

EPS ve XPS Malzemeleriyle Yapılan Mantolamaların Yangın Sırasındaki Davranışlarının Araştırılması

Tayfun UYGUNOĞLU^a, İbrahim GÜNEŞ^b, Metehan ÇALIŞ^c, Sevcan ÖZGÜVEN^d

^{a,d}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ANS Kampüsü, Afyonkarahisar

^bAfyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, ANS Kampüsü 03200 Afyonkarahisar

^cTürk Standardları Enstitüsü, Yapı Malzemeleri Laboratuvar Müdürlüğü, 41410 Gebze Kocaeli/TÜRKİYE

(Geliş / Received : 05.06.2014 ; Kabul / Accepted : 12.09.2014)

ÖZ

Enerji kaynaklarını daha verimli kullanmak amacıyla ülkemizdeki yapılarda ısı yalıtımı yaptırılması zorunlu hale gelmiştir. Yapıların izolasyonunda en yaygın yöntem, çeşitli yalıtım malzemeleriyle binaya dıştan mantolama yapılmasıdır. İzolasyon amacıyla kullanılan malzemelerin yangın performansları da can ve mal güvenliği açısından çok önemlidir. Yapılarda izolasyon amacıyla en çok kullanılan malzeme tipleri EPS, XPS, köpük, taş yünü ve cam yünüdür. Taş yünü ve cam yünü yangına en dayanıklı malzemelerdir, fakat maliyetleri oldukça yüksektir. EPS ve XPS ise polimerik malzeme olmalarından dolayı yangın sırasında çok düşük sıcaklıklarda (yaklaşık 80°C) deforme olmaktadır. Bu durum sadece ekonomik kayba değil aynı zamanda CO₂ salınımına ve küresel ısınmaya da neden olmaktadır. Bu çalışmada, aynı kalınlıkta sıva ile kaplanmış gri-EPS, Beyaz-EPS ve XPS yalıtım malzemelerinin yangın dirençleri karşılaştırılmıştır. Kaplamalar farklı sürelerde alev maruz bırakılmışlardır. Deneysel çalışmaların sonunda, alev süresine bağlı olarak sıva arkasındaki yalıtım malzemelerinin büyük ölçüde deforme oldukları gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı yalıtımı; dış cephe mantolama; EPS, XPS, yangın.

Investigation of Behavior of EPS and XPS Thermal Insulation Exterior Claddings During Fire

ABSTRACT

Thermal insulation is necessary in our country to obtain the identification of energy. For the insulation of structures with various insulating materials, the most common method is to make the exterior sheathing. The fire performance of insulation materials used is very important for the safety of life and material. The most used material type is EPS, XPS, foam, rock-wool and glass-wool for isolation of buildings. Rock-wool and glass-wool are the best durable materials to fire, however they are very expensive. EPS and XPS starts to soften at low temperatures (about 80°C). This is not only a financial losses but also a contribution to CO₂ and global warming. In this study, behavior of Grey-EPS, White-EPS and XPS with the same thicknesses of plaster during the fire was investigated. The claddings were exposed to fire for different durations. At the end of experimental studies, it was observed that insulation materials were deformed in large quantities depending on fire duration.

Keywords: Thermal insulation; exterior cladding; EPS, XPS, fire.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji kaynaklarının tükenmeye yüz tutması ile birlikte kaynakları verimli kullanmak amacıyla binaların içten veya dıştan yalıtılması ihtiyacı öne çıkmıştır. Yapılan ısı yalıtımı sonucunda hem enerji tasarrufu sağlamak hem de iç iklim koşullarını istenilen seviyede tutmak mümkün olabilmektedir. Binalarda çatı, döşeme, kapı ve pencere gibi bölümler ısı yalıtımı uygulanması gereken yerlerin başında gelmektedir. Ancak ısının en çok kaybolduğu yerler, binanın büyük bir yüzey alanını teşkil eden ve ısı köprülerinin bulunduğu duvarlar ile taşıyıcı yapı elemanlarıdır [1,2]. Yapının bu bölümlerinden kaynaklanan ısı kayıpları %50'yi bulabilmektedir. Türkiye'de binaların neredeyse %85-90'ında duvar oluşturma malzemesi olarak, kilin pişirilmesiyle elde edilen

tuğlalar kullanılmaktadır. Tuğlanın kullanılmasının en büyük nedenleri, hafif olmasından dolayı yapıya getireceği ölü yükün az olması, hammaddesinin ülkemizde neredeyse her yerde bulunabilmesi, nispeten üretimin seri halde yapılabilmesi ve diğer yapı malzemelerinden daha ucuz olması olarak sıralanabilir. Ancak yalıtım açısından ele alındığında, deliklerdeki hava sirkülasyonu nedeniyle tuğlanın ısı iletim katsayısı yalıtım malzemelerine göre oldukça yüksektir [1]. Dolayısıyla tuğla ile yapılan binalarda ısı kayıpları da oldukça fazla olmaktadır. Buna bağlı olarak da, yapılarda ısınma için kullanılan elektrik, doğal gaz, odun, kömür vb yakıt tüketimi de artırılarak hem ekonomik yönden zarar edilmekte hem de doğaya direkt olarak zarar verilmektedir.

