

# KARAYOLU TÜNELLERİNDE SU SİSİ SÖNDÜRME SİSTEMİ

**Gökhan BALIK**

## ÖZET

Dünyanın birçok ülkesinde karayolu tünellerinin otomatik sulu söndürme sistemi ile korunması yasal bir zorunluluk değildir. Hatta yangına müdahale amacıyla tatbik edilen suyun buharlaşması sonucunda, görüş mesafesinin azalacağı ve kaçış imkanlarının kısıtlanacağına dair görüşler de bulunmaktadır. Bununla birlikte, özellikle yüksek miktarda yanıcı madde bulunduran araçların geçişine izin verilen tünellerde çıkabilecek yangınlarda, otomatik sulu söndürme sistemlerinin; yangını kontrol altına alma, söndürme ya da manuel müdahale için gerekli koşulları iyileştirerek maddi hasarı azaltma gibi etkileri olduğu bilinmektedir.

Tünel yangınlarında sulu söndürme sistemlerinin etkilerinin incelendiği bilimsel araştırmalarda, gerçek boyutta trafiğe kapalı karayolu tünellerinde yangın testleri gerçekleştirilebilmektedir. Yapılan araştırmalarda tünellerde kullanılacak otomatik söndürme sistemleri arasında, köpüklü söndürme sistemi ve klasik sprinkler sisteminin yanı sıra, yangına daha az su kullanarak müdahale imkanı tanıyan su sisi söndürme sistemleri de yaygın olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada, özellikle son yıllarda Avrupa'da gerçekleştirilen uluslararası kapsamlı araştırma çalışmalarının sonuçları esas alınarak, karayolu tünellerinde çıkabilecek yangınlara karşı su sisi söndürme sistemi kullanımının avantaj ve dezavantajları değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Karayolu tüneli, Tünel yangını, Sulu söndürme, Su sisi sistemi.

## ABSTRACT

Protection of road tunnels by an automatic water based fire suppression system is not a legal obligation in most of the countries in the world. On the contrary, there are opinions that the vapor generation might reduce the visibility and adversely affect the means for safe evacuation. On the other hand, it is known that, especially for tunnel fires associated with heavy goods vehicles, the automatic water based fire suppression systems are effective for either suppressing the fire or controlling it to enable safe conditions for manual firefighting purposes.

Road tunnel fire tests can be performed in real road tunnels, which are not open to traffic, in the scope of scientific researches about the effects of water based fire suppression systems. In such studies, several types of automatic water based fire suppression systems have been widely investigated, such as foam suppression system and conventional sprinkler system, as well as water mist system, where fire is aimed to be suppressed with less amount of water. In this study, the advantages and disadvantages of using water mist fire extinguishing system for tunnel fires are evaluated based on the results of international comprehensive research projects conducted in Europe.

**Key Words:** Road tunnel, Tunnel fire, Water based fire suppression, Water mist system.

## 1. GİRİŞ

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in 5.maddesinin 2.fıkrasında, "Tasarımcılar tarafından, bu Yönetmelikte hakkında yeterli hüküm bulunmayan hususlarda ve metro, marina, helikopter pisti, tünel, stadyum, havalimanı ve benzeri kullanım alanlarının yangından korunmasında Türk Standartları, bu standartların olmaması hâlinde ise Avrupa Standartları esas alınır. Türk veya Avrupa Standartlarında düzenlenmeyen hususlarda, uluslararası geçerliliği kabul edilen standartlar da kullanılabilir" hükmü yer almaktadır. Karayolu tünellerinde otomatik sulu söndürme sistemi tesis edilmesi ile ilgili bir Türk Standardı veya Avrupa Standardı bulunmadığından, uluslararası geçerliliği olan standartlar dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada, karayolu tünelleri için uluslararası geçerliliği olan standartlar, gelişmiş ülkelerdeki uygulamalar ve özellikle Avrupa'da yapılan kapsamlı araştırmaların sonuçları göz önünde bulundurularak, karayolu tünellerinde otomatik söndürme sisteminin etkinliği değerlendirilmektedir.

Karayolu tünellerinde çıkabilecek yangınlar için, tünel boyunca otomatik sulu söndürme sistemi tesis edilmesi konusunda karşı görüşler bulunmaktadır. Yangın sırasında otomatik söndürme sisteminden akacak olan suyun buharlaşması neticesinde yoğun bir su buharı açığa çıkacağı ve bu nedenle görüş mesafesinin azalacağı ve tünelde kalan kişilerin kaçış güvenliğinin tehdit altında olacağı tartışılmaktadır.

