İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATRİUM İÇEREN ÇOK KATLI BİNALARDA DUMAN DAĞILIMININ SAYISAL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Feyza ÇEBİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATRİUM İÇEREN ÇOK KATLI BİNALARDA DUMAN DAĞILIMININ SAYISAL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Feyza ÇEBİ
(503081137)

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Y. Erhan BÖKE

OCAK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503081137 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Feyza ÇEBİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"ATRİUM İÇEREN ÇOK KATLI BİNALARDA DUMAN DAĞILIMININ SAYISAL İNCELENMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Y. Erhan BÖKE** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Derya Burcu ÖZKAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Yrd. Doç. Dr. İ. Necmi KAPTAN Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **17 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **22 Ocak 2013**

Annem ve babama,

ÖNSÖZ

Günümüzde gelişen yapılanma ile birlikte, farklı amaçlara hizmet eden, farklı mimarilere sahip yapılar kullanılmaya başlanmıştır. Buna paralel olarak, meydana gelebilecek yangın gibi afetlerde, insan sağlığını tehlikeye atan dumanla mücadele etmek için duman kontrol sistemleri geliştirilmektedir.

Kapalı hacimlerde duman hareketlerinin incelenmesi amacıyla tasarladığım ok katlı, atrium içeren bir yapıda farklı yangın senaryoları altında duman hareketlerinin nasıl değiştiğini ve bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar için ne kadar çok bilgi birikimine ihtiyaç duyulduğunu gördüm.

Tez çalışmam boyunca bana yol gösteren ve bilgisi ve tecrübesinden yararlandığım değerli tez danışmanım Doç. Dr. Y. Erhan BÖKE' ye, çalışmalarım sırasında beni destekleyen Friterm A.Ş. Genel Müdürü Sayın Naci ŞAHİN' e , ve hayatım boyunca bana inandıkları ve hep yanımda oldukları için aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2013 Feyza Çebi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Tezin Amacı 3
1.2. Literatür Araştırması 3
2. DUMAN KONTROLÜ **13**
2.1. Genel 13
2.2. Dumanın Tanımı ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri 14
2.3. Açığa Çıkan Duman Miktarı 18
2.4. Duman Hareketlerine Yön Veren Kuvvetler 24
2.4.1. Açıklıklarda meydana gelen akış 24
2.4.2. Baca etkisi 25
2.4.3. Rüzgar etkisi 26
2.5. Yangının Evreleri 28
2.5.1. Tam gelişmiş yangın modeli 28
2.6. Yangın Tipleri 29
2.6.1. Düzenli yangınlar 29
2.6.2. Düzensiz yangınlar 29
3. YANGIN MODELİ VE DUMAN YAYILIMI İNCELENMESİ **31**
3.1. Kontrol Hacmi 31
3.2. Kabuller ve Sınır Koşulları 34
3.3. Yangın Modellerinin Sonuçları 35
3.4. Çözüm Senaryoları 47
4. SONUÇLAR **53**
KAYNAKLAR **59**
EKLER **61**
ÖZGEÇMİŞ **87**

KISALTMALAR

C : Boyutsuz akış katsayısı
CFD : Computational fluid dynamics, hesaplamalı akışkanlar dinamiği
g : Yerçekimi ivmesi
H : Yangın tabanından itibaren balkon yüksekliği
m : Kütlesel akış miktarı
m_p : Duman Kütlesel debisi
ppm : Parts per million, milyonda bir parçacık
t : Efektif tutuşmadan itibaren geçen süre
V : Volumetrik akış miktarı
χ : Konvektif kesir katsayısı
W : Duman genişliği
Q_c : Yangın büyüklüğü
z : Yakıt yüzeyinden duman tabakası alt kısmına kadar olan yükseklik
α : Büyüme faktörü
ΔP : Basınç farkı
ρ : Gaz yoğunluğu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 **:** Bazı zehirli gazların tehlike sınırları. 17
Çizelge 3.1 **:** Açığa çıkan duman miktarı. 34
Çizelge 3.2 **:** Yangın senaryoları. 35
Çizelge 1.3 **:** Çözüm senaryoları 48
Çizelge 4.1 **:** Havadaki oksijen miktarının insan sağlığına etkisi..... 56
Çizelge 4.2 **:** Duman kütle oranları ve oksijen miktarları 56
Çizelge A.1 **:** Havanın termofiziksel özellikler. 62
Çizelge B.1 **:** Karbonmonoksitin termofiziksel özellikleri 64

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Bina geometrisi ve modelde kullanılan kat planı. 4
Şekil 1.2 : Murcia test düzeneği planı ve ölçüleri. 5
Şekil 1.3 : Atriumun şematik gösterimi. 6
Şekil 1.4 : Test odası şematiği. 7
Şekil 1.5 : Deneylerdeki duman tabakasının zamanla değişimi. 9
Şekil 1.6 : Simülasyondaki duman tabakasının zamanla değişimi. 9
Şekil 1.7 : Yangın ısı yükünün zamanla değişimi. 11
Şekil 2.1 : Duman dağılımı. 18
Şekil 2.2 : Asimetrik plum. 19
Şekil 2.3 : Balkon plumu. 19
Şekil 2.4 : Duman plumu. 20
Şekil 2.5 : Bitişik (tek taraflı) plum. 20
Şekil 2.6 : Serbest (çift taraflı) plum. 21
Şekil 2.7 : Pencere plumu. 21
Şekil 2.8 : Balkon plumu [13]. 23
Şekil 2.9 : Basınçtan kaynaklanan hava akışı (A) ve nötral basınç düzleminin konumu (B). 26
Şekil 2.10 : Bina çatısında ve yan taraflardaki hava basınç dağılımı. 27
Şekil 2.11 : Yangın evreleri. 28
Şekil 3.1 : Çalışmada kullanılan bina modeli. 32
Şekil 3.2 : Bina modelinde mesh yapısı. 32
Şekil 3.3 : Binadaki kat modeli. 33
Şekil 3.4 : Referans durum bina düşey kesitindeki duman kütle oranı. 35
Şekil 3.5 : Referans durumda atrium içindeki duman kütle oranı. 36
Şekil 3.6 : Referans durum kat 5 duman kütle oranı. 37
Şekil 3.7 : Referans durum kat 5 hız vektörü. 37
Şekil 3.8 : Durum 2 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı. 38
Şekil 3.9 : Durum 2 atrium içindeki duman kütle oranı. 39
Şekil 3.10 : Durum 2 kat 5 duman kütle oranı. 39
Şekil 3.11 : Durum 2 kat 5 hız vektörü. 40
Şekil 3.12 : Durum 3 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı. 41
Şekil 3.13 : Durum 3 atrium içindeki duman kütle oranı. 41
Şekil 3.14 : Durum 3 kat 5 duman kütle oranı. 42
Şekil 3.15 : Durum 3 kat 5 hız vektörü. 42
Şekil 3.16 : Durum 4 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı. 43
Şekil 3.17 : Durum 4 atrium içindeki duman kütle oranı. 44
Şekil 3.18 : Durum 4 kat 8 duman kütle oranı. 44
Şekil 3.19 : Durum 4 kat 8 hız vektörü. 45
Şekil 3.20 : Durum 6 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı. 46
Şekil 3.21 : Durum 6 atrium içindeki duman kütle oranı. 46

Şekil 3.22 : Durum 6 kat 5 duman kütle oranı. 47
Şekil 3.23 : Durum 6 kat 5 hız vektörü. 47
Şekil 3.24 : Durum 7 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı. 49
Şekil 3.25 : Durum 7 atrium içindeki duman kütle oranı. 49
Şekil 3.26 : Durum 7 kat 5 duman kütle oranı. 50
Şekil 3.27 : Durum 7 kat 5 hız vektörü. 50
Şekil 3.28 : Durum 8 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı. 51
Şekil 3.29 : Durum 8 atrium içindeki duman kütle oranı. 51
Şekil 3.30 : Durum 8 kat 5 duman kütle oranı. 52
Şekil 3.31 : Durum 8 kat 5 hız vektörü. 52
Şekil 4.1 : Yüksekliğe bağlı olarak duman kütle oranının değişimi. 54
Şekil 4.2 : Durum 2 ve durum 6 yüksekliğe bağlı olarak duman kütle oranının değişimi. 54
Şekil 4.3 : Referans durum ve durum 3 yüksekliğe bağlı olarak duman kütle oranının değişimi. 55
Şekil A.1 : Havanın sıcaklık viskozite eğrisi……..62
Şekil A.2 : Havanın sıcaklık özgül ısı eğrisi. 63
Şekil A.3 : Havanın sıcalık ısı iletim katsayısı eğrisi. 63
Şekil B.1 : Karbonmonoksitin sıcaklık viskozite eğrisi. 64
Şekil B.2 : Karbonmonoksitin sıcaklık özgül ısı eğrisi. 65
Şekil B.3 : Karbonmonoksitin sıcaklık ısı iletim katsayısı eğrisi 65
Şekil C.1 : Referans durum kat 6 duman kütle oranı. 66
Şekil C.2 : Referans durum kat 7 duman kütle oranı. 66
Şekil C.3 : Referans durum kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 67
Şekil C.4 : Referans durum kat 6 hız vektörü. 67
Şekil C.5 : Durum 2 kat 6 duman kütle oranı. 68
Şekil C.6 : Durum 2 kat 7 duman kütle oranı. 68
Şekil C.7 : Durum 2 kat 6 hız vektörü. 69
Şekil C.8 : Durum 2 kat 7 hız vektörü. 69
Şekil C.9 : Durum 2 kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 70
Şekil C.10 : Durum 2 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 70
Şekil C.11 : Durum 3 kat 6 duman kütle oranı. 71
Şekil C.12 : Durum 3 kat 7 duman kütle oranı. 71
Şekil C.13 : Durum 3 kat 6 hız vektörü. 72
Şekil C.14 : Durum 3 kat 7 hız vektörü. 72
Şekil C.15 : Durum 3 kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 73
Şekil C.16 : Durum 3 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 73
Şekil C.17 : Durum 4 kat 6 duman kütle oranı. 74
Şekil C.18 : Durum 4 kat 7 duman kütle oranı. 74
Şekil C.19 : Durum 4 kat 7 hız vektörü. 75
Şekil C.20 : Durum 4 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 75
Şekil C.21 : Durum 4 kat 9 duman kütle oranı. 76
Şekil C.22 : Durum 4 kat 10 duman kütle oranı. 76
Şekil C.23 : Durum 6 kat 6 duman kütle oranı. 77
Şekil C.24 : Durum 6 kat 7 duman kütle oranı. 77
Şekil C.25 : Durum 6 kat 6 hız vektörü. 78
Şekil C.26 : Durum 6 kat 7 hız vektörü. 78
Şekil C.27 : Durum 6 kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 79
Şekil C.28 : Durum 6 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 79

Şekil C.29 : Durum 7 kat 6 duman kütle oranı. 80
Şekil C.30 : Durum 7 kat 7 duman kütle oranı. 80
Şekil C.31 : Durum 7 kat 6 hız vektörü. 81
Şekil C.32 : Durum 7 kat 7 hız vektörü. 81
Şekil C.33 : Durum 7 kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 82
Şekil C.34 : Durum 7 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 82
Şekil C.35 : Durum 8 kat 6 duman kütle oranı. 83
Şekil C.36 : Durum 8 kat 7 duman kütle oranı. 83
Şekil C.37 : Durum 8 kat 6 hız vektörü. 84
Şekil C.38 : Durum 8 kat 7 hız vektörü. 84
Şekil C.39 : Durum 8 kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 85
Şekil C.40 : Durum 8 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü. 85

ATRİUM İÇEREN ÇOK KATLI BİNALARDA DUMAN DAĞILIMININ SAYISAL İNCELENMESİ

ÖZET

Yangınlarda, insan hayatı için en önemli tehlike kaynağının duman olması, günümüzde duman kontrol sistemlerinin gelişmesine, bu konu üzerinde çalışmalar yapılmasına neden olmuştur.

Gelişen yapılanma ile birlikte atrium, alış-veriş merkezi, konferans salonu, sergi salonu, depo, hangar, vb. geniş hacimlerin kullanımı artmış, buna bağlı olarak duman kontrol sistemi gerekliliği doğmuştur. Tasarım kriterleri bina kullanım amacına göre farklılık göstermektedir. Bu tür geniş hacimlerde meydana gelebilecek bir yangın sonucu açığa çıkan duman hareketleri, sonlu hacimler yönteminin esas alındığı bir akış analiz programı kullanılarak incelenebilmektedir.

Günümüzde sıkça kullanılan çok katlı, atrium yapısına sahip binalara örnek bir yapının bir kısmı baz alınarak bir model tasarlanmış ve bu yapıda duman hareketi incelenmiştir. Bina kuyum atölyeleri içermekte ve kullanım amacı nedeniyle yangın için elverişli bir ortam sunmaktadır. Bu tür binalarda doğal havalandırma, mekanik havalandırma veya her ikisi birden kullanılabilmektedir. Yanma sonucu oluşan duman, genel olarak yükselerek atrium kısmında biriktirilip dışarı atılmaktadır. Ele alınan binada atrium üst kısmında doğal havalandırma yapılmadığı, en alt kat ve en üst katlarda egzoz fanları olduğu kabul edilmiştir. Bu tip bir binada yangının kuyum atölyelerinde çıkabileceği düşünülmüş ve bu nedenle 3 farklı kattaki atölyede yangın havuzu oluşturulmuştur. Binada duman egzozuna ve taze hava girişine izin verilen farklı açıklıklar tanımlanmış ve dumanın bina içinde hareketini incelemek için farklı yangın senaryoları oluşturulmuştur. Tasarlanan 2 çözüm senaryosu ile bina içinde, yangın kararlı hale geldiğinde, diğer yangın senaryolarına göre daha düşük duman kütle oranını sağlamak hedeflenmiştir. Bina içindeki duman hareketi, Fluent adlı CFD programı kullanılarak incelenmiştir.

Oluşturulan yangın senaryolarında yangın büyüklüğü sabit olarak alınmıştır. Bununla birlikte; taze hava miktarı, taze havanın sağlandığı yer, duman egzoz fan adeti ve konumu, duman tahliyesine izin verilen açıklıkların adeti ve konumu değişken parametrelerdir.

Yangının en alt kat olarak alınan 5. kat atölyesinde bulunan yangın havuzunda çıkması durumunda 7 adet farklı yangın senaryosu incelenmiştir. 5. kat atrium alt yüzeyi taze hava girişi olarak kabul edilmiştir. Buradan gelen hava debisinin alt katlardaki taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı kadar alındığı durumlar ile hava debisi miktarının serbest bırakıldığı durum karşılaştırıldığında, serbest debili taze hava girişi olmasının bina içindeki duman kütle oranını oldukça düşürdüğü görülmüştür.

NUMERICAL STUDY OF SMOKE DISTRIBUTION IN A HIGHRISE BUILDING WITH ATRIUM

SUMMARY

Since smoke is the most significant threat to human life in fires; today, this has lead to improve of the smoke control systems and studies on the subject.

The smoke and toxic gases that occurs by combustion causes significant part of loss of human lives. Generally, people who are in a burning building don't lost their lives due to a crash caused by the fire or due to direct fire. They lost their lives due to exposed of smoke and toxic gases. Panic and reduced visibility that caused by smoke plays a vital role that increase the danger. With toxic gases there are tear gas and irritant gases in the smoke. These gases extend the length of time exposed to the smoke and the risk of death increases.

In smoke control, fires are investigated in two different cases. Fires, which occur in houses, offices that have small base area and hotel rooms, are investigated as room fires. Add to that fires, occurs in places that have huge base area and volume like malls, atriums, conference halls, exhibition halls, warehouses, aircraft hangars are investigated as large space fires.

The basic logic of the smoke management systems that applied to large volumes is, collecting the smoke in the specific regions with the help of the devices like smoke curtains and smoke booths, then exhausting the smoke from the opening at the top of this collection region with natural or forced convection. The main issue for the smoke control system designer is to determine the flow of the fan used in forced convection or determine the ventilation opening area for natural convection. In both condition, the smoke amount must be known to design the smoke control system. The smoke amount can be calculated by the empirical correlations produced by the experimental studies. Thus the minimum flow rate that must be exhausted can be calculated and this amount can be taken as the flow rate of the fans of mechanical exhausting system.

Atriums and circulation areas are commonly using in malls. These are the discharge ways for people to exit a secured place out of the building. Generally, covered, a few floors or higher gaps are called atrium. Atriums are around by the usage areas. Atriums are connection gaps between the floors therefore it has a serious risk to spread the fire and the smoke

It is very important and critical part to prevent smoke spread over the building and to clean the air from smoke. It effects the life safety, damage to property and easy intervene to fire. On the other hand safe egress time and flashover terms are very important parameters for the fire.

It is technically known that the temperature of the smoke layer must be at least 18 °C higher than the ambient temperature. Otherwise the smoke layer come closer to the floor. Also the temperature gap between the smoke layer and the ambient make it is easy to discharge the smoke. However if the smoke layer temperature is higher than

200°C, the heat radiation becomes very high, it becomes very dangerous for the people who are trying to escape from the fire.

As technological developments in the construction sector gain acceleration, nowadays the high-rise buildings become popular. As a result of this trend, the control volumes of the buildings reach great values and smoke control systems become essential. Atriums, shopping centers, auditoriums, showrooms, warehouses, hangars are the examples for constructions that has necessity for the smoke control systems for different usage purposes. The design criterions of smoke control systems depend on usage purposes. The smoke movements occur during a fire in high-rise buildings can be analyzed by a program, which based on the finite difference volume method.

A construction model designed by taking as an example part of a high-rise building, which contain atrium. In this model, smoke movements are investigated. The building contains jeweler workshops, which have very conducive environment for fire. In such buildings, natural ventilation, mechanical ventilation or both of them can be used. Smoke as a consequence of the fire, rises and is collected at the top of the atrium and exhausted. As a assumption, at the top of the building, there is no natural ventilation and at the top and bottom floors of the building there are exhaust fans available. It is assumed that the fire starts in the workshops. Therefore, the fire pools are placed at the three different floors in the workshops. There are some openings which allow smoke outlet and fresh air inlet are defined. Some fire scenarios are build up to investigate smoke movements. On the other hand two solution scenarios are iterated. It is aimed to obtain with these two solution scenarios lower mass fraction of the smoke than the other solutions when the smoke flow become stable. The smoke movements are analyzed with the CFD programme named Fluent.

The heat release rate is taken constant for the fire scenarios. However, fresh air rate, fresh air opening locations, number of exhaust fans and locations, number of openings and the locations are the variable parameters.

In the case of fire in the atrium, in the corridor that opens to the atrium or workshops the smokes moves in two directions. Mainly, because of the high temperature of the smoke and chimney effect, smoke rises. However if there is unsteady and undirected fresh air inlet, It makes a second direction which is parallel to the surface of the floor. This situation is an undesired phenomenon to have second movement direction. When the smoke reach to the places which are far away from the fire by the horizontal movement, it becomes dangerous for the people.

In case of fire start at the workshop which is placed at the fifth floor of the building which is assumed bottom floor of the model, 7 different scenarios are investigated. 5. floor, bottom surface of the atrium is assumed as the fresh air inlet. There are two situation for the fresh air flow rate. In the first situation, the fresh air flow rate is equal to sum of the flow rates of fresh air vents at below the fifth floor. In the second situation there is no restriction for the fresh air flow rates. If these two situations are compared, it can be seen that in the second situation mass fraction of the smoke is lower than first situation.

Smoke source is the workshop which is in the below floor for all the reference cases and third case. In the reference cases, smoke movement can be investigated and minimum air inlet is provided, discharge of the smoke is allowed. In the lowest part

of the atrium, there is an air inlet, which carries equal air to the air carried by the all culverts up to the fifth floor. It is assumed that there is no fresh air inlet in the fort he modeled floors. Smoke is exhausted by the two discharge fans, which are placed in the fifth floor and top floor. In addition to these fans, in the third case, smoke is sucked by two linear discharge fans, which are placed in the fifth floor of the atrium. Case 7 and case 8 are the solution for the fire situation in the multi storey building which has a atrium is investigated. As a result of these investigations low smoke mass ratios are obtained. The combustion phenomenon and the wind pressure are neglected.

In the scenarios which are for the fire situations on the 5. floor, smoke-mass ratios are investigated for the 6. and 10. floors. It is assumpted that the air is a mixture which has %21 oxygen. Therefore the oxygen amount on the 6. and 10. floors are calculated and compared to requirements for the health conditions. Aim of this calculations is to decide whether oxygen amount is critical or not.

It is advised in this thesis that for the similar buildings different fire size scenarios should be investigated. It can provide useful information for the different situations.

1. GİRİŞ

Yangınlarda can kayıplarının önemli bir bölümü yanma sonucu oluşan duman ve zehirli gazlardan kaynaklanmaktadır. Yanan bir yapı içinde bulunan insanların, direk yangın ya da yangından kaynaklanan bir çökme nedeniyle değil de, maruz kaldıkları duman ve zehirli gazlar dolayısıyla hayatlarını kaybettikleri görülmüştür. Dumanın neden olduğu panik ve azalan görüş mesafesi yangınlarda hayati tehlikeyi arttırıcı rol oynamaktadır. Duman içinde zehirli gazların yanı sıra göz yaşartıcı, tahriş edici gazlar da bulunmaktadır. Bu gazlar da dumana maruz kalınan süreyi uzatmakta ve ölüm riskini artırmaktadır.

Duman can güvenliği ile birlikte, mal güvenliğini de tehdit etmekte ve çok kısa sürede büyük maddi zararlara neden olmaktadır. Yanıcı maddenin yanma özelliklerine bağlı olarak, hızla bulunduğu hacmi dolduran duman, sıcaklığı artırmakta, görüş mesafesini azaltmakta ve yangın söndürme çalışmalarında müdahale güçlüğüne neden olmaktadır.

Yangında temel prensip duman üretimine izin verilmemesi olmalıdır. Yangının neden olduğu can ve mal kayıplarının azaltılması için ilk olarak tasarım aşamasında önlem almak gereklidir. Kullanılacak yapı elemanları ve her türlü malzemenin yanma özelliği göz önüne alınarak tasarım yapılmalıdır. Mümkün olduğu yerlerde duman üretmeyen malzemeler kullanılmalıdır. Bu tip malzemelerin kullanılamadığı durumlarda ise hızlı ve etkili söndürme sistemlerinden yararlanılır. Duman üretimi azaltılsa ve etkili söndürme sistemi oluşturulsa dahi duman kontrolünün gerekliliği söz konusudur. Otomatik yağmurlama sistemi gibi sıcaklık kontrollü söndürme sistemi devreye girinceye kadar dumanın her tarafı kaplaması sık rastlanan bir durumdur. Bu nedenle, yangında oluşan ısıya ve dumana maruz kalan kişilerin zarar görmeden güvenli bir şekilde tahliye edilmesi, yangının yayılarak daha fazla maddi zarara neden olmaması için duman kontrolüne ihtiyaç duyulmaktadır. Duman kontrolünde yangınlar iki ayrı durumda incelenir: Konutlar, taban alanı küçük ofisler, otel odalarında çıkan yangınlar, küçük hacim yangınları(room fires) olarak incelenmektedir.

Büyük alışveriş merkezleri, atrium, konferans salonu, sergi salonu, depo, uçak hangarı gibi taban alanı büyük ve yüksek hacimlerde çıkan yangınlar ise geniş hacim yangınları (Large space fires) olarak incelenmektedir.

Duman kontrolü konusu çeşitli çözüm yöntemleri sunmaktadır. Hacmin bölmelere ayrılması, dumanın seyreltilmesi, ortama taze hava beslenmesi, basınçlandırma ve sıcak gazların tahliyesi bunlara örnek verilebilir. Binanın mimari özellikleri ve kullanım amacına bağlı olarak bu yöntemlerden bazılarını söz konusu binada kullanmak mümkün olmayabilir.

Esas amacı can güvenliğini sağlamak olan duman kontrolü sistemlerinde sık kullanılan bir yöntem basınçlandırma yöntemidir. Bu yöntemle yangın çıkan binaya ait, kaçış için kullanılan merdiven yuvaları ve acil durum asansör kuyusu gibi mekânlara duman girişi engellenmektedir. Bunun için korunan bölgelerde pozitif basınç yaratılmaktadır. Komşu hacimlerden duman girişini engellemek için kullanılan bu yöntem komşu hacim ve atrium arasındaki açıklığın büyük olması durumunda sonuç vermemektedir. Çünkü dumanın atrium içerisine girişini önleyebilmek için sıcak gazların sıcaklığına bağlı olarak 0.5 m/s ile 4.0 m/s arasında hava hızına gerek duyulur. Ayrıca bu hızı sağlayabilecek basınç farkını yaratacak fanın debisi çok büyük olmalıdır.

Geniş hacimlerde uygulanan duman kontrolü sistemlerinde temel mantık; dumanı, duman bölmeleri ve duman perdeleri gibi önlemlerle belirli bir bölgede biriktirmek, daha sonra dumanı, bu bölgenin üst kısmında bırakılacak bir açıklıktan doğal ya da zorlanmış taşınımla tahliye etmektir. Burada duman kontrolüyle ilgilenen tasarımcı için en büyük zorluk, zorlanmış taşınımla duman tahliyesinde, dumanın biriktiği bölgenin üst noktasına yerleştirilecek fanın debisi ya da doğal taşınım ile tahliye yapılacaksa, yine üst noktada bırakılması gereken havalandırma açıklığının alanını belirlemektir. Her iki durumda da tasarım yapabilmek için, açığa çıkan duman miktarının bilinmesi gerekmektedir. Açığa çıkan duman miktarı, konuyla ilgili deneysel çalışmalardan elde edilen ampirik bağıntılarla hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla tavandan tahliye edilmesi gereken en düşük debi miktarı hesaplanabilmekte ve bu değer, mekanik yöntemle duman tahliyesinde fanın debisi olarak alınmaktadır. Geniş hacim olarak sınıflandırılan atriumlar genel olarak üstü kapalı, etrafı kullanım alanlarına açık birkaç kat ve daha yüksek boşluklar olarak bilinmektedir. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik' te, iki veya

daha çok sayıda katın içine açıldığı, merdiven yuvası, asansör kuyusu, yürüyen merdiven boşluğu veya su, elektrik, havalandırma, iklimlendirme ve haberleşme gibi tesisatın içinde yer aldığı, tesisat bacaları ve şaftlar hariç olmak üzere, üstü kapalı geniş ve yüksek yapılar, atriumlu yapı olarak tarif edilmekte ve atrium alanının hiçbir noktada 90 m²'den ve karşılıklı iki kenarı arasındaki mesafenin 5 m' den az olamayacağı, atriumlarda doğal veya mekanik olarak duman kontrolü yapılacağı belirtilmektedir.

Bu çalışmada örnek bir geniş hacim ele alınarak bir yangın senaryosu kurgulanmaktadır. Ele alınan geniş hacim atriumlu yapıda olup yaklaşık aynı boyutlarda olan komşu hacimler, atrium ve komşu hacimler arasında kalan dolaşım mekanları, koridorlar ve en üst katında geniş bir restoran kısmı içermektedir. Bu bina, dumanın yayılabileceği alanların geniş olması, yangın yükünün büyük olması ve yapı içindeki insan sayısının, yangının çıktığı zamana bağlı olarak fazla olma ihtimalinin nedeniyle yangın riski büyük bir binadır. Bu tip binalarda meydana gelen yangınlarda duman kısa sürede bütün hacmi dolduracağından müdahale güçleşir, yangın kontrolsüz şekilde büyür ve hasar miktarı fazla olur.

Ele alınan binanın atrium kısmında, koridorlara açılan atölyelerde ya da atriuma açılan koridorlarda yangın çıkması durumunda, oluşan duman bir taraftan sıcaklığı ve baca etkisi ile yükselirken diğer taraftan da açıklıklardan gelen düzensiz ve yönlendirilmemiş taze hava nedeniyle yatay olarak yayılır. Bu istenmeyen bir durum olup, önlenmediği takdirde yangının çıktığı alana uzak bölgelerdeki insanların da kısa sürede dumana maruz kalmasına neden olabilmektedir.

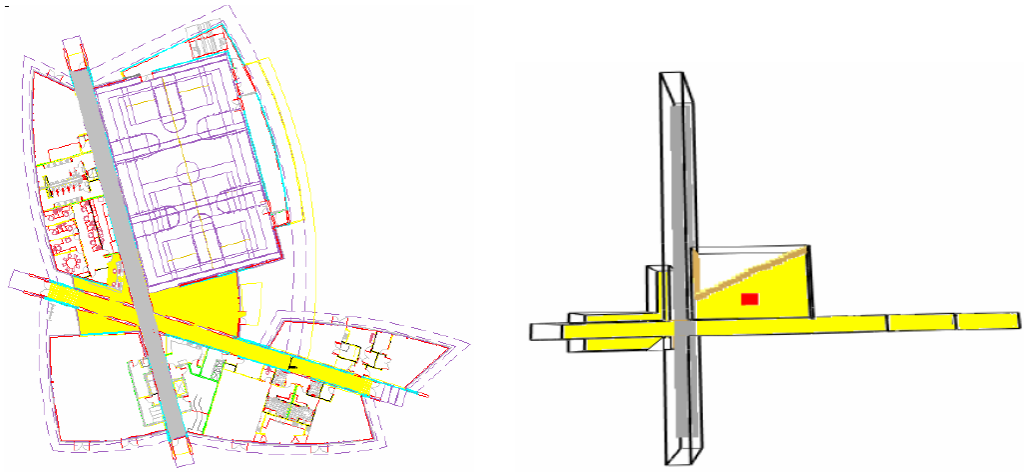
1.1. Tezin Amacı

Günümüzde farklı amaçlarla kullanılan çok katlı, atrium yapısına sahip binalar model alınarak bir bina tasarlanmıştır. Tasarlanan bu binada, farklı yangın senaryoları oluşturulmuş ve bina içindeki duman kütle oranları incelenmiştir. Oluşturulan çözüm senaryoları ile elde edilen duman kütle oranlarının düşürülmesi amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

George Hadjisophocleous, Yoon J. Ko, yaptıkları çalışmada kompleks bir binada, hesaplanabilir akışkanlar dinamiği (CFD) modeli kullanılan bir duman tahliye

sisteminin etkinliğini açıklamışlardır. Bir CFD modeli olan FDS (yangın dinamiği simülatörü) kullanılmıştır. Şekil 1.1' de görülen binadaki yangın simülasyonu için lobide çıkması beklenen bir yangının yangın yükünün belirlenmesinde bir tasarlanmış yangın (design fire) seçilmiştir. Lobideki yangının merkezinden olan duman hareketi ve bağlantılı koridorlardaki duman hareketleri simüle edilmiştir ve sonuçları sunulmuştur. Çalışmada 50m uzunluğunda 9.8m yüksekliğinde doğu-batı yönünde uzanan ve yangının çıktığı lobi ile bağlantılı olan bir koridor ile 60m uzunluğunda 5m yüksekliğinde, üst kat ile bağlantılı, kuzey- güney yönünde uzanan bir koridor kullanılmıştır.

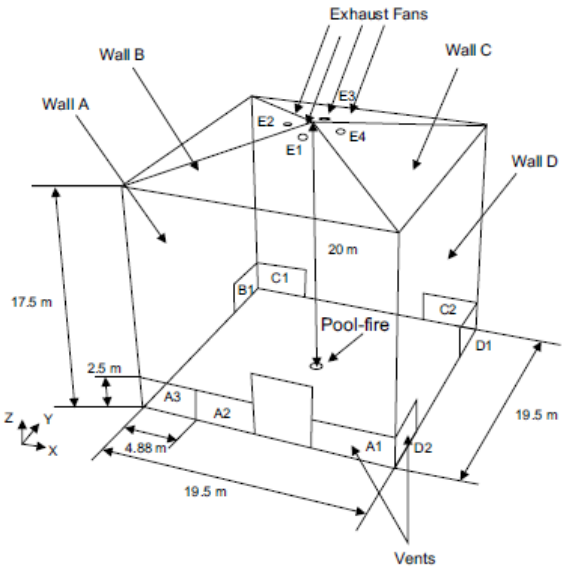


Şekil 1.1: Bina geometrisi ve modelde kullanılan kat planı.

Binanın diğer kısımlarının duman yalıtımlı olduğu ve sonuçlara herhangi bir etkisinin olmadığı varsayılmıştır. Yangının çıktığı lobi için 0.25m grid ölçüsü koridorlar için 0.5m grid ölçüsü kullanılmıştır. 3.5 MW' lık bir yangın yükü belirlenmiştir. Programda, farklı fan boyutları ve konumları için yapılan koşturmalarda sıcaklık, hız, CO konsantrasyonu ve görebilirlik değerleri, tahliye sisteminin koridorlarda uygun şartları sağlayıp sağlamadığını görmek için izlenmiştir.

Sonuçlar, planlanan duman tahliye sisteminin koridorlarda uygun koşulları sağladığını ve insanların güvenli tahliyesi için yeterli olduğunu göstermiştir. CO konsantrasyonunun çok düşük seviyelerde kaldığı ve koridorlardaki insanlar için bir tehdit oluşturmadığı görülmüştür. Sıcaklığın, lobi çıkışı hariç, koridorlarda düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir. [1] Ca´ndido Gutie´rrez-Montes, Sanmiguel-Rojas,E., Viedma,A., Rein,G., yaptıkları çalışmada, Şekil 1.2' de görülen 20m^3

hacimli kapalı bir alanda 1.3 ve 2.3 MW' lık yangınların nümerik modellemesini yapmış ve deneysel verileri belirlemişlerdir.



Şekil 1.2: Murcia test düzeneği planı ve ölçüleri.

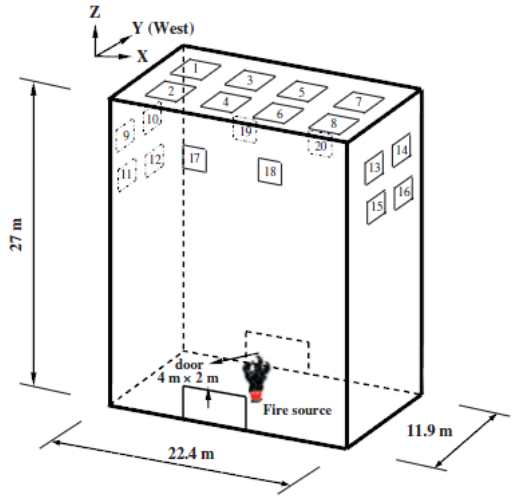
Gaz ve duvar sıcaklıkları, tahliye fanlarından olan basınç düşümleri ve girişlerdeki hava akışları kaydedilmiştir. Çalışma ayrıca mekanik tahliye sisteminin etkilerini de içermektedir. Deneysel sonuçlar CFD modeli olan FDS ile karşılaştırılmıştır. Üç farklı test uygulanmıştır. Birinci testte; 0.92m çapında yangın havuzu kullanılmış ve 1.32 MW yangın yükü sağlanmıştır. Çatıdaki iki fan aktif diğer ikisi kapalı durumdadır. Çalışmayan fanlar doğal havalandırma açıklığı olarak kullanılmaktadır. İkinci testte; test 1'deki fanlar aynı konumda olup farklı olarak 1.17 m çapında yangın havuzu kullanılmış ve 2.28 MW yangın yükü sağlanmıştır. Test 3'te ise 1.17 m çapında yangın havuzu kullanılmış, 2.34 MW yangın yükü elde edilmiştir. Tüm fanlar kapalı konumda olup, sadece doğal havalandırma göz önünde bulundurulmuştur.

Sonuçlar duman sütunundan uzak bölgelerde karşılaştırılan değerlerin yakın olduğunu ancak duman sütununa ve aleve yakın yerlerde hassasiyetin azaldığını göstermektedir. Yapılan üç testten birincisinde 1.32 MW, ikincisinde 2.28 MW yangın yükü ve mekanik ve doğal havalandırma birlikte kullanılmıştır. Üçüncü testte ise 2.34 MW yangın yükü ve sadece doğal havalandırma kullanılmıştır.

Aynı yangın gücünde, doğal ve mekanik havalandırmanın birlikte kullanıldığı ve sadece doğal havalandırmanın kullanıldığı testlerin karşılaştırmaları, mekanik havalandırmanın çatıdaki duman sıcaklığı artışında küçük bir değişikliğe (%19 daha

düşük sıcaklık) neden olduğunu, aynı zamanda çöken duman tabakası hızında %40 azalmaya yol açtığı görülmüştür. [2]

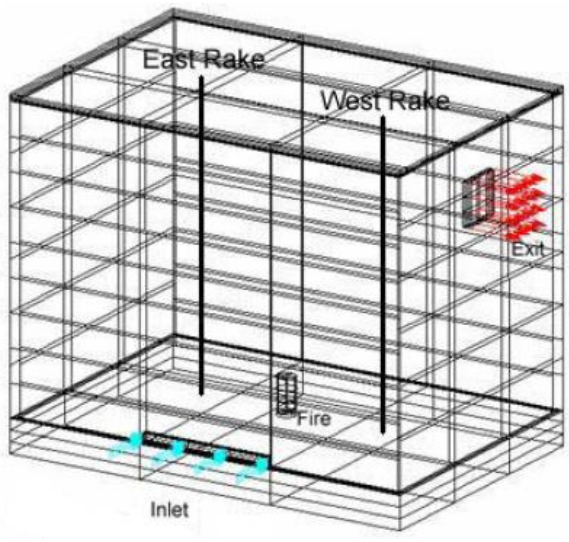
T.X. Qina, Y.C. Guoa, C.K. Chanb, W.Y. Lina yaptıkları çalışmada, belirlenen bir yangın senaryosu altında, Şekil 1.3' te görülen atriumda farklı duman tahliye sistemleri için duman yayılımını incelemişlerdir. Bunun için FDS kullanılmıştır. İlk olarak yüksek ve düşük ısı yayılım oranlarındaki atrium yangın deneyleri verileri karşılaştırılmış ve atriumdaki duman hareketi için tanımlanmış uygun grid sistemi, model sabitleri Cs ve Prt belirlenmiştir. Yangın senaryosunda 2m x 2m boyutlarında, 1 MW/m2 yangın yükü olan yanma havuzu kullanılmıştır. 12 adet 1.2x 1.2 m boyutlarında pencere duvarlarda, 8 adet 1.2x 1.2 m boyutlarında doğal havalandırma açıklığı çatıda konumlandırılmıştır. Simülasyon sonuçlarının deney veriler ile uyumlu olduğu görülmüştür. Daha sonra atriumda 12 farklı duman tahliye metodları üzerine çalışılmıştır.



Şekil 1.3: Atriumun şematik gösterimi.

Simülasyon sonuçları duman tahliye sisteminin tavanda konumlandırıldığı durumlarda doğal duman tahliyesinin tercih edildiğini göstermektedir. Diğer taraftan, duman tahliyelerinin duvarda olduğu durumlarda, konumlarının daha yüksekte olması ile daha iyi sonuç alındığı görülmüştür. Yangın kaynağı konumunun duman dağılımı sürecine etkisinin belirlenmesi için üç farklı konum üzerinde çalışılmıştır, yangın konumları; merkezi, duvar kenarı ve köşe olarak alınmıştır. Bu durumda tüm pencereler açık ve iki kapı da kapalı durumdadır. Sonuçlar yangının atrium köşesinde olması durumunda daha yavaş hareket ettiğini, ısı yayılım değerlerinin üç konum için de çok yakın olduğunu ve 80 sn. sonrasında stabil olduğunu göstermektedir. [3]

Bart Mercia, Karim Van Maeleb yaptıkları çalışmada, Şekil 1.4' te görülen 3x 3.6x 2.3 m boyutlarında küçük bir odanın yangın testleri sonuçlarının nümerik simülasyonu üzerinde çalışmışlardır. 330, 440 ve 550 kW yangın gücü, 0.3x0.3m ve 0.6x0.6m yangın kaynağı alanları 1.45x 1, 0.75x1 ve 0.5x1m boyutlarında çatıda konumlandırılmış havalandırma açıklıkları belirlenmiştir. Zon model hesaplamaları ve alan model simülasyonları göz önünde bulundurulmuştur. Farklı konfigürasyonlar için ortalama sıcaklık profilleri ve sıcaklık değişimleri raporlanmıştır. Duman derinliği her durum için tanımlanmıştır.



Şekil 1.4: Test odası şematiği.

CFD simülasyonları deney sonuçları ile uyumluluk göstermiştir. Yangın ısı yayılım oranı değeri, sıcak duman tabakası ortalama sıcaklığının yükselmesinde yangın kaynağı alanı ve çatı açıklıklarının yanında daha büyük bir etkiye sahiptir. Ortalama sıcaklıktan hesaplanan duman tabakası kalınlığı, yangın ısı yayılım değerinden çok az etkilenmektedir. Duman tabakası kalınlığına en büyük etki yangın kaynağı alanına bağlıdır. [4]

Yunlong Liu, Alfred Moser ve Yehuda Sinai yaptıkları çalışmada, yangın modelini tasarlamak için CFD yazılım paketi olan CFX kullanmışlardır. Test için 6m uzunluğunda 4m genişliğinde 4.5m yüksekliğinde, zeminden 3.6 m. yukarıda 0.65mx0.65m açıklığı bulunan bir oda ile çalışılmıştır. Temiz hava girişi için olan açıklık ise zeminden 0.1 m. yukarıda, 0.5x 0.12 m. boyutlarındadır. Dış ortam sıcaklığı 20 C° olarak alınmıştır. Sabit hacimsel ısı yayılımı olan basit bir yangın modellenmiş, kimyasal yanmaların, alev sıçramalarının ve flashover olayının olmadığı, duvarların yanıcı olmadığı kabul edilmiştir.

k– ε modelin ve Shear Stress Transport (SST) hibrid türbülans modelin yangından kaynaklanan akış ve ısı transferi öngörümü için uygun olduğu açıklanmıştır. Hesaplama sonuçları, Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) gaz sıcaklığı sonuçları ile karşılaştırıldığında 20 C° kadar hatalıdır. Termal ışınımın ısı transferinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Yangının hassas bir şekilde simülasyonu için matematik modelin ısı transferini içermesi gerektiği belirlenmiştir. Yangının ürettiği ısının yaklaşık %70'i duvar, tavan ve zeminde biriktiği, kalan kısım ise çıkış gazları ile dışarı atıldığı görülmüştür. Duvar içindeki sıcaklığın, iç kısımdaki gaz sıcaklığından çok daha düşük olduğu, odanın üst kısımdaki sıcaklığının ise alt kısımdaki sıcaklıktan 100 C° kadar daha sıcak olduğu belirlenmiştir. [5]

Hao- wei Yao ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada geniş hacimli bir yangın test odası kullanarak yaptıkları deneyler ve bilgisayar simülasyonlarını karşılaştırmışlardır. Geniş hacimlerde tahliye edilecek duman miktarının tanımlanması için iki temel yöntem bulunmaktadır.

