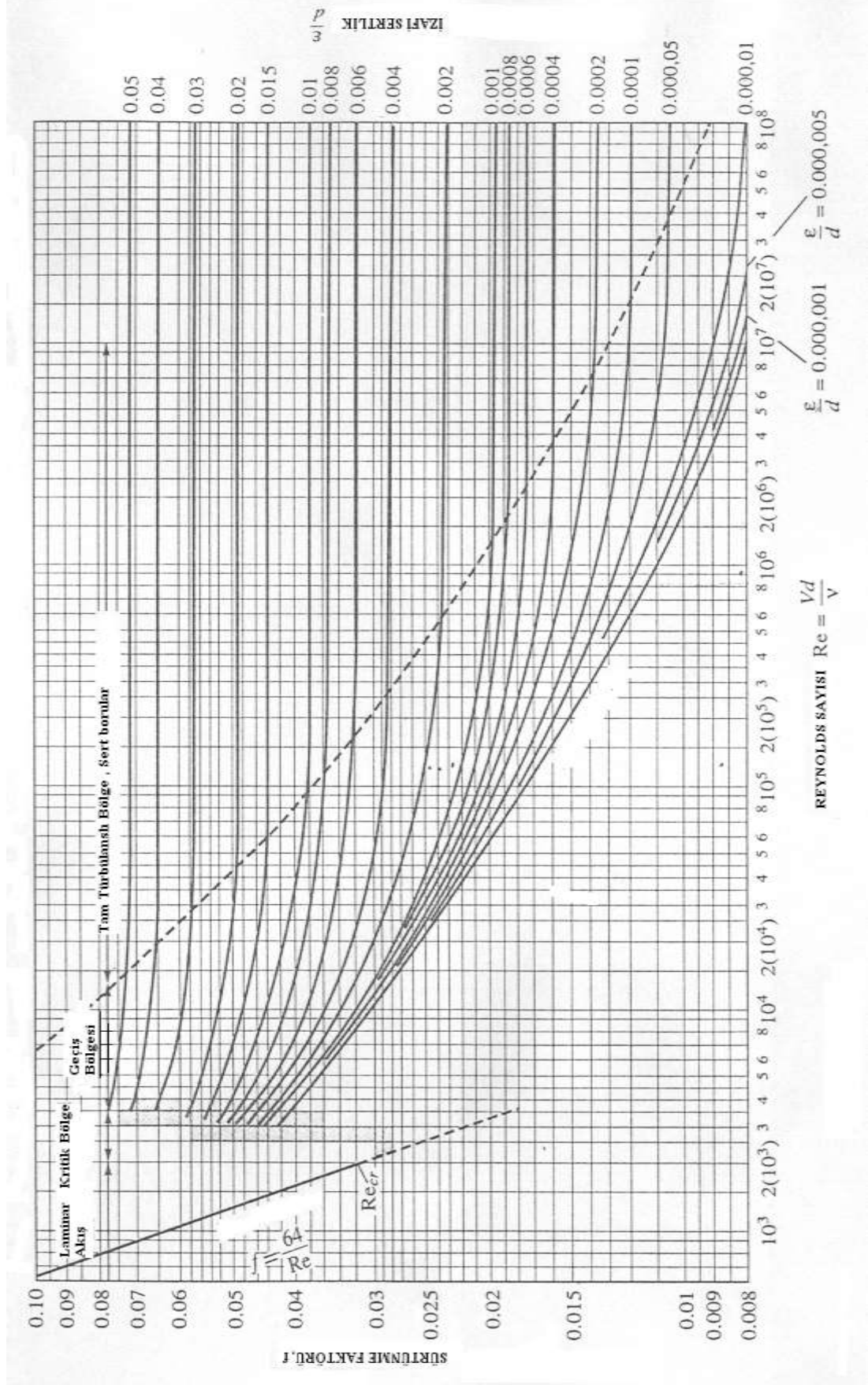
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	490.92	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	541.26	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	593.05	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	646.50	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	701.56	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	758.68	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	817.33	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	877.49	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	939.81	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	1275.35	0.536

Ek 2 Değişik Maddeler İçin σ ve ε/k Değerleri [17]

