

**SOĞUK DEPODA NÜMERİK YÖNTEMLER İLE HAVA
AKIŞI OPTİMİZASYONU**

Faruk KAYNAKLI



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUK DEPODA NÜMERİK YÖNTEMLER İLE HAVA AKIŞI
OPTİMİZASYONU**

Faruk KAYNAKLI

Orcid No: 0000-0001-5243-807X

Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ

(Danışman)

DOKTORA TEZİ

TERMODİNAMİK ANABİLİM DALI

BURSA – 2021

TEZ ONAYI

Faruk KAYNAKLI tarafından hazırlanan “SOĞUK DEPODA NÜMERİK YÖNTEMLER İLE HAVA AKIŞI OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ

- Başkan :** Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ
Orcid No: 0000-0003-1657-2604
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Termodinamik Anabilim Dalı
- Üye :** Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ
Orcid No: 0000-0003-0087-2629
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye :** Prof. Dr. Salih COŞKUN
Orcid No: 0000-0002-6723-1992
Bursa Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO,
İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi
- Üye :** Doç. Dr. Erhan PULAT
Orcid No: 0000-0003-2866-6093
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Enerji Anabilim Dalı
- Üye :**

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

.../.../.....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../.....

Faruk KAYNAKLI

ÖZET

Doktora Tezi

SOĞUK DEPODA NÜMERİK YÖNTEMLER İLE HAVA AKIŞI OPTİMİZASYONU

Faruk KAYNAKLI

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Termodinamik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ

Artan dünya nüfusu ile beraber daha fazla sayıda kişiye taze ve sürekli gıda sağlayabilmek giderek daha önemli hale gelmiştir. Mevsimsel olarak her türlü sebze ve meyve yetiştirilebilse de bunların tamamını kısa sürede tüketmek yerine yıl içerisinde zamana yayarak gıda tüketimini çeşitlendirmek daha etkin bir yöntemdir. Özelliklerini kaybetmeden gıdaları uzun süre saklayabilmenin en iyi yolu da soğuk depolardır.

Soğuk depolarda hacim doluluk oranı yüksek olduğundan ortamda homojen bir sıcaklık ve hız dağılımı elde etmek oldukça zor olmaktadır. Bunu sağlamak için çok farklı metotlar uygulanmaktadır.

Bu çalışmada elma dolu bir soğuk depo üç boyutlu olarak tasarlanmış ve içerisindeki hava akışı Ansys Fluent programı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modelin doğruluğu sağlandıktan sonra içerideki sıcaklık ve hız dağılımını daha iyi hale getirebilmek için saptırma paneli eklenerek ekonomik ve etkili bir çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra farklı açılardaki panel konumları için sıcaklık ve hız dağılımı analizi yapılarak optimum panel açısı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğuk depo, Sıcaklık dağılımı optimizasyonu, Hava hızı optimizasyonu, CFD, HAD

2021, xv + 93 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

AIRFLOW OPTIMIZATION IN COLD STORAGE WITH NUMERICAL METHODS

Faruk KAYNAKLI

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Thermodynamics

Supervisor: Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ

With the increasing world population, it has become more and more important to provide fresh and continuous food to more people. Although all kinds of vegetables and fruits can be grown seasonally, it is a more effective method to diversify food consumption by spreading it over time throughout the year, rather than consuming all of them in a short time. Cold storage is the best way to store foods for a long time without losing their properties.

Since the volume occupancy rate is high in cold stores, it is very difficult to obtain a homogeneous temperature and velocity distribution in the environment. Various methods are used to achieve this.

In this study, a cold store full of apples was designed in three dimensions and the airflow in it was modeled in three dimensions using the Ansys Fluent program. After ensuring the accuracy of the model, an economical and effective solution was tried to be obtained by adding a baffle panel in order to improve the temperature and velocity distribution inside. Then, temperature and velocity distribution analyzes were made for panel positions at different angles and the optimum panel angle was tried to be determined.

Key words: Cold storage, Thermal optimization, Airflow optimization, CFD

2021, xv + 93 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, akademik gelişimimde büyük katkısı olan, karşılaştığım tüm zorluklarda her zaman yanımda olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın her aşamasında,engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ'e, görüş ve yönlendirmelerinden faydalandığım değerli kardeşim Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI'ya teşekkür ederim.

Bilgilerini ve düşüncelerini benimle paylaşan değerli meslektaşlarım Öğr. Gör. Dr. Murat ÇETİN'e, Öğr. Gör. Dr. Ahmet Serhan CANBOLAT'a ve Öğr. Gör. Dr. Ebubekir BEYAZOĞLU'na teşekkür ederim.

Hayatımın her anında olduğu gibi, tezimin başlangıcından bitişine kadar olan bu süreçte de bana daima destek olan aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Faruk KAYNAKLI

.../.../.....

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Soğuk Depolar.....	6
2.2. Hava Hızının Soğutmaya Etkisi	7
2.3. Oda İçi Hava Dağılımının Önemi	8
2.4. Sıcaklık ve Hız Dağılımı Üzerine Yapılan Çalışmalar	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. HAD Modeli	18
3.2. Çevreden Olan Isıl Kazanç.....	19
3.3. Meyvelerin Olgunlaşma Isısı	20
3.4. Buharlaştırıcı.....	21
3.5. Türbülans Modeli.....	22
3.6. Modelin Doğrulanması.....	22
3.6.1. Ağ yapısından bağımsızlık.....	22
3.6.2. Toplam kütle ve ısı transfer oranı farkları.....	30
3.6.3. y^+ değerleri	31
3.6.4. HAD modeli ile gerçek depo ölçümlerinin karşılaştırılması	33
3.7. Farklı Tasarımların Karşılaştırılmasında Kullanılan Referans Türleri	35
3.7.1. Noktasal referanslar	36
3.7.2. Çizgisel referanslar.....	39
3.7.3. Yüzeysel referanslar.....	41

3.7.4. Hacimsel referanslar.....	46
3.8. Soğuk Depo İçin Referans Türü Seçimi.....	46
4. BULGULAR	49
4.1. Mevcut Soğuk Depo Tasarımının Analizi	49
4.2. Optimum Panel Açısının Bulunması.....	55
4.3. Düşey ile 63° Açılı Panel için Detaylı Sonuçlar	64
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	92

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
CFD	Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
FAO	Food And Agriculture Organization of The United Nations (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü)
GCCA	The Global Cold Chain Alliance's Core Partner (Küresel Soğuk Zincir Birliği'nin Çekirdek Ortağı)
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve Soğutma)
IARW	International Association of Refrigerated Warehouses (Uluslararası Soğutmalı Depolar Birliği)
KA	Kontrollü Atmosfer
MBP	Modular Bulk Pack (Modüler Toplu/Dökme Paketleme)
ppm	Parts Per Million (Milyonda Bir Parça)
SECT	Seven-Eighths Cooling Time (7/8 Soğutma Zamanı)
WAM	Wireless AnemoMeter (Kablosuz hava hızı ölçer)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dönemlere göre Türkiye’de inşa edilen soğuk hava tesisi sayısı (Erkan 2018)	3
Şekil 1.2. Soğuk hava depolarının sektörlere göre dağılımı (Erkan 2018)	3
Şekil 2.1. Ürünün soğuma hızı değişimi (Devres 2013)	8
Şekil 2.2. Palet üzerinde istifleme durumunda hava akışları (Devres 2013)	9
Şekil 2.3. Dökme bir soğuk depolamanın şematik gösterimi (Van Mourik ve ark. 2009)	13
Şekil 3.1. Soğuk depo krokisi	17
Şekil 3.2. Basitleştirilmiş meyve kasası modeli	18
Şekil 3.3. Ağ elemanı sayısına göre X eksenindeki düzlemlerde sıcaklık histogramı	24
Şekil 3.4. Ağ elemanı sayısına göre X eksenindeki düzlemlerde hız histogramı	25
Şekil 3.5. Ağ elemanı sayısına göre Y eksenindeki düzlemlerde sıcaklık histogramı	26
Şekil 3.6. Ağ elemanı sayısına göre Y eksenindeki düzlemlerde hız histogramı	27
Şekil 3.7. Ağ elemanı sayısına göre Z eksenindeki düzlemlerde sıcaklık histogramı	28
Şekil 3.8. Ağ elemanı sayısına göre Z eksenindeki düzlemlerde hız histogramı	29
Şekil 3.9. Y+ değerlerinin eleman oranına göre dağılımı	31
Şekil 3.10. Karşılaştırma için sıcaklık ve hız ölçümü yapılan 8 nokta	34
Şekil 3.11. Noktasal referanslar	37
Şekil 3.12. Üç farklı tasarım için örnek karşılaştırma grafiği	39
Şekil 3.13. Çizgisel referanslar	40
Şekil 3.14. Ağ (mesh) yapısı	41
Şekil 3.15. Yüzeysel referanslar	42
Şekil 3.16. Ortalaması aynı üç farklı tasarımın histogram grafiği	45
Şekil 3.17. Tasarım performansı karşılaştırması için tanımlanan referans düzlemlerin konumları	48
Şekil 4.1. Depo içerisinde hava akış eğrileri	50
Şekil 4.2. Mevcut tasarım için X1, X2 ve X3 düzlemlerindeki sıcaklık ve hız dağılımı	52
Şekil 4.3. Mevcut tasarım için Y1, Y2 ve Y3 düzlemlerindeki sıcaklık ve hız dağılımı	53
Şekil 4.4. Mevcut tasarım için Z1, Z2 ve Z3 düzlemlerindeki sıcaklık ve hız dağılımı	54
Şekil 4.5. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki ortalama sıcaklıklar [°C]	57

Şekil 4.6. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki sıcaklık standart sapması [$^{\circ}\text{C}$].....	59
Şekil 4.7. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki hız ortalaması [m/s].....	61
Şekil 4.8. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki hız standart sapması [m/s].....	63
Şekil 4.9. 63° açılı panel için depo geometrisi.....	64
Şekil 4.10. 63° için X1 düzlemindeki sıcaklık ve hız histogramı	65
Şekil 4.11. 63° için X2 düzlemindeki sıcaklık ve hız histogramı	66
Şekil 4.12. 63° için X3 düzlemindeki sıcaklık ve hız histogramı	67
Şekil 4.13. 0° ve 63° panel açılarında X1 düzleminde hız dağılımı	70
Şekil 4.14. 0° ve 63° panel açılarında X2 düzleminde hız dağılımı	72
Şekil 4.15. 0° ve 63° panel açılarında X3 düzleminde hız dağılımı	74
Şekil 4.16. 0° ve 63° panel açılarında Y1 düzleminde hız dağılımı	76
Şekil 4.17. 0° ve 63° panel açılarında Y2 düzleminde hız dağılımı	78
Şekil 4.18. 0° ve 63° panel açılarında Y3 düzleminde hız dağılımı	80
Şekil 4.19. 0° ve 63° panel açılarında Z1 düzleminde hız dağılımı.....	81
Şekil 4.20. 0° ve 63° panel açılarında Z2 düzleminde hız dağılımı.....	83
Şekil 4.21. 0° ve 63° panel açılarında Z3 düzleminde hız dağılımı.....	84
Şekil 4.22. 63° için tüm düzlemlerdeki sıcaklık ve hız ortalama ve standart sapması ...	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Adet olarak en fazla soğuk depo bulunan 5 il.....	4
Çizelge 1.2. Kapasite olarak en fazla soğuk depo bulunan 5 il	4
Çizelge 3.1. Duvarlardan olan ısı transferi miktarı	20
Çizelge 3.2. Bazı meyvelerin günlük ürettiği olgunlaşma (solunum) ısıları (Özkul 2016)	20
Çizelge 3.3. Eleman boyutuna göre düğüm ve eleman sayısı.....	22
Çizelge 3.4. Sınırlardaki toplam kütle transferi	30
Çizelge 3.5. Sınırlardaki toplam ısı transferi	30
Çizelge 3.6. Y+ aralıklarına göre eleman oranları	32
Çizelge 3.7. Soğuk depoda ölçüm yapılan 8 noktanın hesaplanan ile kıyaslaması	35
Çizelge 3.8. Üç farklı tasarım için örnek karşılaştırma tablosu	37
Çizelge 3.9. Yüzey üzerindeki düğümler için örnek sıcaklık değerleri	43
Çizelge 3.10. Histogram grafiği için veri tablosu	45
Çizelge 4.1. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki ortalama sıcaklıklar [°C]	56
Çizelge 4.2. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki sıcaklıkların standart sapması [°C]	58
Çizelge 4.3. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki hız ortalaması [m/s].....	60
Çizelge 4.4. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki hızların standart sapması [m/s]	62
Çizelge 4.5. 63° panel açısı için tüm düzlemlerdeki sıcaklık ve hız ortalama ve standart sapması	68

1. GİRİŞ

FAO kayıtlarına göre her yıl 1,3 milyar ton yiyecek çöpe gidiyor (FAO 2012). Bu miktar 868 milyon insanı doyuracak miktarda bir israftır. İnsan nüfusu ile orantılandığında tüm dünya ülkelerinin kişi başına israf ettiği değer ortalama 572,4 kg/yıl'dır (2012). Yakın gelecekte açlık ile mücadelede sonuç alınmak istenirse mutlaka ürünlerin pazara ulaşımında iyi ve kontrollü bir nakliye, uygun bir ambalajlama ve en önemlisi uzun süreli muhafaza için depolama tesisleri inşa edilmelidir (Türk ve Karaca 2016).

Dünya nüfusunun hızla artmasıyla beraber hasat sonrası meyve ve sebzelerin tüketilmeden önce mümkün olduğu kadar uzun süre özelliklerini kaybetmeden saklanabilmesi çok daha fazla önem kazanmıştır. Büyük miktardaki gıdanın uzun süre saklanmasında en çok kullanılan yöntemlerin başında soğuk depolar gelmektedir. Gıda türü, bölge ve mevsimlere göre değişiklik göstermekle beraber Türkiye'de hasat sonrası ürünlerde kayıp oranı %10 ile %30 arasında değişmektedir bu da yaklaşık 5-13 milyon ton meyve veya sebzenin tüketiciye ulaşmadan zayi olduğunu göstermektedir (Erkan 2018).

Yaş meyve ve sebzeler canlı ürünleridir ve oksijeni alıp karbondioksit vererek solunum yaparlar. Ayrıca biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda çok sayıda farklı gazlar çıkarırlar. Bu gazlar depo içerisindeki havada aromatik bir kokuya sebep oldukları gibi aynı zamanda ürünün metabolizmasını hızlandırarak ürünün dayanma ömrünü azaltır. Bu gazlardan en önemlileri karbondioksit ve etilendir. Depo içerisindeki karbondioksit ve etilen miktarının artması meyve ve sebzelerin filizlenmesi, çürümesi ve hızlı olgunlaşması gibi sonuçlara sebep olmaktadır. Örneğin; patates depolarında karbondioksit birikiminin %0,5-1,0'in üzerine çıkması istenmez çünkü yumruların filizlenmesine sebep olur. Hatta yara onarımı (kürleme) uygulamalarında bu sınır %0,5'dir (Karaçalı 2007).

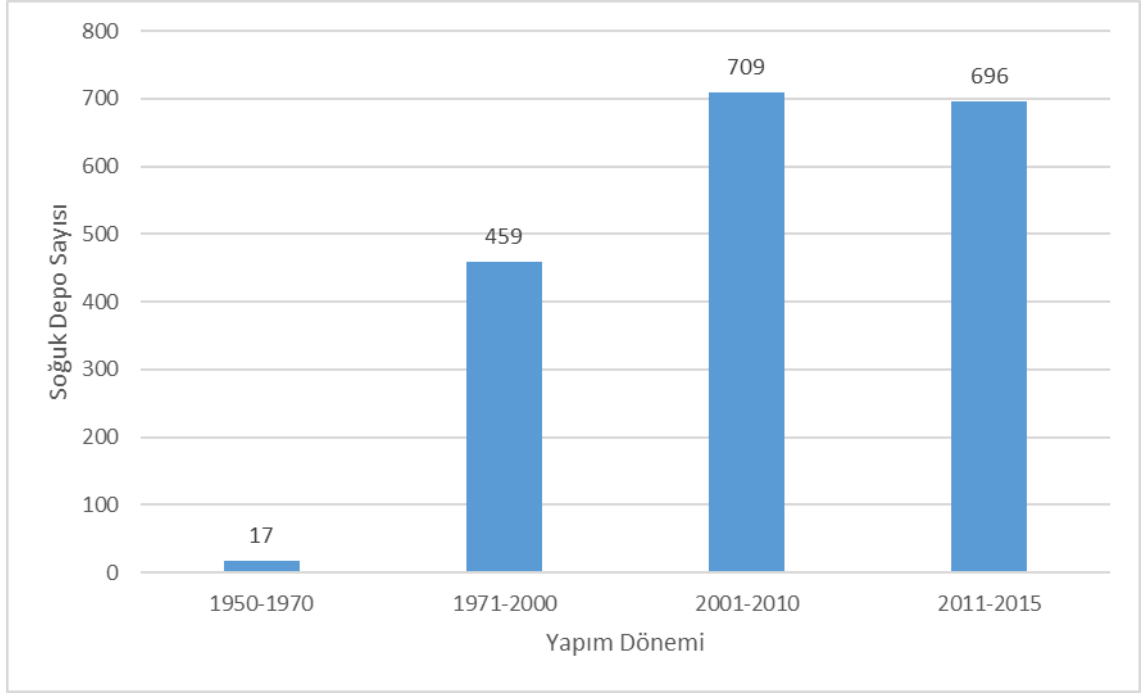
Etilen birçok meyve ve bitkisel artıklarca üretilen ve olgunlaşmayı ve yaşlanmayı hızlandıran bir gazdır. Bu sebeple örneğin elma depolarında 1 ppm, kivi depolarında 0,05-0,1 ppm'in üzerinde olması dayanma gücünü azaltır. Aynı şekilde turunçgil

depolamada da karbondioksit birikiminin %0,1'in altında tutulması gerekir (Karaçalı 2007).

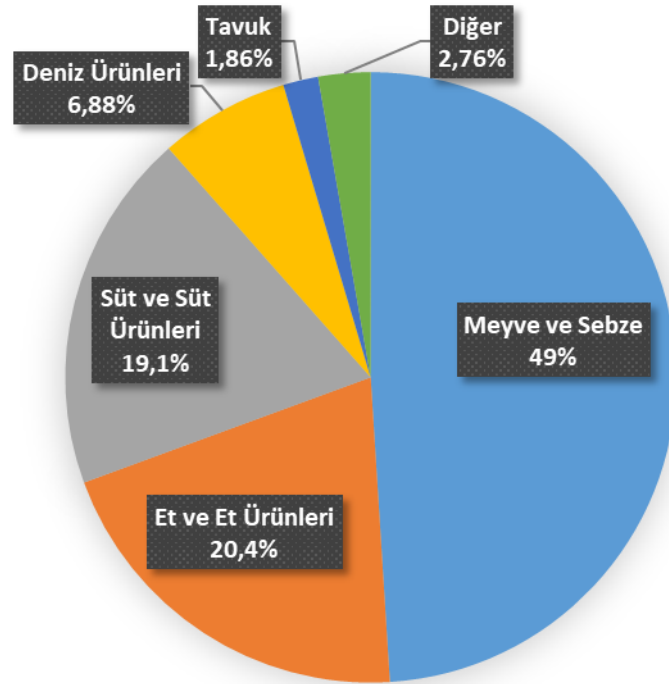
Soğuk depolar sayesinde büyük miktarlardaki meyve ve sebzeler uzun süreler boyunca besin değerlerini ve lezzetini kaybetmeden korunabilmektedir. Bir soğuk depo içerisine konan meyve miktarı arttıkça birim maliyet düşmektedir. Ancak çok miktarda meyve aynı hacim içerisine koyulduğunda içerideki hava akışı her yerde eşit olmadığından dengeli bir soğutma sağlanamamakta, bunun sonucu olarak da ürünlerde kısmi bozulmalar veya kalite kayıpları söz konusu olmaktadır. Soğuk depo içerisinde daha homojen bir hava akışı sağlamak için uygulanan çok çeşitli yöntemler mevcuttur. Ancak bunların birçoğu depoların inşası sırasında uygulanması gereken yüksek maliyetli sistemlerdir.

Türkiye'de soğuk depoların inşası 1952 yılında Et ve Balık Kurumunun faaliyete başlamasıyla beraber hız kazanmıştır. Dönemlere göre Türkiye'de inşa edilen soğuk hava tesisi sayısı Şekil 1.1'de verilmiştir. Soğuk hava depolarının izlenmesi ve planlanması hakkında herhangi bir kanuni düzenleme olmadığı için kesin sayılar net olarak bilinmemekle beraber zaman zaman kamu ve özel sektör tarafından yapılan çalışmalar ile elde edilen son bilgilere göre şu anda aktif olarak 1881 adet soğuk hava deposu bulunmaktadır. Bu depoların sektörlere göre dağılımı da Şekil 1.2'de verilmiştir. Ayrıca adet olarak en çok soğuk hava deposu bulunan 5 ilimiz Çizelge 1.1'de, kapasite olarak en fazla soğuk depoya sahip 5 ilimiz de Çizelge 1.2'de verilmiştir. Bu tesislerin %93,33'ünü özel şirketler, %3,39'unu kooperatifler, %3,28'ini ise kamu işletmektedir (Erkan 2018).

İki binli yıllardan itibaren soğuk hava deposu endüstrisi tarım ve gıda endüstrisinin hayati parçalarından biri haline geldi. "Uluslararası Soğutmalı Depolar Birliği (IARW)" ve "Küresel Soğuk Zincir Birliği'nin Çekirdek Ortağı (GCCA)" tarafından 2014 yılında yayınlanan kapasite raporuna göre Hindistan, 131 milyon m³ ile dünyanın en büyük soğuk hava deposu kapasitesine sahipken Türkiye ise 7 milyon m³ kapasite ile 14. sırada yer aldı. Aynı rapora göre 2008-2014 yılları arasında Türkiye soğuk hava deposu kapasitesini %68 oranında artırarak soğuk hava deposu kapasitesini en fazla artıran ülke olmuştur (Erkan 2018).



Şekil 1.1. Dönemlere göre Türkiye’de inşa edilen soğuk hava tesisi sayısı (Erkan 2018)



Şekil 1.2. Soğuk hava depolarının sektörlere göre dağılımı (Erkan 2018)

Çizelge 1.1. Adet olarak en fazla soğuk depo bulunan 5 il

İl	Depo Sayısı
İstanbul	146
Antalya	145
İzmir	120
Bursa	116
Isparta	114

Çizelge 1.2. Kapasite olarak en fazla soğuk depo bulunan 5 il

İl	Depo Kapasitesi (ton)
Isparta	505.000
Bursa	219.562
Antalya	191.210
Karaman	108.950
Mersin	92.305

Bu çalışmada; inşası sırasında homojen hava dağılımı için bir yöntem uygulanmamış çok sayıdaki mevcut soğuk depoda hava akışını iyileştirmek için kullanılabilecek ekonomik, etkili ve hızlı uygulanabilecek bir tasarım üzerinde durulmuştur. Sistem tasarımının optimizasyonu için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) metodunu kullanan Ansys Fluent programından yararlanılmıştır.

Kaynak Araştırması bölümünde ilk olarak soğuk depolarda hava akışını iyileştirmede kullanılan yöntemler incelenmiştir. Ayrıca bu yöntemler arasındaki farklar, avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır.

Materyal ve Yöntem bölümünde tez kapsamında yapılan analizler hakkında bilgi verilmiştir. Optimizasyon çalışması sırasında farklı yapılandırmaların kıyaslanmasında kullanılan istatistiki analiz metotları hakkında bilgiler verilmiştir.

Bulgular ve Tartışma bölümünde ilk olarak standart bir soğuk depodaki hava sıcaklığı ve hava hızı dağılımı ele alınmıştır. Daha sonra uygulanan sistemin farklı yapılandırmaları ayrı ayrı ele alınmış ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Bu sayede ideal değerlere ulaşılmış ve elde edilen sonuçlar bu bölümde sunulmuştur.

Çalışmanın Tartışma ve Sonuç bölümünde ise optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Uygulanan sistemin homojen hava sıcaklığı ve hava hızı dağılımına etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde hasat sonrası gıda endüstrisinde geniş bir uygulama alanı olan soğuk depolar hakkında bilgi verilmiş ve temel özelliklerinden bahsedilmiştir. Daha sonra soğuk depolar içerisindeki hava hızlarının ve sıcaklık dağılımının depolanan gıdaların kalitesine etkisi üzerinde durulmuştur. Son olarak da literatürde daha önce soğuk depolar ve soğuk depolarda hava akışının iyileştirilmesi üzerine yapılmış çalışmalar derlenmiştir.

2.1. Soğuk Depolar

Soğuk; mikroorganizmaların hareketlerini yavaşlatarak gıda maddelerinin bozulmasını geciktirir. Bunu fark eden atalarımız gıdaları karlara gömerek taze kalmasını sağlamaya çalışmışlardır. Depolamanın tarihi doğal mağaralar ile başlar. Romalılar M.Ö. 100. yılın ilk yarısında yaptıkları soğuk depolama örnekleri ile bugünün modern soğuk depolama teknolojisinin temeli olmuşlardır (Kader 1992).

Endüstriyel soğutmanın başlangıcı 1800'li yıllarda soğutma çevrimlerinin geliştirilmesiyle başlamıştır. 1890 yılında ilk mekanik buz imalatı başlamış, absorpsiyon prensibiyle çalışan otomatik bir buzdolabı 1900'li yılların başında satışa çıkmıştır.

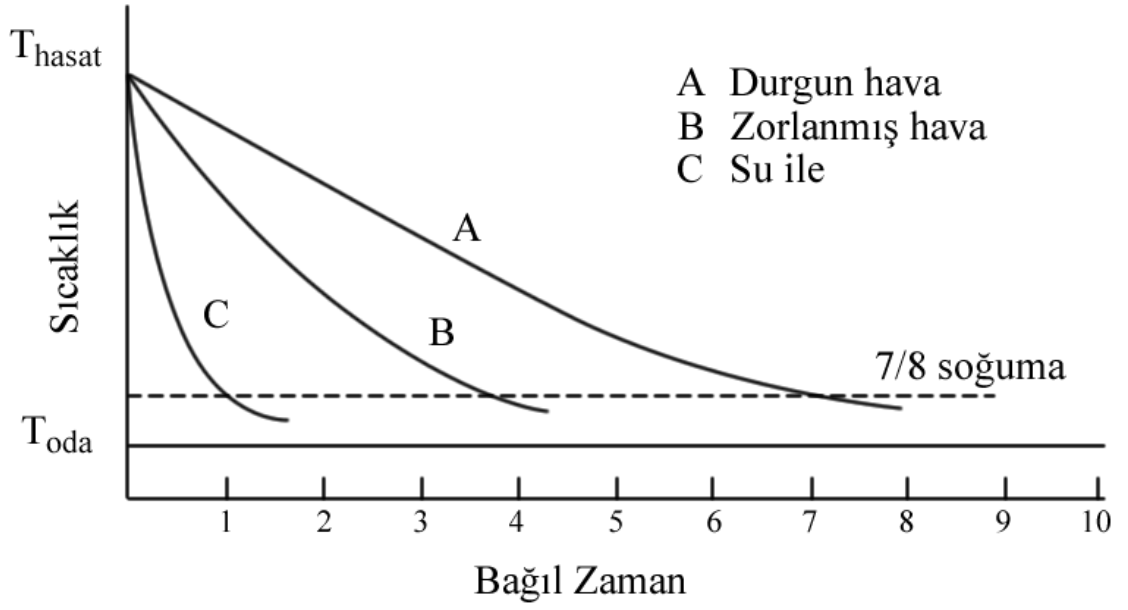
Üretilen gıdaların uzun süre saklanabilmesi gıda fiyatlarını uygun hale getirmiş, sabit ve hareketli soğuk zincir uygulamasıyla gıdaların bütün dünyaya dağıtılması sağlanmıştır. Soğutma mekanizmalarının giderek daha çok daha az enerji tüketmesi ve yalıtım sistemlerinin veriminin artarak fiyatının düşmesi gibi sebepler soğuk depoların dünyanın her yerinde kolaylıkla kurulmasını sağlamış ve gıdaların çok daha uzun süreler sağlıklı şekilde saklanabilmesini mümkün kılmıştır (Türk ve Karaca 2016).

Elmanın dalından koparılmasıyla beraber ortam sıcaklığında bünyesinde bulunan ve bitkisel bir hormon olan etileni salgılamaya başlar. Etilen ve mikroorganizmaların hareketlenmesiyle elma üç hafta içerisinde yenemez hale gelir. Soğuk oda içerisindeki ısrının uzaklaştırılması prensibi ile çalışan depolar sayesinde ortam sıcaklığı düşürülerek elmanın solunumu yavaşlatılmakta ve çok daha uzun bir süre kalitesini kaybetmeden muhafaza edilebilmektedir (Akgül ve ark. 2011).

Soğuk depo yapılarında duvarlar gaz geçişini engellemez ancak kontrollü atmosferli depolarda (KA) özel bir gaz yalıtımı bulunur. Gaz yalıtımı bulunmayan depolarda hava basıncındaki oynamalar, rüzgâr ve depo iç sıcaklığındaki değişimler gibi sebepler ile doğal bir havalanma gerçekleşir. Hava basıncının değişmesiyle duvarlarda emme ve basma etkisi oluşur. Benzer şekilde rüzgâr etkisiyle de yine duvarlarda emme ve basma etkisi oluşur. Ayrıca depodaki soğutma sisteminin emme yapmasıyla iç basınçta düşme meydana gelir ve emme etkisi oluşturur. İç sıcaklığın artması ise basıncı artıracığından dışarıya hava basılmasına sebep olur (Karaçalı 2007).

2.2. Hava Hızının Soğutmaya Etkisi

Akışkan hızlarının artmasıyla ısı taşınım katsayıları ve dolayısıyla toplam ısı transfer katsayısı (U) büyütülebilir. Bu yöntemin en yaygın kullanıldığı yerlerden birisi de ön soğutma ve şoklama odalarıdır. Ürünlerin soğutulması amacıyla en yaygın kullanılan akışkanlar hava ve sudur. Suyun ısı özellikleri daha iyi olmasına rağmen ürün yüzeylerindeki hassasiyet nedeniyle her türlü üründe su ile soğutma uygulanamamaktadır. Ürünün depolama sıcaklığına eriştiği kabul edilen 7/8 oranında soğutmanın (SECT) sağlandığı sıcaklığa en hızlı su, en yavaş durgun hava ile erişilebilmektedir. Farklı akışkanlar için ürünün soğuma hızı değişimine ilişkin grafik Şekil 2.1’de verilmiştir.

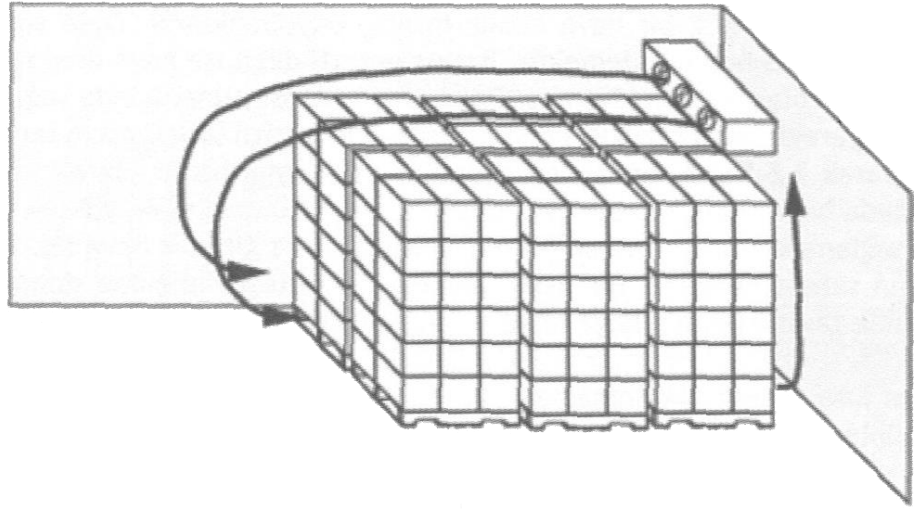


Şekil 2.1. Ürünün soğuma hızı değişimi (Devres 2013)

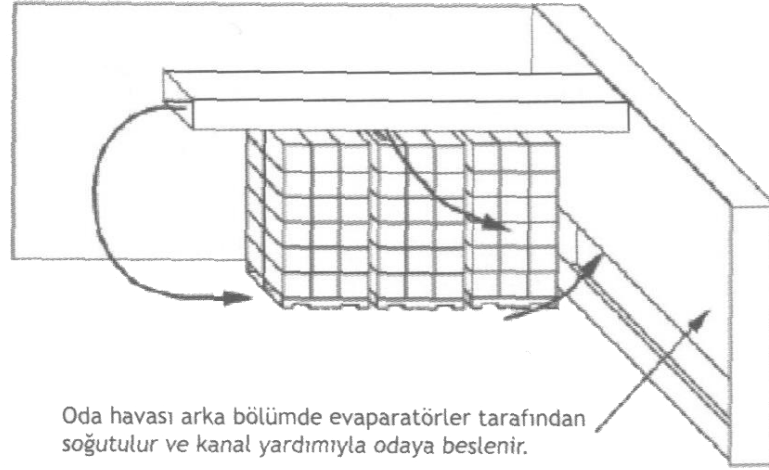
Akışkan hızı artırıldığında hem akışkandaki hem de soğutulan ortamdaki kayıplar artmasının yanı sıra, özellikle yüksek nem içeren ambalajsız gıda maddelerinin yüzeyinden olan nem kaybı da artar. Ürünlerde kuruma ve nem kaybı sonucu yüzeyinde istenmeyen çatlama ve renk değişiklikleri görülebilir. Çeşitli ürünler için farklı olabilmekle birlikte en uygun ve ekonomik hız olarak 2,5-5 m/s hava hızları tavsiye edilmiştir. Bundan daha yüksek hızlara çıkmak çok az kazanç sağlayacaktır.(Devres 2013).

