

## ÇİFT CİDARLI CEPHE SİSTEMLERİNDE DUMAN HAREKETİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Yashar Taheri Babil Olyaei<sup>1</sup>  
Nuri Serteser<sup>2</sup>

**Konu Başlık No: 11**

### ÖZET

Çift cidarlı cephe sistemlerinin kullanımı sağladığı çeşitli avantajlar nedeniyle mimari cephe tasarımlarında giderek yaygınlaşmaktadır. Çift cidar arasında bırakılan boşluk sayesinde doğal havalandırmaya imkan vermesi en önemli avantajları arasında sayılabilir. Ancak aynı boşluk ortamı, baca etkisi yardımıyla cepheyle bağlantılı bir mekanda çıkan bir yangının oluşturduğu dumanın diğer katları etkilemesini kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada çift cidar cephe sistemlerinde yangının oluşturduğu dumanın cephe içindeki boşlukta yayılma koşulları, farklı genişlik ve havalandırma koşullarına bağlı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları, duman hareketi bakımından çift cidar cephe sistemlerinde incelemede esas alınan parametrelerin etkinliğinin anlaşılması ve bu parametrelerin dumanın etkilerinin azaltılması yönünde tasarım verisi oluşturması konusunda yararlı olacaktır.

### ANAHTAR KELİMELER

çift cidar cephe, duman kontrolü, duman tahliyesi benzetimi

### ABSTRACT

Employment of double-skin façades are widely used progressively in architectural façade designs due to the various advantages that provides. Allowing natural ventilation throughout the cavity between double-skin can be considered one of the primary advantages. On the other hand the same cavity might be facilitated propagation of the fire-induced smoke flowing out from an adjacent room to the double-skin to affect the upper storeys by stack effect. The propagation situations of fire-induced smoke within the cavity in double-skin façade is analyzed in terms of varied façade depth and natural ventilation conditions. The results are helpful in understanding the effectiveness of the parameters adopted in examination of hot smoke movement in double-skin façades and in constituting design data by using those parameters to decreasing the effects of the hot smoke.

### KEYWORDS

double skin façade, smoke control, simulation of smoke evacuation

konut binası

<sup>1</sup> Yashar Taheri , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

<sup>2</sup> Nuri Serteser, İTÜ Mim. Fak., Mimarlık Bl., Taşkışla Kampüsü/Taksim/İstanbul, 212 2931300, serteser@itu.edu.tr

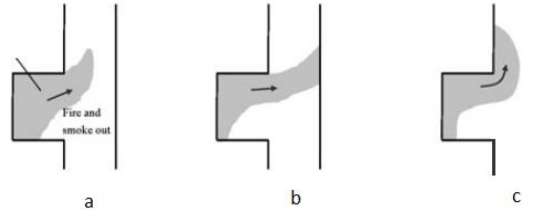
## GİRİŞ

Çift cidar cepheler, bina iklimsel ve işitsel konforuna katkıları ve estetik kaygılarla giderek daha yaygın şekilde tasarımda yer almaktadır. Bu tip cephe sistemleri dayanıklılık, ekoloji, iyi görünüm, iç ortam hava kalitesi ve gün ışığı kullanımı açısından bazı iklim bölgelerinde avantaj sağlamaktadırlar [1]. Çift cidarlı cepheler dış ve iç ortam arasında bir yalıtım tabakası gibi olup havanın iki cidar arasında dolaşımını etkinleştirir. Bu da doğal havalandırma, daha iyi ısı ve akustik performansa neden olur [2]. Ancak çift cidar cephe sistemlerinin tasarım ve uygulama ile ilgili düzenlemeler yapı yönetmeliklerinde yeterince kapsamlı değildir ve herhangi bir yangın durumunda çift cidar cepheye sızan dumanın nasıl bir davranış izlediği ve duman hareketini etkileyen faktörler tam olarak bilinmemektedir [3].

Genel olarak çok katlı ve çift cidarlı bir binada çıkan yangın sonucunda oluşan duman, yangının bulunduğu kattan çift cidar boşluğuna geçerek baca etkisi nedeniyle boşluk içinde yükselmeye başlar ve diğer katlarda açık olan pencereler veya kırılan camlar yoluyla katlar arasında hızla yayılır. Doğal havalandırmanın etkin olduğu binalarda oluşan bir yangında, doğal havalandırma etkisiyle hava sirkülasyon yolları ve açıklıklar dumanın diğer mekanlara ve katlara geçişini sağlar. Bu durum bu tür binalarda ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır [4]. Sıradan bir cephede duman ve zehirli gazlar ortam havası ile seyrettilip soğutulur fakat çift cidar cephelerde sıcak gazlar çift cidar arasındaki düşey boşluğun içine sıkışıp orada kalırlar ve baca etkisi sayesinde yükselerek diğer katlara geçer.