Birincisi, hava değişimi metodudur. Çin' de yürürlükte olan," Yüksek binaların yangından korunma dizaynı" standardına göre dizayn koşulları açısından 3 durum bulunmaktadır. Mekanik tahliye sistemi üzerine olan ilk seçenek 12 m.' den yüksek atriumlarda mekanik tahliye sistemi kullanılmalı şeklindedir. atriumların hacimsel duman tahliyesi, hava değişikliği olarak tanımlanmaktadır. 17000 m^3' ten küçük hacimdeki atriumlarda saatte 6 hava değişimi, 17000 m^3' ten büyük hacimdeki atriumlarda ise saatte 4 hava değişimi yapılmalıdır.

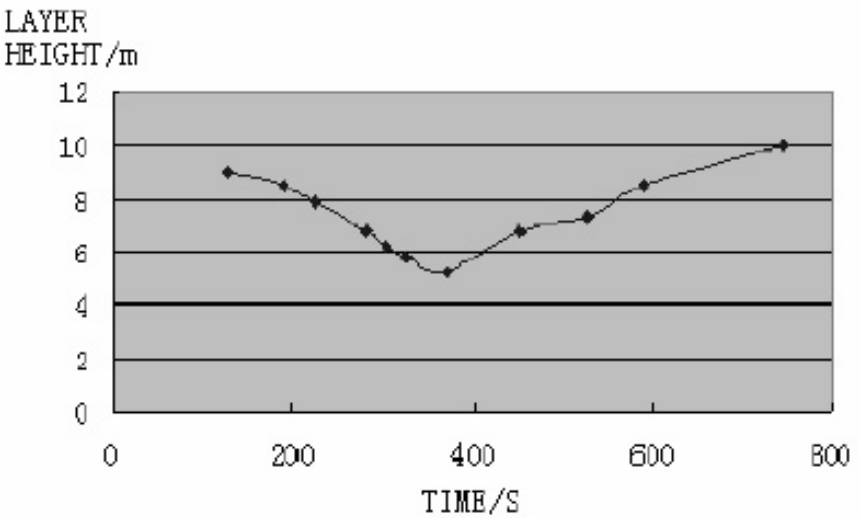
İkinci metod ise "plume" akış metodudur. NFPA 92B' de geniş hacimler için duman miktarı tanımlanmıştır. Duman miktarı kütlesel debi hesabının formülü Denklem 1.1' de şu şekilde verilmiştir:

$$m_p = 0.071 Q_c^{1/3} z^{5/3} + 0.0018 Q_c \qquad \textbf{(1.1)}$$

Q_c ;konvektif yangın gücü, genel değeri 0.7Q (kW), z; yakıt yüzeyinden duman tabakası alt kısmına kadar olan yükseklik (m) (bu değerin minimum temiz hava yüksekliğinden büyük olması gerekmektedir), m_p; duman kütlesel debisi (kg/s).

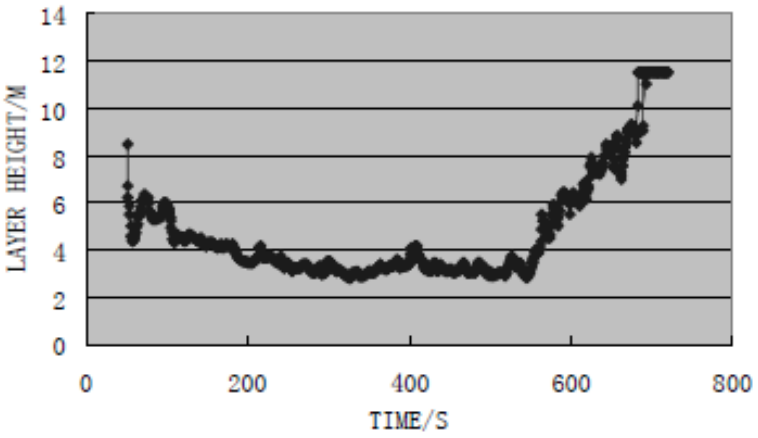
Yangın büyüklüğü 1 MW alınmış ve tahliye fanları 370. saniyeden deney sonuna kadar çalıştırılmıştır. Şekil 1.5' te görüldüğü gibi duman tabakası yüksekliği yaklaşık olarak 110.s' de 9 m. mertebelerindeyken 370.s civarında 5 metreye kadar inerek

tehlikeli hale gelmiştir. 370. Saniyede tahliye fanlarının açılması ile birlikte azalarak 10 m.' ye kadar gerilemiştir.



Şekil 1.5: Deneylerdeki duman tabakasının zamanla değişimi.

Deneylerle karşılaştırmak amacıyla yapılan bilgisayar simülasyonunda Şekil 1.6' da görüldüğü gibi 370. saniyede tahliye fanlarının devreye girmesi deneylerde olduğu kadar hızlı bir etki göstermemiştir.



Şekil 1.6: Simülasyondaki duman tabakasının zamanla değişimi.

Karşılaştırmalı deneyler ve bilgisayar simülasyonu sonuçları gösteriyor ki duman tabakası yüksekliği temel olarak aynı şekilde değişmektedir. Geniş alan yangınlarının FDS simülasyonunun mümkün olduğu görülmekte, simülasyonun inanılabilirliği için doğru ısı gücü ve havalandırma seçiminin zorunlu olduğu belirtilmiştir.[6]

W.K. Chow ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, 27.6 m. uzunluğunda, 18.1 m. genişliğinde, 30.6 m. yüksekliğinde dış boyutlara (iç boyutlar 22.4m, 11.9m., 27m) sahip bir yapıyı yangın deneyi için kullanmışlardır. Çalışmanın ilk aşamasında

atrium zeminindeki dizel havuz yangınından kaynaklanan atriumda duman dolumu üzerine deneysel çalışılmıştır. Yangın havuzu çapının 0.6 ve 1.0 m olduğu, yangın büyüklüğünün ise 650 kW' a kadar değiştiği 40 duman testi yapılmıştır. Yangın çok küçük olduğu için atrium havasındaki sıcaklık artışı çok az olmuştur. 1.2 m yangın havuzu çapı ile yapılan deneylerde de sıcaklık artışının çok az olduğu görülmüştür. 2m x 2m boyutlarındaki yangın havuzu ve 1.6 MW yangın büyüklüğü ile yapılan 5 test sonucu sunulmuştur. Yangınların ısı gücü kullanılan yakıtın kütlesinin, kütle ölçüm sistemi ile belirlenmesiyle tahmin iletilmiştir. Kullanılan yakıt olan dizelin yanma ısısı 42000 kJ/ kg olarak alınmıştır. Yangın gücünün (Q (kW)) başlangıçta düzensiz t^2 yangınına çok yakın olduğu, t_s' zamanından sonra düzenli hale geldiği görülmüştür. Denklem 1.2' de t, t_s ilişkisine göre yangın gücünün nasıl hesaplandığı verilmiştir. t; zamanı (s), t_s; t^2 yangınından düzenli yangına geçiş süresini (s) ifade etmektedir.

$$Q = \begin{cases} \alpha t^2 & t < t_s \\ Q_0 & t \geq t_s \end{cases} \qquad \textbf{(1.2)}$$

Burada α büyüme faktörü, Q_0 ise düzenli yangındaki ısı gücüdür. Denklem 1.3' te t_s' nin düzenli yangındaki ısı gücüne ve büyüme faktörüne bağlı formülü verilmiştir.

$$t_s = \left(\frac{Q_0}{\alpha}\right)^{1/2} \qquad \textbf{(1.3)}$$

t^2 yangınları zamanın karesi ile orantılı olarak büyümektedir. Bu şekilde, yangın büyümesi büyüme faktörüne göre; yavaş, orta, hızlı ve çok hızlı olarak sınıflandırılabilir.

Maksimum duman sıcaklığı yükselmesi, T_{max}, 24 C°' e kadar olmuştur. Daha önce yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan duman tabakası ara yüzeyi denklemleri ile yapılan karşılaştırmalar mantıklı sonuçlar vermiştir. [7]

J.S. Rho ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, yangın kaynağı içeren üç çeşit atriumda zon modeli ve alan modeli olmak üzere iki çeşit yangın modeli kullanarak simülasyon yapmışlardır. Simülasyonda kullanılan zon model "Bina ve Yangın Araştırma Laboratuarları" tarafından geliştirilen CFAST (versiyon 3.1)' dir. Özellikle atriumlardaki duman hareketi ve sıcaklık dağılımı üzerine çalışılmıştır. Kullanılan iki

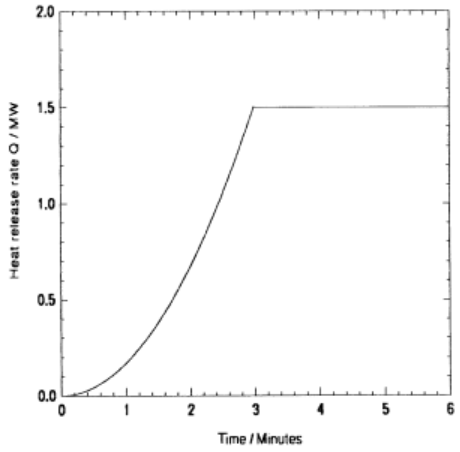
yangın modelinin duman tabakası sıcaklığı ve duman tabakası ara yüzeyi yüksekliği için benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kullanılan üç tip geniş hacim 16.000 m^3 hacimli ve 5 m x 3 m açıklığı bulunan yapılardır. kullanılan yangın kaynağı boyutu aynı olup, 3 m x 3 m' dir ve yapının ortasında konumlandırılmıştır. yangın kaynağının neden olduğu akış, türbülanslı akıştır. Çünkü sıcak gaz ve ortam havasının yoğunluk farkının neden olduğu atalet kuvvetleri, vizkoz kuvvetlerden daha büyüktür. Bu çalışmada, standart k- ε türbülans modeli kullanılmıştır. Geniş hacimlerin boyutları, 25.2 m x 25.2 m x 25.2 m, 20 m x 40 m x 20 m, 20 m x 20 m x 40 m (en, boy, yükseklik)' dir.

Başlangıç sıcaklık ve basıncı 293 K ve 101,325 Pa. alınmıştır. Yangının ısı yükünün Q (W) zamanın karesi ile orantılı olarak arttığı;

$$Q = 47t^2 \qquad \textbf{(1.4)}$$

ve 178.6 s sonra, 1.5 MW' ta sabit kaldığı gözlenmiştir. Isı yükünün zamana bağlı değişimi Şekil 1.7' de görülmektedir.



Şekil 1.7: Yangın ısı yükünün zamanla değişimi.

1s 'lik zaman adımı kullanılmış ve insanların atriumdan güvenli tahliyesi göz önüne alınarak 5 dakikaya kadar zaman diliminde çalışılmıştır.

Alan modeli; duman sütunu, duman sütunu- tavan etkileşimi, tavan jeti- duvar etkileşimi gibi daha detaylı bilgi vermektedir. CFAST tarafından öngörülen duman tabakası sıcaklığı ve temiz hava yüksekliği sonuçları, kullanılan alan modeli ile çok benzer sonuçlar vermiştir. Alan modelinin, duman tabakası sıcaklığını ve duman tabakası ara yüzeyi yüksekliğini vermek için duman konsantrasyonu denklemini

çözerek duman hareketini tanımladığı düşünülebilir. Kullanılan üç tip geniş alan için, duman tabakası ara yüzeyi yüksekliği, yangın başlamasından 5 dakika sonra yaklaşık olarak 5 m.' dir. Bu nedenle, bu üç tip geniş alanda güvenli tahliye için gerekli süre 5 dakikadır. [8]

2. DUMAN KONTROLÜ

Bu bölümde dumanın tanımı yapılarak; genel özellikleri, insan sağlığı üzerindeki etkileri, yangın durumunda açığa çıkan duman miktarı ve duman hareketine yön veren kuvvetlerden bahsedilmiştir. Ayrıca açığa çıkan duman miktarını belirleyen, yangın modeli ve yangın büyüklüğü konuları ele alınmıştır.

2.1. Genel

Yangında oluşan duman, canlı hayatı için potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır. İstatistiki çalışmalarda; ölümlerin % 90'ından fazlasına dumanın neden olduğu görülmüştür. Dumanın iki önemli özelliği; yanma sonucu toksik ürünler içermesi ve görüşü zorlaştırmasıdır. Bu iki özellik genel olarak birbiri ile ilişkilidir. Yoğun duman genelde önemli derecede toksiktir ve görüşü büyük ölçüde engeller.

Kapalı hacimler yapılırken, yangın anında insanların yapıdan güvenli bir şekilde tahliye edilebilmesi, söndürme ekiplerinin yangına müdahale edebileceği görüşün sağlanması için bir tasarım şartı oluşturulur. Bu doğrultuda, tavanda biriken dumanın, geniş hacmin tavanından itibaren belirli bir derinliğin altına inmemesi, böylece temiz bir alt bölge oluşturulması amaçlanmaktadır. Örneğin duman tabakası altından tahliye edilen insanların dumandan etkilenmemesi için duman alt tabakasının zeminden yüksekliği en az 2.5 m olmalıdır. Burada amaç, insanların binayı temiz ve solunabilir hava içerisinde terk etmelerini sağlamaktır. Temiz hava tabakasının muhafaza edilebilmesi aynı zamanda yangına mücadele ekipleri için de gereklidir.

Yangınlarda ölüm ve yaralanmaların büyük çoğunluğu, katlar arasına ve merdiven boşluğuna dolan duman nedeniyle olduğu bilinmektedir. Yangın sırasında oluşan duman, deride ve solunum sisteminde ağır hasar meydana getirmekte ve yoğun dumanda insanlar yollarını kaybetmekte, paniğe kapılmaktadır. Çevredeki eşyaların yanması, karbon monoksit ve diğer zehirli gaz konsantrasyonunu artırmakta ve buna bağlı zehirlenmeler görülmektedir.

Alışveriş merkezlerinde çok sık rastlanan atrium mekanları ve dolaşım yolları bina dışında emniyetli bir alana çıkan insanlar için tahliye yollarıdır. Genel olarak üstü kapalı, etrafı kullanım alanlarına açık birkaç kat ve daha yüksek boşluklar, atrium olarak isimlendirilmektedir. Atriumların yarattığı en büyük risk, katları birbirine bağlayan boşluk olmasında yatmaktadır.[11]

Duman yayılmasının önlenmesi ve hacimlerin dumandan arındırılması; can güvenliği bakımından, diğer bölümlere dumanın verdiği maddi zararın azaltılması ve yangına kolay müdahale edilebilmesi bakımından yangın güvenliğinin en başta gelen önlemlerindendir. Bu noktada can güvenliği açısından güvenli kaçış süresi (safe egress time) ve tüm parlama (flashover) önem kazanmaktadır.

Duman tabakasının çökmemesi için duman tabakasının kabul edilebilir en düşük sıcaklığı ortam sıcaklığından en az 18°C daha fazla olmalıdır. Bu sayede duman zemine çökmeden yukarı doğru yükselmekte ve tahliye edilmektedir. Diğer taraftan sıcaklığı 200°C' den daha yüksek olan bir duman tabakasından yayılan ısıl radyasyon, duman tabakasının altından kaçmaya çalışan bina sakinleri için ciddi boyutlarda rahatsızlığa yol açabilir.

Yangında en büyük risklerden biri yüksek sıcaklıklara çıkılması nedeni ile tüm parlama (flash over) olayının gerçekleşmesidir. Duman tabakası kalınlığının da bu riski artıracak yönde etkisi bulunmaktadır. Sıcak duman gazları ışınım yoluyla, hacim içinde sıcaklığın yükselmesine ve belirli bir noktada, tüm yanıcıların aynı anda alev almasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle dumanın tahliye edilmesi parlama olayını da engellemektedir.

2.2. Dumanın Tanımı ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Duman, bir malzemenin pirolizi ya da yanması sırasında, havada uçuşabilen katı, sıvı ve gaz tanecikler ile dışarıdan taze hava katılımıyla (air entrainment) oluşan karışımdır.[9]

Duman içeriğindeki zehirli maddeler ve uyuşturucu gazlar ile insan hayatını doğrudan tehdit etmekte, bünyesindeki diğer katı ve sıvı tanecikler de göz, solunum yolları gibi organlara zarar vermektedir. Duman sebebiyle oluşan panik ve görüş mesafesinin azalmasıyla birlikte, dumana maruz kalınan süre uzamakta ve özellikle yüksek binalarda hayati tehlike artmaktadır.

Dumanın yapısında tehlike arz eden maddeler iki grupta toplanabilmektedir:

- Zehirleyici gazlar: Bu gazlar insan hayatını doğrudan tehdit etmektedir. Ortamda zehirli gaz konsantrasyonunun belirli bir değeri aşması ve bu havanın belirli bir süre teneffüs edilmesi, can kaybına neden olabilmektedir.
- Katı, sıvı tanecikler: Dumanın yapısında havada uçuşabilen mikron mertebelerinde büyüklüklere sahip katı ve sıvı tanecikler bulunmaktadır. Bu maddeler görüş kabiliyetini azaltarak zehirli gazlara maruz kalınan süreyi artırmakta ve dolaylı yoldan tehlikeye yol açmaktadır.

Duman içindeki bazı gaz ve buhar tanecikleri, yangını haber verici renk, koku gibi olumlu özelliklere sahip olmalarına rağmen,oluşan yoğun duman ve yüksek sıcaklık gözlere, deriye ve solunum sistemine zarar verme gibi etkilerle paniğe yol açarak kaçış süresinin uzamasına neden olmaktadır.

Fizyolojik olarak ortam sıcaklığındaki artış, kan veya vücut ısısının artmasına, deri dokusunda, veya solunum sisteminde yanıklara sebep olabilmektedir. Nem ve sıcaklık yüzde deri yanmalarına sebep olacak kadar yüksek değilse; solunum sisteminde yanmalar görülmemektedir. Yüksek sıcaklıktaki nemli hava ya da buharın solunum sisteminde yanmalara sebep olabilmesi için 100 °C civarında olması yeterlidir. Sıcaklığı 300 °C olan kuru hava, gırtlakta birkaç dakika sonra yanmaya sebep olmaktadır. Pratikte solunarak içeri çekilen tahriş edici duman ve zehirli gazlar 30 dakika içinde öldürücü etki göstermektedir.

Yanma ürünleri genellikle partiküller, yanmamış yakacaklar, su buharı, karbondioksit ve karbonmonoksit ile diğer zehirleyici ve korozif gazları içerir. Yanma malzemeleri hidrojen, doğalgaz, alkol gibi hiç parçalanmayan veya az parçalanan ürünler üretmeleri durumunda görülmeyen duman oluşur. Bazı malzemeler alevsiz yandıkları halde çok yoğun duman çıkarmalarına karşılık, bazıları da bunu ancak alevle yandıkları sırada duman çıkarırlar. Çevredeki eşyaların yanması, karbonmonoksit ve diğer zehirli gaz konsantrasyonunu artırmakta ve buna bağlı zehirlenmeler görülmektedir.

CO gibi gazlar beyne oksijen akışını engellemektedir. Zor şartlarda faaliyete geçerek beyin fonksiyonlarının işlevinin devamını sağlamayan insan vücudundaki bazı destek mekanizmaları,. CO gibi etmenlerin etkisiyle beyne normal çalışması için destek sağlayamadığı durumlarda, çöküş çok ani olmakta ve kişi etkilendiğini hissetse de

hareket edememektedir. Ortamdaki CO ve HCN miktarı kadar, bu gazlara maruz kalınan süre de zehirlenmenin derecesi açısından önemlidir. HCl ve NO gazlar da sınır değerlerin üzerinde hayati tehlike arz etmekle birlikte, solunum yollarını da tahriş etmektedir. Tüm bu gazların oluşumu yanıcı malzemelerin özelliklerine bağlı olmaktadır [10].

Oksijen azlığı gaz zehirlenmesinde özel bir durumdur. Oksijen seviyesi yaklaşık % 10'a düştüğünde solumada güçlüklerin oluştuğu görülmektedir. Yangın sırasında sadece oksijen seviyesi azalmamakta, karbondioksit, karbonmonoksit ve diğer zehirli gazların etkisi artmaktadır. Kurum parçacıkları üzerinde bulunan maddeler ve katı aerosoller de zehirlenmeye yol açmaktadır. Tahriş edici maddeler yakıcı olup, insan vücudunun yüzeyindeki mukozaya zarar vermektedir. Asit kloridrik, asit fluorik, sülfür dioksit gibi tahriş edici maddeler suda erime yeteneğine sahiptirler ve nefes borusunun üst kısmına hücum ederler. Halojenler (flor, klor, brom), ozon, triklorik fosfor, mentaklorik fosfor, fosgen, nitrik oksit, nitrojen tetroksit gibi gazlar suyun içinde kolay erimemekte, fakat nefes borusunun içine girebilmektedir. Yangınlarda, karbonmonoksit kokusuz olduğundan fark edilmez, fakat diğer gazlar kokuları nedeniyle fark edilebilir. Kokusuz olması ve fark edilmemesi nedeniyle, karbonmonoksit gazı zehirlenmelerine daha çok rastlanılır. Yangınlardaki ölüm sebepleri incelendiğinde toplam ölümlerin yaklaşık % 50'sinin karbonmonoksit zehirlenmesinden olduğu tespit edilmiştir. Diğer yarısı doğrudan yanma, artan basınç ve çeşitli zehirli gazlardan kaynaklanmaktadır. [12] Çizelge 2.1' de bazı zehirli gazların insan sağlığı için tehlike sınırları verilmiştir.

Duman içerisinde boğucu gazlar da bulunmaktadır. Başta karbondioksit olmak üzere hidrojen siyentik, anilin, nitrobenzen, sodyum nitrat ve hidrojen sülfat gibi gazlar solunduğu zaman boğucu etki yaratmaktadır.

Dumanın içinde bulunan hava haricindeki katı, sıvı ve gazların kütlesel oranının belirlenmesi mümkün olamamaktadır. Ancak bu oranın küçük olduğu bilinmektedir. Şöyle ki; optik özellikler dışında duman ile havanın aynı termofiziksel özelliklere sahip olduğu kabul edilmektedir.

Yüksek sıcaklığın sağlık üzerindeki olumsuz etkileri şöyle sıralanabilmektedir:

- Sıcak nesnelere kısa süreli temas nedeni ile deride oluşan yanıklar,

- Bağıl nem miktarına da bağlı olarak yüksek sıcaklıktaki havanın, belirli bir süre solunması nedeni ile solunum yollarının tahriş olması ve kalıcı ödem oluşumu

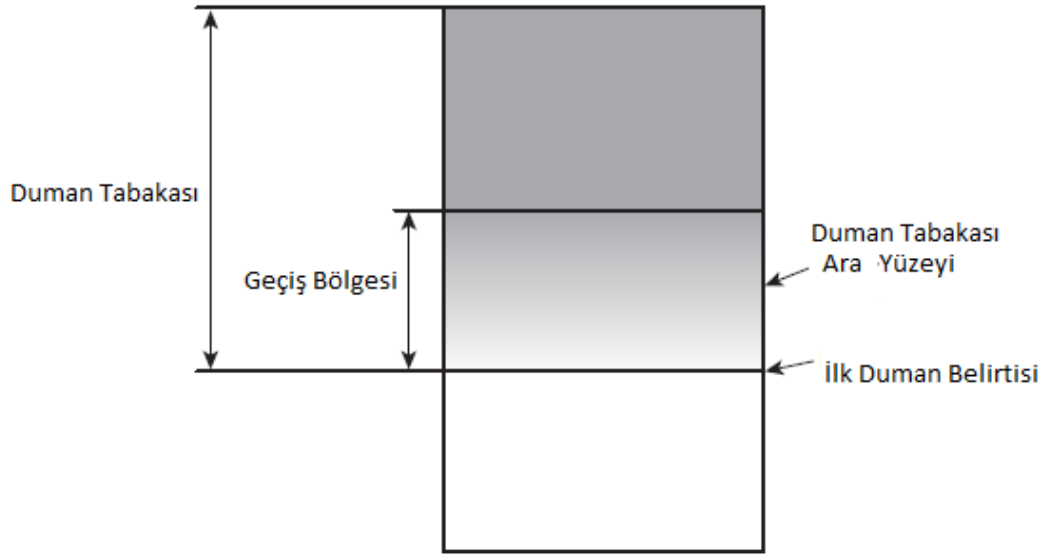
Çizelge 2.1: Bazı zehirli gazların tehlike sınırları.

Zehirli Gazlar	**Tehlike Sınırı (ppm)**
Karbon monoksit	50-100
Formaldehit	2
Formikasit	5
Metil Alkol	200
Asetik asit	10
Hidrojen klorür	5
Hidrojen siyanür	10
Azot oksitler	5
Kükürt dioksit	5
Kükürtlü oksijen	10
NH3	25

Duman ihtiva eden atmosferin fiziksel özellikleri normal atmosferin fiziksel özellikleri ile benzerlik gösterir. Ana birleşen her ikisinde de nitrojendir. Oksijen ve karbondioksit atmosferin fiziksel özelliklerinde önemli bir değişim yaratmadan normal değerlerden %10 mertebelerinde farklılık gösterebilmektedir. Duman konsantrasyonu, çok düşük görüş durumunda bile, atmosferin hareketini etkileyecek karakteristiğini değiştirmek için yeterli değildir. Bu nedenle dumanın bina içinde hava hareketini izleyeceği kabul edilebilir [10].

2.3. Açığa Çıkan Duman Miktarı

Yangında oluşan duman tabakası kalınlığının tam olarak belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Bunun nedeni Şekil 2.1' de görüldüğü gibi, hacmin üst kısmında yer alan duman tabakası ile alttaki temiz bölgenin birbirinden keskin sınırlarla ayrılmamasıdır. Bu çalışmada, duman tabakası kalınlığının belirlenmesinde kütlesel oranların dağılımından yararlanılmıştır. Bunun için ele alınan geniş hacmin zeminine paralel olarak alınan çeşitli kesitlerde, dumanın kütlesel oranı, sayısal değer olarak elde edilmiştir. Ayrıca cepheden ve yandan alınan çeşitli kesitlerde, dumanın kütlesel oranı için eş yükseklik eğrileri (contours) incelenmektedir. Sayısal çözüm sonuçları da Şekil 2.1' dekine benzer bir dağılım göstermektedir.

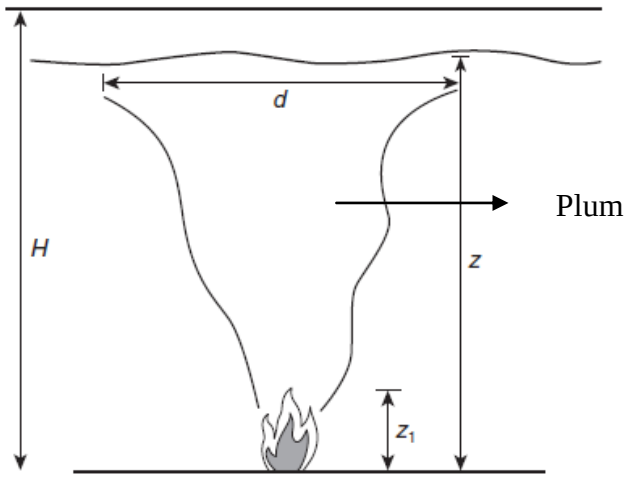


Şekil 2.1: Duman dağılımı.

Yanma nedeniyle oluşan ve yukarı doğru bir kolon şekli alan duman "plum" olarak adlandırılmaktadır. Duman sütunu 3 başlık altında incelenebilir.[9]

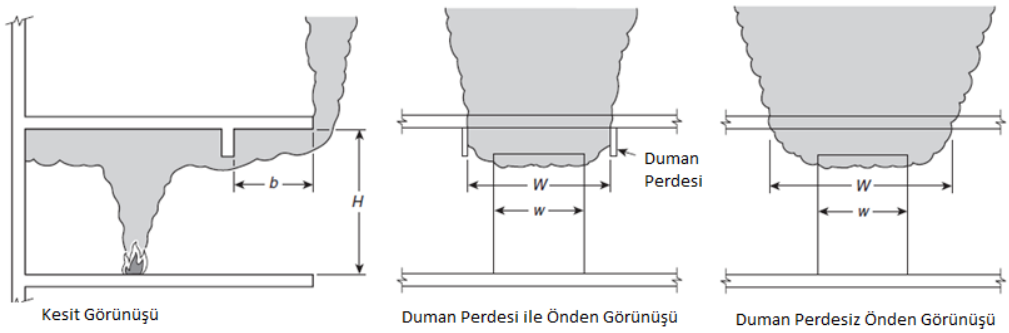
Asimetrik Duman Sütunu: Yangın üzerinde yükselen ve duvarlarla ya da herhangi bir engelle temas etmeyen, hava akımıyla sapmayan ve ya bozulmayan plumdur. Asimetrik plum sadece yuvarlak şekilde oluşan yangınlarda görülmesine karşı diğer şekillerde oluşan yangınlar için de kullanılabilir. Yangının en büyük boyutu, plum yüksekliğinden çok küçük ise, plum kütle akışı ve sıcaklığı, asimetrik plumdaki bu özelliklere yakınsayabilir. Asimetrik bir plumun atriumun merkezinde, duvarlardan uzak bir şekilde oluşması beklenir. Bu durumda, hava, plum duman tabakasına

katılıncaya kadar, Şekil 2.2' de görüldüğü gibi tüm plum yüksekliği boyunca her yönden pluma giriş yapabilmektedir.



Şekil 2.2: Asimetrik plum.

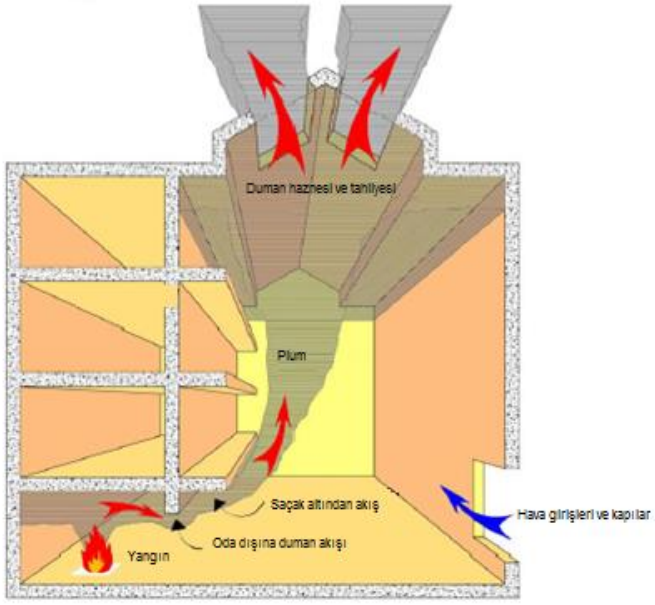
Balkon Plumu (Balcony Spill Plume): Bir kompartımanda başlayan, antreden çıkarak balkonun alt kısmından süzülen, balkon kenarını geçtikten sonra yukarı doğru hareket eden plumdur. Bu tip duman akışının meydana geldiği kompartımandaki kesit görünüşü ve duman perdesinin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlardaki önden görünüş Şekil 2.3' te görülmektedir.



Şekil 2.3: Balkon plumu.

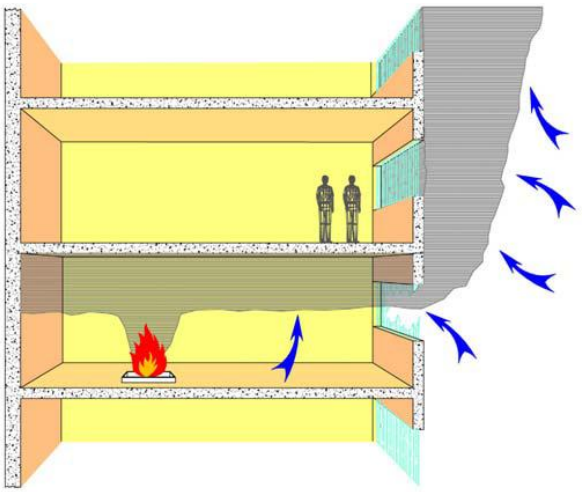
Yangın atriumda mağaza, ofis gibi yerlerde meydana geldiğinde sıcak gazlardan oluşan duman tabakası Şekil 2.3’ te görüldüğü gibi yangının olduğu yerde düşey olarak hareket eder. Bu tabaka daha sonra yayılır ve atriuma açılan açıklığa doğru dağılır. Eğer dumanı yangının çıktığı odaya hapsedecek duman kontrol önlemleri yok ise duman açıklıktan dışarı doğru hareket eder. Eğer kompartman çıkışında bir balkon var ise Şekil 2.4' teki gibi duman balkonun altından yatay halde süzülerek hareket eder. Daha sonra balkon kenarında duman akışının yönü değişir. Bu bölge

'dönüş', 'rotasyon' bölgesi olarak bilinir. Düşey olarak harekete başlayan duman bir plum şeklinde içine hava çekerek atrium boşluğunda yükselir [9].



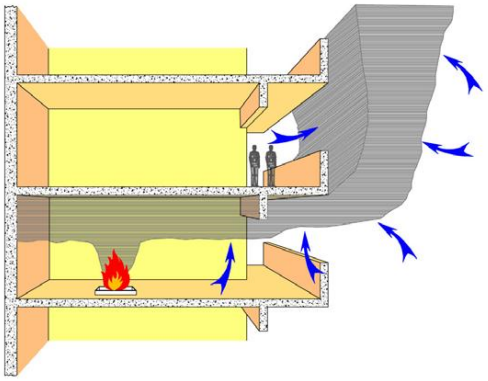
Şekil 2.4: Duman plumu.

Duman plumunun bu şekli 'spill' yada 'line' olarak adlandırılır. 'Line' terimi dönüş bölgesinden hemen sonra nispeten uzun ve dar olan kısımda kullanılır. Spill plum iki grupta incelenebilir: Bitişik (tek taraflı) ve serbest (çift taraflı) spill plum. Şekil 2.5' te görüldüğü gibi bitişik spill plum durumunda kompartman içindeki duman açıklıktan dışarı yayılır ve balkon kenarında akış yönünü değiştirir. Duman yükseldikçe sonradan gelen plum açıklığın düşey yüzeyine katılır. Plum düşey olarak yükseldikçe tek taraftan hava girişi olur. Bu nedenle tek taraflı spill plum da denmektedir.



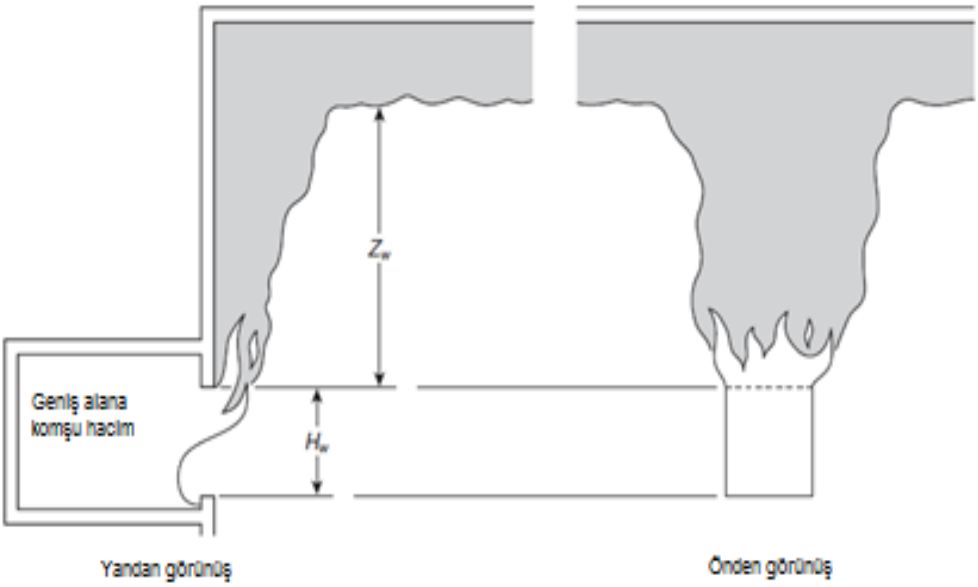
Şekil 2.5: Bitişik (tek taraflı) plum.

Şekil 2.6' da görüldüğü gibi serbest spill plum durumunda duman tabakası kompartman açıklığından dışarı doğru akış yapar ve balkon gibi yatay bir bölgeden geçer. Daha sonra balkon kenarında yön değiştirerek yukarı doğru hareket etmeye başlar. Duman yükseldikçe pluma iki taraftan da hava girişi olur. Bu nedenle çift taraflı spill plum da denir.



Şekil 2.6: Serbest (çift taraflı) plum.

Pencere Plumu : Bitişik kompartıman kapıları veya pencereleri gibi duvar açıklıklarından geniş hacimli açık alana tahliye olan plum, pencere plumu olarak adlandırılır. Pencere plumu genel olarak, bitişik kompartımanda tüm parlama olayı görüldükten sonra oluşur. Şekil 2.7' de geniş alana komşu bir hacimde çıkan yangındaki pencere plumu görülmektedir.



Şekil 2.7: Pencere plumu.

Geniş hacimlerde duman kontrol sistemi tasarımı, dumanın belirli bir kritik yüksekliğin altına inmemesi sağlanarak gerçekleştirilmektedir. Bunun için sıcak duman gazları, tavanda bırakılan bir açıklıktan doğal havalandırma ile ya da bir fanın kullanıldığı mekanik yöntemlerle tahliye edilmektedir . Duman kontrol sistemi tasarımı açısından duman tabakasının altında temiz bir alt bölge sağlanması için, tavandaki açıklıktan tahliye edilmesi gereken duman miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Yangında açığa çıkan duman miktarının belirlenmesinde model deneyleri esas alınmaktadır. NFPA 92B'de, Şekil 2.2' de gösterildiği gibi alev bölgesine her yönden serbestçe hava girişinin olduğu bir yangında (asimetrik plum) açığa çıkan duman miktarı, yangın tabanından duman tabakası ara yüzeyine kadar olan uzaklığın sınırlayıcı yükseklikten fazla olduğu durumda Denklem 2.1' deki şekilde hesaplanmaktadır. Yangın tabanından duman tabakası ara yüzeyine kadar olan uzaklığın sınırlayıcı yüksekliğe eşit yada az olduğu durumda Denklem 2.2' deki gibi, sınırlayıcı yükseklik ise Denklem 2.3' deki formül ile hesaplanmaktadır.

$$z > z_t \quad m = \left(0{,}071 Q_c^{1/3} z^{5/3}\right) + 0{,}0018 Q_c \qquad \textbf{(2.1)}$$

$$z \leq z_t \quad m = 0{,}032 Q_c^{3/5} z \qquad \textbf{(2.2)}$$

$$z_t = 0{,}166 Q_c^{2/5} \qquad \textbf{(2.3)}$$

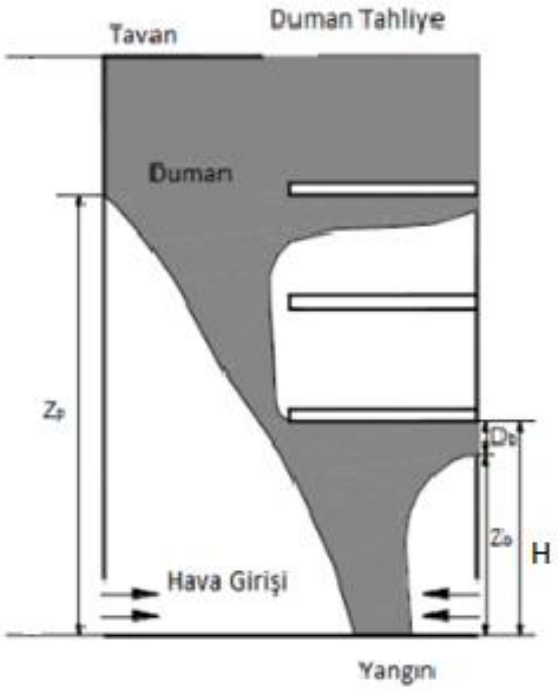
m; plumda z yüksekliğinde kütlesel akış miktarı (kg/sec), z_t ; sınırlayıcı yükseklik (m) , z; yangın tabanından duman tabakası ara yüzeyine kadar olan uzaklık (m), Qc ; yangın gücü (kW)dür.

Ortam havasındaki sıcaklık yükselmesinin 2,2 ºC' den az olduğu durumlarda kullanılamayan bu denklemlerde konvektif ısı yayılımı Denklem 2.4' teki gibi hesaplanabilmektedir;

$$Q_c = \chi \, Q \qquad \textbf{(2.4)}$$

χ , konvektif kesir katsayısıdır ve deneysel verilere dayanarak aksi belirtilmedikçe 0,7 gibi bir değer kullanılabilmektedir. Denklemdeki Q ise yangın gücü (kW)dür. Yangının, Şekil 2.8' de gösterildiği gibi bir kompartmanda başlayarak belirli bir mesafe kat ettikten sonra üst balkonun alt kısmından atrium boşluğuna yayılan bir

yangın olması (Balkon plumu) ve zb yüksekliğinin 15 m.' den küçük olması durumunda açığa çıkan duman miktarı Denklem 2.5’ teki şekilde hesaplanmaktadır.



Şekil 2.8: Balkon plumu [13].

$$m = 0.36(QW^2)^{1/3}(z_b + 0.25H) \quad \textbf{(2.5)}$$

Q; yangın gücü (kW), W; balkon altından yayılan duman genişliği (m), H; yangın tabanından itibaren balkon yüksekliği (m), z_b, temiz alt bölge yüksekliği (m), m ; plumdaki kütlesel akış miktarı (kg/sec)dır.

Ortam havasındaki sıcaklık yükselmesinin 2,2 ºC az olduğu durumlarda kullanılamayan bu denklemdeki W, Denklem 2.6’ daki gibi hesaplanmaktadır.

$$W = w + b \quad \textbf{(2.6)}$$

w; yangının çıktığı alandaki açıklık genişliği (m), b; açıklık ile balkon kenarı arasındaki uzaklık (m) olarak ifade edilmektedir.