2.3. Oda İçi Hava Dağılımının Önemi

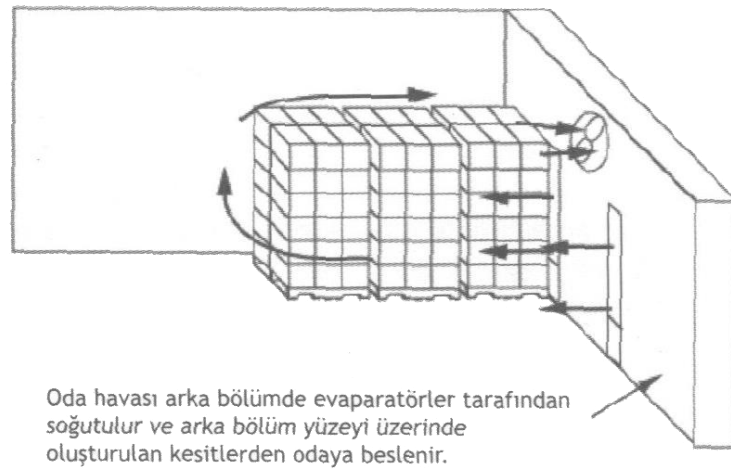
Her ürün için tavsiye edilen farklı muhafaza sıcaklıkları söz konusudur. Otomatik kontrol edilen sistemler sayesinde bu değerlerin sağlanması son derece kolaydır. Ancak asıl problem yüksek doluluk oranına sahip bir soğuk deponun her noktasındaki meyveler üzerinde aynı sıcaklığın sağlanmasıdır. Dar kesitlerde hava hızları sıfıra yakın değerlere kadar düşeceği için toplam ısı transfer katsayısı da düşecek ve depo içerisindeki tüm gıdalarda istenilen sıcaklık değerleri sağlanmayacaktır. Bu sebeple oda içerisinde mümkün olduğunca homojen bir hız dağılımı olması son derece önemlidir (Devres 2013).



A



B



C

Şekil 2.2. Palet üzerinde istifleme durumunda hava akışları (Devres 2013)

Palet üzerinde depolanmış ürünler için üç farklı soğutma yöntemine ilişkin örnek Şekil 2.2’de verilmiştir. Tüm bu sistemlerdeki amaç soğuk depo içerisinde homojen bir hava dağılımının sağlanmasıdır.

Şekil 2.2.A’da standart bir oda yerleşimi görülmektedir. Buharlaştırıcıdaki soğuk hava doğrudan depo içerisine üflenmekte ve meyveler arasındaki boşluklara dağılarak meyvelerin soğutulması sağlanmaktadır. Bu yöntemin avantajı ucuz ve imalatının kolay olmasıdır, dezavantajı ise depo içerisindeki farklı kesitlerde çok farklı hava hızları ve sıcaklıkları oluşmaktadır ve bu da ürünün kalitesini ve muhafaza süresini doğrudan etkilemektedir.

Şekil 2.2.B’de odanın arkasında bulunan kapalı bir hacimde hava soğutulmakta ve kanal yardımıyla doğrudan paletler üzerinde uygun noktalara üflenmektedir. Bu yöntemin avantajı soğuk havanın boş alanlara değil doğrudan soğutulmak istenen bölgeye üflenmesidir. Dezavantajı ise ilk yatırım maliyeti ve ürün yükleme durumundaki farklılıklara göre etkisinin değişken olmasıdır.

Şekil 2.2.C’de ise yine arka bölmede soğutulan hava bu sefer kanal yerine duvarlarda oluşturulan hava boşlukları ile üflenmektedir (Devres 2013). Bu yöntemin avantajı daha çok noktadan doğrudan ürünler üzerine üfleme yapıldığı için daha homojen ve hızlı soğutma yapmasıdır. Dezavantajı ise ilk yatırım maliyeti ve ürün yükleme durumundaki farklılıklara göre etkisinin değişken olmasıdır.

2.4. Sıcaklık ve Hız Dağılımı Üzerine Yapılan Çalışmalar

(Ghiloufi ve Khir 2019) hurma dolu bir soğuk depoda tavan yerleştirilecek özel tasarıma sahip bir ve üç adet saptırıcının depo içerisindeki hava ve sıcaklık dağılımına etkisini incelemiştir. Normal depo tasarımında meyve sandıklarının iç bölgelerinde hedeflenen depolama sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Ancak buharlaştırıcının karşısına bir adet saptırıcı yerleştirildiği durumda bu sıcak bölgelerin küçüldüğü ve ortalama sıcaklığın düştüğü görülmektedir. Üç adet saptırıcı bulunduğu ise sıcak bölge daha da küçülmüş ve ortalama sıcaklık hedeflenen depolama sıcaklığına daha da

yaklaşmıştır. Yapılan çalışma istenildiği gibi homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamak için saptırıcılar eklenmesinin faydalı olduğunu göstermiştir.

(Akdemir ve Bartzanas 2015) Granny Smith yüklü bir soğuk depodaki sıcaklık ve bağıl nem dağılımını sayısal ve deneysel olarak almıştır. HAD modeli ile deneysel sıcaklıklar için bağıl hata %13, bağıl nem için bağıl hata %1,43 olarak bulunmuştur. Depo tasarımı ve meyvelerin depolanış şekline bağlı olarak soğuk depo içerisindeki sıcaklık dağılımının homojen olmadığı görülmüştür. Modelin soğuk depo içerisindeki sıcaklık ve nem dağılımını tahmin için kullanılabileceği önerilmiştir.

(Hoang ve ark. 2015) bir soğuk depo içerisindeki elmaları modellerken iki farklı yaklaşımı karşılaştırmıştır. İlk yaklaşım üst üste yerleştirilen elma kasalarının tek bir blok şeklinde tasarlanması, ikinci yaklaşım ise üst üste sekiz sandıktan oluşan ve aralarında boşluk bulunan tasarımıdır. Tek blok tasarımı bloklar etrafındaki hava ve sıcaklık dağılımı hakkında yeterli bilgi verirken, çoklu blok tasarımında sandıklar arasındaki hava sıcaklık dağılımı hakkında daha detaylı bilgiler vermiştir ancak tek blok yaklaşımına göre 4 kat daha fazla ağ elemanı tanımlanması gerekmiştir.

(Praeger ve ark. 2020) elma dolu bir soğuk hava deposundaki hava hızlarını ölçmek elma sandıklarının içerisine ve sandıklar arasındaki dikey boşluklara yerleştirdikleri kablosuz anemometreleri (WAM) kullanmışlardır. Sandıklar yığınları arasındaki dikey boşluklarda hava hızları 1,5 m/s civarındayken sandık içerisindeki elmalar arasında 0,3 m/s'ye kadar düşmektedir. Ayrıca buharlaştırıcının üfleme yoluna yakın olan en üst sıralardaki sandıklardaki hava hızları, depo zeminine yakın olan sandıklardaki hava hızlarının 7 katına kadar çıkmaktadır. Fan hızı 100%'den başlayarak %44'e kadar düşürüldüğünde bile halen sandık içlerinde dahi hava hızlarının ölçülebildiği görülmüştür.

(H.R. 2015) çalışmasında soğuk depoda hava girişi sayısı, girişlerin konumu ve meyve yığınları arasındaki boşluk gibi üç adet parametrenin homojen hava ve sıcaklık dağılımına etkisini incelemiştir. Çoklu hava girişi durumunda tek girişe göre daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Hava girişlerinin meyve yığınları üzerine denk getirilmesi de hava ve sıcaklık dağılımını iyileştirmiştir. Meyve yığınları arasındaki

boşluğun elli santimetreden yüz santimetreye çıkarılması da daha homojen bir soğutma sağlamıştır.

(Delele ve ark. 2013) sofralık üzümün soğuk depoda saklanması sırasında farklı paketlenme ve istifleme yöntemlerinin hava akışı, sıcaklık ve bağıl nem üzerindeki etkisini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmanın sonucunda bazı paketlenme türleri bağıl nemi korurken sıcaklık dağılımını olumsuz etkilediği görülmüştür. Kurulan model ile deneysel ölçümler arasında iyi bir uyum olduğundan modelin gerekli uyarlamalar yapılarak diğer gıda ve yükleme türlerine de uygulanabileceğini belirtmiştir.

(Bogdanovská ve ark. 2019) soğuk depolarda yıl içerisinde mevsimsel olarak meydana gelen sıcaklık dalgalanmalarını ele almış ve kış aylarında ayarlanan sıcaklıktan düşük olduğu, yaz aylarında toleransları da aşacak şekilde ayarlanan sıcaklıktan yüksek olduğu görülmüştür. Düşük sıcaklıklar gıdalarda kalite düşüklüğü ve koku, tat renk gibi bazı özelliklerinde bozulmalara sebep olduğundan istenmemektedir. Yüksek sıcaklık da bakteri oluşumu dolayısıyla bozulmalara ve kalite düşüklüklerine sebep olduğundan istenmemektedir. Bu problemler ile ilgili bütünsel çözümler önerilmiştir. Mevsimsel farkların sebep olduğu problemlerin benzeri depo içerisinde farklı bölgelerde oluşan sıcaklık farklarında da söz konusu olduğundan söz konusu çalışma bu çalışmanın önemini de vurgulamaktadır.

(Delele ve ark. 2009) ürün özellikleri, istifleme modeli, buharlaştırıcı dinamikleri ve nemlendirme dâhil olmak üzere, kurulu bir nemlendirme sistemine sahip soğuk hava deposu içinde ölçülen hız, sıcaklık, nem ve damlacık birikimi dağılımının analizi için bir CFD modeli kurmuştur. Soğutma sırasında 1 dakika açık ve 10 dakika kapalı aralıklı nemlendirme ile ortalama %10,1 bağıl nem artışına, soğutma süresini %15,8 oranında ve ağırlık kaybını %1,13 oranında azaltmasına sağladığı görülmüştür. 1 C'de depolama sırasında 1 dakika açık ve 15 dakika kapalı aralıklarla nemlendirme ile bağıl nemi %2,5 artırdı ve ağırlık kaybını %40,2 azalttığı görülmüştür. Sonuç olarak farklı çalışma parametrelerinin nemlendirme sisteminin verimliliği üzerindeki etkilerini incelemek ve püskürtülen su damlacıklarının maksimum buharlaşmasını ve minimum birikimini üreten

(Dehghannya ve ark. 2012) soğuk depolamada kullanılan paketler üzerindeki deliklerin boyut, sayı ve konumlarının zorlanmış taşınımında hava akımı ve ısı transferi üzerine etkilerini incelemek amacıyla dokuz farklı paket havalandırma tasarımını ele almıştır. Ürün sıcaklığı dağılımı, homojen soğutma ve soğutma süresi ile ilgili olarak farklı paket havalandırma tasarımları için önemli farklılıklar elde etmiştir. Belirli sayıda menfezin paket duvarlarındaki dağılımları ile birlikte uygun hava yolları sağlayabileceği ve dolayısıyla homojen soğutma sağlayabileceği gösterilmiştir. Daha az soğutma süresi, daha homojen bir soğutma ile birlikte, verimli bir soğutma sağlamak için uygun paket tasarımları önermiştir.

(Gruyters ve ark. 2018) sandık içerisinde rastgele yerleştirilmiş elma ve armutların röntgen cihazıyla oluşturulan üç boyutlu modeli ile genelde HAD uygulamalarında kullanılan basitleştirilmiş küre gibi şekillerin soğutma performansına etkilerini incelemiştir. Genel olarak iki yaklaşımın ortalama aerodinamik direncinde ve ürün soğutma hızında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Tasarım çalışmaları, fanlar gibi donanımların boyutlandırılmasını hedefliyorsa basitleştirilmiş ürün şekli yaklaşımının yeterli olacağı belirtilmiştir.

(Wua ve ark. 2019) meyvelerin soğuk depolarda saklanırken veya frigo konteynerlerde taşınması sırasında supervent sandıklarda muhafaza edilen meyveler için soğutma performansını, üstü açık klasik sandıklarda muhafaza edildiği durumdaki soğutma performansı ile kıyaslamıştır. Soğuk havanın kolayca kaçabileceği boş alanların daha az olduğu supervent sandıklarda çok daha hızlı ve homojen bir soğutma sağlandığı görülmüştür. Bu sebeple üzeri açık sandıklar yerine supervent sandıkların kullanımı önerilmiştir.

(Rajan ve ark. 2015) meyve sandığı yığınları arasındaki dikey boşlukların soğutma zamanı ve enerji tüketimi üzerine yaptıkları çalışmasında 10cm, 20cm ve 30cm aralıklı sütunlardan en az enerji tüketiminin 30cm için olduğunu bulmuştur. Ancak kasalar arasındaki fark arttıkça enerji tasarrufuna olan etkisinin azaldığı görülmüştür. 30cm üzerindeki aralıklar için sağlanacak enerji tasarrufunun depolama hacminden olacak

kayıpları karşılamayacağı göz önüne alınarak aralıkların daha fazla artırılmaması önerisinde bulunmuştur.

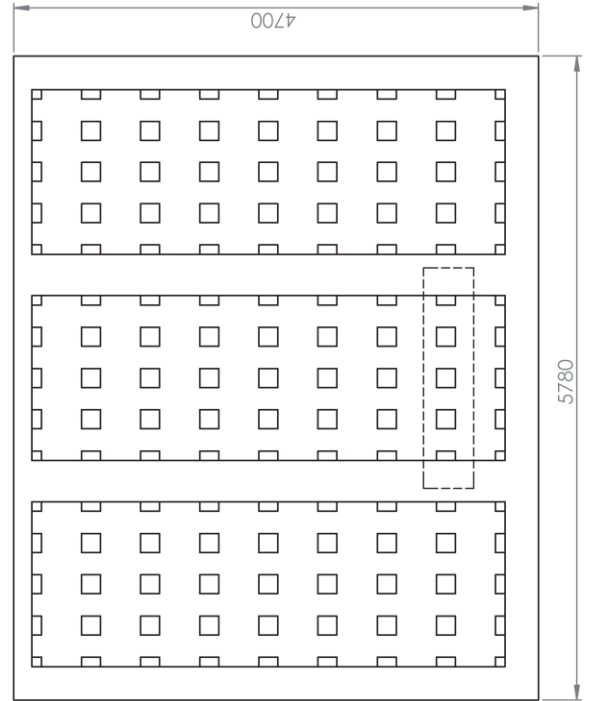
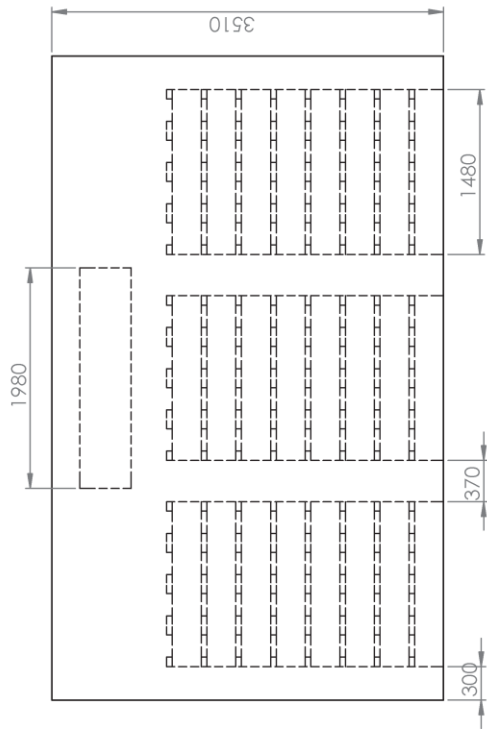
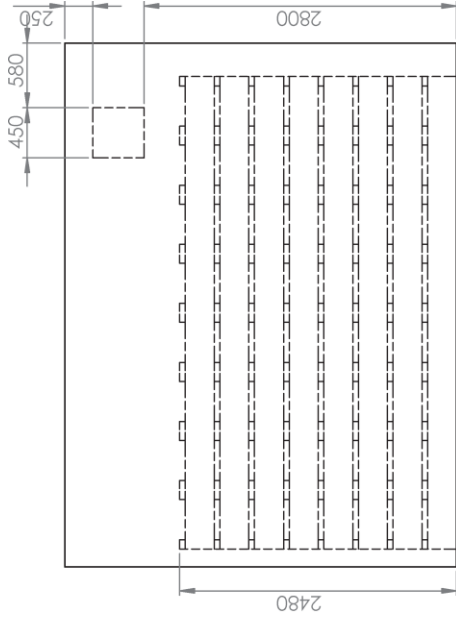
(Defraeye ve ark. 2014) meyve depolamada kullanılan standart üzeri açık sandıklar ile Ecopack ve Supervent sandıkları soğutma performansı ve homojen soğutma açısından karşılaştırmıştır. Ecopack sandıklar soğutma hızı açısından kötü bir performans sergilerken diğer yandan homojen soğutma bakımından diğerlerinden daha iyi sonuç vermiştir. Supervent sandıklar ise hızlı soğutma düşük enerji tüketimi açısından diğerlerinden daha iyi performans sergilemiştir. Yapılan çalışma, meyve yüzeyindeki hava hızları ile ısı taşınım katsayısı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu sebeple; havanın boş alanlara kaçmasını önleyip meyveler üzerine yönlendiren Supervent gibi sistemlerin kullanılması önerilmiştir.

(O’Sullivan ve ark. 2016) modüler bulk pack (MBP) karton kutularda paketlenmiş kivi meyveleri üzerindeki sıcaklık dağılımını tahmin etmek ve iyileştirmek üzere bir HAD modeli oluşturmuşlardır. Yapılan çalışma MBP kutuların kullanım amacı olan cebri hava akışıyla soğutma görevini yerine getirdiğini göstermektedir. Ancak bu kutular içerisindeki hava akışlarında da meyvelerin ve kutuların yığın içerisindeki yerleşimine bağlı olarak dengesizlikler olduğu görülmüştür. Oluşturulan modelin farklı paketler arasında ve paketlerin içerisindeki dağılımı iyileştirmek için kullanılabileceği belirtilmiştir.

(Nalbandia ve ark. 2016) çilekler için ön soğutma yapmak amacıyla yenilikçi paralel akışlı bir cebri soğutma tasarımı için HAD modeli kurmuştur. Kurulan model deneysel veriler ile iyi bir uyum göstermiştir. Önerilen sistem çilek paketleri arasında sadece 0,84 °C farkla soğutma yapabilmektedir. Ancak çileklerin şekline ve yükleme düzenine bağlı olarak paket içerisindeki çilekler arasında sıcaklık farklılıkları olduğu gözlenmiştir. Önerilen sistem tam olarak homojen bir soğutma sağlayamasa da mevcut uygulamalara alternatif bir iyileştirme sunmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

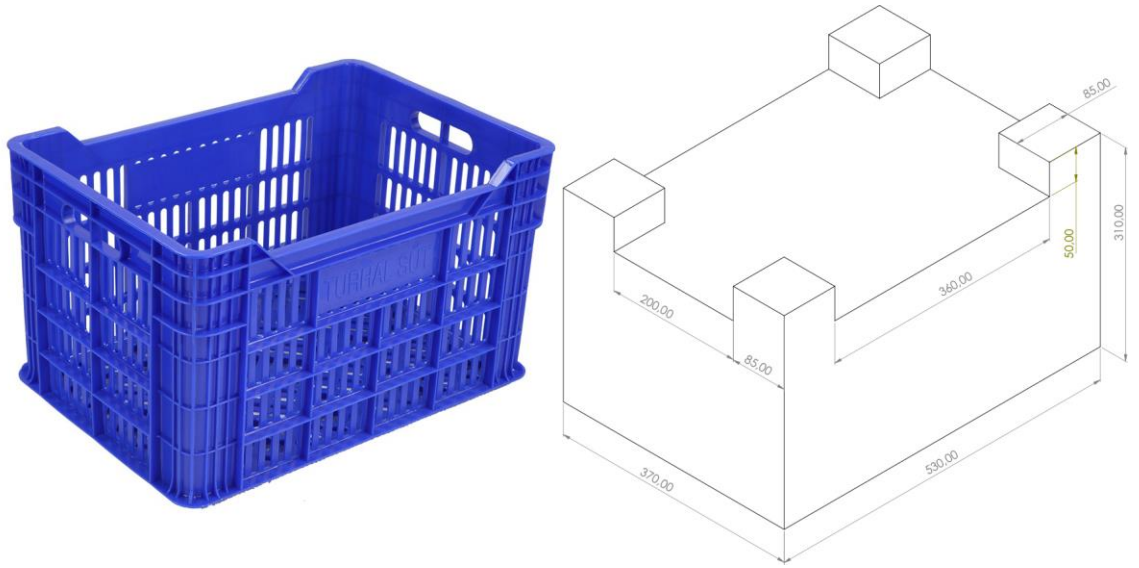
Bu çalışmada Şekil 3.1’de görülen, içerisinde elma dolu olan ve Bursa yöresinde bulunan bir soğuk deponun hava sıcaklığı ve hava hızı dağılımı analizi Ansys Fulent programında yapılmıştır. Yapılan analizler mevcut depodan alınan ölçümler ile doğrulandıktan sonra depo içerisindeki hava akışını iyileştirmek için farklı çözümler denenmiş ve en ideal çözüm bulunmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.1. Soğuk depo krokisi

3.1. HAD Modeli

Soğuk depoda elmaları istiflemek için Şekil 3.2’de görülen meyve kasaları kullanılmaktadır. Bu kasalar Şekil 3.1’de görüldüğü gibi yan yana 12x8 ve üst üste 8 sıra halinde istiflenmektedir. Ayrıca orta kısımlarda kalan meyvelere hava akışını kolaylaştırmak için yatayda her 4 sırada bir boşluk verilerek 3 grup halinde istiflenmektedir.



Şekil 3.2. Basitleştirilmiş meyve kasası modeli

Meyve kasası ve içerisindeki elmalar gerçek şekilleri ile modellendiğinde ortaya çıkan yüzey sayısı yüzlerce milyon olmakta ve kullanılan bilgisayar sistemi bu yoğunluktaki bir hesaplamanın altından kalkamamaktadır. Bu sebeple sistemde basitleştirmeye gidilerek Şekil 3.2’de görüldüğü gibi içerisi tamamen dolu olarak modellenmiştir. Kasa üst yüzeyi tamamen meyve kabul edilerek ısı transfer yüzeyi olarak kasanın tüm üst yüzeyi alınmıştır.

Türkiye’de iller bazında yaz dönemi ortalama en yüksek kuru ve yaş termometre sıcaklıkları için (Özkul 2016)’da verilen tablodan Bursa için sıcaklık tasarım değeri 37 °C olarak alınmıştır.

3.2. Çevreden Olan Isıl Kazanç

Poliüretan köpükler düşük ısı transferi, düşük özgül ağırlık, kalıplanabilme, yapışma ve su üzerinde kendi ağırlığının 25 katına kadar taşıyabilme gibi avantajları sebebiyle birçok alanda kullanılmaktadır (Aydın ve Ekmekçi 2002). Kullanım alanlarından bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Konteyner ve soğuk depoların yalıtımında
- Buzdolaplarının yalıtımı
- Boruların yalıtımı
- Duvarlar için sandviç panellerde
- Rüzgâr sörfleri

Duvarlardan olan ısı kazancı için eşitlik (3.1) kullanılabilir (Can ve ark. 2008).

$$Q = U \cdot A \cdot (T_{dış} - T_{iç}) \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte toplam ısı transfer katsayısı U , yüzey alanı A , duvarın dış yüzey sıcaklığı $T_{dış}$ ve duvarın iç yüzey sıcaklığı $T_{iç}$ 'dir.

Referans olarak alınan soğuk hava deposunun yalıtımında da ısı iletim katsayısı $0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ olan 80 mm poliüretan paneller kullanılmıştır (Aydın ve Ekmekçi 2002).

Duvarın dış yüzey sıcaklıkları Bursa bölgesi için 37°C , toprak zemin sıcaklıkları ise 25°C olarak alınmıştır (Özkul 2016).

Soğuk deponun dört duvarı, tavan ve zemin alanlarına göre elde edilen ısı transfer miktarları için hesaplama sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Ansys Fluent programında sınır şartları tanımlanırken sabit ısı akısı türünden W/m^2 birimiyle verileceğinden son sütundaki rakamlar alınacaktır.

Çizelge 3.1. Duvarlardan olan ısı transferi miktarı

	Alan [m ²]	Q [W]	Q [W/m ²]
Yan Duvar 1	20,2878	193,1	9,52
Yan Duvar 2	20,2878	193,1	9,52
Yan Duvar 3	16,497	157,1	9,52
Yan Duvar 4	16,497	157,1	9,52
Tavan	27,166	258,7	9,52
Zemin	27,166	167,3	6,16

3.3. Meyvelerin Olgunlaşma Isısı

Bazı meyve ve sebzelerin depolandıkları ortama göre günlük olarak ürettikleri olgunlaşma (solunum) ısıları Çizelge 3.2’te verilmiştir. Bu çalışmada ele alınan soğuk depoda elma muhafaza edildiğinden W/kg cinsinden çizelgedeki maksimum değerler alınmıştır.

Çizelge 3.2. Bazı meyvelerin günlük ürettiği olgunlaşma (solunum) ısıları (Özkul 2016)

Meyve	Olgunlaşma (Solunum) Isısı [kcal.ton⁻¹.gün]		Olgunlaşma (Solunum) Isısı [W/kg]	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
Armut	150	375	0,174	0,436
Elma	190	225	0,221	0,262
Ayva	250	395	0,291	0,459
Çilek	675	975	0,785	1,134

Soğuk depoda elmaları istiflemek için Şekil 3.2’de görülen meyve kasaları kullanılmaktadır. Bu kasalar Şekil 3.1’de görüldüğü gibi yan yana 12x8 ve üst üste 8 sıra halinde istiflenmektedir. Ayrıca yatayda her 4 sırada bir boşluk verilerek 3 grup halinde istiflenmektedir ve toplamda;

$$12 \times 8 \times 8 = 768 \quad (3.2)$$

adet kasa mevcuttur. Her bir kasa ortalama 20kg elma almaktadır ve toplamda;

$$768 \times 20 = 15.360 \text{ kg} \quad (3.3)$$

elma depolanmaktadır. Depodaki tüm meyveler için toplam olgunlaşma ısısı;

$$15360 \times 0,262 = 167,47 \text{ W} \quad (3.4)$$

olarak hesaplanmıştır.

Kasalar modellenirken sadeleştirmeye gidilerek Şekil 3.2’de görüldüğü gibi içerisi tamamen dolu olarak modellenmiştir. Kasa üst yüzeyi tamamen meyve kabul edilerek meyvelerin olgunlaşma ısıları için ısı transfer yüzeyi olarak kasanın tüm üst yüzeyi alınmıştır. Toplam kasa yüzeyi 240,77 m² olduğundan meyve olgunlaşma ısısı için Fluent programında sabit ısı akısı sınır şartı için;

$$167,47 / 240,77 = 0,69557 \text{ W/m}^2 \quad (3.5)$$

olarak bulunmuştur.

3.4. Buharlaştırıcı

Buharlaştırıcı çıkışındaki hava hızları ve sıcaklıkları mevcut soğuk depoda yapılan ölçümlere göre alınmıştır. Buharlaştırıcının hemen önünde üfleme yaptığı noktada on saniye ara ile beş adet sıcaklık ve hız ölçümü yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır. Bu ölçümlere göre ortalama hız 5 m/s ve ortalama sıcaklık 1°C olarak alınmıştır.

3.5. Türbülans Modeli

Farklı HAD uygulamalarında modelin özelliklerine bağlı olarak birden fazla türbülans modeli uygun sonucu verebilmektedir. (Delele ve ark. 2009) çalışmalarında standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$, realizable $k-\epsilon$, standard $k-\omega$ ve SST- $k-\omega$ türbülans modellerini test ederek ölçüm değerlerini yakınlığını kıyaslamış ve elde edilen sonuçlara göre duvarlarda $k-\omega$ ve ince kesitlerin olduğu meyve sandıklarında $k-\epsilon$ kullanmışlardır.

Bu çalışmada modelin tamamında gerek hızlı yakınsaması gerekse deneysel sonuçlara yakınlığı dolayısıyla Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır.

3.6. Modelin Doğrulanması

Analitik ve deneysel verilere dayanarak oluşturulan HAD modelinden elde edilen veriler ile gerçek depodan yapılan ölçümleri kıyaslayarak doğrulamadan önce modelin kendi içerisindeki tutarlılığı birkaç açıdan incelenmiştir.

3.6.1. Ağ yapısından bağımsızlık

Ağdan bağımsız bir tasarım elde edebilmek için yapılan testlerde kullanılan eleman boyutları ve elde edilen düğüm ve eleman sayıları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

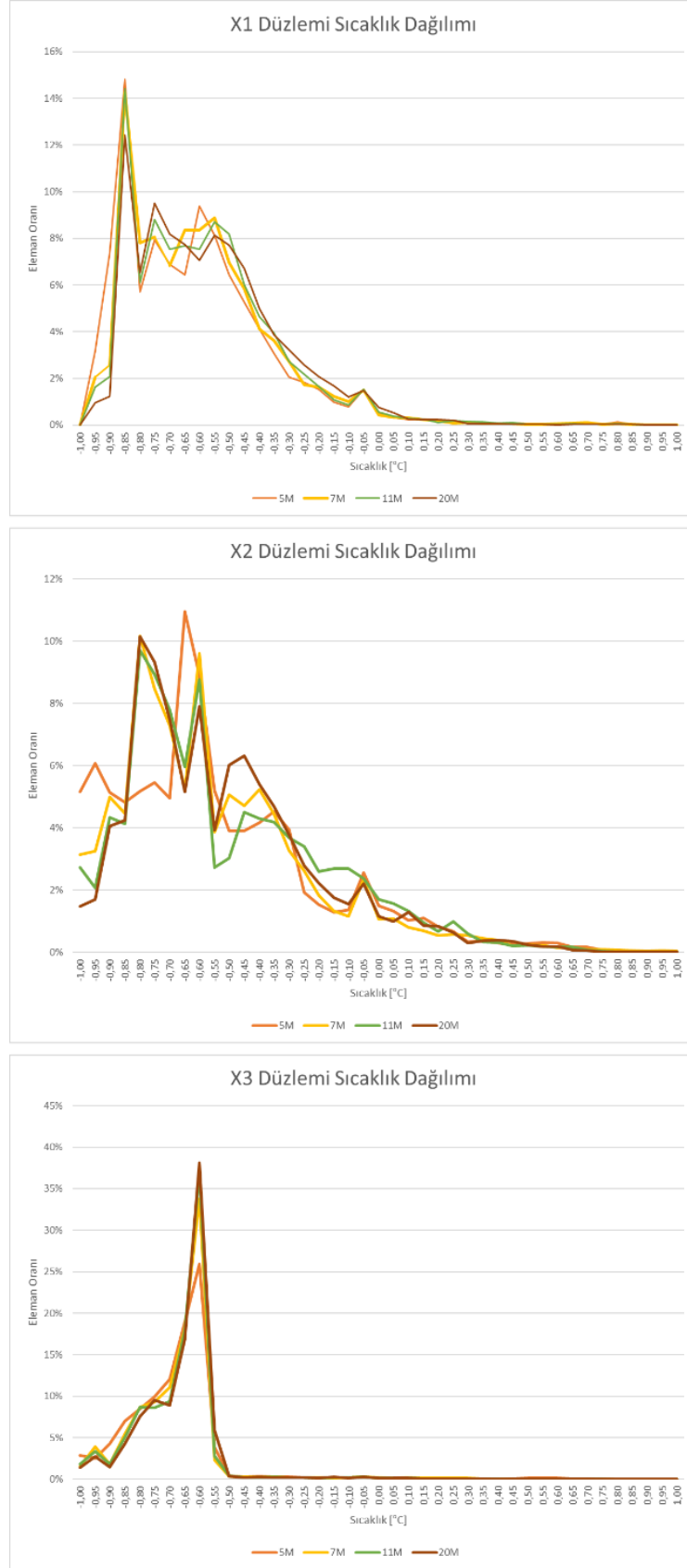
Çizelge 3.3. Eleman boyutuna göre düğüm ve eleman sayısı

Eleman Boyutu [mm]	Düğüm Sayısı	Eleman Sayısı
30	1,255,245	4,884,640
25	1.734.228	6.950.182
20	2.674.615	10.885.078
15	4.847.538	20.542.627

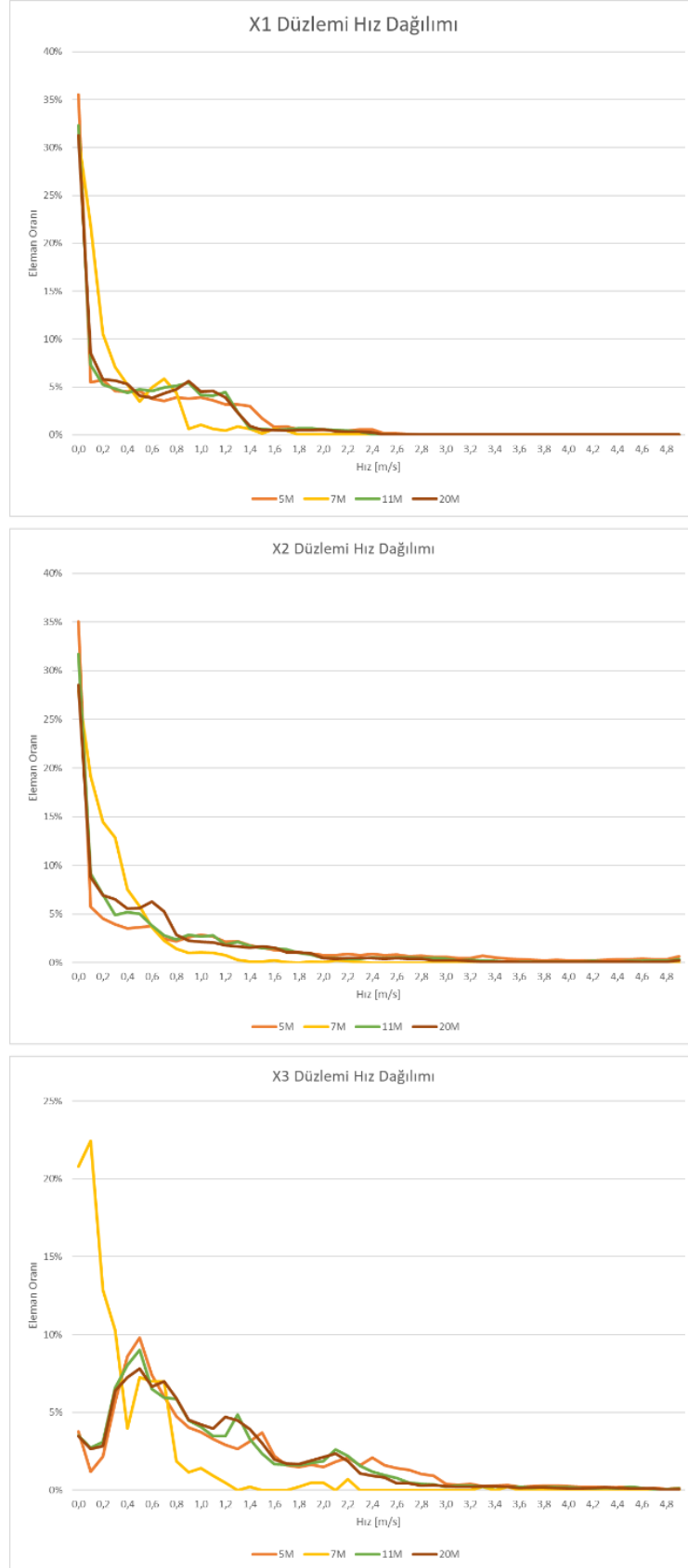
Sistemdeki her elemanın sıcaklıkları ve hızları farklı değerler alabildiğinden kıyaslanabilir bir grafik çizebilmek için her noktadaki sıcaklık ve hız değerini almak

yerine bu değerler için aralıklar belirlenmiştir. Ayrıca sistemin toplam eleman sayısı değiştiğinde her yüzey üzerindeki eleman sayısı da değiştiğinden grafiklerin birbiri ile kıyaslanabilir olması için her bir aralıktaki eleman sayısını doğrudan kullanmak yerine, toplam eleman sayısına bölünerek rakamlar normalleştirilmiş ve yüzde olarak hesaplanmıştır. Grafiklerdeki yatay eksen sıcaklık veya hız aralıklarını gösterirken dişey eksen de bu aralıktaki eleman sayısının oranını göstermektedir.

