

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇUCU YANICI GAZLARIN BİRİKME DAVRANIŞININ  
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ SİMÜLASYONU  
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fırat CELEP**

**Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı**

**HAZİRAN 2023**



**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇUCU YANICI GAZLARIN BİRİKME DAVRANIŞININ  
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ SİMÜLASYONU  
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fırat CELEP**

**Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gökhan COŞKUN**

**HAZİRAN 2023**



Fırat CELEP tarafından hazırlanan “Uçucu Yanıcı Gazların Birikme Davranışının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Simülasyonu Yöntemiyle İncelenmesi” adlı tez çalışması 14.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

**Jüri Başkanı :** Doç.Dr.Gökhan COŞKUN (**Danışman**) .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :** Prof. Dr.HAKAN SOYHAN .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :** Dr.Öğr. Üyesi Üsame Demir .....  
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “UÇUCU YANICI GAZLARIN BİRİKME DAVRANIŞININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ SİMÜLASYONU YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(14/06/2023).

(imza)

Fırat CELEP





*Eşime ve Aileme*



## **TEŞEKKÜR**

Tez çalıőmamı gerçekleőtirdiđim sũre boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Prosense Teknoloji firmasına, değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım ve desteğini devamlı hissettiğim Őzkan KARATAŞ'a, her konuda bilgi ve desteğini aktaran, yardımını esirgemeyen, teővik eden, aynı titizlikte beni yŐnlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. GÖkhan COŞKUN'a sonsuz teőekkũrlerimi sunarım.

Fırat CELEP



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ</b> .....	v
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	ix
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	xi
<b>KISALTMALAR</b> .....	xiii
<b>SİMGELER</b> .....	xv
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	xvii
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xix
<b>ÖZET</b> .....	xxi
<b>SUMMARY</b> .....	xxiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Zehirli Gazlar .....	2
1.2. Yanıcı-Parlayıcı-Patlayıcı Gazlar .....	3
1.3. Metan (CH <sub>4</sub> ) Gazı .....	3
1.4. Alt patlama ve Üst Patlama Sınırı .....	5
<b>2. PATLAYICI GAZ ALGILAMA SİSTEMLERİ</b> .....	7
2.1. Uygun Gaz Dedektörü Seçimi .....	7
2.1.1. Sabit ve portatif gaz dedektörleri .....	8
2.2. Patlayıcı Gaz Dedektörlerinde Sensör Tipleri .....	9
2.2.1. Katalitik sensörler .....	10
2.2.2. Infrared sensörler (IR) .....	11
2.2.3. Termal iletkenli sensörler .....	11
2.2.4. Yarı iletken Sensörler .....	11
2.2.5. Ultrasonik Sensörler .....	12
2.2.6. Alev iyonizasyonlu sensörler (FID) .....	12
2.3. Patlayıcı Gaz Dedektörlerinin Konumlandırılması .....	12
2.3.1. Hedef gazın yoğunluğu .....	13
2.3.2. Ortam koşulları .....	13
2.3.3. Genel hususlar .....	14
2.3.4. Tipik Sensör montajı seçenekleri .....	14
2.3.5. Tipik sistem konfigürasyonları .....	14
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEMLER</b> .....	17
3.1. Çalışmanın Amacı ve Kullanılan Yöntemler .....	17
3.2. Yararlanılan Yazılımlar ve Modeller .....	17
3.2.1. Fds programının özellikleri .....	17
3.2.2. Türbülanslı akışın modellenmesi (LES) .....	18
3.2.3. Doğrudan nümerik benzetim (DNS) .....	20
3.2.4. Smokeview (SMW) programının özellikleri .....	20
3.2.5. PyroSim ara yüz programının özellikleri .....	21
3.3. Modelin Fiziksel Özellikleri .....	21
<b>4. DENEYSEL SONUÇLAR</b> .....	25
4.1. Simülasyon Analiz Sonuçları .....	25

4.1.1. Hava hacim oranları .....	25
4.1.2. Hava kütle oranları .....	26
4.1.3. Metan hacim oranları .....	28
4.1.4. Hız değişimi .....	36
4.2. Dedektör Sonuçları .....	37
<b>5. STANDARTLAR, ENDÜSTRİYEL BOYUT VE KISITLAR .....</b>	<b>49</b>
5.1. Çalışmada Kullanılan Mühendislik Standartları .....	49
5.2. Çalışmanın Endüstriyel Boyutu .....	49
5.3. Gerçekçi Kısıtlar .....	49
5.3.1. Maliyet analizi .....	49
5.3.2. Güvenlik .....	50
5.3.3. Sağlık .....	50
<b>6. SONUÇLAR .....</b>	<b>51</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>53</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>56</b>

## **KISALTMALAR**

<b>CAD</b>	: Bilgisayar destekli üretim
<b>HAD</b>	: Hesaplamalı akışkanlar mekaniği
<b>LES</b>	: Büyük girdap simülasyonu
<b>LEL</b>	: Alt patlama sınırı
<b>UEL</b>	: Üst patlama sınırı
<b>FDS</b>	: Fire Dynamics Simulator yazılımı
<b>KHz</b>	: Kilo Hertz
<b>FID</b>	: Alev iyonizasyonlu sensör
<b>IR</b>	: Infrared sensör
<b>DNS</b>	: Doğrudan nümerik benzetim





## SİMGELER

$t$	: Zaman
$T$	: Sıcaklık
$u_0$	: Hız Ölçeği
$u, v, w$	: Anlık Hız Birleşenleri
$u', v', w'$	: Hız Dalgalanmaları
$U, V, W$	: Ortalama Hız Birleşenleri
$v$	: Karakteristik Hız
$x$	: Mesafe
$y^+$	: Boyutsuz İlk Katman Uzaklığı
$\Gamma$	: Yayınım Katkısı
$\Delta$	: Fark Operatörü; LES Modeli İçin Ayrıştırma Genişliği
$C, c$	: Denklem Sabitleri
$C_p$	: Sabit Basıncıdaki Isıl Kapasitesi
$C_v$	: Sabit Hacimdeki Isıl Kapasite
$D_h$	: Hidrolik Çap
$E$	: Enerji
$e_j, j, k$	: Değişim Sembolü
$g$	: Yer Çekimi İvmesi
$I_T$	: Türbülans Şiddeti
$j$	: İçsel Enerji
$k$	: Türbülans Kineti Enerjisi
$K'$	: Dalga Boyu
$\mu_t$	: Türbülans Viskozitesi
$p$	: Yoğunluk
$\sigma$	: Türbülans Viskozite Oran Sabiti
$T$	: Zaman Ölçeği
$T_{ij}$	: Kesme Gerilmeleri
$\nu$	: Kinematik Viskozite

$\emptyset$	: Genel Değişken
$\Omega$	: Ortalama Rotasyon
$\omega_k$	: Rotasyon Vektörü
$\omega$	: Türbülans Frekansı

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 1.1.</b> Metan gazı özellikleri.....	4
<b>Tablo 3.1.</b> Dedektörlerin yere göre yerleşim mesafeleri .....	22



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Gaz ve hava karışım miktarı .....	4
Şekil 1.2. LEL ve UEL aralığı .....	5
Şekil 2.1. Örnek gaz algılama sensörü.....	7
Şekil 2.2. Sabit gaz dedektörü.....	9
Şekil 2.3. Portatif gaz dedektörü.....	9
Şekil 2.4. Katalitik sensör .....	10
Şekil 2.5. Infrared Sensör.....	11
Şekil 2.6. Ultrasonik ve yarı iletken sensör .....	12
Şekil 2.7. Örnek dedektör konumlandırılması 1 .....	15
Şekil 2.8. Örnek dedektör konumlandırılması 2 .....	15
Şekil 3.1. Referans alınan örnek model .....	22
Şekil 3.2. Dedektör ve taşıyıcı CAD modeli .....	23
Şekil 3.3. Kabin ve yükseltme CAD modeli.....	23
Şekil 3.4. CAD modellerinin montajlanmış hali.....	23
Şekil 4.1. Hava hacim oranının 0. ve 200. saniyelerde simülasyon gösterimi .....	25
Şekil 4.2. Hava hacim oranının 400. ve 600. saniyelerde simülasyon gösterimi .....	26
Şekil 4.3. Hava hacim oranının 800. ve 1000. saniyelerde simülasyon gösterimi ....	26
Şekil 4.4. Hava kütle oranının 250. ve 500. saniyelerde simülasyon gösterimi .....	27
Şekil 4.5. Hava kütle oranının 750. ve 1000. saniyelerde simülasyon gösterimi .....	27
Şekil 4.6. Hava kütle oranının 0.ve 1000. Saniyelerde simülasyon gösterimi.....	28
Şekil 4.7. Metan hacim oranının 25. ve 50. saniyelerde simülasyon gösterimi.....	29
Şekil 4.8. Metan hacim oranının 75. ve 100. saniyelerde simülasyon gösterimi.....	29
Şekil 4.9. Metan hacim oranının 250. ve 500. saniyelerde simülasyon gösterimi.....	30
Şekil 4.10. Metan hacim oranının 750. ve 1000. saniyelerde simülasyon gösterimi.	30
Şekil 4.11. Metan hacim oranının 100. ve 250. saniyelerde simülasyon gösterimi...	31
Şekil 4.12. Metan hacim oranının 500. ve 750. saniyelerde simülasyon gösterimi...	31
Şekil 4.13. Metan hacim oranının 1000. Saniyede simülasyon gösterimi.....	32
Şekil 4.14. Metan hacim oranının 50. ve 100. saniyelerde simülasyon gösterimi.....	33
Şekil 4.15. Metan hacim oranının 200. ve 400. saniyelerde simülasyon gösterimi...	33
Şekil 4.16. Metan hacim oranının 600. ve 800. saniyelerde simülasyon gösterimi...	34
Şekil 4.17. Metan hacim oranının 1000. saniyede simülasyon gösterimi.....	34
Şekil 4.18. Metan kütle oranının 25. ve 50. saniyelerde simülasyon gösterimi .....	35
Şekil 4.19. Metan kütle oranının 250. ve 500. saniyelerde simülasyon gösterimi ....	35
Şekil 4.20. Metan kütle oranının 750. ve 1000. saniyelerde simülasyon gösterimi ..	36
Şekil 4.21. Basınç dağılımının 100. ve 250. saniyelerde simülasyon gösterimi.....	37
Şekil 4.22. Basınç dağılımının 500. ve 750. saniyelerde simülasyon gösterimi.....	37
Şekil 4.23. Dedektör 1 .....	38
Şekil 4.24. Dedektör 2 .....	38
Şekil 4.25. Dedektör 3 .....	39
Şekil 4.26. Dedektör 4 .....	39
Şekil 4.27. Dedektör 5 .....	40

Şekil 4.28. Dedektör 6.....	40
Şekil 4.29. Dedektör 7.....	41
Şekil 4.30. Dedektör 8.....	41
Şekil 4.31. 30%LEL, Tüm dedektörlerin aynı grafikte gösterimi .....	42
Şekil 4.32. 50%LEL, Deneysel verilerdeki dedektörler .....	42
Şekil 4.33. Deneysel verilerdeki dedektörler .....	43
Şekil 4.34. 30 %LEL 20lt/dk .....	44
Şekil 4.35. 50 %LEL 20lt/dk .....	44
Şekil 4.36. Deney sonucu – 30 %LEL 20lt/dk.....	45
Şekil 4.37. Simülasyon – 30 %LEL 20lt/dk.....	45
Şekil 4.38. Fan Yerleşimi.....	46
Şekil 4.39. Simülasyon – 30 %LEL 20lt/dk fansız .....	47
Şekil 4.40. Simülasyon – 30 %LEL 20lt/dk fanlı .....	47
Şekil 4.41. Simülasyon – Fan akış yönü .....	48

# UÇUCU YANICI GAZLARIN BİRİKME DAVRANIŞLARININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ SİMÜLASYONU YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

## ÖZET

Hayatımızın her alanında kullandığımız gazların birçok tehlikesi bulunmaktadır. Gazlar özelliklerine göre;

- Zehirleyici,
- Yanıcı/patlayıcı,
- Boğucu,

olmak üzere etkileri bulunmaktadır. Kullanım alanları oldukça geniş olup başlıca Dolum ve Dağıtım Tesisleri, Doğalgaz Santralleri, Petrol Rafinerileri, Trafo Merkezleri ve İmalathaneleri, Akaryakıt İstasyonları kimyasal sanayi gibi en çok endüstride kullanılır.

Gazların patlayıcı özellikleri belirli bir sınır aralığında ortaya çıkar. Bu tehlike sınır aralığı tüm gazlar için farklılık göstermektedir. Alt patlama sınırına LEL adı verilir. Gazların alt patlama değerine ulaşana kadarki konsantrasyonları %LEL olarak gösterilir. Patlayıcı gazlar ortamda bulunmadığında %0 LEL, alt patla limit değerinde bulunduğu %100 LEL olarak ifade edilir. Üst patlama sınırı UEL olarak tanımlanır. Gaz konsantrasyonu üst patlama sınırının üzerindeyse, yeterli yanmayı sağlayacak oksijen bulunamaz, bundan dolayı da patlama gerçekleşmez.

Yanıcı kimyasal maddelerin gaz, buhar, sis ve tozlarının hava ile oluşturduğu karışım tutuşması halinde tümüyle yanabilen duruma gelmesi “patlayıcı ortam” olarak tanımlanır. Oluşabilecek kimyasal gaz, toz patlamaları sonucunda can ve mal kayıpları meydana gelmekte, insanlar ve ekipmanlar önemli zararlar görmektedir. Patlayıcı ortam riski taşıyan tüm yerlerde risk değerlendirmesi yapılmalıdır. Bu değerlendirme sonuçlarına göre gerekli ve mümkün olan tüm teknik ve altyapısal önlemler belirlenerek ekipman ve önleyici koruyucu sistemler seçilmelidir. Türkiye’de, bu konuda Avrupa birliği mevzuatına ve standartlarına uyumlu olarak oluşturulmuş ulusal kurallar uygulanmaktadır. Değerlendirme yapılırken kontrollü ve planlı faaliyetlerde ortama bırakılan yanıcı maddelerin yanı sıra, olası kazalar veya riskli durumlarında oluşabilecek yanıcı madde salımları da göz önüne alınmalıdır. Değerlendirmede ortama yayılan yanıcı maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, sıcaklığı, debisi, kısıtlanmışlığı, basıncı, salım sıklığı ve birçok koşul göz önünde alınarak patlayıcı atmosfer sınıflandırması yapılır ve buna bağlı olarak ortamdaki elektrikli veya tahrikli cihazların uygunlukları değerlendirilerek olası tutuşturma kaynakları denetlenir. Değerlendirme sonucunda tesislerdeki tüm patlayıcı ortamların patlama üçgeni ve tutuşma olasılıkları kontrol altına alınmaya çalışılır.

Günlük yaşam alanlarımızda doğalgaz, tüp gaz olarak mutfak ve salonlarımıza kadar girmiş durumdadır. Bu gazların tehlikelerinden korunmak için farklı yöntemler kullanılır. En yaygın olanı gaz kaçak durumlarında erken uyarı sistemleridir. Bu

kullanılan yöntemlerin etkinliği muhtemel tehlikeye neden olacak gazın davranışını bilmekten geçer. Yanlış alınan önlemler etkisiz kalacak olup sonuç vermeyip tehlikeli durum yaratabilir. Bundan dolayı risk yaratacak gazın nerde nasıl birikeceği nasıl davranacağı bilinmelidir. Bu davranış özellikleri yanı sıra gazın bulunduğu fiziksel ortamda önem arz etmektedir. Bu çalışmada patlayıcı gaz özelinde incelenmiştir. Patlayıcı gazlar, havadan ağır ve havadan hafif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu nedenle gazın türüne ve yoğunluğuna göre kapalı bir mekandaki gazın dağılımı da farklılık göstermektedir.

Gaz algılamada kullanılacak gaz dedektörleri, sensör tasarımına ve algılayıcı teknolojilerine göre sınıflara ayrılırlar. Gaz algılamada seçilecek olan dedektör modelleri de önem taşımaktadır. Tehlikeli gazlar için sensör seçenekleri aşağıdaki gibidir ;

- Katalitik
- Infrared (IR)
- Termal İletkenli
- Yarı İletken

Gaz kaçaklarının tespitinde, gazın türüne göre çeşitli gaz dedektörleri kullanılır. Gaz tespitinde kullanılan sistemler için en önemli nokta gaz dedektörlerinin konumlarıdır. Doğru konumlandırılan dedektörler yardımı ile gaz kaçakları ölçülerek erken önlem alınabilir. Gaz dedektörün konumu gazın türüne, yoğunluğuna ve mekânın fiziksel yapısına göre değişiklik gösterip algılanmak istenilen gazın türüne bağlıdır. Gaz kaçaklarının erken tespiti maddi-manevi zararları en aza indirmekte ve ölümlü kaza risklerini azaltmaktadır. Bu çalışmada uçucu-yanıcı gazların birikme davranışı hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu yöntemi kullanılarak Metan gazı örnek için izlenmiştir. Kapalı bir kabin içerisinde farklı yüksekliklerde tavana yakın 8 okuma noktası tanımlanıp bu okuma noktaları yaklaşık 10cm aralıklarla yerleştirilmiştir. Kapalı alan oda, okuma noktaları ise gaz dedektörleri olarak tanımlanmıştır. Odanın alt bölgesinden ortama Metan gazı verilerek modelleme yapılmıştır. Oluşturulan kabin ve gaz dedektörleri 3-boyutlu Solidworks programı kullanarak hazırlanmıştır. FDS yazılımı ile bilgisayar ortamında senaryo oluşturulmuş ve modelleme için PyroSim programı kullanılmıştır [1]. Elde edilen veriler Smokeview programı ile çözümlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgularda, Simülasyon çıktıları deneysel çıktılarla da karşılaştırılmıştır. Elde edilen grafikler ve simülasyon çıktılarında gaz kabin altından ortama girip yukarıya doğru uçuculuk özelliğinden kaynaklı olarak hareket etmektedir. Kabin içerisine gaz akışı devam ettikçe ölçüm noktalarından anlaşılacağı gibi birikme tavanda gerçekleşmektedir. Tavanda birikme oluştuğu alt kısımlara doğru ilerlemektedir. Bundan dolayı gaz giriş noktası ve kabin tavanı gaz algılamak için kullanılacak sisemlerde belirleyici olacağı anlaşılmaktadır.



# **INVESTIGATION OF THE ACCUMULATING BEHAVIORS OF VOLATILE FLAMMABLE GASES BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS SIMULATION METHOD**

## **SUMMARY**

Gases are present in all areas of life. Daily life, industry, agriculture, mining, etc. can be given as an example. Gases are mostly used in applications such as filling and distribution facilities, natural gas power plants, oil refineries, transformer centers and workshops, fuel stations and chemical industry in the industry. Gases, which are used consciously and in every field from production to consumption, have many beneficial contributions. On the other hand, if these gases cannot be monitored and controlled, they may cause some dangers. These undesirable effects of gases can be summarized as;

- poisoner,
- flammable/explosive and
- suffocating.

The explosive properties of gases occur in a certain limit range and it is called the lower explosive limit (LEL) and generally is given as percentage (%). The lower limit of danger differs for all gases. The concentrations of the gases until they reach the lower explosive limit are shown as %LEL. It is expressed as 0 %LEL when explosive gases are not present in the environment, and as 100 %LEL when it reaches the lower explosion limit value. On the other hand, UEL is defined as the Upper Explosive Limit. If the gas concentration is above the upper explosion limit, there will not be enough oxygen to provide combustion, so there will be no explosion.

When the mixture of gas, vapor, fog and dust of flammable chemicals with air is ignited, it becomes fully combustible and is defined as "explosive environment". As a result of chemical gas and dust explosions that may occur loss of life, property, people. In addition equipment suffer significant damage.

To minimise any damage or loss, a risk assessment should be carried out in all places where there is a risk of explosive atmosphere. While making the risk assessment, in addition to the flammable materials released into the environment during controlled and planned activities, the flammable material releases that may occur in possible accidents or risky situations should also be taken into consideration. In the evaluation, the flammable substance emitted into the environment is classified by considering the conditions given below. These conditions are

- physical and chemical properties,
- temperature,
- flow rate,
- its limitation,
- pressure and frequency of release.

In addition, possible ignition sources are inspected by evaluating the suitability of electrical or driven devices in the environment. As a result of the evaluation, the explosion triangle and ignition possibilities of all explosive atmospheres in the facilities can be controlled.

In daily life, gas has entered our kitchens and living rooms as natural gas or bottled gas. Different methods are used to protect from the dangers of these gases. The most common method is early warning system in case of gas leaks. The effectiveness of this method depends on knowing the behavior of the gas that will cause the possible danger. Measures taken incorrectly will not yield any positive results and will be ineffective and may create a dangerous situation. Therefore, it should be known where and how the gas that will create a risk will accumulate and how it will behave. In addition to these behavioral characteristics the physical environment of the gas is also important.

On the other hand, explosive gases are divided into two as heavier-than-air and lighter-than-air. For this reason, the distribution of gas in a closed space varies according to the type and density of the gas.

Gas detectors to be used for gas detection are divided into classes according to sensor design and sensor technologies. Gas detector model to be selected in gas detection is also important. Sensor options for hazardous gases are as follows:

- catalytic,
- infrared (IR),
- thermal conductor and
- semiconductor.

Various gas detectors depending on the type of gas are used in the detection of gas leaks. The most important point for the systems used in gas detection is the location of the gas detectors., Early measures can be taken by measuring gas leaks with the help of correctly positioned detectors. The location of the gas detector varies according to the type of gas, its density and the physical structure of the space. Consequently, early detection of gas leaks minimizes material and moral damages and reduces the risk of fatal accidents.

In this study, the accumulation behavior of volatile-combustible gases was monitored using the computational fluid dynamics simulation method for the methane gas. In a closed cabinet, 8 reading points were defined at different heights close to the ceiling and these reading points were placed at approximately 10 cm intervals. The closed area is defined as the room and the reading points are defined as gas detectors. Modeling was done by giving methane gas from the lower part of the room to the environment. The created cabin and gas detectors were prepared using the 3-dimensional Solidworks software.

A scenario was created in computer environment with FDS software and PyroSim program was used for modelling. The obtained data were analyzed with the Smokeview program. The simulation outputs resulting from the created scenario and the experimental outputs obtained in the room environment were compared. According to these results:

- Methane gas supplied to the gas cabinet from below enters the environment and moves upwards due to its volatility.

- As the gas flow continues into the cabin, the accumulation takes place on the ceiling.
- As accumulation occurs on the ceiling, it moves towards the lower parts.

Therefore, it is understood that the gas entry point and the cabin ceiling will be decisive in the systems to be used for gas detection.