Bu çalışmada, incelenen örnek geniş hacimde meydana gelebilecek yangınlar için kullanılan yangın havuzları atölyelerde bulunduğundan ve atriumlu yapıda dolaşım alanları olarak kullanılan balkonlar bulunmasından dolayı, oluşabilecek duman akışı "Balkon plumu" duman akışına benzerlik gösterecektir. Bu nedenle Denklem 2.5 kullanılabilir. Denklem 2.5’te, açığa çıkan duman miktarının, yangın büyüklüğünün

yanında duman tabakası ile alev bölgesi arasındaki temiz hava tabakası kalınlığına da (clear height) bağlı olduğu görülmektedir.

2.4. Duman Hareketlerine Yön Veren Kuvvetler

Duman, yüksek binalarda, alçak binalarda olduğundan çok farklı şekilde hareket edebilmektedir. Yüksekliği az olan binalarda, sıcaklık, konvektif hareket, yangın basıncı gibi yangına etki eden etmenler duman hareketine neden olan ana faktörler olabilirler. Duman tahliyesi ve havalandırma uygulamaları dumanın hareketini etkiler. Yüksek binalarda aynı etkenler, bina içinde,iç ve dış havanın sıcaklık ve yoğunluk farkından dolayı oluşan doğal hava hareketi olan "baca etkisi" (stack effect) ile daha karmaşık hale gelir. Baca etkisi, duman hareketinde ve bu hareketle mücadele için belirlenen bina tasarım parametrelerinde önemli bir rol oynamaktadır. [14]

Duman hareketine etki eden başlıca etmenler; sıcak gazların kaldırma kuvveti, baca etkisi, yanma sonu gazlarının genişlemesi, rüzgar basıncı ve bina içindeki hava hareketleri olarak sıralanabilir. Dumanın hareketi bir akış ve ısı- kütle geçişi problemi şeklinde ele alınmaktadır. Ancak duman akışı problemi, konunun “Duman Kontrolü” adlı ayrı bir başlık altında incelenmesine neden olan bazı özelliklere sahip olmaktadır. Bunların başında duman akışına yön veren basınç farklarının, diğer problemlerde karşılaşılanlara göre çok küçük olmasıdır. Öyle ki, birkaç Pascal basınç farkı bile akışın önemli ölçüde etkilenmesine sebep olabilmektedir.

2.4.1. Açıklıklarda meydana gelen akış

Çevresindeki basınç farkı ile birlikte çatlak, delik ya da diğer açıklıklarda akış yüksek basınçtan alçak basınca doğru olmaktadır. Bu tür akışları tanımlamak için genel olarak "orifis eşitliği" denilen Denklem 2.7 kullanılır.

$$V = CA\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \qquad \textbf{(2.7)}$$

V; açıklıktan olan volumetrik akış değeri (m3/s), C; boyutsuz akış katsayısı, A; akış alanı (açıklık alanı)(m2), ΔP; açıklığın iki tarafı arasındaki basınç farkı (Pa), ρ; açıklıktaki gaz yoğunluğu (kg/m3)dur.

Yapısal açıklıklar ve kapılardan meydana gelen akışta boyutsuz katsayı genel olarak 0,6 ve 0,7 arasında değişmektedir. Standart olarak hava yoğunluğu ρ= 1,20 kg/m3 ve C= 0,65 için Denklem 2.7, Denklem 2.8 şeklinde alınabilir. [14]

$$V = 0{,}839A\sqrt{\Delta P} \quad \textbf{(2.8)}$$

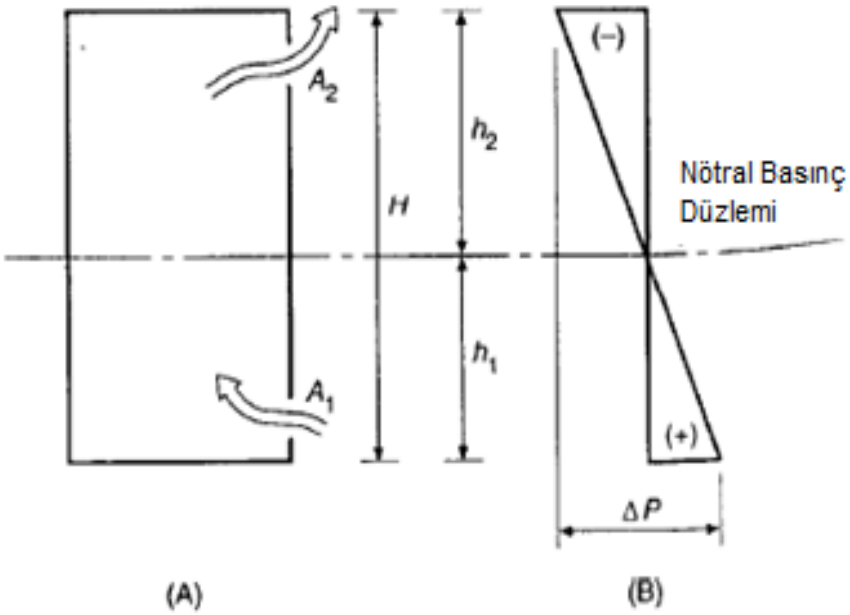
Yapılan çalışmalarda tavanda yatay bir açıklığın bulunması durumunda, açıklık ile dış ortam arasındaki akışın iki yönlü olması durumu ele alınmıştır [15]. Açıklığın iki tarafı arasındaki basınç farkının kritik bir değerden küçük olması halinde, hacmin içine doğru geri akış meydana gelebilmektedir. Geri akış oluşmasının nedeni, iç ortamın yeterince sıcak olmaması nedeniyle, çekişin yetersiz kalmasıdır. Dolayısıyla iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı azaldıkça, geri akış meydana gelmesi ihtimali de artmaktadır. Tavandan içeri taze hava girişi, duman tabakası oluşumunu etkileyerek, temiz bir alt bölge oluşumunu engellediği için istenmeyen bir durumdur. Bunu önlemek için, bir miktar duman birikip basınç ve sıcaklık kritik değerlerin üzerine çıktıktan sonra, havalandırma açıklıklarının açık konuma gelmesi sağlanmaktadır.

Özellikle yüksek yapılarda, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı, dolayısıyla yoğunluk farkı, yüksekliğe göre değişen bir basınç farkı yaratmaktadır.

2.4.2. Baca etkisi

Normal koşullarda baca etkisi, bina içindeki doğal hava hareketinin ana nedeni olarak gösterilmektedir. Yangın esnasında, yüksek katlı binalarda dumanın ve zehirli gazların geniş bir yelpazede yayılmasının sebebi baca etkisi olmaktadır. Baca etkisinin büyüklüğü binanın yüksekliğine, dış duvarların hava geçirgenliğine, bina tabanındaki hava sızıntılarına ve binanın iç ve dış ortamı arasındaki sıcaklığının bir fonksiyonudur.

Bina içi ve dışı arasında oluşan basınç farkı, hacmin alt kısımlarında bina içine, üst kısımlarında ise bina dışına doğru bir hava akışına sebep olmaktadır. İç ve dış ortam basınçlarının eşit olduğu bir yükseklikte hava akışı gerçekleşmemektedir ve bu noktada alınan yatay kesit "Nötral Basınç Düzlemi" olarak adlandırılmakta ve Şekil 2.9' daki gibi konumlanmaktadır. Baca etkisi olarak bilinen bu olay, yangın sırasında, sıcak gazların kaldırma kuvveti için de geçerli olup her iki durumda, iç ve dış ortam arasındaki basınç farkı aynı bağıntıyla ifade edilmektedir.



Şekil 2.9: Basınçtan kaynaklanan hava akışı (A) ve nötral basınç düzleminin konumu (B).

Ancak duman hareketi problemlerinde sıcak gazların kaldırma kuvvetinin yarattığı basınç farkı, baca etkisinin yarattığı basınç farkından çok daha büyük olduğundan, duman kontrol sistemi tasarımında öncelikle göz önüne alınır. Denklem 2.9 yangın sırasında sıcak gazların kaldırma kuvveti nedeniyle oluşan basınç farkını hesaplamada kullanılmaktadır.

$$\Delta P = \rho_i g(z - z_n)\frac{T_i - T_d}{T_d} \qquad \textbf{(2.9)}$$

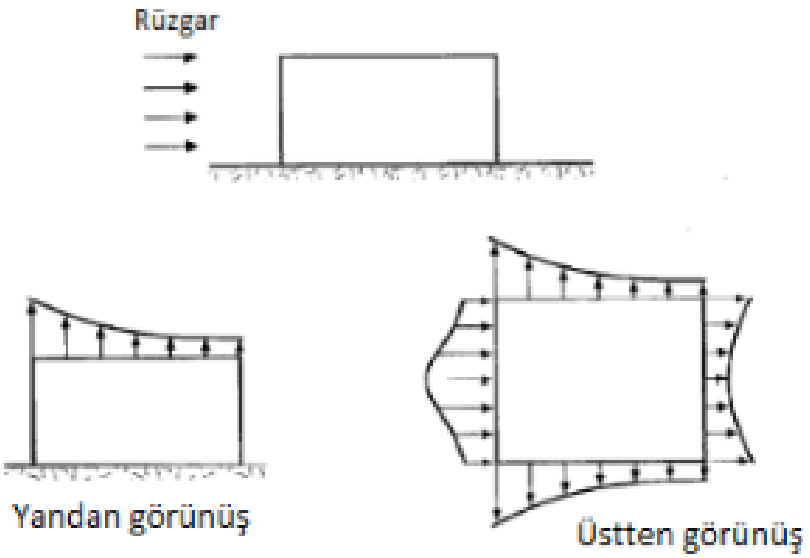
ΔP, ρ, g, z ve T ise sırasıyla; basınç farkı, yoğunluk, yerçekimi ivmesi, yükseklik ve sıcaklık değişkenlerine karşılık gelmektedir. n, i ve d indisleri ise sırasıyla nötr düzlem, iç ortam ve dış ortamı belirtmektedir. Herhangi bir yükseklikte iç ve dış ortam arasındaki basınç farkını bulmak için nötral düzlemin konumunun bilinmesi gerekmektedir. Ancak Şekil 2.9'da verilen ΔP değerinin bulunması için bu bilgiye gerek kalmamaktadır.

2.4.3. Rüzgar etkisi

Rüzgar, duman hareketine etki eden bir diğer faktördür. Alçak ve yüksek binalarda rüzgar etkisi bir miktar farklılık göstermektedir. Şekil 2.10' da binanın dört yanındaki ve çatısındaki hava basınç dağılımı görülmektedir. Üstten görünüşte gösterildiği gibi rüzgara karşı olan duvarda içe doğru bir basınç varken, rüzgar

yönündeki duvar ve yan duvarlarda dışa doğru bir basınç veya emiş söz konusudur. Düz çatı kısmında, rüzgara karşı olan kenarda oluşan maksimum değer kadar, dışa doğru bir basınç meydana gelir.

Bu basınçlar bir miktar havanın binanın etrafında ve üzerinde hareketi ile oluşmaktadır. Alçak, geniş bir bina havanın hacimsel olarak büyük bir kısmının çatı üzerinden, buna bağlı olarak da az bir kısmının yan taraflardan geçmesine neden olacaktır. Diğer taraftan; yüksek, dar bir bina, havanın hacimsel olarak büyük bir kısmının bina etrafında en az dirençle karşılaşacağı en kısa yolu takip etmesine dolayısıyla üst kısımda minimum hareketine yol açar.



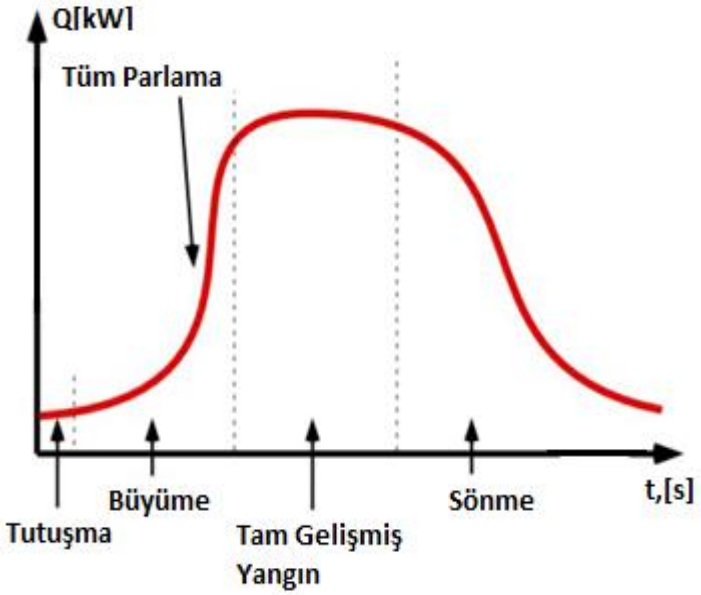
Şekil 2.10: Bina çatısında ve yan taraflardaki hava basınç dağılımı.

Bu hareketlerin hızı temel olarak bina üzerindeki basıncın miktarını ve yönünü belirleyen faktördür. Rüzgar hızı ve yönü yapı üzerinde ve etrafında değişkenlik gösterir. En önemli etkiler:

- Rüzgar hızı: Rüzgar hızı arttıkça, diğer iki etken daha fazla etkilenmektedir.
- Yer etkisi: Yapının veya zeminin olağandışı düzenlemelerinden etkilenmediği sürece, zemin üzerindeki hava hareketi ile meydana gelen sürtünme ve türbülans yer seviyesinde minimum hava hızına neden olmakta ve hız yüksekliğin artması ile artmaktadır.
- Yapılar: Binalar ve diğer insan yapımı yada ağaçlar gibi doğal yapılar, rüzgar yönünün artmasına, azalmasına veya değişmesine neden olan mevziisel etkiler doğurmaktadır.

2.5. Yangının Evreleri

Kompartıman yangın evreleri Şekil 2.11' de görüldüğü gibi 4 aşamadan oluşmaktadır: Tutuşma, büyüme, tam gelişmiş yangın ve sönme. Tüm parlama (Flashover), bir yangın evresi olmayıp büyüme ve tam gelişmiş yangın evreleri arasında hızlı bir geçiştir. Ortam sıcaklığının artması engellenemediği takdirde, ani bir sıcaklık ve basınç artışı olarak meydana gelmektedir.



Şekil 2.11: Yangın evreleri.

Bu çalışmada tam gelişmiş yangın modeli kullanılarak hava hızı, duman kütle oranları ve duman yoğunluğunun insan sağlığı açısından tehlike sınırları içerisinde olup olmadığı incelenmiştir.

2.5.1. Tam gelişmiş yangın modeli

Tam gelişmiş yangın modelinde ısı gücünün, tutuşmadan itibaren maksimum yangın büyüklüğü değerinde ve sabit olduğu kabul edilmektedir. Bu kabul;

- Tutuşma ve büyüme süresinin çok kısa olduğu sıvı yangınlarında,
- Sprinkler sisteminin faaliyete geçmesinden sonra açığa çıkan ısının sabit kaldığı durumda,
- Yanıcılardan birinin sönüp diğerinin yanmaya başladığı ve böylece yangın büyüklüğünün sabit kaldığı kabul edilen

yangınlarda geçerli olabilmektedir. Bu çalışmada atriumlu yapıda meydana gelen yangın senaryolarında tam gelişmiş yangın modeli kullanılmaktadır.

2.6. Yangın Tipleri

Bir yangın tarafından üretilen duman miktarının ve açığa çıkan ısı miktarının hesaplanması birim alan veya yangın mahallinin tamamının alan ve çevresel olarak büyüklüğünün ve ısı akısının bilinmesini gerektirir. Bunun yanı sıra yangınları zamana bağlı olarak büyüme (düzensiz yangın) ve açığa çıkan ısı miktarının sabit olduğu (düzenli yangın) durum olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür.

2.6.1. Düzenli yangınlar

Düzenli yangınlar, açığa çıkan ısı miktarının sabit olduğu yangınlardır. Düzenli yangınlarda yangın, belirli bir değere kadar hızlı bir şekilde büyür daha sonraki büyüme ise yangını kontrol eden faktörlere ve diğer yanıcı maddelere olan mesafeye bağlı olarak değişir. Atriumlarda, alış veriş merkezlerinde ve diğer geniş mahallerdeki yangınlar genellikle oksijen kontrollü değildirler. Büyük mahallerde havanın bol olması sebebiyle, yangın boyutu sınırlandırılamaz. Bununla birlikte, bu gibi yangınların boyutu yanıcı maddelerin mevcudiyeti ile sınırlıdır. Büyük mahallerdeki yangınlar genellikle çok sayıda yanıcı madde içermektedir. Bu yangınlarda açığa çıkan ısı miktarı yaklaşık olarak her bir yanıcı maddenin açığa çıkardıkları ısı miktarlarının toplamıdır. Atriumlar için yangın büyüklüğü hakkında farklı görüşler bulunmaktadır. Bunlardan birisi, en az yangın büyüklüğü 4.6 MW olmak üzere atrium alanı için 500 kW/m2 değeri kullanılır. NFPA 92B de ise minimum yangın büyüklüğü 1.1 MW olarak önerilir. Bu öneriler, atriumlu binalarda sprinkler sistemi olup olmamasına göre farklı değerler almaktadır. [16]

2.6.2. Düzensiz yangınlar

Düzensiz yangınlar, açığa çıkan ısı miktarının zamana bağlı olarak değişim gösterdiği yangınlardır. Düzensiz yangınlar için açığa çıkan ısı miktarının zamanın karesinin fonksiyonu olduğu düşünülür ve Denklem 2.10' daki gibi ifade edilir.

$$\dot{Q} = 1055\left(\frac{t}{t_g}\right)^2 \qquad \textbf{(2.10)}$$

Bu eşitlikte; Q yangın sonucu açığa çıkan ısı miktarı (kW), t efektif tutuşmadan itibaren geçen süre (s), t_g, yangın büyüme zamanı (s) dir. Diğer bir deyişle efektif tutuşma zamanı, yangının 1055 kW değerini geçtiği ana kadar olan zaman aralığıdır.

Hızlı gelişen yangın, efektif tutuşma zamanından 1055 kW ısı miktarına 150 s.'den az bir sürede ulaşan yangındır. Orta hızda gelişen yangınlar, efektif tutuşma zamanından 1055 kW ısı miktarına 150 s. ile 600 s. arasında ulaşan yangınlardır. Aynı ısı miktarına 600 s. veya daha fazla sürede ulaşan yangınlar ise yavaş gelişen yangınlardır.

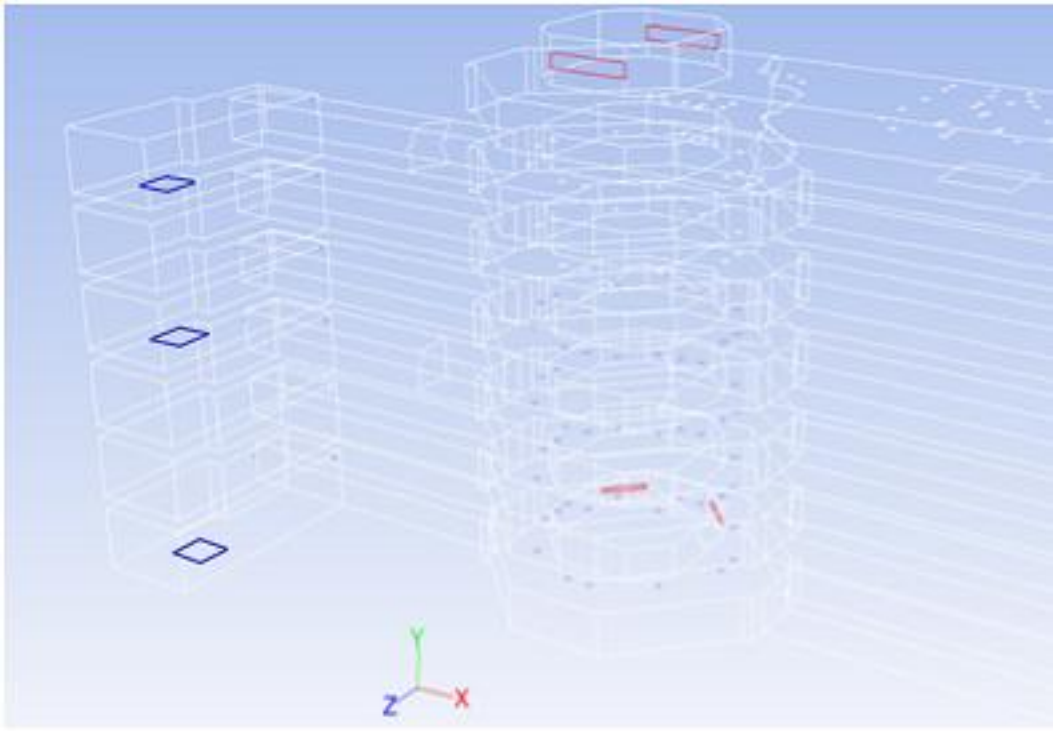
3. YANGIN MODELİ VE DUMAN YAYILIMI İNCELENMESİ

Örnek bir yapıda gerçekleşen yangın senaryoları sayısal olarak incelenmiştir. Kullanılan sayısal yöntemin prensibi, alan modellerinde olduğu gibi, olaya hakim olan diferansiyel denklemlerin ayrıklaştırılarak iterasyonla çözülmesi esasına dayanmaktadır. Bunun için sonlu hacimler ayrıklaştırma yöntemine göre çözüm yapan FLUENT yazılımı kullanılmıştır. Fluent, genel termo-akışkan problemlerinin çözümünde kullanılan bir CFD (Computational Fluid Dynamics) analiz programıdır.

3.1. Kontrol Hacmi

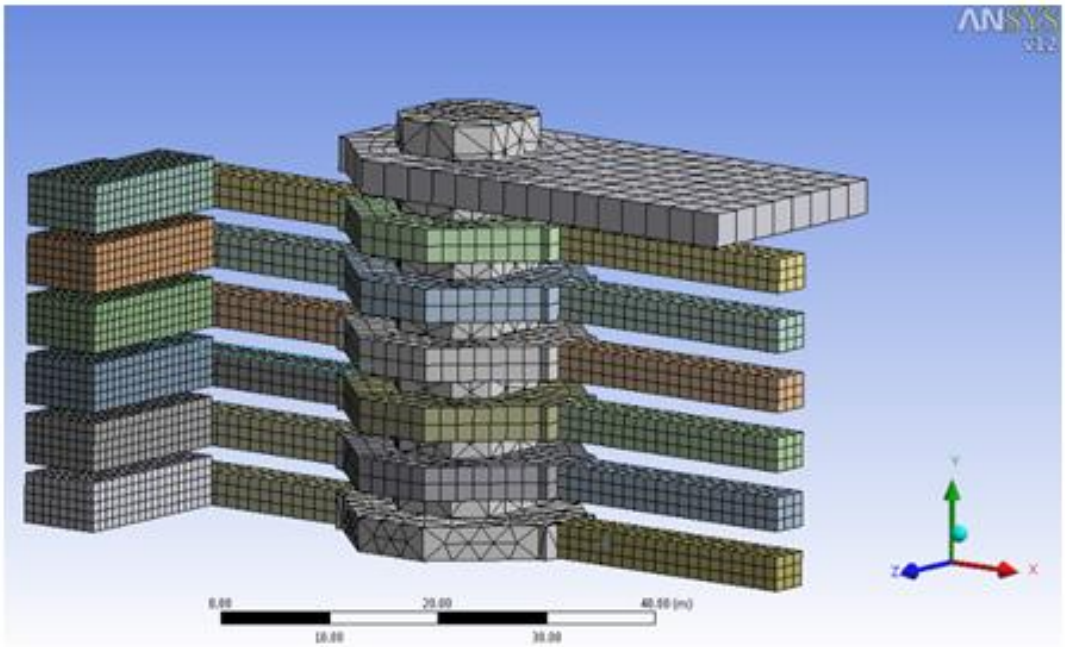
Duman hareketleri incelenmek üzere modellenen kapalı hacim, Yenibosna' da bulunan Kuyumcukent binasının bir bölümüdür. Bu bina atölye bloğu olarak adlandırılmakta ve kuyum atölyeleri olarak kullanılan imalathaneler içermektedir. Ele alınan model çok katlı olup, atrium yapısına sahiptir. Şekil 3.1' de görülen kontrol hacminde atrium kısmının iki tarafına uzanan koridorlar ve koridorlar boyunca lineer olarak yerleştirilmiş imalathaneler bulunmaktadır. 5., 6., 7, 8., 9., 10. katlar, her katta aynı konumda seçilmiş bir imalathane ve en üst katta bulunan restoran bölümü ele alınmıştır. 5., 8.,10. katlarda bulunan atölyeler içinde ve 11. katta bulunan restoran kısmında yangın havuzları oluşturulmuş ve buralarda çıkabilecek yangınlarda ortaya çıkabilecek duman hareketleri çeşitli kabuller ve sınır şartları altında incelenmiştir. Ele alınan kapalı hacim Solidworks programında çizilmiş, gambit programında meshlenmiştir. Daha sonra Ansys- Fluent programında akış analizi yapılmıştır.

Şekil 3.1' de, bina modeli üzerinde, kullanılan 4 adet egzoz fanı ve 5., 8. ve 10. kat imalathanelerinde bulunan yangın havuzları görülmektedir. Egzoz fanlarından ikisi 5. katta atrium kısmında, diğer ikisi restoran katında atrium kısmında bulunmaktadır. 5. katta bulunan fanlar "sag 5 egzoz, sol 5 egzoz", restoran katında bulunan fanlar " ön egzoz, arka egzoz", yangın havuzları ise bulundukları katlara göre "havuz 5, havuz 8, havuz 10" olarak adlandırılmışlardır.



Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan bina modeli.

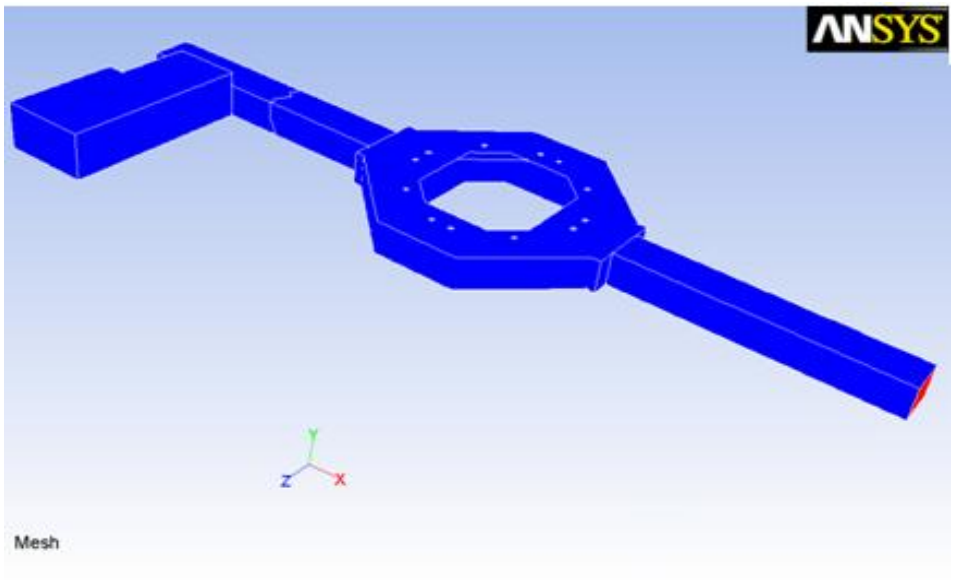
Şekil 3.2' de binanın mesh yapısı görülmektedir. Bina modelinde toplam 4169783 adet hücre kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Bina modelinde mesh yapısı.

Şekil 3.3' te binadaki 6 adet kat için oluşturulan kat modeli ve sağ koridor sonunda, 5., 8. ve 10. katlarda oluşturulan açıklık görülmektedir. Bu açıklıklar " 5 sagk, 8 sagk

ve 10 sagk", şekilde görülen atrium boşluğu ise 5. katta "5oa" olarak adlandırılmıştır. Her kat atrium etrafında bulunan dolaşım alanı, bu alanın sağ ve sol kısmından uzanan koridorlar ve sol koridorun sonunda ele alınan imalathaneden oluşmaktadır. İmalathanelerde tavan yüksekliği 3.2 m olarak alınmıştır.



Şekil 3.3: Binadaki kat modeli.

Duman karbonmonoksit olarak modellenmiştir. Hava ve karbonmonoksitin termofiziksel özeliklerinin sıcaklığa göre değişimi Ek-A da verilmiştir.

Yanma ve kimyasal reaksiyonlar inceleme dışında tutularak, belirli katlardaki imalathanelerde oluşturulan yangın havuzlarından duman girişi olduğu kabul edilmektedir. Yangın havuzlarında açığa çıkan duman miktarı, senaryolardaki duman yayılımının NFPA 92B' de tanımlanan balkon plumu tanımına uygun olması nedeniyle bu koşulda oluşacak duman miktarını hesaplayan Denklem 3.1 kullanılarak elde edilmiştir.

$$m = 0{,}36(QW^2)^{1/3}(z_b + 0{,}25H) \qquad \textbf{(3.1)}$$

Q; yangın gücü (kW), W ; balkon altından yayılan duman genişliği (m), H; yangın tabanından itibaren balkon yüksekliği (m), z_b; balkon alt kısmından duman tabakası ara yüzüne kadar olan yükseklik (m), m ; plumdaki kütlesel akış miktarı (kg/s)dır.

Ortam havasındaki sıcaklık yükselmesinin 2,2 ºC az olduğu durumlarda kullanılamayan bu denklemdeki W, Denklem 3.2' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$W = w + b \quad \textbf{(3.2)}$$

w; yangının çıktığı alandaki açıklık genişliği (m), b; açıklık ile balkon kenarı arasındaki uzaklık (m)dır.

Çizelge 3.1' de, açığa çıkan duman miktarının hesaplanmasında kullanılan Denklem 3.1 için gerekli değerler ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan duman miktarları verilmektedir. 300 kW yangın gücü için havuzlardan ortama 37 kg/s duman çıkışı tanımlanmıştır.

Çizelge 3.1: Açığa çıkan duman miktarı.

Zb(m)	Q(kW)	W(m)	H(m)	m(kg/s)
2,5	300	10	3,2	36,91
2,5	400	10	3,2	40,63
2,5	500	10	3,2	43,77
2,5	600	10	3,2	46,51
2,5	700	10	3,2	48,96
2,5	800	10	3,2	51,19
2,5	900	10	3,2	53,24
2,5	1000	10	3,2	55,14
2,5	1200	10	3,2	58,60
2,5	1300	10	3,2	60,18
2,5	1400	10	3,2	61,69
2,5	1500	10	3,2	63,12

3.2. Kabuller ve Sınır Koşulları

Modellenen yapıda meydana gelebilecek farklı yangın senaryoları oluşturulmuş ve bu durumlar için sınır koşulları belirlenmiştir. Duman kaynağı olarak imalathanelerde bulunan havuzlar kullanılmıştır. Taze havanın en alt kat olarak ele alınan 5. kat atrium kısmından üst katlara doğru giriş yaptığı kabul edilmiştir. Hava miktarı alt katlardaki taze hava menfezlerinin debilerinden hesaplanmış ve yaklaşık 36 kg/s olarak alınmıştır. Duman çıkışı ise restoran katı atrium kısmında ve 5. kat atrium kısmında bulunan egzoz fanlarından yapılmış, farklı senaryolarda farklı fanlar aktif hale getirilmiştir.

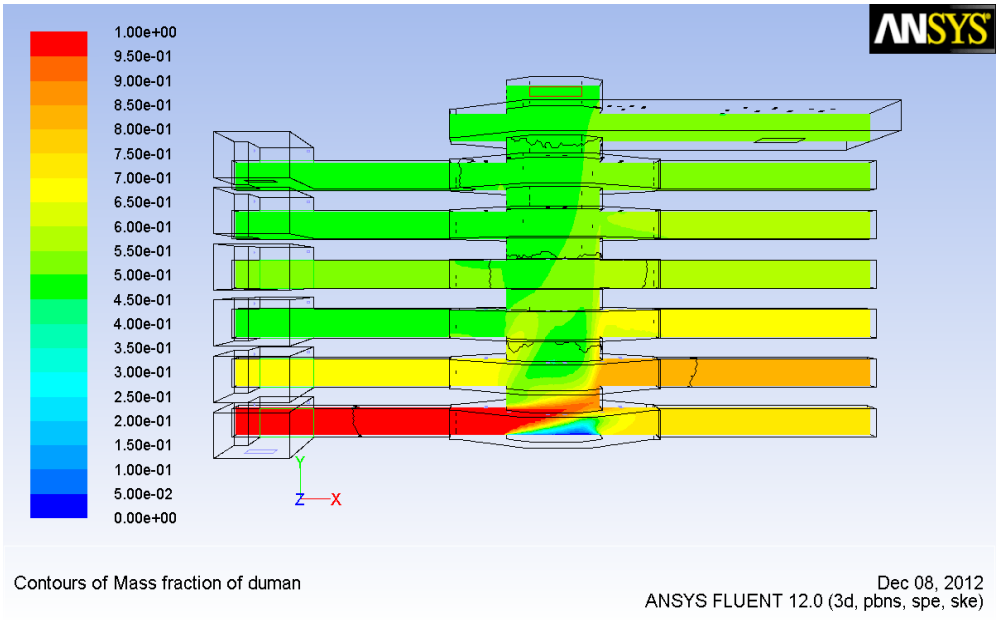
Rüzgar basıncının ihmal edilmiş ve bina içinde kararlı halde duman yayılımı incelenmiştir. Çizelge 3.2' de, oluşturulan yangın senaryolarında; duman kaynağı, hava girişi, duman ve hava çıkışının nerelerden olduğu özetlenmiştir.

Çizelge 3.2: Yangın senaryoları.

	Duman Kaynağı	Hava Girişi	Duman+ Hava Çıkışı
Referans	Havuz 5	5oa	Ön egzoz, Arka Egzoz
Durum 1	Havuz 10	5oa	Ön egzoz, Arka Egzoz
Durum 2	Havuz 5	5oa	Ön egzoz, Arka Egzoz, 10sagk, 8sagk, 5sagk
Durum 3	Havuz 5	5oa	Ön egzoz, Arka Egzoz, sağ 5 egzoz, sol 5 egzoz
Durum 4	Havuz 8	5oa	Ön egzoz, Arka Egzoz
Durum 5	Havuz 5	5oa	Ön egzoz, Arka Egzoz, 10sagk
Durum 6	Havuz 5	5oa	Ön egzoz, Arka Egzoz, 8sagk

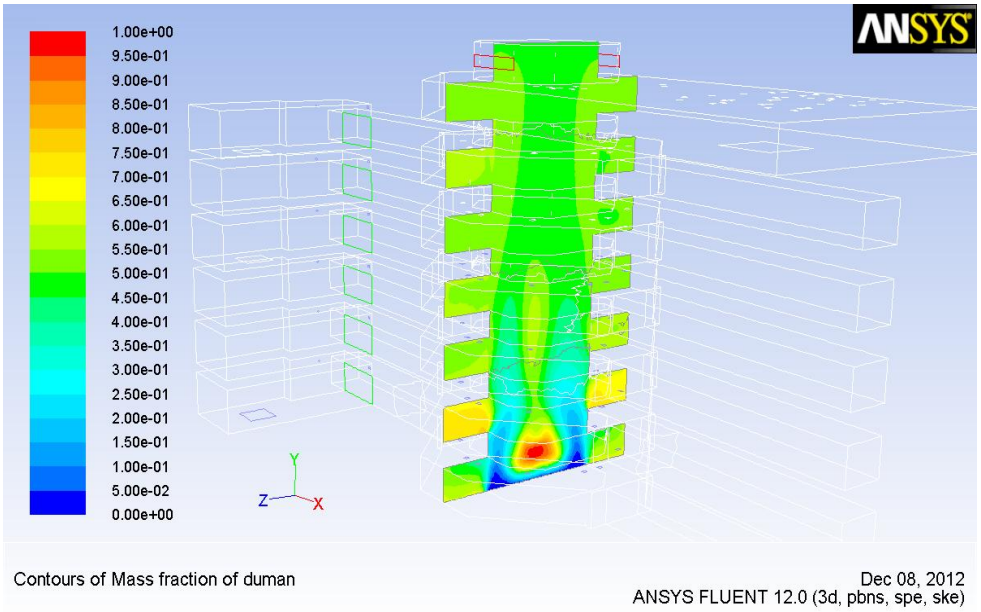
3.3. Yangın Modellerinin Sonuçları

Yangın senaryolarında duman kütle oranı ve duman hız büyüklüğüne göre renklendirilmiş hız vektörleri incelenmiştir. Şekil 3.4' te, oluşturulan referans durum için atrium ortasından geçen düşey düzlemdeki duman kütle oranı görülmektedir.



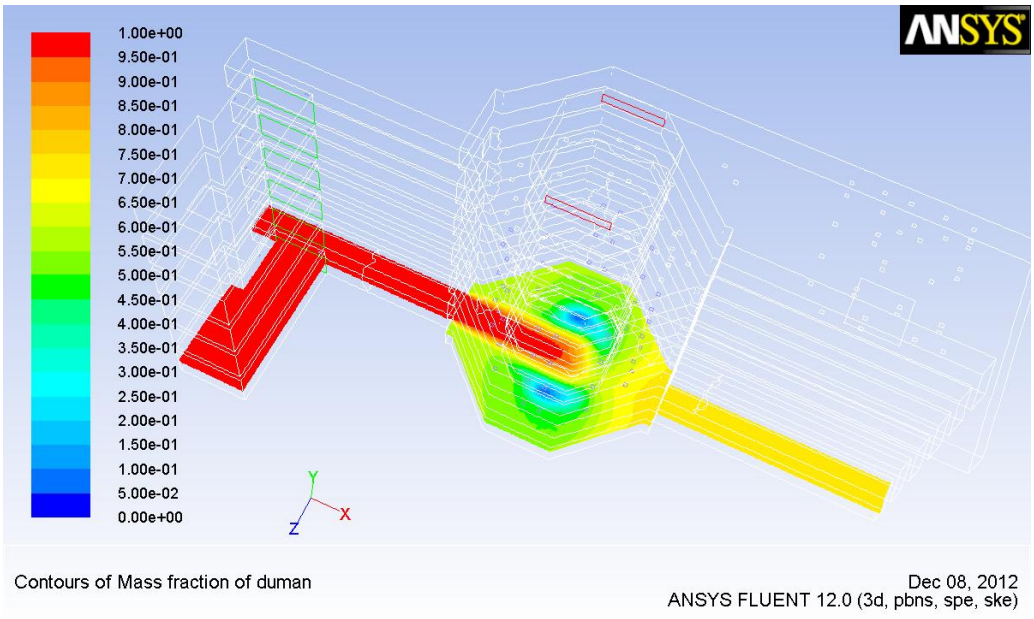
Şekil 3.4: Referans durum bina düşey kesitindeki duman kütle oranı.

Referans senaryosunda duman kaynağı en alt kattaki atölyedir. Böylece açığa çıkan dumanın tüm katlara yayılması durumu incelenmiştir. Atriumun en alt seviyesinden hava girişi olmaktadır. Giren hava miktarı 5. kat altındaki tüm katlarda taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı kadardır. Duman yayılımının modellendiği katlardaki taze hava menfezlerinden hava girişi olmadığı kabul edilmiştir. Duman en üst katta bulunan iki adet egzoz fanı ile atriumdan emilmektedir. 5. katta bulunan egzoz fanlarının çalışmadığı kabul edilmiştir. Referans durumda yangın kararlı hale geldiğinde dumanın sağ taraftaki koridorlara daha fazla olmak üzere tüm binaya yayıldığı görülmektedir. Üst katlara doğru gidildikçe duman kütle oranı azalmaktadır. Atrium alt yüzeyinden hava girişi ile 5. kat atölyesinde bulunan yangın havuzundan gelen duman kütle debilerinin yaklaşık olarak eşit olması sebebiyle duman kütle oranın en düşük değeri 0,4 – 0,5 arasında gerçekleşmiştir. Şekil 3.5' te dumanın alt katlardan gelen taze hava ile sürüklendiği, 6. kat dolaşım alanında duman yoğunluğunun daha fazla olduğu daha sonra seyrelerek atrium üst kısmına doğru hareket ettiği görülmektedir. 5. kat koridorundan atrium alanına gelen duman, atrium alt yüzeyinden gelen hava ile karşılaşmakta, hava yoğun duman hacminin yanlarından yukarı doğru hareket ederken duman ile karışmaktadır. Bu katın atrium alanının merkezinde yoğun duman hacmi duman bakımından oldukça seyrek hava ile çevrelenmektedir. Hava atrium içinde daha rahat yayılabildiği için atrium merkezindeki karışımın duman kütle oranı atrium dolaşım alanlarına göre düşük gerçekleşmektedir.



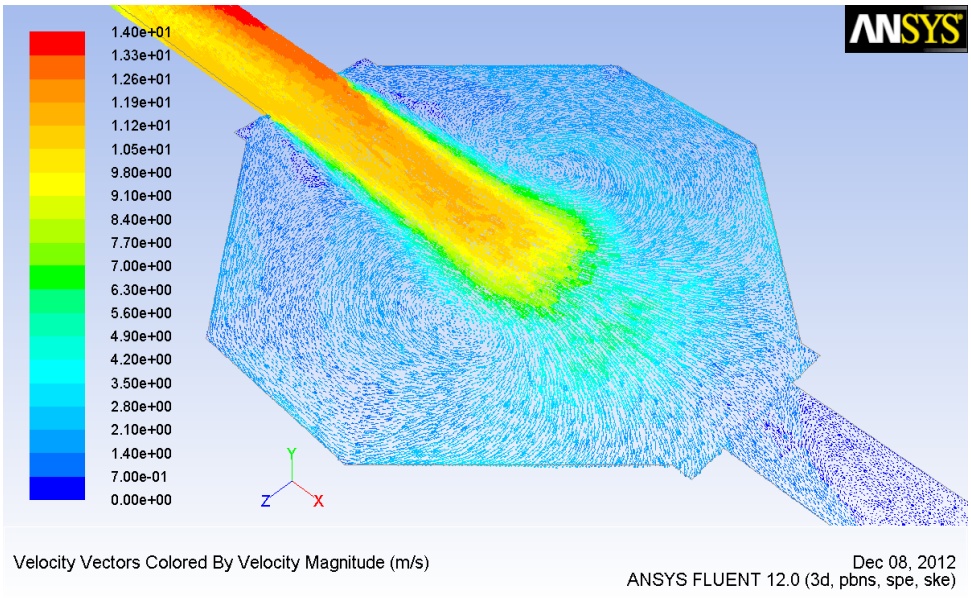
Şekil 3.5: Referans durumda atrium içindeki duman kütle oranı.

