



**YIĞMA YAPILARIN YANGIN PERFORMANSININ
ÇEŞİTLİ PARAMETRELERLE İNCELENMESİ**

Halil İbrahim ŞEN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Burak Kaan ÇIRPICI

2023

Her hakkı saklıdır



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YIĞMA YAPILARIN YANGIN PERFORMANSININ ÇEŞİTLİ
PARAMETRELERLE İNCELENMESİ**

Halil İbrahim ŞEN

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Burak Kaan ÇIRPICI

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2023

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

15 / 12 / 2023

Halil İbrahim ŞEN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YIĞMA YAPILARIN YANGIN PERFORMANSININ ÇEŞİTLİ PARAMETRELERLE İNCELENMESİ

Halil İbrahim ŞEN

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Burak Kaan ÇIRPICI

Yangın, en başta gelen afet olaylarından biri olmakla beraber aynı zamanda özellikle yığma yapılar için en büyük tehditlerden de bir tanesidir. Ülkemiz, yığma yapılar ve kültürel varlıklar anlamında oldukça zengin bir coğrafyada bulunmaktadır. Bu zenginliğin korunması için dikkate alınacak hususların başında da yangınlar gelmektedir. Özellikle tarihi yapıların önemli bir bölümü yüksek yangın yükü barındırmaktadır. Tarihi yapıların neredeyse tamamına yakınına oluşturan yığma yapı tekniğinde yangına karşı alınabilecek proaktif önlemler olması muhtemel vakaların önlenmesinde ya da en az hasarla atlatılmasında oldukça önemlidir. Çalışmada yığma yapıların yangın dayanımı çeşitli kriterler altında analiz edilmiştir. Bu kriterler; yapıların duvar kalınlıkları, yapılara uygulanması planlanan yangına karşı özel dayanımı olan koruma boyaları ve yangın yükünün içeriğine göre farklılık gösterebilen yangın eğrileridir. Analiz aşamasında ANSYS programı kullanılmıştır. Deneysel çalışmaları yapılmış olan iki farklı Model üzerinde validasyon çalışmaları yapılmış ondan sonra da oluşturulan yeni model üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modelde 10 cm ve 25 cm kalınlığında iki farklı duvar ile 1 mm ile 3 mm arasında değişen kalınlıklarda koruma boyası kullanılmıştır. Program kullanımı esnasında 0,01 m ile 0,08 m arasında değişen meş boyutları kullanılmış ve meş (sonlu eleman ağı) boyutunun analizler üzerindeki etkisi de gözlemlenmiştir. Tüm bu farklı alternatifler; ISO (standart), Fast (hızlı), Slow (yavaş) ve Smouldering (içten) yangın eğrileri ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler ile hem farklı yangın türlerinde farklı özelliklere sahip yığma yapıların davranışları anlaşılmaya hem de yangına karşı uygulanabilecek optimum tedbirler belirlenmeye çalışılmıştır.

2023, 71 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yangın, Yangın koruma, Isı transferi, Yığma Yapı, İntumesan boya

ABSTRACT

MS. Thesis

INVESTIGATION OF THE FIRE PERFORMANCE OF MASONRY BUILDINGS WITH VARIOUS PARAMETERS

Halil İbrahim ŞEN

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Burak Kaan ÇIRPICI

Fire is one of the foremost disaster events and, at the same time, poses one of the greatest threats, particularly to masonry structures. Our country is situated in a geographically rich region in terms of masonry structures and cultural assets. Preserving this richness involves taking into consideration various factors, with fire prevention being of primary concern. Many historical structures, in particular, carry a significant fire load. Proactive measures against fire in the masonry construction technique, which constitutes nearly all historical structures, are crucial for preventing potential incidents or minimizing damage. This study analyzes the fire resistance of masonry structures under various criteria. These criteria include wall thickness, special fire-resistant protective coatings planned for application to structures, and fire curves that can vary depending on the content of the fire load. During the analysis phase, ANSYS software was utilized. Validation studies were conducted on two different models for which experimental studies had been carried out, and then analyses were performed on the newly created model. In the created model, two different walls with thicknesses of 10 cm and 25 cm were used, along with protective coatings ranging from 1 mm to 3 mm in thickness. Measuring dimensions ranging from 0.01 m to 0.08 m were used during program use, and the impact of the measuring dimensions on the analyses was observed. All these different alternatives were analyzed with ISO (standard), Fast, Slow, and Smouldering fire curves. The analyses aimed to comprehend the behaviors of masonry structures with different characteristics under various types of fires and to determine optimal measures that can be implemented against fire.

2023, 71 pages

Keywords: Fire, Fire Protection, Heat Transfer, Masonry Structure, Intumescent Paint

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında en büyük teşekkür ve pay sahibi Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Sn. Burak Kaan ÇIRPICI'dır. Tez çalışmasının başından sonuna kadar hayatımda yaşadığım onca olumsuzluk ve istenmeyen sürprizlere rağmen çalışmayı nihayete erdirebilmemiz onun sayesinde. Bir ömür boyu teşekkürü kendisine borç bilirim.

Yine aynı süreçte ve tabi ki her zaman desteğini esirgemeyen kıymetli eşime, tarihe not düşmek adına çocuklarım; Nazlı, Hilal ve Halit'e sabırları için teşekkür ederim. Onlardan çaldığım ve maalesef esirgediğim uzun ve kıymetli zamanlar için de özür dilerim.

Çalışmamı, çok sevdiği tez çalışmasını tamamlayamadan hayata veda eden canım kardeşim Ebru'ya armağan ediyorum.

Son olarak varlığı ve seviyesi ile tanıyan tüm insanlara “*kendilerinin de her şeyi başarabileceklerine dair*” ilham olan K. Ergan'a insanlara verdiği ilhamdan, piyasa ve insan ilişkileri konusunda yaptığı sürprizlerle K. Dabağ'a bana ayakları üzerinde durabilen bir mühendis olabilme enerjisi vermesinden ve yönetsel becerisi ile personeli sürekli yeni arayışlara ve kendini geliştirmeye iten tüm Kurumlara bu becerilerinden dolayı teşekkür ederim.

Halil İbrahim ŞEN

Aralık 2023

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Yangın.....	2
1.1.1. Standart yangın.....	3
1.1.2. Yangın yükü yoğunluğu	4
1.1.3. Yangın yükü indeksi	4
1.1.4. Yangın dayanımı	5
1.2. Yığma Yapılar.....	6
1.2.1. Yığma yapılarda kullanılan malzemeler	7
1.2.1.1. Tuğla	7
1.2.1.2. Taş.....	8
1.2.1.3. Ahşap	9
1.2.1.4. Diğer malzemeler	10
2. KAYNAK ÖZETLERİ	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	16
3.2. Sonlu Elemanlar Yönteminde Karşılaşılan Problemler	17
3.3. ANSYS Programı.....	18
3.3.1. ANSYS workbench.....	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	21
4.1. Validasyon Model Çalışmaları.....	21
4.1.1. Birinci validasyon modeli	21
4.1.2. İkinci validasyon modeli	27
4.2. Yangın Eğrileri.....	30

4.3. Meş Boyutları.....	30
4.4. Model Özellikleri	33
4.4.1. Meş değerlerinin etkisi.....	36
4.4.2. Duvar kalınlığının etkisi.....	38
4.4.3. Koruyucu boya tabakasının etkisi	43
4.4.4. Yangın eğrilerinin etkisi.....	58
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	69



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°C	Santigrat Derece
cm	Santimetre
K	Kelvin
kg	Kilogram
m	Metre
m ³	Metreküp
mm	Milimetre

Kisaltmalar

ANSYS	Analysis Systems
GJ	Giga Joule
ISO	International Organization for Standardization
MJ	Mega Joule
MPa	Mega Pascal

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Standart yangın eğrisi	3
Şekil 1.2. Yapı elemanlarının yangına dayanım performansları.....	5
Şekil 1.3. Tarihi yığma yapı örnekleri	7
Şekil 1.4. Erzurum Atatürk Evi.....	8
Şekil 1.5. Yığma ahşap yapılarda geçme teknikleri.....	9
Şekil 1.6. Harman tuğlası çeşitleri	10
Şekil 1.7. Kerpiç yapı örneği	11
Şekil 2.1. Harç ve tuğla üniteleri için ısıtmadan sonra basınç dayanımı değişimi	13
Şekil 2.2. Deneyde kullanılan duvar detayı	13
Şekil 2.3. Bağlı Basınç Dayanımı	15
Şekil 3.1. Sonlu elemanlar yöntemi	16
Şekil 3.2. Meşleme örneği	17
Şekil 3.3. Tek Boyutlu Sonlu Eleman Tipi.....	18
Şekil 3.4. İki boyutlu sonlu eleman tipi	18
Şekil 3.5. Üç boyutlu sonlu eleman tipi.....	18
Şekil 3.6. ANSYS sıcaklık analizi	19
Şekil 3.7. ANSYS stres analizi	19
Şekil 4.1. Özgül ısı – Sıcaklık değişimi.....	21
Şekil 4.2. Isıl iletkenlik – Sıcaklık değişimi	22
Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan blok şekilleri	22
Şekil 4.4. Yoğunluk – Sıcaklık değişimi	23
Şekil 4.5. Numune duvar	24
Şekil 4.6. Kurulan deneyin detay gösterimi.....	24
Şekil 4.7. Validasyon modeli-1'in ANSYS gösterimi	25
Şekil 4.8. Validasyon modeli-1'in meşlenmiş görüntüsü	25
Şekil 4.9. Validasyon-1 modelinde sıcaklık dağılımı	26
Şekil 4.10. Validasyon-1 modeli sıcaklık karşılaştırmaları	26
Şekil 4.11. İkinci validasyon numunesi genel görünüşü ve meşlenmiş hali.....	27
Şekil 4.12. İkinci validasyon numunesinin üstten görünüşü	27
Şekil 4.13. İkinci validasyon modeli ANSYS ekran görüntüsü	28
Şekil 4.14. İkinci validasyon modeli ANSYS program çıktısı	29

Şekil 4.15. Validasyon-2 modeli sıcaklık karşılaştırmaları	29
Şekil 4.16. Dört farklı yangın eğrisinin karşılaştırılması.....	30
Şekil 4.17. 0,01 m meş boyutlarına sahip modelin önyüzü	31
Şekil 4.18. 0,02 m meş boyutlarına sahip modelin ön yüzü	31
Şekil 4.19. ISO yangın eğrisine sahip 0,01 m meşli 10 cm kalınlıklı ve 2 mm boyalı model duvar ANSYS çıktısı.	32
Şekil 4.20. ISO yangın eğrisine sahip 0,02 m meşli 10 cm kalınlıklı ve 2 mm boyalı duvarın sıcaklık gradyanı (dağılımı).	32
Şekil 4.21. 10 cm kalınlıklı model duvarın üç boyutlu ANSYS görüntüsü.....	34
Şekil 4.22. 10 cm kalınlıklı model duvarın yangın almayan taraf ANSYS görüntüsü...	34
Şekil 4.23. 10 cm kalınlıklı model duvar yangın verilen taraf ANSYS görüntüsü	35
Şekil 4.24. Model duvar ANSYS görüntüsü.....	35
Şekil 4.25. 10cm kalınlıklı, ISO yangın eğrisine sahip ve 2 mm koruyucu boya olan 0,01 m meşli duvarın yangın almayan taraf ANSYS analiz görüntüsü.	36
Şekil 4.26. 10cm kalınlıklı, ISO yangın eğrisine sahip ve 2 mm koruyucu boya olan 0,02 m meşli duvarın yangın almayan taraf ANSYS analiz görüntüsü.	36
Şekil 4.27. 10 cm kalınlıklı duvarın ISO 834 yangın eğrisi altında değişen meş boyutunun analiz süresine etkisi.....	37
Şekil 4.28. Aynı model duvara ait 0,08 m ve 0,02 m meşlenmiş orta taş ANSYS analiz görüntüsü.	37
Şekil 4.29. 10 cm kalınlıklı duvar, ISO yangın eğrisi, 0,02 mesh, 2 mm boya	38
Şekil 4.30. 25 cm kalınlıklı duvar, ISO yangın eğrisi, 0,02 mesh, 2 mm boya	39
Şekil 4.31. 10 cm ve 25 cm kalınlıkta duvarların ISO yangın eğrisi ile koruma boyası analiz gösterimi.	39
Şekil 4.32. 10 cm ve 25 cm kalınlıkta duvarların ISO yangın Eğrisi orta taş analiz gösterimi.....	40
Şekil 4.33. 10 cm ve 25 cm duvar ISO yangın eğrisi ile orta taş sıcaklık değerleri farkı.....	40
Şekil 4.34. 10 cm ve 25 cm kalınlıklı duvarlar FAST yangın eğrisi 2 mm boyalı orta taş analiz gösterimi.	41
Şekil 4.35. 10 cm ve 25 cm kalınlıklı duvarlar, FAST yangın eğrisi, 2 mm boyalı tüm duvar analiz gösterimi.	41
Şekil 4.36. 10 cm ve 25 cm kalınlıklı duvarlar, SLOW yangın eğrisi, 2 mm boyalı tüm duvar analiz gösterimi.	42
Şekil 4.37. Yangın eğrileri karşılaştırması.....	43

Şekil 4.38. 10 cm kalınlıklı ISO yangın eğrisine sahip 1 mm ve 1,5 mm boya kalınlıklı model duvar koruyucu tabaka analiz sonucu.	44
Şekil 4.39. 10 cm kalınlıklı ISO yangın eğrisine sahip 1 mm ve 1,5 mm boya kalınlıklı model duvar orta taş analiz sonucu.	44
Şekil 4.40. 10 cm kalınlıklı ISO yangın eğrisine sahip 2 mm boya kalınlıklı model duvar orta taş analiz sonucu.	45
Şekil 4.41. İntumesan boyanın kalınlığının koruyuculuğa etkisi.....	46
Şekil 4.42. 10 cm kalınlıklı Fast yangın eğrisi altındaki 1mm ve 1,5mm boyalı duvar analizi.	46
Şekil 4.43. 10 cm kalınlıklı Fast yangın eğrisi altındaki 1mm ve 1,5mm boyalı duvar orta taş analizi.....	47
Şekil 4.44. 10 cm kalınlıklı Fast yangın eğrisi altındaki 2mm boyalı duvar orta taş analizi .	47
Şekil 4.45. 10 cm kalınlıklı Fast yangın eğrisi altında 2 mm koruma boyalı duvar gövde-orta taş analizi.....	48
Şekil 4.46. ISO ve Fast yangın eğrileri karşılaştırması.....	48
Şekil 4.47. 10 cm kalınlıklı Slow yangın eğrisine sahip 2 mm koruma boyalı model duvar gövde analizi.	49
Şekil 4.48. ISO ve Slow yangın eğrilerinin karşılaştırması.....	49
Şekil 4.49. 10 cm kalınlıklı Slow yangın eğrisine sahip 2 mm koruma boyalı model duvar orta taş analizi.....	50
Şekil 4.50. Smouldering ve ISO yangın eğrilerinin karşılaştırılması	51
Şekil 4.51. 10 cm kalınlıklı Smouldering yangın eğrili 1mm koruma boyalı duvar orta taş analizi.	52
Şekil 4.52. 10 cm kalınlıklı Smouldering yangın eğrili 1,5 mm koruma boyalı duvar orta taş analizi.....	52
Şekil 4.53. 10 cm kalınlıklı Smouldering yangın eğrili 2 mm koruma boyalı duvar orta taş analizi.....	53
Şekil 4.54. 10 cm kalınlıklı Smouldering yangın eğrili 2mm koruma boyalı duvar orta taş 1.325. saniye analizi.	53
Şekil 4.55. 25 cm kalınlıklı ISO yangın eğrili 1 mm koruma boyalı duvar analizi	54
Şekil 4.56. 25 cm kalınlıklı ISO yangın eğrili 1,5 mm koruma boyalı duvar analizi.....	54
Şekil 4.57. 25 cm kalınlıklı ISO yangın eğrili 2 mm koruma boyalı duvar analizi	55
Şekil 4.58. 25 cm kalınlıklı Fast yangın eğrili 1 mm koruma boyalı duvar analizi.....	56
Şekil 4.59. 25 cm kalınlıklı Fast yangın eğrili 1,5 mm koruma boyalı duvar analizi.....	56

Şekil 4.60. 25 cm kalınlıklı Fast yangın eğrili 2 mm koruma boyalı duvar analizi.....	57
Şekil 4.61. 10 cm kalınlıklı ISO yangın eğrili 1mm koruma boyalı duvar analizi	58
Şekil 4.62. 10 cm kalınlıklı FAST yangın eğrili 1mm koruma boyalı duvar analizi.....	58
Şekil 4.63. 10 cm kalınlıklı SLOW yangın eğrili 1mm koruma boyalı duvar analizi	59
Şekil 4.64. 10 cm kalınlıklı SMOULDERİNG yangın eğrili 1mm koruma boyalı duvar analizi.	59
Şekil 4.65. Yangın eğrileri 10 cm duvar koruma boyası etki karşılaştırması	60
Şekil 4.66. Yangın eğrileri 25 cm duvar koruma boyası etki karşılaştırması	61
Şekil 4.67. ISO yangın eğrisi altında boya kalınlığının etkisi	62
Şekil 4.68. Fast yangın eğrisi altında boya kalınlığının etkisi	63
Şekil 4.69. Slow yangın eğrisi altında boya kalınlığının etkisi.....	63
Şekil 4.70. Smouldering yangın eğrisi altında boya kalınlığının etkisi	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Bazı malzemelerin kalorifik değerleri	3
Çizelge 1.2. Tuğlaya ait ortalama mekanik özellik değerleri	7
Çizelge 4.1. Yığma blok birimlerin ölçüleri	23
Çizelge 4.2. Numuneye ait termal özellikler	28
Çizelge 4.3. Duvar kalınlığı ve yangın türleri açısından 1mm koruma boyası etkisinin karşılaştırması.	64
Çizelge 4.4. Duvar kalınlığı ve yangın türleri açısından 1,5 mm koruma boyası etkisinin karşılaştırması.	65
Çizelge 4.5. Duvar kalınlığı ve yangın türleri açısından 2 mm koruma boyası etkisinin karşılaştırması	65

1. GİRİŞ

Türkiye, tarihi eser varlığı konusunda en zengin ülkelerden biridir. Tarihi İstanbul yapıları, Safranbolu Evleri, Edirne Selimiye Cami ve Külliyesi, Bursa Cumalıkızık Köyü yapıları, Diyarbakır Kalesi gibi varlıklar bu zenginliğin dünyaca da bilinen örnekleridir. Bu eserlerin neredeyse tamamı yığma yapılar şeklinde inşa edilmiştir. Yığma yapıların dayanımı için incelenecek birçok kritik olsa da yangın dayanımı bu kritikler arasındaki en önemli hususlardan biridir. Yangın, bu tür yapıların zarar görmesi ya da yok olması gerekçelerinin en başında gelmektedir.

Yığma yapılarda yangın yükünün oldukça fazla olması, incelenecek konu olarak yangın dayanımının seçilmesinde bir diğer etken olmuştur. Lamine ahşaplar, ahşap döşeme ve bölmeler, kütük kiriş ve kolonlar; yığma yapılardaki yoğun yangın yüküne örnek olarak verilebilir. Yine bu yapıların tarihi değer taşıması nedeniyle bakım-onarım işleri, restorasyonları oldukça katı kurallar çerçevesinde yapılmaktadır. Uygulanan bu kurallar da bakım-onarım, restorasyon ya da tamirat gibi mühendislik çalışmalarının hem maliyetini artırmakta hem de süresini uzatmaktadır. Yapılan bu işlemlerin yapının orijinalliğini ne ölçüde koruyabileceği de ayrıca tartışma konusudur. Tüm bu gerekçelerle özellikle yangın konusunda proaktif bir yaklaşımla yangın sonrasında yapılabileceklerden ziyade yangın öncesinde yapılması gerekenler daha da önemli hale gelmektedir.

Korunması gereken bu yapıların dayanımları ve hangi süre ve sıcaklıkta ne kadar dayanım kaybına uğrayacakları konusunda elde edilebilecek bilgiler yangın öncesi, yangın anı ve sonrasında izlenebilecek politikalar için yol gösterici nitelikte olacaktır. Bu konuda doğru sonuçlara ulaşabilmek adına bu tür yapıların yangın yükleri belirlenerek yapının yangın indeksi oluşturulabilir. Elde edilen indeks sonucu ile yapıdaki olası bir yangının hangi yangın eğrisine yakın gerçekleşebileceği kestirilebilir. Böylece yangın hasarını en az indirebilecek en doğru önlemler alınabilir. Elde edilen bilgiler aynı zamanda bu önlemlerin en ekonomik şekilde alınmasını da sağlayabilir.

Çalışmanın bir diğer amacı da ileride değiştirilmesi muhtemel kanun veya yönetmeliklere ışık tutulmasıdır. Hâlihazırda ülkemizde yığma yapılar ile ilgili detaylı bir

1. GİRİŞ

yangın standardı bulunmamaktadır. Mevcut yasa ve standartlar çoğunlukla günümüz yapılarına göre düzenlenmiştir.

Yapıların yangın dayanımını incelemek ve mümkünse bu dayanımı bir değer olarak somutlaştırıp yapıları yangın dayanımı konusunda sınıflandırabilmek çalışmanın amaçlarından diğeridir. Yangın dayanımı incelenirken eldeki imkânlar ölçüsünde, mümkün olan en fazla parametre ile araştırma yapılmaya çalışılacaktır.

Çalışma gerçekleştirilirken ANSYS programından faydalanılacaktır. Mühendislik analizlerinde sıklıkla kullanılan bu programla gerçek hayata mümkün olan en yakın sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. ABAQUS programı ile beraber yangın analizlerinde en sık kullanılan program olan ANSYS kaliteli simülasyon sonuçları ile yığma yapılardaki muhtemel yangın durumlarını karşılaştırmalı inceleme fırsatı vermektedir.

Programın sağladığı teknik imkânlar ile;

- Hangi yangın eğrisi altında ne kadar hasar verilebileceği,
- Alınacak önlemlerin hasarları ne ölçüde azaltılabileceği,
- Optimum önleyici tedbirlerin ne şiddette olması gerektiği,
- Önleyici tedbirlerin hangilerinin hangi durumlar için uygun olacağı gibi önem arz eden sonuçlara ulaşılabilir.

1.1. Yangın

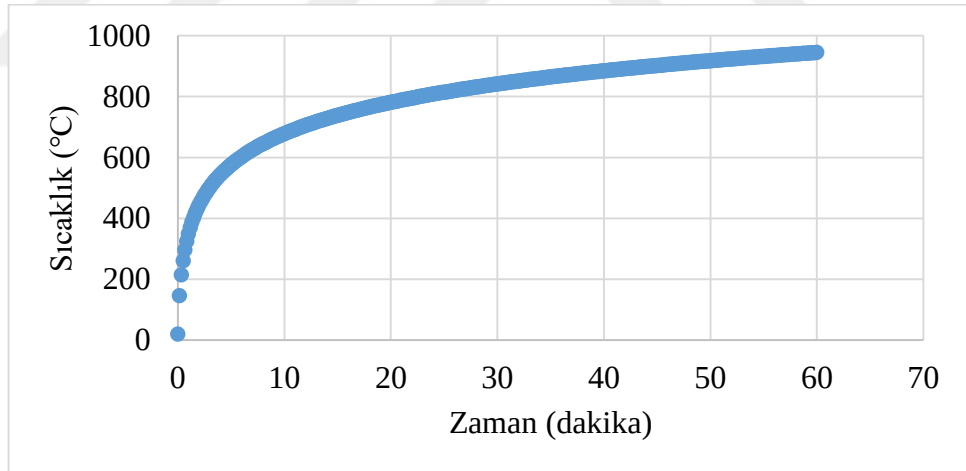
Yeterli ısıнын bulunması durumunda yanıcı özellikli malzemenin oksijen ile bir araya gelmesi durumunda yangın oluşur. Yanıcı malzemelerin 1 kg kütlesinin tam yangında ortama verdiği ısı miktarına kalorifik değer denir (Çırpıcı 2021). Bu değerler Çizelge 1.1’de sunulmuştur.

Çizelge 1.1. Bazı malzemelerin kalorifik değerleri (Çırpıcı 2021)

Malzeme	Kalorifik Değeri (MJ)
Ahşap	17,5
Diğer Selülozik Malzemeler	20
Karbon	30
Alkol	30
Polyester	30
Kauçuk Lastik	30
PVC	20

1.1.1. Standart yangın

Yangın, meydana geldiği ortama bağlı olarak farklı şekillerde gelişebilir. Ancak özellikle yangın hakkında yapılan çalışmalarda baz alınan bir standart yangın oluşumu vardır. ISO 834'te de belirtilen standart yangın eğrisi Şekil 1.1'deki gibidir:



Şekil 1.1. Standart yangın eğrisi ((ISO), I. O. f. S. (2014), ISO 834-11:2014)

Standart yangında istenilen bir andaki gaz sıcaklığı aşağıdaki formül ile bulunabilir (Eurocode 2012):

$$T_f(t) = T_f(t_0) + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (1.1)$$

1. GİRİŞ

Burada, $T_f(t)$ ve $T_f(t_0)$ yangının yaşandığı alandaki t anındaki ve başlangıç (t_0) anındaki (dakika cinsinden) sıcaklığın °C cinsinden ifadesidir. $T_f(t_0)$ 20°C'dir.

1.1.2. Yangın yükü yoğunluğu

Yangın dayanımı incelenirken öğrenilmesi gereken en kritik veri yangın yüküdür. Alınacak bütün aksiyonlar yangın yükü verisinin üzerine inşa edilecektir. Yangın yükü hesaplanırken; hesap yapılacak alanda bulunan yanıcı özelliğe sahip malzemeler ile bu malzemelerin ısı değerlerinin çarpımı, çalışılan alanın büyüklüğüne bölünerek bulunur.

$$\text{Yangın Yüğü} = \frac{(m_1 \times d_1) + (m_2 \times d_2) + \dots}{A} \quad (1.2)$$

Burada;

m: yanıcı malzemenin kütlesi (kg)

d: yanıcı malzemenin ısı değeri

A: alanın ölçüsü (m^2)'dir.

Birim olarak “mJ / m^2 ” cinsinden ifade edilir.

1.1.3. Yangın yükü indeksi

1.000.000 kJ/ m^2 değerine (1GJ / m^2) yangın yükü indeksi denilir. Bu indeks sayesinde yapılar yangın riskine göre sınıflandırılabilir. Sınıflandırmanın basamakları aşağıdaki gibidir:

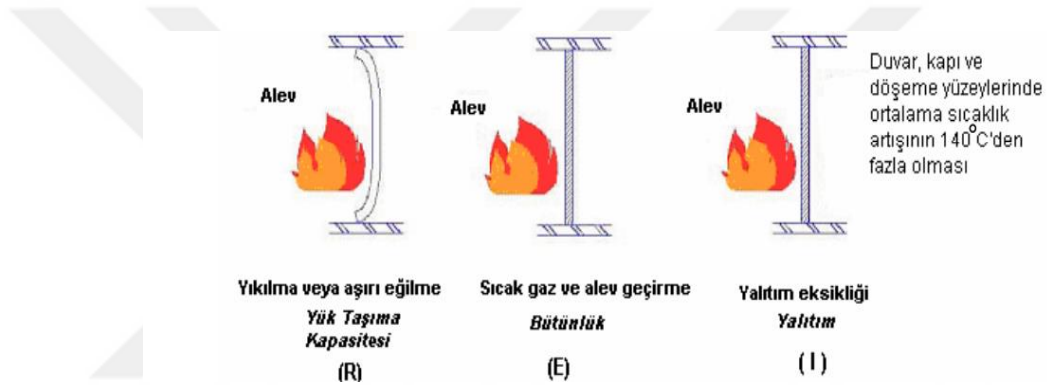
- 0 – 1,00 : yangın sıçrama tehlikesi bulunmayan
- 1,0 – 1,5 : yangın yayılma tehlikesi bulunan
- 1,5 – 2,5 : yangın fırtınası tehlikesi bulunan
- 2,5 – 3,5 : yangın fırtınası ihtimali yüksek olan
- 3,5 < : felaket yangını

1.1.4. Yangın dayanımı

29 Kasım 2004 tarihinde yayınlanan Resmi Gazete’ deki ifadesi ile: “Bir yapı elemanının yangın dayanımı;

- Yük taşıma,
- Bütünlük ve
- Termal yalıtım kapasitesini, standart yangın dayanımı testinde belirli bir süre koruyarak yangına karşı direnç göstermesi” olarak açıklanmıştır.

Yapı elemanının yangına dayanımı Şekil 1.2’deki gibi ifade edilebilir (IDN 1994):



Şekil 1.2. Yapı elemanlarının yangına dayanım performansları

R: Yük taşıma kapasitesidir. Aşırı eğilmelere ve yıkılmalara karşı direnci anlatır. Yangın anında yapı elemanının stabilitesini koruma kapasitesidir.

E: Bütünlüğü ifade eder. Yapı elemanının gaz ve alev geçirmezlik dayanımıdır.

I: Yalıtımı ifade eder. Aleve maruz yüzeyin sıcaklığa karşı dayanımını anlatır.

Yapı elemanlarının yangın dayanım performansları (Avrupa) dakika cinsinden aşağıdaki şekilde tasnif edilmektedir (Eurocode-2 1996) :

R Süresi: Bir dayanım kriterinin, yük taşıma kapasitesinin karşılandığı minimum süre,

RE Süresi: İki dayanım kriterinin yük taşıma kapasitesi ve bütünlüğün karşılandığı minimum süre,

1. GİRİŞ

REI Süresi: Tüm kriterlerin, yük taşıma kapasitesi, bütünlük ve yalıtım, karşılandığı minimum süre.

