



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENDÜSTRİYEL BİR AIRFRYERİN AKIŞ ve TERMAL PERFORMANSININ
ARAŞTIRILMASI**

NECVA ERGÜVEN

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ANA BİLİM DALI

**Şanlıurfa
2025**



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENDÜSTRİYEL BİR AIRFRYERİN AKIŞ ve TERMAL PERFORMANSININ
ARAŞTIRILMASI**

NECVA ERGÜVEN

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ANA BİLİM DALI
Tez Danışmanı: Doç. Dr. ZEYNEL ABBİDİN FIRATOĞLU**

**Şanlıurfa
2025**

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli rehberliği ve destekleriyle bana yol gösteren danışmanım Doç. Dr. Zeynel A. Fıratoglu'na teşekkür ederim. Ayrıca her zaman yanımda olan aileme ve sürece destek veren tüm arkadaşlarıma minnettarlığımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
SİMGELER	v
KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Önemi ve Amacı	1
1.2. Tez Kapsamı	1
1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler	3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. GEREÇ VE YÖNTEM	8
3.1. Kızartma Sürecini Tanımlayan Temel Bağlantılar	9
3.2. Yöntem	15
3.2.1. Nümerik metodoloji	15
3.2.2. Sınır Şartları	16
3.2.3. Mesh Yapısı	17
3.2.4. Simülasyonlarda kullanılan çözüm şemaları	20
3.2.5. Simülasyonların sonuçlarının mesh sayısına ve yapısına bağımlılığı	21
4. BULGULAR	23
4.1. İki Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Keskin Köşeli Olması (İK)	23
4.2. Tek Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Keskin Köşeli Olması(TK)	34
4.3. İki Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Yuvarlak Köşeli Olması (İY)	45
4.4. Tek Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Yuvarlak Köşeli Olması (TY)	57
4.5. Dağıtıcı Kanatlar ile İki Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Keskin Köşeli Olması (İKK)	69
4.6. Dağıtıcı Kanatlar ile Tek Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Keskin Köşeli Olması (TKK)	80
4.7. Dağıtıcı Kanatlar ile İki Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Yuvarlak Köşeli Olması (İYK)	91
4.8. Dağıtıcı Kanatlar ile İki Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Yuvarlak Köşeli Olması (TYK)	102
5. TARTIŞMA	114
6. SONUÇLAR	117
7. ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR	120
ÖZGEÇMİŞ	123

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL BİR AIRFRYERİN AKIŞ ve TERMAL PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

NECVA ERGÜVEN

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ANA BİLİM DALI

Tez Danışman: Doç. Dr. ZEYNEL ABBİDİN FIRATOĞLU
Yıl: 2025, Sayfa : 123

Bu tez çalışmasının amacı sirkülasyon ve termal verimi yüksek bir endüstriyel hava fritözü için gerekli tasarım parametrelerini belirlemektir. Bu çerçevede tez çalışmasının ana odak noktası; evsel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan hava fritözünün endüstriyel tipi için enerji verimliliği açısından optimal tasarım kriterlerini saptamaktır. Bu çerçevede ilk etapta endüstriyel bir hava fritözü tasarlanmıştır. Sonraki aşamada pasif akış yöntemleri ile hava fritözünün enerji verimliliği ve termal performans açısından optimal tasarım kriterleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyonları ile araştırılmıştır. Araştırmada mevcut geometri üzerinde 8 düzenleme yapılmıştır:

- (i) İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması (İK)
- (ii) Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması (TK)
- (iii) İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması (İR)
- (iv) Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması (TR)
- (v) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması (İKK)
- (vi) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması (TKK)
- (vii) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması (İRK)
- (viii) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması (TRK)

Yürütülen simülasyonlar sonucunda: yuvarlak köşeli tasarımlarda keskin köşeli tasarımlara nazaran daha az basınç kaybı olduğundan akış hızı önemli ölçüde artarken sepet bölgesinde ise daha düşük sıcaklık gradyanları meydana gelmiştir. Dağıtıcı fan kullanılması fan kullanılması akış alanındaki hız gradyanları açısından ihmal edilebilir seviyede iken sıcaklık gradyanı açısından önemli derecede olumlu etkisi söz konusudur. Tez kapsamında yürütülen sekiz düzenlemenin termal performans açısından en iyi tasarım ikili sepet yuvarlak köşeli dağıtıcı fan tasarım olduğu saptanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Hava fritözü, Termal, HAD, Enerji verimliliği, Tasarım

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF FLOW AND THERMAL PERFORMANCE OF AN INDUSTRIAL AIRFRYER

NECVA ERGÜVEN

**HARRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE EDUCATION
DEPARTMENT OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES**

**Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. ZEYNEL ABBİDİN FIRATOĞLU
Year: 2025, Page : 123**

The aim of this thesis is to determine the design parameters required for an industrial air fryer with high circulation and thermal efficiency. Within this framework, the main focus of the thesis is to determine the optimal design criteria for energy efficiency for an industrial type of air fryer, which is widely used in domestic applications. In this context, an industrial air fryer was initially designed. In the next stage, the optimal design criteria for the air fryer in terms of energy efficiency and thermal performance were investigated using passive flow methods using computational fluid dynamics (CFD) simulations. Eight modifications were made to the existing geometry in the study:

- (i) Using two baskets and sharp-cornered air ducts (IK)
- (ii) Using a single basket and sharp-cornered air ducts (TK)
- (iii) Using two baskets and rounded-cornered air ducts (IR)
- (iv) Using a single basket and rounded-cornered air ducts (TR)
- (v) Using two baskets with a flow-distributing fan under the basket and sharp-cornered air ducts (İKK)
- (vi) Using a single basket with a flow-distributing fan under the basket and sharp-cornered air ducts (TKK)
- (vii) Using two baskets with a flow-distributing fan under the basket and rounded-cornered air ducts (İRK)
- (viii) Using a single basket with a flow-distributing fan under the basket and rounded-cornered air ducts (TRK)

The simulations conducted revealed that round-cornered designs exhibited less pressure loss than sharp-cornered designs, resulting in significantly increased flow rates and lower temperature gradients in the basket region. While the use of a fan has negligible velocity gradients in the flow area, it has a significant positive effect on temperature gradients. Of the eight configurations conducted within the scope of this thesis, the best design in terms of thermal performance was determined to be the dual-basket round-cornered distribution fan design.

KEYWORDS: Air fryer, Thermal, HAD, Energy efficiency, Design

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Tasarımı gerçekleştirilen hava fritözü (a) tek sepet, (b) iki sepet kullanılması durumu.	10
Şekil 3.2. Geometrik yapıda yapılan düzenlemeler; (a) İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (b) Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (c) İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması, (d) Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması.	11
Şekil 3.3. Geometrik yapıda yapılan düzenlemeler; (a) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (b) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (c) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması, (d) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması.	12
Şekil 3.4. Sınır şartları.	17
Şekil 3.5. Salome yazılımı ile yapılan mesh tasarımına örnek.	18
Şekil 3.6. Salome yazılımı ile yapılan mesh tasarımı örneğinin mesh kalitesi.	19
Şekil 3.7. SnappyHexMesh sürecinden sonra mesh tasarımına örnek.	19
Şekil 3.8. SnappyHexMesh sürecinden sonra yapılan mesh tasarımı örneğinin mesh kalitesi.	19
Şekil 3.9. Rezistansın mesh yapısı.	20
Şekil 3.10. Hesaplama alanları (akış, katı).	20
Şekil 4.1. a)İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.	26
Şekil 4.2. b)İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda z=0,1 ile 0,25 m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.	27
Şekil 4.3. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.	28
Şekil 4.4. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) z=0,1 ile 0,2 m noktalarında xz eksenlerinde sıcaklık kontürleri.	29
Şekil 4.5. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.	30
Şekil 4.6. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.	31
Şekil 4.7. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x ekseni boyunca , z=0,1, 0,15, 0,20 ve 0,25 noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.	32
Şekil 4.8. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , z=0,1, 0,15, 0,20 ve 0,25 noktalarında hız dağılımları.	33
Şekil 4.9. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , z=0,1, 0,15, 0,20 ve 0,25 noktalarında sıcaklık dağılımları.	34
Şekil 4.10. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.	37
Şekil 4.11. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması b) z=0,1 ile 0,25 m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.	38
Şekil 4.12. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.	39
Şekil 4.13. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) z=0,1 ile 0,2 m noktalarında xz eksenlerinde sıcaklık kontürleri.	40
Şekil 4.13. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.	41
Şekil 4.14. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.	42
Şekil 4.15. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x ekseni boyunca , z=0,1, 0,15, 0,20 ve 0,25 m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.	43

Şekil 4.16. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde soldaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.	44
Şekil 4.17. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sağdaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.	44
Şekil 4.18. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.	48
Şekil 4.19. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,25$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.	49
Şekil 4.20. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.	50
Şekil 4.21. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde sıcaklık kontürleri.	51
Şekil 4.22. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının tadius olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.	52
Şekil 4.23. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.	53
Şekil 4.24. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x ekseni boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.	54
Şekil 4.25. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x ekseni boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.	55
Şekil 4.26. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında hız dağılımları.	56
Şekil 4.28. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında sıcaklık dağılımları.	57
Şekil 4.29. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.	61
Şekil 4.30. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,25$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.	62
Şekil 4.31. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri	63
Şekil 4.32. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde sıcaklık kontürleri	64
Şekil 4.33. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.	65
Şekil 4.34. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.	66
Şekil 4.35. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x ekseni boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.	67
Şekil 4.36. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde soldaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.	68
Şekil 4.37. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde sağdaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.	69
Şekil 4.38. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.	72
Şekil 4.39. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,22$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.	73

Şekil 4.40. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.	74
Şekil 4.41. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,22$ m noktalarında xy eksenlerinde sıcaklık kontürleri.	75
Şekil 4.42. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.	76
Şekil 4.43. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.	77
Şekil 4.44. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x eksen boyuncası , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.	78
Şekil 4.45. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanalda x boyuncası , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında hız dağılımları.	79
Şekil 4.46. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyuncası , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında sıcaklık dağılımları.	80
Şekil 4.47. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.	83
Şekil 4.48. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,22$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.	84
Şekil 4.49. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.	85
Şekil 4.50. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde sıcaklık kontürleri.	86
Şekil 4.51. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.	87
Şekil 4.52. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.	88
Şekil 4.53. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x eksen boyuncası , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.	89
Şekil 4.54. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde soldaki kapalı kanal da x boyuncası , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.	90
Şekil 4.55. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sağdaki kapalı kanal da x boyuncası , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.	90
Şekil 4.56. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.	94
Şekil 4.57. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,22$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.	95
Şekil 4.58. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.	96
Şekil 4.59. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde sıcaklık kontürleri.	97
Şekil 4.60. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.	98
Şekil 4.61. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.	99
Şekil 4.62. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x eksen boyuncası , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.	100

Şekil 4.63. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında hız dağılımları.	101
Şekil 4.64. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında sıcaklık dağılımları	102
Şekil 4.65. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.	106
Şekil 4.66. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,22$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.	107
Şekil 4.67. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.	108
Şekil 4.68. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde sıcaklık kontürleri.	109
Şekil 4.69. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.	110
Şekil 4.70. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.	111
Şekil 4.71. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x ekseni boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.	112
Şekil 4.72. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde soldaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.	112
Şekil 4.73. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sağdaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yürütülen Had Simülasyonlarında yaklaşık mesh sayıları.	20
Çizelge 3.2. Yapılan sekiz düzenlemenin farklı mesh sayılarında akış alanlarındaki maksimum hız ile sıcaklık değerleri ve sepet bölgesinde maksimum minimum sıcaklık farkları.	22
Çizelge 6.1. Yapılan sekiz düzenlemenin akış alanlarındaki maksimum hız ile sıcaklık değerleri ve sepet bölgesinde maksimum minimum sıcaklık farkları.	118

SİMGELER

C_p	Malzemenin Özgöl Isı Kapasitesi
D	Darcy Katsayısı
D	Darcy Katsayısı
I	Eylemsizlik Katsayısı
K_h	Malzemenin Isıl İletkenliği
T	Sıcaklık
V_i	i Yönünde Sıvı Hızı
X_f	x Yönündeki Birim Hacme Düşen Kuvvetleri
μ	Viskozite
ρ	Yoğunluk

KISALTMALAR

HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
İK	İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması
İKK	Sepet altında akış dağıtıcı fan ile İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması
İR	İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması
İRK	Sepet altında akış dağıtıcı fan ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması
TK	Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması
TKK	Sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması
TR	Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması
TRK	Sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Önemi ve Amacı