Başta Fransa olmak üzere, birçok Avrupa ülkesinde ve ayrıca Amerika, Kanada, Japonya ve Hindistan gibi ülkelerde teknik komiteleri bulunan World Road Association (PIARC) tarafından ilk olarak 1999 yılında ve daha sonra 2004 yılında tünellerde yangın ve duman kontrol sistemleri ile ilgili düzenlemelerin ele alındığı kapsamlı bir rapor hazırlanmıştır [1]. Bu raporda yer alan bilgilere göre, 2004 tarihi itibarıyla; İngiltere, Almanya ve Fransa gibi Avrupa'nın önde gelen ülkelerinde karayolu tünelleri için sprinkler sistemi öngörülmediği, Danimarka ve Finlandiya'da klasik sprinkler sistemi ile ilgili çalışmalara yer verildiği, Norveç'te ise otomatik su sisi söndürme sistemi üzerine çalışmalar yapıldığı belirtilmiştir. Dünya genelinde ise tünellerde sprinkler sistemi kurulumunun önemle ele alındığı ülkeler arasında Japonya ve Avustralya gösterilmekte, bunun yanı sıra Amerika'da eyaletlere göre farklı uygulamalar söz konusu olmakla birlikte sprinkler sistemi ile korunan tüneller bulunduğu belirtilmektedir.

Avrupa'daki karayolu tünellerinin mevcut durumlarının belirlenmesi ve teknolojiye uygun olarak geliştirilmesi amacıyla, Avrupa Beşinci Çerçeve Programı kapsamında 19 ülkeden 41 kuruluşun ortaklığındaki bir konsorsiyum tarafından UPTUN (**UP**grading **TUN**nels) adlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir [2]. Dört yıl süren ve 2006 yılında tamamlanan bu kapsamlı çalışmada gerek deneysel gerekse sayısal yöntemlerle tünel yangınları incelenmiştir. Çalışma kapsamında, trafiğe kapalı durumda olan karayolu tünellerinde farklı söndürme sistemleri ve farklı yangın yükleri için yangın testleri gerçekleştirilmiştir. UPTUN projesinin ardından Avrupa'da tünellerde yangın güvenliği ile ilgili yapılan en kapsamlı çalışma, 2010 yılında başlayan ve halen devam eden SOLIT (**S**afety **O**f **L**ife **I**n **T**unnels) projesidir [3]. Bu proje daha çok Almanya merkezli olarak yürütülmekte ancak çalışma kapsamında yapılan tünel yangın testleri İspanya'da gerçekleştirilmektedir. SOLIT projesinde 100 MW değerinde kadar olan yangın yükleri için gerek su sisi söndürme sistemi gerekse diğer sabit yangın söndürme sistemleri incelenmiştir.

Amerika'da yangın güvenliği ile ilgili esasların belirlendiği en önemli kaynak, 1800'lü yılların sonlarında kurulmuş olan **National Fire Protection Association** adlı sivil toplum kuruluşuna bağlı teknik komiteler tarafından hazırlanan NFPA yangın kodlarıdır. Yangın güvenliği ile ilgili her türlü özel uygulamalara yönelik ayrıntılı bilgilerin yer aldığı ve ortalama 3-4 yılda bir güncellenen NFPA kodları arasında, karayolu tünelleri ile ilgili olarak NFPA 502 ve su sisi sistemleriyle ilgili olarak NFPA 750 adlı yangın kodları bulunmaktadır [4, 5]. Öte yandan, genellikle resmi bir yazım dili ile hazırlanan NFPA kodlarının, basit anlatımlar ve ilave şekillerle desteklenerek açıklandığı NFPA El Kitabı'nda, su sisi sistemleri için ayrı bir başlık altında bilgi verilmektedir [6].

Ülkemizde su sisi yangın söndürme sistemlerinin tesis edildiği bazı özel uygulamalar bulunmakta birlikte, daha az su kullanarak yangını söndürmeyi hedefleyen bu sistemin tasarım esasları birçok tasarımcı tarafından henüz yeterince anlaşılammıştır. Profesyonel düzeyde olmamakla birlikte, İTÜ Makina Fakültesi'nde son sınıf öğrencileri için zorunlu olan Bitirme Tasarım Projesi kapsamında, gerek

su sisi sistemi gerekse bu sistemin karayolu tünellerine uygulanması ile ilgili iki ayrı çalışma yapılmıştır [7, 8].