## ÇİFT CİDAR CEPHELERDE OLUŞAN DUMAN HAREKETİ

Kapalı mekanda başlayan bir yangın, havalandırma koşullarına da bağlı olarak cephe boşlukları üzerinden bina dışına doğru yayılma eğilimindedir. İç cidardaki cam, mekan tarafında olması nedeniyle termal radyasyon etkisiyle daha erken kırılır. Alev ve duman pencere yoluyla cidar arasındaki boşluğa Şekil 1.a’ da görüldüğü gibi geçer. Dış cidardaki cam daha sonra Şekil 1.b’de görüldüğü gibi, alev ve dumanın etkisi altında kalarak kırılabilir. Diğer senaryoda ise duman ve alevin iç cepheyi yalayarak yukarı doğru yükselmesiyle Şekil 1 (c) de görüldüğü gibi üst kattaki cam kırılır. Bu senaryoları etkileyen çeşitli faktörler mevcuttur [5].



Şekil 1. Çift cidar cephelerde duman yayılımı

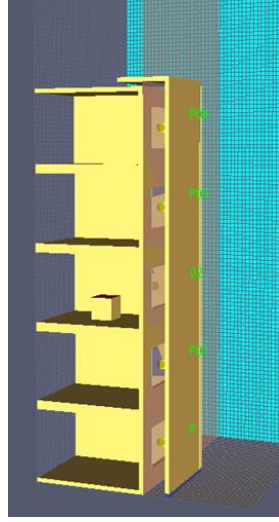
Bu çalışmada farklı genişliklere sahip çift cidar cepheli binalarda yangın çıkması durumunda, yangının cidar boşluğunda nasıl bir yol izlediği sayısal yöntemle benzetilmiş (simüle edilmiş), farklı cidar derinliği ve havalandırma açıklığı kombinasyonlarıyla elde edilen benzetim sonuçlarında hangi genişliklerin duman yayılımı bakımından daha avantajlı sonuçlar verdiği incelenmiştir.

## ÇALIŞMADA KULLANILAN SAYISAL PROGRAM

Planlanan yangın senaryoları tasarlanan model bir binada sayısal yöntemle incelenmiştir. Kullanılan sayısal yöntemin prensibi, alan modellerinde olduğu gibi, hakim olan diferansiyel denklemlerin sonlu elemanlar yöntemiyle çözülmesi esasına dayanmaktadır. Bu çalışmada sayısal benzetim yazılımı olarak PyroSim kullanılmıştır. Bu yazılım FDS (Fluid Dynamics Simulator)’in kullanıcı arayüzü olarak işlev görmektedir [6].

## SAYISAL MODELİN TANITILMASI

Bu çalışmada model olarak, zemin+ 4, toplam 5 katlı konut fonksiyonu olan bir bina tasarlanmıştır. Binada her katın yüksekliği 3.5 m olup yangının bulunduğu mekan ve bununla aynı düşey aksta yer alan tüm mekanların dış cephesinde (çift cidarın iç tarafında) 1.8 m x 2.2 m ölçülerinde pencereler bulunmaktadır. Bu akstaki mekanların plandaki büyüklüğü 20 m<sup>2</sup>'dir. Yangının 2. katta incelenen mekanın tam ortasında meydana geldiği düşünülmüştür. Tasarım yangınının büyüklüğü tam gelişmiş bir yangının benzetimi için 5 MW olarak alınmıştır. Bu değer, konuyla ilgili yapılan çalışmalarda da sıkça kullanılmaktadır. İncelenen modelin sayısal ortamdaki görünüşü Şekil 2' de yer almaktadır.



Şekil 2. Tasarlanan bina modelinin sayısal ortamdaki görünüşü

Çift cidar cephenin derinliği 50, 100 ve 150 cm olarak alınmıştır. Çift cidar cephenin iç kısmındaki cephe bölümünde yer alan saydam yüzeylerde 6 mm kalınlığında cam kullanılması planlanmıştır. Bu kalınlığa sahip camlarla ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında 110 °C' lik ortam sıcaklığında çatladığı ve kırıldığı görülmüştür [7]. Yapılan sayısal analizde de kapalı mekanda ve çift cidar arasında bu sıcaklık değerlerine ulaşıldığında camların kırılması tasarım verisi olarak programa girilmiştir. Çift cidarın dışındaki cephede yer alan camın kırılma riski daha düşüktür ve kırılması halinde dumanın tahliyesine yardımcı olması nedeniyle avantajlı bir durum oluşturmaktadır. Bu nedenle benzetimde çift cidarın dışındaki camın kırılma durumu dikkate alınmamıştır. Çift cidar cephenin altında ve üstünde açıklıklar bırakılarak farklı havalandırma olanakları oluşturulmuştur. Açıklıkların ölçüleri ise 20 ve 40 cm olarak planlanmıştır [8].