Şekil 3.6' da dumanın, yangın havuzunun bulunduğu atölyeden koridor boyunca atrium kısmına doğru ilerlediği görülmektedir. Atrium boşluğunda, atrium alt yüzeyinden gelen taze hava ile yukarı sürüklenen yoğun duman, atrium boşluğundan ve dolaşım alanında hareket ederek 5. kat sağ koridora da yayılmaktadır.



Şekil 3.6: Referans durum kat 5 duman kütle oranı.

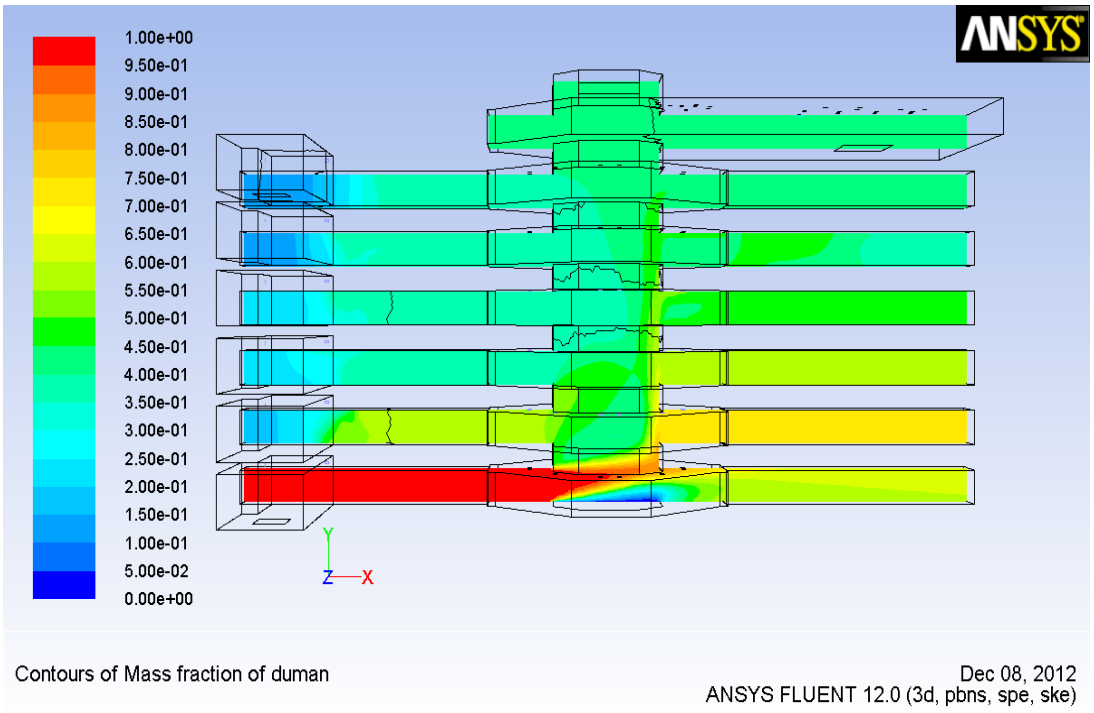
Şekil 3.7' de görülen hız vektörlerine göre yangın havuzuna yakın olan 5. kat sol koridorda hız 14 m/s mertebelerindeyken atriumun orta kısmında hızın azaldığı, dolaşım mekanlarında ve karşı koridorda ise oldukça düşük değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7: Referans durum kat 5 hız vektörü.

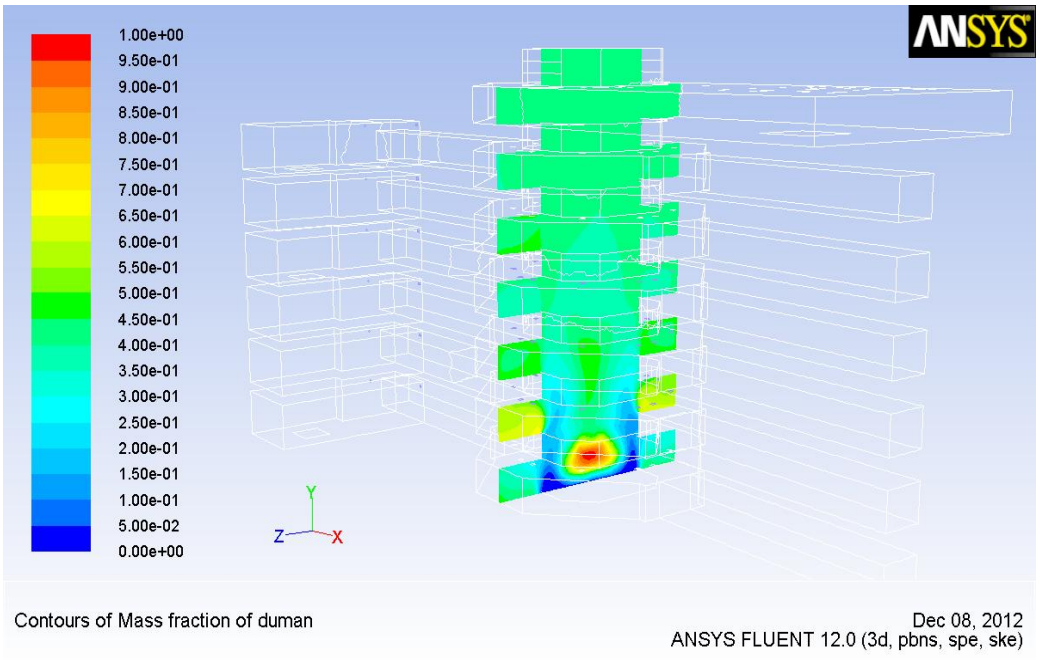
Durum 2’ de duman kaynağı, referans senaryosunda olduğu gibi en alt kattaki atölyedir. Böylece açığa çıkan dumanın tüm katlara yayılması durumu referans durumdan farklı sınır koşulları eklenerek incelenmiştir. Atriumun en alt seviyesinden hava girişi olmaktadır. Hava miktarı 5. kat altındaki tüm katlarda taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı kadardır. Duman yayılımının modellendiği katlardaki taze hava menfezlerinden hava girişi olmadığı kabul edilmiştir. Duman en üst katta bulunan iki adet egzoz fanı ile atriumdan emilmektedir. 5. katta bulunan egzoz fanlarının çalışmadığı kabul edilmiş, ek olarak 5., 8. ve 10. katlardaki sağ koridorlarda bulunan açıklıklardan hava çıkışına izin verilmiştir.

Durum 2’ de, yangın kararlı hale geldiğinde dumanın, yangının çıktığı 5. kat hariç diğer katlardaki sol koridorların tamamına yayılmadığı görülmektedir. Şekil 3.8' de duman kütle oranının açıklıkların bulunduğu sağ koridorlarda daha fazla olduğu, üst katlara doğru gidildikçe duman kütle oranının azaldığı görülmektedir.

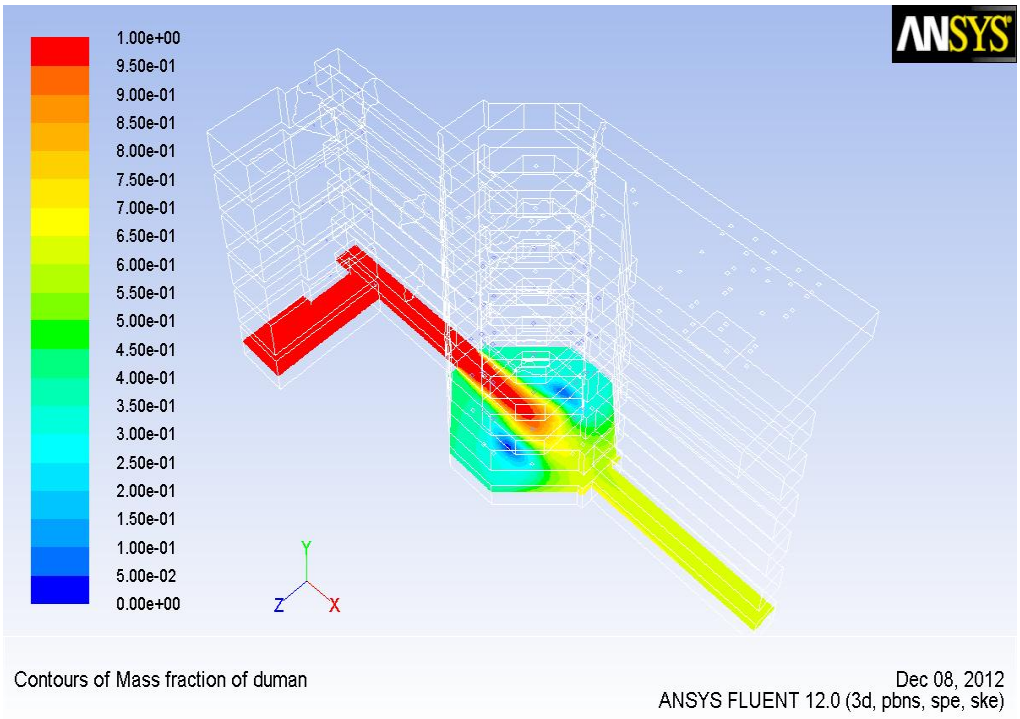


Şekil 3.8: Durum 2 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı.

Şekil 3.9’ da, referans durumla karşılaştırılınca, dumanın 5. kat sağ koridor açıklığından tahliyesinin, 6. kat dolaşım mekanında duman kütle oranının daha düşük olmasını sağladığı görülmektedir. Şekil 3.10' da, referans durum ile karşılaştırıldığında, sağ koridorlardaki açıklıklar nedeniyle, 5. kat dolaşım alanında ve sağ koridorda, duman kütle oranının daha düşük olduğu görülmektedir.

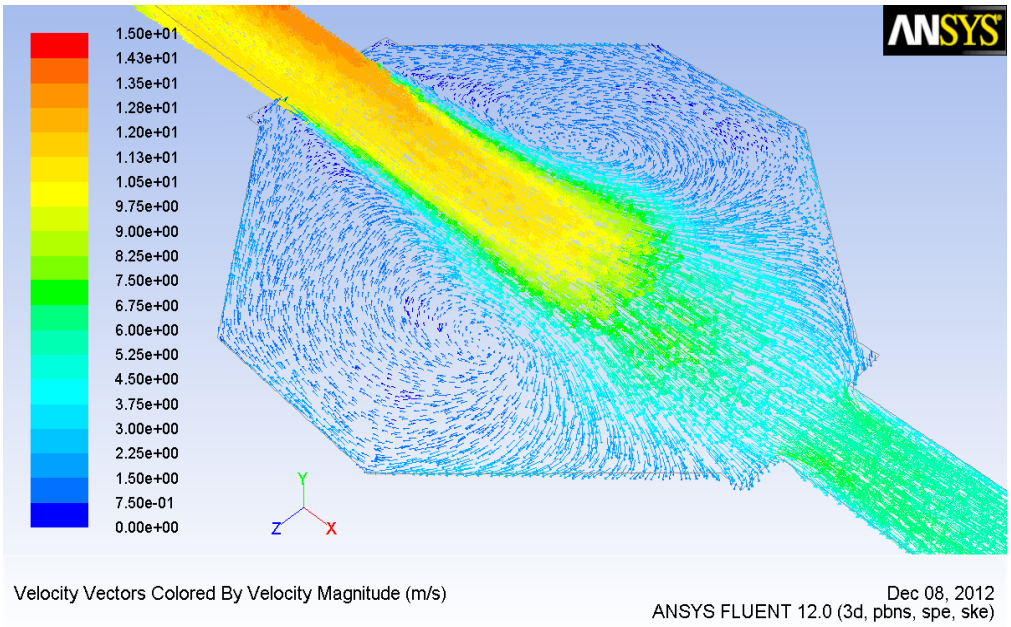


Şekil 3.9: Durum 2 atrium içindeki duman kütle oranı.



Şekil 3.10: Durum 2 kat 5 duman kütle oranı.

Şekil 3.11' de, referans duruma göre 5. kat sağ koridor sonundaki açıklık nedeniyle hız büyüklüklerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Referans durumda sağ koridor girişinde hız 2.5 m/s mertebelerindeyken, Durum 2' de bu değer 6.5 m/s mertebelerindedir. Durum 3' te duman kaynağı, referans durumda olduğu gibi en alt kattaki atölyedir. Açığa çıkan dumanın tüm katlara yayılması durumu referans durumdan farklı sınır koşulları eklenerek incelenmiştir.



Şekil 3.11: Durum 2 kat 5 hız vektörü.

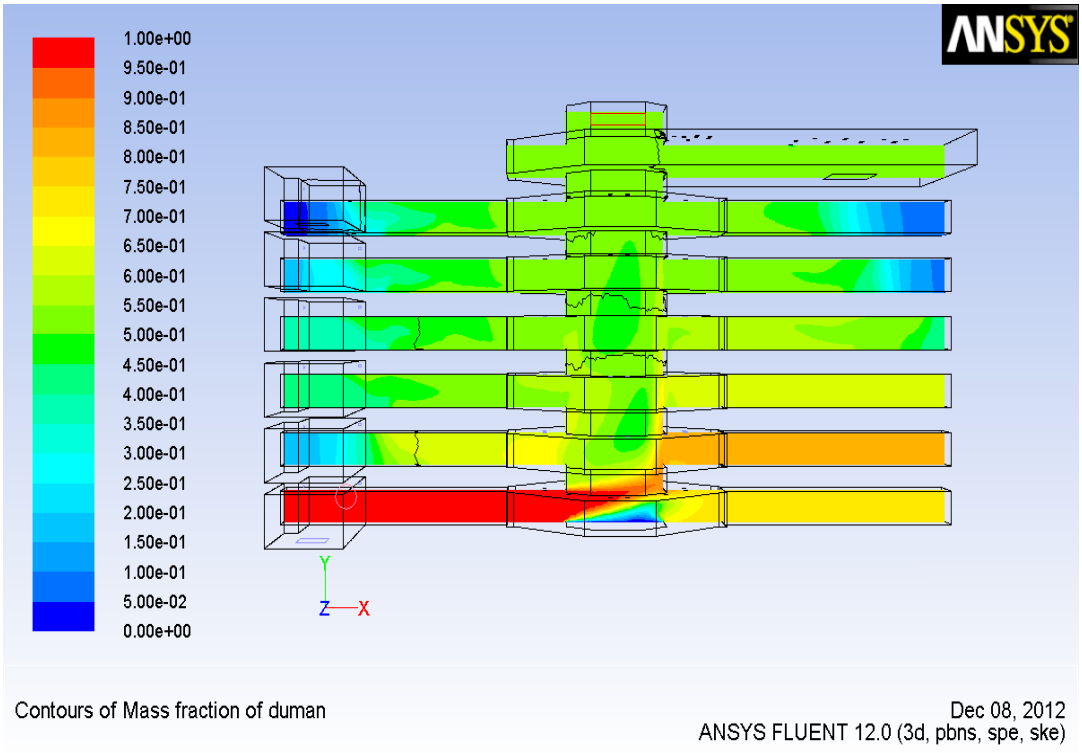
Atriumun en alt seviyesinden, 5. kat altındaki tüm katlarda taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı kadar hava girişi olmaktadır. Duman yayılımının modellendiği katlardaki taze hava menfezlerinden hava girişi olmadığı kabul edilmiştir. Duman 5. katta ve en üst katta bulunan ikişer adet egzoz fanları ile atriumdan emilmektedir. Durum 2' de, 5., 8. ve 10. katlarda duman çıkışına izin verilen açıklıklardan Durum 3' te herhangi bir çıkış olmadığı kabul edilmiştir.

Şekil 3.12' de Durum 3 sınır şartları altında, yangın kararlı hale geldiğinde dumanın, 9. ve 10. kat koridorlarının tamamına yayılmadığı görülmektedir. Duman kütle oranının 6. kat sağ koridorda 0.85 mertebelerinde olduğu görülmektedir. 5. kat sol koridordan atrium boşluğuna ulaşan duman, 5. kat alt yüzeyinden gelen hava ile yukarı doğru sürüklenen 6. kat sağ koridorda duman kütle oranının yüksek olmasına neden olmuştur.

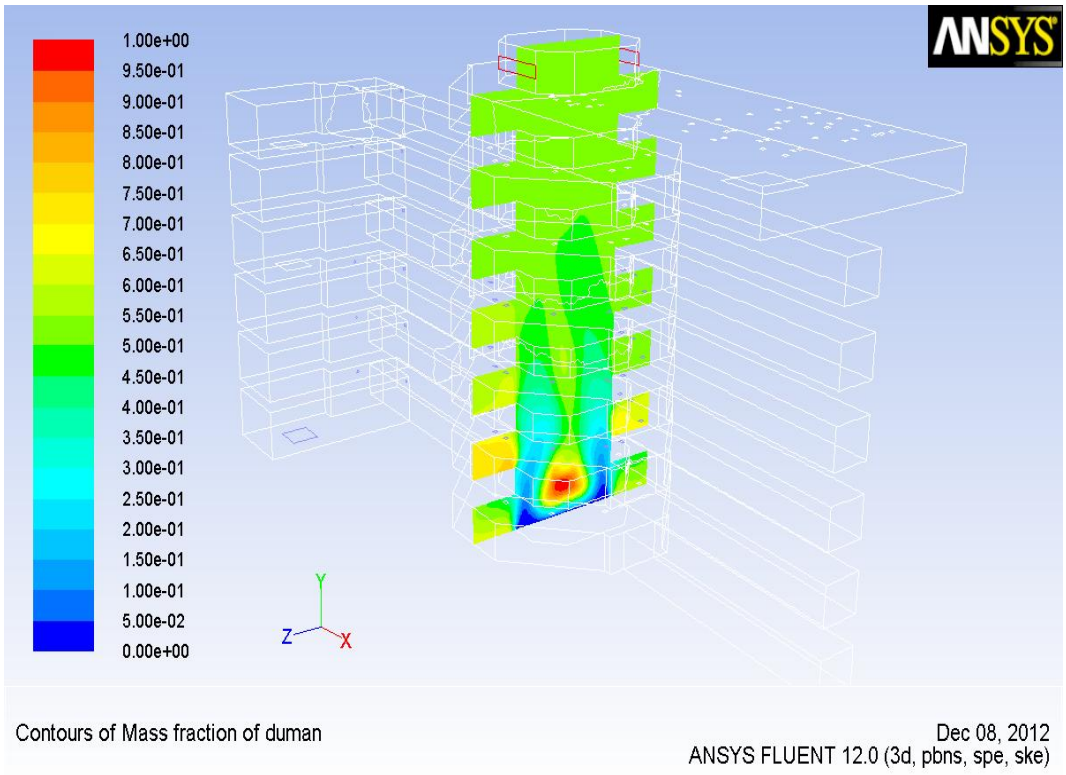
Şekil 3.13' te atrium kısmından yukarı doğru yükselen dumanın bir kısmının 5. kattaki egzoz fanlarından tahliye edilmesinden dolayı, kütle oranının referans duruma göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 3.14' te , referans durum ile karşılaştırıldığında, 5. kat atrium kısmındaki egzoz fanlarının, duman kütle oranının atrium kısmında daha düşük mertebelerde olmasını sağladığı görülmektedir. Şekil 3.15' te, Durum 3 sınır şartları altında 5. kattaki hız vektörleri incelenmiştir. Bu katta atrium kısmında egzoz fanlarının çalışması

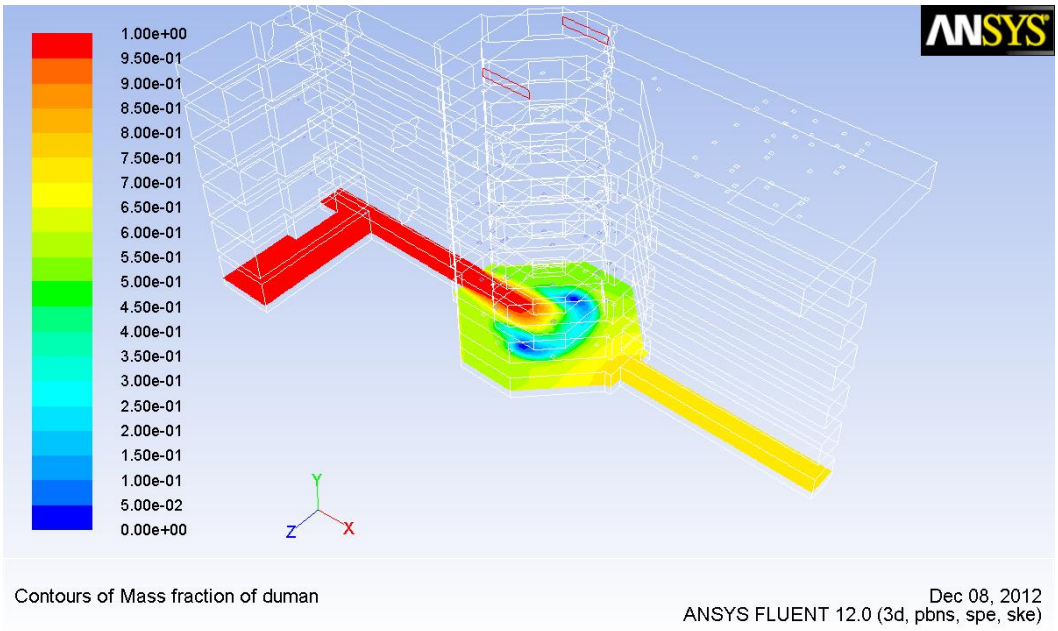
nedeniyle referans duruma göre hız büyüklüklerinin daha fazla olduğu görülmektedir.



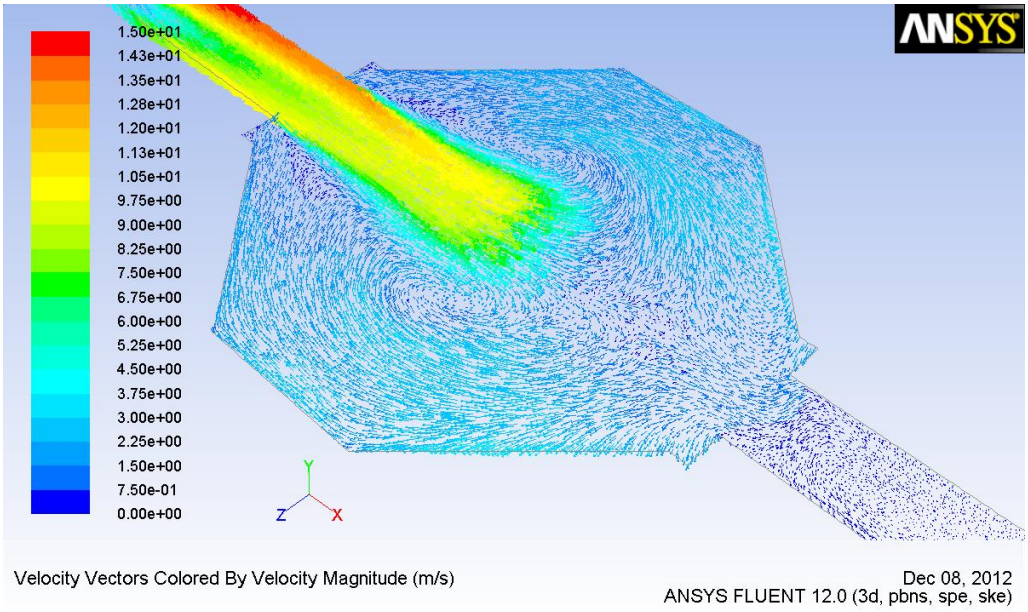
Şekil 3.12: Durum 3 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı.



Şekil 3.13: Durum 3 atrium içindeki duman kütle oranı.



Şekil 3.14: Durum 3 kat 5 duman kütle oranı.

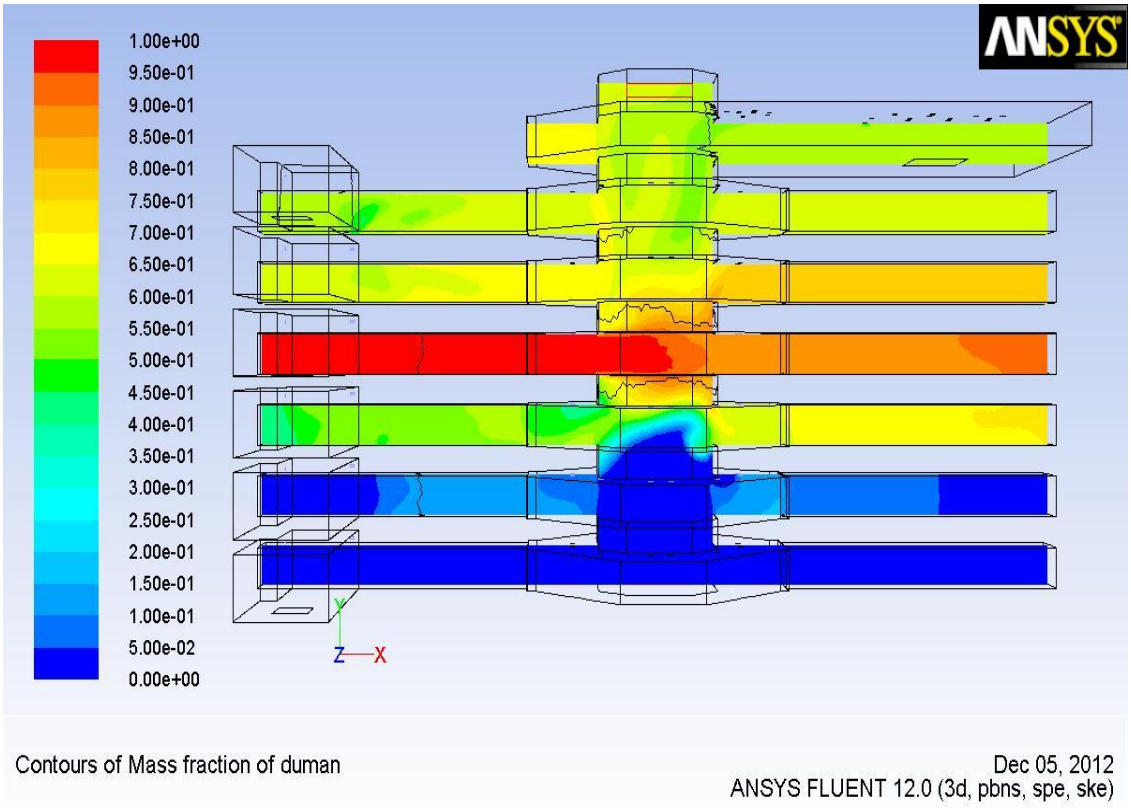


Şekil 3.15: Durum 3 kat 5 hız vektörü.

Durum 4' te duman kaynağı, 8. kat atölyesinde bulunan yangın havuzudur. Diğer sınır koşulları referans durumda olduğu gibi alınmıştır. Açığa çıkan dumanın üst katlara yayılması ve alt katları nasıl etkilediği incelenmiştir. Atriumun en alt seviyesinden hava girişi olmaktadır. Hava miktarı 5. kat altındaki tüm katlarda taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı kadardır. Duman yayılımının modellendiği katlardaki taze hava menfezlerinden hava girişi olmadığı kabul edilmiştir. Duman, en üst katta bulunan ikişer adet egzoz fanları ile atriumdan emilmektedir.

Şekil 3.16' da, Durum 4 sınır şartları altında, yangın kararlı hale geldiğinde dumanın, 9. ve 10. kat koridorlarının tamamına yayıldığı, 7. kat dolaşım alanı ve koridorlarına

da etki ettiği görülmektedir. 5. kat atölyesinde yangın çıktığı durumlarda, duman kütle oranı 5. kat sağ taraftaki koridorda düşük, 6. kat sağ taraftaki koridorda daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni atrium kısmına gelen dumanın, atrium alt yüzeyinden gelen taze hava etkisi ile yukarı doğru hareket etmesidir. Yangının 8. katta çıkması durumunda ise alt katlardan gelen taze hava etkisi azalmakta, bu nedenle duman kütle oranı 8. kat sağ koridorda 9. kata göre daha fazla olmaktadır .

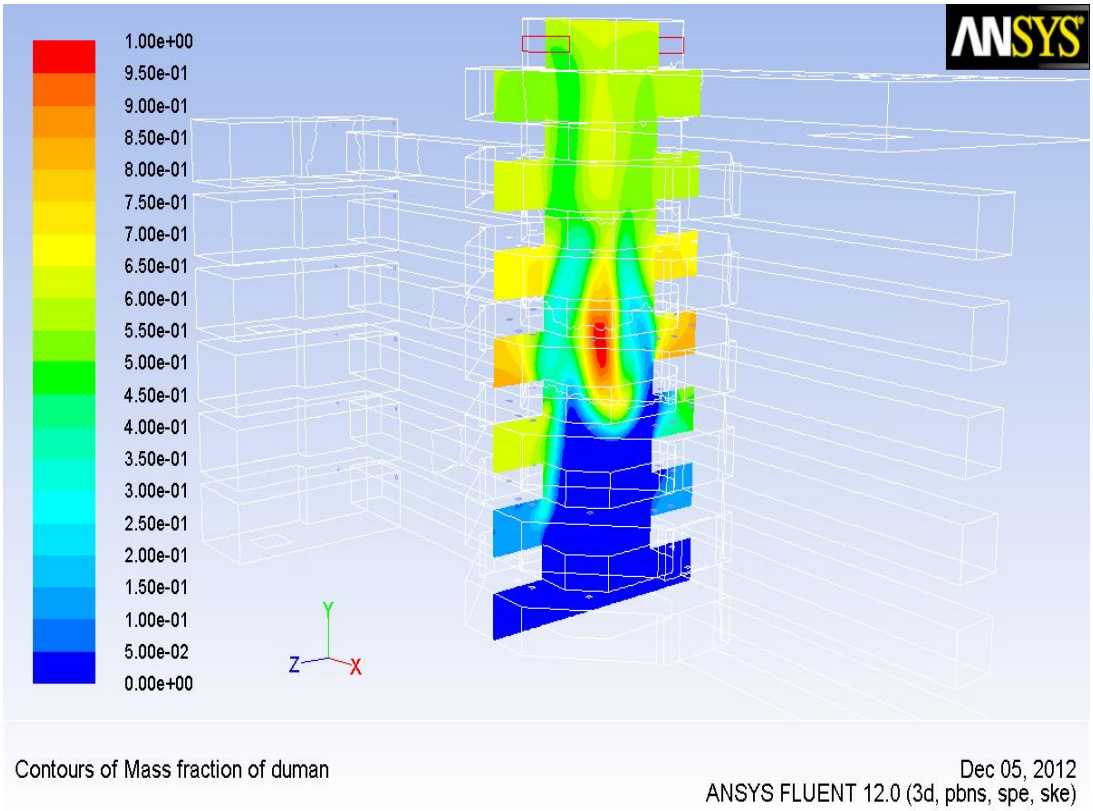


Şekil 3.16: Durum 4 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı.

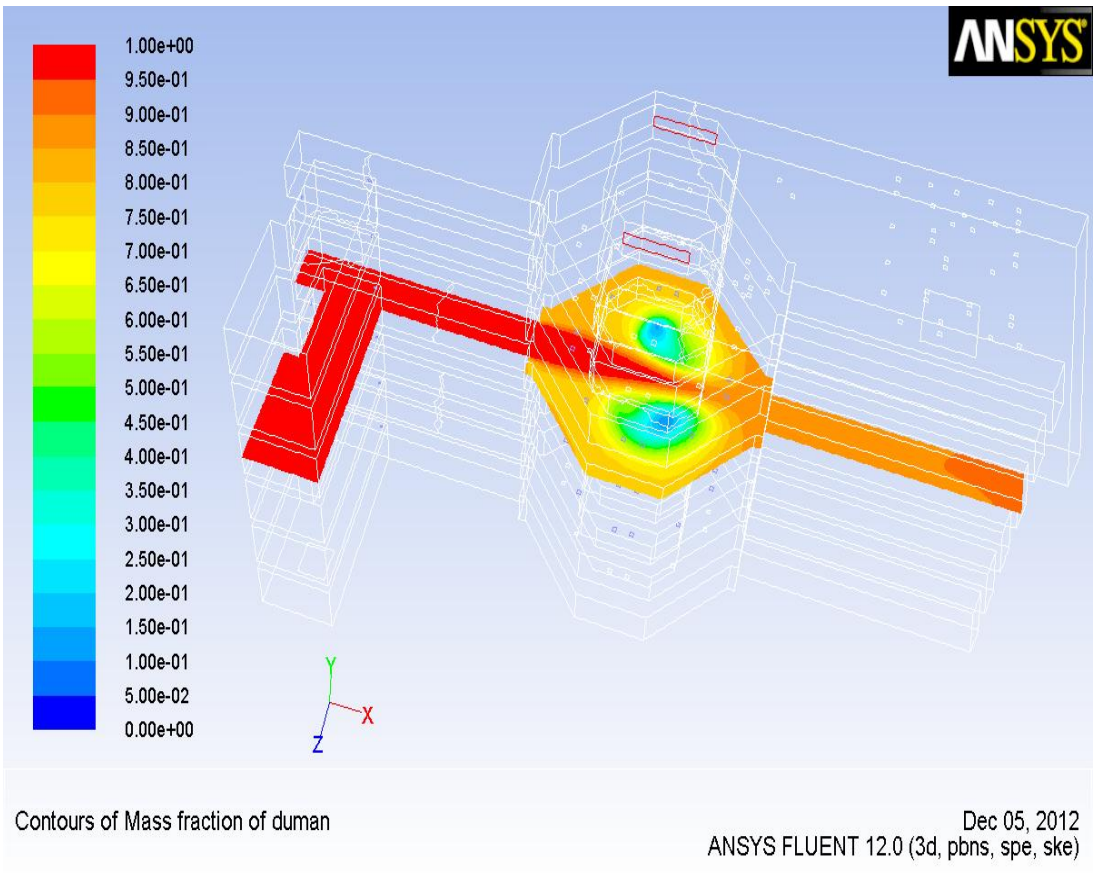
Şekil 3.17' de diğer durumlardan farklı olarak duman kütle oranının yangının çıktığı kattaki dolaşım alanında, bir üst katta olduğundan daha fazla olduğu görülmektedir. 5. kat atrium alt yüzeyinden gelen taze hava 5. ve 6. kat dolaşım alanlarında hakim olmaktadır.

Şekil 3.18' de duman kütle oranının dolaşım alanı ve karşı koridorda 0.9 mertebelerinde olduğu görülmektedir. Bu değer aynı sınır şartları 5. katta uygulandığında dolaşım alanı için 0.6, sağ koridor için ise 0.7 olmaktadır.

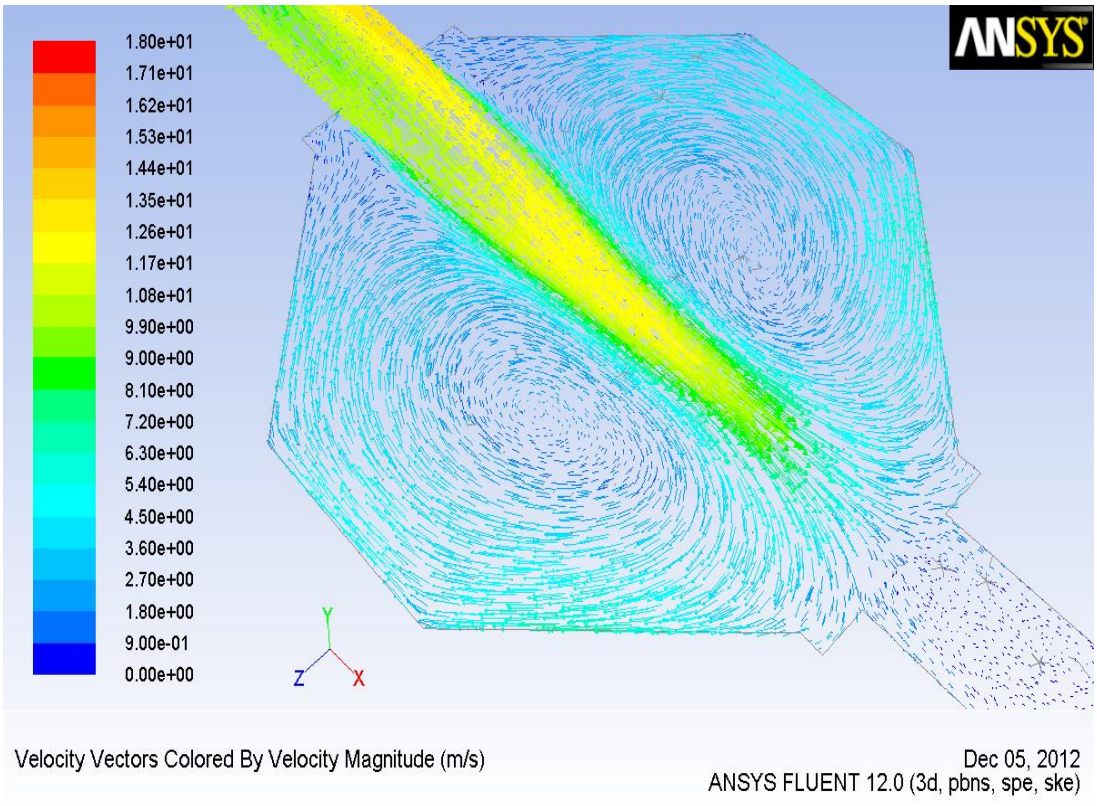
Şekil 3.19' da hızın dolaşım alanında 5 m/s mertebelerinde olduğu görülmektedir. Referans durumda ise dolaşım alanında hız 3 m/s mertebelerindedir. Bunun nedeni 5. katta dumanın dolaşım alanında yayılmadan atrium kısmından üst katlara doğru hareket etmesidir.



Şekil 3.17: Durum 4 atrium içindeki duman kütle oranı.



Şekil 3.18: Durum 4 kat 8 duman kütle oranı.

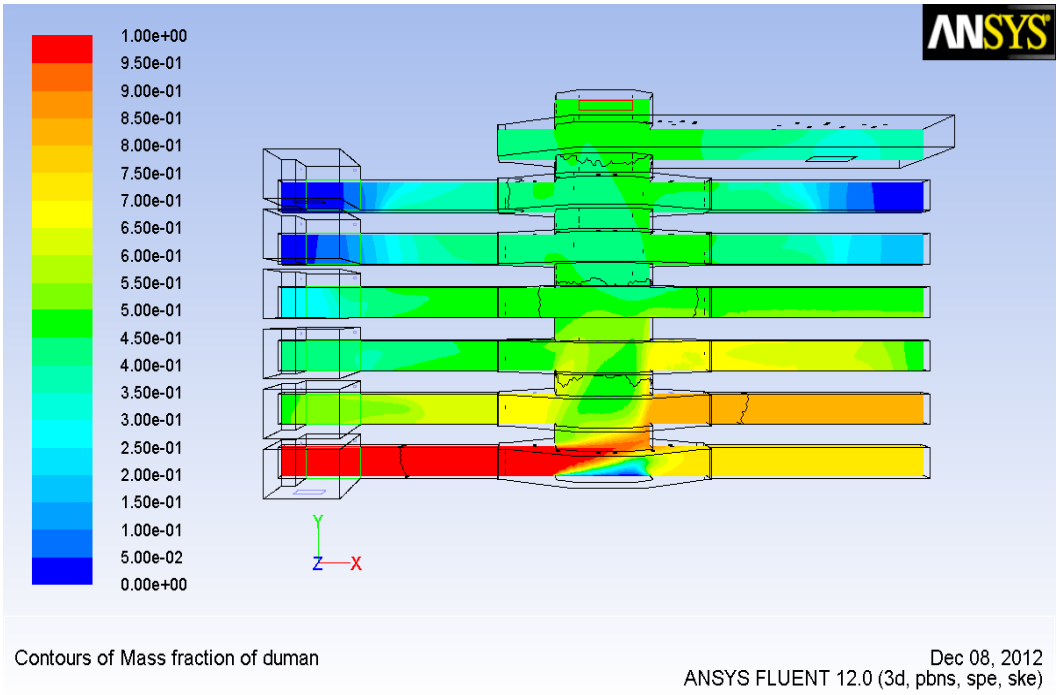


Şekil 3.19: Durum 4 kat 8 hız vektörü.

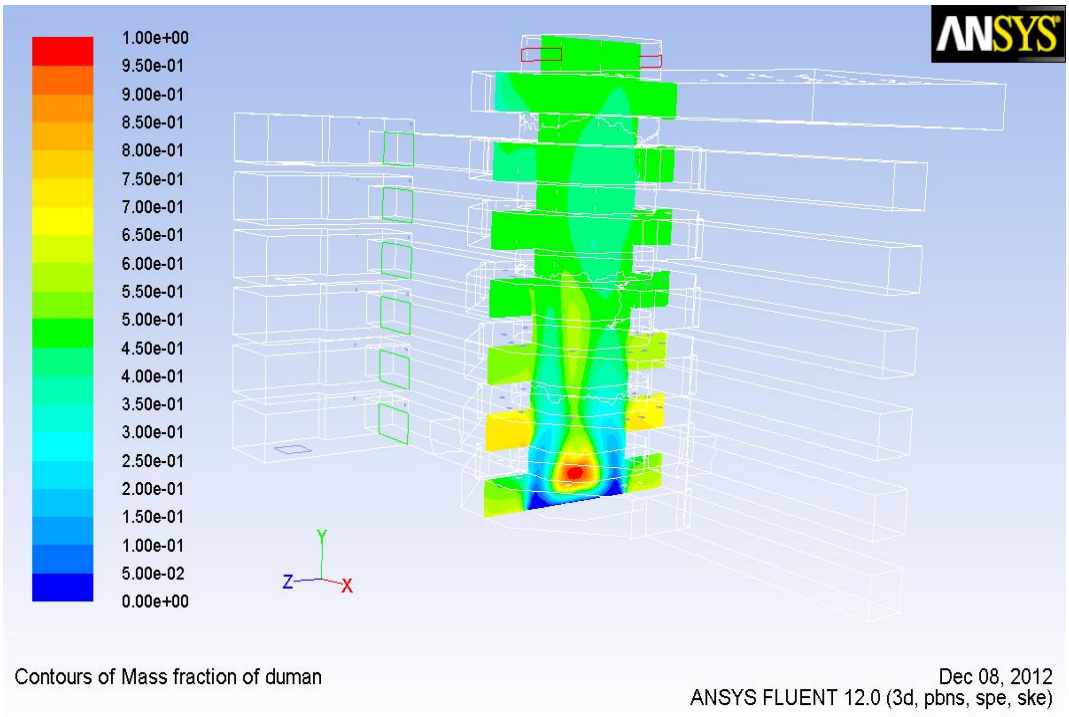
Durum 6' da duman kaynağı, 5. kat atölyesinde bulunan yangın havuzudur. Açığa çıkan dumanın tüm katlara yayılması incelenmiştir. Atriumun en alt seviyesinden hava girişi olmaktadır. Hava miktarı 5. kat altındaki tüm katlarda taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı kadardır. Duman yayılımının modellendiği katlardaki taze hava menfezlerinden hava girişi olmadığı kabul edilmiştir. Duman, en üst katta bulunan ikişer adet egzoz fanları ve 8. kat sağ koridorda bulunan açıklık ile atriumdan emilmektedir.