Ülkemizde, 2000 yılından bu yana yürürlükte olan "Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği" ne göre, bu tarihten sonra inşa edilen yeni binalar ısı yalıtımı olarak proje-

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Tayfun UYGUNOĞLU

e-posta: uygunoğlu@aku.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2015.18.1, 1-6

lendirilmektedir. Yönetmeliğin 1 Kasım 2008 tarihinde yürürlüğe giren revizyonu gereğince, mevcut eski binaların tadilatla yenilenen ve ilave edilen kısımları da enerji verimli olarak projelendirilmek zorundadır [3]. Yapılarda ısı yalıtımı amacıyla en çok kullanılan malzeme tipleri EPS (genleştirilmiş polistren), XPS (ekstrüde polistren), poliüretan köpük, taş yünü ve cam yünüdür. Binayı sadece ısıya karşı değil, aynı zamanda rutubetten ve her türlü dış etkenlerden koruyan bu uygulamalar, binanın ömrünü de artırmaktadır. Binaları tamamen yalıtım mümkün olmakla birlikte, bu durum bina içerisinde yoğuşmaya neden olacaktır. Bu nedenle bina ile dış ortam arasında az da olsa bir ısı alışverişi olmalıdır. Buna binanın nefes alması da denilir. Binaların ısıya karşı yalıtılmasıyla %50 ile %70 oranlarına kadar enerji tasarrufu elde etmek mümkündür [4-7]. Tüketilen enerjinin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan elde edilmektedir. Isınmak için tüketilen fosil yakıtlar, çevre kirliliğinin en önemli sebebinin oluşturmaktadır. Isı yalıtımıyla konut başına atmosfere yayılan atık gaz miktarı da yarı yarıya azaltılabilmektedir. Yapılarda enerji tasarrufu sağlamanın en pratik yollarından birisi de dış cephenin yalıtım malzemeleriyle kaplanması olan mantolama işlemidir.

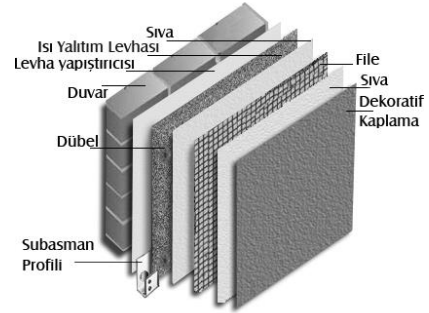
Mantolama işleminin bir diğer adı da ETICS'tir. ETICS, "External Thermal Insulation Composite Systems" ifadesinin baş harflerinin kısaltması olup "Harcî kompozit ısı yalıtım sistemleri" anlamına gelmektedir. Bina yapı ve mimarisi için istenilen birçok talebi karşılamaya yönelik çok geniş bir kullanım alanı vardır. Harcî kompozit ısı yalıtım sistemleri, ısı yalıtımı etkisini artırmak için, yeni veya mevcut duvarların dış yüzeyine ve/veya çıkma tabanlarına kolaylıkla uygulanabilmektedir [8]. Ayrıca bu kompozit sistemler, binayı dış iklim koşullarına karşı korurken, binanın dış cephe görünüşünü de iyileştirir (Şekil 1).



Şekil 1. Bina dış cephe yüzeyine ETICS uygulamaları (Applications of ETICS on construction exterior surface)

ETICS, duvar dış yüzeye uygulanan birçok bileşenden oluşmaktadır. Duvar yüzeyine yapıştırıcı, mekanik tespit elemanları, ısı yalıtım malzemesi, en az bir katmanlı donatı filesi içeren, bir veya daha fazla katmandan oluşan yalıtım sıvası ile en dış yüzeye dekoratif bir katman içerebilen son kat kaplama malzemesi kullanılarak tabakalı bir kompozit yapı teşkil edilmektedir (Şekil 2). Mantolamayı oluşturan malzemelerin çoğu da polimer esaslı malzemelerdir [9]. Örneğin, sıva filesinin yanı

sıra sıva malzemesi içerisinde de polimerik lifler bulunmaktadır.



Şekil 2. Duvar dış cephesinde mantolamada kullanılan malzemeler (Materials used on exterior claddings)

Isı yalıtım levhası olarak ülkemizdeki uygulamalarda en ekonomik olanları ve dolayısıyla en çok tercih edilenleri EPS ve XPS'tir.

-EPS (genleştirilmiş polistren) (Expanded polystyrene)

Uygulamadaki tüm organik yapı malzemeleri gibi polystyrene köpük de yanıcıdır. Ancak pratikte yanma davranışı, kullanıldığı şartlar ve malzemenin doğasındaki özelliklere bağlıdır. Bu doğal özellikler, hüresel malzemenin yangın geciktiricili veya standart EPS den yapıp yapılmadığına bağlıdır. Yükseltmiş sıcaklıklarda EPS küçülüp erimeye başlar. Eğer yangına maruz kalma miktarı yeteri kadar yüksekse, tutuşma görülür ve ısı yayılımı gerçekleşir. EPS'nin düşük yoğunlukta olması sebebiyle EPS her tarafından korunduğunda ısı yayılım miktarı düşüktür. Doğru olarak kurulduğunda EPS ürünleri aşırı yangın tehlikesi oluşturmaz. Önemle EPS'nin bir yüzey malzemesiyle tam kapsamaya alınması önerilir [10]. EPS yurtdışında, yangın riskinin yük-

sek olduğu bitişik nizam veya çok katlı binalarda belli sınırlar dâhilinde kullanılmaktadır. Ülkemizde de 2002 yılı sonunda Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren Yangında Korunma Yönetmeliği gereğince söz konusu malzemelerin kullanım alanları sınırlandırılmıştır. Bu malzemeler DIN 4102 standardına göre yanıcı malzemeler olup B1 sınıfı malzemelerdir [11]. İki tip EPS üretilmektedir: i) Standart kalite ve ii) Yangın geciktiricili düzenlemeli kalitede. Yangın geciktirici, EPS'nin

çok daha zor tutuşabilir olmasını sağlar ve alevin yayılma oranını büyük oranda azaltır. Ülkemizdeki uygulamaların hemen hepsinde standart kalitedeki EPS kullanılmaktadır. Standart kaliteli EPS, petrol türevi polistren hammaddesi kullanılarak imal edilen yalıtım malzemeleri olup malzeme olarak yangın sınıfına girememektedir. Sistem olarak deneye tabi tutulunca yangın sınıfı özellikleri olarak B1 (zor ateş alma özelliği) olan malzemelerdendir. Yani ateş kaynağını uzaklaştırdıktan sonra kendiliğinden sönme özelliği olan malzemedir. Yangında zehirli gaz ve boğucu duman çıkarmaktadır.