## YANGIN SENARYOLARI

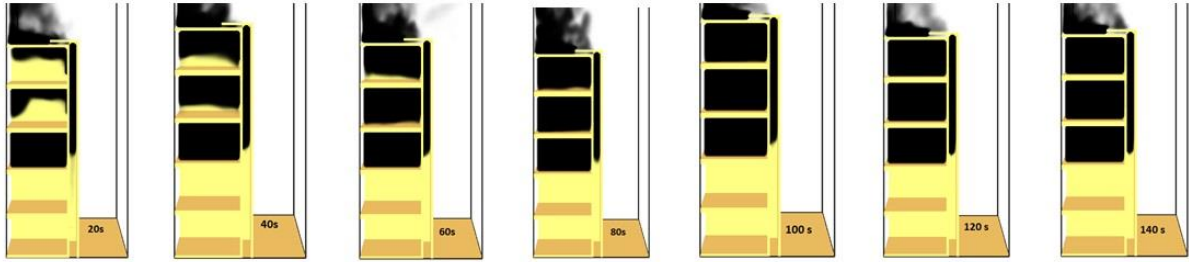
Çift cidar derinliği ile alt ve üst açıklıkların farklı boyutsal kombinasyonları kullanılarak 6 farklı senaryo oluşturulmuştur. Tablo 1' de planlanan senaryolar görülmektedir. Toplam benzetim süresi, farklı havalandırma koşullarındaki durumun karşılaştırmalı olarak görülebilmesi için 140 s alınmıştır.

Tablo 1. Benzetim için üretilen senaryolara ait boyutsal özellikler

Senaryo	Çift Cidar Genişlik (cm)	Alt Açıklık (cm)	Üst Açıklık (cm)
1a	50	20	20
1b	50	40	40
2a	100	20	20
2b	100	40	40
3a	150	20	20
3b	150	40	40

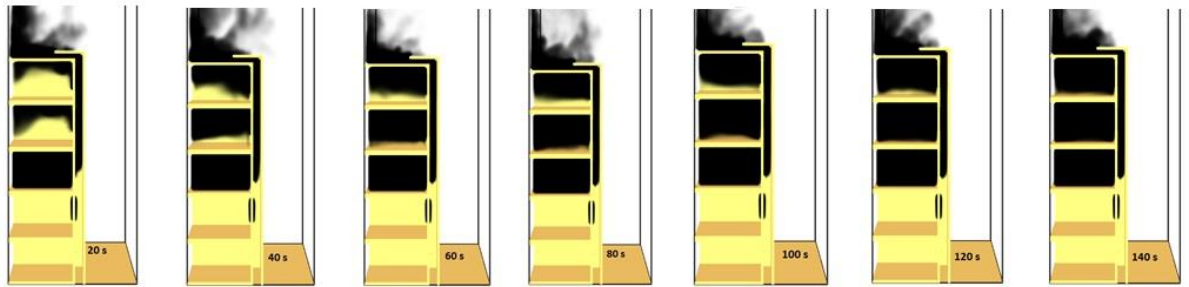
## BENZETİM SONUÇLARI

1a senaryosundaki yangın; başlangıcından 2 s sonra mekanın pencere camını kırarak çift cidar arasında yayılmıştır. 4. s' de üst kattaki camı kırarak mekanın içine ulaşmıştır. 7. s' de ise binanın en üst katına erişmiştir. Zaman ilerledikçe dumanla dolan katların durumu Şekil 3' de görülmektedir. Çift cidar arasındaki havalandırma koşullarına bağlı olarak yangının çıktığı kat seviyesinin üzerinde kalan çift cidar bölümü dumanla dolmuş ve teras seviyesinde önemli miktarda duman çıkışı gözlenmiştir. 20. s'ye gelindiğinde yangının çıktığı mekan tamamen dumanla dolmuş, bu katın üzerinde yer alan 3. ve 4. katta ise içerideki duman ve sıcak gazlar tavan döşemesi boyunca ilerleyerek cephe boşluğundan aşağı inmeye başlamıştır. 40. s' de 3. kat büyük oranda, 4. kat ise kat yüksekliği içinde yarıdan fazla dumanla dolmuştur. 60. s' de son katın da büyük oranda dumanla dolduğu görülmektedir. 80, 100, 120 ve 140 saniyelerde ise duman tüm üst katları tamamen doldurarak kaçışları imkansız hale getirmiştir.