Finally, methane gas which is lighter than air was used in this study and its behaviour was analysed with simulation and real experimental environment. The simulation and experimental results were compared. The results show that the gas detectors positions that will be used to detect the gas leak are important and should be correctly located according to the detected gas.



## 1. GİRİŞ

Yanıcı kimyasal maddelerin gaz, buhar, sis ve tozlarının hava ile oluşturduğu karışım tutuşması halinde tümüyle yanabilen duruma gelmesi “patlayıcı ortam” olarak tanımlanır [2]. Endüstride; tekstil, doğal gaz üretim tesisi, petrokimya, ilaç ve diğer kimya endüstrilerinde çalışanlar için işyeri güvenliği açısından önemli bir tehlike kaynağı oluşturmaktadır. Oluşabilecek kimyasal gaz patlamaları sonucunda can ve mal kayıpları meydana gelmekte, insanlar ve ekipmanlar önemli zararlar görmektedir. Aynı zamanda toz patlamaları olarak adlandırılan olay aslında oldukça basit ve günlük yaşam deneyimi açısından tasavvur edilmesi kolay bir olgudur ve gaz patlamaları kadar sık yaşanır. Havada yanabilen herhangi bir katı malzeme, bunu, malzemenin artan derecede parçalanma derecesi ile artan bir şiddet ve hızla yapacaktır [3]. Patlayıcı ortam riski taşıyan tüm yerlerde risk değerlendirmesi yapılmalıdır. Bu değerlendirme sonuçlarına göre gerekli ve mümkün olan tüm teknik ve altyapısal önlemler belirlenerek ekipman ve önleyici koruyucu sistemler seçilmelidir [4].

Kapalı ortamlarda havadan hafif uçucu yanıcı patlayıcı gazların, atmosferdeki oksijenle karıştığına yani serbest konumda nasıl davranacağı incelenecektir. Havadan ağır ve zehirli gazlar bu araştırmada analiz edilmeyecektir. Türkiye’de, bu konuda Avrupa birliği mevzuatına ve standartlarına uyumlu olarak oluşturulmuş ulusal kurallar uygulanmaktadır [5]. Değerlendirme yapılırken kontrollü ve planlı faaliyetlerde ortama bırakılan yanıcı maddelerin yanı sıra, olası kazalar veya riskli durumlarında oluşabilecek yanıcı madde salımları da göz önüne alınmalıdır. Değerlendirmede ortama yayılan yanıcı maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, sıcaklığı, debisi, kısıtlanmışlığı, basıncı, salım sıklığı ve birçok koşul göz önünde alınarak patlayıcı atmosfer sınıflandırması yapılır ve buna bağlı olarak ortamdaki elektrikli veya tahrikli cihazların uygunlukları değerlendirilerek olası tutuşturma kaynakları denetlenir [6]. Değerlendirme sonucunda tesislerdeki tüm patlayıcı ortamların patlama üçgeni ve tutuşma olasılıkları kontrol altına alınmaya çalışılır. Bu çalışmada, gaz kaçaqları için kullanılan gaz dedektörlerin olası kaza riskleri için doğru montaj ve erken haber verme yetilerini artırmak amaçlanmıştır. Dedektör

konumlandırma hatalarının erken uyarı sistemleri için önemi ve doğru birikim mesafeleri incelenmiştir.

### 1.1. Zehirli Gazlar

Belirli alanda ve sıcaklıkta gaz halinde bulunan; solunduğunda veya cilde temas ettiğinde canlılarda ciddi hasara ve ölüme yol açan, insan sağlığına zarar veren maddelerin tümü “Zehirli gazlar” olarak adlandırılır. Zehirli gazların Atmosfere yayılarak solunumla alındıklarında ciddi sağlık sorunları yaratırlar [7]. Zehirli gazlarla etileşimde;

- Duyarlılık Artışı
- Kanserojen etki
- Ölümcül sunuşlar
- Zarar verici durumlar
- Aşındırıcı etki
- Tahriş edici

Olurlar.

Uzun sürede diğer maddelerle etkileşebilirler ve zehirli tepkimeye yol açıcı olabilirler. Yukarıda belirtilen yan etkilere sahip gazların tümü aynı kategoride “Zehirli Gaz” olarak nitelendirilir ve bulunduğu ortam içinde Risk Değerlendirmesi yapılarak sonucuna veya bulunduğu ortam içindeki diğer gazların durumuna göre göre sınıflandırılabilir. En yaygın kullanılan Zehirli Gazlara örnek [8]:

- Amonyak (NH<sub>3</sub>)
- Klor (Cl)
- Hidrojen Florid (HF)
- Karbon Monoksit (CO)
- Hidrojen Sülfür (H<sub>2</sub>S)
- Karbon Dioksit (CO<sub>2</sub>)
- Sülfür Dioksit (SO<sub>2</sub>)
- Ve benzeri zararlı kimyasallar,

## 1.2. Yanıcı-Parlayıcı-Patlayıcı Gazlar

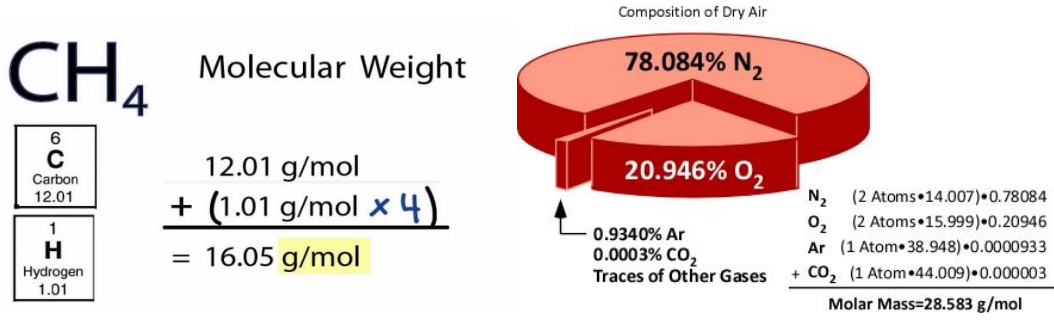
Yanııcı-Patlayıcı madde; çevreye zarar verebilecek basınçta, sıcaklıkta, ve hızda gaz üretme durumunda kendiliğinden kimyasal tepkimeye sebep olabilecek katı veya sıvı bir madde karışımıdır. Patlayıcı - yanıcı gaz olarak reaksiyon hızına dikkat edilmeksizin ve patlama enerjisine bakılmaksızın tüm patlayıcı yanıcı gazlar aynı kategoride ele alınır. Olası bir patlamanın meydana gelmesinde, patlayıcı gazın miktarının, türünden daha etkili olması, bu gazların özellikle depolanma ve bulunma koşullarına dikkat edilmesini gerektirmektedir. Yanıcı patlayıcı gazların risk değerlendirmesi için temel alınan alt patlama limiti (LEL) ve üst patlama limiti (UEL) her gazın için farklılık gösterir. Bu kapsamda dikkate alınacak olan gazlar [9];

- Propan, bütan, LPG ve bileşenleri
- Doğal Gaz
- Metan'dan Hexan'a kadar tüm Hidrokarbon Gazları Yanıcı Patlayıcı gazların açığa çıkma riski olan bölgeler;
- kapalı alanlarda muhtemel kaçak noktasına yakın bölgeler,
- Gaz depolama tank alanları içi noktaları,
- Gaz borularında birleşim noktaları, ventiller.

Yanııcı gazlar patlayıcı ortam oluşturabilir. Atmosferik doğru yanma karışımında (LEL ve UEL değeri arasında) ses hızından daha hızlı yanma, patlama olarak değerlendirilir [10].

## 1.3. Metan (CH<sub>4</sub>) Gazı

Metan, kimyasal formülü CH<sub>4</sub> olan renksiz, kokusuz ve yanıcı olup zehirli olmayan bir gazdır. Hidrokarbonların alkanlar gurubundandır. Metan gazı; karbon, hidrojen ve oksijenin birbirleri ile yaptıkları kimyasal tepkimeler ile oluşur. Bu kimyasal tepkimeler sonucunda oksijen hidrojenle birleşerek (H<sub>2</sub>O), karbon oksijenle birleşerek (CO<sub>2</sub>), hidrojen karbonla birleşerek (CH<sub>4</sub>) meydana gelmektedir [11].



**Şekil 1.1.** Gaz ve hava karışım miktarı

**Tablo 1.1.** Metan gazı özellikleri

Adı	Formülü	Moleküler Ağırlığı	Parlama Noktası °C	Kaynama Noktası °C	LEL	UEL	Gaz Grubu	Kendiliğinden Tutuşm Sıcaklığı °C	Sıcaklık Sınıfı
Metan	CH <sub>4</sub>	16.05 g/mol	Gaz	-162	4.4% VOL	15% VOL	11A	600	T1

TS EN ISO 80079-36 standardına göre Metan alt patlama sınırı 4.4%Vol olarak hesaplanmıştır [12].

Özgül ağırlığı 0.716 kg/m<sup>3</sup>'dür. Yani havaya göre daha hafiftir. Bu sebeple, bulunduğu ortamda tavanda toplanır. Ayrıca, metan gazının yayılabilme özelliği havaya göre daha fazla olduğundan, kolay bir şekilde her yere nüfuz sağlayabilir.

CH<sub>4</sub> gazı, zehirli bir gaz olmayıp, canlı doku üzerinde bir etkisi görülememektedir. Fakat, kapalı bir hacimde CH<sub>4</sub> gaz kaçması durumunda kaçan gaz O<sub>2</sub> yerini alacağından dolayı, boğulma sonucu ölümler meydana gelebilir. Metan gazının asıl tehlikesi, yanabilir ve patlayabilir olmasıdır. Tam yanma, % 91 hava ve % 9 metan gazı karışım oranlarında oluşur. Ancak, patlamaya sebep olan ısı kaynağının gücü ve etki süresi, basınç ve kapalı hacmin boyutları da patlamayı etkilemektedir. Metan gazının % 4,4 Vol ile %15 Vol arasında tehlikelidir. Bu seviyelerde metan gazı bulunan havaya madencilikte grizu adı verilir. % 4,4 Vol metan yoğunluğunun altında tehlikeli değildir [13].

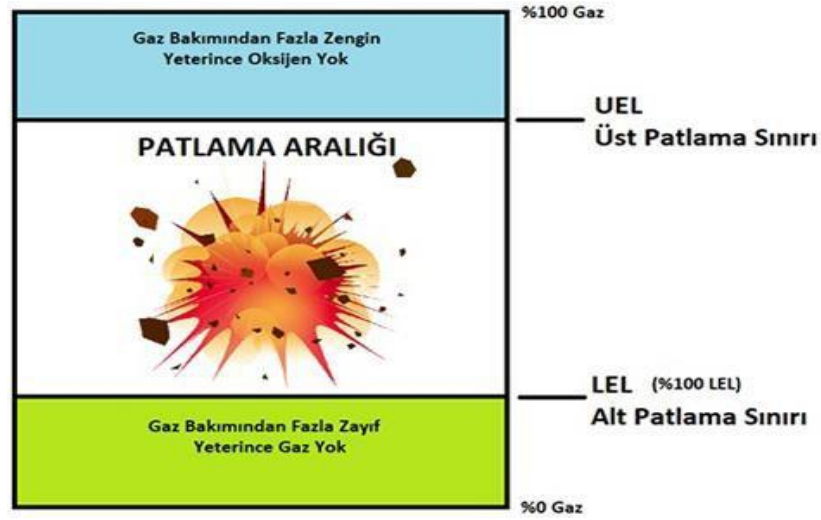


#### 1.4. Alt patlama ve Üst Patlama Sınırı

Gazların patlayıcı özellikleri belirli bir sınır aralığında ortaya çıkar. Bu tehlike sınır aralığı tüm gazlar için farklılık göstermektedir, fakat her gazın ortak özelliği patlama için ateş kaynağının ve oksijenin bir arada olmasıdır.

Alt patlama sınırına LEL adı verilir. Gazların alt patlama değerine ulaşana kadarki konsantrasyonları %LEL olarak gösterilir. Patlayıcı gazların hiç olmadığı ortam %0 LEL, alt patla limit değerinde bulunuyorsa %100 LEL olarak ifade edilir.

Üst patlama sınırı UEL olarak tanımlanır. Gaz konsantrasyonu üst patlama sınırının üzerindeyse, yeterli yanmayı sağlayacak oksijen bulunamaz, bundan dolayı da patlama gerçekleşmez.



Şekil 1.2. LEL ve UEL aralığı

Alt ve üst patlama seviyeleri arasındaki konsantrasyon aralığında patlama oluşur, yani alt patlama sınırının altında ve üst patlama sınırının üstünde kalan konsantrasyon bölgelerinde patlama meydana gelmez [14].



## 2. PATLAYICI GAZ ALGILAMA SİSTEMLERİ

Gaz algılama sistemleri, gaz kaçağının olması sonrasında, ana riskin yani zehirlenme veya patlamanın öncesinde uyarı veren, önleme kapsamında ele alınan sistemlerdir. Patlayıcı gaz dedektörlerinin gaz algılaması, ortamda zehirlenmenin veya patlamanın olduğu anlamına gelmez. Diğer taraftan gazın veya sıvının hangi fazda olduğu, ne miktarda ve nasıl yayılabileceği, ortamda nasıl davrandığı her gaz ve kullanımı için tümüyle farklılık gösterir. Örneğin hidrokarbon içeren bir sıvının sabit basınç ve sıcaklıkta, gaz halinde algılanması mümkün değil iken aynı sıvının farklı koşullarda gaz halinde algılanması mümkün olan bir nitelik sergileyebilir. Yine belirli basınçlarda kaçak noktalarına yakın alanlarda algılanabilirken, farklı basınç değerlerinde gaz fazındaki maddenin dağılım özelliklerine göre değişik biçimde algılama ihtiyacı doğabilir. Tüm bu nedenlerden dolayı, zehirli ve patlayıcı gaz algılama sistemleri hem seçiminde hem de yerleşiminin tespitinde önemli değerlendirme ve ön çalışma gerektirir [15].



Şekil 2.1. Örnek gaz algılama sensörü

### 2.1. Uygun Gaz Dedektörü Seçimi

Tutuşabilir gaz için ölçüm dedektörlerinin seçiminde çevresel faktörlere, kullanılacağı alan ile ilgili özelliklere ve amaçlanan uygulamaya dikkat edilmektedir. Dikkat edilmesi gereken kıstaslar şöyledir:

- Algılanması gereken gaz ya da gazlar, karşılaşılabilecek gazların derişimlerinin aralığı ve bundan dolayı gerekli ölçüm aralığı ve doğruluk.
- Potansiyel olarak girişim yapan gazlar ve bunların ortamdaki varlığı.
- Donanımın hangi amaçla kullanılacağı; alan izleme, personel güvenliği, sızıntı algılaması veya diğer amaçlar.
- Donanımın sabit, taşınabilir olmasının gerekli olup olmadığı.
- Yayılma veya emme olmak üzere numune alma sisteminin seçimi.
- Kullanım bölge ya da bölgelerinin sınıflandırılması.
- Kullanım alanlarında karşılaşılabilecek çevresel şartlar.
- Çalışma ortamı ile algılayıcıların malzemeleri, mahfazaları ve bunların uyumluluğu.
- Sıfır kontrolleri dahil kalibrasyon özellikleri.

Kurulacak olan gaz algılama ve ölçme sistemi, tesisin güvenli olarak çalışması için gerekli minimum reaksiyon sürelerini sağlayacak şekilde tasarlanır. Tüm bu anlatılanlar için şu faktörlerin dikkate alınması gerekir;

- Risk bulundururan gazın potansiyel yayılma hızı.
- Sensör tepki süresi [16].
- Veri, data iletim hatlarının gecikme süresi.
- Alarm cihazlarının ve bağlı bulunduğu sistemlerin gecikme süresi.

### **2.1.1. Sabit ve portatif gaz dedektörleri**

Sabit gaz dedektör sistemleri, konulacağı ortamda gaz kaçağının meydana gelme olasılığı yüksek olan bölgelere yerleştirilir. Dedektörler sürekli olarak gaz ölçümleri yapar ve patlama riski olan gazın belirli bir konsantrasyona ulaşmasıyla devreye girerek önceden tanımlanmış senaryolar gerçekleşir. Kullanılacak alanların sınıflandırılmasına göre gaz dedektör seçimi tehlike oluşturmaması gerekmektedir. [17, 18].



**Şekil 2.2.** Sabit gaz dedektörü [19]

Portatif gaz dedektörleri genel olarak hafif yapıda ve küçük ölçekli olarak tasarlanırlar. Herhangi bir ortamda patlayıcı gazın olması durumunda o ortama girilmeden önce bu gaz dedektörleri ile ölçüm yapılır ve ortamın riskli olup olmadığı kontrol edilir.



**Şekil 2.3.** Portatif gaz dedektörü [20]

## 2.2. Patlayıcı Gaz Dedektörlerinde Sensör Tipleri

Patlayıcı gaz dedektörleri, sensör tasarımına ve algılayıcı teknolojilerine göre sınıflara ayrılırlar. Tehlikeli gazlar için sensör seçenekleri aşağıdaki gibidir [21];

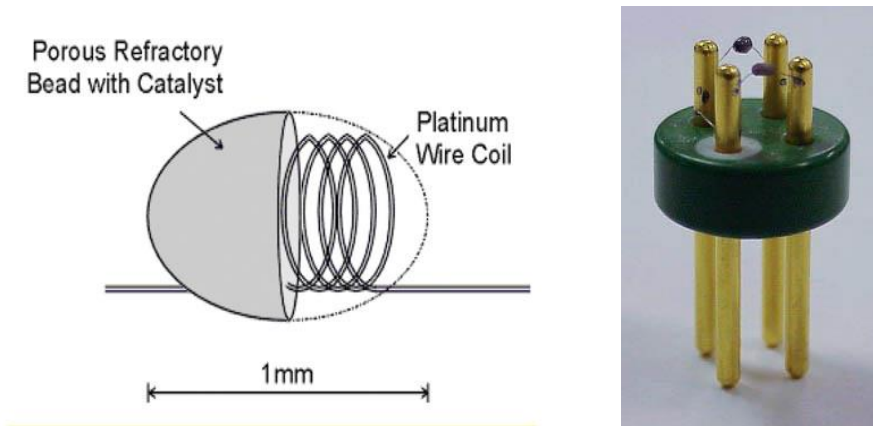
- Katalitik
- Infrared (IR)
- Termal İletkenli
- Yarı İletken

- Ultrasonic
- Alev İyonizasyonlu
- Alev Isı Analizi

### 2.2.1. Katalitik sensörler

Katalitik sensörlerin çalışma mantığı gazların oksidasyonu prensibine dayanır. Katalitik sensörler Şekil 2.4’de görüldüğü gibi seramik bir top içerisine bobin şeklinde sarılmış Platinyum bir telden oluşur. Topağın yüzeyi yanıcı bir gazla karşılaştığında ısı veren özel bir maddeyle çevrilidir bu madde bir oksidasyona neden olur. Sensöre temas etmiş gazın yakılmasıyla oluşan yanmayı elektriksel bir işarete dönüştüren algılayıcı parçasına pellistör adı verilir.

Yukarıda bahsedilen özelliklerinden dolayı sensörler gaz algılamadan önce ısınması gerekir. Isınma işlemi içeride bulunan tel üzerinde akım akıtılarak ile gerçekleştirilir. Gazın sensör içerisindeki topak yüzeye temas etmesi ardından başlayan oksidasyon sonucu bir ısı açığa çıkar. Bu ısı sensörün elektriksel direncinde değişikliklere neden olur; bu değişiklikler sensörden gelen gerilim olarak algılanır Bulunduğu hacimde gaz konsantrasyonuna bağlı olarak değişim gösteren sıcaklık, karşılaştırma devreleri ile ölçülerek algılama yapar. Katalitik sensörlerin bazı olumsuz durumları vardır. Sınırlı kullanım ömrüne sahiptirler, gaza maruz kalma durumlarına göre ömürleri kısalmış ve bozulurlar. Ayrıca gaz konsantrasyonunu doğru okuma yetisini kaybederler. Bu sebeplerden dolayı düzenli ve sürekli kalibrasyon zorunluluklarını beraberinde getirirler [22].



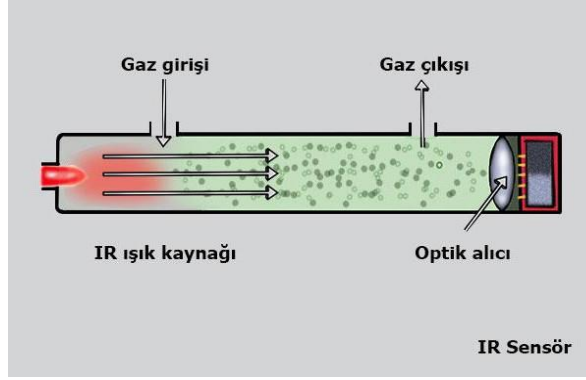
Şekil 2.4. Katalitik sensör

### 2.2.2. Infrared sensörler (IR)

Patlayıcı gazların algılanmasında en fazla kullanılan algılayıcılardan biri de IR sensörlerdir. Infrared sensörler çoğunlukla hidrokarbon gazların algılanmasında kullanılırlar. Çünkü IR sensörler yapıları gereği algılamasını hidrokarbon gazlarının IR ışınlarının dalga boyu değişim özelliklerinden yararlanarak gerçekleştirir.

IR ışık kaynağı tarafından alıcıya ışın gönderilir. Sensörün içerisine giren gaz ışık kaynağından çıkan IR ışınlarını emer. Referans ışın ile algılama için gönderilen ışın arasındaki sönüm farkı alarm seviyesi olarak belirlenen eşiğe geldiğinde sensör sinyal gönderir.

IR sensörler ortamdaki sıcaklık değişimlerine, şiddetli patlayıcı gaz yoğunluklarına, neme ve engelleyici gazlara karşı dayanıklıdır [23].



Şekil 2.5. Infrared Sensör

### 2.2.3. Termal iletkenli sensörler

Termal iletkenli algılayıcılar ortamda bulunan hava ile algılanacak gazın termik iletkenlerinin kıyaslanması prensibiyle algılama yaparlar. Algılayıcının iç kısmında bulunan ısıtılmış termistör referans görevi görür. Ortamdaki gazın ısıl geçirgenliği referanstan fazla olması halinde gazın ısısı azalır. Ortamdaki gazın ısıl geçirgenliği referanstan az olması halinde gazın ısısı yükselir. Isı değişiklikleri algılayıcının içindeki elektrik devresinin eşdeğer dayanımını değiştirir. Sensör bu sayede ortamda bulunan gazı algılar.