## 2. KARAYOLU TÜNELLERİNDE GENEL YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

Yangın güvenliğine yönelik önlemlerin; operasyonel, mimari, elektrik ve mekanik sistemleri de içine alan bir bütün şeklinde değerlendirilmesi esastır. Tünel içerisinde alınması zorunlu olan yangın güvenlik önlemlerinin seviyesi tünelin uzunluğu ile ilişkilidir. NFPA 502'ye göre söz konusu önlemler açısından tüneller aşağıdaki beş ayrı kategoride değerlendirilmektedir.

- Kategori X: tünel uzunluğunun 90 m'yi aşmadığı tüneller
- Kategori A: tünel uzunluğunun 90 m ile 240 m arasında olduğu tüneller
- Kategori B: tünel uzunluğunun 240 m ile 300 m arasında olduğu tüneller
- Kategori C: tünel uzunluğunun 300 m ile 1000 m arasında olduğu tüneller
- Kategori D: tünel uzunluğunun 1000 m'yi aştığı tüneller

### 2.1. Genel Yangın Güvenlik Önlemleri

Uzunluğu 1000 m'yi geçen ve NFPA 502'ye uygun olarak tasarlanan bir karayolu tüneline aşağıdaki önlemlerin alınması gerekir.

- Geliş ve gidiş tüpleri birbirinden yangına dayanıklı duvarlar ve geçiş kapılarıyla ayrılır.
- En fazla 200 m aralıklarla tüpler arası yaya geçiş yolları düzenlenir ve çıkışlar için acil durum yönlendirmesi yapılır.
- Gerektiğinde tünel girişindeki trafiği durdurmak için sinyalizasyon ve dijital uyarı levhaları tesis edilir.
- Radyo yayını üzerinden duyuru ve acil yönlendirme sistemi ile tünel içerisinde belirli noktalardan telefonla iletişim imkanı sağlanır.
- Otomatik yangın algılama sistemi (CCTV, ihbar butonu, dedektör ve yangın alarm paneli) tesis edilir.
- Otomatik tünel havalandırma sistemi tasarlanır.
- Yangın dolapları, itfaiye su alma ağızları, söndürme tüpleri gibi manuel yangın söndürme ekipmanları bulundurulur ve bunları besleyen yangın pompaları ile su depoları tesis edilir.
- Acil durum aydınlatma sistemi, acil durum güç kaynağı, acil kaçış planı yerleştirilmesi gibi önlemler alınır.

NFPA 502'ye göre otomatik sulu söndürme sistemi kurulması bir zrunluluk değildir ancak bu tür bir sistem tesis edilirse, sprinkler sistem tasarımıyla ilgili esasların tanımlandığı NFPA 13'e uygun bir sistem kurulması istenir.

### 2.2. Yangın Senaryosu

Yangın güvenliği açısından tesis edilen tüm sistemler ve operasyonel önlemler önceden belirlenmiş bir yangın senaryosuna uygun olarak çalıştırılır. Uzunluğu 1000 m'yi geçen ve NFPA 502'ye uygun olarak tasarlanan bir karayolu tüneli için uygun bir yangın senaryosu aşağıda özetlenmiştir.

Yangının algılanmasıyla birlikte devreye giren tünel havalandırma sistemi, tam kapasiteyle yangın modunda çalışmaya başlar. Tünel havalandırma sistemi, tünel boyunca havanın trafik akış yönünde belirli bir hızda akışını sağlayacak ve yangın çıkış noktasının ilerisinde tünel kesiti boyunca herhangi bir noktada geri akış olmasını engelleyecek şekilde tasarlanır. Böylece, yangın çıkış noktasından sonraki araçlar dumanın ilerleme hızından daha yüksek bir hızla tüneli terkederken, yangının gerisindeki araçlardan inen kişiler dumandan arındırılmış bir ortamda yan tüpe geçişleri kullanarak

güvenli bir bölüme ulaşabilirler. Aynı anda tünel girişlerinde yer alan dijital yönlendirme tabelaları aracılığıyla yönlendirme yapılarak tünele araç girişi engellenir ve tünele giden yollardaki trafik akışı düzenlenir.

Havalandırma sistemi aynı zamanda itfaiye ekiplerinin kaza noktasına kadar güvenli bir şekilde ulaşmasına ve yangına kolay müdahale edilmesine olanak sağlar. Tünel içerisinde yangının duyurulması ve insanların yönlendirilmesi için radyo yayını üzerinden acil yönlendirme anonsları yapılır. Günümüzde, tünel içerisindeki duyurular ve acil durum anonsları için, çınlama etkisinden dolayı hoparlör kullanımı tercih edilmemektedir.

