

Trafik Kazaları Sonucu Oluşan Yangınların Karayolu Tünelleri Üzerindeki Etkileri ve Yangına Karşı Süreli Koruma Sağlayan Edilgen (Pasif) Yangın Koruma Yöntemleri

Yrd. Doç. Dr. N. Özgür BEZGİN

İstanbul Üniversitesi, Avcılar Yerleşkesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul
ozgur.bezgin@istanbul.edu.tr

Öz

Ülkemizde artan karayolu trafiği ile birlikte trafik kazaları da artmaktadır. Trafik kazaları sonucu ortaya çıkabilen yangınların bir tünel içerisinde gerçekleşmeleri durumunda insan hayatı için ölüm ve tünel yapısı için yıkım ile sonuçlanabilecek sonuçlar doğabilir. Bu nedenle tünel yangınları, önlem alınması gereken tehlikeli büyük risk unsurlarıdır.

Tünel içerisinde gerçekleşen kazaya karışan araçların taşıdıkları yükün miktarına ve türüne, kazaya karışan araçların sayısına ve kazanın gerçekleşme hızına bağlı olarak ortaya çıkması muhtemel yangının niteliği ve etkisi de değişkendir. Bu nedenle tünellerde araç türleri ve araçların geçiş hızları sınırlanmaktadır. Oluşacak bir yangının etkilerine karşı da tünel yapısı edilgen (pasif) yangın koruma malzemeleri ile koruma altına alınabilmektedir.

Bir tünel içerisinde gerçekleşen yangın, kapalı hacmin etkisi ve tünelin sağladığı yangını besleyici hava akışı sayesinde 1000°C'yi aşan sıcaklıklara 5 dakika içerisinde ulaşabilmektedir. Gerçekleşen kaza ile yaşanabilecek tıkanıklık, kaza sonrasında insanların hızla tahliye edilebilmeleri için güvenli kaçış yollarının sağlanmasını gerektirir. Diğer taraftan yoğun sıcaklık etkisi altında korumasız beton yangın etkisi altında zayıflamakta ve mukavemetine bağlı olarak patlamalı bir şekilde parçalanmaktadır.

Her ne kadar konu, içerdiği malzeme ve yapı davranışları itibariyle bir ulaştırma mühendisliği konusu gibi düşünülmesede bir ulaştırma mühendisi, tasarım ve karar sürecinde sorumluluk aldığı bir yol geçkisinin gerektirdiği tüm mühendislik gereksinimleri hakkında işlevsel bilgilere sahip olmalıdır.

Çalışma içerisinde, tünel yangınlarının tahrip edici yönleri ve bu tahribata karşı sağlanması gereken edilgen yangın koruma türleri irdelenecektir. 1200°C'ye ulaştırılarak gerçekleştirilen bir yangın deneyi kapsamında yüksek mukavemetli tünel betonunu temsil eden donatılı bir levha numunede gözlenen davranışlar ve tahribat paylaşılarak sağlanan edilgen korumanın etkinliğine dair ölçümler ve gözlemler paylaşılacaktır.

Anahtar sözcükler: Tünel, karayolu, yangın, yangın yükü, edilgen koruma, pasif koruma.

Giriş

Türkiye’de 2015 yılı başı itibariyle devlet ve il yollarımızda 160 adet tünel, otoyollarımızda ise 27 adet tünel bulunmaktadır (1). Yapım ve proje aşamasında olan 51 adet tünelin eklenmesiyle yurdumuzda toplam tünel sayısının 8 sene sonra 238 olacağı beklenmektedir (1). Mevcut hali ile toplam uzunluğu yaklaşık 147 km olan tünellerimizin uzunluğu devam eden tünel inşaatları ve yapımı planlanan tüneller ile artacaktır. Tünellerimiz, ağırlıklı olarak Yeni Avusturya Tünel Metodu (New Austrian Tunneling Method, NATM) ismiyle anılan ve tünel iç çeperine tespit edilen hasır çelik içeren püskürtme beton kullanımı veya betonarme segmentler kullanılarak inşa edilen delme tünel (Bored tunnel) yöntemleri ile inşa edilmektedirler.