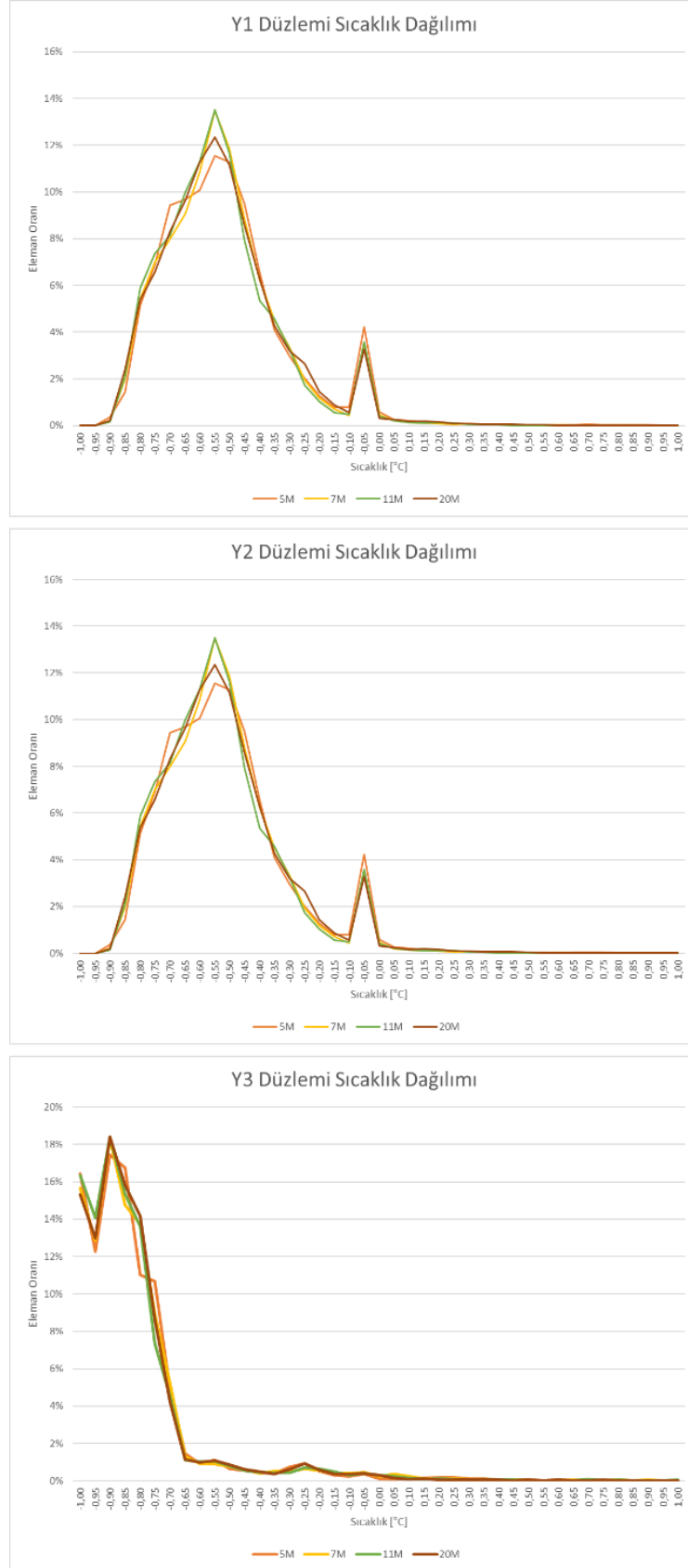
Çizelge 3.3'deki eleman sayıları için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre X1, X2 ve X3 düzlemleri üzerindeki sıcaklık dağılımı için çizilen histogram grafiği şekil 3.3'de, hız dağılımı histogramı ise şekil 3.4'de verilmiştir. Y1, Y2 ve Y3 düzlemleri üzerindeki sıcaklık dağılımı histogramı şekil 3.5'de, hız dağılımı histogramı ise şekil 3.6'da verilmiştir. Z1, Z2 ve Z3 düzlemleri üzerindeki sıcaklık dağılımları şekil 3.7'de, hız dağılımları ise şekil 3.8'de verilmiştir. şekillerde görüleceği üzere 7 milyon için alınan sonuçlar oldukça aykırı çıkmıştır ve hız dağılımının sıfıra yakın bir bölgede toplandığı görölmektedir. 11 ve 20 milyon için alınan sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Sıcaklık ve hız histogramları beraber ele alındığında 11 milyon elemanlık ağ yapısının istikrarlı bir sonuç verdiği söylenebilir. Ayrıca diğer eleman sayılarında çözümün yakınsaması 2000 ile 9000 iterasyon arasında sürerken 11 milyon elemanda yaklaşık 600 iterasyonda sonuca yakınsamaktadır ki bu da modelin ve ağ yapısının istikrarlı olduğunu göstermektedir. Eleman boyutu 20mm olduğunda yaklaşık 11 milyon elemandan oluşan bir ağ elde edilmektedir. Eleman boyutunu daha fazla küölterek eleman sayısını artırmanın sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi olmadığı grafiklerden görölmektedir. Bu sebeple özümelerde 11 milyon elemanlık ağ yapısı kullanılacaktır.



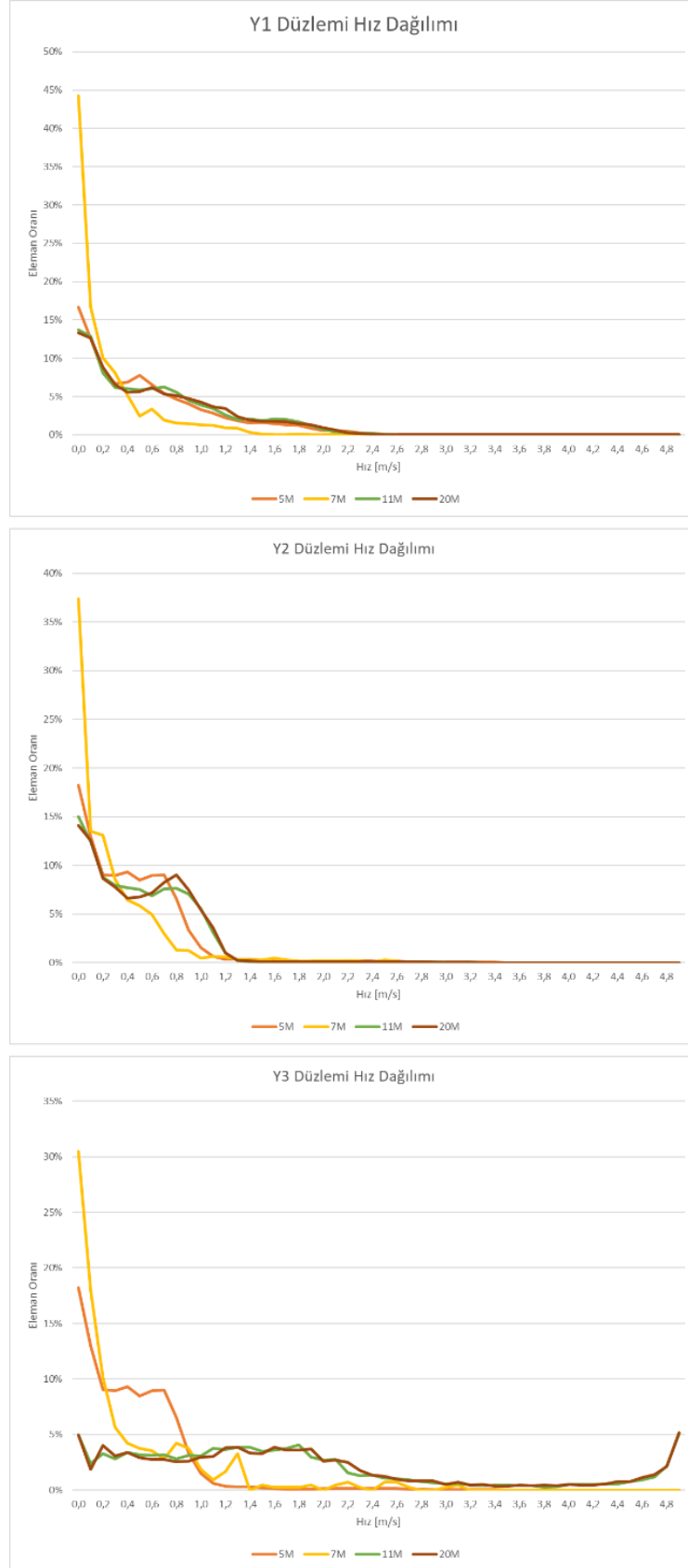
Şekil 3.3. Ağ elemanı sayısına göre X eksenindeki düzlemlerde sıcaklık histogramı



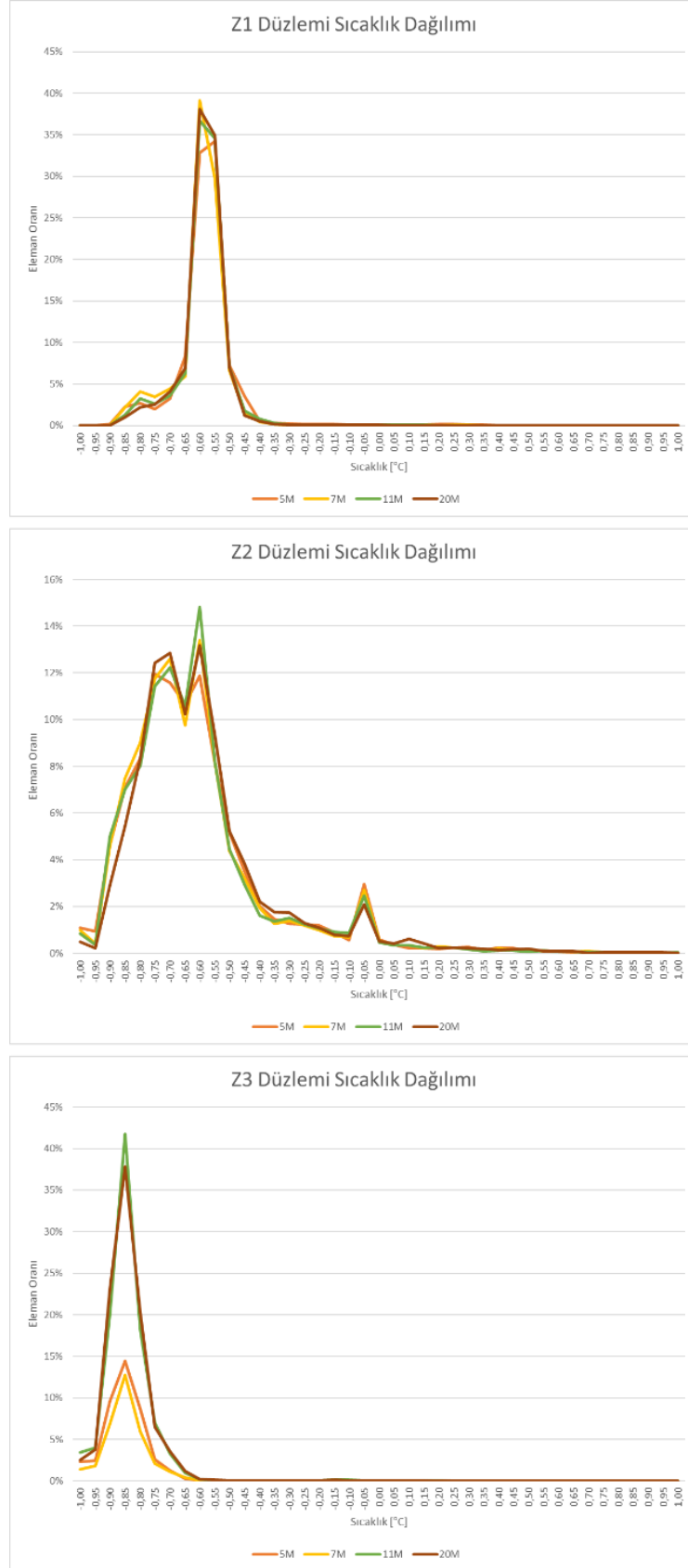
Şekil 3.4. Ağ elemanı sayısına göre X eksenindeki düzlemlerde hız histogramı



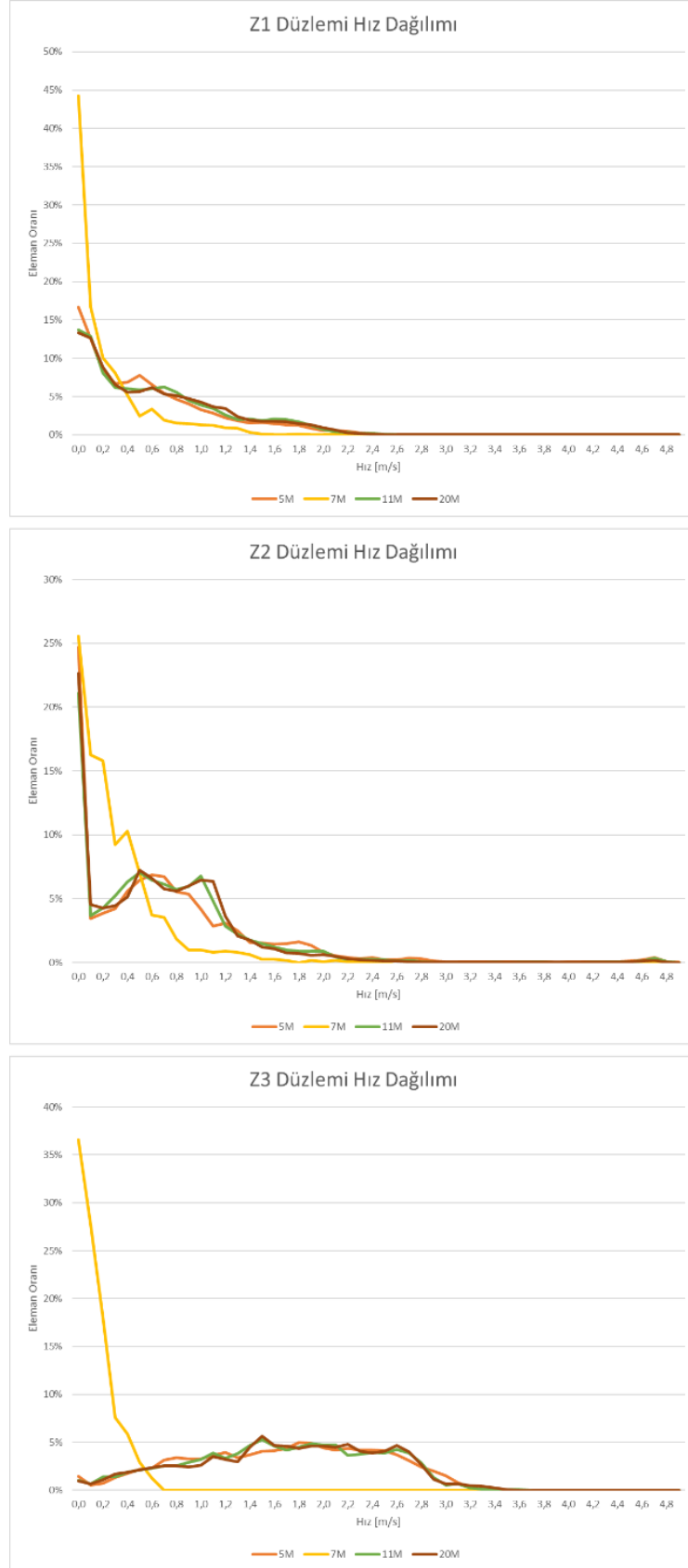
Şekil 3.5. Ağ elemanı sayısına göre Y eksenindeki düzlemlerde sıcaklık histogramı



Şekil 3.6. Ağ elemanı sayısına göre Y eksenindeki düzlemlerde hız histogramı



Şekil 3.7. Ağ elemanı sayısına göre Z eksenindeki düzlemlerde sıcaklık histogramı



Şekil 3.8. Ağ elemanı sayısına göre Z eksenindeki düzlemlerde hız histogramı

3.6.2. Toplam kütle ve ısı transfer oranı farkları

Sistemdeki tüm sınır şartları ele alındığında toplam kütle transferleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Net fark yaklaşık olarak 0,002 kg/s gibi 4.10^{-4} oranında ve kabul edilebilir bir değerdedir.

Çizelge 3.4. Sınırlardaki toplam kütle transferi

Sınır	Kütle Transferi [kg/s]
Buharlaştırıcı Çıkışı	5,57865
Buharlaştırıcı Girişi	-5,57625
NET	0,00240

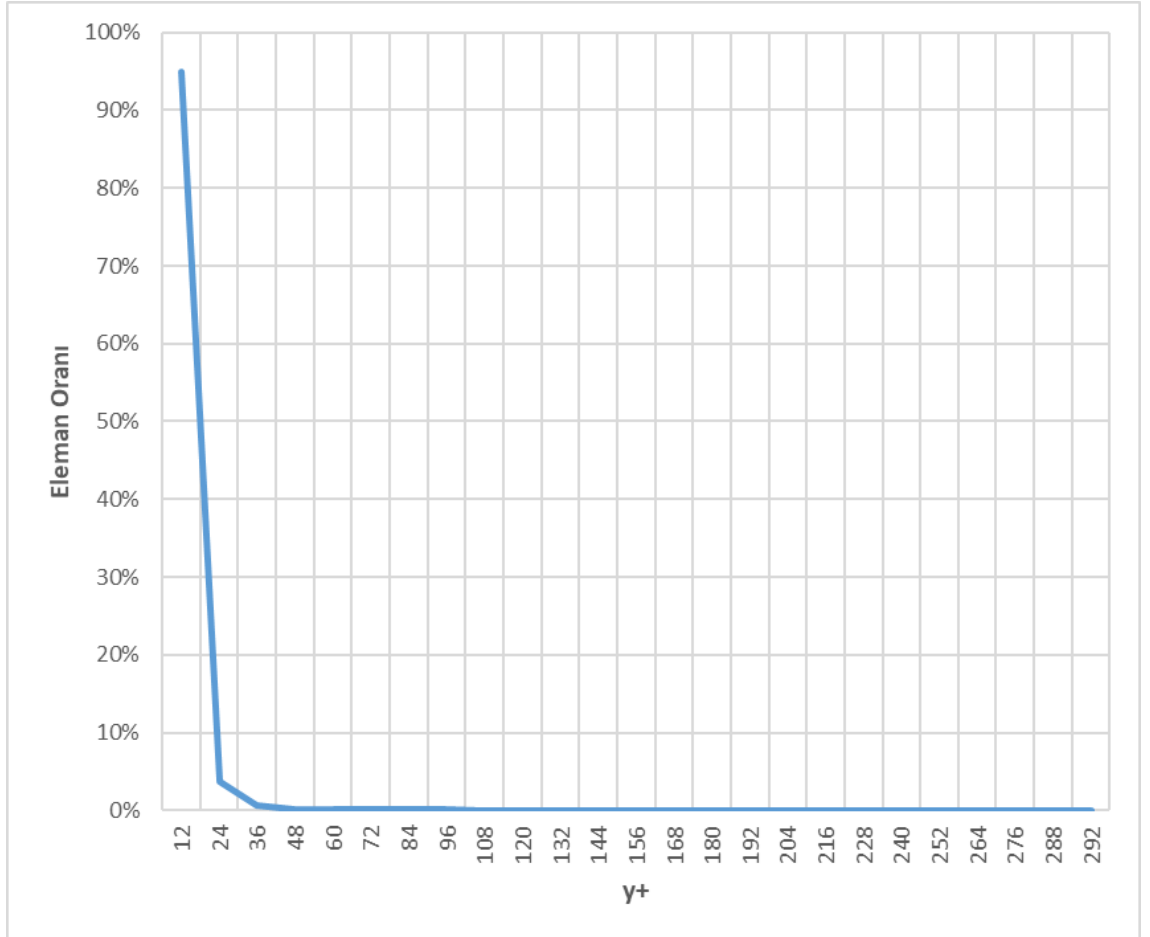
Çizelge 3.5’de görüldüğü gibi toplam ısı transfer oranı farkı ise yaklaşık 38 W’tır. Buharlaştırıcıdan olan ısı girişi 134750 W ile oranlandığında $2,8.10^{-4}$ oranında bir fark yapmaktadır ve kabul edilebilir bir değerdedir.

Çizelge 3.5. Sınırlardaki toplam ısı transferi

Sınır	Isı Transferi [W]
Buharlaştırıcı Çıkışı	133.532
Buharlaştırıcı Girişi	-134.749
Meyve Yüzeyi	168
Tavan	259
Yan Duvarlar	700
Zemin	51
NET	-38

3.6.3. y^+ değerleri

Soğuk depo içerisinde y^+ değerlerinin sıfır ve 292 arasında değiştiği görülmüştür. Depo yüzeylerindeki eleman sayılarına göre y^+ değerlerinin dağılımını izelge 3.6'da verilmiştir ve histogram grafiği de şekil 3.9'da verilmiştir.



şekil 3.9. y^+ değerlerinin eleman oranına göre dağılımı

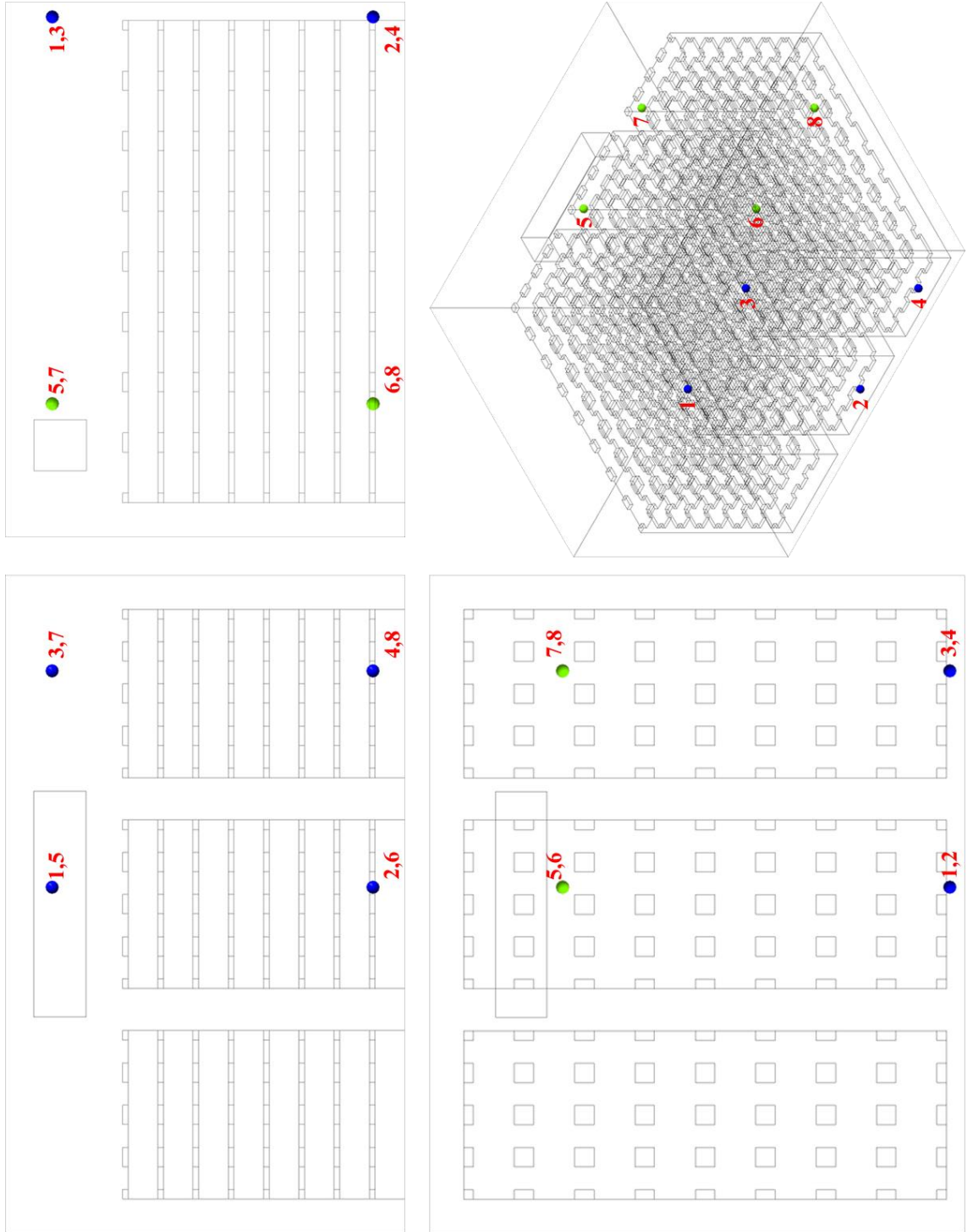
Çizelge 3.6. Y+ aralıklarına göre eleman oranları

y+ Alt	y+ Üst	Eleman Oranı	Eleman Adedi
0	12	95,01%	949.517
12	24	3,67%	631.397
24	36	0,64%	112.575
36	48	0,22%	38.652
48	60	0,13%	21.803
60	72	0,10%	16.671
72	84	0,08%	13.445
84	96	0,05%	8.622
96	108	0,03%	4.840
108	120	0,02%	3.270
120	132	0,01%	2.553
132	144	0,01%	2.137
144	156	0,01%	1.959
156	168	0,01%	1.700
168	180	0,01%	1.261
180	192	0,00%	807
192	204	0,00%	456
204	216	0,00%	185
216	228	0,00%	101
228	240	0,00%	57
240	252	0,00%	37
252	264	0,00%	13
264	276	0,00%	3
276	288	0,00%	1
288	292	0,00%	1

Çizelgeden görüleceği üzere y+ değerleri 0-100 arasında olan elemanların toplamı %99.9 yapmaktadır. Elemanların %98,7'sinde y+ değeri 24'ün altındadır.

3.6.4. HAD modeli ile gerçek depo ölçümlerinin karşılaştırılması

HAD modelinin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla karşılaştırma yapabilmek için 8 adet noktada on saniye ara ile beş defa sıcaklık ve hava hızı ölçümü yapılmış ve ortalaması alınmıştır. şekil 3.10’da verilen bu noktalar X1, X2, Y1, Y3 ve Z3 düzlemlerinin keşiştiği 1, 2, 3 ve 4 noktaları ile X1, X2, Y1 ve Y3 düzlemlerinin keşişim doğruları üzerinde buharlaştırıcının hemen önündeki 5, 6, 7 ve 8 noktalarıdır.



Şekil 3.10. Karşılaştırma için sıcaklık ve hız ölçümü yapılan 8 nokta

Çizelge 3.7. Soğuk depoda ölçüm yapılan 8 noktanın hesaplanan ile kıyaslaması

Nokta	Ortalama Hız [m/s]		Ortalama Sıcaklık [°C]	
	Ölçüm	Hesaplama	Ölçüm	Hesaplama
1	2,68	2,49	1,18	1,02
2	1,34	0,98	1,38	1,07
3	1,46	1,66	1,32	1,06
4	0,76	0,60	1,54	1,19
5	4,72	5,03	1,14	1,00
6	0,39	0,47	1,48	1,39
7	0,62	0,57	1,38	1,13
8	0,20	0,26	1,70	1,42

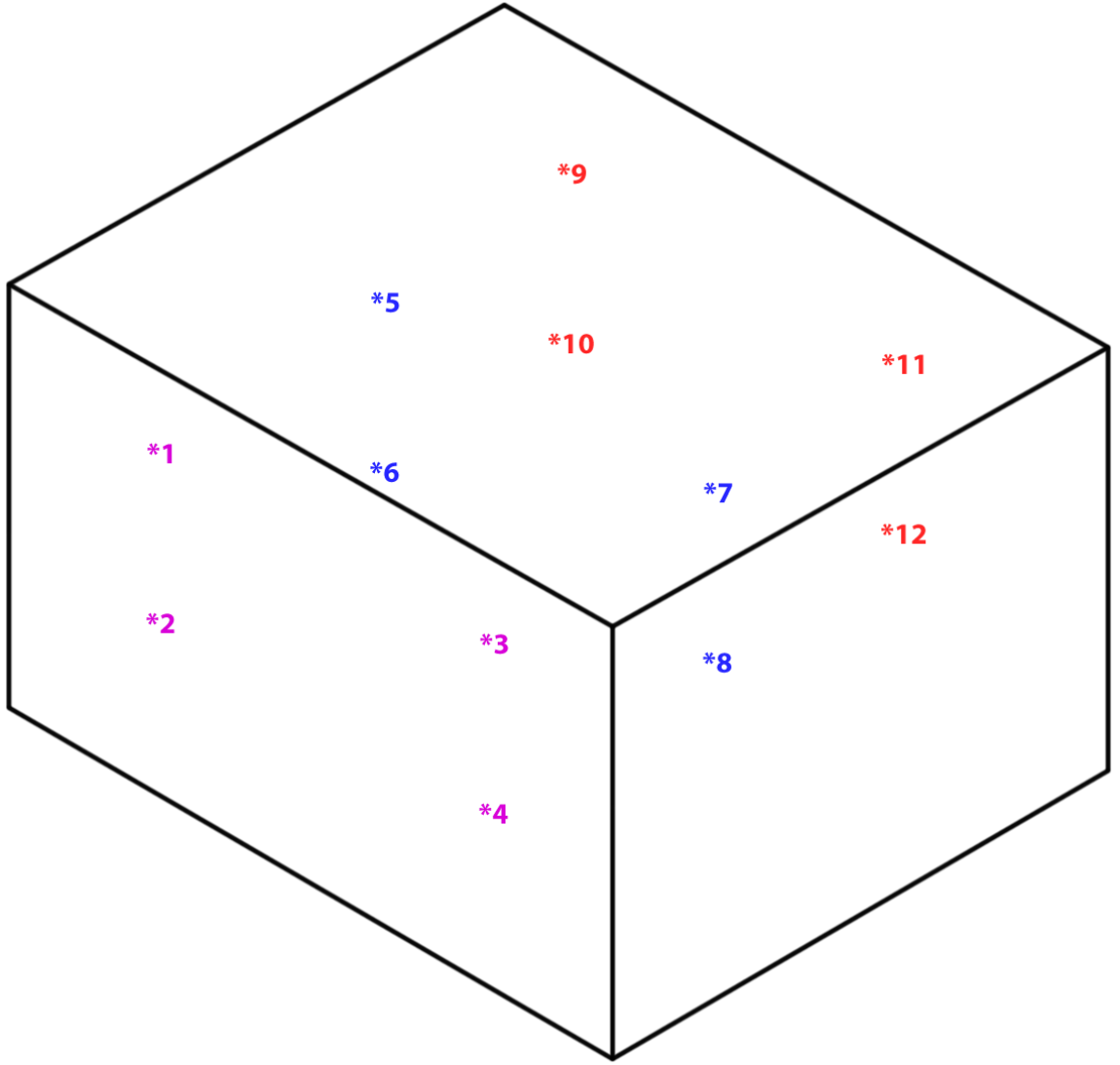
Soğuk depoda ölçüm yapılan 8 noktada elde edilen sıcaklık ve hız ortalamaları ile HAD modelinde hesaplanan değerlerin karşılaştırması Çizelge 3.7’de verilmiştir. Görüldüğü üzere ölçülen değerler ile hesaplanan değerler kabul edilebilir derecede yakındır. Bu sebeple modelimizin tutarlı olduğu kabul edilmiştir.

3.7. Farklı Tasarımların Karşılaştırılmasında Kullanılan Referans Türleri

HAD sistemlerinde farklı HVAC tasarımlarının performanslarının karşılaştırılmasında farklı referans türleri kullanılabilir. HVAC sistemlerinin HAD kullanılarak analizi yapılırken çoğunlukla amaç sistem parametrelerinin iyileştirilmesidir. Bu parametreler sıcaklık, hava hızı, nem, hava akış yönü olabildiği gibi sistemin geometrik tasarımının değiştirilmesi şeklinde de olabilir. Bu ve benzeri tüm parametre değişikliklerinde bu değişikliğin izlenen değere etkisi, referans olarak alınan temel tasarım ile karşılaştırılmalıdır. Bu karşılaştırmada tek bir değeri ele almak doğru olmayacaktır çünkü ortam içerisinde farklı noktalarda çok farklı değerler oluşabilmektedir. Uygulanan değişiklik bir noktadaki değeri iyileştirirken diğer birçok noktadaki değerleri olumsuz etkileyebilmektedir. Bu bölümde farklı referans türleri arasındaki farklar ele alınacak ve bu çalışmaya en uygun yönteme karar verilecektir.

3.7.1. Noktasal referanslar

Ele alınan sistem, akış karakteristiği ve özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olan ince detaylar ve dar kanal benzeri yapılar içerdiğinde veya bir oda gibi kısa mesafelerde çok fazla değer değişimi görülmeyen sistemlerde ihtiyaç duyulan yerlerde noktasal referanslar belirlenebilir. Bu noktalardaki sıcaklık, hava hızı, nem veya diğer istenen değerler farklı tasarımlar arasında tek tek kıyaslanır. Bu referanslar seçilirken örnek Şekil 3.11’te görüldüğü gibi önemli noktalar belirlenmeli ve yeterli sayıda nokta ele alınmalıdır. Ne kadar çok nokta karşılaştırılırsa o kadar doğru ve detaylı bir sonuç elde edilmiş olur. Ancak nokta sayısının gereğinden fazla olması da karşılaştırma işlemini oldukça zorlaştıracaktır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı; gerekli ve doğru bilgiyi verecek kadar çok ancak karşılaştırmayı imkânsız hale getirmeyecek kadar az yani ideal nokta sayısını ve konumunu belirlemektir.