Günümüzde geleneksel kızartma tekniklerine kıyasla, sağlık ve çevre açısından sahip olduğu artılardan dolayı en popüler mutfak cihazlarından biri hava fritözleridir. Evsel uygulamalar için pek çok farklı tipte hava fritözleri bulunmasına karşı temelde hava fritözleri, süre ve sıcaklık kontrollerine ve pişirilen yiyeceği tutan genellikle çıkarılabilir bir sepet olan bir bölmeye sahip tezgâh üstü elektrikli bir cihazdır. Pişirme işlemi, hızlı hava teknolojisi adı verilen, makinenin üst kısmındaki bir ısıtma elemanının ısıyı aşağı doğru yaydığı, bir fanın ise havayı her açıdan eşit şekilde ısıtmak için içerideki yiyeceğin etrafında hızla dolaştırdığı bir mekanizmaya dayanır. Fritözlerin hava geçirmez, kompakt tasarımı, tüm havanın haznede tutulmasını ve yiyeceğin etrafında aktif olarak akmasını sağlayarak pişirme yoğunluğunu ve verimliliğini artırır. Hava fritözlerinin pişirme açısından konveksiyon fırınlarına göre en büyük üstünlükleri hava sirkülasyon verimlerini yüksek olmasıdır. Bunun en büyük nedeni konveksiyon fırınlarının hava fritözlerinden daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla evsel uygulamalara nazaran daha büyük endüstriyel bir hava fritöz tasarımında da en büyük sorun hava sirkülasyon verimi olacaktır. Önerilen tez çalışmasının amacı en az evsel uygulamalarda kullanılan hava fritözlerinin sirkülasyon verimine ulaşabilen endüstriyel bir hava fritözünün tasarımıdır. Bu çerçevede ilk ilk etapta endüstride mevcut endüstriyel hava fritözleri incelenecek ve en az dört alternatif hava fritözü tasarım gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Sonraki aşamada simülasyonlar ile hava sirkülasyon verimine geometrik parametrelerin etkisinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. İzlenecek aşamada hava sirkülasyon ve termal verim açısından endüstriyel bir hava fritözü için optimal tasarım parametrelerinin tespiti amaçlanmaktadır. Önerilen tez çalışmasının nihai hedefi en az evsel uygulamalarda kullanılan hava fritözlerinin sirkülasyon verimine ulaşılabilen bir endüstriyel hava fritözünün tasarımını gerçekleştirmektir.

1.2. Tez Kapsamı

Günümüzde yaşam süresi ve kalitesi üzerindeki en öne çıkan riskler, kardiyovasküler hastalıklar (KVH), kanser, diyabet, obezite ve benzeri hastalıklardır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde bir numaralı ölüm nedeni olan KVH'nin önlenmesi halk sağlığı gündeminin başında yer alıyor (Shanta Retelny vd., 2008). Söz konusu hastalıkların temelinde beslenme alışkanlıkları yatmaktadır (Mehmet Sidar GÜLER vd., 2021; Shanta Retelny vd., 2008; Reddy vd Katan, 2004;

Houston, 2018). Bu nedenle yiyeceklerin pişirilme ve kurutma tekniklerinin veya direkt tüketimlerinin insan sağlığına etkisi araştırmacıların ana odak noktalarından biridir (Moyo vd., 2017; Soladoye vd., 2015; Guzik vd., 2022; Toydemir vd., 2022).

Gıdalar pişirme sırasında çeşitli fiziksel ve kimyasal reaksiyonlara uğraması nedeniyle pişirme tekniklerine yönelik çalışmalar hem popüler kültürde hem de akademik alanda ön plana çıkmaktadır. Pişirme tekniklerinin özellikle akademik alanda ön plana çıkmasının diğer önemli bir etkisi pişirme sürecinin insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkisi olan çok sayıda kirletici madde üretebilen yağların buharlaşmasını içermesidir. Örneğin pişirme emisyonlarının genel ortalama aerosolüne katkısının %12-20 arasında olduğu tahmin edilmektedir (Wang vd., 2017). Pişirme tekniklerini: kızartma, haşlama, buharda pişirme ve kavurma gibi geleneksel ve vakumlu pişirme, infrared ısıtma, mikrodalga ısıtma ve ultrasonik destekli pişirme ve benzeri modern yöntemler şeklinde iki temel sınıfa ayrılabilir. Pişirme teknikleri arasında özellikle insan sağlığı ve çevre açısından dikkate alınması gereken en kritik yöntem kızartmadır (Yao vd., 2015; Zaghi vd., 2019).

Kızartma tekniği açısından sahip olduğu avantajlardan dolayı havada kızartma tekniği günümüzde ön plana çıkmaktadır. Yine yukarıda havada kızartma süreci için geliştirilen hava fritözleri ile ilgili sunulan literatürden anlaşılabacağı üzere, mevcut hava fritözlerindeki yaşanan temel sorunlar:

- Düşük hava sirkülasyon verimi,
- Düşük termal performans,
- Sepetin pişirme sırasında sabit kalmasından dolayı eşit oranda gıdaların pişirilememesi,
- Hava fritözü bileşenlerinin temizlenme sorunu
- Hava fritözünün iç hava kalitesine olan olumsuz etkileri

şeklinde beş ana başlık altında toplanabilir.

Tez çalışmasının amacı söz konusu sorunların ilk ikisini çözecek bir endüstriyel hava fritözünün tasarımıdır. Bu çerçevede ilk etapta mevcut hava fritözleri incelenecek en az dört alternatif tasarım gerçekleştirilecektir. Daha sonraki aşamada nümerik araştırmalar (CFD simülasyonları) ile sirkülasyon ve termal verim

açısında optimal hava fritözü tasarımı belirlenecektir

1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler

Günümüzde geleneksel kızartmaya en büyük alternatif havada kızartma tekniği için geliştirilmiş hava fritözlerine olan ilgi özellikle evsel uygulamalarda dramatik bir artış göstermektedir. Bunun en büyük nedeni söz konusu tekniğin kızartma işlemini çok daha az bir yağ ile gerçekleştirmesidir. Bu avantajı günümüzde toplum nezdine neredeyse kronik bir hal alan kardiyovasküler ve obezite ve benzeri hastalık risklerini azaltabileceğine olan kanaattir. Kızartma işlemi sonucunda havalı kızartma tekniğinin gıdaların yağ içeriğini düşürdüğünü kanıtlayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca literatürde söz konusu teknik için geliştirilen hava fritözlerin kızartma veya pişirme kalitesini ölçen çok sayıda çalışmada bulunmaktadır. Hava fritözlerin performansını belirleyen hava sirkülasyon verimi ile ilgili çalışma ise yok denecek azdır. Tez çalışmasının alternatif tasarımlarda, sirkülasyon verimini belirlemeye dönük yürüteceği simülasyonlar bu yönüyle özgündür.

Mühendislik açısından optimal bir tasarımın ancak belirlenmesi hava fritözlerinin sirkülasyon verimi ve sirkülasyonun termal performans ile ilişkisini belirlenmesi ile mümkündür. Literatürdeki çalışmalar termal verimi gıdaların pişirilme derecesi veya eşit pişirme oranıyla ölçmektedir. Isıtma elemanların yeri, konumu ve şeklinin termal performansla ilişkisi üzerine çalışma ise yok denecek kadar azdır. Önerilen tez çalışması kapsamında yürütülecek simülasyonlar sonucunda ısıtma elemanları ve diğer bileşenlerini konumunun termal performans üzerine etkisi ölçülebilir parametreler ile belirlenecektir. Bu süreç önerilen tezin özgünlüğünü gösteren diğer bir bulgu olacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Günümüzde yaşam süresi ve kalitesi üzerindeki en öne çıkan riskler, kardiyovasküler hastalıklar (KVH), kanser, diyabet, obezite ve benzeri hastalıklardır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde bir numaralı ölüm nedeni olan KVH'nin önlenmesi halk sağlığı gündeminin başında yer alıyor (Shanta Retelny vd., 2008). Söz konusu hastalıkların temelinde beslenme alışkanlıkları yatmaktadır (Mehmet Sidar GÜLER vd., 2021; Shanta Retelny vd., 2008; Reddy vd Katan, 2004; Houston, 2018). Bu nedenle yiyeceklerin pişirilme ve kurutma tekniklerinin veya direkt tüketimlerinin insan sağlığına etkisi araştırmacıların ana odak noktalarından biridir (Moyo vd., 2017; Soladoye vd., 2015; Guzik vd., 2022; Toydemir vd., 2022).

Gıdalar pişirme sırasında çeşitli fiziksel ve kimyasal reaksiyonlara uğraması nedeniyle pişirme tekniklerine yönelik çalışmalar hem popüler kültürde hem de akademik alanda ön plana çıkmaktadır. Pişirme tekniklerinin özellikle akademik alanda ön plana çıkmasının diğer önemli bir etkisi pişirme sürecinin insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkisi olan çok sayıda kirletici madde üretebilen yağların buharlaşmasını içermesidir. Örneğin pişirme emisyonlarının genel ortalama aerosolüne katkısının %12-20 arasında olduğu tahmin edilmektedir (Wang vd., 2017). Pişirme tekniklerini: kızartma, haşlama, buharda pişirme ve kavurma gibi geleneksel ve vakumlu pişirme, infrared ısıtma, mikrodalga ısıtma ve ultrasonik destekli pişirme ve benzeri modern yöntemler şeklinde iki temel sınıfa ayrılabilir. Pişirme teknikleri arasında özellikle insan sağlığı ve çevre açısından dikkate alınması gereken en kritik yöntem kızartmadır (Yao vd., 2015; Zaghi vd., 2019).

Gıda hazırlamanın en eski ve en hızlı yöntemlerinden biri olan kızartma, gıda maddesini daha arzu edilir kılan tat, doku ve görünüm gibi belirli duyusal nitelikleri geliştirme kabiliyetinden dolayı gıda endüstrisinde önemli ölçüde kullanılmaktadır (Ghaitaranpour vd., 2018; Song vd., 2020). Son yıllarda tüketiciler, kızarmış yiyecekler söz konusu olduğunda, aynı zamanda orijinal kaliteyi, özellikle duyusal özellikleri koruyarak, daha sağlıklı seçenekler talep etmektedir. Endüstride yaygın olarak kullanılan ve de en eski kızartma yöntemleri tavada kızartma, sığ kızartma ve derin yağda kızartmadır. Bu yöntemlerdeki temel fark, kızartma sırasında kullanılan yağ miktarıdır. Buna tipik bir örnek Xu ve Peng, (2004) tarafından geliştirilen “hem derin hem de sığ kızartma için otomatik kızartma aparatı” (CA2449600C) isimli buluştur. Geleneksel kızartma yöntemlerinin en büyük riski gıdaların %45 varan oranlarda yağ içeriyor olmalarıdır (Dana vd Saguy, 1995; Funami vd., 1999). Sağlık açısından derin kızartma, tavada kızartma veya ızgaranın diğer bir riski yağının partikül madde (PM), PAH'lar, uçucu organik bileşikler ve karbonik bileşikler gibi

büyük miktarlarda zararlı maddeler üretebilmesidir (Huang vd., 2011). Geleneksel kızartma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen fritözler iç ortam havası ve zaman açısından bir iyileştirme sağlasa dahi gıdaların yüksek oranda yağ içeriliğine bir çözüm olamamışlardır. Son yıllarda geleneksel kızartma sürecinde yaşanan ve yukarıda vurgulanan temel iki sorunu çözmeye yönelik sıcak havada kızartma yöntemleri geliştirilmiştir.

Havada kızartma, sıcak havadaki yiyecek ve yağ damlacıkları arasında eşit teması desteklemek için ham maddelerin etrafına sıcak hava püskürterek kızartılmış yiyecekleri pişirmeye yönelik yeni bir teknolojidir.