Artan tünel sayısı ve tünellerin hizmet verdiği yolların günlük trafik hacmi, bu tünellerin içerisinde gerçekleşecek bir trafik kazası sonucu oluşması muhtemel yangınların etkilerinin anlaşılmasını ve bu etkilere karşı önlem alınmasını gerektirmektedir.

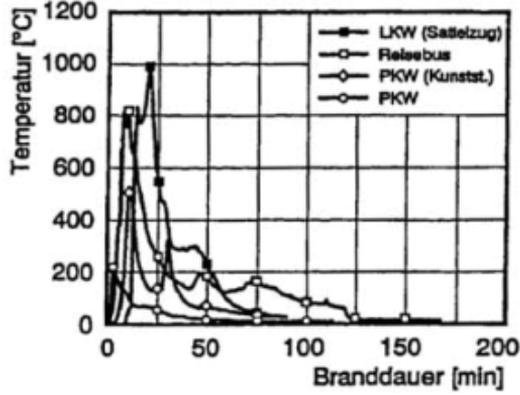
Bu çalışma içerisinde, yangın yükü etki değerlerinin anlaşılmasına dair Avrupa’da yapılan deneyler ve bu deneyler sonucu belirlenen tasarım değerleri, uygulanmakta olan ve yangına karşı dayanımı artıran yöntemler ve bu yöntemlerin farklılıkları ve edilgen yangın kaplama yönteminin kullanıldığı bir yangın tepki deneyi sonuçlarına göre tespitler sunulacaktır.

Yangın Yükü Değerleri

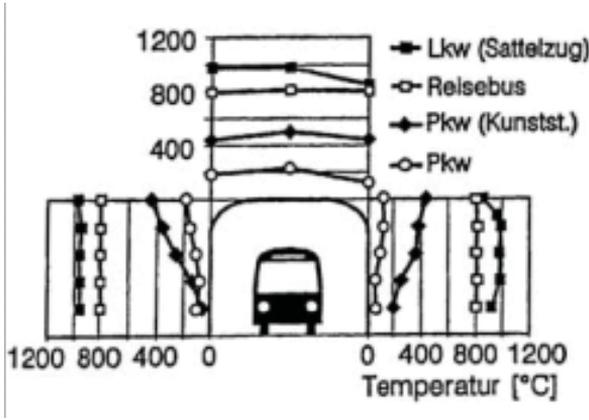
Tünel tasarımında bugün sıklıkla Hollanda RWS, Eurocode HC, Fransız HCM veya Alman ZTV-ING şartnamesi kapsamında belirtilen yangın yüklenme değerleri kullanılmaktadır. Bu tasarım değerleri, yıllar içerisinde gerçekleştirilen çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır.

Tünel içerisinde meydana gelen yangınların etki değerleri, 1970’lerin sonunda, 1990’lı yıllarda ve 2000’li yıllarda yapılan çalışmalar ile tespit edilmeye çalışılmıştır. 1990-1992 yılları arasında gerçekleştirilen EUREKA Programı çerçevesinde yapılan çalışmada, Norveç’de terkedilmiş bir maden tüneli olan 2,3 km uzunluğundaki Repparfjörd tüneli içerisinde 20 adet yangın deneyi gerçekleştirilmiştir. 35m² kesit enine sahip olan bu tünelde Çekici-treyler (lastkraftwagen: LKW), otobüs (Reisebus) ve araba (personenkraftwagen: PKW) türü araçlar yakılarak oluşan sıcaklık değerleri ölçülmüştür. 2-Ton ağırlığında ahşap mobilya yüklü treylerin yanması ile tünel tavanında ve yan duvarlarında en yüksek 1000°C’ye ulaşan ve 75 dakika süren bir yangın oluşmuştur (2). Şekil 1’de gerçekleştirilen yangın deneyleri ile ulaşılan sıcaklıklar ve Şekil 2’de yangının tünel kesiti içerisindeki dağılımları görülmektedir. Bu deney ile elde edilen en önemli tespit, tünel içerisinde gerçekleşen yangın sonucu sıcaklığın 5 dakika içerisinde en yüksek değerine ulaşmasıdır.