### 2.2.4. Yarı iletken Sensörler

Yarı iletken sensörler, yapılarında yarı iletken silikon bulunan malzemelerden yapılan sensörlerdir. Boyutlarının çok küçük olması sayesinde birçok tümleşik devrelerde kullanılabilir. Çalışma sıcaklıkları - 50°C ile +150°C arasındadır. Yapıları gereği

yüksek sıcaklık değerlerinde ölçüm yapamazlar. Bu sensörler çalışma anında iç sıcaklıkları 100 derecelere kadar çıkmaktadır.

### 2.2.5. Ultrasonik Sensörler

Ultrasonik sensörler ya da diğer adıyla ultrasonik dönüştürücüler ses dalgalarını kullanarak mesafeyi ölçen bir sensör türüdür. Radarla çalışma mantığı aynıdır. Hedef nesneye ultrasonik dalgalar yollar ve geri yansımayı elektrik sinyaline dönüştürür. Adından da anlaşılacağı üzere ultrasonik yüksek ses demektir. Aynı zamanda yolladığı ultrasonik dalgalar ise insanların duyabileceği ses frekansından daha hızlı bir frekansta hareket eder. Ses frekansı 20000 Hz ile 500000 Hz arasındadır. En çok bilinen ultrasonik sensör olan HC SR04'ün ultrasonik dalga frekansı 40kHz'dir [24].



Şekil 2.6. Ultrasonik ve yarı iletken sensör

### 2.2.6. Alev iyonizasyonlu sensörler (FID)

Alev iyonizasyon detektörleri (FID), ölçülen numunede bulunabilecek hidrokarbonların, özellikle bütan, heksan ve diğer karbon içeren bileşiklerin varlıklarını kontrol etmek amacıyla kullanılanlardır.

Alev iyonizasyon dedektörü sadece organik olan bileşikleri tespit edebilir. Cihazlar, ilaç üretimi ve böcek ilaçlarının kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılırlar. Karbon molekülleri içerdiğinden metan veya hidrojen siyanür gibi toksik bileşikler ölçmek mümkündür. İnorganik gazların bir FID ile tespit edilmesi zordur. Örneğin, amonyak moleküler yapısında karbon içermez, bu yüzden fark edilmeyebilir.

## 2.3. Patlayıcı Gaz Dedektörlerinin Konumlandırılması

Dedektörler, yerleştirilecek ortama göre gaz dağılımı ve kullanılan cihaz hakkında yetkin personeline danışılarak belirlenmiş konumlara sabitlenir [25]. Bu belirleme kriterleri:

- Yayılma etkileri ile muhtemel gaz kaçaqları kaynaklarının belirlenmesi.



- Gaz kaçak kaynaklarının bina içinde veya bina dışında olup olmadığı.
- Kapı boşluğu, pencereler, tüneller, çukurlar gibi potansiyel risk yaratabilecek yerlerin varlığı.
- Yerel çevresel şartları.
- İş sağlığını ve güvenliği.
- Ölçümleme ve doğrulama dahil bakım ve tesisin çalışma tehlikelerine karşı sistemin korunması için erişim.

Dedektörler gazın tehlikeli birikimlerinin meydana gelebileceği alanlara yerleştirilmelidir [10]. Genel olarak açık yerlerde küçük sızıntılar tehlikeli bir birikmeye sebep olmaksızın dağılabilir. İstenmeyen alarmlardan kaçınmak için algılama noktaları normal çalışmada önemsiz küçük sızıntı üretebilen teçhizatlara değil büyük potansiyel serbest kalma kaynaklarına yakın yerleştirilir [26].

### **2.3.1. Hedef gazın yoğunluğu**

- Havadan hafif gazların (ör. Metan ve Hidrojen) algılanması için dedektörler tercihen kaçak noktasına yakın yüksek bir noktaya monte edilmelidir. Üstü kapalı yerlerde tavan tercih edilir. Açık ortamlarda tercihen gaz toplama hunileri ile donatılmaktadır.
- Havadan ağır gazların (ör. Propan ve Hidrojen Sülfür) algılanması için dedektörler zemine yakın bir noktaya monte edilmelidir.
- Boğucu gazlar ve hava ile benzer ağırlığa sahip gazlardan kaynaklı oksijen eksikliği riski için kullanılan dedektörler baş seviyesine monte edilmelidir.

### **2.3.2. Ortam koşulları**

- Kaçan gazın doğal veya cebri hava akımları nedeniyle nasıl davranış sergileyebileceği dikkate alınmalıdır. Mümkünse havalandırma kanallarına da dedektör takılmalıdır. İklimlendirme/havalandırma ünitelerinin olası kaçak gaza yön verebileceği düşünülerek konumlandırma noktaları değerlendirilmelidir.
- Açık alana monte edilecek dedektörlerde hava koşullarına (nem, toz vb.) karşı koruma ekipmanı da kullanılması önerilmektedir. Direkt olarak güneşe maruz kalan bir alana dedektör monte ediliyorsa bir güneşlik veya gölgelik kullanılmalıdır [27].

### **2.3.3. Genel hususlar**

- Dedektörler, gaz bulutlarının oluşmasına izin verecek biçimde yüksek basınçlı parçaların biraz gerisine yerleştirilmelidir. Aksi takdirde, olası bir gaz kaçağı yüksek hızdaki püskürme sebebi ile farklı bir noktada birikebilir ve algılanamayabilir.
- Dedektörlerin bakımı ve kalibrasyonları için yeterince erişim alanı bırakılmalıdır.
- Dedektörler, montaj alanlarına sensör aşağı doğru bakacak şekilde takılmalıdır. Bu sayede sensörün önünde toz veya su birikmez ve dedektöre gaz girişinde toz ve nem kaynaklı problem olasılığı en aza indirilir.
- Açık yollu kızılötesi cihazları takarken kızılötesi ışınını bozacak veya engelleyecek hiçbir kalıcı engel bulunmadığından emin olunmalıdır. Araçların, tesis personelinin, kuşların vs. dedektörü kısa süreli engellemesi sorun yaratmayacaktır.
- Açık yollu cihazların monte edildiği yapıların sağlam olduğundan ve titreşime maruz kalmadıklarından emin olunmalıdır.

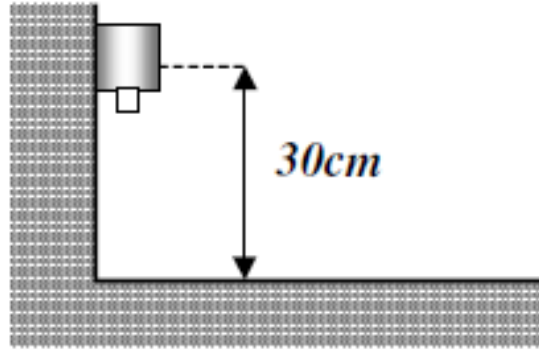
Dedektörler kullanılacağı ortamdaki yapıya göre farklı şekilde monte edilebilmekte ve uygulamaya göre gaz algılama sistemi farklı konfigürasyonlarda tasarlanabilmektedir [28].

### **2.3.4. Tipik Sensör montajı seçenekleri**

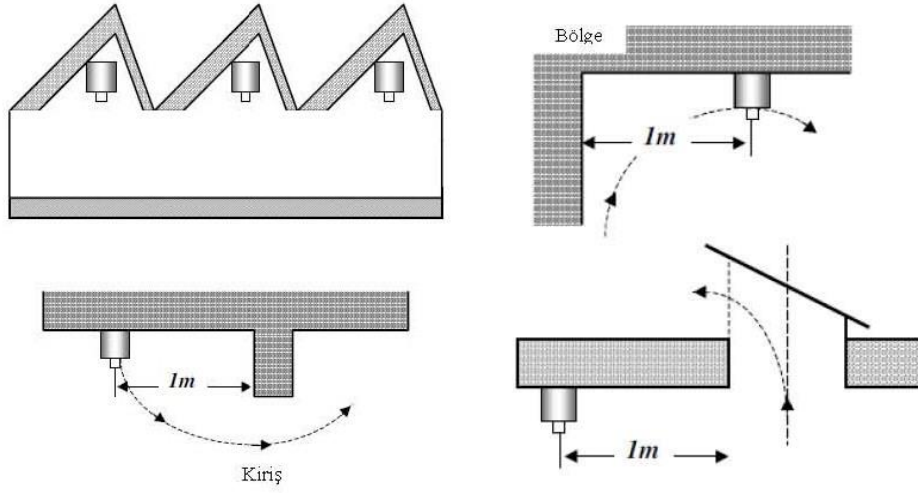
- Duvara montaj
- Direğe montaj
- Kanala montaj
- Tavana montaj

### **2.3.5. Tipik sistem konfigürasyonları**

- Uzak sensör, yerel ekran/gaz verme
- Yerel tahrikli alarm sistemi
- Tipik sensör/denetleyici sistemi
- Bağımsız sistem
- Tipik numune alma/örnekleme sistemi



Şekil 2.7. Örnek dedektör konumlandırılması 1



Şekil 2.8. Örnek dedektör konumlandırılması 2



### **3. MATERYAL VE YÖNTEMLER**

#### **3.1. Çalışmanın Amacı ve Kullanılan Yöntemler**

Bu tez çalışmasında patlayıcı gaz olan metanın kapalı hacimlerde nasıl biriktiğini, nasıl dağıldığını ve hangi bölgelerin tehlikeli olduğunun sabit gaz dedektörleriyle kontrollerinin sağlanması, kullanılmış olan tehlike değerlendirmesi faktörlerinin uygulanabilirliğini ölçmek ve elde edilen verileri karşılaştırmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda en uygun çözüme ulaşmak için incelenmiş olan senaryolar ve stratejiler FDS yazılımı ile bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. CAD modeli SolidWorks aracılığı ile oluşturulmuştur [29]. Modelin analizi PyroSim programı aracılığı ile elde edilmiştir. Analiz sonucunda ise elde edilmiş olan veriler Smokeview programı ile görselleştirilmiştir.

#### **3.2. Yararlanılan Yazılımlar ve Modeller**

##### **3.2.1. Fds programının özellikleri**

FDS programının ilk sürümü 2000 yılında NIST (Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü) tarafınca pazara sürülen ücretsiz ve açık kaynaklı bir HAD yazılımıdır. Özellikle zehirli gaz tahliye sistemleri ve yangın dedektörü / sulu yangın söndürme sistemlerinin aktivasyon sistemleri için oldukça gerçekçi ve hızlı çözümler sunan bir programdır [30].

Genel olarak FDS aşağıdaki olayları modellemek için kullanılabilir;

- Patlamanın neden olduğu sıcaklık ve dumanın düşük konveksiyon hızı,
- Katı ve gaz maddeler arası ısı transferi,
- Piroliz ateşi büyümesi,
- Alev dağılımı,
- Isı dedektörlerinin aktivasyonu ve su ile yangın söndürme sistemleri,
- Yangının sprinkler sistemleri ile söndürülmesi.

### 3.2.2. Türbülanslı akışın modellenmesi (LES)

Tam Türbülanslı Navier-Stokes eşitliklerinin analitik bir hali olmadığından çözüm için modelin üç boyutlu sistem hücrelerine ayrıldığı sayısal işlemler kullanılır. Modellerde her ağ elemandaki fiziksel koşullar zamana bağlı bir şekilde hesaplanır [31].

Türbülanslı akışlar girdaplarla (eddies) ayırt edilirler. Akışı ayırt eden bu girdapları analiz etmek için modeller geliştirilmiştir. FDS yazılımlarında ön görülen türbülans yöntemi olarak kullanılan LES (Büyük Girdap Simulasyonu) modeli kullanılarak yapılan çözümlerinde tüm boyutlardaki girdapları modellemek epey zaman alan bir yöntemdir. Bundan dolayı LES türbülans modelindeki temel ilke küçük boyutta olup hesaplaması uzun zaman alabilecek girdapları direkt çözmek yerine modelleyerek NavierStokes eşitliklerinde sadeleştirme yapmaktır. Aslında küçük boyuttaki girdaplar duvara yakın akışları (near-wall flows), tepki veren (reaksiyon) akışları (reacting flows), çok fazlı akışlar (multiphase flows) gibi durumlarda oldukça önemli bir göreve sahiptir. Ancak kapalı alanlarda çoğunlukla zehirli gaz akış karakteristiği sıcaklık konsantrasyon çözümleri yapıldığından dolayı küçük girdapların göz ardı olmasında herhangi bir sorun olmaz ve genellikle oluşturulan modeller büyük boyutlu olacağından dolayı yapılan bu sadeleştirme işlemleri hesaplama zamanı açısından büyük bir avantaj sağlar [32].

Yukarıda bahsedilen durumlar için özel olarak geliştirilen FDS yazılımında LES modeli varsayılan türbülans modu olarak ayarlanmıştır. Böylece programda türbülans LES modelinin Smagorinsky formunda çözülmüş olur.

Detaylı olarak değinilecek olursa, LES (Büyük girdap simulasyonu) modelinde, akış alanındaki büyük girdaplar direkt olarak çözümlenirken, küçük girdaplar modellenir. Çünkü akıştaki büyük girdaplar geometriye ve probleme bağlıdır ancak küçük girdaplar problemden bağımsız olarak genel bir davranış gösterirler. Dolayısıyla küçük girdaplar bütün problemlerde kullanılabilir şekilde modellenir. Bu amaçla küçük girdaplar için momentum korunum denkleminin "altgrid-ölçek gerilmesi" bileşeni modellenir. Bu terimin modellenmesi için öncelikle "türbülans viskozitesi" modellenmelidir. Bu amaçla aşağıdaki gibi bir yol izlenerek modelleme yapılır.

Enerji korunumu, momentum ve kütle denklemlerinin sade halleri sırasıyla;

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (p\bar{u}_i) = 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho\bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (p u_i u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_j} - \frac{\partial c_T}{\partial x_j} + \rho \bar{g} \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho H) + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i \rho H) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( keff \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilirler. Burada  $\rho$ ,  $u$ ,  $\mu$ ,  $p$ ,  $keff$ ,  $T$ ,  $H$  terimleri sırasıyla yoğunluk, hız, moleküler viskozite, basınç, efektif ısı iletkenlik katsayısı, sıcaklık ve entalpidir.  $\sigma_i$  ise, moleküler viskoziteden dolayı oluşan gerilmedir.

$$\sigma_{ij} = \left[ \mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \delta_{ij} \quad (3.4)$$

Şeklinde tanımlanır. 3.2 denklemindeki CT, türbülans katkısını içeren terimdir. LES modelinde  $CT = \tau_{ij}$ 'dir.  $\tau_{ij}$  terimi altgrid-ölçek (Sub-grid scale) gerilimidir ve,

$$\tau_{ij} \equiv \rho \bar{u}_i \bar{u}_j - \rho \bar{u}_j \bar{u}_i \quad (3.5)$$

olarak tanımlanır. Korunum denklemlerindeki  $\tau_{ij}$  tabiri dışındaki bütün tabirler çözümlenebilen terimlerdir,  $\tau_{ij}$  tabirinin ise modellenmesi gerekmektedir. LES modelinde altgrid-ölçek gerilmesi modellenirken,

$$\tau_{ij} - \frac{1}{3} \tau_{kk} \delta_{ij} = -2\mu_t \bar{S}_{ij} \quad (3.6)$$

şekli elde edilir. 3.6 denklemindeki gerilmenin yönden bağımsız bileşeni  $\tau_k$ 'nin modellenmesine gerek duyulmaz. Ayrıca aşağıdaki denklem ile çözümlenebilen bozulma tensörünün değişimi olan  $\bar{S}^i$ 'nin de modellenmesine gerek duyulmaz,

$$\tau_{ij} \equiv \rho \bar{u}_i \bar{u}_j - \rho \bar{u}_j \bar{u}_i \quad (3.7)$$

Bu halde modellenmesi gereken tek tabir türbülans viskozitesidir. LES modelinde türbülans viskozitesi,

$$\mu_t = \rho L_s^2 |\bar{S}| \quad (3.8)$$

formülü ile modellenir. Burada,

$$L_s = \min(Kd, C_s v^{1/3}) \quad (3.9)$$

$$|\bar{S}| \equiv \sqrt{2\bar{S}_{ij}\bar{S}_{ij}} \quad (3.10)$$

formülleriyle hesaplanırlar. Formüldeki  $V$ ,  $\kappa$ ,  $d$ ,  $C_s$ ,  $\bar{S}_{ij}$  sırasıyla; elemanın hacmi, Von Karman sabiti, komşu elemana olan uzaklık, Smagorinsky sabiti, deformasyon tensorünün değişimidir [33].

### **3.2.3. Doğrudan nümerik benzetim (DNS)**

Doğrudan Sayısal Benzetim yönteminde, Navier-Stokes eşitlikleri yeterince yoğunluktaki sistem yapısı ve düşük zaman aralığında zamana karşı çözülmektedir. Doğrudan sayısal benzetim modelleme içermez, N-S denklemleri hem türbülans hem laminar tüm akış çeşitlerini tanımlamaktadır. Yöntemde en küçük boyutlardaki dalgalanmalar bile çözümlenir. Analizi yapılması gereken en küçük türbülans hareketleri, Kolmogorov uzunluk ve zaman ölçeklerindedir. Bu çok büyük miktarlarda ağ sistemi ve işlem vaktini gerektirir. Bundan dolayı bu yöntem endüstriyel alan için uygulamaya açık değildir, daha çok geliştirilen modellerin doğrulanmasında vb. araştırmalarda kullanılmaktadır [34].

### **3.2.4. Smokeview (SMW) programının özellikleri**

SMW, FDS programında sayısal olarak hesaplanmış olan modellerin görselleştirilmesi için kullanılan bir yardımcı programdır. FDS ve Smokeview yazılımları ile esas olarak zamana bağımlı şekilde değişen yanma olaylarının numerik olarak hesaplanması ve görselleştirilmesi hedeflenir. Fakat bu programlar sayesinde yapılabilecekler sadece bunlarla sınırlı değildir.

SMW, zamana bağlı izleyici parçacık akışının görselleştirilmesi, hesaplanan gaz değişkenlerinin hız, sıcaklık, konsantrasyon dağılımlarının elde edilmesinde kullanılır. Bununla birlikte belirli bir zaman için simülasyonun herhangi bir bölgesindeki statik verilerin vektör grafiklerinin oluşturulmasında da kullanılır.

SMW, modelde analizlere başlanmadan önce, analiz esnasında veya hesaplama sonunda kullanılabilir. Hesaplama sonrası Smokeview kullanımı ile simülasyon çıktıları gözlemlenebilmektedir. Hesaplama esnasında kullanıldığında ise simülasyondaki ilerleme görüntülenebilmektedir. Analizlere başlamadan önce kullanımında ise model 3 boyutlu olarak görüntülenebileceği için varsa eksikliklerin çok daha kolay şekilde fark edilip giderilmesine imkân vermektedir [35].



### **3.2.5. PyroSim ara yüz programının özellikleri**

Pyrosim; FDS için geliştirilen bir grafik ara yüz yazılımıdır. Komplike yangın modellerinin tüm ayrıntılarının akıcı bir şekilde yönetilebilmesini ve oluşturulabilmesi sağlar.

Pyrosim yazılımıyla 3 boyutlu model oluşturulabileceği gibi SolidWorks, DWG ve DXF veya mevcut olan FDS uzantılı dosyaların programa aktarılması ile de model oluşturulması mümkündür. Aynı zamanda GIF, JPG veya PNG uzantılı dosyaların yazılım içerisine aktarılıp oluşturulan modelde arka plan görseli olarak kullanmakta mümkündür.

PyroSim yazılımında birden fazla ağ yapısı üretmek ve gerçekliğini teyit etmek için araçlar bulunur. PyroSim, FDS' te yararlanılabilen birçok özelliğin özelleştirilebilir ve oluşturulan modele hazır olarak aktarılabilir tepkime, ısı dedektörleri, partikül ve yüzey değişkenleri gibi model değişkenleri için iyileştirilmiş donanımları bulunmaktadır. Bu sayede modelin hazırlanma süreci çok daha seri ve daha az kusur ile yürütülmüş olur. Bu ara yüz modeli oluştururken tüm parametreler 3 boyutlu olarak görüntülenebileceği için olası hatalar minimize edilmiş olur. Kısacası; PyroSim programı FDS yazılımının mevcut olan bütün niteliklerini herhangi bir engel olmaksızın kullanımına imkan verdiği için dolay kullanana daha basit, daha seri ve minimum seviyede hata ile modelleme yapabilme imkanı sunar [36].

### **3.3. Modelin Fiziksel Özellikleri**

Bu tez çalışmasında deneysel olarak çalışmalar yapılmış olan bir model referans olarak alınmıştır. Söz konusu model Şekil 3.1.'den de anlaşılacağı üzere dikdörtgen kesitli kabin olup 0,8x0,8x1.5 m (en, uzunluk, yükseklik) boyutlarına sahiptir.

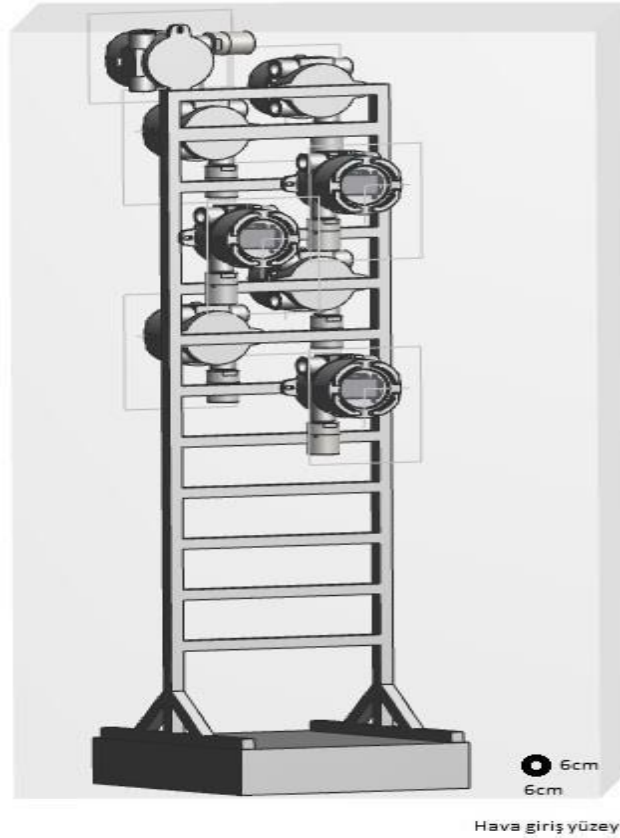
Her biri 80x80x25 mm boyutlarında ki sabit gaz dedektörleri şekil 3.1.'de görüldüğü üzere taşıyıcı üzerinde 8 ayrı farklı konuma yerleştirilmiştir. Ayrıca Kabin içerisine hava gaz karışımı girişi sağlanabilmesi için 4 mm çapında giriş açılmış olup içerideki karışımın homojen olarak dağılabilmesi ve içerideki basıncın dengelenebilmesi için çıkış eklenerek bu sayede karışım hareketlerinin gözlenebilmesi sağlanmıştır. 1.25 %Vol metan tüpü için regülatörden 20 lt/dk hızda ,30 derece ortam sıcaklığında metan hava karışımı girişi yapılmıştır.