Bu tür bir işlem, sıcak yağa batırmak yerine malzemenin etrafına esasen sıcak hava püskürterek bir "kızarmış ürün" üretmeyi amaçlayan sıcak havayla kızartmadır (Sansano vd., 2015; Teruel vd., 2015; Andrés vd., 2013). Şu anda endüstride, sıcak havadaki ince yağ damlacıkları sisi ile ürün arasında bir haznenin içinde doğrudan temas sağlayarak kızartma etkisi yaratan çeşitli havalı fritöz tasarımları mevcuttur. Tasarımların çoğu, hava ile kızartılan ürün arasında eşit olarak son derece yüksek ısı transfer hızları sağlar. Bazıları bunu yalnızca yerleşik bir hava üfleyici ile başarırken, diğerleri de yüksek konvektif hızları ışınlı ısı transferi ile birleştirir (Teruel vd., 2015b). Bazı üreticiler ayrıca, hava ve ürünün temas ettiği bölmenin şeklinin, hava hızlarının tipik fırınlardakinden önemli ölçüde daha yüksek olacak şekilde tasarlandığını ileri sürmektedir. Son yıllarda havada kızartma yöntemlerine olan yoğun talebe paralel olarak havada kızartma ile geleneksel kızartma kıyaslayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. (Santos vd., 2017) dört yaygın kızartma yağı (ayçiçeği, soya fasulyesi, kanola ve zeytinyağı) kullanılarak derin yağda kızartma ve havada kızartma üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada havada kızartma işlemleriyle elde edilen kızarmış patateslerin ortalama %70 daha az yağ içerdiği ve bunun da 100 g başına 45 kcal azalmaya yol açtığını tespit etmişlerdir. (Fang vd., 2021) havada kızartma, vakumlu kızartma, elektrostatik kızartma ve geleneksel derin yağda kızartma gibi farklı kızartma yaklaşımlarının kızarmış balık derilerinin yağ alımı, nem kaybı, kırılma kuvveti, rengi ve mikroyapı özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yaptıkları incelmeler sonucunda havada kızartılmış ve vakumla kızartılmış balık derilerinin en düşük yağ içeriğine sahip olduğunu (sırasıyla %9,8 ve %27,7) ve pürüzsüz, tekdüze mikro yapılar gösterdiğini gözlemlemişlerdir. (Fikry vd., 2021) falafelin kalite özellikleri üzerinde değişen sıcaklıklarda ve sürelerde havada kızartma işleminin etkinliğini yansıtmak için basitleştirilmiş modeller oluşturmak ve havada kızartılmış falafel üretmek için kızartma koşullarını optimize etmeyi amaçlamışlardır. Kızarmış falafelin nem içeriği,

rengi, yağ içeriği, sertliği ve duyuşal değerdendirilmesi çeşitli sıcaklıklarda (140 °C, 170 °C ve 200 °C) ve zaman dilimlerinde (5 dakika, 10 dakika ve 15 dakika) analiz gerçekteşirmişlerdir. Abd Rahman vd., (2017) patatesin kızartılma sürecinde optimum işlem koşullarını elde etmek için sıcak hava kızartma tekniğı ilei farklı kızartma sıcaklıklarında (140–160°C) ve sürelerinde (4–12 dakika) kızartılma karakteristiklerini incelemişlerdir. Yaptıkları incelemeler optimal kızartma koşullarında derin kızarmaya göre sıcak hava kızartma yönteminde yağ içeriğı %90,1 oranında azalmıştır. Tian vd., (2017) geleneksel kızartma ve havada kızartmanın patates şeritlerinin mikro yapısı, nişasta jelatinleşmesi ve sindirilebilirliğı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Havada kızartılmış patates, geleneksel kızartma değerdelerine kıyasla (~%91 nişasta jelatinleşmesi ve ~%54 sindirilebilirlik) daha az nişasta jelatinleşmesi (~%86) ve biraz daha yüksek nişasta sindirilebilirliğı (~%59) gözlemlemişlerdir. Yaptıkları diğerd bir gözlem havada kızartılan patatesin mikro yapısı, kompakt ve iyi organize edilmiş bir yapı gösterirken, geleneksel şekilde kızartılan patatesin yüzeyi, yağa batırılmış ve kabuklu görünmesi yaptıkları diğerd bir gözlemdir.

Yukarıda verilen literatür özetinde anlaşılacağı üzere günümüzde sıcak havada kızartma tekniğı, geleneksel kızartma tekniğine nazaran gerek kızartılan gıdaların yağ içeriğı ve gerekse iç ortam hava kalitesi açılarından dikkate değerd üstünlüklere sahiptir. Söz konusu üstünlüklerinden dolayı hem evsel hem de endüstriyel alanda havada kızartma tekniğine olan ilgide son yıllarda dramatik bir artış gözlemlenmektedir. Bu ilgiden dolayı havada kızartma tekniğine yönelik birçok havalı fritöz denen birçok makine geliştirilmiştir. Havalı fritözler; genellikle kızartılacak öğeleri içeren bir kızartma sepeti, kızartma sepetini örtmek için uygun bir ısıtma haznesi, ısıtma işlevi için haznenin içine sabit bir şekilde yerleştirilmiş bir elektrikli ısıtma tüpü ve fritözdeki hava akışını yönlendirmek için bir fan olmak üzere dört temel bileşenden oluşmaktadır.

Bu cihazlara özellikle son yıllarda hem evsel hem de endüstriyel alanlarda artan ilgiye paralel olarak cihazları iyileştirmeye dönük bir tasarım geliştirilmiştir. Bu cihazlar esasen TR 2019/05776 nolu buluşta, bir sıcak hava fritözüne indüksiyon ocağı eklenerek indüksiyon ocağı ihtiva eden bir sıcak hava fritözünü geliştirilmiştir. Geliştiren bu cihaz ile sıcak hava ile gıdaları da pişirilebildiğini iddia edilmektedir. CN111802923A nolu buluşta bileşenlerine kolayca ayrılabilir bir havalı fritöz geliştirerek fritöz bileşenlerinin temizlenme sorunu çözdüğün iddia etmektedir. WO2017215988A1 nolu buluşta pişirilen gıdadaki yağı, parçaları ve suyu ayırarak ve bunları sıcak hava akışı sirkülasyonundan uzakta, düşük sıcaklıktaki bir alana

ileterek, havada kızartma pişiricinin kullanımı sırasında duman oluşumunu azaltmakta ve hatta ortadan kaldırıldığı iddia edilmektedir. WO2018026906A1 nolu buluş havalı fritözleri veya havalı kızartma sistemleri, önceki tekniğe ait havalı fritözlerde kullanılacağı gibi, gıdanın yalnızca ısıtılmış hava ile pişirilmesi sürecinden önce veya sonra sırasında gıda ürünlerine buhar ekleme yeteneği sağlamaktadır. Buluş konusu sistem ve yöntemler ile buharlı pişirme ve havayla kızartma tek bir cihazda veya havayla kızartma ünitesinde yapılabilmektedir. CN213345363U nolu buluş, havalı fritözlerde sepetin sabit kalmasından dolayı gıda maddelerinin eşit pişirilmeme sorunlarını çözmeye yönelik yeni bir havalı fritöz sepeti geliştirilmiştir. CN210446758U nolu buluşun amacı mevcut hava fritözünün kızartma sepetinin yanında veya altında dolaşan hava girişi ve çıkışı delikli veya panjurlu boşluklar gerçekleştirilen verimliliği düşük hava sirkülasyonuna alternatif bir tasarım gerçekleştirmektir. Söz konusu buluş sirkülasyon verimliliğini sepette spiral hava boşluklu bir tasarımla yükselttiğini iddia etmektedir.

Yukarıda kızartma teknikleri ile ilgili sunulan literatürden anlaşılabileceği üzere sahip olduğu avantajlardan dolayı havada kızartma tekniği günümüzde ön plana çıkmaktadır. Yine yukarıda havada kızartma süreci için geliştirilen hava fritözleri ile ilgili sunulan literatürden anlaşılabileceği üzere, mevcut hava fritözlerindeki yaşanan temel sorunlar:

- Düşük hava sirkülasyon verimi,
- Düşük termal performans,
- Hava fritözü bileşenlerinin temizlenme sorunu
- Sepetin pişirme sırasında sabit kalmasından dolayı eşit oranda gıdaların pişirilememesi,
- Hava fritözünün iç hava kalitesine olan olumsuz etkileri

şeklinde beş ana başlık altında toplanabilir. Önerilen projenin çalışmasının amacı söz konusu sorunların ilk üçünü çözecek bir endüstriyel hava fritözünün tasarımı ve prototipinin imalatıdır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Son 10 yılda tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde dışarıda yeme ve fastfood kültürü geometrik olarak artmıştır. Yapılan çalışmalarda Amerika’da 2017’de ev dışı gıda tüketiminin 2017 oranı yaklaşık olarak %54’dir (Üyesi vd., 2020). Benzer trend bekleneyeceği üzere ülkemiz içinde geçerlidir Dışarıda ev dışı gıda tüketimindeki artışa paralel olarak endüstriyel mutfak sektörü benzer artış trendine bağlı olarak artmıştır. Dolayısıyla günümüzde endüstriyel mutfaklar da tüketilen enerjinin toplam enerji tüketiminde payı önemli oranda artmıştır. Bu artış endüstriyel mutfak sektöründe gerek işletmecileri ve gerekse imalatçılar sektörde kullanılan cihazların enerji verimliliği açısından optimal tasarımları araştırmayı zorlamaktadır. Endüstriyel mutfak cihazların optimal tasarım kriterleri enerji verimliliği yanı sıra dikkat edilmesi gereken diğer iki parametre ise sağlık ve çevresel koşullardır. Endüstriyel mutfaklarda enerji tüketim açısından en büyük pay sahibi süreç gıdaların pişirme süreçleridir. Örneğin 5000 W bir fritöz günde sekiz saat çalışırsa yılda yaklaşık olarak 2920 kWh enerji harcar. Ortalama bir evin yıllık yaklaşık olarak 1500 kWh enerji harcadığı dikkate alınırsa, bir fritöz iki evin enerjisini tek başına harcamaktadır. Dolayısıyla endüstriyel mutfakta pişirme işlevini gerçekleştiren cihazların enerji verimliliği açısından optimal tasarımı kritik bir öneme sahiptir.

Tez çalışmasının ana odak noktası; evsel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan hava fritözünün endüstriyel tipi için enerji verimliliği açısından optimal tasarım kriterlerini saptamaktır. Bu çerçevede ilk etapta endüstriyel bir hava fritözü tasarlanmıştır. Tasarlanan hava fritözü Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere tasarlanan hava fritözü istenildiğinde tek bir sepet istenildiğinde iki ayrı sepetle farklı gıdaların pişirilmesine seçenek tanımaktadır. Sonraki aşamada pasif akış yöntemleri ile hava fritözünün enerji verimliliği ve termal performans açısından optimal tasarım kriterleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyonları ile araştırılmıştır. Araştırmada mevcut geometri ve mevcut geometri üzerinde yapılan düzenlemeler:

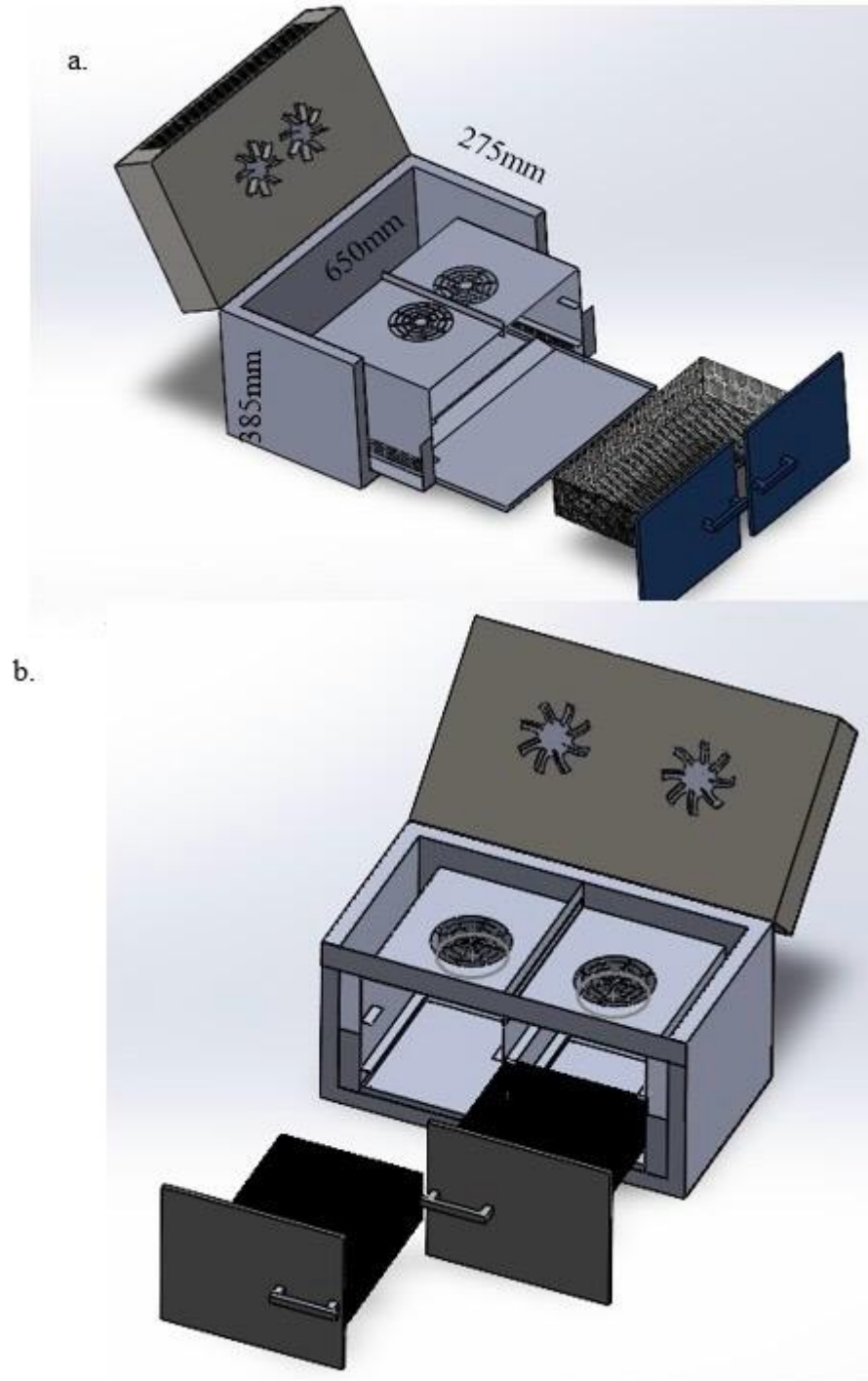
1. i.İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması (İK)(Şekil 3.2.a),
2. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması (TK) (Şekil 3.2.b),
3. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması (İR)(Şekil 3.2.c),

4. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması (TR) (Şekil 3.2.d),
5. Sepet altında akış dağıtıcı fan ile İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması (TKK)(Şekil 3.3.a),
6. Sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması (İRK) (Şekil 3.3.b),
7. Sepet altında akış dağıtıcı fan ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması (TRK)(Şekil 3.3.c),
8. Sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması (İRK) (Şekil 3.3.d).

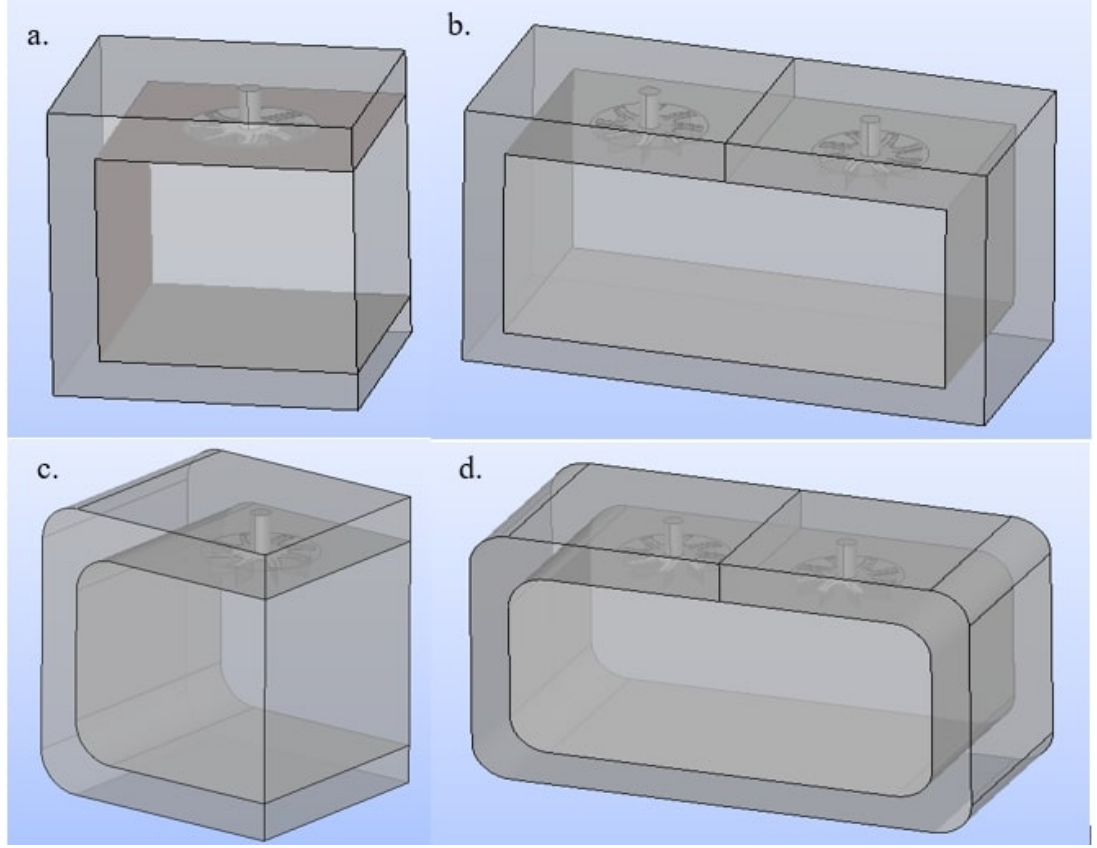
Şeklinde sekiz geometrik durum araştırılmıştır. Tüm HAD simülasyonları açık kodlu ücretsiz Salome, OpenFOAM ve Paraview yazılımları ile HarrahHPC alt yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede kızartma sürecini tanımlayan temel matematiksel bağıntılar ve izlenecek nümerik metodoloji aşağıda verilmiştir.

3.1. Kızartma Sürecini Tanımlayan Temel Bağıntılar

Kızartma, gıdanın fiziksel ve kimyasal hallerini değiştiren ısı, kütle ve momentum transferlerinin meydana gelmesini içeren çok yönlü bir süreçtir. Isı ve kütle transferi açısından optimal kızartma koşulları gıdaya uygun ısı ve kütle transfer hızının belirlenmesidir. Kızartma sırasında, sıcak yağdan soğuk gıda maddelerinin yüzeyine aktarılan ısı taşınımıyla, yüzeyden iç kısma ise iletimle iletilir. Daha sonra su, gıdadan buharlaşmaya başlar ve hızlı buharlaşması sonucu buhar türbülansı oluşturur. Isı, yiyeceğin etrafındaki yağın türbülansına katkıda bulunan zorunlu konveksiyonla aktarılır. Buhar türbülansı, ısı transfer oranını maksimum seviyeye yükseltir. Gıda maddesinden çok sayıda buhar kabarcığı kaçamadığında, yüzeyde ısı transferini sınırlayan yalıtkan bir tabaka oluştururlar. Kızartma sırasında, suyun buharlaşması gıda maddesi içindeki bir miktar enerjiyi dağıtır ve böylece sıcaklık artışı için mevcut enerjiyi azaltır.



Şekil 3.1. Tasarımı gerçekleştirilen hava fritözü (a) tek sepet, (b) iki sepet kullanılması durumu.



Şekil 3.2. Geometrik yapıda yapılan düzenlemeler; (a) İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (b) Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (c) İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması, (d) Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması.

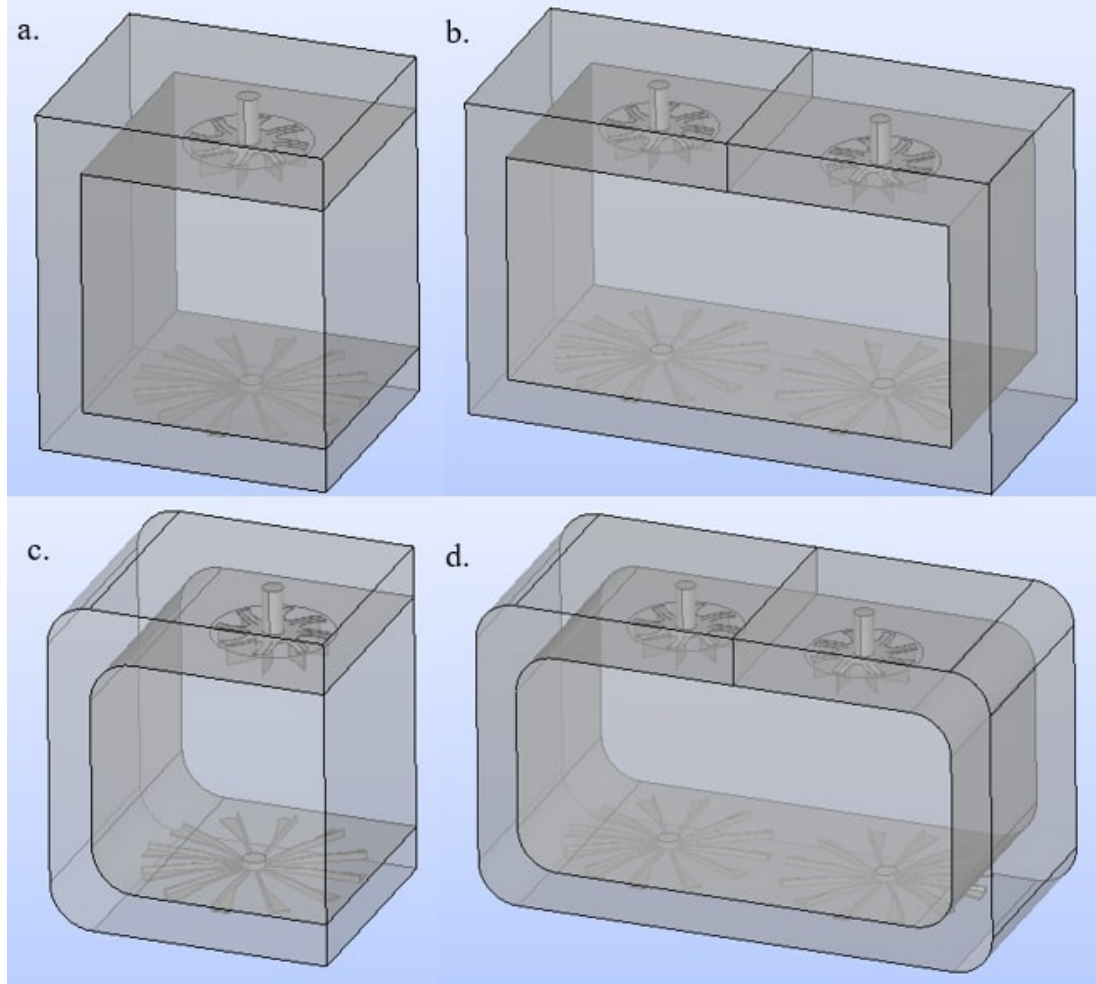
Homojen olmayan bir gıda maddesi içindeki ısı transferi için enerji değişimi kartezyen koordinat sisteminde aşağıdaki denklem ile tanılanır (Xu vd., 2020).

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k_h \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.1)$$

Denklemdaki T : sıcaklık, C_p : malzemenin özgül ısı kapasitesi, k_h : malzemenin ısıl iletkenliği, ρ : yoğunluk, v_i : i yönünde sıvı hızı . Denklemin (1) sağ tarafı, iletimden kaynaklanan ısı transferini (katılarda baskındır) temsil ederken, denklemin sol tarafı kararsız terimi ve konvektif ısı transferi terimlerini temsil eder. Kızartma açısından, enerji dengesi denklemi aşağıdaki gibidir (Goyal vd Meghwal, 2016):

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_{eff} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_{eff} \frac{\partial T}{\partial z} + \Delta H^{sbl} w \quad (3.2)$$

k_{eff} : etkin termal iletkenlik, ΔH^{sbl} : gizli süblimleşme ısısı, w : su içeriğini göstermektedir.



Şekil 3.3. Geometrik yapıda yapılan düzenlemeler; (a) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (b) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (c) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması, (d) Sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması.

Kızartma işlemi sırasında, kütle transferi esas olarak, gıda maddesinden yağa suyun buharlaşması ve bunun yanı sıra gıda maddesi tarafından yağın alınması anlamına gelir.

İlk ısıtma aşamasında kararsız difüzyon işlemi sırasında sıvı (C_l) ve buhar (C_v) şeklindeki su transferi, Kartezyen koordinatlarda (Goyal vd Meghwal, 2016) aşağıdaki denklemlerle temsil edilebilir:

$$\frac{\partial C_l}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D_i \frac{\partial C_l}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_i \frac{\partial C_l}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} D_i \frac{\partial C_l}{\partial z} - w \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial C_v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D_i \frac{\partial C_v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_i \frac{\partial C_v}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} D_i \frac{\partial C_v}{\partial z} - w \quad (3.4)$$

C_i : sıvı ($i = l$) veya buhar ($i = v$) konsantrasyonu, D_i : ortamdaki i - inci türün yayılma gücü, w : su içeriğini göstermektedir.