Şekil 3.20' de, Durum 6 sınır şartları altında, yangın kararlı hale geldiğinde dumanın, 9. ve 10. kat koridorlarının tamamına yayılmadığı görülmektedir. 8. kattaki sağ koridor açıklığından duman tahliyesi olması nedeniyle, duman kütle oranı referans duruma göre 9. ve 10. katlarda daha düşüktür. Durum 2 ile karşılaştırıldığında, sadece 8. kat sağ koridor açıklığından duman egzozu olması sol koridorlarda duamn kütle oranının Durum 2' de olduğu kadar düşük olması için yeterli olmadığı görülmektedir.

Şekil 3.21' de 8. kat sağ koridordaki açıklıktan dumanın tahliye edilmesiyle, duman kütle oranının referans duruma göre üst katlarda daha düşük olmasına neden olmasını sağlamaktadır.



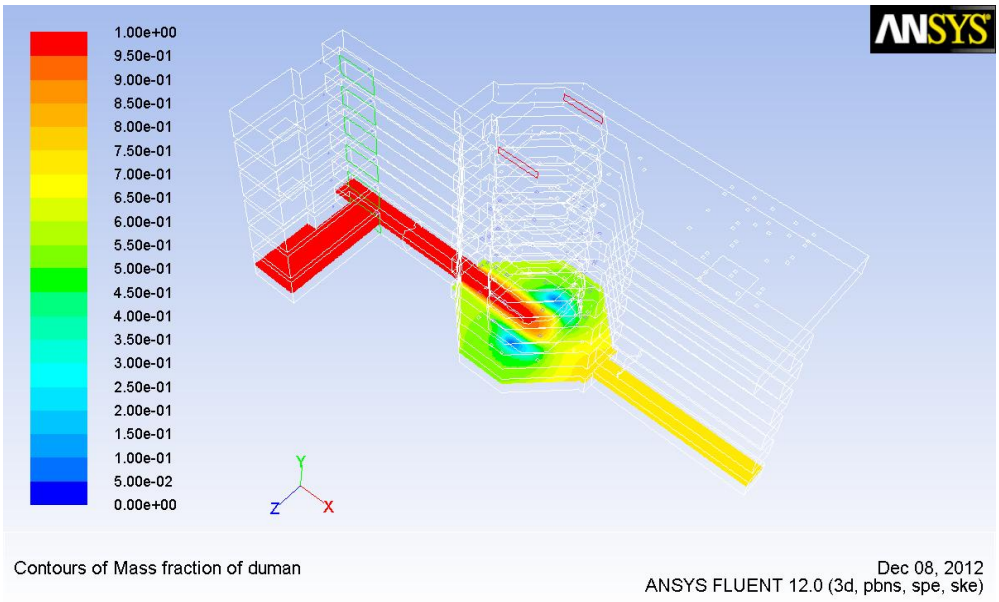
Şekil 3.20: Durum 6 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı.



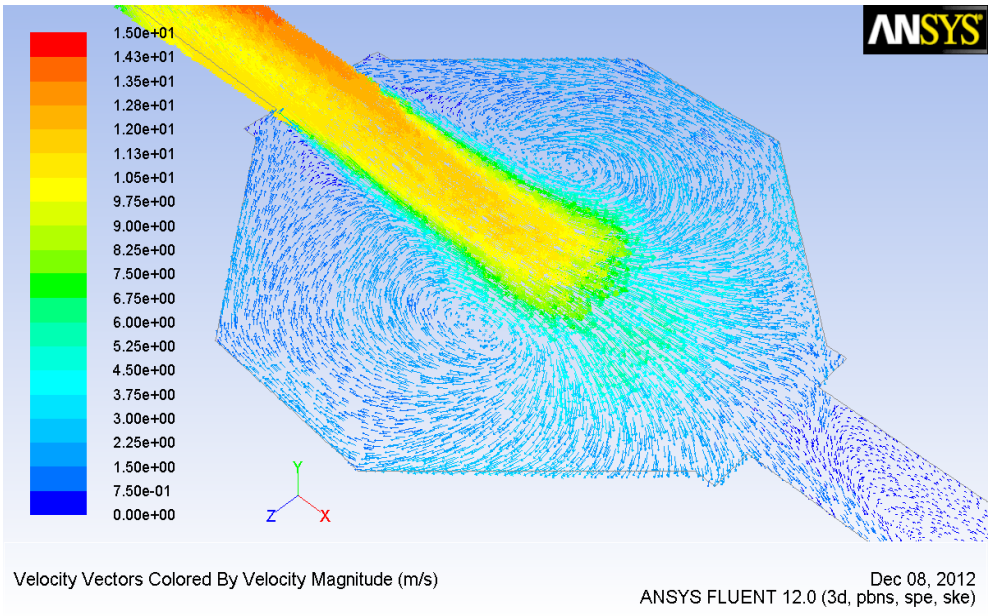
Şekil 3.21: Durum 6 atrium içindeki duman kütle oranı.

Şekil 3.22' de 5. kattaki duman kütle oranı verilmiştir. Durum 6’ da, referans durumdan farklı olarak 8. kat sağ koridordan duman egzozu olması nedeniyle, 5. kat duman kütle oranlarında referans duruma göre değişiklik gözlenmemiştir.

Şekil 3.23' te, 5. kat duman kütle oranında olduğu gibi hız vektörlerinin de referans durumla benzerlik gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3.22: Durum 6 kat 5 duman kütle oranı.



Şekil 3.23: Durum 6 kat 5 hız vektörü.

3.4. Çözüm Senaryoları

Oluşturulan yangın senaryoları incelendikten sonra çözüm olarak önerilen iki yangın senaryosu oluşturulmuştur. Bunlardan Durum 7' de duman kaynağı en alt kattaki atölyedir. Böylece açığa çıkan dumanın tüm katlara yayılması durumu incelenmiştir. Atriumun en alt seviyesinden hava girişi olmaktadır. Giren hava miktarı 5. kat altındaki tüm katlarda taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı kadardır. Ayrıca duman yayılımının modellendiği katlardaki dolaşım alanlarında bulunan taze hava menfezlerinden hava girişi olduğu kabul edilmiştir. Duman, en üst katta bulunan iki

adet egzoz fanı ve 5., 8. ve 10. kat sağ koridorlarında bulunan açıklıklar ile atriumdan emilmektedir. 5. katta bulunan egzoz fanlarının çalışmadığı kabul edilmiştir.

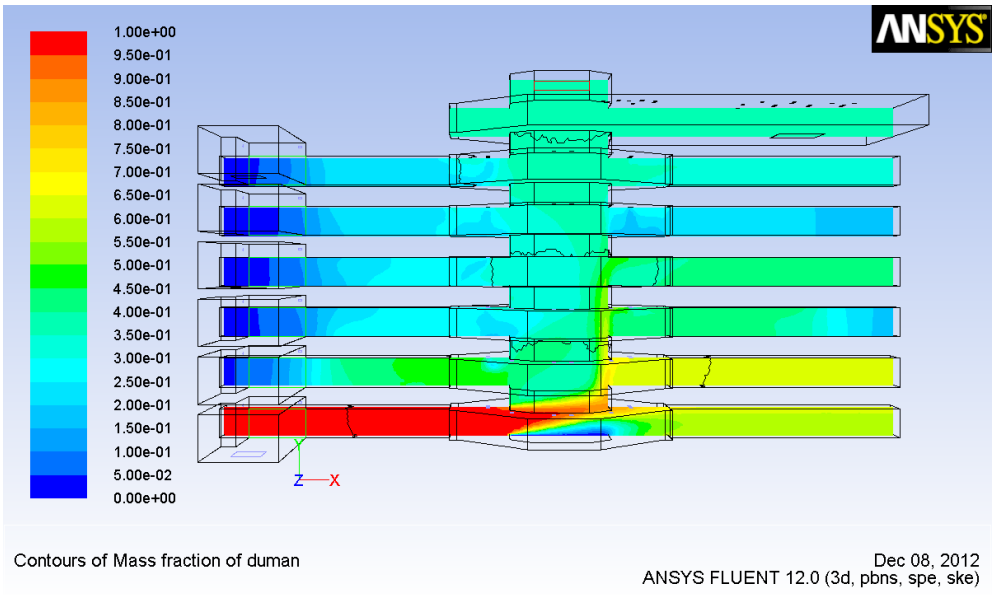
Diğer çözüm senaryosu olan Durum 8' de, duman kaynağı Durum 7' de olduğu gibi en alt kattaki atölyedir. Böylece açığa çıkan dumanın tüm katlara yayılması durumu farklı sınır şartları altında incelenmiştir. Atriumun en alt seviyesinden hava girişi olmaktadır. Giren hava miktarı diğer durumlardan farklı olarak, 5. kat altındaki tüm katlarda taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı ile sınırlı tutulmamış, serbest bırakılmıştır. Duman yayılımının modellendiği katlardaki dolaşım alanlarında bulunan taze hava menfezlerinden hava girişi olmadığı kabul edilmiştir. Duman, en üst katta bulunan iki adet egzoz fanı ve 5., 8. ve 10. kat sağ koridorlarında bulunan açıklıklar ile atriumdan emilmektedir. 5. katta bulunan egzoz fanlarının çalışmadığı kabul edilmiştir.

Çizelge 3.3' te çözüm için oluşturulan yangın modellerinin sınır şartları verilmiştir.

Çizelge 3.3: Çözüm senaryoları.

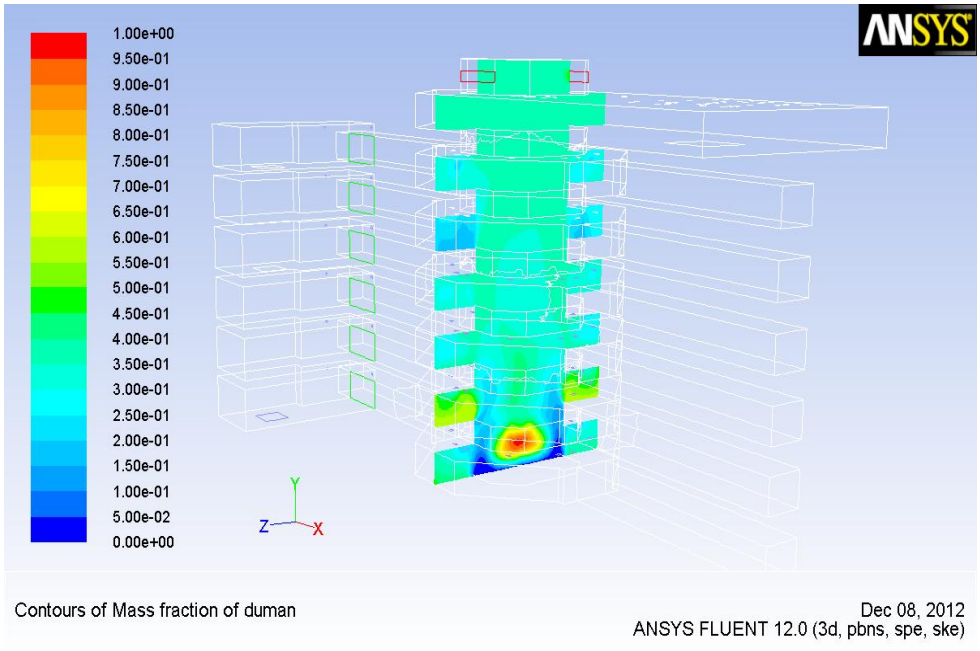
	Duman Kaynağı	**Hava Girişi**	**Duman+ Hava Çıkışı**
Durum 7	Havuz 5	5oa, 5u, 6u, 7u, 8u, 9u, 10u	Ön egzoz, Arka Egzoz, 5sagk, 8sagk, 10sagk
Durum 8	Havuz 5	5oa	Ön egzoz, Arka Egzoz

Şekil 3.24' te, Durum 7 sınır şartları altında yangın kararlı hale geldiğinde, 5., 8. ve 10. kat sağ koridor açıklıklarından duman egzoz edilmesi nedeniyle duman kütle oranının buralarda daha fazla olduğu fakat dolaşım alanlarında bulunan taze hava menfezlerinden sağlanan taze hava nedeniyle Durum 2 ile karşılaştırıldığında duman kütle oranının binanın genelinde daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 3.24' te dumanın alt katlardan gelen taze hava ile sürüklendiği, 6. kat dolaşım alanının sağ tarafında duman yoğunluğunun daha fazla olduğu daha sonra seyrelerek atrium üst kısmına doğru hareket ettiği görülmektedir. Şekil 3.25' te görüldüğü gibi 5. kat koridorundan atrium alanına gelen duman, atrium alt yüzeyinden gelen hava ile karşılaşmakta, hava yoğun duman hacminin yanlarından yukarı doğru hareket ederken duman ile karışmaktadır.



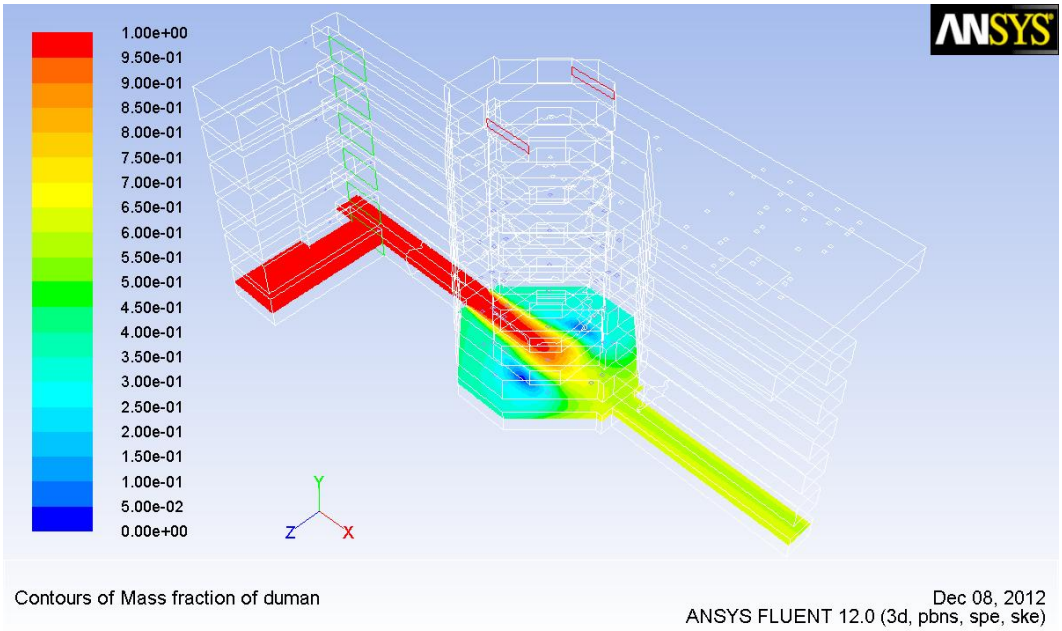
Şekil 3.24: Durum 7 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı.

Bu katın atrium alanının merkezinde yoğun duman hacmi duman bakımından oldukça seyrek hava ile çevrelenmektedir. Dolaşım alanlarındaki taze hava menfezlerinden taze hava sağlanmasıyla dolaşım alanlarında duman kütle oranının 0.3 mertebelerinde olduğu görülmektedir.

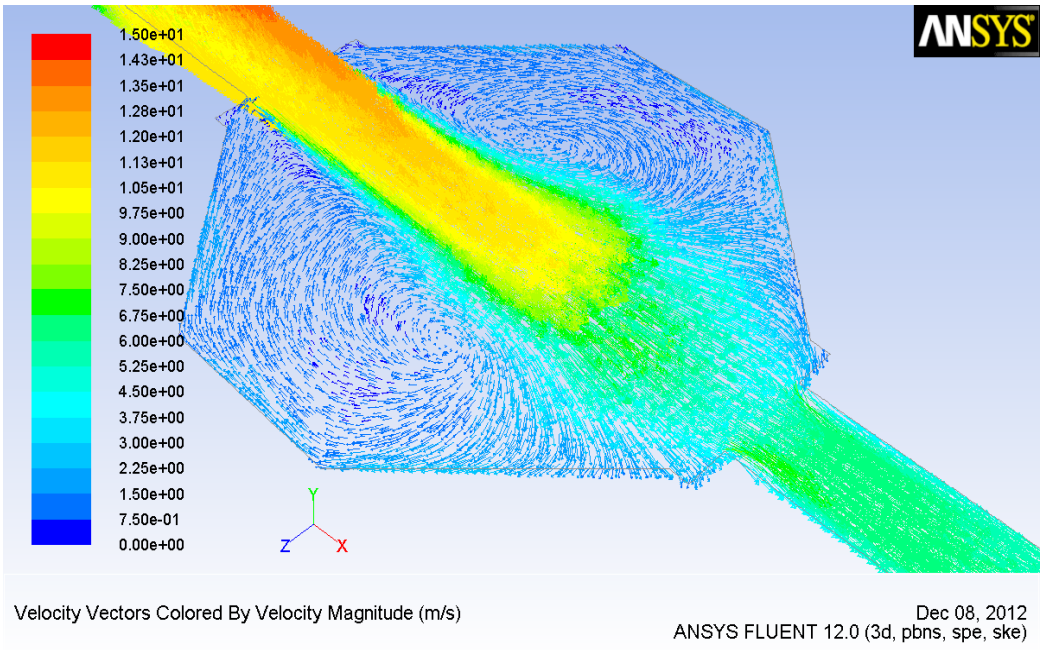


Şekil 3.25: Durum 7 atrium içindeki duman kütle oranı.

Şekil 3.26' da, 5. kattaki duman kütle oranının Durum 2' ye benzerlik gösterdiği,dolaşım alanlarında taze hava sağlanmasının 5. kat sağ koridorda duman kütle oranının daha düşük olmasına neden olduğu görülmektedir. Şekil 3.27' de 5. kattaki hız dağılımının Durum 2 ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.



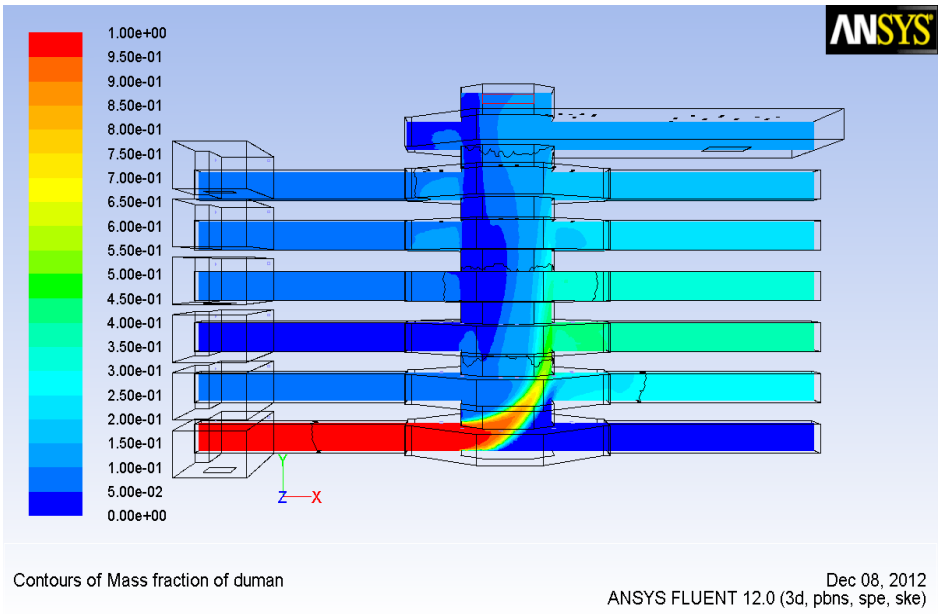
Şekil 3.26: Durum 7 kat 5 duman kütle oranı.



Şekil 3.27: Durum 7 kat 5 hız vektörü.

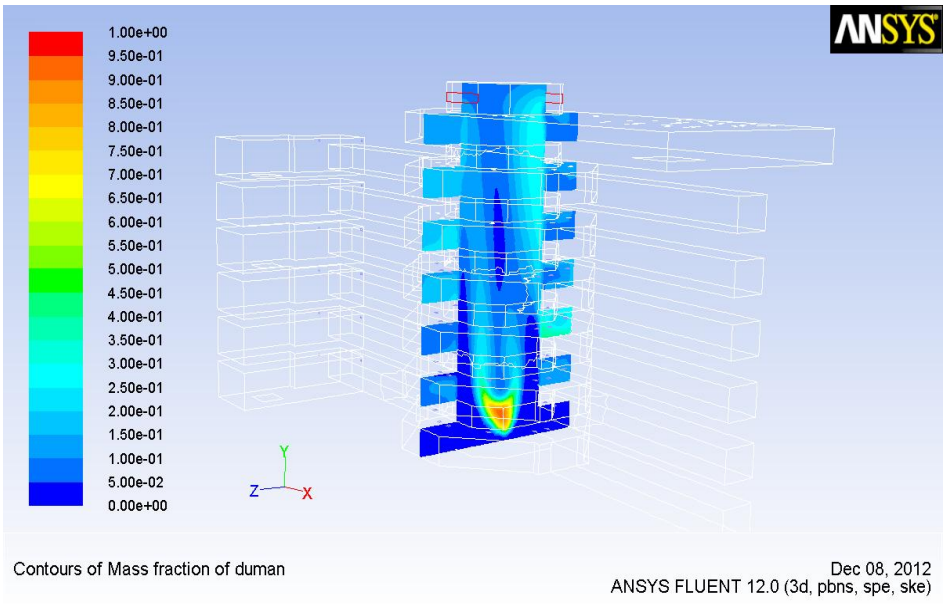
Çözüm senaryosu olarak oluşturulan Durum 8' de atriumun en alt seviyesinden hava girişi olmaktadır. Giren hava miktarı alt katlardaki taze hava menfezlerinin debileri ile sınırlandırılmamış, serbest bırakılmıştır. Şekil 3.28' de, 5. kat sağ koridorun ve sol taraftaki üst koridorların dumandan hemen hemen hiç etkilenmediği görülmektedir. Alt katlardan gelen duman miktarının serbest bırakılmasının duman kütle oranının bina içerisinde düşük olmasına neden olmuştur. 5. kat sağ koridorda duman kütle oranının çok düşük olmasının nedeni, 5. kat atrium alt yüzeyinden gelen

serbest miktardaki taze havanın, 5. kat sol koridordan gelen duman miktarından çok fazla olması ve atrium boşluğunda karşılaştıktan sonra dumanın üst katlara doğru hareket etmesidir.



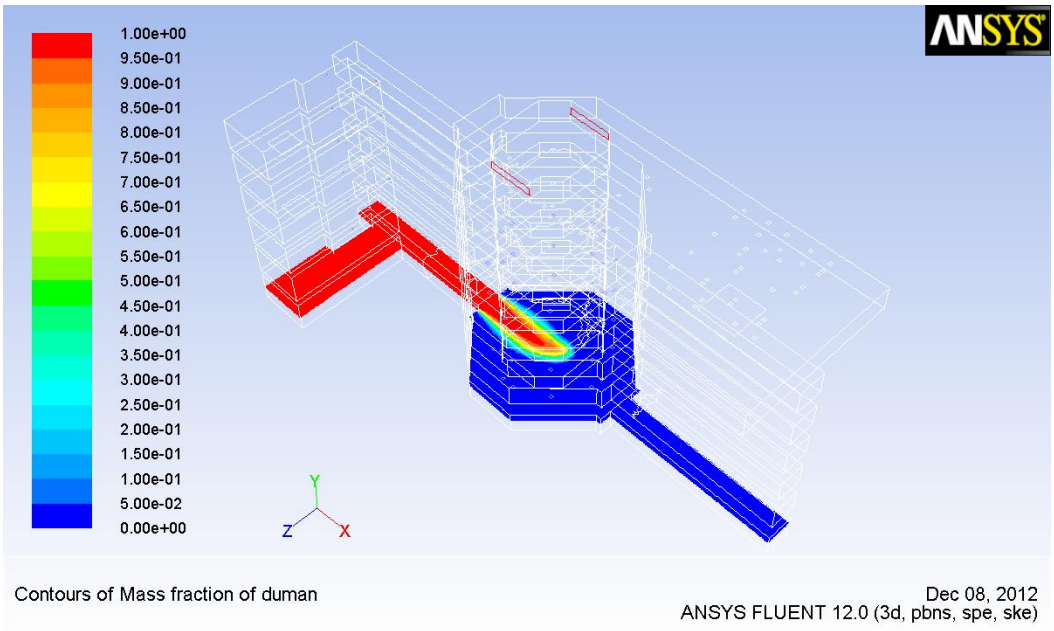
Şekil 3.28: Durum 8 bina düşey kesitindeki duman kütle oranı.

Şekil 3.29' da 5. kat dolaşım alanının dumandan etkilenmediği, üst kat dolaşım alanlarında da duman kütle oranının çok az olduğu görülmektedir.



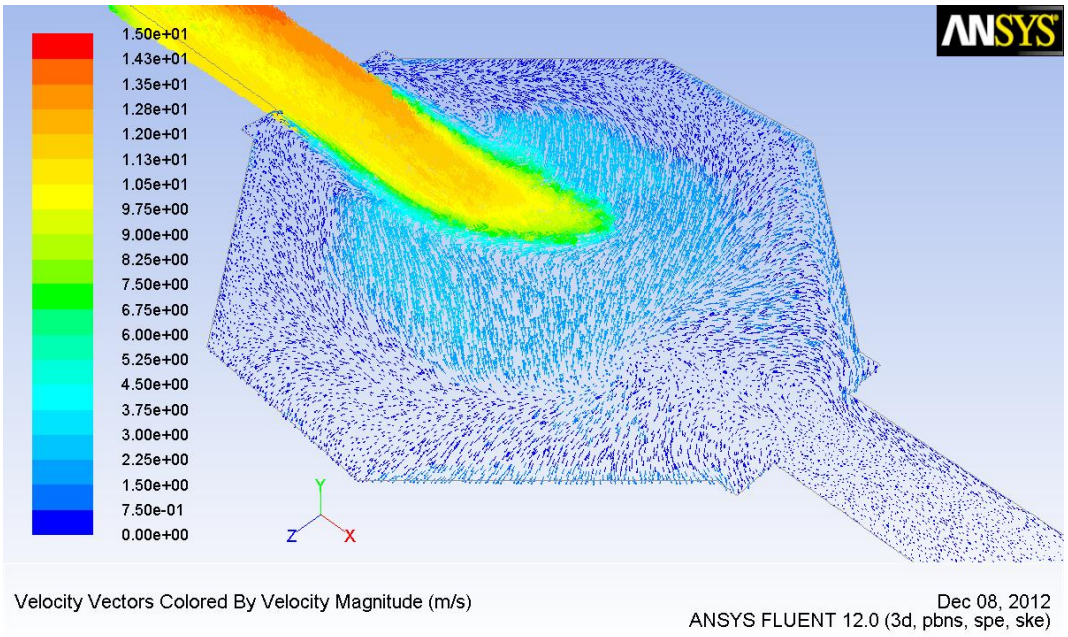
Şekil 3.29: Durum 8 atrium içindeki duman kütle oranı.

Şekil 3.30' da 5. katta, sol koridor tarafı dışında, katın temiz hava ile kaplı olduğu görülmektedir. Bu durum alt katlardan gelen yüksek miktardaki taze havadan kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.30: Durum 8 kat 5 duman kütle oranı.

Şekil 3.31' de 5. katta hız vektörlerinin dolaşım alanı ve sağ koridor tarafında çok düşük olduğu görülmektedir.



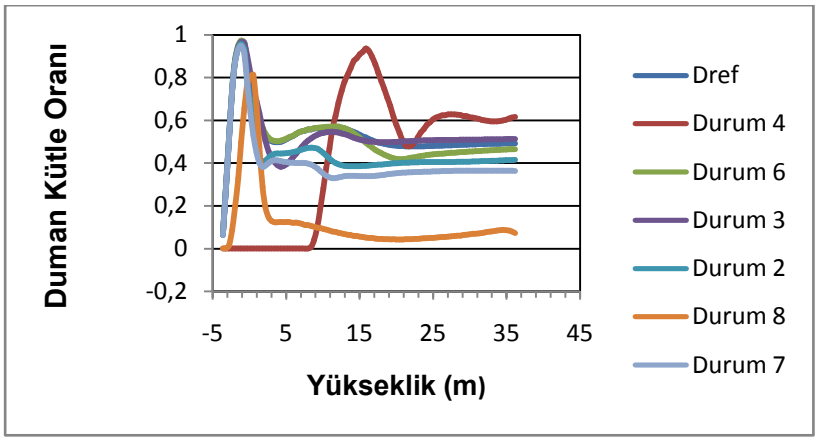
Şekil 3.31: Durum 8 kat 5 hız vektörü.

4. SONUÇLAR

Duman hareketinin sayısal olarak incelenmesi için ön kabuller yapılmış ve analizler için CFD yöntemi kullanılmıştır. Modellenen çok katlı, atrium yapısına sahip binada yangın çıkması durumunda duman hareketinin nasıl olacağı incelenmiştir. Oluşturulan yangın senaryolarında, yanma olayı ve kimyasal reaksiyonların olmadığı kabul edilmiştir.

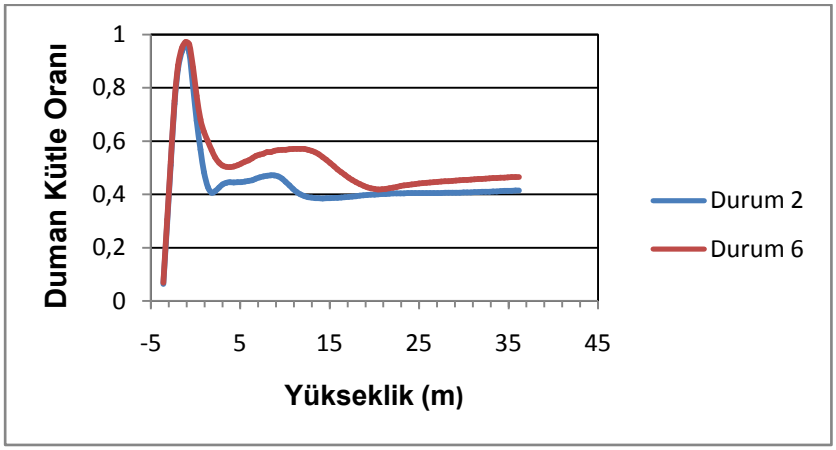
Duman hareketlerinin incelenmesi için 9 farklı yangın senaryosu oluşturulmuş ve farklı sınır şartları altında, kararlı halde, katlara yayılan dumanın kütle oranının ve hız vektörlerinin değişimi gözlenmiştir.

Şekil 4.1' de, oluşturulan 7 farklı yangın senaryosunda atriumda yüksekliğe bağlı olarak duman kütle oranının değişimi görülmektedir. Benzer sınır şartları olan Durum 2 ve Durum 7' de duman kaynağı en alt kattaki atölyedir. Böylece açığa çıkan dumanın tüm katlara yayılması durumu incelenmiştir. Atriumun en alt seviyesinden hava girişi olmaktadır. Giren hava miktarı 5. kat altındaki tüm katlarda taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı kadardır. Duman, en üst katta bulunan iki adet egzoz fanı ve 5., 8. ve 10. kat sağ koridorlarında bulunan açıklıklar ile atriumdan emilmektedir. 5. katta bulunan egzoz fanlarının çalışmadığı kabul edilmiştir. Durum 7' de, Durum 2' den farklı olarak duman yayılımının modellendiği katlardaki dolaşım alanlarında bulunan taze hava menfezlerinden hava girişi olduğu kabul edilmiştir. Bu iki durum karşılaştırıldığında; dolaşım alanında bulunan taze hava menfezlerinden hava girişi olması durumunda duman kütle oranının aynı yüksekliklerde daha az olduğu görülmüştür. Her iki durum için de duman kütle oranının, duman, 5. kat atrium alt yüzeyinden gelen taze hava ile karışıncaya kadar aynı şekilde arttığı ve bu andan sonra aynı şekilde düştüğü görülmektedir. 5. kat dolaşım alanı taze hava menfezlerinden gelen taze hava etkili olduğu andan sonra duman hareketinin aynı şekilde devam ettiği ancak çözüm senaryosu olarak sunulan Durum 7' de duman kütle oranının Durum 2' ye oranla 0.05 daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1: Yangın senaryolarında Yüksekliğe bağlı olarak duman kütle oranının değişimi.

Yine benzer durumlar olan Durum 2 ve Durum 6'da duman kaynağı, referans senaryosunda olduğu gibi en alt kattaki atölyedir. Atriumun en alt seviyesinden hava girişi olmaktadır. Hava miktarı 5. kat altındaki tüm katlarda taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı kadardır. Duman yayılımının modellendiği katlardaki taze hava menfezlerinden hava girişi olmadığı kabul edilmiştir. Duman en üst katta bulunan iki adet egzoz fanı ile atriumdan emilmektedir. 5. katta bulunan egzoz fanlarının çalışmadığı kabul edilmiş, ek olarak Durum 2 için 5., 8. ve 10. katlardaki sağ koridorlarda bulunan açıklıklardan, Durum 6 için ise sadece 8. katta sağ koridor sonunda bulunan açıklıktan hava çıkışına izin verilmiştir. Şekil 4.2' de, Durum 2 ve Durum 6 için atriumda yüksekliğe bağlı olarak duman kütle oranının değişimi görülmektedir. Durum 2' de 5. kattaki sağ koridor açıklığından duman çıkışına izin verilmesi nedeniyle alt katlardan itibaren duman kütle oranının çok daha düşük olduğu görülmektedir.

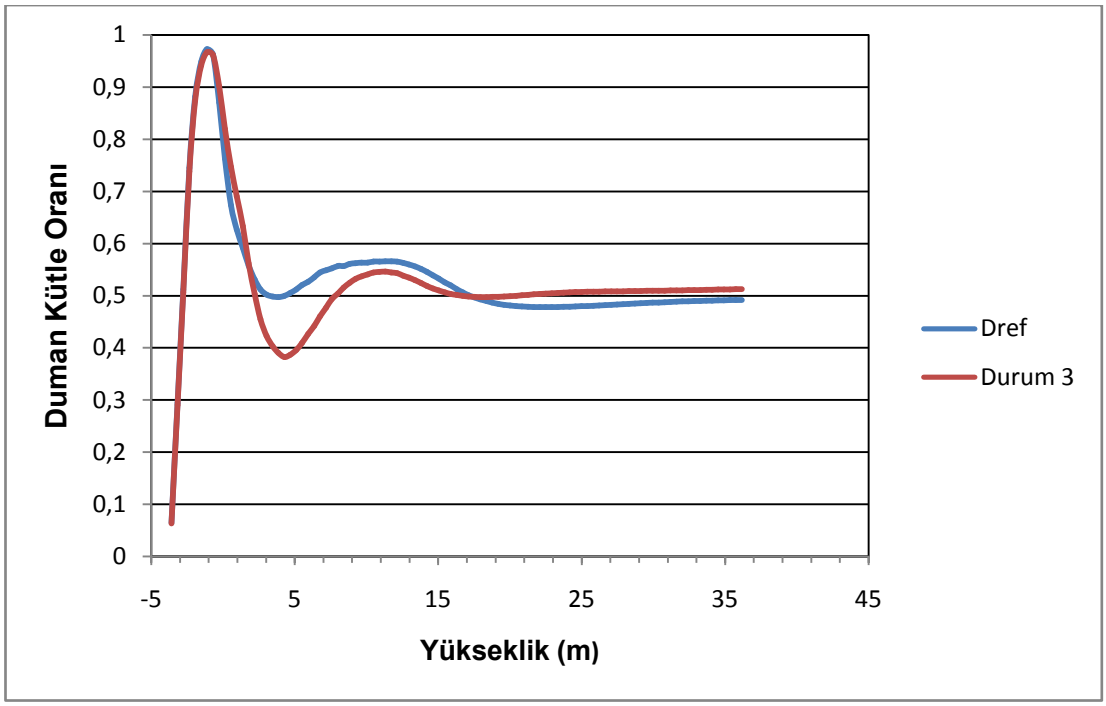


Şekil 4.2: Durum 2 ve Durum 6 yüksekliğe bağlı olarak duman kütle oranının değişimi.

Ele alınan tüm katlarda duman hareketinin incelenebileceği, minimum hava girişi ve duman egzozuna izin verilen referans durum ile sınır şartları benzer olan Durum 3' te duman kaynağı alt kattaki atölyedir. Atriumun en alt seviyesinden, 5. kat altındaki tüm katlarda taze hava menfezlerine ait debilerin toplamı kadar hava girişi olmaktadır. Duman yayılımının modellendiği katlardaki taze hava menfezlerinden hava girişi olmadığı kabul edilmiştir. Duman 5. katta ve en üst katta bulunan ikişer adet egzoz fanları ile atriumdan emilmektedir. Bunlara ek olarak Durum 3' te 5. kat atrium kısmında bulunan iki lineer egzoz fanından da duman egzozu olmaktadır. Şekil 4.3' te her iki durum için, 5. kat atölye havuzundan atriuma gelen dumanın, 5. kat alt yüzeyinden gelen taze hava ile karışmasıyla duman kütle oranının düştüğü görülmektedir. Durum 3' te, referans duruma göre duman kütle oranının 0.1' e kadar farklılık gösterdiği görülmektedir.

Oluşturulan yangın senaryolarına çözüm olarak sunulan iki yangın senaryosu ile (Durum 7 ve Durum 8), ele alınan çok katlı, atrium yapısına sahip binada incelenen duman kütle oranında düşük değerler elde edilmiştir.

Aynı mimarı yapıya sahip binalarda, binanın kullanım amacına göre meydana gelebilecek yangınlarda, yangın büyüklüğü değişken olarak alınarak yeni çalışmalar yapılmasının yararlı olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.3: Referans durum ve Durum 3 yüksekliğe bağlı olarak duman kütle oranının değişimi.

5. katta bulunan atölyede yangın çıkması durumunda oluşturulan yangın senaryolarında 6. kat ve 10. kat atölye girişlerinde duman kütle oranları incelenmiştir. Hava içerisinde yaklaşık olarak % 21 oranında oksijen olduğu göz önüne alındığında 6. kat ve 10. kat atölye girişlerindeki oksijen miktarı hesaplanmış ve insan sağlığı için kritik değerlerde olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 4.1' de havadaki oksijen miktarının insan sağlığı üzerindeki etkisi verilmiştir.

Çizelge 4.1: Havadaki oksijen miktarının insan sağlığına etkisi.

O_2 (%)	Etki
21	Normal nefes alma
19	Neredeyse normal nefes alma
17	Nefes almada hızlanma ve zorlanma
15	Baş dönmesi,sersemleme,bulanık görme
9	Baygınlık ve bilinç kaybı

Referans durumda 6. kat atölye girişinde duman kütle oranı 0.7, havadaki oksijen oranı %6' dır. Bu miktar ani ölümlere neden olabilecek kadar azdır. Sağ koridor sonlarında açıklık olduğu Durum 2' de 6. kat atölye girişinde duman kütle oranı 0.25, havadaki oksijen oranı %15' tir. Bu oran baş dönmesi, sersemleme, bulanık görmeye neden olabilmektedir.

Çizelge 4.2' de Referans Durum, Durum 2, Durum 7, Durum 8'de 6. ve 10. kat atölye girişi duman kütle oranı ve buralardaki oksijen miktarları verilmiştir.Oksijen miktarları duman kütle oranına bağlı olarak ortamda bulunan havada %21 oksijen bulunduğu kabul edilerek hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2: Duman kütle oranları ve oksijen miktarları.

	6.Kat atölye giriş duman kütle oranı	**O2 konsantrasyonu**	**10. Kat atölye giriş duman kütle oranı**	**O2 konsantrasyonu**
Referans Durum	0,7	%6	0,47	%11
Durum 2	0,25	%15	0,15	%17
Durum 7	0,1	%18	0,07	%19
Durum 8	0,02	%20	0,01	%20

Çözüm senaryoları ile, yangın çıkan kat hariç diğer katlardaki atölye girişlerinde, normale yakın değerlerde O2 konsantrasyonu elde edilmiştir.

Hava debisinin sınırlı olduğu Referans durumda oksijen miktarı %10' lara kadar düşmekte,5. ve 6. katta oksijen konsantrasyonu insan sağlığını tehdit etmektedir. Hava debisi serbest bırakıldığı durumda ise en düşük %14 değerini almaktadır. Bir çok katta duman insan sağlığını etkilemeyecek düzeyde olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Hadjisophocleous G., Ko Y.J.** (2006). Using a Cfd Simulation in Designing a Smoke Management System in a Building, Ottawa, Ontario, Kanada

[2] **Gutie´rrez-Montes,C., Sanmiguel-Rojas,E., Viedma,A., Rein,G.** (2008). Experimental data and numerical modelling of 1.3 and 2.3MW fires in a 20 m cubic atrium, Murcia, Spain

[3] **Qina, T.X., Guoa, Y.C., Chanb, C.K., Lina, W.Y.** (2008). Numerical simulation of the spread of smoke in an atrium under fire scenario, China

[4] **Mercia,B., Maeleb, K.** (2008). Numerical simulations of full-scale enclosure fires in a small compartment with natural roof ventilation, Belgium

[5] **Liu, Y., Moser, A., Sinai, Y.** (t.y.). Comparison of a CFD fire model against a ventilated fire experiment in an enclosure, Zurich, Switzerland

[6] **Hao-wei, Y., Wen-li, D., Dong, L., Rogner, A., Jing-wei, L.** (2011). Simulation of Full-scale Smoke Control in Atrium, China

[7] **Chow, W.K., Li, Y.Z., Cui, E., Huo, R.** (2000). Natural smoke filling in atrium with liquid pool fires up to 1.6 MW, China

[8] **Rho, J.S., Ryou, H.S.** (1999). A numerical study of atrium fires using deterministic models, South Korea

[9] **NFPA-92B.** (1999). Guide for smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

[10] **Tamura, G.** (1994). Smoke Movement & Control in High- rise Buildings, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts

[11] **Kılıç, A.**, Alışveriş Merkezleri Duman Kontrol Sistemleri (2008), TTMD Dergisi, 57, 11-17.