Strüktürel olmayan elemanlar için dakika cinsinden dayanım süreleri;

E Süresi: Bütünlük kriterinin karşılandığı minimum süre,

EI Süresi: Bütünlük ve yalıtım kriterinin beraber karşılandığı minimum süre

1.2. Yığma Yapılar

Yığma yapılar genel itibari ile bir iskelet sistemi bulunmayan ve yapıyı oluşturan elemanların kendilerine etkileyen yükü sırasıyla zemine ilettiği yapılardır. Modern yapım tekniklerinden daha eskidir ve geçmişi nedeni ile oldukça farklı yapım yöntemleri kullanılmıştır.

Yığma yapıların; tuğla, taş ve bu malzemeler arasındaki birlikteliği sağlayan harç benzeri malzemelerden oluşan bir yapısı mevcuttur.

Yığma taş yapılar yapım tekniği açısından;

- Moloz
- Kesme ve
- İri kesme taş yapılar olarak ayrılabilir (Lourenço 1998).

Yine örgü şekli açısından yığma yapıları;

- Basit
- Çapraz ve
- Flaman olarak 3'e ayırmak mümkündür (Lourenço 1998).

Yığma yapıların uzun yıllardır ayakta kalan ve bugün hala dikkat çeken çok sayıda örneği mevcuttur. Sadece ülkemizde bulunanlara örnek olarak Şekil 1.3'teki yapılar verilebilir:



Ayasofya Camii



Lalapaşa Camii

Şekil 1.3. Tarihi yığma yapı örnekleri

1.2.1. Yığma yapılarda kullanılan malzemeler

Yığma yapılarda en çok kullanılan malzemeler tuğla, taş ve ahşaptır. Özellikle taş ve ahşap doğada bolca bulunmaları ve dayanımları sebebi ile yığma yapıların temel malzemeleri olmuşlardır. Yığma yapılarda kullanılan malzemelerin önemli ölçüde geri dönüştürülebilir olması da bu malzemeleri kullanmak için ayrıca bir sebeptir (Lourenço 2004).

1.2.1.1. Tuğla

Tuğlalar, kil maddesinin pişirilmesi ile elde edilen yapı malzemeleridir. Pişirilme kalitesine bağlı olarak dayanımı da artar. Tuğlanın elastisite modülünün yüksek olmamasından dolayı tekrarlı yüklemeler sonucunda şekil değiştirmeler elastik şekil değiştirmeye döner. Taşa benzer şekilde tuğla da basınca iyi çalıştığı halde çekme mukavemeti düşüktür (Dabanlı 2008). Tuğlaya ait yaklaşık mekanik özellikler Çizelge 1.2’de verilmiştir:

Çizelge 1.2. Tuğlaya ait ortalama mekanik özellik değerleri (Dabanlı 2008)

Basınç Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
3-10	0,2-0,5	1.000-5.000

1. GİRİŞ

1.2.1.2. Taş

Yığma yapılarda en sık kullanılan malzemelerden biri de taştır. Özellikle kırsal alanda oldukça yoğun kullanılmaktadır. Bunun ilk sebebi de kolayca bulunabilmesidir.



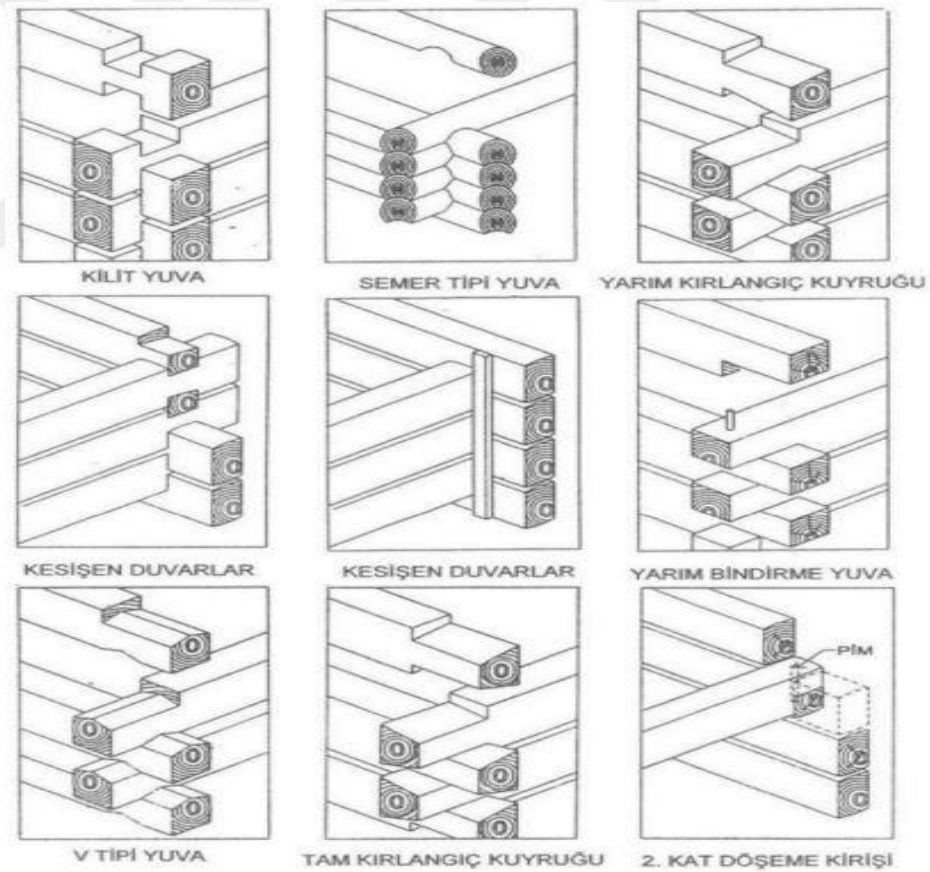
Şekil 1.4. Erzurum Atatürk Evi

Taştan imal edilen yapıların en önemli özelliklerinden biri de deprem anında yer değiştirme oranlarının diğer malzemelere göre oldukça düşük olmasıdır (Korkmaz vd 2014).

Taşlar doğal malzemelerdir. Doğada, doğal yollarla meydana geldikleri için aynı zamanda inorganik malzemelerdir. Kolayca elde edilebildikleri için yığma yapılarda eskiden beri kullanılmaktadır. Ancak gerek yüksek ağırlıkları gerekse birçok çeşidinin işlenme anlamında çok kullanışlı olmaması nedeniyle kullanımı eskiye göre azalmıştır. Yığma yapılarda kullanılan taşlara örnek olarak; bazalt, kumtaşı, tüfler ve granit verilebilir.

1.2.1.3. Ahşap

Yığma yapılarda sıkça kullanılan malzemelerden bir diğeri ahşaptır. Bu tür yapılarda gerek kolon ve kiriş gibi iskeleti oluşturan ürün olarak kullanılırken bazen de yapının tamamının inşasında tek ürün olarak kullanılmaktadır. Çantı tekniği de denilen imalat yöntemiyle; ağaç gövdeler üst üste getirilerek yığma yapı oluşturulur (Coşkun ve Çelebioğlu 2020). Bu teknik en eski yapı tekniklerinden biridir. İskeletinde ahşap kullanılarak imal edilen yığma yapılarda genellikle taştan yapılan temel veya bodrum duvarı üstüne yatay şekilde ahşap malzemeler yerleştirilerek yapı tamamlanır. Kullanılan ahşaplar yaklaşık 5x25 cm ebatlarındadır ve sistemin tek taşıyıcısıdır (Zorlu 2017). Yığma ahşap yapılarda kullanılan farklı geçme teknikleri Şekil 1.5'te gösterilmiştir (Bostancıoğlu 2004).



Şekil 1.5. Yığma ahşap yapılarda geçme teknikleri

1.2.1.4. Diğer malzemeler

Yığma yapılarda tercih edilen malzemelerden biri de harman tuğlalarıdır. Genellikle balçık, kil ya da killi toprağın çeşitli oranlarda karışımından meydana gelir. Harman yerlerindeki ocaklarda pişirildikleri için bu isim verilmiştir (TS704 1979).



Şekil 1.6. Harman tuğlası çeşitleri

Özellikle eski yığma yapılarda sıkça tercih edilen malzemelerden biri de kerpiçtir. Toprak malzemesi kolaylıkla bulunabilen ve neredeyse ilk çağlardan beri barınma amaçlı olarak kullanılan bir malzemedir. Ancak kolay bulunmasının ve düşük maliyetinin yanında basınç dayanımı oldukça düşük bir yapı malzemesidir. Yine toprak marifeti ile imal edilen yapılarda rutubete duyarlılıkta oldukça yüksektir (Binici vd 2010). Fiber kerpiç benzeri özellikleri iyileştirilmiş yeni tür malzemelerle bazı dezavantajlar bertaraf edilmeye çalışılsa da yakın tarihlerde yaşanan Elazığ ve Bingöl depremleri (2010) dikkate alındığında kerpiçten imal edilen yapılar en fazla hasarın ve can kaybının yaşandığı yapılardır (Binici vd 2010).



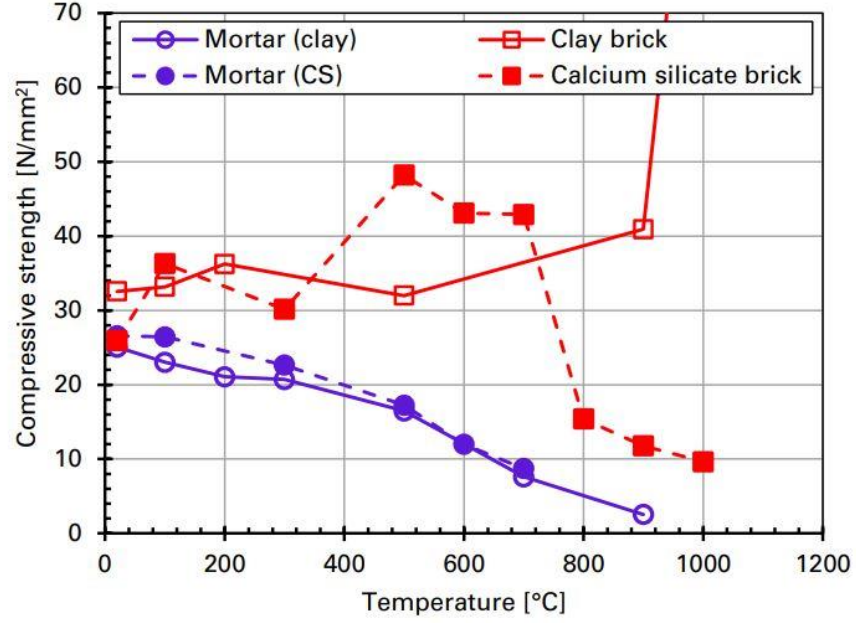
Şekil 1.7. Kerpiç yapı örneği

Yığma yapılardaki diğer önemli malzemelerden biri de antik çağlardan beri kullanılan Horasan harcıdır. Horasan harcı, kireç ve pomzadan elde edilen düşük ağırlıklı çimento yüzyıllardır kullanılmaktadır. Bu yapılar onlarca büyük depreme rağmen sapsağlam ayakta kalabilmiş ve işlevlerini yerine getirmiştir (Korkmaz vd 2014).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

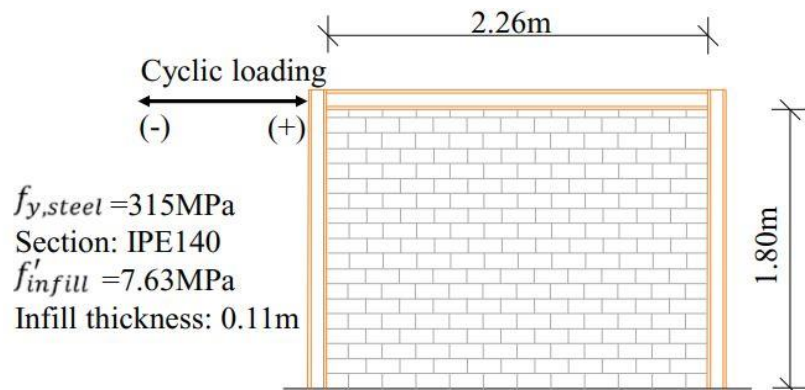
Santos et al. (2017), yangın durumunda kil malzemesinin durumunu incelemişlerdir. Çalışmada; yangın durumunda kilin yapısında meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Çalışmada Russo'nun (2013) çalışmasından elde edilen bilgiler de kullanılmıştır. Buna göre kilden imal edilen duvarlar 500 °C sıcaklıkta rijitliklerinin yaklaşık olarak yarısını kaybederken sıcaklık 1.000 °C ulaştığı zaman dayanımlarının tamamını kaybetmektedir. Çalışmada ABAQUS programı kullanılmış ve modelleme işlemi bu program vasıtasıyla yapılmıştır. Çalışma sonucunda; yığma kil duvarların, yüklenen yüke göre yangın karşısındaki davranışlarının değiştiği gösterilmiştir. Buna göre yük miktarı arttıkça yangın direnci azalmıştır.

Bosnjak et al. (2018), çalışmalarında farklı tipteki yığma duvarlar üzerinde sıcaklıktan kaynaklanan negatif etkiyi karşılaştırmışlardır. Çalışmada özellikle yığma yapıyı oluşturan yapı malzemesinin ve kullanılan harcın yangın dayanımına karşı bileşik etkileri incelenmiştir. Kullanılan tuğlalar kil tuğla ve kalsiyum silikat tuğladır. Deney esnasında özel hazırlanan ortam 20 °C'den 1.100 °C'ye kadar ısıtılıp sonra yeniden oda sıcaklığına kadar soğutulup numunelerin dayanımı ölçülmüştür. Numunelere ısı işlem uygulanmadan önce harçların üzerinden en az 28 gün geçmesi beklenmiş ve 2 °C/dakikalık bir hızla bu ısıtma işlemi uygulanmıştır. Soğuma gerçekleştikten sonra basma testleri uygulanmış ve yığma malzemeler için uygulanabilecek en yüksek yüke 2-3 dakika içinde ulaşılacak şekilde test uygulaması gerçekleştirilmiştir. Harçlar için yapılan testte ise en yüksek yüke 1-3 dakika içinde ulaşılmıştır. Duvar yapılarında ise bu uygulama 10-15 dakika içerisinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda gerek killi harçta gerekse kalsiyum silikat harçta 300 °C'ye kadar benzer tarzda bir dayanımda azalma yaşanmıştır. Tuğlaların her ikisinde ise (killi ve kalsiyum silikat tuğlalar) ilk önce sıcaklığın artmasıyla dayanımda bir artış görünür. Kalsiyum silikat tuğlalarda bu durum 700°C'den sonra çok dramatik bir düşüşle devam etmektedir. Bu durum büyük ihtimalle kalsiyum silikat tuğlaların bileşenlerinin yapısından kaynaklanmaktadır. Kil tuğlalar ise yüksek sıcaklıklara karşı daha az hassastır. 1.100 °C'de dahi dayanımı artmış olsa da kil tuğlalarda test, tuğlaların birden patlaması ile sona ermektedir. Bu durum Şekil 2.1'den de anlaşılmaktadır:



Şekil 2.1. Harç ve tuğla üniteleri için ısıtmadan sonra basınç dayanımı değişimi (Bosnjak et al. 2018).

Shan et al. (2019), çalışmalarında yığma dolgu duvarların çelik çerçevesli yapıların yangında çökme davranışlarına olan etkisini incelemiştir. Çalışmada üç adet 6 katlı ve 5 bölmeli çelik çerçevesli bir yapı tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada yığma dolgu duvarlar sayesinde alternatif yük yolları oluştuğu, bu durumun yük direncini artırdığı ancak sünekliği de azalttığı anlaşılmıştır. Deneyde kullanılan duvarın detayı Şekil 2.2’de sunulmuştur:



Şekil 2.2. Deneyde kullanılan duvar detayı (Shan et al. 2019)

Çalışmanın sonucunda;

- Dolgu duvarların burkulma sıcaklığını düşürdüğü ancak çelik çerçevenin çökmeye de daha uzun süre dayanmasını sağladığı,

- Isınan kolunun üzerinde bulunan dolgu duvarların kolon-kiriş bağlantı noktalarında ekstra dayanım sağladığı anlaşılmıştır.

Prager et al. (2020), yığma yapılarda harç kaplamanın yangın dayanımına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada her biri farklı tipte harç kaplama kullanılmış üç tip duvar üzerinde deney yapılmıştır. Kullanılan harç malzemeleri;

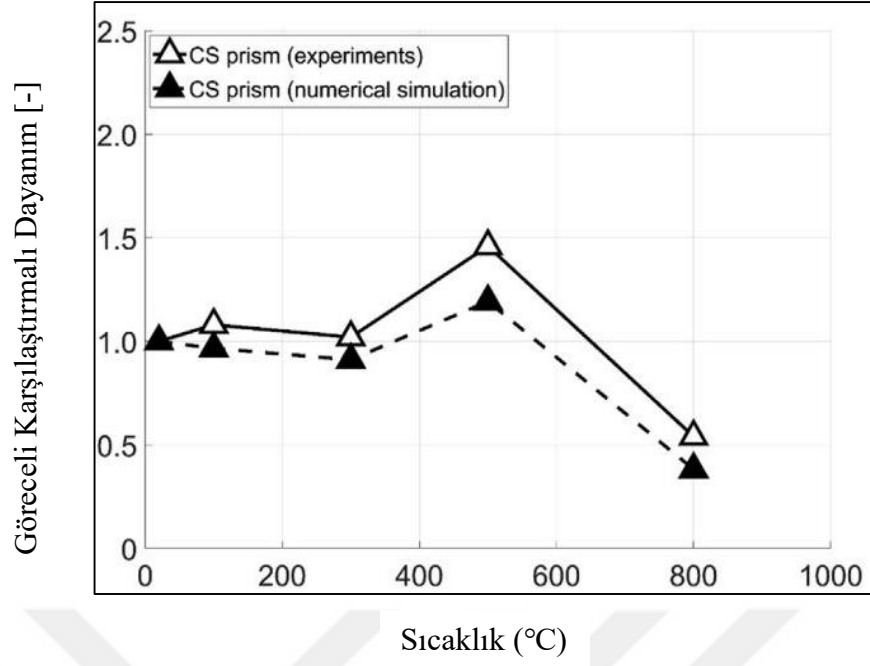
- Kireç,
- $0,6 \text{ kg/m}^3$ polipropilen elyaf ve
- $1,2 \text{ kg/ m}^3$ polipropilen elyaftan oluşmaktadır.

Duvarın ebatları $14 \times 19 \times 29$ cm ebatlarında olup ateşe bakan tarafta 1,5 cm ve dış tarafta 2,5 cm harç kalınlığı vardır. Deneyde hem duvarın stabilitesi hem gaz geçirgenliği hem de ısı yalıtımı izlenmiştir. Çalışma sonucunda $1,2 \text{ kg/m}^3$ polipropilen elyaf harç kaplamalı duvarın 176 dakikalık yangın dayanımı ile en iyi sonucu verdiği anlaşılmıştır.

Bosnjak et al. (2020), yığma yapıların yüksek sıcaklığa maruz kalmalarından sonraki davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan deneysel ve nümerik çalışmalarda kil ve kalsiyum silikat tuğlalar kullanılmıştır. Çalışma esnasında numuneler yavaş bir hız ile ısıtılarak yüksek sıcaklığa eriştirilmiştir. Yüksek sıcaklıkta 2 saat kaldıktan sonra tekrar oda sıcaklığına kadar soğumaları beklenmiş, soğuma gerçekleşikten sonra yüksek sıcaklığın, dayanım anlamında çok büyük bir etkisi olmamasına rağmen sertlik hususunda oldukça yüksek bir etki bıraktığı gözlemlenmiştir.

Çalışmada, yüksek ısıya maruz kaldıktan sonra dahi yapıların dayanımının görece hala yüksek olduğu ve sıcaklığa maruz kaldıktan sonra sağlanması gereken yasal şartları hala sağlayabildikleri görülmüştür. Ancak özellikle harcın yapısının önemli ölçüde bozulmuş olmasından dolayı yapının geride kalan hali artık dış etkilere daha açık hale gelmiştir.

Yapılan deneysel ve nümerik çalışmalar birbirleri ile yüksek oranda uyushmaktadır. Bu durum Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Bağlı Basınç Dayanımı (Bosnjak et al. 2020)

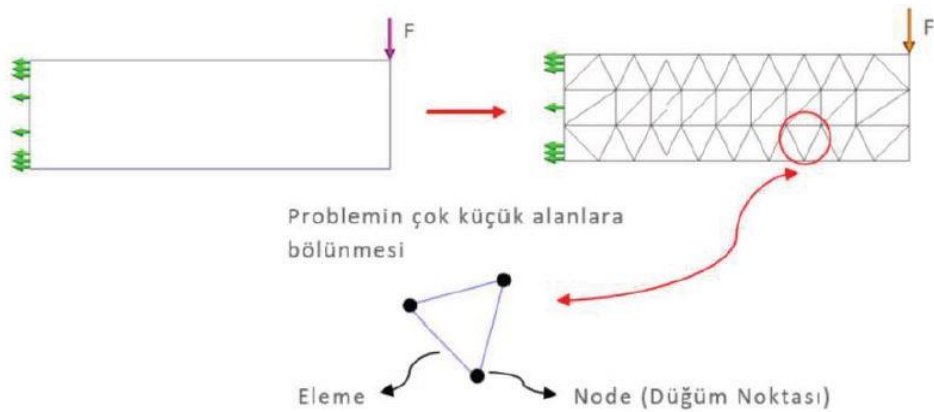
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yönteminin ana teması problemi daha küçük parçalara ayırmak ve tümevarım metodu ile asıl problemi bir çözüme kavuşturmaktır. Sonlu eleman olarak tanımlanan yapı iki ya da daha çok boyutlu problemin sadece bir bileşenidir. Isı, elektrik, akışkan problemleri gibi birçok mühendislik probleminde başarı ile kullanılabilmektedir (Liu and Quek 2003).

Yöntemin ilk kullanılmaya başlandığı alan Uzay Mühendisliği'dir. Rolls Royce ve Boeing gibi firmalar tarafından kullanılan yöntem sonuçlarında ortaya koyduğu başarı ve teknolojik imkânların da daha farklı alanlarda kullanıma el vermesi sayesinde; başta tıp, mühendislik, kimya ve fizik alanları olmak üzere oldukça geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Fish and Belytschko 2007).

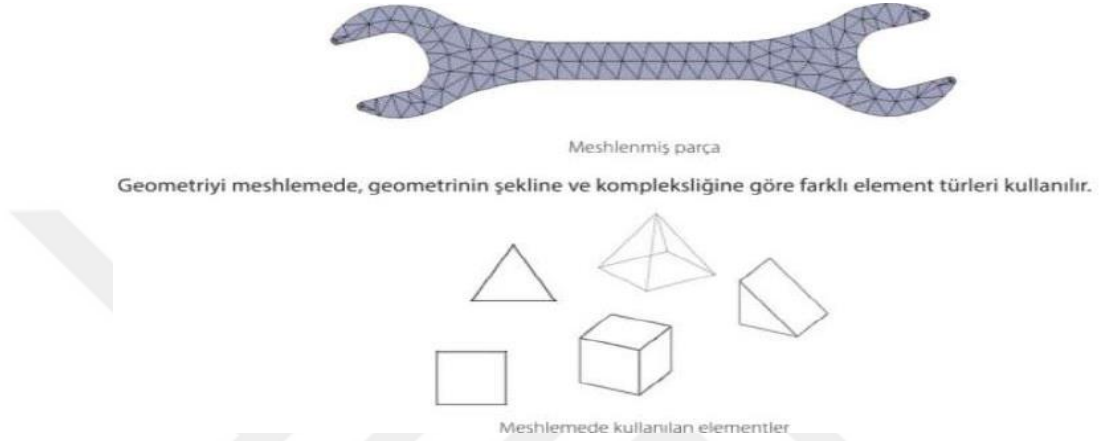
Sonlu elemanlar yönteminde, üzerinde çalışılacak geometrik yapının istenilen şekilde analize tabi tutulmasının güç olması nedeniyle mevcut yapı daha basit geometrik yapılardan oluşan parçalara ayrılmaktadır. Orijinal geometrik yapının, boyutuna ve geometrik yapısının zorluğuna göre parçalara ayrılmış haline “sayısal model” denilmektedir. Modeli oluşturan küçük yapıların birbirlerine temas ettikleri noktalar da düğüm noktası olarak isimlendirilmektedir. Sonlu eleman sayısı ne kadar fazla ise ölçüm ve değerlendirmenin hassasiyeti de o kadar fazla olmaktadır (Craig and Powers 2002).



Şekil 3.1. Sonlu elemanlar yöntemi

Sonlu elemanlar yönteminin çalışma şeklini tam olarak anlayabilmek için yöntemde gerçekleşen bazı işlemlerin içeriğini anlamak gerekmektedir. Bu işlemlerden en önemlisi meşleme işlemidir.

Meşleme, ana yapıyı daha küçük parçalar bölme işlemi olarak tanımlanabilir. Bu işlem yapılırken yapının geometrik yapısına göre en uygun parçalama şekli kullanılır.



Şekil 3.2. Meşleme örneği

Sonlu elemanlar yöntemi ile çok daha uzun sürelerde ve daha fazla maliyetle tamamlanabilecek çözüm arayışları kısa sürelerde ve çok daha düşük maliyetlerle nihayete ermektedir. Benzer diğer yöntemlere göre sonlu elemanlar yöntemi;

- Daha kompleks geometrilerin çözülmesi,
- Birçok türdeki malzemeden oluşan yapıların incelenebilmesi,
- Orijinal geometrinin mümkün olan en iyi şekilde temsil edilebilmesi ve
- Sınır şartlarının uygulama kolaylığı gibi nedenlerle daha fazla tercih edilmektedir (Aydın 2022).

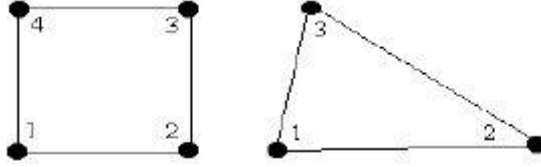
3.2. Sonlu Elemanlar Yönteminde Karşılaşılan Problemler

Sonlu elemanlar yönteminde üç tür eleman tipi vardır. Bunlar (Güler ve Şen, 2015);

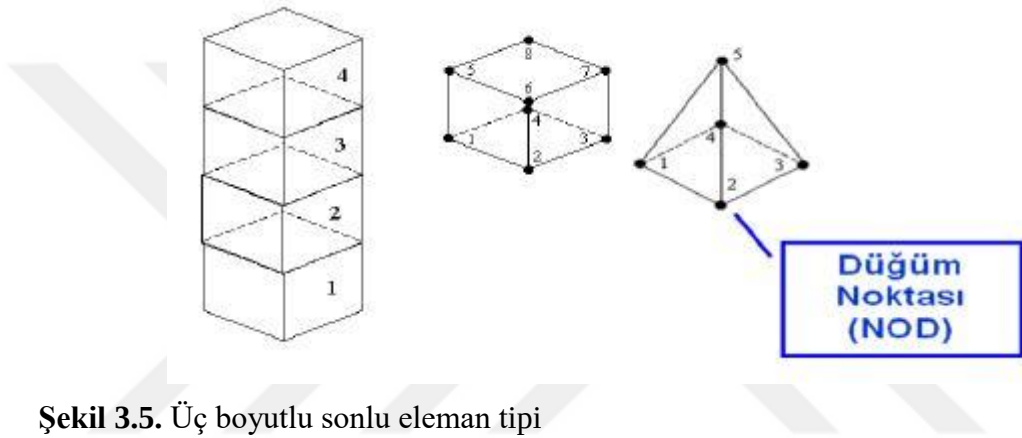
- Tek boyutlu
- İki boyutlu ve
- Üç boyutlu eleman tipleridir.



Şekil 3.3. Tek Boyutlu Sonlu Eleman Tipi



Şekil 3.4. İki boyutlu sonlu eleman tipi

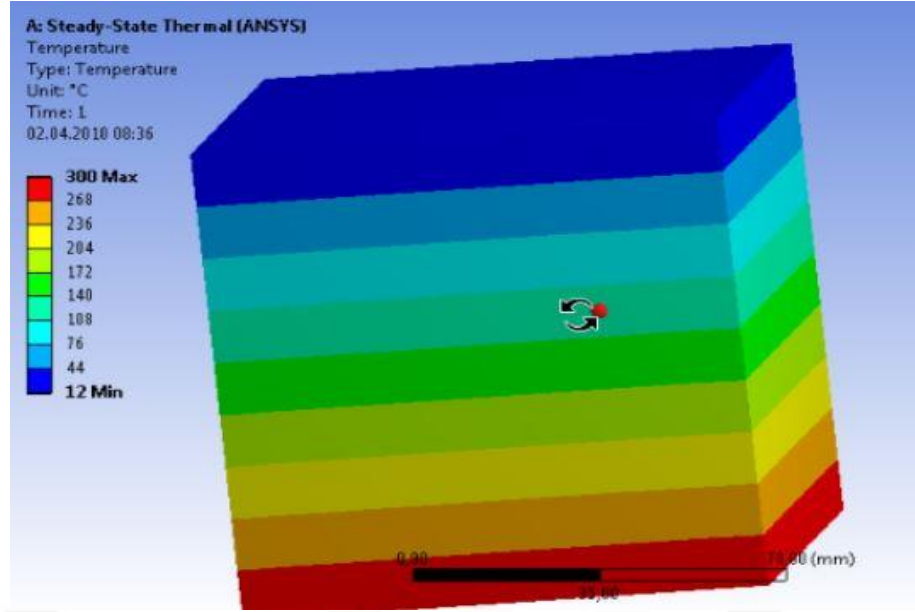


Şekil 3.5. Üç boyutlu sonlu eleman tipi

Analiz yapılırken bu seçeneklerden en uygun olanı belirlenmeli ve bu yolla en doğru sonuç alınmaya çalışılmalıdır.