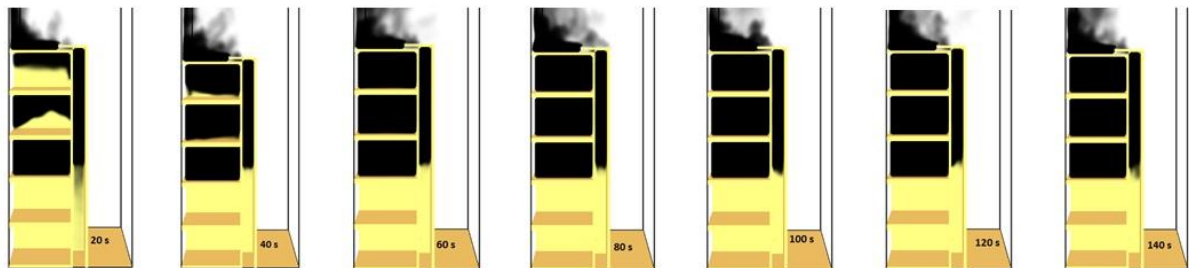
Şekil 3. 1a senaryosundaki duman hareketi

1b senaryosundaki yangın; 2. s' de içinde bulunduğu mekanın, sonra 5. s' de 3. kattaki mekanın camını kırarak mekanı dumanla doldurmaya başlamıştır. 7. s' de ise en üst kata ulaşmıştır. Şekil 4' de görüldüğü gibi 20. s' de duman 3. ve 4. katların tavan döşemesi boyunca mekanın dışına doğru ilerlemiş ve çift cidar arasından aşağı doğru inmeye başlamıştır. 3. kat 80. s' de, 4. kat ise 100. s' de tamamen dumanla dolmuştur. Terasa açılan havalandırma menfezinden önemli duman çıkışı gözlenmiştir.



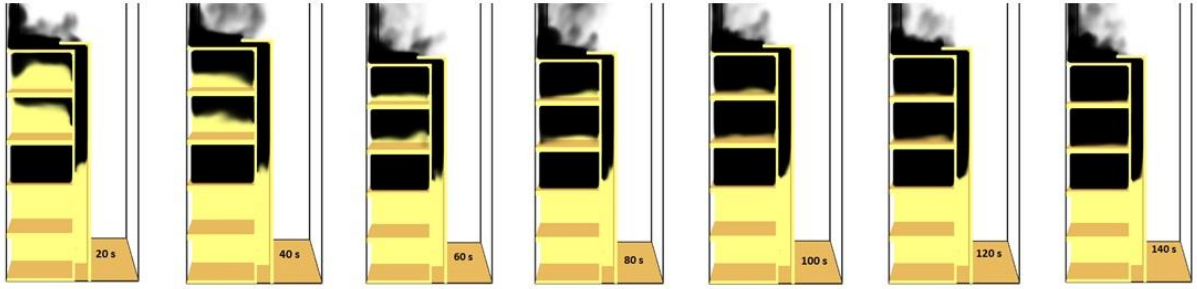
Şekil 4. 1b senaryosundaki duman hareketi

2a senaryosundaki yangın; 20. s' de üst katlarda etkili olarak mekanları dumanla doldurmaya başlamıştır. Şekil 5' de görülebileceği gibi, 40. s' de 3 ve 4. katlar büyük oranda dumanla dolmuş ancak tam doluluğa 60 s serinde erişilmiştir. Çift cidar arasında ve teras seviyesinde yoğun bir duman çıkışı bulunmaktadır.



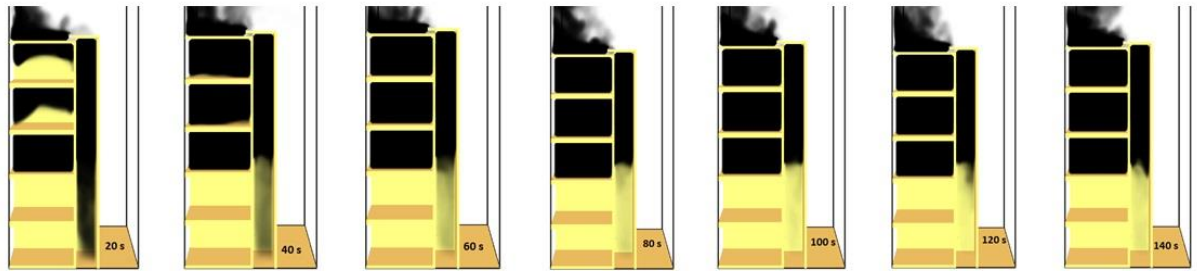
Şekil 5. 2a senaryosundaki duman hareketi

2b senaryosundaki yangın; 20. ve 40. s’de üst katlardaki duman miktarındaki artış daha sınırlıdır. Ancak bu senaryoda Şekil 6’da görüldüğü gibi, 140. s’ye gelindiğinde 3. ve 4. kat tamamen dumanla dolmuş durumdadır. Terasdaki açıklıkta önemli miktarda sıcak duman ve gaz çıkışı gözlenmiştir.