### 2.3. Yangın Yüğü ve Açığa Çıkan Isıl Güç

Yangın söndürme sistemlerinin tasarımında etki eden en önemli parametrelerden biri de yangın yüğü ve yangında açığa çıkan ısı güğü değeridir. Karayolu tünelleri için bu parametreler, tünele girmesine izin verilen araç türüyle ilişkilidir. Araç yangınlarında açığa çıkan ısı güğü değerinin araç türüne göre değışimi Tablo 1’de verilmiştir (NFPA 502). Açığa çıkan ısı güğün pik değere ulaşma süresi yanıcı malzemenin türüne göre değışmekle birlikte, tasarımda bu sürenin 10 dk şeklinde alınabileceğı düşünülebilir. Ayrıca tünel yangınlarında yangının başlangıç noktasının hemen üzerindeki alev sıcaklıklarının 1000 ila 1400°C arasında değıştiğı bilinmektedir.

**Tablo 1.** Araçlar için tipik yangın yüğü değeri (NFPA 502)

Araç Türü	Pik Yangın Yüğü (MW)
Otomobil	5-10
2 ila 4 adet Otomobil	10-20
Otobüs	20-30
Yük Kamyonları	70-200
Tanker	200-300

Birçok karayolu tüneli, tehlikeli madde taşıyan araçların yanısıra, kamyon, tır ve benzeri ağır vasıtaların kullanımına kapalı olacak şekilde işletilmektedir.

### 2.4. Otomatik Söndürme Sistemleri için Tasarım Kriterleri

Tünel yangınlarına karşı tesis edilen otomatik söndürme sistemlerinin başarısını ölçmek için çeşitli tasarım kriterleri tanımlanmıştır. Kurulacak olan sistem yangını söndüremese dahi; görüş mesafesi, sıcaklık ve ışınım ısı akısı açısından belirli değeri aşılmasını engellediğı taktirde başarılı sayılmaktadır.

UPTUN projesi kapsamında yapılan çalışmalarda, yolcuların can güvenliğinin sağlanması açısından, yangının çıkış noktasından 32 m uzakta görüş mesafesinin en az 10 m olması, 29 m uzaklıkta ortalama kuru termometre sıcaklığı değeri en fazla 60°C olması ve ışınım ısı akısı değeri 2 kW/m<sup>2</sup> değeri aşmaması hedeflenmiştir. Yangına müdahale ekiplerinin güvenli çalışabilmesi için ise aynı mesafelerdeki ortalama sıcaklık ve ışınım ısı akısı değeri sırasıyla 100°C ve 5 kW/m<sup>2</sup> değeri aşmaması istenmektedir. İtfaiye ekiplerinin termal kameraya sahip olacağı düşünüldüğünde görüş mesafesi ile ilgili bir sınırlama tanımlanması gerekmemektedir. Son olarak tünelin yapısal güvenliği açısından, en zorlu koşulların oluştuğı yangın çıkış noktası yakınında açığa çıkan ısı güğü değeri 20 MW değeri aşmaması ve tavan sıcaklığının 300°C değeri altında kalması istenir. Ayrıca yangının yayılmaması için, yangın çıkış noktasının 20 m uzağında ışınım ısı akısının 5 kW/m<sup>2</sup> değeri geçmeyerek, bu noktada bir başka malzemenin tutuşmaya başlamasının engellenmesi amaçlanmaktadır.

### 3. OTOMATİK SU SİSİ YANGIN SÖNDÜRME SİSTEMİ

İlk olarak 1940'lı yıllarda bazı özel uygulamalar için kullanılan otomatik su sisi yangın söndürme sistemleri, kapalı mekanlarda meydana gelen yangınları başarıyla söndürebilmektedir. Su sisi sistemlerinde soğutma ve boğma gibi söndürme etkilerinin yanısıra, ışınlama ısı geçişini azaltma etkisiyle de yangının söndürülmesi amaçlanır. Klasik sprinkler sistemine göre çok daha az miktarda suyun kullanıldığı ve spreyi oluşturan damlacıkların çok küçük olduğu su sisi sistemleri, suyun yanmamış malzemelere verdiği zararın önemli ölçüde azaltıldığı bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Klasik sprinkler sistemine göre damlacıkların daha küçük olmasının olumsuz yanı ise, su sisi spreyindeki damlacıkların yangının kaynağına ulaşmak için yeterli momentuma sahip olmamasıdır. Su sisi sistemlerinin çalışma prensibini açıklayan en ilginç örnek, su sisi sisteminin; büyük bir oda içerisinde yanmakta olan bir mumu söndürememesidir. Ortam sıcaklığı buharlaşma için yeterli düzeye gelmediği sürece, spreyi oluşturan damlacıklar buharlaşma için gerekli sıcaklığa ulaşamayıp havada asılı kalmaya devam etmekte ve mum söndürebilecek düzeyde bir soğutma ya da boğma etkisi ortaya çıkmamaktadır.