-XPS (Ekstrude polistren) (Extruded polystyrene)

Diğer tüm organik maddeler gibi XPS de yanabilir. Çıplak olarak yangın sınıfına girememektedir. Alev geciktirici kullanılarak tek başına bir ürün olarak test edildiğinde, Avrupa yangın sınıflandırma şemasının E sınıfındadır. XPS ürünler hiçbir zaman yapıda çıplak halde kullanılmadığından üzerindeki kaplama ile birlikte yangına karşı davranışı test edilmelidir. Yangın dayanım sıcaklığı üst sınırı 75°C dir. Alev kaynağının sürekli temas etmesi ile yanmaya devam eder. Alev kaynağı uzaklaştırılınca yanma durur. Yangında zehirli gaz ve boğucu duman çıkarmaktadır [12-16].

Doroudiani ve Omidian [14] dekoratif desenli EPS mantolama malzemelerini çevre, sağlık ve güvenlik açısından değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, bu malzemelerin çevre koşullarından çabuk bir şekilde etkilendiklerini, yangın sırasında ise can güvenliğini tehlikeye attığını belirtmişlerdir. Zhang vd [17] XPS yalıtım levhası yüzeyinde alev yayılma testi gerçekleştirmişlerdir. Alev yayılma şekli ve sıcaklık değerleri deney sırasında kaydedilmiştir. Alevin malzeme üzerinde yayılmasında malzeme kalınlığının etkisi olduğu belirtilmiştir. XPS yalıtım levhasının kalınlığı 8 cm'den daha az olduğunda ısının yayılması konvensiyonel yöntemle gerçekleşirken, 8 cm'den daha kalın levhalarda radyasyon yöntemiyle yayıldığı rapor edilmiştir. Rossi vd [18] yangın geciktirici içeren ve içermeyen EPS yalıtım levhalarının yangın sırasında deformasyon ve duman oluşumlarını incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre deformasyon miktarında azalma olmaksızın, yangın geciktirici içeren EPS'lerin duman çıkarma süreleri 47 s'den 75 s'ye kadar geciktirilebilmiştir. Jiang vd [19] poliüretan köpük ile XPS yalıtım levhalarının yangın testi ile yanma boylarını ölçmüşlerdir. Elde edilen sonuçlara göre XPS yalıtım levhaları poliüretan köpükten daha fazla yanmıştır. Örneğin 100 mm genişliğindeki numunelere yanma testi uygulandığında poliüretan köpükte 99.2 mm yanma meydana gelirken XPS'te 195 mm yanma olmuştur.

Cephe yangını konusunda ülkemizdeki çalışmalar genellikle literatür taraması veya durum incelemesi niteliğindedir. Uluslararası literatürdeki çalışmalarda ise genellikle malzemenin bireysel olarak yangındaki davranışları üzerinde durulmuştur. Sıvalı haldeki yalıtım levhalarının yangın durumundaki davranışları üzerine yapılan deneysel özgün çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Konuyla ilgili olarak Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yapı

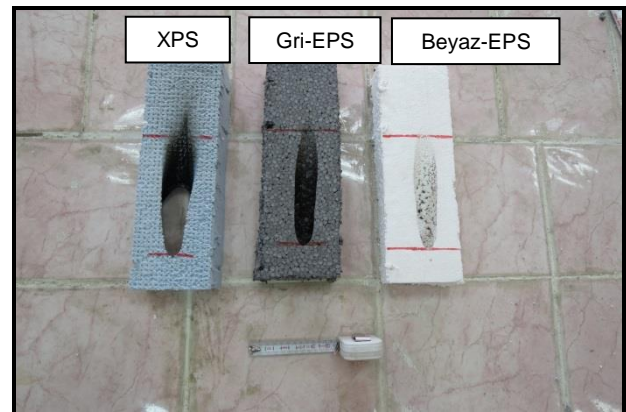
Malzemesi Laboratuvarında yürütülen proje kapsamında bazı ön çalışmalar gerçekleştirilmiş ve konunun önemi ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Yalıtım levhası olarak kullanılan EPS ve XPS gibi polimerik malzemelerin yangın dayanımlarının oldukça düşük olduğu; yaklaşık 70-80 °C sıcaklık sonrasında deforme oldukları bilinmesine rağmen bazı avantajları nedeniyle mantolama işlemlerinde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Bu kaplamalar üzerine yapılan sıvaların ince bir tabaka halinde yapıldığı da dikkate alındığında, mantolamaların alev maruz kalmaları ile sıva arkasındaki yalıtım levhasının deforme olacağı ve sıvanın da döküleceği düşünülerek sabit alev yüksekliğinde sıvalı yalıtım levhaların sadece fiziksel olarak deforme özelliklerini inceleyecek şekilde aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.1. Kullanılan Malzemeler (Materials Used)

Yangın sırasındaki yalıtım levhalarının deforme özelliklerine odaklanarak gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalarda kullanılan EPS ve XPS yalıtım malzemeleri, Afyonkarahisar'daki bir firmadan temin edilmiştir. EPS yalıtım malzemesi 50 mm kalınlığında, 16 kg/m³ yoğunluğunda, beyaz renkli (karbonsuz) ve gri renkli karbon takviyeli olmak üzere iki çeşittir. XPS ise 50 mm kalınlığında ve 25 kg/m³ yoğunluğundadır. Laboratuvara getirilen bu malzemeler üzerinde bireysel olarak TS EN ISO 11925-2 [20] standardına göre küçük alev test düzeneğinde yangın sınıfı kontrol edilmiştir. İlgili standarda göre gerçekleştirilen 15 s'lik yanma deneyinde alev maruz kaldığında kolayca yandığı; alev uzaklaştığında alevi ilerletmediği; buna göre TS EN 13501-1 [21] standardına göre de E sınıfında bir malzeme olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Yalıtım levhalarının yangın sınıflarının belirlenmesi (Determination of fire class of isolation boards)

Yalıtım levhaları üzerine sabit kalınlıkta sıva işlemi uygulanmıştır. Sıva harcı olarak mineral lif içeren çimento esaslı mantolama sıva harcı kullanılmıştır. Sıva harcının hazırlanmasında firma tarafından verilen sabit karışım kullanılmıştır.