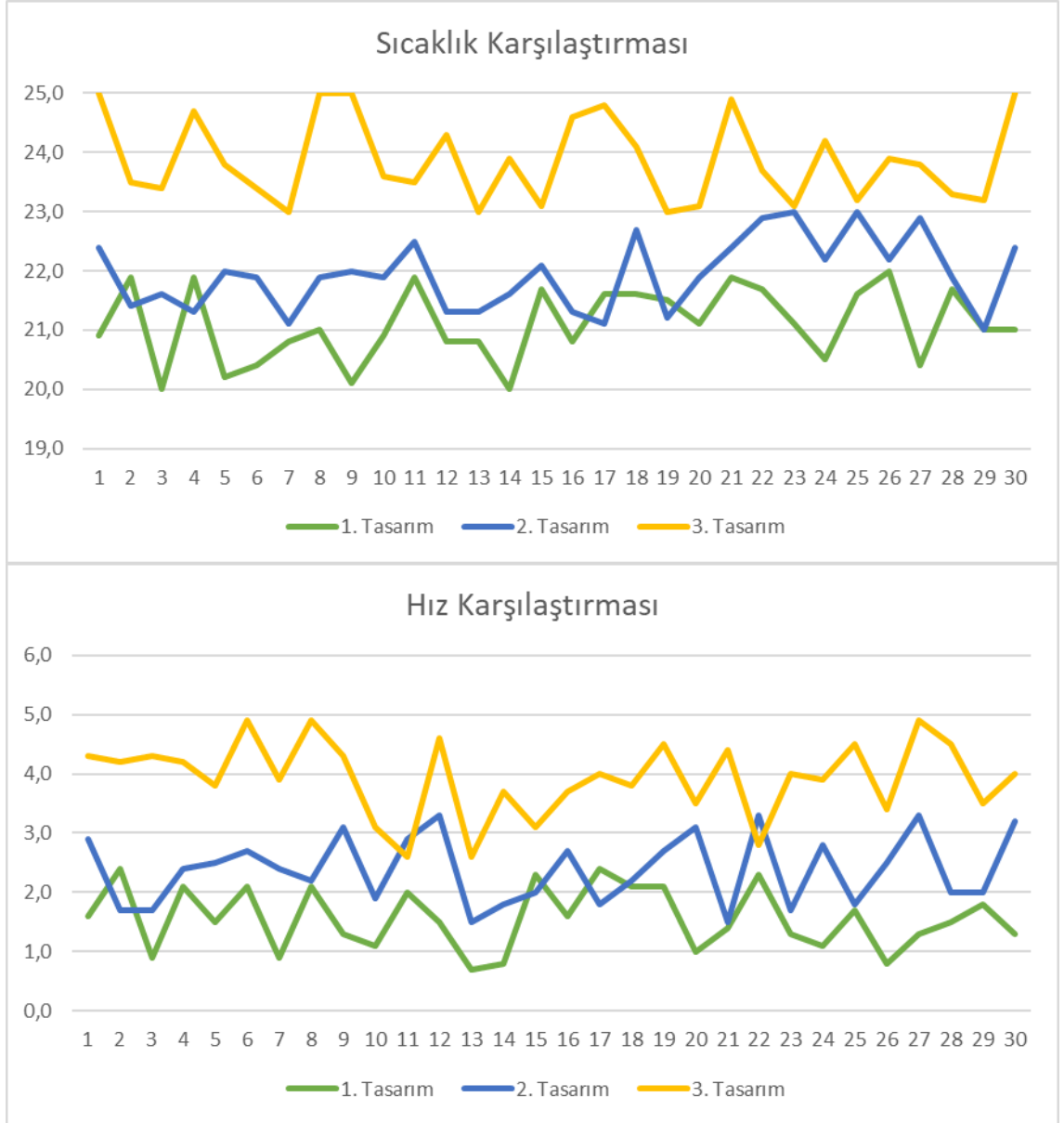


Şekil 3.11. Noktasal referanslar

Karşılaştırma işlemi sayısal olarak Çizelge 3.8’de görüldüğü gibi tablo şeklinde yapılabilir ve oldukça hassas sonuçlar alınabilir. Ancak nokta sayısı çok fazla ise sayısal karşılaştırma giderek zorlaşacaktır. Bunun yerine Şekil 3.12’de görüldüğü gibi grafiksel karşılaştırmalar da yapılabilir ancak bu durumda da noktalar tek tek değil görsel kıyaslamalar şeklinde ele alınmış olur.

Çizelge 3.8. Üç farklı tasarım için örnek karşılaştırma tablosu

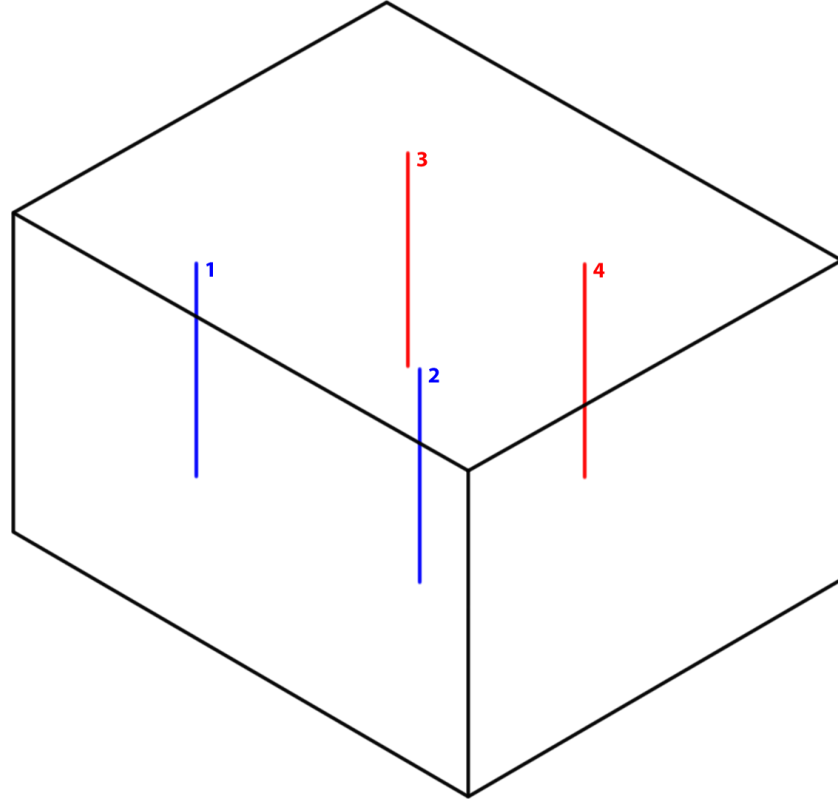
Nokta	1. Tasarım		2. Tasarım		3. Tasarım	
	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)
1	22,9	3,2	22,8	1,3	23,5	0,6
2	20,2	2,8	20,1	4,8	22,9	4,5
3	23,7	3,7	23,3	1,7	24,6	0,6
4	22,7	2,3	23,2	1,0	21,9	3,7
5	23,4	4,4	22,1	1,3	23,0	4,7
6	22,1	4,1	23,3	3,2	23,5	3,5
7	20,0	1,2	22,9	0,8	22,6	2,0
8	24,3	3,5	24,9	3,5	21,8	0,9
9	24,4	4,5	22,6	1,2	23,6	4,0
10	22,4	4,0	23,1	3,1	22,4	4,1
11	22,6	1,4	22,7	2,6	24,7	3,7
12	24,6	4,5	24,5	2,3	21,6	2,0



Şekil 3.12. Üç farklı tasarım için örnek karşılaştırma grafiği

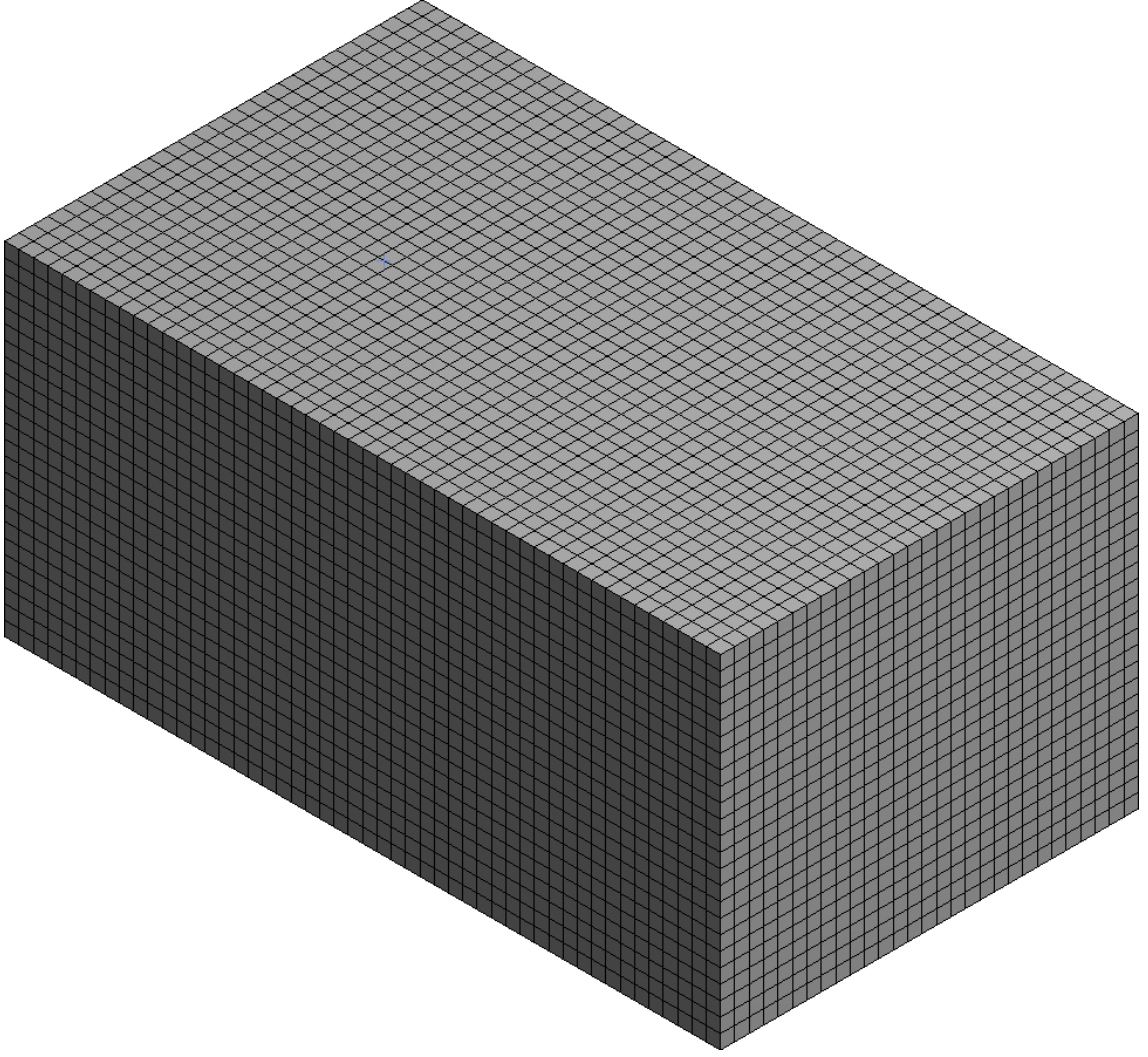
3.7.2. Çizgisel referanslar

Noktasal referanslar ile kıyaslama için noktaların yeri seçilirken çok iyi analiz edilmelidir. Çünkü her bir nokta için bir değer elde ederiz ancak seçtiğimiz noktanın hemen yakınında akış karakteristiğinde veya ısı dağılımında ciddi değişiklikler olabilir. Bu da yapacağımız kıyaslamanın yanıltıcı olmasına sebep olur. Kıyaslamada ilgi duyulan bölgeyi daha bütüncül bir şekilde ele alabilmek için Şekil 3.13’de görüldüğü gibi çizgisel referanslar kullanılırsa bölgesel ani farkların yanıltıcı etkisi daha az olacaktır.



Şekil 3.13. Çizgisel referanslar

HAD sistemleri Şekil 3.14’de görülen ağ yapıları üzerinden çözüme ulaştıkları için referans olarak alınacak doğrunun uzunluğuna bağlı olarak doğru üzerinde çok sayıda düğüm olacaktır ve sistem bu düğümlerin her biri için bir değer üretecektir. Bir doğru üzerindeki bir değeri diğer doğru ile veya başka bir tasarım ile karşılaştırırken elimizde tek değer olması gerekir. Bunun için doğru üzerindeki tüm düğümlerdeki değerlerin ortalaması alınarak tekil bir karşılaştırma değerine indirilebilir. Böylece ister sayısal çizelgeler şeklinde istenirse de grafikler şeklinde karşılaştırma yapılabilir.

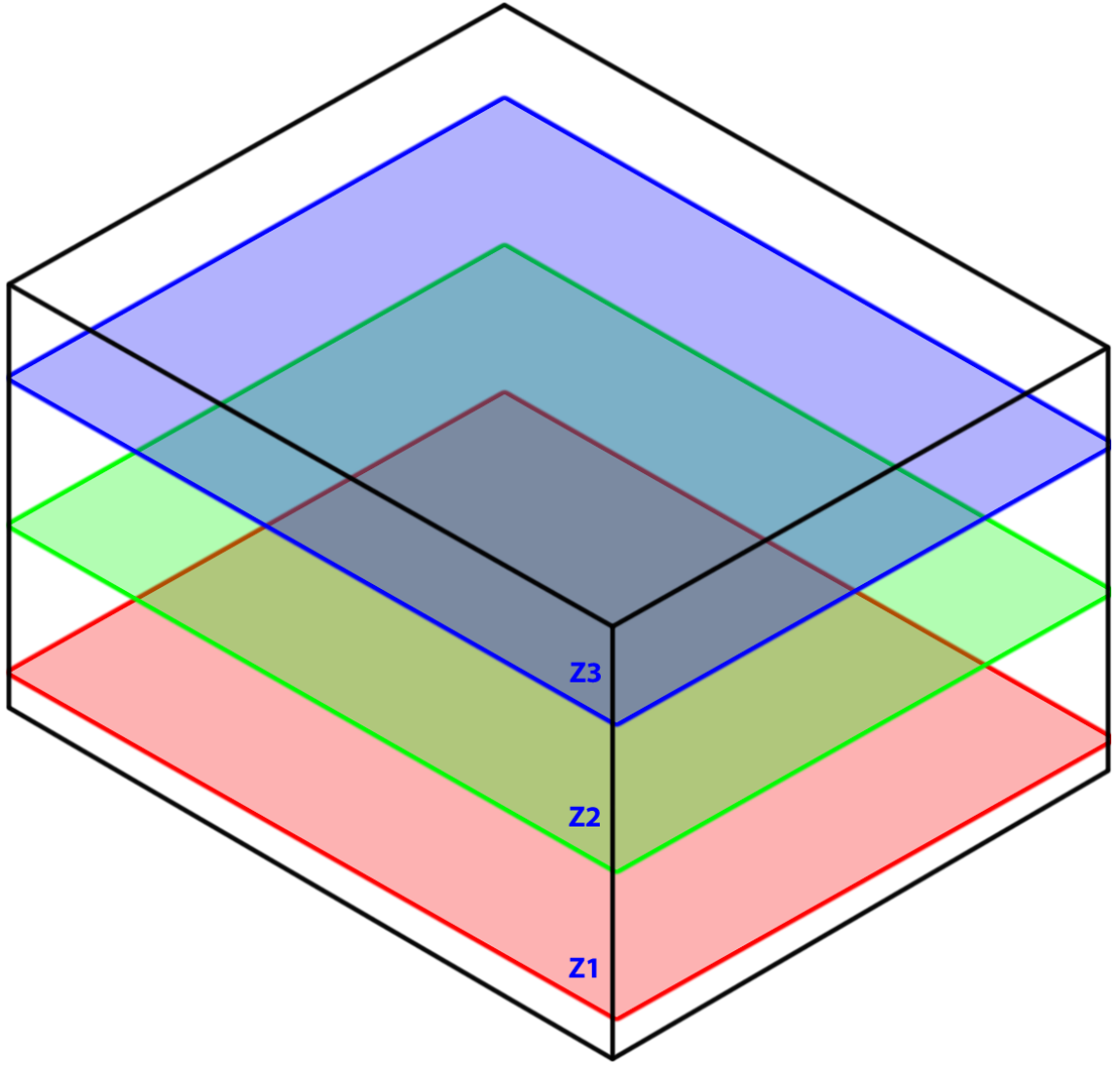


Şekil 3.14. Ağ (mesh) yapısı

Çizgisel referansları tanımlarken konumları, uzunlukları ve doğrultuları seçilirken çok iyi analiz edilmelidir. Çünkü seçilen yer, uzunluk ve doğrultuya göre aynı kıyaslamadan çok farklı sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır.

3.7.3. Yüzeysel referanslar

Ele alınan sistemin geometrisi gereği çizgisel referanslar alınamadığında veya daha geniş bölgeleri ilgilendiren odak noktaları söz konusu olduğunda yüzeysel referanslardan yararlanılabilir. Şekil 3.15’de örnek olarak Z eksenini üzerinde üç adet yatay düzlem verilmiştir. Bu düzlemler ihtiyaca göre farklı büyüklüklerde ve doğrultularda tanımlanabilir.



Şekil 3.15. Yüzeysel referanslar

Çizgisel referanslarda olduğu gibi referans olarak alınacak yüzeyin büyüklüğüne ve doğrultuna bağlı olarak yüzey üzerinde çok sayıda düğüm olacaktır ve sistem bu düğümlerin her biri için bir değer üretecektir. Düğüm sayısı on binler hatta yüz binleri bulabilir. Aynen çizgisel referanslarda olduğu gibi yüzey üzerindeki tüm düğümlerdeki değerlerin ortalaması alınarak tekil bir karşılaştırma değerine indirilebilir. Böylece ister sayısal çizelgeler şeklinde istenirse de grafikler şeklinde karşılaştırma yapılabilir.

Ancak ortalama değer hesaplayarak kıyaslama yapmak yanıltıcı sonuçlara sebep olabilecek bir problemi barındırmaktadır. Çünkü farklı dağılıma sahip değerlerin

ortalaması aynı olabilir. Yani yüzey üzerindeki dağılım değiştiği halde ortalamada değişme olmayabilir.

Örnek bir referans yüzey üzerinde on adet düğüm olduğunu düşünelim. Bu düğümlerdeki sıcaklık değerleri Çizelge 3.9’de verilmiştir. İlk sütunda düğüm numarası, sonraki sütunlarda üç farklı tasarım için sıcaklık değerleri verilmiştir. Son iki satırda da her tasarım için ortalama değer ve standart sapma verilmiştir. Her üç tasarım için de ortalama 20 °C olduğu için sonuçta tasarım değişikliğinin yüzey üzerindeki sıcaklık dağılımına bir etkisi olmamış gibi görünmektedir. Ancak standart sapmaya veya yüzey üzerindeki düğümlerde hesaplanan değerlere bakıldığında sıcaklık dağılımında ciddi değişimler olduğu görülebilmektedir.

Çizelge 3.9. Yüzey üzerindeki düğümler için örnek sıcaklık değerleri

Düğüm	1. Tasarım (°C)	2. Tasarım (°C)	3. Tasarım (°C)
1	20	16	18
2	20	17	18
3	20	18	19
4	20	19	19
5	20	20	20
6	20	20	20
7	20	21	21
8	20	22	21
9	20	23	22
10	20	24	22
ORTALAMA	20	20	20
STANDART SAPMA	0	2,45	1,41

Yüzey üzerindeki düğüm sayısı Çizelge 3.9’de verildiği gibi az sayıda olduğunda kıyaslama bire bir değerler üzerinde yapılabilmektedir. Ancak gerçek uygulamalarda yüzeyler üzerinde on binler hatta yüz binlerce düğüm olabildiğinden bu şekilde bir sayısal

karşılaştırma mümkün olamamaktadır. Standart sapma da değerin ortalama etrafında dağılımı hakkında bir fikir vermekte ancak bu dağılımın nasıl olduğunu söyleyememektedir.

Tek bir değer kullanarak kıyaslamak yerine; ortalama, standart sapma ve histogram grafiği gibi üç farklı kıstas beraber yorumlanarak çok daha doğru bir kıyaslama yapılabilir.

Histogram; bir veri grubundaki değerlerin sınıflandırılması ve bu sınıflandırmanın özel oluşturulan sütun grafiği ile gösterilmesidir. Histogramda oluşturulan sütun grafiğindeki sütunlar normal sütun grafiğindeki gibi tek bir veriyi değil, bir veri grubunu temsil etmektedir, bu nedenle aralık olarak isimlendirilmektedir (Matematik.US).

3.7.3.1. Histogram Oluşturulması

Histogram oluşturmak için şu aşamalar izlenir:

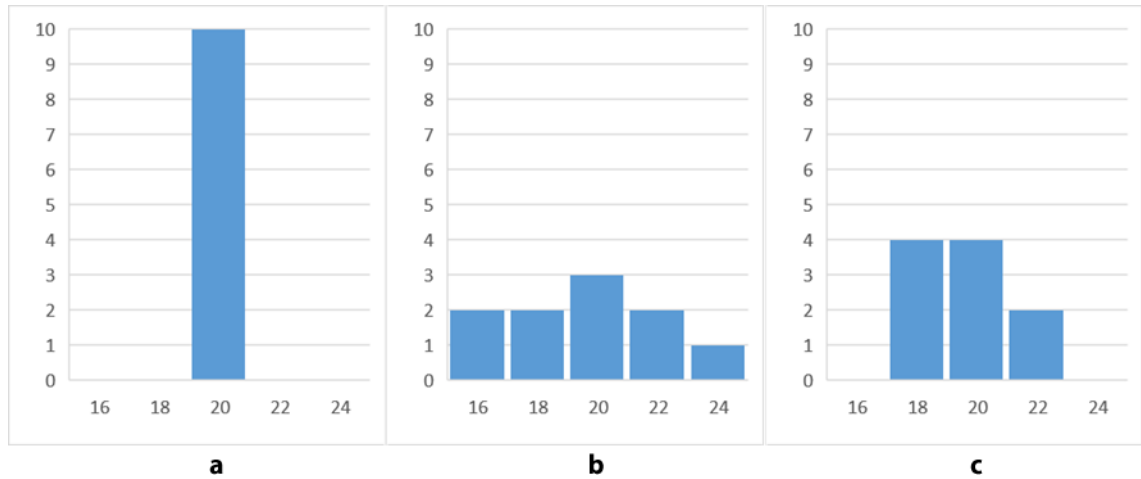
- Veri grubu küçükten büyüğe sıralanır.
- Veri grubunun açıklığı bulunur: $(\text{Veri Açıklığı}) = (\text{En büyük değer}) - (\text{En küçük değer})$
- Grup sayısına karar verildikten sonra veri açıklığı ve grup sayısı kullanılarak grup genişliği hesaplanır. $\text{Grup Genişliği} = (\text{Veri Açıklığı}) / (\text{Grup sayısı})$
- Veriler bulunan grup genişliğinde gruplandırıp her gruba ait veri sayısı ile birlikte bir tablo oluşturulur.
- Tablodaki gruplar yatay eksene, veri sayıları düşey eksene yerleştirilerek histogram grafiği oluşturulur.

Örnek olarak Çizelge 3.9'e baktığımızda en küçük değer 16 °C, en büyük değer 24 °C olarak görülmektedir. Bu durumda veri açıklığı=24-16=8 olmaktadır. Bu açıklığı dört gruba bölersek grup genişliği=8/4=2 °C olacaktır. Bu bilgiler ışığında Çizelge 3.9'deki verileri tablo haline getirdiğimizde Çizelge 3.10'de verilen sonucu elde ederiz.

Çizelge 3.10. Histogram grafiği için veri tablosu

Sıcaklık (°C)	1. Tasarım	2. Tasarım	3. Tasarım
16	0	2	0
18	0	2	4
20	10	3	4
22	0	2	2
24	0	1	0

Çizelge 3.10'deki veriler ışığında üç farklı tasarım için üç adet ayrı histogram oluşturularak Şekil 3.16'de verilmiştir.



Şekil 3.16. Ortalaması aynı üç farklı tasarımın histogram grafiği

Şekil 3.16-a'dan görüleceği üzere referans yüzey üzerindeki on noktadaki değer de aynıdır yani yüzey üzerinde homojen bir dağılım söz konusudur. Şekil 3.16-b'de ise yüzey üzerindeki düğümlerde sıcaklığın geniş bir aralıkta dağıldığı görülmektedir. Şekil 3.16-c'de de yüzey üzerinde farklı sıcaklık dağılımı vardır ancak ikinci tasarıma göre bu tasarımda dağılım aralığı daha azdır. Eğer yüzey üzerinde homojen bir sıcaklık dağılımı hedefleniyorsa Çizelge 3.10'deki standart sapmalar da dikkate alınarak birinci tasarımın en ideal olduğu söylenebilir çünkü standart sapma ne kadar küçük ise dağılım o kadar homojen demektir.

3.7.4. Hacimsel referanslar

Ele alınan sistemde ilgi duyulan bölgede üç boyutlu hacim elemanları oluşturarak kıyaslama yapılması da sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu üç boyutlu elemanlar farklı geometrilere ve boyutlarda olabilir. Yüzeysel referanslarda olduğu gibi istenen değerin hacimsel ortalaması, standart sapması ve histogramı beraberince incelenerek sonuçlar kıyaslanabilir.

Hacimsel referansların bir başka yaygın kullanım şekli de “kontrol hacmi” olarak kullanılmasıdır. Burada oluşturulan referans hacme giren ve çıkan kütle veya enerji değerleri kıyaslanır. Bu durumda ortalama, standart sapma ve histogramlara ihtiyaç olmayacaktır.

3.8. Soğuk Depo İçin Referans Türü Seçimi

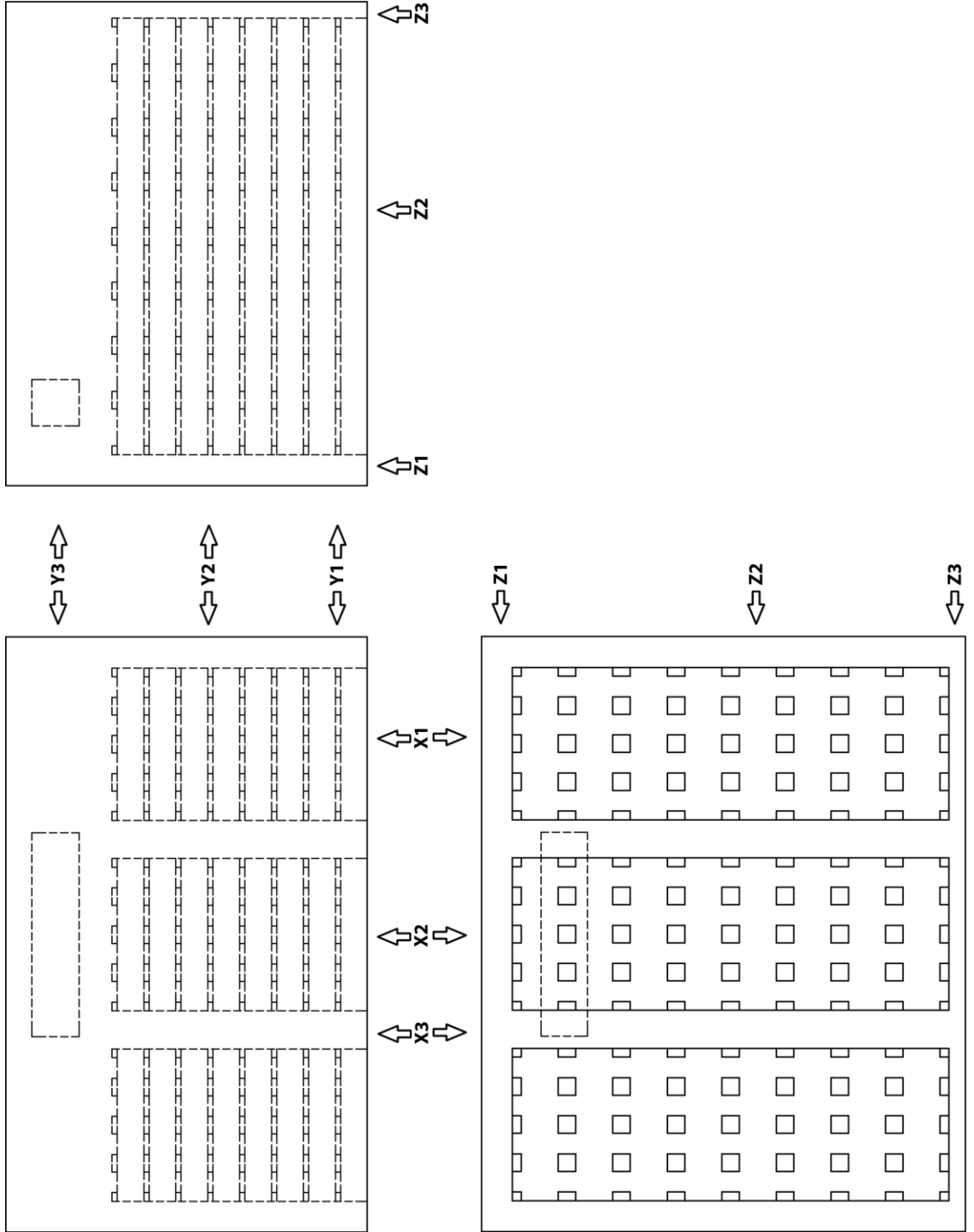
Bu çalışmada amaç ele alınan soğuk depoda yapılacak geometri değişiklikleri ile sıcaklık ve hız dağılımının optimize edilmesidir. Ele alınan hacim içerisinde yerleştirilen meyve kasalarından dolayı çok fazla ve oldukça değişken kesit farklılıkları vardır. Noktasal referanslar ile kıyaslama yapabilmek için oldukça fazla sayıda noktanın ele alınması gerekmektedir. Nokta sayısı artırılrsa bile ani ve büyük kesit değişimleri olduğu için referans noktalarının yakınlarında bile çok farklı değerler oluşmaktadır.

Benzer şekilde çizgisel referanslar alındığında da düzgün bir geometrik dağılım olmadığından iyi sonuçlar elde etmek mümkün olmamaktadır. Alınan doğru boyunca çok geniş bir aralıkta kesit değişimleri söz konusu olduğundan uç noktadaki çok sayıda değer ortalamalarda kaybolmaktadır. Doğru üzerindeki dağılımın homojenliği ve uç değerlerin değişimini incelemek için histogramlardan faydalanılabilir ancak hacmin geneli hakkında doğru ve detaylı bilgiye sahip olabilmek için oldukça fazla sayıda çizgisel referans kullanılması gerekmektedir. Referans sayısı arttıkça karşılaştırmalar da zorlaşmaktadır.

Uygun konumlardan yüzeysel referanslar alındığında ise ilgilenilen bölgeler hakkında daha bütüncül bilgiler edinilebilmektedir. Yüzeysel sıcaklık ve hız ortalamalarının yanı

sıra histogramlar da kullanılarak, hem incelenen parametrenin yüzey üzerindeki dağılımının homojenliği görülebilmekte hem de uç değerlerin değişimi izlenebilmektedir. Bu sebeple ele aldığımız hacim için yüzeysel referanslar tercih edilmiştir.

Farklı tasarımların sıcaklık ve hız dağılımının kıyaslanması ve ideal tasarıma karar verilmesi için Şekil 3.17’de görülen X, Y ve Z eksenlerinin her birinde üçer tane ve eksenlere paralel olmak üzere toplamda 9 adet referans düzlem ele alınmıştır. Düzlemler isimlendirilirken önce bulundukları eksen adı daha sonra da sıra numarası verilmiştir. Ele alınan bu dokuz adet düzlemin isim ve konumları Şekil 3.17’de verilmiştir. Bu düzlemler üzerinde çok sayıda düğüm bulunduğundan hava sıcaklık ve hızlarını farklı tasarımlar arasında karşılaştırabilmek için her bir yüzey üzerindeki düğüm değerleri için ağırlıklı ortalama alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca hesaplanan ortalamalar içerisinde dağılımın homojenliğini ve uç değerlerin değişimini de karşılaştırmak için histogramlar kullanılmıştır.



Şekil 3.17. Tasarım performansı karşılaştırması için tanımlanan referans düzlemlerin konumları

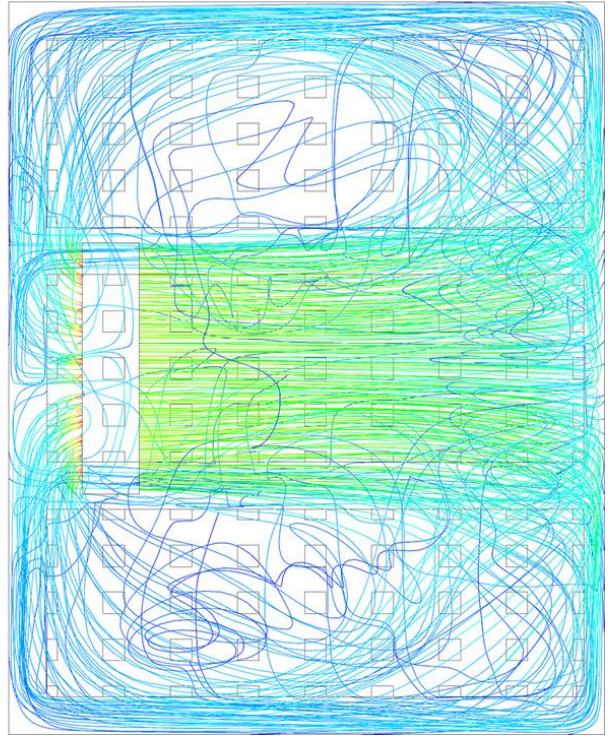
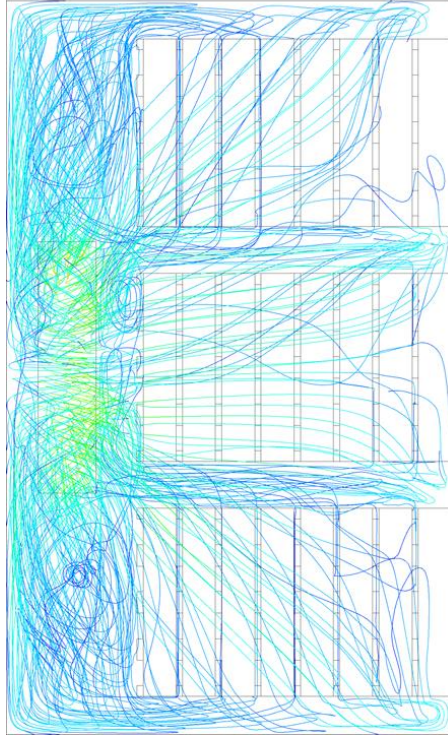
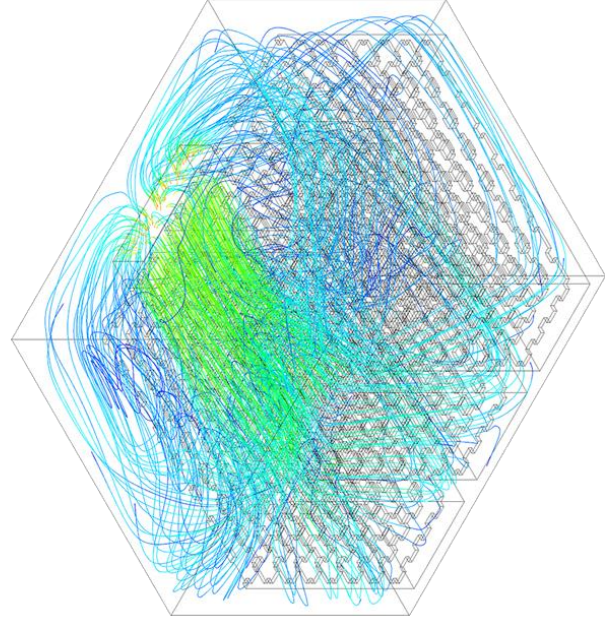
4. BULGULAR

İster meyve ve sebze isterse diğer gıdalar olsun, gıdalarda don zararına sebep olmamak için doğrudan gıda üzerine üfleme yapılamamaktadır. Bu sebeple depoların tavana yakın kısımlarında buharlaştırıcıdan üflenlen havanın doğrudan gıdalara çarpmayacağı kadar boşluk bırakılır. Ancak mevcut soğuk depo içerisindeki hava hızları ve sıcaklık dağılımları için yapılan analizde bu boş bölgenin hava dağılımında düzensizliklere sebep olduğu görülmüştür.

