

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



CADDE KANYONLARINDA EMİSYON DAĞILIMLARININ NUMERİK MODELLENMESİ

BATUHAN OĞUZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TC
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CADDE KANYONLARINDA EMİSYON DAĞILIMLARININ NUMERİK
MODELLENMESİ

BATUHAN OĞUZ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SAMSUN

2018

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Batuhan OĞUZ tarafından hazırlanan ‘Cadde Kanyonlarında Emisyon Dağılımlarının Numerik Modellenmesi’ adlı tez çalışması 01/03/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Prof. Dr. Bahattin TOPALOĞLU
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Prof. Dr. Bahattin TOPALOĞLU
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Yrd. Doç. Dr. Lütfü NAMLI
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Yrd. Doç. Dr. Burak KURŞUN
Amasya Üniversitesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım. .../03/2018

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

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

01/03/2018

Batuhan OĞUZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CADDE KANYONLARINDA EMİSYON DAĞILIMLARININ NUMERİK MODELLENMESİ

Batuhan OĞUZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bahattin TOPALOĞLU

Cadde kanyonlarındaki egzoz gazı dağılımı, kentsel hava kalitesi çalışmalarında önemli araştırma konularından biridir. Araç emisyonları, kentsel alanlardaki kirleticilerin önemli bir grubunu teşkil etmektedir. Bu çalışmada, kanyon tipi caddelerde taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının cadde içinde dağılımı modellenmiştir. Hesaplamalar iki boyutlu olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemiyle FLUENT programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model sonuçlarının verifikasyonu için literatürden alınan rüzgar tüneli deney sonuçları kullanılmıştır. Bu amaçla deneylerdeki tüm sınır şartları aynı olacak şekilde hesaplamalar yapılmış ve model sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneylerden elde edilmiş olan kanyon duvarlarındaki kirletici gaz konsantrasyon dağılımı ile modelleme sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçların FLUENT programı ile doğrulanmasından sonra farklı tipte ve farklı ölçülerde balkon eklentileri kullanılarak cadde kanyonu içerisindeki emisyon dağılımı incelenmiştir. Balkonlu analizler farklı kanyon yükseklik/genişlik (H/W) oranları için yapılmıştır. Ayrıca rüzgar tarafındaki bina duvarına yakın (A) ve uzak (B) olmak üzere farklı kaynaklardan gerçekleşen emisyon dağılımı incelenmiştir. Buna göre, balkon genişliği arttıkça emisyonların kanyonun üst kısımlarına doğru hareket etmesi daha zor hale gelmiş ve yer seviyesinde oluşan emisyon konsantrasyonları artmıştır. Ayrıca, bina duvarlarındaki konsantrasyonların yükseklikle azaldığı belirlenmiştir. A kaynağından serbest bırakılan emisyonlar her durumda rüzgar tarafındaki bina duvarında yoğunlaşmıştır. 9 ve 12 cm kanyon genişliği için yapılan analizlerde B kaynağından serbest bırakılan emisyonlar rüzgar tarafındaki bina duvarında yoğunlaşırken; 15 cm kanyon genişliği için yapılan analizlerde rüzgara karşı tarafta bulunan bina duvarında yoğunlaşmışlardır. Balkon korkulukları, balkonun iç kısımlarında daha fazla girdap bölgeleri oluşmasına sebep olmuştur.

Mart 2018, 103 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Cadde kanyonları, emisyon dağılımı, çizgi kaynak, balkonların etkisi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), numerik modelleme

ABSTRACT

Master's Thesis

THE NUMERICAL MODELING OF EMISSION DISPERSIONS IN THE STREET CANYONS

Batuhan OĞUZ

Ondokuz Mayıs University

Graduate School of Science

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bahattin TOPALOĞLU

Exhaust gas distribution in street canyons is one of the important research subjects in urban air quality studies. Vehicle emissions are an important group of pollutants in urban areas. In this study, the dispersion of exhaust emissions from vehicles in canyon type streets is modeled. The calculations were performed in two dimensions with the Computational Fluid Dynamics (CFD) method using the Fluent software. For the verification of the model results, wind tunnel test results obtained from the literature were used. For this purpose, the calculations were realized with the same boundary conditions as in the wind tunnel tests and the model results were compared with the test results. The distribution of pollutant gas concentration on the canyon walls obtained from the model calculations shows sufficient agreement with the experimental results. After verifying the obtained results with Fluent software, the distribution of emissions in the street canyon was investigated by using balcony attachments in different types and sizes. Analyzes with balconies were made for different canyon height/width (H/W) ratios. In addition, the distribution of emissions from different sources, near (A) and far (B) to the building wall on the windward was examined. Accordingly, as the balcony width increases, it becomes more difficult for the emissions to move towards the upper parts of the canyon, and the amount of emissions accumulated at the ground level has increased. In addition, concentrations in building walls decreased with height. Emissions from source A are concentrated on the upwind building for each situations. In the analyzes for 9 and 12 cm canyon width, the emissions released from source B are concentrated on the upwind building; In the analyzes made for the 15 cm canyon width, the wind is concentrated on the leeward building. Balcony railings caused more recirculation zones in the interior of the balcony.

March 2018, 103 Pages

Keywords: Street canyons, emission dispersion, line source, effect of balconies, computational fluid dynamics (CFD), numerical modeling

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, bilimsel fikir ve tecrübelerinden faydalandığım değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Bahattin TOPALOĞLU'na teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleriyle eğitim hayatım boyunca beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli aileme çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen, birlikte görev yapmaktan keyif aldığım değerli mesai arkadaşlarıma ve bünyesinde çalışmaktan gurur duyduğum Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu'na teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin sağladığı karşılıksız olanaklar için saygılarımı sunarım.

Mart 2018, Samsun

Batuhan OĞUZ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Hava Kirliliği Sebepleri ve Kontrolü.....	4
2.2. Motorlu Taşıtlardan Salınan Kentsel Kirleticiler.....	6
2.2.1. Karbon monoksit (CO).....	6
2.2.2. Hidrokarbonlar (HC).....	6
2.2.3. Azot oksitler (NO _x).....	7
2.2.4. Kükürt oksitler (SO _x).....	7
2.2.5. Partikül maddeler (PM).....	7
2.2.6. Kurşun (Pb).....	7
2.3. Hava Kirliliğine Etki Eden Kaynak Tipleri.....	7
2.3.1. Noktasal kaynaklar.....	8
2.3.2. Çizgisel kaynaklar.....	8
2.3.3. Alansal kaynaklar.....	8
2.3.4. Doğal kaynaklar.....	9
2.4. Cadde Kanyonlarının Sınıflandırılması.....	9
2.5. Literatür Çalışması.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Temel Denklemler.....	18
3.2. Türbülans Modelleri.....	20
3.2.1. k-ε türbülans modelleri.....	21
3.2.2. k-ω türbülans modelleri.....	24
3.2.3. RSM (Reynold Stress Model) türbülans modeli.....	25
3.2.4. Spalart-Allmaras modeli.....	26
3.3. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi.....	27
3.3.1. Ön işlem (Preprocessing).....	28
3.3.2. Çözücü (Solver).....	29
3.3.3. Son işlem (Postprocessing).....	31
3.4. Analizlerde Kullanılan Bilgisayar Özellikleri.....	31

3.5. Referans Durumundaki Cadde Kanyonunun Modellenmesi	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
4.1. Deneysel Çalışma Verileri ile Numerik Modelleme Sonuçlarının İncelenmesi.....	35
4.1.1. İki binalı referans durumu için belirlenen sınır şartları ve hesaplamalar.....	37
4.1.2. Referans durumunda A ve B kaynaklarından gerçekleşen emisyon dağılımı.....	39
4.1.3. Çok binalı durumlarda A ve B kaynaklarından gerçekleşen emisyon dağılımı.....	43
4.2. Sistemik Ölçülerle Oluşturulmuş Balkon Eklentilerinin Cadde Kanyonlarındaki Emisyon Dağılımına Etkisi	47
4.2.1. Korkuluksuz balkon eklentisi içeren cadde kanyonu modelleri	50
4.2.2. Yarı korkuluklu balkon eklentisi içeren cadde kanyonu modelleri	65
4.2.3. Tam korkuluklu balkon eklentisi içeren cadde kanyonu modelleri	81
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ	103

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

b	Balkon genişliği
B	Bina genişliği
c	Konsantrasyon
D	Difüzyon terimi
E	Birim enerji
g	Yerçekimi ivmesi
G	Türbülans üretimi
h	Balkon yüksekliği
H	Bina yüksekliği
H _k	Kat yüksekliği
L	Kanyon uzunluğu
P	Ortalama basınç
s	Balkon zemin kalınlığı
S	Kullanıcı tanımlı türbülans kaynağı
T	Sıcaklık
u	Rüzgar hızı
Y	Türbülans kaybı
Q	Debi
W	Kanyon genişliği
α	Isı yayılım katsayısı
ε	Kayıp oranı
k	Türbülans kinetik enerjisi
ρ	Akışkan yoğunluğu
Γ	Difüzivite
φ	Basınç uzatma terimi
ν	Kinematik viskozite

KISALTMALAR

AR	Aspect Ratio
C ₂ H ₆	Etan
CFD	Computational Fluid Dynamics
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
DNS	Direct Numerical Simulation
HAD	Hesaplama akışkanlar dinamiği
HC	Hidrokarbon
LES	Large-Eddy Simulation
NO _x	Azot oksit
OSPM	Operational Street Pollution Model
Pb	Kurşun
PM	Partikül madde
ppm	Milyonda bir birim
RANS	Reynolds Averaged Navier-Stokes
RNG	Renormalization Group
RSM	Reynolds Stress Model
SO ₂	Kükürt dioksit
SO ₃	Kükürt trioksit
SO _x	Kükürt oksit
SST	Shear Stress Transport

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Cadde kanyonlarının H/W oranına göre sınıflandırılması (a) normal kanyon (b) bulvar kanyon (c) derin kanyon	10
Şekil 2.2. Cadde kanyonlarında yer alan balkon tipleri a) korkuluksuz balkon (b) yarı korkuluklu balkon (c) tam korkuluklu balkon.....	17
Şekil 3.1. RAN, LNS ve DNS analiz yöntemleri	20
Şekil 3.2. RANS yaklaşımında kullanılan türbülans modelleri	20
Şekil 3.3. Rüzgar tüneli	33
Şekil 3.4. Deney düzeneği	33
Şekil 3.5. Referans durumunda cadde kanyonu konfigürasyonu	34
Şekil 4.1. Model geometrisine ait grid yapısı	35
Şekil 4.2. Bina civarlarında oluşturulan grid yapısı.....	35
Şekil 4.3. Çözümün meshten bağımsızlığı	36
Şekil 4.4. Model hacmi boyunca oluşturulan hız profilleri.....	39
Şekil 4.5. Referans durumunda kanyon etrafında oluşan hız profilleri.....	40
Şekil 4.6. A kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda cadde kanyonunda oluşan emisyon dağılımı	41
Şekil 4.7. B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda cadde kanyonunda oluşan emisyon dağılımı	41
Şekil 4.8. Referans durumunda SF ₆ mol konsantrasyonunun bina yüksekliği boyunca değişimi	42
Şekil 4.9. Deneysel çalışma ve numerik modelleme sonuçlarının karşılaştırılması (a) deneysel çalışma sonuçları (b) numerik modelleme sonuçları	42
Şekil 4.10. Üçüncü ve dördüncü binaların eklenmesiyle oluşan kanyon modeli.....	43
Şekil 4.11. Üç ve dört binalı durumlar için grid yapıları	43
Şekil 4.12. Üç binalı durumda kanyonların civarında oluşan hız profilleri.....	44
Şekil 4.13. Dört binalı durumda kanyonların civarında oluşan hız profilleri	44
Şekil 4.14. A kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumlar (a) iki binalı durum (b) üç binalı durum (c) dört binalı durum	45
Şekil 4.15. İki, üç ve dört binalı durumlarda SF ₆ mol konsantrasyonunun yükseklikle değişimi	45

Şekil 4.16.	B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumlar (a) iki binalı durum (b) üç binalı durum (c) dört binalı durum.....	46
Şekil 4.17.	İki, üç ve dört binalı durumda SF ₆ mol konsantrasyonunun yükseklikle değişimi	46
Şekil 4.18.	Balkon eklentileri içeren cadde kanyonunun boyutlandırılması.....	47
Şekil 4.19.	Kalıntıların iterasyonla değişimi.....	50
Şekil 4.20.	W=9 cm, h=0 cm ve b=1.2 cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı	51
Şekil 4.21.	W=9 cm ve h=0 cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	51
Şekil 4.22.	W=9 cm ve h=0 cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	52
Şekil 4.23.	W=9 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	53
Şekil 4.24.	W=9 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	53
Şekil 4.25.	W=9 cm ve h=0 cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	54
Şekil 4.26.	W=9 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	55
Şekil 4.27.	W=9 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	55
Şekil 4.28.	W=12 cm, h=0 cm ve b=1.2 cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı	56
Şekil 4.29.	W=12 cm ve h=0 cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	57
Şekil 4.30.	W=12 cm ve h=0 cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	57
Şekil 4.31.	W=12 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	58
Şekil 4.32.	W=12 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	58
Şekil 4.33.	W=12 cm ve h=0 cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	59

Şekil 4.34.	$W=12$ cm, $h=0$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	60
Şekil 4.35.	$W=12$ cm, $h=0$ cm değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	60
Şekil 4.36.	$W=15$ cm, $h=0$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı	61
Şekil 4.37.	$W=15$ cm ve $h=0$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm	62
Şekil 4.38.	$W=15$ cm ve $h=0$ cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm	62
Şekil 4.39.	$W=15$ cm, $h=0$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	63
Şekil 4.40.	$W=15$ cm, $h=0$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	63
Şekil 4.41.	$W=15$ cm ve $h=0$ cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm	64
Şekil 4.42.	$W=15$ cm, $h=0$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	64
Şekil 4.43.	$W=15$ cm, $h=0$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	65
Şekil 4.44.	$W=9$ cm, $h=0.6$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı	66
Şekil 4.45.	$W=9$ cm ve $h=0.6$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm	67
Şekil 4.46.	$W=9$ cm ve $h=0.6$ cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm	67
Şekil 4.47.	$W=9$ cm, $h=0.6$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	68
Şekil 4.48.	$W=9$ cm, $h=0.6$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	69
Şekil 4.49.	$W=9$ cm ve $h=0.6$ cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm	70
Şekil 4.50.	$W=9$ cm, $h=0.6$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	70

Şekil 4.51.	W=9 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	71
Şekil 4.52.	W=12 cm, h=0.6 cm ve b=1.2 cm için kanyon civarında hız dağılımı	72
Şekil 4.53.	W=12 cm ve h=0.6 cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	72
Şekil 4.54.	W=12 cm ve h=0.6 cm durumunda cadde kanyon içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	73
Şekil 4.55.	W=12 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	73
Şekil 4.56.	W=12 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	74
Şekil 4.57.	W=12 cm ve h=0.6 cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	75
Şekil 4.58.	W=12 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	75
Şekil 4.59.	W=12 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	76
Şekil 4.60.	W=15 cm, h=0.6 cm ve b=1.2 cm için cadde kanyon civarında hız dağılımı	77
Şekil 4.61.	W=15 cm ve h=0.6 cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	77
Şekil 4.62.	W=15 cm ve h=0.6 cm durumunda cadde kanyon içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	78
Şekil 4.63.	W=15 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	78
Şekil 4.64.	W=15 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	79
Şekil 4.65.	W=15 cm ve h=0.6 cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	80
Şekil 4.66.	W=15 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	80
Şekil 4.67.	W=15 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	81

Şekil 4.68.	W=9 cm, h=1.2 cm ve b=1.2 cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı	82
Şekil 4.69.	W=9 cm ve h=1.2 cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	82
Şekil 4.70.	W=9 cm ve h=1.2 cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	83
Şekil 4.71.	W=9 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	84
Şekil 4.72.	W=9 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	84
Şekil 4.73.	W=9 cm ve h=1.2 cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	85
Şekil 4.74.	W=9 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	86
Şekil 4.75.	W=9 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	86
Şekil 4.76.	W=12 cm, h=1.2 cm ve b=1.2 cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı	87
Şekil 4.77.	W=12 cm ve h=1.2 cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	87
Şekil 4.78.	W=12 cm ve h=1.2 cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	88
Şekil 4.79.	W=12 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	89
Şekil 4.80.	W=12 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	89
Şekil 4.81.	W=12 cm ve h=1.2 cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm	90
Şekil 4.82.	W=12 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi	91
Şekil 4.83.	W=12 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği	91
Şekil 4.84.	W=15 cm, h=1.2 cm ve b=1.2 cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı	92

- Şekil 4.85. $W=15$ cm ve $h=1.2$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm 93
- Şekil 4.86. $W=15$ cm ve $h=1.2$ cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm 93
- Şekil 4.87. $W=15$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi 94
- Şekil 4.88. $W=15$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği 94
- Şekil 4.89. $W=15$ cm ve $h=1.2$ cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm 95
- Şekil 4.90. $W=15$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi 95
- Şekil 4.91. $W=15$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği 96

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ulaştırma sistemlerinin yolcu ve yük taşıma oranları.....	6
Çizelge 3.1. Standart k-ε türbülans modeline ait sabit değerler.....	22
Çizelge 3.2. RNG k-ε türbülans modeline ait sabit değerler.....	23
Çizelge 3.3. Realizable k-ε türbülans modeline ait sabit değerler	24
Çizelge 3.4. Analizlerde kullanılan bilgisayar özellikleri.....	32
Çizelge 4.1. Deneysel çalışmanın modellenmesinde kullanılan mesh değerleri	36
Çizelge 4.2. Deneysel sonuçların numerik modelleme ile doğrulanmasında kullanılan sınır şartları.....	37
Çizelge 4.3. Numerik modellemesi gerçekleştirilen kanyon ve balkon tipleri	48
Çizelge 4.4. Balkon eklentili modellere göre çözüm ağını oluşturan mesh sayıları.	49

1. GİRİŞ

Motorlu taşıt sayısında meydana gelen artışla birlikte trafik kaynaklı emisyon oluşumu sebebiyle ortaya çıkan hava kirliliği, özellikle yoğun nüfuslu şehirlerde önemli bir konu haline gelmiştir. 2017 yılı Aralık ayı itibariyle ülkemizde trafiğe kayıtlı motorlu taşıt sayısı yaklaşık 22 milyondur. Bunların %54.1'i otomobil, %16.4'ü kamyonet, %14'ü motosiklet, %8.3'ü traktör, %3.8'i kamyon, %2.2'si minibüs, %1'i otobüs ve %0.2'si özel amaçlı taşıtlardır (TÜİK, 2018). Bu araçlarda kullanılan yakıt tipine göre emisyon çeşidi ve miktarı değişmektedir. Trafik kaynaklı oluşan kirlenici konsantrasyonlarının artması, insan sağlığını tehdit eder hale gelmiştir. Bu veriler ışığında, caddelerdeki hava kalitesinin incelenerek, havanın doğal bileşiminin bozulmasına sebep olan emisyonların oluşturduğu hava kirliliği konusunda gerekli tedbirlerin alınması oldukça önemlidir.

Dünyada sanayi devriminin gerçekleşmesinden sonra petrol ve kömür gibi konvansiyonel yakıtların enerji üretiminde yoğun bir şekilde kullanılmasıyla birlikte hava kirliliğine sebebiyet veren CO₂, SO₂, CO gibi kirlenicilerin konsantrasyonlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Hava kirliliği kavramını atmosferdeki yabancı maddelerin canlı hayatına zarar verebilecek miktarda ve sürede bulunması olarak tanımlamak mümkündür. Hava kirliliğini oluşturan maddelerin çoğu, havanın bileşiminde var olan maddelerdir. Kirliliği yaratan asıl etken bu maddelerin olması gereken seviyenin üzerine çıkması ve konsantrasyon dengesinin bozulmasıdır. Başlıca kirleniciler PM, SO_x, NO_x, CO, HC şeklinde sıralanabilir. Bu kirlenicilerin uzun ve kısa vadeli olarak belirtilen limitler ve süreler dışında ortamda bulunması sağlık açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

Kentlerde gerçekleşen hava kirliliğine sebebiyet veren emisyonlar, insan sağlığını önemli ölçüde tehdit eden, ekolojik dengeyi bozucu etkilere sahip önemli kirlenicilerdir. Kullanılan motorlu araç sayısının her gün artış gösterdiği de düşünülürse özellikle yakıt teknolojilerinde gerçekleştirilecek olan yenilikler veya yanma sistemlerinin daha verimli hale getirilmesi, hava kirliliğinin kontrolü konusunda olumlu etkiler yaratabilecektir. Günümüzde elektrikli araçların

kullanılmaya başlanması ve gelecekte konvansiyonel yakıt tipleriyle çalışan araçların yerini alacak olmasıyla taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin en alt seviyelere düşmesi beklenmektedir. Kirliliğin istenen seviyelere indirilememesi durumunda fosil yakıtlı taşıtların yasaklanması dahi düşünülmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerin büyüme hızları arttıkça enerji talepleri de artmaktadır. Ülkelerin gelişme süreci hızla artan dünya nüfusu ile insanların zaruri ihtiyaçlarının da artması, gelişmekte olan ülke vatandaşlarının hayat standartlarının yükselmesi, ulaşım, konfor gibi sebeplerle motorlu taşıt sahibi birey sayısı da çoğalmaktadır. Şehirlerdeki nüfus artışına bağlı olarak gerçekleşen plansız ve çarpık kentleşme ile doğal havalandırma konusunda yaşanan zorlukların da ortaya çıkmasıyla trafik kaynaklı egzoz emisyonlarının havada oluşan kirliliğin %40'ına sebep olduğu belirlenmiştir.

Günlük yaşantımızda önemli bir yer tutan motorlu taşıtlar tarafından kullanılan yakıt miktarının etkisi kadar yakıt tipi de önemlidir. Dizel ve benzin gibi yakıtlardan kaynaklanan kirliliğin fazla olması nedeniyle yönetmelikler ile sınırlandırma getirilmiştir. Bunların yerine LPG, doğalgaz, biyodizel veya bitkisel kaynaklardan çeşitli işlemler uygulanarak elde edilen alternatif yakıtların kullanılması ya da konvansiyonel yakıtlara katkı maddesi olarak eklenmesi, emisyonların azaltılması hususunda olumlu etki yaratacaktır. Motor teknolojisindeki gelişmelerden örnek vermek gerekirse katalitik konvertör kullanımı da CO, yanmamış HC ve NO_x salınımını önemli ölçüde azaltmıştır.

Günümüzde yaşam alanlarının iç içe olması ve plansız yapılaşma sonucu cadde kanyonlarında hareket halindeki araç sayısı ve buna bağlı olarak trafik yoğunluğu oldukça artmıştır. Bu da fosil yakıt tüketiminin önemli ölçüde artması ve yanma sonucu oluşan maddelerin hava kirliliğine sebep olması anlamına gelmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde karayolu ile ulaşım, enerji kaynaklarının büyük bir kısmını tüketmektedir. Oluşan kirlilik ise herhangi bir ölçüm aletiyle varlığının tespitine gerek kalmadan gözle görülür ve soluyarak hissedilir hale gelmiştir. Cadde kanyonlarında trafik kaynaklı oluşan emisyonların en büyük zararı ise herhangi bir filtreleme veya seyreltme işlemi ile konsantrasyon seviyesinin azaltılarak uygun değerlere düşürülemeden insanlara ulaşmasıdır. Bu kirleticilerin miktarını belirleyebilmek ve gerekli önlemleri alabilmek için şehirlerimizde emisyon envanter planlarının oluşturulması gerekmektedir.

Cadde kanyonlarında doğal havalandırma imkanının düzensiz yapılaşma ve yüksek binaların varlığı sebebiyle olmaması, kirleticilerin kanyon içerisinde birikmesine sebep olmaktadır. Cadde kanyonu geometrisinde (genişlik, yükseklik, çatı, balkon vb. gibi eklentiler) meydana gelen değişiklikler hava kalitesini etkilemektedir. Bu sebeple hava kirliliği dağılımını tahmin edebilmek ve modelleyebilmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi ile sayısal analiz yapma işlemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada trafik kaynaklı egzoz emisyonlarının cadde kanyonlarındaki dağılımının numerik modellenmesi hedeflenmiştir. Model sonuçlarının doğrulanması için Kastner-Klein ve Plate (1999) tarafından gerçekleştirilen rüzgar tüneli deney sonuçları kullanılmıştır. Sonrasında literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak bina konfigürasyonlarında değişikliğe gidilmiş ve farklı tiplerde balkon eklentilerinin cadde kanyonundaki emisyon dağılımına etkisi numerik modelleme yöntemi ile araştırılmıştır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde konu hakkındaki kavramsal temellere değinilmiş ve literatürde yer alan benzer çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Sonrasında hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Kastner-Klein ve Plate (1999) tarafından gerçekleştirilen deney sonuçlarının doğrulanması, uygun türbülans modelinin seçimi, çözüm ağlarının oluşturulması, sınır şartlarının belirlenmesi ve mesh yapısı hakkında detaylı bilgiler verilerek emisyon dağılımı incelenmiştir. Son olarak cadde kanyonlarındaki bina modeline eklenen farklı boyutlardaki balkon tipleri, farklı kanyon genişliklerinde analiz edilmiş ve trafik kaynaklı kirletici olarak seçilen CO emisyonunun dağılımına balkon eklentilerinin etkisi analiz edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Hava Kirliliği Sebepleri ve Kontrolü

Hava kirliliği, özellikle büyük şehirlerde nüfus yoğunluğu ve sanayileşme sebebiyle en önemli çevresel sorunlardan biri haline gelmiştir. Sanayileşmenin getirdiği konforlu yaşam şartları, diğer yandan ekolojik dengenin bozulmasına da sebep olmaktadır.

Şehirlerdeki hava kirliliğinin ana nedenleri; endüstriyel faaliyetler, taşıtlar ve enerji üretiminin neden olduğu kirlenmedir. Ulaşım araçlarından kaynaklanan kirlenme özellikle büyük kentlerde önemli bir yer tutmaktadır. Hava kirliliği sebeplerini ısınma, sanayi, trafik ve doğal kaynaklı sebepler olarak sınıflandırmak mümkündür.

Isınma kaynaklı hava kirliliği, kış aylarında kül ve nem oranı yüksek, ısı değeri düşük, kalitesiz yakıtların tercih edilmesi, hatalı yakma yöntemleri ve kullanılan ekipmanın periyodik bakımlarının yapılmaması sebebiyle gerçekleşmektedir.

Isınma kaynaklı hava kirliliğini azaltmak için öncelikle uygun yalıtım yöntemleriyle tasarrufa gidilmeli, temiz yakıtlar tercih edilmeli ve yakma işlemi modern yöntemlerle gerçekleştirilmelidir.

Sanayi kaynaklı hava kirliliğinin sebepleri, fabrikaların ve diğer üretim tesislerinin baca filtresi veya arıtma sistemlerinin olmayışı, yetersiz ve güncel olmayan teknolojilerin kullanılması, sanayi tesislerinin yanlış yerlerde konumlandırılması, tesislerin enerji ihtiyacını karşılayabilmek için düşük kaliteli yakıtların tercih edilmesi olarak sıralanabilmektedir.

Sanayi kaynaklı hava kirliliğini azaltmak için fabrikalar gerekli yatırımları yaparak filtre ve arıtma tesislerini yenilemelidir. Temiz enerji kaynakları kullanılmalı, üretim prosesleri gözden geçirilmeli ve tesisler nüfusun yoğun olduğu bölgelerden ve kent merkezlerinden uzak yerlerde konumlandırılmalıdır.

Trafik kaynaklı hava kirliliği, günlük yaşantımızın vazgeçilmez bir parçası olan karayolu taşıtlarının egzozlarından salınan emisyonlar sebebiyle gerçekleşmektedir. Motorlu araçlarda kullanılan yakıtlar, bu kirliliğin oluşmasındaki en önemli etkidir.

Yaygın olarak kullanılan benzin, dizel ve LPG tipi yakıtlardan kaynaklanan emisyonların miktarları da farklıdır. Aracın tipi, modeli, trafik yoğunluğu, sinyalizasyon, yolun geometrisi, motor yapısı ve sürüş teknikleri bu miktarı etkileyen başlıca faktörlerdir. Ülkemizde başta İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyükşehirlerimiz olmak üzere oluşan hava kirliliğinin en önemli sebebi trafik kaynaklı emisyonlardır.

Dizel motorlu araçlardan atmosfere salınan NO_x, SO₂ ve partikül maddeler ile benzinli araçlardan salınan eksik yanma ürünü CO ve yanmadan kalan HC önemli kirleticilerdir. Motorlu taşıtların egzoz gazları, trafiğin yoğun olarak yaşandığı kent merkezlerindeki CO emisyonlarının %43.9'undan, NO_x emisyonlarının %41'inden, HC emisyonlarının %26.2'sinden ve havada asılı partikül madde emisyonlarının %16.4'ünden sorumludur (Elbir vd, 2010).

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak için öncelikle caddelerden belirli süre başına geçen taşıt sayımı yapılarak trafik yoğunluğu belirlenmeli ve bunun sonucu olarak alternatif cadde kanyonu konfigürasyonları geliştirilmelidir. Toplu taşıma araçlarının kullanımı teşvik edilmeli ve trafiğe çıkan motorlu taşıt sayısı azaltılmalıdır. Egzoz gazı ölçümleri periyodik olarak yapılmalı ve katalitik konvertör teknolojisini kullanan araçlar tercih edilmelidir. Benzin ve dizel yakıt kullanımı yerine LPG veya alternatif yakıtlar kullanabilen araçların kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Somut olarak gerçekleştirilmesi mümkün olan bu kontrol yöntemleri dışında teorik olarak da ortaya konulabilen kontrol yöntemleri mevcuttur.

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyon dağılımını belirleme çalışmaları dünyada yaygın olarak gerçekleştirilen bir konudur. Bu çalışmalar genel olarak şehirlerin yoğun trafik sorunu bulunan lokasyonlarında veya seçilen bir cadde kanyonu üzerinde incelenmektedir. Bu çalışmalarda araç sayıları özel cihazlarla ölçülerek tespit edilmekte ve literatürde belirlenen emisyon faktörleri ile emisyon dağılım modelleri gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla STREET-SRI, THOR, OSPM vb. hava kirliliği dağılım modelleme programları kullanılmaktadır.

Isınma, sanayi ve trafik kaynaklı hava kirliliğinin kontrol edilmesinde planlı yapılaşma da önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek yapıların inşa edilmesinin yaygınlaşması, hakim rüzgar yönünün dikkate alınmaması gibi durumlar, caddelerin doğal havalandırmasında yetersizliklere yol açmaktadır.

2.2. Motorlu Taşıtlardan Salınan Kentsel Kirleticiler

Motorlu taşıtlardan atmosfere yayılan başlıca kirleticiler karbon monoksit (CO), azot oksit (NO_x), hidrokarbonlar (HC), kurşun ve partikül maddelerdir (PM). Bu maddeler havanın doğal bileşimini değiştirerek hava kirliliğine sebep olmaktadır.

Çizelge 2.1. Ulaştırma sistemlerinin yolcu ve yük taşıma oranları (MEB, 2012)

Ulaşım Şekli	Taşınan Yolcu Oranı (%)	Taşınan Yük Oranı (%)
Karayolu	95.37	91.93
Demiryolu	3.04	4.40
Denizyolu	0.01	3.50
Havayolu	1.58	0.17

Karayolu ulaşımı yolcu ve yük taşıma kapasitesi açısından en yüksek oranda kullanılan taşımacılık türüdür. Diğer taşıma türleri de dikkate alındığında kara yolu taşımacılığı %95'in üzerinde yolcu, %90'ın üzerinde yük taşıma oranı ile caddelerde emisyon salınımına en çok etki eden kentsel kirlilik sebeplerindedir.

2.2.1. Karbon monoksit (CO)

Karbon monoksit; zehirli olmasının yanı sıra renksiz ve kokusuz olması sebebiyle fark edilmesi zor olan bir emisyondur. Fosil yakıtların kullanımı, motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz gazları gibi sebeplerle tam yanmanın gerçekleşmemesi sonucu salınımı gerçekleşir. Hava ile benzer yoğunluğa sahip olması ve kaynak bölgesinden uzağa yayılmaması karbon monoksiti çok tehlikeli bir kirletici haline getirir.

2.2.2. Hidrokarbonlar (HC)

Motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtın tam olarak yanmaması ya da yakıtın dolumu esnasında buharlaşması sebebiyle etilen ve benzen gibi hidrokarbonların yayılmasına sebep olur. Bu hidrokarbonlar havadaki başka kimyasal maddelerle tepkimeye girerek sağlık açısından daha tehlikeli hale gelmektedir.

2.2.3. Azot oksitler (NO_x)

Azot oksitler yanma esnasında yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan veya yakıt bünyesindeki azottan kaynaklanan NO ile ileri oksitlenme ürünü olan NO₂ gazlarının toplamından oluşur. NO; renksiz ve kokusuz bir gazdır. Fakat oksitlendiği zaman keskin kokulu ve zehirli bir gaz haline gelir. Azot oksitler genel olarak taşıtların egzozlarından, enerji santrallerinden ve ısıtma tesislerinden salınmaktadır.

2.2.4. Kükürt oksitler (SO_x)

Kükürt oksitler genel olarak sabit kaynaklarda fosil yakıtların yanması sonucu oluşurlar. Petrol ve kömür gibi fosil yakıtların yanması sonucunda kükürt çoğunlukla SO₂ şeklinde atmosfere yayılmaktadır. SO₂, yanıcı olmayan, renksiz bir gazdır. Temiz havada, homojen reaksiyonlar yoluyla SO₂ çok yavaş olarak SO₃'e oksitlenir. Eğer su varsa hızlı olarak sülfürik asite dönüşür.

2.2.5. Partikül maddeler (PM)

Partikül maddeler; yakma ve üretim tesislerinin faaliyetleri sonucu oluşan is, kül, çimento tozu, talaş, kum, metal parçacıkları gibi maddelerdir. Genel olarak boyutları çok küçük ve hafif olduklarından hava içerisinde askıda bulunurlar ve gözle görülmeleri çok zordur.

2.2.6. Kurşun (Pb)

Kurşun emisyonlarının hemen hemen tamamı motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Benzinin içerisinde vuruntuya karşı direnci artırmak için eklenen kurşunun büyük bir kısmı egzozdan dışarı atılmaktadır. Kurşunun insan sağlığı açısından çok tehlikeli bir kirletici olması sebebiyle araçlarda kurşunlu benzin kullanımı gelişmiş ülkelerde ve Türkiye'de yasaklanmıştır.

2.3. Hava Kirliliğine Etki Eden Kaynak Tipleri

Atmosfere tek bir kaynaktan çıkarak karışan kirletici akımına plume (hüzme) akımı denilmektedir. Kirletici, kaynağı terk ettikten sonra rüzgarın akış yönü doğrultusunda hareket ederek atmosfere karışmaktadır. Plume akımı ilk önce emisyon tipine ait

kütle ve yoğunluk parametrelerinden etkilenir. Bu akım, havadan ağır olup olmama durumuna göre 3 şekilde incelenebilir.

Plume akımının havadan hafif olduğu durumu yüzen plume; havadan ağır olduğu durumu yoğun plume olarak tanımlamak mümkündür. Akımın sıcaklık ve yoğunluk parametreleri hava ile aynı ise bu akıma da pasif plume denilmektedir (Demirarslan, 2008).

Emisyon dağılımına etki eden kaynaklar noktasal, çizgisel, alansal ve doğal kaynaklar olarak gruplandırılmıştır.

2.3.1. Noktasal kaynaklar

Emisyonların tek bir konumdan atmosfere salındığı kaynak tipidir. Fabrikalar, santraller ve sanayi tesisleri bu kaynak tipine örnek olarak gösterilir. Noktasal kaynaklar genel özellikleri itibariyle üretim gerçekleştirebilmek için harcadıkları yakıtlardan veya bacalardan dış ortama emisyon yaymaktadır.

2.3.3. Alansal kaynaklar

Alansal kaynaklar, hava kirliliğine sebep olan iki boyutlu kaynaklardır. Buna en iyi örnek konutların ısıtılması amaçlı çok sayıda küçük sistemin kullanıldığı yerleşim merkezleridir. Düşük kaliteli fosil yakıtların kullanılması hava kirliliği konsantrasyonunu özellikle kış aylarında olumsuz etkilemektedir.

2.3.2. Çizgisel kaynaklar

Hava kirliliğine sebep olan tek boyutlu kaynaklar olarak bilinirler. Cadde kanyonlarında ve yollarda oluşan ve motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar buna en iyi örneklerdir. Motorlu taşıtların egzozlarından yanma sonucu çıkan emisyonlar (CO, HC, NO_x, SO_x, PM vb.) çizgisel kaynak olarak modellenmektedir. Bunların dışında atmosfere yayılan kurşun emisyonunun tamamı motorlu araçların kullandığı yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Günümüzde kurşunsuz benzin kullanımı yaygınlaşmıştır.

CO üreten kirletici kaynakları arasında motorlu taşıtlar %66 ile ilk sırada yer almaktadır. Motorlu araçlar %12 ile en yüksek hidrokarbon emisyonuna ve %6 ile en yüksek NO_x emisyonuna sahiptir (Toros, 2000).

2.3.4. Doğal kaynaklar

Doğanın kendi bünyesinde bulundurduğu kirlilik sebebi olan kaynaklardır. Bunlar volkanik yanardağlar, orman yangınları gibi doğal afetler, büyük su kütleleri üzerinde meydana gelen buharlaşma, tozlar gibi kaynaklardır. 2010 yılında İzlanda'da yeniden aktif hale gelen Eyjafjallajökull yanardağının yarattığı kül bulutu rüzgarın da etkisiyle orta Avrupa'ya kadar ilerlemiş ve taşıdığı SO₂ emisyonu sebebiyle sağlık açısından büyük tehdit oluşturmuştur. Aynı şekilde çöl ikliminin yaygın olduğu bölgelerden kum tanelerinin rüzgar ile birlikte taşınarak insan sağlığını olumsuz etkilediği bilinen bir gerçektir. Orman yangınları sonucu oluşan duman ve zehirli gazlar da kentlerdeki hava kalitesi açısından dikkat edilmesi gereken kirleticilerdir.

2.4. Cadde Kanyonlarının Sınıflandırılması

Cadde kanyonları; sıcaklık, rüzgar, hava kalitesi, uydu ve navigasyon sinyalleri ve radyo sinyalleri gibi koşulları etkilemektedir.

İdeal bir cadde kanyonu, yolun her iki tarafında uzun ve sürekli devam eden bina yapıları içeren, nispeten dar bir cadde olarak tanımlanabilir. Cadde kanyonları hakkındaki geometrik ayrıntıları daha net ifade edebilmek için bazı geometrik parametreler kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlisi kanyon yüksekliğinin kanyon genişliğine oranıdır (H/W). Bu ifade, cadde kanyonlarını aşağıdaki şekilde sınıflandırmayı sağlamaktadır (Vardoulakis vd, 2003):

Normal kanyon; kanyon yüksekliğinin kanyon genişliğine oranının 1 veya 1'e yakın olduğu ($H/W \cong 1$) cadde kanyonu tipidir. Bulvar kanyon; kanyon yüksekliğinin kanyon genişliğine oranının 0.5'ten küçük olduğu ($H/W < 0.5$) cadde kanyonu tipidir. Genelde iki tarafı da ağaçlandırılmış çift gidiş gelişli yollar veya otoban gibi geniş caddeler buna örnek olarak gösterilebilir. Derin kanyon; kanyon yüksekliğinin kanyon genişliğine oranının 2 veya 2'ye yakın olduğu ($H/W \cong 2$) cadde kanyonu tipidir. Etrafı yüksek binalarla çevrili caddeler bu kanyon tipine en iyi örnektir.

Cadde kanyonlarını H/W oranına göre sınıflandırılmasına ait görseller Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Cadde kanyonlarının H/W oranına göre sınıflandırılması (a) normal kanyon (b) bulvar kanyon (c) derin kanyon

Kanyonları, cadde boyunca yer alan iki ana kavşak arasındaki mesafeye bağlı olarak sınıflandırmak gerekirse, kanyon uzunluğu L olmak üzere; Kısa kanyon $L/H=3$, orta kanyon $L/H=5$, uzun kanyon $L/H=7$ olarak belirtilir.

Kanyonları binaların simetri dağılımlarına göre sınıflandırmak da mümkündür. Buna göre;

Simetrik kanyon; kanyonu oluşturan binaların yaklaşık olarak aynı yükseklikte bulunduğu kanyon tipidir. Asimetrik kanyon; kanyonu oluşturan binaların belirgin şekilde farklı yükseklikte bulunduğu kanyon tipidir.

Cadde kanyonları, atmosferdeki hava kalitesinin belirlenebilmesi, emisyon envanterlerinin oluşturulabilmesi ve trafik kaynaklı emisyon dağılımının ölçülebilmesi açısından önemli yapılardır. Bu konu hakkında literatürde birçok çalışma yer almaktadır.

2.5. Literatür Çalışması

Cadde kanyonlarının modellenmesi ve emisyon dağılımının incelenmesi konusunda gerçekleştirilen çalışmalar ile çeşitli hedeflere ulaşmak istenmiştir.

Kastner-Klein ve Plate (1999), araçların egzozlarından yayılan kirletici gazın rüzgar tüneli içerisinde oluşturulan cadde kanyonu modellerindeki dağılımını incelemiştir. Taşıt emisyonlarının çizgisel kaynak olarak modellendiği bu çalışmada bina geometrisi, çatı tipi ve rüzgar yönü değiştirilerek emisyon davranışları tespit

edilmiştir. Rüzgara karşı yönde bulunan bina duvarında oluşan konsantrasyonların, rüzgar yönünde bulunan duvardan 10 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kastner-Klein ve Plate (1999), çalışmalarında elde ettikleri deneysel verilerin numerik modelleme yöntemiyle doğrulanmasında kullanılabileceğini belirtmiştir.