Modelde bulunan farklı konumlardaki dedektörler sayesinde gaz girişi durumunda gazın ortamda birikimini ve dağılımını incelemek amaçlı senaryolar oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Fakat bu çalışmada amaç dedektör tasarımı yapmak olmadığından, dedektörler detaylı modellenmemiş olup örnek bir model referans alınıp çizimler SolidWorks’de gerçekleştirilmiştir.

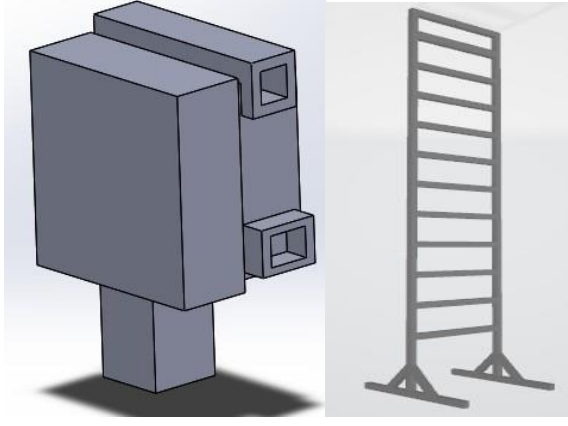
Dedektörlerin gaz algılama noktaları ortalama 10cm mesafeye gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Aşağıda dedektörlerin yere göre yerleşim mesafeleri verilmiştir;

**Tablo 3.1.** Dedektörlerin yere göre yerleşim mesafeleri

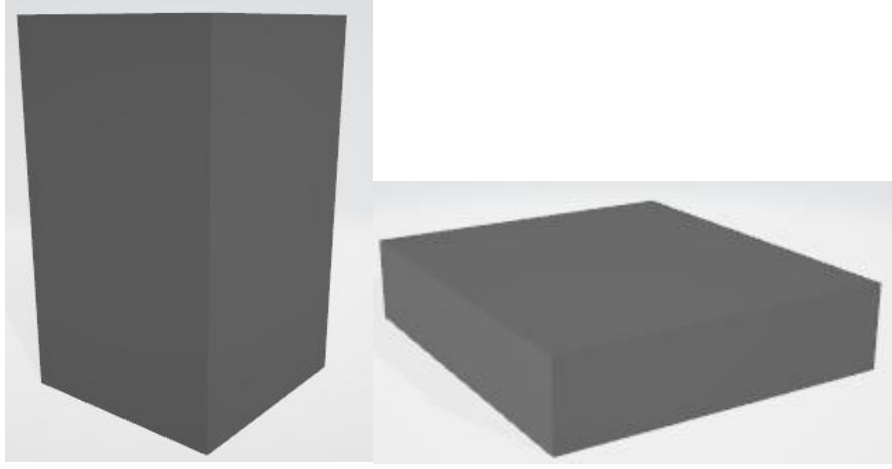
Gas 01 – 1.43 metre	Gas 04 – 1.02 metre	Gas 07 – 0.74 metre
Gas 02 – 1.21 metre	Gas 05 – 0.92 metre	Gas 08 – 0.64 metre
Gas 03 – 1.13 metre	Gas 06 – 0.84 metre	



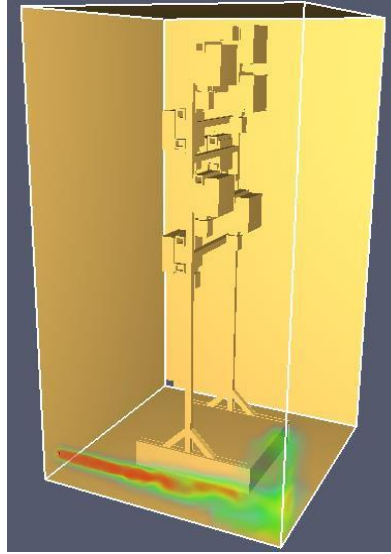
**Şekil 3.1.** Referans alınan örnek model



Şekil 3.2. Dedektör ve taşıyıcı CAD modeli



Şekil 3.3. Kabin ve yükseltme CAD modeli



Şekil 3.4. CAD modellerinin montajlanmış hali



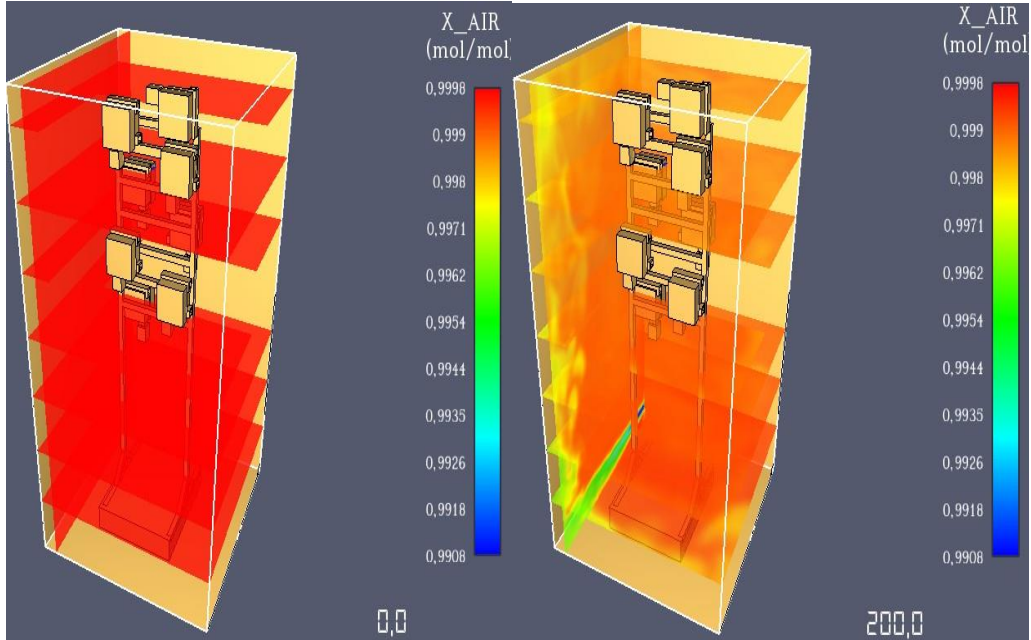
## 4. DENEYSEL SONUÇLAR

### 4.1. Simülasyon Analiz Sonuçları

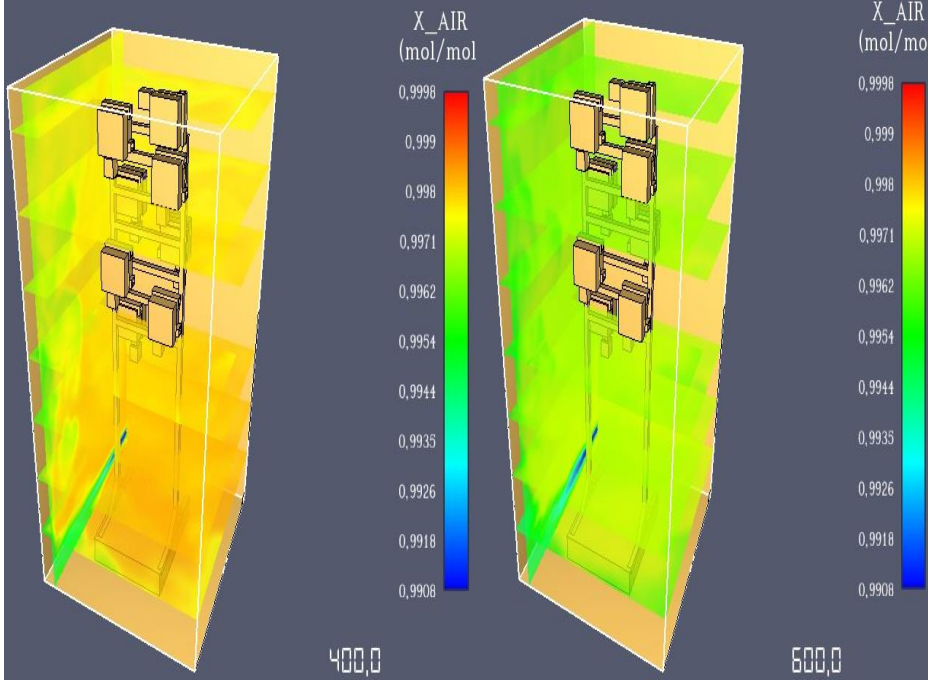
Bu çalışma için HAD yazılımı olarak FDS, PyroSim ve Smokeview programları kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. 30%LEL 20lt/dk gaz akışı seçilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda hava ve metan için hacim oranlarındaki değişimler, kütle oranındaki değişimler, basınç, sıcaklık ve hız değişimlerinin 1000 saniye sonraki halleri görsel olarak takip edilmiş ve eklenmiştir.

#### 4.1.1. Hava hacim oranları

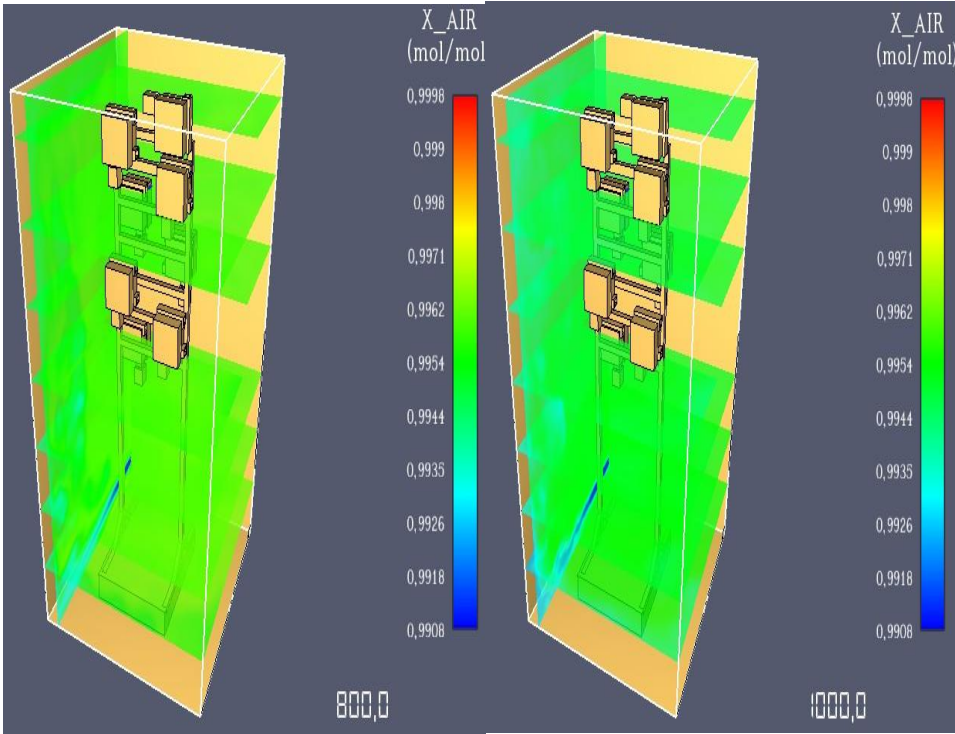
Yapılan simülasyon analizleri sonucunda elde edilen veriler için hava hacim oranlarının simülasyon parametreleri Şekil 4.1 ile Şekil 4.3. arasında verildiği gibi 0. ve 1000. saniyeler arasında zamana bağlı olarak incelenmiştir. İncelenen sonuçlara göre hacim analizleri kapalı hacimde 0.9908 ile 1 değerleri arasındadır. Buda kabin içerisine nüfus eden havanın kabinin farklı konumlarında çok yakın değerlerde dağıldığını açıklamaktadır.



Şekil 4.1. Hava hacim oranının 0. ve 200. saniyelerde simülasyon gösterimi



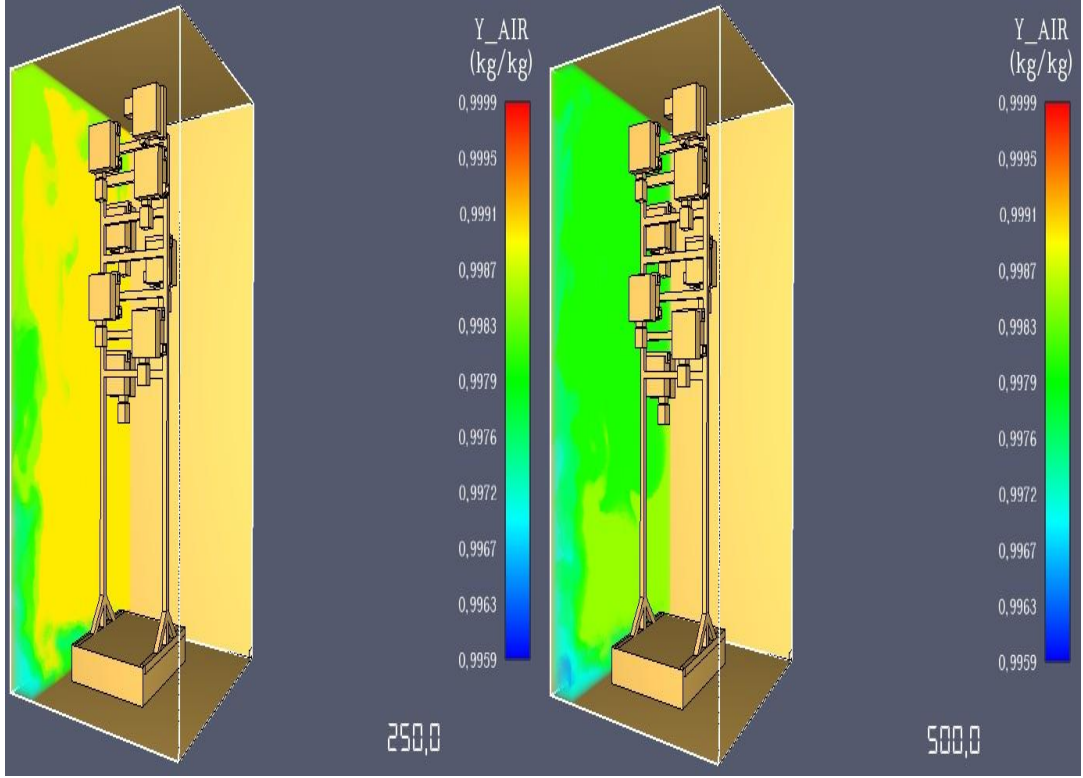
Şekil 4.2. Hava hacim oranının 400. ve 600. saniyelerde simülasyon gösterimi



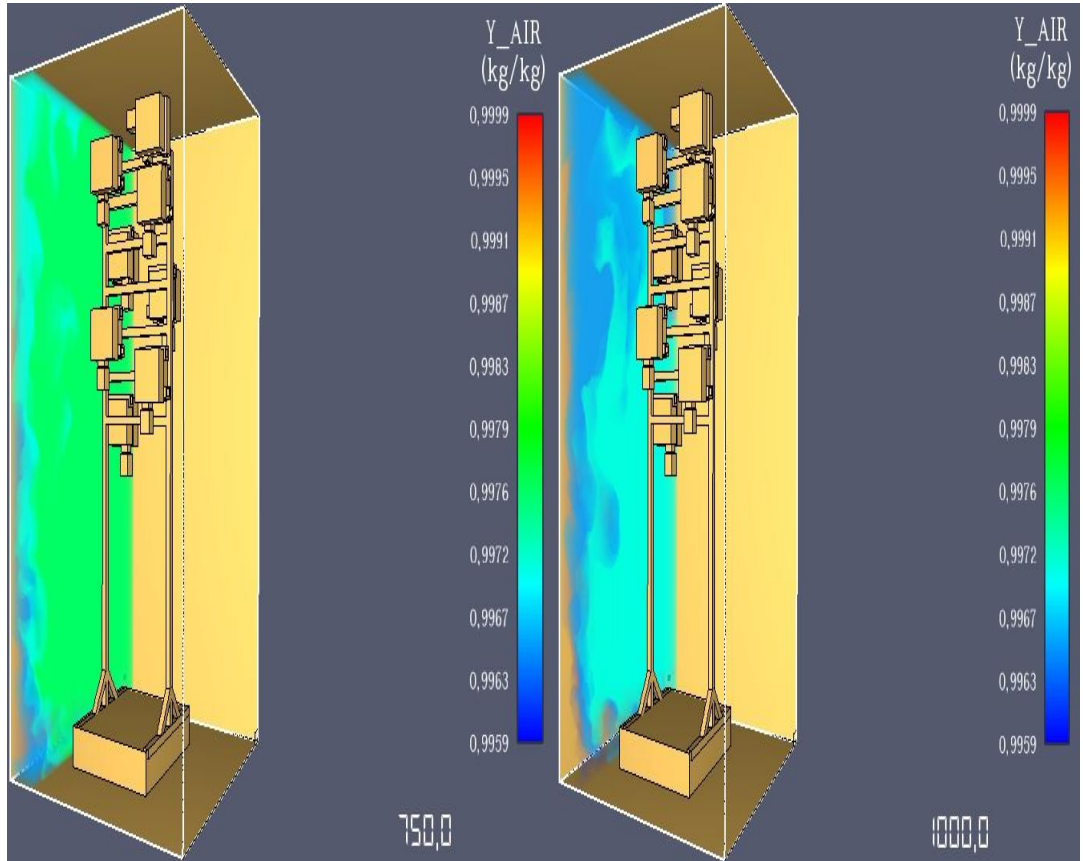
Şekil 4.3. Hava hacim oranının 800. ve 1000. saniyelerde simülasyon gösterimi

#### 4.1.2. Hava kütle oranları

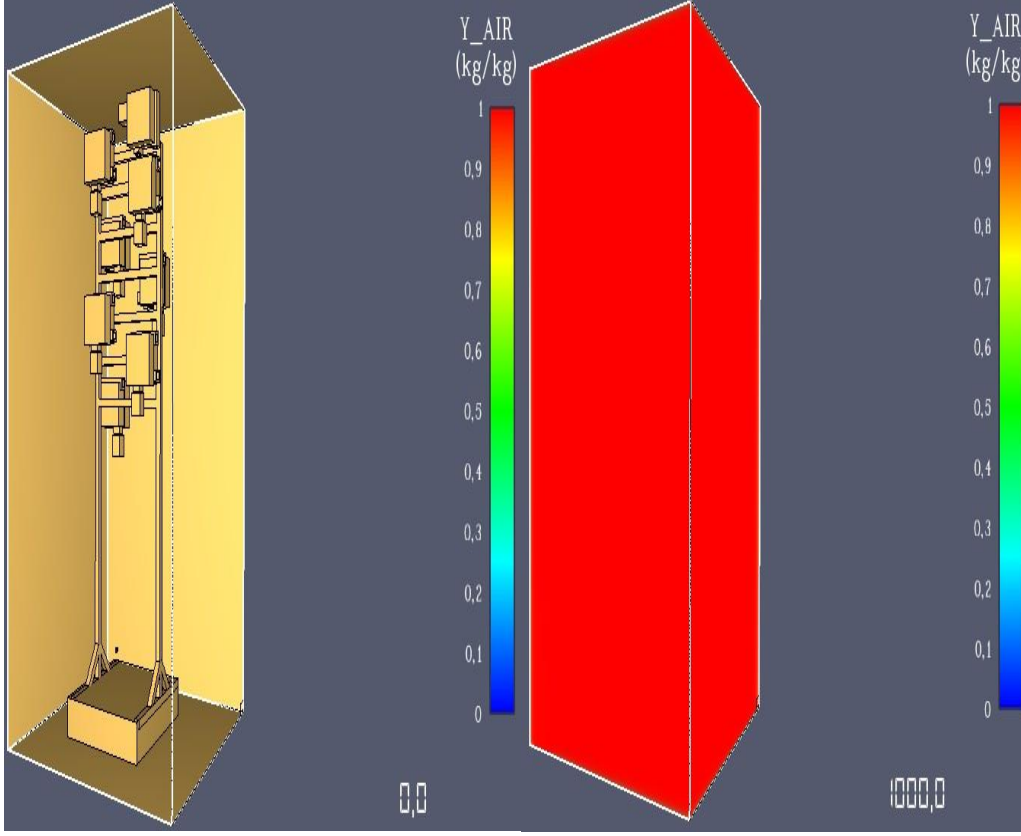
Hava kütle oranları, hacim oranlarında olduğu gibi kapalı hacim içerisinde fark yaratacak şekilde sonuçlar vermemiştir. Simülasyon parametreleri Şekil 4.4 ile 4.6 arasında 0. ile 1000. saniyeler arasında zamana bağlı olarak gösterilmiştir.