Madde		Molekül Ağırlığı (<i>MW</i>)	σ (Å)	ε/k (K)
Hava	Hava	28.97	3.617	97.0
Argon	Ar	39.44	3.418	124.0
Benzin	C ₆ H ₆	78.11	5.270	440.0
Bromin	Br ₂	159.83	4.268	520.0
Karbon dioksit	CO ₂	44.01	3.996	190.0
Karbon disülfid	CS ₂	76.14	4.438	488.0
Karbon monoksit	CO	28.01	3.590	110.0
Karbon tetraklorid	CCl ₄	153.84	5.881	327.0
Klor	Cl ₂	70.91	4.115	357.0
Etan	C ₂ H ₆	30.07	4.418	230.0
Etilen	C ₂ H ₄	28.05	4.232	205.0
Florin	F ₂	38.00	3.653	112.0
Helium	He	4.003	2.576	10.2
Hydrojen	H ₂	2.016	2.915	38.0
İyodin	I ₂	253.82	4.982	550.0
Kripton	Kr	83.80	3.61	190.0
Metan	CH ₄	16.04	3.822	137.0
Metil klorid	CH ₃ Cl	50.49	3.375	855.0
Neon	Ne	20.183	2.789	35.7
Nitrik oksit	NO	30.01	3.470	119.0
Azot	N ₂	28.02	3.681	91.5
Nitrus oksit	N ₂ O	44.02	3.879	220.0
Oksijen	O ₂	32.00	3.433	113.0
Sülfür dioksit	SO ₂	64.07	4.290	252.0
Su	H ₂ O	18.0	2.641	809.1

Ek 3 Çarpışma İntegrali $\Omega_{D,AB}$ 'nın Değerleri [17]

kT/ε	$\Omega_{D,AB}$	kT/ε	$\Omega_{D,AB}$	kT/ε	$\Omega_{D,AB}$
0.30	2.662	1.65	1.153	4.0	0.8836
0.35	2.476	1.70	1.140	4.1	0.8788
0.40	2.318	1.75	1.128	4.2	0.8740
0.45	2.184	1.80	1.116	4.3	0.8694
0.50	2.066	1.85	1.105	4.4	0.8652
0.55	1.966	1.90	1.094	4.5	0.8610
0.60	1.877	1.95	1.084	4.6	0.8568
0.65	1.798	2.00	1.075	4.7	0.8530
0.70	1.729	2.1	1.057	4.8	0.8492
0.75	1.667	2.2	1.041	4.9	0.8456
0.80	1.612	2.3	1.026	5.0	0.8422
0.85	1.562	2.4	1.012	6	0.8124
0.90	1.517	2.5	0.9996	7	0.7896
0.95	1.476	2.6	0.9878	8	0.7712
1.00	1.439	2.7	0.9770	9	0.7556
1.05	1.406	2.8	0.9672	10	0.7424
1.10	1.375	2.9	0.9576	20	0.6640
1.15	1.346	3.0	0.9490	30	0.6232
1.20	1.320	3.1	0.9406	40	0.5960
1.25	1.296	3.2	0.9328	50	0.5756
1.30	1.273	3.3	0.9256	60	0.5596
1.35	1.253	3.4	0.9186	70	0.5464
1.40	1.233	3.5	0.9120	80	0.5352
1.45	1.215	3.6	0.9058	90	0.5256
1.50	1.198	3.7	0.8998	100	0.5130
1.55	1.182	3.8	0.8942	200	0.4644
1.60	1.167	3.9	0.8888	400	0.4170



Ek 4 Moody Diagram [14]

ÖZGEÇMİŞ

Selçuk Bayındır 01.08.1976 tarihinde Kilis'te dünyaya geldi. İlkokulu İstanbul Beyazıt'taki Gedik Paşa İlköğretimi okulunda, orta okulu Fındıkzade'deki Özel Akasya Lisesinde okudu. Lise eğitimi 50. Yıl Avcılar İnsa Lisesinde tamamladı. 1994 yılında girdiği üniversite sınavlarında Gaziantep Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü kazandı. Lisans eğitimi burada tamamlayıp 1999 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans yapmaya hak kazandı. 1999 yılında Makina Mühendisleri Odası İstanbul şubesinde çalışmaya başladı. Daha sonra 2000 yılı Haziran ayında Fokus Mühendislik Taah. Tic. A.Ş.'e geçti ve halen bu firmada çalışmaktadır.