Huang vd (1999), bir cadde kanyonunda NO_x , PM, HC ve CO konsantrasyon dağılımlarını, setan geliştiricili dizel yakıtlar kullanıldığı durumda oluşan etkiyi k-ε türbülans modeli kullanarak sayısal analiz yöntemiyle incelemiştir. Buna göre setan geliştiricilerin hava kalitesini arttırdığı gözlenmiştir.

Kastner-Klein vd (2001), çalışmalarında bir cadde kanyonunu modeli rüzgar tüneli içerisinde deneysel olarak incelenmiştir. Akış ve türbülans yapısı araştırılmış ve cadde üzerinde alınan ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Ölçümler ile akış karakteristikleri arasında benzerlik olduğu görülmüştür. Binalara ait çatı seviyesinde görülen akışta bir ivmelenme gerçekleştiği gözlenmiştir. Deneysel veriler, tek yönlü ve iki yönlü trafik model örneklerine karşılık gelen akış ve türbülans modellerinde önemli farklılıklar göstermektedir.

Chan vd (2002), çalışmalarında iki boyutlu cadde kanyonunu modelinde standard, RNG ve realizable k-ε türbülans modellerini kullanarak akış ve emisyon dağılımını FLUENT programı ile modellemeyi amaçlamışlardır. Oluşturulan sayısal modelin doğruluğu rüzgar tüneline elde edilen sonuçlarla kıyaslanarak değerlendirilmiştir. $W/H=1$ oranının geçerli olduğu durumlarda hesaplanan ve ölçülen boyutsuz kirletici konsantrasyon değerlerinin rüzgar değişimine neredeyse bağlı olmadığı gözlenmiştir. Bununla birlikte cadde kanyonunu konfigürasyonu kirletici dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Binaların daha geniş bir caddede ve daha düşük yüksekliğe sahip olduğu durumlarda kanyon içerisindeki kirletici dağılımı seyrekleşir.

Chang ve Meroney (2003), diğer bir çalışmada yüksek miktarda kirletici konsantrasyonu birikimi rüzgara karşı yönde bulunan bina duvarlarında gözükmesine rağmen, kanyon genişliğinin bina yüksekliğine oranının düşük olduğu ($W/H=0.5$) olduğu dar kanyon modellerinde kirleticiler rüzgar yönündeki bina duvarında birikebilmektedirler. Cadde genişliğinin bina yüksekliğine oranının yüksek olduğu ($B/H=5$) durumlarda ise kirleticilerin akış profili değişebilmektedir. Bu doğrultuda FLUENT programı ve k-ε türbülans modelinden faydalanarak C_2H_6 gazının kullanıldığı çalışmaya göre ölçümler ve hesaplamalar arasında tutarsızlık

gerçekleşmekte ve tahmin metodolojilerinin kullanılması her zaman benzer sonuç vermemektedir.

Kim ve Baik (2004), üç boyutlu cadde kanyonunda RNG k-ε türbülans modeli kullanılarak rüzgar yönünün bina grubu çevresindeki akış ve dağılımının etkilerini araştırmışlardır. Kanyondaki ortalama akış sirkülasyonu özelliklerine göre üç akış örneği belirlenmiştir. Buna göre rüzgar açısı arttıkça kanyondan kirletici kaçıışının azaldığı gözlenmiştir. Rüzgar yönünün binalara dik olduğu durumlar haricinde emisyonlar vorteks içerisinde sıkışmakta ve yüksek konsantrasyon oluşturmaktadır.

Li vd (2005), iki boyutlu bir cadde kanyonundaki hava değişim oranını hesaplayabilmek için RNG k-ε türbülans modelini kullanmıştır. Bu türbülans modelinin literatürdeki diğer modelleme ve rüzgar tüneli sonuçları ile uyumlu olduğu gösterilmiştir. Daha sonra bu model 0.5, 1 ve 2 oranlarındaki (bina yüksekliği/cadde genişliği) cadde kanyonları için hava değişim oranını hesaplamak adına kullanılmıştır. k-ε türbülans modeli ve LES yöntemi ile elde edilen sonuçlar %20'nin altında bir farkla benzerlik göstermiştir. Bunun yanı sıra k-ε modeli ile elde edilen sonuçlar bilgisayar kaynakları ve hesaplama süresinde de tasarruf sağlamıştır.

Xie vd (2006), çalışmalarında hesaplamalı akışkanları dinamiğini kullanarak yerden ısıtma şeklindeki solar radyasyonun bir cadde kanyonuna ait hava değişim oranına etkisini araştırmışlardır. Bunun için RNG, standard ve realizable k-ε türbülans modelleri kullanılmıştır. Bu modeller rüzgar tüneli sonuçları ile doğrulanmıştır.

Nazridoust ve Ahmadi (2006), iki boyutlu kanyon modelinde kirletici dağılımını numerik modelleme yöntemi ile FLUENT programı aracılığı ile incelemiştir. Bina ölçüleri, cadde genişliği ve rüzgar hızının CO₂ dağılımına etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar Meroney vd.'nin, deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre numerik modelleme yöntemi ile elde edilen değerler, deneysel sonuçlara göre oldukça yüksektir. Çalışmada kullanılan türbülans modellerinden RSTM modeli, deneysel sonuçlar ile daha uyumludur.

Di Sabatino vd (2007), trafik kaynaklı kirletici emisyonlarını temel seviyede bir cadde kanyonunda FLUENT programı ile inceleyerek rüzgar tüneline elde edilen verilere göre doğrulanmasını amaçlamıştır. FLUENT'ten elde edilen dağılım

sonuçları ADMS-Urban dağılım modeli kullanılarak analiz edilmiştir. CFD simülasyonları için ise k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Dağılım sonuçları, bina yüksekliğinin cadde genişliğine oranının 1 olduğu (H/W=1) durumlar için araştırılmıştır. CFD yöntemi ile elde edilen sonuçlar rüzgar tüneli verileri ile doğrulanmış ve ADMS-Urban dağılım modeliyle uyumluluk göstermiştir. Schmidt sayısının 0.4 olması, rüzgar yönünün cadde kanyonu eksenine dik olduğu durumlar haricinde en uygun durumdur. Yapılan çalışmada Schmidt sayısının 0.04 olduğu durumda ADMS-Urban dağılım modeliyle uyumluluk sağlanmıştır.

Solazzo vd (2008), ideal bir cadde kanyonunda rüzgar ve araç hareketleriyle oluşan akış ve türbülansı modelleyebilmek için çalışmalarında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ve halihazırda en çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan standart k-ε türbülans modeli kullanmıştır (Lien vd, 2004). Başlangıçta araç hareketlerinin cadde seviyesinde akış ve türbülans oluşumu üzerine etkisi incelenmiş ve elde edilen değerler rüzgar ve araç hareketlerinin birlikte yarattığı etkiyi hesaplayabilmek için kullanılmıştır. Model sonuçları ile rüzgar tüneline elde edilen akış ve türbülans değerleri farklı rüzgar hızlarında karşılaştırılmıştır.

Murena vd (2009), İtalya'nın Napoli şehrinde yüksek binalarla çevrili, yani bina yüksekliğinin kanyon genişliğine oranının çok yüksek olduğu derin cadde kanyonlarında emisyon dağılımını numerik modelleme ve hava kirliliği dağılımı modelleme (WinOSPM) yöntemleriyle incelemiştir. Çalışmalarında türbülans modeli olarak RNG k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Modellemelerden elde edilen sonuçlar, cadde kanyonunda iki noktada ölçümü yapılan CO konsantrasyon değerleri ile karşılaştırılmıştır. FLUENT ile elde edilen sonuçlar, deneysel veriler ile uyumluluk gösterirken WinOSPM ile elde edilen sonuçlar farklılık göstermiştir. Bunun sebebi, WinOSPM'nin en/boy oranının 1'e yakın olduğu caddeler için uygulanabilir olmasıdır. Bu nedenle rüzgar profilinde değişiklik yapılarak WinOSPM ile deneysel veriler arasındaki uyumluluk sağlanmıştır.

Solazzo vd (2009), ideal bir cadde kanyonunda rüzgar akışını FLUENT programı aracılığıyla standart k-ε türbülans modelini kullanarak incelemiştir. Çalışmalarında standart k-ε modeline ait parametreleri hız ve türbülans için seçilen giriş profillerine göre modifiye ederek modelin performansının artırılması hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar, rüzgar tüneline elde edilen deneysel verilerle kıyaslanmış ve belirlenen parametrelerin uyumluluğu arttırdığı gözlenmiştir.

Gad vd (2009), farklı cadde kanyonu modelleri üzerinde taşıtlardan kaynaklanan emisyon dağılımının rüzgar hızı, bina yüksekliği ve genişliği oranı, bina ve cadde geometrileri ve kanyon sayısı değişimi ile nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. CO₂ emisyonu çizgi kaynak olarak modellenmiştir. Simülasyon amacıyla FLUENT hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılım paketi ile standart k-ε, RNG k-ε ve SST k-ω türbülans modelleri kullanılmıştır. Tüm modellerde kanyon içerisinde saat yönünde girdap oluşumu gözlenmiştir. Ayrıca rüzgar tarafında bulunan bina duvarlarında ve cadde seviyesinde konsantrasyon birikimi daha fazla olmuştur. Buna göre bina yüksekliği arttıkça konsantrasyon azalmaktadır. Elde edilen sonuçlar rüzgar tüneli verileri ile doğrulanmıştır. Farklı rüzgar hızları için karşılaştırılan standart k-ε, RNG k-ε ve SST k-ω türbülans modelleri arasında çok büyük farklılıklar görülmemiştir.

Karra vd (2011), Nicosia şehrinde homojen dağılım göstermeyen bir mimariye sahip tek yönlü araç trafiğine açık cadde kanyonunda, dakikada geçen araç sayısını ölçerek gün içindeki CO dağılımını incelemiştir. Buna göre ortalama CO konsantrasyonu kanyonun tam ortasında 1.5 m yükseklikte ve rüzgar yönünde Xie vd (2003)'nin yılında gerçekleştirdiği çalışmaya göre daha düşük, rüzgara karşı yönde ise daha yüksek elde edilmiştir.

Li vd (2013), Çin'in Guangzhou şehrinde bir cadde kanyonundaki ağaçların CO₂ konsantrasyonları üzerindeki etkisini; ağaçların CO₂ absorpsiyonu/emisyonu ve aerodinamik etkilerini de göz önüne alarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği metoduyla incelemiştir. Simülasyon sonuçlarına göre güney yönünde 2 m/s rüzgar koşullarında, gündüz vakti ağaçlar tarafından gerçekleştirilen CO₂ absorpsiyonu, CO₂ konsantrasyonunu %2.5 oranında azaltmaktadır. Ayrıca ağaçların direnci bölgedeki konsantrasyon miktarı farkını cadde içerisinde ve cadde girişinde %43 oranında artırmıştır. Trafik yoğunluğu dakikada 50 araç/dk'ya doğru çıktıkça ağaçların ortamdaki CO₂ konsantrasyonuna etkisi pozitiften negatife dönmektedir.

Virik ve Salim (2013), Taylor Üniversitesi kampüs mimarisi koşullarında doğal havalandırma ve hava kirliliği dağılımını modelleme amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ve k-ε türbülans modelini kullanmıştır. Çalışmada kampüsü etkileyen rüzgar yönü ve hızı değiştirilerek doğal havalandırmayı güçlendiren en iyi kampüs yönlendirmesini belirlemek ve kirlilik birikimini en aza indirmek amaçlanmıştır.

Wen vd (2013), yan yana gelen birkaç cadde kanyonunun oluşturulduğu modelde hava akış analizi gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar deneysel veriler ile kıyaslanmıştır. RNG k-ε türbülans modelinin kullanıldığı çalışmada sabit hız profili, matematiksel bir fonksiyon ile karakterize edilmiş hız profili ve ölçülmüş hız profili gibi üç farklı giriş şartı kullanılmıştır. Bunlardan matematiksel bir fonksiyon ile karakterize edilmiş hız profili diğerlerine göre daha üstün sonuçlar ortaya koymuştur. Öngörülen türbülans sonuçları ise hız değerlerine göre daha az güvenilir fakat yine de kanyonun çoğu bölgesinde deneysel sonuçlarla tutarlı olarak elde edilmiştir. Fakat çatı seviyesinde aynı tutarlılık elde edilememiştir.

Garcia vd (2013), Portekiz’de bulunan bir cadde kanyonunun dört farklı şekilde modellenmesinin PM₁₀ dağılımı üzerine etkisini FLUENT programı ile araştırmışlardır. Modeller, aralarında farklı ölçülerde boşluk olacak şekilde ve hiç boşluk olmayacak şekilde konumlandırılmıştır. Yedi farklı noktadan elde edilen ölçüm sonuçları ile numerik modelleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Farklı hava koşulları altında gerçekleştirilen ölçümler ile modelleme sonuçları arasındaki farklılıkların, binaların farklı şekilde konumlandırılmasından kaynaklandığı gözlemlenmiştir.

Chang vd (2013), öncelikle simetrik yükseklikte binaların oluşturduğu iki boyutlu bir cadde kanyonunda rüzgar tüneli testi gerçekleştirmişlerdir. Test sonuçları FLUENT ile programı kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Daha sonra sayısal analiz sonucu elde edilen bu veriler dört farklı yüksekliğe sahip asimetrik binaların oluşturduğu bir kanyondan elde edilen rüzgar tüneli ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Kanyonda oluşan saat yönündeki girdap sebebiyle rüzgar tarafında bulunan bina tarafında kirletici konsantrasyonlarının daha çok biriktiği görülmüştür.

Meschini vd (2014), Almanya’nın Hannover şehrinde yer alan bir cadde kanyonundan elde edilen kirletici dağılımı ölçümleri ile CFD model tahminlerinin doğrulanmasını amaçlamışlardır. Çalışmada rüzgar açılarındaki gerçekleştirilen 20’şer derecelik artışlarla 18 farklı rüzgar yönünde analiz gerçekleştirilmiştir. En uygun çözünürlük ve parametrelerin saptanması adına grid ve Schmidt sayısı hassasiyet analizi gerçekleştirilmiştir. Genel olarak sayısal analiz sonuçlarında cadde seviyesinde elde edilen konsantrasyon değerleri deneysel verilere göre yüksek olsa da bu çalışmada deneysel verilerle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Guillas vd (2014), cadde kanyonlarındaki akışın hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile modellenmesinde belirsizlik analizi için Bayesian kalibrasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Doğru akış ve türbülans modelini tanımlayabilmek adına üç boyutlu CFD simülasyonları kalibre edilmiştir. Bu kalibrasyon standart $k-\epsilon$ türbülans modeli sabitleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sayede deneysel veriler ile en iyi eşleşmeyi sağlayan $k-\epsilon$ model sabitlerinin alanı daraltılabilmiş ve belirsizlik analizi yapılabilmektedir.

Abid vd (2014), Masdar şehrinde bulunan iki boyutlu bir cadde kanyonunun hava kirliliği dağılımını ve solar radyasyon etkisini bina tasarımlarını da dikkate alarak FLUENT programı ile $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanarak incelemiştir. Çalışmalarında kirletici olarak su buharı ve CO_2 kullanmışlardır. Sabah, öğle ve akşam olmak üzere üç durumda incelenmiştir. Sabah ve akşam saatlerinde termal konforun korunduğu öğle saatlerinde ise sıcaklığın 35 dereceye çıktığı görülmüştür. Kanyon dışından gelen kirleticiler ele alındığında cadde seviyesinde kirletici konsantrasyonunun çok az miktarda olduğu görülmüştür. Kanyon içerisinde oluşturulan kirletici konsantrasyonu ele alındığında ise kirleticilerin kanyon dışına çıkamadığı ve konsantrasyonlarının yüksek olduğu görülmüştür. Genel olarak Masdar şehrinde termal konfor sağlanırken kirleticilerin ve su buharının kanyon dışına çıkmasının zor olduğu gözlenmiştir.

Miao vd (2014), farklı konfigürasyonlara sahip cadde kanyonlarında akış ve taşıt kaynaklı hava kirliliği dağılımını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında açık kaynak kodlu OpenFOAM hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar ile rüzgar tüneli verileri karşılaştırılmıştır. Doğrulama sonrasında üç farklı kanyon modeli, kanyona dik olarak hareket eden akış altında sayısal olarak incelenmiştir. Buna göre bina yüksekliğinin veya genişliği artmasıyla kanyonda zemin seviyesindeki kirliliğin de arttığı görülmüştür. Asimetrik kanyon modelinin havalandırmayı daha olumlu etkileyeceği düşünülmüş ve OpenFOAM yazılımının güvenilir bir araç olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Zhang vd (2015), farklı yüksekliklere ve farklı çatı tiplerine sahip binalar üzerinde taşıtlardan kaynaklanan emisyon dağılımlarını numerik modelleme yöntemi ile incelemişlerdir. Bina yüksekliğinin artmasıyla taşıtlardan kaynaklanan emisyon dağılımının azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.

Akhatova vd (2015), çalışmalarında Astana şehrinin en yoğun trafik yükü olan bölgelerinden birini havadaki CO konsantrasyonunun pik yaptığı saatleri dikkate alarak incelemişlerdir. Kirleticilerin dağılımının simülasyonu için Solidworks-EFD modülü ve k-ε türbülans modeli kullanılarak CFD analizi yapılmıştır. Sonuçlar dört mevsim için sunulmuştur. Buna göre en yüksek CO seviyesinin yaz aylarında kaydedildiği ve kabul edilebilir max. seviyeden daha düşük olan 11.2 ppm seviyesinde ölçülmüştür. Yine de önlem alınmadığı takdirde Astana'nın bu konuda kritik kirlilik seviyesine ulaşacağı görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, çizgisel kaynak teşkil eden trafik kaynaklı egzoz emisyonlarının cadde kanyonlarında dağılımının numerik modellenmesidir. Model sonuçlarının doğrulanması için Kastner-Klein ve Plate (1999) tarafından gerçekleştirilen rüzgar tüneli deney sonuçları kullanılmıştır. Buna göre referans durum olarak belirtilen iki binalı cadde kanyonu hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile standart k-ε türbülans modeli kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçların deneysel veriler ile nitelik olarak uyumlu olduğu görülmüştür. Sonrasında üç ve dört binalı durumlarda konsantrasyon dağılımı incelenmiştir. Literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklı olarak; belirlenen cadde konfigürasyonunda bulunan binalara sistematik ölçülerde balkon eklentisi yapılarak konfigürasyon değişikliğinin konsantrasyon dağılımı üzerine etkisi numerik modelleme yöntemi ile hesaplanmıştır. Balkonlar, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi emisyonların dağılım etkisine göre korkuluksuz, yarı korkuluklu ve tam korkuluklu olarak kabul edilen tiplerde ve farklı genişliklerde seçilmiştir. Bu sayede özellikle ülkemizde inşa edilen bina mimarilerinde yer alan farklı tiplerdeki balkon yapılarının cadde kanyonlarındaki emisyon dağılımına etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 2.2. Cadde kanyonlarında yer alan balkon tipleri a) korkuluksuz balkon (b) yarı korkuluklu balkon (c) tam korkuluklu balkon

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Temel Denklemler

Akış problemlerinin hesaplanabilmesi amacıyla sürekli, türbülanslı ve sıkıştırılmaz akış için süreklilik, momentum (Navier-Stokes) ve madde türlerinin korunumu denklemleri kullanılmaktadır. Bu diferansiyel denklemler uygun sınır şartları değerleriyle birlikte kullanılarak çözüme ulaşılır. Bu denklemleri kartezyen koordinatlarda ifade etmek gerekirse;

Süreklilik denklemi,

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.1)$$

Momentum korunum denklemi (Navier-Stokes),

$$U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} (v \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j}) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} \quad (3.2)$$

Madde türlerinin korunumu denklemi,

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i c) = \frac{\partial}{\partial x_i} (D \frac{\partial c}{\partial x_i}) + S \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Süreklilik (3.1) ve momentumun korunumu (3.2) denklemlerinde U_i x_i doğrultusundaki ortalama hız, ρ akışkan yoğunluğu, P ortalama basınç, α ısı yayılım katsayısı ve ν kinematik viskozite parametrelerini ifade eder. $\overline{u_i u_j}$ ise Reynolds gerilmesidir. u_i x_i yönündeki, u_j ise x_j yönündeki hızın ortalama değerleri üzerinden gerçekleşen anlık sapmaları ifade eder. $\overline{u_i u_j}$ ifadesi Boussinesq türbülans viskozitesi yaklaşımı ile açıklanacak olursa (Özdoğan vd, 2016);

$$-\overline{u_i u_j} = \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \quad (3.4)$$

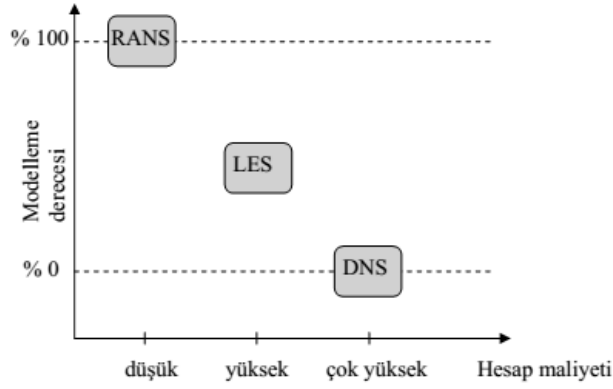
Burada ν_t eddy-viskozitesi ifadesidir ve aşağıdaki şekilde gösterilir;

$$v_i = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.5)$$

Türbülanslı akış hareketinin karmaşıklığından dolayı $\overline{-u_i u_j}$ ifadesini hesaplayabilmek için analitik yöntemlerin kullanılması mümkün değildir. Bu sebeple çeşitli türbülans modelleri ortaya atılmıştır. Eddy-viskozitesi ifadesinin hesaplanabilmesi için hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri içerisinde çeşitli türbülans modelleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Standard k- ε , Renormalization Group (RNG), Realizable, Standard k- ω , SST, Spalart Almaras ve Reynolds Stress (RSM) türbülans modelleridir. Tüm türbülanslı akış problemlerinin analizinde kullanılacak tek bir türbülans modeli bulunmamaktadır. Bu yüzden türbülans modellerinin özelliklerine göre akış alanına en uygun olanı seçilerek analiz gerçekleştirilmelidir.

Akış içerisinde her yönde gerçekleşebilen dönme hareketlerine türbülans adı verilmektedir. Akışın türbülanslı mı yoksa laminar mı olduğuna atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranı olan Reynolds sayısı dikkate alınarak karar verilir. Reynolds sayısı, analizin yapılacağı modele göre belirlenen kritik değerlerin altındaysa akış laminar haldedir. Kritik seviyenin üzerine çıkılırsa akış türbülanslı hale gelir. Akışın türbülanslı olduğuna karar verdikten sonra momentum denklemleri Reynolds-Ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemlerine dönüştürülür. Sonlu hacimler yöntemi kullanılarak akış hacimlere bölünür ve hesaplamalar yapılır. Oluşturulan hacimler ne kadar küçük olursa hesaplama süresi ve analizin hassasiyeti de aynı oranda artmaktadır.

Navier-Stokes denklemlerinin üç farklı yaklaşımla çözülebilmesi mümkündür. Bunlar RANS, LES (Large-Eddy Simulation) ve DNS (Direct Numerical Simulation) yöntemleridir. Bunlar arasında hesaplama maliyeti en düşük, modelleme derecesi en yüksek yaklaşım RANS yöntemidir. RANS, LES ve DNS yaklaşımları arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

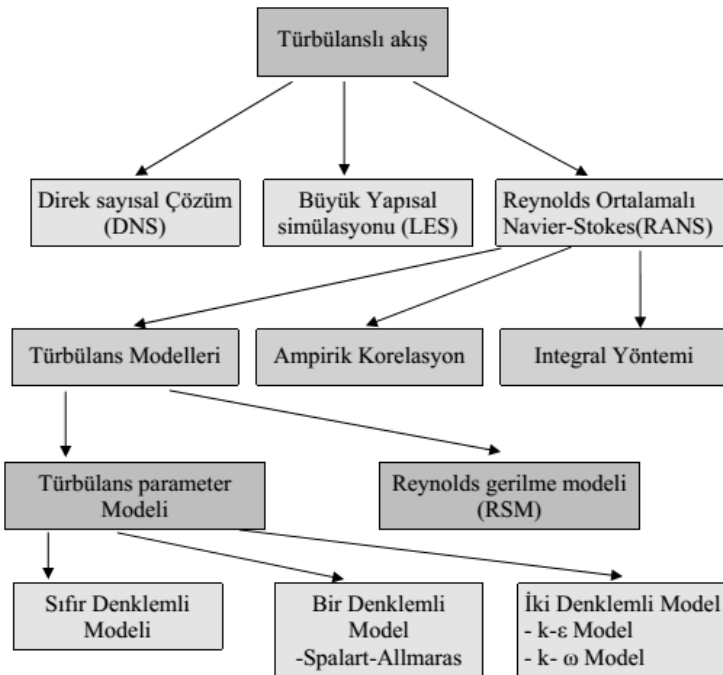


Şekil 3.1. RAN, LNS ve DNS analiz yöntemleri (Koyun, 2006)

Akışın karşılaştığı süreksizlikler ile maruz kaldığı kesme gerilmeleri ne kadar büyük olursa akıştaki çalkantı da o kadar büyük olmaktadır.

3.2. Türbülans Modelleri

Türbülans modellerine ait denklemler, temel denklemlerin çözümüne katkı sağlayan denklemlerdir. Tamamen deneysel yöntemlerle elde edilen sabitlere dayalıdır. Bu yüzden numerik modelleme sonucunda yaklaşık değerler elde edilir. Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes yaklaşımında kullanılan türbülans modelleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. RANS yaklaşımında kullanılan türbülans modelleri (Koyun, 2006)

3.2.1. k-ε türbülans modelleri

Bu model tiplerinde türbülans kinetik enerjisi (k) ve kayıp oranı (ε)'ni ifade eden ve Navier-Stokes denklemlerine ek olarak çözülen iki eşitlikli modellerdir.

Standart k-ε türbülans modeli

Uygulamada en yaygın olarak kullanılan k-ε türbülans modeli türüdür. Standart k-ε türbülans modelinde viskozite hesabı (3.5) nolu denklem ile yapılmaktadır. İki denklemlilik türbülans modelleri arasında aynı model şartlarında hesaplama süresi en az ve en ekonomik olan model standart k-ε türbülans modelidir. Genel olarak türbülanslı akış modellerinde kabul edilebilir seviyede doğru sonuç vermektedir.

Türbülans kinetik enerjisi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j}) + G_k - \rho \epsilon \quad (3.6)$$

Kayıp oranı;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_\epsilon \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R \quad (3.7)$$

olarak ifade edilir. k-ε denklemleri içerisinde yer alan Γ difüzyivite terimleri;

$$\Gamma_\epsilon = (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}) \quad (3.8)$$

$$\Gamma_k = (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \quad (3.9)$$

şeklinde gösterilir. Hız gradyanı sebebiyle oluşan k üretimini gösteren denklem;

$$G_k = -\rho \overline{u_i u_j} \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \quad (3.10)$$

olur. Standart k-ε türbülans modeline ait sabit değerler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Standart k-ε türbülans modeline ait sabit değerler

Sabitler	Değer
$C_{1\varepsilon}$	1.44
$C_{2\varepsilon}$	1.92
C_μ	0.09
σ_k	1.0
σ_ε	1.3

RNG (Renormalization Group) k-ε türbülans modeli

RNG k-ε türbülans modeli ile yapılan hesaplamalar genel olarak standart k-ε türbülans modeliyle benzer sonuçlar verir. Standart k-ε modelinden temel farkı, düşük Reynolds sayısı etkilerini de dikkate alan terimler içermesidir. Ayrıca farklı sabitler kullanılır. Diğer k-ε modellerinden %10-15 daha fazla bilgisayar performansına ihtiyaç duyar. Düşük gerilme olması halinde ($\eta < \eta_0$) bu model gerilimli akışlar için iyi sonuçlar vermeyebilmektedir. Fakat yüksek gerilimli akışlarda ($\eta > \eta_0$) daha düşük türbülanslı viskoziteye neden olduğundan daha iyi sonuçlar elde edilmektedir (Yılmaztürk, 2011).

Taşıyım denklemleri (3.6) ve (3.7) nolu denklemlerde belirtildiği gibidir. Difüzyon terimleri;

$$\Gamma_\varepsilon = \alpha_\varepsilon \mu_e \quad (3.11)$$

$$\Gamma_k = \alpha_k \mu_e \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilir. Efektif viskozite;

$$\mu_e = \mu + \mu_t \quad (3.13)$$

olacak şekilde akışkan ve eddy viskozitesi toplamıdır. Bu ifade aşağıdaki denklemin çözümü ile elde edilir;

$$d\left(\frac{\rho^2 k}{\varepsilon \mu}\right) = 1.72 \frac{\mu_e / \mu}{(\mu_e / \mu)^3 - 1 + C_v} d(\mu_e / \mu) \quad (3.14)$$

Bu denklem ile düşük Reynolds sayısı etkileri hesaba katılmış olur (Şimşek, 2011). Kayıp ilave edilen R_ϵ terimi ise;

$$R_\epsilon = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \eta \eta_0) \epsilon^2}{1 + \beta^3} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3.15)$$

ifadesinden elde edilir. RNG k- ϵ türbülans modeline ait sabit değerler Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. RNG k- ϵ türbülans modeline ait sabit değerler

Sabitler	Değer
$C_{1\epsilon}$	1.42
$C_{2\epsilon}$	1.68
C_μ	0.0845
C_v	100
σ_k	1.393
σ_ϵ	1.393
η_0	4.38
β	0.012

Realizable k- ϵ türbülans modeli

Realizable k- ϵ türbülans modeli diğer k- ϵ türbülans modelleri ile benzerdir ve RNG k- ϵ türbülans modelinin sahip olduğu özelliklere sahiptir. Ek olarak ϵ için yeni bir taşınım denklemi ve eddy viskozitesi için yeni formül içerir. Dairesel jet akışları çözümünde daha hassastır.

Türbülans kinetik enerjisini ifade eden denklem aşağıda belirtilmiştir;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3.16)$$

Kayıp oranı ise;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{K} - R_\epsilon + S_\epsilon \quad (3.17)$$

ifadesi ile gösterilir. Realizable k-ε türbülans modeline ait sabit değerler Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Realizable k-ε türbülans modeline ait sabit değerler

Sabitler	Değer
$C_{1\varepsilon}$	1.44
$C_{2\varepsilon}$	1.9
C_μ	0.09
σ_k	1.0
σ_ε	1.2

3.2.2. k-ω türbülans modelleri

Standart k-ω türbülans modeli

k-ω türbülans modelinin, pozitif basınç gradyanının olduğu sınır tabakası akımlarında k-ε modeline göre daha başarılı sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır (Wilcox, 2000). Bu türbülans modeli; kesikli akış, radyal jet ve duvar sınırlı akım problemlerinde ölçülen verilerle iyi uyum sağladığından bu problemler için tavsiye edilmektedir (Topal ve Can, 2016).

Türbülans kinetik enerjisi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j}) + G_k - Y_k + S_k \quad (3.18)$$

Kayıp oranı;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j}) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (3.19)$$

olarak ifade edilir. Burada Γ , difüzyivite etkilerini, Y , kayıp etkilerini, G ise türbülans kinetik enerjisi ve yitim oranına ait üretimi gösteren parametrelerdir.

SST (Shear Stress Transport) k- ω türbülans modeli

k- ϵ ve k- ω türbülans modellerinin avantajlı yanlarının tek bir modelde toplandığı türbülans modeli çeşididir. SST türbülans modeli; sınır tabaka içerisinde standart k- ω , serbest kayma akışlarında ise standart k- ϵ modelini kullanır. SST türbülans modeli için türbülans kinetik enerjisi (3.18)'de belirtilen denklem ile benzerdir. Kayıp oranı ise;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_\omega \frac{\partial\omega}{\partial x_j}) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega + D_\omega \quad (3.20)$$

şeklinde gösterilir. Burada D_ω ifadesini göstermek gerekirse;

$$D_\omega = 2(1 - F_1)\rho\sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (3.21)$$

olur. F_1 fonksiyonu sınır tabaka içerisinde 1, sınır tabakadan uzaklaştıkça da 0 değerini almaktadır.

3.2.3. RSM (Reynold Stress Model) türbülans modeli

RSM türbülans modeli beş eşitlikli ve türbülans modelleri arasında en karmaşık olanıdır. Özellikle şekil değiştirmenin karmaşık bir yapı sergilediği ve eğriselliğin olduğu akışlarda türbülans viskozitesi modellerine göre daha avantajlıdır (Şimşek, 2011). Yüksek bilgisayar performansı gerektirdiği için uzun süreli ve maliyetli bir modeldir.

RSM türbülans modeline ait taşınım denklemlerini aşağıdaki şekilde yazmak mümkündür (Şimşek, 2011);

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u'_i u'_j) + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho k_i u'_i u'_j) = D_{T,ij} + D_{L,ij} + P_{ij} + \varphi_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (3.22)$$

Burada, türbülans difüzyon terimi;

$$D_{T,ij} = -\frac{\partial}{\partial t}(\overline{\rho u'_i u'_j u'_k} + p(\delta_{kj} u'_i + \delta_{ki} u'_j)) \quad (3.23)$$

Moleküler difüzyon terimi;

$$D_{L,ij} = -\frac{\partial}{\partial x_k} \left(\mu \frac{\partial}{\partial x_k} u'_i u'_j \right) \quad (3.24)$$

Türbülans gerilmeleri üretim terimi;

$$P_{ij} = -\rho \overline{(u'_i u'_k \frac{\partial u'_j}{\partial x_k} + u'_i u'_j \frac{\partial u'_k}{\partial x_k})} \quad (3.25)$$

Basınç uzatma terimi;

$$\varphi_{ij} = p \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.26)$$

Kayıp oranı terimi;

$$\varepsilon_{ij} = -2\mu \overline{\frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_k}} \quad (3.27)$$

olarak ifade edilir.

3.2.4. Spalart-Allmaras modeli

Türbülans modelleri arasında tek denklemliler olan modellerdir ve eddy viskozitesi için modellenmiştir. Bu yüzden en ekonomik, yüksek bilgisayar performansı gerektirmeyen ve çözümü en az vakit alan modeldir. Fakat karmaşık sınır tabaka akışları için kullanışlı değildir. Bunun yerine havacılık uygulamaları için ters basınç gradyanına sahip sınır tabakalarda iyi sonuç verir (Karaoğlu, 2015). Bunun için de duvar kenarlarında yoğun mesh kullanılmalıdır. Süreksizlik içermeyen akış alanlarında ise daha kaba mesh kullanılması mümkündür.

Türbülans kinematik viskozite (Yılmaztürk, 2011);

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \nu) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \nu u_i) = \frac{1}{\sigma_\nu} \left(\frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \rho \nu) \frac{\partial \nu}{\partial x_j} \right) + C_{b2} \rho \left(\frac{\partial \nu}{\partial x_j} \right)^2 \right) + G_\nu - Y_\nu + S_\nu \quad (3.28)$$

şeklinde gösterilir. Burada ν kinematik viskozite, G türbülans üretimi, Y ise türbülans kaybını ifade eder. S ise kullanıcının tanımladığı türbülans kaynağıdır.

G_ν türbülans üretimi;

$$G_v = C_{b1} \rho S \tilde{v} \quad (3.29)$$

Y_v türbülans yıkımı;

$$Y_v = C_{w1} \rho f_w \left(\frac{v}{d}\right)^2 \quad (3.30)$$

halinde gösterilir.

3.3. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi

Akademik olarak gerçekleştirilen çalışmalarda üzerine araştırma yapılması istenen her sistemin deneysel metotlarla incelenmesi çok zor ve maliyetlidir. Bu nedenle bilgisayar teknolojilerinden faydalanmak önemli bir avantaj haline gelmiştir. Böylece, tasarım sonucu oluşturulan ürünün veya modelin performansı bilgisayar teknolojileriyle test edilmekte ve karşılaşılan sorunlar henüz tasarım aşamasındayken giderilebilmektedir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), çözüm metodu olarak sonlu hacimler yöntemini esas alan, ısı ve akış problemlerinin yaklaşık çözümü için kullanılan bir simülasyon çeşididir. Bu konuda en yaygın olarak kullanılan yazılım FLUENT'tir. Bu çalışmada da hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi FLUENT programı aracılığı ile kullanılmıştır. Genel olarak HAD programlarının temelinde Navier-Stokes denklemlerinin çözümü vardır.

Model üzerinde akışın hareketini tahmin edebilmek için analiz edilecek olan bölge sonlu sayıda hacme bölünür. Bu hacimler ne kadar küçük olursa elde edilen sonuç da o kadar hassas ve gerçeğe yakındır. Model üzerinde bulunan duvarlar, köşeler ve akış yönünde engel teşkil edebilecek süreksizlik bölgelerinin olduğu yerlerde *grid* denilen çözüm ağları birbirine sık olacak şekilde örülür. Bu çözüm ağları ile oluşturulan hacimler *node* denilen noktalar ile birbirleriyle iletişim halindedir. Süreksizlik bölgelerinin bulunmadığı yerlerde ise çözüm süresini ve maliyeti azaltma sebebiyle çözüm ağları daha esnek örülebilmektedir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi, yardımcı yazılımları, çözücü formüllerini ve görsel detayları içeren 3 ana bölümden oluşur. Bunlar;

- Ön İşlem (Preprocessing)
- Çözücü (Solver)
- Son İşlem (Postprocessing)

olarak sınıflandırılabilir.

3.3.1. Ön işlem (Preprocessing)

Ön işlem aşamasında analiz yapılması istenen akış bölgesi modellenerek çözüm ağları meydana getirilir. Bu çalışmada incelenen tüm geometriler GAMBIT modülü üzerinde 2 boyutlu olarak modellenmiş ve gridler oluşturulmuştur. Çözüm ağları yapılandırılmamış (unstructured) *tri mesh* yapısıyla oluşturulmuş ve süreksizlik bölgelerinde meshler yoğunlaştırılmıştır.

Geometriler ya doğrudan GAMBIT’te oluşturulur ya da modül içerisine diğer CAD programları kullanılarak tasarlanmış olan geometrilerin dahil edilmesi (import) mümkündür. Akış bölgesi ve geometri oluşturulduktan sonra mesh işlemi gerçekleştirilir ve sınır şartları belirlenir. GAMBIT’te oluşturulan model 2 boyutlu ise üçgen, dörtgen veya kare elemanlar; 3 boyutlu ise tetrahedra veya hexahedra elemanlar kullanılır.

Model oluşturulurken *Operation* başlığı altında yer alan *Geometry* seçeneği içerisinde *Create Vertex* butonu ile koordinat noktaları belirlenir ve bu noktalar *Edge Command Button* ile çizgiler oluşturularak birleştirilir. *Face Command Button* yardımı ile de 2 boyutlu model bir yüzey haline getirilir. Böylece geometri istenilen sıklıkta mesh atılmaya hazır hale getirilmiş olur. Bu çalışmada oluşturulan geometriler cadde kanyonlarında yer alan binaların referans durumu, bina sayısının artırıldığı durumda yapılan incelemeler, farklı balkon tiplerinin yarattığı etkilerin incelenmesi gibi süreksizlikler nedeniyle 100.000 ile 500.000 arasında mesh sayısına sahiptir. Çözümün meshten bağımsız olduğunu belirleyebilmek için farklı yoğunluklarda ağ yapıları ile denemeler gerçekleştirilmiştir.

Mesh aşaması tamamlandıktan meshin kalitesinin bazı parametreler doğrultusunda kontrol edilmesi mümkündür. GAMBIT üzerinde yer alan *Examine Mesh* komutu ile çözüm ağının oluşturulması için kullanılan element sayısı, mesh kalite oranı ve en kötü mesh elemanının nerede ve hangi değerde olduğu gibi sonuçlara ulaşılabilmektedir.

Aspect Ratio ifadesi, meshin en büyük kenarı ile en küçük kenarına oranıdır. Bu oran $AR=1$ ise mükemmel mesh, $1 < AR < 3$ aralığında iyi mesh, $3 < AR < 10$ aralığında kabul edilebilir mesh ve bu değer üzerindeyse kötü mesh olarak kabul edilir. Kötü mesh elde edilmesi durumunda çözüm ağı en doğru sonuç için yeniden örülmelidir.

Skewness ifadesi, mevcut mesh yapısı ile optimum mesh yapısı arasındaki oranı vermektedir. Bu metot sadece üçgensel elemanlar ile oluşturulan mesh yapısında kullanılır. Optimum mesh, kenar uzunlukları birbirine en yakın olan üçgensel hücredir. Buna göre, $0 < Sk < 0.25$ ise mükemmel mesh, $0.25 < Sk < 0.5$ aralığında iyi mesh, $0.5 < Sk < 0.75$ aralığında makul mesh, $0.75 < Sk < 0.9$ aralığında zayıf mesh, $0.9 < Sk < 1$ aralığında ise kötü mesh olarak kabul edilir. *Skewness* değeri 0.9 ile 1 arasında olan çözüm ağı elemanları mümkün olduğunca az sayıda tutulmalı ve süreksizlik bölgelerine yakın konumlarda olmamalarına dikkat edilmelidir. Model, *Skewness* değeri 0.97'nin üzerinde olan bir mesh elemanı içeriyorsa çözüm ağı yeniden örülmelidir. Bu çalışmada mesh kalitesini belirleyebilmek için *Skewness* değerleri incelenmiştir.