Kızartma sırasında gıda maddesi, birbirine bağlı ve sıvıyla (sıvı veya buhar) dolu küçük boşluklardan (veya küçük gözeneklerden) oluşan gözenekli bir ortama dönüşür. Bu nedenle, su buharının hareketi artık difüzyon olarak tanımlanamaz. Darcy yasasının, kızartılmış gıdaların gözenekli yapısından katı içindeki su buharı akışını tanımlamada daha uygun olduğu düşünülmektedir (Goyal vd Meghwal, 2016). Bitki materyalleri tipik olarak yüksek su içeriği (%80-95) içerdiğinden, Darcy'nin denklemi, kızartma sırasında iç suyun buharlaşmasının neden olduğu gözenekli gıda içinde oluşan önemli basıncı hesaba katar. Ayrıca, kızartılmış gıdaların kalınlığı ile orantılı olan gözenekli yapının direnci, kabuk boyunca buhar akışından kaynaklanan su kaybını daha iyi tanımlamak için Denklem (5)'i formüle eden Darcy yasasına entegre edilebilir (Goyal vd Meghwal, 2016) .

$$Q_w = \frac{Ak \Delta P}{\mu L} \quad (3.5)$$

Kızartma sırasında yağ alımını açıklamak için su değişimi , kılcallık penetrasyonu , soğutma fazı etkisi ve yüzey aktif madde teorisi dahil olmak üzere , tümü su transferi ve/veya kabuk oluşumu ile ilişkili çeşitli mekanizmalar vardır .

Su değiştirme mekanizması, yağın bitki dokularına suyun buharlaşmasıyla oluşturulan boşluklardan girdiğini açıklar, bu nedenle su kaybı, yağ alımının temeli olarak kabul edilir. Su kabarcıkları gıda maddelerinden kaçtıklarında kılcal yollar oluşturarak yüzey gözenekliliğini arttırdılar. Kılcallık penetrasyonu , yağ ve gıda

maddeleri arasındaki yapışkan moleküller arası kuvvetler yağdaki kohezif moleküller arası kuvvetlerden daha güçlü olduğunda, yağın kızartılmış malzemelerdeki dar gözeneklerden yukarı doğru nasıl hareket ettiğini açıklar. Kılcal yolların her iki ucu arasındaki basınç farkı (ΔP^*) esas olarak kılcallık penetrasyon fenomenini yönlendirir:

$$\Delta P^* = P_2 - P_1 = P_{atm} - (P_v - \frac{2\cos\theta}{r} \pm \rho gh \cos\alpha) \quad (3.6)$$

P_i : i noktasındaki basınç (P_2 : gözenek yüzeyindeki basınç, P_1 : gıda maddesi içindeki en derin gözenek noktasındaki basınç, P_{atm} : atmosferik basınç, P_v : su buharı basıncı), θ : temas açısı yağ ile gıda maddesi arasında, r : gözenek yarıçapı, σ : yağın yüzey gerilimi, ρ : yağ yoğunluğu, g : yerçekimi ivmesi, h : kılcal hareket yüksekliği, α : kılcal yol ile dikey yön arasındaki açı.

Kılcal penetrasyon, Washburn denklemi ile de tanımlanabilir:

$$Q_{yağ} = \left(\frac{\pi r^4 \Delta P^*}{8\mu h} \right) \quad (3.7)$$

Q yağ: laminer yağın hacimsel akışı, π : yağ çevresinin çapına oranı (3,142), r : gözenek yarıçapı, μ : yağ viskozitesi.

Yağın zaman içinde penetrasyonu yukarıdaki iki Denklem (3.6) ve (3.7)'nin Denklem (3.8)'i verecek şekilde değiştirilmesine dayalı olarak hesaplanabilir:

$$\Delta P^* = \frac{r^2}{8\mu h} (P_{atm} - P_v - \frac{2\cos\theta}{r} / \pm \rho gh \cos\alpha) \quad (3.8)$$

Momentum transferi, gıda maddesi içindeki moleküller veya molekül grupları arasındaki konveksiyon mekanizmasını içeren fiziksel bir olgudur. Kütle, hız ve zamanın temel değişkenleri ile birim kütle başına hızdaki değişikliklerin karşılıklı ilişkisine bağlıdır. Kızartma sırasında momentum, konveksiyon (kızartmış malzemelerden çıkan buhar) veya moleküler kuvvetler (viskoz stres veya basınç) ile aktarılır. Momentum transfer denklemleri, momentumun bir fazda korunduğu ilkesine dayanır. Kartezyen koordinatlarda üç hız bileşeni ve x -bileşen denklemi

içeren momentum dengesi denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = X_f - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.9)$$

3.2. Yöntem

3.2.1. Nümerik metodoloji

Herhangi bir akış alanının simülasyonundaki en önemli zorluk geometriye nazaran ihmal edilebilecek büyüklükteki bir geometrik farkın hesaplama alanı üzerindeki dramatik etkisidir. Bu nedenler herhangi bir akış alanının optimal tasarımının deneysel olarak araştırılması maliyet açısından özellikle küçük ve orta ölçekli firmalar için neredeyse imkansızdır. Günümüzdeki akış uygulamaları için optimal tasarım parametrelerinin saptanmasında izlenen genel trend belli parametreleri deneysel yöntemler ile doğrulanmış nümerik (CFD) yöntemlerini kullanmaktır. Bu tez çalışmasında da optimal tasarım için söz konusu strateji izlenmiştir. Akış alanının nümerik simüle eden Fluent, OpenFoam, CFX vb. birçok ticari veya açık kodlu paket CFD programları bulunmaktadır. Bu programlar esasen herhangi bir akışı tanımlayan süreklilik, momentum ve enerji denklemleri nümerik yöntemler ile çözme prensibine dayanırlar. Bu tez çalışmasında akış alanının simülasyonunda OpenFoam paket programı kullanılacaktır. Tez çalışmasının bu bölümünde sırasıyla nümerik simülasyonları tanımlayan temel matematiksel modeller, simülasyonlarda izlenen strateji ve izlenen stratejiye yönelik yapılan çalışmalar sunulacaktır.

Herhangi bir akış alanı için kütle korunumu prensibine dayanan süreklilik denklemi (Türbülans akış);

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.10)$$

şeklindedir. Momentum korunumuna dayanan momentum denklemi ise (x-yönünde);

$$\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) = X_f - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) - \rho \left(\frac{\partial u' u'}{\partial x} + \frac{\partial u' v'}{\partial y} + \frac{\partial u' w'}{\partial z} \right) \quad (3.11)$$

şeklindedir. Denklemdaki Xf , x yönündeki birim hacme düşen kuvvetleri göstermektedir. Bu denklemlerin akış alanının tanımlayan sınırlar çerçevesinde çözümü hesaplanacak akış alanının tanımlanması mümkündür. Söz konusu nümerik çözümlerdeki karşılaşılabilecek en büyük zorluk özellikle momentum denkleminin ikinci dereceden kısmı diferansiyel denklem karakterinde olmasıdır. Denklem (4.8) de verilen momentum denkleminin çalkantı hızlarını tanımlayan terimdeki Reynolds gerilimleri tek boyutlu bir akış için yaygın olarak;

$$-\rho u'v' = \mu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \quad (3.12)$$

şeklinde tanımlanır (Boussinesq teoremi). Bu tanımlamanın sonucu olarak kayma gerilmesi;

$$\tau = (\nu + \nu_t) \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \quad (3.13)$$

şeklinde olur. Xf , x yönündeki birim hacme düşen kuvvetleri göstermektedir. Eddy viskozitesinin akışın değil akış alanının bir özelliği olması CFD simülasyonları için en temel zorluktur. Eddy viskozitesinin tanımlanmasındaki söz konusu zorluğu aşmak amacıyla literatürde geliştirilmiş birçok türbülans modeli bulunmaktadır. Herhangi bir CFD simülasyonu için en kritik süreç akış alanına en uygun türbülans modelinin seçilmesidir. Tez çalışmasında simülasyonların hesaplama süreçlerinde seçilen türbülans modelin detayları aşağıda verilmiştir.

Herhangi bir CFD simülasyonu akış alanının tanımlanması, simülasyonların yürütülmesi ve simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi şeklinde üç temel aşamadan meydana gelir. Tez çalışmanın söz konusu üç temel aşama çeşitli paket programları çerçevesinde yürütülmüştür. Kullanılan paket programları ilgili bölümde sunulacaktır.

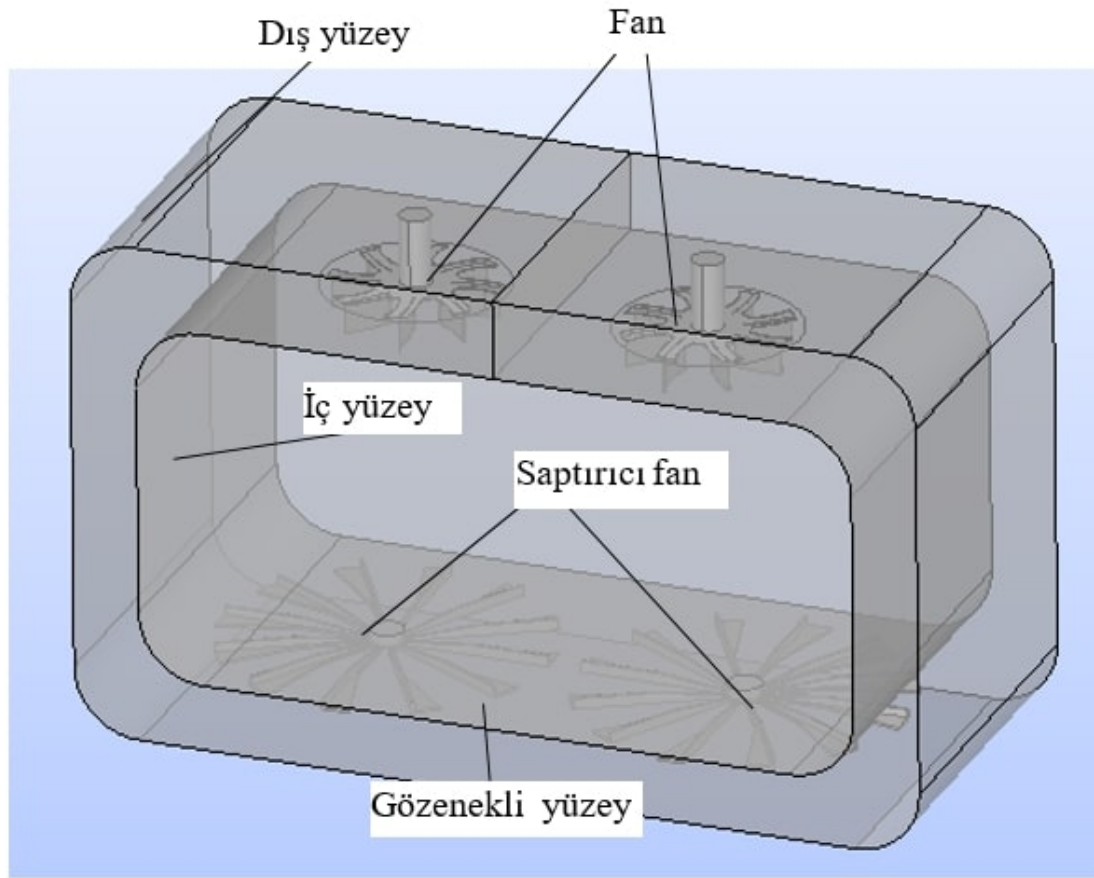
3.2.2. Sınır Şartları

Tüm akış alanlarının tasarımı Salome yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Dış, iç ön ve arka yüzeyler hız açısından sınırla doğrudan temas halinde olan akışkan tabakasının hızının, sınırın kendi hızına eşit olduğunu varsayan kaymama sınır şartı ile tanımlanmıştır. Söz konusu yüzeyler basınç açısından ise herhangi bir niceliğin

eğimini etki alanı sınırında sifıra ayarlayan ZeroGradient sınır şartı ile tanımlanmıştır. Gözenekli yüzey basınç atlama (porousBafflePressure) sınır şartı çerçevesinde periyodik bir sınır şartı ile tanımlanmıştır. Gözenekli yapıda basınç sıçraması;

$$\Delta P = -(D\mu U + \frac{1}{2}I\rho|U|^2)L \quad (3.14)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Denklemdaki D Darcy katsayısını, I eylemsizlik katsayısını ρ akışkan yoğunluğunu, μ viskoziteyi göstermektedir.