2.2. Yalıtım Levhalarının Hazırlanması (Preparation Of Insulation Boards)

Yangın deneyleri, üst yüzeyleri mineral lif içeren çimento esaslı mantolama sıva harcı ile sıva yapılmış mantolama numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hem XPS hem de EPS levhalar üzerine 2 mm kalınlığında sıva yapılmıştır. Sıva kalınlığı, levhaların kenarlarına masterlar konularak ayarlanmıştır. Sıva içerisine sıva filesi de konulmuştur. Sıva işlemi 1000x500 mm boyutundaki EPS ile 1200x600 mm boyutundaki XPS levhalara yapılmıştır. Sıva yapımından 24 sa sonra prizini alan sıva üzerine 2 mm kalınlıkta dekoratif sıva uygulaması da yapılmıştır. Levha üzerindeki toplam sıva kalınlığı 4 mm'dir. Deneylerdeki homojenliği sağlamak için bu levhalar 100x300 mm boyutlarında kesilerek aynı levhadan çok sayıda numune elde edilmiştir.



Şekil 4. Mantolama kesiti ve sıvalı yalıtım levhasının boyutlandırılması (Cladding section and sizing of plastered insulation board)

2.3. Yangın Testi (Fire Test)

Üzeri sıva harcı ile kaplı numuneler 28 gün sonra tek alev kaynaklı yangın test cihazında sabit 20 mm yüksekliğindeki alev maruz bırakılmışlardır. Alev, kaplamanın sıvayla kaplı dış yüzeyine, 0.5, 4, 9, 16 ve 25 dk olmak üzere farklı sürelerde uygulanmıştır. Alev kay-

nağı, kaplama numunesinin alt kenarından 40 mm yukarıda olacak şekilde küçük alevli yangın test cihazında tatbik edilmiştir. Daha sonra bu kaplamalar cihazdan alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra dekopaj aleti yardımıyla orta kısımdan boylamasına kesilerek iç kısımlarındaki yalıtım malzemelerinin durumları gözlenmiştir (Şekil 5). Sıvanın hemen arkasındaki yanma yükseklikleri ve yanma derinlikleri (yüzeyden arkaya doğru) ile toplam yanma hacimleri ölçülmüştür. Yanma hacimlerinin ölçülmesinde, yanan kısımlara su konularak, yanma boşluğunu dolduran suyun ağırlığının belirlenmesi yöntemi kullanılmıştır.



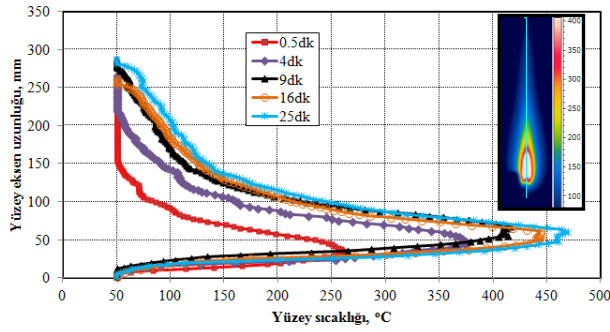
Şekil 5. Sıvalı kaplamanın yangına maruz bırakılması ve iç yüzeyinden bir görünüm (Exposing of plastered board to fire and a view from interior of board)

Ayrıca, sıvalı kaplama malzemelerinin dış yüzeyden alev maruz bırakıldıkları süreler sonundaki sıcaklık termal kamera ile ölçülerek yüzeyindeki sıcaklık dağılımı belirlenmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS)

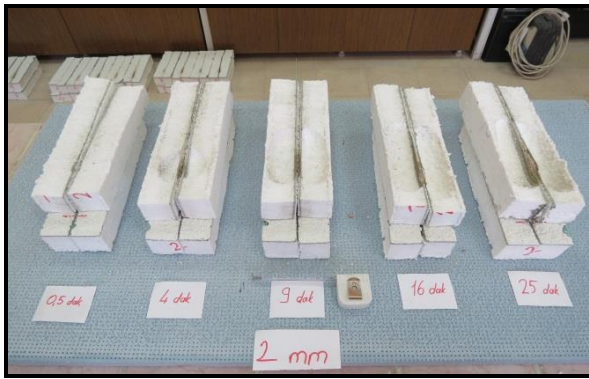
Bu çalışmanın en ilginç sonuçlarından birisi, alev maruz mantolama kompozitlerin yüzeyindeki sıcaklık dağılımıdır. Sıvalı kaplama malzemelerinin, dış yüzeyden alev maruz bırakıldıkları süreler sonundaki termal kamera ile ölçülen sıcaklık dağılımları Şekil 6'da verilmiştir. Test düzeneğinde 20 mm yüksekliğindeki alev 0.5 dk maruz kalan kaplamaların yüzey sıcaklığı yaklaşık 270 °C civarında iken, 25 dk boyunca aynı alev maruz kalan kaplamaların dış yüzeyindeki sıcaklık değeri alev kaynağına yakın bölgelerde 470 °C değerine ulaştığı görülmüştür. Alev kaynağından yukarı doğru

çıkıldığında ise numune yüzeyindeki sıcaklık değeri azalmakta ve en üst bölgede 50 °C'ye ulaşmaktadır.