**Şekil 4.4.** Hava kütle oranının 250. ve 500. saniyelerde simülasyon gösterimi



**Şekil 4.5.** Hava kütle oranının 750. ve 1000. saniyelerde simülasyon gösterimi

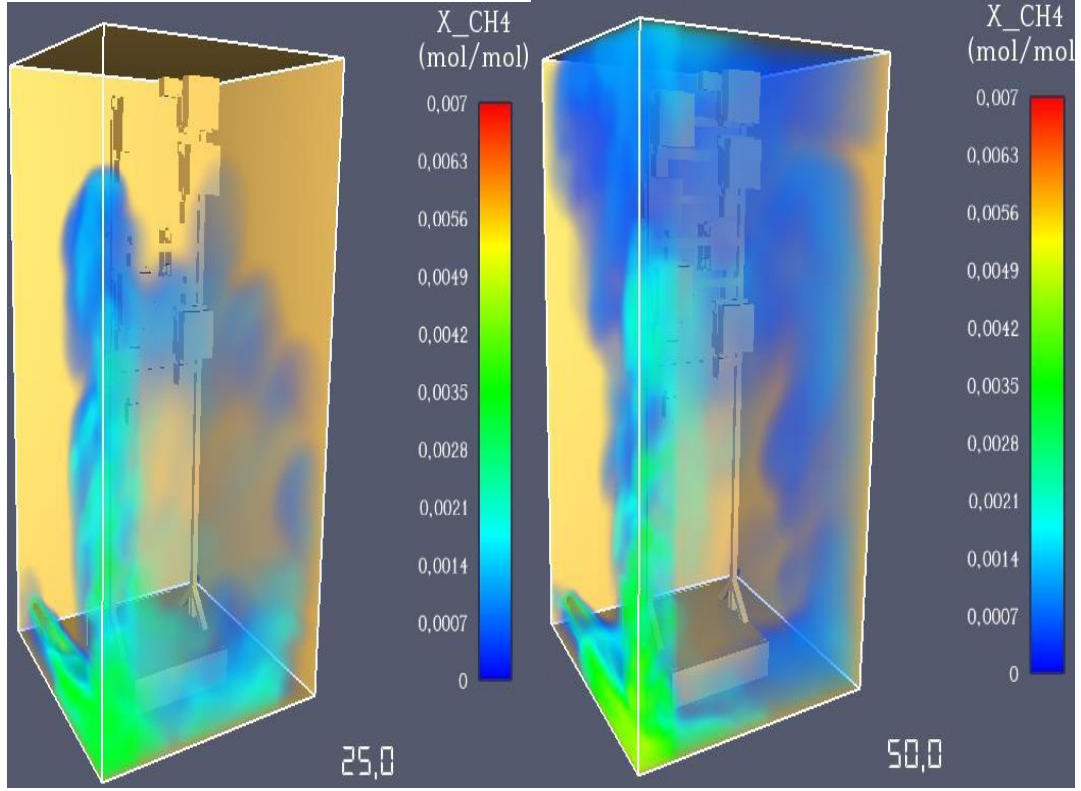


**Şekil 4.6.** Hava kütle oranının 0.ve 1000. Saniyelerde simülasyon gösterimi

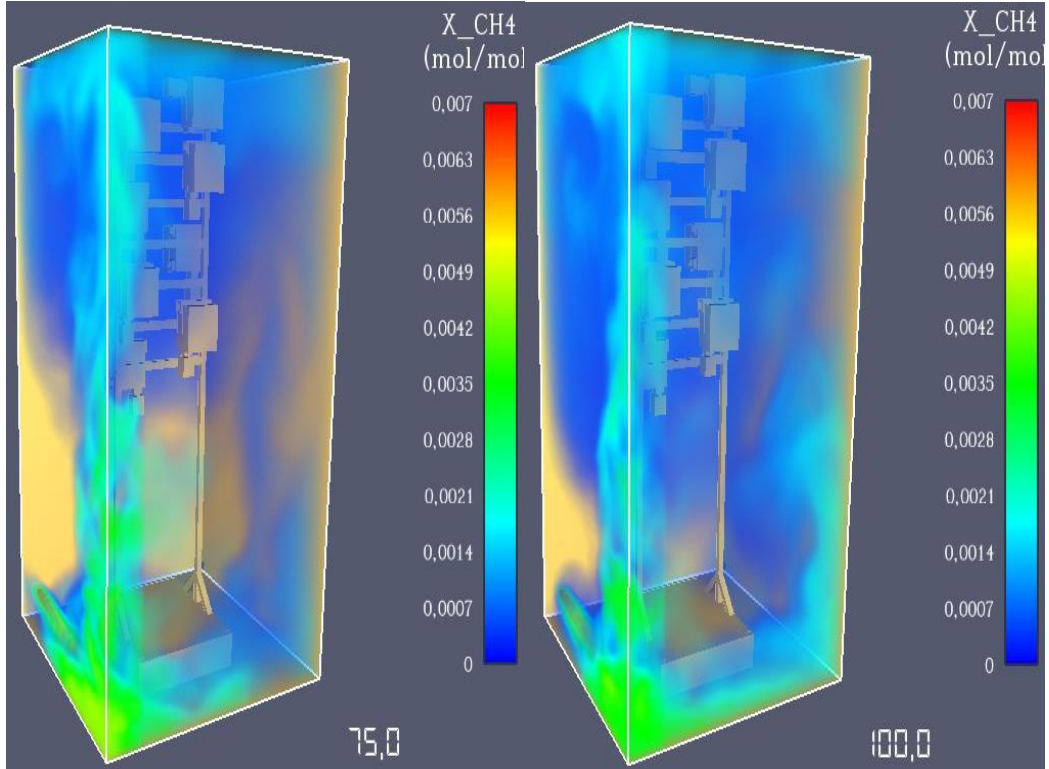
#### 4.1.3. Metan hacim oranları

Yapılan simülasyon analizleri sonucunda metan gazının oda içerisinde dağılımı Şekil 4.7. ile Şekil 4.10. arasında verildiği gibi sırasıyla 25,50,75,100,250,500,750,1000. saniyeler arasında zamana bağlı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Şekil 4.7 de gözüktüğü üzere gaz hava karışımının kabin içerisine girdiği andan itibaren kabinin üst bölgelerine doğru çıktığını ve homojen olarak odanın her yerine dağıldığını söyleyebiliriz. Odanın üst bölgesine yayılan metan üst bölgelerde 100. Saniyelere kadar LEL alt patlama sınırına ulaşmadığı için tehlikesiz görünse de akışın giriş kısmındaki yoğun metan karışımı alt patlama sınırının üstünde gözükmektedir. Buda simülasyonun ilk saniyelerinden itibaren ortamı tehlikeli kılmaktadır. Ayrıca 1000 saniye boyunca metan değerleri UEL üst patlama sınırını geçmediği için ortam simülasyon boyunca tehlikeli ortamdır.

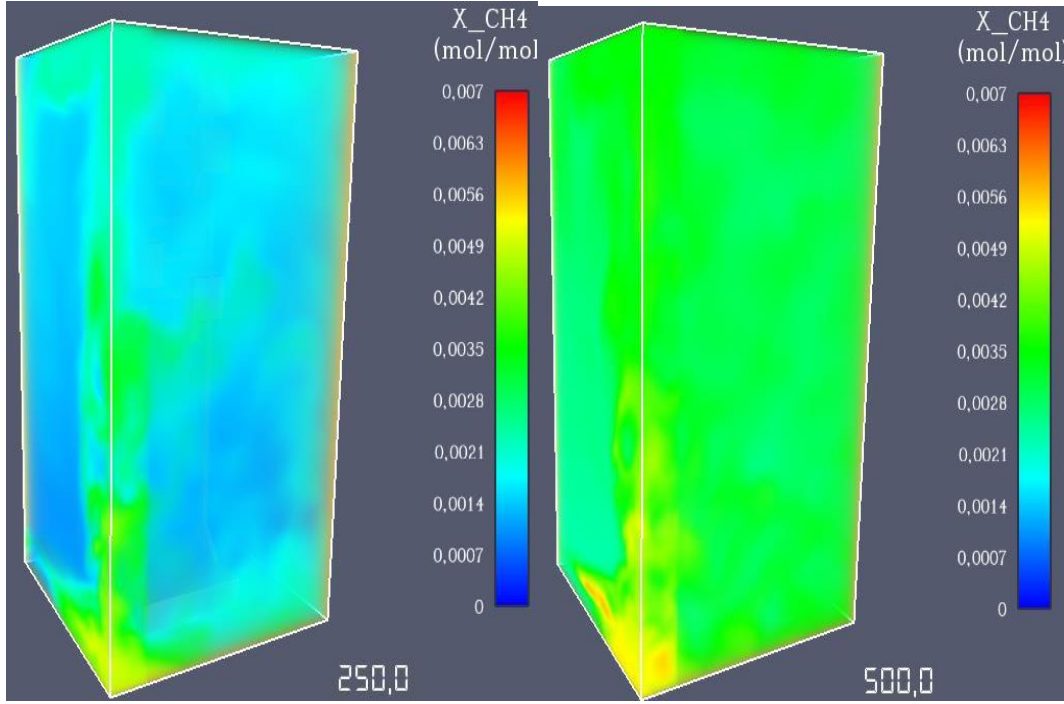




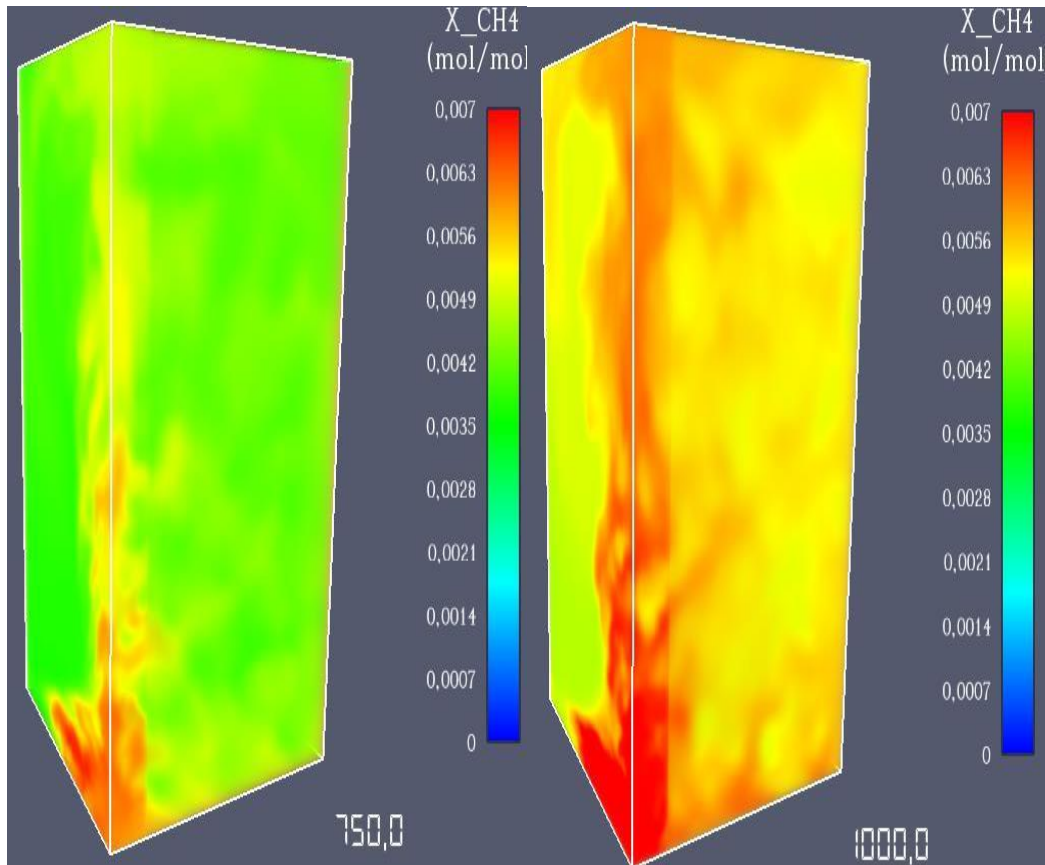
Şekil 4.7. Metan hacim oranının 25. ve 50. saniyelerde simülasyon gösterimi



Şekil 4.8. Metan hacim oranının 75. ve 100. saniyelerde simülasyon gösterimi



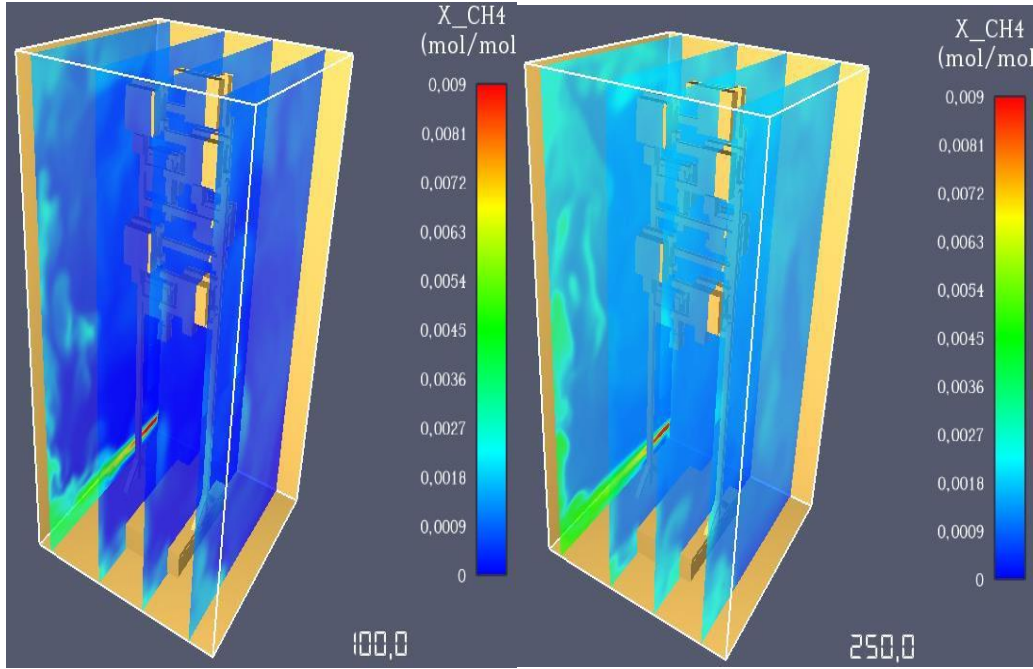
Şekil 4.9. Metan hacim oranının 250. ve 500. saniyelerde simülasyon gösterimi



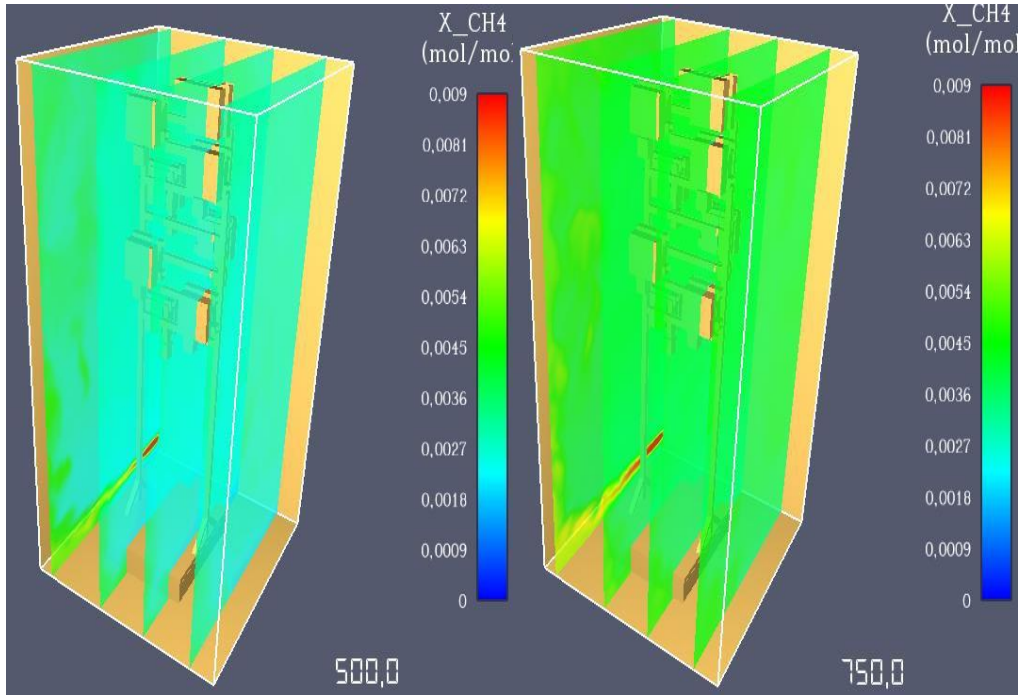
Şekil 4.10. Metan hacim oranının 750. ve 1000. saniyelerde simülasyon gösterimi

- X ekseninde yayılımın incelenmesi

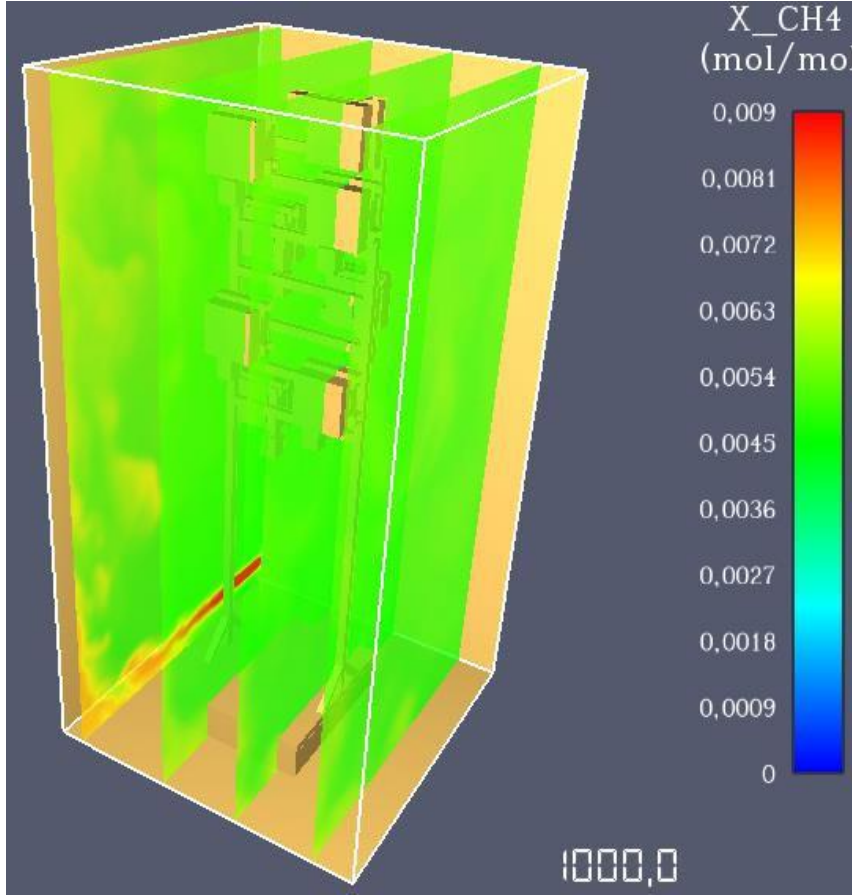
Şekil 4.11. ile Şekil 4.13. arasında gösterilmiş olan 100,250,500,750,1000 saniyelerdeki simülasyon parametrelerinde gözüktüğü üzere metan karışımının giriş noktasına yakın olan düzlemlerde uzak olan düzlemlere göre daha önce dağıldığını, artışın köşelerden ve alt bölgelerden başlayarak yukarıya ulaştığını söyleyebiliriz.



Şekil 4.11. Metan hacim oranının 100. ve 250. saniyelerde simülasyon gösterimi



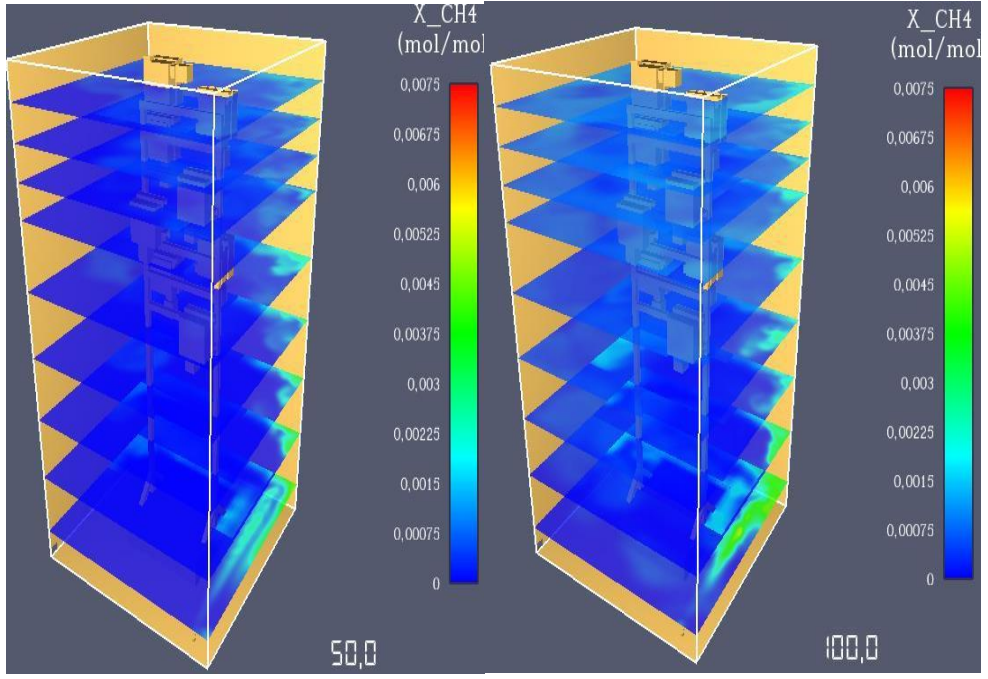
Şekil 4.12. Metan hacim oranının 500. ve 750. saniyelerde simülasyon gösterimi



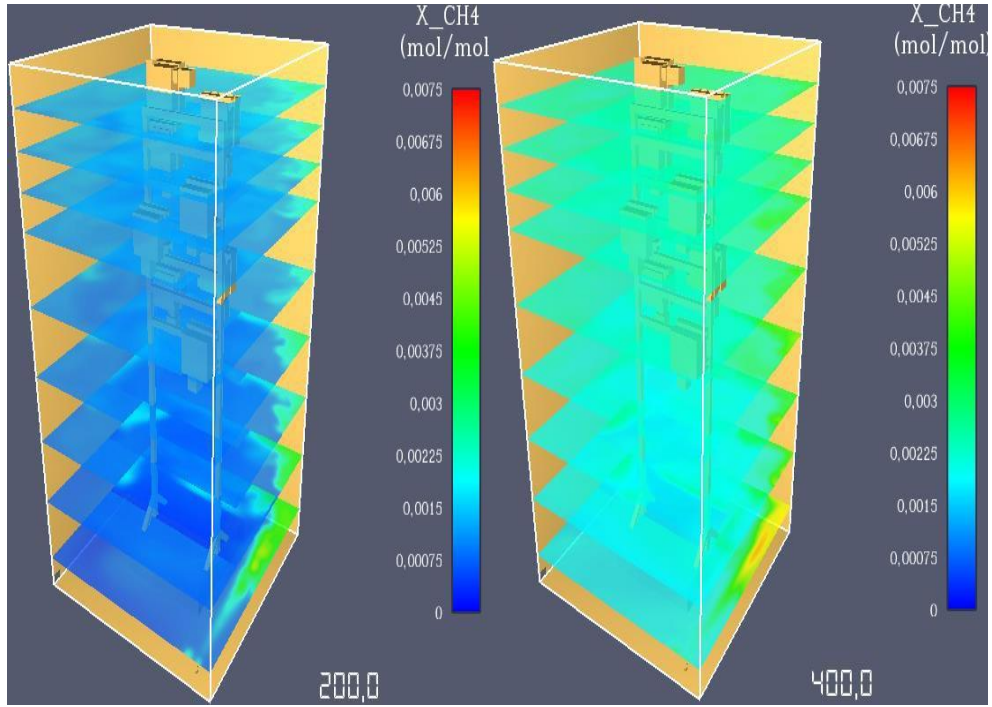
**Şekil 4.13.** Metan hacim oranının 1000. Saniyede simülasyon gösterimi

- Z ekseninde yüksekliğe göre dağılımın incelenmesi

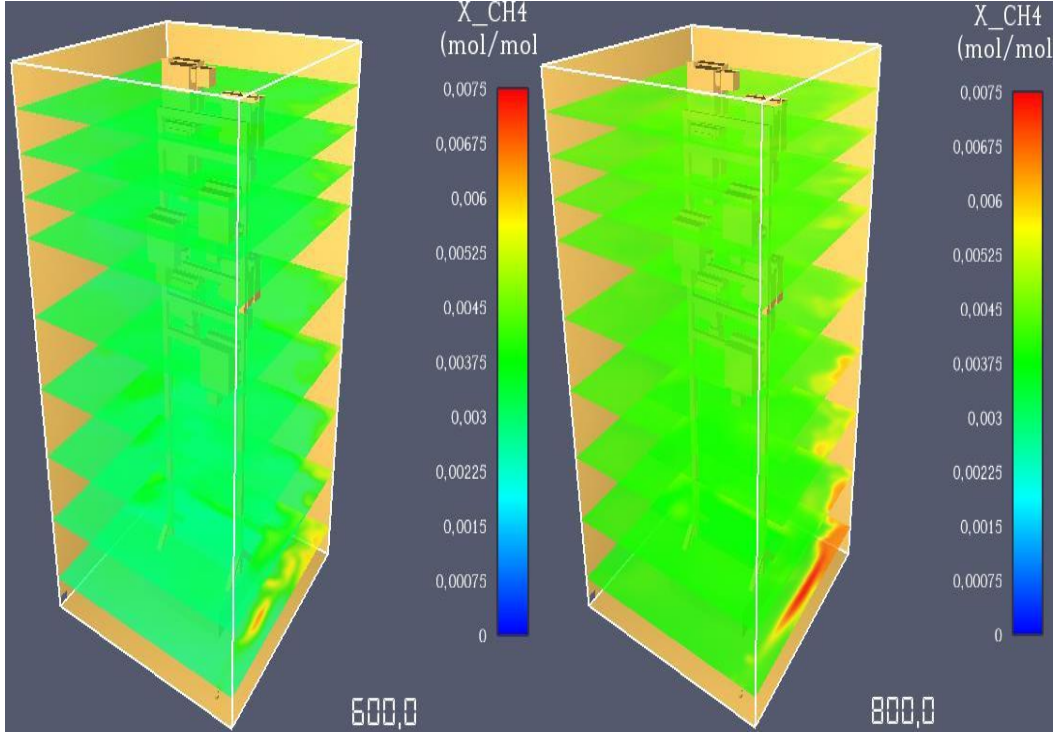
Elde edilen simülasyon verilerinin yüksekliğe göre etkileri Şekil 4.14. ile Şekil 4.17. arasında 50,100,200,400,600,800,1000 saniyeler arasında gösterildiği gibi incelenecek olursa; ilk saniyelerden itibaren simülasyon boyunca karışım aşağıdan yukarıya doğru ilerlediği için akış dağılımının önce alt kısımlarda etkili olduğunu ve sonradan yukarıda etkisini gösterdiğini ve aynı zamanda kabinin orta kısmına nazaran köşelerde daha etkili olduğunu söyleyebiliriz.