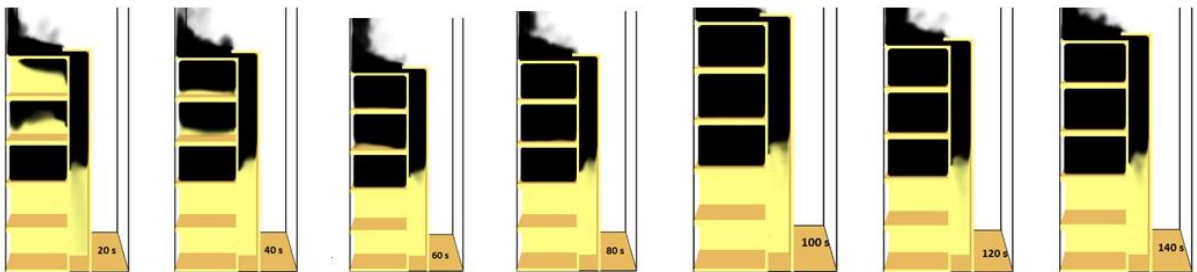
Şekil 6. 2b senaryosundaki duman hareketi

3a senaryosundaki yangın; hızla ilerleyerek Şekil 7’de görüldüğü gibi çift cidar cephe arasında yayılmış ve boşluk içinde aşağı doğru inmiştir. 20. s’de 3. katın yarısından fazlasını doldurmuş, 40. s’de ise bu katların neredeyse tamamını dumanla doldurmuştur. Benzer şekilde terastaki hava çıkış menfezinden önemli oranda duman ve sıcak gaz çıkışı gerçekleşmiştir.



Şekil 7. 3a senaryosundaki duman hareketi

3b senaryosundaki yangın; ilk gelişme evresinde önceki yangın senaryolarındakine benzer şekilde ilerlemiş, Şekil 8’de görülebileceği gibi 20. s’de 3. katın yarısından fazlasını dumanla doldurmuş, 40. s’de ise hemen hemen 3. ve 4. katlar tamamen dumanla kaplanmıştır. Terastaki havalandırma menfezinden önemli miktarda duman ve sıcak gaz çıkışı tespit edilmiştir.