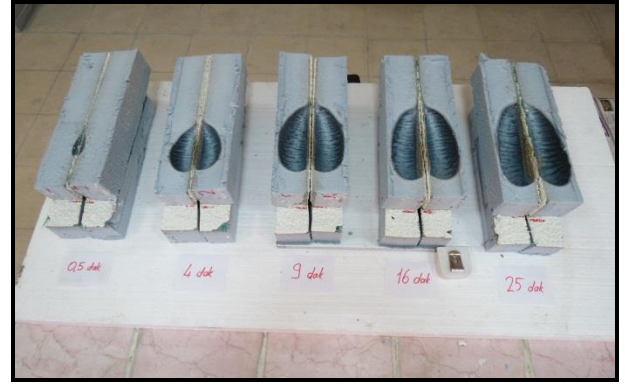


Şekil 6. 20 mm alev yüksekliğine maruz kaplamaların dış yüzeyindeki sıcaklık dağılımı (temperature distribution on plastered surface that exposed to 20 mm fire height)

Aleve maruz bırakılmış kaplamaların sıva arkasında oluşan yanma hasarının belirlenmesi amacıyla teste tabi tutulan numuneler, boyuna ortasından kesilmişlerdir. EPS ve XPS yalıtım levhalarının hasar miktarları sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Alev maruz kalma süresiyle birlikte her iki tip yalıtım levhalarındaki hasar miktarı da artmıştır. Yalıtım levhalarındaki yanma yüksekliğinin artışının nedeni, sıva harcının alev maruz kalmasıyla birlikte hem malzeme yüzeyinde sıcaklığın artması hem de sıvanın ısıyı yukarıya doğru iletmesiyle, yalıtım levhasının yanmasıdır [22].

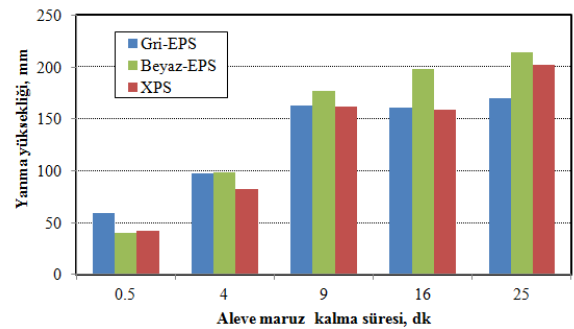


Şekil 7. Gri ve beyaz EPS'lerde yanma deneyi sonrası sıva arkasında oluşan hasar (deformation behind of plaster on grey and white EPS insulation board after fire test)



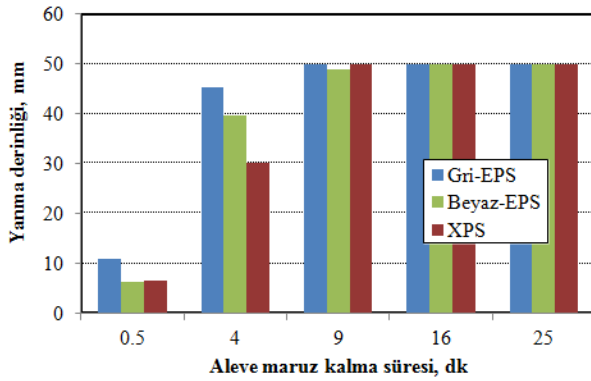
Şekil 8. XPS Yalıtım levhalarında yanma deneyi sonrası sıva arkasında oluşan hasar (deformation behind of plaster on XPS insulation board after fire test)

Hasar derecesinin ifade edilebilmesi amacıyla sıva arkasındaki yanma yükseklikleri ölçülerek grafik haline getirilmiş ve Şekil 9'da sunulmuştur. Alev maruz kalma süresi 30 saniye olması durumunda bile yanma yüksekliği 48-52 mm arasında değer almıştır. Alev uygulanma süresi 25 dk olduğunda ise yanma yükseklikleri EPS ve XPS için en yüksek değerine ulaşarak, sırasıyla, 170 ile 220 mm arasında değerler almıştır. Bu yükseklik değeri için kaplama dış yüzeyindeki sıcaklık 75-80 °C üzerine çıkmaktadır ki bu sıcaklıklarda kaplama malzemesinin deforme olmaya başladığı literatürde de belirtilmektedir [23-25]. Yalıtım levhaları kendi aralarında karşılaştırıldığında, neredeyse tüm sürelerde en fazla yanma yüksekliği beyaz-EPS levhalarında elde edilmiştir. Gri-EPS levhaları başlangıçta hızlı bir şekilde yanarken, alev maruz süresi artmasına rağmen 9 dk'dan sonra fazla değişmemiştir. Ancak beyaz EPS levhaları alev maruz kalma süresiyle birlikte fark edilir derecede artarak levhalar içerisinde en yüksek yanma miktarına sahip olmuştur. Gri-EPS'nin üretiminde kullanılan grafit sayesinde beyaz-EPS ve XPS'e göre daha az yanma yüksekliğine sahip olmuşlardır. XPS'in yanma yüksekliği de 9 dk'dan sonra gri-EPS ile benzerdir. Bunun nedeni de XPS yalıtım levhasının EPS'ye göre daha yoğun bir yapıya sahip olmasıdır [26]. Yapılan gözlemler sonucunda sıva filesinde herhangi bir yanma veya deformasyon görülmemiştir.