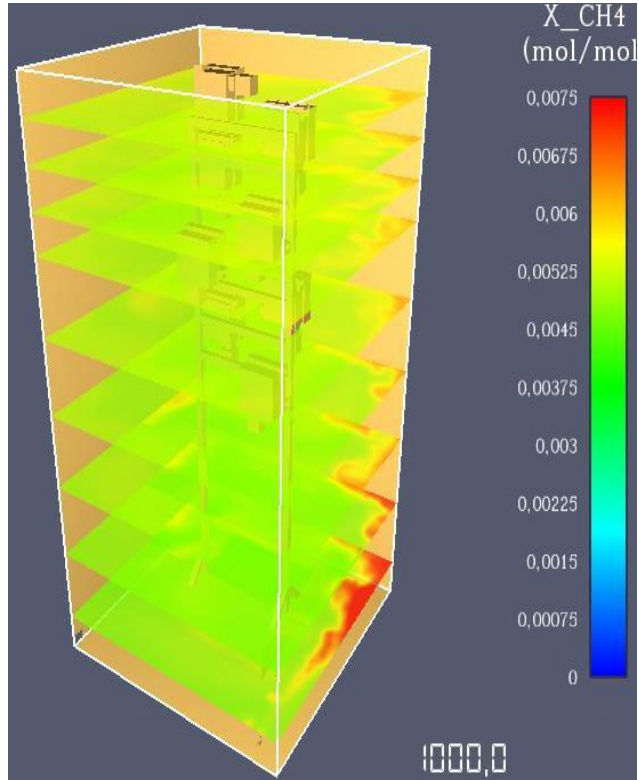
Şekil 4.14. Metan hacim oranının 50. ve 100. saniyelerde simülasyon gösterimi



Şekil 4.15. Metan hacim oranının 200. ve 400. saniyelerde simülasyon gösterimi

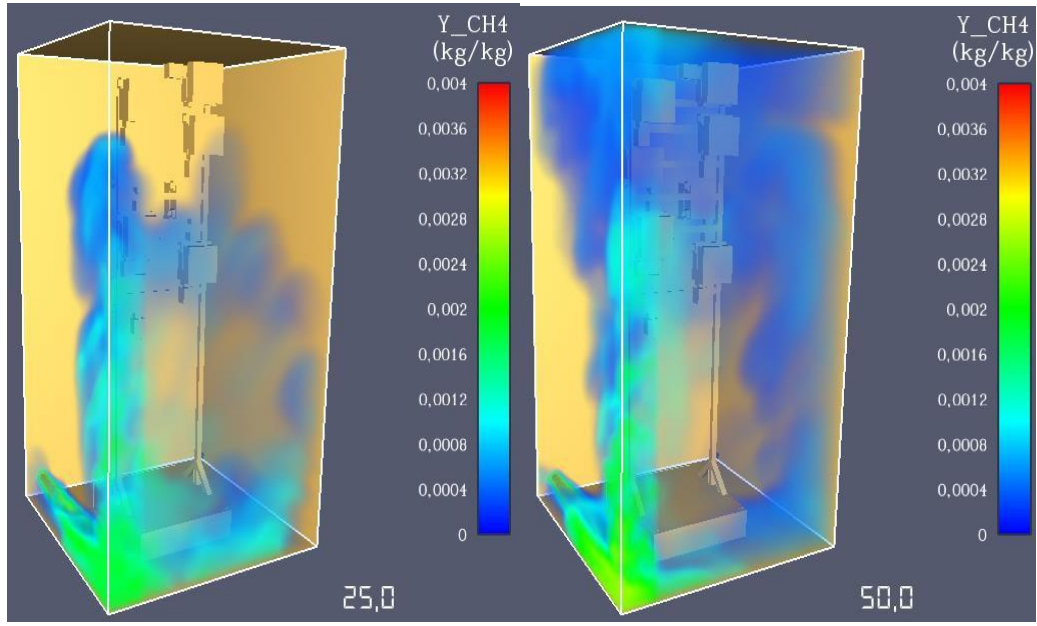


Şekil 4.16. Metan hacim oranının 600. ve 800. saniyelerde simülasyon gösterimi

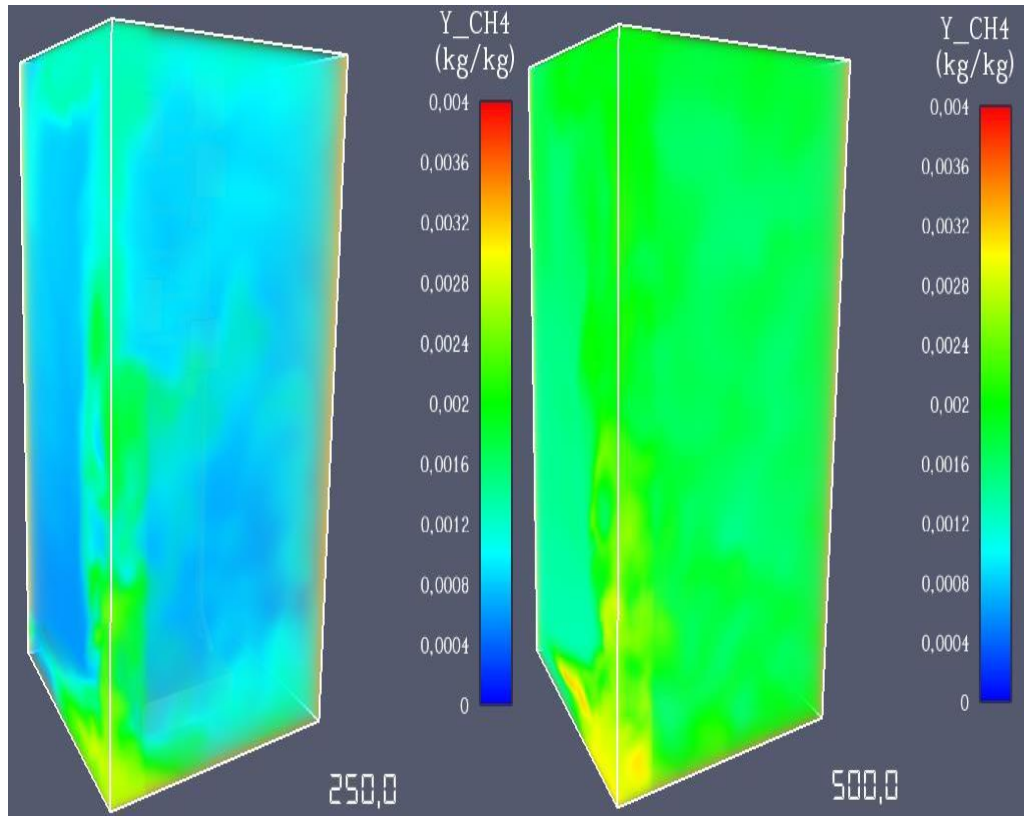


Şekil 4.17. Metan hacim oranının 1000. saniyede simülasyon gösterimi

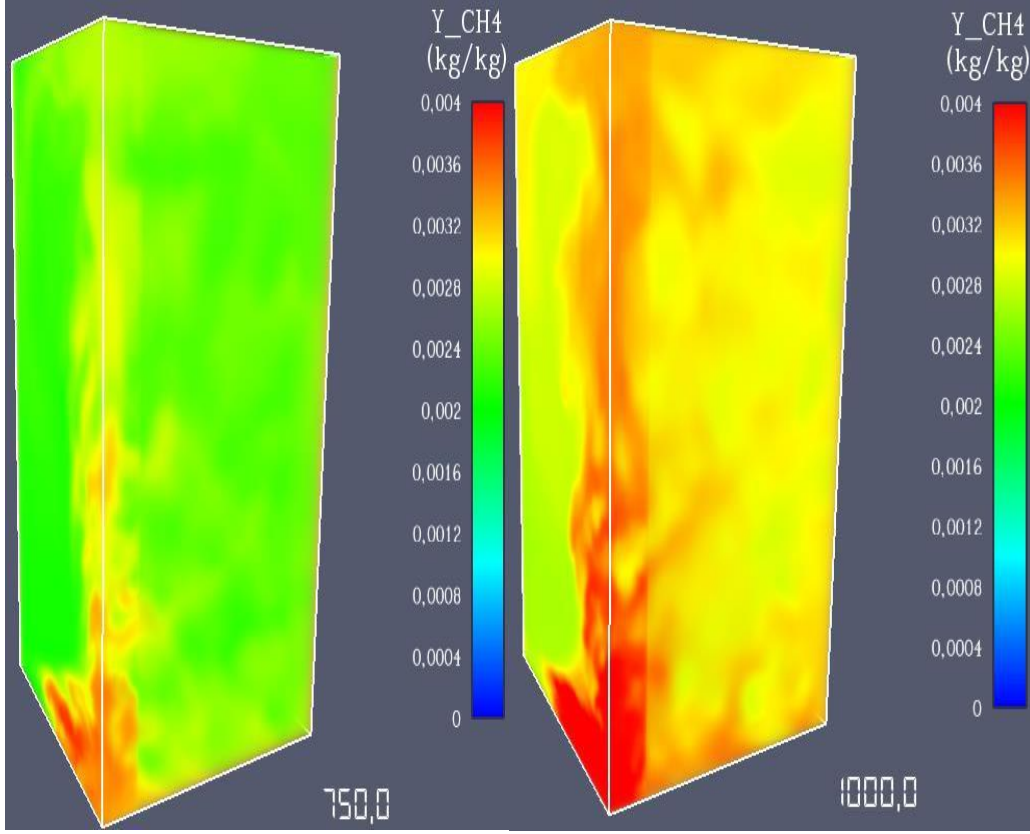
#### 4.1.4. Metan kütle oranları



Şekil 4.18. Metan kütle oranının 25. ve 50. saniyelerde simülasyon gösterimi



Şekil 4.19. Metan kütle oranının 250. ve 500. saniyelerde simülasyon gösterimi

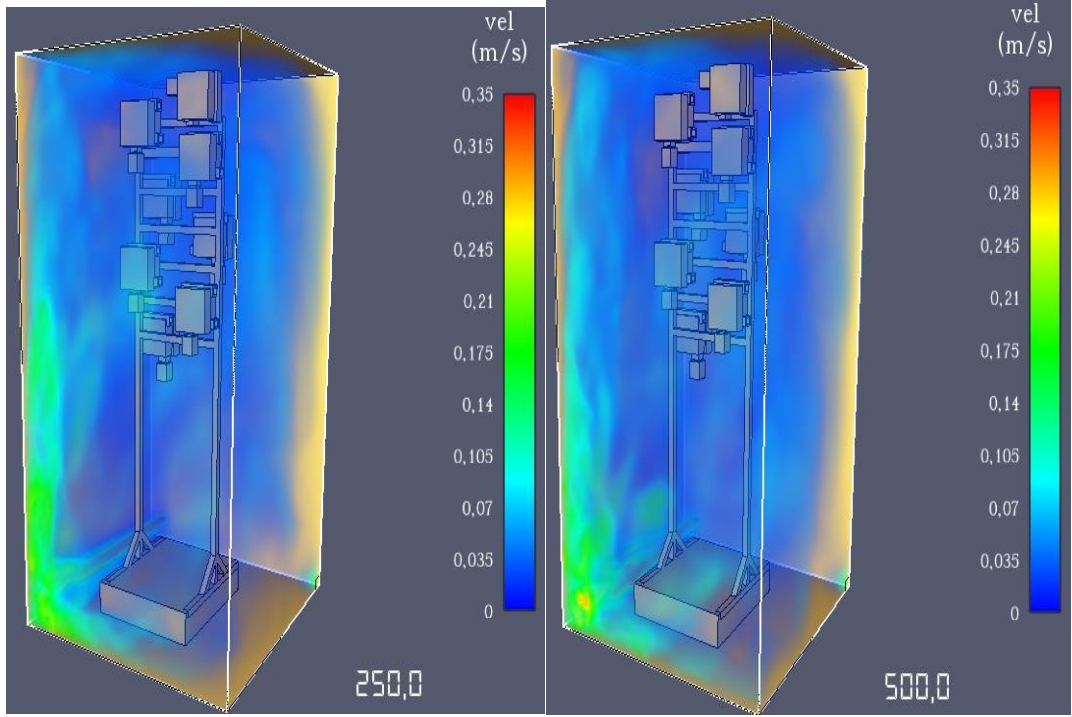


**Şekil 4.20.** Metan kütle oranının 750. ve 1000. saniyelerde simülasyon gösterimi

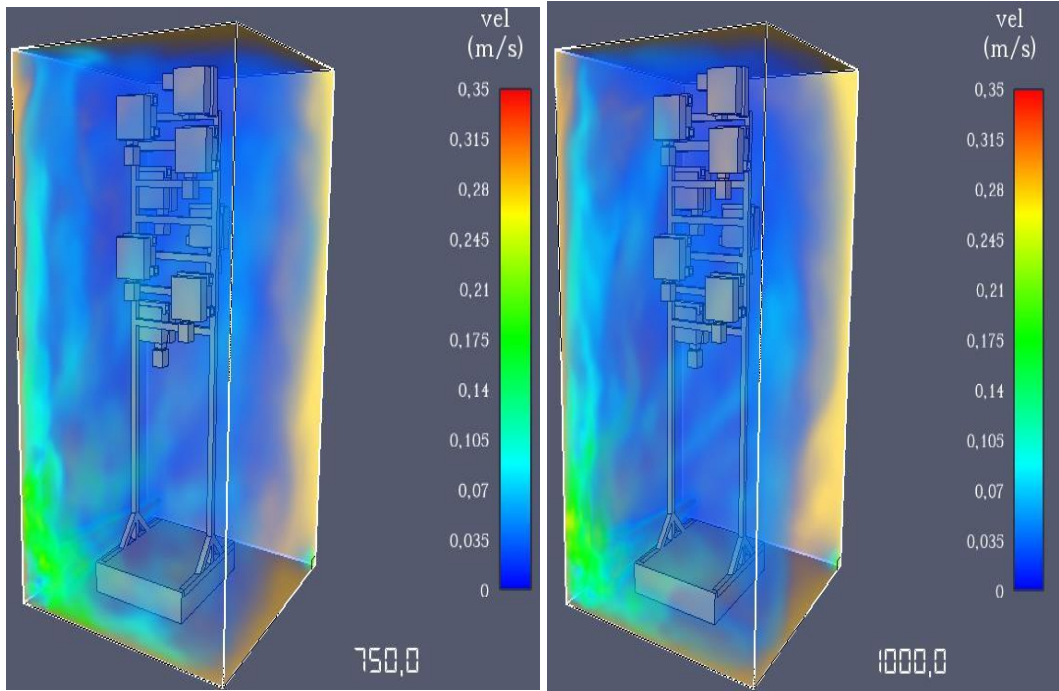
#### 4.1.3. Hız değişimi

Elde edilen simülasyon parametreleri sonucunda kabin içerisindeki hız değişimi Şekil 4.24 ile Şekil 4.25. arasında gösterildiği gibi 250,500,750,1000 arasında zamana bağlı olarak verilmiştir. Akış girişinin olduğu kısımda maksimum hızda olduğu ve gazın oda içerisinde yükseldikçe hızının azaldığı görülmektedir.





Şekil 4.21. Hızdaki değişimin 250. ve 500. saniyelerde simülasyon gösterimi



Şekil 4.22. Hızdaki değişimin 750. ve 1000. saniyelerde simülasyon gösterimi

#### 4.2. Dedektör Sonuçları

Modelde dedektörler 8 ayrı konumda olmak üzere farklı yüksekliklerde incelenmiştir. Her bir dedektörün elde ettiği verilerin LEL karşılığı hesaplanıp grafiklerde gösterilmiştir.

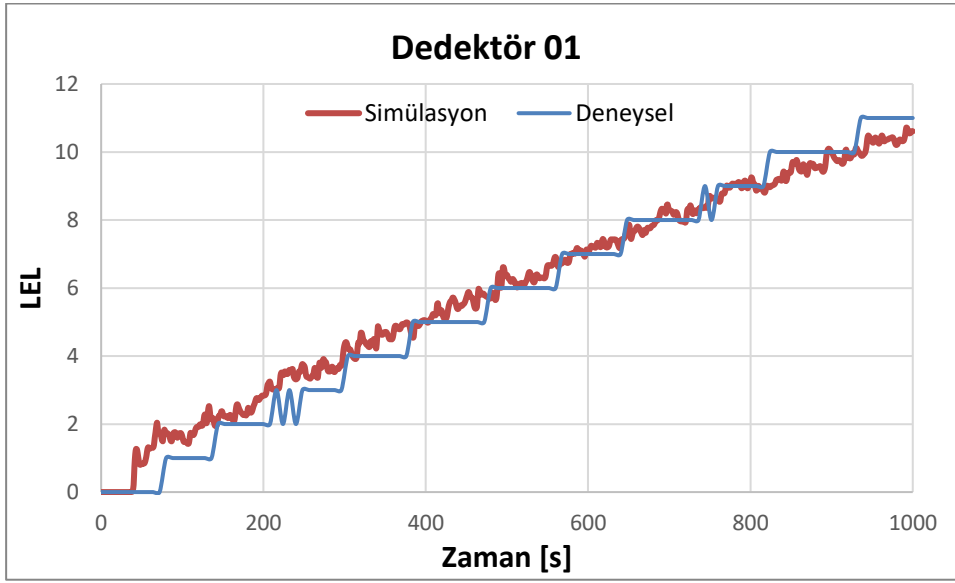
Dedektörlerin kabin içerisinde ki yükseklik konumları;

Dedektör 08 – 1,43 mt    Dedektör 05 – 1,02 mt    Dedektör 02 – 0,74 mt

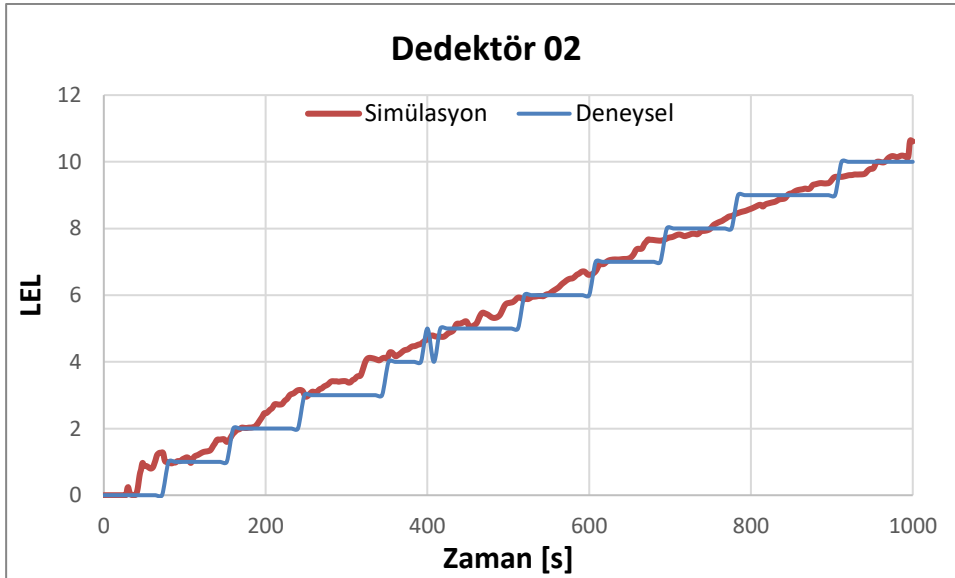
Dedektör 07 – 1,21 mt    Dedektör 04 – 0,92 mt    Dedektör 01 – 0,64 mt

Dedektör 06 – 1,13 mt    Dedektör 03 – 0,84 mt

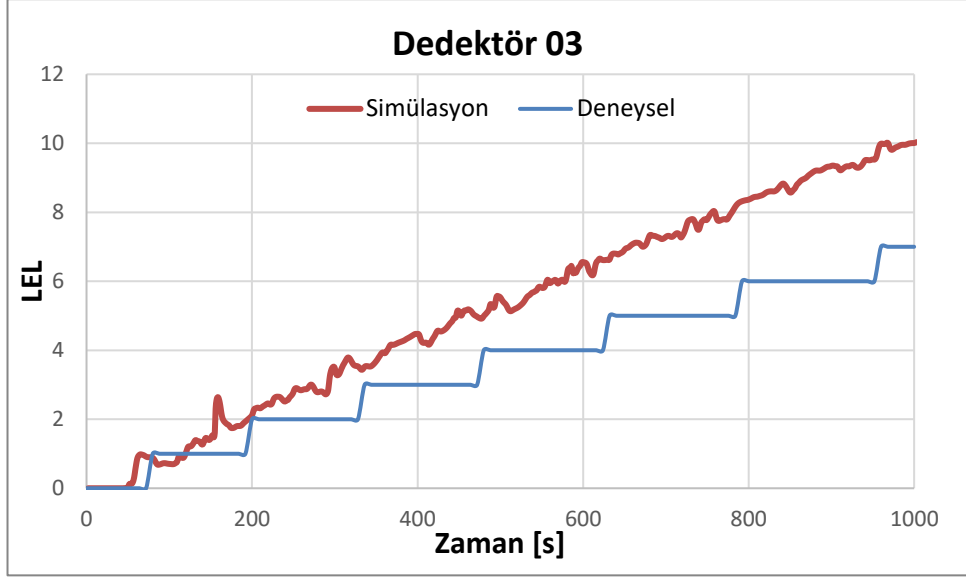
LEL karşılığına örnek vermek gerekirse dedektörün elde ettiği değer 0,0025 ise;  
(0,0025/0,05)x100= 5 LEL şeklindedir.