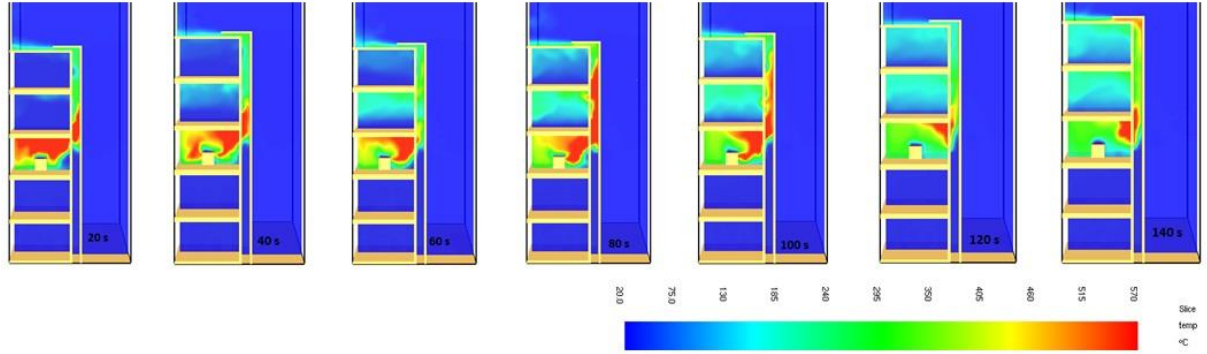


Şekil 8. 3b senaryosundaki duman hareketi

## SICAKLIK DEĞERLERİ

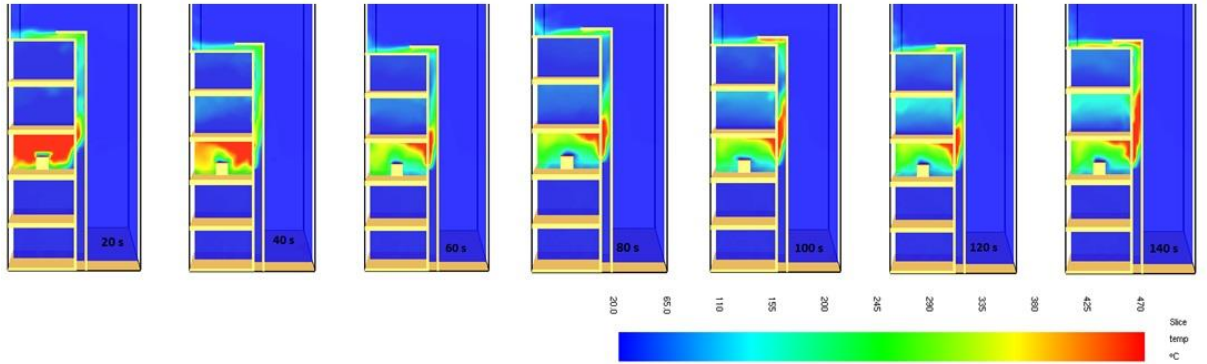
1a senaryosunda; erişilen maksimum sıcaklık değeri 570 °C’dir. Bu değere yangın kompartmanının içinde ve yangının ilerleme sürecinde çift cidar cephe boşluğunda rastlanmaktadır. Şekil 9’da da görülebileceği gibi 80. s’de çift cidar cephe boşluğunda 3. kat döşeme hizasından 4. katın pencere alt kotuna dek maksimum sıcaklık değerine rastlanmaktadır. Çift cidar genişliğinin 50 cm ile sınırlı olması nedeniyle yangın kompartmanından çift cephe boşluğuna yayılan duman ve sıcak gazlar, çift cidarın dış cephesine çarparak yükselmekte ve kompartman üst hizasından itibaren yüksek sıcaklık değerleri

oluşturmaktadır. Üst katlardaki mekanların sıcaklıkları maksimum 250 °C civarında seyretmektedir. 140. s'de teras kotundaki havalandırma menfezi hizasında yaklaşık 500 °C sıcaklık değeri oluşmaktadır.



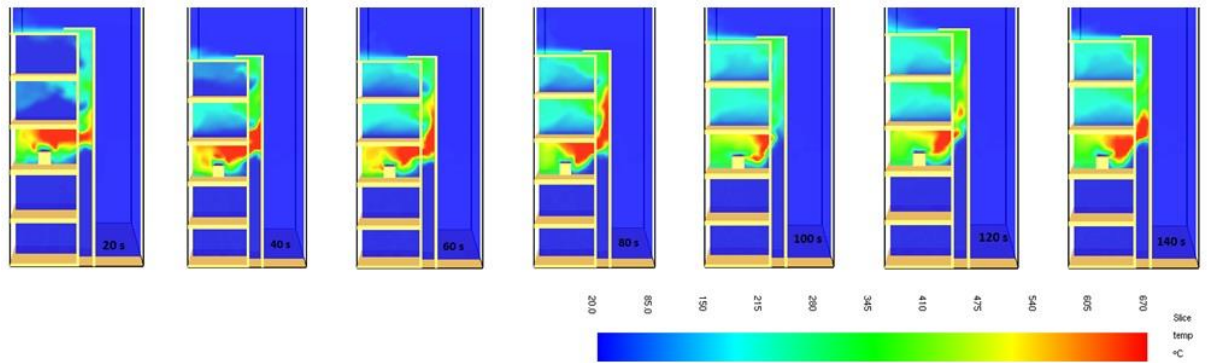
Şekil 9. 1a senaryosundaki sıcaklık değerleri

1b senaryosunda; erişilen maksimum sıcaklık değeri 470 °C'dir. Çift cidar cephe içinde bu değere Şekil 10'da görüldüğü gibi 60. s'den itibaren erişilmiştir. En yüksek etki 140. s'de gerçekleşmiştir. Aynı zaman diliminde 3. katta maksimum 170 °C sıcaklığa ulaşırken, 4. katta sıcaklık yaklaşık 60 °C civarındadır. Havalandırma menfezi çıkış ağzında da 400 °C'nin üzerinde sıcaklıklar oluştuğu gözlenmiştir.



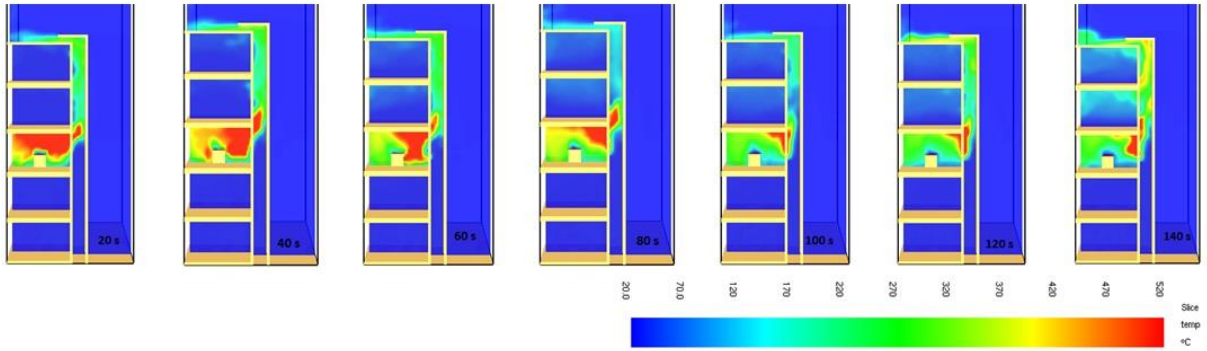
Şekil 10. 1b senaryosundaki sıcaklık değerleri