Şekil 9. EPS ve XPS yalıtım levhalarının alev süresine bağlı yanma yükseklikleri (consumption height on EPS and XPS insulation boards depending on fire duration)

EPS ve XPS'nin 25 dk sonraki yanma yükseklikleri alev yüksekliğine (20 mm) oranlandığında, elde edilen oranlar gri-EPS için 8; beyaz-EPS için 11 ve XPS için de yaklaşık 10'dur. Bunun diğer anlamı, 25 dk alev maruz kalan bir kaplamanın arkasındaki EPS veya XPS, alev yüksekliğininin 8-11 katı uzunluğunda yukarı doğru deforme olacaktır. Bir konutta pencere gibi dışa açılan bölümlerden alevin 1 m yüksekliğe ulaşarak dışarı çıkmasıyla, duvara kaplanmış gri-EPS'de alev hizasında ve yukarı doğru 8 m'lik; beyaz-EPS'de 11 m ve XPS'te ise 10 m'lik kısım yanarak sıva arkası boş bir alan haline gelecektir. Sıva kalınlığı da dikkate alındığında, duvar yüzeyinde sadece kaplamaya tutunan sıva, kaplama tarafından taşınamayıp aşağıda düşme tehlikesi bulunmaktadır. Yangın sırasında bu tip sıva dökümleri de yangından kaçan kişilerin can güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Diğer yandan ekonomik olarak zarara da yol açmaktadır.

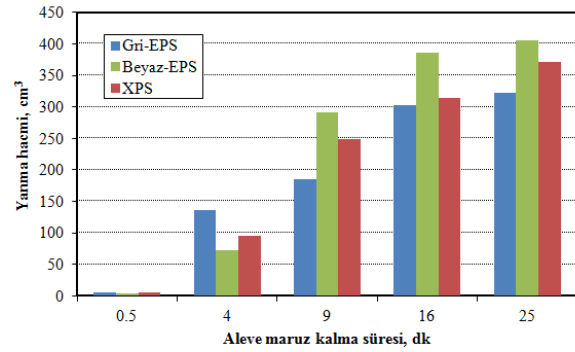


Şekil 10. Sıvalı yalıtım levhalarının alev süresine bağlı yanma derinliği (Consumption depth of plastered insulation boards depending on fire duration)

Yangın deneyi sonrasında alınan bir ölçüm de, sıva arkasındaki yalıtım levhalarının duvar yüzeyine doğru yanma derinlikleridir. Bu malzemelerin kalınlıkları 50 mm'dir. İlk 30 s'lik alev maruz kalmaları durumunda 5-10 mm'lik yanma derinliği oluşurken, 4 dk ve üzerindeki alev maruz kalma sürelerinde yanma derinlikleri hızlı bir şekilde artarak gri-EPS için 45, beyaz-EPS için 38 mm iken XPS yalıtım levhalarında 30 mm gibi değerler almıştır. En fazla yanma derinlikleri de 9 dk sonrasında sabit kalarak her üç yalıtım levhası için de 50 mm ölçülmüştür. Dolayısıyla, yalıtım malzemesi duvar yüzeyine kadar yanarak deforme olmuştur. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı olan TS 825'e [27] göre Türkiye dört farklı derece-gün bölgelerine ayrılmıştır. Türkiye'nin dört iklim bölgesindeki iller için, farklı yakıt türleri kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlıkları bir çok araştırmacı tarafından hesaplanmış ve rapor edilmiştir [28-30]. Bu raporların çoğunda ısı kayıplarının olduğu pencereler yalıtım levhalarının kalınlıklarının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bir yapıdaki pencere alanı toplam duvarların %10-%60 arasında değişebilir. Araştırmacılar Özkan vd [31] Türkiye'nin derece-gün bölgelerine bağlı olarak XPS yalıtım malzemesi için pencere kullanım alanına bağlı

olarak hesaplama yapmıştır. Bu hesaplama sonucunda pencere kullanım alanının ortalama %30 değeri için en az XPS kalınlığı 1. ve 2. bölgelerde sırasıyla 40 mm ve 70 mm iken 3. ve 4. bölgeler için 200 mm'den daha büyük seçilmesi gerektiği belirtilmiştir. Pencere kullanım alanı arttığında tüm bölgeler için minimum yalıtım kalınlığı da artmaktadır. Ancak uygulamada ülkemizin çoğu bölgelerinde 50 mm kalınlığındaki yalıtım levha uygulaması oldukça yaygındır. Bu durum mantolama yapılmış bir binada yanından dolayı yalıtım levhasının tamamen yanma riskini de arttırmaktadır.

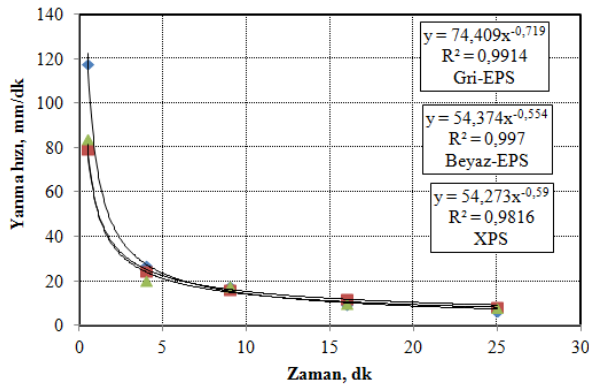
Sıva arkasında, alev süresine bağlı olarak oluşan yanma hacimleri de belirlenerek Şekil 11'de verilmiştir. Alev süresi 4 dk'ya kadar en fazla yanma hacmi gri-EPS'de görülürken, alev uygulama süresinin artmasıyla birlikte tüm levhaların yanma hacmi de artmış olup, en fazla hacim artışı beyaz-EPS levhalarında elde edilmiştir. XPS yalıtım levhası EPS'ye göre daha yoğun ve dolu bir yapıya sahip olması nedeniyle aynı sürede alev maruz kalmaları durumunda beyaz-EPS levhalara göre daha az yanma deformasyonu göstermişlerdir. Gri-EPS'lerde kullanılan karbon (grafit) bu levhaları yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı hale getirmiştir [18,19]. Sıvalı kaplamaların dış yüzeyinden 20 mm alevin 25 dk uygulanması sonucunda, oldukça küçük bir alev yüksekliği ile sıva arkalarında büyük boşlukların oluşması, kaplama yüzeylerinde file donatıyla birlikte bulunan ve kaplamalara göre daha fazla yoğunluğa sahip olan sıvaların düşmesine neden olacaktır.