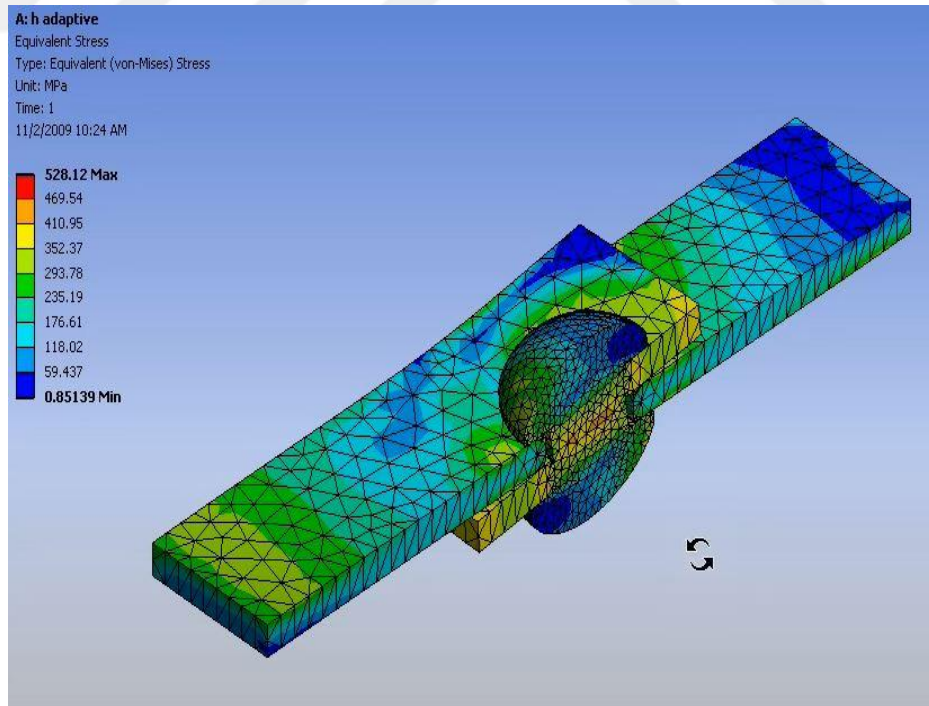
3.3. ANSYS Programı

ANSYS, çoğunlukla mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan, analiz ve simülasyon yapabilme yeteneği olan gelişmiş bir bilgisayar destekli programdır. ANSYS temel olarak sonlu elemanlar yöntemi ile problemleri çözüme kavuşturmaya çalışmaktadır. Yaklaşık 50 yıldır kullanılan bu program ile birçok mühendislik problemine kısa sürede ve gerçeğe uygun çözümler bulunabilmektedir.



Şekil 3.6. ANSYS sıcaklık analizi (Anonim 2020)

Kompleks yapıda birçok malzemenin analizi ANSYS'in çeşitli problemler için geliştirdiği ANSYS modülleri sayesinde yapılabilmektedir. Yine sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçek hayata en yakın sonuçlara ulaşılabilir.



Şekil 3.7. ANSYS stres analizi (Anonim 2010)

ANSYS Fluent, ANSYS Mechanical gibi birbirinden farklı modüller sayesinde gerek sıvıların gerekse yarı akışkanlar ile gazların ya da mekanik parçaların analizi yapılabilmektedir. Akışkanlar dinamiği konusunda gelişmiş bir modüle sahip olan program sayesinde kara, hava ya da deniz taşıtları gibi ürünlerin tüm su ve hava ortamı analizlerini gerçekleştirebilmektedir (Anonim 2023).

3.3.1. ANSYS workbench

Workbench platformu sayesinde birbirinden farklı mühendislik problemleri bir yapı üzerinden arayışa tabi tutulabilir. ANSYS Workbench platformu ile;

- İki katlı yanal yüklemeye maruz betonarme yapı analizi,
- Bir musluktaki sıcak ve soğuk su akışının ortaya çıkardığı basınç, sıcaklık ve hız gibi değişkenlerin davranışı,
- Tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen bir çeliğin termal analizi,
- Kompozit malzemelerin farklı sıcaklıklar altındaki elastik durumlarının incelenmesi gibi oldukça farklı alanlardaki problemlere çözüm aranabilmektedir (Taşkaya ve Taşkaya 2019).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Validasyon Model Çalışmaları

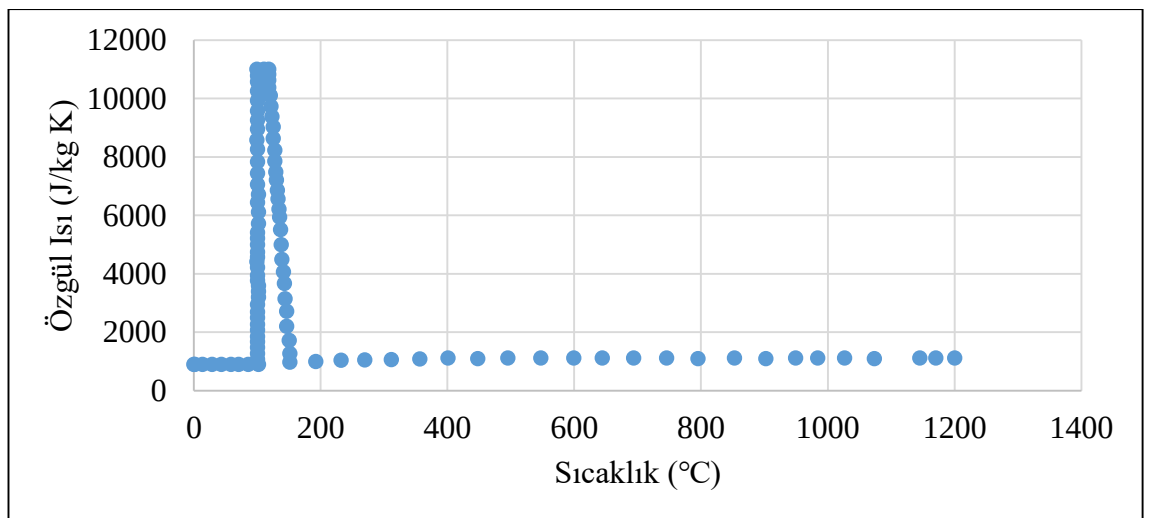
Yığma yapıların yangın dayanımını anlayabilmek için ANSYS programı vasıtasıyla sayısal modeller hazırlanmıştır. Çalışmalarda daha önce üzerinde başka araştırmacıların çalıştığı sayısal modellerin, program yardımı ile yangın karşısında davranışı incelenmiştir. Validasyon aşaması için iki model kullanılmış ve bu modellerden elde edilen bilgilerden sonra çalışmanın asıl konusunu oluşturan model üzerinde çalışılmıştır.

4.1.1. Birinci validasyon modeli

Bu modelde Oliveira et al. (2021) araştırmasında yapılan deney baz alınmış ve aynı termal özellikler modelde kullanılmıştır. Modelde kullanılan değerler aşağıda sunulmuştur.

- **Özgül Isı**

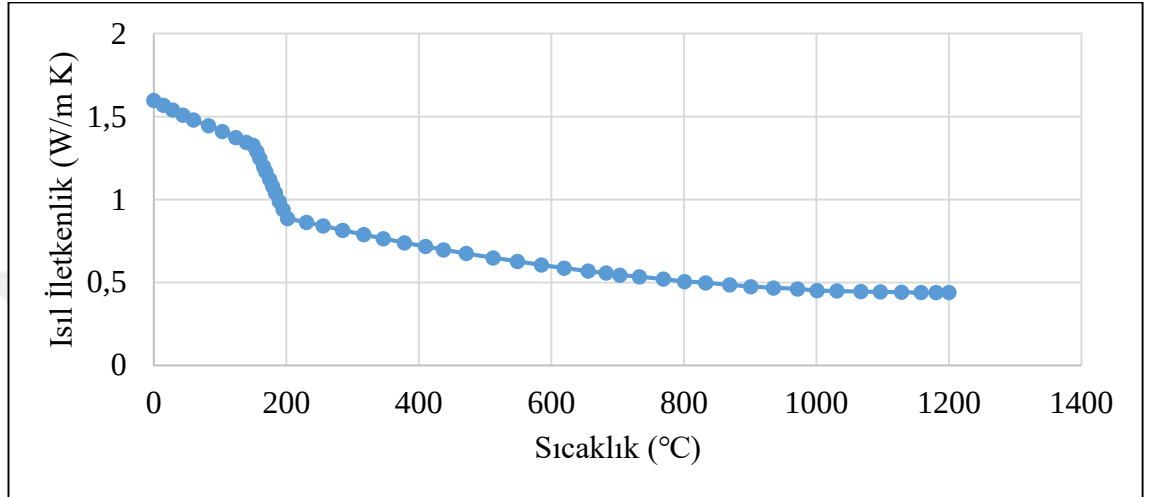
Özgül ısı değeri EN 1992-1-2 (Eurocode) değerleri baz alınmış ve çalışmada kullanılan özgül ısı değerleri Şekil 4.1’de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Özgül ısı – Sıcaklık değişimi

- **Isıl İletkenlik**

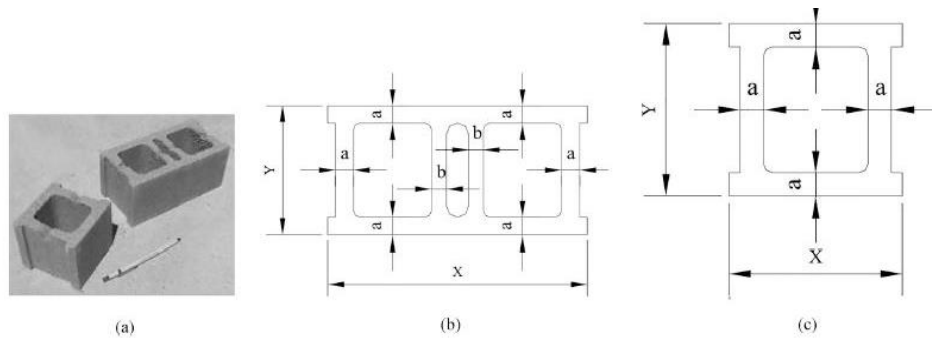
Isıl iletkenlik değeri için yine EN 1992-1-2 Fransız Ulusal Eurocode ekinde sunulan değerler alınmıştır. Çalışmada kullanılan ısı iletkenlik değeri Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.2. Isıl iletkenlik – Sıcaklık değişimi

- **Yoğunluk**

Çalışmada iki büyük ve bir küçük gözden oluşan blokların şekil ve ebatları Şekil 4.3 ve Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

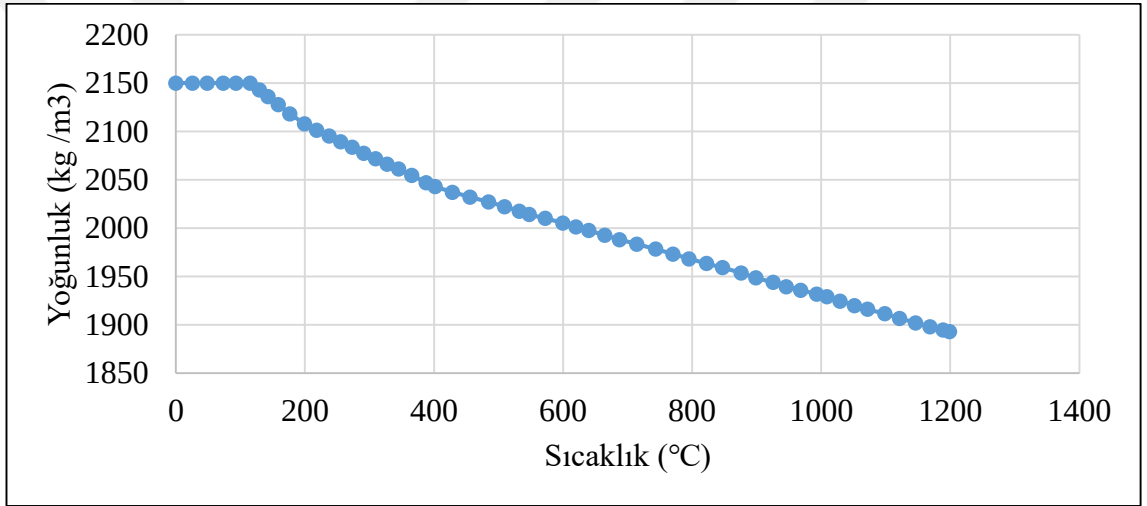


Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan blok şekilleri

Çizelge 4.1. Yığma blok birimlerin ölçüleri

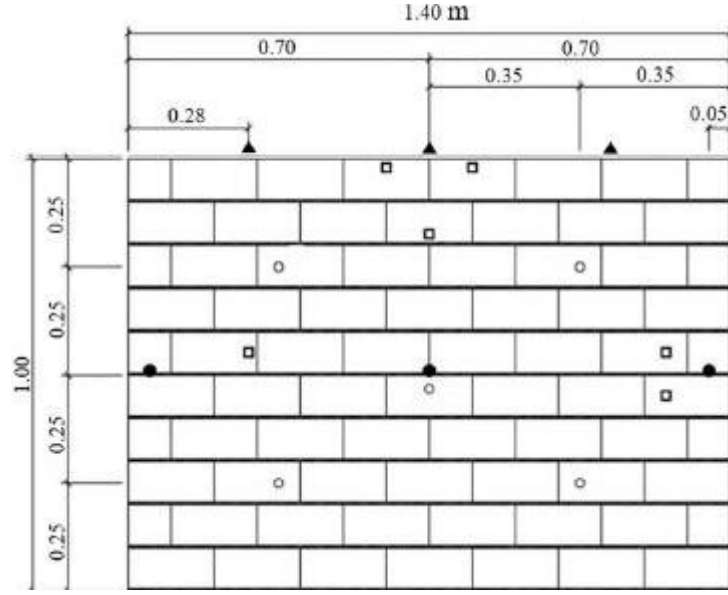
BLOK TÜRÜ	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	a (mm)	b (mm)	Blokların Net Alanı (cm ²)	Boşluk Alanı (cm ²)	Boşluk Oranı (%)
Tam	201	100	93	16	14	110,14	93,92	46
Yarım	101	100	93	16	-	57,20	46,10	45

Çalışmada kullanılan bloklara ait yoğunluk – sıcaklık ilişkisi Şekil 4.4’te sunulmuştur.



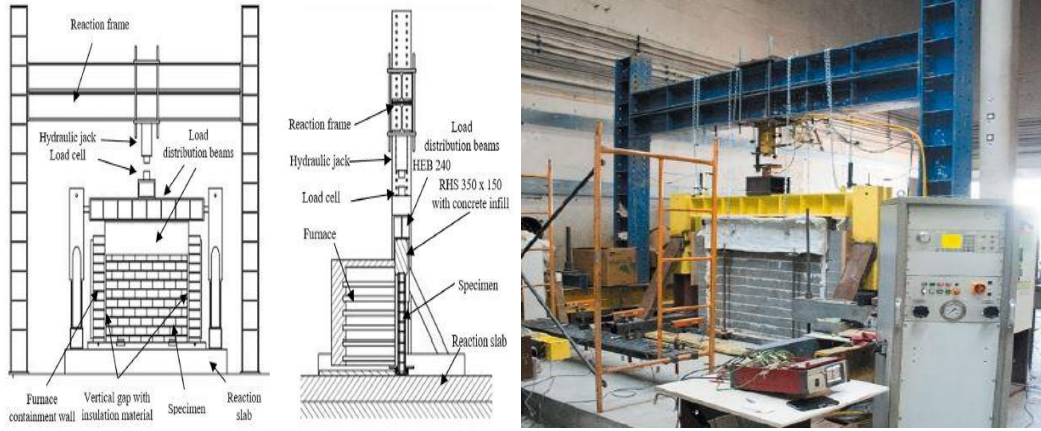
Şekil 4.4. Yoğunluk – Sıcaklık değişimi

Yukarıda bilgileri verilen bloklar kullanılarak oluşturulan numunelik duvarın şekli ve ölçüleri Şekil 4.5’te sunulmuştur.



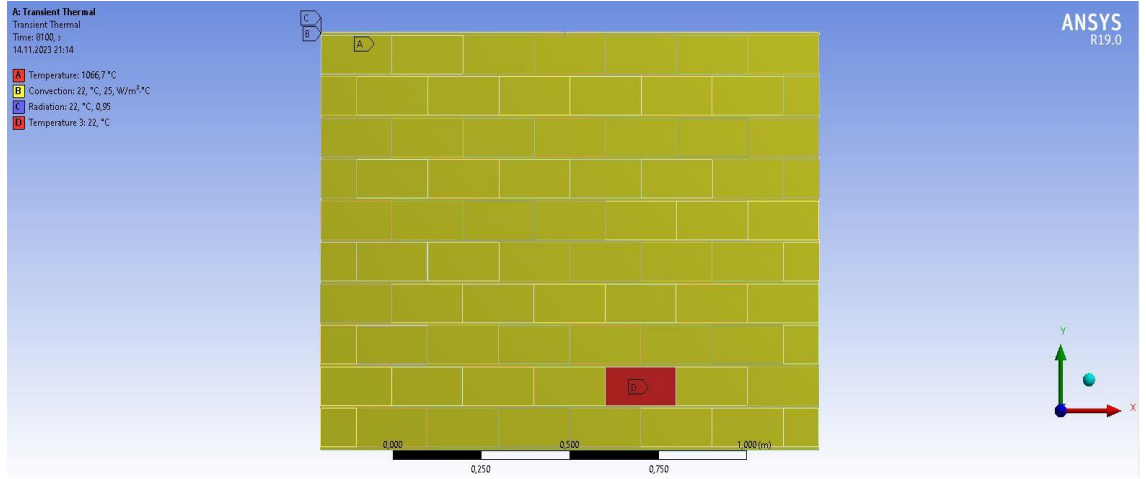
Şekil 4.5. Numune duvar

Kurulan deneye ait içerik aşağıda hem detaylı anlatımı hem de fiziki deney ortamından alınan görüntülerle Şekil 4.6’da sunulmuştur.



Şekil 4.6. Kurulan deneyin detay gösterimi

Modelde kullanılan duvar; 1 metre yüksekliğinde ve 1,4 metre genişliğindedir. Model çalışılırken yangın sadece duvarın bir yüzeyinden verilmiştir. Modelde kullanılan blokların her birinin yüksekliği 93 mm olup her blok sırasının arasında 7 mm yüksekliğinde harç kullanılmıştır. Harç için tanımlanan özellikler de bloklara tanımlanan özelliklerin aynısıdır.

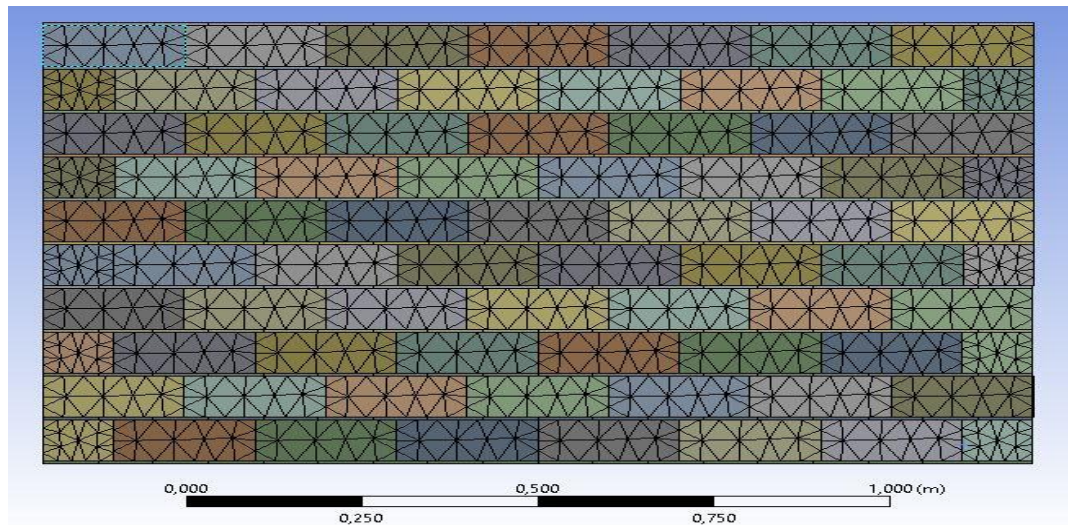


Şekil 4.7. Validasyon modeli-1'in ANSYS gösterimi

Model, şaşırtmalı olarak dizilen beton bloklardan oluşmaktadır. Modeldeki değerler aşağıda verilmiştir:

- Konveksiyon değeri: $25 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Radyasyon değeri : 0,95
- Nod sayısı: 375.040
- Eleman sayısı: 207.866'dır.

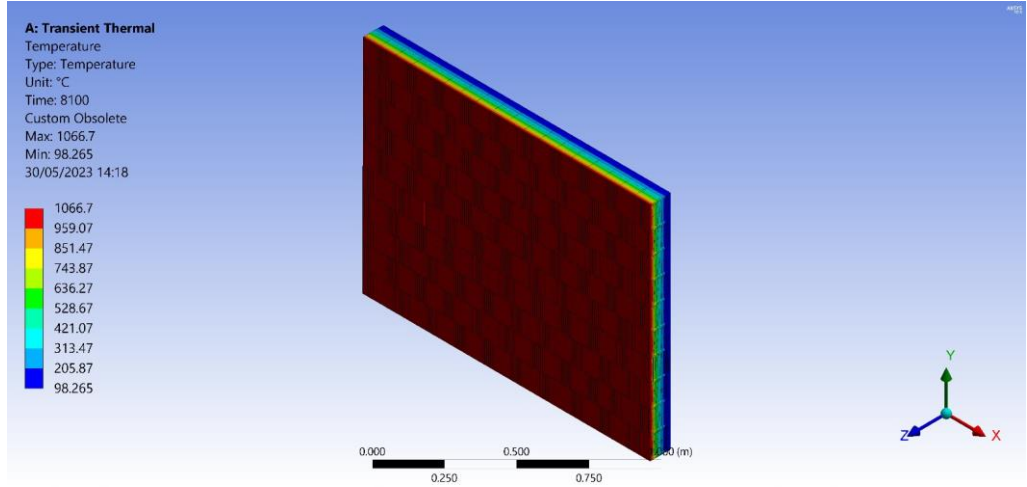
Modelin analizi esnasında gerçekleşen simülasyon süresi yaklaşık 140 dakikadır. Modelin meşlenme işlemi için 8 mm meş değerleri seçilmiş, meşlenmiş görüntüsü aşağıda sunulmuştur:



Şekil 4.8. Validasyon modeli-1'in meşlenmiş görüntüsü

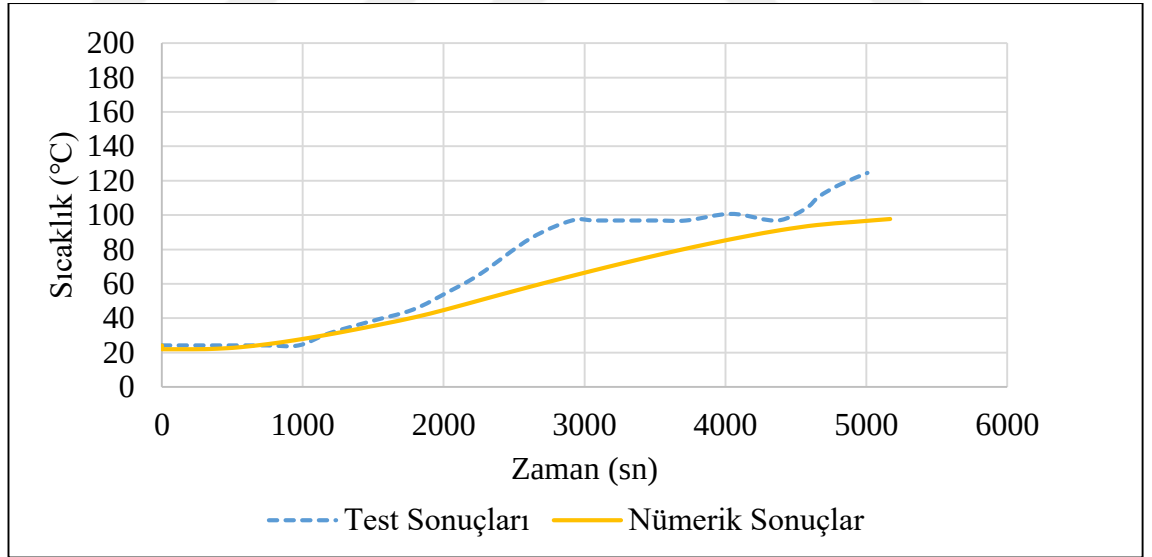
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Numunenin, programdaki çalışılmış halinin görüntüsü Şekil 4.9’da sunulmuştur:



Şekil 4.9. Validasyon-1 modelinde sıcaklık dağılımı

Şekil 4.9’da sunulan görüntü 2 saat 15 dakika süren bir yangından sonra elde edilen görüntüdür. Yangına maruz kalmadan sonra numune duvardaki maksimum sıcaklık değeri 1.066,7 °C olurken minimum sıcaklık ise 98,265 °C olmuştur.



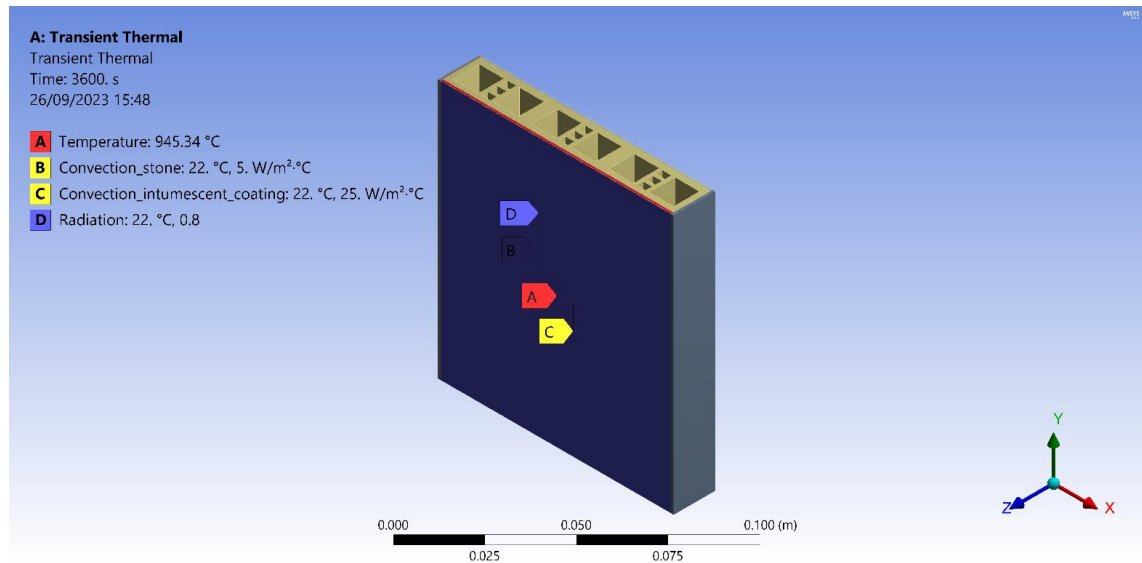
Şekil 4.10. Validasyon-1 modeli sıcaklık karşılaştırmaları

Şekil 4.10’da deneysel test sonuçları ile nümerik sonuçlar karşılaştırılmıştır ve nümerik sonuçlar ile test sonuçları arasında en büyük fark 30°C olmakla birlikte nümerik modelin yakınsaması kabul edilebilir ölçüdedir. Aradaki farkın en önemli nedeni deneyin yapıldığı fırının ISO eğrisini tam olarak sağlayamamasından kaynaklanmaktadır.

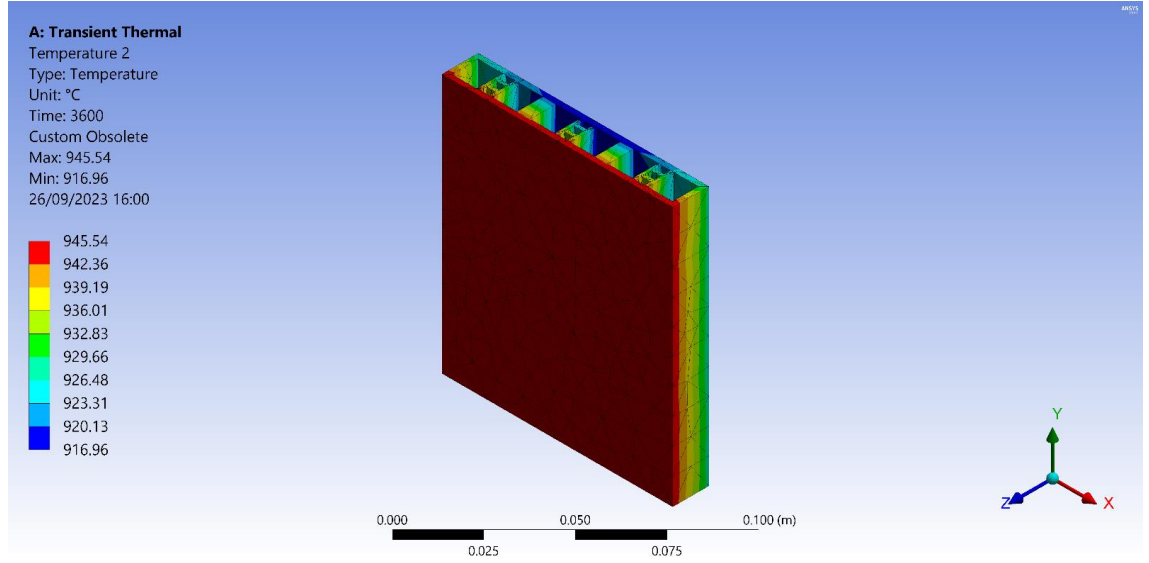
Çizelge 4.2. Numuneye ait termal özellikler

Sıcaklık (°C)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)	İletkenlik W/(m.K)	Özgül Isı J/(kg.K)
0	1.750	0,4	2.100
20			
50			
70			
85			
99			4.000
101			3.700
200			3.650
300			3.500
400			3.400
500	1.500	0,41	3.300
100			
1.500			

Numunede ısı transfer katsayısı olarak 25 W/m²K ve radyasyon değeri olarak 0,80 kullanılmıştır. Duvara ait ANSYS görüntüsü Şekil 4.13’de sunulmuştur.