[12] **Kılıç,A.**, Duman Kontrol Gerekliliği. Adres:

http://www.yangin.org/dosyalar/duman_kontrol_gerekliligi.pdf. Alındığı tarih: 18.10.2012

[13] **F. LIU, P. V. Nielsen, P. Heilselberg, Henrik Brohus, B. Z. LI** (2009). Investigation on Balcony Plume Entrainment, Chongqing, China

[14] **Klote, J.H., Nelson, H.E.** (1997). Smoke Movement in Buildings, Fire Protection Handbook, 18th Edition. NFPA FPH1897, Section 7, Chapter 6.

[15] **Yamada, T.** (1992). Experimental study of exchange flow through a horizantal ceiling vent, Proceedings of the 12th Joint Panel Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety, NIST, Gaithersburg- MD.

[16] **Balık, G.** (2003). Geniş Hacim Yangınlarında Duman Tahliyesinin Sayısal Olarak İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yükseklisans tezi)

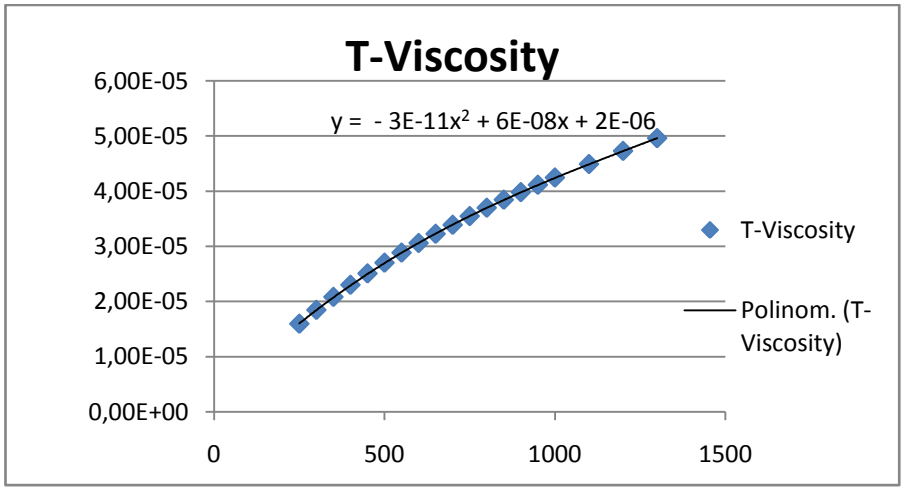
EKLER

EK A : Havanın termofiziksel özellikleri
EK B : CO gazının termofiziksel özellikleri
EK C : Yangın senaryoları sonuçları

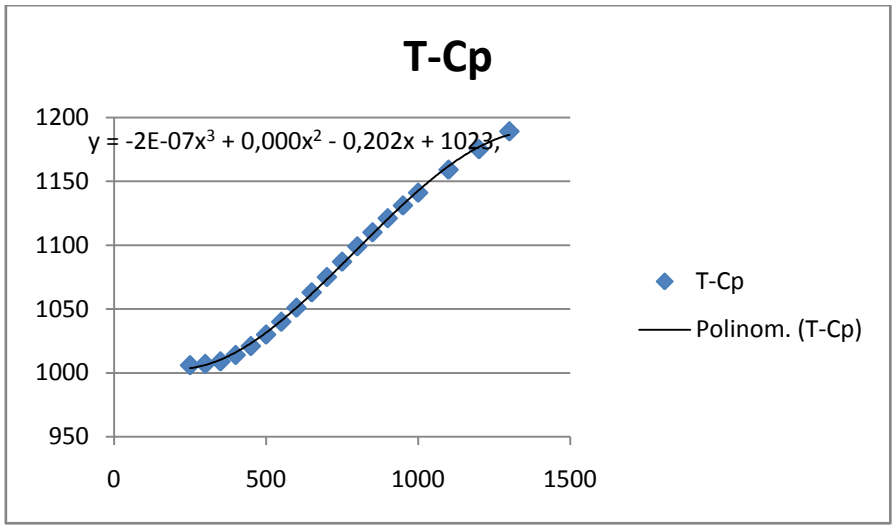
EK A

Çizelge A.1 : Havanın termofiziksel özellikleri.

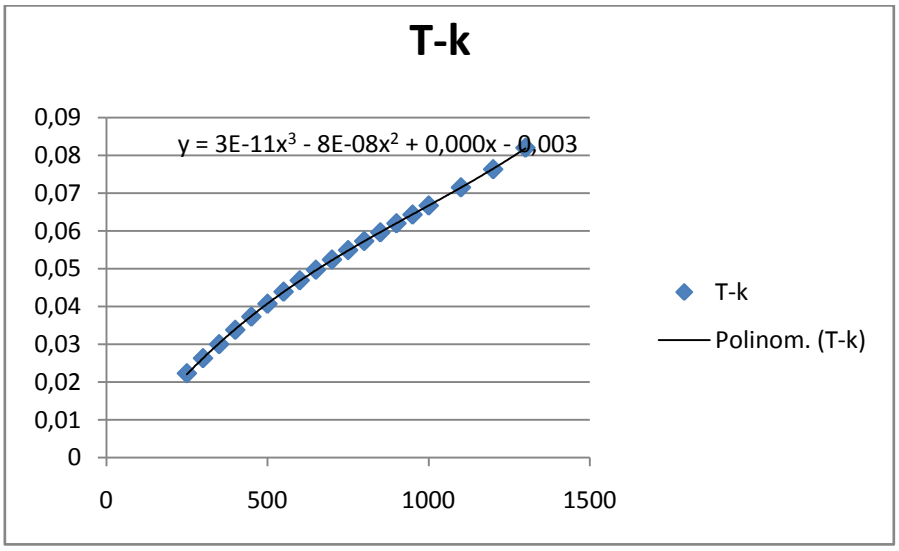
T(K)	Cp(J/kg,K)	k(W/m,K)	ρ(kg/m3)	v(m2/s)	kg/m.s
250	1006	0,0223	1,3947	1,14E-05	1,60E-05
300	1007	0,0263	1,1614	1,59E-05	1,85E-05
350	1009	0,03	0,995	2,09E-05	2,08E-05
400	1014	0,0338	0,8711	2,64E-05	2,30E-05
450	1021	0,0373	0,774	3,24E-05	2,51E-05
500	1030	0,0407	0,6964	3,88E-05	2,70E-05
550	1040	0,0439	0,6329	4,56E-05	2,88E-05
600	1051	0,0469	0,5804	5,27E-05	3,06E-05
650	1063	0,0497	0,5356	6,02E-05	3,22E-05
700	1075	0,0524	0,4975	6,81E-05	3,39E-05
750	1087	0,0549	0,4643	7,64E-05	3,55E-05
800	1099	0,0573	0,4354	8,49E-05	3,70E-05
850	1110	0,0596	0,4097	9,38E-05	3,84E-05
900	1121	0,062	0,3868	1,03E-04	3,98E-05
950	1131	0,0643	0,3666	1,12E-04	4,11E-05
1000	1141	0,0667	0,3482	1,22E-04	4,24E-05
1100	1159	0,0715	0,3166	1,42E-04	4,49E-05
1200	1175	0,0763	0,2902	1,63E-04	4,73E-05
1300	1189	0,082	0,2679	1,85E-04	4,96E-05



Şekil A.1 : Havanın sıcaklık viskozite eğrisi.



Şekil A.2 : Havanın sıcaklık özgül ısı eğrisi.

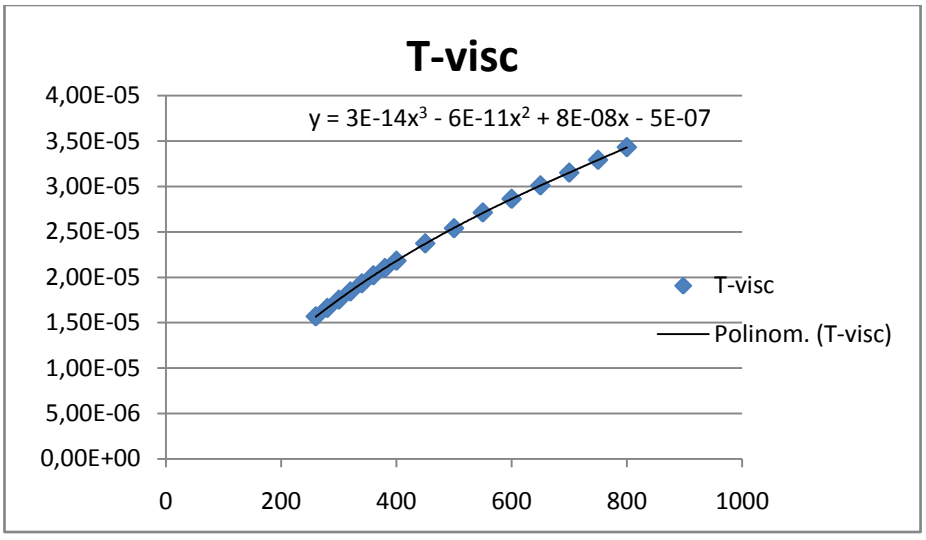


Şekil A.3 : Havanın sıcalık ısı iletim katsayısı eğrisi.

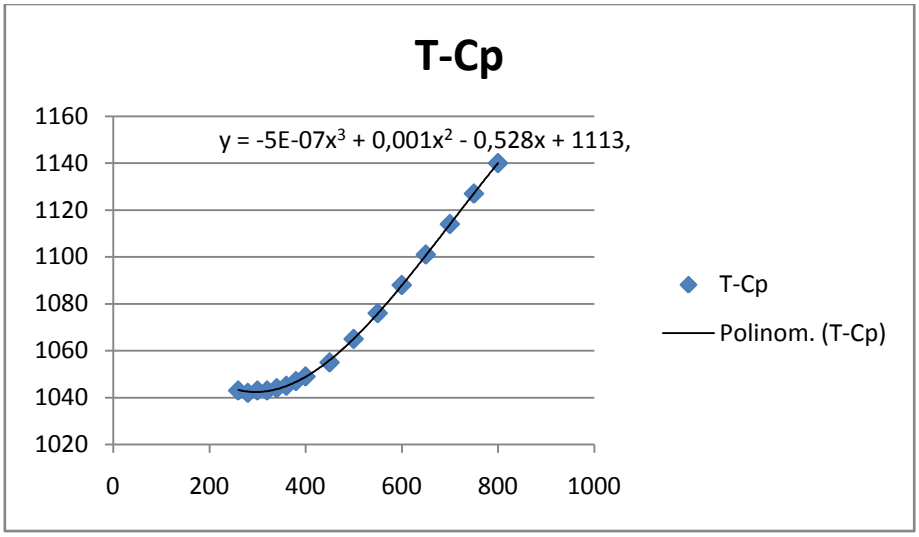
EK B

Çizelge B.1 : Karbonmonoksitin termofiziksel özellikleri.

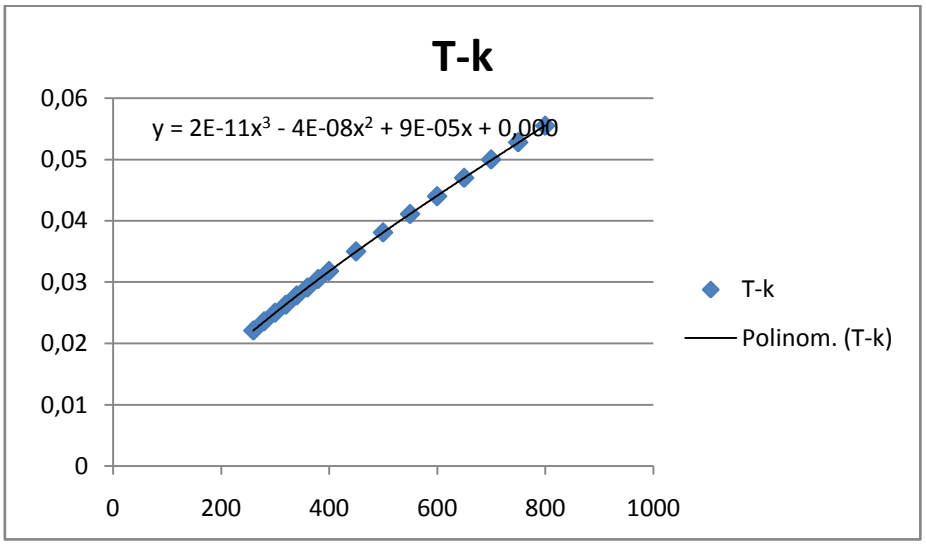
T(K)	Cp(J/kg,K)	k(W/m,K)	ρ(kg/m3)	v(m2/s)	kg/m.s
260	1043	0,0221	1,2967	1,21E-05	1,57E-05
280	1042	0,0236	1,2038	1,38E-05	1,66E-05
300	1043	0,025	1,1233	1,56E-05	1,75E-05
320	1043	0,0263	1,0529	1,75E-05	1,84E-05
340	1044	0,0278	0,9909	1,95E-05	1,93E-05
360	1045	0,0291	0,9357	2,16E-05	2,02E-05
380	1047	0,0305	0,8864	2,37E-05	2,10E-05
400	1049	0,0318	0,8421	2,59E-05	2,18E-05
450	1055	0,035	0,7483	3,17E-05	2,37E-05
500	1065	0,0381	0,6735	3,77E-05	2,54E-05
550	1076	0,0411	0,6122	4,43E-05	2,71E-05
600	1088	0,044	0,5612	5,10E-05	2,86E-05
650	1101	0,047	0,5180	5,81E-05	3,01E-05
700	1114	0,05	0,4810	6,55E-05	3,15E-05
750	1127	0,0528	0,4489	7,33E-05	3,29E-05
800	1140	0,0555	0,4209	8,15E-05	3,43E-05



Şekil B.1 : Karbonmonoksitin sıcaklık viskozite eğrisi.

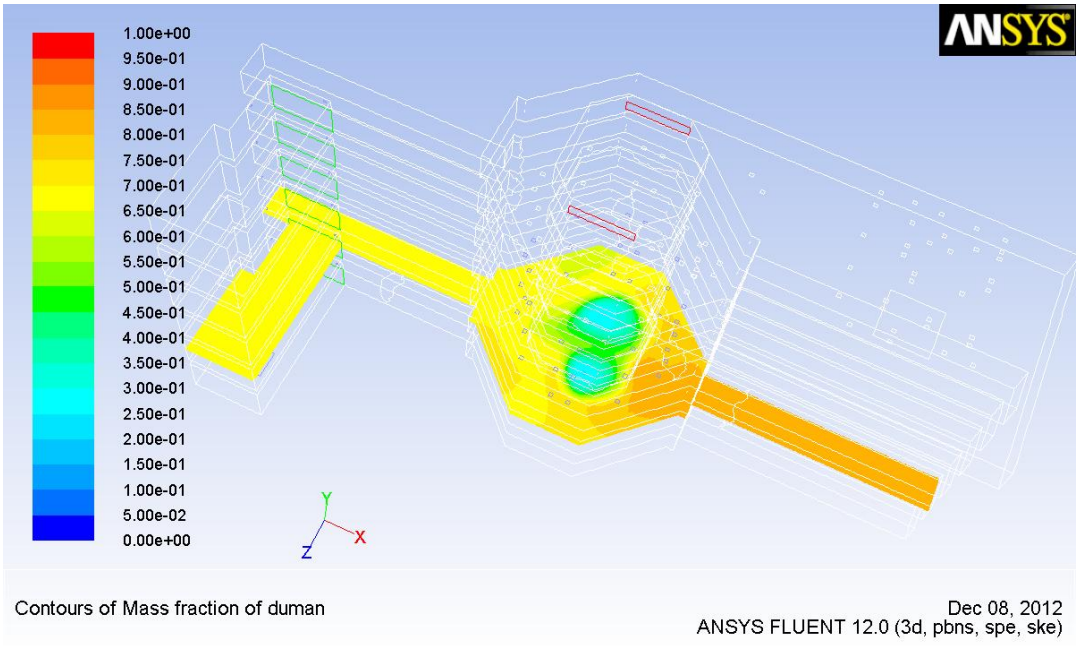


Şekil B.2 : Karbonmonoksitin sıcaklık özgül ısı eğrisi.

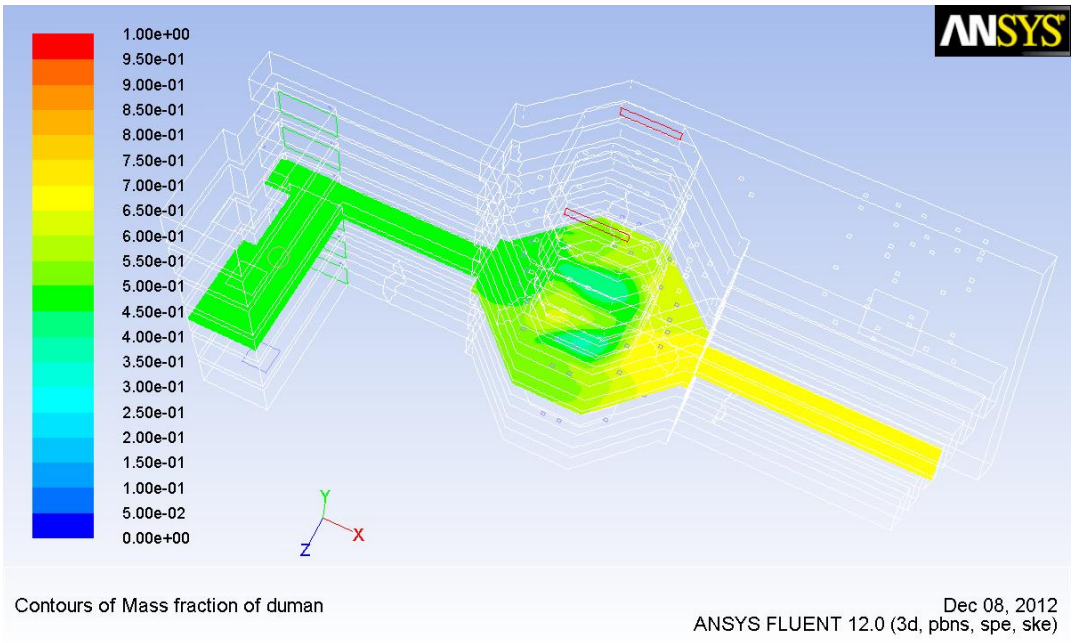


Şekil B.3 : Karbonmonoksitin sıcaklık ısı iletim katsayısı eğrisi.

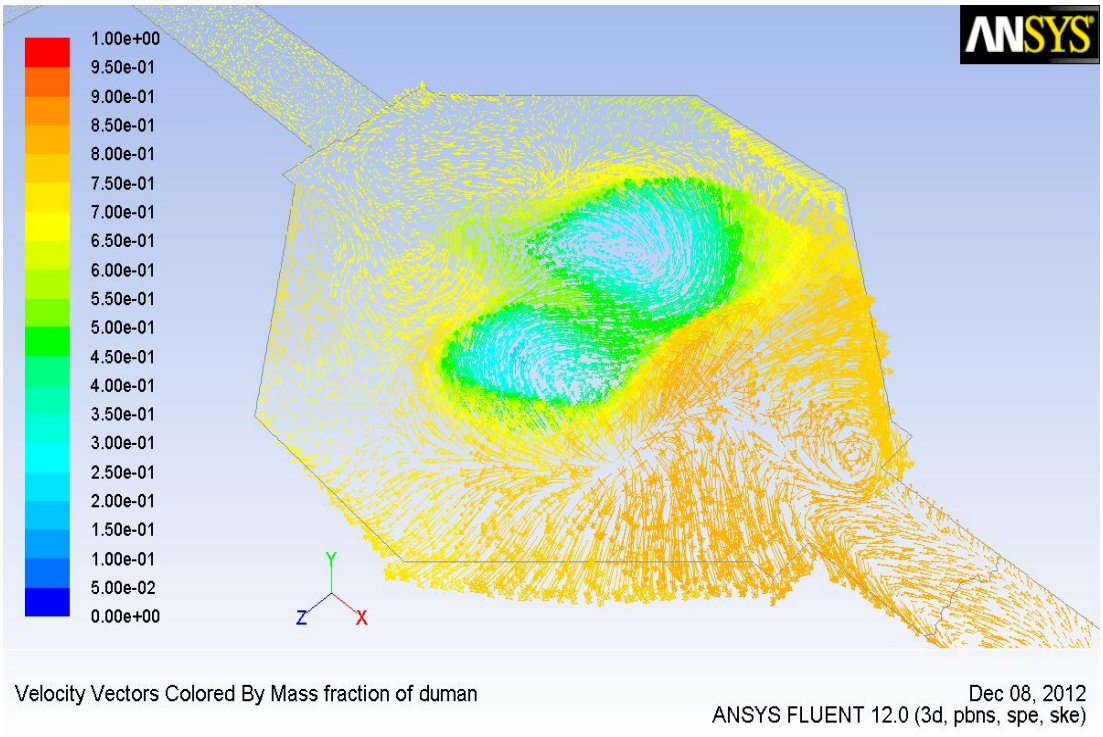
EK C



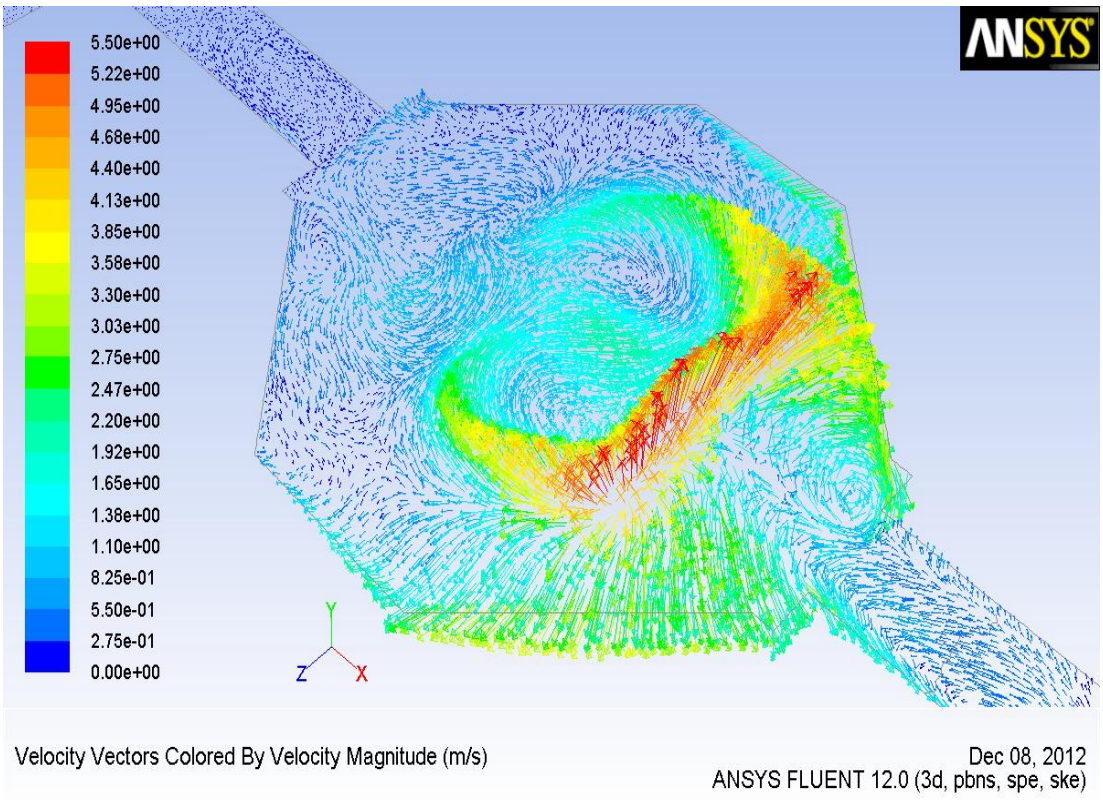
Şekil C.1 : Referans durum kat 6 duman kütle oranı.



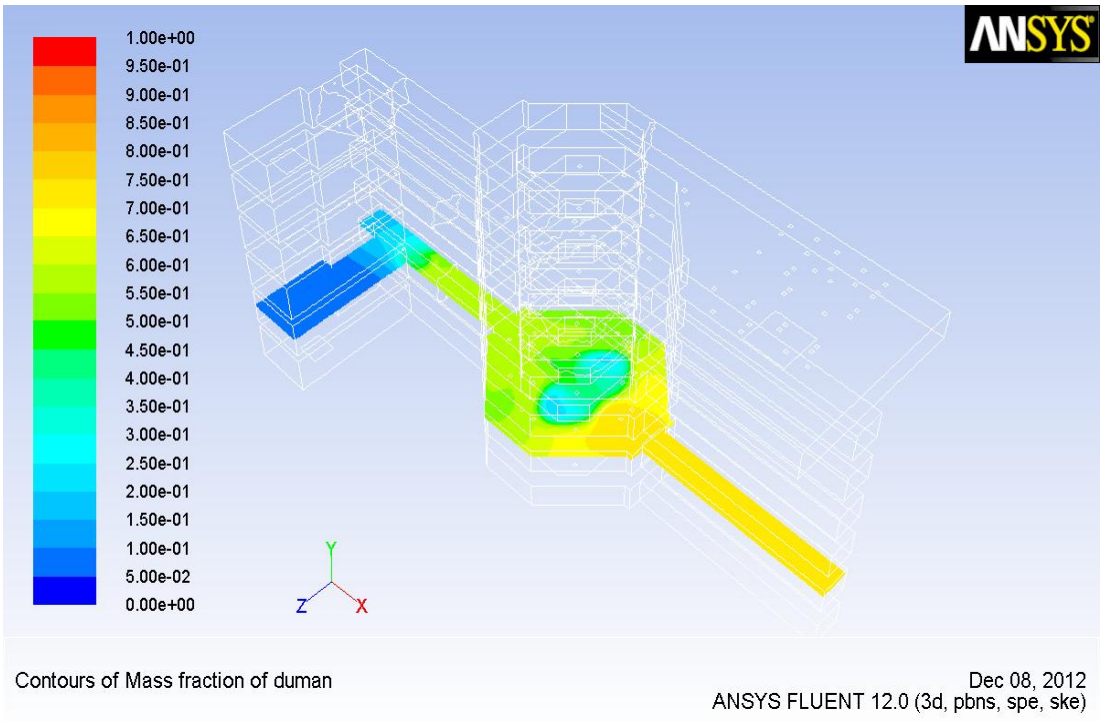
Şekil C.2 : Referans durum kat 7 duman kütle oranı.



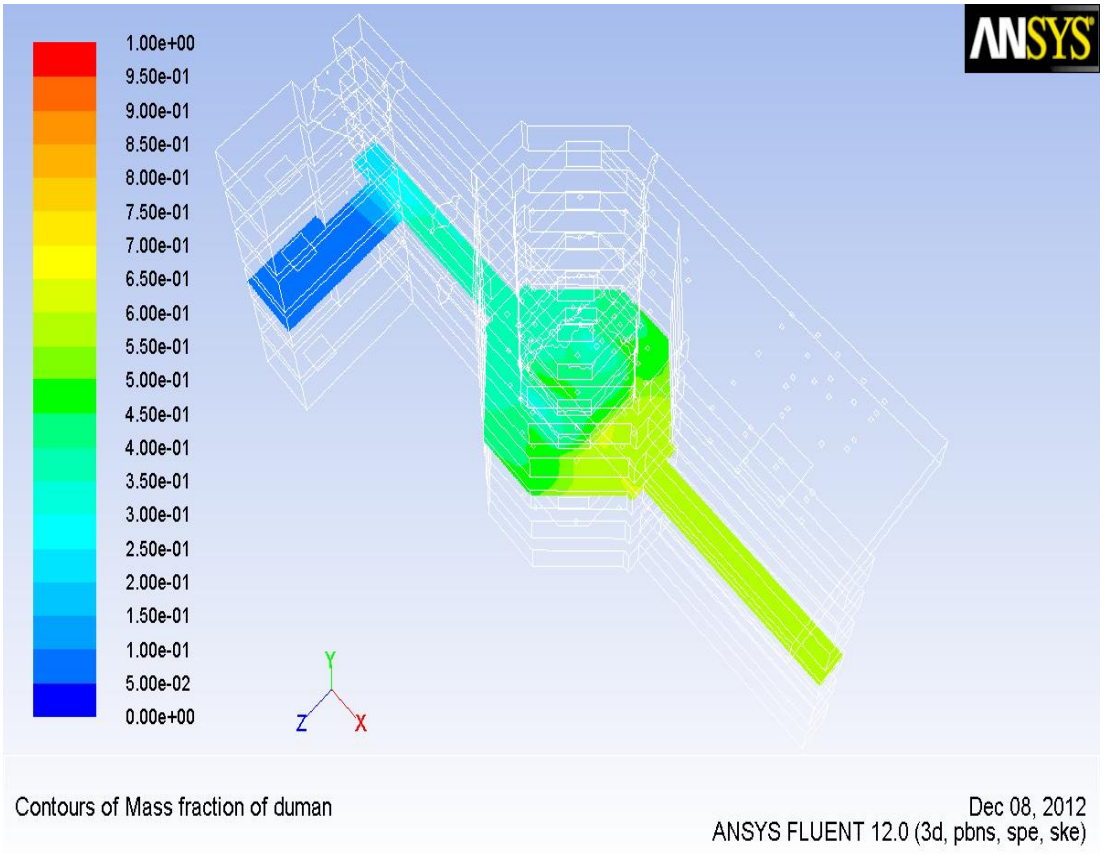
Şekil C.3 : Referans durum kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



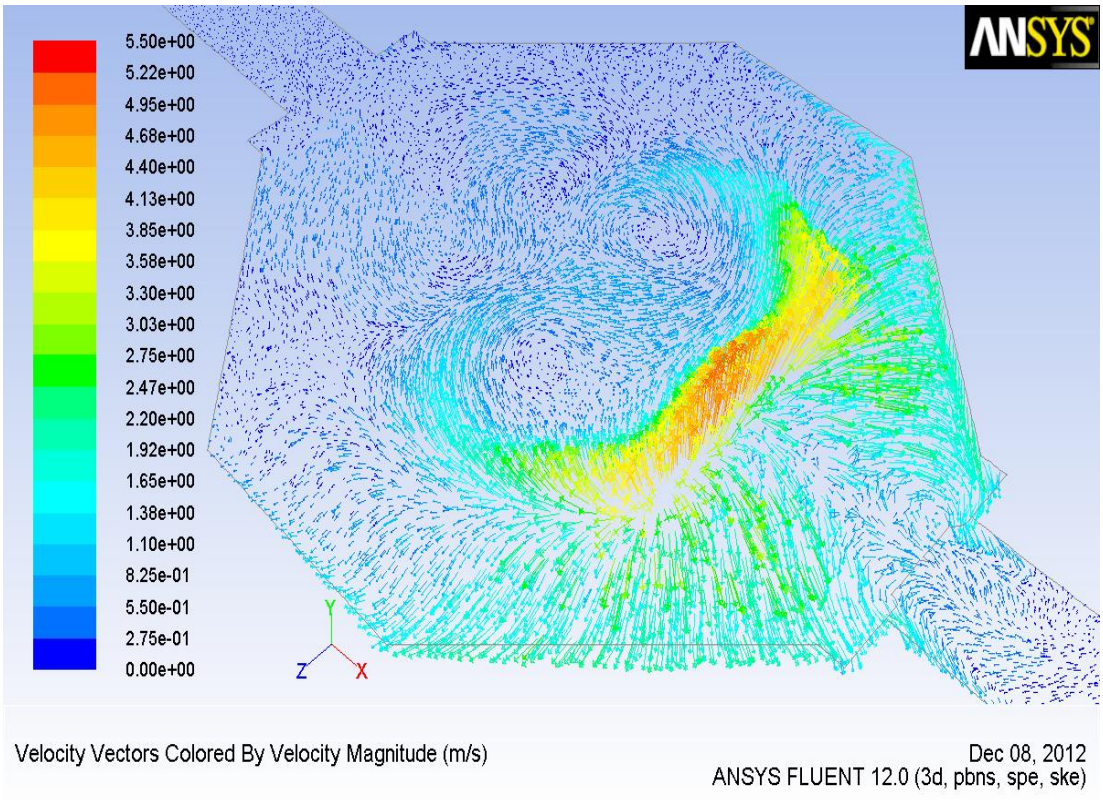
Şekil C.4 : Referans durum kat 6 hız vektörü.



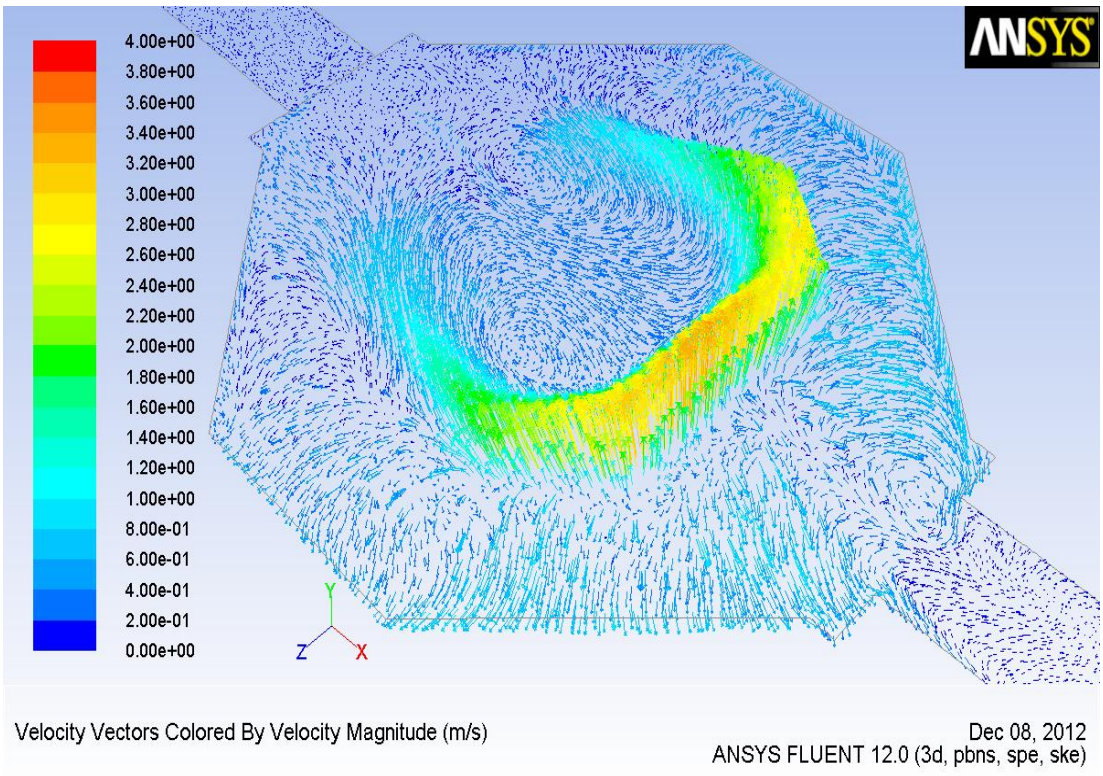
Şekil C.5 : Durum 2 kat 6 duman kütle oranı.



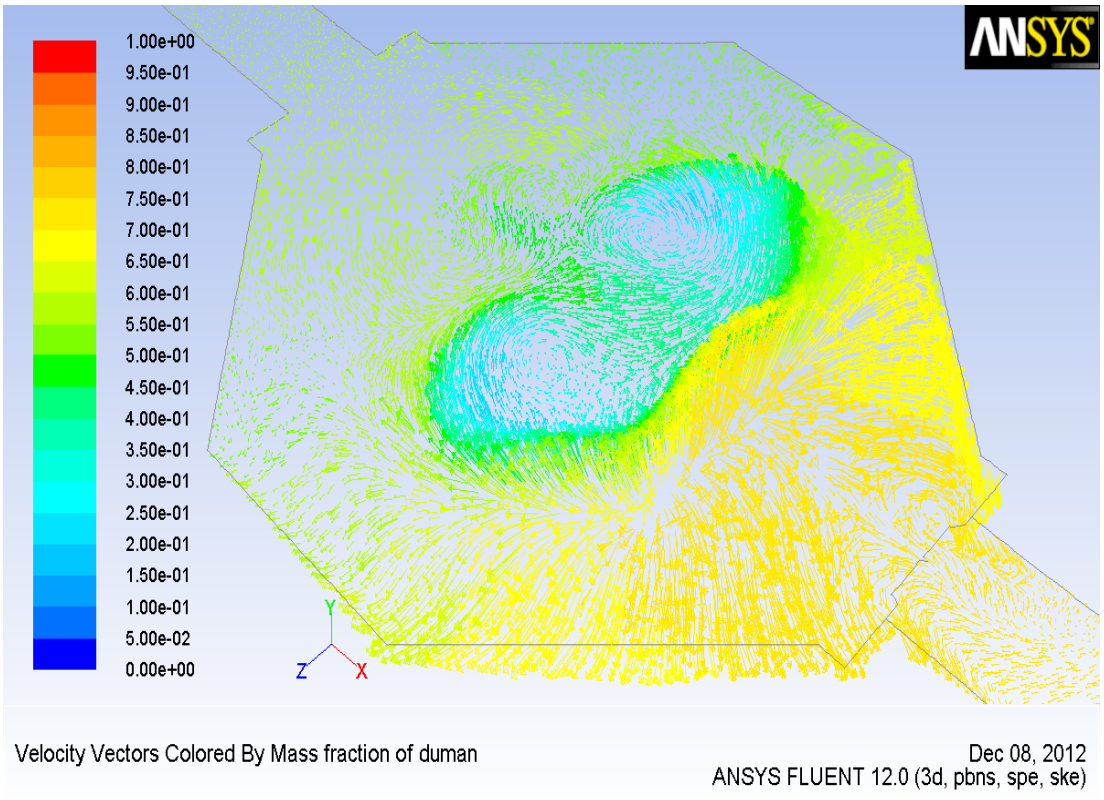
Şekil C.6 : Durum 2 kat 7 duman kütle oranı.



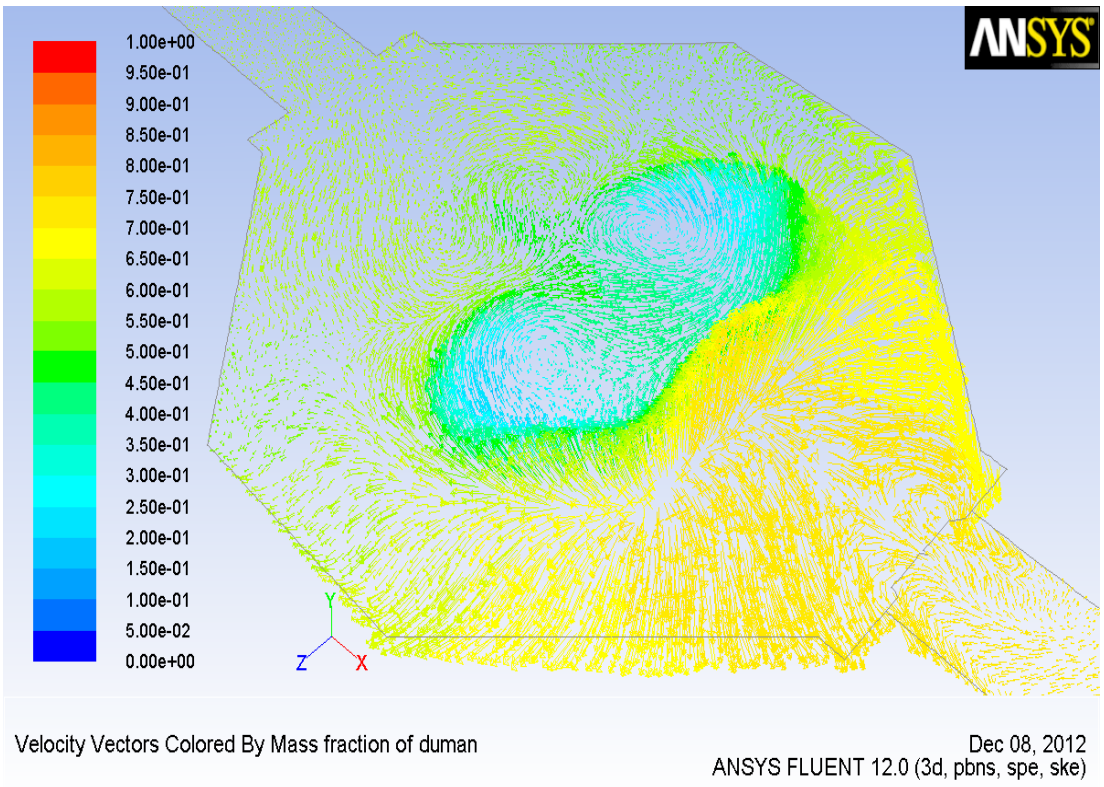
Şekil C.7 : Durum 2 kat 6 hız vektörü.