Şekil 11. Sıvalı yalıtım levhalarının alev süresine bağlı yanma hacimleri (Consumption volume of plastered insulation boards depending on fire duration)

Yapılan deneysel çalışmalardan da görüldüğü gibi ülkemizde kullanılan EPS ve XPS gibi malzemelerin kullanımı yangın açısından elverişli değildir. EPS ve XPS üreticileri bu soruna çözüm getirmek için bu malzemeleri yangın geciktiricili olarak üretmekte ve pazarlamaktadırlar. Ülkemizde ise konunun öneminin yetersiz kalması ve ekonomik nedenlerden dolayı normal EPS ve XPS malzemeleri oldukça yoğun bir şekilde tüketilmektedir. Diğer yandan EPS ve XPS gibi polimerik malzemelere alternatif olarak mineral yünler de tercih edilebilir. Ancak bu malzemelerin de suya karşı çok iyi yalıtılmaları gerekmektedir. Mineral yünler oldukça

yüksek sıcaklıklara (>600 °C) dayanabilmektedirler. Elde edilen değerlerden, sabit alev yüksekliğine maruz bir sıvalı kaplamada, sıva arkasındaki deformasyonun ilk 25 dk süre içerisinde zamanla arttığı görülmüştür. Buna bağlı olarak, sürenin artmasıyla birlikte deformasyon miktarının artması da beklenebilir. Ancak alev yüksekliğinin sabit olması nedeniyle belirli bir süre sonra sıva sıcaklığı kararlı bir hale gelecek ve arka kısmındaki yalıtım malzemesinin de yanması duracaktır. Şekil 12'de bu durumun grafiksel olarak ifadesi bulunmaktadır. Şöyle ki, ilk zamanlarda alev maruz kalan sıva tabakası arkasındaki yanma yüksekliği hızla artarken, zaman geçtikçe yanma hızı ani bir şekilde azalmaktadır. Diğer bir ifadeyle, aslında sıvanın yüzey sıcaklığı kararlı hale gelmeye başlamakta ve arka kısmındaki malzemenin de ısıdan dolayı deforme miktarı durma noktasına yaklaşmaktadır.



Şekil 12. Sıvalı yalıtım levhalarının alev süresine bağlı yanma hızları (Consumption velocity of plastered insulation boards depending on fire duration)

Yanma yüksekliği ile birlikte yanma hacmi de aynı şekilde durma noktasına gelecektir. Ancak yapılardaki yangın durumlarında alev yüksekliği çoğu durumda dinamikdir yani değişkendir. Dolayısıyla alev yüksekliği arttıkça yalıtım malzemesinin yanma deformasyonu da artacaktır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, dış cephe mantolama uygulamalarında kullanılan EPS ve XPS yalıtım levhalarının sıva ile kaplı durumdayken, farklı sürelerde alev maruz kalmaları durumunda oluşan yangın hasarı incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar öne çıkmıştır.

- Sıvalı yalıtım levhalarına 20 mm yüksekliğinde alev uygulanması durumunda, kaplama yüzeyindeki sıcaklık değeri alev maruz kalma süresine bağlı olarak artış gösterip, 25 dk süre sonunda 475 °C'ye kadar çıkabilmektedir.
- Sıvayla kaplı yalıtım levhaları alev maruz kalma süreleri arttıkça, sıva arkasındaki hasar miktarı ve yanma yüksekliği de artmıştır. Sıvalı beyaz-EPS'lerin yanma yüksekliği XPS'ten

daha fazla iken gri-EPS'lerin daha azdır.

- Gri-EPS'li mantolamalarda yanma yüksekliği, alev yüksekliğinin 8 katı iken, beyaz-EPS'lerde 11 katı, XPS'li kaplamalarda ise 10 katı kadardır. Farklı sürelerde alev maruz bırakılan mantolama malzemelerinde, alev uygulanma süresi arttıkça yanma hacmi de artmıştır.
- Mantolama malzemelerinin alev maruz bırakılmaları sonrasında sonucunda, sıva filesinde herhangi bir yanma veya deformasyon görülmemiştir.
- Malzemeler alev maruz bırakılmaları sonucunda, sıva arkasında oluşan boşluklar nedeniyle kaplama malzemeleri üzerindeki sıvayı taşıyamaz hale gelebilir ve yangın sırasında sıva dökülmeleri görülebilir
- Normal EPS ve XPS yerine yangın geciktiricili EPS ve XPS malzemelerinin seçilmesi yangın durumunda can güvenliği ve ekonomik açıdan daha güvenli olacaktır.

Gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda, küçük bir alev maruz bırakılan mantolamalarda büyük yangın hasarlarının oluşabileceği görülmüştür. Ayrıca bu çalışma, kaplamaların yangın performansının araştırılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Yanma derinliği de dikkate alındığında, günümüzde kullanılan yalıtım levhalarının daha kalın olanlarının tercih edilmesi ve gelecek çalışmalarda yangın geciktiricili mantolama malzemelerinin performansları üzerine araştırmaların artırılması önerilmektedir.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, bu çalışmayı 13.HIZ.DES.44 ve 14.FEN.BİL.11 nolu BAP projeleriyle destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi'ne teşekkürlerini sunar.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 1) Aksoy U.T., "Sandviç ve Gazbeton Duvar Uygulamalarının Ortalama Isı Geçirgenlik Katsayısı Ve Isı Kaybı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi" *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24 (1-2): 277- 290, (2008).
- 2) Radhi H., "On the Optimal Selection of Wall Cladding System to Reduce Direct and Indirect CO₂ Emissions", *Energy*, 35: 1412-1424, (2010).
- 3) "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Bakanlar Kurulu Kararı", 19.12.2007 tarihli, 26735 sayılı Resmi Gazete.
- 4) Hasan A., "Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost" *Applied Energy*, 63: 115-124, (1999).
- 5) Mohsen M S., Akash, B A., "Some Prospects of Energy Savings in Buildings" *Energy Conversion and Management*, 42: 1307-1315, (2001).
- 6) Comaklı, K., Yüksel, B., "Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving" *Applied Thermal Engineering*, 23: 473-479, (2003).