2003’e gelindiğinde, mevcut tünellerin yangın güvenliği için kullanılan yöntemlerin yenilenmesi için başlatılan UPTUN projesi kapsamında, Norveç’te yer alan, 9-metre genişliğinde, 6-metre yüksekliğinde ve 1.600 metre uzunluğunda terkedilmiş bir kaya tüneli olan Runehammar’da yangın tetkikleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testlerde, 10-metre uzunluğunda, 2,6-m genişliğinde ve 4,5-m yüksekliğinde bir treyler, 8-Ton ahşap ve 2-Ton plastik palet ile yüklenerek yakılmıştır (3). Oluşan yangın ile sıcaklık 1350°C’ye ulaşılmış ve 203 MW güç açığa çıkmıştır.

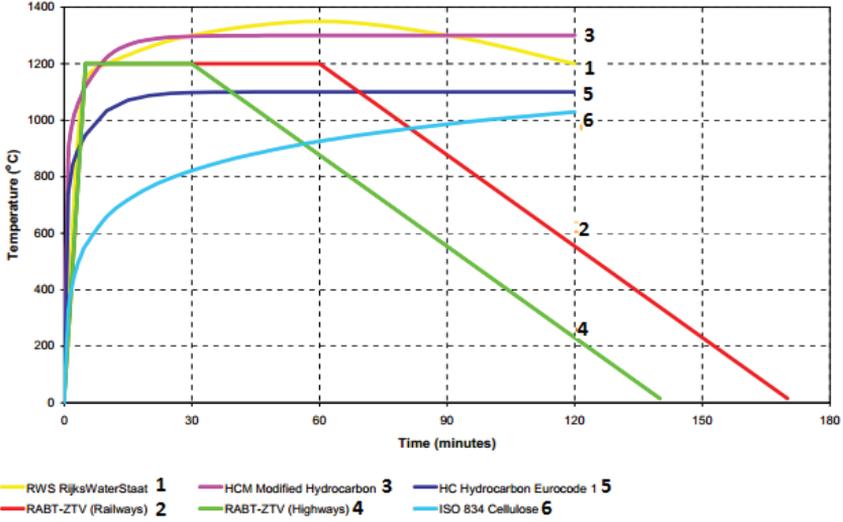


Şekil 1 EUREKA yangın deneyi ile elde edilen sıcaklık değerleri ve etki süreleri. (2)



Şekil 2 EUREKA yangın deneyi ile elde edilen sıcaklık dağılımları. (2)

EUREKA ve UPTUN testleri dâhil olmak üzere Hollanda'da ve diğer Avrupa Birliği ülkelerinin gerçekleştirdiği yerel yangın tetkikleri sonrasında, bir tünelin yangın için tasarımında kullanılmak üzere Şekil 3'de sunulan yangın yükü eğrileri tespit edilmiştir (4). Burada 2 ve 4 numaralı eğriler ile belirtilen yangın yükü eğrileri, ZTV-ING kapsamında sırasıyla, demiryolu ve özel karayolu tünelleri ile karayolu tünellerinin yangın yükü tasarımında kullanılmaktadırlar. Demiryolu ve özel karayolu tünelleri için yangın yükünün daha uzun tutulmasının nedeni, özellikle demiryolu tünel yangınlarında, yangın mahalline erişimin, karayolu tüneli içerisinde gerçekleşecek bir yangına erişimden daha uzun sürebilecek olmasındandır (2). ZTV-ING eğrileri, selüloz ve plastik alaşımli kuru yükleri temsil etmektedir. 1 numara ile belirtilen RWS eğrisi, Hollanda Altyapı ve Çevre Bakanlığına bağlı ve her türlü altyapı tesisinin tasarım ve inşasında sorumlu bir kuruluş olan Rijkwaterstaat tarafından kullanılmakta olan yangın eğrisidir. Bu eğri, 1979 senesinde Hollanda'da gerçekleştirilen çalışmalar ile elde edilen bir hidrokarbon yangın eğrisi olup, 50m³ yakıt tankerinin 120 dakika boyunca yanma durumunu temsil etmektedir (5). RWS eğrisi, Runehammar tetkikleri ile de teyit edilmiştir. 5 numara ile belirtilen HC eğrisi Eurocode tarafından kullanılan hidrokarbon yangın eğrisi, 3 numara ile belirtilen HCM eğrisi ise Fransa tarafından kullanılmakta olan değiştirilmiş hidrokarbon yangın eğrisidir.