Depo içerisinde daha homojen bir hava dağılımı ve soğutma elde etmek için ekonomik, pratik ve kolay uygulanabilir bir çözüm olarak buharlaştırıcıdan üflenlen soğuk havayı aşağılara doğru yönlendirmek için buharlaştırıcının tam karşısındaki duvara eğimli bir saptırıcı panel konulması düşünülmüştür. Bu çalışmanın da amacı; depo içerisindeki sıcaklık ve hız dağılımını iyileştirecek en ideal panel açısını bulmaktır. Bunun için düşey ile 30° ve 80°'den başlayarak analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelenerek bu iki değer arasındaki aralık daraltılarak en homojen dağılımı sağlayan ideal çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır.

4.1. Mevcut Soğuk Depo Tasarımının Analizi

Soğuk hava deposunda mevcut geometri ve yükleme şartlarında yapılan analizlerde hava dolaşımının büyük bölümünün meyve sandıkları üzerinde tavana yakın bölümdeki boş alanda meydana geldiği görülmüştür. Şekil 4.1'de farklı açılardan görüldüğü gibi buharlaştırıcıdan çıkan havanın büyük bölümü tavana yakın boş alanda dolaşarak tekrar buharlaştırıcı tarafından emilmektedir. Şekil üzerinde görüleceği gibi buharlaştırıcının üflediği hava karşıdaki duvara vurduktan sonra az bir kısmı aşağıdaki meyvelere doğru inmekte, büyük bir kısmı ise iki yana doğru yayılmakta ve yan duvarlardan tekrar buharlaştırıcıya dönmektedir.

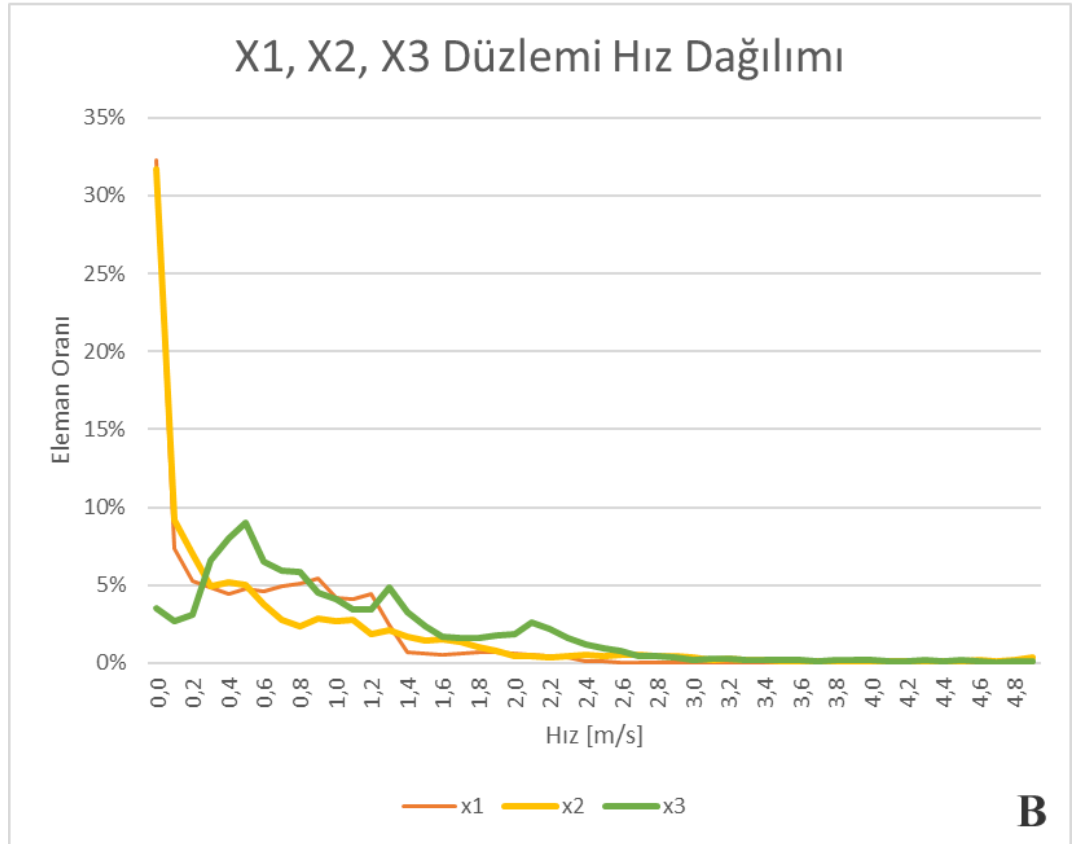
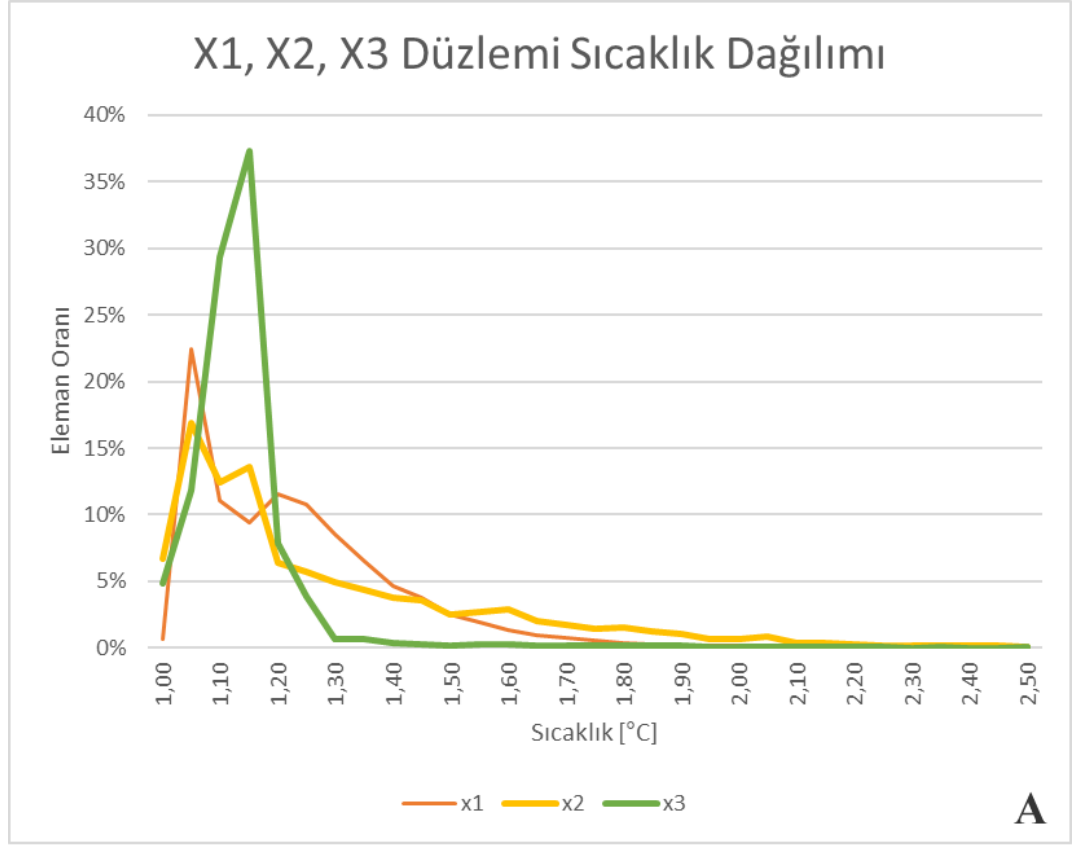


Şekil 4.1. Depo içerisinde hava akış eğrileri

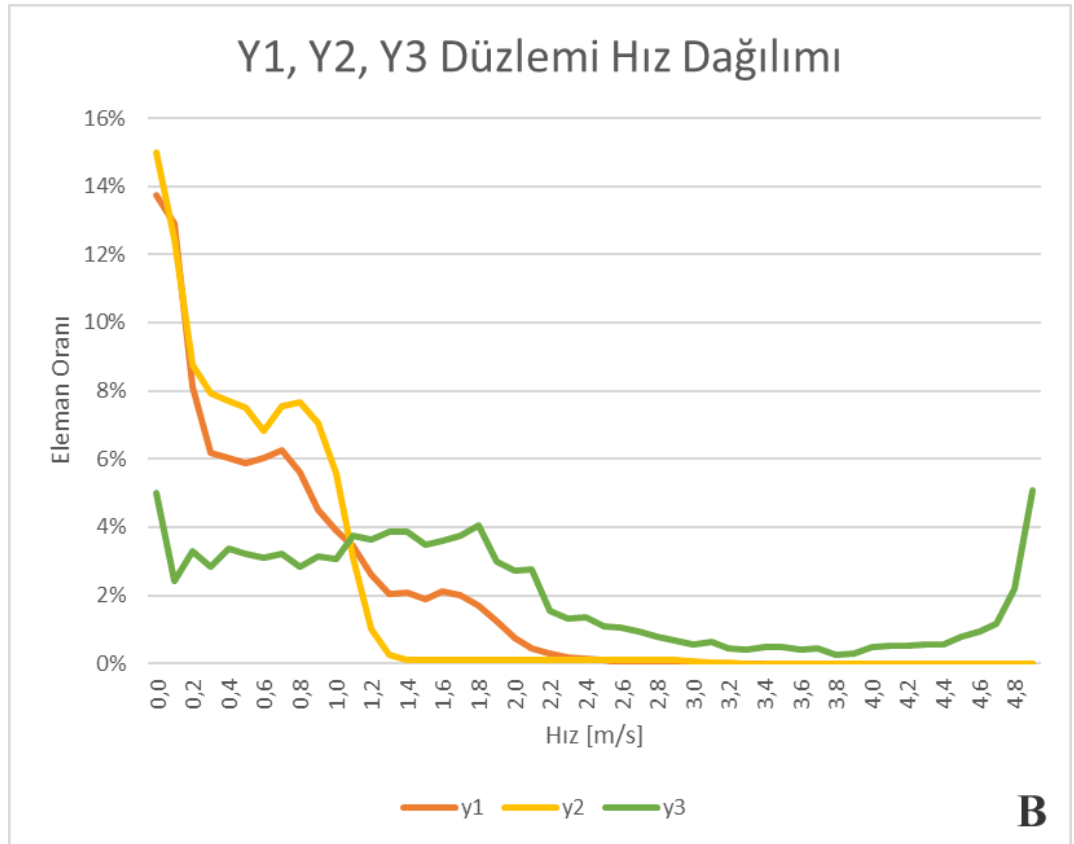
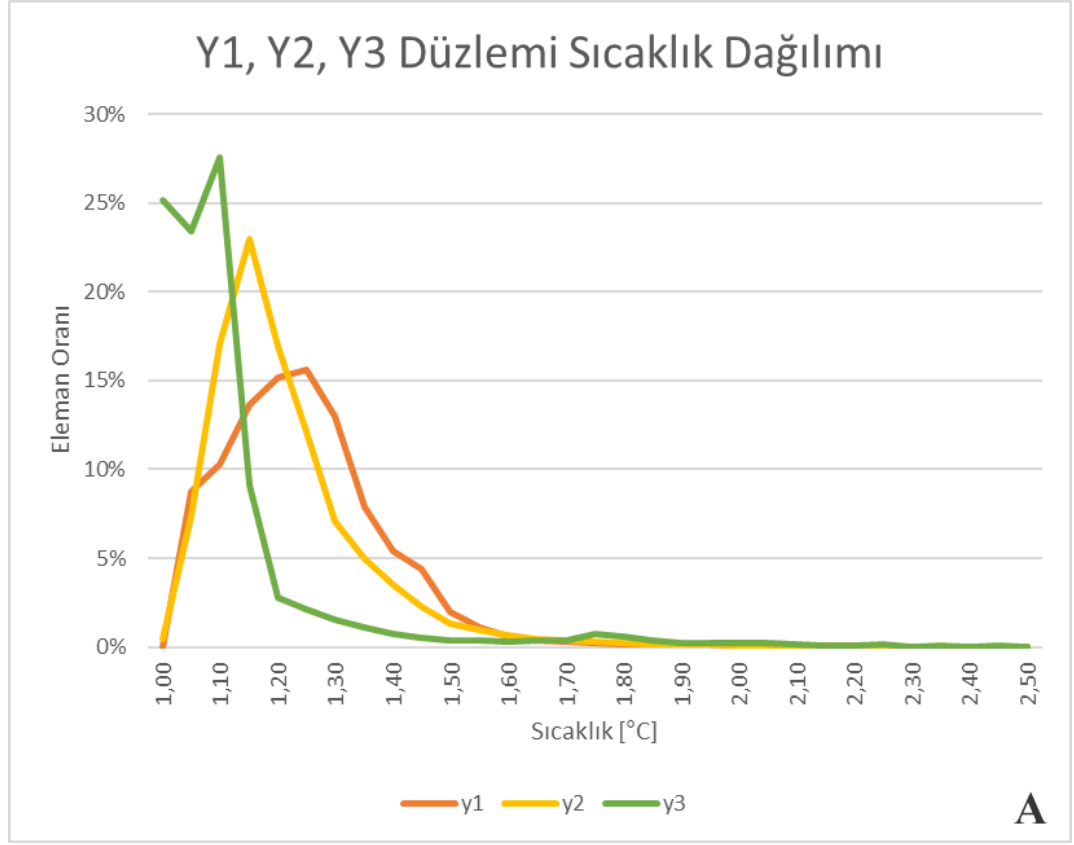
Mevcut tasarım için referans düzlemlerdeki sıcaklık ve hız dağılımlar eksenler bazında gruplanarak Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir. X eksenine dikey olarak seçilen 3 adet referans düzlem üzerindeki düğümlerdeki sıcaklık dağılımı Şekil 4.2.A’da ve hız dağılımı da Şekil 4.2.B’de verilmiştir. Yatay eksenler sırasıyla sıcaklık ve hız değerlerini gösterirken, düşey eksenler ise bu sıcaklık ve hız aralığındaki düğüm oranını göstermektedir. Her düzlem üzerindeki düğüm sayısı farklı olduğundan grafikleri kıyaslanabilir kılmak için değerler yüzde olarak normalize edilmiş ve oransal olarak alınmıştır.

Şekil 4.3.B’da görüleceği üzere X1 ve X2 düzlemlerinin büyük bölümü meyve kasaları üzerinde olduğundan bu düzlemler üzerindeki hızlar sıfıra oldukça yakın değerlerdedir. Yani meyve kasaları arasında kalan boşluklarda oldukça düşük hızlarda hava akışı olmaktadır. X3 düzlemi ise kasa grupları arasındaki boşlukta tanımlı olduğundan çok daha yüksek hızlara kadar bir dağılım görülmektedir. Bu sebeple Şekil 4.3.A’da görüleceği gibi X1 ve X2 düzlemlerinde sıcaklıklar geniş bir aralıkta dağılım göstermekte ve 2°C’a kadar yükselmektedir. X3 düzleminde ise sıcaklık 1°C ile 1,2°C arasında daha homojen bir dağılım göstermektedir ve 1,3°C’ın üzerine neredeyse hiç çıkmamaktadır. Bu da bize hedeflenen sıcaklık değerlerini ve homojen sıcaklık dağılımını sağlamak için iyi bir hava akışının ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

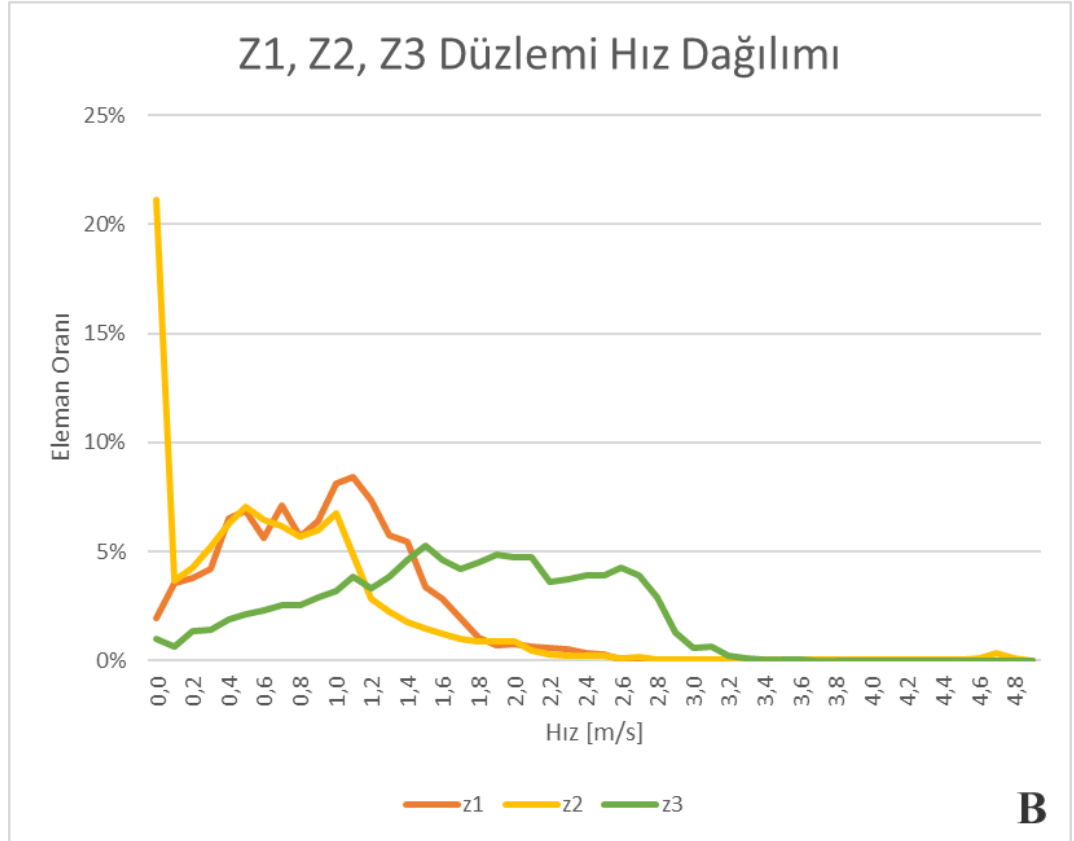
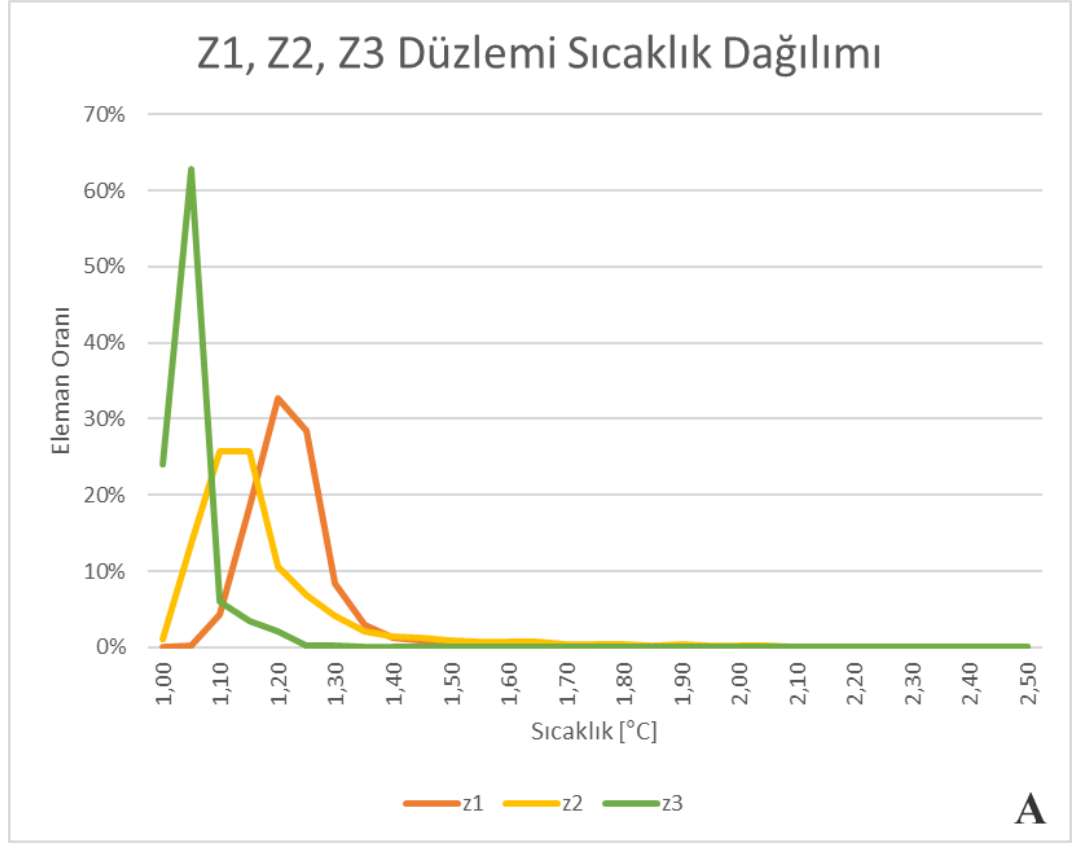
Şekil 4.3.B’de görüldüğü üzere Y1 ve Y2 düzlemlerinin büyük bölümü meyve kasaları üzerinde tanımlı olduğundan oldukça düşük hızlarda hava hareketi söz konusudur. Y3 düzlemi ise buharlaştırıcı ile aynı seviyede ve boş alanda tanımlı olduğundan daha yüksek hızlara ulaşabilen bir dağılımı görülmektedir. Şekil 4.3.A’da verilen sıcaklık dağılımı da aynı şekilde Y1 ve Y2 düzlemlerinde 1,6°C’ye doğru yayılan bir sıcaklık dağılımı görülürken, tavana yakın boş bölgede tanımlı olan Y3 düzleminde 1°C ve 1,1°C civarında homojen bir dağılım görülmektedir.



Şekil 4.2. Mevcut tasarım için X1, X2 ve X3 düzlemlerindeki sıcaklık ve hız dağılımı



Şekil 4.3. Mevcut tasarım için Y1, Y2 ve Y3 düzlemlerindeki sıcaklık ve hız dağılımı



Şekil 4.4. Mevcut tasarım için Z1, Z2 ve Z3 düzlemlerindeki sıcaklık ve hız dağılımı

Şekil 4.4.B’de görüldüğü üzere duvar ile kasa yığını arasındaki boşluklara denk gelen Z1 ve Z3 düzlemleri üzerindeki hız dağılımı 3,2m/s’ye ulaşan geniş bir aralıkta dağılım göstermektedir. Ancak meyve kasaları üzerinde tanımlanmış olan Z2 düzleminde yine oldukça düşük hızlar görülmektedir. Şekil 4.4.A’da verilen sıcaklık dağılımı da Z1 ve Z3 düzlemlerinde hız dağılımına benzer şekilde 1,5°C sıcaklıklara kadar çıkarken Z2 düzleminde 1°C ve 1,1°C arasında homojen bir dağılım göstermektedir.

Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilen altı grafik de bize hava hızları ile homojen bir sıcaklık dağılımı arasında bir doğru orantı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla eğer çok düşük hızların söz konusu olduğu ve soğuk havanın giremediği bölgelere havanın ulaşmasını sağlayabilirsek daha homojen bir hava dağılımı elde edebileceğimizi söyleyebiliriz.

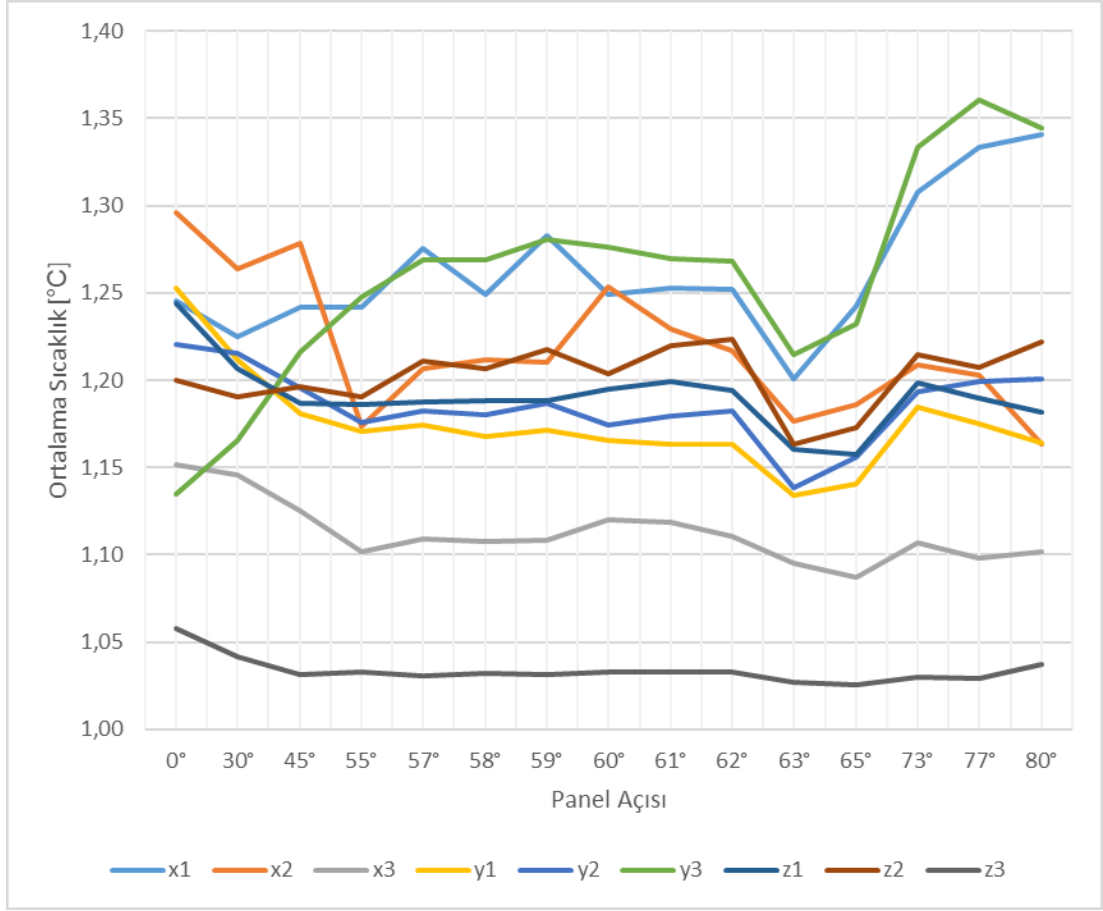
4.2. Optimum Panel Açısının Bulunması

Farklı panel açılarının sıcaklık dağılımı ve hava hızları üzerine etkisini kıyaslamak için ortalama sıcaklık ve sıcaklık standart sapması ile ortalama hız ve hız standart sapması referans düzlemler bazında panel kullanılmayan standart durum ile kıyaslanmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında en uygun panel açısına karar verilmiştir. Son olarak da ideal olarak belirlenen panel açısı için bu parametrelerin referans düzlemler bazında karşılaştırması yapılarak elde edilen iyileştirme irdelenmiştir.

Soğuk depo içerisinde hava akışını iyileştirmek üzere yerleştirilen panelin düşey ile yaptığı 14 farklı açı için sıcaklık ve hız dağılımı analizi yapılmıştır. Her bir analizde sıcaklık ortalaması, sıcaklık standart sapması, hız ortalaması ve hız standart sapması tanımlanan 9 adet referans düzlem bazında orijinal tasarım ile kıyaslanmıştır ve bu parametrelerde en fazla iyileşme sağlayan panel açısı tespit edilmiştir. Referans düzlemler için panel açılarına göre sıcaklık ortalaması için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de, sıcaklık standart sapmaları Çizelge 4.2’de, hız ortalamaları Çizelge 4.3’de ve hız standart sapmaları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Bu çizelgelerin grafiksel gösterimleri de sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki ortalama sıcaklıklar [°C]

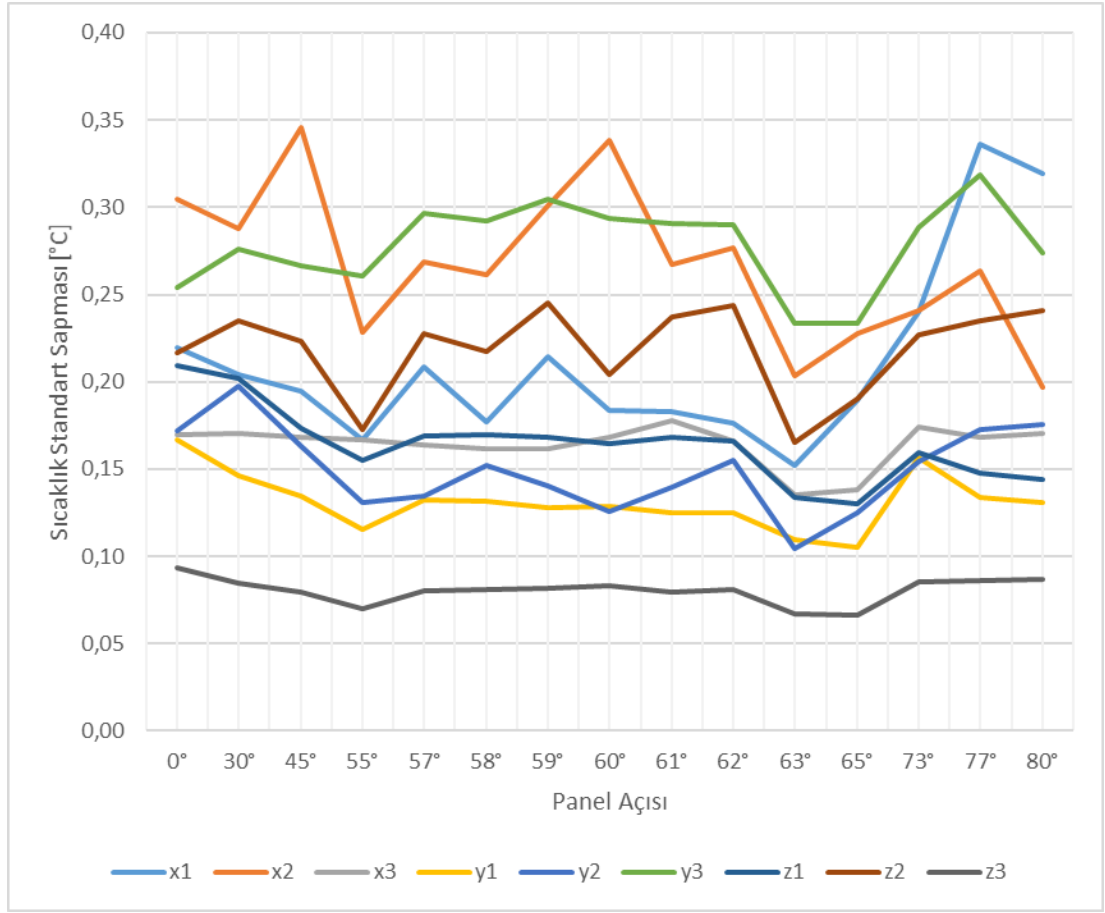
	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3
0°	1,25	1,30	1,15	1,25	1,22	1,13	1,24	1,20	1,06
30°	1,22	1,26	1,15	1,21	1,22	1,17	1,21	1,19	1,04
45°	1,24	1,28	1,13	1,18	1,20	1,22	1,19	1,20	1,03
55°	1,24	1,17	1,10	1,17	1,18	1,25	1,19	1,19	1,03
57°	1,28	1,21	1,11	1,17	1,18	1,27	1,19	1,21	1,03
58°	1,25	1,21	1,11	1,17	1,18	1,27	1,19	1,21	1,03
59°	1,28	1,21	1,11	1,17	1,19	1,28	1,19	1,22	1,03
60°	1,25	1,25	1,12	1,17	1,17	1,28	1,19	1,20	1,03
61°	1,25	1,23	1,12	1,16	1,18	1,27	1,20	1,22	1,03
62°	1,25	1,22	1,11	1,16	1,18	1,27	1,19	1,22	1,03
63°	1,20	1,18	1,10	1,13	1,14	1,21	1,16	1,16	1,03
65°	1,24	1,19	1,09	1,14	1,16	1,23	1,16	1,17	1,03
73°	1,31	1,21	1,11	1,18	1,19	1,33	1,20	1,21	1,03
77°	1,33	1,20	1,10	1,18	1,20	1,36	1,19	1,21	1,03
80°	1,34	1,16	1,10	1,16	1,20	1,34	1,18	1,22	1,04



Şekil 4.5. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki ortalama sıcaklıklar [°C]

Çizelge 4.2. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki sıcaklıkların standart sapması [$^{\circ}\text{C}$]