Mesh oluşturulduktan sonra geometri üzerinde yer alan tüm elemanlara sınır değerleri atanır. Model oluşturulduktan sonra çözülecek olan program belirlenir ve o programa uygun bir formatta dışa aktarılır (export). Model, FLUENT'te çözülmeye uygun hale getirildikten sonra '.dbs' uzantılı bir dosya oluşturulur. Bu dosya üzerinden '.msh' uzantılı bir dosya daha oluşturulup dışa aktarılarak FLUENT programının çalıştırabileceği bir dosya meydana getirilir. GAMBIT ile FLUENT programı arasında sağlanan uyumluluk sebebiyle sınır şartlarını FLUENT üzerinden değiştirmek de mümkündür.

3.3.2. Çözücü (Solver)

Çözücü aşamasında ise akış denklemlerinin kısmi diferansiyel denklemlerin sonlu hacimler yöntemi ile çözümü gerçekleştirilir. FLUENT programı GAMBIT'ten gelen '.msh' uzantılı dosyayı *Read* seçeneğinin altında bulunan *Case* komutu ile alarak çözüme hazır durumda bir '.cas' dosyası haline getirir.

Çözüm ağlarında herhangi bir hata olup olmadığı, akış alanının ölçülerinin doğruluğu gibi durumlar *Grid* seçeneği altında bulunan *Check* komutu ile kontrol

edilir. Özellikle 2 boyutlu bir çalışmada negatif boyutlu alan, 3 boyutlu bir çalışmada ise negatif boyutlu hacim olup olmadığı kontrol edilmelidir. Geometriden kaynaklanan olası bir hata durumunda GAMBIT üzerinde yeniden modelleme yapılması gerekmektedir.

Grid seçeneğinin altında bulunan *Scale* komutu ile oluşturulan modelin hangi ölçüsel birimde oluşturulduğu belirtilmelidir. *Scale* özelliği ile aynı modelin farklı ölçeklerde çözümünün yapılması ve ölçek değişikliğinin getirdiği sonuçların incelenmesi mümkündür. Bu çalışmada GAMBIT programı üzerinde oluşturulan modellerin birimi cm olarak belirlenmiştir.

Define seçeneğinin altında bulunan *Models* komutunun içinde yer alan *Solver* butonu ile çözücü özelliklerinin seçimi, *Energy* butonu ile enerji eşitliğinin incelenip incelenmeyeceği, *Viscous* butonu ile akışın laminer mi türbülanslı mı olduğu; türbülanslı ise hangi türbülans modelinin ve duvar koşullarının kullanılacağı belirlenir. Bu çalışmada standart k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır.

Define seçeneği altında yer alan *Materials* komutu ile de malzeme seçimi yapılmaktadır. Eğer istenen malzeme FLUENT altyapısında yok ise malzeme özellikleri girilerek kullanıcı tarafından oluşturulur. Bu çalışmada referans durum olarak incelenen Kastner-Klein ve Plate (1999)'in deneysel çalışmasında kullandığı SF₆ emisyonu FLUENT altyapısında bulunmadığı için manuel olarak belirlenmiştir. *Models* komutu ile *Species* butonu altında yer alan *Species Transport* sekmesi ile rüzgar tüneli içerisinde SF₆ ve havanın kullanıldığı belirtilir. Daha sonra yapılan çalışmalarda balkonlu modeller için CO emisyonu hava ile birlikte kullanılmıştır.

Operations Conditions komutu ile çalışma basıncı değeri belirlenir ve yerçekiminin ihmal edilip edilmeyeceğine karar verilir. Bu çalışmada basınç 101325 Pa olarak belirlenmiştir.

Define seçeneği içerisinde yer alan *Boundary Conditions* komutu ile belirlenen sınır şartlarına ait değerler çözüme ulaşılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardır. Burada geometrinin yapısına göre akışın nereden girip nereden çıkacağı, hangi etkilere maruz kalacağı, akış hızı, basınç değerleri, kütleli debi, emisyon değerleri, duvarların özellikleri vb. gibi parametreler doğru şekilde tespit edilmelidir.

Solve seçeneği altında bulunan *Controls* komutunun içinde yer alan *Solution* butonu ile çözümde kullanılacak ayırıklaştırma şemalarını, çözüm hızını ve elde

edilecek sonuçların kalitesini etkileyen faktörler ayarlanır (Özcan, 2004). Bu çalışmada hazırlanan tüm modellerde daha kaliteli sonuçlar elde edebilmek adına basınç denklemlerinin ayrıştırılması için standart şema, diğer denklemlerin ayrıştırılması için *Second Order Upwind* ayrıştırma şeması ile çözümler gerçekleştirilmiştir. Basınç düzeltme faktörü olarak ise *PISO* metodu seçilmiştir.

Solve seçeneği altındaki *Monitors* komutu içerisinde bulunan *Residual* butonu ile hangi iterasyon artıklarının izleneceği ve yakınsaklık kriteri tespit edilir. Bu çalışmada tüm analizler için yakınsaklık kriteri 10^{-6} olarak belirlenmiştir.

Tüm bu işlemler gerçekleştirildikten sonra *Initialize* komutu ile başlangıç değerleri programa tanıtılır ve *Iterate* komutu ile iterasyonlara başlanır. Böylece yakınsaklık kriteri sağlanmaya çalışılır. İterasyonlara ara verilirse kaydedilmiş olan '.cas' dosyasından çözüme kaldığı yerden devam edilir. Çözümün saklandığı dosya ise '.dat' uzantılıdır.

3.3.3. Son işlem (Postprocessing)

İterasyon işlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen sonuçların detaylı analizlerinin yapılması son işlem olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamada çözüm sonucu oluşturulan veriler grafik halinde görüntülenebilir veya sayısal olarak literatürde yer alan deneysel sonuçlarla karşılaştırılabilir. Bu sayede tahmin edilen sonuçların deneysel çalışmalarla olan uyumluluğu gözlemlenmiş olur.

Bu çalışmada referans durumu için elde edilen sonuçlar Kastner-Klein ve Plate (1999)'in deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra balkonlu modeller için yapılan analiz sonuçları ise FLUENT'ten elde edilen şekillerle ve sayısal verilerle oluşturulan grafiklerle incelenmiştir.

3.4. Analizlerde Kullanılan Bilgisayar Özellikleri

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile gerçekleştirilen numerik analizler modelin boyutuna, mesh hassasiyetine ve süreksizlik bölgelerinin yoğunluğuna göre uzun süre ve buna bağlı olarak da enerji maliyeti gerektirmektedir. Hızlı çözümler elde edebilmek için yüksek performanslı bilgisayar sistemleri kullanılmalıdır. Genel olarak analizler Kastner-Klein ve Plate (1999)'in referans durumu ile üç ve dört binalı durumu için daha az sayıda mesh kullanıldığından balkon eklentili modellere

göre daha hızlı gerçekleşmiştir. Literatürde yer alan bu çalışma balkon eklentileri içermediğinden daha az çözüm ağı kullanılarak oluşturulmuştur. Balkon eklentili modeller ise çözüm yapılabilmesi için daha ince mesh gerektirdiğinden daha fazla sayıda çözüm ağı kullanılmıştır. Bu durum analiz süresini arttırmıştır.

Analizlerde iki adet HP Workstation, bir adet Dell Workstation ve Acer Laptop kullanılmıştır. Balkon eklentili modellerin analizi için HP ve Dell; Kastner-Klein ve Plate (1999)'in çalışmasının doğrulanması için Acer Laptop üzerinde iterasyonlar gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan bilgisayarlar ait özellikler Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Analizlerde kullanılan bilgisayar özellikleri

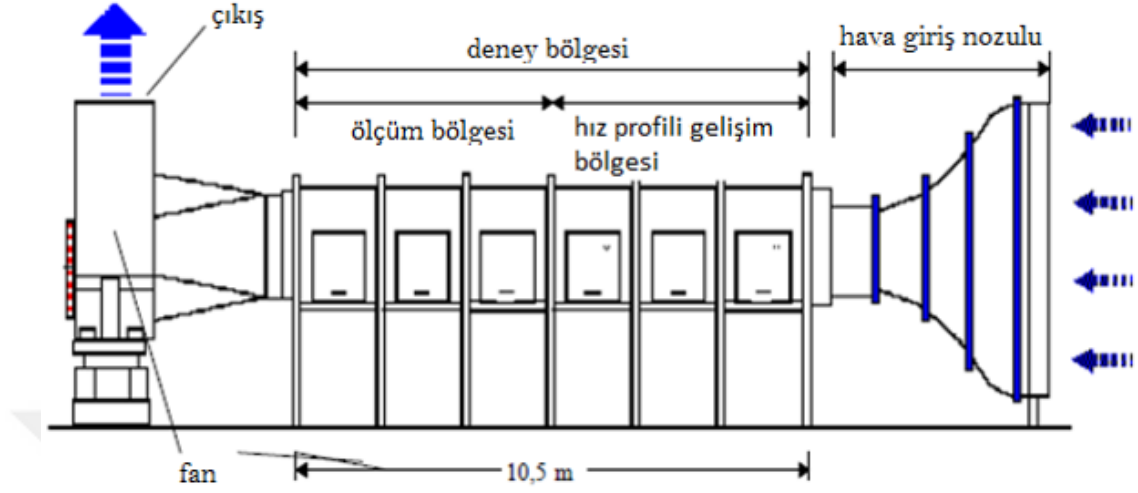
Bilgisayar Modeli	Özellikleri
HP (Workstation)	Intel Core I7 İşlemci 3630QM CPU 2.4 GHz 8 GB Ram Nvidia Quadro K2000M 2 GB Ekran Kartı
Dell (Workstation)	Precision T3610 Intel Xeon İşlemci CPU E5-1650 V2 3.5 GHz 32 GB Ram Nvidia Quadro K400M 4 GB Ekran Kartı
Acer (Laptop)	Aspire 7750G Intel Core i5 2410M CPU 2.3 GHz 6 GB Ram AMD Radeon HD 6650M 1 GB Ekran Kartı

3.5. Referans Durumundaki Cadde Kanyonunun Modellenmesi

Bu çalışmada numerik modelleme sonuçlarının verifikasyonu için önce Kastner-Klein ve Plate (1999) tarafından yapılan deneysel çalışma sonucu elde edilen verilerin numerik modelleme sonucu elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması yapılmış ve nitelik olarak uyumluluğu incelenmiştir.

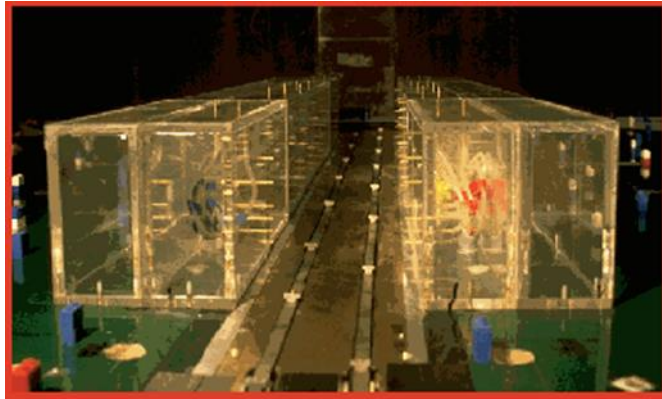
Kastner-Klein ve Plate (1999) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada, deneyler Karlsruhe Üniversitesi, Hidroloji ve Su Kaynakları Enstitüsü'ne ait 10.5 m

uzunluğunda, 2 m genişliğinde ve 1 m yüksekliğindeki rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği rüzgar tüneli Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Rüzgar tüneli (Kastner-Klein ve Plate, 1999)

Prizmatik bloklar halinde oluşturulan kanyon modelinde yer alan binaların belirlenen noktalarından ölçümler yapılmış ve emisyon dağılımı incelenmiştir. Deney düzeneğinde yer alan kanyon bölgesine ait görüntü Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

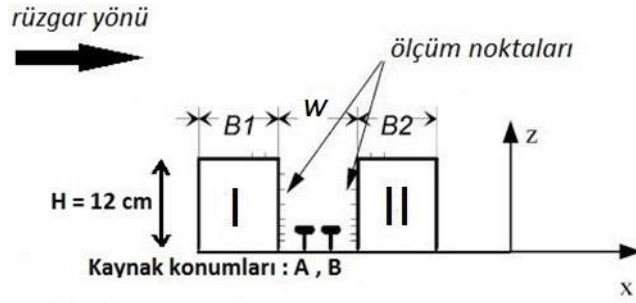


Şekil 3.4. Deney düzeneği (Kastner-Klein ve Plate, 1999)

Bu konfigürasyon çalışmanın ilk aşamasında iki binalı referans durumu olarak ele alınmıştır. Daha sonra üçüncü ve dördüncü binaların emisyon dağılımına olan etkisi incelenmiştir. Kanyon tabanından kanyonun içine doğru gönderilen kirletici emisyon olarak SF₆ (kükürt-hekzaflorür) kullanılmıştır. Rüzgâr tünelinin giriş kısmından hava akışının sağlanmasıyla birlikte kanyon tabanı üzerinde yer alan çok

küçük çaplı nozullar yardımıyla kanyon içine SF₆ girişi gerçekleştirilmiştir. Böylece emisyonların çizgisel kaynak olarak modellenmesi sağlanmıştır.

Deney düzeneğine ait iki bina içeren cadde kanyonu geometrisi ve boyutları Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Referans durumunda cadde kanyonu konfigürasyonu

Binaları modelleyen prizmatik blokların yüksekliği $H=12$ cm'dir. A noktasında yer alan emisyon kaynağı I numaralı binadan 35 mm uzakta; B noktasındaki emisyon kaynağı da I numaralı binadan 85 mm uzakta olacak şekilde konumlandırılmıştır. Referans durumunda binalar arasındaki mesafe, yani kanyon genişliği $W=12$ cm, binaların genişliği $B_1=B_2=12$ cm olarak belirlenmiştir. 100 metre yükseklikteki rüzgar hızına tekabül eden rüzgar hızı $u_{100}=7.7$ m/s olarak tespit edilmiştir.

Blokların duvarlarında ölçülen SF₆ konsantrasyon değerleri $c^*=cu_{100}HL/Q$ bağıntısı ile boyutsuz hale getirilmiştir. Burada c , kanyon duvarlarında ölçülen kirletici gaz konsantrasyonu, u , rüzgar hızı, H , bina yüksekliği, Q , kirletici kaynağın debisi ve L ise kaynak uzunluğudur. L çizim düzlemine dik boyut olup tüm koşullarda 144 cm olarak sabittir.

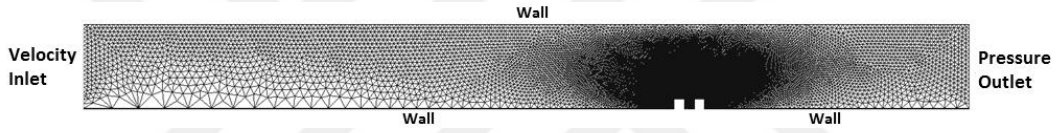
Kastner-Klein'in çalışmasında kullandığı SF₆ emisyonu renksiz, kokusuz, alev almayan; elektrik ve cam sanayisinde kullanılan bir gazdır. Moleküler ağırlığı 146 gr/mol'dür ve havadan yaklaşık beş kat daha ağırdır. Ağırlığı sebebiyle zemine yakın yerlerde ve çukur bölgelerde birikir. Yoğunluğu ise 6.17 gr/cm³'tür. Sera gazı olması sebebiyle atmosfere salınması CO₂ kadar olmasa da zararlıdır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deneysel Çalışma Verileri ile Numerik Modelleme Sonuçlarının İncelenmesi

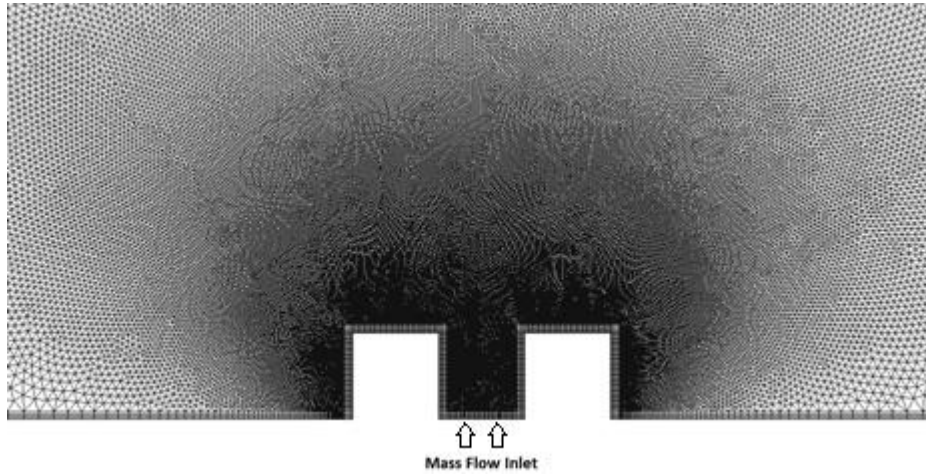
Sayısal analiz yapabilmek amacıyla geometri üzerinde bir çözüm ağı oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla boyutları belirtilen rüzgar tüneli ve cadde kanyonu için tüm ebatlar aynı olmak koşuluyla GAMBIT programıyla iki boyutlu bir model hazırlanmış ve referans durumu için sonlu hacimler yöntemi ile çalışan programlardan biri olan FLUENT programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak rüzgar tüneli geometrisi sınır tabaka kullanılarak GAMBIT programında oluşturulmuş, daha sonra oluşturulan geometri Şekil 4.1’de gösterilen uygun sayıda, yapılandırılmamış gridlere ayrılmıştır.



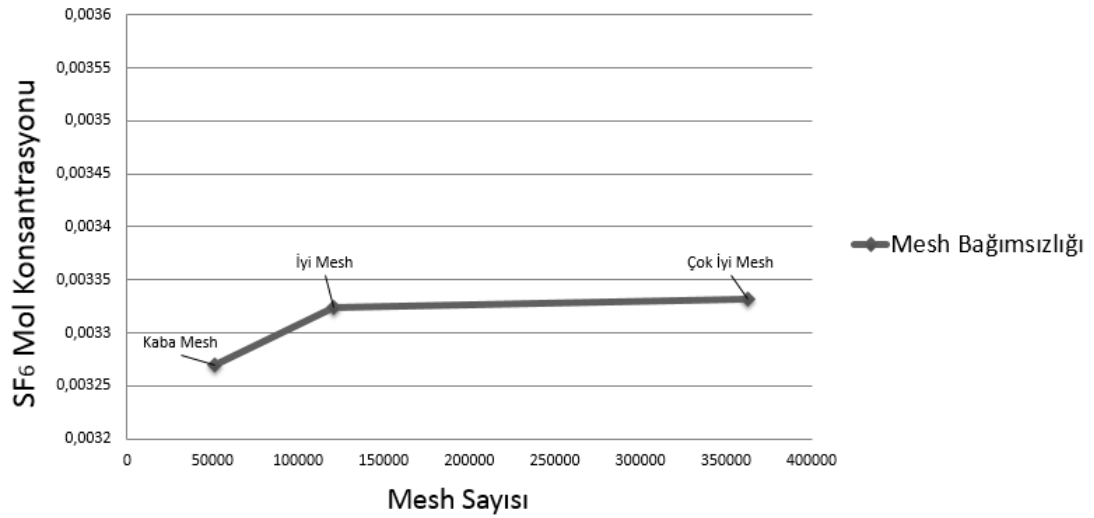
Şekil 4.1. Model geometrisine ait grid yapısı

Çözüm ağı oluşturma aşamasında gridler, Şekil 4.2’de gösterildiği gibi süreksizlik bölgesi olan binaların olduğu yerlerde yoğunlaştırılmış, diğer bölgelerde ise nispeten daha az yoğun halde örülmüştür. Son olarak GAMBIT programında sınır şartları tanımlandıktan sonra ‘.msh’ uzantılı dosya oluşturularak FLUENT’te numerik çözüme hazır hale getirilmiştir (Oğuz vd, 2017).



Şekil 4.2. Bina civarlarında oluşturulan grid yapısı

Kullanılan mesh yapısı ve mesh sayısının çözüm için yeterli olup olmadığına karar verebilmek için çözümün meshten bağımsızlığını gösteren bir analiz yapılmıştır. Buna göre, iki boyutlu referans durumu için rüzgar tarafındaki bina duvarında oluşan ortalama SF₆ mol konsantrasyonu ile mesh sayısının değişimini gösteren 3 farklı çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kaba mesh, iyi mesh ve çok iyi mesh yapıları analiz edilmiş ve Şekil 4.3'te gösterilen iyi mesh seviyesinin numerik modelleme için uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Çözümün meshten bağımsızlığı

Çizelge 4.1'de iki, üç ve dört binalı durumlar için oluşturulan mesh sayısı ve mesh kalitesinin oranı gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneysel çalışmanın modellenmesinde kullanılan mesh değerleri

Model	Mesh Sayısı	Mükemmel Mesh Oranı
2 Bina	120.469	%97.64
3 Bina	162.607	%97.71
4 Bina	214.449	%97.83

FLUENT programına başlangıç şartlarının tanımlanması ve analiz verilerinin oluşturulması doğrultusunda öncelikle türbülans modelinin seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. k-ε tabanlı bir çok türbülans modeli geliştirilse de halen en yaygın olarak kullanılan ve

deneysel sonuçlar ile numerik analizler arasındaki sonuçların doğruluğu açısından iyi seviyede uyumluluk sağlayan model standart k-ε türbülans modelidir (Chang ve Meroney, 2003). Tüm k-ε türbülans modellerin benzer sonuçlar vermesi, bu tip çalışmalarda çok sık kullanılması, hızlı ve ekonomik olması sebebiyle standart k-ε türbülans modeli tercih edilmiştir.

4.1.1. İki binalı referans durumu için belirlenen sınır şartları ve hesaplamalar

Cadde kanyonunda çizgisel kaynak olarak modellenen A ve B emisyon kaynaklarından SF₆ girişi sağlanmıştır. Bir kaynaktan SF₆ girişi serbest bırakıldığında diğer kaynaktan herhangi bir emisyon veya hava girişi sağlanmamıştır. Modelde kullanılan sınır değerleri ve sınır şartları Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Deneysel sonuçların numerik modelleme ile doğrulanmasında kullanılan sınır şartları

Model Geometrisi	Sınır Şartları	Sınır Şartı Değerleri
Rüzgar Tüneli Girişi	Velocity Inlet	$u = 7.7 \text{ m/s}$
Rüzgar Tüneli Çıkışı	Pressure Outlet	$P = 0 \text{ Pa}$
Emisyon Kaynakları	Mass Flow Inlet	$\dot{m} = 0.000242 \text{ kg/s}$
Rüzgar Tüneli Duvarları ve Binalar	Wall	$u = 0, v = 0$ $\frac{\partial c}{\partial z} = 0$

Rüzgar tüneli girişindeki hız için tam gelişmiş rüzgar hız profili kullanılmıştır. Bunun için ilk önce 7.7 m/sn hız ile akış profili oluşturulmuş ve elde edilen profil hız sınır şartı şeklinde kullanılarak iterasyonlar tekrarlanmıştır. Türbülans yoğunluğu ise giriş kesitinde %25 olarak belirlenmiştir. Ayrıca giriş kesiti hidrolik çap olarak kabul edilmiş ve 200 cm hesaplanmıştır. SF₆ debisi Kastner-Klein ve Plate (1999) tarafından yapılan çalışmaya ait rapordan alınmıştır (Kastner-Klein ve Plate, 1998). Kirlenici debisi 212 l/h ve tamamının SF₆ emisyonu olduğu kabul edilmiştir. Bu değere karşılık gelen SF₆ kütleli debisi aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmış ve

emiyon kaynağı sınır şartı olarak belirlenmiştir. Çizgisel kaynakların boyutu ise 212 l/h hacimsel debi için belirlenen hız değeri kullanılarak hesaplanmıştır.

L=1.44 m boyunca SF₆'nın hacimsel debisi;

$$Q = 212 \frac{L}{h} = 0.0589 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \quad (3.31)$$

olarak verilmiştir. SF₆'nin kütlesel debisi ise \dot{m} , yoğunluk ile aşağıdaki şekilde hesaplanarak bulunmuştur:

$$\rho = \frac{P * M}{R * T} = \frac{1.013 * 10^5 * 146}{8314 * 300} = 5.93 \text{ kg/m}^3 \quad (3.32)$$

$$m = \rho * Q = 5.93 * 0.0589 * 10^{-3} = 0.349 * 10^{-3} \text{ kg/s} \quad (3.33)$$

Burada kütlesel debi, L=1.44 m boyunca püskürtülmektedir. Fakat bu çalışma iki boyutlu olduğundan FLUENT programında bu değer L=1 m olarak tanımlıdır. Bu yüzden L=1 m için SF₆ kütlesel debisi ve hacimsel debi hesaplanmıştır:

$$m = \frac{0.349 * 10^{-3}}{1.44} = 0.000242 \text{ kg/s} \quad (3.34)$$

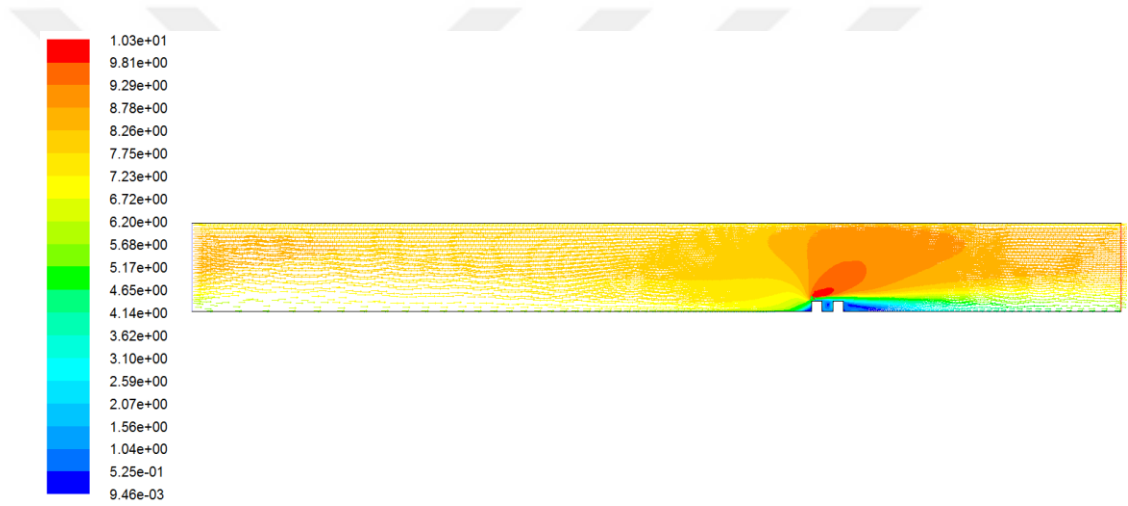
$$Q = \frac{0.0589 * 10^{-3}}{1.44} = 0.0409 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \quad (3.35)$$

olur. Burada hesaplanan kütlesel debi değer 0.000242 kg/s, FLUENT programı üzerinde *Mass Flow Inlet* sınır şartının gereği olarak *Flow Rate* kısmına aktarılır. Hacimsel debi $0.0409 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ değer ise boyutsuz konsantrasyon hesabında kullanılır.

Numerik modelleme sonucu, akışın modellendiği hacimde, cadde kanyonu içerisinde ve binaların bulunduğu bölgelerde oluşan hız profilleri ile birlikte A ve B emiyon kaynaklarından sağlanan konsantrasyon dağılımını gösteren grafikler elde edilmiştir. Ayrıca, I ve II numaralı bina duvarları boyunca elde edilen boyutsuz SF₆ molar konsantrasyon değerlerine ait hesaplamalar ve son işlem (postprocessing) sonucu oluşturulan grafikler de bir sonraki bölümde sunulmuştur.

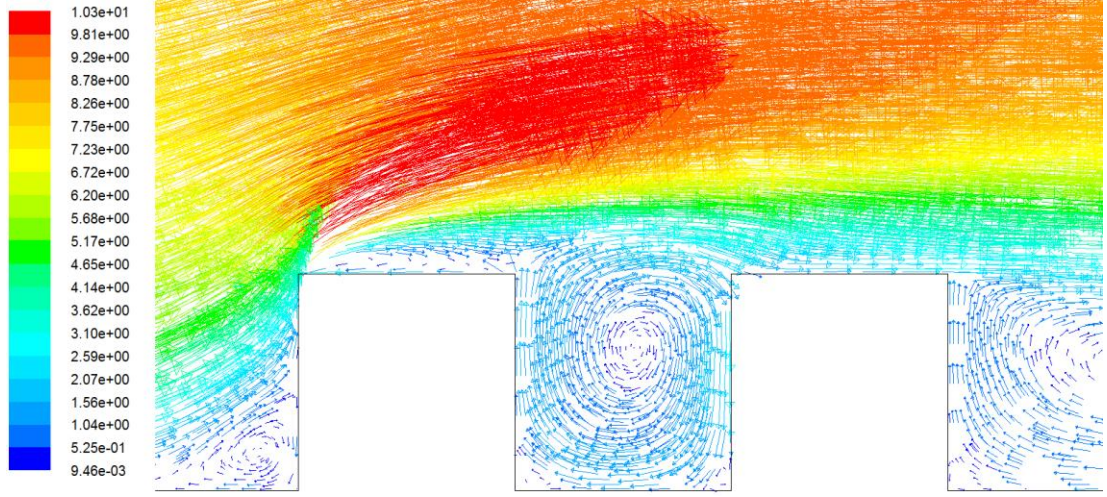
4.1.2. Referans durumunda A ve B kaynaklarından gerçekleşen emisyon dağılımı

Şekil 4.4'te model hacmi boyunca oluşturulan hız profilleri gösterilmektedir. Rüzgar tüneli girişinde tanımlanan gelişmiş hız profili, tünel içerisinde özellikle cadde kanyonunu modelini oluşturan bina blokları civarında gerçekleşen süreksizlik etkisi nedeniyle değişmektedir. Buna göre, model hacmi içerisinde gelişmiş akış profili sonucu 10 m/s değerine kadar çıkan hız değerleri, cadde kanyonunu içerisinde çok daha düşük seviyelerde olup yaklaşık 1-2 m/sn değerlerindedir. Emisyon dağılımı hızı rüzgarın akış yönünü değiştiremeyecek kadar küçük olduğundan, rüzgar akış profilleri, A ve B kaynaklarından gerçekleşen her iki emisyon dağılımı durumunda da benzerdir.



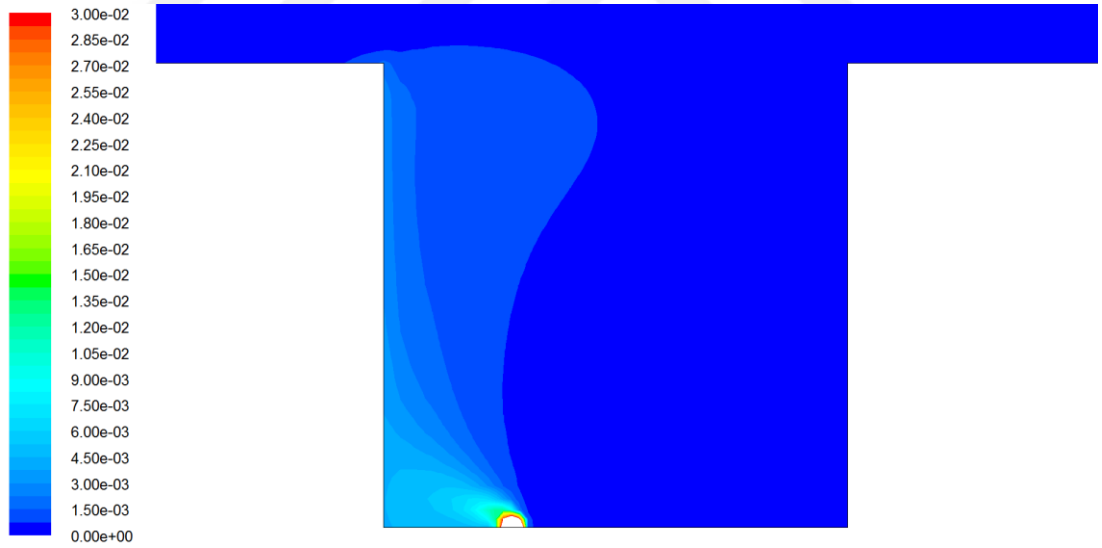
Şekil 4.4. Model hacmi boyunca oluşturulan hız profilleri

Şekil 4.5'te kanyon içinde ve çevresindeki akım yakından gösterilmektedir. Görüldüğü gibi kanyon içerisinde büyük bir girdap oluşmaktadır. Ayrıca I numaralı binanın önünde ve üzerinde; II numaralı binanın ise arkasında girdap bölgeleri oluşmaktadır. Bu akış hareketi emisyonların dağılımını etkilemektedir.



Şekil 4.5. Referans durumunda kanyon civarında oluşan hız profilleri

Şekil 4.6’da cadde kanyonunda oluşan emisyon dağılımı gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre SF₆ emisyon konsantrasyonları, A kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda I numaralı bina duvarında ve özellikle zemine yakın olan bölgede yoğunluk göstermektedir.



Şekil 4.6. A kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda cadde kanyonunda oluşan emisyon dağılımı

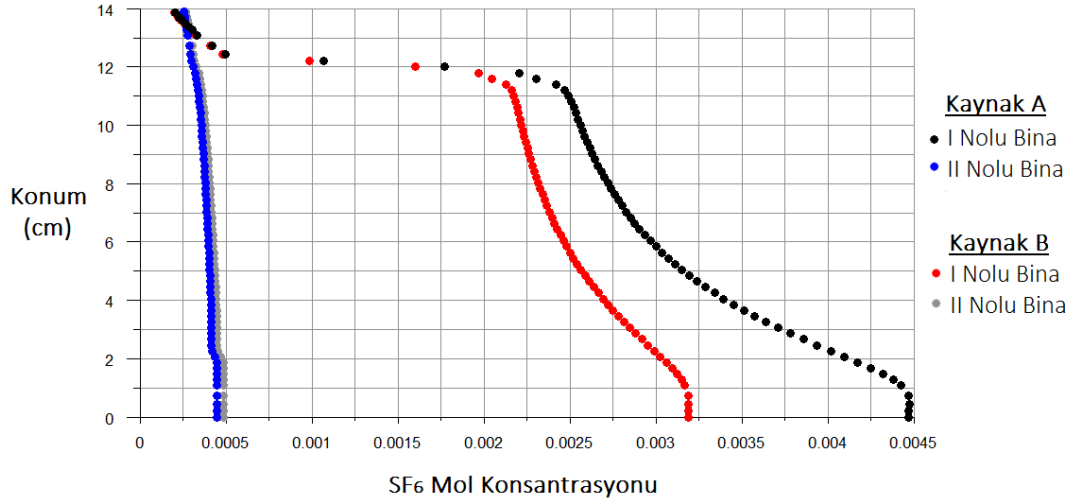
B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumun gösterildiği Şekil 4.7’de, analiz sonuçlarına göre SF₆ emisyon konsantrasyonları, I numaralı bina duvarında ve zemine yakın olan bölgelerde yoğunluk göstermektedir. Fakat konsantrasyon değerleri, A kaynağından elde edilen duruma göre daha düşük seviyededir.



Şekil 4.7. B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda cadde kanyonunda oluşan emisyon dağılımı

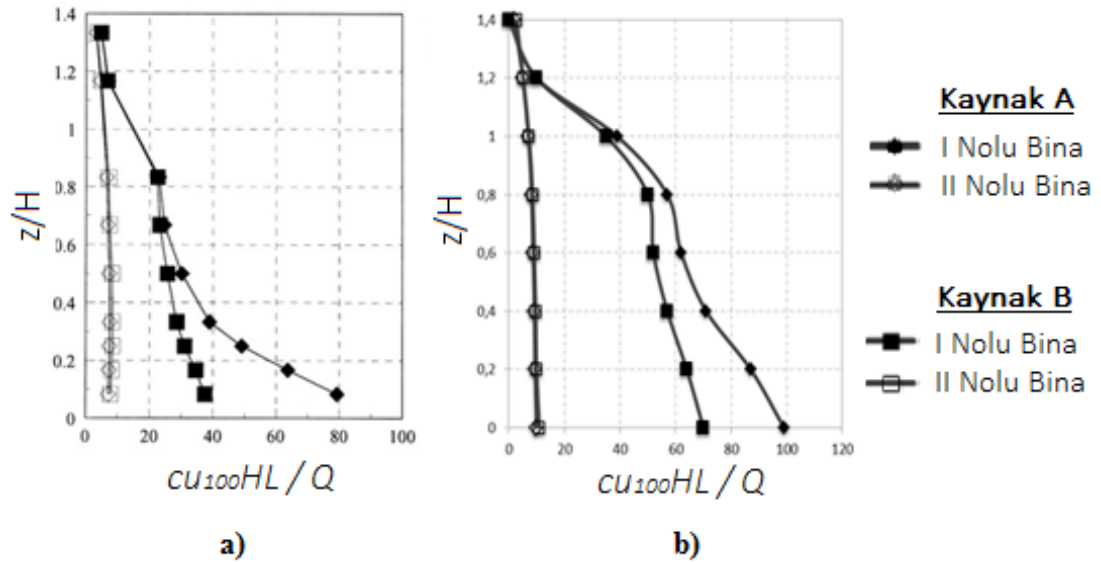
Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de belirtilen grafiklere göre binaların duvarlarında aşağıdan yukarı doğru çıktıkça SF₆ emisyonu konsantrasyon değerleri azalmaktadır. Binaların üzerinde (çatıdan sonra) konsantrasyon oldukça düşük seviyededir. Kanyon içinde oluşan girdabın saat yönünde ve II numaralı bina tarafından I numaralı bina tarafına doğru olması sebebiyle, II numaralı bina duvarında da emisyon değerleri çok düşük hesaplanmıştır. Genel olarak rüzgâr tarafındaki (I) bina duvarında kirletici konsantrasyonlarının rüzgâra karşı taraftaki (II) binadan çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.8’de FLUENT programında *XY Plot* komutu kullanılarak elde edilen eğriler tek bir grafik üzerinde ifade edilmiştir. Bu grafikte, A ve B kaynaklarından salınan SF₆ emisyonlarının, cadde kanyonunu oluşturan bina bloklarının kanyon içerisine bakan duvarlarında oluşturduğu konsantrasyon miktarı gösterilmiştir. Bu değerler konsantrasyon miktarının boyutsuzlaştırılması için gereklidir.



Şekil 4.8. Referans durumunda SF₆ mol konsantrasyonunun bina yüksekliği boyunca değişimi

Numerik modelleme ile elde edilen sonuçlar Kastner-Klein ve Plate (1999)'in deneysel çalışmasının sonuçları ile karşılaştırılmaktadır. Bu amaçla binaların duvarlarında yüksekliklere bağlı olarak boyutsuz konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.9'da deneysel sonuçlardan elde edilen grafik ve aynı durumlar için gerçekleştirilen numerik modelleme sonucu elde edilen grafik gösterilmiştir. Bu değerlerin elde edilmesi için $cuHL/Q$ formülünde c ifadesi yerine Şekil 4.8'de karşılık gelen SF₆ konsantrasyon değeri yazılmıştır.



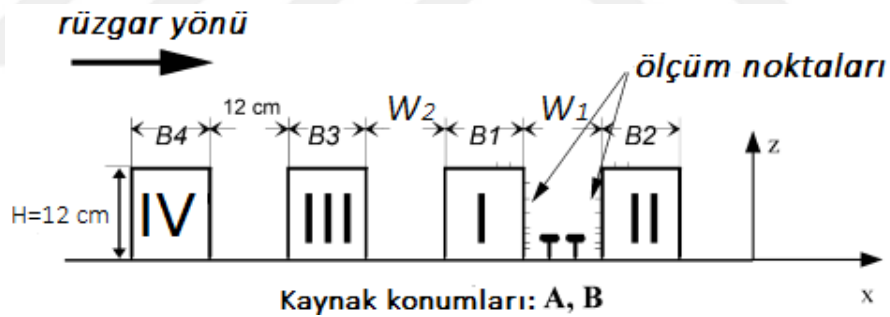
Şekil 4.9. Deneysel çalışma ve numerik modelleme sonuçlarının karşılaştırılması (a) deneysel çalışma sonuçları (b) numerik modelleme sonuçları

Deneyisel sonuçlara göre rüzgar tarafında yer alan bina duvarında kirletici konsantrasyonları, rüzgara karşı yönde yer alan bina duvarında elde edilen kirletici konsantrasyon değerlerine göre daha yüksek seviyededir. Ayrıca I numaralı bina yüksekliği boyunca konsantrasyonlar azalmaktadır.

Numerik modelleme sonucu elde edilen sonuçlar, Kastner-Klein ve Plate (1999)'in çalışmasında elde edilen sonuçlar ile, maksimum konsantrasyonun gerçekleştiği A kaynağından serbest bırakılan emisyon dağılımının incelendiği durumda kanyon zemininde yaklaşık %25 farkla uyumluluk göstermektedir.