Şekil 3 Yürürlükte olan yangın yüklemeye değerleri. (5)

Bir tünel tasarımında uygulanacak yangın eğrisi, inşa edilecek olan tünel içerisinden geçmesine izin verilecek araçların türlerine ve taşıdıkları yük türlerine göre seçilmelidir.

Yangın Yükü Etkisi Altında Oluşan Hasar

Yapılan deneyler, bir tünel içerisinde meydana gelen yangın sonucu açığa çıkan ısı enerjisi nedeniyle sıcaklığın dakikada $150^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ değerinde arttığını göstermiştir. Betonarme tünel içerisinde gerçekleşen bir yangın sonrası betonda görülen en önemli hasar İngilizce’de “spalling” olarak ifade edilen ve Türkçe’de “kabuklanma” olarak ifade edilebilecek olan hasardır. Kabuklanma, tünel gibi kapalı ortamlarda, yüksek oranlarda artan sıcaklık değerlerine dakikalar içerisinde maruz kalan beton yüzeyin, bünyesindeki boşluk oranına ve nem oranına bağlı olarak katmanlar halinde patlamalı bir şekilde sökülmesidir. Kabuklanmanın nedeni, yangına maruz kalan beton yüzeyine yakın katman içerisinde hızla oluşan ve betonun doğrudan çekme mukavemetini aşan içsel gerilmelerdir. İçsel gerilmelerin oluşumu, beton boşlukları içerisinde buharlaşan suyun basıncı, beton muhtevasını oluşturan unsurların farklı ısıl genişleme katsayıları ve beton içerisinde kullanılan agreganın kökeni ve gradasyonu ile ilgilidir. Betonun mukavemeti arttıkça azalan boşluk oranı nedeniyle beton bünyesi içerisindeki serbest nem, yangın esnasında 1 dakikadan az bir süre içerisinde 100°C ’ye ulaşan sıcaklık ile buharlaşmaya ve beton içerisindeki sınırlı boşluklar içerisinde yüksek basınç değerleri oluşturmaya başlar. Beton mukavemeti arttıkça genellikle azalan boşluk oranı nedeniyle kabuklanma, yüksek mukavemetli betonlarda normal mukavemetli betonlara göre daha şiddetli ve sökülme derinliği daha derin bir şekilde gerçekleşebilmektedir (6,7). Diğer taraftan, özellikle yüksek performanslı beton karışımları içerisinde birbirinden farklı ısıl genişleme katsayılarına sahip ve betonda standart olarak kullanılan çimentoya ek olarak uçucu kül ve silika dumanı gibi unsurlar yer almaktadır. Farklı ısıl genişleme katsayısı değerleri, yangına maruz kalan yapı bünyesinde farklı genişlemeler sonucu bağıl boyutsal değişimler oluşturarak içsel gerilmeleri artırabilir. Normal ve yüksek mukavemetli betonlar ile yapılan yangın deneylerinde kabuklanmanın 200°C ’den 500°C ’ye kadar geniş bir aralıkta

gerçekleşebildiği görülmüştür (8,9). Kabuklanmayla oluşan bu kesit kaybına ek olarak sıcaklık 200°C'ye yaklaştığında bağlayıcı matris içerisinde yer alan bağlanmış su buharlaşmaya ve 300°C'den başlayarak yangına maruz yüzeyde, agrega ve agrega-bağlayıcı yapısında kimyasal dönüşümlerden dolayı mukavemet kayıpları başlar ve korumasız betonda bu tahribat beton kesitin içerisine doğru ilerler.