#### 3.1. Su Sisi Sistemlerinin Sınıflandırılması

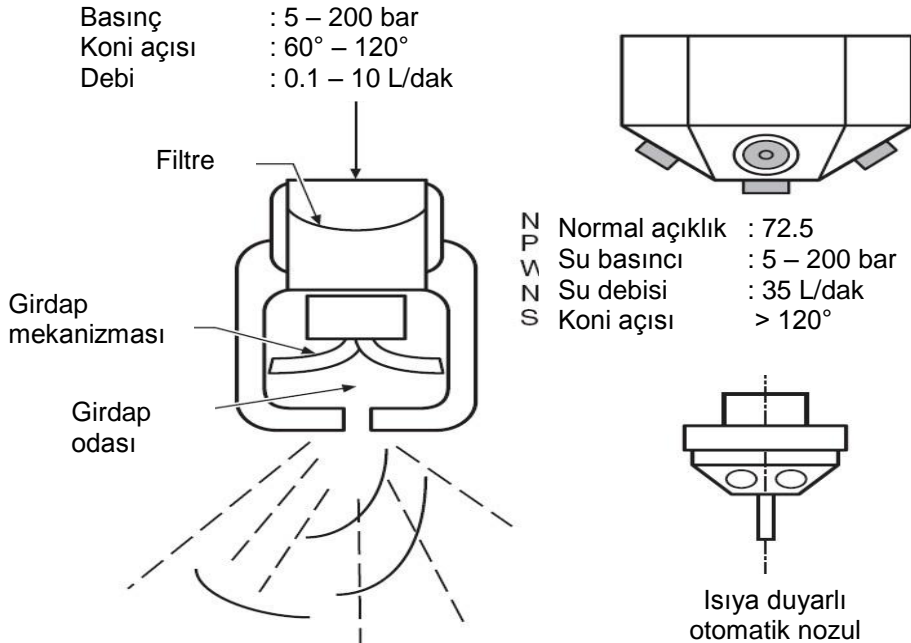
NFPA 750'ye göre su sisi sistemlerinin farklı şekillerde sınıflandırılması mümkündür.

##### 3.1.1. Su Basıncına Göre Sınıflandırma

Kullanılan su basıncının 12.1 bar değerinin altında olduğu sistemler düşük basınçlı, 34.5 bar değerinin üstünde olduğu sistemler ise yüksek basınçlı su sisi sistemleri şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu iki sınır değer arasındaki su basınçları için ise, orta basınçlı sistem tanımlaması yapılmaktadır.

##### 3.1.2. Nozul Türüne Göre Sınıflandırma

Ticari su sisi sistemi uygulamalarının çoğunda basınçlı su dar bir orifisten geçirilerek küçük parçalara ayrılmaktadır. Bazı örnek tasarımlar için debi ve basınç değerleri Şekil 1'de verilmektedir (Mawhinney, 2008).