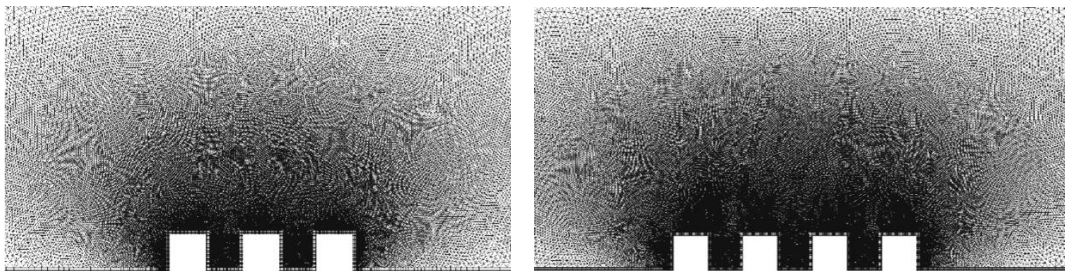
4.1.3. Çok binalı durumlarda A ve B kaynaklarından gerçekleşen emisyon dağılımı

Üçüncü ve dördüncü binaların da olduğu cadde kanyonları modelinde referans durumunda belirtilen I ve II numaralı binaların oluşturduğu kanyon içinde yer alan A ve B kaynağından serbest bırakılan emisyonların kanyon içerisinde dağılımı ve bina sayısının artmasının etkisi incelenmiştir. Buna göre, oluşturulan cadde kanyonu modeli Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



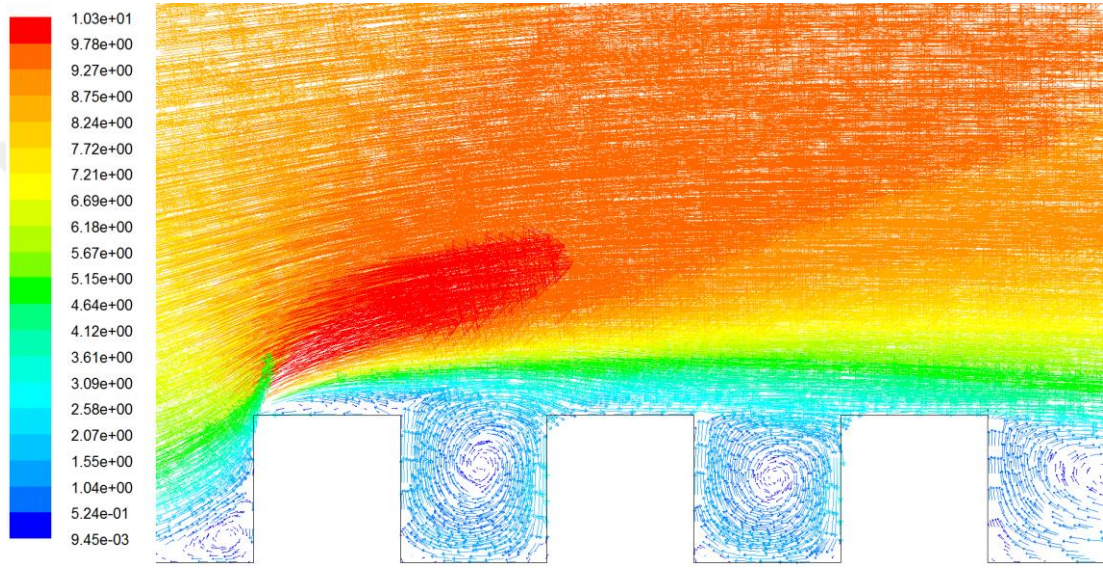
Şekil 4.10. Üçüncü ve dördüncü binaların eklenmesiyle oluşan kanyon modeli

Şekil 4.11'de üç ve dört binalı model için oluşturulan grid yapısı gösterilmiştir. Gridler süreksizlik içeren bina bloklarının bulunduğu konumlarda yoğunlaştırılmıştır.

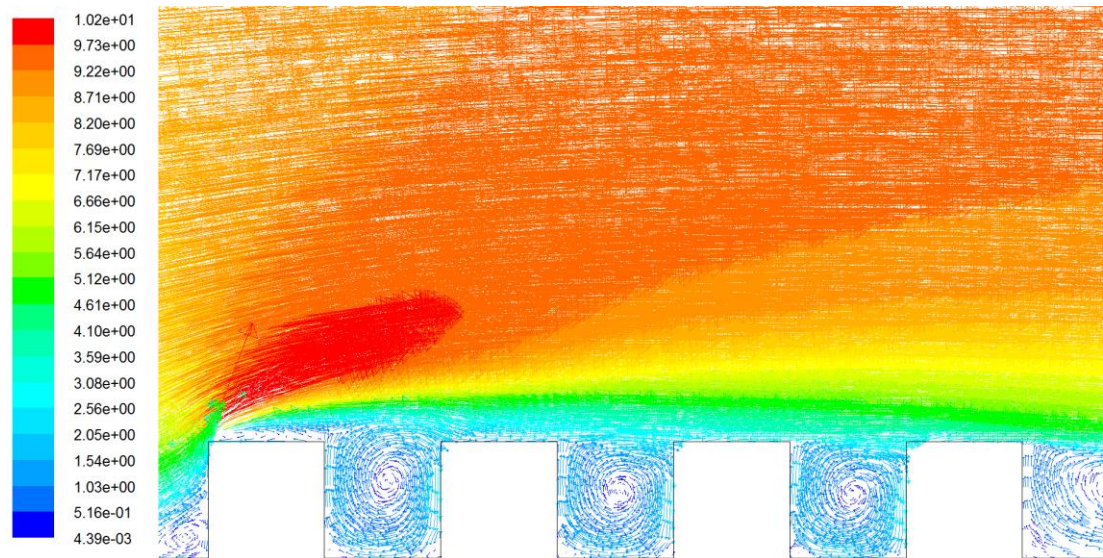


Şekil 4.11. Üç ve dört binalı durumlar için grid yapıları

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te üç ve dört binalı model hacmi boyunca oluşturulan hız profilleri gösterilmektedir. Model hacmi içerisinde gelişmiş akış profili sonucu 10 m/s değerine kadar çıkan hız değerleri, cadde kanyonları içerisinde çok daha düşük seviyelerde olup yaklaşık 1-2 m/sn değerlerindedir. Bina sayısının artmasıyla her kanyonda benzer sirkülasyon durumları gerçekleşmektedir. Emisyon dağılım hızı rüzgarın akış yönünü değiştiremeyecek kadar küçük olduğundan, rüzgar akış profilleri, A ve B kaynaklarından gerçekleşen her iki emisyon dağılımı durumunda da benzerdir.



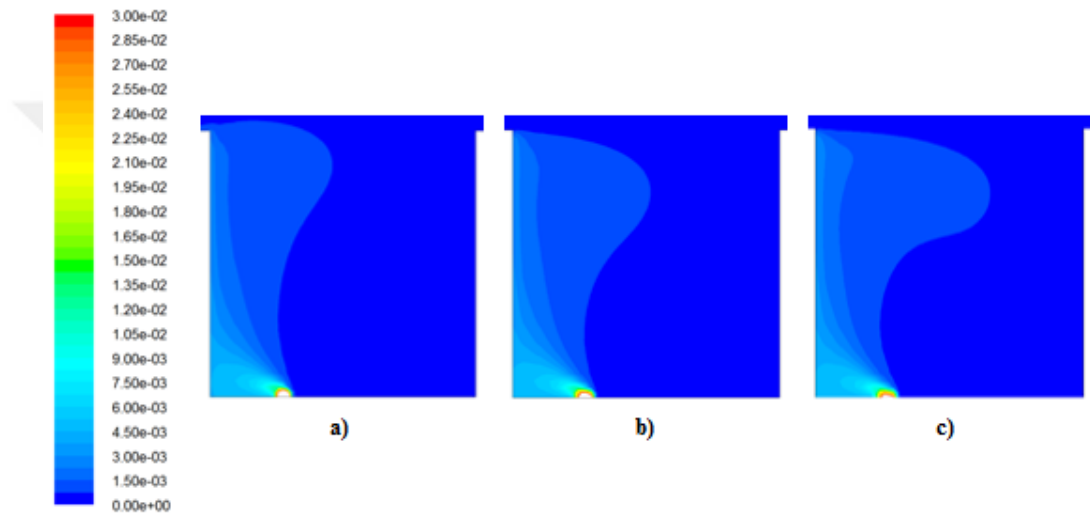
Şekil 4.12. Üç binalı durumda kanyonların civarında oluşan hız profilleri



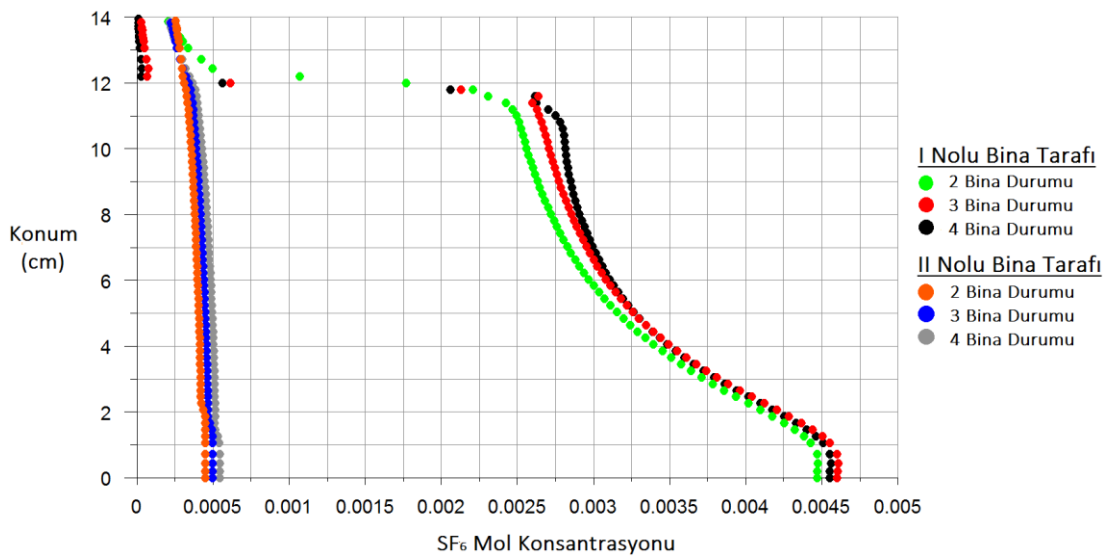
Şekil 4.13. Dört binalı durumda kanyonların civarında oluşan hız profilleri

A kaynağından gerçekleşen emisyon dağılımı:

A kaynağından salınan emisyonların cadde kanyonu içerisindeki dağılımı iki, üç ve dört binalı durumlar için Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Şekil 4.15'te görüleceği üzere A kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda bina sayısı arttıkça I nolu bina duvarının üst kesimlerinde oluşan konsantrasyon miktarı da artış göstermektedir. II nolu bina duvarında ise bina sayısının artmasıyla zemine yakın olan bölgelerde ve binaların üst kısmında bir miktar konsantrasyon artışı meydana gelmiştir.



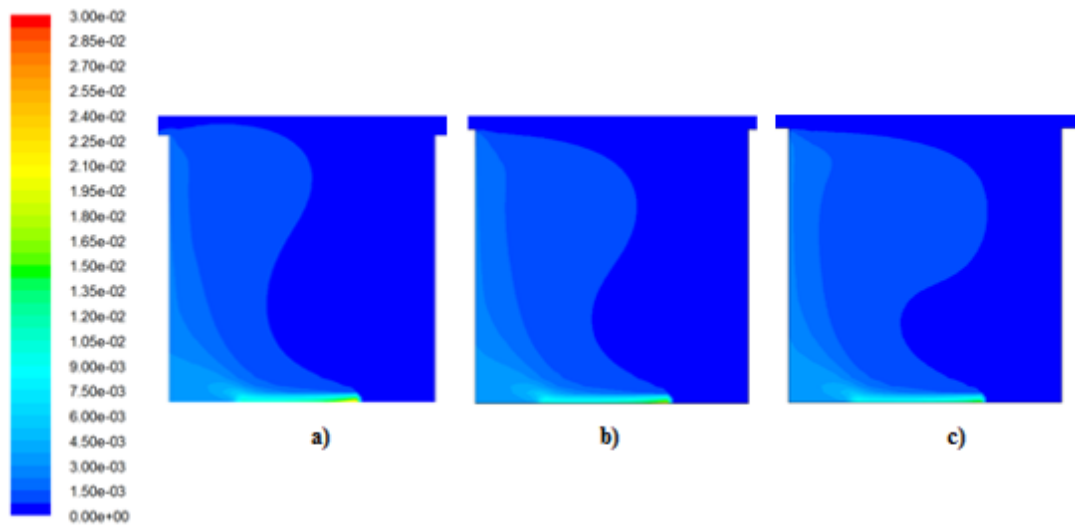
Şekil 4.14. A kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumlar (a) iki binalı durum (b) üç binalı durum (c) dört binalı durum



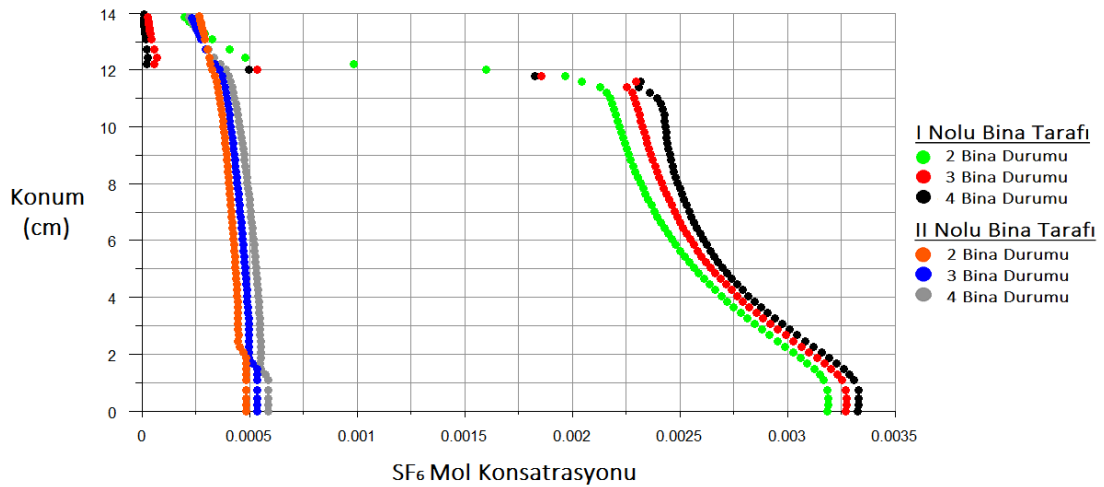
Şekil 4.15. İki, üç ve dört binalı durumlarda SF₆ mol konsantrasyonunun yükseklikle değişimi

B kaynağından gerçekleşen emisyon dağılımı:

B kaynağından salınan emisyonların cadde kanyonu içerisindeki dağılımı iki, üç ve dört binalı durumlar için Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Şekil 4.17’de görüleceği üzere B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda bina sayısı arttıkça I nolu bina duvarının zemine yakın kısımlarında artış meydana gelmiştir. Bina sayısının artmasıyla, binaların üst kısımlarında oluşan konsantrasyon miktarındaki artış daha belirgin hale gelmiştir. II nolu bina duvarında ise bina sayısının artmasıyla zemine yakın olan bölgelerde ve binaların üst kısmında bir miktar konsantrasyon artışı meydana gelmiştir.



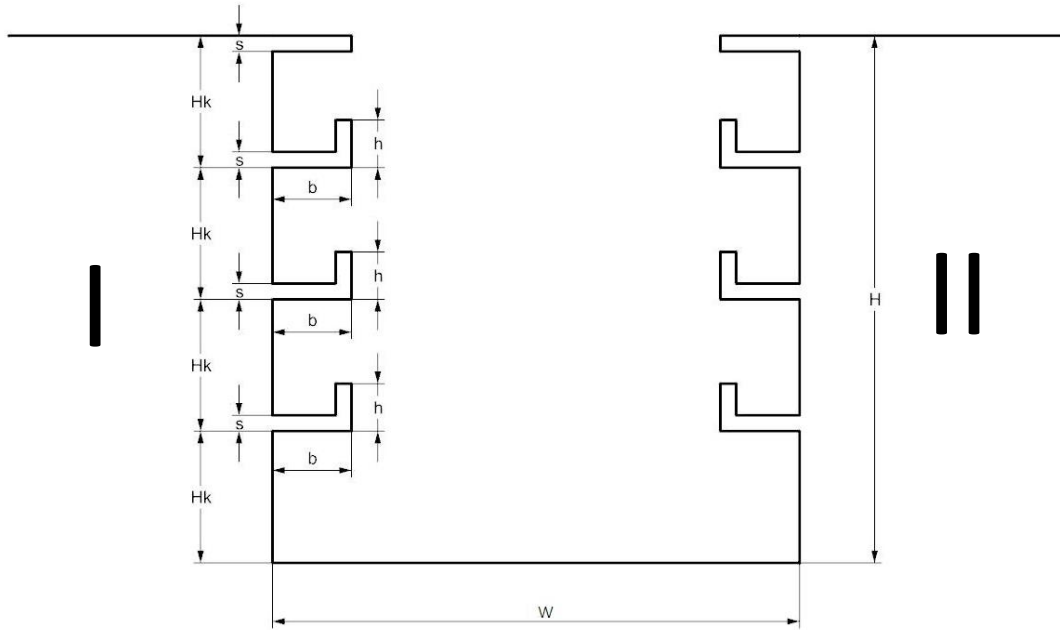
Şekil 4.16. B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumlar (a) iki binalı durum (b) üç binalı durum (c) dört binalı durum



Şekil 4.17. İki, üç ve dört binalı durumlarda SF₆ mol konsantrasyonunun yükseklikle değişimi

4.2. Sistematik Ölçülerle Oluşturulmuş Balkon Eklentilerinin Cadde Kanyonlarındaki Emisyon Dağılımına Etkisi

Cadde kanyonlarında gerçekleşen emisyon dağılımına ait deneysel sonuçlar ile numerik analiz sonuçları birbiriyle uyumlu olduğundan, bu kısımda FLUENT programı aracılığı ile farklı boyutlarda ve farklı tiplerde balkon eklentisi içeren kanyon modellerinde gerçekleşen durum, CO emisyonu kullanılarak incelenecektir. Bu çalışmalarda sistematik ölçülerde balkon yapıları modellenmiş ve balkon eklentilerinde gerçekleştirilen boyutsal değişikliklerin kanyon içerisindeki emisyon dağılımı üzerinde yarattığı etki araştırılmıştır. Çalışmanın bu kısmında balkonlu modellere ait grid yapıları, hız profilleri, kanyon içerisinde ve etrafında gerçekleşen sirkülasyonlar ve bunların emisyon dağılımına etkisi grafikler ile analiz edilmiştir. 27 farklı model kullanılarak A ve B kaynaklarından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumların incelendiği düşünülürse toplam 54 analiz gerçekleştirilmiştir. Balkon eklentilerini içeren cadde kanyonunun boyutlandırılması için kullanılan parametreler I ve II nolu binalar üzerinde Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Balkon eklentileri içeren cadde kanyonunun boyutlandırılması

$H=12$ m olan bina yüksekliği esas alınarak ölçek 1:100 olarak belirlenmiştir. $H_k=0.25H$ kat yüksekliği, $s=0.015H$ balkon zemin kalınlığı her durumda sabit tutulmuştur. s kalınlığı H_k yüksekliğine dahil edilmiştir. b , balkon genişliği $0.1H$, $0.125H$, $0.15H$ olacak şekilde seçilmiştir. h , balkon yüksekliği $0H$, $0.05H$ ve $0.1H$

olarak belirlenmiştir. W , kanyon genişliği ise $0.75H$, $1H$, $1.25H$ durumları için incelenmiştir. Modellemesi gerçekleştirilen kanyona ve balkon tiplerine ait boyutlandırma verileri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Balkon yüksekliği h , balkonların ön kısmında bulunan ve korkuluk olarak adlandırılan eklentiyi ifade etmektedir. Bu değer $h=0$ cm olduğu durumda balkon korkuluksuz kabul edilmiştir. $h=0.6$ cm durumunda yarı korkuluklu, $h=1.2$ cm durumunda ise tam korkuluklu olarak ifade edilebilir.

Çizelge 4.3. Numerik modellemesi gerçekleştirilen kanyon ve balkon tipleri

KORKULUKSUZ		YARI KORKULUKLU		TAM KORKULUKLU	
NO	Model	NO	Model	NO	Model
1	W= 9 cm, h=0 cm, b=1.2 cm	10	W= 9 cm, h=0.6 cm, b=1.2 cm	19	W= 9 cm, h=1.2 cm, b=1.2 cm
2	W= 9 cm, h= 0 cm, b= 1.5 cm	11	W= 9 cm, h=0.6 cm, b=1.5 cm	20	W= 9 cm, h=1.2 cm, b=1.5 cm
3	W= 9 cm, h= 0 cm, b= 1.8 cm	12	W= 9 cm, h=0.6 cm, b=1.8 cm	21	W= 9 cm, h=1.2 cm, b=1.8 cm
4	W= 12 cm, h=0 cm, b=1.2 cm	13	W= 12 cm, h=0.6 cm, b=1.2 cm	22	W= 12 cm, h=1.2 cm, b=1.2 cm
5	W= 12 cm, h=0 cm, b=1.5 cm	14	W= 12 cm, h=0.6 cm, b=1.5 cm	23	W= 12 cm, h=1.2 cm, b=1.5 cm
6	W= 12 cm, h=0 cm, b=1.8 cm	15	W= 12 cm, h=0.6 cm, b=1.8 cm	24	W= 12 cm, h=1.2 cm, b=1.8 cm
7	W= 15 cm, h=0 cm, b=1.2 cm	16	W= 15 cm, h=0.6 cm, b=1.2 cm	25	W= 15 cm, h=1.2 cm, b=1.2 cm
8	W= 15 cm, h=0 cm, b=1.5 cm	17	W= 15 cm, h=0.6 cm, b=1.5 cm	26	W= 15 cm, h=1.2 cm, b=1.5 cm
9	W= 15 cm, h=0 cm, b=1.8 cm	18	W= 15 cm, h=0.6 cm, b=1.8 cm	27	W= 15 cm, h=1.2 cm, b=1.8 cm

Çalışmada standart $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmış ve yakınsaklık kriteri 10^{-6} olarak belirlenmiştir. Kastner-Klein ve Plate (1999)'in deneysel çalışmasında

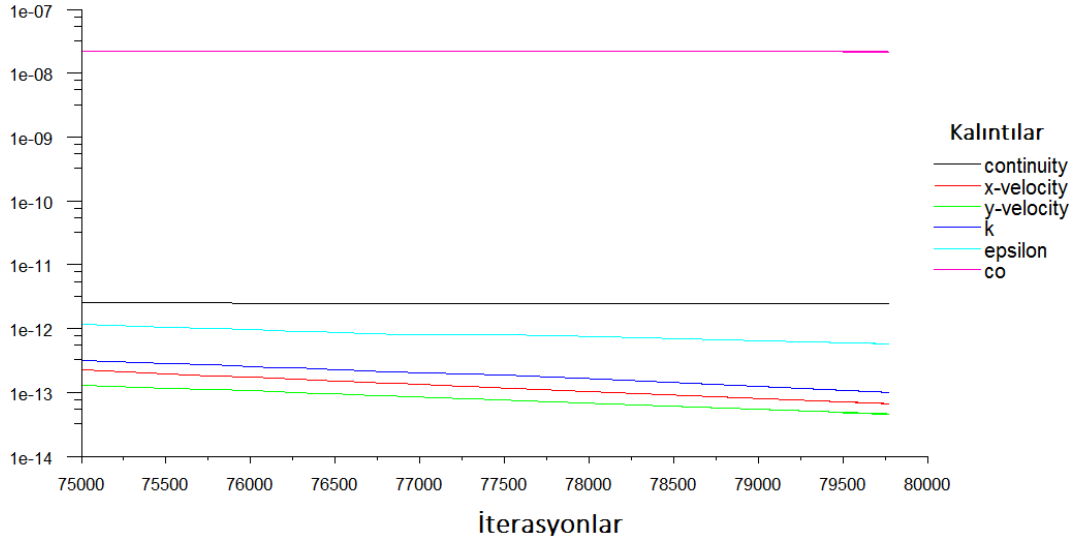
belirlenen 212 l/h hacimsel debi değeri kullanılarak CO kütleli debisi 0.0000465 kg/s olarak hesaplanmıştır. Analiz esnasında CO emisyonundan kaynaklanan kütleli debi değışikliği dışındaki tüm sınır şartlar literatürde uygunluğu incelenen cadde kanyonu modeli ile aynı kabul edilmiştir. Yalnızca rüzgar tünelinin üst kısmı balkonlu cadde kanyonlarında atmosfere açık olarak modellendiğinden *Wall* sınır şartı yerine *Symmetry* olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışmaların tamamında gelişmiş hız profilleri kullanılmıştır.

Çözüm ağını oluşturan mesh sayıları model numaralarına göre Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Balkon eklentili modellere göre çözüm ağını oluşturan mesh sayıları

KORKULUKSUZ		YARI KORKULUKLU		TAM KORKULUKLU	
NO	Mesh Sayısı	NO	Mesh Sayısı	NO	Mesh Sayısı
1	395.282	10	407.344	19	426.974
2	409.144	11	420.266	20	455.423
3	421.240	12	430.998	21	447.694
4	413.981	13	426.467	22	443.897
5	427.839	14	440.049	23	455.423
6	441.537	15	450.919	24	470.037
7	433.872	16	445.176	25	443.897
8	445.770	17	458.286	26	455.423
9	461.078	18	471.094	27	470.037

Tüm modeller için iterasyonlar 10^{-6} yakınsaklık kriteri sağlanana kadar devam ettirilmiştir. Şekil 4.19'da gösterilen kalıntıların iterasyonla değışimine ait sonuçlar tüm modeller için benzerdir.



Şekil 4.19. Kalıntıların iterasyonla değişimi

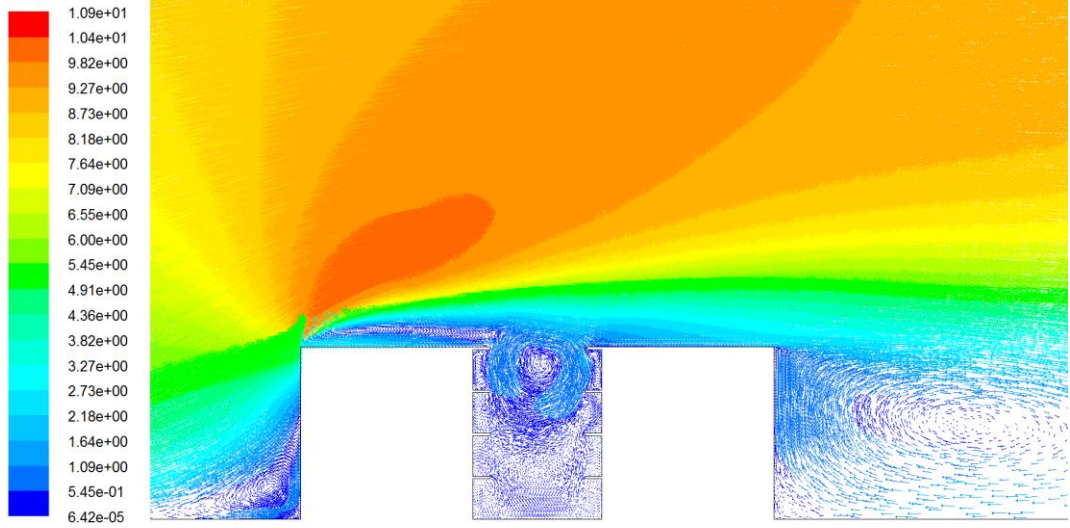
4.2.1. Korkuluksuz balkon eklentisi içeren cadde kanyonu modelleri

$h=0$ cm koşulu altında kanyon genişliği sırasıyla $W=9$ cm, 12 cm ve 15 cm; balkon genişliği ise sırasıyla $b=1.2$ cm, 1.5 cm ve 1.8 cm olacak şekilde belirlenerek A ve B emisyon kaynaklarından gerçekleşen emisyon dağılımı incelenmiştir.

A kaynağı için $W=9$ cm, $h=0$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumu:

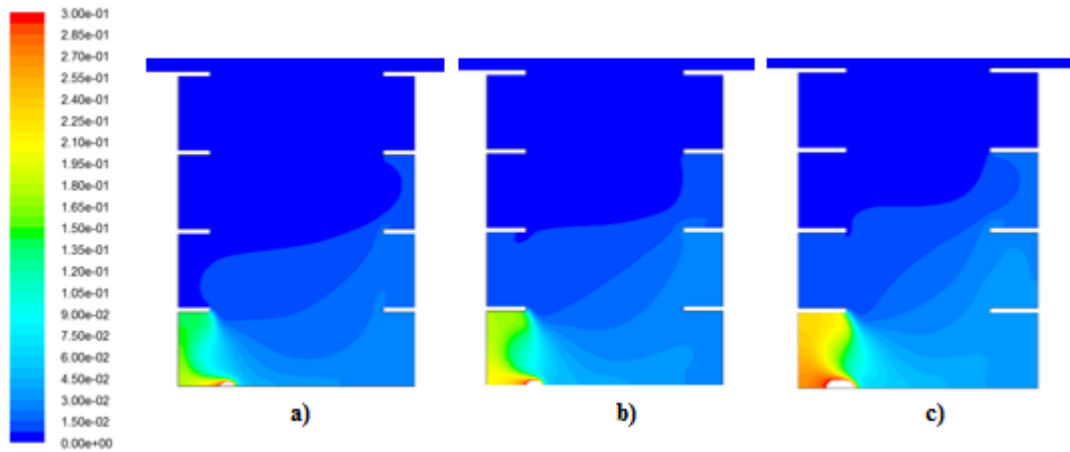
Çizelge 4.3'te belirtilen 1, 2 ve 3 nolu modeller için elde edilen sonuçlar ile emisyon dağılımını ve hız profilini gösteren grafikler belirlenmiş ve kanyon içerisinde oluşan sirkülasyon incelenmiştir.

Şekil 4.20'de $W=9$ cm, $h=0$ cm ve $b=1.2$ cm için hız dağılımları gösterilmektedir. Buna göre I nolu bina öncesinde ve üzerinde girdaplar oluşmaktadır. I nolu bina üzerinden devam eden akışın bir kısmı kanyon içerisine yönelirken bir kısmı da II nolu bina arkasında sirkülasyon bölgesi oluşumunda yer almaktadır. Genel olarak $W=9$ cm ve $h=0$ cm koşulları altında $b=1.2$, 1.5 ve 1.8 cm için kanyon civarında benzer hız dağılımları elde edilmiş olup, bu durumlar için kanyon civarında hız dağılımları ayrıca gösterilmemiştir.



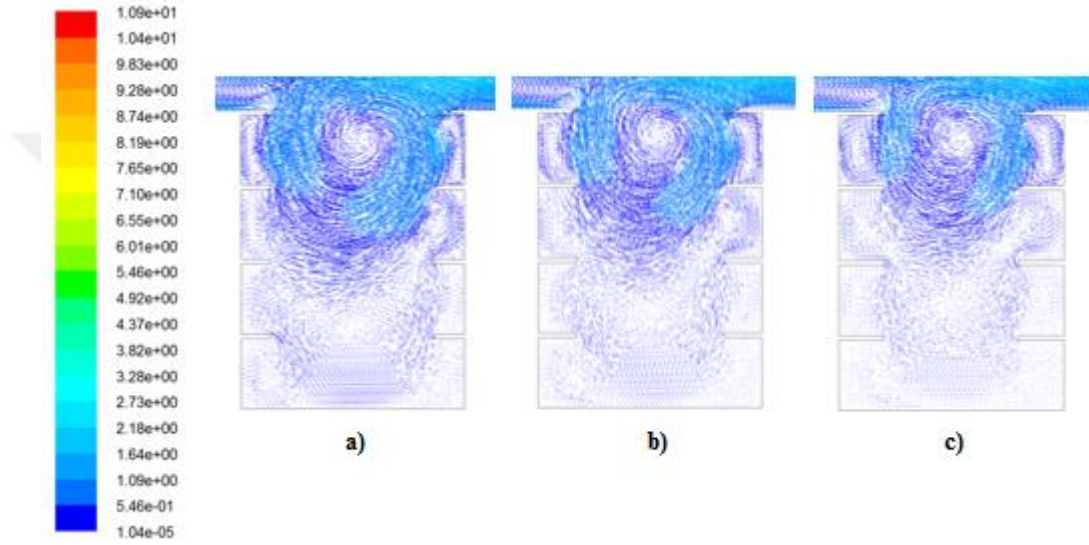
Şekil 4.20. $W=9$ cm, $h=0$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı

Şekil 4.21’de kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Balkon genişliğinin artmasıyla zemindeki emisyon miktarının arttığı gözlenmiştir. Balkon genişliğinin artması, emisyonların kanyonun üst bölgelerine doğru dağılımını zorlaştırmıştır. Emisyonlar rüzgar tarafından bina duvarında ilk balkon eklentisi ile karşılaştıktan sonra rüzgara karşı taraftaki binaya yönelmiş ve sonrasında her iki duvar yüksekliği boyunca azalarak devam etmiştir. İlk balkon seviyesine kadar CO konsantrasyonu yoğunluğu rüzgar tarafında yer alan bina duvarında daha fazlayken yükseklik arttıkça ilk balkon eklentisinin etkisi sebebiyle CO konsantrasyonu yoğunluğu, rüzgara karşı tarafta yer alan bina duvarında daha fazla hale gelmiştir.



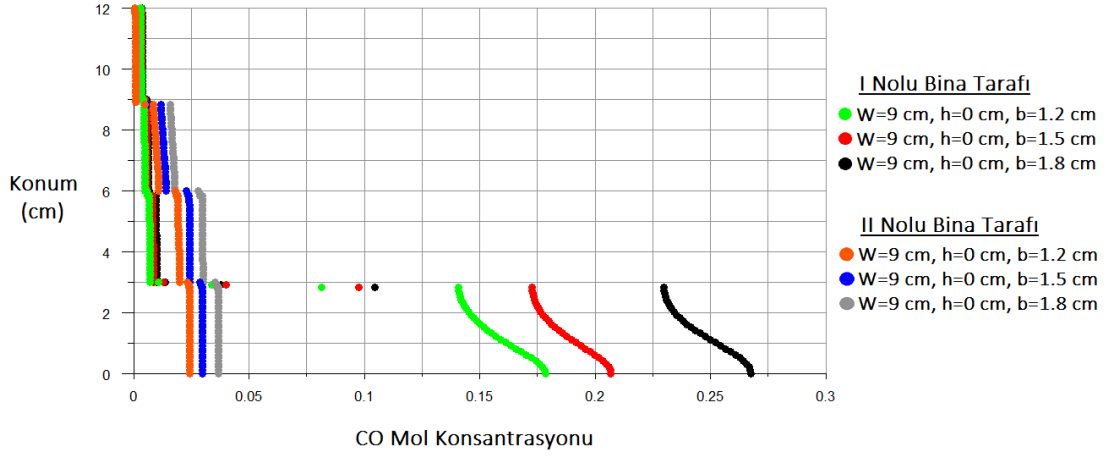
Şekil 4.21. $W=9$ cm ve $h=0$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Şekil 4.22’de gösterilen üç farklı genişlikte balkon eklentisi içeren kanyonda oluşan sirkülasyon, kanyon bölgesinin ilerleyen çalışmalara göre daha dar olmasından dolayı binaların orta kısmından daha yukarıda oluşmuştur ve artan balkon genişliği ile sirkülasyon bölgesi nispeten daha üst kısımlara çıkmıştır. Balkon eklentilerinin yaratmış olduğu sebeplerden dolayı özellikle kanyon içerisinde oluşan sirkülasyon bölgesi hizasında yer alan balkon içlerinde belirgin girdapların oluştuğu gözlenmiştir. Zemine doğru yaklaştıkça sirkülasyon etkisi azalmış fakat zayıf da olsa yeni bir sirkülasyon bölgesinin oluşmaya başladığı tespit edilmiştir.



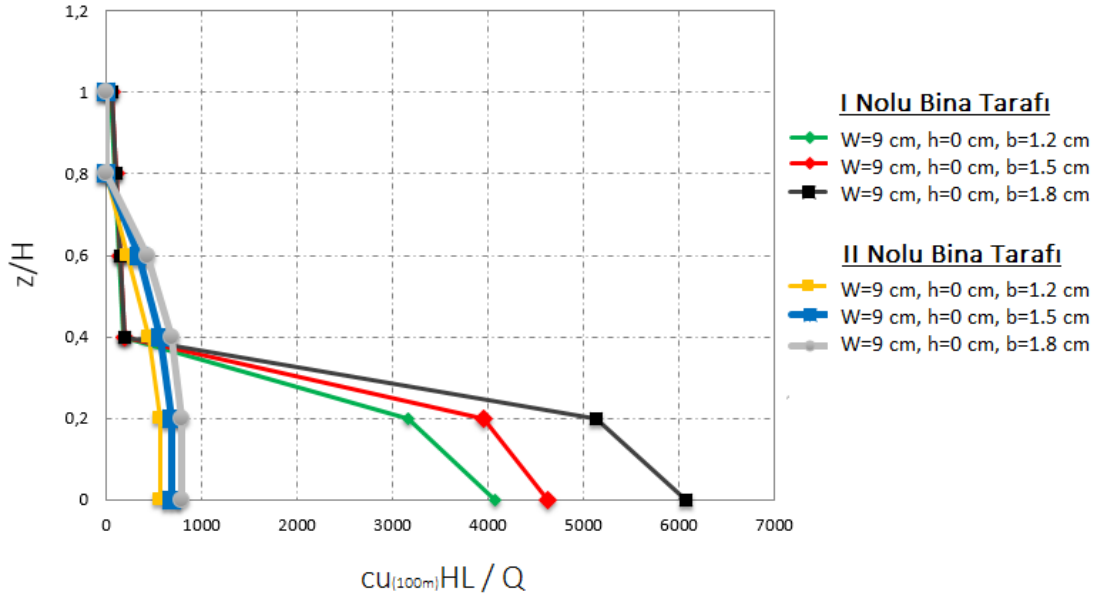
Şekil 4.22. W=9 cm ve h=0 cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm

Emisyon dağılımlarından yola çıkılarak FLUENT üzerinde son işlem aşamasında elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.23’te gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere CO konsantrasyonu ilk balkon seviyesine kadar I nolu bina duvarında yoğunlaşmış fakat yüksekliğin artmasıyla II nolu bina duvarında daha yoğun hale gelmiştir.



Şekil 4.23. W=9 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimini gösteren grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Bunun için c_uHL/Q ifadesinde c yerine Şekil 4.23'te elde edilen konsantrasyon değerleri yazılmıştır. Bu sayede emisyon miktarının hangi konumda yoğunluk gösterdiği net bir şekilde ifade edilmiştir. Şekil 4.24'te boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

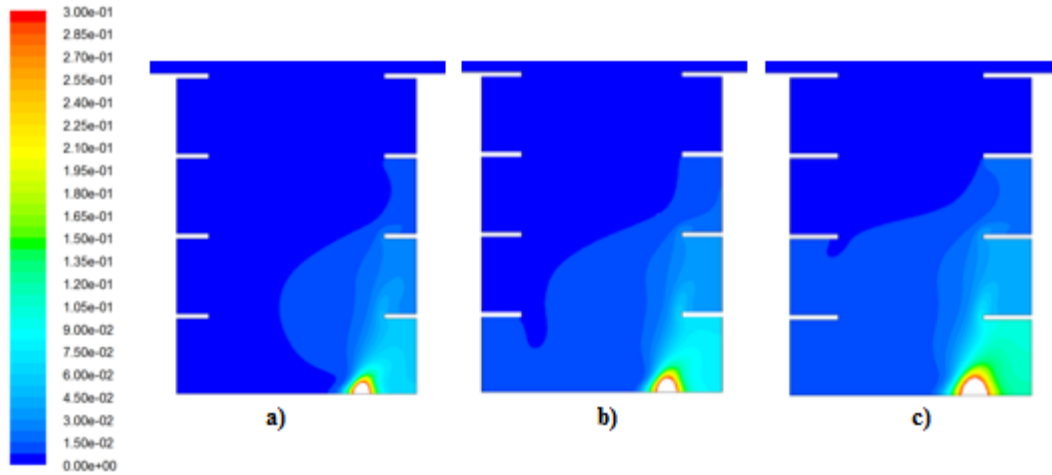


Şekil 4.24. W=9 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

B kaynağı için $W=9$ cm, $h=0$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumu:

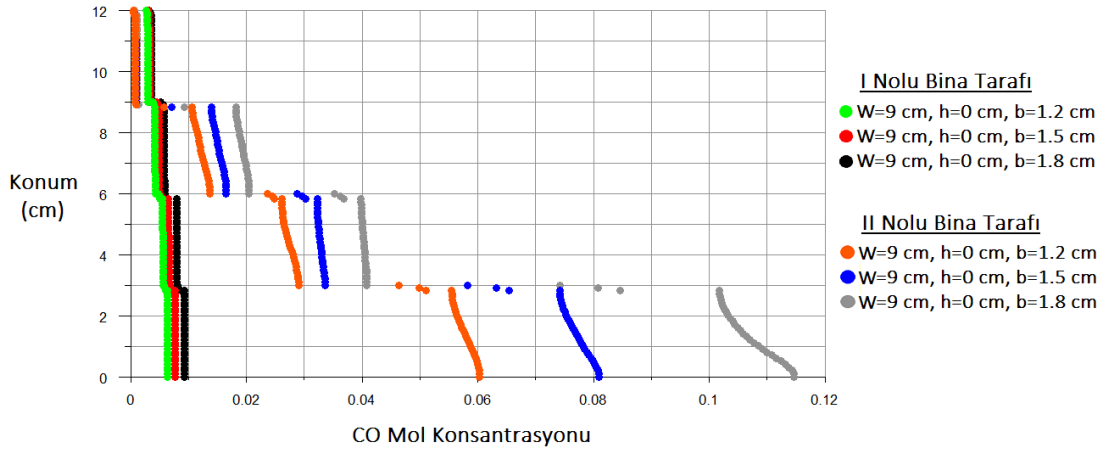
B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumlarda elde edilen hız dağılım grafiği Şekil 4.20’de gösterilen hız dağılımı ile benzerdir. Emisyonların kanyon içerisinde sahip olduğu hız, rüzgar akışının yönüne etki etmemektedir.