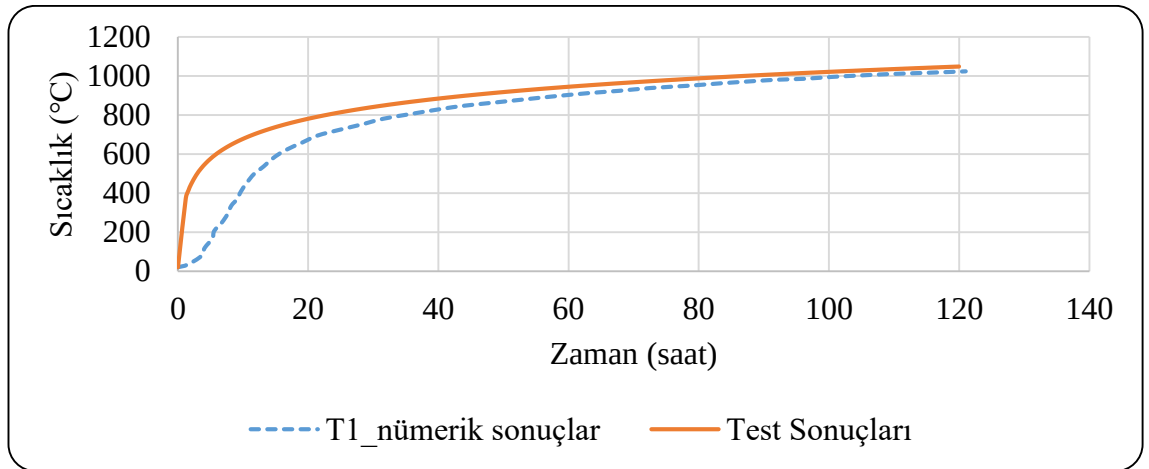
Şekil 4.13. İkinci validasyon modeli ANSYS ekran görüntüsü



Şekil 4.14. İkinci validasyon modeli ANSYS program çıktısı

Çalışmada duvarın maksimum sıcaklığı Şekil 4.14'te verildiği gibi 945,54 °C minimum sıcaklık ise 916,96 °C olarak ölçülmüştür. Program çıktısından elde edilen maksimum sıcaklık değeri neredeyse ISO sıcaklık eğrisindeki maksimum sıcaklık değeri ile aynıdır. Duvarın bu sıcaklıklara ulaşmasındaki en büyük neden boşluklu bir yapıya sahip olmasıdır.

Duvarın arka tarafındaki sıcaklık ise 916 °C civarındadır. Yangın görmeyen taraftaki sıcaklık değerlerinin de bu kadar yüksek çıkması duvarın boşluklu bir yapıya sahip olması ile ilgilidir.



Şekil 4.15. Validasyon-2 modeli sıcaklık karşılaştırmaları

4.2. Yangın Eğrileri

Çalışmada yığma yapıların yangın performansı incelenirken 4 tip yangın eğrisi kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla;

- ISO Yangın Eğrisi
- Fast Yangın Eğrisi
- Slow Yangın Eğrisi ve
- Smouldering Yangın Eğrisidir.

Bu yangın eğrilerinin karşılaştırılmalı hali Şekil 4.16’te sunulmuştur.



Şekil 4.16. Dört farklı yangın eğrisinin karşılaştırılması

Eğriler incelendiğinde; ISO sıcaklık eğrisi zamana göre normal bir seyir izlerken, Fast yangınlarda sıcaklık hızlı yükselmektedir. Slow yangınlar sıcaklığın yavaşça ilerlediği yangınlar olurken Smouldering yangınlarda bir süre içten yanma yaşandıktan sonra sıcaklık hızlı bir artış göstermektedir.

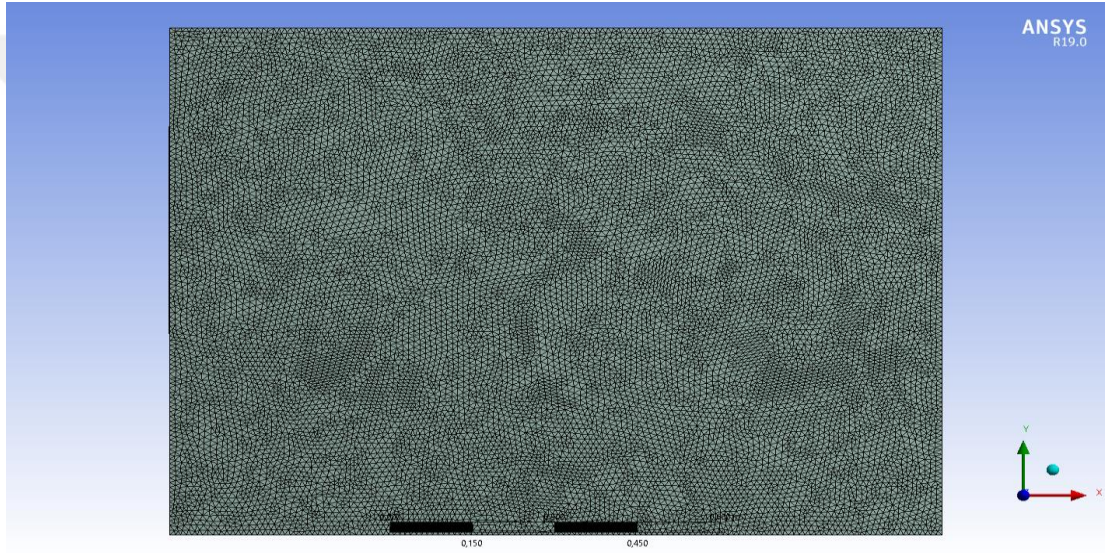
4.3. Meş Boyutları

Modelde 0,01-0,08 m arasında meş boyutları kullanılmıştır. Kullanılan meş boyutuna göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde 0,01 m meş boyutunda gerçeğe en

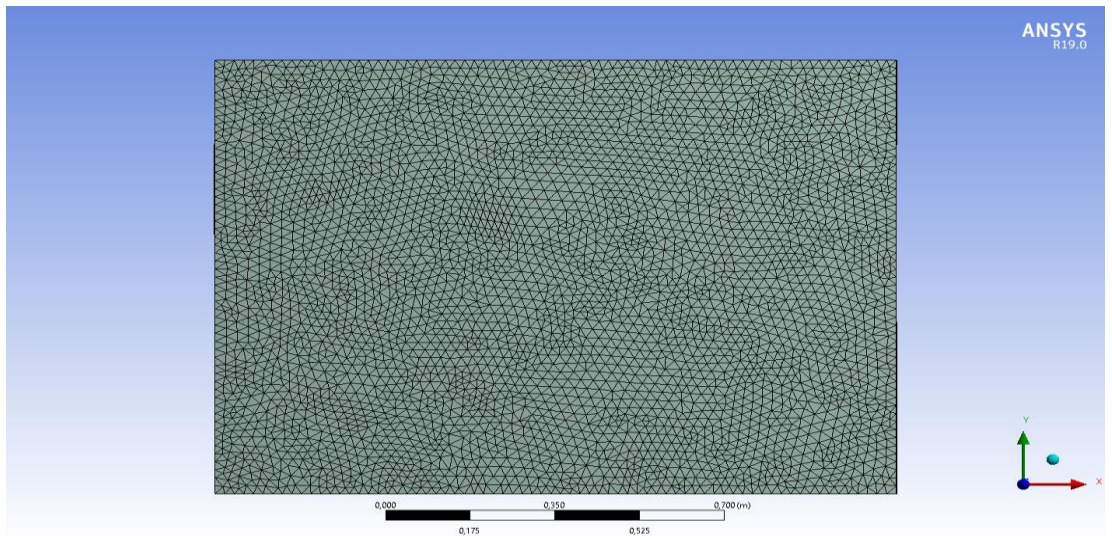
yakın sonuçlar elde edildiği 0,08 m meş boyutlarında ise birçok detayın görülemediği ve ideal sonuçtan oldukça uzaklaşıldığı görülmüştür.

Sırasıyla 0,01 – 0,02 – 0,05 ve 0,08 m meş kullanımında 0,01 metrelik meş işlemi için ortalama analiz süresi 50-60 dakika aralığında olurken 0,08 metrelik meşlerde ortalama analiz süresinin 2-4 dakika olduğu görülmüştür.

Bu sürelerin gerçekleştiği bilgisayar, i5 işlemci ve 8 GB Ram değerlerine sahip olup SSD özellikli hard disk ile çalışılmıştır.



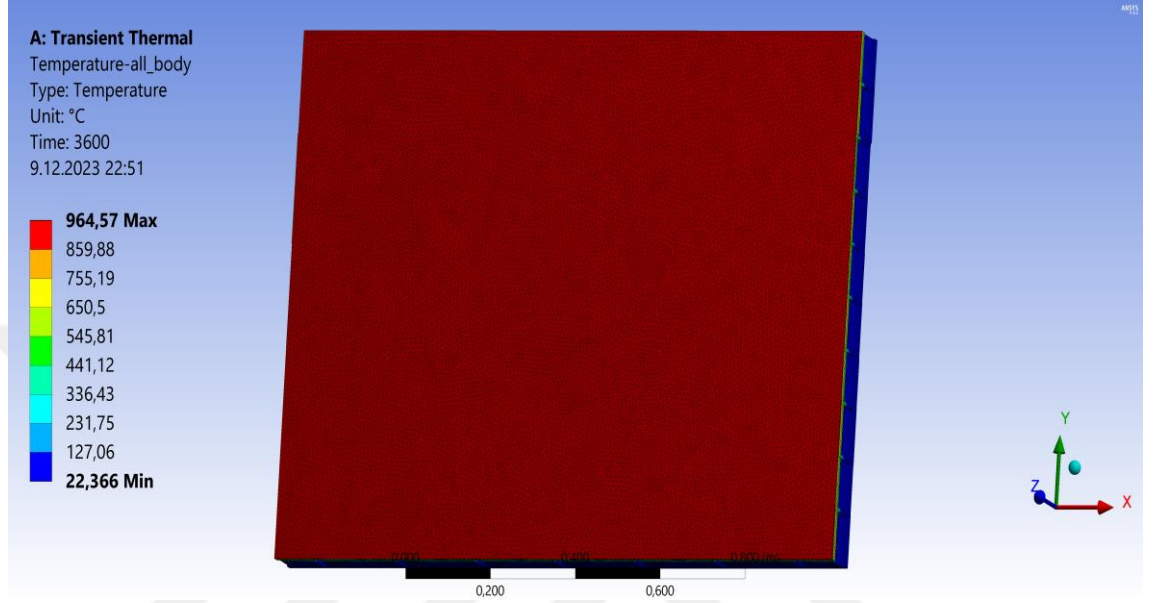
Şekil 4.17. 0,01 m meş boyutlarına sahip modelin önyüzü



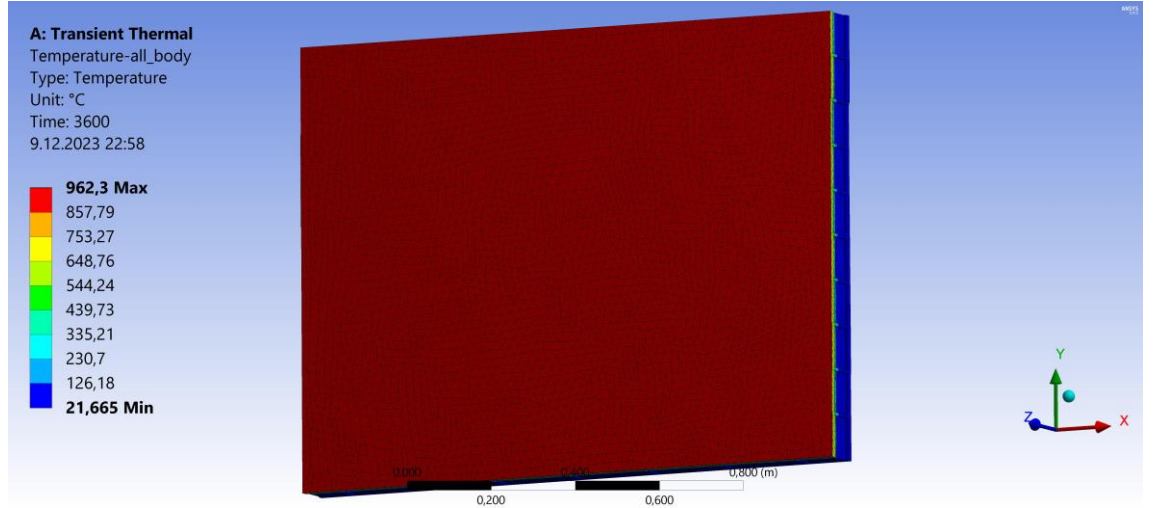
Şekil 4.18. 0,02 m meş boyutlarına sahip modelin ön yüzü

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Aynı duvara ait 0,01 ve 0,02 m meş boyutlarına sahip ANSYS görüntüleri Şekil 4.17 ve Şekil 18’de sunulmuştur. Her ne kadar 0,01 m boyutlarında meşlenmiş model ile daha detaylı ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilse de çalışma süresince 0,01 m ve 0,02 m ile meşlenmiş modeller arasında kayda değer bir fark olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.19. ISO yangın eğrisine sahip 0,01 m meşli 10 cm kalınlıklı ve 2 mm boyalı model duvar ANSYS çıktısı.



Şekil 4.20. ISO yangın eğrisine sahip 0,02 m meşli 10 cm kalınlıklı ve 2 mm boyalı duvarın sıcaklık gradyanı (dağılımı).

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 incelendiğinde aynı duvar için yapılan çalışmada 0,01 m meş ile 0,02 m meş analizi sonucunda maksimum sıcaklık değerinde yalnızca 2,27 °C

fark ortaya çıkmıştır. Bu fark minimum sıcaklık değerinde ise sadece 0,5 °C kadardır. Analiz süresinde ise yaklaşık 45 dakikalık bir fark ortaya çıkmaktadır.

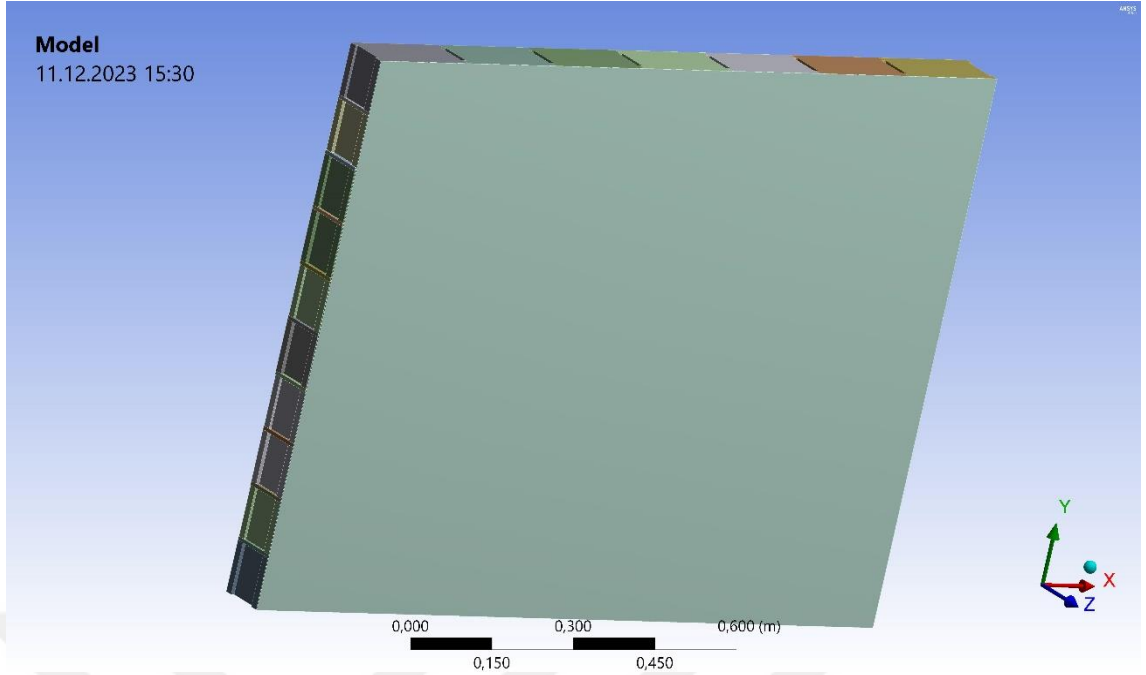
4.4. Model Özellikleri

Çalışmada oluşturulan Model duvarın yangın dayanımı ve yangın karşısındaki davranışı çeşitli kriterler ile incelenmiştir. Bu kriterler;

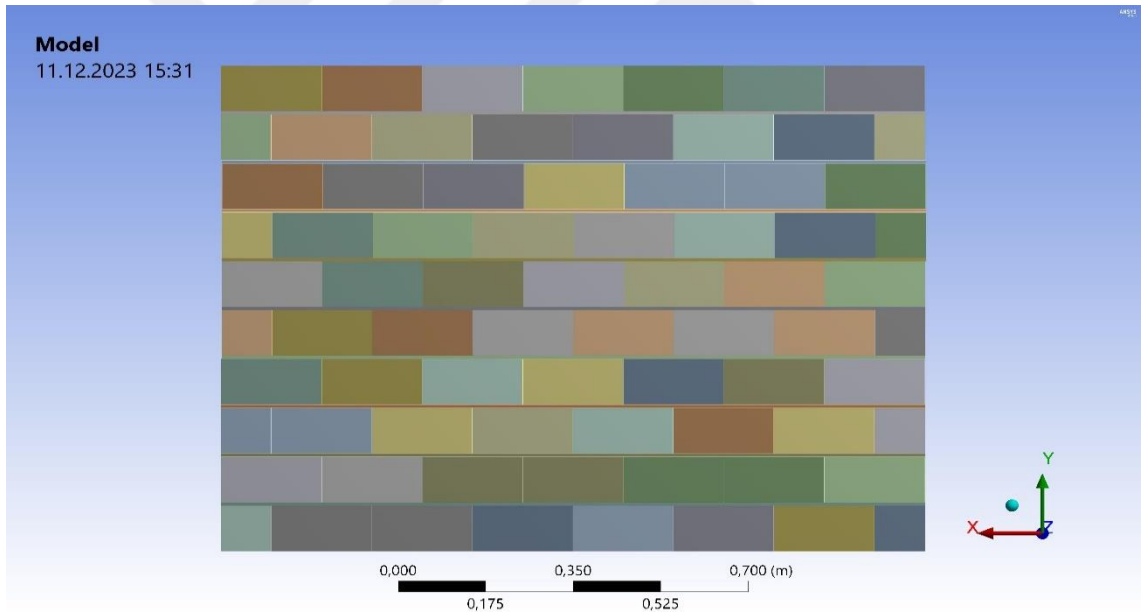
- Duvarın kalınlığı,
- Koruyucu boya tabakasının kalınlığı,
- Farklı yangın eğrileridir.

Öncelikle 10 cm ve 25 cm kalınlığında ve 100 cm × 140 cm ebatlarında modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin her biri sırasıyla 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm ve 3 mm yangını karşı koruyucu boya kalınlıkları ile analiz edilmiştir. Kullanılan boya su bazlı boya olmakla birlikte oda sıcaklığında yoğunluğu 1,20-1,40 gr/cm³ ve viskozitesi 10.000-12.000 mPa.s arasındadır. Daha sonra tüm bu Modeller; ISO, Fast, Slow ve Smouldering yangın eğrileri ile ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Tüm bu analizler ayrıca meş boyutları değiştirilerek te sırasıyla 0,01 m - 0,02 m – 0,05 m ve 0,08 m ebatlarında meşlenmiş şekilde yeniden analize tabi tutulmuştur. Böylece hem değişen kriterler karşısında Modelin yangına karşı tavrının anlaşılması hem de meş boyutlarında meydana gelen değişimin analiz sonuçlarını ne kadar etkilediğinin görülmesi amaçlanmıştır.

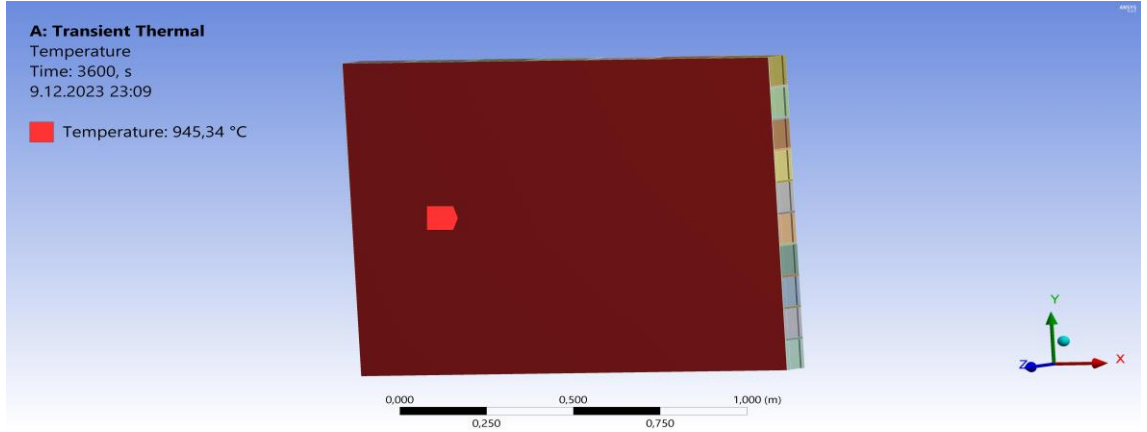


Şekil 4.21. 10 cm kalınlıklı model duvarın üç boyutlu ANSYS görüntüsü



Şekil 4.22. 10 cm kalınlıklı model duvarın yangın almayan taraf ANSYS görüntüsü

Tüm analizlerde duvarın bir tarafından yangın verilip tüm bölgelerindeki değerler izlenmiştir.

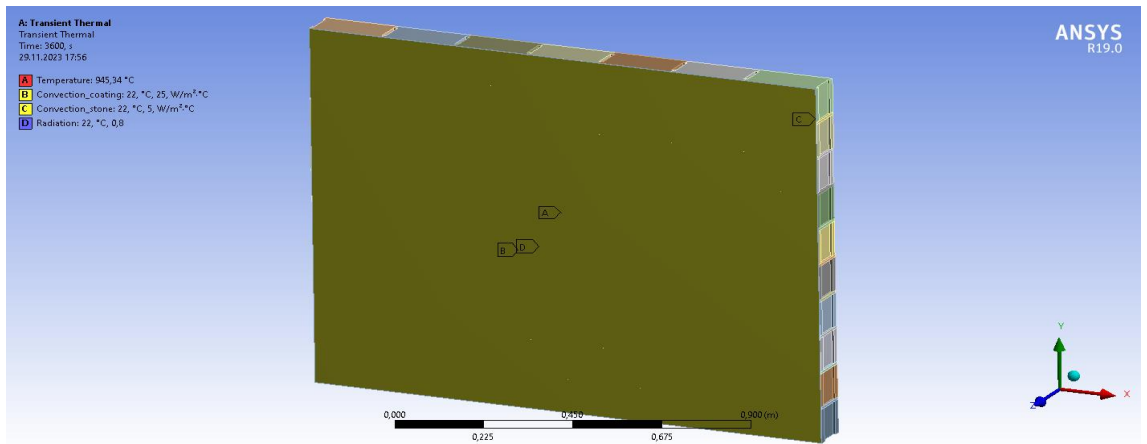


Şekil 4.23. 10 cm kalınlıklı model duvar yangın verilen taraf ANSYS görüntüsü

Şekil 4.23’de de sunulduğu gibi bir taraftan yangın verilmiş ve bu yangının etkisi sırasıyla;

- Tüm duvarda (all body),
- Yangın koruma boyasında (intumescent coating),
- Yangın almayan tarafta (back side wall) ve
- Duvarın ortasında bulunan tekil blokta gözlemlenmiştir.

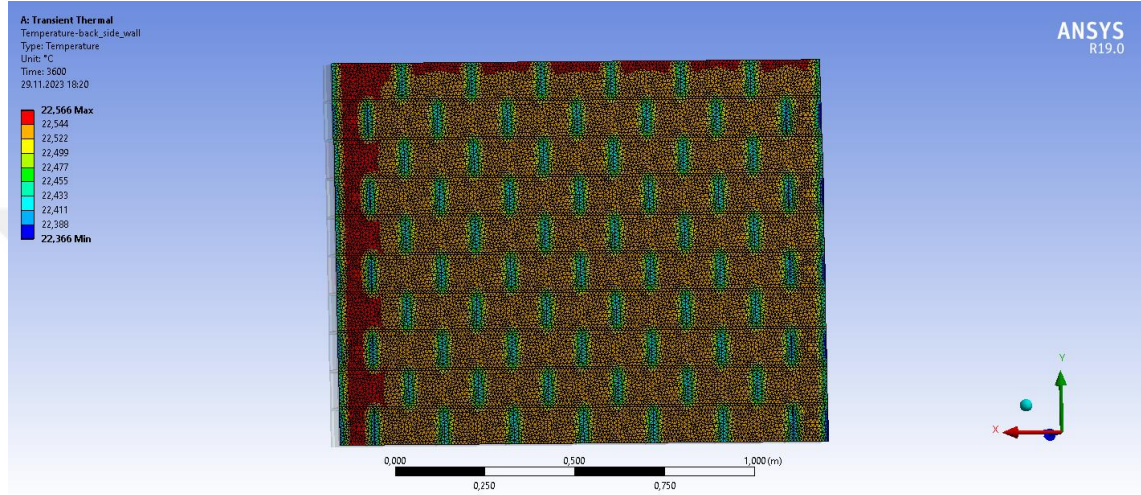
Modelde koruma boyasına ait konveksiyon değeri $25 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, duvara ait konveksiyon değeri $5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, başlangıç sıcaklığı $22 \text{ } ^\circ\text{C}$ ve radyasyon değeri 0,8 olarak alınmıştır.



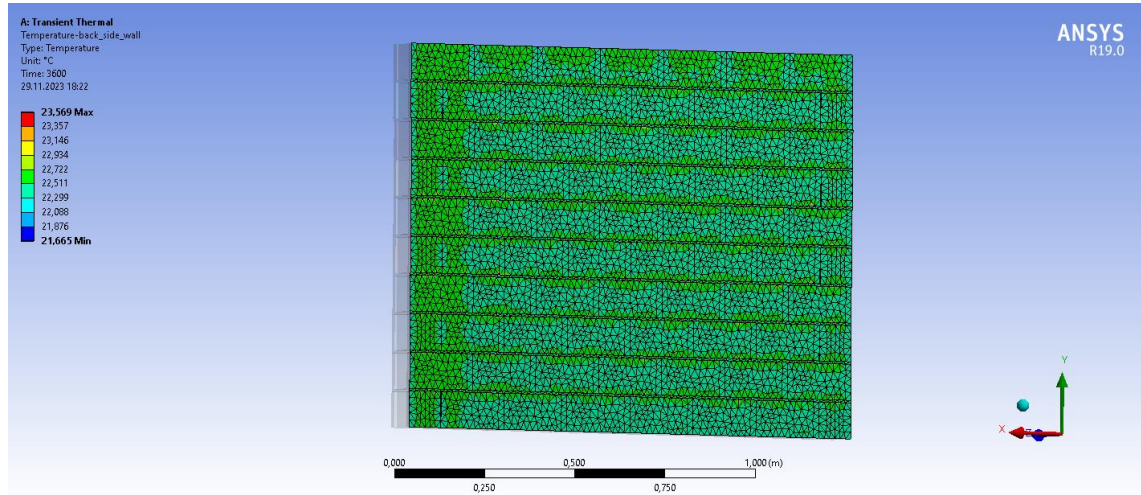
Şekil 4.24. Model duvar ANSYS görüntüsü

4.4.1. Meş değerlerinin etkisi

ANSYS programında ve genel olarak sonlu eleman yöntemini kullanan diğer analiz programlarında meş boyutları küçüldükçe gerçek hayat değerlerine daha yakın sonuçlar elde edilir. Analiz edilecek hacim küçüldükçe daha doğru ve daha detaylı sonuçlara ulaşılabilmektedir.



Şekil 4.25. 10cm kalınlıklı, ISO yangın eğrisine sahip ve 2 mm koruyucu boya olan 0,01 m meşli duvarın yangın almayan taraf ANSYS analiz görüntüsü.

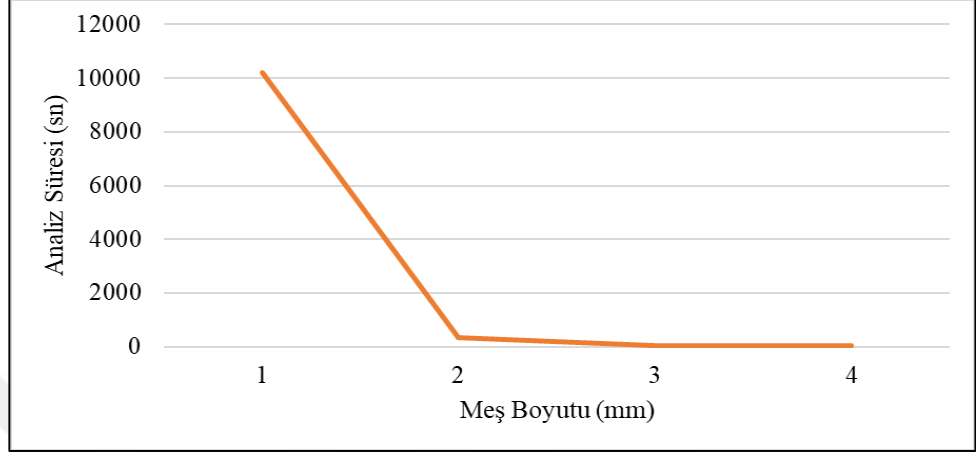


Şekil 4.26. 10cm kalınlıklı, ISO yangın eğrisine sahip ve 2 mm koruyucu boya olan 0,02 m meşli duvarın yangın almayan taraf ANSYS analiz görüntüsü.