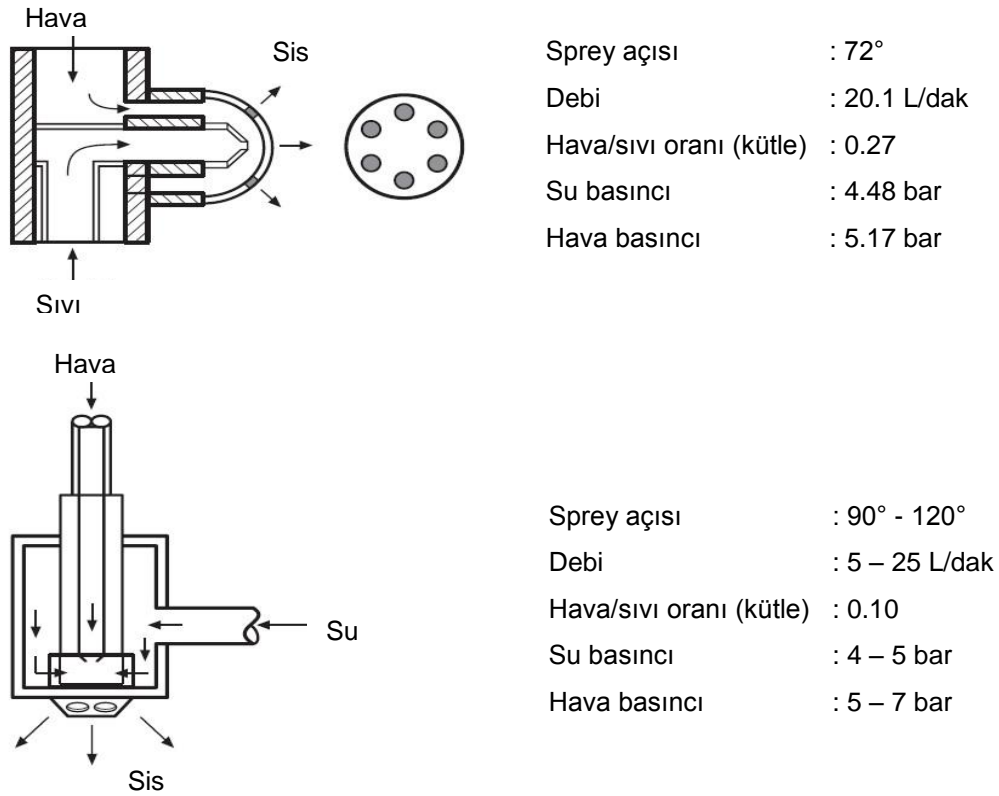
Şekil 1. Basınçlı jet su sisi nozul tasarımları (Mawhinney, 2008).

Bunun yanısıra, sprinkler sisteminde olduğu gibi bir deflektöre çarptırılarak parçalandığı tasarımlar da mevcuttur. Şekil 2’de bazı spiral deflektörlü nozul tasarımları verilmektedir (Mawhinney, 2008).



Şekil 2. Spiral deflektörlü su sisi nozul tasarımları (Mawhinney, 2008).

Su sisi sistemlerinde suyun parçalanması için basınçlı havanın kullanıldığı iki akışkanlı sistemler de yer almaktadır.

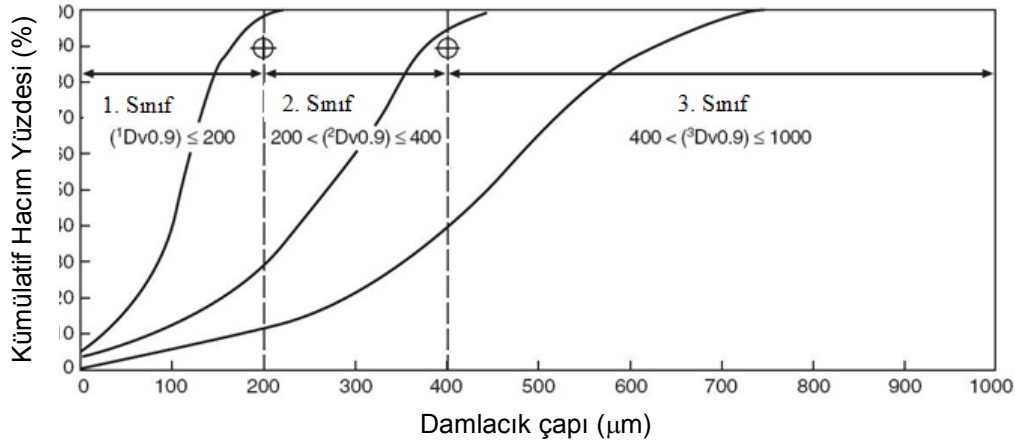


Şekil 3. İki akışkanlı su sisi nozul tasarımları (Mawhinney, 2008).

### 3.1.3. Damlacık Çapına Göre Sınıflandırma

Bir spreynin su sisi şeklinde sınıflandırılabilmesi için spreyi oluşturan damlacıkların ortalama çapının 1 mm değerinin altında olması gerekmektedir. NFPA 750'ye göre, spreynin içerisindeki damlacıkların toplam hacminin %90'ını oluşturan damlacıkların herbiri;

- 200  $\mu\text{m}$ 'den küçük ise 1.sınıf su sisi
- 400  $\mu\text{m}$ 'den küçük ise 2.sınıf su sisi
- 1000  $\mu\text{m}$ 'den küçük ise 3.sınıf su sisi şeklinde sınıflandırma yapılmaktadır.



Şekil 4. Su Sisi Sistemlerinin Damlacık Çapına Göre Sınıflandırılması (Mawhinney, 2008).