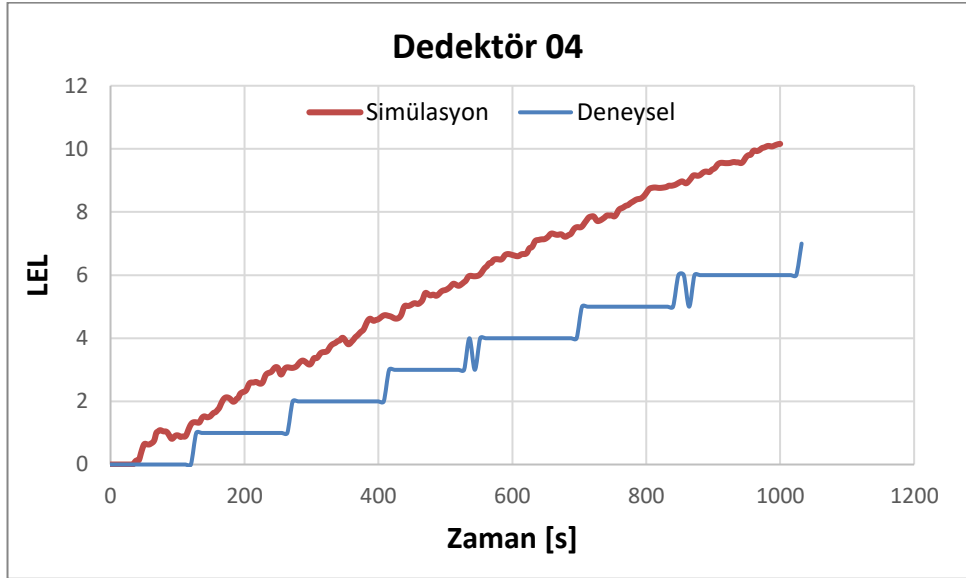
Şekil 4.23. Dedektör 1



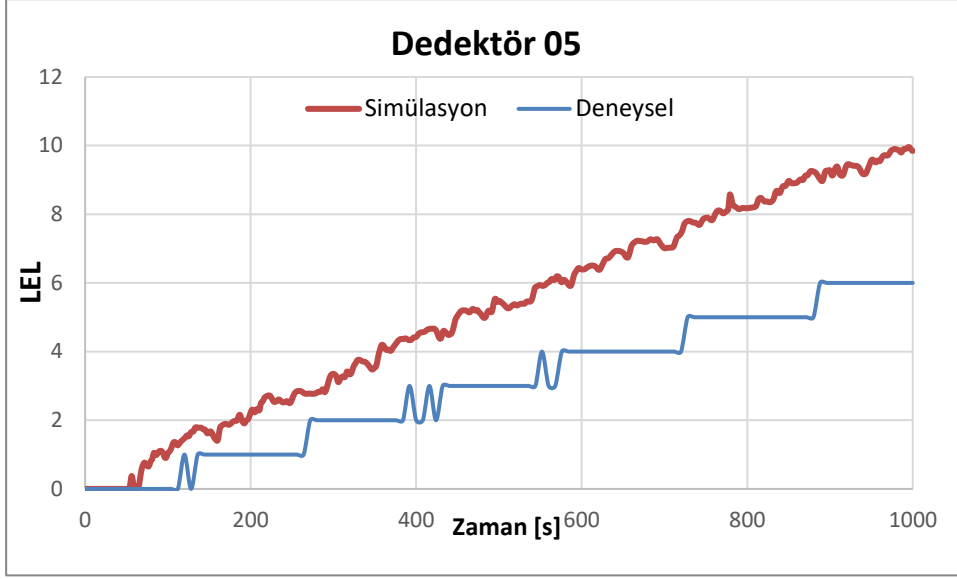
Şekil 4.24. Dedektör 2



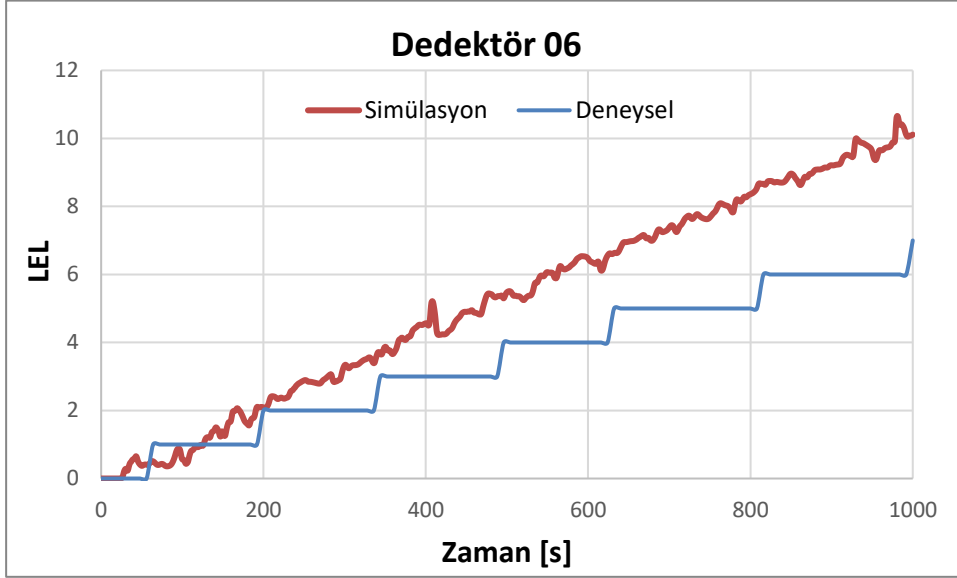
Şekil 4.25. Dedektör 3



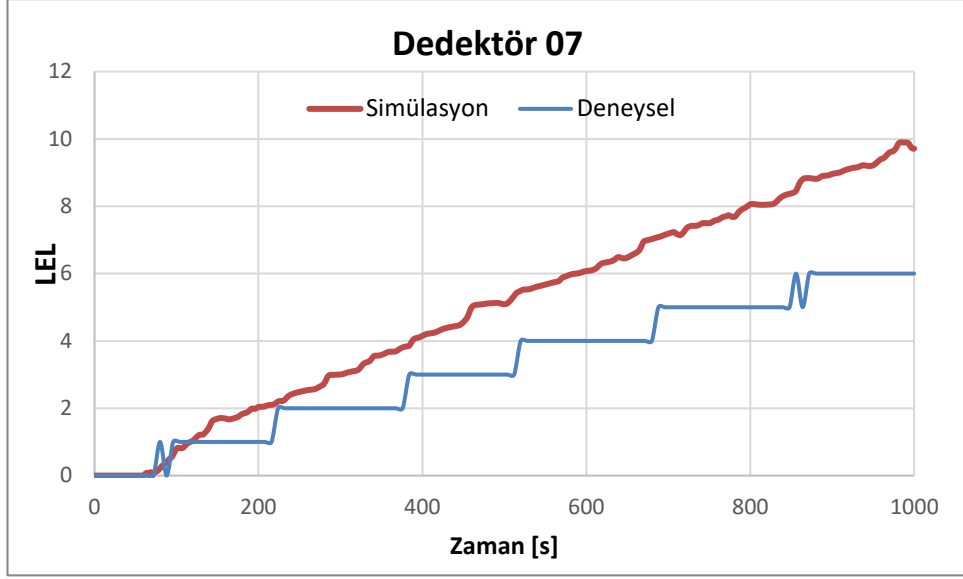
Şekil 4.26. Dedektör 4



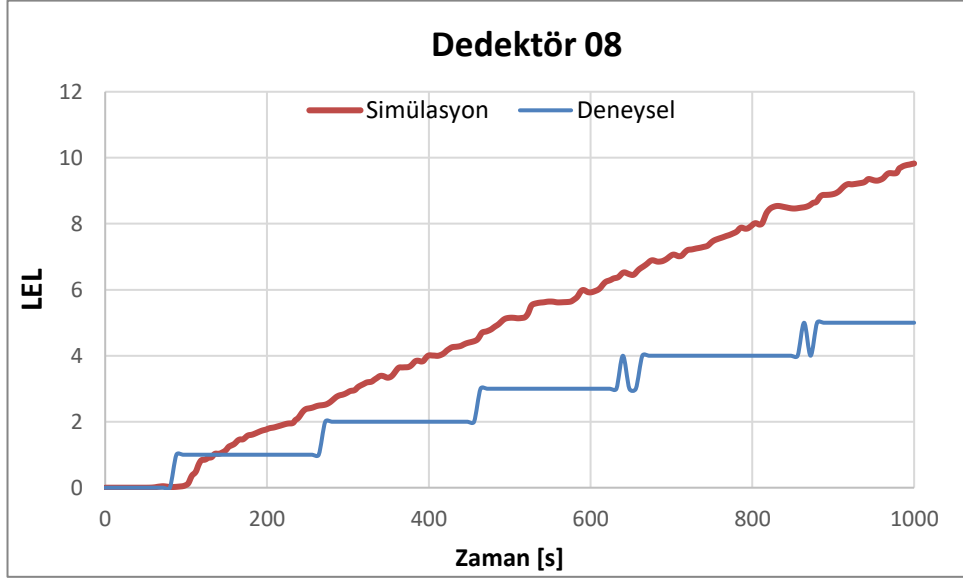
Şekil 4.27. Dedektör 5



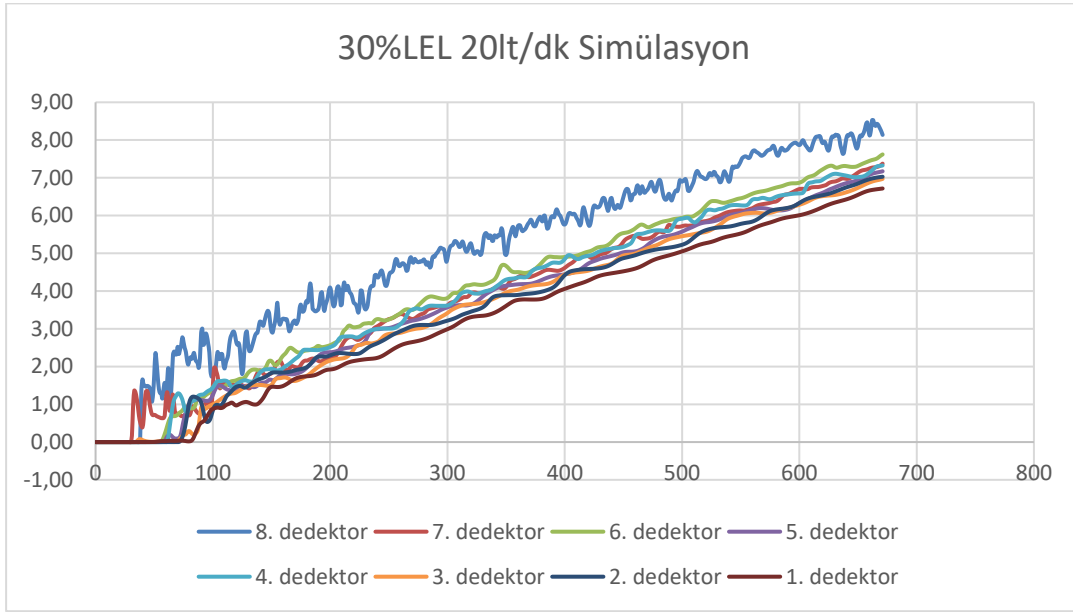
Şekil 4.28. Dedektör 6



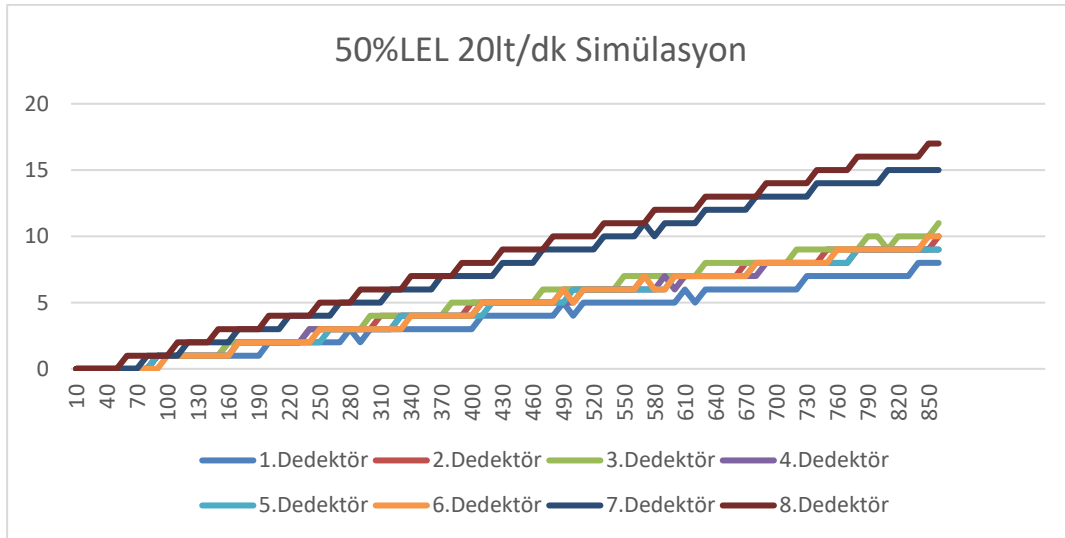
Şekil 4.29. Dedektör 7



Şekil 4.30. Dedektör 8



Şekil 4.31. 30%LEL, Tüm dedektörlerin aynı grafikte gösterimi

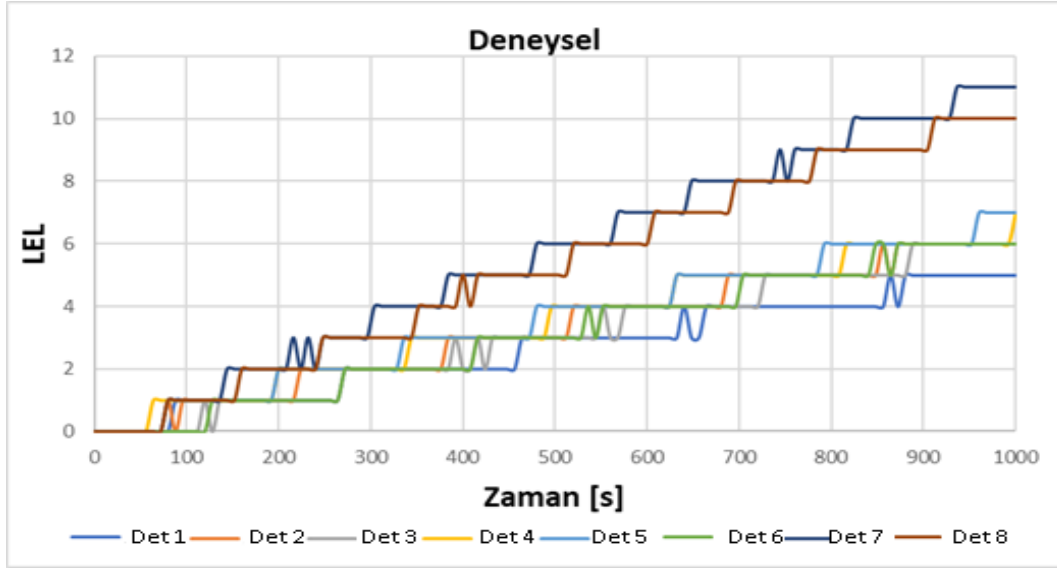


Şekil 4.32. 50%LEL Tüm dedektörlerin aynı grafikte gösterimi

Veriler ve grafikler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara varmak mümkün olacaktır.

1. Ortama giren gaz yukarı bölgelerde birikim gerçekleştirmektedir.
2. En iyi performans dedektör 08 ve dedektör 07 verilerinden görülmektedir.
3. Dedektör 01 (tvana en yakın dedektör) en geç algılama yapan dedektördür. Ölçüm yapılan yükseklikler arasında en az gaz birikiminin bu bölgede oluşmaktadır.
4. Gaz belirli bir noktada değil, kabin içerisindeki tüm hacime farklı oranda yayılarak tüm dedektörlerde metan ölçümü yapılmıştır.

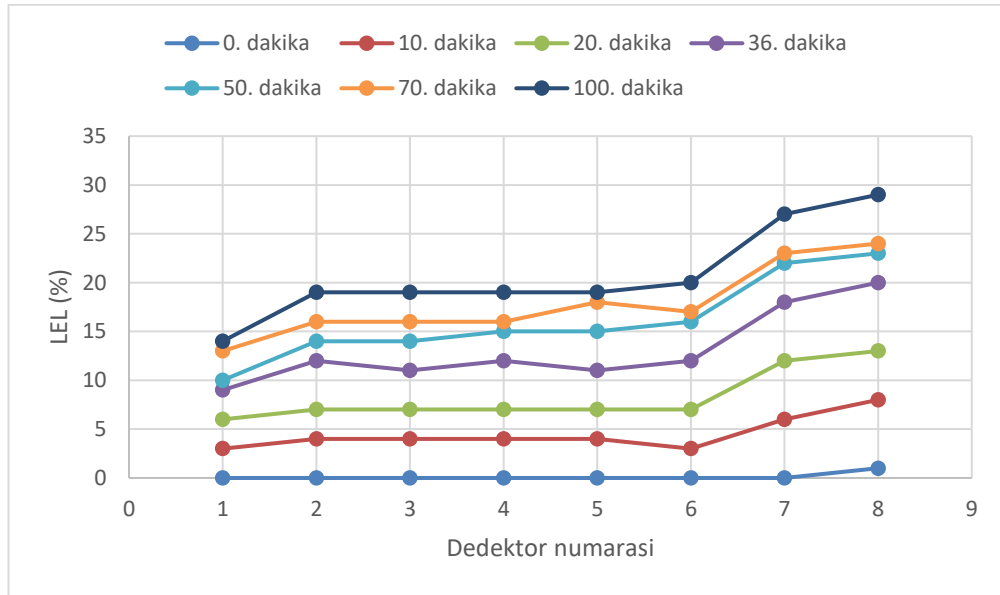
5. Havadan hafif olan Metan gazı tamamen tavan seviyesinde değil, ilk dedektörün yerleştirilmiş olduğu dedektör 01 (64 cm) yüksekliğinden itibaren bütün seviyelerde ölçülebilmektedir.



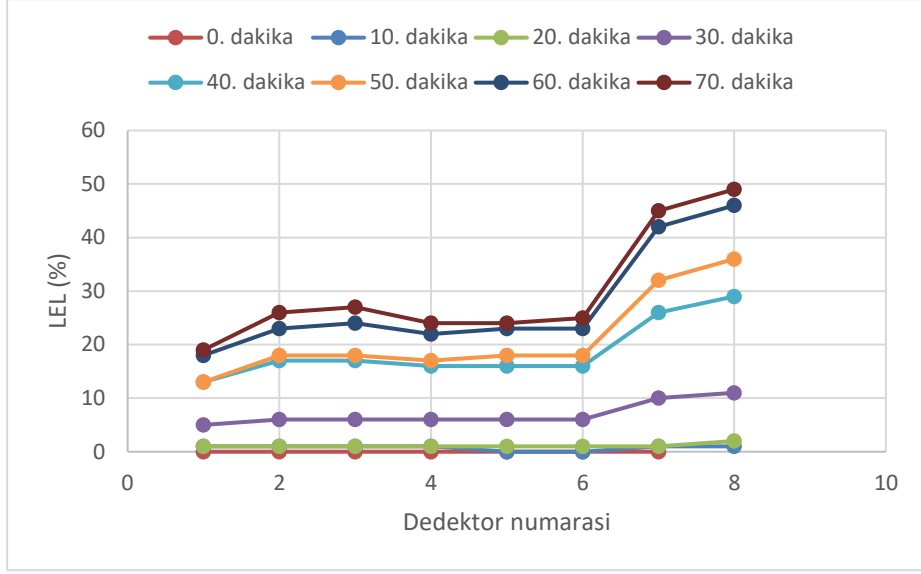
Şekil 4.33. Deneysel verilerdeki dedektörler

#### 4.3. Ortama 30 %LEL ve 50 %LEL Metan Ölçüm verileri

Ortama 50%LEL 20lt/dk gazı ve 30%LEL 20lt/dk farklı konsntrasyonlarda uzun süreli gaz uygulanarak gazın hangi dedektörler tarafından nasıl algılandığına dair ölçüm verileri aşağıdaki grafik şeklindeki gibi oluşmuştur.