Meydana gelen ilk kabuklanma sonucunda, beton kesitin paspayının kaybedilmesi ile çelik donatılar ansızın yangına maruz kalmaktadırlar. 300°C' de çeliği dayanım değerleri yaklaşık olarak %20 azalırken 600°C çeliğin dayanım değerleri, oda sıcaklığındaki değerlerinin %30'una gerilemektedir.

Yangın Etkisine Karşı Edilgen (Pasif) Koruma Yöntemleri

Yangına maruz kalması muhtemel tünel betonunda, bahsedilen tahribatların oluşumlarının engellenmesi için tünel betonuna şartnameler tarafından bazı performans şartları getirilir. Getirilen bu şartlar ile betonun kabuklanmasının engellenmesi ve donatının ulaşacağı sıcaklık seviyesinin sınırlandırılması istenir. ZTV-ING şartnamesine göre donatı sıcaklığının 300°C'ye ulaşmaması gerekmektedir. Türkiye'de son yıllarda hizmete açılan tünellerde bu değer 250°C'dir. Hollanda şartlarına göre, normal beton yüzeyinin 380°C'ye, donatının ise 250°C'ye ulaşmaması gerekmektedir. Yüksek mukavemetli beton yüzeyinin ise 250°C'ye ulaşmaması gerekmektedir.

Tünel betonunda sağlanması istenen bu şartlar, etkin bir paspayı derinliği ve edilgen (pasif) koruma adı verilen, yangının oluşumunu ve gelişimini engellemeyen ancak yangının tahrip edici etkilerine karşı da istenen şartları süreli olarak sağlayan yöntemlerden yararlanır. Edilgen koruma, tünel betonu üzerine belirli bir kalınlıkta ısı geçirgenliği düşük koruyucu bir katman olarak sağlanabileceği gibi, tünel betonu bünyesinde de sağlanabilir.

Koruyucu katmanların genel olarak iki türü yaygındır. Bunlardan ilki, bağlayıcısı içerisinde daha önce yüksek sıcaklıklara maruz kalmış volkanik kül ve agrega içeren malzemelerdir, diğeri ise sıcaklığa maruz kaldığında kavrularak geride boşluk bırakan ve bu sayede yangın dayanımını artırıcı yönde yararlı bir sonuç doğuran mika veya vermikülit içeren malzemelerdir.

Segment betonunun koruyucu bir katmanla kaplanmasına ek olarak betona, kabuklanmaya karşı direnç sağlayan bir diğer uygulama ise beton içerisinde polipropilen lif kullanımudur. Yangın etkisi altında artan sıcaklık ile lifler kavrularak işgal ettikleri hacim içerisinde hava boşlukları oluşturmaktadırlar. Oluşan bu boşluklar, buharlaşan nemin yarattığı basıncın dağılabileceği ortamı sağlayarak betonun kabuklanmasına neden olan içsel gerilimin oluşumunu engellemektedir.

Kaplamalı yöntemler, yangın sonrasında esas yapıya zarar vermeden kazınarak yenilenebilmeleri açısından tercih edilirken, uygulama maliyetleri, yapısal yüzeyi kaplayarak muhtemel yapısal hasarların gözlenmesini engellemeleri ve tünel kesitini azaltmaları bakımından tercih edilmemektedirler. Lif katkılı yöntemler ise beton bünyesi içerisinde kabuklanmaya karşı önlem oluşturmaları, ek uygulama maliyetleri getirmemeleri ve tünel kesitini azaltmamaları yönünden tercih edilirken, yangın sonrasında yenilenmeleri konusunda bugün için yetersiz kaldıkları için tercih edilmemektedirler.