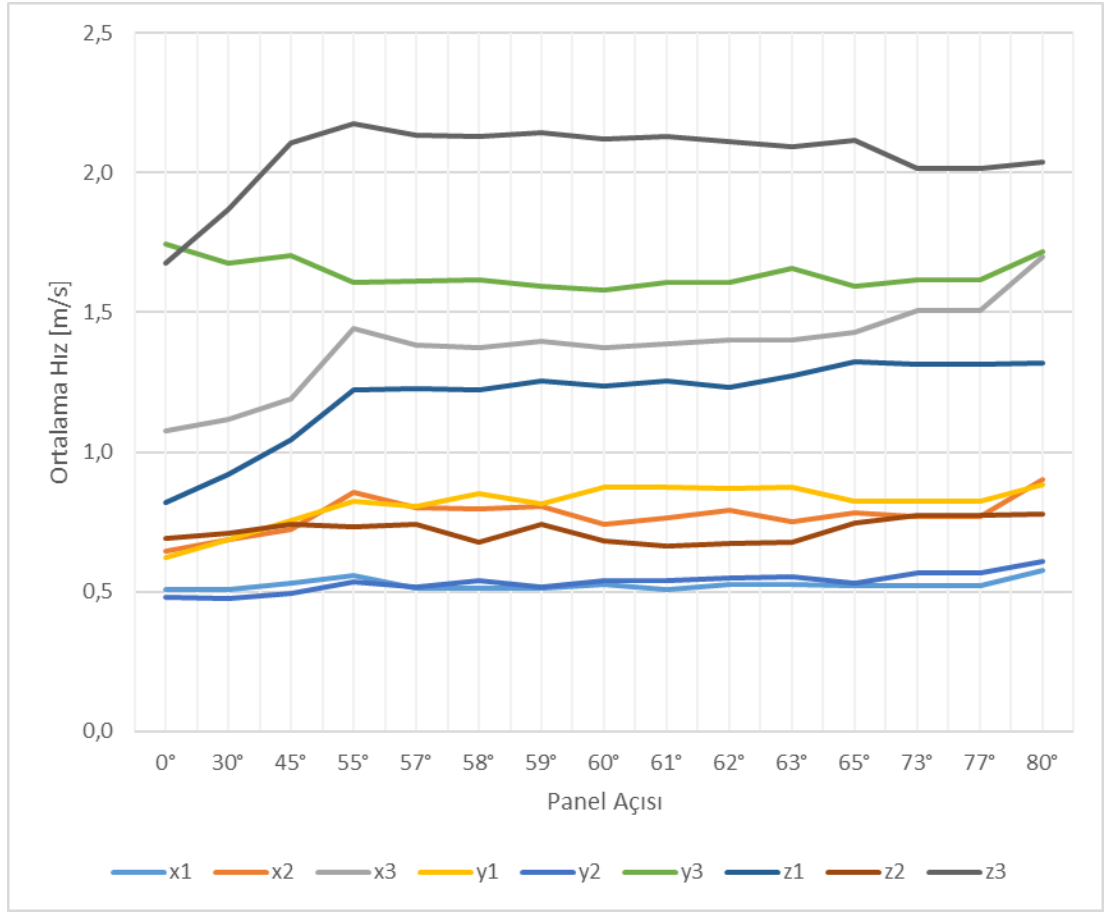
	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3
0°	0,22	0,30	0,17	0,17	0,17	0,25	0,21	0,22	0,09
30°	0,20	0,29	0,17	0,15	0,20	0,28	0,20	0,23	0,08
45°	0,19	0,35	0,17	0,13	0,16	0,27	0,17	0,22	0,08
55°	0,17	0,23	0,17	0,12	0,13	0,26	0,16	0,17	0,07
57°	0,21	0,27	0,16	0,13	0,13	0,30	0,17	0,23	0,08
58°	0,18	0,26	0,16	0,13	0,15	0,29	0,17	0,22	0,08
59°	0,21	0,30	0,16	0,13	0,14	0,30	0,17	0,24	0,08
60°	0,18	0,34	0,17	0,13	0,13	0,29	0,16	0,20	0,08
61°	0,18	0,27	0,18	0,13	0,14	0,29	0,17	0,24	0,08
62°	0,18	0,28	0,17	0,12	0,15	0,29	0,17	0,24	0,08
63°	0,15	0,20	0,14	0,11	0,10	0,23	0,13	0,17	0,07
65°	0,19	0,23	0,14	0,10	0,12	0,23	0,13	0,19	0,07
73°	0,24	0,24	0,17	0,16	0,15	0,29	0,16	0,23	0,09
77°	0,34	0,26	0,17	0,13	0,17	0,32	0,15	0,24	0,09
80°	0,32	0,20	0,17	0,13	0,18	0,27	0,14	0,24	0,09



Şekil 4.6. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki sıcaklık standart sapması [°C]

Çizelge 4.3. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki hız ortalaması [m/s]

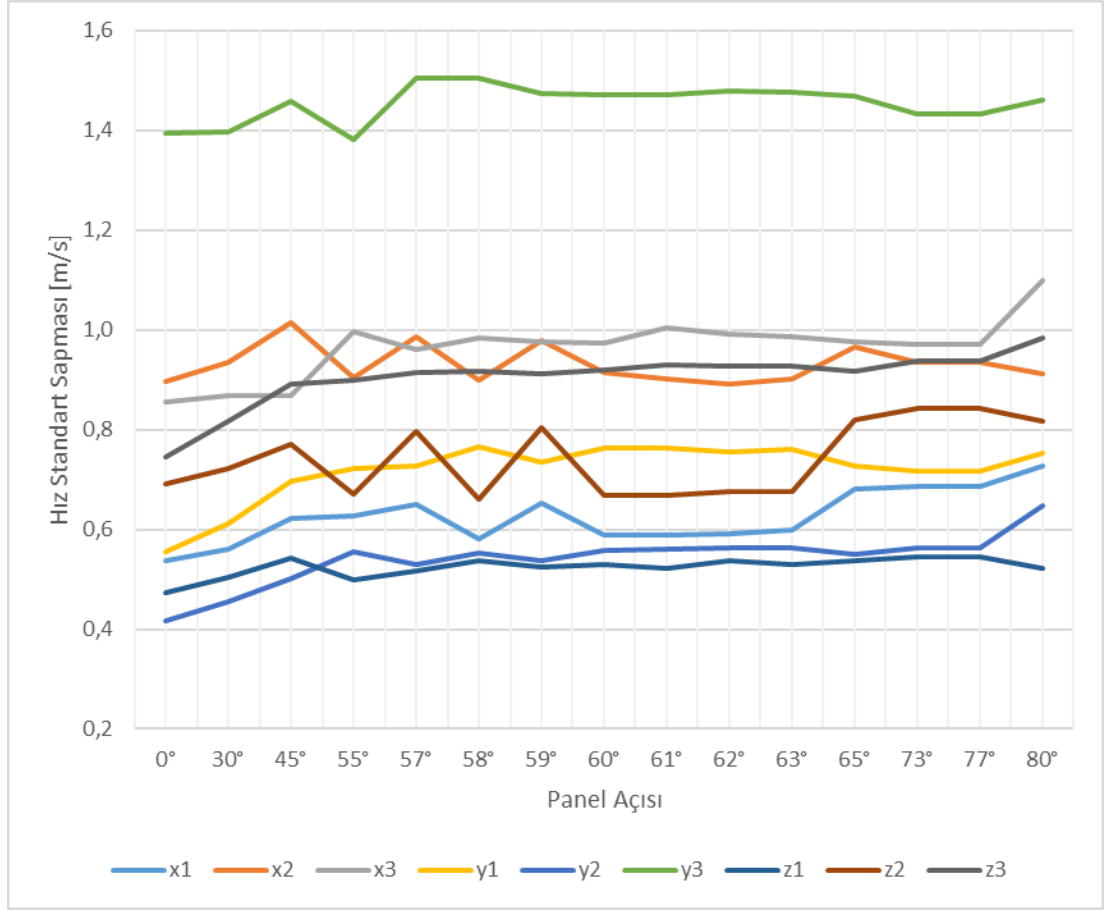
	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3
0°	0,51	0,65	1,08	0,62	0,48	1,74	0,82	0,69	1,67
30°	0,51	0,68	1,12	0,69	0,47	1,67	0,92	0,71	1,87
45°	0,53	0,72	1,19	0,76	0,49	1,70	1,04	0,74	2,11
55°	0,56	0,86	1,44	0,82	0,54	1,61	1,22	0,73	2,17
57°	0,51	0,80	1,38	0,81	0,52	1,61	1,23	0,74	2,14
58°	0,51	0,80	1,38	0,85	0,54	1,62	1,22	0,68	2,13
59°	0,51	0,81	1,39	0,82	0,52	1,59	1,25	0,74	2,14
60°	0,53	0,74	1,37	0,87	0,54	1,58	1,23	0,68	2,12
61°	0,51	0,77	1,39	0,87	0,54	1,61	1,26	0,67	2,13
62°	0,52	0,79	1,40	0,87	0,55	1,61	1,23	0,67	2,11
63°	0,53	0,75	1,40	0,87	0,55	1,66	1,27	0,68	2,09
65°	0,52	0,78	1,43	0,83	0,53	1,59	1,32	0,75	2,11
73°	0,52	0,77	1,51	0,82	0,57	1,62	1,31	0,77	2,02
77°	0,52	0,77	1,51	0,82	0,57	1,62	1,31	0,77	2,02
80°	0,58	0,90	1,70	0,88	0,61	1,72	1,32	0,78	2,04



Şekil 4.7. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki hız ortalaması [m/s]

Çizelge 4.4. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki hızların standart sapması [m/s]

	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3
0°	0,54	0,90	0,86	0,56	0,42	1,39	0,47	0,69	0,74
30°	0,56	0,93	0,87	0,61	0,45	1,40	0,50	0,72	0,82
45°	0,62	1,01	0,87	0,70	0,50	1,46	0,54	0,77	0,89
55°	0,63	0,90	1,00	0,72	0,56	1,38	0,50	0,67	0,90
57°	0,65	0,99	0,96	0,73	0,53	1,51	0,52	0,80	0,92
58°	0,58	0,90	0,99	0,77	0,55	1,51	0,54	0,66	0,92
59°	0,65	0,98	0,98	0,73	0,54	1,47	0,52	0,81	0,91
60°	0,59	0,91	0,97	0,76	0,56	1,47	0,53	0,67	0,92
61°	0,59	0,90	1,01	0,76	0,56	1,47	0,52	0,67	0,93
62°	0,59	0,89	0,99	0,76	0,56	1,48	0,54	0,68	0,93
63°	0,60	0,90	0,99	0,76	0,56	1,48	0,53	0,68	0,93
65°	0,68	0,97	0,98	0,73	0,55	1,47	0,54	0,82	0,92
73°	0,69	0,93	0,97	0,72	0,56	1,43	0,54	0,84	0,94
77°	0,69	0,93	0,97	0,72	0,56	1,43	0,54	0,84	0,94
80°	0,73	0,91	1,10	0,75	0,65	1,46	0,52	0,82	0,98



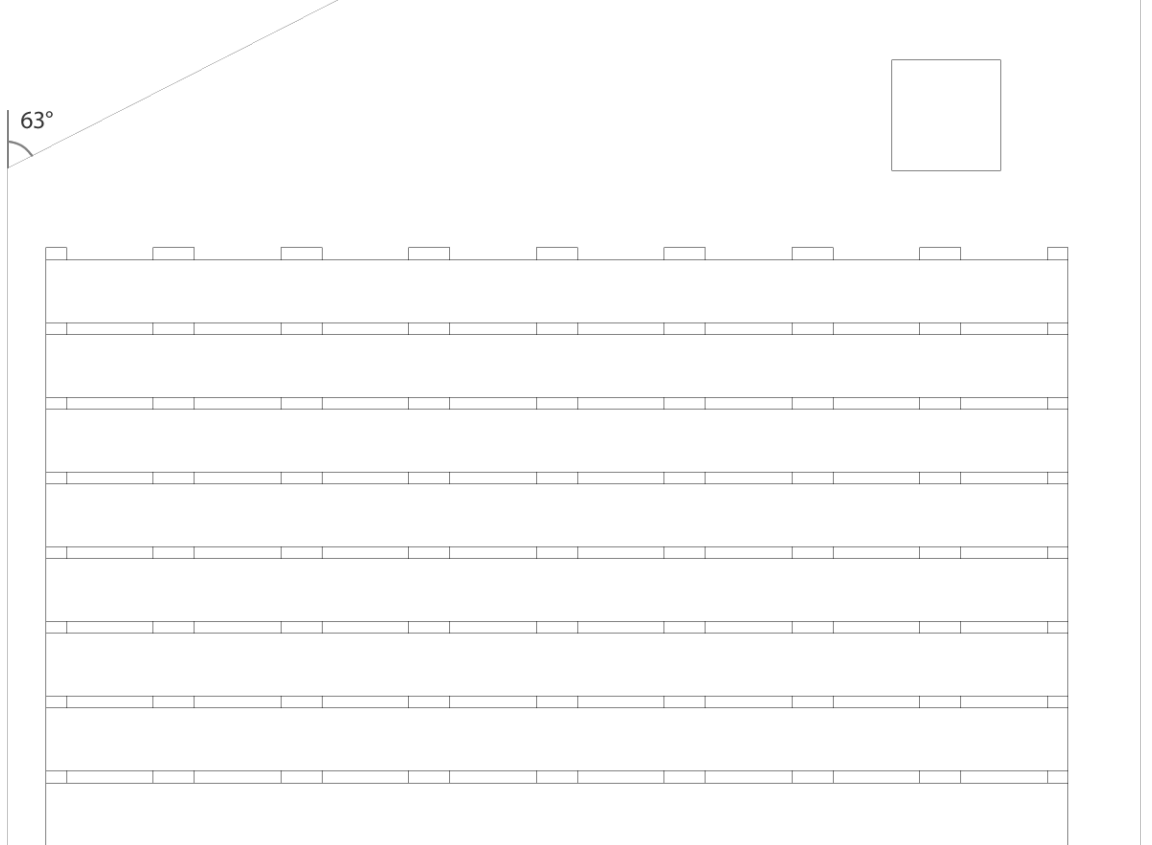
Şekil 4.8. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki hız standart sapması [m/s]

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.5’den görüleceği üzere neredeyse tüm eksenlerde en düşük sıcaklıklar 63°’lik panel açısında elde edilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.2 ve Şekil 4.6’da verilen sıcaklık standart sapmalarına bakıldığında en düşük standart sapmaların yine 63°’lik panel açısında elde edildiği görülmektedir. Bu da daha homojen bir sıcaklık dağılımı olduğunu doğrulamaktadır.

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.7’e bakıldığında ortalama hızlarda pek fazla bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Ancak Çizelge 4.4 ve Şekil 4.8’de verilen hız standart sapmalarına bakıldığında yine 63° panel açısı için en düşük standart sapmaların elde edildiği görülmektedir. Bu da önceki çizelge ve şekilleri destekleyerek daha homojen bir hız dağılımı olduğunu göstermektedir.

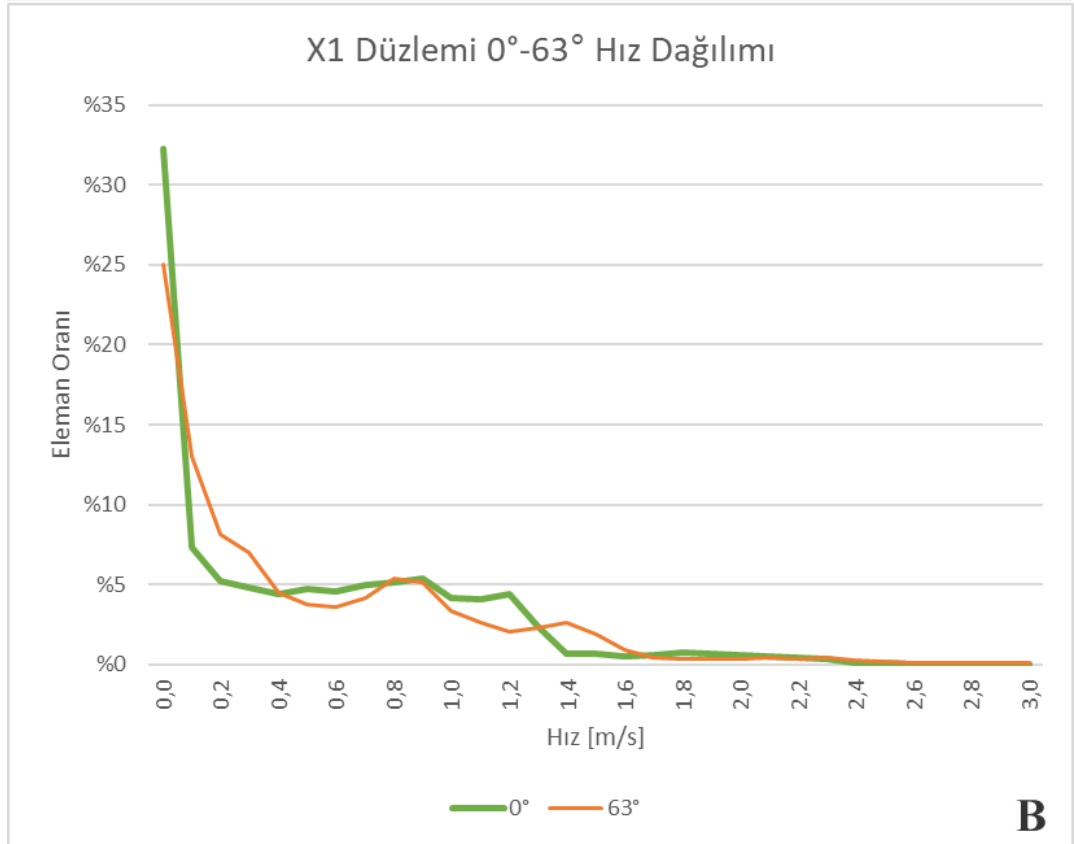
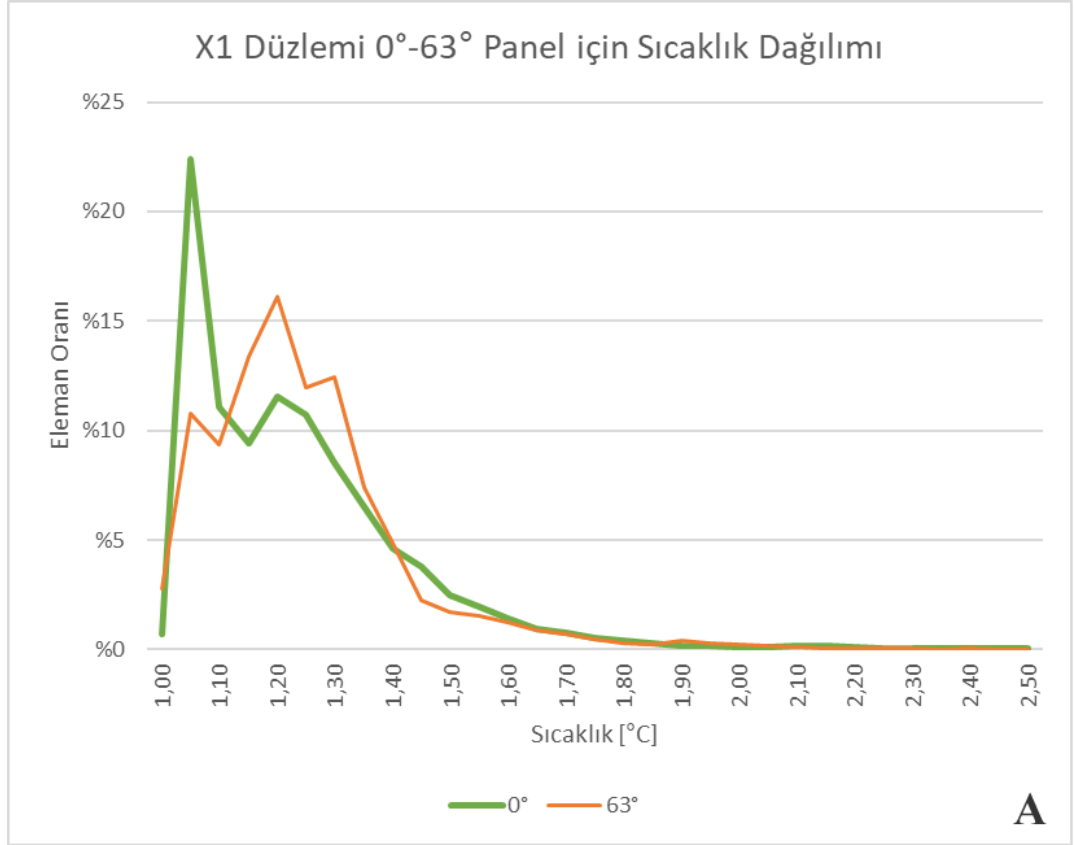
4.3. Düşey ile 63° Açılı Panel için Detaylı Sonuçlar

Buharlaştırıcının karşısına konan düşey ile 63° eğimli bir panelin yerleşimi Şekil 4.9’da görülmektedir. Bu tasarım için yapılan sıcaklık ve hız analizlerinden elde edilen sonuçların referans düzlemleri bazında ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

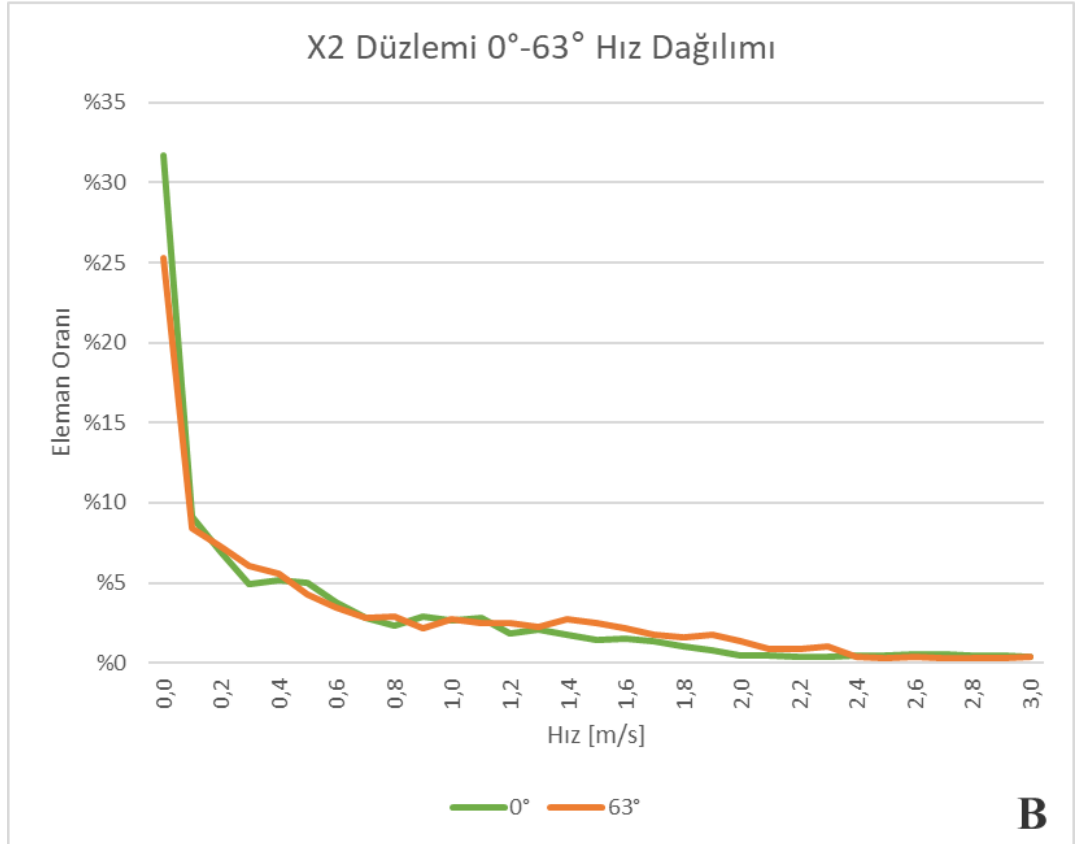
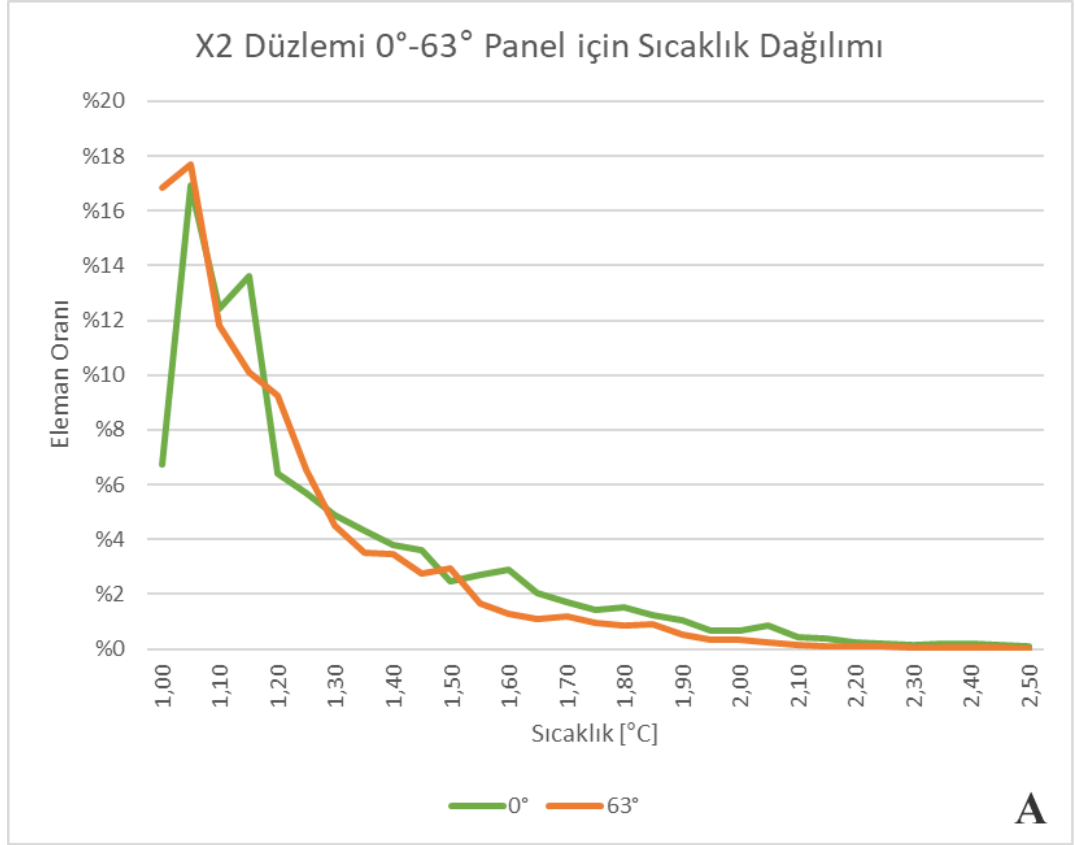


Şekil 4.9. 63° açılı panel için depo geometrisi

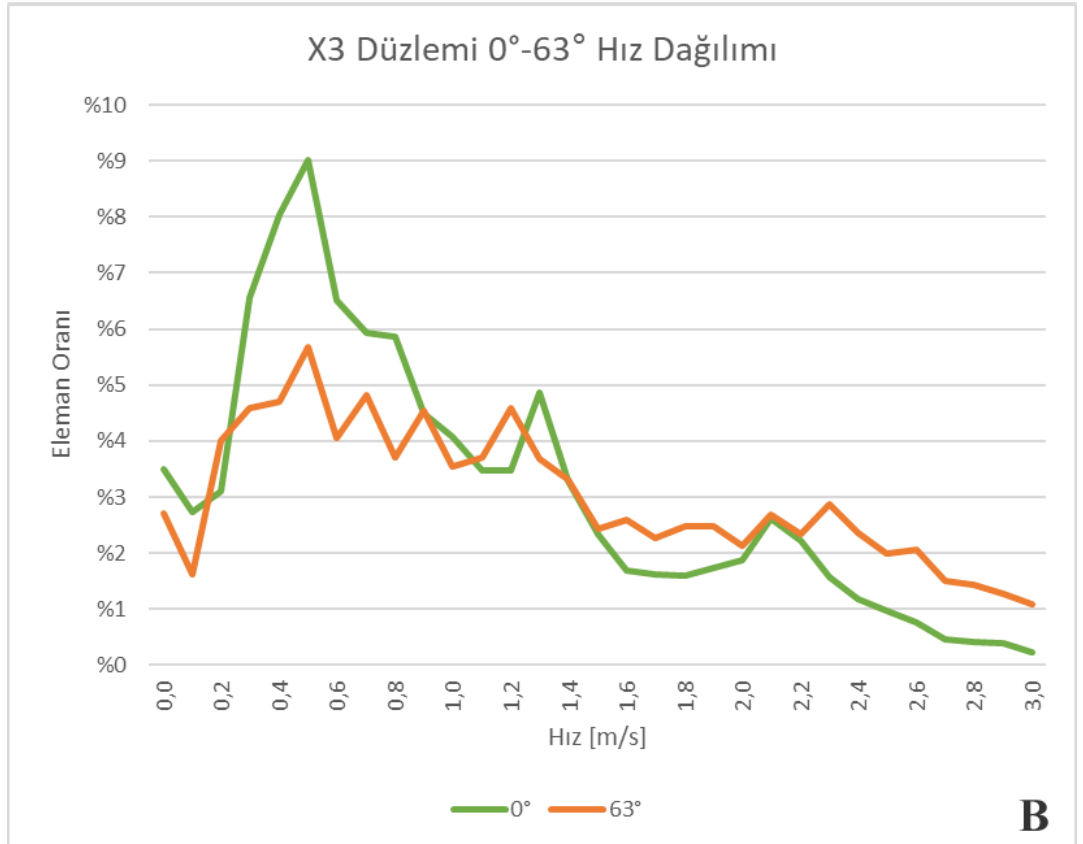
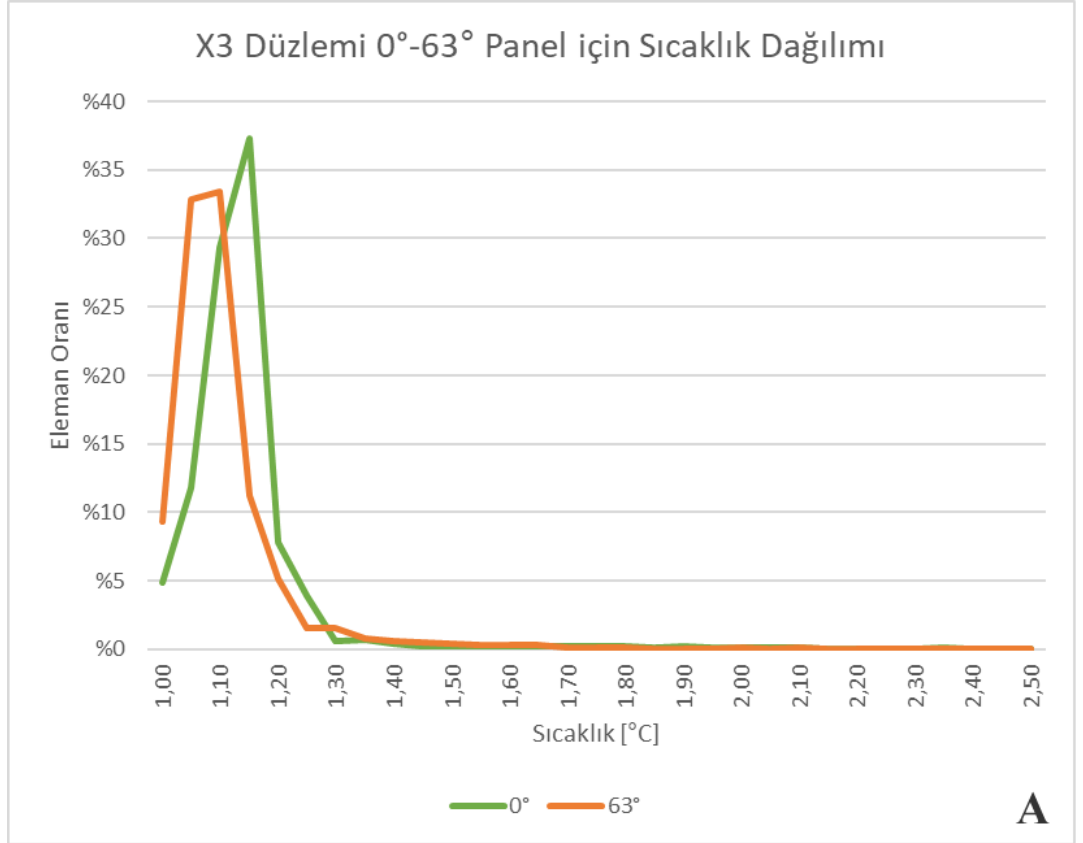
X eksenine dik olarak tanımlanmış X1, X2 ve X3 referans düzlemlerindeki sıcaklık dağılımına ilişkin grafikler Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir. Ayrıca bu düzlemlerdeki sıcaklık ve hız için ortalama ve standart sapma değerleri de Çizelge 4.5’de verilmiştir ve Şekil 4.22’de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.10. 63° için X1 düzlemindeki sıcaklık ve hız histogramı



Şekil 4.11. 63° için X2 düzlemindeki sıcaklık ve hız histogramı



Şekil 4.12. 63° için X3 düzlemindeki sıcaklık ve hız histogramı

Çizelge 4.5. 63° panel açısı için tüm düzlemlerindeki sıcaklık ve hız ortalama ve standart sapması

	Sıcaklık [°C]		Sıcaklık [°C]		Hız [m/s]			Hız [m/s]		
	Ortalama		Standart Sapma		Ortalama			Standart Sapma		
	0°	63°	0°	63°	0°	63°	%	0°	63°	%
X1	1,25	1,20	0,22	0,15	0,51	0,53	3,7	0,54	0,60	10,3
X2	1,30	1,18	0,30	0,20	0,65	0,75	13,6	0,90	0,90	0,5
X3	1,15	1,10	0,17	0,14	1,08	1,40	23,2	0,86	0,99	13,2
Y1	1,25	1,13	0,17	0,11	0,62	0,87	29,0	0,56	0,76	27,0
Y2	1,22	1,14	0,17	0,10	0,48	0,55	12,6	0,42	0,56	26,1
Y3	1,13	1,21	0,25	0,23	1,74	1,66	-5,2	1,39	1,48	5,6
Z1	1,24	1,16	0,21	0,13	0,82	1,27	35,7	0,47	0,53	10,5
Z2	1,20	1,16	0,22	0,17	0,69	0,68	-1,8	0,69	0,68	-2,1
Z3	1,06	1,03	0,09	0,07	1,67	2,09	20,0	0,74	0,93	19,7

Şekil 4.10.A’da X1 düzleminde panel kullanılmayan mevcut durum 0° ile gösterilmiş ve 63° açılı panel ile sıcaklık dağılımı histogramı karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Panel kullanılmayan durumda düzlem üzerindeki düğümlerdeki sıcaklıklar 1,05 °C civarında toplanmıştır. 63° panel kullanımı durumunda ise düğümlerdeki sıcaklıklarda diğer değerlere doğru daha fazla bir yayılım görülmektedir. Çizelge 4.5’de X1 düzlemi için sıcaklık ortalaması ve standart sapmasına bakıldığında ise ortalamanın 1,25°C’den 1,2°C’te düştüğü görülmektedir. Bu da bize X1 düzlemi üzerinde daha iyi bir soğutma sağlandığını göstermektedir. Ayrıca standart sapma da 0,22’den 0,15’e düşmüş yani düzlem üzerinde daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağlanmıştır. Sıcaklık ortalamasında %3,8’lik bir düşüş sağlanarak daha iyi bir soğutma elde edilmiştir.