2a senaryosunda; erişilen maksimum sıcaklık değeri 670 °C'dir. 20-80. s'ler arasında yoğun olarak çift cidar cephenin dış bölümünün iç tarafında bu değerlere ulaşılmıştır. 140. s'de 4. kat döşeme hizasında yine maksimum sıcaklık tekrarlanmıştır. İç kabuğun dış yüzeyinde ise Şekil 11'de görüleceği gibi 400-500 °C arasında sıcaklık değerleri oluşmaktadır. Havalandırma menfezi çıkışında ulaşılan maksimum değer 400 °C civarındadır.



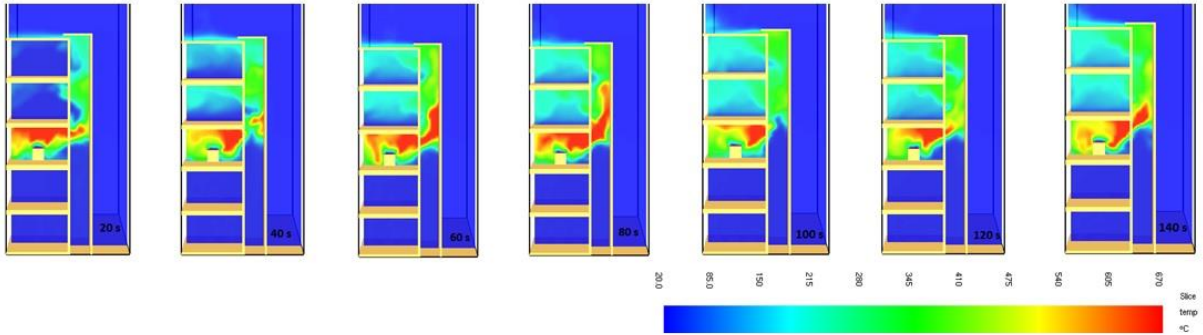
Şekil 11. 2a senaryosundaki sıcaklık değerleri

2b senaryosunda; erişilen maksimum sıcaklık değeri 520 °C'dir. Çift cidar cephede bu değere yangın kompartmanının üst kat döşemesi hizasında, daha çok cephenin iç bölümünün dış yüzeyinde rastlanmıştır. Cephe boşluğu içinde maksimum 380 °C civarında sıcaklıklar görülmektedir.



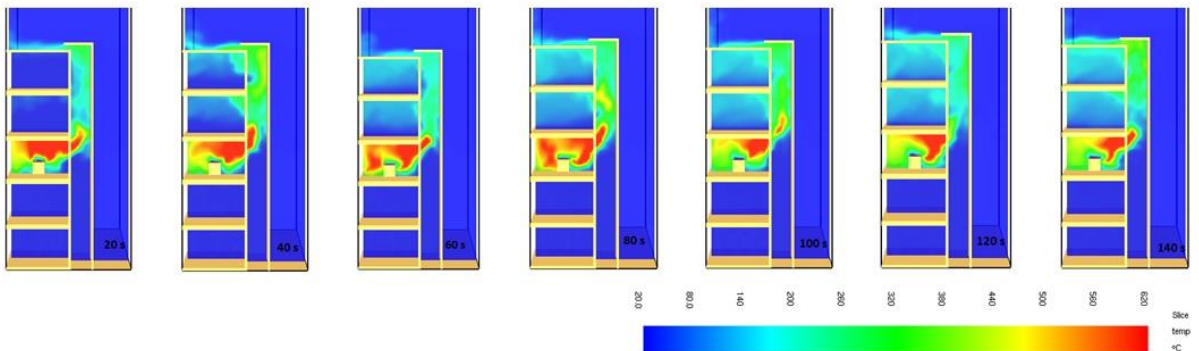
Şekil 12. 2b senaryosundaki sıcaklık değerleri

3a senaryosunda; erişilen maksimum sıcaklık değeri 670 °C'dir. Bu değere özellikle Şekil 13'de görüldüğü gibi 20-80. s'ler arasında sıklıkla dış kabuğun iç kısmında ve 4. katın döşeme seviyesine dek olan kotlarda ulaşılmıştır. Çift cidar içinde ve terastaki havalandırma menfezi kotunda yaklaşık 400 °C sıcaklık elde edilmiştir.