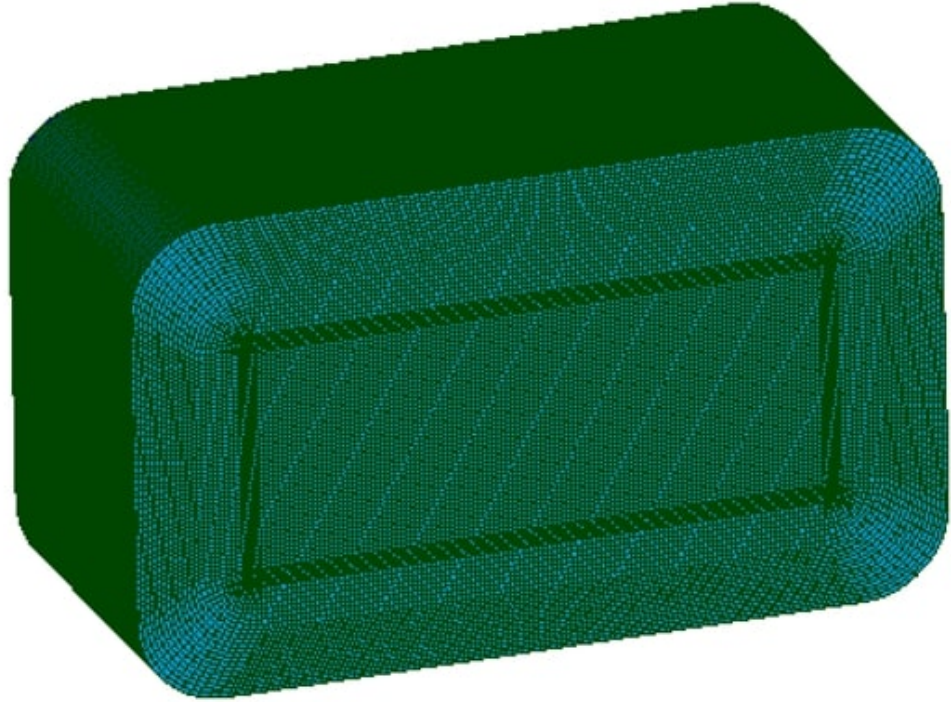


Şekil 3.4. Sınır şartları.

3.2.3. Mesh Yapısı

Salome yazılımı ile tasarlanan akış alanları dört aşamada mesh tasarımı gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada akış alanları Salome yazılımının mesh modülü kullanılarak Hexahedron (altı gen) mesh yapısı ile tanımlanmıştır. Tüm akış alanları yaklaşık olarak 500000-950000 mesh sayısı alalığında yapılmıştır. Bu aşamada

yapılan bu tanımlamaya bir örnek Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Söz konusu mesh tasarımının kalitesi Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere mesh tasarımında hücrelerin en boy oranları 1,04’ün altındadır. Hücrelerin çarpıklığı ise $9,67 \times 10^{-14}$ altındadır. Bu aşamada rezistans yüzeyi hariç tüm yüzeyler tanımlanmıştır. İkinci aşamada OpenFOAM yazılımının snappyHexMesh modülü kullanılarak akış alanında rezistans yüzeyi de tanımlanmıştır. Rezistans yüzeyinin tanımlanması tüm akış alanlarında mesh sayısı 2,2 milyonun üzerine çıkmıştır. Bu aşamada yapılan mesh tasarımına örnek Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Mesh kalitesi ise Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere mesh tasarımında hücrelerin en boy oranları 6,27’nin altındadır. Hücrelerin çarpıklığı ise 2,67’nin altındadır. Mesh kalitesi açısından akış alanı halen kabul edilebilir sınırlardadır. Üçüncü aşama rezistans yanı ikinci hesaplama alanının (katı) mesh tasarımı gerçekleştirildi. Bu aşamada hesaplama alanı Tetrahedron (dört yüzeyle) mesh yapısı ile tanımlanmıştır. Yapılan mesh tasarımı Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Dördüncü ve son aşamada iki hesaplama alanı (akış, katı) rezistans yüzeyi referans olmak üzere birleştirildi. Bu birleştirmenin yapısı Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Salome yazılımı ile yapılan mesh tasarımına örnek.

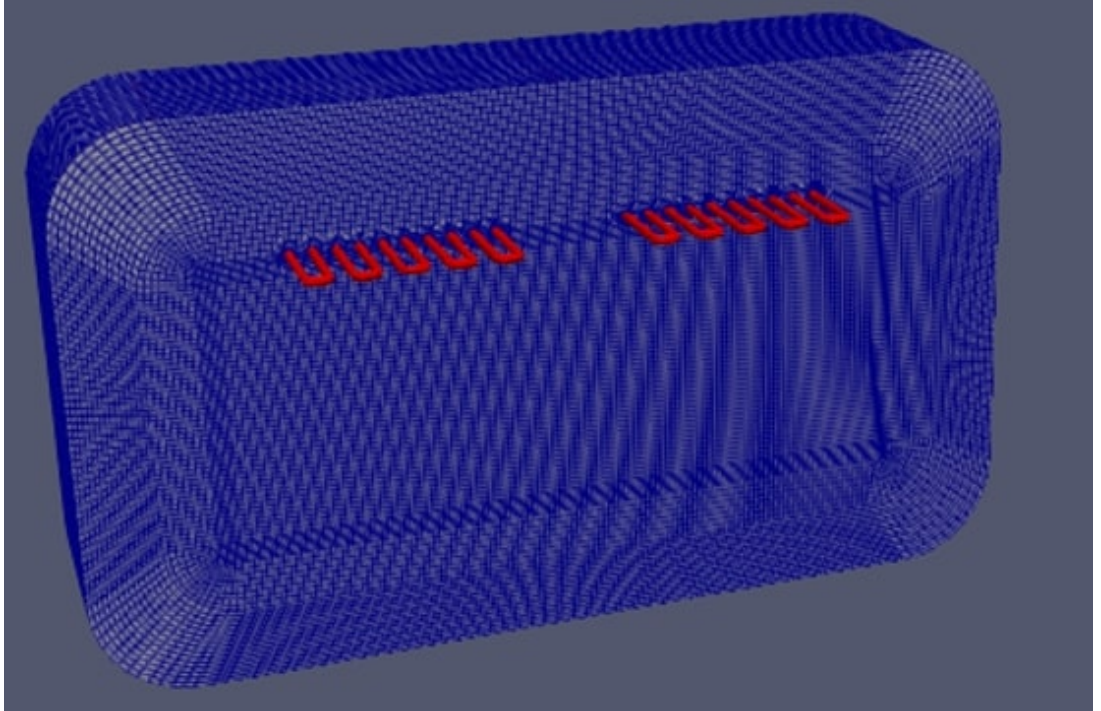
```

Checking geometry...
Overall domain bounding box (-0.325 0 0) (0.325 0.275 0.385)
Mesh has 3 geometric (non-empty/wedge) directions (1 1 1)
Mesh has 3 solution (non-empty) directions (1 1 1)
Boundary openness (2.50991e-15 -2.29003e-15 6.88347e-16) OK.
Max cell openness = 1.10515e-16 OK.
Max aspect ratio = 1.04 OK.
Minimum face area = 1.47929e-05. Maximum face area = 1.5942e-05. Face area magnitudes OK.
Min volume = 5.89572e-08. Max volume = 6.35371e-08. Total volume = 0.0688187. Cell volumes OK.
Mesh non-orthogonality Max: 0 average: 0
Non-orthogonality check OK.
Face pyramids OK.
Max skewness = 9.67167e-14 OK.
Coupled point location match (average 0) OK.

Mesh OK.

```

Şekil 3.6. Salome yazılımı ile yapılan mesh tasarımı örneğinin mesh kalitesi.



Şekil 3.7. SnappyHexMesh sürecinden sonra mesh tasarımına örnek.

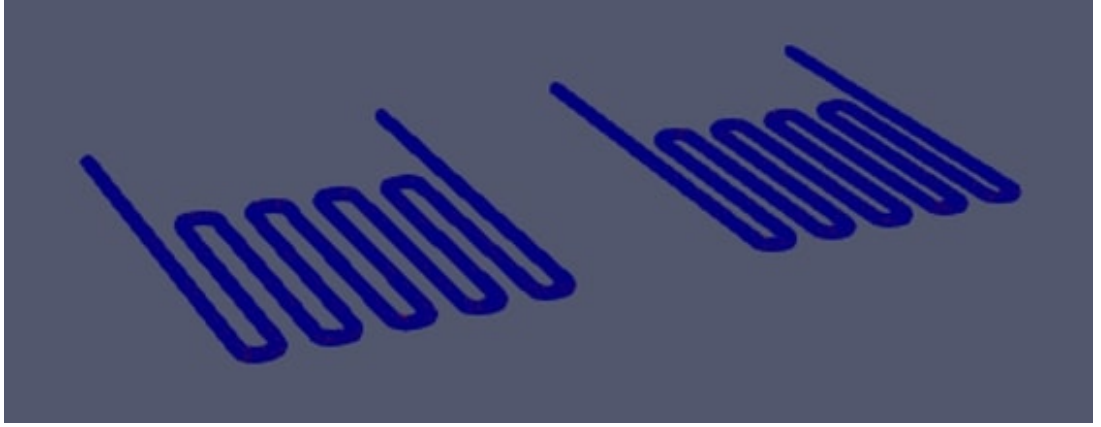
```

Checking geometry...
Overall domain bounding box (-1.61269e-10 -1.58918e-07 0) (0.325 0.275 0.385)
Mesh has 3 geometric (non-empty/wedge) directions (1 1 1)
Mesh has 3 solution (non-empty) directions (1 1 1)
Boundary openness (6.53915e-16 -3.23994e-16 1.13157e-15) OK.
Max cell openness = 4.19154e-16 OK.
Max aspect ratio = 6.27567 OK.
Minimum face area = 2.25295e-09. Maximum face area = 1.83346e-05. Face area magnitudes OK.
Min volume = 2.32494e-12. Max volume = 6.37266e-08. Total volume = 0.0344094. Cell volumes OK.
Mesh non-orthogonality Max: 71.4712 average: 10.9999
*Number of severely non-orthogonal (> 70 degrees) faces: 1.
Non-orthogonality check OK.
<<Writing 1 non-orthogonal faces to set nonOrthoFaces
Face pyramids OK.
Max skewness = 2.62952 OK.
Coupled point location match (average 0) OK.

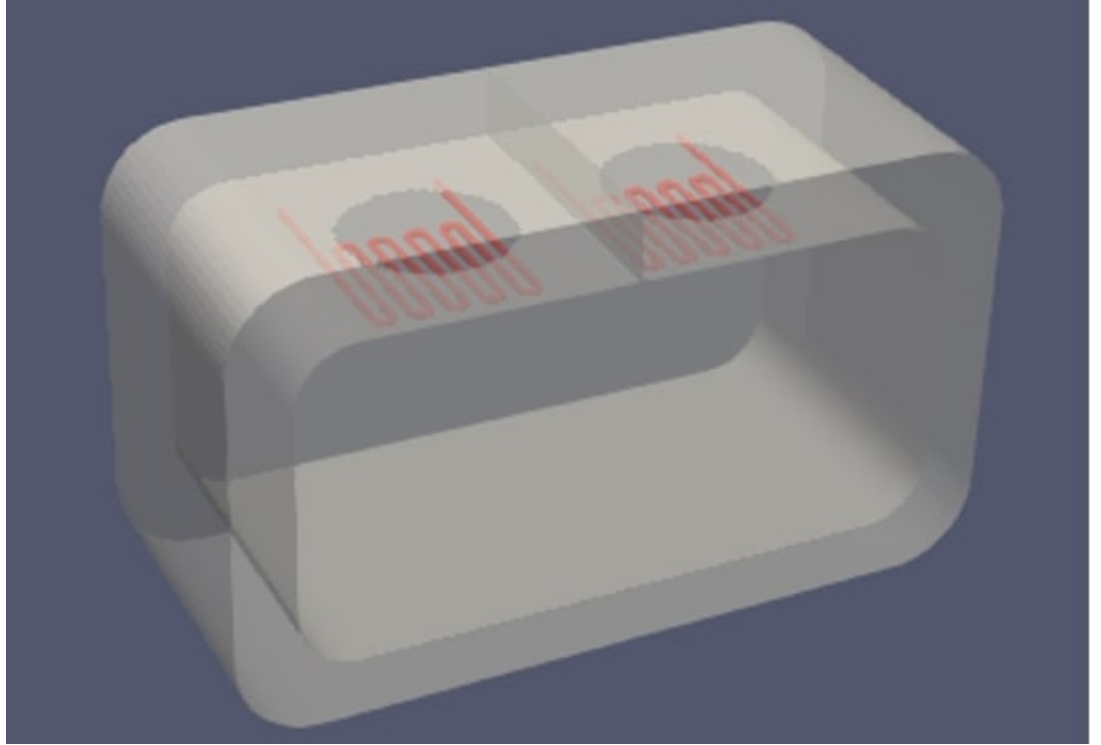
Mesh OK.