### 3.2. Klasik Sprinkler Sistemi ile Su Sisi Sistemi Tasarım Kriterlerinin Karşılaştırılması

Klasik sprinkler sistemlerinde olduğu gibi, ıslak sistem, kuru sistem, ön uyarılı sistem ve baskın sistem gibi kullanım şekillerine göre bir sınıflandırma da yapılabilmektedir. Suyun donma riskinin bulunduğu karayolu tünelleri uygulamaları için genellikle baskın sistem tercih edilmektedir. Japonya ve Avustralya gibi ülkelerde tüneller için sprinkler sistemi zorunlu olup, baskın sistem olarak tasarlanan klasik sprinkler sisteminde su debisi sırasıyla 1200 l/dk ve 1800 l/dk şeklindedir. Tünel uygulamalarında sprinkler sistemi ile su sisi sistemindeki tasarım değerlerinin karşılaştırılması için, Japonya ve Avustralya'da esas alınan değerlerle, UPTUN projesi kapsamında tesis edilen düşük basınçlı ve yüksek basınçlı su sisi sistemlerinde kullanılan değerler Tablo 2'de birarada gösterilmiştir.

Tablo 2. Tünellerde Sprinkler Sistemi ile Su Sisi Sistemindeki Tasarım Kriterlerinin Karşılaştırılması (UPTUN)

	Klasik Sprinkler Sistemi Baskın (Deluge) sistem		UPTUN Projesi Deneysel Çalışmalar	
	Japonya	Avustralya	Düşük Basınç	Yüksek Basınç
Su debisi (l/dk)	1200	1800	221-683	140-550
Su basıncı (bar)	~5	~5	3-10	60-120
Nozul sayısı (adet)	-	-	30-40	8-10
Tasarım yoğunluğu l/(dk*m <sup>2</sup> )	6	10	1.1-3.3	0.5-2.3
Operasyon alanı (m <sup>2</sup> )	200	200	140-210	230-290

Yukarıdaki tabloda verilen değerlere göre, su sisi sisteminde kullanılan su debisi klasik sprinkler sisteminde kullanılan miktarın ortalama %20'si mertebesine düşürülebilmektedir. Buna karşılık düşük basınçlı su sisteminde su basıncı değeri sprinkler sistemi ile aynı mertebede iken, yüksek basınçlı su sisi sisteminde 60 bar değerinden başlayan basınç değerleri söz konusudur. Öte yandan yüksek basınçlı su sisi sisteminde tasarım yoğunluğunun 0.5 l/(dk\*m<sup>2</sup>) seviyesine kadar düşürüldüğü ve 230 m<sup>2</sup> operasyon alanında sadece 8 adet nozul kullanılarak tasarım yapılmakta olduğu dikkat çekicidir.

### 3.3. Su Sisi Sistemi ile Gerçekleştirilen Tünel Yangın Testleri

Tünellerde meydana gelebilecek kazalar ve araç arızaları sonucunda çıkabilecek yangınlarda açığa çıkan ısı gücü değerinin yüksek olması nedeniyle, su sisi sisteminin karayolu tünelleri için uygun olabileceği öngörülmüştür. Öte yandan, belirli bir uzunluğun üzerindeki tünellerde yangın güvenliği açısından tesis edilmesi zorunlu olan havalandırma sistemi nedeniyle, su sisi spreynin yangının merkezine ulaşmadan hava akımına kapılarak etkili olamaması riski de söz konusudur. Bu iki etki,

özellikle Avrupa'da UPTUN ve SOLIT gibi projeler kapsamında yapılan deneysel çalışmaların yolunu açmıştır.

UPTUN projesi kapsamında birebir ölçekteki trafiğe kapalı tünellerde düşük ve yüksek basınçlı su sisi sistemleri aktive edilerek gerçekleştirilen yangın testlerinin sonuçlarına göre, yangın araç gövdesinin içinde olduğu sürece yangının kaynağına suyun ulaşması mümkün olmadığından, yangın söndürülemez. Ancak yangında açığa çıkan ısı gücünün 20 MW değerinin üzerine çıkmasının önlenmesi ve itfaiye ekiplerinin müdahalesi için uygun çalışma koşullarının sağlandığı görülmüştür. Kaçış güvenliği açısından bakıldığında ise, ortalama sıcaklığın uygun değerlere düşürüldüğü görülürken, görüş mesafesi kriterinin yerine getirilemediği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, tasarım kriteri olarak belirlenen mesafesinin ötesinde, görüş uzaklığının arttığı ve ortalama sıcaklıktaki düşüş nedeniyle de kaçış güvenliğinin genel olarak iyileştirildiği şeklinde bir yorum yapılmıştır.