Şekil 13. 3a senaryosundaki sıcaklık değerleri

3b senaryosunda; erişilen maksimum sıcaklık değeri 620 °C'dir. Şekil 14'de görüleceği üzere maksimum sıcaklık çift cidar boşluğu içinde, yangın kompartmanının üstündeki döşeme hizasında elde edilmiştir. Boşluğun içinde ve üstte havalandırma menfezi çıkış açıklığı hizasında yaklaşık 360 °C sıcaklık gözlenmiştir.



Şekil 14. 3b senaryosundaki sıcaklık değerleri

## DEĞERLENDİRME

Çift kabuk içinde ve yangın kompartmanı üstündeki katların dumanla dolma süresi incelendiğinde, 3a senaryosunda en hızlı duman üretimi ve yayılma hızı gerçekleşmiştir. Ayrıca duman cidar boşluğunda aşağı doğru da yayılma eğilimindedir. Bunun nedeni, üretilen dumanın miktarına oranla yetersiz havalandırma koşulları ile dumanın boşlukta sıkışarak yoğunlaşması ve baca etkisini zayıflatan cidar derinliğidir. 3b senaryosunda cidar içinde havalandırma koşulları daha iyi olmasına rağmen çekişin yetersiz kalması nedeniyle boşluk ve üst kattaki mekanlar yine kısa süre içinde dumanla dolmuştur. Senaryolar içinde en iyi koşullar 2b'de oluşmuştur. Hem doğal havalandırma koşulları hem de baca etkisinin yardımıyla daha fazla duman dışarı atılabilmiş ve mekanların dumanla doluş süreleri uzamıştır.

Sıcaklıklar bakımından durum incelendiğinde, göreceli olarak daha dar havalandırma genişliğine sahip çift cidar cephelerde oluşan sıcaklık değeri, daha geniş havalandırma açıklığı bulunan cephelerden daha yüksek sıcaklık değerleri oluşturmaktadır. Bu durum büyük oranda çift cidarın havalandırma koşullarıyla açıklanabilir. Yeterli havalandırma sağlanması durumunda dumanın sıcaklığı belirli oranda soğutma sayesinde doğal olarak düşürülebilmektedir. Ancak cephe derinliğindeki artışa paralel olarak sıcaklık değerleri de artış göstermiştir. Bu durumun yangında üretilen sıcak gaz ve dumanın boşluk ortamında daha derin cephe içinde kısa sürede havalandırılmamasından kaynaklandığı ve bunun da sıcaklık artışına neden olduğu söylenebilir

## SONUÇ

Farklı derinlik ve havalandırma açıklıklarına sahip çift cidarlı cephelerde yangın nedeniyle oluşan dumanın hareketi miktar ve hız açısından incelendiğinde, çift cidarın derinliğinin dumanın tahliyesinde etkili bir unsur olduğu ancak bunun da cidarın havalandırma koşullarına bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Keza havalandırma koşulları cidar boşluğunu dolduran dumanın soğutulup sıcaklığının düşürülmesi veya tersine yükselmesinde etkili olmaktadır. Bu nedenle derinliği yüksek olan cephelerde istenilen sonuçların alınmasının daha güç olduğu; buna karşın derinliği görece daha dar olan cephelerde tahliye hızı yüksek olmasına rağmen duman ve sıcak gazların yangının bulunduğu katın üstündeki katları, seçilen cam türüne de bağlı olarak, daha hızlı etkileyebildiği söylenebilir. Üretilmesi muhtemel duman miktarına ve havalandırma koşullarına bağlı olarak cephe derinlikleri belirlenmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ni, Z., Lu, S., Peng, L., 2012., Experimental study on fire performance of double-skin glass facades, *Journal of Fire Sciences*, Sayı 30(5), s. 457-472, USA.
- [2] İnan, T., Başaran, T., 2015. Çift cidar cepheler: Avantajları ve Dezavantajları, *Tesisat Mühendisliği*, Sayı 146, s. 80-86, İstanbul.
- [3] Shameri, M.A, Alghoul, M.A., et al, 2011. Perspective of Double-skin Façade Systems in Buildings and Energy Saving, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Sayı 15, s.1468-1475, Malaysia.
- [4] Chow, W.K., Hung, W.Y., 2006. Effect of Cavity Depth on Smoke Spreading of Double-skin Façade, *Building and Environment*, Sayı 41, s. 970-979, China.
- [5] Chow, C.L., 2013. Full-scale burning tests on double-skin façade fires, *Fire and Materials*, Sayı 37, s. 17-34, UK.
- [6] <http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/tutorials 2015>
- [7] Babrauskas, V., 2010. Glass breakage in Fires <https://www.doctorfire.com/GlassBreak.pdf>
- [8] Chow, W.K., Hung, W.Y., et al, 2007. Experimental study on smoke movement leading to glass damages in double-skinned façade, *Construction and Building Materials*, Sayı 21, s. 556-566, China.