```

Şekil 3.8. SnappyHexMesh sürecinden sonra yapılan mesh tasarımı örneğinin mesh kalitesi.



Şekil 3.9. Rezistansın mesh yapısı.



Şekil 3.10. Hesaplama alanları (akış, katı).

Çizelge 3.1. Yürütülen Had Simülasyonlarında yaklaşık mesh sayıları.

Tasarımlar	İK	TK	İR	TR	İKK	TKK	İRK	TRK
Mesh Sayısı	$5,1*10^6$	$10*10^6$	$4,9*10^6$	$9,6*10^6$	$5,9*10^6$	$11,8*10^6$	$5,5*10^6$	$11,05*10^6$

3.2.4. Simülasyonlarda kullanılan çözüm şemaları

Simülasyonlarda momentum, enerji ve radyasyon çözümleri bir arada gerçekleştirmiştir. İki hesaplama alanı eşlenik taşınımli ısı transferi çerçevesinde

çözülmüştür. OpenFOAM chtMultiRegionFoam ve chtMultiRegionSimpleFoam çözücüler ile hem geçici hem de sürekli rejimde simülasyonlar yürütülmüştür. Türbülans modeli olarak ters basınç gradyanlarda daha doğru sonuçlar veren kOmegaSST türbülans modeli kullanılmıştır. Momentum, süreklilik, enerji ve radyasyon çözümlerinde Gauss upwind çözüm şeması kullanılmıştır.

Radyasyon modeli olarak FVDM modeli seçilmiştir. Yapılan bir çok çalışmada benzer akış alanları için söz konusu radyasyon modelinin güvenilirliği vurgulanmıştır. Chhanwal vd., (2010) Ev tipi elektrikli ısıtma fırını için viewFactor (Yüzeyden Yüzeye– S2S), DTRM (Ayrık Transfer Radyasyon Modeli) ve FVDM (Sonlu Hacim Ayrık Ordinatlar Yöntemi) radyasyon modellerinin etkinliğini araştırmışlardır. Tank vd., (2014) FVDM radyasyon modelini pilot ölçekli bir elektrikli fırında ekmek pişirme sürecinde araştırmışlardır. Ekmeğin içindeki suyun buharlaşma ve yoğunlaşma mekanizmaları ve fırın yükünün (kısmen ve tamamen yüklenmiş) etkisi göz önünde bulundurularak, fırının içindeki sıcaklık profillerinin ve hava hızlarının incelenmesi için bir CFD 3D modeli geliştirilmiş ve doğrulanmışlardır. Bu tez çalışmada da radyasyon modeli olarak FVDM modeli seçilmiştir.

3.2.5. Simülasyonların sonuçlarının mesh sayısına ve yapısına bağımlılığı

Yürütülen sekiz simülasyon sonuçlarının mesh sayısına bağımlılığını test etmek amacıyla yoğunluk sayısı aynı olmak üzere Tablo 3.1’de verilen optimal mesh sayısından yaklaşık olarak %10 daha fazla ve %20 az sayıda mesh sayısında simülasyonlar yürütülmüştür. Yürütülen simülasyonlar sonucunda akış alanlarındaki maksimum hız ile sıcaklık değerleri ve sepet bölgesinde maksimum minimum sıcaklık farkları Tablo 3.2’de verilmiştir. Tablodan anlaşılabileceği üzere tüm dikkate alınan değerlerde birbirinde sapma %10 altında kalmıştır. Akış alanında akış ve sıcaklık gradyanları incelendiğinde benzer durum söz konusu olmuştur. Bu veriler sonuçların mesh sayısından bağımsız olduğunun bir göstergesidir.

Çizelge 3.2. Yapılan sekiz düzenlemenin farklı mesh sayılarında akış alanlarındaki maksimum hız ile sıcaklık değerleri ve sepet bölgesinde maksimum minimum

sıcaklık farkları.

Tasarımlar	U _{max} (m/s)			T _{max} (K)			Sepet bölgesi (T _{max} -T _{mim}) (K)		
	-%20	T. 3.1	+%10	-%20	T. 3.1	+%10	-%20	T. 3.1	+%10
İK	5,1	5	5,01	488	490	490	19.8	20	21
TK	4,5	4,5	4,51	498	500	499	35	36	36
İR	6,44	6,5	6,51	460	460	460	30	29	29.5
TR	6	6,5	6,5	465	480	480	23	24	25
İKK	4,7	5	5	473	470	470	18	14	14
TKK	4,6	4,5	4,4	476	480	481	19	22	21
İRK	5,9	5,8	5,8	475	470	468		15	15
TRK	6,5	5,8	5,8	465	470	470	23	21	20

4. BULGULAR

Günümüz hayat tarzının bir sonucu olarak son yıllarda en çok büyüyen sektörlerden biri hazır gıda sektörüdür. Buna eş zamanlı olarak hazır gıda sektörüne yönelik faaliyet gören imalat sektörü de aynı oranda büyümüştür. Söz konusu alanda faaliyet gösteren imalat firmalarının ürün geliştirirken müşteri talepleri doğrultusunda dikkate aldığı en önemli iki parametre enerji verimliliği ve sağlıktır. Bu iki parametre açısından öne çıkan ve işletme maliyetleri yüksek olan ürünler ise fırın, fritöz, ocak ve benzeri pişirme süreçlerinde kullanılan cihazlardır. Sağlık açısından en kritik pişirme süreci ise kızartma işlemidir. Son yıllarda kızartma süreci ile ilgili geliştiren en popüler ürün hava fritözlerdir.

Günümüzde evsel uygulamalara yönelik neredeyse beyaz eşya alanındaki tüm firmaların geliştirmiş çok çeşitli hava fritözleri olmasına rağmen endüstriyel uygulamalara yönelik geliştiren hava fritözleri yok denecek kadar azdır.

Endüstrideki bu eksiklik dikkate alınarak tez çalışması kapsamında endüstriyel bir hava fritözü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada bu tasarımın akış ve termal performansı 8 farklı geometrik düzenleme dikkate alınarak sekiz senaryo geliştirilmiştir. Son aşamada sekiz senaryonun tasarımın akış ve ısı karakteristiklerine etkisi HAD simülasyonları ile araştırılmıştır. Bu bölümde tez çalışmasının amacı doğrultusunda yürütülen sekiz HAD simülasyonun sonuçları ayrıntılı grafikler ile sunulacaktır.

4.1. İki Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Keskin Köşeli Olması (İK)

Tasarımı gerçekleştirilen hava fritözün hava akış kanallarının keskin köşeli ve iki sepet olma durumu için yürütülen simülasyon sonuçları bu bölümde grafikler ile ayrıntılı sunulacaktır. Akış alanındaki merkezde xz düzleminde hız kontürlerin dağılımı Şekil 4.1. a.'da ve $z=0,1$ ile $0,20$ m noktaların da yz düzlemlerinde hız kontürlerin dağılımı Şekil 4.1. b.'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum hız 5 m/s ile fan çıkış kenarında meydana gelmektedir. Şekilden görüleceği üzere fan çıkışında kompleks bir akış yapısı meydana gelmekte ve üst kanalın kapalı kenarında ters basınç gradyanı etkisiyle bir vorteks sistemi meydana gelmektedir. Üst kanaldan akışkan yan kanala hareketinde kompleks bir akış yapısı gözlemlenirken yan kanal boyunca akış göreceli olarak stabil olmakta ve yaklaşık olarak 2 m/s olmaktadır. Alt kanalda gözenekli yüzey etkisiyle akış da sıkışma meydana gelmekte ve akış hızı $3,6$ m/s hızına kadar çıkmaktadır. Sepet bölgesinde Şekil 4.1'den görüleceği üzere akış hızı açısından üç bölge gözlemlenmiştir. İlk yan

kanala yakın hâkim akış hızının yaklaşık olarak 1,2-2 m/s aralığında olduğu bölge, ikincisi hızın yaklaşık olarak 3,5*4,5 m/s aralığında kapalı yüzeye yakın olduğu görece ince bir bölge, üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında hızın 1 m/s'den olduğu ve neredeyse sepetin %75'ini kapsayan bölgedir. Xy düzlemlerindeki akış kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.b'den görüleceği üzere sepet bölgesinde hâkim akış hızı yaklaşık olarak 1 m/s'dir. Sepet kapalı yan yüzeyine yakın bölgede ise akış hızı 4 m/s kadar ulaşabilmektedir. Bu dramatik değişim sepet alt yüzeyinin gözenekli seçilmesi nedeniyle alt kanalda sıkışan akışın kapalı yüzey boyunca akmaya zorlanmasının birer sonucudur.

Akış alanındaki merkezde xz düzleminde sıcaklık kontürlerin dağılımı Şekil 4.2. a'da ve $z=0,1$ ile $0,2$ noktalarında xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürleri Şekil 4.2. b'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi akış alanında maksimum sıcaklık rezistansın yakın çevresi hariç hemen rezistansın üstünde 490 K olarak gözlemlenmiştir. Yine şekilden görüleceği üzere akış alanındaki sıcaklık gradyanları büyük ölçüde akış yapısıyla paralellik göstermektedir. En büyük sıcaklık gradyanları üst kanalda gözlemlenmiştir. Bu kanalda üst kısımda sıcaklık yaklaşık olarak 490 K olurken kanalın sağ kısmında ise 465 K kadar düşebilmektedir. Şekil 4.2'de görüleceği üzere en büyük termal gerilmeye maruz dış yüzeyler üst ve yan yüzeylerdir. Sepet bölgesinde akış alanındaki en düşük sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Sepet bölgesindeki sıcaklık farkları açısından üç bölge gözlemlenebilir. İlki yan kanala yakın ve sıcaklığın yaklaşık olarak 480 K olduğu bölge, ikincisi kapalı yüzeye yakın ve sepet bölgesinde maksimum sıcaklığı gözlemlendiği ince bir bölge ve üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında arasın da minimum sıcaklığın (450 K) meydana geldiği tam olarak sepet bölgesindeki vorteks sistemine denk gelen bölgedir. Sepet bölgesindeki xz düzlemindeki durum; xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.2.b'den görüleceği üzere benzerdir. Yine şekilden görüleceği üzere maksimum radyasyon yan yüzeyler üzerinde ve yakın bölgede meydana gelmektedir. Bu akış alanındaki radyasyonun bir sonucudur.