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26 incelendiğinde farkın maksimum sıcaklık değerinde 1 °C den az, minimum sıcaklık değerinde ise yaklaşık 0,5 °C olduğu gözükmemektedir. Bu farklar çok düşük farklar olsa da bağımsız blokların birbirlerine temas ettikleri noktalarda ortaya

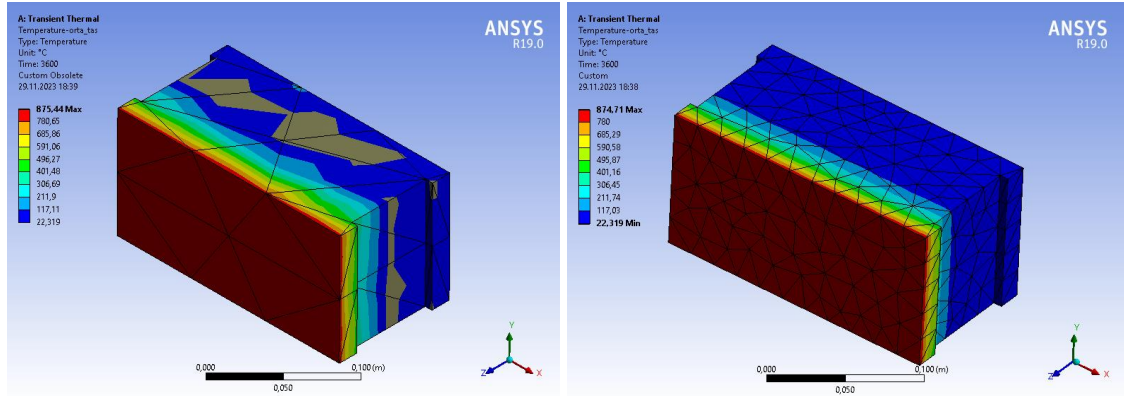
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

çıkan sıcaklık farkı 0,01 m meşli analizde daha açık şekilde ortaya çıkmaktadır. Boşluk oranının daha düşük olduğu blok temas noktalarında sıcaklık daha düşük kalmıştır. Düşük olan bu değer diğer noktalardan toplam farkı 0,5 °C den daha azdır ancak meş boyutu azaldıkça bu küçük farklar görünür olmaktadır.



Şekil 4.27. 10 cm kalınlıklı duvarın ISO 834 yangın eğrisi altında değişen meş boyutunun analiz süresine etkisi.

Şekil 4.27 incelendiğinde meş boyutlarının 2 mm ve daha üstü olması durumunda analiz süresi kayda değer şekilde değişmese de 1 mm boyutlu meş boyutunda analiz süresi 3 saate yakın sürmüştür.



Şekil 4.28. Aynı model duvara ait 0,08 m ve 0,02 m meşlenmiş orta taş ANSYS analiz görüntüsü.

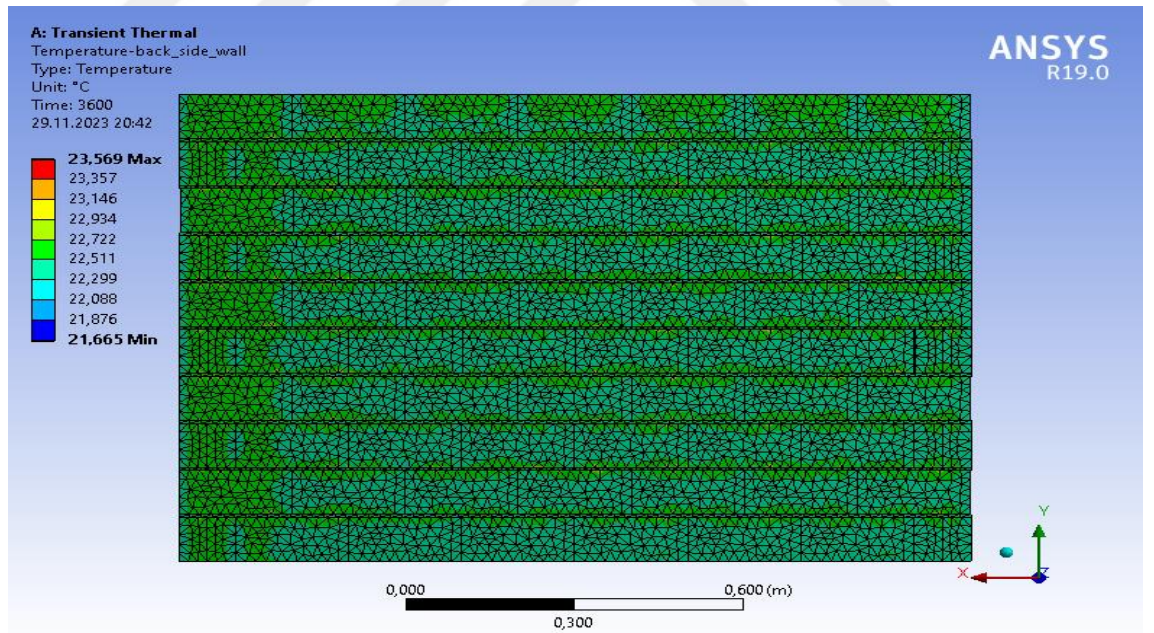
Şekil 4.28 incelendiğinde 0,02 m ile 0,08 m meşlenmiş modeller üzerinde yapılan analizde sıcaklık değerlerinde bariz bir farklılık ortaya çıkmamaktadır. Modeldeki sıcaklık geçişleri 0,02 m meşli analizde daha keskin görülmektedir.

Bu nedenle karşılaştırmaya esas kriterler değerlendirilirken 0,02 m meşli analizler kullanılacaktır. 0,01 m meşli analizler 0,02 m meşli analize göre yaklaşık 8-10 kat daha fazla süre almaktadır ve 0,01 m meş ile 0,02 m meş arasındaki sıcaklık farkları önemsenmeyecek kadar düşüktür. 0,02 m meşli analizlerin görüntü anlamında 0,05 ve 0,08 m meşli analizlere göre çok iyi ve 0,01 m meşli analizlerle de neredeyse aynı olmasından dolayı 0,02 m meş boyutu ideal boyut olarak belirlenmiştir.

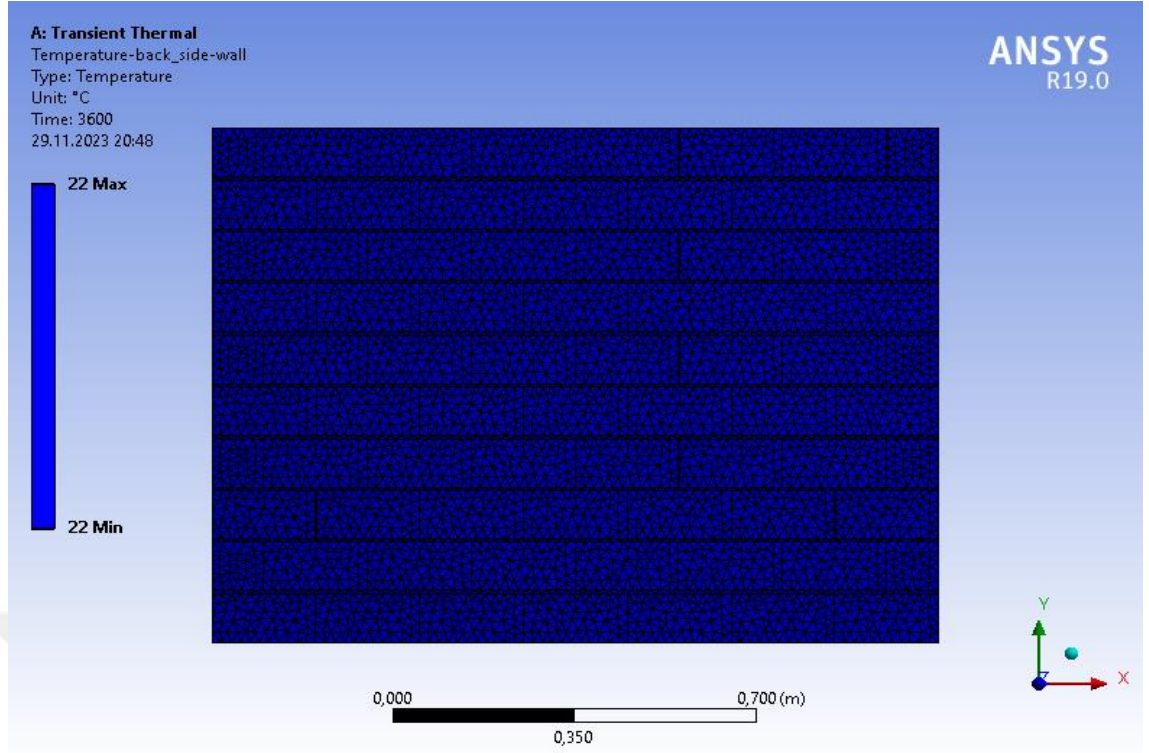
4.4.2. Duvar kalınlığının etkisi

Modelde 10 cm ve 25 cm kalınlığında iki farklı duvar ile çalışılmıştır. Duvar kalınlığının etkisi öncelikli olarak yangın almayan yüzeyde incelenmiştir.

Her iki kalınlıktaki duvar için ISO yangın eğrisinde 0,02 m meş değerinde ve 2 mm boyalı duvarlar karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Her iki duvara ait yangın almayan yüzeylerdeki analiz sonucu Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’de sunulmuştur.

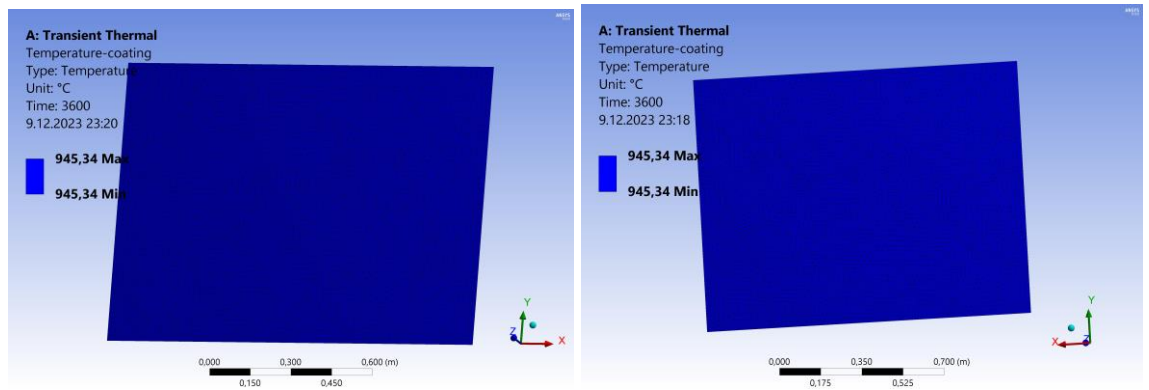


Şekil 4.29. 10 cm kalınlıklı duvar, ISO yangın eğrisi, 0,02 mesh, 2 mm boya



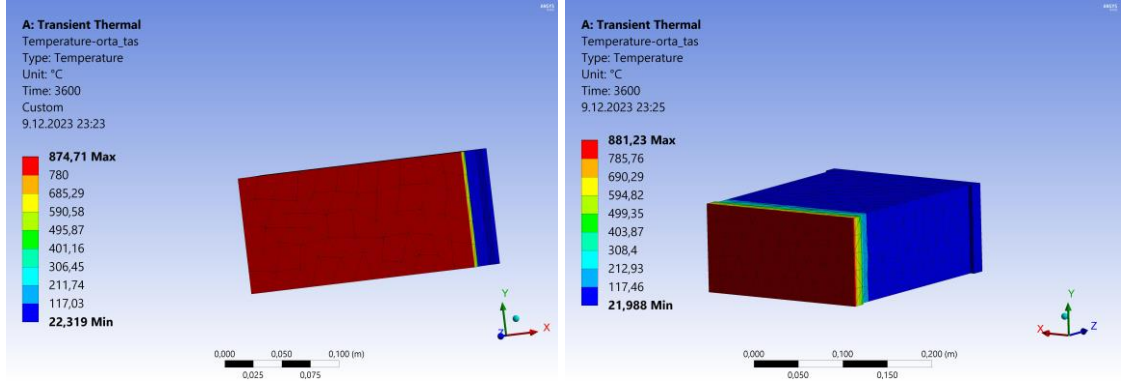
Şekil 4.30. 25 cm kalınlıklı duvar, ISO yangın eğrisi, 0,02 mesh, 2 mm boya

Şekil 4.29 ve Şekil 4.30 incelendiğinde yangın almayan duvardaki maksimum sıcaklık değerinde yaklaşık 1,5 derecelik fark vardır. Ayrıca 25 cm kalınlık duvarda sıcaklık dağılımı 10cm’lik duvara göre daha homojendir.



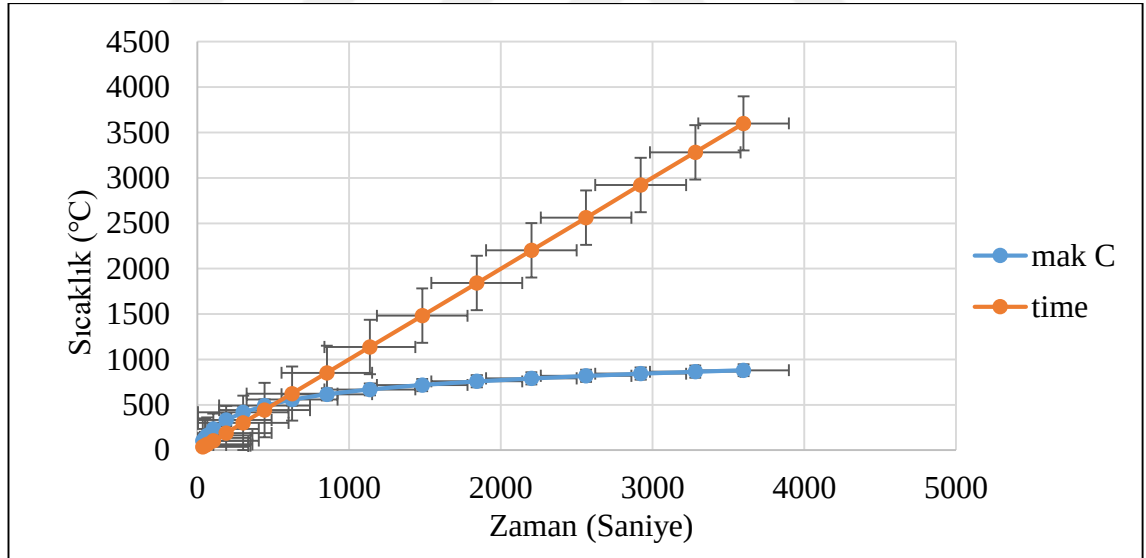
Şekil 4.31. 10 cm ve 25 cm kalınlıkta duvarların ISO yangın eğrisi ile koruma boyası analiz gösterimi.

Şekil 4.31 incelendiğinde duvar kalınlığının koruma boyası üzerindeki sıcaklık değerlerine herhangi bir şekilde etki etmediği görülmektedir. Yangın ile ilk temas eden yüzey olması nedeniyle koruduğu yapının ebatları koruma boyasının davranışında herhangi bir farklılığa yol açmamıştır.



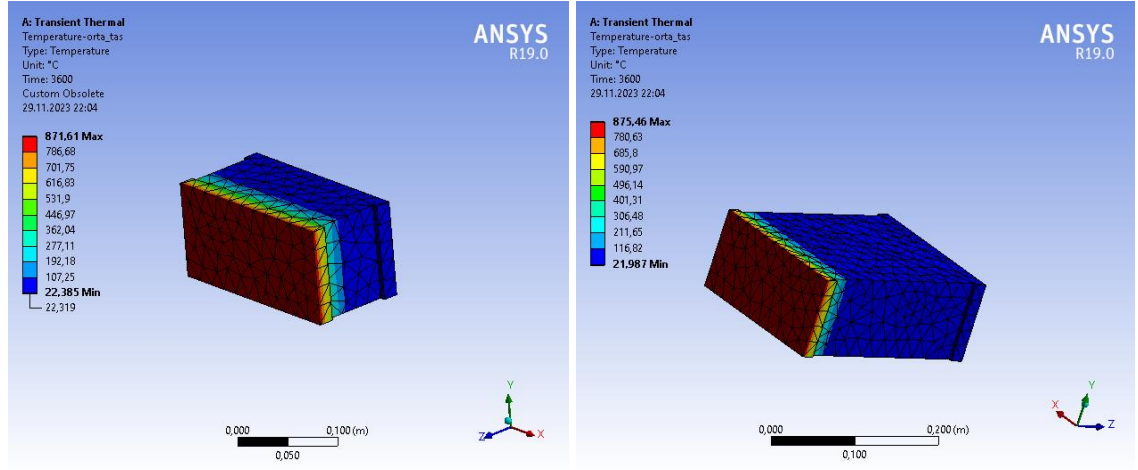
Şekil 4.32. 10 cm ve 25 cm kalınlıkta duvarların ISO yangın Eğrisi orta taş analiz gösterimi.

Şekil 4.32 incelendiğinde diğer tüm özellikleri aynı olan 10 cm ve 25 cm kalınlık iki duvardan duvar ortasında bulunan “orta taş” için 25 cm’lik duvarın yangın alan yüzeyinde daha fazla sıcaklık değeri olduğu görülmektedir. Yaklaşık 7 °C’lık bu fark 25 cm kalınlıkta duvarın yangına karşı daha fazla süre mukavemet göstermesi ile açıklanabilir.



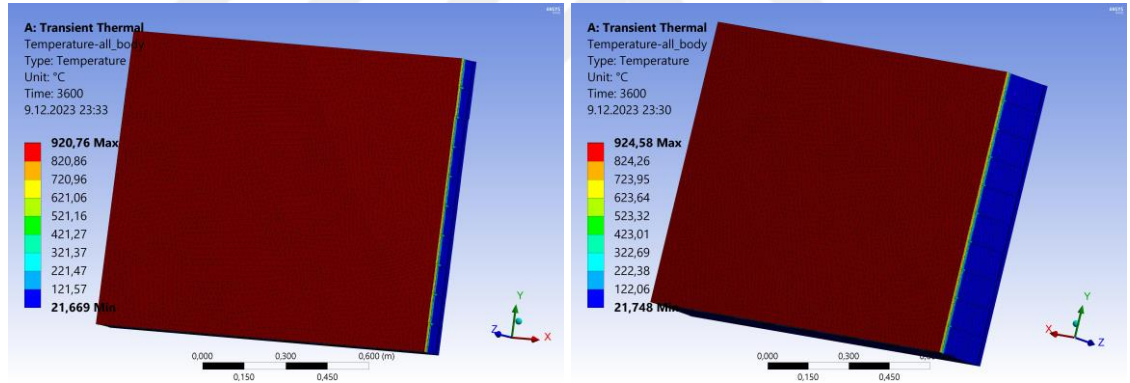
Şekil 4.33. 10 cm ve 25 cm duvar ISO yangın eğrisi ile orta taş sıcaklık değerleri farkı

Her iki duvarın da orta taş sıcaklık değişiminin seyrini ve bu seyirdeki değerlerin farkını gösteren Şekil 4.33 aslında yangın eğrisinde belirgin bir fark olmadığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.34. 10 cm ve 25 cm kalınlıklı duvarlar FAST yangın eğrisi 2 mm boyalı orta taş analiz gösterimi.

Şekil 4.34 incelendiğinde benzer durumun Fast yangın eğrisinde de devam ettiği görülmektedir. 25 cm kalınlıklı duvarda orta taş analiz edilirken yine daha yüksek maksimum sıcaklık değeri ile karşılaşmaktadır.

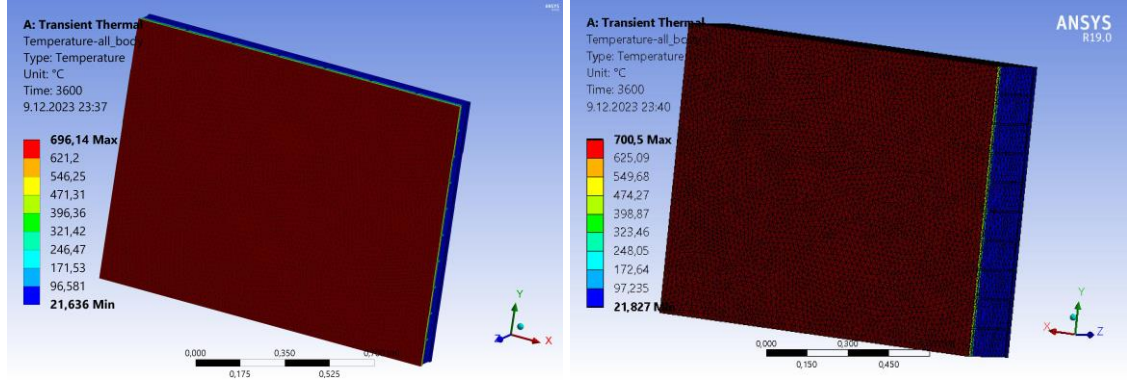


Şekil 4.35. 10 cm ve 25 cm kalınlıklı duvarlar, FAST yangın eğrisi, 2 mm boyalı tüm duvar analiz gösterimi.

Şekil 4.34'deki durumun Şekil 4.35'de gösterilen tüm duvar analizinde de devam ettiği anlaşılmaktadır. Yangın eğrisi değişse de kalın olan duvardaki yangın alan yüzeyin maksimum sıcaklığı görece daha ince olan duvardan fazladır.

Yangın alan yüzey ile orta taşın maksimum sıcaklığını karşılaştırarak koruyucu boyanın azalttığı yangın etkisi hakkında fikir sahibi olunabilir. Bu değerler karşılaştırıldığında koruyucu boyanın her iki duvarda da yaklaşık 49 °C'lik bir yangın

etkisini azalttığı ve asıl yapıda ulaşılan maksimum sıcaklığı bu kadar azalttığı anlaşılmaktadır.

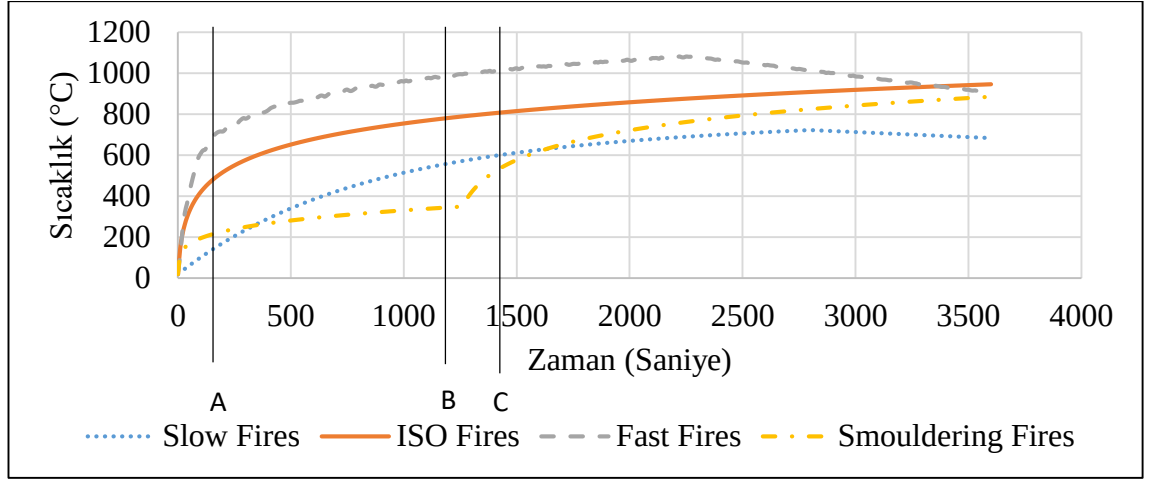


Şekil 4.36. 10 cm ve 25 cm kalınlıklı duvarlar, SLOW yangın eğrisi, 2 mm boyalı tüm duvar analiz gösterimi.

Benzer durum Slow yangın eğrisinde de devam etmektedir. Şekil 4.36'te sunulan analiz sonuçlarına göre kalın olan duvardaki maksimum sıcaklık değerleri yine benzer şekilde 4-5 °C arasında fazladır. Aynı sonuçlar orta taştan elde edilen sonuçlar için de geçerlidir. Koruyucu tabakanın yangından korumaya katkısı Slow yangın eğrisinde artarak her iki duvarda da 55°C'lere çıkmaktadır.

Aynı durum Smouldering yangın eğrisinde de değişmemektedir. Kalın olan duvar daha yüksek sıcaklık değerlerine sahiptir ancak önemli bir farklılık vardır. Smouldering eğrisine sahip yangınlarda koruyucu boyanın etkisi her iki duvarda da yaklaşık olarak 97 °C'dir. Bu durumu açıklamak için Şekil 4.16'daki Smouldering yangın eğrisi incelenmelidir.

Şekil 4.37 incelendiğinde yangın sıcaklığının yaklaşık 22 dakika çok düşük seyrinde devam ettiği sonrasında ise ani bir yükseliş gösterdiği anlaşılmaktadır. Sıcaklığın yükselmeye başladığı ana kadar diğer yangın eğrileri ile karşılaştırıldığında Smouldering yangın eğrisinin oldukça düşük seyrinde devam ettiği anlaşılmaktadır.

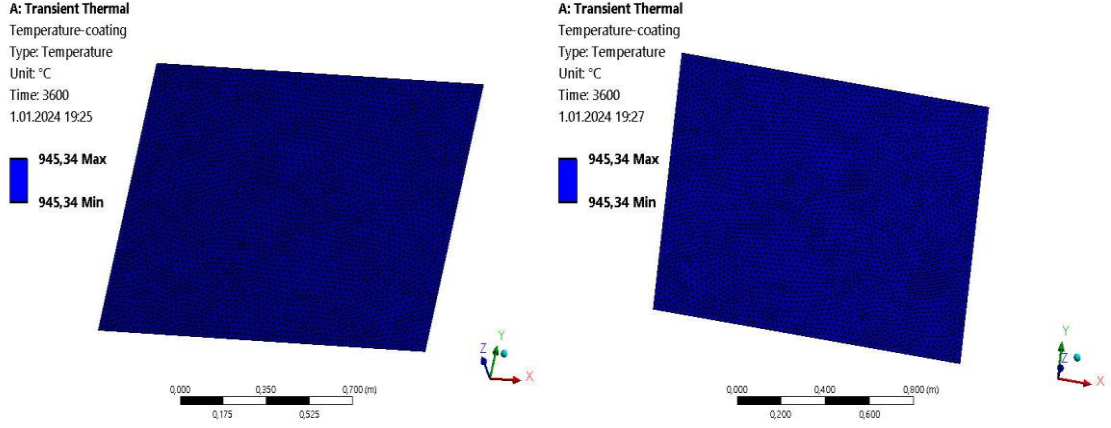


Şekil 4.37. Yangın eğrileri karşılaştırması

Şekil 4.37’de bulunan A ve B noktaları arasındaki yaklaşık 17 dakikalık sürede en düşük sıcaklık değeri Smouldering yangın eğrisindedir. Bu arada geçen süreç boyunca koruyucu boya tabakası daha fazla dayanım gösterebilmek için imkân kazanmaktadır. Süreç boyunca daha az sıcaklığa maruz kalan tabaka kendisinden beklenen performansı daha rahat sergileyebilmektedir. Smouldering yangın eğrisinde her ne kadar B noktasından sonra sıcaklık hızla artsa da C noktasının bulunduğu 25. dakikaya kadar Smouldering yangın eğrisi diğer yangın türlerine göre hep daha düşük sıcaklık değerine sahiptir.

4.4.3. Koruyucu boya tabakasının etkisi

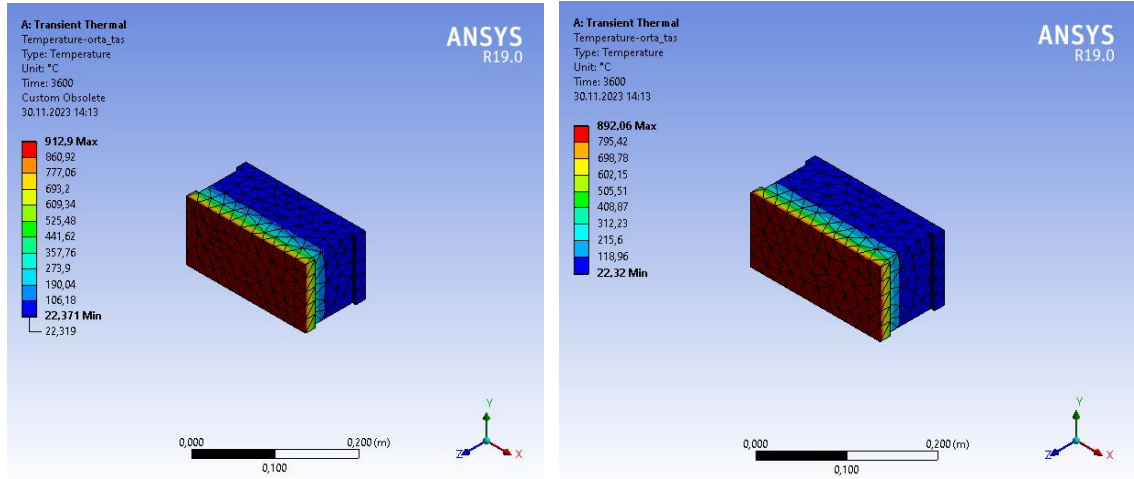
Koruyucu boyanın etkisi incelenirken sırasıyla; analiz sonucunda boyanın kendi sıcaklığına, boyanın altında kalan ilk katman olan yangın yüzeyi duvar sıcaklığına ve yangın olmayan yüzeydeki sıcaklıklara bakılarak fikir edinilebilir.