Yüksek Mukavemetli Tünel Segment Betonunun Yangın Tetkiki

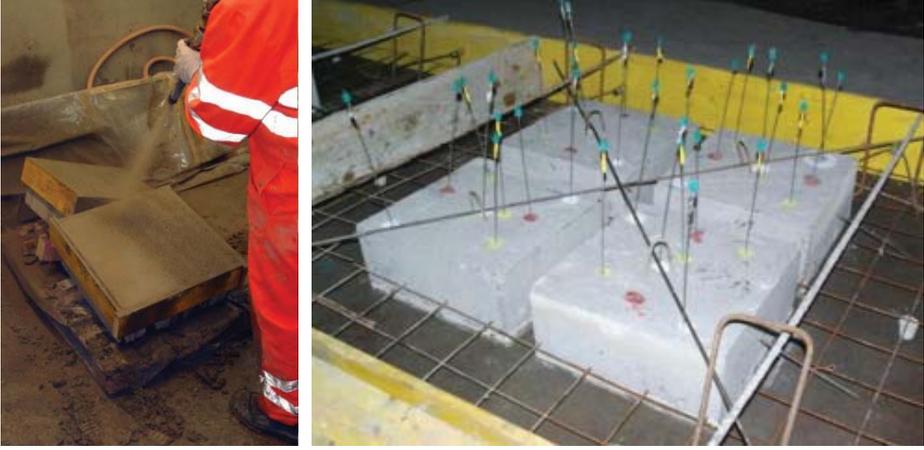
Delme yöntemi ile açılan tünelleri oluşturan segmentlerin beton sınıfları yüksek mukavemetli olabilmektedir. C50 sınıfı dâhil olmak üzere bu sınıfa kadar betonlar normal mukavemetli betonlar olarak anılırken, C50 sınıfı üzerindeki betonlar yüksek mukavemetli betonlar olarak anılmaktadırlar (10). Günümüzde, piyasa koşullarında bulunabilen katkı malzemeleri ile erken yaş dayanımı yüksek olan yüksek mukavemetli betonlar ile tasarım ve üretim yapmak mümkündür. Tünel segmentleri gibi seri üretimin gerektiği betonarme önüretimde erken dayanım, segmentin kalıptan alınma ve stok sürelerinde önemli bir değer haline gelmektedir. Bu nedenle segmentlerde, 28-günlük dayanımı C50 sınıfı üzerinde sınıflara sahip beton kullanımı mümkündür. Ancak yangın dayanımı açısından, yüksek mukavemetli betonların davranışı ile normal mukavemetli betonların davranışı arasında farklar olduğu belirtilmiştir. Bu bağlamda, öngörülen bir edilgen yangın koruma malzemesinin performansı, koruyacağı betonun niteliği ile yakından ilgilidir.

Avrupa Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Federasyonu (EFNARC), tasarlanan bir betonarme yapının, kullanımı öngörülen bir edilgen yangın koruma kaplaması ile yangına karşı dayanımının değerlendirilmesi için küçük ölçekli ve büyük ölçekli tetkikler önermektedir (11). Küçük ölçekli yangın numunesi, 40-cm x 40-cm x 20-cm ölçülerinde olup, temsil ettiği segmentin yangın gören yüzeyine yakın bölgesini temsil etmektedir. Tasarıma esas paspayı değeri ve donatı boyut ve konumları ile üretilen numune, sınanan yangın koruma malzemesi ile kaplanarak tasarıma esas oluşturan yangın yükü altında tetkik edilmektedir.

Bir tünel çalışması kapsamında, yazar tarafından tasarlanan C70 sınıfı segment betonunun, değerlendirilen mika bileşenli edilgen yangın koruma malzemesi ile etkileşiminin anlaşılması için Şekil 4’de sunulduğu gibi hazırlanan 4-adet numune, sonrasında Şekil 5’de sunulduğu gibi ilgili kaplama malzemesi ile kaplanmıştır. Numuneler, yine Şekil 5’de sunulduğu gibi, beton-kaplama arayüzeyinden ve donatıdan sıcaklık ölçümü yapılabilmesi için termociftler (thermocouple) ile donatılmışlardır. Şekil 4’de, prizini almış betonun içerisine termociftlerin yerleştirilebilmesine yönelik yer açılmasını sağlayan 5-adet dikey çubuk görülmektedir. Sırasıyla 35-mm, 30-mm, 25-mm ve 20-mm kalınlıkta mika bileşenli edilgen yangın koruma malzemesi ile kaplanan numuneler, tek bir beton çerçeve içerisine yerleştirilerek, Şekil 6’da sunulduğu gibi, yüksek güçte ve 1200°C sıcaklık değerinde, 60 dakikalık ZTV-ING yangın yükünü oluşturan fırın üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 4 Küçük ölçekli yangın deneyi numunesinin hazırlanması (12).