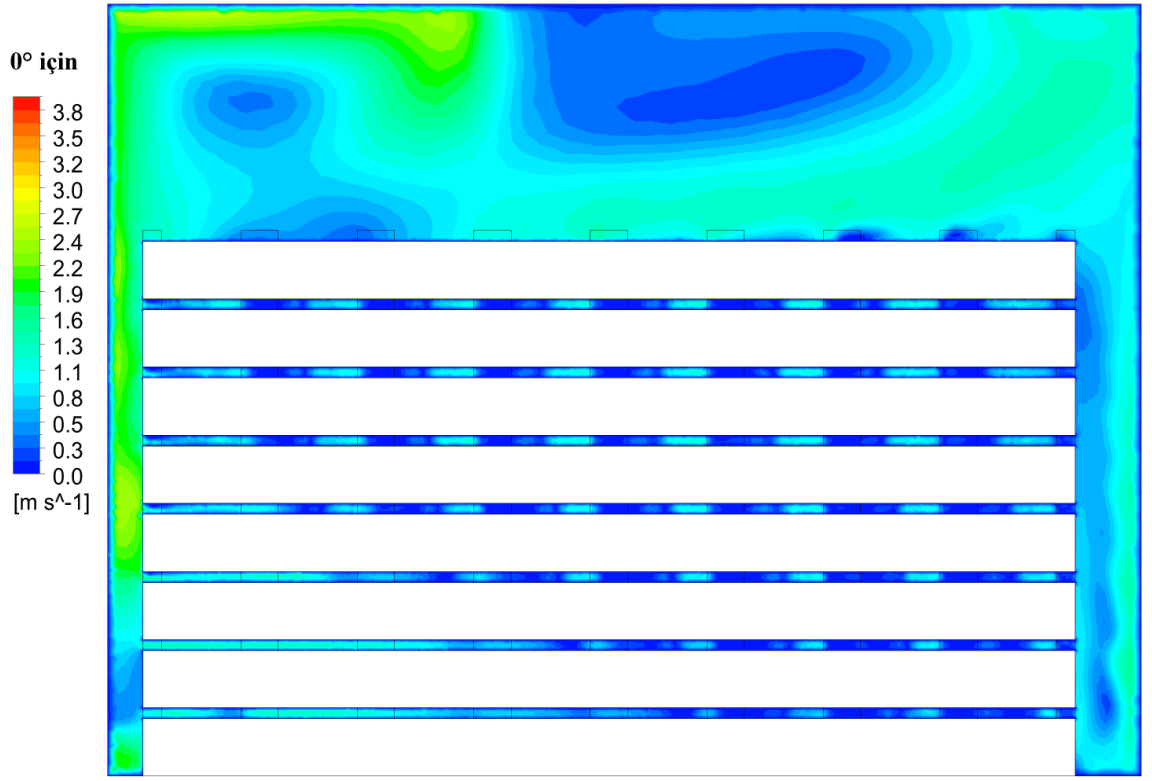
Şekil 4.10.B’da hız dağılımına bakıldığında X1 düzleminde hız dağılımının panel eklenmesiyle beraber daha yüksek hızlara doğru kaydığı görülmektedir. Ayrıca

Çizelge 4.5’de ortalama hızın 0,51 m/s’den 0,53 m/s’ye yükselerek %3,69’luk bir artış olduğu görülmektedir.

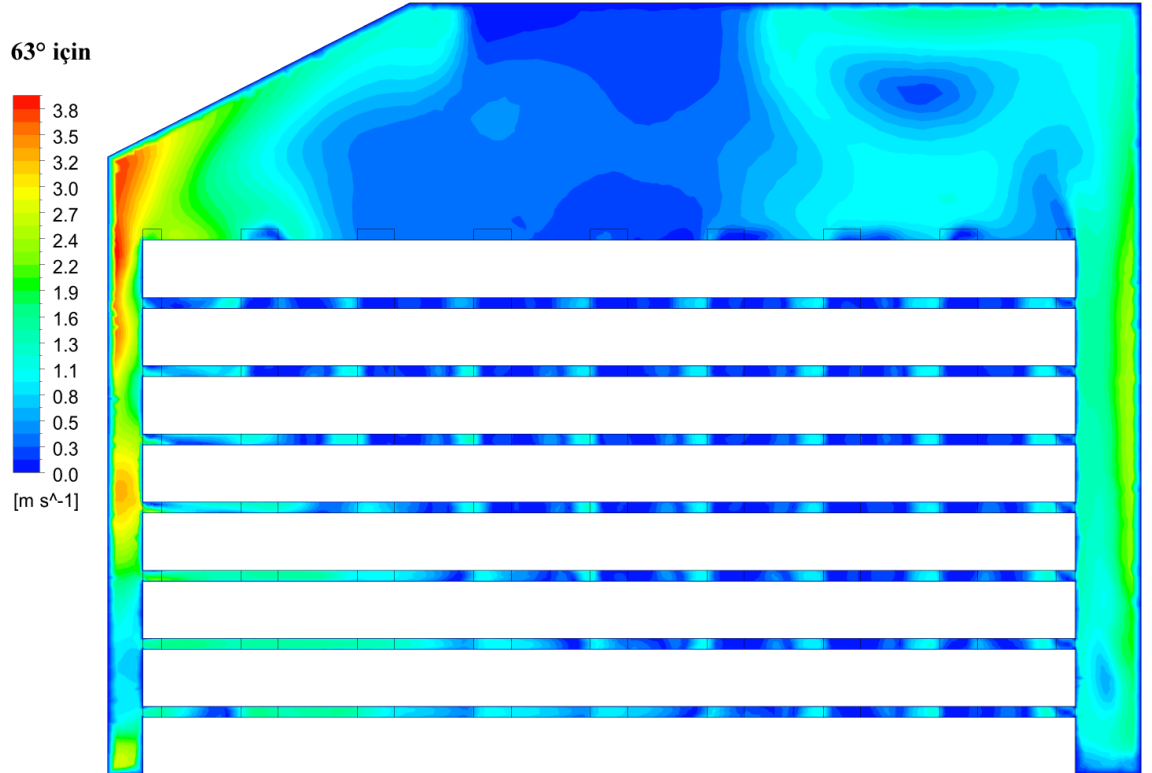
Şekil 4.11.B ve Şekil 4.12.B’de X2 ve X3 düzlemleri için sıcaklık dağılımlarına bakıldığında her iki düzlemde de 63° açılı panel için grafikte sola doğru bir kayma olduğu yani sıcaklıkların düştüğü görülmektedir. Çizelge 4.5’de X2 ve X3 düzlemleri için ortalama sıcaklıkların düşerek daha iyi bir soğutma yapıldığını doğrulamaktadır. Ayrıca Çizelge 4.5’den X2 ve X3 düzlemlerinin sıcaklık standart sapmalarına bakıldığında düşüş olduğu görülmektedir ve bu da daha homojen bir ısı dağılımı olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.11.B ve Şekil 4.12.B’de X2 ve X3 düzlemleri için hız dağılımlarına bakıldığında her iki düzlemde de 63° açılı panel için hızların grafikte sağa doğru yani daha yüksek hızlara doğru kaydığı görülmektedir. Ayrıca Çizelge 4.5’e bakılırsa X2 ve X3 düzlemleri için ortalama hızlarda da artış olduğu görülmektedir ve bu da daha iyi bir hız dağılımı olduğunu göstermektedir. Yine Çizelge 4.5’de X2 düzlemi için hız standart sapmasında pek bir değişim olmadığı görülmektedir ancak X3 düzleminde ise 1,08 m/s’den 1,40 m/s’ye arttığı görülmektedir. Ancak Şekil 4.15’de verilen X3 düzlemindeki hız dağılımına bakıldığında zemine ve meyve kasalarının iç kısımlarına doğru hızların arttığı görülmektedir ki panel konularak amaçlanan da budur.

63°C açılı panelin hız dağılımına etkisini görsel olarak analiz edebilmek için 9 adet referans düzlemi üzerinde hız dağılımı için çizilen renkli eşdeğer hız eğrileri Şekil 4.13’den Şekil 4.21’e kadar sırayla verilmiştir.



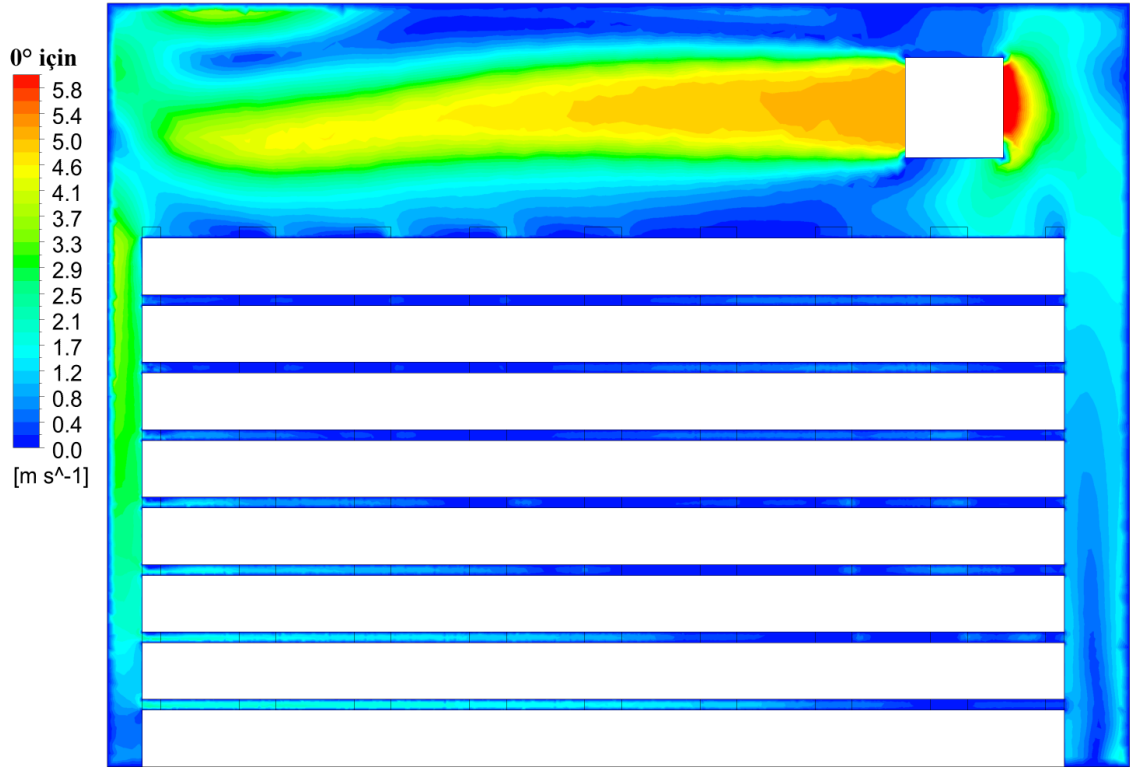
A



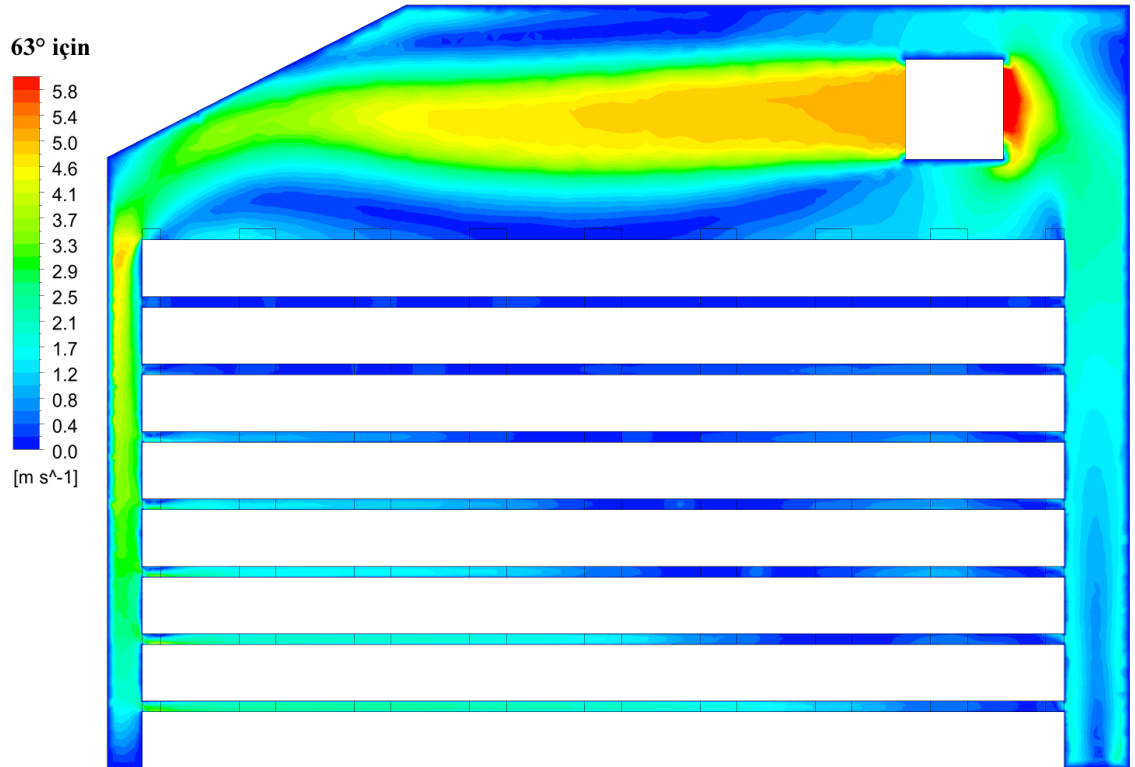
B

Şekil 4.13. 0° ve 63° panel açılarında X1 düzleminde hız dağılımı

Şekil 4.13.A ve Şekil 4.13.B’de görüldüğü üzere duvara yakın kasa yığını üzerinde dikey olarak tanımlanan X1 düzleminde tavana yakın bölgelerdeki yüksek hava hızlar, panelin etkisiyle düşmektedir. Ayrıca alt ve iç bölgelerdeki düşük hava hızlarının da arttığı görülmektedir. Şekil 4.22.A’da görüldüğü üzere hem ortalama sıcaklık düşerken aynı zamanda sıcaklık standart sapması da düşerek daha iyi bir soğutma sağlanmıştır.



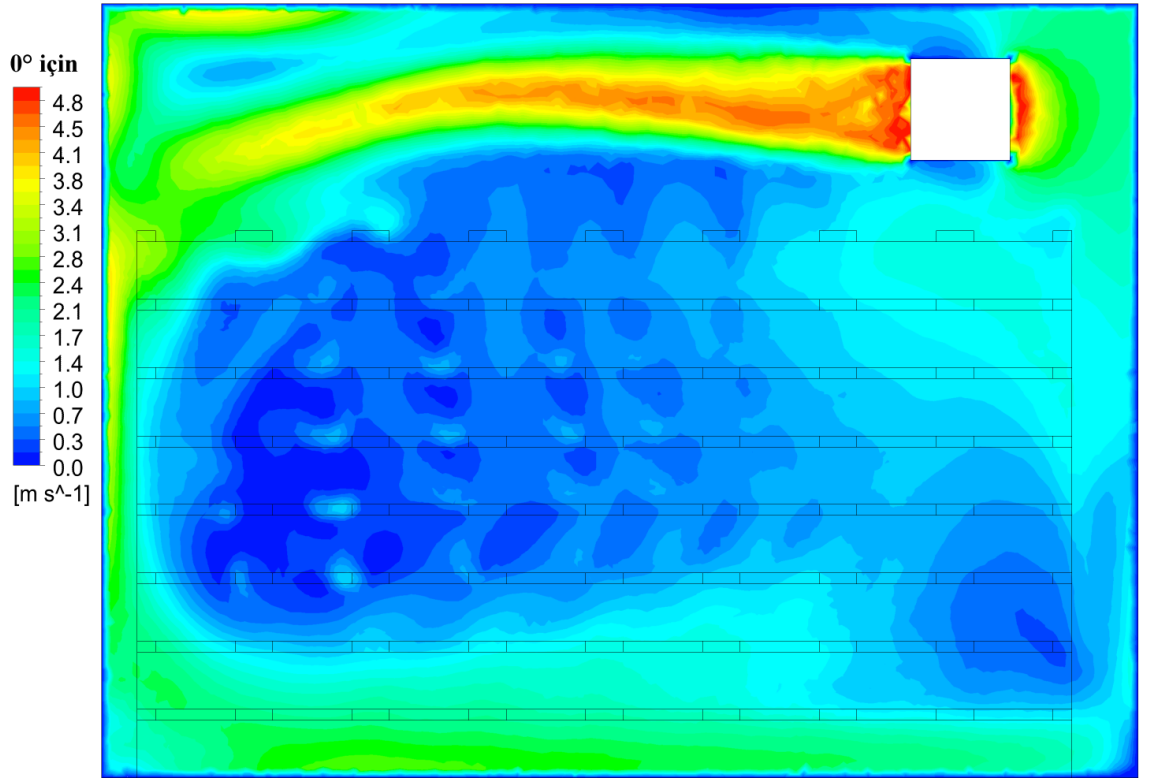
A



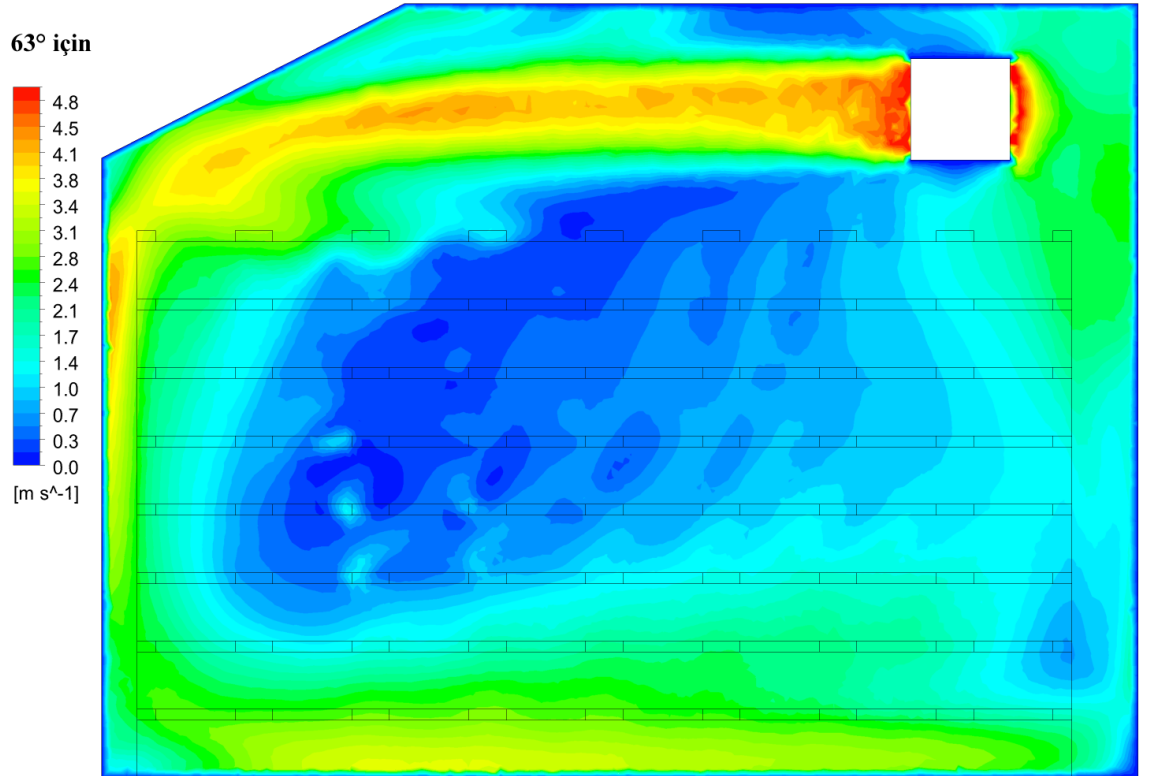
B

Şekil 4.14. 0° ve 63° panel açılarında X2 düzleminde hız dağılımı

Şekil 4.14A.'da görüldüğü üzere ortadaki kasa yığının üzerinde dikey olarak tanımlanan X2 düzleminde tavana yakın bölgelerde hava hızlarının yüksek olduğu ve aşağılara ve kasaların arasına inildikçe hızların önemli ölçüde düştüğü görülmektedir. Şekil 4.14.B'de ise panelin etkisiyle hızların zemine ve kasaların arasına doğru arttığı görülmektedir. Şekil 4.22.A'da görüldüğü üzere hem ortalama sıcaklık hem de sıcaklık standart sapması azalmıştır. Şekil 4.22.B'de görüldüğü üzere hız standart sapması değişmediği halde ortalama hız artmış ve daha iyi bir soğutma sağlanmıştır.



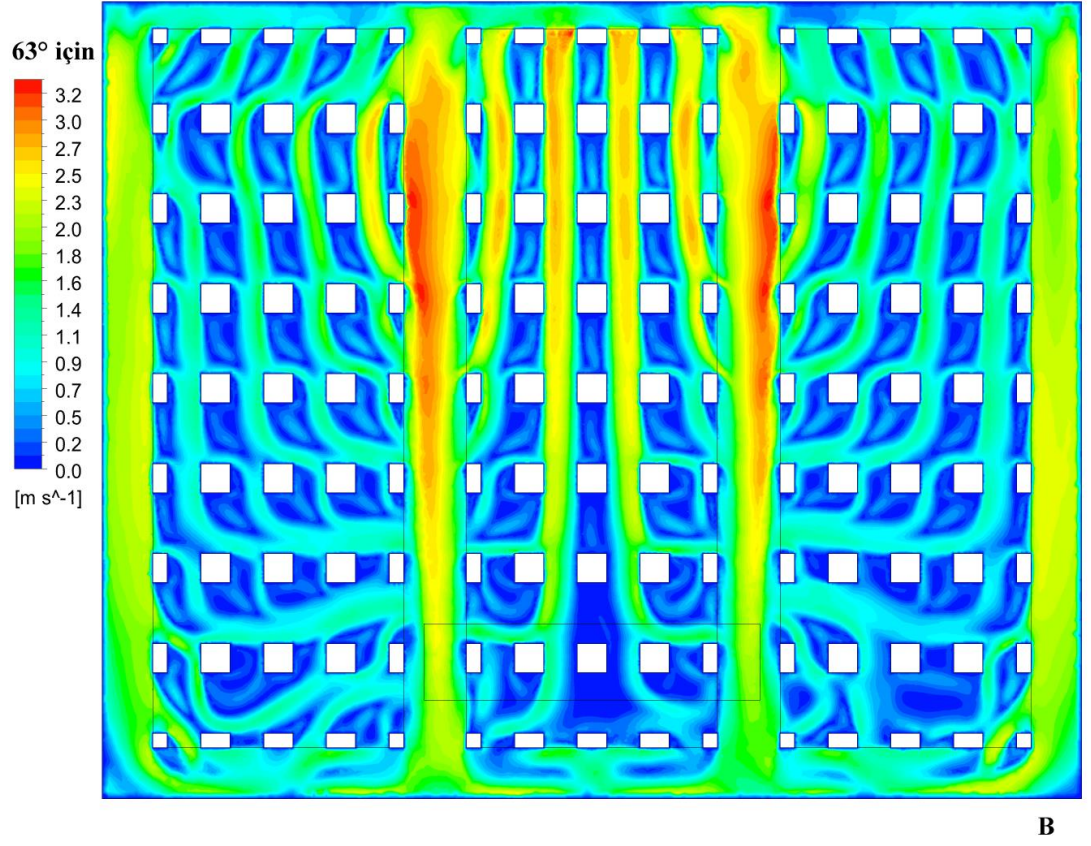
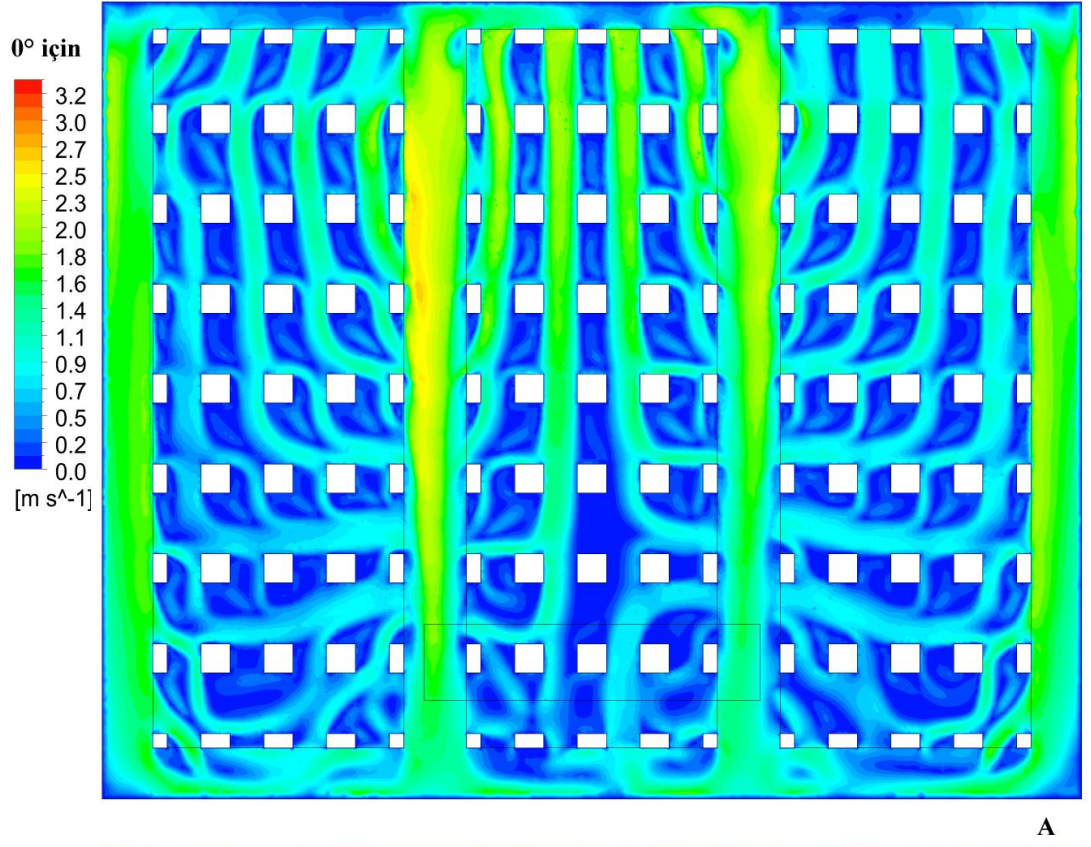
A



B

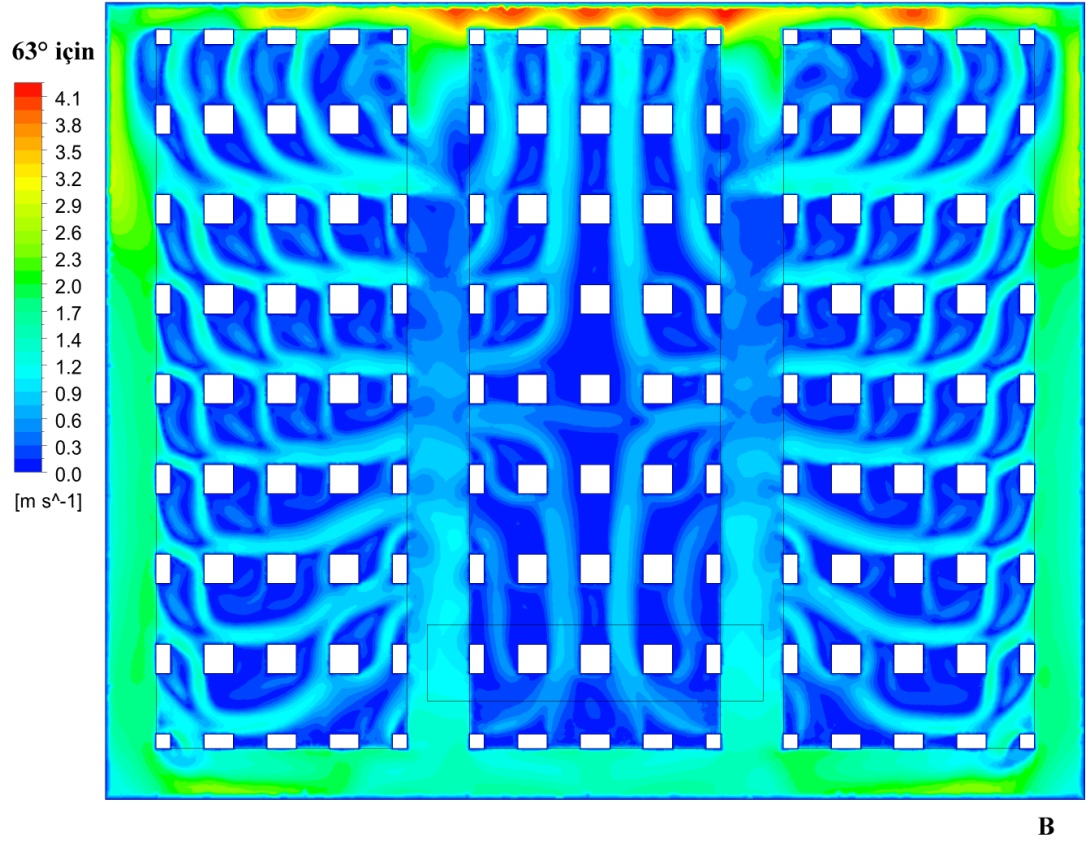
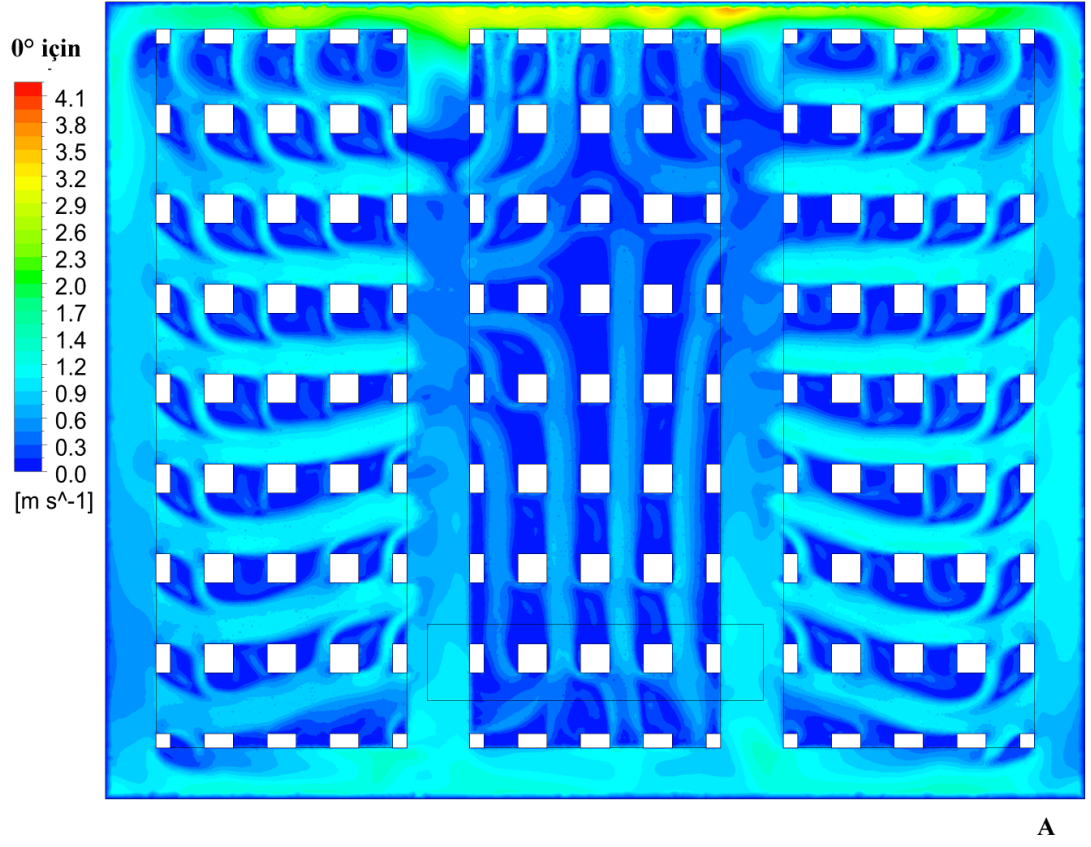
Şekil 4.15. 0° ve 63° panel açılarında X3 düzleminde hız dağılımı

İki kasa yığını arasındaki boş bölgede tanımlanan X3 düzlemindeki hava hızı dağılımı Şekil 4.15.'de gösterilmiştir. Şekil 4.15.A'da buharlaştırıcı çıkışındaki yüksek hızların Şekil 4.15.B'de panelin etkisiyle azalarak aşağılara doğru yayıldığı görülmektedir. Ayrıca orta bölgelerdeki düzüş hızlar da panel etkisiyle yükselme göstermiş ve daha homojen bir hız dağılımı sağlanmıştır. Şekil 4.22.A'da görüldüğü üzere ortalama sıcaklık da azalma olmuştur ki da bize daha iyi bir soğutma sağlamaktadır.



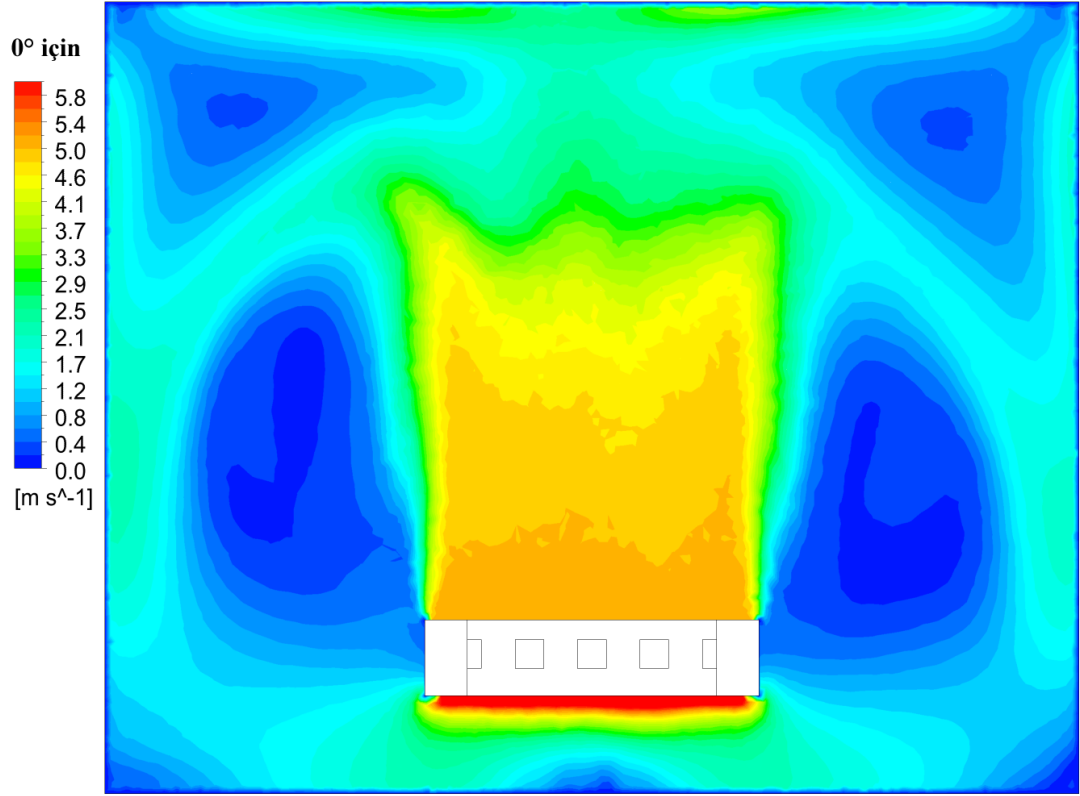
Şekil 4.16. 0° ve 63° panel açılarında Y1 düzleminde hız dağılımı

Şekil 4.16.A’da zemine yakın ve paralel olan Y1 düzleminde kasaların arasında orta bölgelere ilerledikçe hızların oldukça düştüğü görülmektedir. Şekil 4.16.B’de ise eklenen panel sayesinde orta bölgelerdeki hızlarda artış sağlanmıştır. Şekil 4.22.A’da görüldüğü üzere ortalama sıcaklık düşmüş, Şekil 4.22.B’de görüldüğü üzere de ortalama hız yükselmiştir.