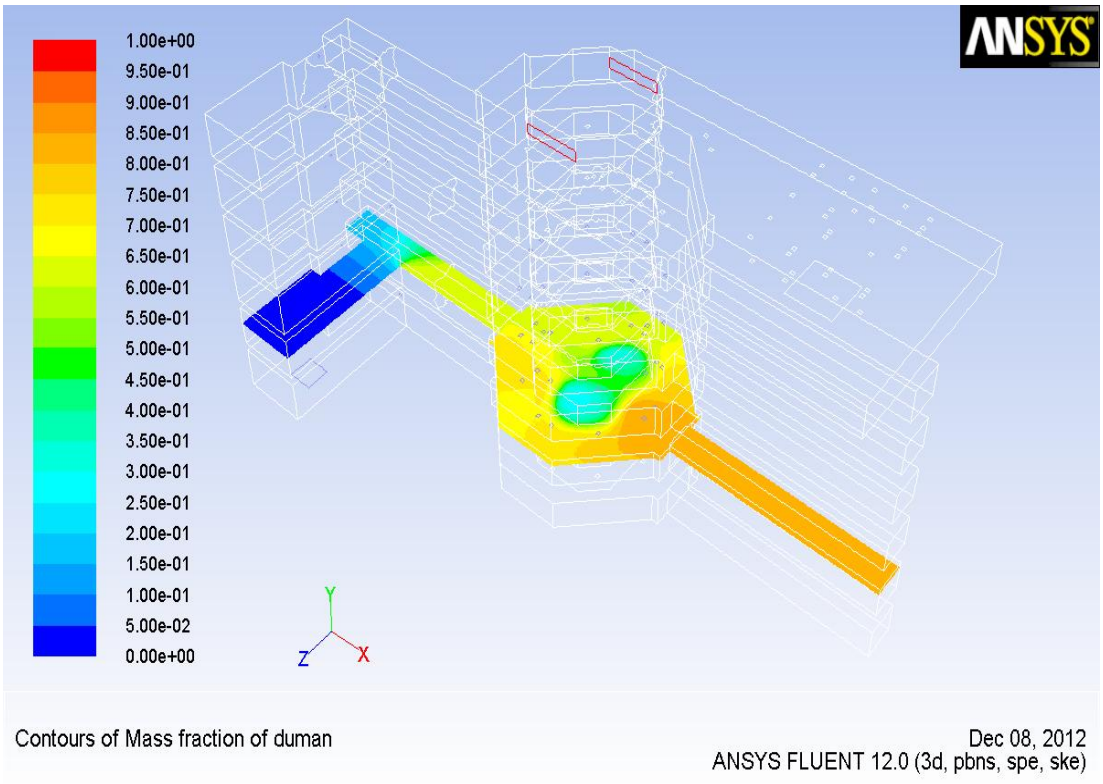
Şekil C.8 : Durum 2 kat 7 hız vektörü.



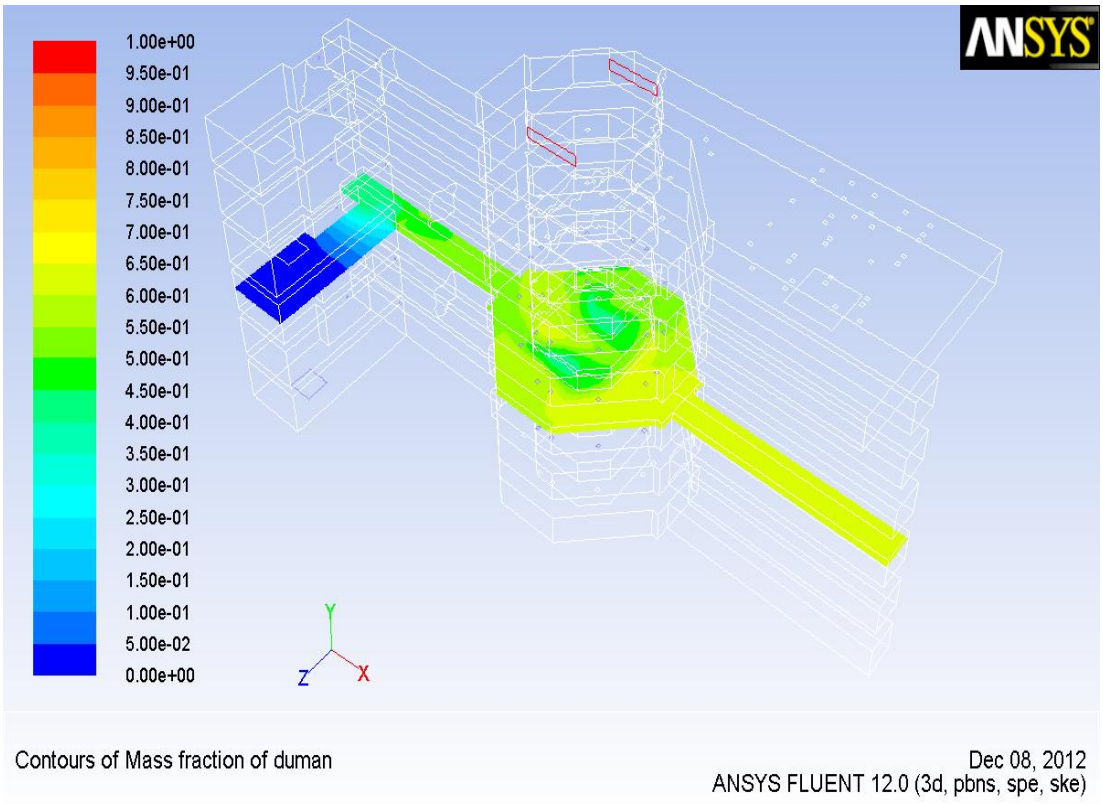
Şekil C.9 : Durum 2 kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



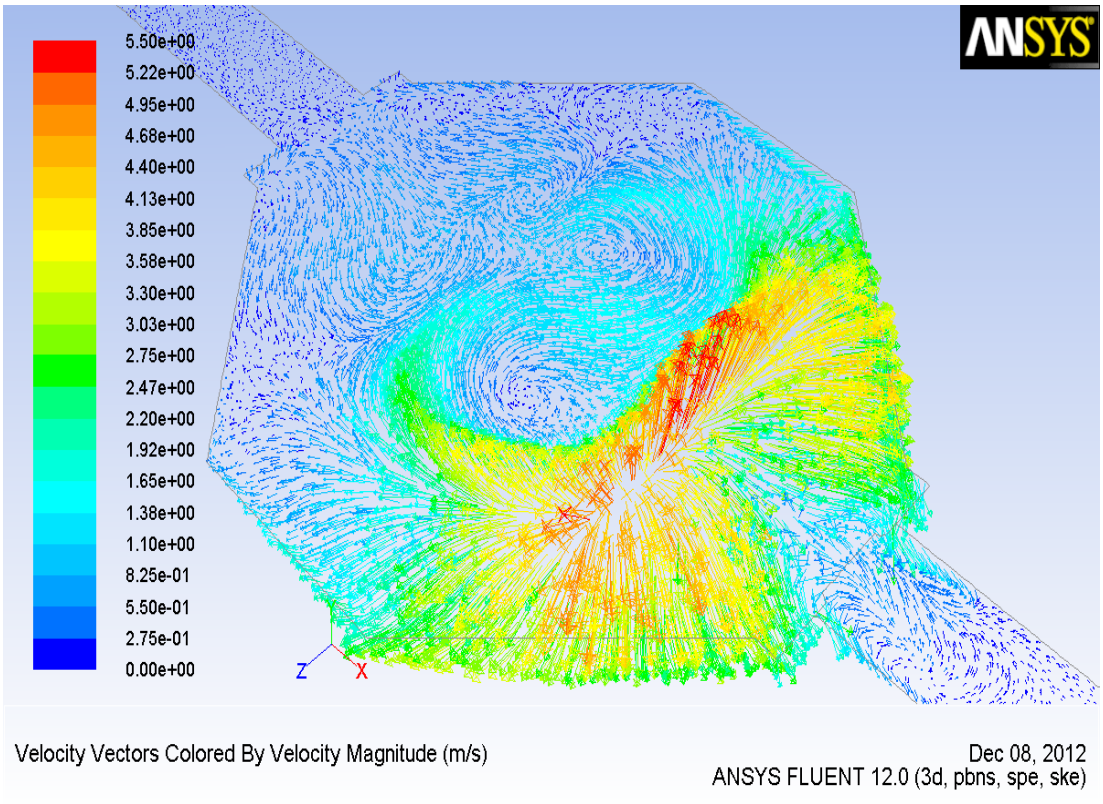
Şekil C.10 : Durum 2 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



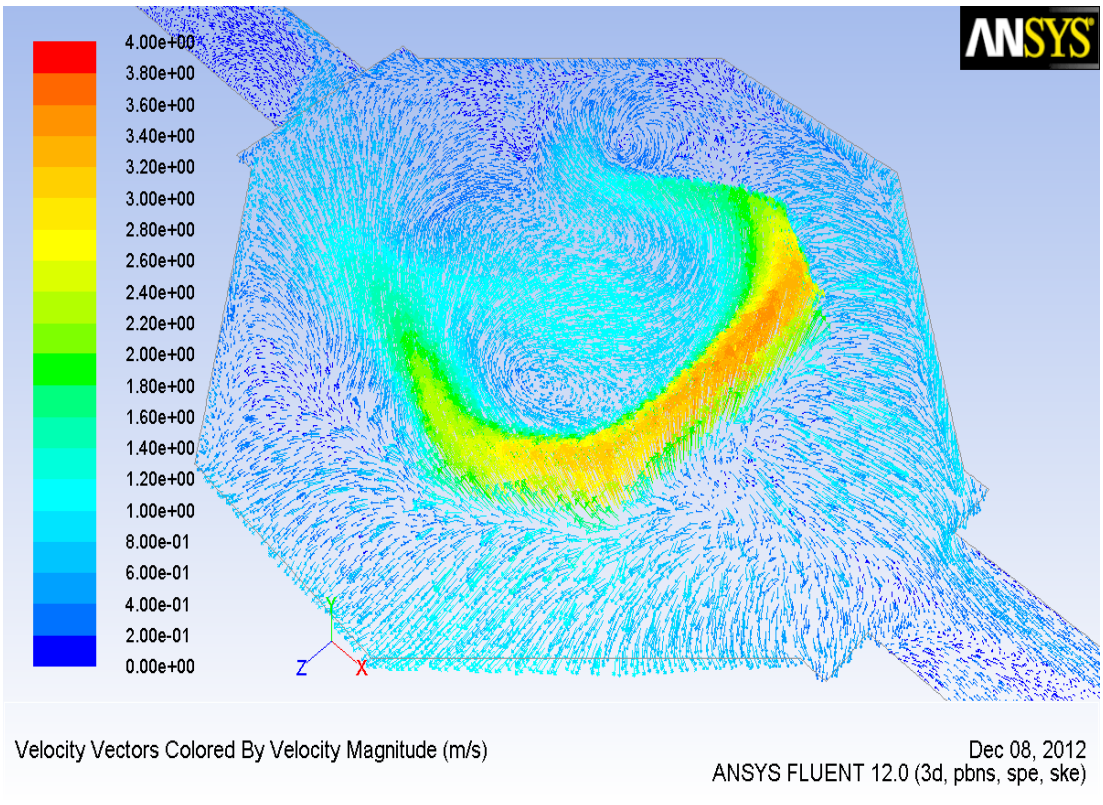
Şekil C.11 : Durum 3 kat 6 duman kütle oranı.



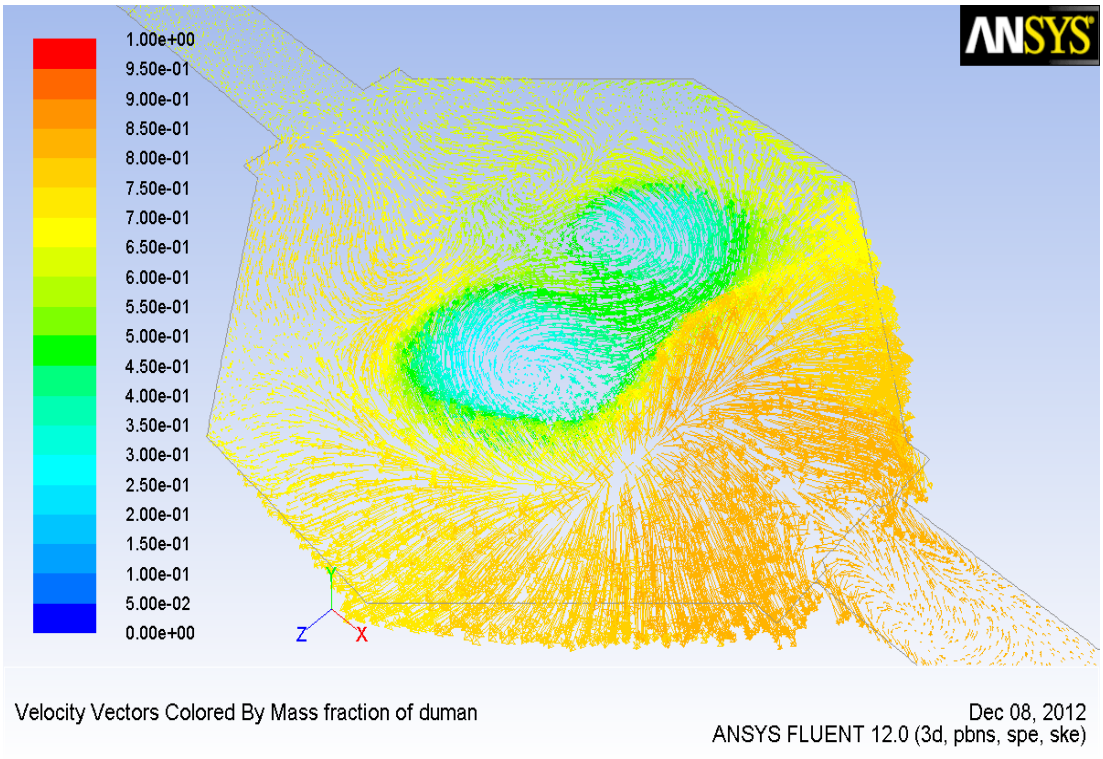
Şekil C.12 : Durum 3 kat 7 duman kütle oranı.



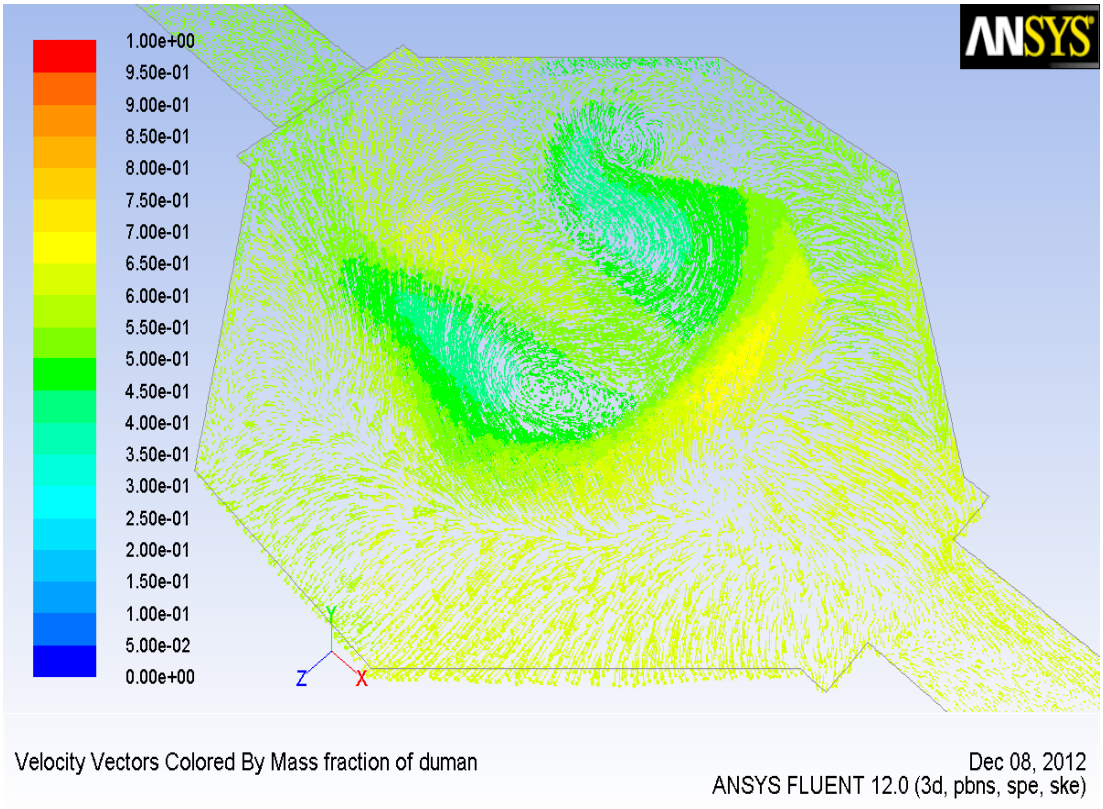
Şekil C.13 : Durum 3 kat 6 hız vektörü.



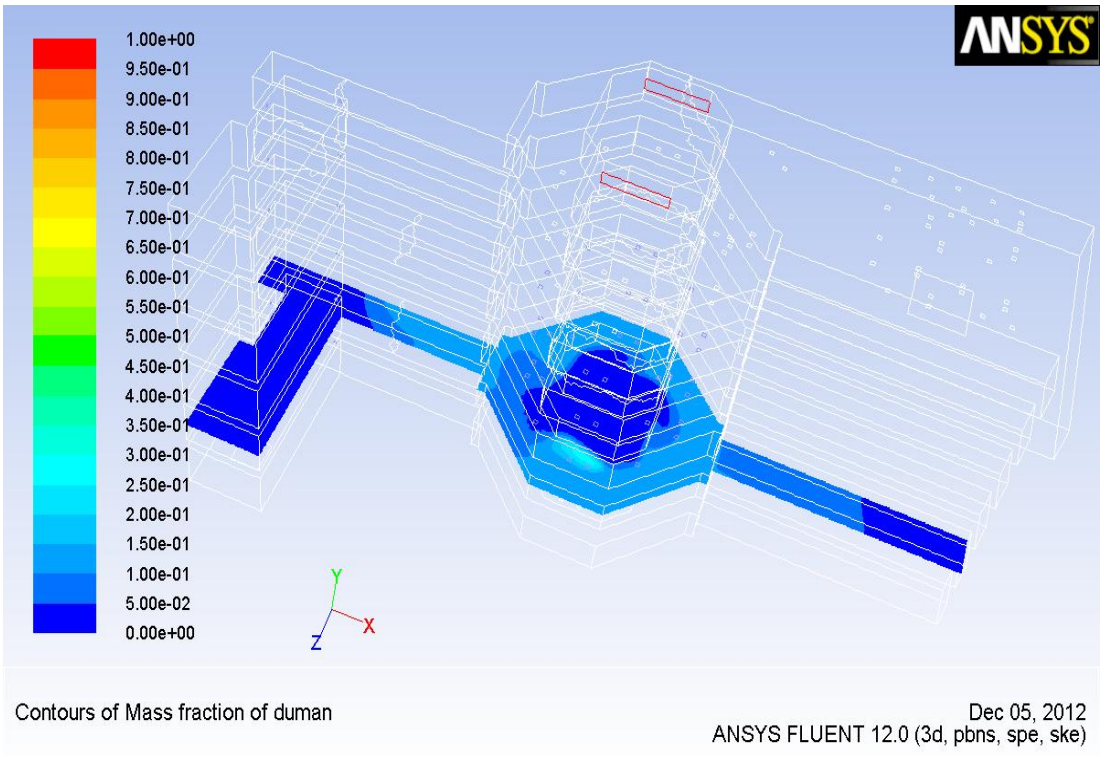
Şekil C.14 : Durum 3 kat 7 hız vektörü.



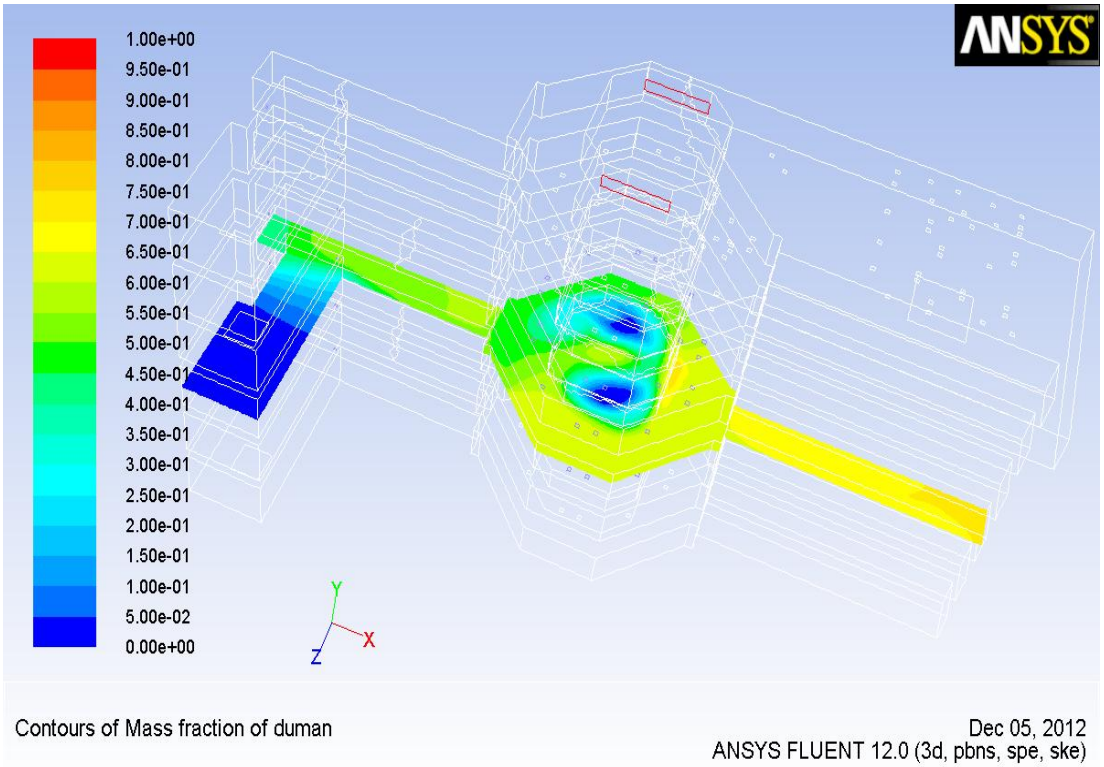
Şekil C.15 : Durum 3 kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



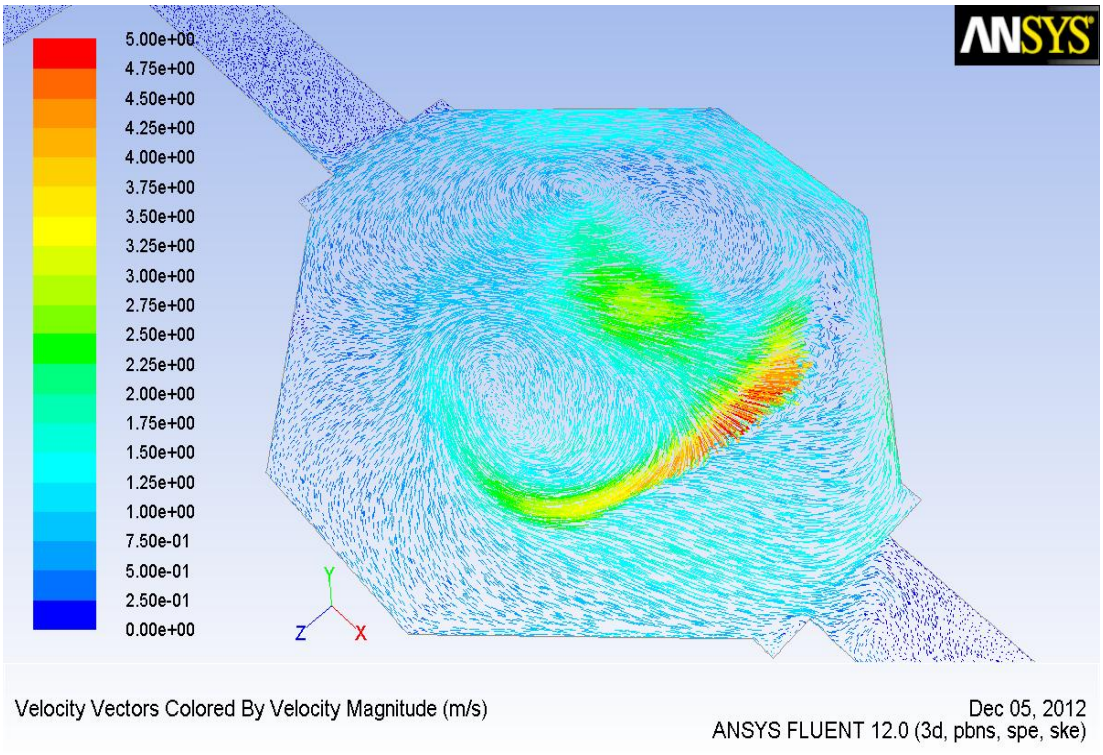
Şekil C.16 : Durum 3 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



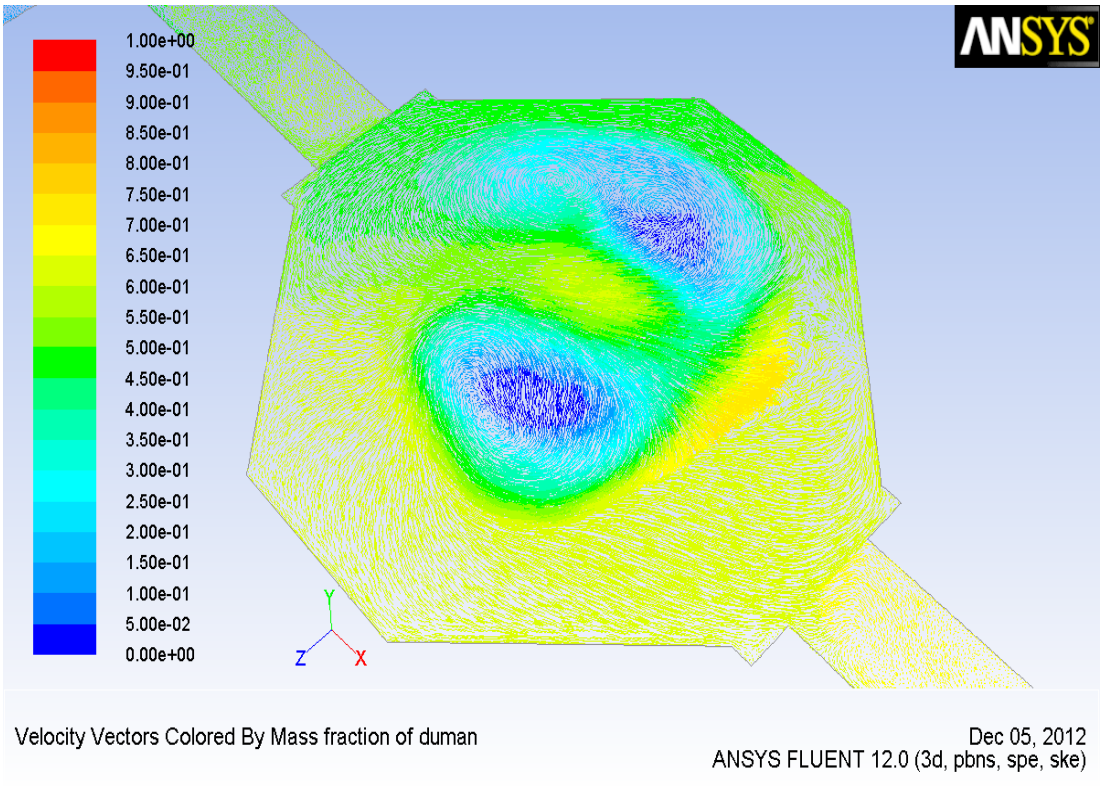
Şekil C.17 : Durum 4 kat 6 duman kütle oranı.



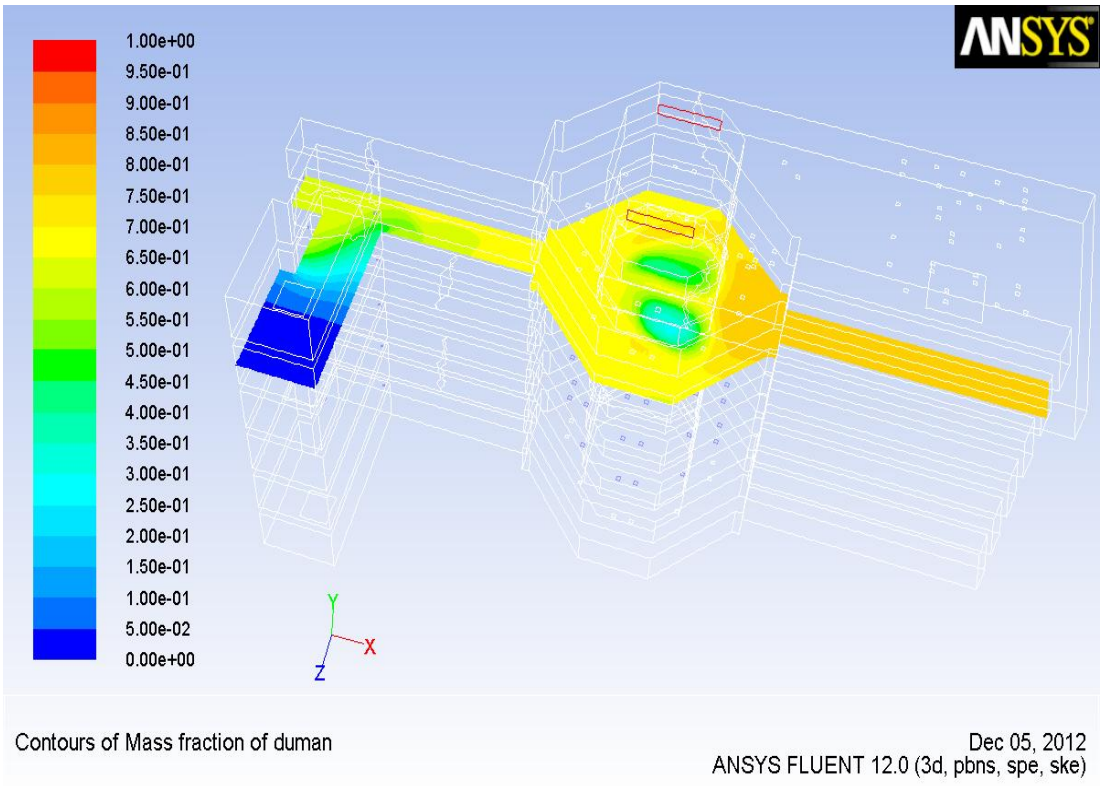
Şekil C.18 : Durum 4 kat 7 duman kütle oranı.



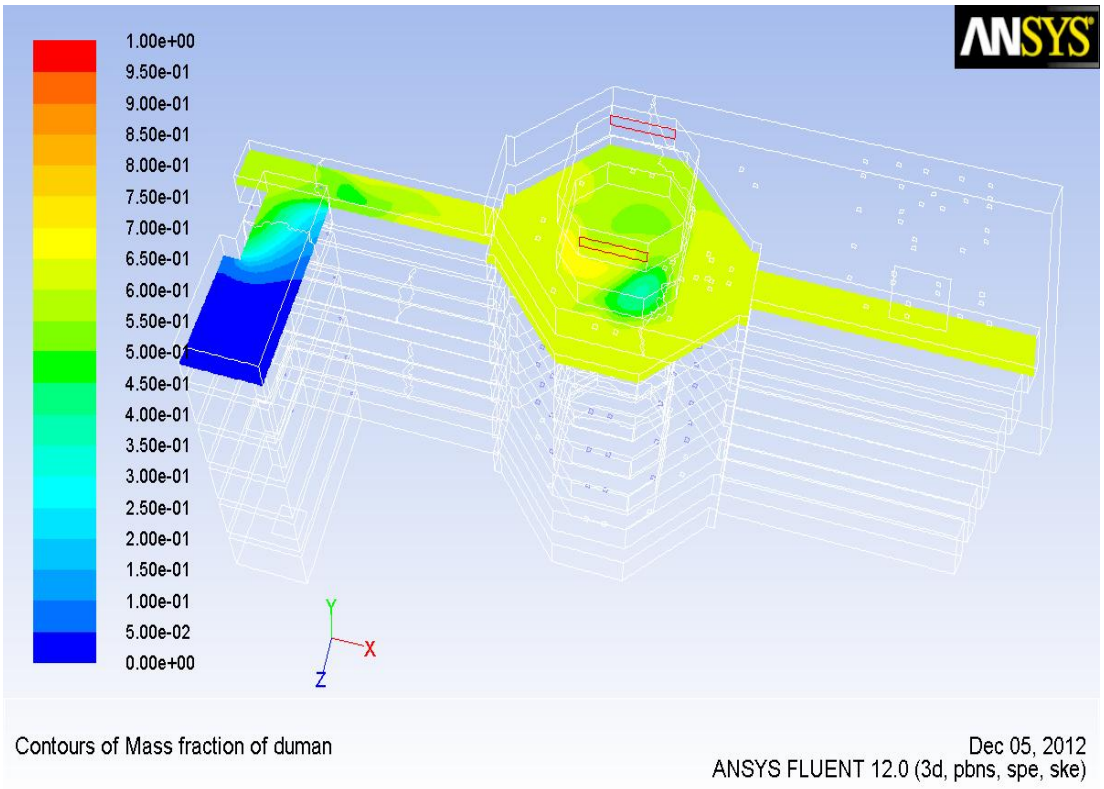
Şekil C.19 : Durum 4 kat 7 hız vektörü.



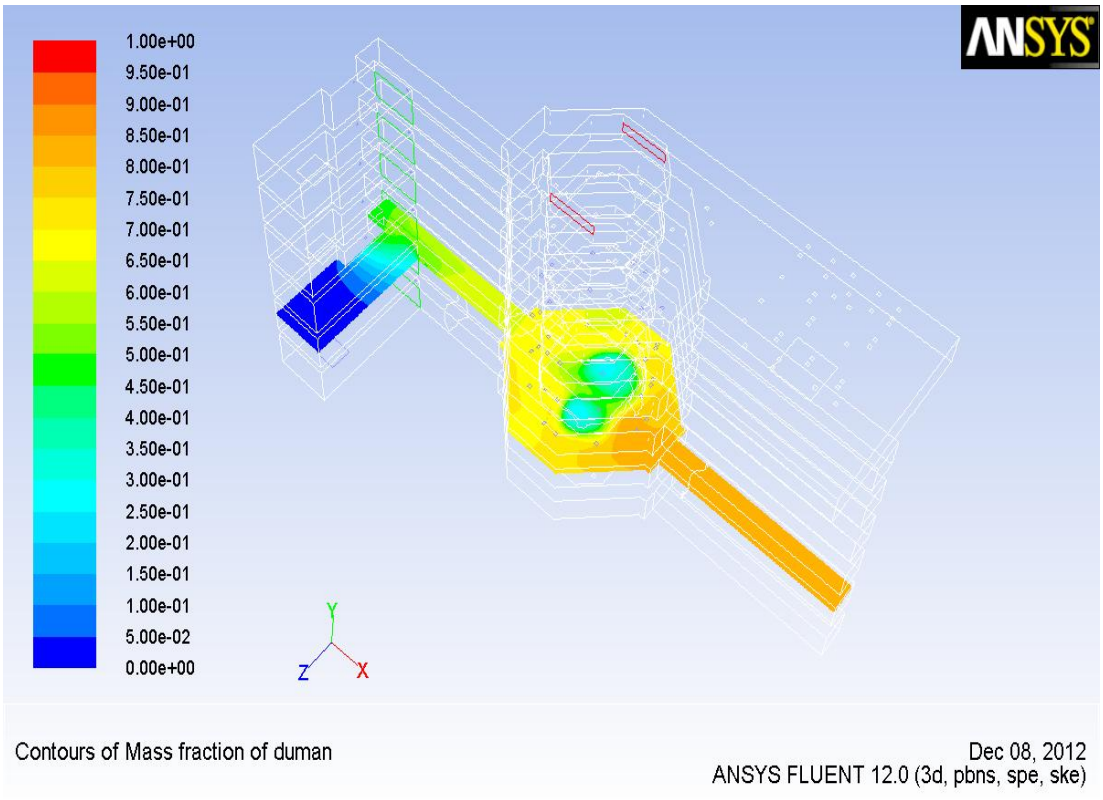
Şekil C.20 : Durum 4 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



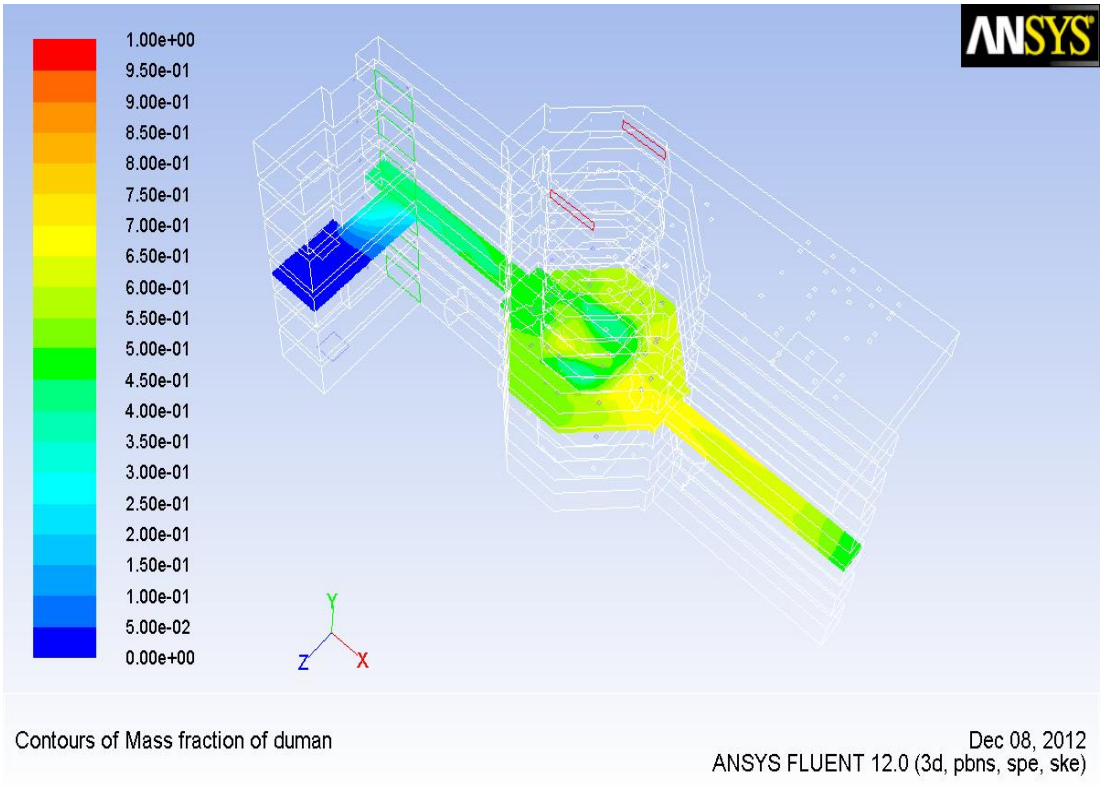
Şekil C.21 : Durum 4 kat 9 duman kütle oranı.



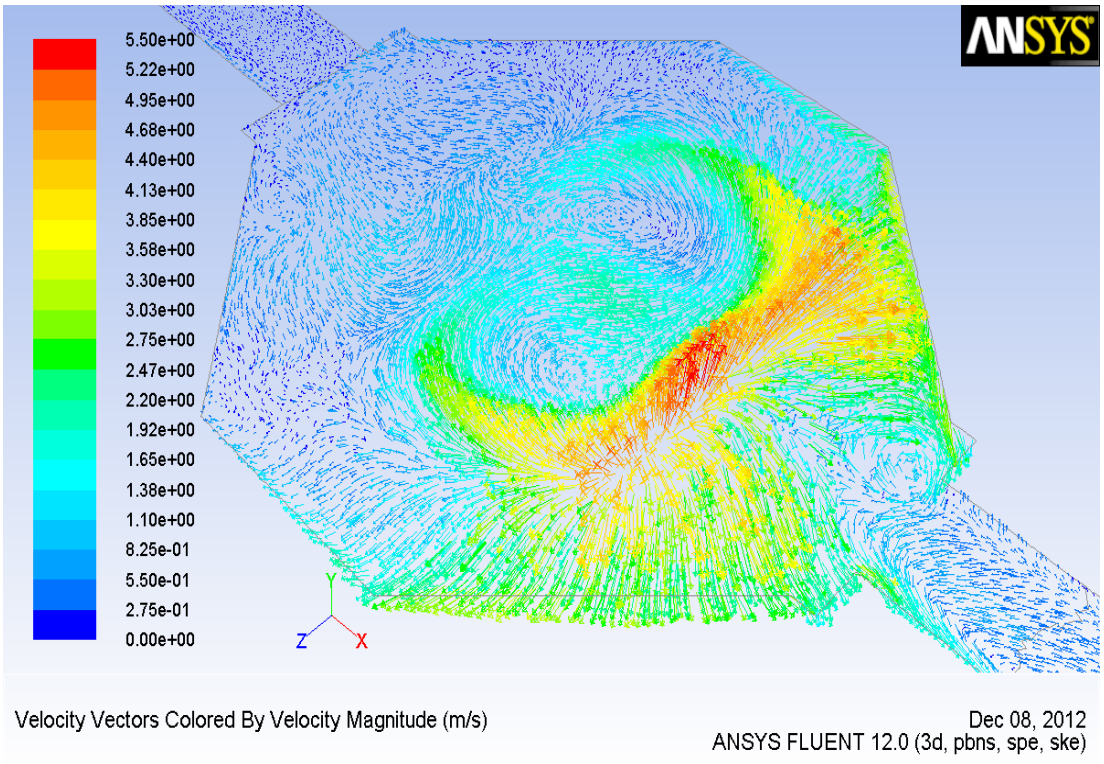
Şekil C.22 : Durum 4 kat 10 duman kütle oranı.