Şekil 4.38. 10 cm kalınlıklı ISO yangın eğrisine sahip 1 mm ve 1,5 mm boya kalınlıklı model duvar koruyucu tabaka analiz sonucu.

Şekil 4.38 incelendiğinde boya tabakasına ait analiz sonucundan elde edilen sıcaklık değerlerinde herhangi bir farklılık olmadığı görülmektedir. Koruyucu boya tabakasının ulaştığı sıcaklık değeri açısından yeteri kadar uzun süren bir yangında boya kalınlığının belirgin bir etkisi bulunmamaktadır.

Boya tabakasının asıl etkisinin görüldüğü boya altı ilk temas yüzeyi olan yangın tarafı duvar sıcaklığında ise gözle görülür bir farklılık ortaya çıkmaktadır.

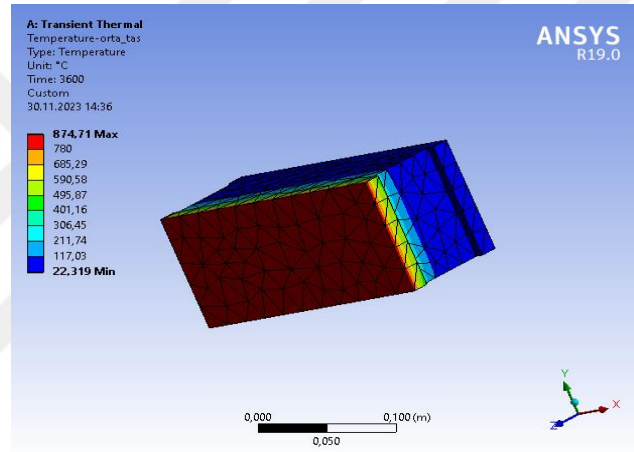


Şekil 4.39. 10 cm kalınlıklı ISO yangın eğrisine sahip 1 mm ve 1,5 mm boya kalınlıklı model duvar orta taş analiz sonucu.

Şekil 4.39’da diğer tüm özellikleri aynı olan yalnızca birinde 1 mm diğerinde ise 1,5 mm koruyucu boya tabakası bulunan 10 cm kalınlıklı duvarın ISO yangın eğrisi altında orta taş analiz sonucu sunulmuştur. İki durum arasında maksimum sıcaklık

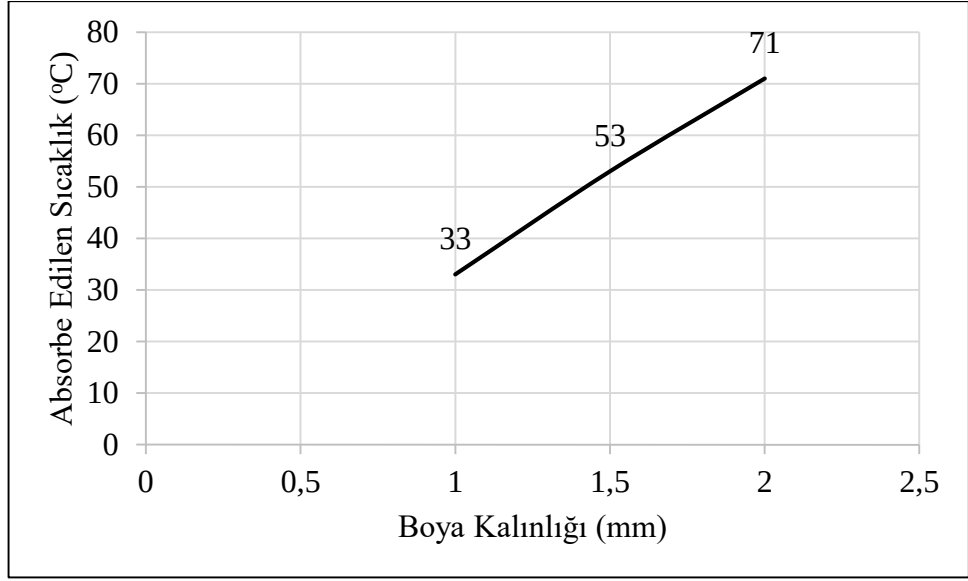
değerleri açısından 20 °C'lik bir sıcaklık değeri farkı mevcuttur. Bu fark koruyuculuk anlamında önemli bir değerdir. 1 mm koruyucu boya tabakası yangın yüzeyindeki maksimum sıcaklık değerine göre orta taş üstünde yaklaşık 33 °C'lik bir iyileşme sağlarken 1,5 mm'lik boya tabakası aynı durumda yaklaşık 54 °C'lik bir iyileşme sağlamıştır.

1,5 mm'lik koruyucu boya 1 mm'lik koruyucu boyaya karşı sıcaklığın etkisini yaklaşık 21 °C daha fazla absorbe edebilmiştir. Gerek boyanın 54 °C'ye varan koruyuculuk etkisi gerekse 0,5 mm'lik koruyucu tabaka farkının 21 °C'lik ekstra koruması yapıların korunabilmesi adına önemli değerlerdir.



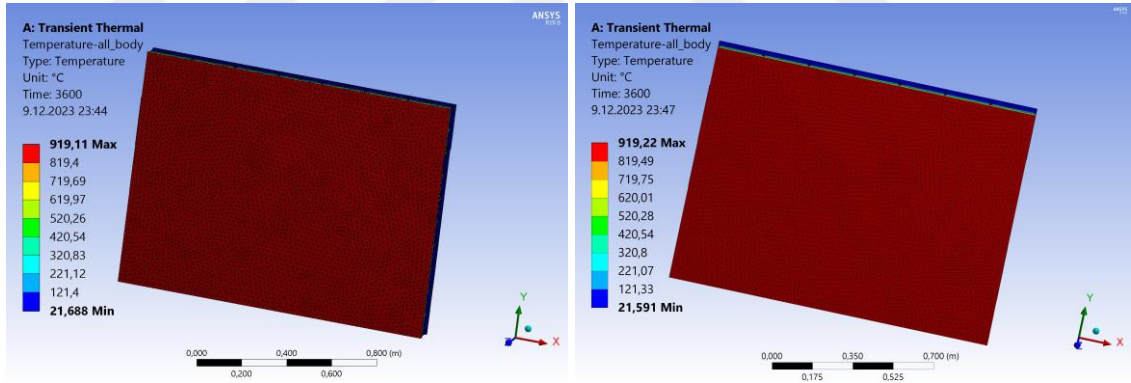
Şekil 4.40. 10 cm kalınlıklı ISO yangın eğrisine sahip 2 mm boya kalınlıklı model duvar orta taş analiz sonucu.

Şekil 4.40'da ise aynı duvarın 2 mm koruma boyalı halinin orta taş analiz sonucu bulunmaktadır. 2 mm koruma boyası da 1,5 mm koruma boyasına göre orta taş yüzeyinden alınan sıcaklık değerini 18 °C daha düşürmüştür. Duvar yüzeyinde hissedilen toplam sıcaklık değerini ise orta taş yüzeyinde yaklaşık 72 °C düşürmüştür. 2 mm koruma boyası 10 cm kalınlık bir yığma duvarda 1 saat süren bir yangın zarfında 72 °C'ye kadar bir sıcaklığı absorbe etmiştir.



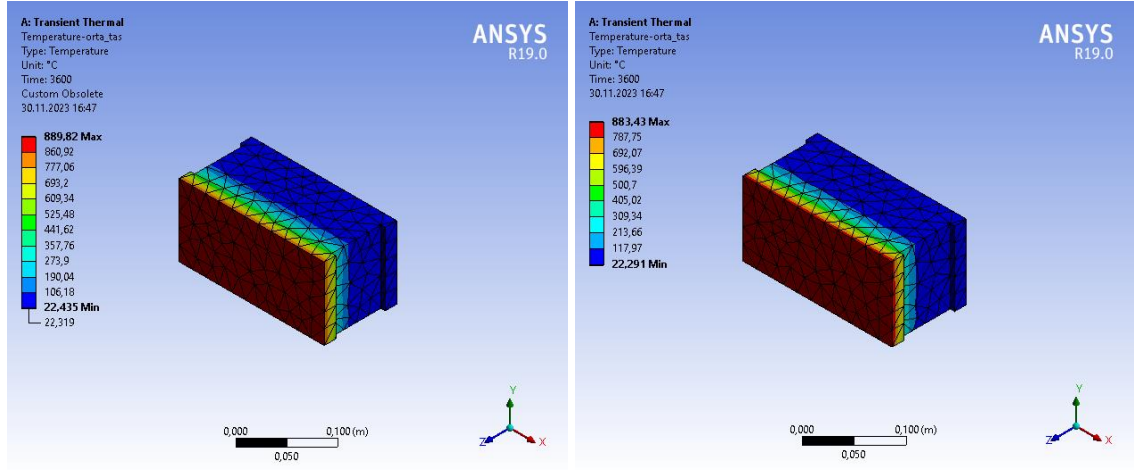
Şekil 4.41. İntumesan boyanın kalınlığının koruyuculuğa etkisi

Durum Fast yangın eğrisi altındaki Modellerde incelendiğinde boya kalınlığının yine boyada meydana gelecek maksimum sıcaklık açısından bir fark oluşturmadığı görülmüştür.



Şekil 4.42. 10 cm kalınlıklı Fast yangın eğrisi altındaki 1mm ve 1,5mm boyalı duvar analizi.

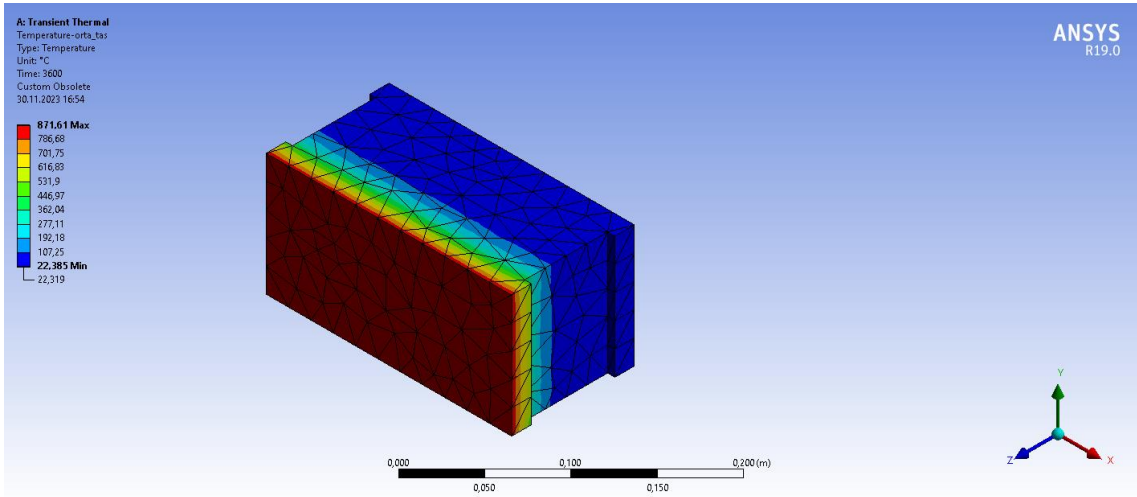
Şekil 4.42 incelendiğinde Fast yangın eğrisinde duvar gövdesinde meydana gelen sıcaklıklarda da gözle görülür bir fark oluşmamıştır. 0,1 °C fark önemsenmeyecek bir büyüklüktedir.



Şekil 4.43. 10 cm kalınlıklı Fast yangın eğrisi altındaki 1mm ve 1,5mm boyalı duvar orta taş analizi.

Şekil 4.43 incelendiğinde ise orta taş analizinde küçük te olsa bir fark ortaya çıkmaktadır. 1,5 mm kalınlıklı koruma boyası boya altı duvar yüzeyinde 1 mm kalınlıklı koruma boyasına nazaran 6 °C - 7 °C ekstra bir sıcaklığı tolere edebilmiştir.

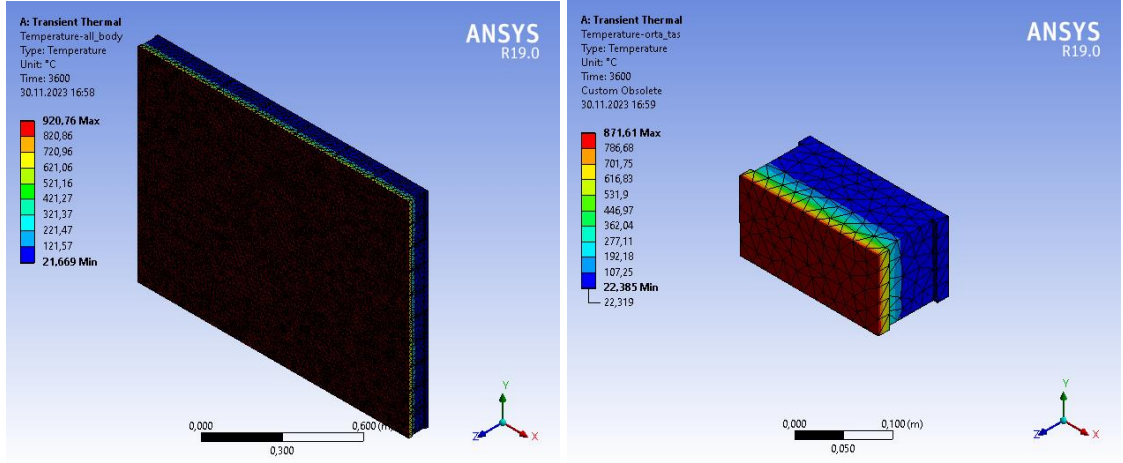
Aynı şartlar altında 2 mm koruma boyalı duvar incelendiğinde duvar yüzeyindeki sıcaklığın 1 °C farkla yine neredeyse 1 mm ve 1,5 mm boyalı duvar ile aynı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.44. 10 cm kalınlıklı Fast yangın eğrisi altındaki 2mm boyalı duvar orta taş analizi

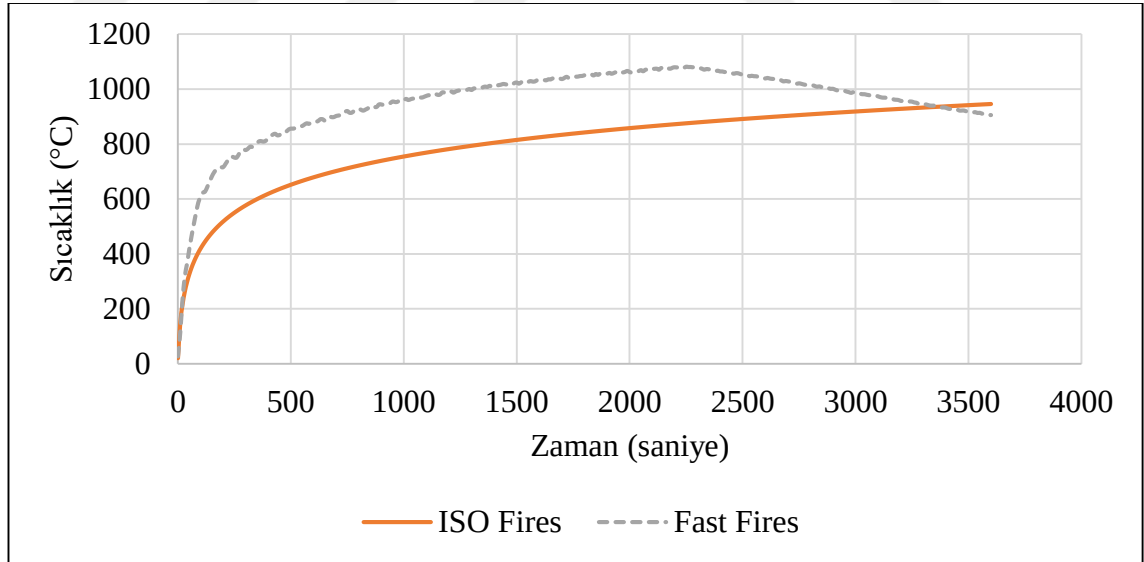
Şekil 4.44’de bulunan 2 mm koruma boyasına sahip aynı duvar incelendiğinde duvar yüzeyindeki benzerliğin aksine koruma boyasının altındaki yüzeyde bulunan sıcaklık değerinde 12 °C ekstra bir düşüş olduğu görülmüştür.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.45. 10 cm kalınlıklı Fast yangın eğrisi altında 2 mm koruma boyalı duvar gövde-orta taş analizi.

Fast yangın eğrisinde koruma boyasının en fazla absorbe edebildiği sıcaklık değeri 2 mm koruma boyası altında yaklaşık 49 °C'dir. Bu değer ISO yangın eğrisi altındaki yangında yaklaşık 88 °C idi. Aynı kalınlıktaki koruma boyasının etkisi, Fast yangın eğrisine sahip bir yangında ISO yangın eğrisine sahip bir yangına göre yaklaşık olarak %45 daha düşüktür.

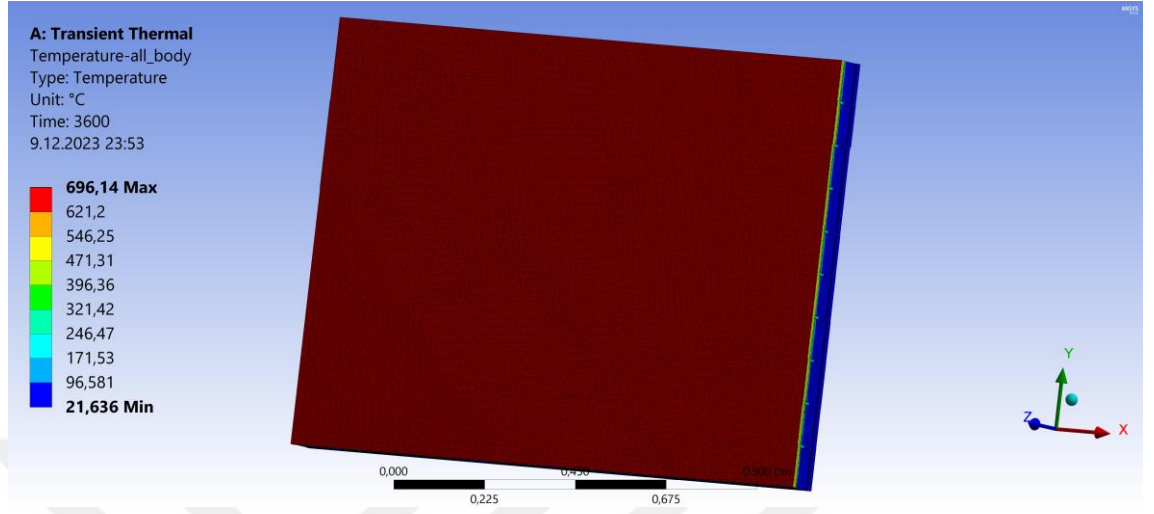


Şekil 4.46. ISO ve Fast yangın eğrileri karşılaştırması

Şekil 4.46 incelendiğinde koruma boyasının etkisindeki yüksek değişimin sebebi anlaşılmaktadır. Fast yangın eğrisi sürecin başından neredeyse sonuna kadar ISO yangınlarına göre daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmiştir. Bu durum koruma

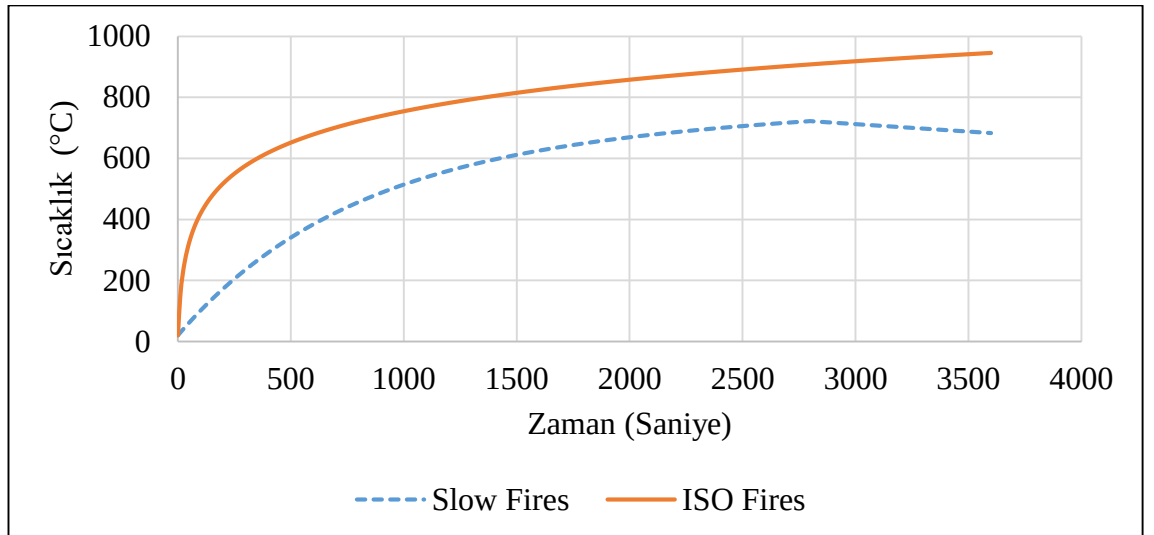
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

tabakasının daha erken ortadan kalkmasına ve etkisinin görece sınırlanmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.47. 10 cm kalınlıklı Slow yangın eğrisine sahip 2 mm koruma boyalı model duvar gövde analizi.

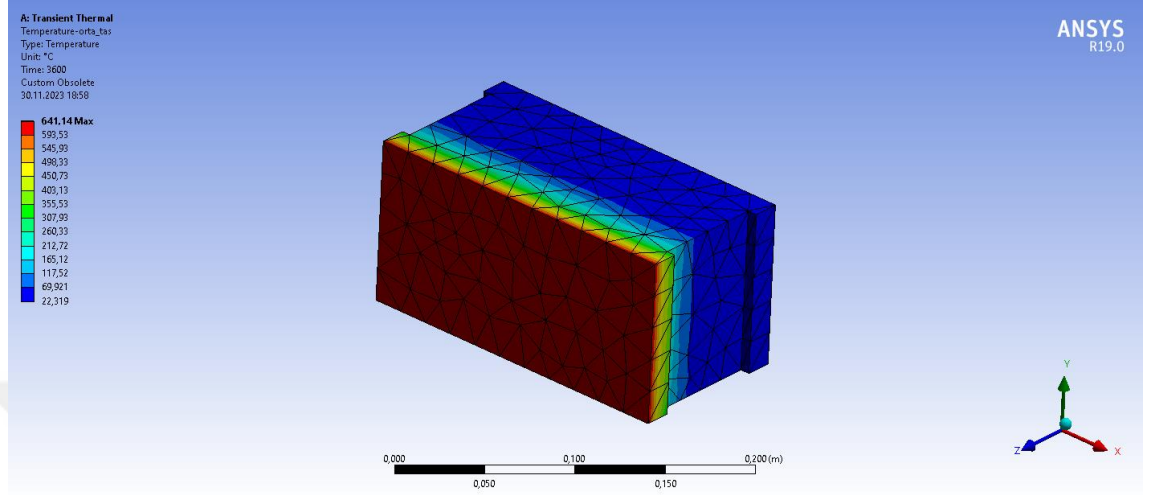
Şekil 4.47 aynı duvarın Slow yangın eğrisi altındaki analiz sonucunu göstermektedir. Şekilden de görüleceği üzere maksimum sıcaklık değeri hem ISO hem de Fast yangın türüne göre oldukça düşük kalmaktadır. Her iki yangın eğrisine göre Slow yangın eğrisinde ulaşılan maksimum sıcaklık yaklaşık olarak 225 °C daha düşüktür.



Şekil 4.48. ISO ve Slow yangın eğrilerinin karşılaştırması

Şekil 4.48'te sunulan ISO ve Slow yangın eğrileri bu durumu açıklamaktadır. Şekilde Slow yangınların ISO eğrisine sahip yangınlara nazaran sürekli düşük sıcaklıkta

seyrettiğini ve ulaşılabilir maksimum sıcaklıkları açısından önemli bir fark olduğunu göstermektedir. Yangınların doğal seyri incelendiğinde Slow yangında ortaya çıkan maksimum sıcaklıktaki bu düşüş beklenen bir durumdur.



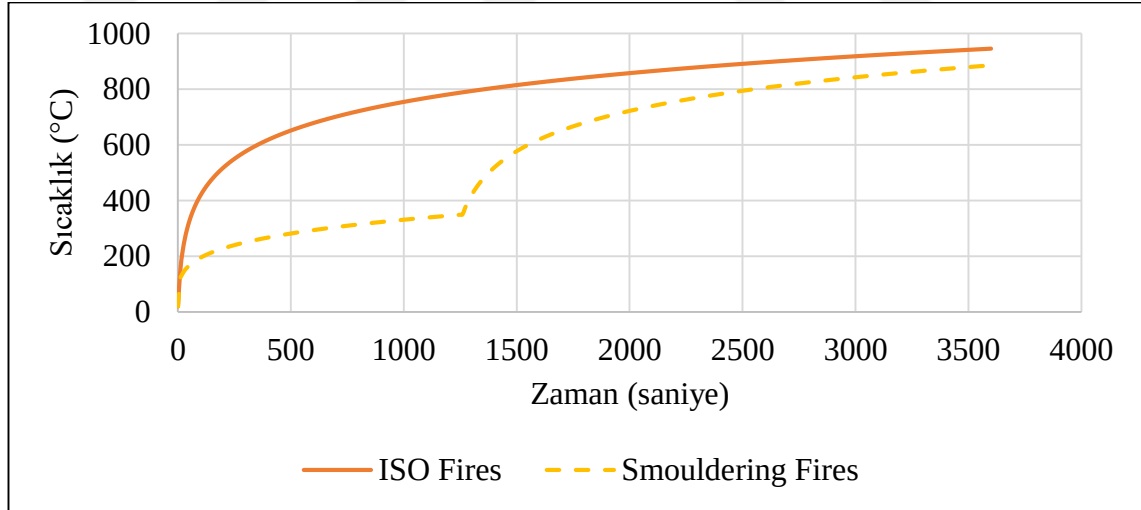
Şekil 4.49. 10 cm kalınlıklı Slow yangın eğrisine sahip 2 mm koruma boyalı model duvar orta taş analizi.

Şekil 4.49’da sunulan aynı duvarın orta taş analiz görüntüsüne göre boyanın etkisi 55 °C civarında kalmıştır. Aynı kalınlıktaki boyanın etkisi ISO yangınında 88 °C ve Fast yangınlarda ise 49 °C idi. Slow yangın eğrisine sahip aynı Model üzerindeki analizin sonucunda koruma tabakasının etkisi ISO yangınından düşük Fast yangından ise az bir miktar fazla çıkmıştır.

Slow yangında koruma tabakasının koruyucu etkisinin nominal olarak ISO yangınından düşük çıkması beklenen bir durumdur çünkü her iki yangında ulaşılabilen maksimum sıcaklıklar arasında ciddi bir fark vardır. Her iki eğride ulaşılabilen maksimum sıcaklıklar arasında yaklaşık 250 °C fark bulunmaktadır. Diğer taraftan oransal olarak bakıldığında koruma tabakası Slow yangında maksimum sıcaklığın %8’ini absorbe edebilirken bu oran ISO yangınında yaklaşık olarak %9’dur. Absorbe edilen toplam sıcaklık değeri açısından Slow yangında %45’lik bir azalma olsa da ulaşılan maksimum sıcaklık değerinin ne kadarının absorbe edildiğine bakıldığında oranlar birbirine çok yakındır.

Slow yangınlarda tüm duvar gövdesi dikkate alındığında boya kalınlığının maksimum sıcaklık açısından ciddi bir fark oluşturmadığı görülmüştür. 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm koruma boyaları arasında maksimum sıcaklık açısından en fazla 0,5 °C fark oluşmuştur. Bu durum yine yangın eğrisinin seyri ile açıklanabilir. Düşük hızdaki sıcaklık yükselişi ve görece ulaşılan düşük maksimum sıcaklık değeri koruyucu bir tabakanın kalınlığının etkisini anlamsızlaştırmıştır. Koruma boyası altındaki duvar yüzeyinde (orta taş) meydana gelen sıcaklık değerlerine bakıldığında ise koruma boyasının etkisi biraz daha görünür olmaktadır. 1 mm, 1,5 mm ve 2mm kalınlığında boyalar ile korunan duvarların orta taş sıcaklık değerleri sırasıyla 663 °C, 652 °C ve 641 °C'dir. Her 0,5 mm'lik tabaka artışında koruma boyasının altında bulunan yüzeyin sıcaklığı 11 °C azalmıştır.

Smouldering yangın eğrisine sahip yangınlarda ulaşılan duvar gövdesi sıcaklığında yine belirgin bir fark bulunmamaktadır ancak koruyucu boya tabakasının asıl etkisinin görüldüğü boya altı duvar yüzeyinde her 0,5 mm koruyucu tabaka artışından sonra yaklaşık 20 °C'lik sıcaklık düşüşü olmuştur.