Şekil 4.25’te kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Buna göre, balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı gözlenmiştir. Rüzgar akışı, rüzgara karşı yönde bulunan bina tarafından rüzgar tarafında yer alan binaya doğru olmasına rağmen kanyon merkezinde oluşan girdap etkisinin kanyon zeminine kadar ulaşamaması ve kanyonun sağ alt köşesinde, II nolu bina duvarının zemine yakın kısmında oluşan zayıf girdap nedeniyle emisyon dağılımı II nolu bina tarafına doğru yoğunlaşmıştır. Balkon genişliğinin artması ile CO emisyonları yukarı doğru çıkmakta zorlandığından ilk balkon seviyesinden sonra rüzgar tarafında bulunan bina tarafına doğru dağılıma eğilimi göstermiştir fakat yine de rüzgara karşı yönde bulunan bina duvarında daha yoğun şekilde bulunmaktadır.



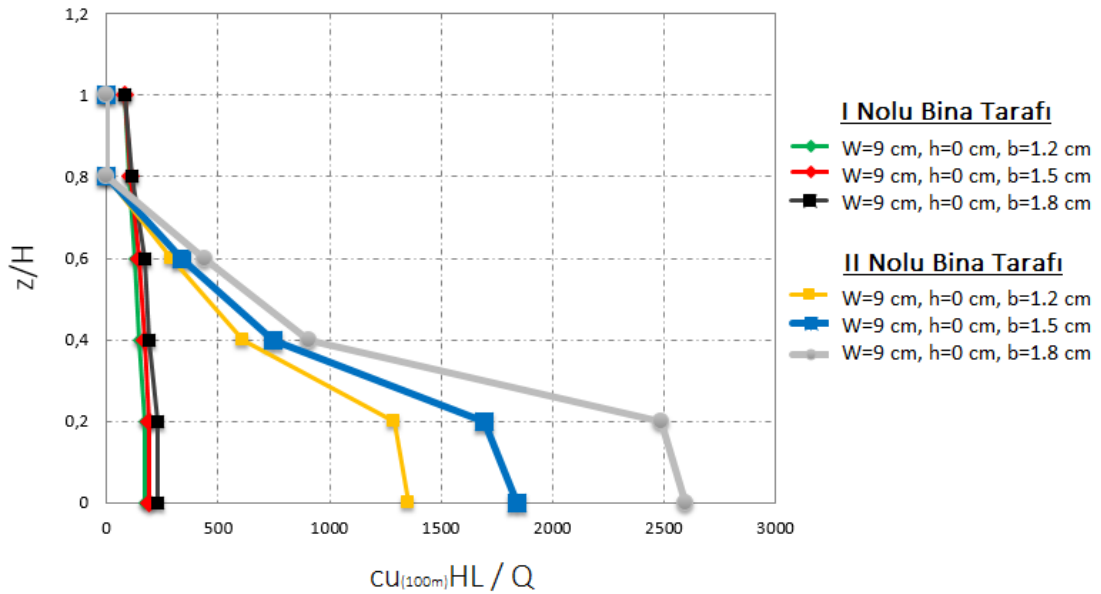
Şekil 4.25. $W=9$ cm ve $h=0$ cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Emisyon dağılımlarından yola çıkılarak elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere emisyonlar II nolu bina tarafında yoğunlaşmış ve yüksekliğin artmasıyla konsantrasyon miktarı azalmıştır. Üçüncü balkon seviyesinden sonra konsantrasyon miktarları her iki duvarda da yaklaşık olarak aynı seviyeye gelmiştir.



Şekil 4.26. W=9 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.26'da gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.27'de boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

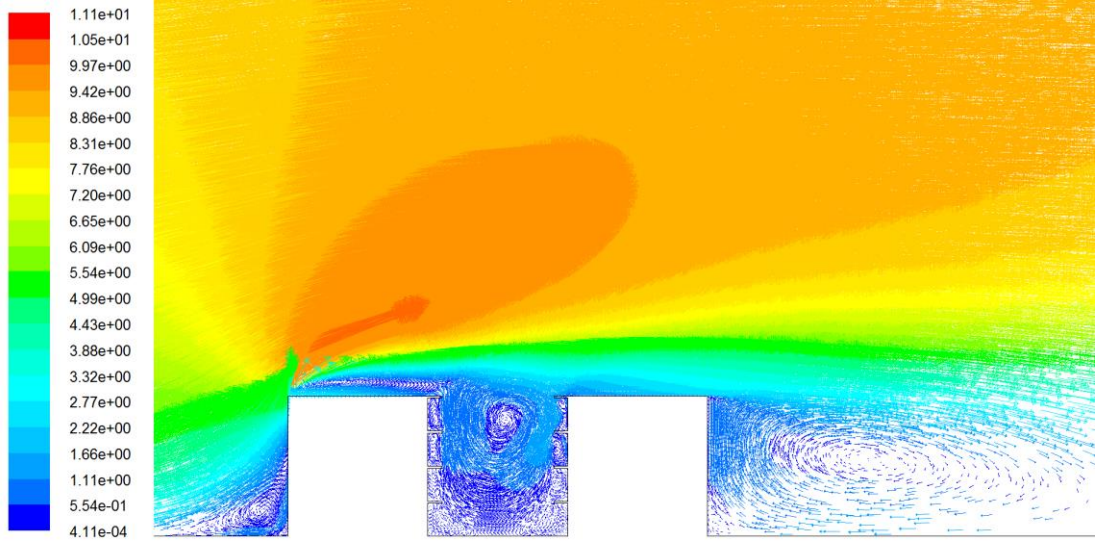


Şekil 4.27. W= 9 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

A kaynağı için W=12 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu:

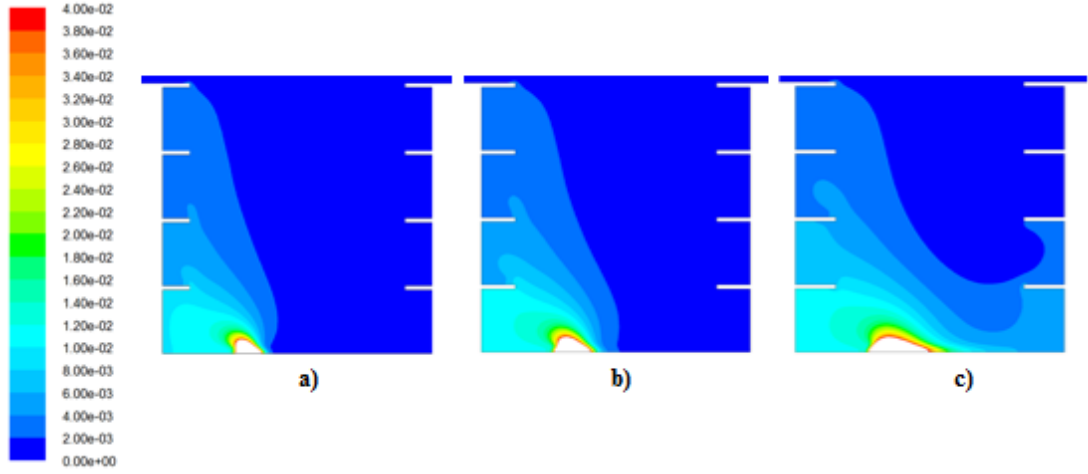
Çizelge 4.3'te belirtilen 4, 5 ve 6 nolu modeller için elde edilen sonuçlar ile emisyon dağılımını ve hız profilini gösteren grafikler belirlenmiş ve kanyon içerisinde oluşan sirkülasyon incelenmiştir.

Şekil 4.28’de $W=12$ cm, $h=0$ cm ve $b=1.2$ cm için hız dağılımları gösterilmektedir. I nolu bina üzerinden devam eden akışın bir kısmı kanyon içerisine yönelirken bir kısmı da II nolu bina arkasında sirkülasyon bölgesi oluşumunda yer almaktadır. Genel olarak $W=12$ cm ve $h=0$ cm koşulları altında $b=1.2$, 1.5 ve 1.8 cm için kanyon civarında benzer hız dağılımları elde edilmiş olup, bu durumlar için kanyon civarında hız dağılımları ayrıca gösterilmemiştir.



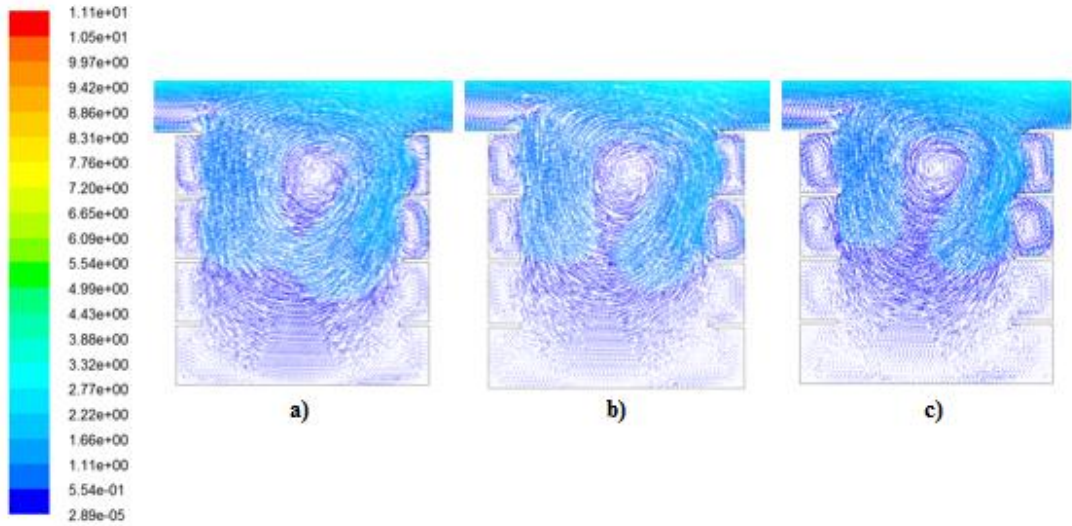
Şekil 4.28. $W=12$ cm, $h=0$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonunun hız dağılımı

Şekil 4.29’da kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Buna göre, balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı gözlenmiştir. Emisyonlar rüzgar tarafından bina duvarında yükseklik boyunca azalmıştır. Emisyonlar, binanın en üst kısmında yer alan balkon eklentisi ile karşılaştıktan sonra rüzgara karşı tarafta bulunan bina duvarında $b=1.8$ cm koşulu itibarıyla artış göstermeye başlamıştır. Her iki bina duvarında da yüksekliğin artmasıyla CO konsantrasyonları azalmıştır.



Şekil 4.29. $W=12$ cm ve $h=0$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

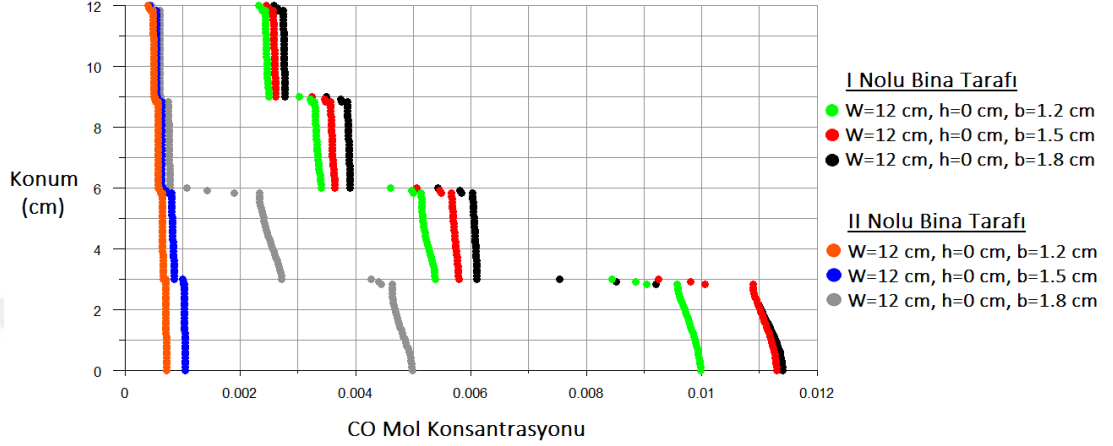
Şekil 4.30'da gösterilen üç farklı genişlikte balkon eklentisi içeren kanyonda oluşan sirkülasyonların etkisi, balkon genişliği artıkça zemine doğru azalmaktadır. Fakat girdap oluşumu 1,2 ve 3 nolu modellere göre nispeten daha belirgindir. Kanyonun zemine yakın kısmında bulunan balkon içlerinden itibaren girdap bölgeleri oluşmuştur.



Şekil 4.30. $W=12$ cm ve $h=0$ cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

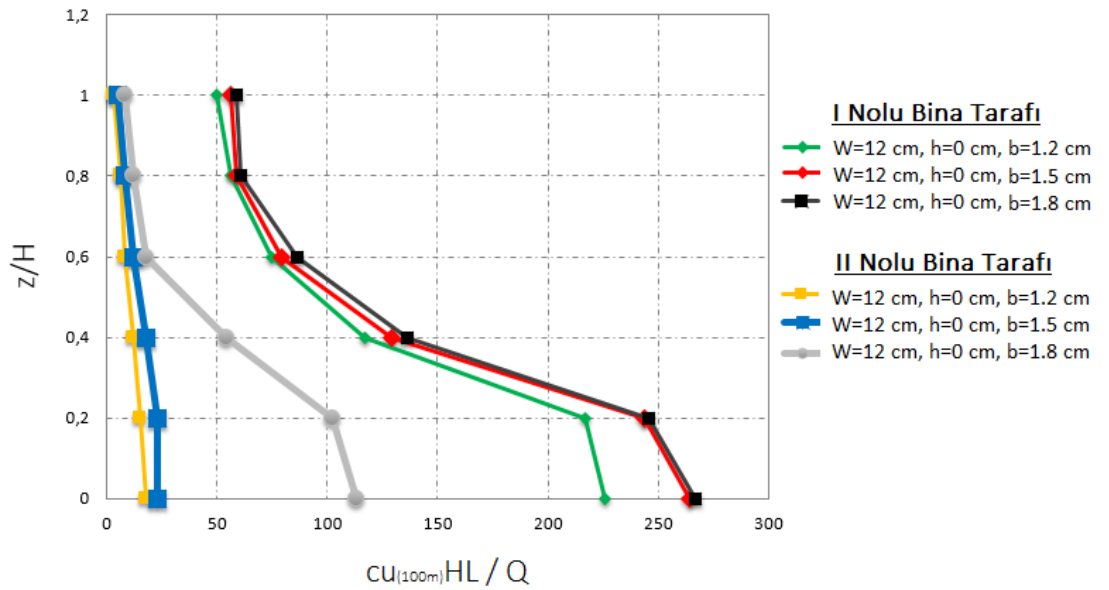
FLUENT yazılımı ile son işlem aşamasında elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere CO konsantrasyonu I nolu bina tarafında yoğunlaşmıştır. İlk balkon seviyesine kadar $b=1.5$ cm ve $b=1.8$ cm koşulunda gerçekleşen emisyon

birikimi benzer ve $b=1.2$ cm koşuluna göre daha fazladır. I nolu bina duvarında yüksekliğin artmasıyla emisyon konsantrasyonu azalmıştır. II nolu bina duvarında ise $b=1.8$ cm koşulunda ikinci balkon seviyesine kadar diğer genişlik koşullarına göre belirgin şekilde daha fazladır. Genel olarak II nolu bina duvarında da yüksekliğin artmasıyla emisyon konsantrasyonu azalmıştır.



Şekil 4.31. W=12 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.31’de gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.32’de boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

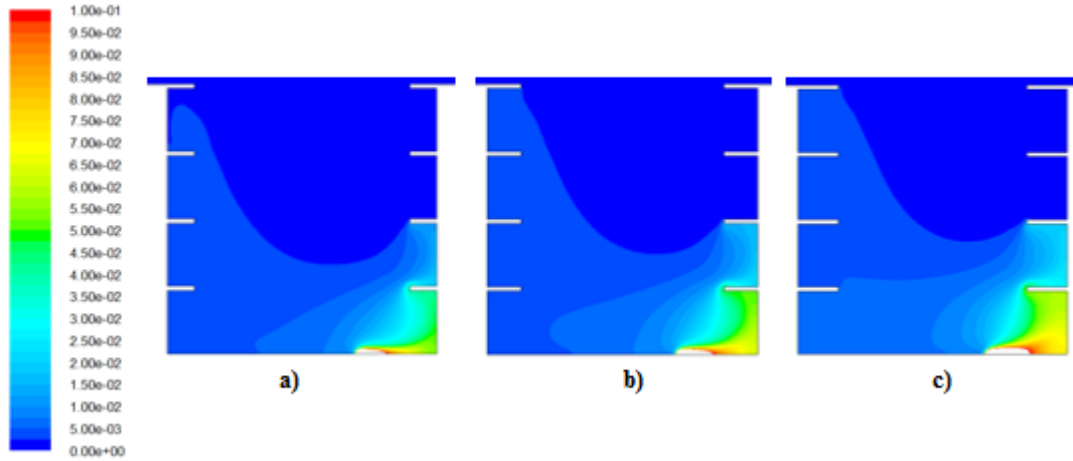


Şekil 4.32. W=12 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

B kaynağı için $W=12$ cm, $h=0$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

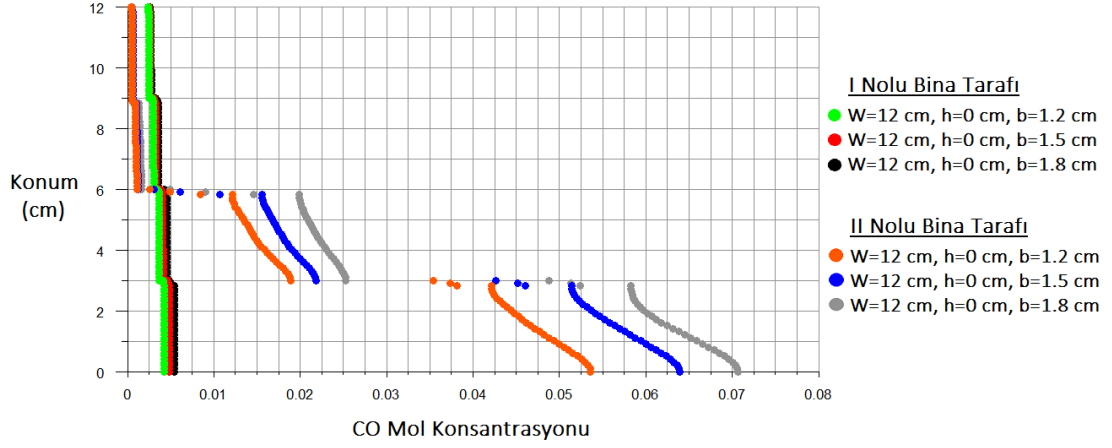
B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda elde edilen hız dağılım grafiği Şekil 4.28’de gösterilen hız dağılımı ile benzerdir.

Şekil 4.33’te kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı ve rüzgar tarafındaki bina duvarına doğru dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Aynı zamanda rüzgara karşı tarafta bulunan bina yüksekliği boyunca emisyon miktarı azalmaktadır. İkinci balkon seviyesinden sonra bu azalma miktarı daha belirgindir. Bu yüzden ikinci balkon seviyesinden sonra emisyon miktarı rüzgar tarafındaki bina duvarında daha fazladır. Rüzgar akışı, rüzgara karşı yönde bulunan bina tarafından rüzgar tarafında yer alan binaya doğru olmasına rağmen kanyon merkezinde oluşan sirkülasyon etkisinin kanyon zeminine kadar ulaşamaması ve kanyonun sağ alt köşesinde, II nolu bina duvarının zemine yakın kısmında oluşan zayıf girdap nedeniyle emisyon dağılımı II nolu bina tarafına doğru yoğunlaşmıştır. Bu bölgede oluşan sirkülasyon, B kaynağına çok yakın bir konumda bulunduğundan emisyon dağılımını etkilemektedir.



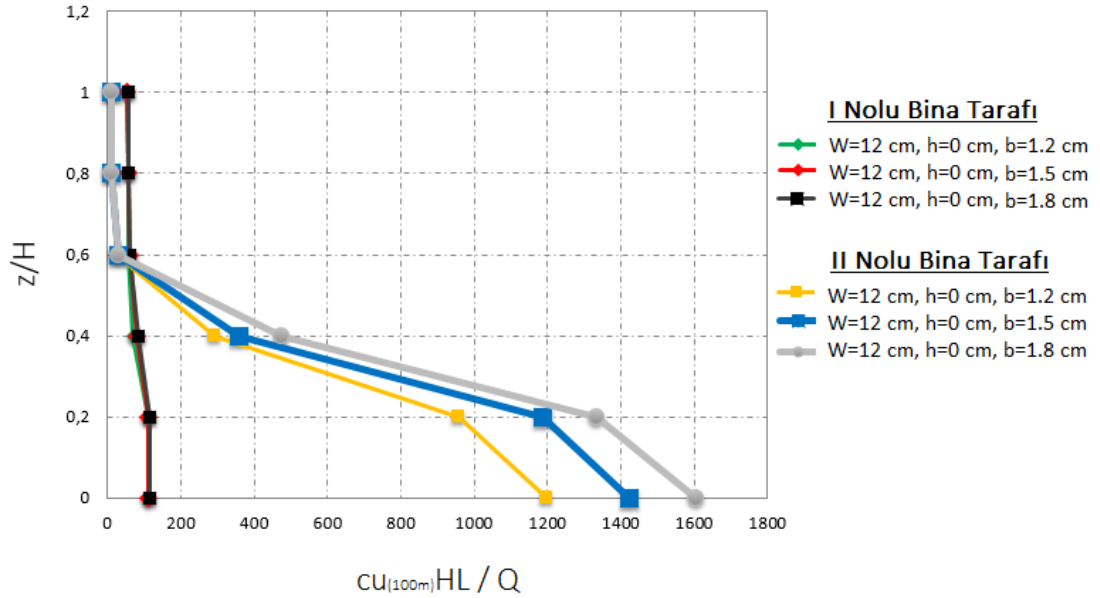
Şekil 4.33. $W=12$ cm ve $h=0$ cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.34’te gösterilmiştir. Buna göre emisyonlar ikinci balkon seviyesine kadar II nolu bina tarafında yoğunlaşmış, daha üst kısımlarda ise I nolu bina tarafında yoğunluk göstermiştir. Genel olarak yüksekliğin artmasıyla konsantrasyon miktarı azalmıştır.



Şekil 4.34. W=12 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyonu dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.34'te gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.35'te boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

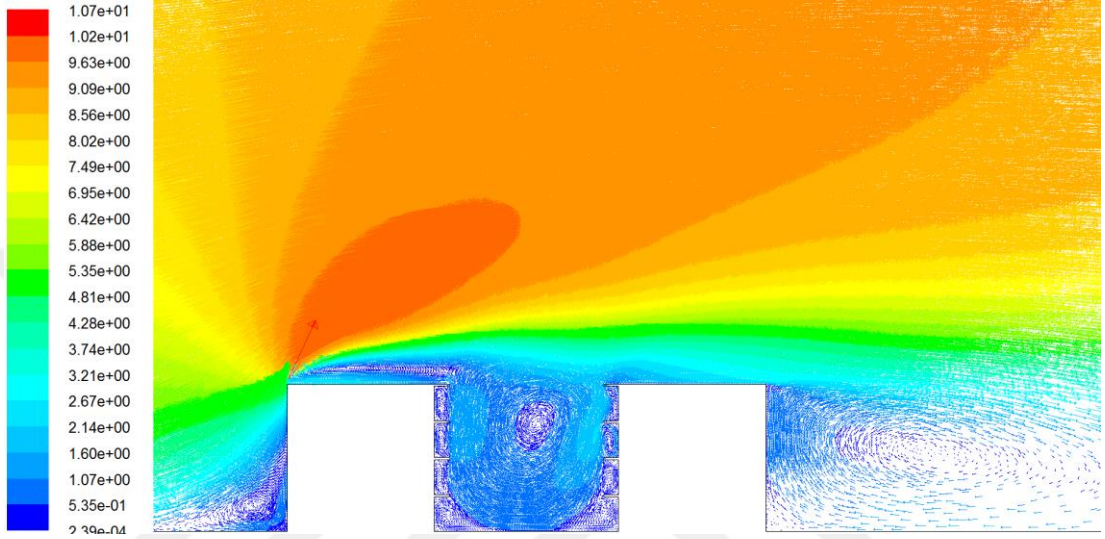


Şekil 4.35. W=12 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

A kaynağı için W=15 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu:

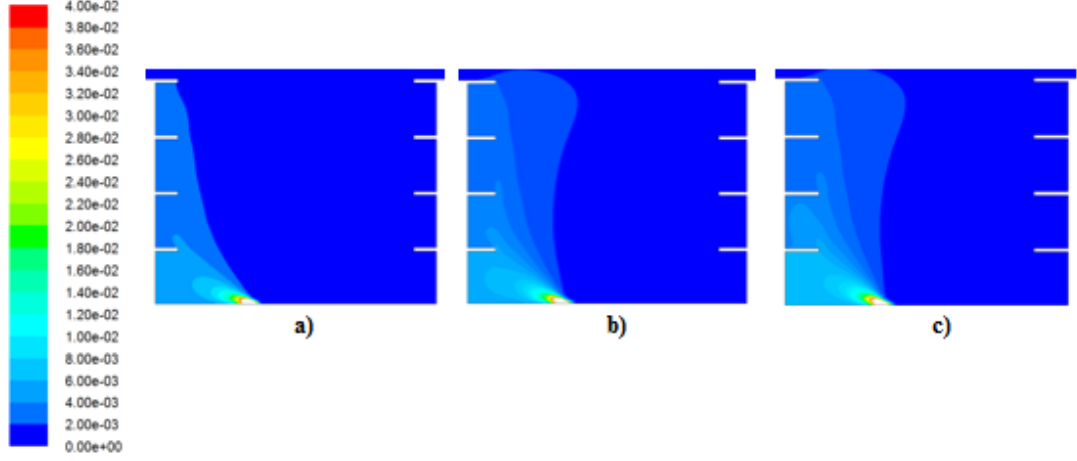
Çizelge 4.3'te belirtilen 7, 8 ve 9 nolu modeller için elde edilen sonuçlar ile emisyon dağılımını ve hız profilini gösteren grafikler belirlenmiş ve kanyon içerisinde oluşan sirkülasyonlar incelenmiştir.

Şekil 4.36'da $W=15$ cm, $h=0$ cm ve $b=1.2$ cm için hız dağılımları gösterilmektedir. I nolu bina üzerinden devam eden akışın bir kısmı kanyon içerisine yönelirken bir kısmı da II nolu bina arkasında sirkülasyon bölgesi oluşumunda yer almaktadır. Genel olarak $W=15$ cm ve $h=0$ cm koşulları altında $b=1.2$, 1.5 ve 1.8 cm için kanyon civarında benzer hız dağılımları elde edilmiş olup, bu durumlar için kanyon civarında hız dağılımları ayrıca gösterilmemiştir.



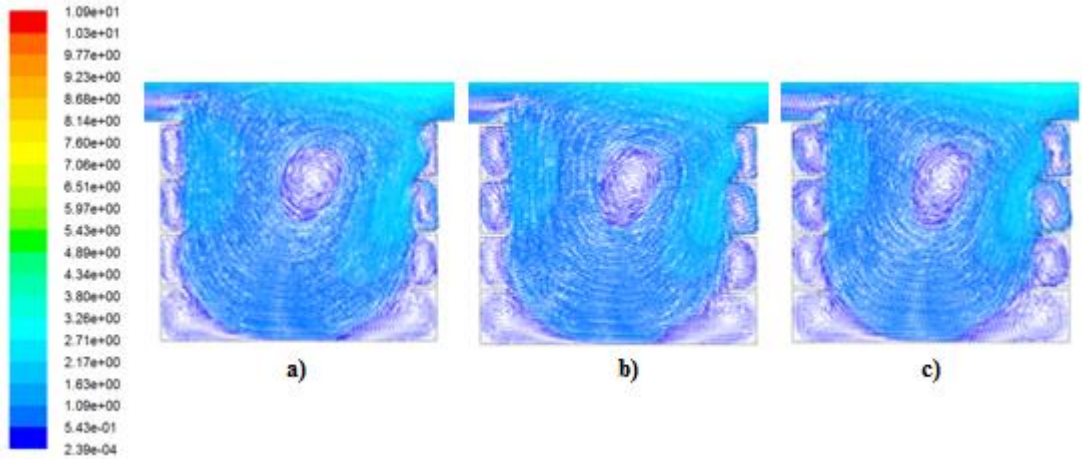
Şekil 4.36. $W=15$ cm, $h=0$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı

Şekil 4.37'de kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Emisyonlar rüzgar tarafındaki bina yönünde dağılım göstermiş ve yükseklik boyunca azalmıştır. Balkon genişliği arttıkça zeminde gerçekleşen emisyon birikmesi ise artmıştır. Korkuluksuz balkon eklentili kanyon tipi için daha önce analizi gerçekleştirilen modellere göre daha geniş bir kanyon olduğundan, emisyonların yükseklik boyunca hareketi daha kolay gerçekleşmiştir. Rüzgara karşı tarafta bulunan bina duvarı boyunca emisyon miktarı neredeyse değişmemiştir.



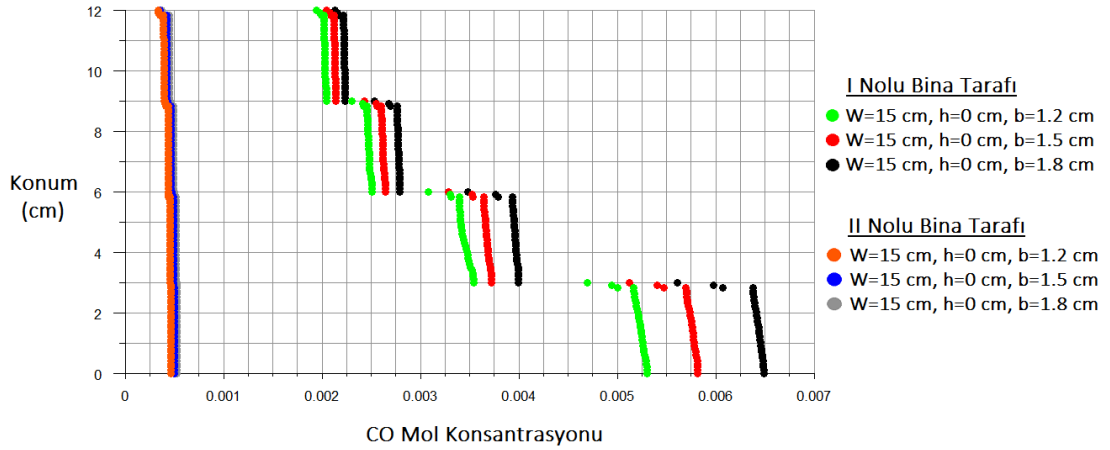
Şekil 4.37. $W=15$ cm ve $h=0$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Şekil 4.38’de gösterilen üç farklı genişlikte balkon eklentisi içeren kanyonda oluşan sirkülasyon bölgesi, korkuluksuz balkon eklentili kanyon tipi için daha önce analizi gerçekleştirilen modellerin aksine zemine kadar ulaşmıştır. Kanyonda yer alan tüm balkonların iç kısımlarında belirgin girdap bölgeleri oluşmuştur. Kanyon merkezinde oluşan sirkülasyon etkisinin zemine kadar ulaşması ve balkon içlerinde belirgin girdap bölgeleri oluşumu, kanyon genişliğinin artmasıyla açıklanabilir.



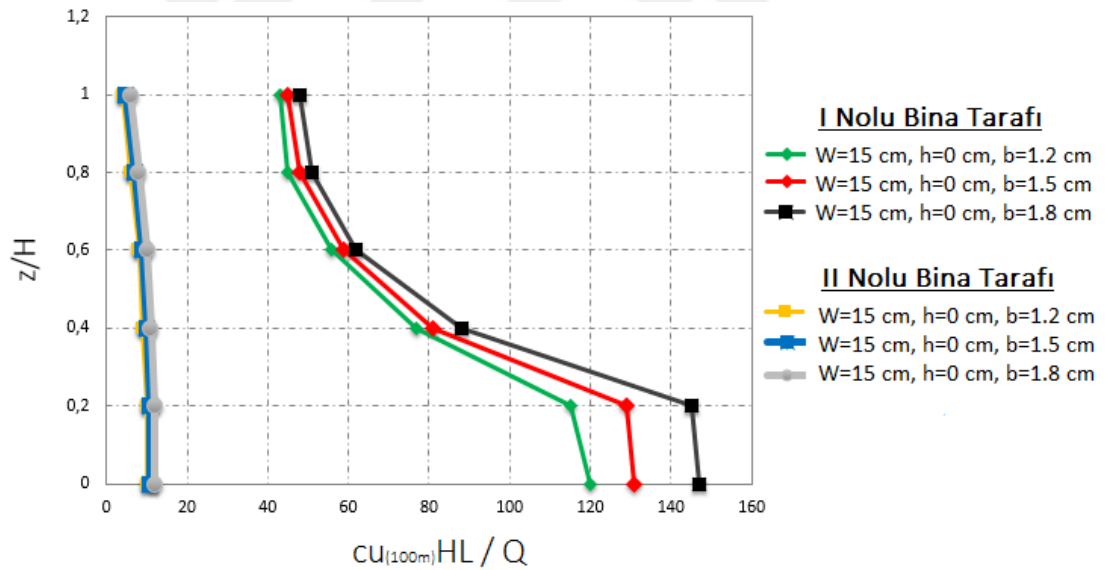
Şekil 4.38. $W=15$ cm ve $h=0$ cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

FLUENT yazılımı ile son işlem aşamasında elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.39’da gösterilmiştir. Konsantrasyonlar I nolu bina tarafında yoğunlaşmış ve bina yüksekliğiyle birlikte azalma eğilimi göstermiştir.



Şekil 4.39. W=15 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.39'da gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.40'da boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.



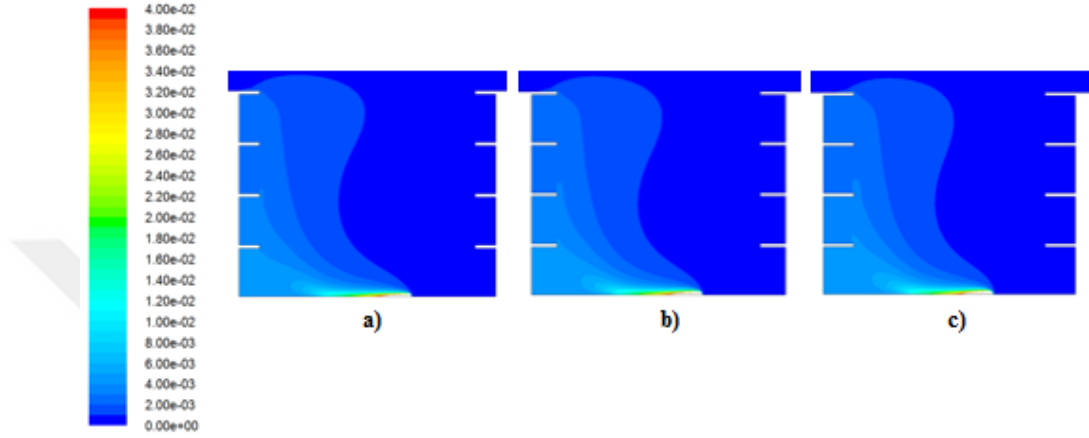
Şekil 4.40. W=15 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

B kaynağı için W=15 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda elde edilen hız dağılım grafiği Şekil 4.36'da gösterilen hız dağılımı ile benzerdir.

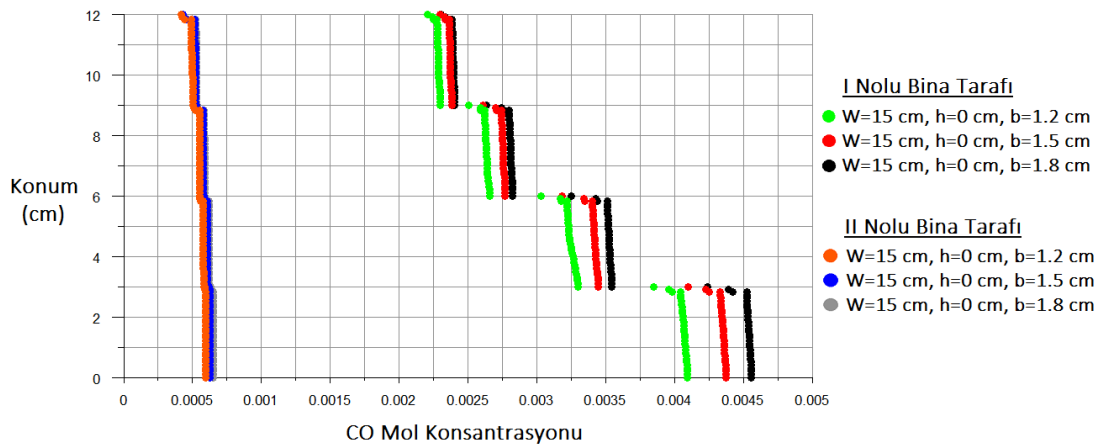
Şekil 4.41'de kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon

miktarının arttığı ve rüzgar tarafındaki bina duvarına doğru dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Korkuluksuz modeller için yapılan önceki analizlerden farklı olarak B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı bu analizde emisyon dağılımı rüzgar tarafındaki bina duvarına doğru gerçekleşmiştir. Bunun sebebi, kanyon merkezinde oluşan sirkülasyon bölgesi etkisinin kanyonun en alt bölgesine kadar ulaşması ve emisyon dağılımına yön vermesidir.



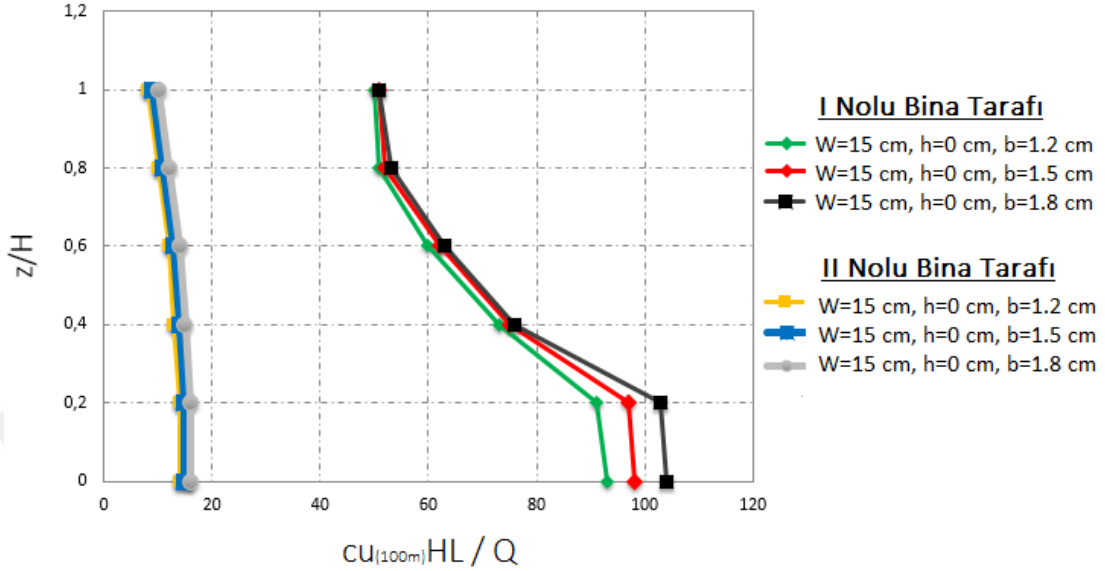
Şekil 4.41. W=15 cm ve h=0 cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm

Şekil 4.42’de görüleceği üzere rüzgar tarafında yer alan bina yüksekliği boyunca emisyon miktarı azalmaktadır. Aynı zamanda rüzgara karşı tarafta bulunan bina yüksekliği boyunca emisyon miktarı neredeyse değişmemektedir.



Şekil 4.42. W=15 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.42’te gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.43’te boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.43. W=15 cm, h=0 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

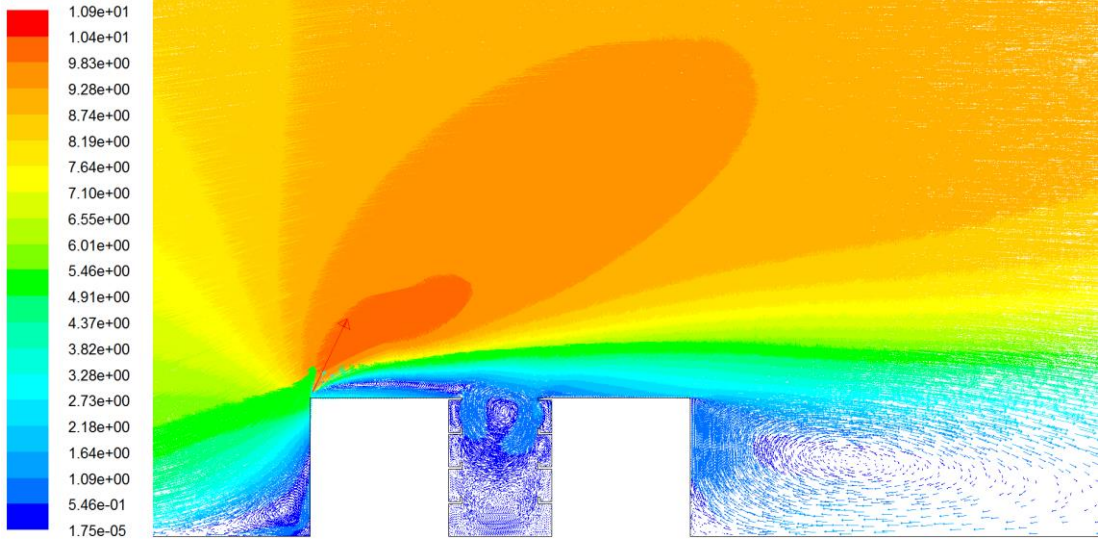
4.2.2. Yarı korkuluklu balkon eklentisi içeren cadde kanyonu modelleri

h=0.6 cm koşulu altında kanyon genişliği sırasıyla W=9 cm, 12 cm ve 15 cm; balkon genişliği ise sırasıyla b=1.2 cm, 1.5 cm ve 1.8 cm olacak şekilde belirlenerek A ve B emisyon kaynaklarından gerçekleşen emisyon dağılımı incelenmiştir.