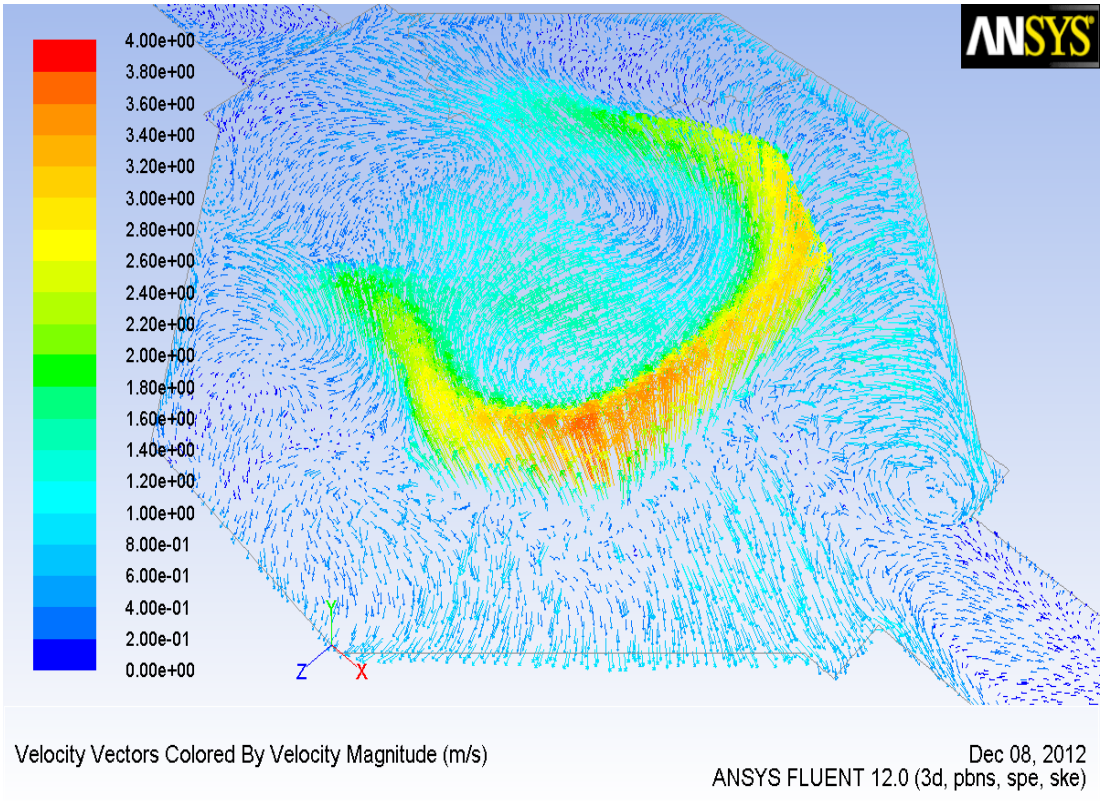
Şekil C.23 : Durum 6 kat 6 duman kütle oranı.



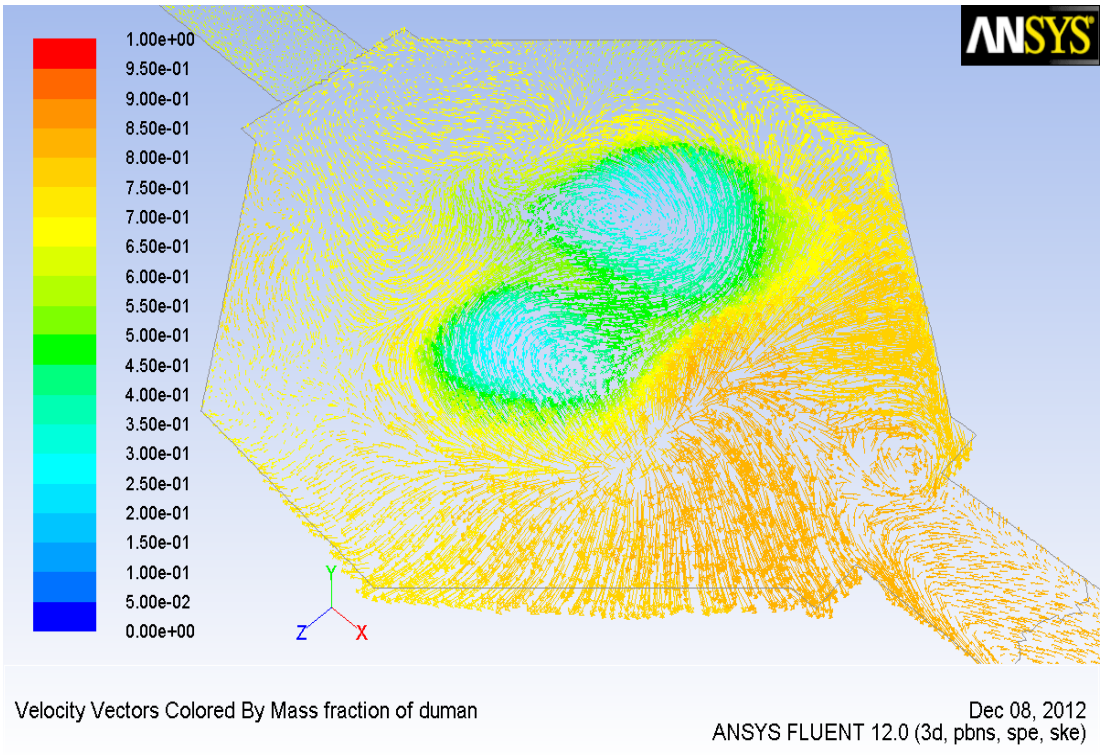
Şekil C.24 : Durum 6 kat 7 duman kütle oranı.



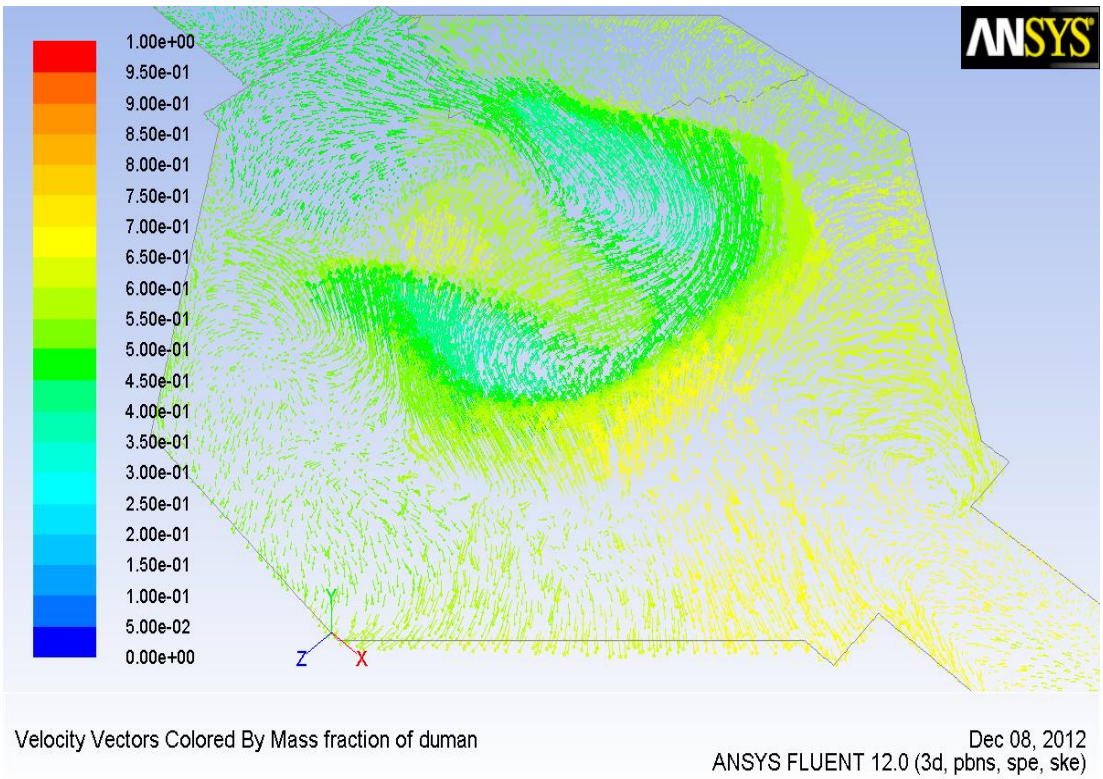
Şekil C.25 : Durum 6 kat 6 hız vektörü.



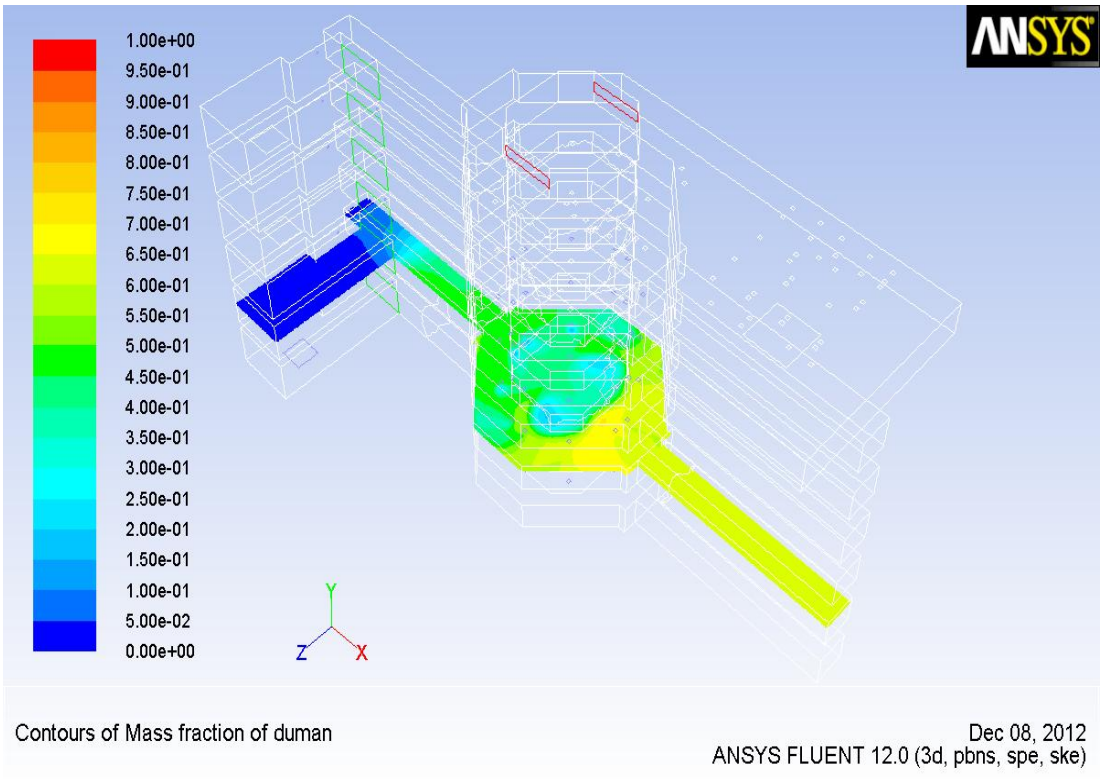
Şekil C.26 : Durum 6 kat 7 hız vektörü.



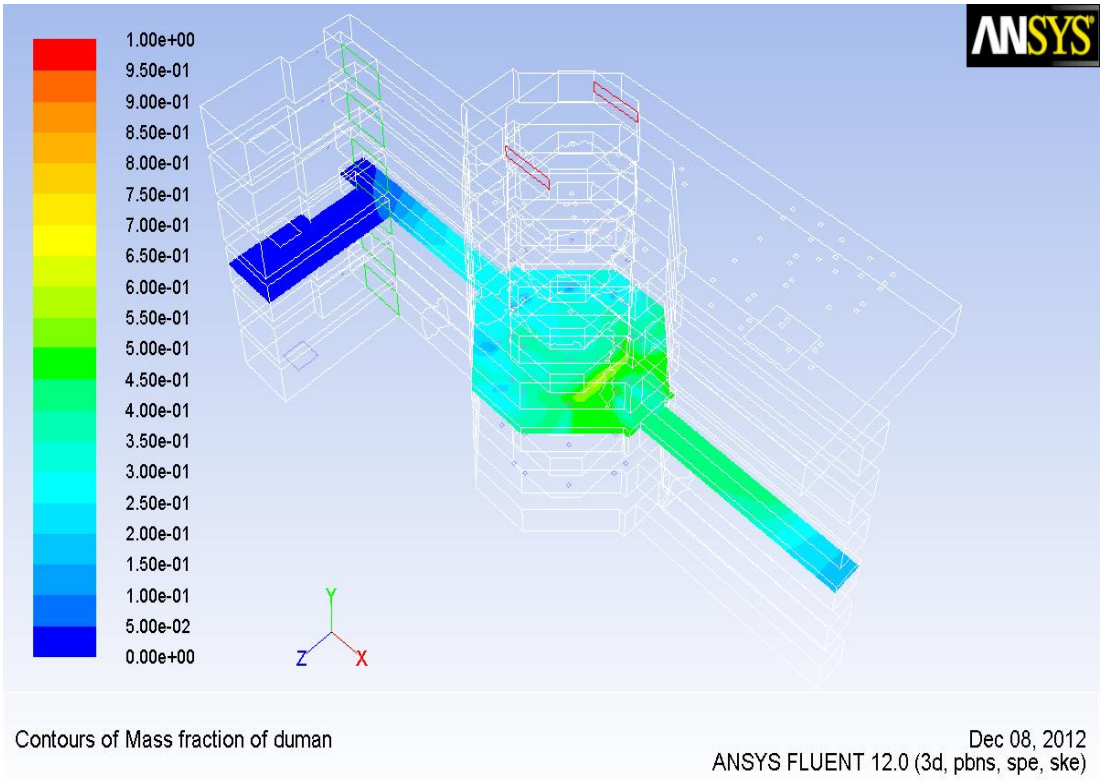
Şekil C.27 : Durum 6 kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



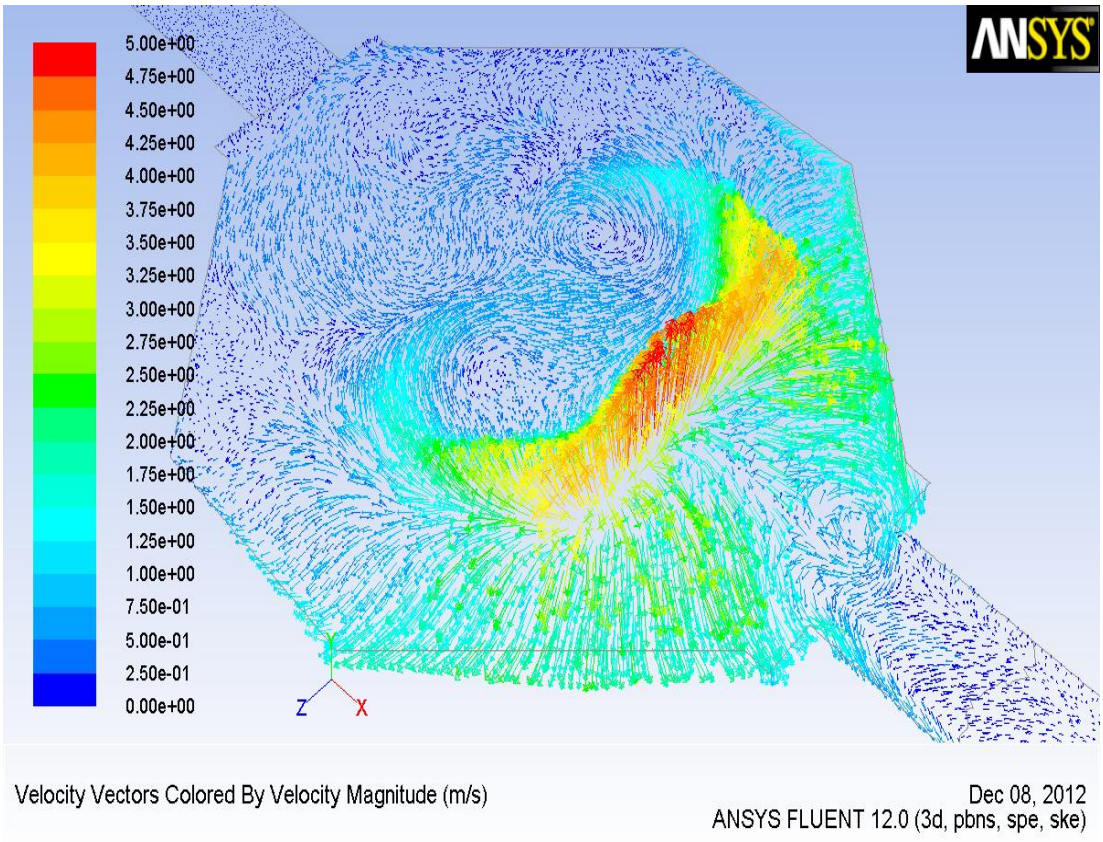
Şekil C.28 : Durum 6 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



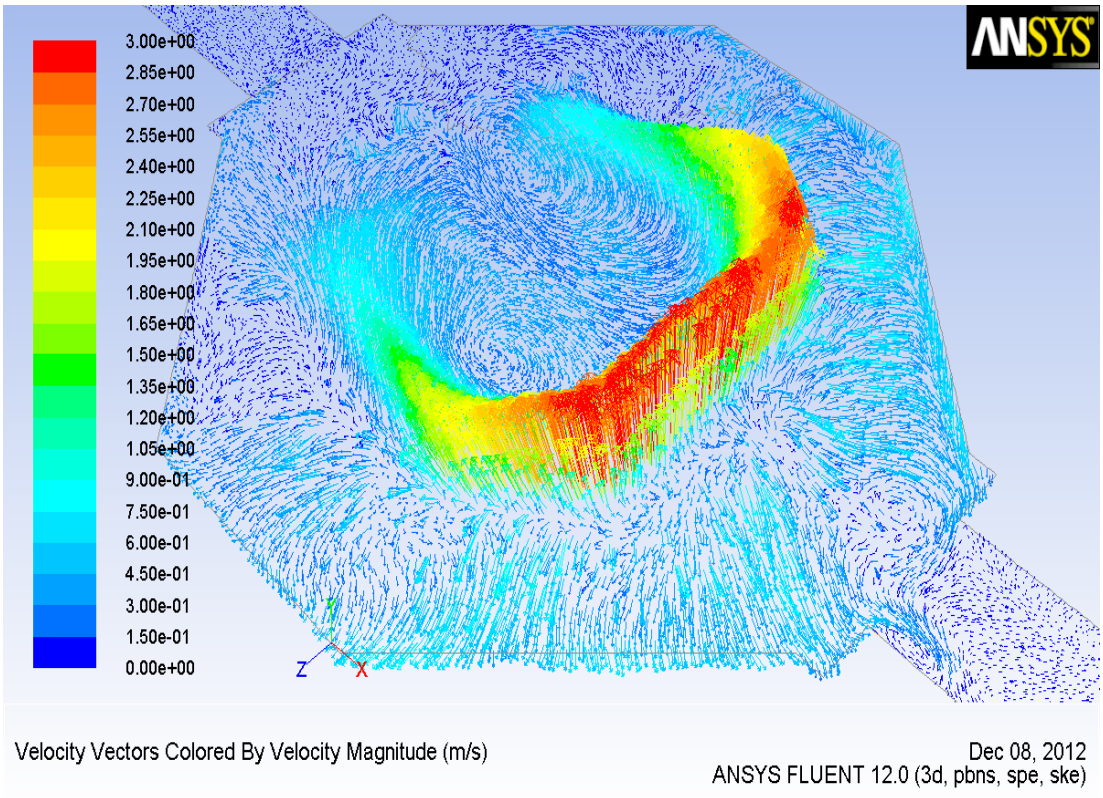
Şekil C.29 : Durum 7 kat 6 duman kütle oranı.



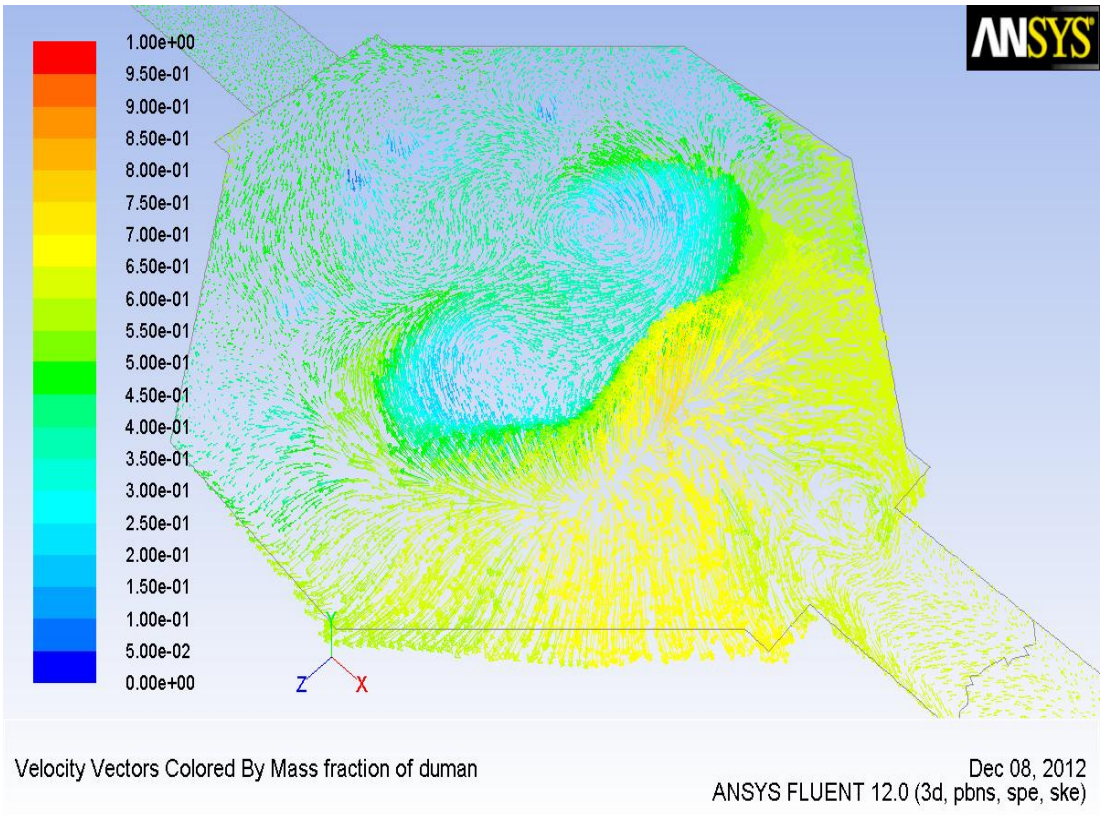
Şekil C.30 : Durum 7 kat 7 duman kütle oranı.



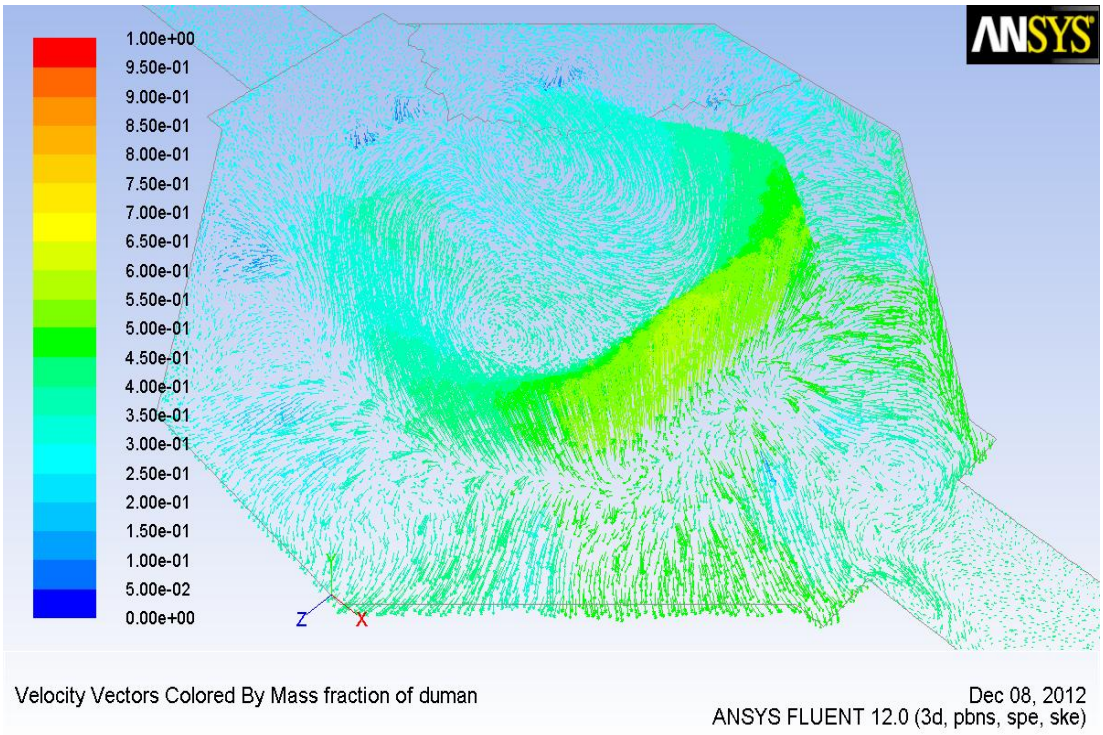
Şekil C.31 : Durum 7 kat 6 hız vektörü.



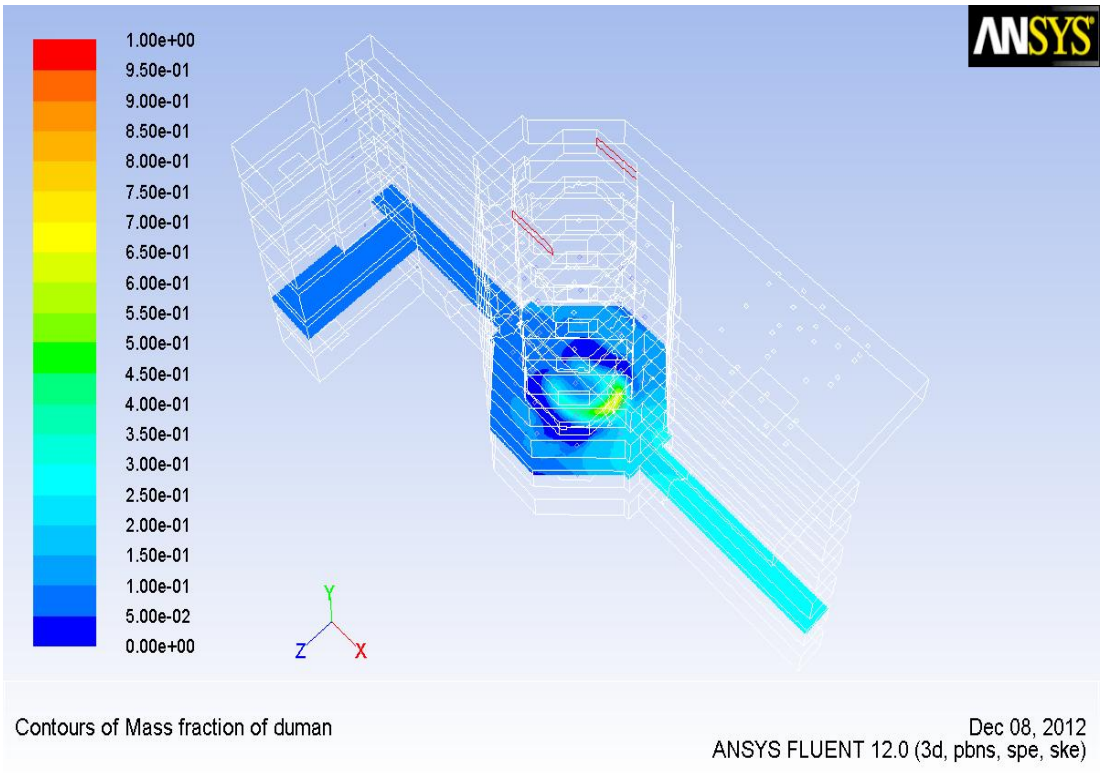
Şekil C.32 : Durum 7 kat 7 hız vektörü.



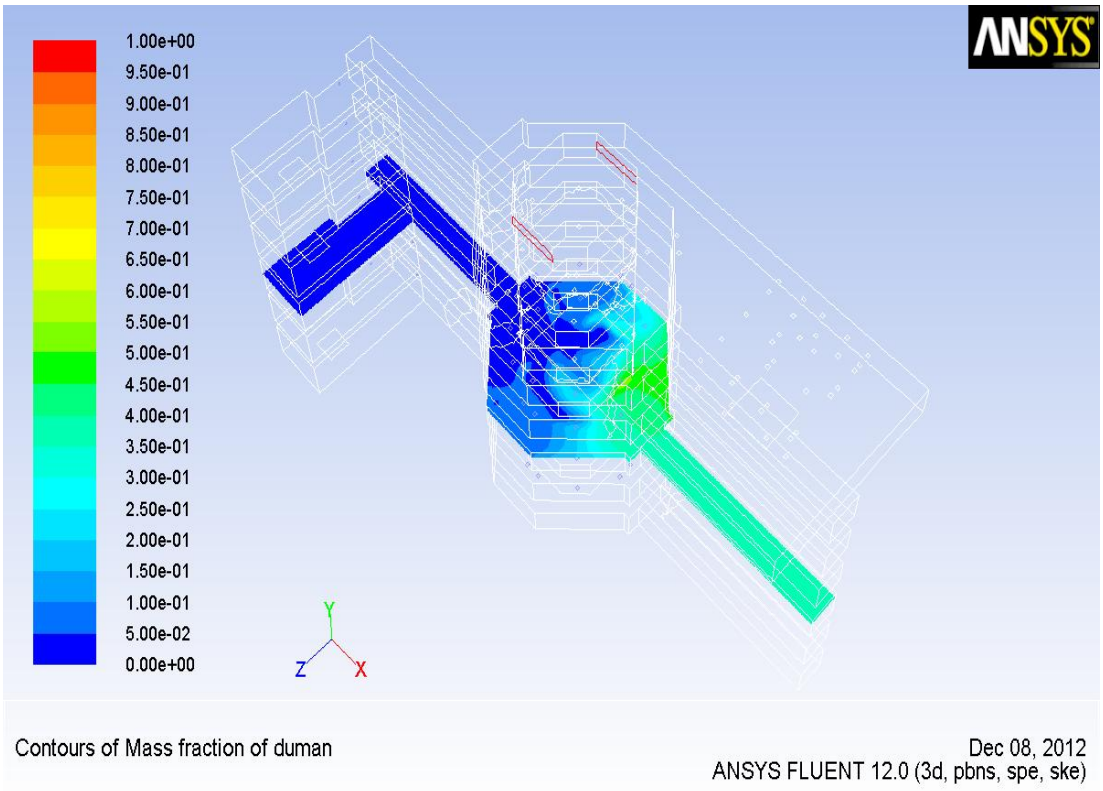
Şekil C.33 : Durum 7 kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



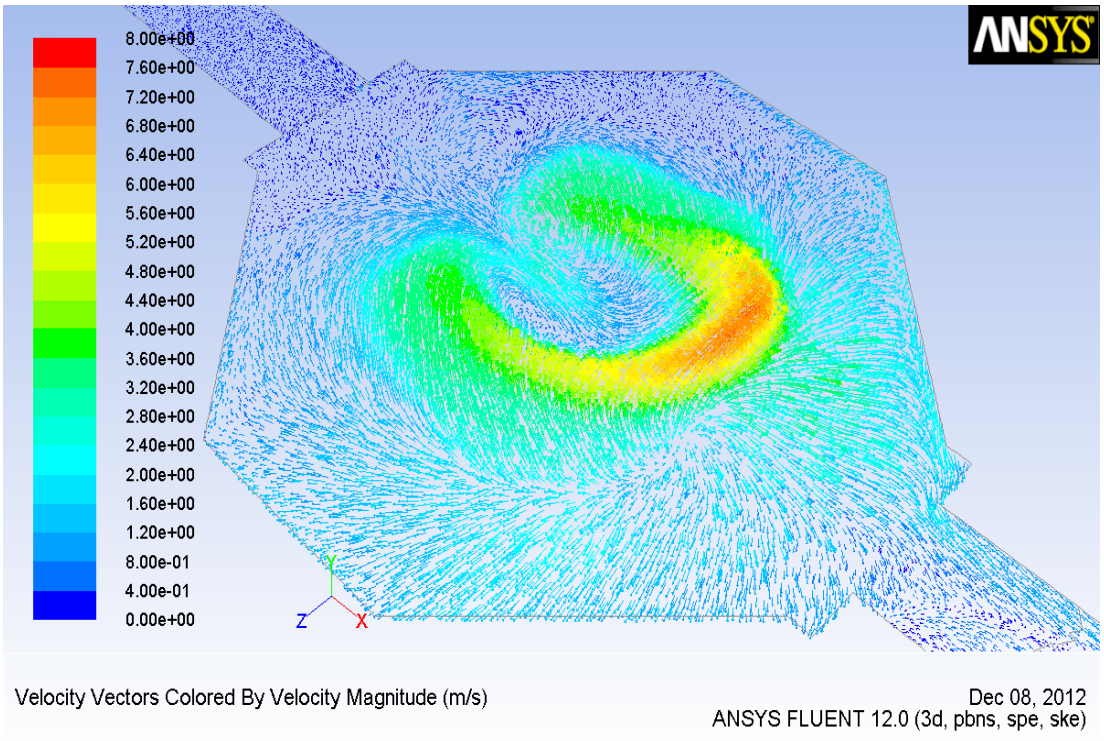
Şekil C.34 : Durum 7 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



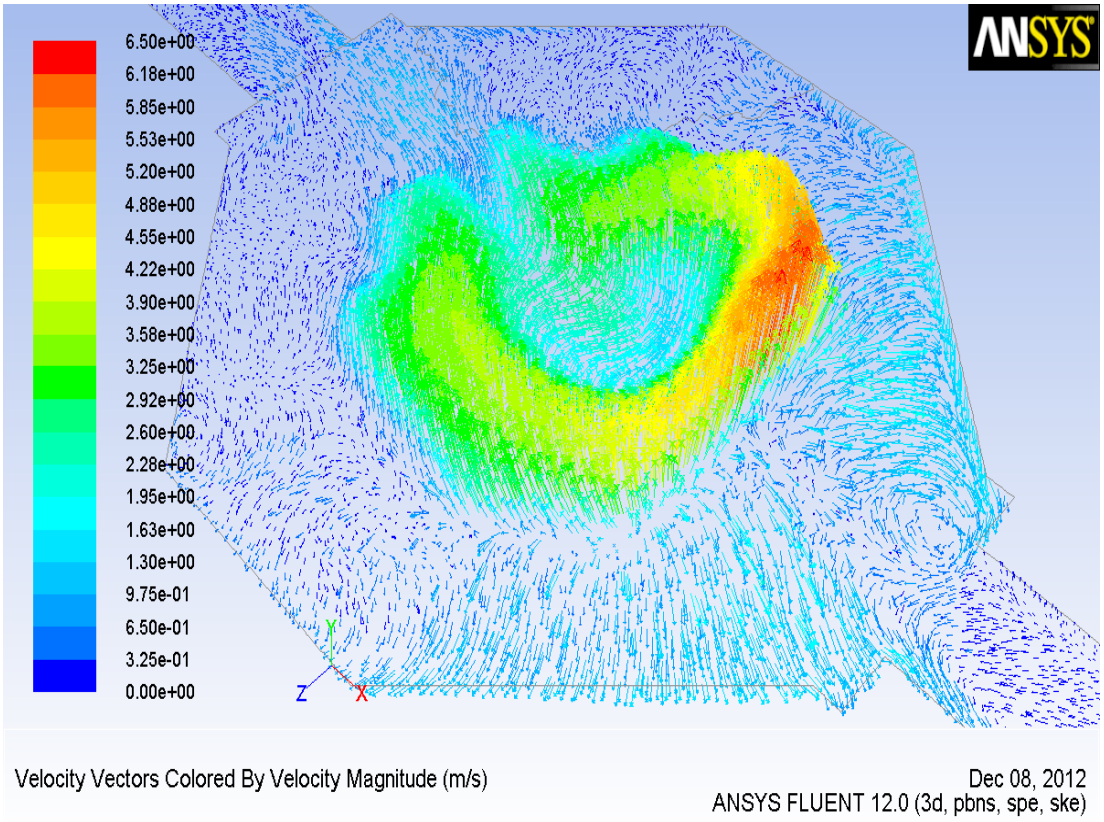
Şekil C.35 : Durum 8 kat 6 duman kütle oranı.



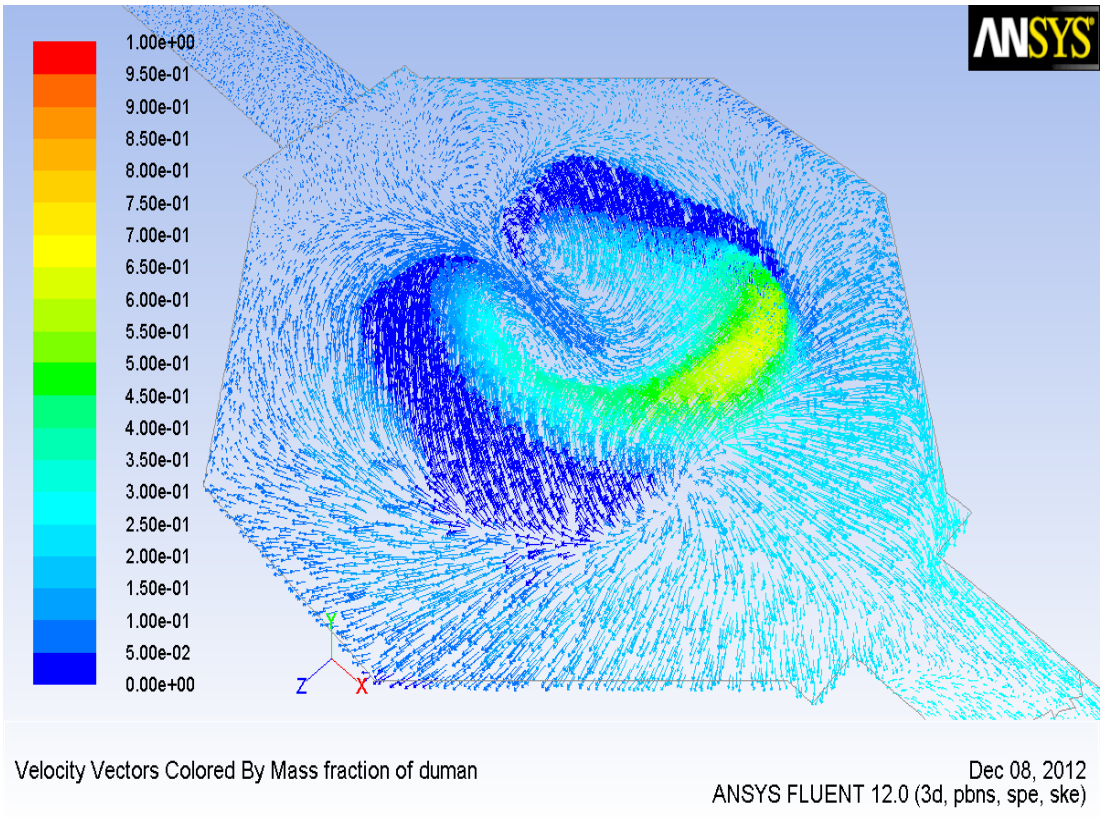
Şekil C.36 : Durum 8 kat 7 duman kütle oranı.



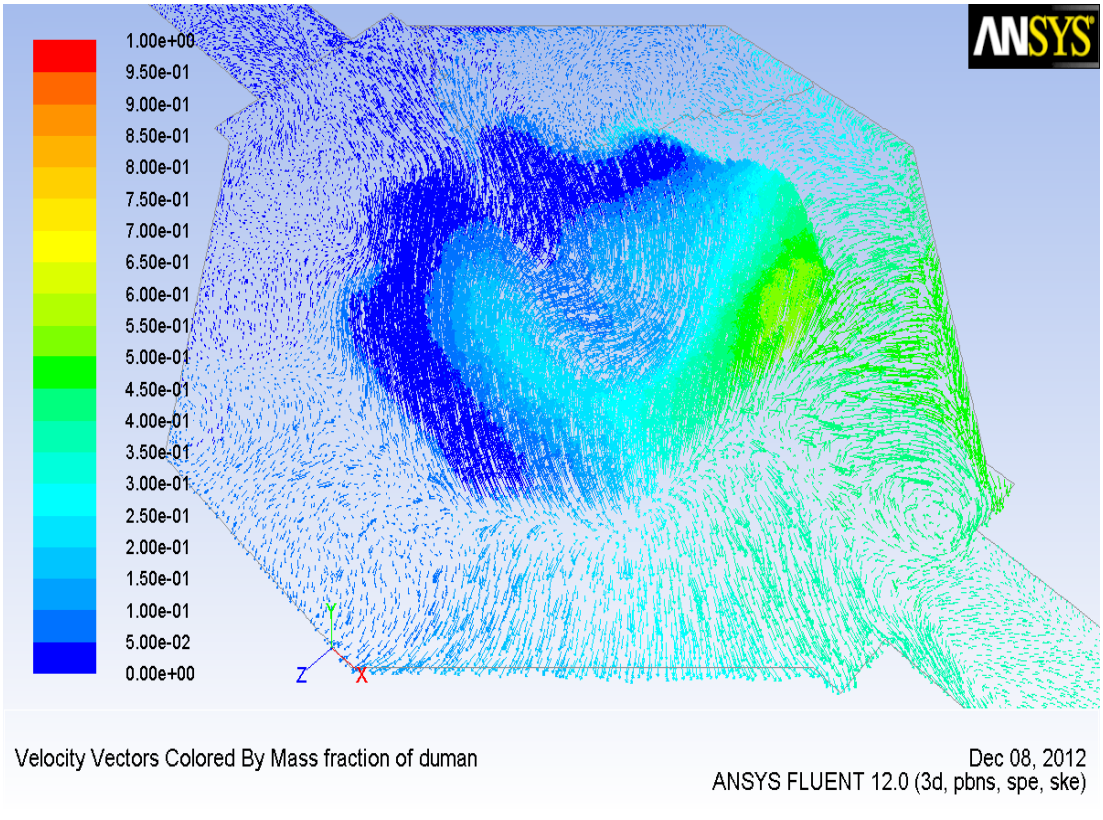
Şekil C.37 : Durum 8 kat 6 hız vektörü.



Şekil C.38 : Durum 8 kat 7 hız vektörü.



Şekil C.39 : Durum 8 kat 6 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.



Şekil C.40 : Durum 8 kat 7 duman kütle oranına göre renklendirilmiş hız vektörü.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Feyza ÇEBİ

Doğum Yeri ve Tarihi: Samsun 21.05.1986

E-Posta: cebifeyza@gmail.com

Lisans: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Mesleki Deneyim: Friterm A.Ş.