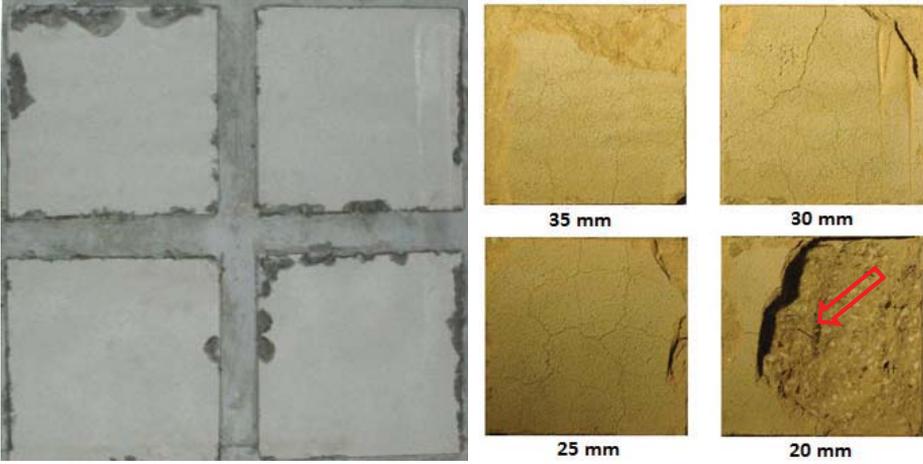


Şekil 5 Numunenin yangın kaplama malzemesi ile kaplanması ve termoçiftler (thermocouple) ile donatılması (12).



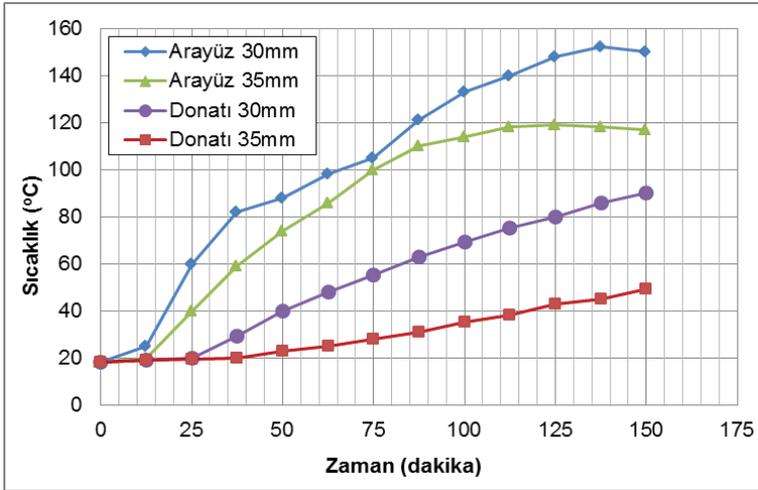
Şekil 6 Numune çerçevesinin fırın üzerine yerleştirilmesi (12).

Yangın yüküne maruz kalmadan önce yüzey özellikleri Şekil 7’de sol tarafta sunulan numunelerin, yangın sonrası yüzey koşulları Şekil 7’de sağ tarafta sunulmaktadır. 20 mm kaplama kalınlığı altında tetkik edilen numunenin betonu kabuklanarak, kırmızı ok ile gösterildiği gibi donatısı açığa çıkmıştır.



Şekil 7 Yangın öncesi ve sonrası numune yüzeyleri (12).

Şekil 8'de, 35-mm ve 30-mm kalınlıkta edilgen yangın kaplama malzemeleri altında numunelerden alınan sıcaklık ölçümleri sunulmuştur. 25-mm kalınlıkta malzeme ile kaplanan numuneden sağlıklı ölçüm almak ne yazık ki mümkün olmamıştır ve 20-mm kalınlıkta malzeme ile kaplanan numune ise kabuklanmıştır.