A kaynağı için W=9 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

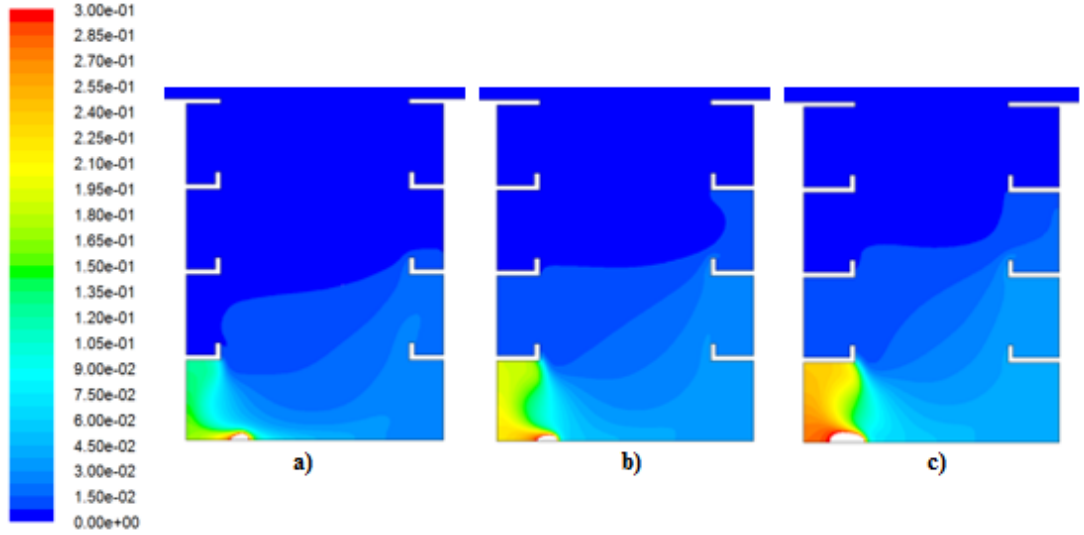
Çizelge 4.3’te belirtilen 10, 11 ve 12 nolu modeller için elde edilen sonuçlar ile emisyon dağılımını ve hız profilini gösteren grafikler belirlenmiş ve kanyon içerisinde oluşan sirkülasyon incelenmiştir.

Şekil 4.44’te W=9 cm, h=0.6 cm ve b=1.2 cm için hız dağılımları gösterilmektedir. I nolu bina üzerinden devam eden akışın bir kısmı kanyon içerisine yönelirken bir kısmı da II nolu bina arkasında sirkülasyon bölgesi oluşumunda yer almaktadır. Genel olarak W=9 cm ve h=0.6 cm koşulları altında b=1.2 , 1.5 ve 1.8 cm için kanyon civarında benzer hız dağılımları elde edilmiş olup, bu durumlar için kanyon civarında hız dağılımları ayrıca gösterilmemiştir.



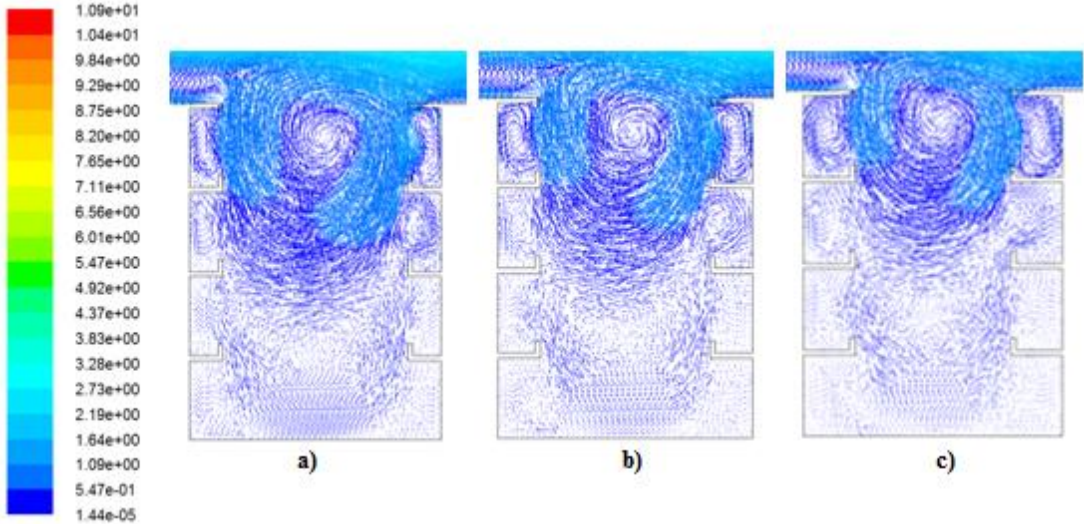
Şekil 4.44 $W=9$ cm, $h=0.6$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı

Şekil 4.45'te kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Buna göre, balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı gözlenmiştir. Balkon genişliğinin artması, emisyonların kanyonun üst bölgelerine doğru dağılımını zorlaştırmıştır. Emisyonlar rüzgar tarafındaki bina duvarında ilk balkon eklentisi ile karşılaştıktan sonra rüzgara karşı taraftaki binaya yönelmiş ve sonrasında her iki duvar yüksekliği boyunca artış devam etmiştir. İlk balkon seviyesine kadar CO konsantrasyonu yoğunluğu rüzgar tarafında yer alan bina duvarında daha fazlayken yükseklik arttıkça ilk balkon eklentisinin etkisi sebebiyle CO konsantrasyonu yoğunluğu, rüzgara karşı tarafta yer alan bina duvarında daha fazla duruma gelmiştir.



Şekil 4.45. $W=9$ cm ve $h=0.6$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

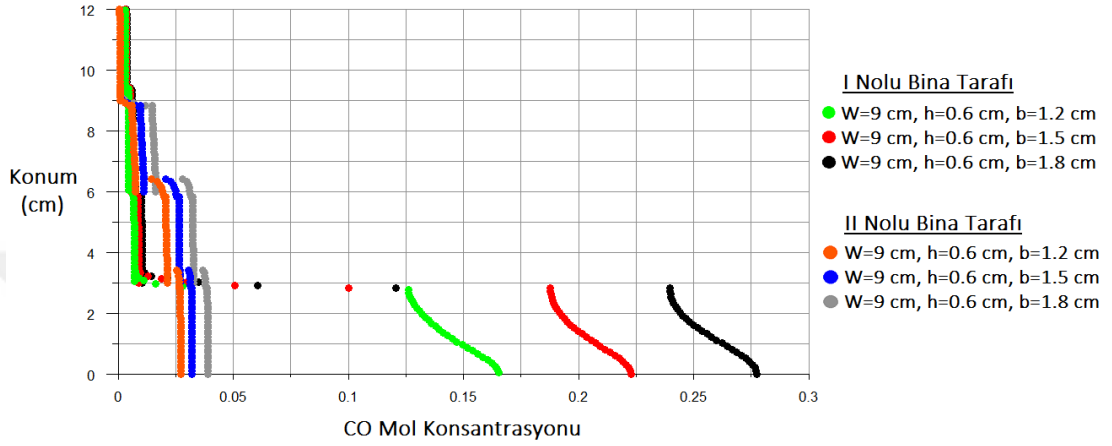
Şekil 4.46’da gösterilen üç farklı genişlikte balkon eklentisi içeren kanyonda oluşan sirkülasyon, kanyon bölgesinin dar olmasından ve balkon genişliğinin etkilerinden dolayı kanyonun üst bölgesinde oluşmuştur. Kanyon içerisinde oluşan sirkülasyon bölgesi hizasında yer alan balkon içlerinde belirgin girdapların oluştuğu gözlenmiştir. Zemine doğru yaklaştıkça sirkülasyon etkisi azalmış fakat zayıf da olsa yeni bir sirkülasyon bölgesinin oluşmaya başladığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.46. $W=9$ cm ve $h=0.6$ cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

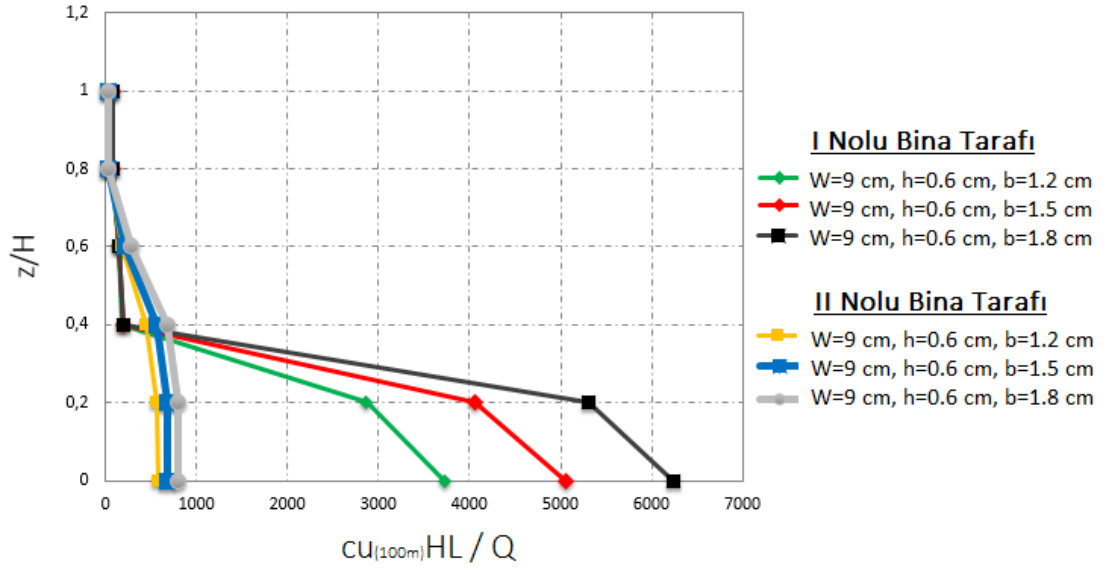
FLUENT üzerinde son işlem aşamasında elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.47’de gösterilmiştir. Grafikten

de anlaşılacağı üzere CO konsantrasyonu ilk balkon seviyesine kadar I nolu bina duvarında yoğunlaşmış fakat yüksekliğin artmasıyla II nolu bina duvarında daha yoğun hale gelmiştir. $h=0.6$ cm olarak belirlenen yarı balkon korkuluğu, aynı şartlarda gerçekleştirilen korkuluksuz analize göre $b=1.5$ cm ve $b=1.8$ cm balkon genişliği koşulları için duvarlardaki emisyon birikimini artırmış; $b=1.2$ cm için ise azaltmıştır.



Şekil 4.47. $W=9$ cm, $h=0.6$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimini gösteren grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Bunun için $cuHL/Q$ ifadesinde c yerine Şekil 4.47’de elde edilen konsantrasyon değerleri yazılmıştır. Bu sayede emisyon miktarının hangi konumda yoğunluk gösterdiği net bir şekilde ifade edilmiştir. Şekil 4.48’de boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

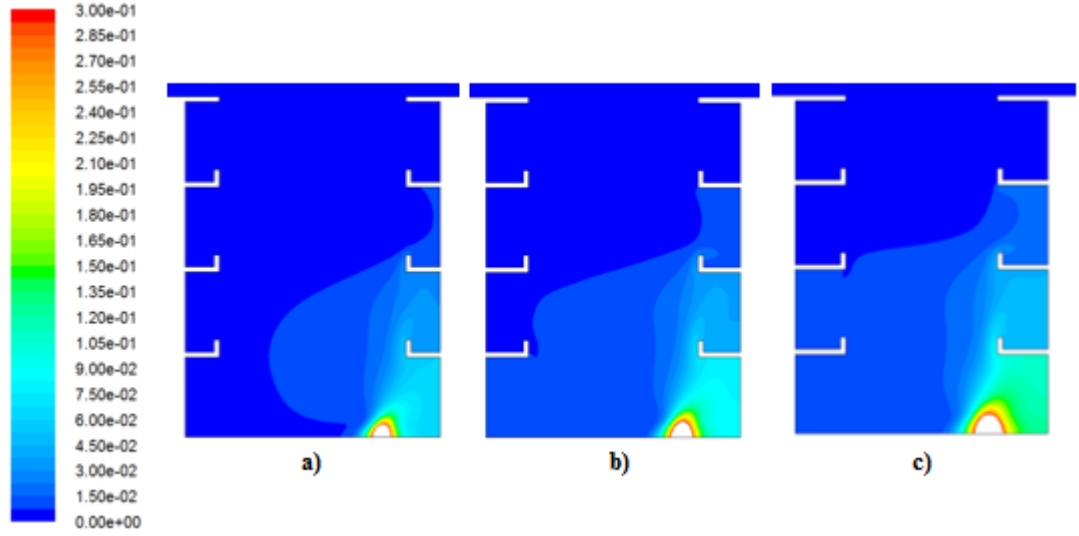


Şekil 4.48. W=9 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

B kaynağı için W=9 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

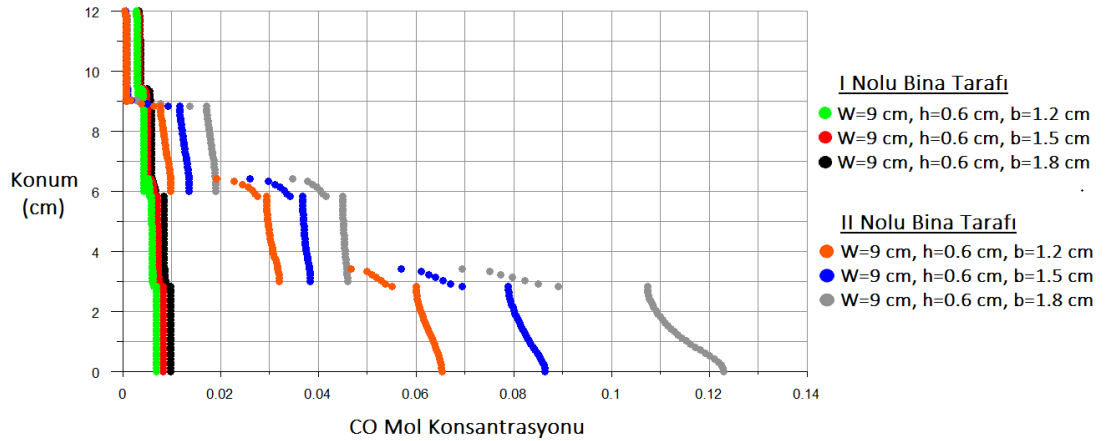
B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda elde edilen hız dağılım grafiği Şekil 4.44'te gösterilen hız dağılımı ile benzerdir. Emisyonların kanyon içerisinde sahip olduğu hız, rüzgar akışının yönüne etki etmemektedir.

Şekil 4.49'da kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Buna göre, balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı gözlenmiştir. Rüzgar akışı, rüzgara karşı yönde bulunan bina tarafından rüzgar tarafında yer alan binaya doğru olmasına rağmen kanyon merkezinde oluşan sirkülasyon etkisinin kanyon zeminine kadar ulaşmaması ve kanyonun sağ alt köşesinde, II nolu bina duvarının zemine yakın kısmında oluşan zayıf girdap nedeniyle emisyon dağılımı II nolu bina tarafına doğru yoğunlaşmıştır. Balkon genişliğinin artması ile CO emisyonları yukarı doğru çıkmakta zorlandığından belli bir yükseklikten sonra balkon etkisi sebebiyle rüzgar tarafında bulunan bina tarafına doğru dağılma eğilimi göstermiştir fakat yine de rüzgara karşı yönde bulunan bina duvarında daha yoğun şekilde bulunmaktadır.



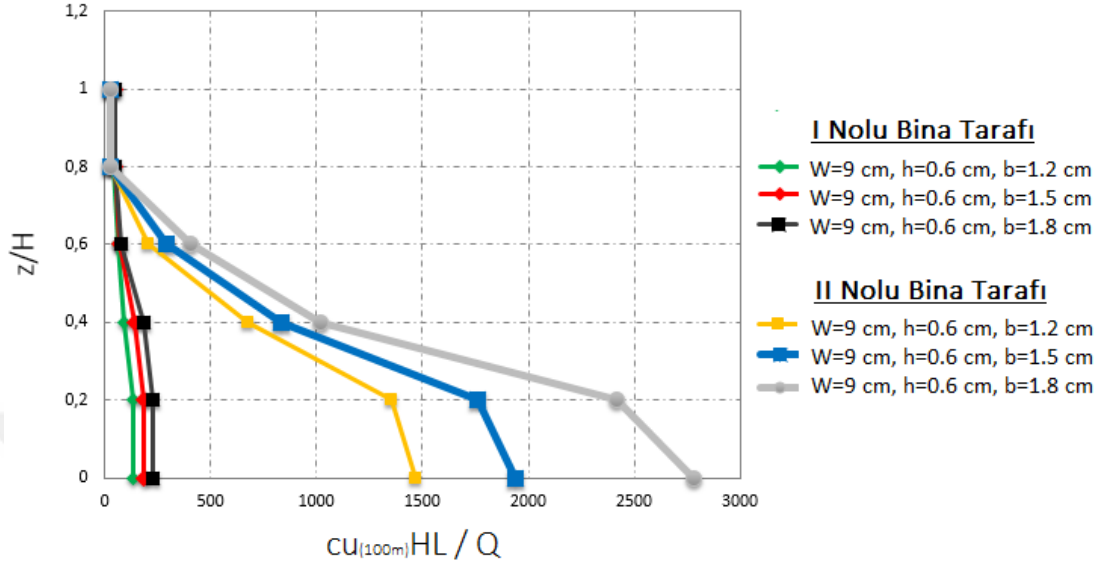
Şekil 4.49. $W=9$ cm ve $h=0.6$ durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Emisyon dağılımlarından yola çıkılarak elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.50’de gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere emisyonlar II nolu bina tarafında yoğunlaşmış ve yüksekliğin artmasıyla konsantrasyon miktarı azalmıştır. Üçüncü balkon seviyesinden sonra konsantrasyon miktarları her iki duvarda da yaklaşık olarak aynı seviyeye gelmiştir. II nolu bina tarafında $h=0.6$ cm yarı korkuluk etkisiyle korkuluksuz analizlere göre birinci ve ikinci balkon seviyesinde daha fazla; üçüncü balkon seviyesinde ise daha az emisyon birikimi gözlenmiştir.



Şekil 4.50. $W=9$ cm, $h=0.6$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.50’de gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.51’de boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

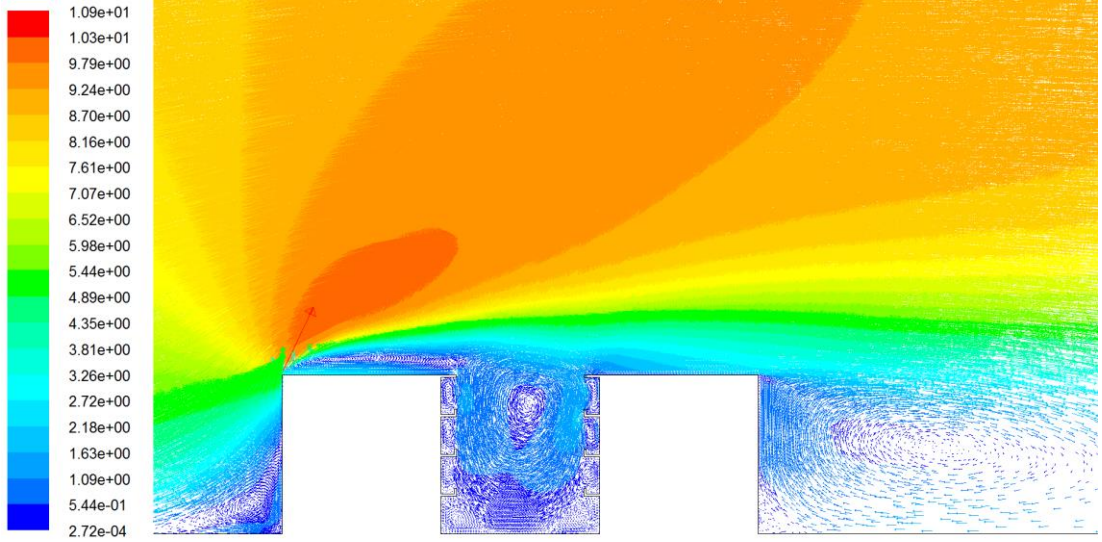


Şekil 4.51. W=9 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

A kaynağı için W=12 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

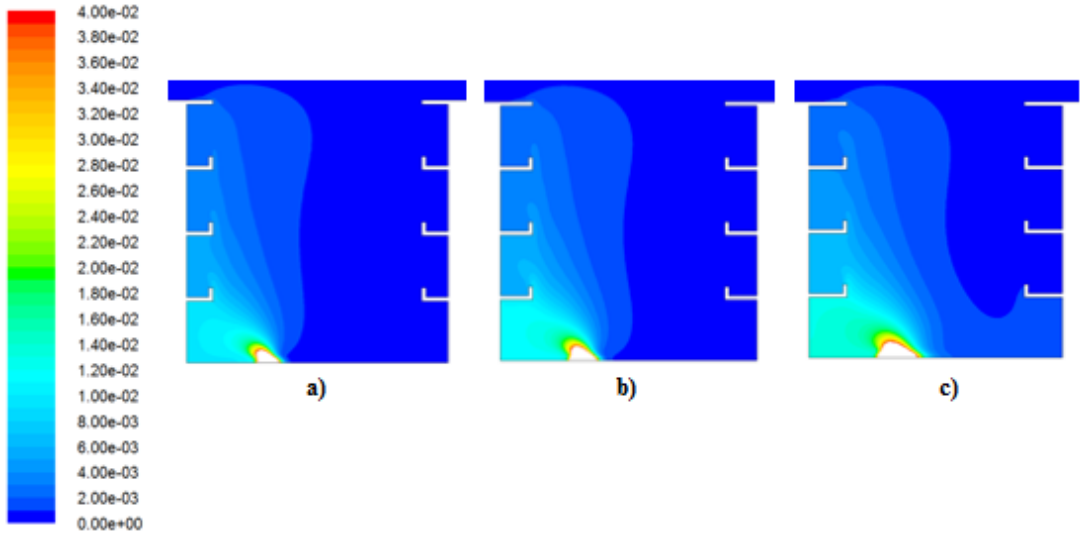
Çizelge 4.3’te belirtilen 13, 14 ve 15 nolu modeller için elde edilen sonuçlar ile emisyon dağılımını ve hız profilini gösteren grafikler belirlenmiş ve kanyon içerisinde oluşan sirkülasyon incelenmiştir.

Şekil 4.52’te W=12 cm, h=0.6 cm ve b=1.2 cm için hız dağılımları gösterilmektedir. I nolu bina üzerinden devam eden akışın bir kısmı kanyon içerisine yönelirken bir kısmı da II nolu bina arkasında sirkülasyon bölgesi oluşumunda yer almaktadır. Genel olarak W=12 cm ve h=0.6 cm koşulları altında b=1.2 , 1.5 ve 1.8 cm için kanyon civarında benzer hız dağılımları elde edilmiş olup, bu durumlar için kanyon civarında hız dağılımları ayrıca gösterilmemiştir.



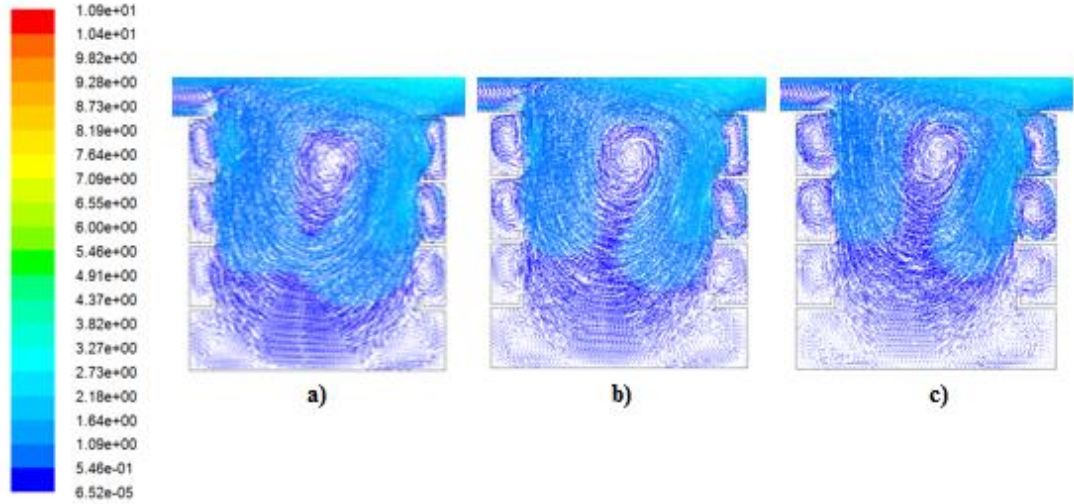
Şekil 4.52. $W=12$ cm, $h=0.6$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı

Şekil 4.53'te kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Buna göre, balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı gözlenmiştir. Emisyonlar rüzgar tarafındaki bina duvarında yükseklik boyunca azalmıştır. Emisyonlar, binanın en üst kısmında yer alan balkon eklentisi ile karşılaştıktan sonra rüzgara karşı tarafta bulunan bina duvarında $b=1.8$ cm koşulu itibariyle artış göstermeye başlamıştır. Her iki bina duvarında da yüksekliğin artmasıyla CO konsantrasyonları azalmıştır.



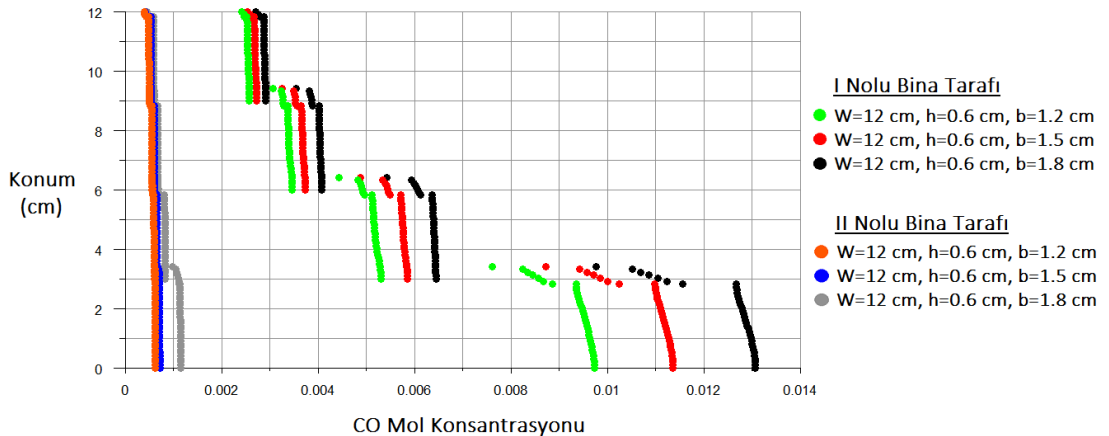
Şekil 4.53. $W=12$ cm ve $h=0.6$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Şekil 4.54'te gösterilen üç farklı genişlikte balkon eklentisi içeren kanyonda oluşan sirkülasyonların etkisi, balkon genişliği arttıkça zemine doğru azalmaktadır. Fakat girdap oluşumu bir önceki $W=9$ cm boyutundaki yarı korkuluklu kanyon modeline göre nispeten daha belirgindir. Kanyonun zemine yakın kısmında bulunan balkon içlerinden itibaren girdap bölgeleri oluşmuştur.



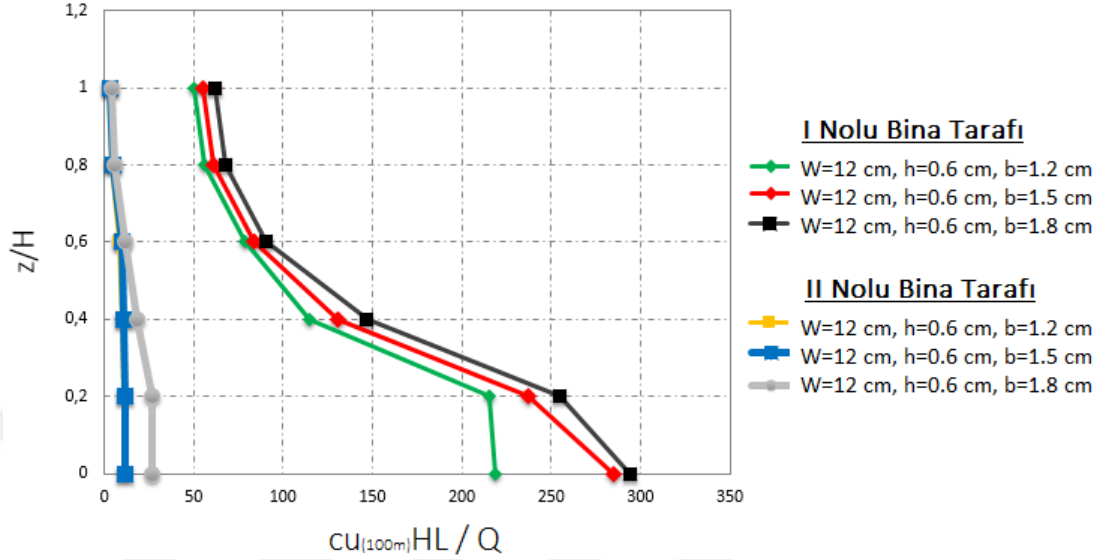
Şekil 4.54. $W=12$ cm ve $h=0.6$ cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

FLUENT yazılımı ile son işlem aşamasında elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.55'te gösterilmiştir. CO konsantrasyonu I nolu bina tarafında yoğunlaşmıştır. Her iki bina duvarında da yüksekliğin artmasıyla CO konsantrasyonu azalmaktadır.



Şekil 4.55. $W=12$ cm, $h=0.6$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.55'te gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.56'da boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

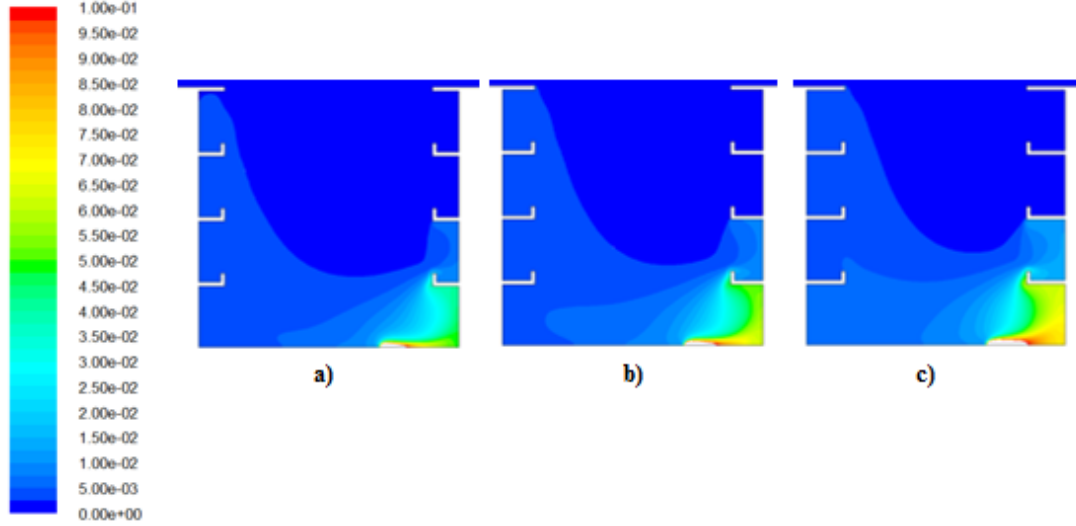


Şekil 4.56. W=12 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

B kaynağı için W=12 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

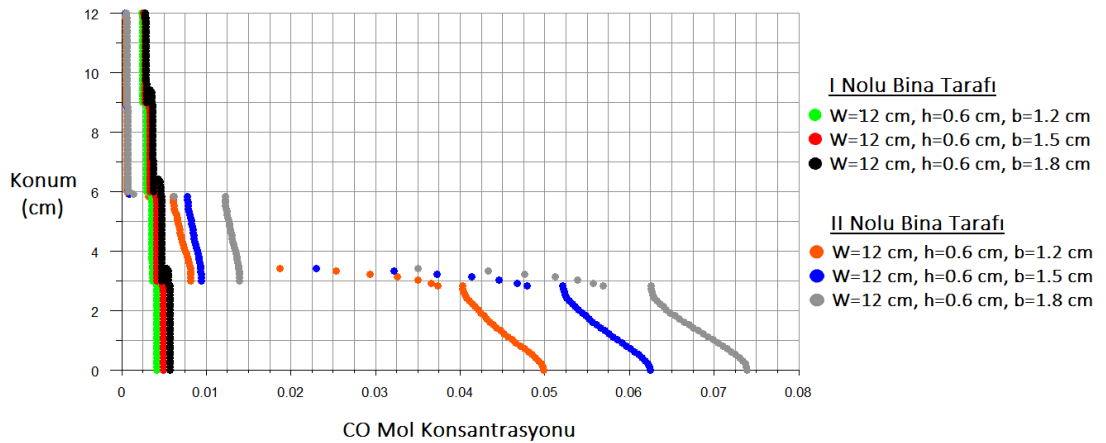
B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda elde edilen hız dağılım grafiği Şekil 4.52'de gösterilen hız dağılımı ile benzerdir.

Şekil 4.57'de kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı ve rüzgar tarafındaki bina duvarına doğru dağılım gösterdiği gözlenmiştir. W=12 cm, h=0 cm korkuluksuz balkona sahip kanyon modeli için belirtilen ifadeler bu analiz için de gerçekleşmiştir. Ek olarak rüzgara karşı tarafta hareket eden emisyon dağılımının yarı korkuluklu balkon eklentisiyle karşılaştıkça rüzgar tarafındaki bina tarafına doğru daha hızlı hareket ettiği gözlenmiştir.



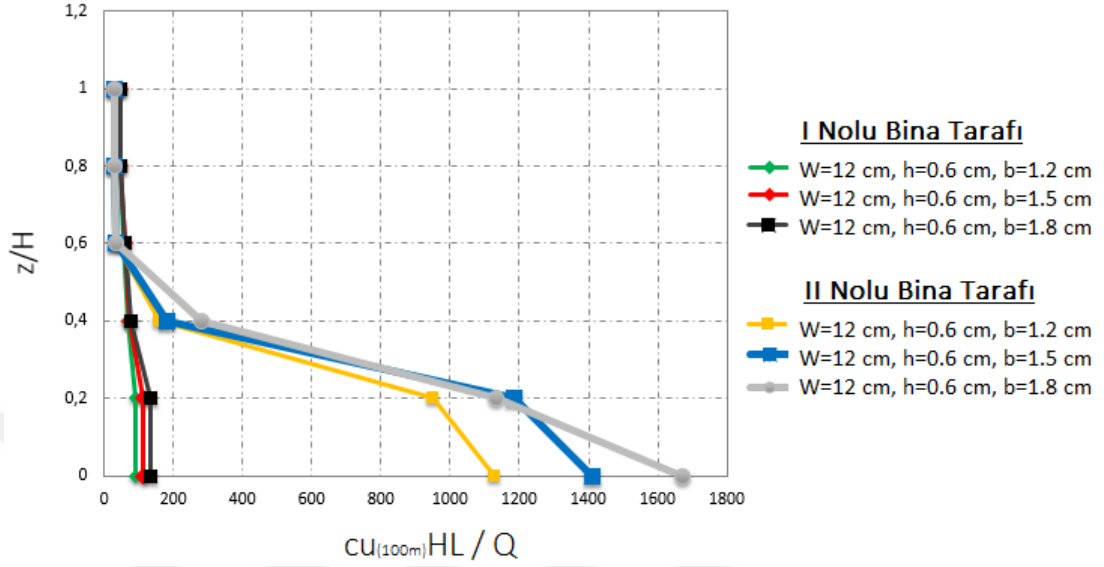
Şekil 4.57. $W=12$ cm ve $h=0.6$ cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.58’de gösterilmiştir. Buna göre emisyonlar ikinci balkon seviyesine kadar II nolu bina tarafında yoğunlaşmış, daha üst kısımlarda ise I nolu bina tarafında yoğunluk göstermiştir. Genel olarak yüksekliğin artmasıyla konsantrasyon miktarı azalmıştır. II nolu bina tarafında ilk balkon için $b=1.2$ cm ve $b=1.5$ cm iken yarı korkuluklu balkon içerisinde, korkuluksuz modele göre daha az; $b=1.8$ cm iken daha fazla emisyon birikimi gerçekleşmiştir. II nolu bina tarafında ikinci balkon seviyesinde ise yarı korkuluklu balkon modeli tüm balkon genişliklerinde daha fazla emisyon yoğunluğuna sahiptir.



Şekil 4.58. $W=12$ cm, $h=0.6$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.58’de gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.59’da boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

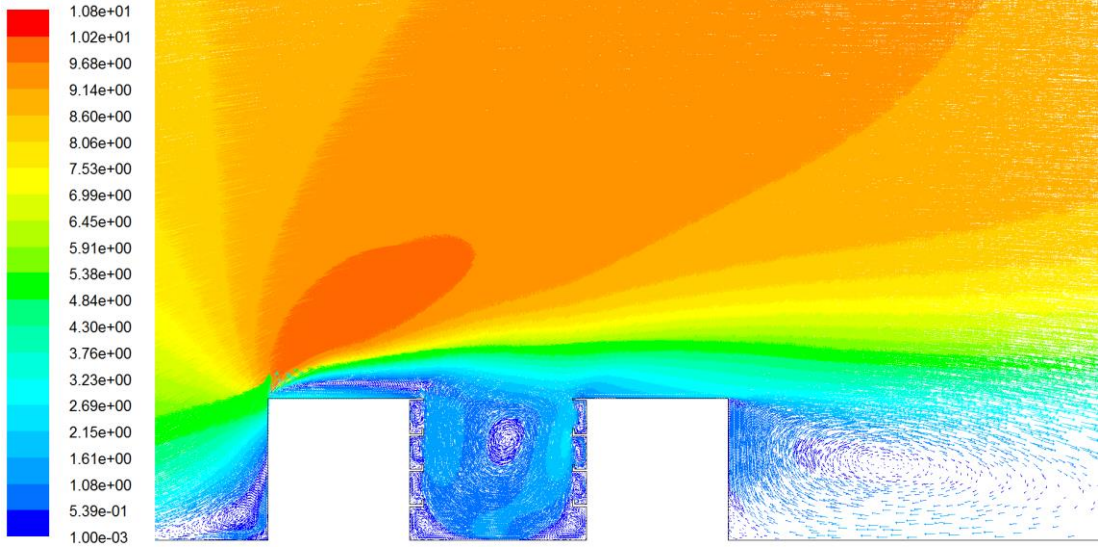


Şekil 4.59. W=12 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

A kaynağı için W=15 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

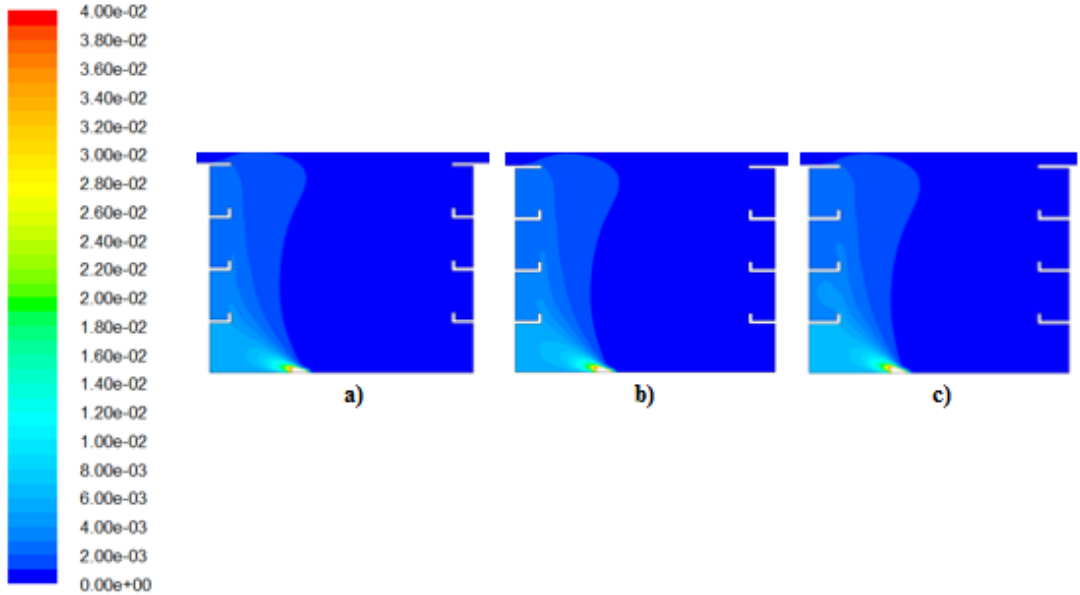
Çizelge 4.3’te belirtilen 16, 17 ve 18 nolu modeller için elde edilen sonuçlar ile emisyon dağılımını ve hız profilini gösteren grafikler belirlenmiş ve kanyon içerisinde oluşan sirkülasyonlar incelenmiştir.