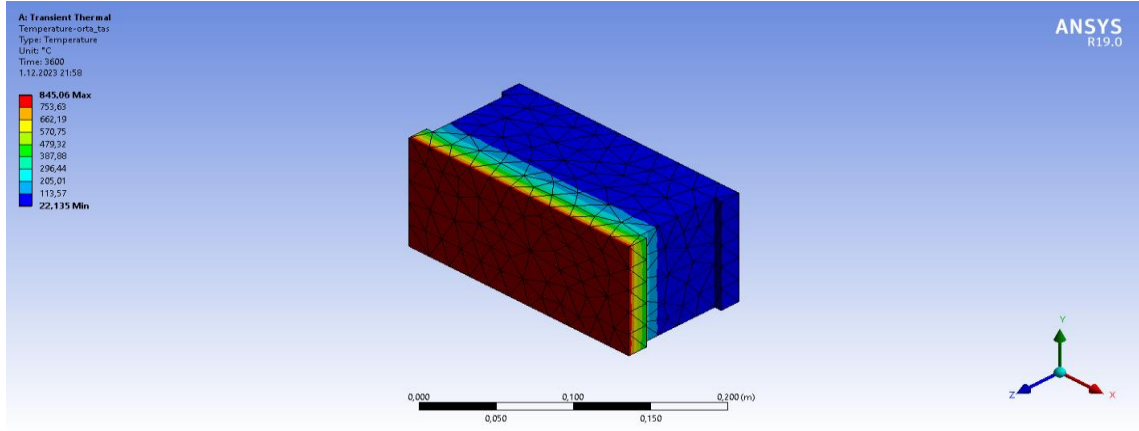


Şekil 4.50. Smouldering ve ISO yangın eğrilerinin karşılaştırılması

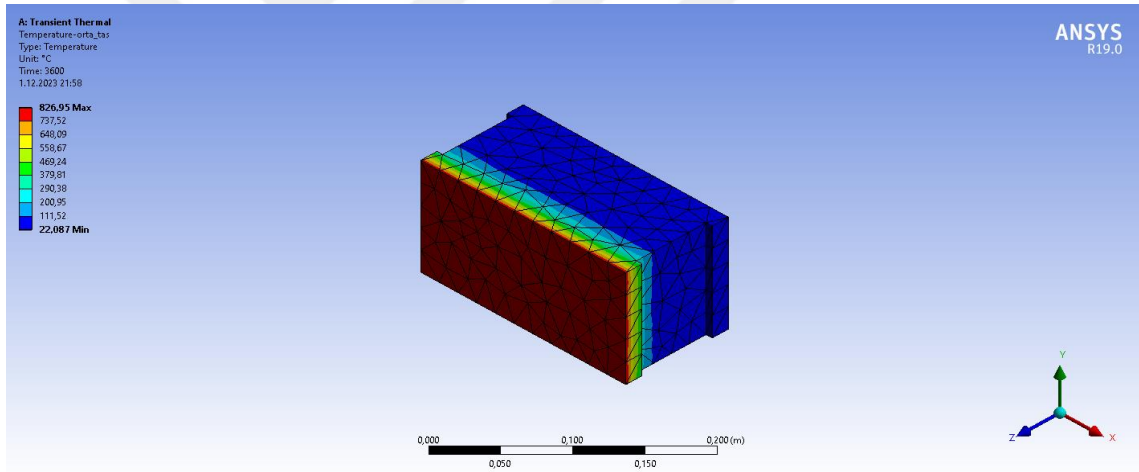
Şekil 4.50 incelendiğinde Smouldering yangın eğrisinin de yine ISO yangın eğrisine göre sürecin başından sonuna kadar düşük hızda ve düşük sıcaklıklarda seyrettiği görülmektedir. Bu koruyuculuk etkisi ISO yangın eğrisinde 90 °C'lere kadar yükselmekteydi. Smouldering yangınlarda özellikle ilk 25 dakikalık süreç içten yanma

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

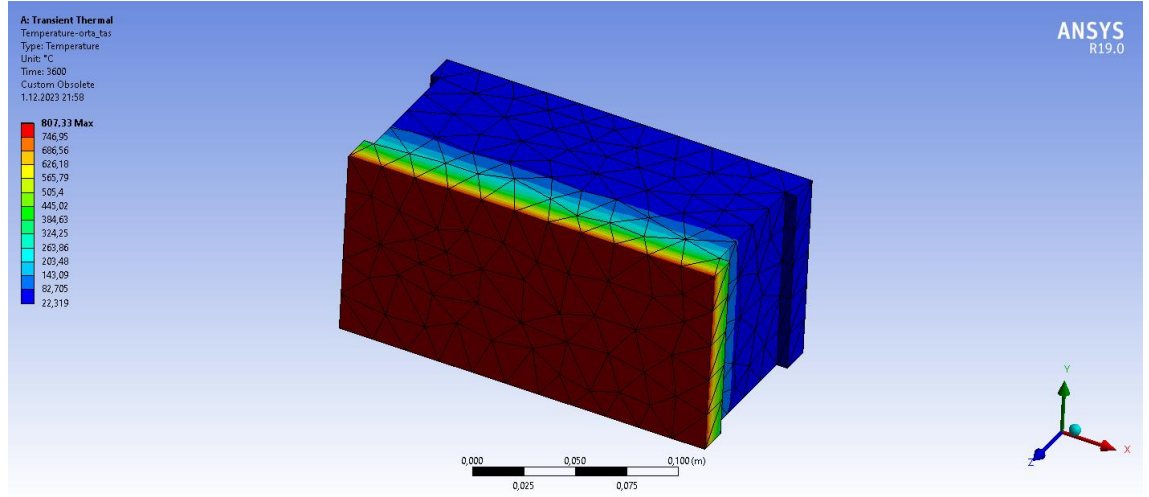
şeklinde gerçekleştiği için sıcaklık değerleri Slow yangınların dahi oldukça altında seyretmektedir.



Şekil 4.51. 10 cm kalınlıklı Smouldering yangın eğrili 1mm koruma boyalı duvar orta taş analizi.

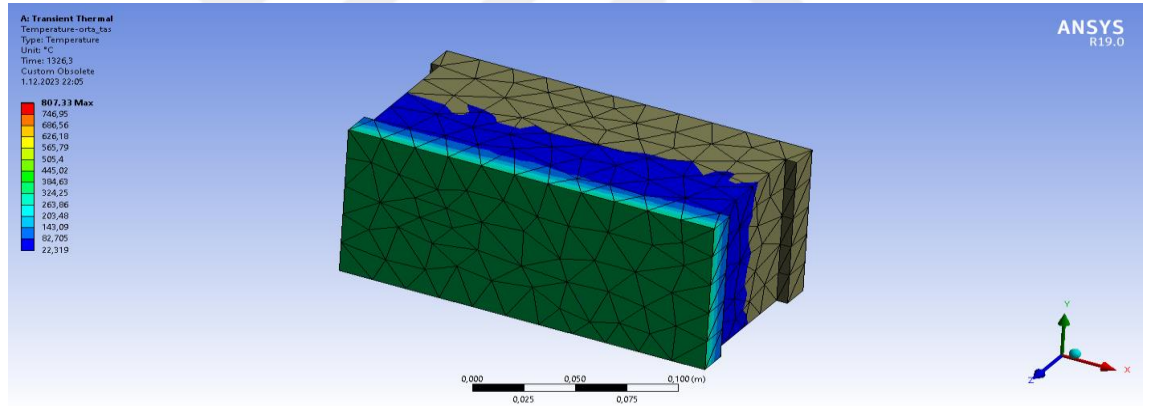


Şekil 4.52. 10 cm kalınlıklı Smouldering yangın eğrili 1,5 mm koruma boyalı duvar orta taş analizi.



Şekil 4.53. 10 cm kalınlıklı Smouldering yangın eğrili 2 mm koruma boyalı duvar orta taş analizi

Şekiller 4.51 – 4.52 – 4.53 incelendiğinde boya altı duvar yüzeyindeki sıcaklık değeri 845 °C’lerden 807 °C’lere kadar düşmüştür.

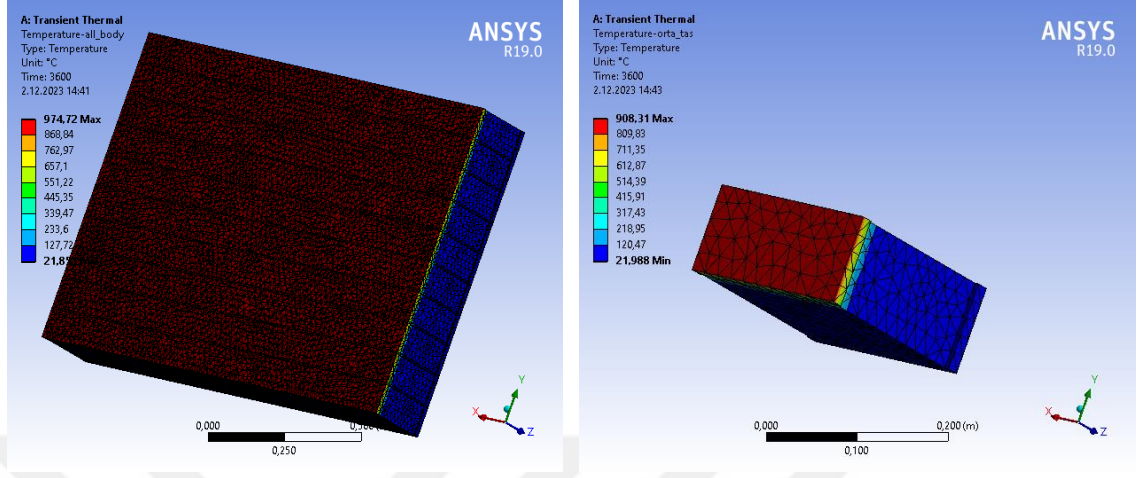


Şekil 4.54. 10 cm kalınlıklı Smouldering yangın eğrili 2mm koruma boyalı duvar orta taş 1.325. saniye analizi.

Şekil 4.54’de orta taş üzerindeki sıcaklığın Smouldering yangınlardaki sıcaklık patlamasının yaşandığı ana kadar olan ANSYS ekran görüntüsü bulunmaktadır. Görüleceği üzere bu aşamaya kadar duvar yüzeyinde ciddi bir sıcaklık artışı yaşanmamış ve en sıcak bölge 300 °C’lerde kalmıştır. Smouldering yangınların yapısı gereği ilk dakikalar yangın müdahalesi için oldukça önemlidir. Yapıların ciddi hasar almadan korunmaya devam edebilmesi için Smouldering yangın olasılığının yüksek olduğu yapılarda özellikle ilk dakikalarda koruma hususunda destekleyici tedbirler de alınabilir.

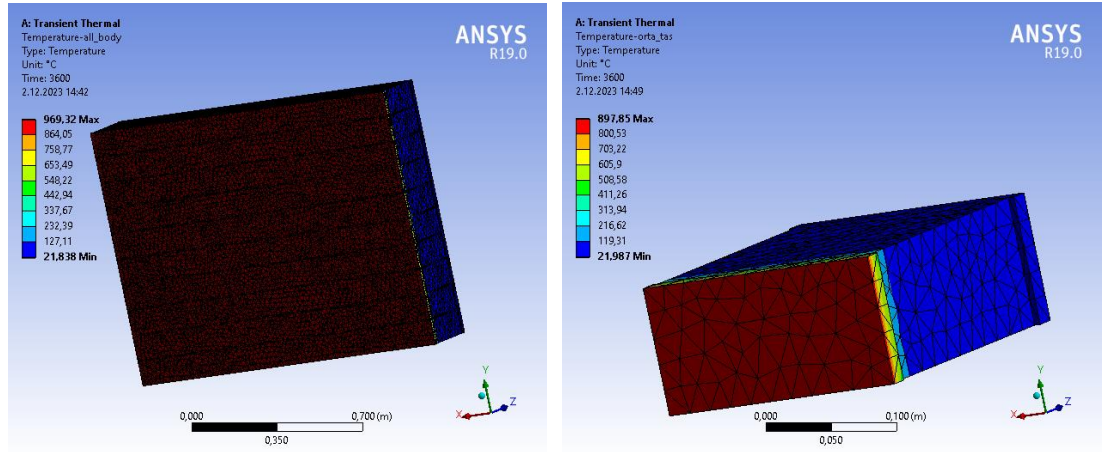
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Koruyucu boya tabakasının etkisinin daha kalın bir duvardaki etkisini görmek amacı ile aynı analizler 25 cm kalınlıklı model duvar üzerinde yapılmıştır.



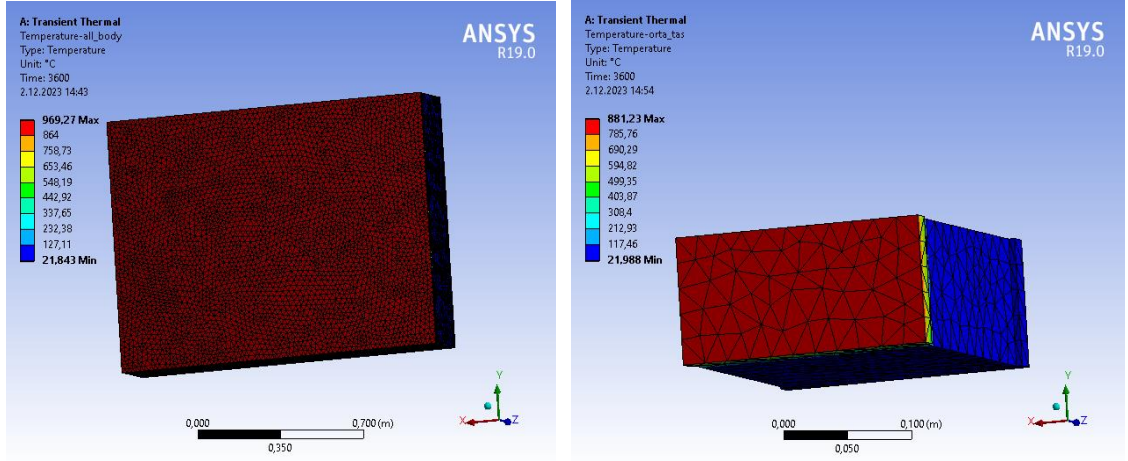
Şekil 4.55. 25 cm kalınlıklı ISO yangın eğrili 1 mm koruma boyalı duvar analizi

Şekil 4.55’de sunulduğu gibi koruyucu boya tabaka boya altı duvar yüzeyindeki sıcaklık değerinin yaklaşık olarak 66 °C düşürülmesine katkı sağlamıştır. Aynı değer 10 cm kalınlıklı duvarda 49 °C idi.



Şekil 4.56. 25 cm kalınlıklı ISO yangın eğrili 1,5 mm koruma boyalı duvar analizi

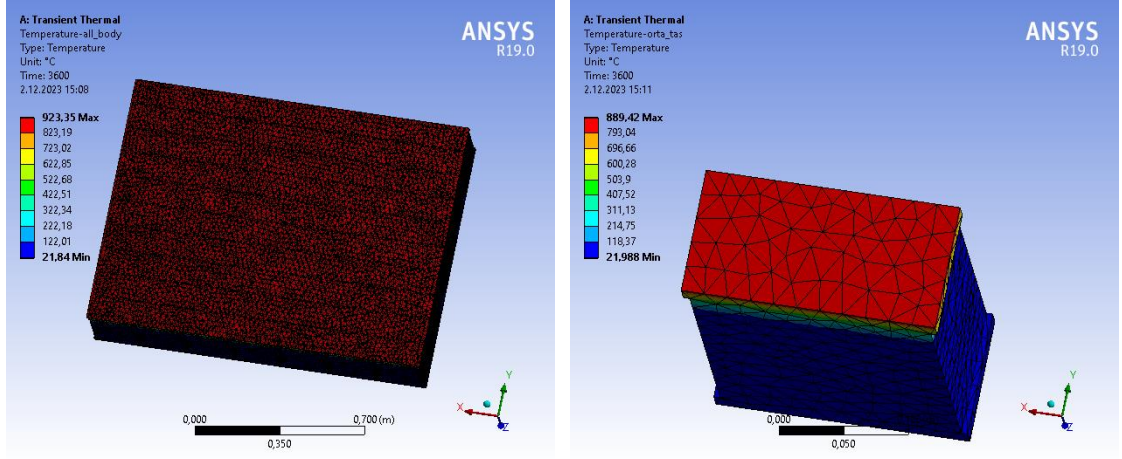
Şekil 4.56’de ise 25 cm kalınlıklı duvarın 1,5 mm koruma boyası ile korunmuş hali sunulmaktadır. Burada da boyanın koruma etkisi yaklaşık olarak 72 °C’dir. Bu değer aynı şartlar altındaki 10 cm kalınlıklı duvarda 71 °C idi.



Şekil 4.57. 25 cm kalınlıklı ISO yangın eğrili 2 mm koruma boyalı duvar analizi

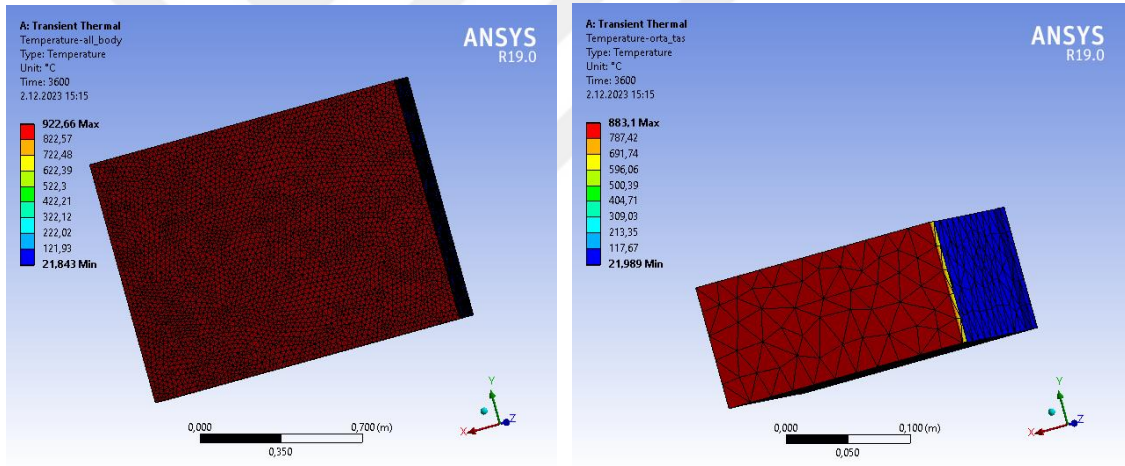
Şekil 4.57’de ise 25 cm kalınlıklı duvarın 2 mm koruma boyalı hali sunulmaktadır. Burada da koruma boyasının sıcaklık üzerinde iyileştirici etkisi yaklaşık olarak 88 °C’dir. Bu değer 10 cm kalınlığa sahip eş değer duvarda yaklaşık olarak yine 88 °C idi. Bu sonuçlardan anlaşılabileceği üzere koruma boyasının etkisi yine önemli seviyelerdedir. Kalınlık değişse dahi koruma boyasının etkisi yine kalınlığı arttıkça artarak devam etmektedir. Duvar kalınlığı arttıkça koruma boyasının etkisi artan kalınlığına rağmen pek değişkenlik göstermemiştir. 1 mm koruma boyası ile korunan duvarlarda duvar kalınlığının artması koruma boyasının etkisini yaklaşık olarak 17 °C artırmıştır ancak ondan sonraki değerlerde koruma boyasının kalınlığının artması neredeyse ekstra hiçbir koruma sağlamamıştır. Bu durum duvar gövdesi sıcaklığında da benzer şekilde analiz edilmiştir. Şekil 4.55, Şekil 4.56 ve Şekil 4.57 incelendiğinde koruma boyasının artması halinde 1 mm’lik korumadan 1,5 mm’lik korumaya geçilirken duvar gövdesi sıcaklığında yaklaşık 5 °C’lik bir düşüş gerçekleşmiş ancak ondan sonra bu değer de 2 mm koruma boyasında neredeyse aynı kalmıştır.

25 cm kalınlığa sahip duvarın Fast yangın eğrisi altındaki değerleri aşağıda sunulmuştur.



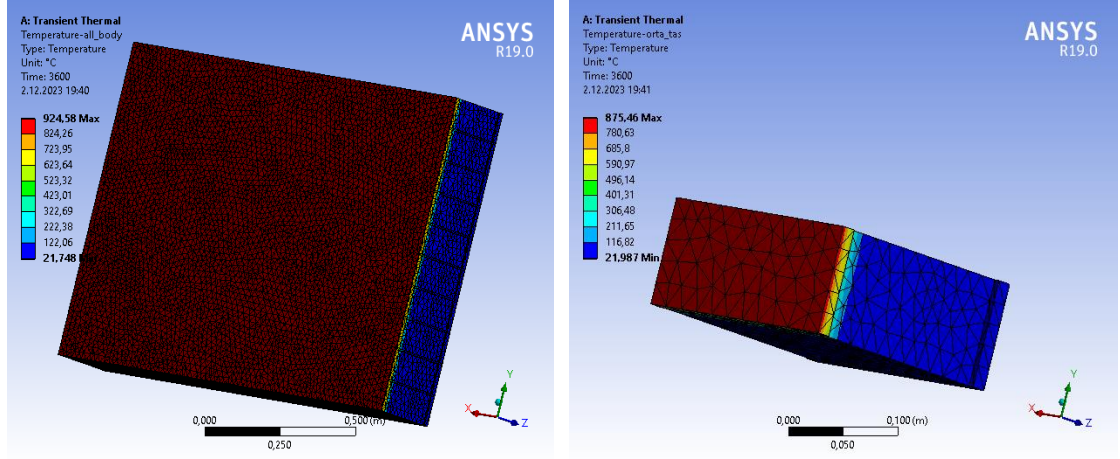
Şekil 4.58. 25 cm kalınlıklı Fast yangın eğrili 1 mm koruma boyalı duvar analizi

Şekil 4.58’de koruma boyasının duvar sıcaklığında 34 °C’lik bir iyileşme sağladığı görülmüştür. Bu değer eşdeğer duvarda ISO yangın eğrisi altında 66 °C idi.



Şekil 4.59. 25 cm kalınlıklı Fast yangın eğrili 1,5 mm koruma boyalı duvar analizi

Koruma boyası kalınlığı 1,5 mm olduğunda ise sağlanan fayda 30 °C’dir. Bu değer ISO yangın eğrisi altında 72 °C’dir. Yine aynı değer 10 cm kalınlıklı duvarda ise 36 °C’dir. Fast yangınlarda koruma boyasının etkisinin ISO yangınlarına görece daha düşük olduğu öndeki analiz çıktılarında görülmüştür.



Şekil 4.60. 25 cm kalınlıklı Fast yangın eğrili 2 mm koruma boyalı duvar analizi

Koruma boyasının etkisi 25 cm kalınlık duvarda boya kalınlığı 2 mm olduğunda ise yaklaşık olarak 49 °C'dir. Bu değer ISO yangın eğrisine sahip durumda 88 °C idi. Fast yangın altında 25 cm kalınlığa sahip model duvarda boya kalınlığının etkisi değişken bir etki göstermiştir. 1 mm koruma boyasından 1,5 mm koruma boyasına geçişte görece çok büyük değişiklik olmasa da 2 mm koruma boyası altında azaltılan sıcaklık etkisi yaklaşık 15 °C artış göstermiştir. Bu durum Fast yangınlarda koruma boyasının dayanım süresinin kısaldığını bu nedenle daha kalın atılmış bir boyanın etkisinin ciddi manada artış gösterebileceği şeklinde açıklanabilir.

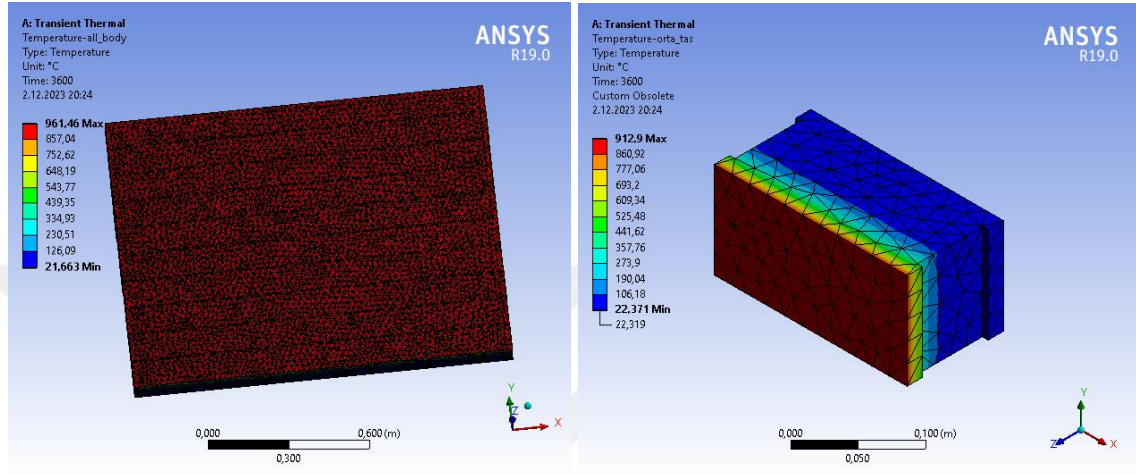
Slow yangınlar incelendiğinde öncelikle dikkat çeken husus tüm duvar gövdesi analizinde ulaşılan maksimum sıcaklık anlamında her üç boya katmanında da ciddi bir fark bulunmadığıdır. 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm lik koruma boyası altında ulaşılan maksimum sıcaklıkta toplam fark 2 °C'yi geçmemektedir. Koruma boyasının etkisi ise her üç kalınlıktaki koruma boyasında sırası 40 °C, 44 °C ve 46 °C kadardır.

Bu değerler görece hem 10 cm kalınlığındaki duvara göre hem de eşdeğer duvardaki ISO yangınlarına göre düşüktür.

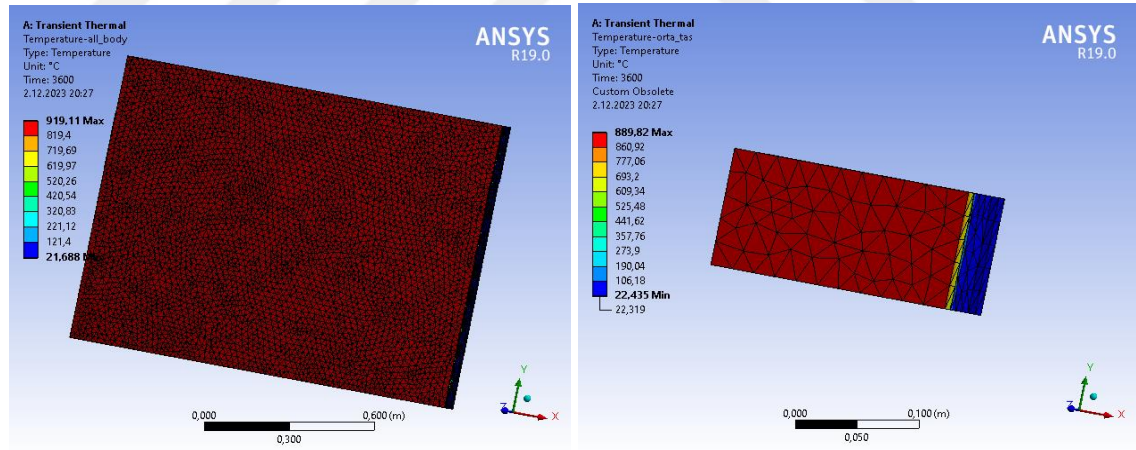
Smouldering yangınlarda ise durum her koruma boyası kalınlığında azaltılan sıcaklık değerinin sırasıyla 74 °C, 79 °C ve 97 °C şeklindedir.

4.4.4. Yangın eğrilerinin etkisi

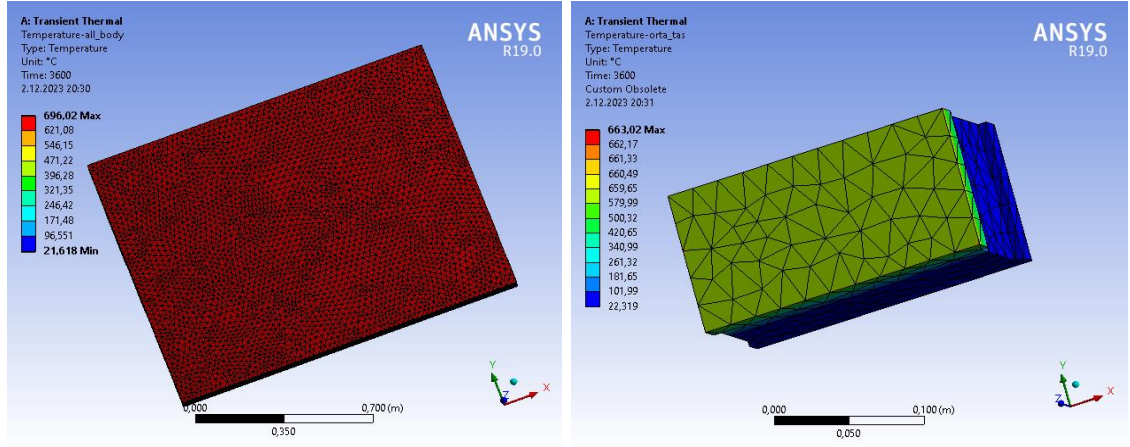
Çalışmanın bu kısmında her türlü model analizi sadece yangın eğrisi değişkeni değiştirilerek karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar yine çalışmanın başında da açıklandığı gibi 0,02 m meş değerleri üzerinden yapılmıştır.



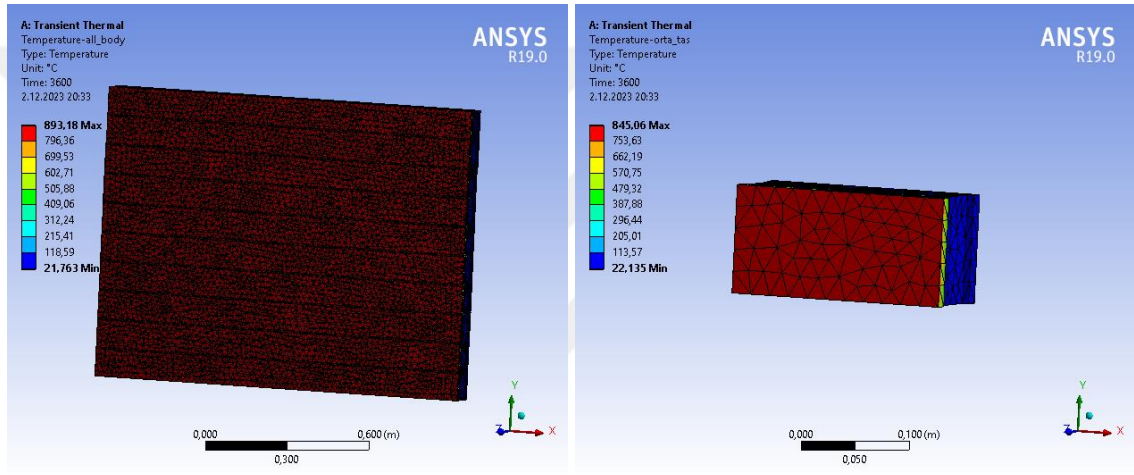
Şekil 4.61. 10 cm kalınlıklı ISO yangın eğrili 1mm koruma boyalı duvar analizi



Şekil 4.62. 10 cm kalınlıklı FAST yangın eğrili 1mm koruma boyalı duvar analizi



Şekil 4.63. 10 cm kalınlıklı SLOW yangın eğrili 1mm koruma boyalı duvar analizi



Şekil 4.64. 10 cm kalınlıklı SMOULDERİNG yangın eğrili 1mm koruma boyalı duvar analizi.