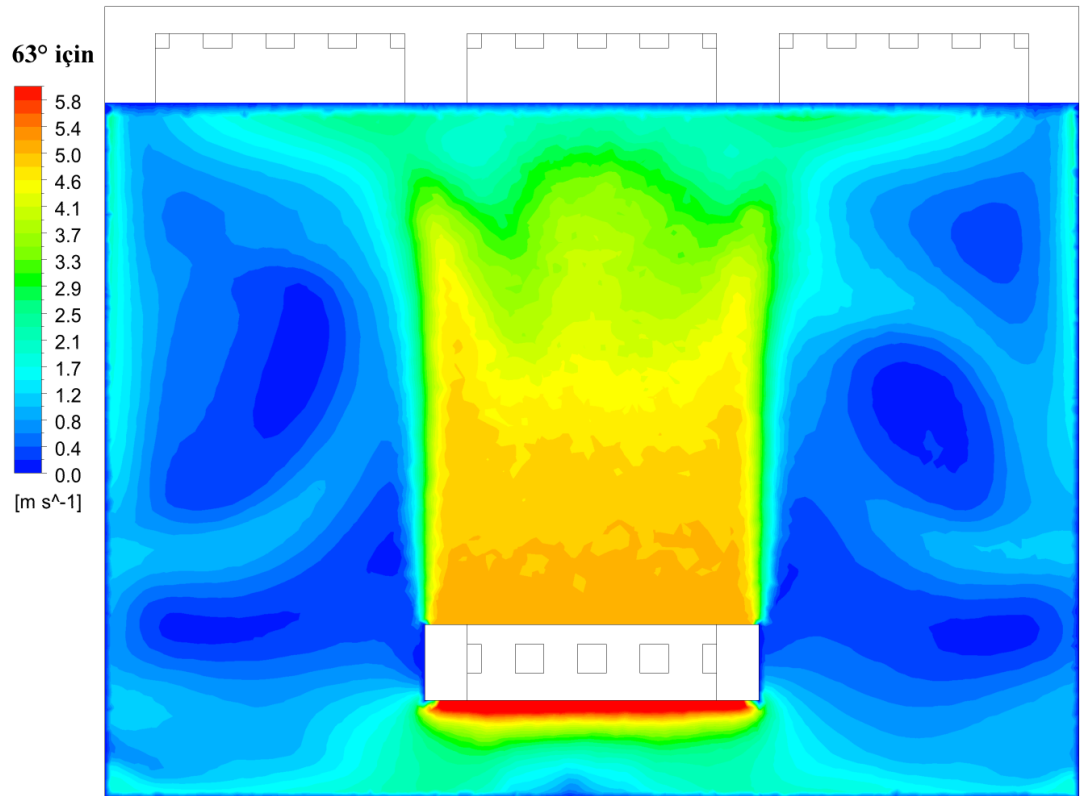


Şekil 4.17. 0° ve 63° panel açılarında Y2 düzleminde hız dağılımı

Buharlaştırıcıdan çıkan havanın büyük bölümü tavana yakın boş bölgede dolaşarak tekrar buharlaştırıcıya geri döndüğü için şekil 4.17.A'da görüldüğü üzere yatay Y2 düzleminde üstte görülen hızlar çok düşüktür ve kasaların arasına doğru bir akış sağlamaya yetmemektedir. Soğutmanın büyük bölümü yan duvarlardan meyvelerin arasında giren hava ile sağlanabilmektedir ki bu da yeterli olmamaktadır. şekil 4.17.B'de ise ortama eklenen panel sayesinde hava aşağıya yönlendirildiği için sadece yanlardan değil nden de hava girişi sağlanmakta ve i bölgelerde daha iyi bir soğutma sağlanabilmektedir. Ayrıca şekil 4.22.A'dan görüleceği üzere Y2 düzlemindeki ortalama sıcaklık azalmış, şekil 4.22.B'den görüleceği üzere de ortalama hız artmıştır ki bu da bize daha iyi bir soğutma yapılabil-diğini göstermektedir.



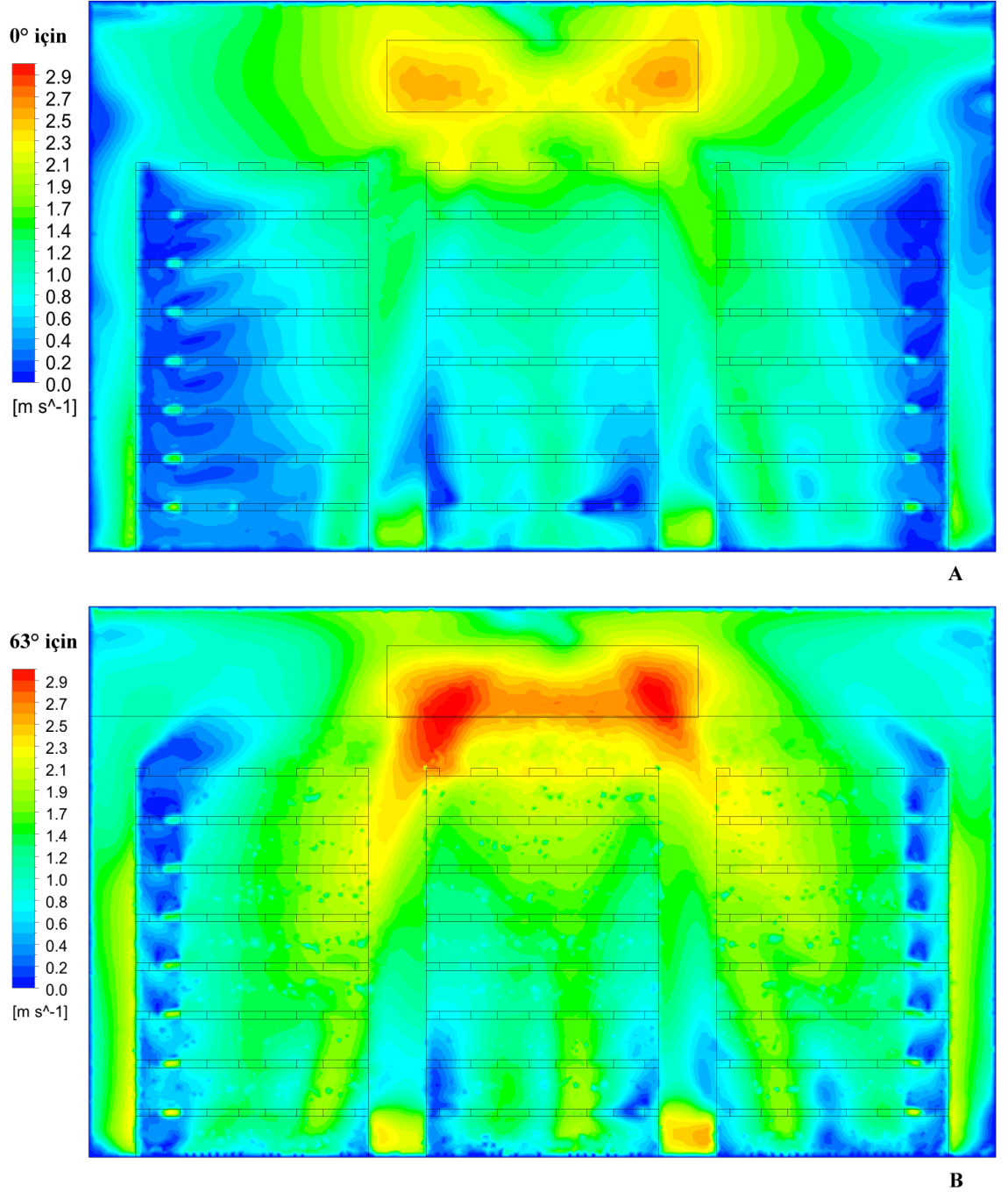
A



B

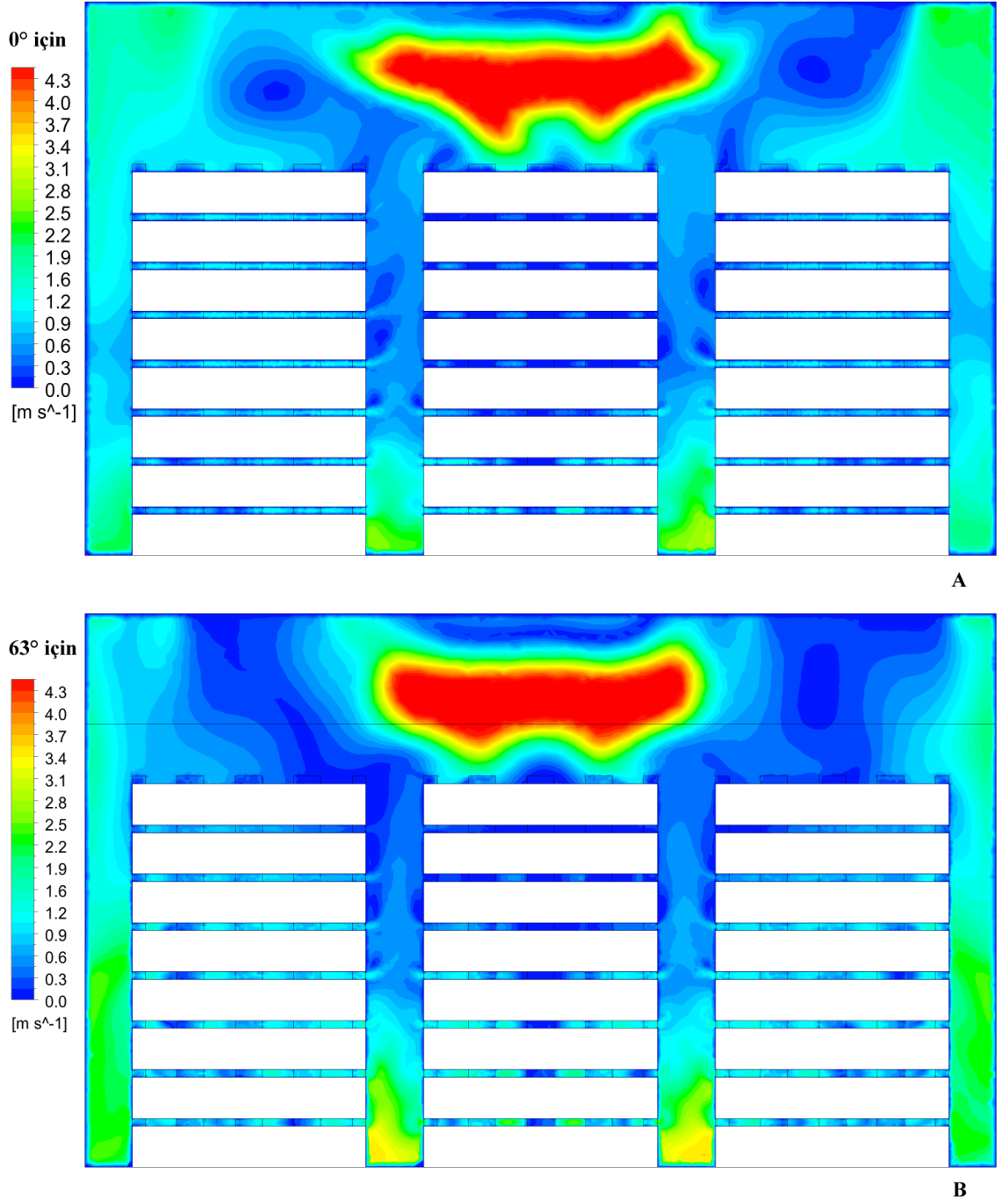
Şekil 4.18. 0° ve 63° panel açılarında Y3 düzleminde hız dağılımı

Şekil 4.18.A’da görüldüğü üzere buharlaştırıcı seviyesinde bulunan yatay Y3 düzleminde buharlaştırıcı seviyesinde hızların oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 4.18.B’de ise buharlaştırıcı üfleme alanı dışında kalan yan bölgelerde hızların düştüğü görülmektedir ki bu da istediğimiz bir şeydir. Böylece soğuk hava tavana yakın boş bölgede dolaşmak yerine meyvelerin arasına doğru yönlendirilmiş olmaktadır.



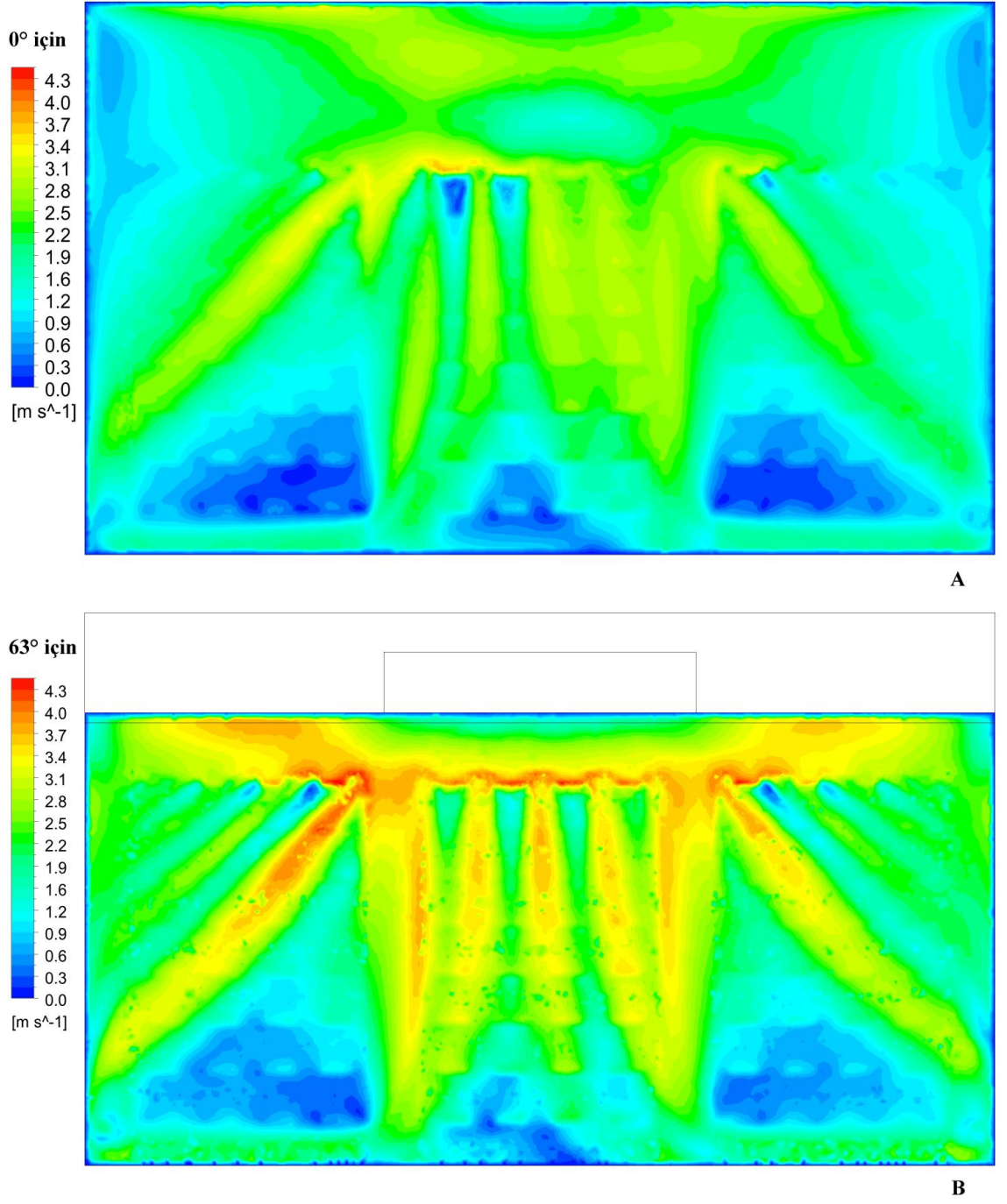
Şekil 4.19. 0° ve 63° panel açılarında Z1 düzleminde hız dağılımı

Şekil 4.19.A’da görüldüğü üzere buharlaştırıcının arkasında bulunan Z1 düzleminde buharlaştırıcı seviyesinde oldukça yüksek hızlar varken zemine doğru inildikçe veya yan duvarlardan içeriye meyve kasalarının arasına girildikçe hızlar düşmektedir. Buharlaştırıcıdan çıkan soğuk hava tavana yakın boş alanda dolaştığı için özellikle yan duvarlara yakın kasaların arasında sıfıra yakın hızlar söz konusudur. Şekil 4.19.B’de ise zemine doğru gidildikçe hızlar artarken aynı zamanda orta ve yan bölgelerdeki kasalar arasında ve yan duvarlara yakın kasalar arasındaki hızlarda da artış görülmektedir.



Şekil 4.20. 0° ve 63° panel açılarında Z2 düzleminde hız dağılımı

Şekil 4.20.A’da görüldüğü üzere Z2 düzleminde buharlaştırıcı seviyesinde oldukça yüksek hızlar varken zemine doğru inildikçe hızlar düşmektedir. Özellikle orta bölgedeki kasaların arasında sıfıra yakın hızlar söz konusudur. Şekil 4.20.B’de ise buharlaştırıcı seviyesindeki boş bölgede hızlar düşerken zemine doğru gidildikçe hızlar artmaktadır. Özellikle orta ve yan bölgelerdeki kasalar arasındaki hızlarda artış görülmektedir.

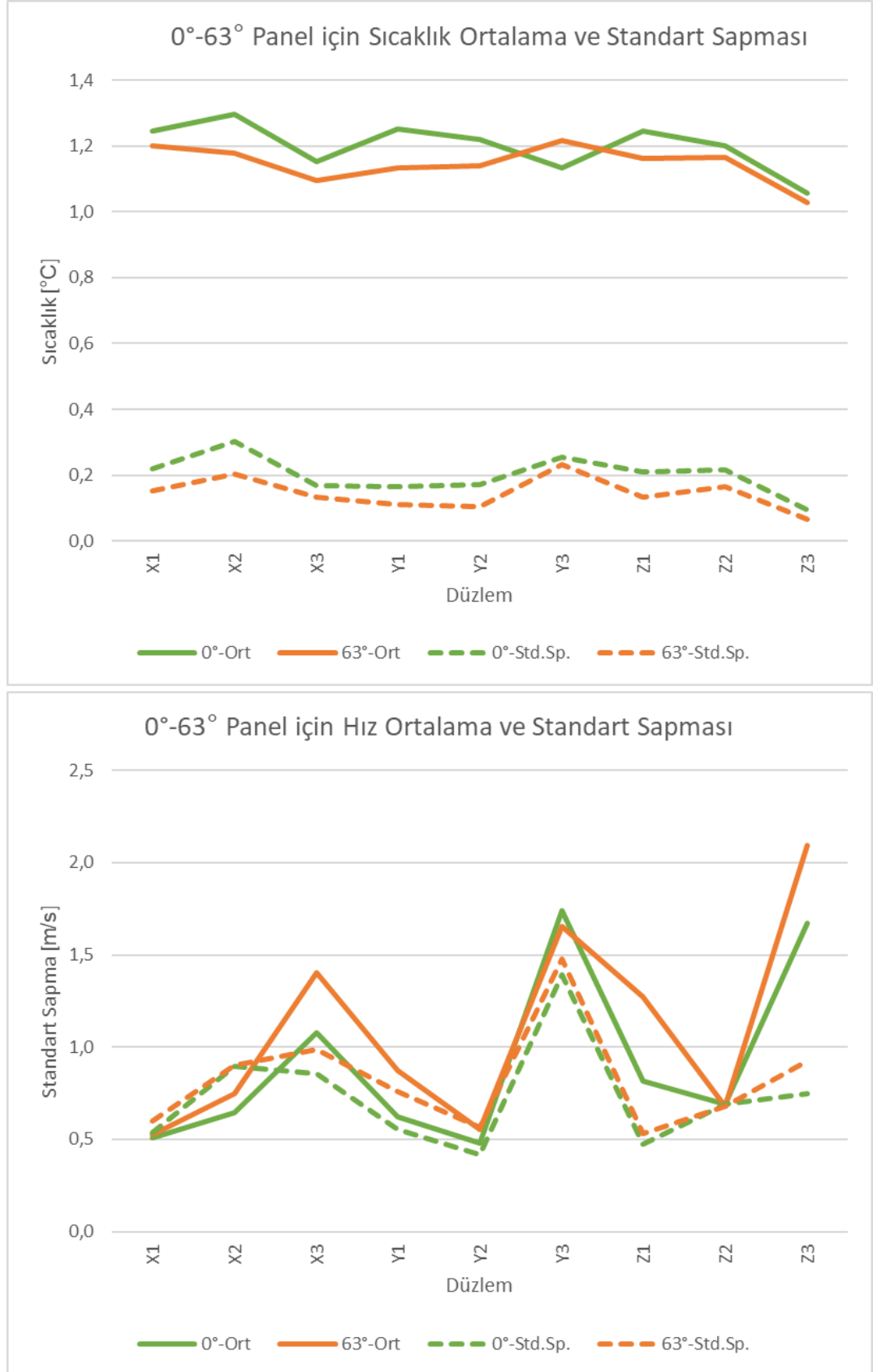


Şekil 4.21. 0° ve 63° panel açılarında Z3 düzleminde hız dağılımı

Şekil 4.21.A’da görüldüğü üzere buharlaştırıcının tam karşısında bulunan Z3 düzleminde tavana yakın bölgelerde oldukça yüksek hızlar varken zemine doğru inildikçe hızlar düşmekte ve neredeyse sıfıra yakın hızlar söz konusu olmaktadır. Şekil 4.21.B’de ise tavana yakın bölgelerde hızlar artarken aynı zamanda zemine doğru gidildikçe de hızların

arttığı görülmektedir. Ayrıca yan duvarlara doğru gidildikçe de hızların arttığı görülmektedir.

Şekil 4.13'den Şekil 4.21'e kadar verilen dokuz adet düzlemdeki hız dağılımından da görüleceği üzere 63° eğimli panelin eklenmesiyle depo içerisindeki tüm düzlemlerde daha homojen bir hız dağılımı elde edilmiştir. Önceden hızın yüksek olduğu bölgelerdeki hızlar düşerken, düşük olduğu bölgelerdeki hızlar da artış göstermiştir. Böylece soğuk havanın depo içerisinde her bölgeye daha iyi ulaşması sağlanarak daha iyi bir soğutma, nemlendirme ve meyvede yaşlanmaya sebep olan etilenin daha iyi ve hızlı şekilde uzaklaştırması sağlanmıştır.



Şekil 4.22. 63° için tüm düzlemlerdeki sıcaklık ve hız ortalama ve standart sapması

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında içerisi elma dolu olan bir soğuk deposu Ansys Fluent programında modellenerek içerisindeki hava hızları ve sıcaklık dağılımı analiz edilmiştir. Ayrıca kurulan HAD modelini doğrulamak amacıyla aynı özelliklerdeki gerçek bir soğuk hava deposunda yapılan ölçümler ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu görüldüğünden HAD modelinin doğruluğu teyit edilmiştir.

HAD modeli doğrulandıktan sonra soğuk depo içerisindeki hava hızları ve sıcaklık dağılımı incelendiğinde, hava hızlarının düşük olduğu bölgelerde soğutmanın yetersiz olduğu görülmüştür. Ayrıca meyve sandıklarının bulunmadığı boş alanlarda hava hızları yüksek ve sıcaklıklar düşük iken, asıl soğutmanın gerekli olduğu meyve kasaları içerisinde ortalara gidildikçe hava hızlarının sıfıra yakın değerlere kadar düştüğü ve sıcaklıkların arttığı görülmüştür. Hava hızlarının düşmesi soğutma performansını kötüleştirdiği gibi karbondioksit ve etilen gibi meyvelerin depolama ömrünü ve kalitesini olumsuz etkileyen gazların da meyvelerden uzaklaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu problemin çözümü olarak sektörde uygulanan çözümler ilk yatırım maliyeti olarak yüksek olduğundan yatırımcılar tarafından pek tercih edilmediğinden bunlara alternatif olabilecek bir çözüm düşünülmüştür. Bu yeni çözümün çok düşük ekonomik bir yatırım ile mevcut sistemlere uygulanabilmesi, depolama hacminden kayba sebep olmaması ve farklı meyve türleri ve yükleme koşullarına adapte edilebilir olması hedeflenmiştir.

Mevcut soğuk depo durumu için oluşturulan HAD modelinin analizinde en yüksek hızların ve en düşük sıcaklıkların, meyve kasalarının üzerinde bulunan ve buharlaştırıcının üflediği boş alanda olduğu görülmüştür. Ayrıca buharlaştırıcıdan üflenmiş havanın büyük bölümünün aşağıdaki meyvelerin arasına girmeden yan duvarlardan dolaşarak tekrar buharlaştırıcıya döndüğü görülmüştür ki alınan bu sonuçlar (Praeger ve ark. 2020) yaptığı çalışmayla da paralellik göstermektedir.

Bu problemin çözümü olarak buharlaştırıcının karşısına aşağıya doğru eğimli sapıtıcı bir panel koyarak havanın aşağıya yönlendirilmesi düşünülmüştür. Bu tez çalışmasının ana konusu; yerleştirilecek panel için en ideal açının kararlaştırılmasıdır. Bunun için

yerleştirilecek panelin düşey ile yaptığı açı dikkate alınarak ile öncelikle 30° ve 80° için hesaplama yapılmış ve daha sonra elde edilen sonuçlar panel kullanılmayan durum, yani panel açısının 0° olduğu durumla, karşılaştırılarak hava hızları ve sıcaklık dağılımındaki değişimler kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırma için soğutma açısından kritik olduğu düşünülen 9 adet referans düzlem üzerindeki hız ve sıcaklıkların ortalaması, standart sapması ve histogram grafiklerinden faydalanılmıştır. Ortalama, standart sapma ve histogram grafikleri haricinde görsel karşılaştırma için de bu referans düzlemler üzerindeki hız ve sıcaklıkların renkli eşyükselti eğrileri çizilerek, panel kullanılmayan durum ile kıyaslanmış ve sorunlu bölgelerde iyileştirmeler olduğu doğrulanmıştır.

30° ve 80° ile yapılan analizlerde hem hava hızlarında hem de sıcaklık dağılımlarında iyileşmeler olduğu görülmüştür. Ancak en fazla iyileşmenin olacağı panel açısını bulabilmek için bu alt ve üst sınır arasında panel açıları değiştirilerek en ideal açığa yani en homojen hız ve sıcaklık dağılımının olduğu tasarıma doğru iterasyon yapılmıştır.

14 farklı panel açısı için yapılan analizler sonucunda hava hızlarında ve sıcaklık dağılımında en fazla iyileşmeyi sağlayan 63°'lik panel açısı olduğu görülmüştür. 63°'lik panel açısında 9 referans düzlemin tamamında panel kullanılmayan duruma göre hem hava hızlarında hem de sıcaklık dağılımında iyileşmeler olmuştur.

Önerilen çözüm ekonomik olarak son derece düşük maliyetli olduğundan, büyüklük, konum ve depolanan üründen bağımsız olarak Türkiye genelinde bulunan tüm soğuk hava depolarına uygulanabileceği düşünülmektedir.

Ayrıca meyve kasaları arasındaki hava hızlarının yükselmesi ile beraber meyvelerin salgıladığı karbondioksit ve etilen gibi gazların ve aromatik kokuların da ortam uzaklaştırılması daha da iyileşecek ve depolanan gıdaların hem saklama süreleri uzayacak hem de ürün kalitelerindeki kayıplar azalacaktır.

KAYNAKLAR

- Akdemir, S., Bartzanas, T. 2015.** Numerical Modelling and Experimental Validation of a Cold Store Ambient Factors. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21:, 606–619.
- Akgül, H., Kaçal, E., Öztürk, F. P., Özongun, Ş., Atasay, A., Öztürk, G. 2011.** Elma Kültürü, Isparta, : Eğirdir Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü.
- Aydın, H., Ekmekçi, İ. 2002.** Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Poliüretan Köpüğün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, Üretimi ve incelenmesi, Sakarya, : SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (Cilt 6, Sayı 1).
- Bogdanovská, G., Stehlíková, B., Kačur, J. 2019.** Analysis of Temperatures in the Cold Storage of Finished Products. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 13(3):, 54–66.
- Can, M., Avcı, A., Etemoğlu, A. 2008.** Teknik Tesisat El Kitabı, Bursa, : Dora Yayınevi.
- Defraeye, T., Lambrecht, R., Delele, M. A., Tsige, A. A., Opara, U. L., Cronjé, P., Verboven, P., Nicolai, B. 2014.** Forced-convective cooling of citrus fruit: Cooling conditions and energy consumption in relation to package design. *Journal of Food Engineering*, 121:, 118–127.
- Dehghannya, J., Ngadi, M., Vigneault, C. 2012.** Transport phenomena modelling during produce cooling for optimal package design: Thermal sensitivity analysis. *Biosystem Engineering*, 111:, 315–324.
- Delele, M. A., Ngcobo, M. E. K., Opara, U. L., Meyer, C. J. 2013.** Investigating the Effects of Table Grape Package Components and Stacking on Airflow, Heat and Mass Transfer Using 3-D CFD Modelling. *Food Bioprocess Technol*, 6:, 2571–2585.
- Delele, M. A., Schenk, A., Tijskens, E., Ramon, H., Nicolai, B. M., Verboven, P. 2009.** Optimization of the humidification of cold stores by pressurized water atomizers based on a multiscale CFD model. *Journal of Food Engineering*, 91:, 228–239.
- Devres, Y. O. 2013.** Gıda Güvenliği ve Soğuk Zincir, İstanbul, : İSKİD (İklimlendirme,

Soğutma, Klima İmalatçıları Derneği.

Erkan, M. 2018. Cold storage facilities in Turkey. The World of Horticulture, 58:, 9–13.

FAO 2012. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü. .

Ghiloufi, Z., Khir, T. 2019. CFD modeling and optimization of pre-cooling conditions in a cold room located in the South of Tunisia and filled with dates. Food Sci Technol, 56(8):, 3668–3676.

Gruyters, W., Verboven, P., Diels, E., Rogge, S., Smeets, B., Ramon, H., Defraeye, T., Nicolaï, B. M. 2018. Modelling Cooling of Packaged Fruit Using 3D Shape Models. Food and Bioprocess Technology, 11:, 2008–2020.

H.R., P. 2015. An Analysis Of Cold Store By CFD Simulation. INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIONS IN ENGINEERING RESEARCH AND TECHNOLOGY, 2(8):.

Hoang, H.-M., Duret, S., Flick, D., Laguerre, O. 2015. Preliminary study of airflow and heat transfer in a cold room filled with apple pallets: Comparison between two modelling approaches and experimental results. Applied Thermal Engineering, 76:, 367–381.

Kader, A. 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops, University of California.

Karaçalı, İ. 2007. Meyve, Sebze Depolarında Havalandırma. Ege Soğutma Sanayicileri ve İş Adamları Derneği, 37:, 40–43.

Matematik.US Histogram. . Tarihinde adresinden erişildi <http://www.matematik.us/histogram-nedir-nasil-olusturulur.html>

Nalbandia, H., Seiedloua, S., Ghasemzadeha, H. R., Rangbar, F. 2016. Innovative Parallel Airflow System for forced-air cooling of strawberries. Food and Bioprocess Processing, 100:, 440–449.

O’Sullivan, J., J. Ferruaa, M., Lovea, R., Verbovenb, P., Nicolaïb, B., Easta, A.

2016. Modelling the forced-air cooling mechanisms and performance of polylined horticultural produce. *Postharvest Biology and Technology*, 120:, 23–35.

Özkul, N. 2016. Uygulamalı Soğutma Tekniği, Ankara, : TMMOB Makina Mühendisleri Odası.

Praeger, U., Jedermann, R., Sellwig, M., Neuwald, D. A., Hartgenbusch, N., Borysov, M., Truppel, I., Scaar, H., Geyer, M. 2020. Airflow distribution in an apple storage room. *Journal of Food Engineering* 2, 269:.

Rajan, A., Aharwal, K. R., Bhadu, R. 2015. Performance Analysis of Cold Storage for the Different Stacking Arrangements. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(4):, 455–467.

Türk, R., Karaca, H. 2016. Ülkemizde Taze Ürün Depolayan Soğuk Muhafaza Tesislerinde Teknik ve Ekonomik Nitelikler. *Tesisat Mühendisliği*, MMO, 155:.

Van Mourik, S., Zwart, H., Keesman, K. J. 2009. Integrated open loop control and design of a food storage room. *Biosystem Engineering*, 104:, 493–502.

Wua, W., Cronjéd, P., Verbovene, P., Defraeyef, T. 2019. Unveiling how ventilated packaging design and cold chain scenarios affect the cooling kinetics and fruit quality for each single citrus fruit in an entire pallet. *Food Packaging and Shelf Life*, 21:.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Faruk KAYNAKLI

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 1975

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine
Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bursa Uludağ Üniversitesi

İletişim (e-posta) : fkaynakli@uludag.edu.tr

Yayınları :

Bademlioglu, A. H., Canbolat, A. S., Kaynakli, O. 2018. Bina Dış Duvarlarında Yoğuşma Dikkate Alınarak Gerekli Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi: Bitlis İli Örnek Çalışma. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(3):333-340.

Kaynaklı, Ö., Kaynaklı, F., 2016. Determination of optimum thermal insulation thicknesses for external walls considering the heating cooling and annual energy requirements. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, (21): 227-242

Kaynaklı, Ö., Saka, K., Kaynaklı, F 2015. Energy and exergy analysis of a double effect absorption refrigeration system based on different heat sources. *Energy Conversion and Management*, (106): 21-30

Saka , K., Yamankaradeniz, N., Kaynaklı, F., Kaynaklı, Ö., 2015. Hava soğutmalı çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizi. *TESKON 2015 / Soğutma Teknolojileri Sempozyumu*