Şekil 4.60’ta W=15 cm, h=0.6 cm ve b=1.2 cm için hız dağılımları gösterilmektedir. I nolu bina üzerinden devam eden akışın bir kısmı kanyon içerisine yönelirken bir kısmı da II nolu bina arkasında sirkülasyon bölgesi oluşumunda yer almaktadır. Genel olarak W=15 cm ve h=0.6 cm koşulları altında b=1.2 , 1.5 ve 1.8 cm için kanyon civarında benzer hız dağılımları elde edilmiş olup, bu durumlar için kanyon civarında hız dağılımları ayrıca gösterilmemiştir.



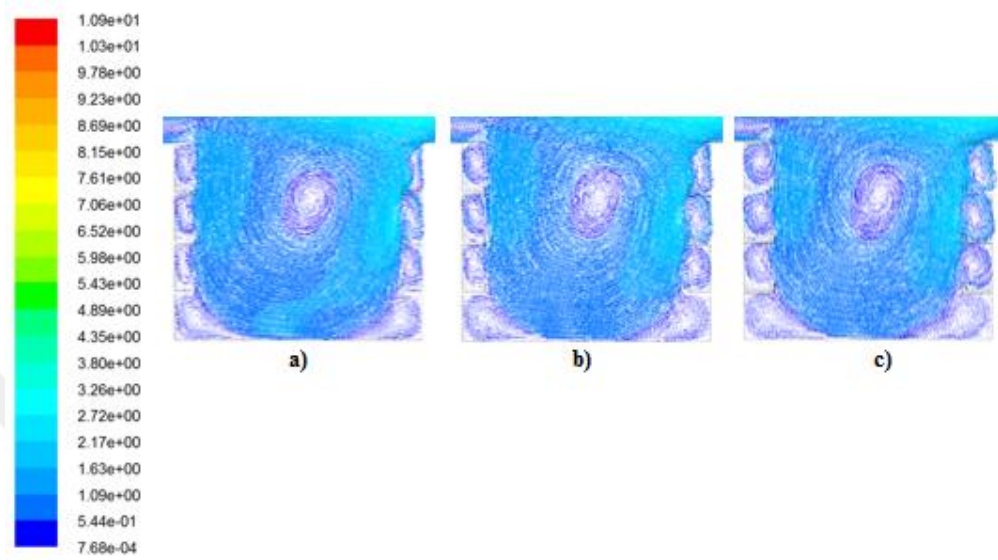
Şekil 4.60. $W=15$ cm, $h=0.6$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı

Şekil 4.61’de kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Emisyonlar rüzgar tarafından bina yönünde dağılım göstermiş ve yükseklik boyunca azalmıştır. Balkon genişliği arttıkça zeminde gerçekleşen emisyon birikmesi ise artmıştır. Rüzgara karşı tarafta bulunan bina duvarı boyunca emisyon miktarı neredeyse değişmemiştir. Bu açıdan $W=15$ cm, $h=0$ cm olan korkuluksuz balkonlardan oluşan kanyon modeli ile benzer özelliklere sahiptir.



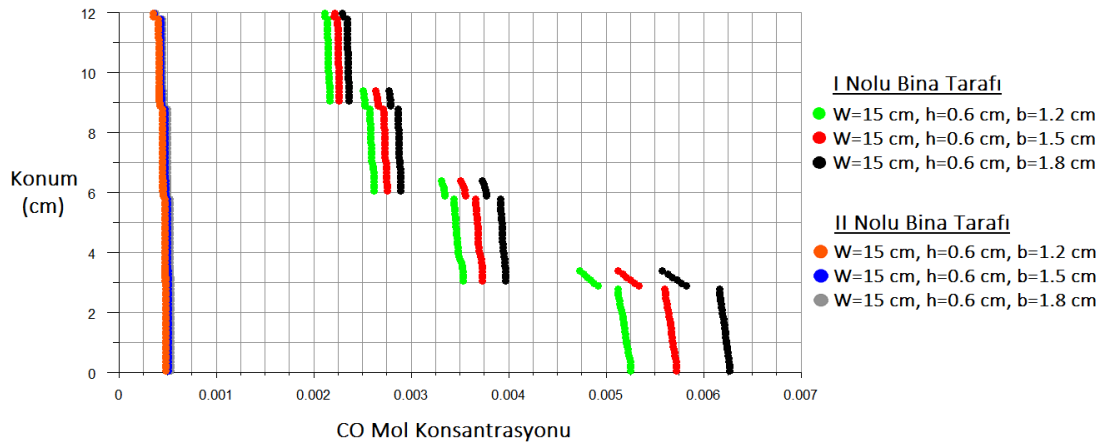
Şekil 4.61. $W=15$ cm ve $h=0.6$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Şekil 4.62’de gösterilen üç farklı genişlikte balkon eklentisi içeren kanyonda oluşan sirkülasyon bölgesi zemine kadar ulaşmıştır. Kanyonda yer alan tüm balkonların iç kısımlarında belirgin girdap bölgeleri oluşmuştur. Bu sonuçların kanyon genişliğinin artmasıyla açıklanabilmesi mümkündür.



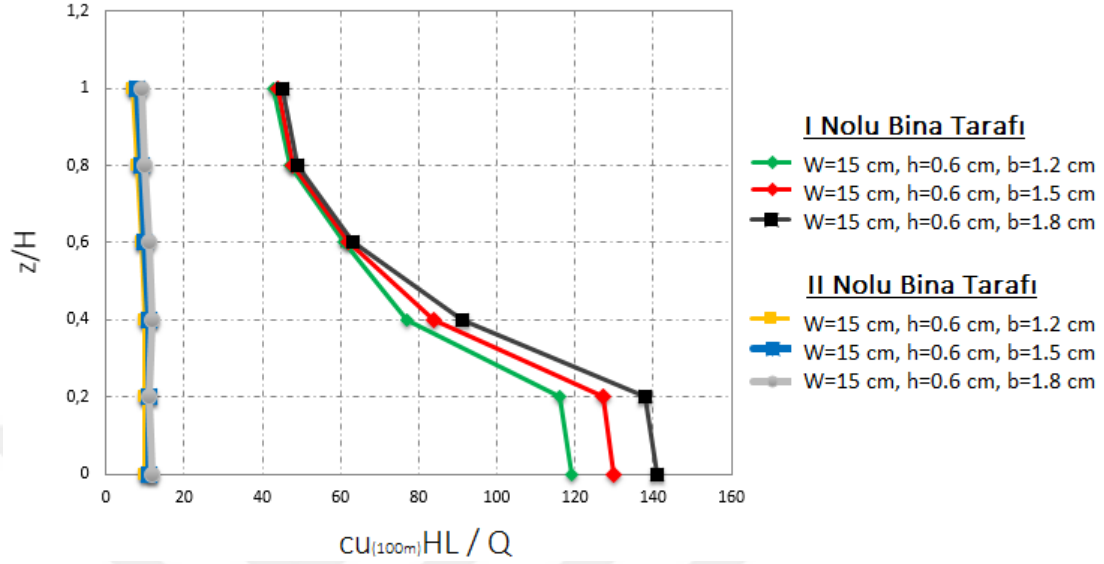
Şekil 4.62. W=15 cm ve h=0.6 cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm

FLUENT yazılımı ile son işlem aşamasında elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.63’te gösterilmiştir. Konsantrasyonlar I nolu bina tarafında yoğunlaşmış ve bina yüksekliğiyle birlikte azalma eğilimi göstermiştir. h=0.6 cm yarı balkon korkuluğunun etkisi, aynı kanyon genişliğindeki korkuluksuz modele göre yok denecek azdır.



Şekil 4.63. W=15 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.63'te gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.64'te boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

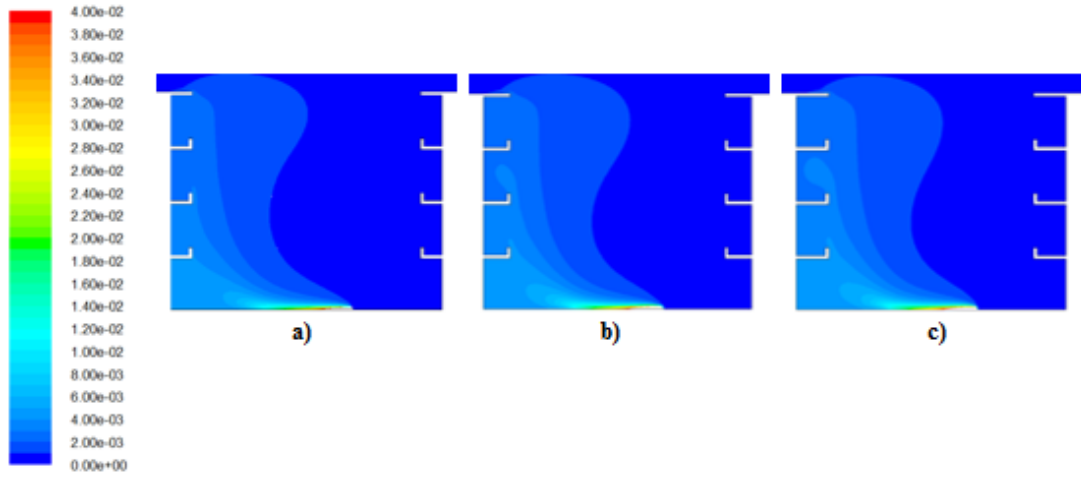


Şekil 4.64. W=15 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

B kaynağı için W=15 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

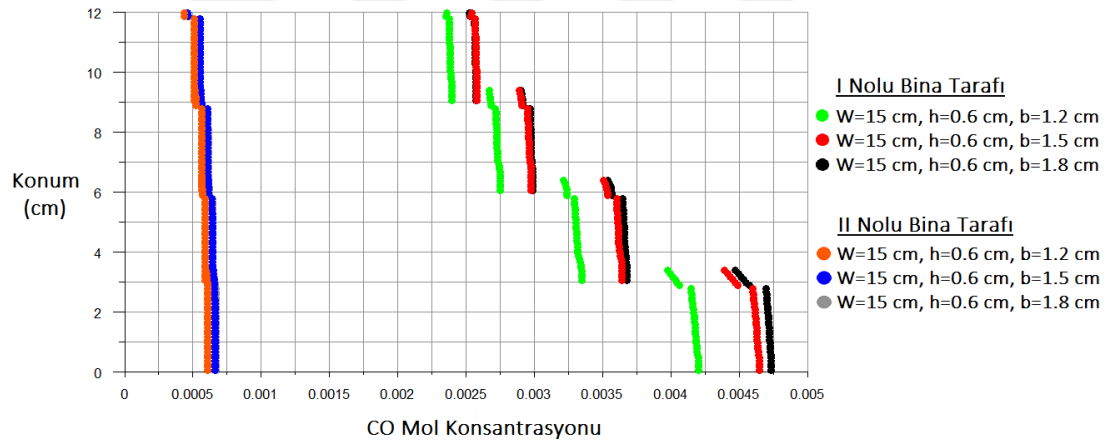
B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda elde edilen hız dağılım grafiği Şekil 4.60'ta gösterilen hız dağılımı ile benzerdir.

Şekil 4.65'te kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı ve rüzgar tarafındaki bina duvarına doğru dağılım gösterdiği gözlenmiştir. W=15 cm, h=0 cm korkuluksuz balkona sahip kanyon modeli için belirtilen ifadeler bu analiz için de gerçekteleşmiştir.



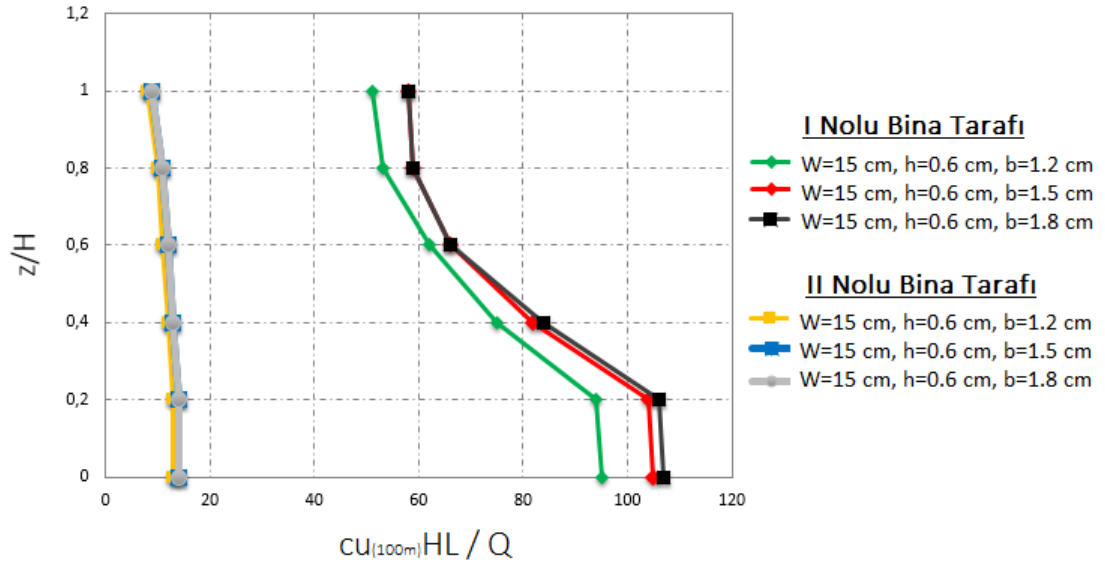
Şekil 4.65. $W=15$ cm ve $h=0.6$ cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Şekil 4.66'da görüleceği üzere her iki bina duvarında da konsantrasyon miktarı yükseklikle birlikte azalmaktadır. Konsantrasyon miktarı I nolu bina duvarında daha fazladır.



Şekil 4.66. $W=15$ cm, $h=0.6$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.66'da gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.67'de boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.67. W=15 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

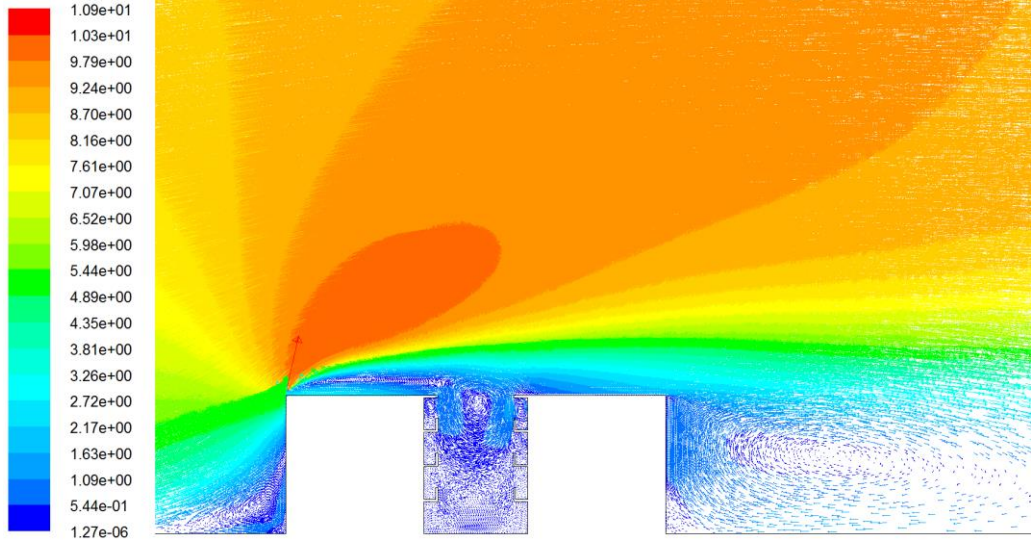
4.2.3. Tam korkuluklu balkon eklentisi içeren cadde kanyonu modelleri

h=1.2 cm koşulu altında kanyon genişliği sırasıyla W=9 cm, 12 cm ve 15 cm; balkon genişliği ise sırasıyla b=1.2 cm, 1.5 cm ve 1.8 cm olacak şekilde belirlenerek A ve B emisyon kaynaklarından gerçekleşen emisyon dağılımı incelenmiştir.

A kaynağı için W=9 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu:

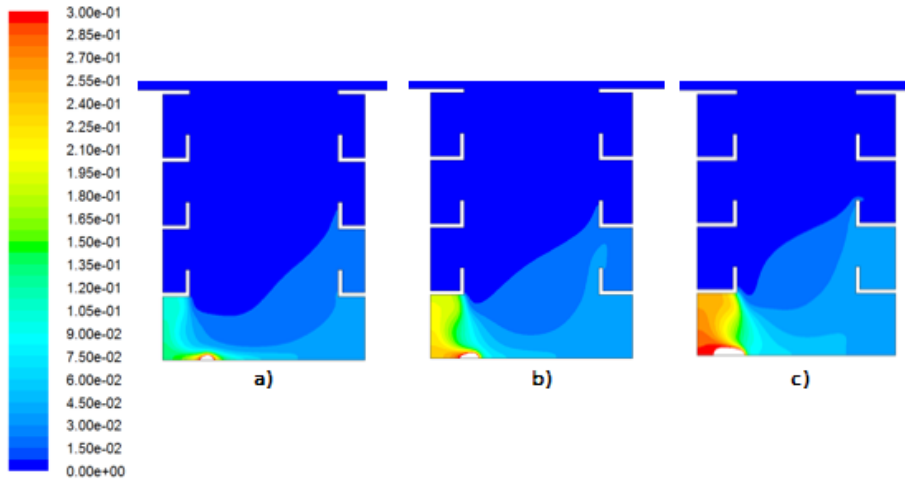
Çizelge 4.3'te belirtilen 19, 20 ve 21 nolu modeller için elde edilen sonuçlar ile emisyon dağılımını ve hız profilini gösteren grafikler belirlenmiş ve kanyon içerisinde oluşan sirkülasyon incelenmiştir.

Şekil 4.68'de W=9 cm, h=1.2 cm ve b=1.2 cm için hız dağılımları gösterilmektedir. I nolu bina üzerinden devam eden akışın bir kısmı kanyon içerisine yönelirken bir kısmı da II nolu bina arkasında sirkülasyon bölgesi oluşumunda yer almaktadır. Genel olarak W=9 cm ve h=1.2 cm koşulları altında b=1.2 , 1.5 ve 1.8 cm için kanyon civarında benzer hız dağılımları elde edilmiş olup, bu durumlar için kanyon civarında hız dağılımları ayrıca gösterilmemiştir.



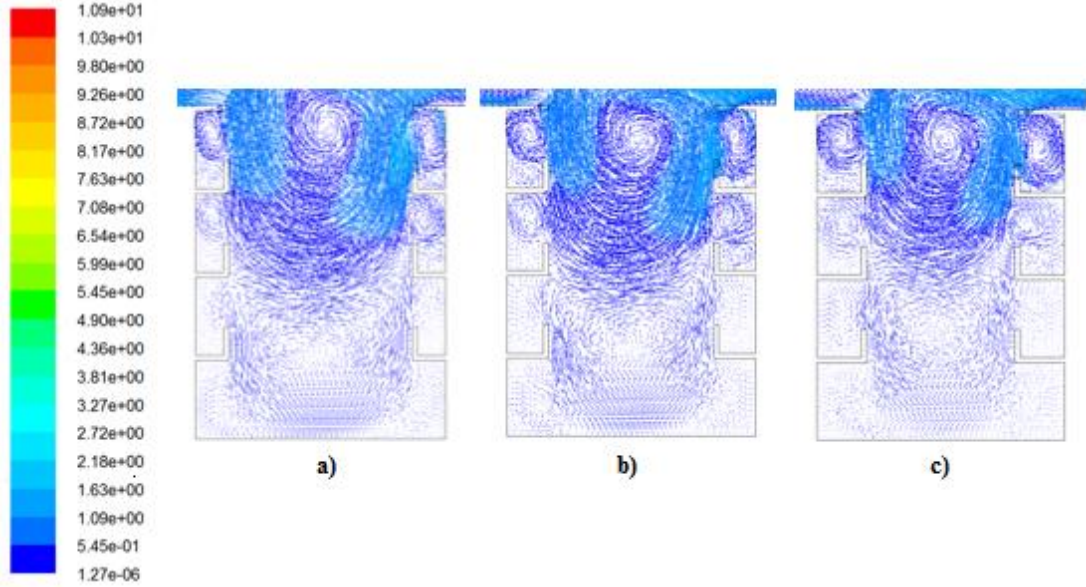
Şekil 4.68. $W=9$ cm, $h=1.2$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı

Şekil 4.69'da kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Buna göre, balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı gözlenmiştir. Balkon genişliğinin artması, emisyonların kanyonun üst bölgelerine doğru dağılımını zorlaştırmıştır. Emisyonlar rüzgar tarafından bina duvarında ilk balkon eklentisi ile karşılaştıktan sonra rüzgara karşı taraftaki binaya yönelmiş ve sonrasında her iki duvar yüksekliği boyunca azalarak devam etmiştir. İlk balkon seviyesine kadar CO konsantrasyonu yoğunluğu rüzgar tarafında yer alan bina duvarında daha fazlayken yükseklik arttıkça ilk balkon eklentisinin etkisi sebebiyle CO konsantrasyonu yoğunluğu, rüzgara karşı tarafta yer alan bina duvarında daha fazla duruma gelmiştir.



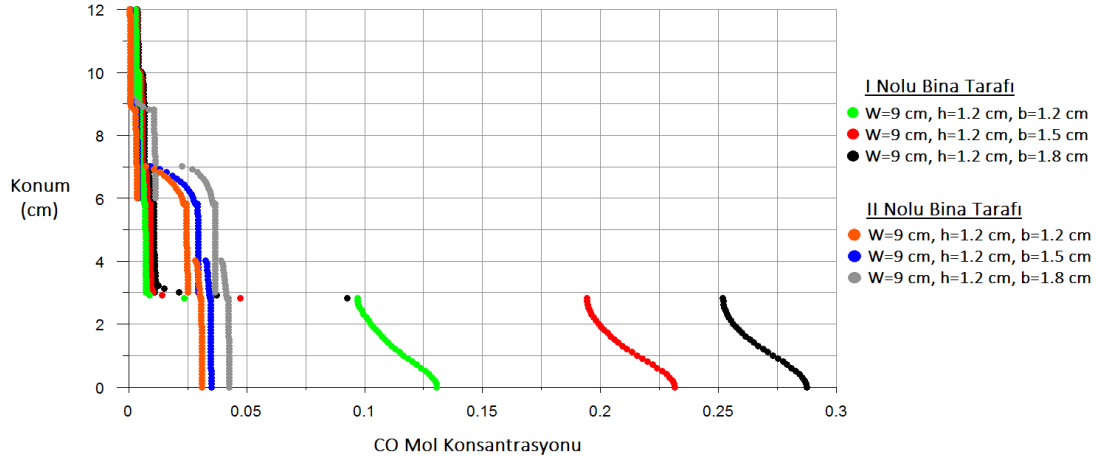
Şekil 4.69. $W=9$ cm ve $h=1.2$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Şekil 4.70’de gösterilen üç farklı genişlikte balkon eklentisi içeren kanyonda oluşan sirkülasyon, kanyon bölgesinin dar olmasından ve balkon genişliğinin etkilerinden dolayı kanyonun üst bölgesinde oluşmuştur. Zemine doğru yaklaştıkça sirkülasyon etkisi azalmış fakat zayıf da olsa yeni bir sirkülasyon bölgesinin oluşmaya başladığı tespit edilmiştir.



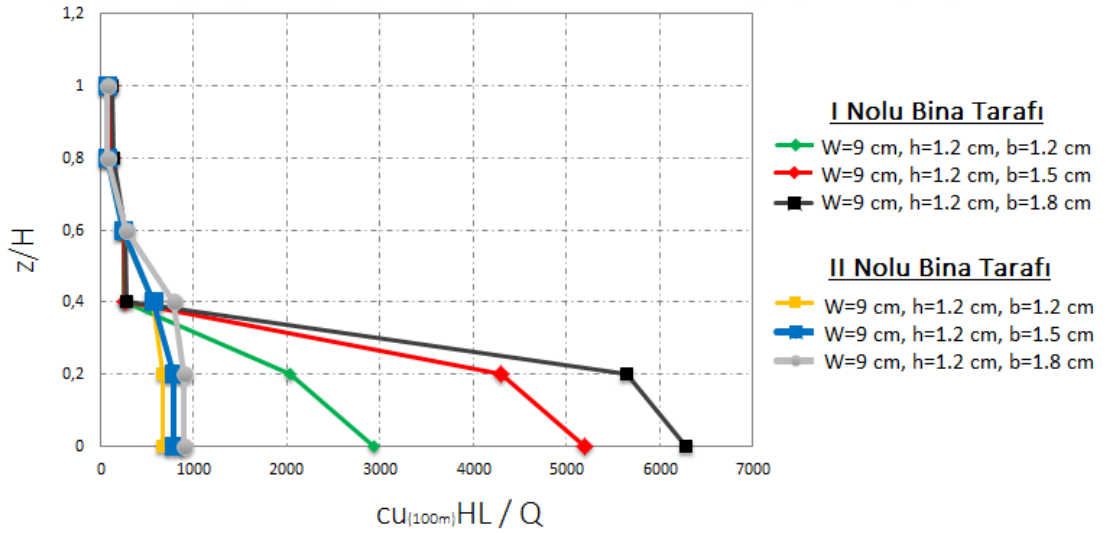
Şekil 4.70. W=9 cm ve h=1.2 cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm

FLUENT üzerinde son işlem aşamasında elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.71’de gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere CO konsantrasyonu ilk balkon seviyesine kadar I nolu bina duvarında yoğunlaşmış fakat yüksekliğin artmasıyla II nolu bina duvarında daha yoğun hale gelmiştir. Her iki bina duvarında da emisyon miktarı yükseklik boyunca azalmıştır. h=1.2 cm olarak belirlenen tam balkon korkuluğu, aynı şartlarda h=0.6 cm yarı balkon analizine göre b=1.5 cm ve b=1.8 cm balkon genişliği koşulları için duvarlardaki emisyon birikimini artırmış; b=1.2 cm için ise azaltmıştır.



Şekil 4.71. W=9 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimini gösteren grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Bunun için $cuHL/Q$ ifadesinde c yerine Şekil 4.71’de elde edilen konsantrasyon değerleri yazılmıştır. Bu sayede emisyon miktarının hangi konumda yoğunluk gösterdiği net bir şekilde ifade edilmiştir. Şekil 4.72’de boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

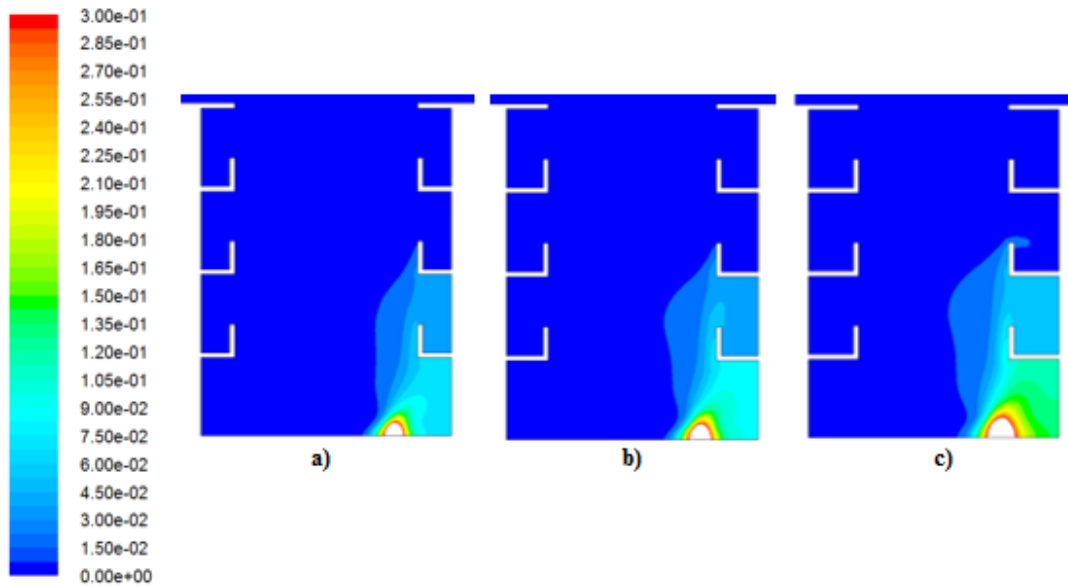


Şekil 4.72. W=9 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

B kaynağı için $W=9$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda elde edilen hız dağılım grafiği Şekil 4.68’de gösterilen hız dağılımı ile benzerdir. Emisyonların kanyon içerisinde sahip olduğu hız, rüzgar akışının yönüne etki etmemektedir.

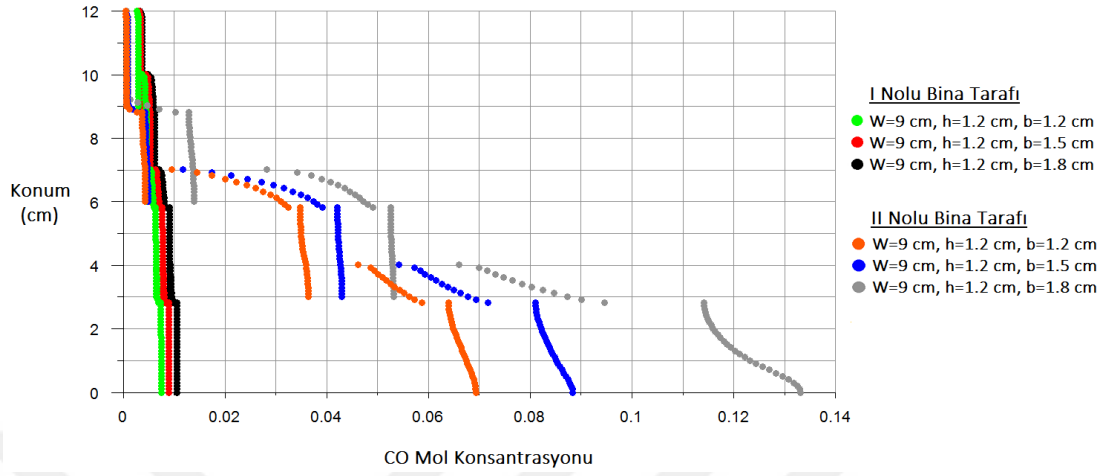
Şekil 4.73’te kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Buna göre, balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı gözlenmiştir. Rüzgar akışı, rüzgara karşı yönde bulunan bina tarafından rüzgar tarafında yer alan binaya doğru olmasına rağmen kanyon merkezinde oluşan sirkülasyon etkisinin kanyon zeminine kadar ulaşamaması ve kanyonun sağ alt köşesinde, II nolu bina duvarının zemine yakın kısmında oluşan zayıf girdap nedeniyle emisyon dağılımı II nolu bina tarafına doğru yoğunlaşmıştır. Balkon genişliği ve tam korkuluk yapısının etkisiyle emisyon dağılımları ikinci balkon seviyesinden sonra I nolu bina tarafına doğru da artmaya başlamıştır.



Şekil 4.73. $W=9$ cm ve $h=1.2$ cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

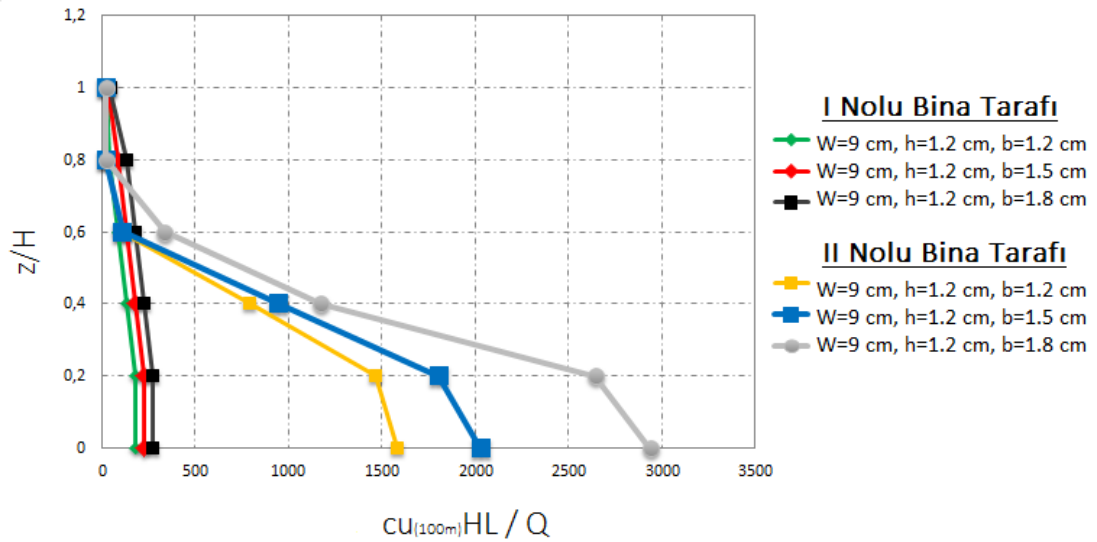
Emisyon dağılımlarından yola çıkılarak elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.74’te gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere emisyonlar II nolu bina tarafında yoğunlaşmış ve yüksekliğin artmasıyla konsantrasyon miktarı azalmıştır. İkinci balkon seviyesinden sonra konsantrasyon miktarları her iki duvarda da yaklaşık olarak aynı seviyeye gelmiştir.

II nolu bina tarafında $h=1.2$ cm tam korkuluk etkisiyle yarı korkuluklu analizlere göre birinci ve ikinci balkon seviyesinde daha fazla; üçüncü balkon seviyesinde ise daha az emisyon birikimi gözlenmiştir.



Şekil 4.74. $W=9$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.74'te gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.75'te boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

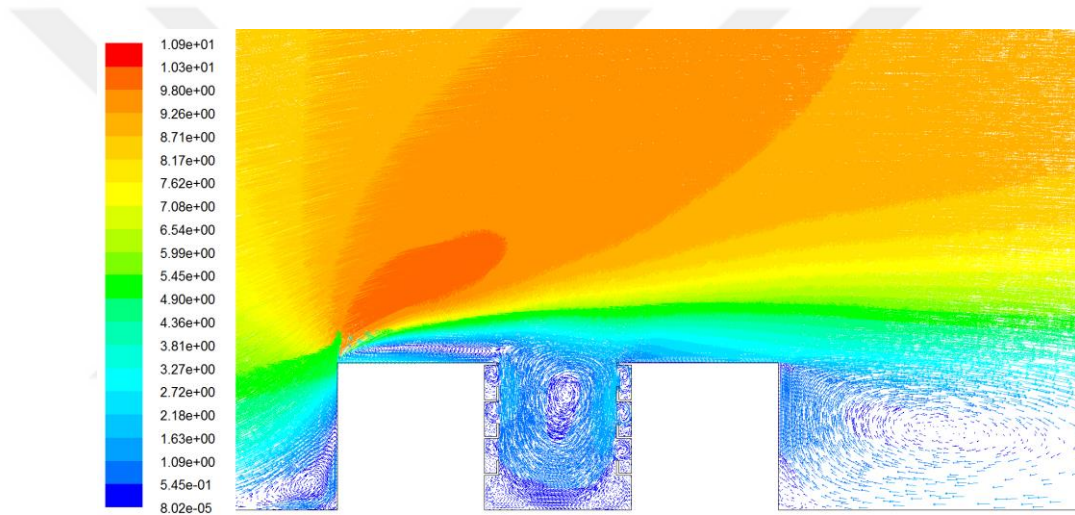


Şekil 4.75. $W= 9$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

A kaynağı için $W=12$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

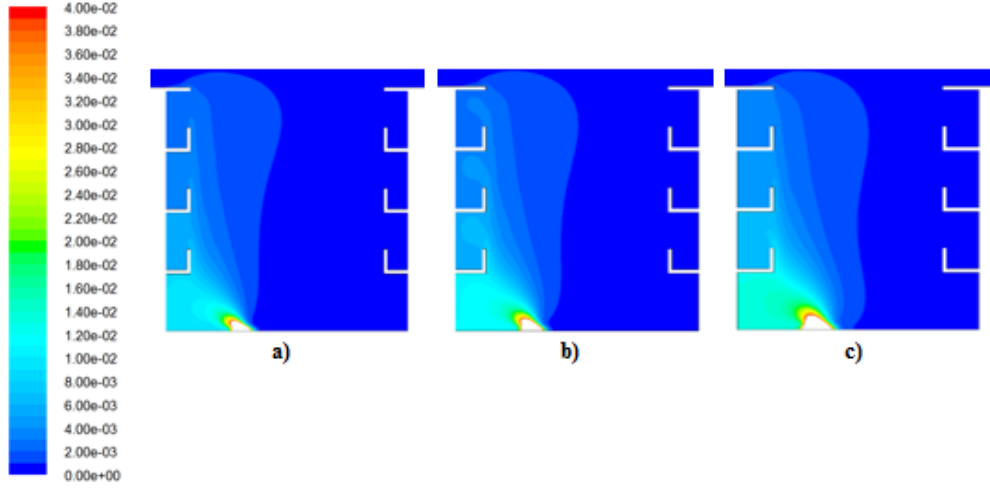
Çizelge 4.3'te belirtilen 22, 23 ve 24 nolu modeller için elde edilen sonuçlar ile emisyon dağılımını ve hız profilini gösteren grafikler belirlenmiş ve kanyon içerisinde oluşan sirkülasyon incelenmiştir.

Şekil 4.76'da $W=12$ cm, $h=1.2$ cm ve $b=1.2$ cm için hız dağılımları gösterilmektedir. I nolu bina üzerinden devam eden akışın bir kısmı kanyon içerisine yönelirken bir kısmı da II nolu bina arkasında sirkülasyon bölgesi oluşumunda yer almaktadır. Genel olarak $W=12$ cm ve $h=1.2$ cm koşulları altında $b=1.2$, 1.5 ve 1.8 cm için kanyon civarında benzer hız dağılımları elde edilmiş olup, bu durumlar için kanyon civarında hız dağılımları ayrıca gösterilmemiştir.



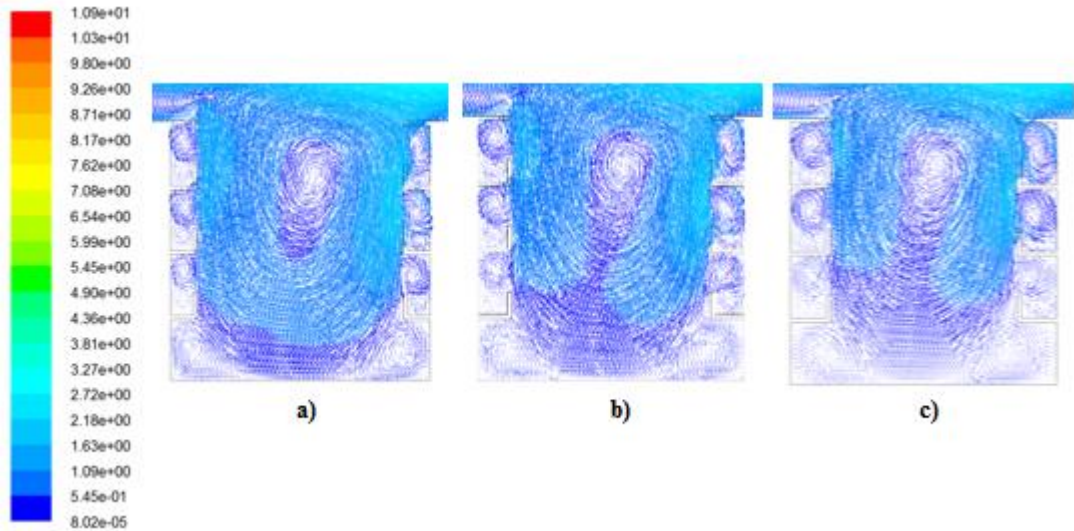
Şekil 4.76. $W=12$ cm, $h=1.2$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonu civarında hız dağılımı

Şekil 4.77'de kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Buna göre, balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı gözlenmiştir. Emisyonlar rüzgar tarafındaki bina duvarında yoğunluk göstermiş ve yükseklik boyunca azalmıştır.