- 7) Aköz F., Üstün, B., Çakar, Ö., “Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna ve Çevre Kirliliğine Etkileri” *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi*, Eskişehir-Türkiye, 23-24-25, (2007).
- 8) ETAG 004 Guideline For European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (Etics) With Rendering Amended, <http://www.ceram.com/industries/construction/roofing-cladding/etag-004-guideline>; Mart 2013’te erişildi.
- 9) İşbilir D., “Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları ve Sorunlarının Araştırılması”, S.Ü. Fen Bil. Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Konya, s.113, 2009.
- 10) Soğukoğlu M.M., İnce A., “Yüksek Binalarda Yangın Güvenliği Açısından Dış Cephe Yalıtım Ve Kaplama Malzemeleri”, *Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi*, Yüksek Yapılarda Yangın ve Güvenlik, TÜYAK, WOW Convention Center, (2013).
- 11) Mikkola E., Hakkarainen T., Matala A., “Fire Safety of EPS Insulated Facades in Residential Multi-Storey Buildings”, *1st International Seminar for Fire Safety of Facades*, Paris, France, (2013).
- 12) Han, R. Zhu, G. Zhang, G., “Experiment Study on The Ignition Point of XPS Foam Plastics”, *Procedia Engineering*, 52: 131-136, (2013).
- 13) Wade C.A., “Fire Performance of External Wall Claddings Under A Performance-Based Building Code”, *Fire and Materials*, 19 (3): 127-132, 1995.
- 14) Doroudiani S., Omidian H., “Environmental, health and safety concerns of decorative mouldings made of expanded polystyrene in buildings” *Building and Environment*, 47: 647-654, (2010).
- 15) Hildebrand C., Prager F.H., Levio E., Cope B., “Fire performance of PUR steel sandwich panels used for facades”, Leipzig, (1992).
- 16) BING report (Federation of European Rigid Foam Associations), “The Environmental Contribution of Polyurethane Thermal Insulation Products - Eco-profile”, (November 1998).
- 17) Zhang Y., Huang X., Wang Q., Ji J., Sun J., Yin Y., “Experimental study on the characteristics of horizontal flame spread over XPS surface on plateau” *Journal of Hazardous Materials*, 189: 34–39, (2011).
- 18) Rossi M, Camino G, Luda MP, “Characterisation of smoke in expanded polystyrene combustion” *Polymer Degradation and Stability*, 74: 507–512, (2001).
- 19) L Jiang, H Xiao, W An, Y Zhou, J Sun, “Correlation study between flammability and the width of organithermal insulation materials for building exterior walls” *Energy and Buildings*, 82: 243–249, (2014).
- 20) TS EN ISO 11925-2, “Yangın Dayanımı Deneyleri - Aleve Doğrudan Maruz Kaldığında Tutuşabilirlik - Bölüm 2: Tek Alev Kaynağıyla Deney” Türk Standartları Enstitüsü, (Ankara 2011).
- 21) TS EN 13501-1, “Yapı Mamulleri ve Yapı Elemanları, Yangın Sınıflandırması, Bölüm 1: Yangın Karşısındaki Davranış Deneylerinden Elde Edilen Veriler Kullanılarak Sınıflandırma”, Türk Standartları Enstitüsü, (Ankara 2007).
- 22) Mai, W. Presentation “ETICS and Precautionary Measures Against Fire – Safety First” <http://ea-etics.eu/media/files/pdf/8/48.pdf>; Mart 2013’te erişildi.
- 23) Arpacıoğlu Ü., “Cephe Yangınları ve Cephe Kaplamalarının Yangın Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi”, *Çatıder, Çatı Cephe Fuarı, CNR*, İstanbul, (2004).
- 24) Peng, L. Ni, Z. Huang, X., “Review on The Fire Safety of Exterior Wall Claddings in High-Rise Buildings in China”, *Procedia Engineering*, 62: 663-670, (2013).
- 25) Smolka, M. Messerschmidt, B. Scott, J. Le Madec, B. 2013. “Semi-natural test methods to evaluate fire safety of Wall Claddings”, Rockwool International A/S, Hedehusene, Denmark, *MATEC Web of Conferences*, 9, 02012.1-02012.6
- 26) Mikkola, E. Hakkarainen, T. Matala, A., “Fire Safety of Etics With EPS Material Properties and Relevance For Fire Safety During Transport, Construction and Under And Use Conditions in External Thermal Insulation Component Systems”, *1st International Seminar For Fire Safety of Facades*, Paris, France, (2013).
- 27) TS 825, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı” Türk Standartları Enstitüsü, 6-75, (Ankara 2008).
- 28) Çomaklı K., Yüksel B., “Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving”, 23: 473-479, (2003).
- 29) Bolattürk A., “Optimum Insulation Thicknesses for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey”, *Building and Environment*, 43: 1055-1064, (2008).
- 30) Uçar A., Balo F., “Effect of Fuel Type on the Optimum Thickness of Selected Insulation Materials for the Four Different Climatic Regions of Turkey”, *Applied Energy*, 86: 730-736, (2009).
- 31) Özkan D.B., Onan C., Erdem S., “Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Isı Yalıtımına Etkisi” *Journal of Engineering and Natural Sciences, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 27: 190-196, (2009).