#### 4. SONUÇ

Dünya genelinde, Japonya ve Avustralya gibi birkaç ülke dışında karayolu tünelleri için otomatik sulu söndürme sistemi yasal bir zorunluluk değildir. Risk değerlendirmesi açısından ise, özellikle yüksek yangın yükü ihtiva eden araçların kullanımına açık olan tünellerde, gerek can güvenliği gerekse tünelde oluşabilecek maddi zararın önlenmesi açısından otomatik söndürme sistemi tesis edilmesinin yararlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Su sisi sistemlerinde klasik sprinkler sistemine göre yangının daha az su ile söndürülmesi amaçlanmakta olup, gerekli su miktarı yaklaşık %20 mertebesine düşürülebilmektedir.

Karayolu tünelleri için otomatik yangın söndürme sistemi olarak su sisi sistemi tesis edilmesinin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymak üzere, özellikle Avrupa Birliği Çerçeve Programları kapsamında yüksek bütçeli araştırma projeleri yürütülmektedir. Bu kapsamda birebir ölçekli tünellerde gerçekleştirilen yangın testlerinin sonuçlarına göre, gerek düşük veya yüksek basınçlı su sisi sistemi gerekse klasik sprinkler sisteminin, araç gövdesi içindeki yangınları söndüremediği ancak yangının tünelde zarar verecek düzeye ulaşmasını engelleme ve itfaiye ekiplerinin müdahalesini kolaylaştırma gibi faydalar sağladığı görülmüştür. Düşük basınçlı su sisi sistemlerinde damlacıklar tünel havalandırma sisteminin oluşturduğu hava akımından etkilenirken, yüksek basınçlı su sisi sistemlerinde bu etkinin oldukça azaldığı gözlenmiştir. Can güvenliği açısından, su sisi sistemlerinin ortalama sıcaklığı düşürmek gibi olumlu etkileri olduğu gibi, özellikle yangın çıkış noktasına yakın bölgelerde görüş mesafesini azaltacak düzeyde bir buharlaşmaya yol açmak gibi olumsuz yönlerinin olduğu da görülmüştür. Yangın testlerinin sonuçlarının daha güvenilir hale getirilebilmesi için, günümüzde sıvı yakıtların ya da tahta çıtaların tutuşturulması ile gerçekleştirilen bu testlerin, gelecekte çeşitli mallarla yüklü gerçek araçların tutuşturulması yoluyla yapılabilmesi hedeflenmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] PIARC, Fire and smoke control in road tunnel, World Road Association, La Defense cedex, France, 2004.
- [2] UPTUN, <http://www.curnet.nl/index.asp?page=pagina.asp&id=uptun>, Upgrading existing tunnels for fire safety, 2006.
- [3] SOLIT, [http://www.solit.info/en\\_index.htm](http://www.solit.info/en_index.htm), Safety of Life in Tunnels, 2010.
- [4] NFPA-502, "Standard for road tunnels, bridges, and other limited access highways", National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2011.
- [5] NFPA-750, Standard on water mist fire protection systems, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2010.
- [6] Mawhinney, J. R., "Water mist fire suppression systems", Fire Protection Handbook, 20th Ed., 2008.



- [7] TERDİ, Ö. ve KOLAYLI, E.C., “Az Su Kullanan Yangın Söndürme Cihazı Tasarımı”, İTÜ Makina Fakültesi Bitirme Tasarım Projesi Raporu, 2011.
- [8] ÖZTÜRK, O. ve YARAR, C., “Arşiv Odaları İçin Az Su Kullanan Yangın Söndürme Sistemi Tasarımı”, İTÜ Makina Fakültesi Bitirme Tasarım Projesi Raporu, 2012.

## ÖZGEÇMİŞ

### Gökhan BALIK

1979 yılı Tunceli-Hozat doğumludur. İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden 2000 yılında mezun olmuştur. 2003 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji programında yüksek lisansını tamamlamıştır. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Makina Mühendisliği Doktora programını bitirerek 2010 yılında Doktor unvanı almıştır. 2001-2012 yılları arasında önce Araştırma Görevlisi daha sonra Öğretim Görevlisi olarak İTÜ Makina Fakültesi'nde hizmet yapmıştır. 2002 yılından bu yana binalarda yangın güvenliği ile ilgili çeşitli konularda çalışmalar yapmıştır. 2012 yılında Etik Mühendislik Danışmanlık Tasarım ve Eğitim Hizmetleri Ltd. Şti. bünyesine katılarak çalışmalarını sürdürmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.