Şekil 4.77. $W=12$ cm ve $h=1.2$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

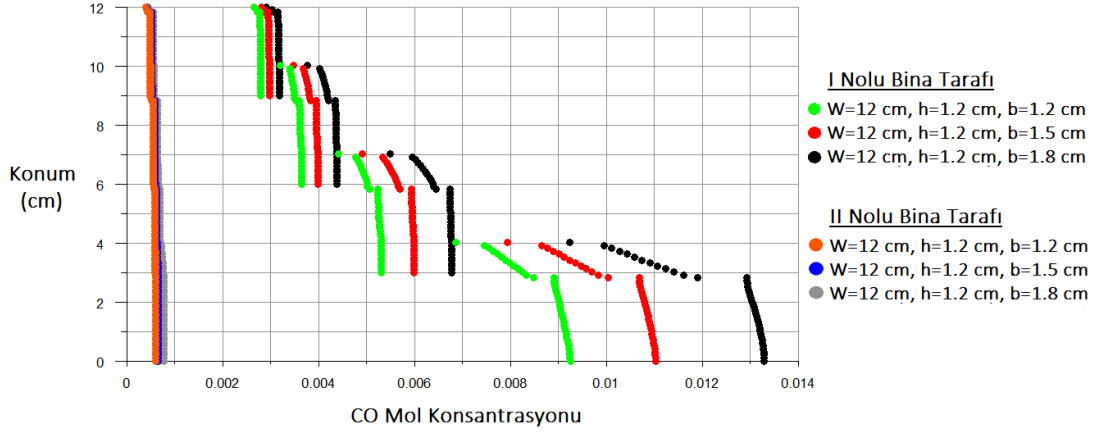
Şekil 4.78’de gösterilen üç farklı genişlikte balkon eklentisi içeren kanyonda oluşan sirkülasyonların etkisi, balkon genişliği artıkça zemine doğru azalmaktadır. Fakat girdap oluşumu bir önceki $W=9$ cm boyutundaki tam korkuluklu kanyon modeline göre daha belirgindir. Kanyonun zemine yakın kısmında bulunan balkon içlerinden itibaren girdap bölgeleri oluşmuştur. Tam korkuluklu balkon eklentileri sebebiyle balkon içlerinde ikinci bir sirkülasyon bölgesinin oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 4.78. $W=12$ cm ve $h=1.2$ cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

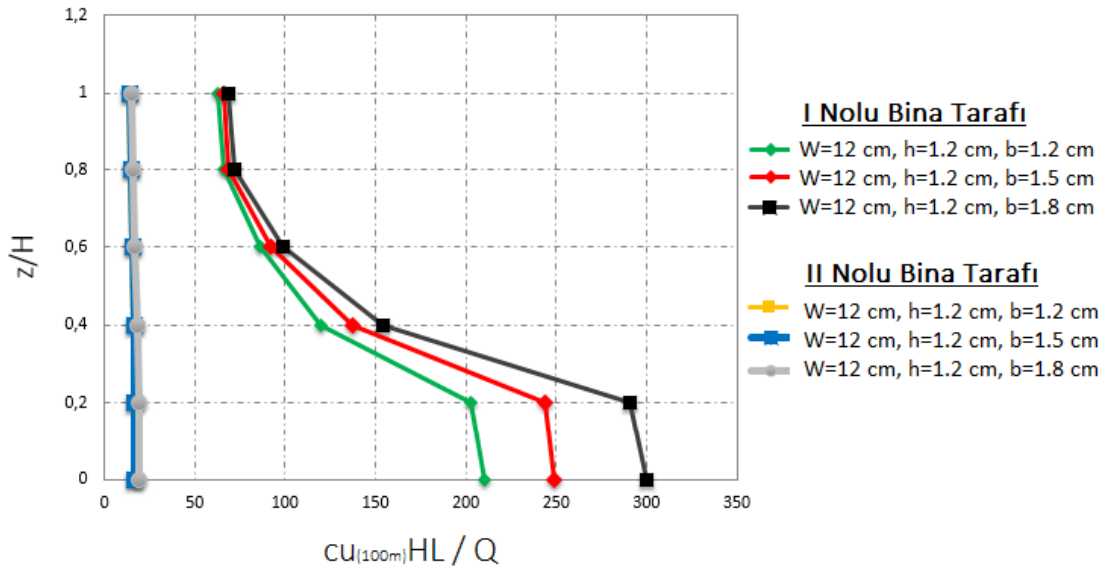
FLUENT yazılımı ile son işlem aşamasında elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.79’da gösterilmiştir. CO konsantrasyonu I nolu bina tarafında yoğunlaşmıştır. Her iki bina duvarında da

yüksekliğin artmasıyla CO konsantrasyonu azalmaktadır. Tam korkuluklu balkonlar, ikinci balkon seviyesinden itibaren yarı korkuluklu balkonlara göre daha az emisyon konsantrasyonuna sahiptir. İlk balkon seviyesinde ise $b=1.2$ cm ve $b=1.5$ cm durumunda yarı korkuluklu balkona göre daha fazla emisyon konsantrasyonu içerirken $b=1.8$ cm durumunda emisyon birikimi daha azdır.



Şekil 4.79. $W=12$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.79’da gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.80’de boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

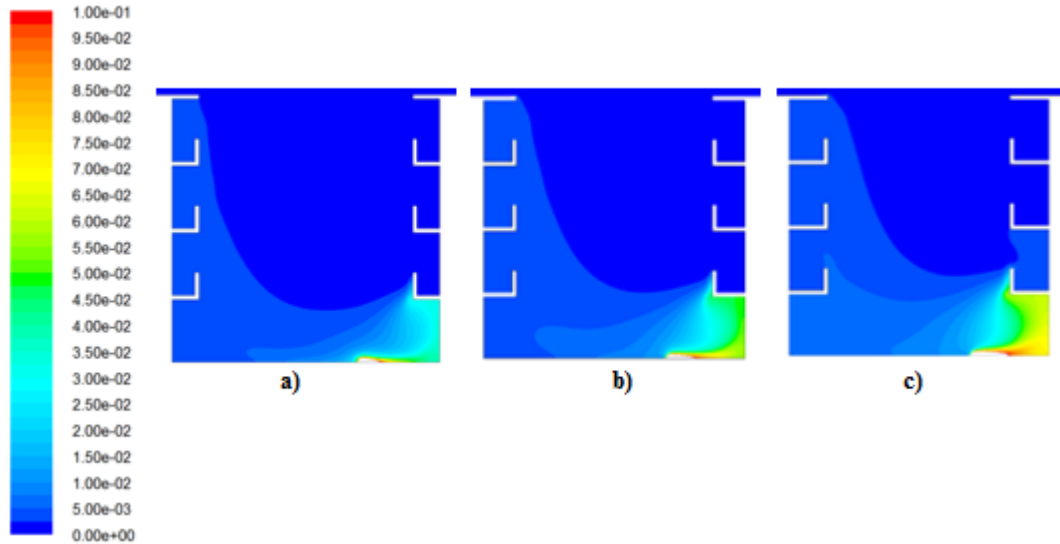


Şekil 4.80. $W=12$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

B kaynağı için W=12 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

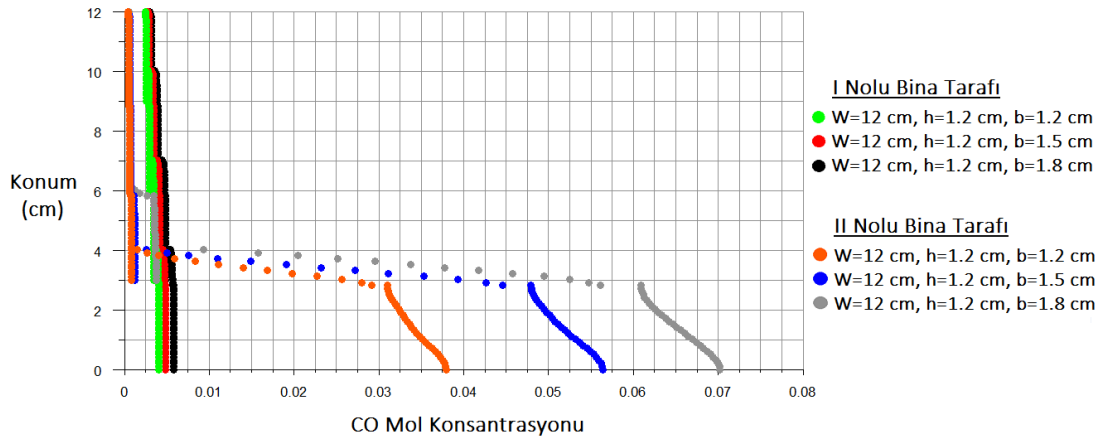
B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda elde edilen hız dağılım grafiği Şekil 4.76'da gösterilen hız dağılımı ile benzerdir.

Şekil 4.81'de kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı ve rüzgara karşı tarafta bulunan bina duvarının ilk balkon seviyesinden sonra rüzgar tarafındaki bina duvarına doğru dağılım gösterdiği gözlenmiştir. W=12 cm, h=0 cm korkuluksuz balkona sahip kanyon modeli için belirtilen ifadeler bu analiz için de gerçekleşmiştir. Ek olarak, tam korkuluklu modelde rüzgara karşı tarafta bulunan balkon içlerine doğru gerçekleşen emisyon dağılımı yarı korkuluklu modele göre daha azdır.



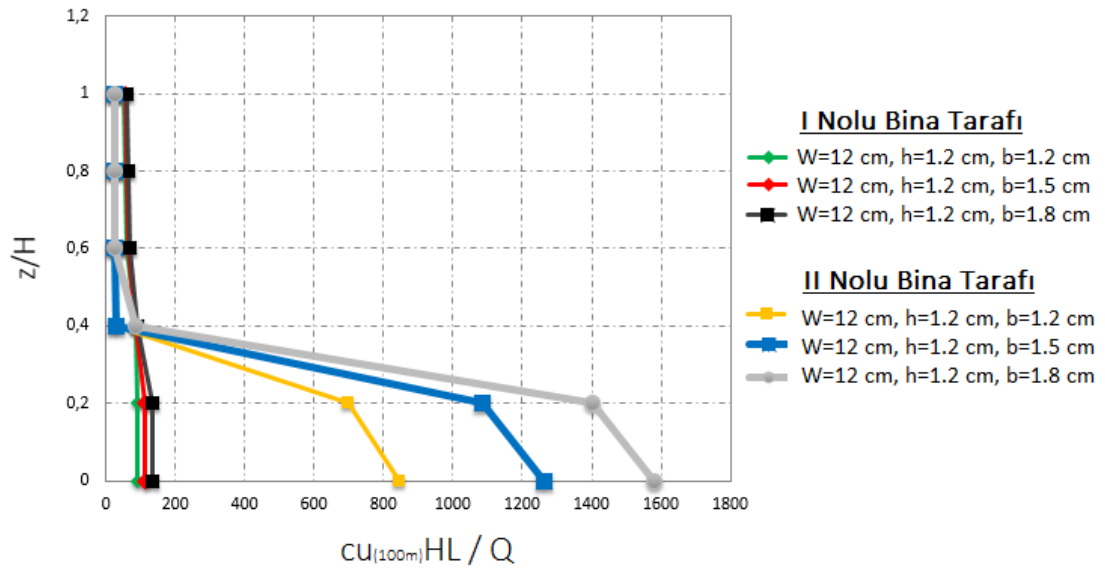
Şekil 4.81. W=12 cm ve h=1.2 cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) b=1.2 cm (b) b=1.5 cm (c) b=1.8 cm

Konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.82'de gösterilmiştir. Buna göre emisyonlar birinci balkon seviyesine kadar II nolu bina tarafında yoğunlaşmış, daha üst kısımlarda ise I nolu bina tarafında yoğunluk göstermiştir. Genel olarak yüksekliğin artmasıyla konsantrasyon miktarı azalmıştır. II nolu bina tarafında tam korkuluk etkisi sebebiyle balkon içlerinde oluşan konsantrasyon miktarı daha azdır. Tam korkuluklu model için zemin seviyesinde ve II nolu bina tarafında tüm balkon genişliği durumlarında CO konsantrasyonu yarı korkuluklu modele göre daha azdır.



Şekil 4.82. W=12 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.82’de gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.83’te boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

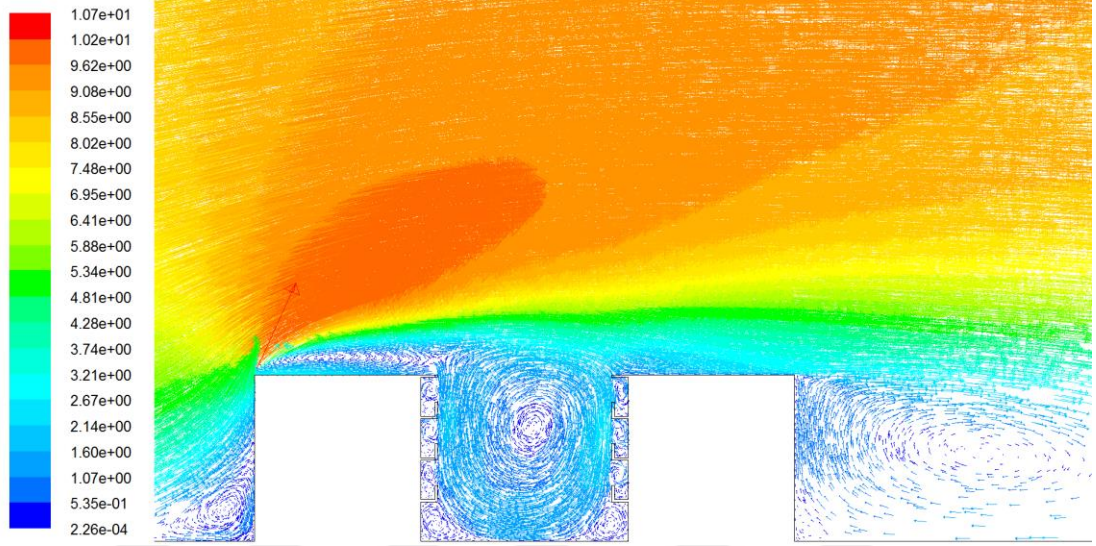


Şekil 4.83. W=12 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

A kaynağı için W=15 cm, h=0.6 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu:

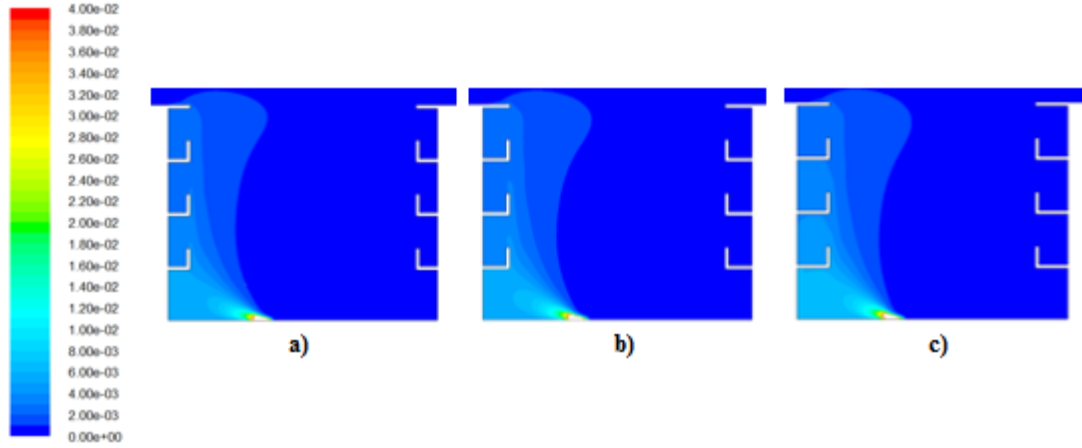
Çizelge 4.3’te belirtilen 25, 26 ve 27 nolu modeller için elde edilen sonuçlar ile emisyon dağılımını ve hız profilini gösteren grafikler belirlenmiş ve kanyon içerisinde oluşan sirkülasyonlar incelenmiştir.

Şekil 4.84'te $W=15$ cm, $h=1.2$ cm ve $b=1.2$ cm için hız dağılımları gösterilmektedir. I nolu bina üzerinden devam eden akışın bir kısmı kanyon içerisine yönelirken bir kısmı da II nolu bina arkasında sirkülasyon bölgesi oluşumunda yer almaktadır. Genel olarak $W=15$ cm ve $h=1.2$ cm koşulları altında $b=1.2$, 1.5 ve 1.8 cm için kanyon civarında benzer hız dağılımları elde edilmiş olup, bu durumlar için kanyon civarında hız dağılımları ayrıca gösterilmemiştir.



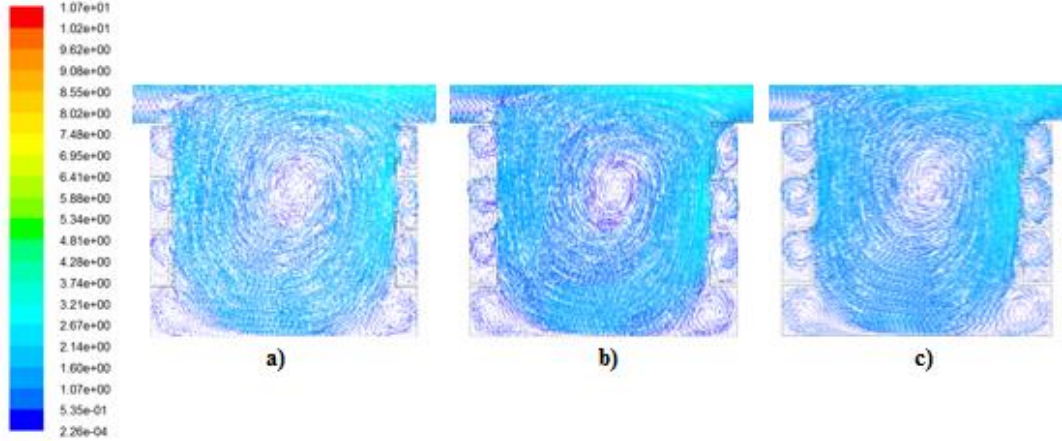
Şekil 4.84. $W=15$ cm, $h=1.2$ cm ve $b=1.2$ cm için cadde kanyonunun hız dağılımı

Şekil 4.85'te kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Emisyonlar rüzgar tarafındaki bina yönünde dağılım göstermiş ve yükseklik boyunca azalmıştır. Balkon genişliği arttıkça zeminde gerçekleşen emisyon birikmesi ise artmıştır. Rüzgara karşı tarafta bulunan bina duvarı boyunca emisyon miktarı neredeyse değişmemiştir. Bu açıdan $W=15$ cm, $h=0$ cm olan korkuluksuz balkonlardan oluşan kanyon modeli ve $W=15$ cm, $h=0.6$ cm yarı korkuluklu kanyon modeline benzer özelliklere sahiptir.



Şekil 4.85. $W=15$ cm ve $h=1.2$ cm durumunda A kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

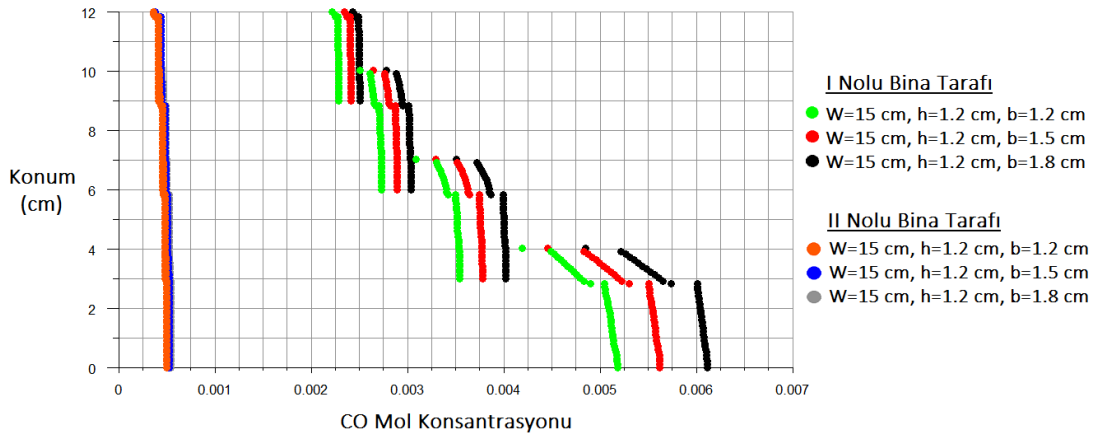
Şekil 4.86’da gösterilen üç farklı genişlikte balkon eklentisi içeren kanyonda oluşan sirkülasyon bölgesi zemine kadar ulaşmıştır. Tam korkuluklu balkon eklentileri sebebiyle balkon içlerinde çift sirkülasyon bölgelerinin oluştuğu gözlenmiştir. Bu sonuçların kanyon genişliğinin artmasıyla açıklanabilmesi mümkündür.



Şekil 4.86. $W=15$ cm ve $h=1.2$ cm durumunda cadde kanyonu içerisinde gerçekleşen hız dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

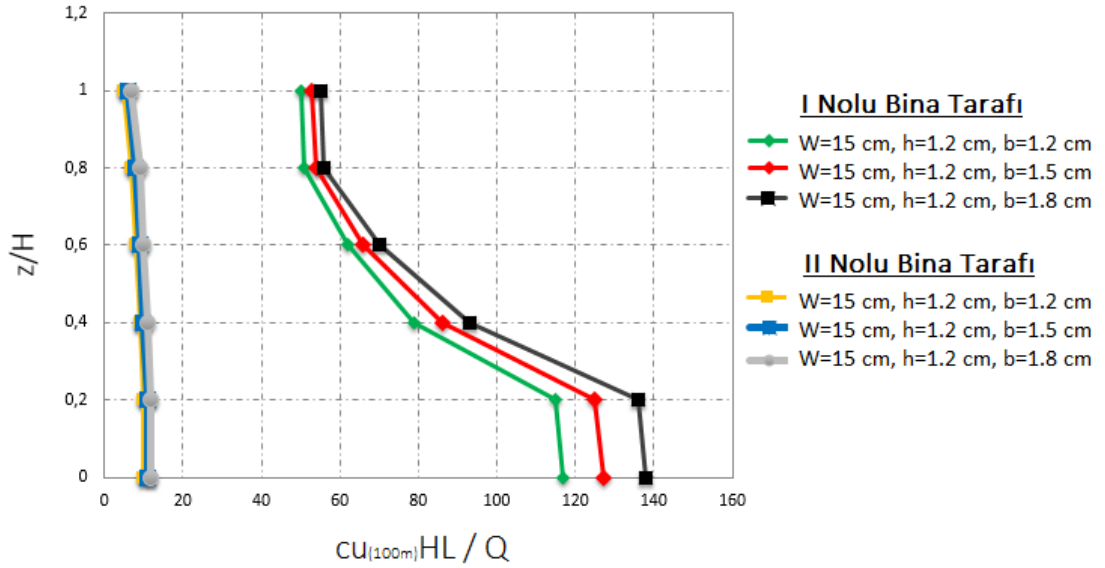
FLUENT yazılımı ile son işlem aşamasında elde edilen ve konsantrasyonların bina yüksekliğiyle değişimini gösteren grafik Şekil 4.87’de gösterilmiştir. Konsantrasyonlar I nolu bina tarafında yoğunlaşmış ve bina yüksekliğiyle birlikte azalma eğilimi göstermiştir. Tam korkuluklu balkonların yer aldığı cadde kanyonu modelinde ilk balkon seviyesine kadar yarı korkuluklu modele göre tüm balkon

genişliklerinde daha az CO konsantrasyonu bulunmaktadır. II nolu bina tarafında ise duvar boyunca CO konsantrasyonu neredeyse sabittir.



Şekil 4.87. W=15 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.87’de gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.88’de boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.

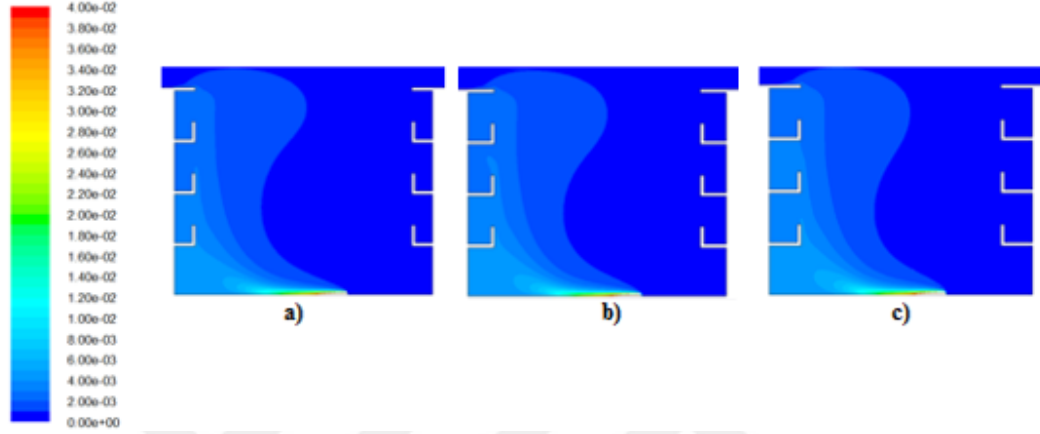


Şekil 4.88. W=15 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda A kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

B kaynağı için W=15 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumu;

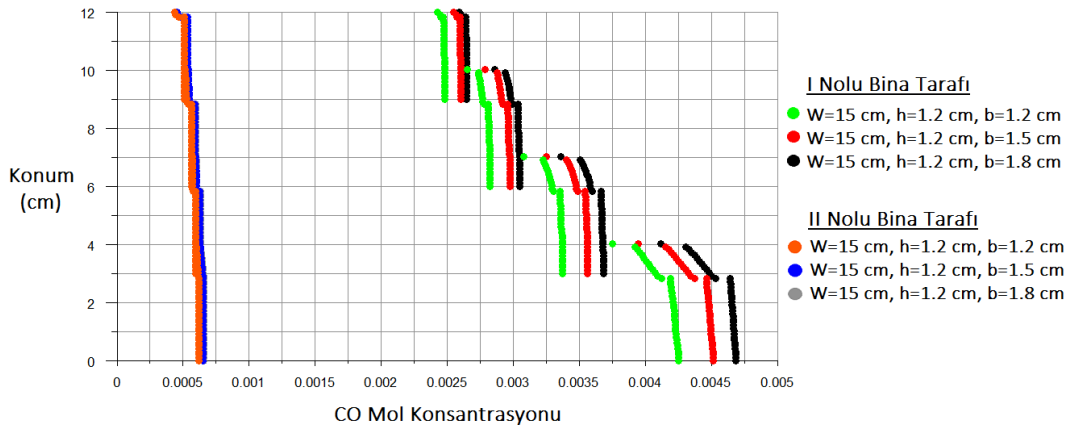
B kaynağından emisyon salınımının serbest bırakıldığı durumda elde edilen hız dağılım grafiği Şekil 4.84’de gösterilen hız dağılımı ile benzerdir.

Şekil 4.89’da kanyon içerisinde meydana gelen emisyon dağılımları gösterilmiştir. Balkon genişliğinin artmasıyla zeminde oluşan konsantrasyon miktarının arttığı ve rüzgar tarafındaki bina duvarına doğru dağılım gösterdiği gözlenmiştir. $W=15$ cm, $h=0$ cm korkuluksuz balkonlu kanyon modeli ve $W=15$ cm, $h=0.6$ cm yarı korkuluklu balkona sahip kanyon için belirtilenler bu analiz için de gerçekleştirilmiştir.



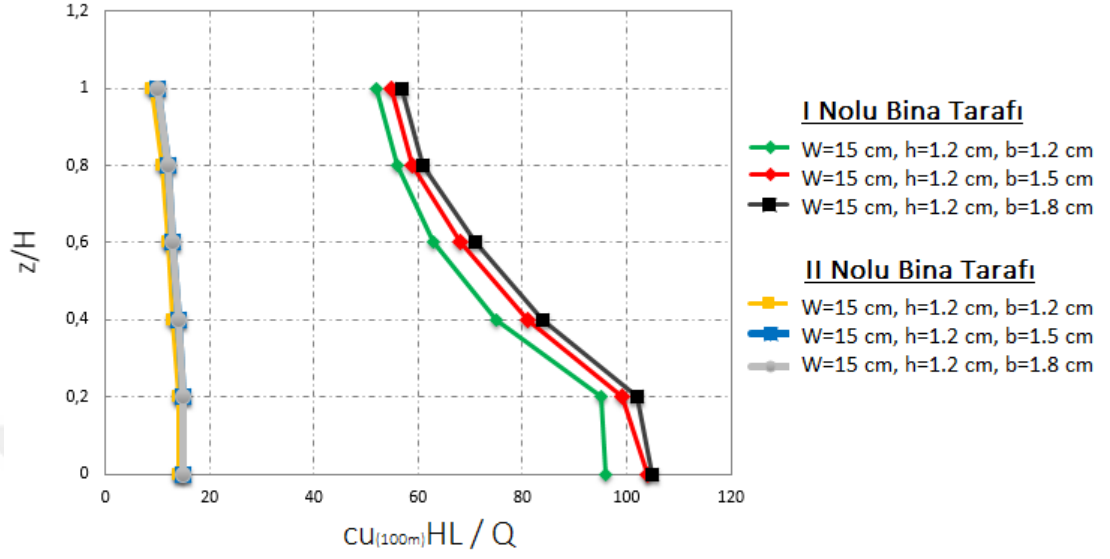
Şekil 4.89. $W=15$ cm ve $h=1.2$ cm durumunda B kaynağı için CO emisyonu konsantrasyon dağılımı (a) $b=1.2$ cm (b) $b=1.5$ cm (c) $b=1.8$ cm

Şekil 4.90’da görüleceği üzere her iki bina duvarında da konsantrasyon miktarı yükseklikle birlikte azalmaktadır. Konsantrasyon miktarı I nolu bina duvarında daha fazladır.



Şekil 4.90. $W=15$ cm, $h=1.2$ cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için CO konsantrasyon dağılımının yükseklik ile değişimi

Şekil 4.90'da gösterilen grafikte elde edilen veriler ile konsantrasyon değerleri boyutsuz hale getirilmiştir. Şekil 4.91'de boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.91. W=15 cm, h=1.2 cm ve değişen balkon genişlikleri durumunda B kaynağı için boyutsuz konsantrasyon dağılım grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Bu çalışmada trafik kaynaklı egzoz emisyonlarının cadde kanyonlarındaki dağılımının numerik modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla önce literatürde yer alan bir cadde kanyonu modeline ait rüzgar tüneli deneyleri aynı sınır şartları altında numerik olarak modellenmiş ve model sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Rüzgar tüneli ölçüleri referans alınarak GAMBIT üzerinde oluşturulan model, FLUENT yazılımı ile analize hazır hale getirilmiştir. Bunun için uygun türbülans modelinin seçimi gerçekleştirilmiş ve mesh yapısının çözümden bağımsızlığı gösterilmiştir.
- Kastner-Klein ve Plate (1999)'in çalışmasında elde edilen deneysel sonuçlara göre I numaralı bina duvarında oluşan konsantrasyonlar II numaralı bina duvarında oluşan konsantrasyonlardan daha fazladır. Ayrıca zeminden yukarı doğru çıkıldıkça konsantrasyon miktarının azaldığı gözlenmiştir. Benzer bulgular numerik modelleme ile de ortaya çıkmakta, numerik analizde elde edilen sonuçlar, deneysel sonuçlar ile nitelik olarak uyumluluk göstermektedir.
- Numerik analiz sonuçlarına göre, balkonlar emisyonların kanyonun üst bölgelerine doğru dağılımına engel olmakta ve balkon genişliği arttıkça bu durum daha belirgin hale gelmektedir. $W=9$ cm genişliğinde olan kanyon modellerinde, kanyon içerisinde ikinci büyük sirkülasyon bölgesinin oluşmaya başladığı gözlenmiştir. Balkon genişliği ve korkuluk yüksekliği arttıkça ikinci büyük sirkülasyon bölgesi daha belirgin hale gelmektedir. Kanyon içerisinde balkon aralarında oluşan küçük sirkülasyon bölgelerinin emisyon salınımının serbest bırakıldığı kaynak konumuna göre dağılım yönünü etkilediği gözlenmiştir. Ayrıca $h=0.6$ cm yarı korkuluklu modellerde balkon içlerinde ikinci küçük sirkülasyon bölgesinin oluşmaya başladığı; $h=1.2$ cm tam korkuluklu modellerde balkon içlerindeki bu sirkülasyon bölgesinin daha belirgin hale geldiği görülmüştür.
- A kaynağından serbest bırakılan CO emisyonu her balkon tipi ve kanyon genişliğinde rüzgar tarafındaki bina duvarında yoğunlaşırken, B kaynağından serbest bırakılan CO emisyonu, merkezi sirkülasyon etkisinin zemine yeterince ulaşmaması sebebiyle $W=9$ cm ve $W=12$ cm kanyon genişlikleri için rüzgara

karşı tarafta bulunan bina duvarında yoğunlaşmıştır. Bu yüzden emisyonlar rüzgar akışından ve oluşan küçük girdap bölgelerinden etkilenecek şekilde dağılım göstermektedir. Her durumda bina yüksekliğinin artmasıyla CO konsantrasyon miktarı azalmıştır.

- Özellikle $W=9$ cm ve $W=12$ cm kanyon genişliklerinde ilk balkon seviyesinin altında kalan bölgelerde CO konsantrasyonu yüksek değerlerde bulunmaktadır. $W=15$ cm genişliğine sahip kanyonlarda balkonların emisyonları zemine yakın bölgelerde tutma etkisi daha azdır.
- Uygulamada binalar yüksek giriş katı mimarisiyle yer alabilmektedir. Bu durumda bina mimarisinde bulunabilecek olan balkon eklentileri için ilk balkon seviyesi nispeten daha yüksek olacaktır. Bu da cadde kanyonlarında motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyon dağılımı için farklı bir model oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- Abid, N., Kolo, I. And Janajreh I. (2014). Computational Fluid Dynamics Study on Wind, Solar Effect and Pollutant Dispersion in Masdar City. 19th Australasian Fluid Mechanics Conference, 8-11 December, Melbourne, Australia.
- Akhatova, A., Kassymov, A., Kazmaganbetova, M. and Rojas-Solorzano L. 2015. CFD Simulation of the dispersion of exhaust gases in a traffic-loaded street of Astana, Kazakhstan. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 9:2, 158-166. doi: 10.4090/juee.2015.v9n2.158166
- Anonim (2018), Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27640> (Erişim tarihi:18.02.2018)
- Anonim (2012), Hava Kirliliğine Etki Eden Kaynaklar, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara
- Chan, T. L., Dong, G., Leung, C. W., Cheung, C. S. and Hung, W.T. 2002. Validation of a two-dimensional pollutant dispersion model in an isolated street canyon. *Atmospheric Environment*, 36, 861-872
- Chang, C. H. and Meroney, R. N. 2003. Concentration and flow distributions in urban street canyons: wind tunnel and computational data. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91, 1141-1154. doi: 10.1016/S0167-6105(03)00056-4
- Chang, C. H., Lin, J. S., Cheng, C. M. and Hong, Y.S. 2013. Numerical simulations and wind tunnel studies of pollutant dispersion in the urban street canyons with different height arrangements. *Journal of Marine Science and Technology*, 21:2, 119-126. doi: 10.6119/JMST-012-0109-2
- Demirarslan, O., Çetin, Ş. ve Ayberk, S. (2008). Hava Kirliliği Belirlemelerinde Modelleme Yaklaşımı ve Modelleme Aşamasında Karşılaşılabilecek Sorunlar. Çevre Sorunları Sempozyumu, 14-17 Mayıs, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye.
- Di Sabatino, S., Buccolieri, R., Pulvirenti, B. And Britter, R. E. 2008. Flow and pollutant dispersion in street canyons using Fluent and Adms-Urban. *Environ Model Assess*, 13, 369-381. doi: 10.1007/s10666-007-9106-6
- Elbir, T., Bayram, A., Kara, M., Altok, H., Seyfioğlu, R., Ergün, P. ve Şimşir, S. 2010. İzmir kent merkezinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin incelenmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12:1.
- Gad, I. A. M., Nasief, M. M., Abdel Aaziz, S. S. and Osman, A. A. (2009). Modeling of Air Pollutant Dispersion in Street Canyons in Cross-Wind. 13th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology. 26-28 May, Cairo, Egypt.

- Garcia, J., Cerdeira, R., Tavares, N., Coelho, L. M. R., Kumar, P. and Carvalho, M. G. 2013. Influence of virtual changes in building configurations of a real street canyon on the dispersion PM10. *Urban Climate*, 5, 68-81. doi: 10.1016/j.uclim.2013.08.00
- Guillas, S., Glover, N. and Malki-Epshtein L. 2014. Bayesian calibration of the constants of the k- ϵ turbulence model for a CFD model of street canyon. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 279, 536-553. doi: 10.1016/j.cma.2014.06.008
- Huang, H., Akutsu, Y. And Tamura M. 2000. Influence of cetane improvers on the air quality in an urban street canyon. *Chemosphere*, 40, 1365-1371.
- Karaoğlu, İ. (2015), CN-235 CASA uçağı kıvrık kanat tasarımının hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü Havacılık Mühendisliği Anabilim Dalı, 49, İstanbul.
- Karra, S., Malki-Epshtein, L. and Neophytou, M. 2011. The dispersion of traffic related pollutants across a non-homogeneous street canyon. *Procedia Environmental Sciences*, 4, 25-34. doi: 10.1016/j.proenv.2011.03.004
- Kastner-Klein, P. and Plate, E. J., 1999. Wind-tunnel study of concentration fields in street canyons. *Atmospheric Environment*, 33, 3973-3979.
- Kastner-Klein, P., Fedorovich, E. and Rotach, M. W. 2001. A wind tunnel study of organised and turbulent air motions in urban street canyons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89, 849-861.
- Kastner-Klein, P. und Plate, E. J., (1996). *Windkanalversuche zur Verbesserung der Ermittlung von Kfz-bedingten Konzentrations-verteilungen in Stadtgebieten*. 12. Statuskolloquium des PEF, 12-13.3.1996, FZKA-PEF 142, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Kim, J. J. and Baik, J.J. 2004. A numerical study of the effects of ambient wind direction on flow and dispersion in urban Street canyons using the RNG k- ϵ turbulence model. *Atmospheric Environment*, 38, 3039-3048. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.02.047
- Koyun, A. (2006), Güneş bacası ile enerji üretiminin incelenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 126, Isparta.
- Li., J. F., Zhan, J. M., Li. Y. S. and Wai, W. H. 2013. CO₂ absorption/emission and aerodynamic effects of trees on the concentrations in a street canyon in Guangzhou, China. *Environmental Pollution*, 177, 4-12. doi:10.1016/j.envpol.2013.01.016
- Li, X. X., Liu, C. H. and Leung, D. Y. C. 2005. Development of a k- ϵ model for the determination of air Exchange rates for street canyons. *Atmospheric Environment*, 39, 7285-7296. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.09.007

- Meschini, D., Busini, V., Ratingen, S. W. V., Rota, R. 2014. Modeling of pollutant dispersion in street canyon by means of CFD.
- Miao, Y., Liu, S., Zheng, Y., Wang, S. and Li, Y. 2014. Numerical study of traffic pollutant dispersion within different street canyon configurations. *Advances in Meteorology*. doi: 10.1155/2014/458671
- Murena, F., Favale, G., Vardoulakis, S. and Solazzo, E. 2009. Modelling dispersion of traffic pollution in a deep street canyon: Application of CFD and operational models. *Atmospheric Environment*, 43, 2303-2311. doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.01.038
- Nazridoust, K. and Ahmadi, G. 2006. Airflow and pollutant transport in street canyons. *Journal of Wind Engineering*, 94, 491-522. doi:10.1016/j.jweia.2006.01.012
- Oğuz, B., Topaloğlu, B. ve Sungur, B. 2017. Cadde Kanyonlarında Taşıt Emisyonları Dağılımının Numerik Modellenmesi. 1. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar ve Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu. 2-4 Kasım, Bildiri Özetleri Kitabı, 192-196, Tokat, Türkiye.
- Özcan, O. A. (2004), Uçak kanatlarının CFD analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 60, İstanbul.
- Özdoğan, M., Sungur, B., Namlı, L., Topaloğlu, B. ve Durmuş, A. 2016. Farklı en-boy oranlarına sahip binaların etrafındaki akışın sayısal çözümünde türbülans modellerinin etkisinin karşılaştırmalı araştırılması. *CBÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 12:3, 585-595.
- Solazzo, E., Cai, X. and Vardoulakis S. 2008. Modeling wind flow and vehicle-induced turbulence in urban streets. *Atmospheric Environment*, 42, 4918-4931. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.02.032
- Solazzo, E., Cai, X. and Vardoulakis S. 2009. Improved parameterisation for the numerical modelling of air pollution within an urban street canyon. *Environmental Modelling & Software*, 24, 381-388. doi: 10.1016/j.envsoft.2008.08.001
- Şimşek, O. (2011), Eğrisel geniş başlıklı savak üzerinden geçen açık kanal akımının deneysel ve teorik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 109, Adana.
- Topal, İ. H., ve Can, U. (2016), Yeni geliştirilen bir teknenin etrafındaki akış ve direncin hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile tespiti. Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, 55, İstanbul.
- Toros, H., (2000), İstanbul'da asit yağışları, kaynakları ve etkileri. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 97, İstanbul.

- Xie, X., Liu, C. H., Leung, D. Y. C. and Leung, M. K. H. 2006. Characteristics of air exchange in a street canyon with ground heating. *Atmospheric Environment*, 40, 6396-6409. doi:10.1016/j.atmosenv.2006.05.050
- Vardoulakis, S., Fisher, B. E. A., Pericleous, K. and Gonzalez-Flesca, N. 2003. Modelling air quality in Street canyons: a review. *Atmospheric Environment*, 37:2, 155-182. doi:10.1016/S1352-2310(02)00857-9
- Virik, N. S. and Salim, S. M. (2013). CFD Simulation of Natural Ventilation and Pollution Dispersion in Taylor's Lakeside Campus. Eureka, Taylor's University, Malaysia.
- Wen, H., Karra, S. and Malki-Epshtein, L. (2013). Modelling of Street Canyon Geometries in CFD - A Comparison with Experimental Results. 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, 26-28 August, Proceedings of BS2013, 2382-2389, Chambéry, France.
- Wilcox, D. C. 1993. *Turbulence modeling for CFD*, DCW Industries, California.
- Yılmaztürk, S. (2011), Yüksek binalar etrafındaki akışın sayısal ve deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 104, Ankara.
- Zhang, H., Wang, Y., Li, S., Tang, H., Liu, X. and Wang, Y. 2015. Study on the influence of the street side buildings on the pollutant dispersion in the street canyon. *Procedia Engineering*, 121, 37-44. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.1016

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Batuhan OĞUZ
Doğum Yeri : Samsun
Doğum Tarihi : 15/06/1990
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Alanya Lisesi Y.D.A (2008)

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü (2013)

Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme
Bölümü (2014)

Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, (Eylül – 2014,
Halen)

Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, (Ağustos – 2014,
Halen)

Çalıştığı Kurum ve Yıl

Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu (2015 – Halen)

Yayınlar

Oğuz, B., Topaloğlu, B. ve Sungur, B. 2017. Cadde Kanyonlarında Taşıt Emisyonları Dağılımının Numerik Modellenmesi. 1. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar ve Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu. 2-4 Kasım, Bildiri Özetleri Kitabı, 192-196, Tokat, Türkiye.