Şekil 8 Yangın deneyi esnasında 35-mm ve 30-mm kalınlıkta kaplama malzemesi altında segment ve donatı yüzeyinde sıcaklık değişimleri (12).

Şekil 8'de, 30-mm kalınlıkta kaplama ile kaplı numunenin arayüz sıcaklık değişiminin, 35-mm kalınlıkta kaplama altındaki gibi düzenli ve kararlı olmadığı görülmektedir. Donatı sıcaklıkları ise; 5-cm olan paspayının da önemli yalıtım katkısıyla, 100°C'nin altında kalmaktadır.

Sonuç

Karayolu ağıımız içerisinde sayıları ve uzunlukları artan ve yoğun bir şekilde kullanılan tünellerimizin yangına karşı korunması önem arz etmektedir. Korumasız bir tünel içerisinde gerçekleşecek yangının tünel içerisinde yaratacağı tahribata yönelik birçok yaşanmış örnek vardır. Edilgen yangın koruma katmanı, tünel kesitinden bir miktar alanı işgal etmekle birlikte bir yangın sonrasında yenilenebilmektedir. Bu çalışmada sunulan ve yüksek mukavemetli C70 sınıfı betonun, özel karayolu tünelleri için önerilen ZTV-ING yangın yükü tetkik sonuçlarına göre mika alaşımlı edilgen yangın koruma kaplamalarında en düşük uygulama kalınlık değerinin 35 mm olması önerilmektedir. Betonarme paspayının donatı sıcaklığının sınırlanması üzerindeki etkisi önemlidir ve kalınlığı 5-cm'nin altına düşmemelidir.

Teşekkür

Yazar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde kendisine destek sağlayan Yapı Merkezi Prefabrikasyon AŞ'ye ve SİKA'ya teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Karayolları Genel Müdürlüğü, Sanat Yapıları Daire Başkanlığı, Tüneller Şubesi Müdürlüğü, Tüneller Şubesi Sunumu, Ocak 2013.
- [2] Kaundinya. Protection of road tunnel linings in cases of fire, Federal Highway Research Institute of Germany, Young Researchers Seminar, 27-30 Mayıs 2007.
- [3] http://www.vegvesen.no/_attachment/61889, The World's Biggest Fire Test in a Road Tunnel.
- [4] Breunese, Both, Wolsink. Efectis Nederland Report, Fire Testing Procedure for Tunnel Linings, 2008-Efectis-R0695
- [5] EFNARC, Specifications and Guidelines for Testing of Passive Fire Protection for Concrete Tunnel Linings, Mart 2006.
- [6] Bazant ZP. Analysis of pore pressure, thermal stress and fracture in rapidly heated concrete. Proceedings of the international workshop on fire performance of high strength concrete. Gaithersburg, MD. p. 155–64. 1997.
- [7] Zhao, J; Zheng, JJ; Peng, GF; Breugel, K. A meso-level investigation into the explosive spalling mechanism of high-performance concrete under fire exposure. Cement and Concrete Research 65 64–75. 2014.
- [8] Rahim, A; Sharma, UK; Murugesan, K; Arora, P. Effect of load on thermal spalling of reinforced concrete containing various mineral admixtures. 3rd International RILEM Workshop on Concrete Spalling due to Fire Exposure. RILEM Publications. pp. 59–66. Paris, France. 2013.

- [9] Debicki, G; Haniche, R; Delhomme, F. An experimental method for assessing the spalling sensitivity of concrete mixture submitted to high temperature. Cement & Concrete Composites 34, 958–963. 2012.
- [10] fib Bulletin42: Constitutive modelling of high strength/high performance concrete, State-of-art report prepared by Task Group 8.2. International Federation for Structural Concrete. January 2008.
- [11] EFNARC, Specification and Guidelines for Testing of Passive Fire Protection for Concrete Tunnels Linings. March 2006
- [12] Bezgin, N.Ö; Yüksek Mukavemetli Betonarme Segment Tasarımı Özel Raporu – Yangın Direnimi Bölümü, YMP, Kasım 2012.