Şekiller 4.61 – 4.62 – 4.63 – 4.64 incelendiğinde 1mm koruma boyasının etkisi sırasıyla;

- ISO yangınlarda 49 °C,
- Fast yangınlarda 30 °C,
- Slow yangınlarda 33 °C ve son olarak
- Smouldering yangınlarda 48 °C’dir.

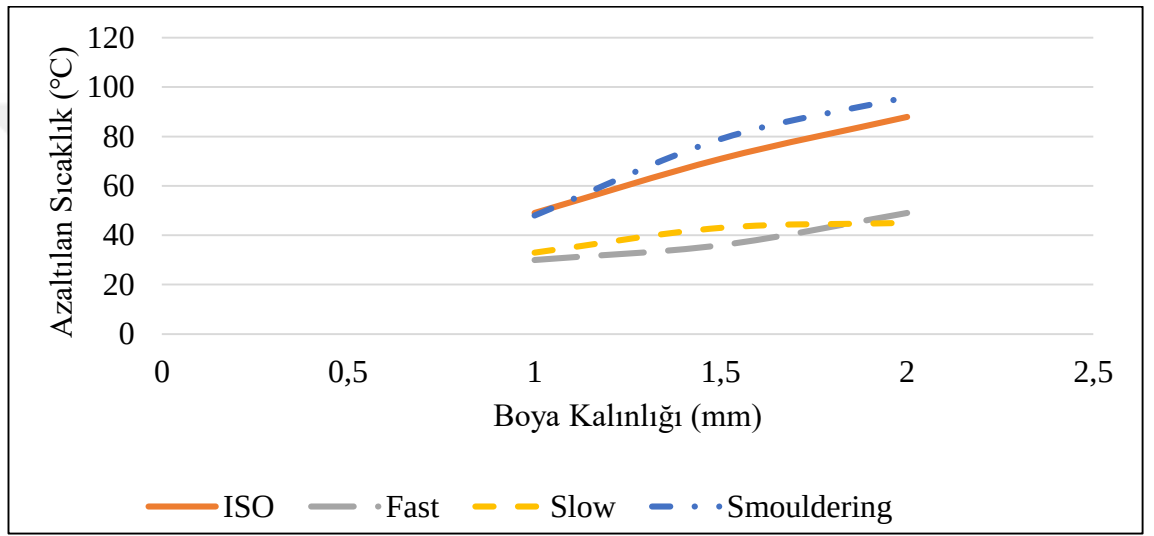
Aynı değerler 1,5 mm koruma boyası altında yine sırasıyla;

- ISO yangınlarda 71 °C,
- Fast yangınlarda 36 °C,
- Slow yangınlarda 43 °C ve son olarak
- Smouldering yangınlarda 79 °C’dir.

Karşılaştırmalar 2 mm koruma boyası altında yapıldığında ise sırasıyla;

- ISO yangınlarda 88 °C,
- Fast yangınlarda 49 °C,
- Slow yangınlarda 45 °C ve son olarak
- Smouldering yangınlarda 96 °C'dir.

Bu değerlerin grafikler vasıtasıyla görselleştirilmiş hali Şekil 4.62'de sunulmuştur. Bu görseller yangın eğrilerinin karşılaştırmaları için kullanılmıştır.



Şekil 4.65. Yangın eğrileri 10 cm duvar koruma boyası etki karşılaştırması

Şekil 4.65'den anlaşılabileceği üzere koruma boyası etkisinin eğimi en yüksek olan yangın türü Smouldering yangınlardır. Smouldering yangınları sırasıyla ISO yangınları, Fast yangınlar ve Slow yangınlar izlemektedir. Slow ve Fast yangınlar görece düşük koruma değerlerinden başlayıp yine düşük koruma değerleri ile süreci tamamlamaktadır. ISO ve Smouldering yangın eğrilerinde ise korumanın etkisi yüksek değerlerden başlayıp yine yüksek değerlerde sonlanmaktadır.

Durum 25 cm kalınlıklı duvar için incelendiğinde ise ortaya çıkan değerler aşağıda sunulmuştur:

1 mm koruma boyasının etkisi sırasıyla;

- ISO yangınlarda 66 °C,

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

- Fast yangınlarda 34 °C,
- Slow yangınlarda 40 °C ve son olarak
- Smouldering yangınlarda 74 °C'dir.

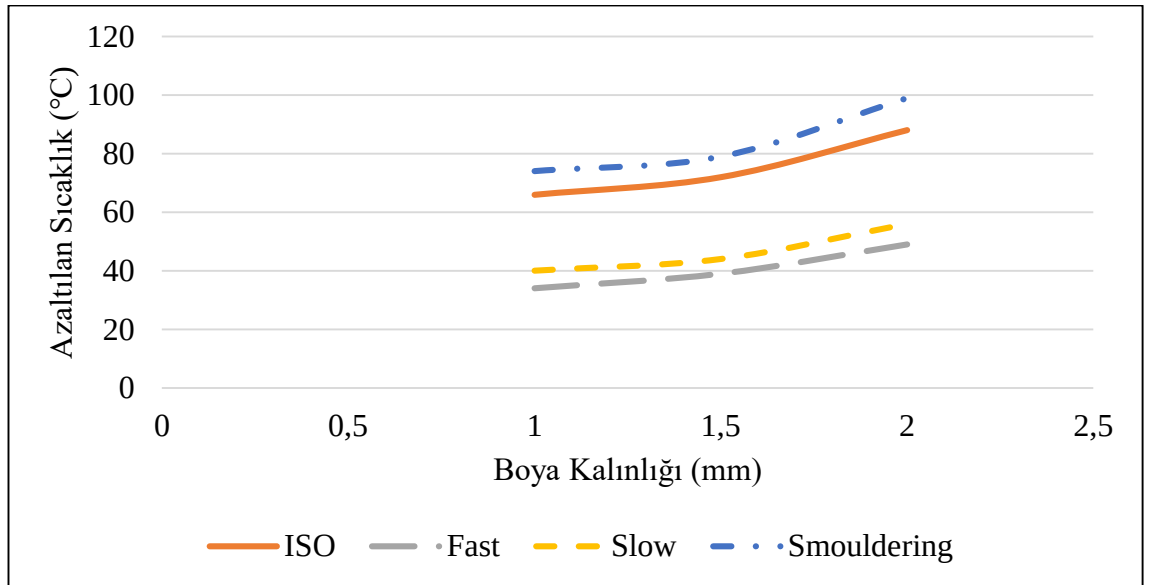
Aynı değerler 1,5 mm koruma boyası altında yine sırasıyla;

- ISO yangınlarda 72 °C,
- Fast yangınlarda 39 °C,
- Slow yangınlarda 44 °C ve son olarak
- Smouldering yangınlarda 79 °C'dir.

Karşılaştırmalar 2 mm koruma boyası altında yapıldığında ise sırasıyla;

- ISO yangınlarda 88 °C,
- Fast yangınlarda 49 °C,
- Slow yangınlarda 56 °C ve son olarak
- Smouldering yangınlarda 99 °C'dir.

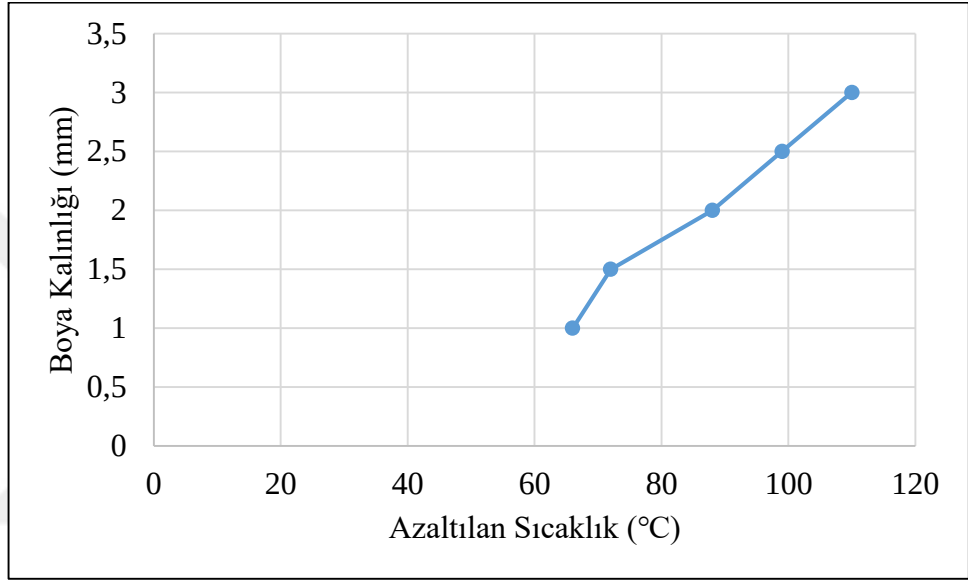
Bu değerler ile yangın eğrilerinin koruma boyasına kıyasla etkileri ve bu etkinin gelişimi aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4.66. Yangın eğrileri 25 cm duvar koruma boyası etki karşılaştırması

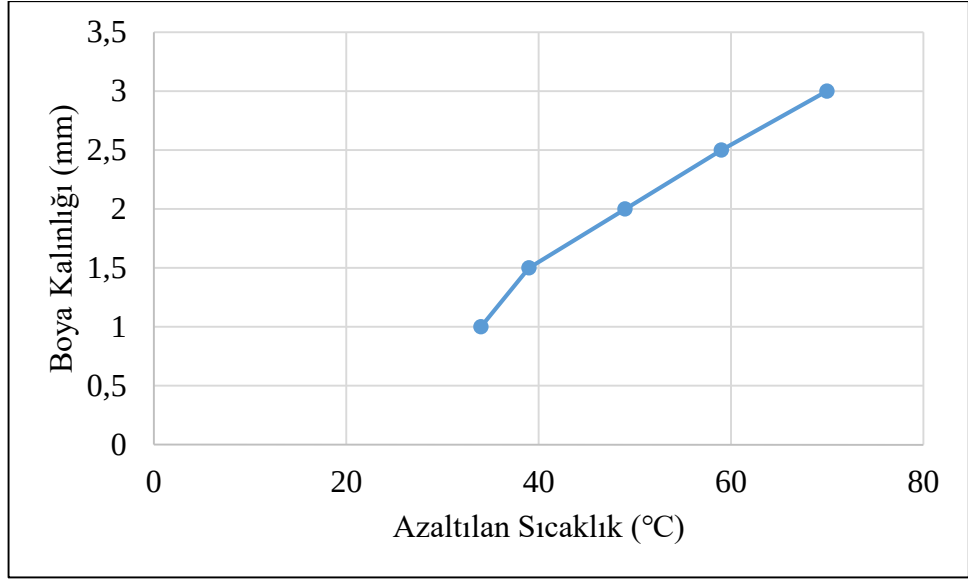
Şekil 4.66 incelendiğinde yangın eğrileri arasındaki eğim farkı duvar kalınlığının artması ile beraber neredeyse ortadan kalkmıştır. Smouldering yangınlarda küçük bir eğim farkı olsa da neredeyse tüm yangın türlerinde azaltılan sıcaklığın gelişimi birbirine paralel seyretmiştir.

Yangın eğrilerinin değişen boya kalınlığı ile beraber etkileri aşağıda sunulmuştur. İlk olarak ISO yangın eğrisinin etkisi Şekil 4.67’de verilmiştir.



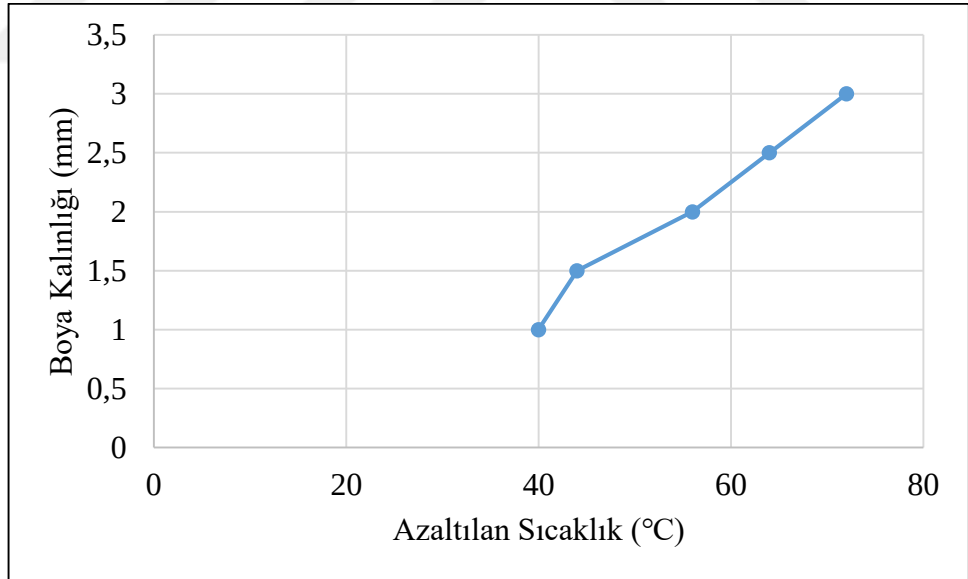
Şekil 4.67. ISO yangın eğrisi altında boya kalınlığının etkisi

Şekil 4.67’ye göre en hızlı koruma etkisi 1,5 mm kalınlıktan 2 mm kalınlığa geçişte yaşanmıştır. Sonraki artışlar da boya etkisi azalarak etkisini devam ettirmiştir.



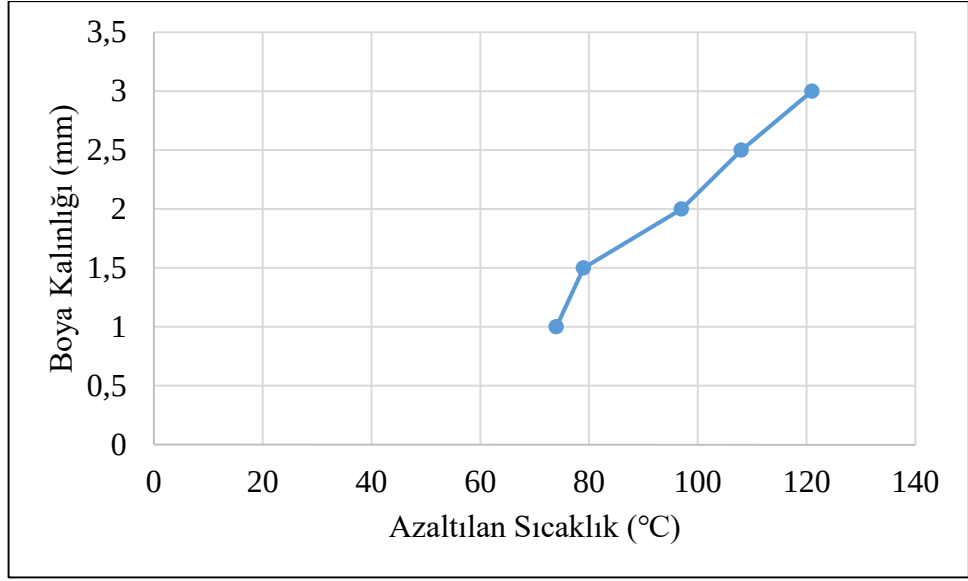
Şekil 4.68. Fast yangın eğrisi altında boya kalınlığının etkisi

Şekil 4.68'e göre yine 1,5 mm kalınlıktan 2 mm kalınlığa geçişte koruyuculuk için ilk sıçrama gerçekleşmiştir. Sonraki kalınlıklarda etki benzer bir seyrde artarak devam etmiştir.



Şekil 4.69. Slow yangın eğrisi altında boya kalınlığının etkisi

Slow yangın eğrisinin boya kalınlıkları etkisini anlatan Şekil 4.69'de de yine en ciddi etki sıçraması 1,5 mm'den 2 mm'ye geçişte yaşanmıştır. 2,5 mm ve 3 mm kalınlıklarda etki artmaya devam etmiştir. Bu adımlarda koruyuculuk etkisi doğrusal seyretmiş 1,5 mm'den 2 mm'ye geçişteki sıçrama diğer adımlarda yaşanmamıştır.



Şekil 4.70. Smouldering yangın eğrisi altında boya kalınlığının etkisi

Aynı durum Souldering yangın eğrisi altındaki koruyuculuğu belirten Şekil 4.70’te de devam etmektedir. 1 mm kalınlıktan 1,5 mm kalınlığa geçişte ciddi bir artış olmazken 1,5 mm kalınlıktan 2 mm’ye geçişte koruyuculukta ciddi bir artış yaşanmıştır. Sonraki adımlar diğer yangın eğrilerine benzer şekilde doğrusal bir seyir izleyerek devam etmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen bulguların daha net olarak sunulabilmesi adına tüm bu değerler model duvarlarda düşürülen sıcaklık değerleri açısından sınıflara ayrılarak Çizelge 4.3 – 4.4 ve 4.5’te sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Duvar kalınlığı ve yangın türleri açısından 1mm koruma boyası etkisinin karşılaştırması.

Duvar Kalınlığı	Yangın Türleri (1 mm Koruma Boyası)			
	ISO (°C)	Fast (°C)	Slow (°C)	Smouldering (°C)
10 cm	49	30	33	48
25 cm	66	34	40	74

Çizelge 4.4. Duvar kalınlığı ve yangın türleri açısından 1,5 mm koruma boyası etkisinin karşılaştırması.

Duvar Kalınlığı	Yangın Türleri (1,5 mm Koruma Boyası)			
	ISO (°C)	Fast (°C)	Slow (°C)	Smouldering (°C)
10 cm	71	36	43	79
25 cm	72	39	44	79

Çizelge 4.5. Duvar kalınlığı ve yangın türleri açısından 2 mm koruma boyası etkisinin karşılaştırması.

Duvar Kalınlığı	Yangın Türleri (2 mm Koruma Boyası)			
	ISO (°C)	Fast (°C)	Slow (°C)	Smouldering (°C)
10 cm	88	49	55	96
25 cm	88	49	56	97

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada yığma yapıların yangın performansı incelenmiştir. Bu inceleme için bazı kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Yapıların duvar kalınlıkları, yapıların dışına uygulanacak olan yangına dayanıklı özel koruma boyasının kalınlığı ve yangın eğrileri dikkate alınan kriterlerdir. Çalışmada 10 cm ve 25 cm olmak üzere iki farklı kalınlıkta duvar modeli oluşturulmuştur. 1 mm'den 3 mm'ye kadar da farklı kalınlıklarda koruma boyası uygulaması yapılmıştır. Yangın eğrileri ise ISO (standart), Fast (hızlı), Slow (yavaş) ve Smouldering (içten) yangın eğrileridir. Analiz çalışması aşamasında ANSYS programı kullanılmıştır.

Çalışmada yaklaşık 160 adet analiz yapılmış bu analizler esnasında 0,01 m ile 0,08 m arasında meş boyutları uygulanmıştır. Yapılan analizlerde 0,01 m boyutlu meşlerin yaklaşık 1 saat sürdüğü ancak 0,02 boyutlu meşlerin ise 0,01 m boyutlu meşler ile arasında ciddi bir detay farkı olmaksızın 10 dakika civarında sürdüğü görülmüştür. Yine 0,05 m ve 0,08 m boyutlu meşlerde ise detayların önemli derecede azaldığı ve çıkarılması gereken derslerin ve sonuçların ıskalanma ihtimalinin yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen bu veriler neticesinde çalışma içerisinde karşılaştırmalar yapılırken ideal meş boyutu olarak 0,02 m meş boyutu seçilmiş ve karşılaştırmalar bu değerler üzerinde yapılmıştır. Koruma boyası kalınlıkları incelenirken de özellikle 2 mm boya kalınlığından sonra artık neredeyse boyanın marjinal etkisinin kalmadığı görülmüştür. O nedenle Bölüm 4'te oluşturulan Çizelge ve Şekillerde 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm boya kalınlıkları üzerinden analizler yapılmıştır.

Yapılan analizlerde bilgi verici mahiyette önemli çıktılara ulaşılmış olup bu veriler aşağıda sunulmuştur.

- Koruyucu tabaka oluşturan intumesan boyanın kalınlığındaki 1 mm'den 1,5 mm'ye ve 1,5 mm'den 2 mm'ye artış istisnasız her seferinde duvar gövdesinin koruma boyası altında kalan yüzeyinde azalttığı sıcaklık değerini artırmıştır.
- Smouldering yangın eğrisi altında koruma boyasının katkısı, istisnasız her analiz türünde diğer yangın eğrilerine göre daha fazla olmuştur.

- ISO yangın eğrisi altında koruma boyasının katkısı, istisnasız her analiz türünde Smouldering yangın eğrisinden sonra en fazla olmuştur.
- Slow yangın eğrisi altında koruma boyasının katkısı, istisnasız her analiz türünde Smouldering ve ISO yangın eğrilerinden sonra en fazla olmuştur.
- Fast yangın eğrisi altında koruma boyasının katkısı, istisnasız her analiz türünde en düşük olmuştur.
- Aynı şartlar altında sadece duvar kalınlığının artırılması durumunda, koruma boyasının etkisi kalın olan duvarda her zaman ince olan duvardaki değerinin altına düşmemiştir.
- Koruma boyası kalınlığı arttıkça kalın duvar ile ince duvar arasındaki “azaltılan sıcaklık” değerindeki fark azalarak nihayetinde 1 °C'lere kadar düşmüştür.
- Tüm duvar kalınlıkları, tüm yangın eğrileri ve tüm boya kalınlıkları dikkate alındığında azaltılan sıcaklık değeri en düşük 30 °C ve en yüksek 97 °C olmuştur.

Sonuçlar incelendiğinde yangın eğrisinin koruma boyasının azaltılan sıcaklık değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Standart kabul edilen ISO yangın eğrisi karşılaştırma noktası seçildiğinde Fast yangın eğrisine sahip yangın türlerinde koruma boyasının etkisinin ciddi düşüş gösterdiği görülmüştür. Sıcaklıktaki görece hızlı yükseliş koruma boyasının daha erkenden ortadan kalkmasına ve koruyucu etkisini erkenden yitirmesine sebep olmaktadır. Aynı gerekçelerle Smouldering yangın eğrisine sahip yangınlarda ise koruma boyası en büyük etkiyi göstermiştir. 3600 saniyelik (1 saat) analiz süresinin neredeyse yarısında Smouldering yangın eğrisi en düşük sıcaklık değerlerinde seyretmiştir. Aşınması daha yavaş olan koruma boyası daha uzun süre dayanabilmiş ve en büyük etkiyi göstermiştir.

Analizler sonucunda koruma boyasının ve duvar kalınlığında optimum bir artışın pasif yangın önlemleri konusunda etkili olabileceği görülmüştür. Özellikle başka yangın önlemleri ile de koruma altında olan yığma yapılarda yangına karşı alınan aksiyonların daha hızlı alındığı da hesaba katıldığında, koruma boyasının aktif bir müdahale başlayana kadar hasarda ciddi bir azalma sağlayacağı görülmüştür.

Koruma için çalışılacak yapıların yangın yükleri incelenerek olası bir yangının eğrisi tahmin edilip uygulanacak olan koruma tipi, duvar kalınlığı ya da boya kalınlığı buna göre hesaplanabilir. Yapılardaki yangın yükleri olası bir yangının eğrisi hakkında oldukça kuvvetli şekilde fikir verebilir. Bu şekilde bir çalışma yapılacağı zaman ANSYS programında yapılacak analizler için hazırlanan model kolayca çalışmanın yapılacağı yapıya uyarlanabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2002. Web Sitesi: http://www.scdf.gov.sg/html/info/new_fire_code_master.html, Erişim Tarihi: 23.11.2023.
- Anonim, 2010. Web Sitesi: <https://www.youtube.com/watch?v=kfFpI2uK6rQ>, Erişim Tarihi: 15.11.2023.
- Anonim, 2020. Web Sitesi: <https://www.sametsahin.com.tr/ucretsiz-ansys-workbench-egitimi-turkce/>, Erişim Tarihi: 15.11.2023.
- Anonim, 2023. Web Sitesi: <https://cadsay.com/ansys-nedir>, Erişim Tarihi: 15.11.2023.
- Aydın, İ. 2022. Beton ile doldurulmuş çelik kolonların yangın performanslarının çeşitli parametrelerle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 26, Erzurum.
- Binici, H., Durgun M.Y., Yardım, Y. 2010. Kerpiç yapılar depreme dayanıksız mıdır? Avantajları ve dezavantajları nelerdir? KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi 13(2), 1-11.
- Bosnjak, J., Gambarelli, S., Sharma, A., Meskovic, A. 2020. Experimental and Numerical Studies on Masonry After Exposure to Elevated Temperatures. Construction and Building Materials, 230. 1-11.
- Bosnjak, J., Sharma, A., Meskovic, A., Stipetic, M. 2018. Experimental Evaluation on the Performance of Masonry at Elevated Temperatures. 10. International Masonry Conference, 4-7 July, 1-9, Milan.
- Bostancıoğlu, E. 2014. Ahşap yapım sistemleri. 1. Baskı. İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları, 98, İstanbul.
- Commission Decision 2000/367/EC, Official Journal of the European Union L 133, 26-32, 06.06.2000.
- Coşkun, R., Çelebioğlu, B. 2020. Artvin Borçka'daki yığma ahşap camiler. Bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design, 1(2) , 142-160. İstanbul.
- Craig, R.G., Powers, J.M. 2002. Restorative dental materials. Elsevier 11th ed. St. Louis, Mosby. 400, Philadelphia.
- Çırpıcı, B.K. 2021, ETÜ Yapıların Yangın Tasarımı Ders Notları, Erzurum.
- Dabanlı, Ö. 2008, Tarihi Yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı, 24, İstanbul.

- EN 13501-2. 2003. Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation service, European Committee for Standardization.
- ENV 1999-1-2:1998, 1998. Eurocode 9: Design of aluminium structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design, European Committee for Standardization.
- Fish, J., Belytschko, T. 2007. A First Course in Finite Elements. John Wiley & Sons, 344, Chichester, England.
- Güler, M.S., Şen, S. 2015. Sonlu elemanlar yöntemi hakkında genel bilgiler. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1(1), 56-66.
- ISO, I. O. f. S. 2014. ISO 834-11:2014 Fire resistance tests - Elements of building construction - Part 11: Specific requirements for the assessment of fire protection to structural steel elements.
- Interpretative Document Number (IDN). 1994. 2: Safety in case of fire, Official Journal of the European Union, C 62, 28.2.
- Korkmaz, K.A., Çarhoğlu, A.I., Orhon, A.V., Nuhoğlu, A. 2014. Farklı yapısal malzemelerin yığma yapı davranışına etkisi, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3(1), 69-78.
- Liu, G.R., Quek, S.S. 2003. The Finite Element Method: a Practical Course, Ed: Liu G.R. and Quek S.S. Butterworth Heinemann, 1-11, Oxford.
- Lourenço, P.B. 1998. Experimental and numerical issues in the modelling of the mechanical behaviour of masonry, Structural Analysis of Historical Constructions II, Barcelona. 57-92.
- Lourenço, P.B. 2004. Current experimental and numerical issues in masonry research. Universidade do Minho, 119-136, Portugal.
- Oliveira, R.G., Rodrigues, J.P., Pereira, J.M., Lourenço, P.B. 2021. Experimental and numerical analysis on the structural fire behaviour of three-cell hollowed concrete masonry walls. Engineering Structures, (228), 1-16.
- Prager, G., Rodrigo, P., Poleto, G., Bolina, F.L., Tutikian, B.F. 2020. Experimental analysis of fire resistance of mortar coatings on structural masonry walls. Revista de la Construcción, 19(3), 311-320. Santiago.
- Russo, S., Sciarreta, F. 2013. Masonry exposed to high temperatures: Mechanical behaviour and properties. 17 p. Fire Safety Journal, 55, 69-86.
- Santos, C.F., Simoes, Y.S., Rodovalho, F.S., Nalon, G.H. 2017. Thermo-Structural Modeling of Clay Units Masonry Walls Under Fire Conditions, Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 5-8 November, Book of Abstracts, Vol 38, 1-16, Florianopolis, Brazil.

Shan, S., Li, S., Wang, S., Sezen, H., Köse, M.M. 2019. Influence of masonry infill walls on fire-induced collapse mechanisms of steel frames. Journal of Constructional Steel Research, (155), 426-437.

Taşkaya, S. ve Taşkaya, S. 2019. Çok katlı yapıların ANSYS paket yazılımında workbench modülü kullanılarak ölçümlendirilmesi ve prototip analizlerinin incelenmesi. International Journal of Engineering, Design and Technology, 1(2), 51-63, Burdur.

TS ENV 1992-1-2+AC, Eurocode 2: Beton Yapıların Projelendirmesi - Bölüm 1-2: Genel Kurallar - Yapısal Yangın Projelendirmesi, TSE, 3.9.1996.

TS ENV 1992-1-2+AC, Eurocode 2 1996, ENV 1999-1-2:1998, EN 13501-2 2003.

TS704, 1979. Harman Tuğlası (Duvarlar İçin).

Zorlu, T. 2017. Karadeniz Bölgesi'nde ahşap camiler: Trabzon örneği. Mimarlık Dergisi, 53(395), 46-52.