Şekil 4.34. 30 %LEL 20lt/dk



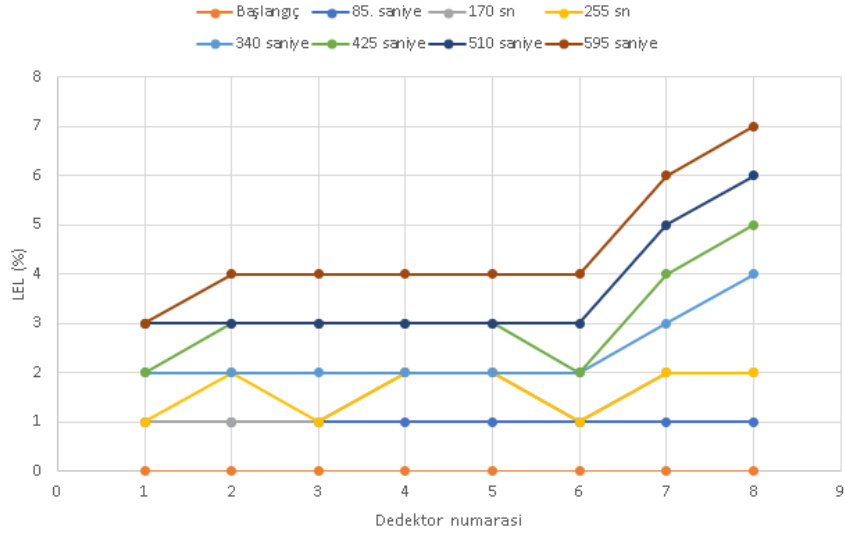
**Şekil 4.35.** 50 %LEL 20lt/dk

Grafikler incelendiğinde gaz konsatrasyonu 30 %LEL den artırılarak 50 %LEL seviyesinde verilmesi durumunda dedektör 01 (64cm) seviyesinde çok az bir değişimin olduğu görülmektedir. Gazın üst kısmını doldurmadıkça aşağı doğru birikme eğilimi göstermediği anlaşılmaktadır birikmenin öncelikle kabinin en üst bölgelerinde olduğu anlaşılmaktadır.

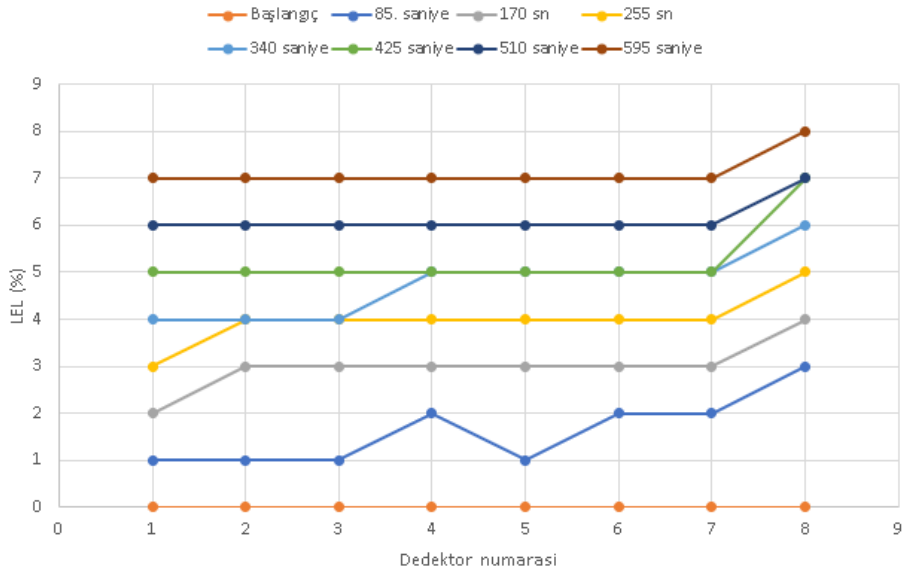
#### **4.4. Kabine Giren Metan Gazının Davranışı (Deneysel ve Simülasyonlu karşılaştırılması)**

Kabine 20tl/dk akış hızında gaz salınmış ve dedektörlerden algılama verileri toplanmıştır. Bu durum simülasyon ortamı içinde gerçekleştirilmiştir. 595sn kayıt alınarak farklı seviyelerdeki gaz davranışı 30%LEL gaz kullanılarak veriler aşağıda sunulmuştur. Deney ve simülasyon arasında farklılık görülmüştür.





**Şekil 4.36.** Deney sonucu – 30 %LEL 20lt/dk



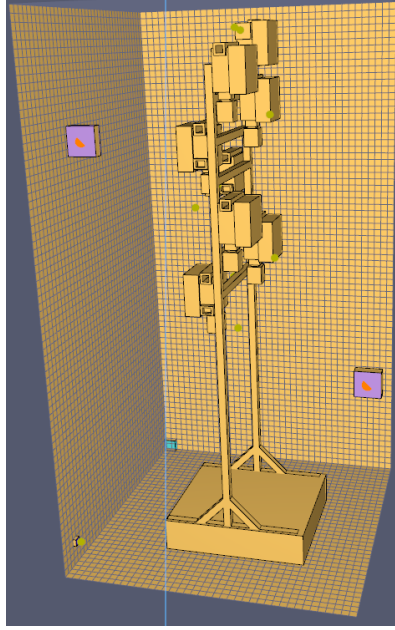
**Şekil 4.37.** Simülasyon – 30 %LEL 20lt/dk

Deney ve simülasyon arasında gaz seviye farklılık görülmüştür. Bunun sebebi gazın odada yeteri kadar birikmemesinden dolayıdır. Modelde gerçekte olduğu gibi kabin kapısı eklenemediği için ve basınç dengelenmesinin sağlanabilmesi için odanın altına açılan havalandırma deliğinin böyle bir çözüm farkına sebep olduğu söylenebilir. Ayrıca simülasyon sonuçlarına göre kabin içerisine açılan havalandırma deliğinin sızıntı şeklinde tanımlanması gerektiği söylenebilir.

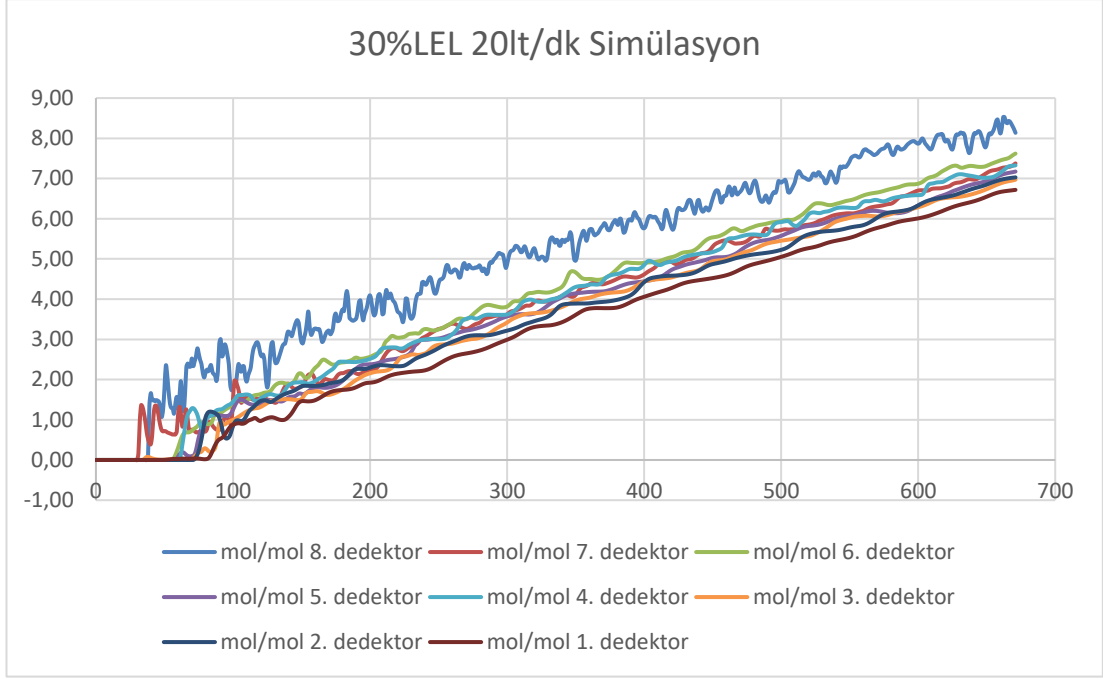
#### 4.5. Hava akış etkisi

Kapalı ortamlarda hava akışının gaz birikmesi üstündeki etkisinin nasıl olduğunu anlayabilmek için deney odasının alt bölgesine 1 adet ve üst bölgesine 1 adet olmak üzere 2 adet fan konularak hava akışı oluşturulmuştur. Fanların konumu şekilde gösterilmiştir.

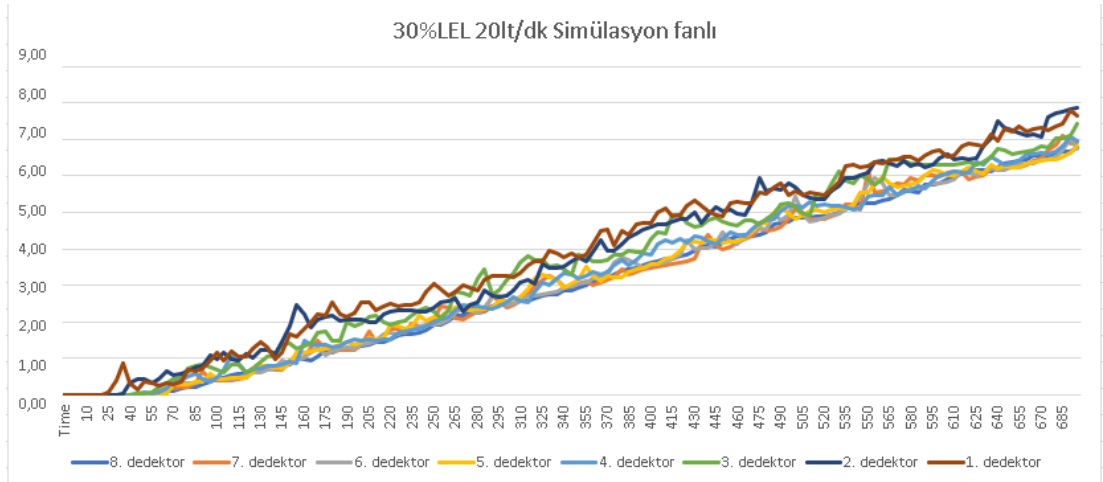
Fanlar çalışır durumda iken 30 LEL 20t/dk akış hızında gaz salınmış ve dedektörlerden algılama verileri toplanmıştır. 30%LEL gaz kullanılarak toplanan veriler aşağıda sunulmuştur.



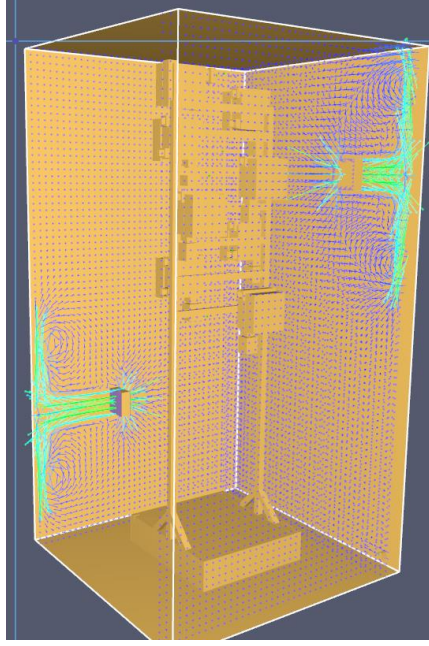
Şekil 4.38. Fan yerleşimi



**Şekil 4.39.** Simülasyon – 30 %LEL 20lt/dk fansız



**Şekil 4.40.** Simülasyon – 30 %LEL 20lt/dk fanlı



**Şekil 4.41.** Simülasyon – Fan akış yönü

Fanların çalışması durumunda ortama gazın eşit dağıldığı izlenmiştir.

## **5. STANDARTLAR, ENDÜSTRİYEL BOYUT VE KISITLAR**

### **5.1. Çalışmada Kullanılan Mühendislik Standartları**

Bu çalışmada standartlar SI birim sistemine göre kullanılmıştır, bunun yanı sıra EN, DIN ve TSE mühendislik standartları baz alınmıştır.

### **5.2. Çalışmanın Endüstriyel Boyutu**

Endüstriyel ortamlarda kullanılan veya süreç sonucu meydana gelen yanıcı veya zararlı gazlar yüksek tehlike ve önem arz eder. Bu patlayıcı gazların kontrolsüz bir şekilde yayılması kaza riskini arttırabilir. Kontrolsüz bir şekilde ortaya çıkan gazların akıcı ve kusursuz bir şekilde algılanması ve gereken kısımlarda ikaz yapması gerekmektedir. Gaz algılayıcı sensörler bir çok endüstri ortamında kullanılan ve endüstriyel kazaların önüne geçilmesinde önemli bir yere sahip olan sistemlerdir.

Kullanılan sektörler;

- Gaz ve Petrol
- Demir & Çelik
- Kimya
- Madencilik ve Makine
- Su Arıtma Tesisleri
- Endüstriyel Ortamlar

### **5.3. Gerçekçi Kısıtlar**

- Maliyet analizi
- Güvenlik
- Sağlık

#### **5.3.1. Maliyet analizi**

Bir gaz algılama dedektörü ve sistemi şu ana elemanlardan oluşur;

1. Sensörler

2. Kontrol Panoları/ Ekran,
3. Işıklı ve sesli ikaz sistemler
4. Gaz kesme veya havalandırma tesisatı.

Gaz algılama sistemleri piyasada kalite ve fonksiyonlarına bağlı olmak üzere 500 ₺ ile 10000 ₺ arası değişmektedir.

### **5.3.2. Güvenlik**

Endüstriyel tesislerde üretim süreçleri kaynaklı patlayıcı ortamlar oluşmaktadır. Bu ortamlarda hem tesisi hem de tesis çalışanlarını patlama tehlikesine karşı korumak için gaz algılayıcı sistemlerin konumlandırılması gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı tesise uygun gaz algılama sensörlerinin seçilmesi, sistemin planlanması ve kurulum aşamaları o ortamın güvenliği açısından çok önemlidir.

### **5.3.3. Sağlık**

Gaz dedektörleri konumlandırıldıkları alandaki gazların, alan için tespit edip limit değerinin aşılması durumunda gaz kaçak alarmı vermekte ve olası kaçak alanını otomatik havalandırıp gazı kesme kalibiyetine sahip olma imkanı vermektedirler. Bu sayede olası yangın ve patlamaları engelleyebilmektedirler. Buda insan sağlığı için büyük bir önem arz etmektedir.

## 6. SONUÇLAR

Havadan hafif patlayıcı gazların kapalı ortamlarda birikme davranışı bir kabin içerisine belirli oran ve hızda CH<sub>4</sub> metan gazı verilerek testler gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda kapalı bir kabin içerisine 8 farklı mesafede tavana yakın dedektör yerleştirilmiştir. Her bir dedektörden ayrı ayrı metan hava karışımının verilerini almak için Pyrosim programında mesh'ler tanımlanmıştır. Yapılan simülasyon ile kabin içerisindeki gazın ortamda dağılımı ve birikimi incelenmiştir. Simülasyon çıktıları deneysel çıktılarla da karşılaştırılmıştır. Elde edilen grafikler ve simülasyon çıktılarında gaz kabin altından ortama girip yukarıya doğru uçuculuk özelliğinden kaynaklı olarak hareket etmektedir. Kabin içerisine gaz akışı devam ettikçe ölçüm noktalarından anlaşılacağı gibi birikme tavanda gerçekleşmektedir. Tavanda birikme oluştuğunda alt kısımlara doğru ilerlemektedir. Bundan dolayı gaz giriş noktası ve kabin tavanı gaz algılamak için kullanılacak sisemlerde belirleyici olacağı anlaşılmaktadır.

- Gaz kaçağına en hızlı tepki veren dedektörün dedektör 08 ve dedektör 07 konumlu dedektör olduğu anlaşılmıştır. En iyi sonucun dedektörlerin tavadan aşağı ve duvar diplerine konulması gaz kaçağında daha etkin olacaktır.
- Havadan hafif metan gazı kapalı ortamdaki dağılımını kaotik bir şekilde ve öngörülemez olarak yapmıştır. Bu öngörülemezliğin pratik olarak görülmesi yangın güvenlik standartlarından farklı olarak gaz dedektörleri yerleşim standardının olamayışını açıklamıştır.
- Deneysel ve simülasyon verileri karşılaştırılmış olup arasında fark olduğu anlaşılmıştır. Bu farkın deneysel testlerde tespit edilemeyen muhtemel gaz çıkışlarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Gazın odada yeteri kadar birikmemesinden kaynaklanmaktadır. Modelde gerçekte olduğu gibi kabin kapısı eklenemediği için, ayrıca basınç dengelenmesinin sağlanabilmesi için odanın altına açılan havalandırma deliğinin böyle bir çözüm farkına sebep olduğu söylenebilir. Simülasyon sonuçlarına göre kabin içerisine açılan havalandırma deliğinin sızıntı şeklinde tanımlanması gerektiği söylenebilir

- Dedektör 01 (64cm) en geç algılama yapan dedektör olup konsantrasyon artması durumunda dahi çok yavaş gazın yürüdüğü ve kabin üst kısımlarında birikmenin olduğu anlaşılmıştır.



## KAYNAKLAR

- [1] PyroSim programı (2019, Mayıs 15). <https://support.thunderheadeng.com/release-notes/pyrosim/2019/2019-1-0515/> adresinden 10 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
- [2] Nihat Eğri, "Patlayıcı ortamlarda iş güvenliği", Ankara 2008
- [3] Eckhoff R., Dust Explosion in the Process Industries, Gulf Professional Publishing, Tokyo, 2003.
- [4] [www.emo.org.tr/ekler/084fc38318f25a6\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/084fc38318f25a6_ek.pdf) adresinden 2 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [5] TS EN 60079-0 Elektrikli cihazlar - Patlayıcı ortamlarda kullanılan - Bölüm 0: Teçhizat - Genel özellikler.
- [6] Kimya Endüstrilerinde Patlama ve Yangınların Önlenmesi ve İlgili Vaka Çalışması Ufuk MEVLEVİOĞLU , M.A. Neşet KADIRGAN ,Gökçen Alev ÇİFTÇİOĞLU Marmara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
- [7] Funda K. , Yangında Açığa Çıkan Gazların, İnsan Sağlığına Vereceği Zararın Engellenmesi, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 3(2): 83-94 (2020)
- [8] Assael M., Kakosimos K.. Fires, Explosion and Toxic Gas Dispersions, New York
- [9] Özkılıç Ö., Risk Değerlendirmesi, Atex Direktifleri, Patlayıcı Ortamlar, Büyük Endüstriyel Kzaların Önlenmesi ve Etkielrinin Azaltılması, Kantitatif Risk Değerlendirm, TİSK Ankara, 2014.
- [10] Tanju Ataylar, Zehirli ve Patlayıcı Gaz Kaçak Algılama Sistemlerinin Tasarım ve Uygulama Esasları, Makale
- [11] Metan, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Metan> adresinden 4 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [12] TS EN ISO 80079-36 Patlayıcı ortamlar - Bölüm 36: Patlayıcı ortamlar için elektrikli olmayan ekipman - Temel metot ve özellikler
- [13] Ankara Üniversitesi, <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=87105> adresinde 6 Ocak 2023 tarihinden alınmıştır
- [14] Karataş, Ö. 'Endüstriyel Tesislerde Patlayıcı, Yanıcı ve Zehirli Gazlar için Gaz Algılama Sistemleri'
- [15] Karataş, Ö. "Patlayıcı Gaz Ortamlarında Gaz Dedektörlerinin Seçim, Montaj, Kullanım ve Bakımı", "3. Atex Parlayıcı ve Patlayıcı Ortamlarda Güvenlik Sempozyumu", 2015, Bildiriler Kitabı Sayfa 151,152,153,154,155,156

- [16] TS EN 60079-29-1 Elektrikli cihazlar - Patlayıcı ortamlarda kullanılan - Bölüm 29-1: Gaz dedektörleri - Tutuşabilir gazlar için dedektörlerin performans özellikleri
- [17] Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 60079-10-1 Patlayıcı ortamlar- Bölüm 10-1: Alanların sınıflandırılması - Patlayıcı gaz ortamları, 2015.
- [18] TS EN 60079-10-1 Patlayıcı ortamlar – Bölüm 10-1: Alanların sınıflandırılması – Patlayıcı gaz ortamları
- [19] Endüstriyel Gaz Dedektörleri, <https://www.prosense.com.tr/pq-serisi> adresinden 6 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [20] Crowcon Talking Gas Teknik Dökümanları
- [21] The selection and use of flammable gas detectors , <http://www.hse.gov.uk/pubns/gasdetector.pdf> adresinden 10 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [22] Daisuke N., Maiko N., Toshio I., Tsutomu K., Kazuo S., Woosuck S., "Ppm level methane detection using micro-thermoelectric gas sensors with Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> combustion catalyst films"
- [23] Karataş, Ö. "Gaz ve Yangın Algılama Sistemlerinin Emniyet Donanımlı Sistemlerle (SIS) İlişkisi", "V. Yapı Elektronik Sistemleri Sempozyumu", 2019
- [24] Ultrasonic sensörler, <https://www.robotistan.com/ultrasonik-sensor-ultrasonik-sensor> adresinden 8 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [25] A.J. Benavides-Serrano, M.S. Mannan, C.D. Laird "A quantitative assessment on the placement practices of gas detectors in the process industries"
- [26] Çalışanların Patlayıcı Ortam Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı :28633, Tarihi: 30.04.2013, Ankara.
- [27] TS EN 60079-29-2 Elektrikli cihazlar – Patlayıcı ortamlarda kullanılan – Bölüm 29-2: Gaz dedektörleri – Tutuşabilir gazlar ve oksijen için dedektörlerin seçimi, tesis edilmesi, kullanılması ve bakımı
- [28] The selection and use of flammable gas detectors", Health and Safety Executive, 2004
- [29] Solidworks, <https://www.solidworks.com/tr/product/students> adresinden 12 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [30] National Institute of Standards and Technology (NIST), <https://pages.nist.gov/fds-smv/> adresinden 5 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [31] McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J., Fire Dynamics Simulator User's
- [32] F. G. Schmitt, «About Boussinesq turbulent viscosity hypothesis: historical remarks and direct evaluations of its validity,» Comptes Rendus Mecanique, pp. 617-627, 2007.
- [33] Ayhan H., Kocar C., Sökmen C.N. ,T-Birleşim Bölgelerinde Sıcaklık Salınımlarının Modellenmesi, X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Ankara, 2009

- [34] Tünel Yangınlarının Modellenmesi (Aralık 2016)  
<http://acikerisim.btu.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12885/191/456990.pdf?sequence=1&isAllowed=y> adresinden 13 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- [35] Forney G.P., Smokeview, A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume I: User's Guide, Sixth Edition, NIST Special Publication 1017-1, USA, 2016.
- [36] Thunderhead Engineering Consultants,  
<http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/pyrosim-features/> adresinden 6 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.



## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Fırat CELEP

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, KTU, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh.
- **Ön Lisans** : 2007, Atatürk Üniversitesi, Aydın Doğan M.Y.O, Endüstriyel Elektronik
- **Lise** : 2002 Kartal lisesi

### MESLEKİ DENEYİM İ

- 2011 yılından beri Prosense Teknoloji firmasında çalışıyor..