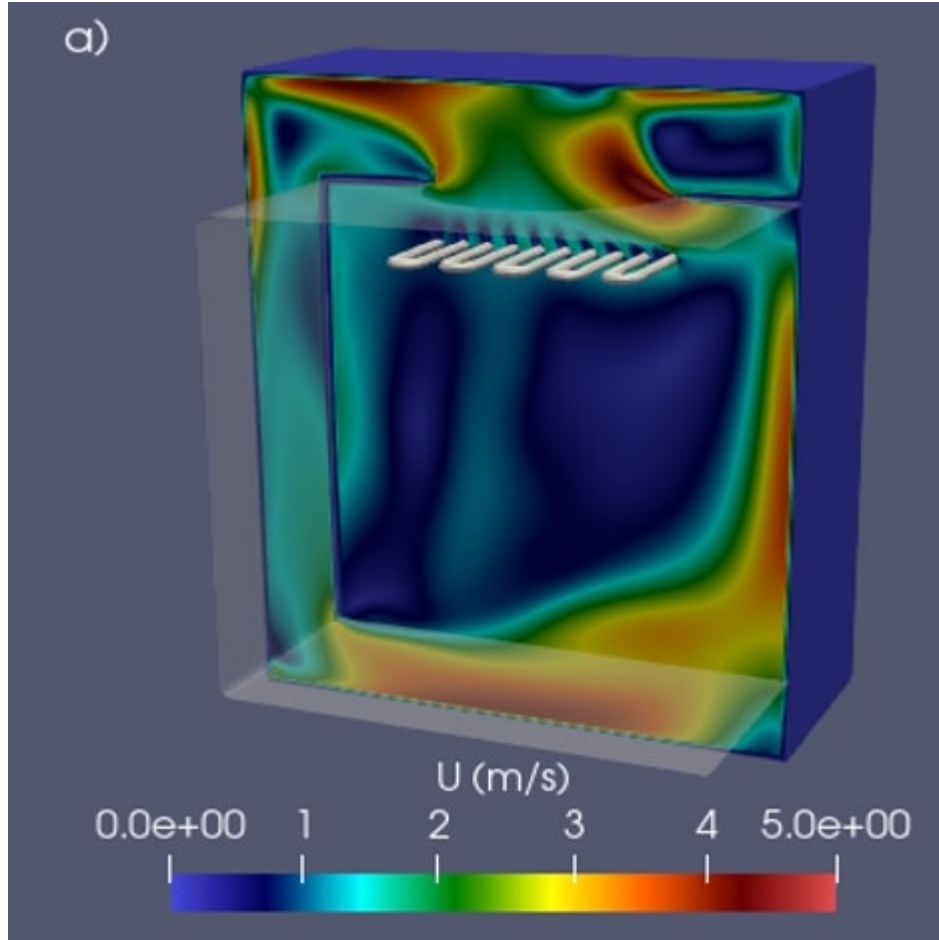
Akış alanındaki merkezde basınç kontürlerin dağılımı Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi akış alanında maksimum basınç bekleneceği üzere fanın hemen üstünde meydana gelirken minimum basınç yine bekleneceği üzere fanın hemen altında meydana gelmektedir. En büyük basınç gradyanı ise üst kanalda gözlemlenmiştir. Sepet bölgesinde ise basınç aşağıdan yukarıya doğru kademeli olarak azalmaktadır. Akış alanındaki hız vektörlerinin dağılımı Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere akış alanında biri üst kanalı kapalı kısmında yakın diğeri yaklaşık olarak sepetin merkezine yakın iki vorteks sistemi meydana

gelmektedir. Yan ve alt kanal boyunca hareket eden akışkanın büyük kısmı alt kanalın kısmına yakın bir bölgede sepet bölgesine girmektedir. Bunu sonucu olarak diğerine nazaran daha büyük bir vorteks sistemi sepet bölgesinin merkezinde meydana gelmektedir. Sepet bölgesinde meydana gelen büyük vorteks sistemi neredeyse akış alanının %75 kaplamakta ve dolayısıyla hız ve sıcaklık gradyanlarının dağılımını belirleyen ana parametre olmaktadır.

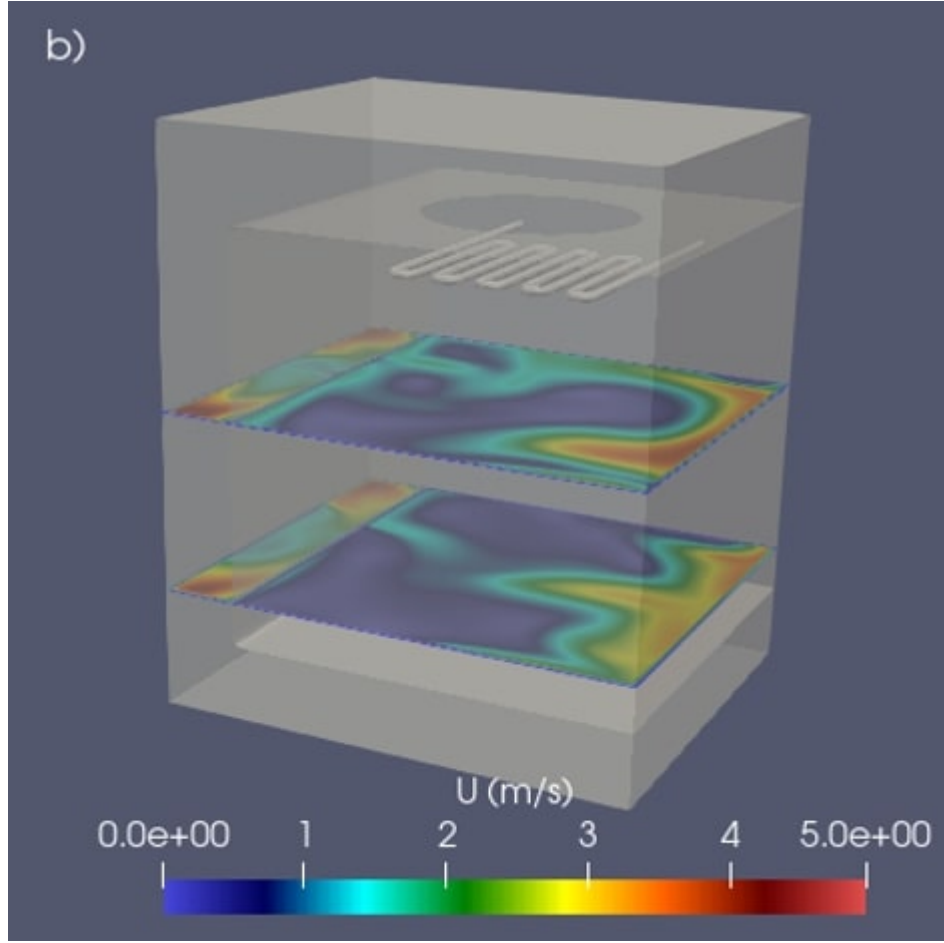
Hava fritözünün termal performansını gösteren ana parametre sepet bölgesindeki sıcaklık dağılımıdır. Şekil 4.2'den görüleceği üzere rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 450-476 K aralığında değişmektedir. Bu sıcaklık değişimlerini daha ayrıntılı gözlemleyebilmek için akış alanının $y=0,13\text{m}$ 'de (merkez) zx düzleminde $z=0,1, 0,15, 0,2$ ve $0,25$ noktalarında x boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere $z=0,1$ noktasında yan kanala yakın bölgede yan kanalın ve radyasyon etkisiyle sıcaklık yaklaşık olarak 476 K iken merkeze doğru dramatik olarak $x=0,12\text{m}$ 'de 459 K düşmektedir. $x=0,15\text{m}$ kadar stabil bir davranış gösterdikten sonra yine dramatik olarak $x=0,23\text{ m}$ kadar yine dramatik olarak 453 K kadar düşmektedir. Bu noktadan sonra ise kapalı yüzeye doğru sıcaklık 460 K kadar çıkmaktadır. Söz konusu noktada ($z=0,1\text{m}$) sıcaklık üç düşüş bir yükseliş olmak üzere üç farklı davranış göstermektedir. $z=0,15\text{ m}$ noktasında kenar bölgelerde (yan kanal ve kapalı köşe) sıcaklık dağılımı $z=0,1$ ile benzer bir trend gösterirken merkezde bir pik noktası meydana gelmektedir. Benzer bir trend $z=0,2\text{ m}$ noktasında da söz konusudur. $z=0,15\text{m}$ noktasında pik noktasında sıcaklık yaklaşık olarak 462 K iken $z=0,2$ noktasında sıcaklık yaklaşık olarak 466 K olmaktadır. $z=0,25$ noktasında ise merkezde yaklaşık olarak aynı değerde (467 K) iki pik noktası gözlemlenmektedir. Şekil 4.5'de görüleceği üzere kenar bölgelerinde kapalı kanaldaki sıcak hava etkisi ve radyasyon etkisiyle her dört ekseninde sıcaklık merkeze nazaran daha yüksek olmakta ve merkeze doğru ise dramatik olarak düşmektedir. En yüksek sıcaklık gradyanları alt bölgede meydana gelirken yükseğe çıkıldıkça x boyunca ki sıcaklık gradyanı azalmaktadır.

Merkezde kapalı kanalda $z=0,1, 0,15, 0,20, 0,25\text{ m}$ noktalarında x boyunca hız profilleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki 90 derecelik dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneceği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilde görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25\text{m}$ 'de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20\text{m}$) $z=0,25\text{m}$ nazaran hız gradyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Merkezde kapalı kanalda $z=$

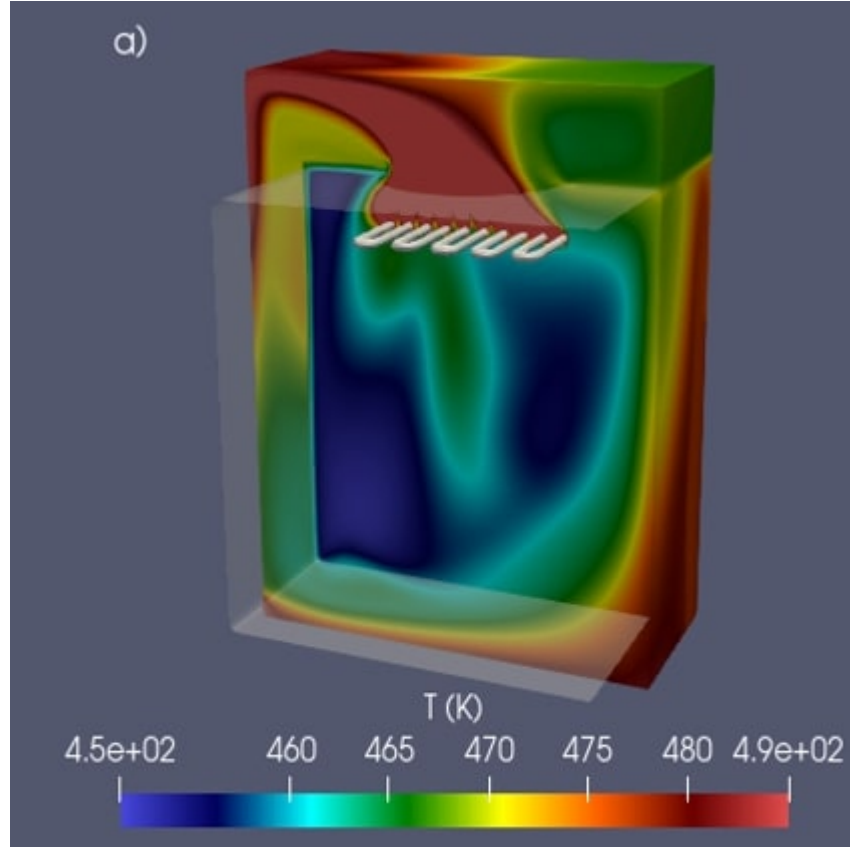
0,1, 0,15, 0,20, 0,25 m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.7’da gösterilmiştir. Tüm eksenlerde bekleneneği üzere dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x=0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanının $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.



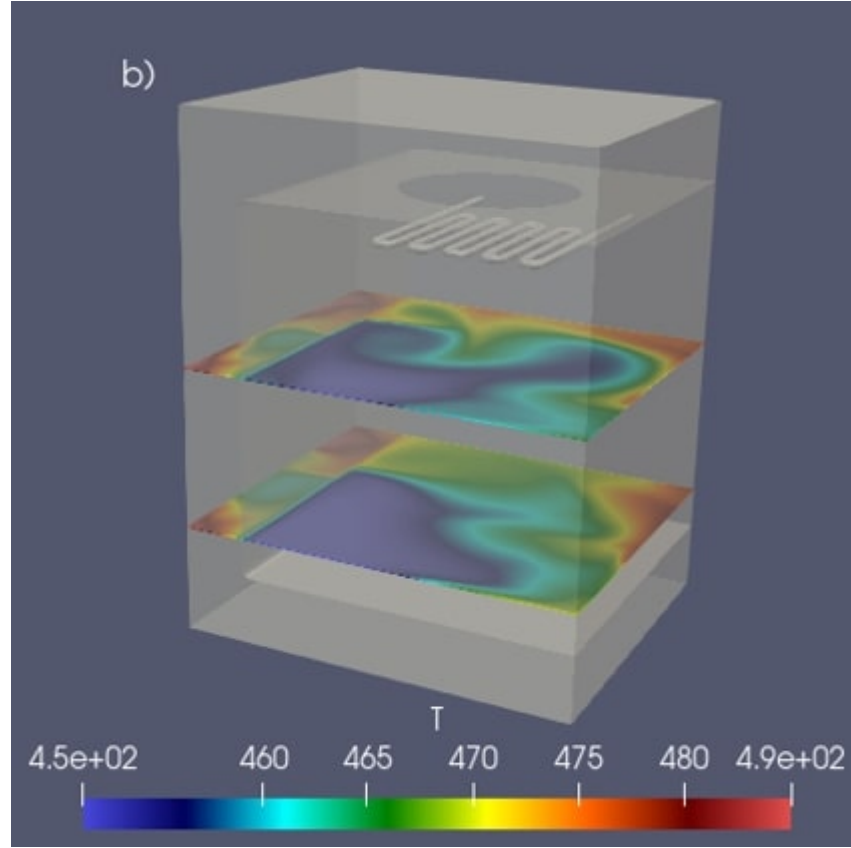
Şekil 4.1. a) İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri



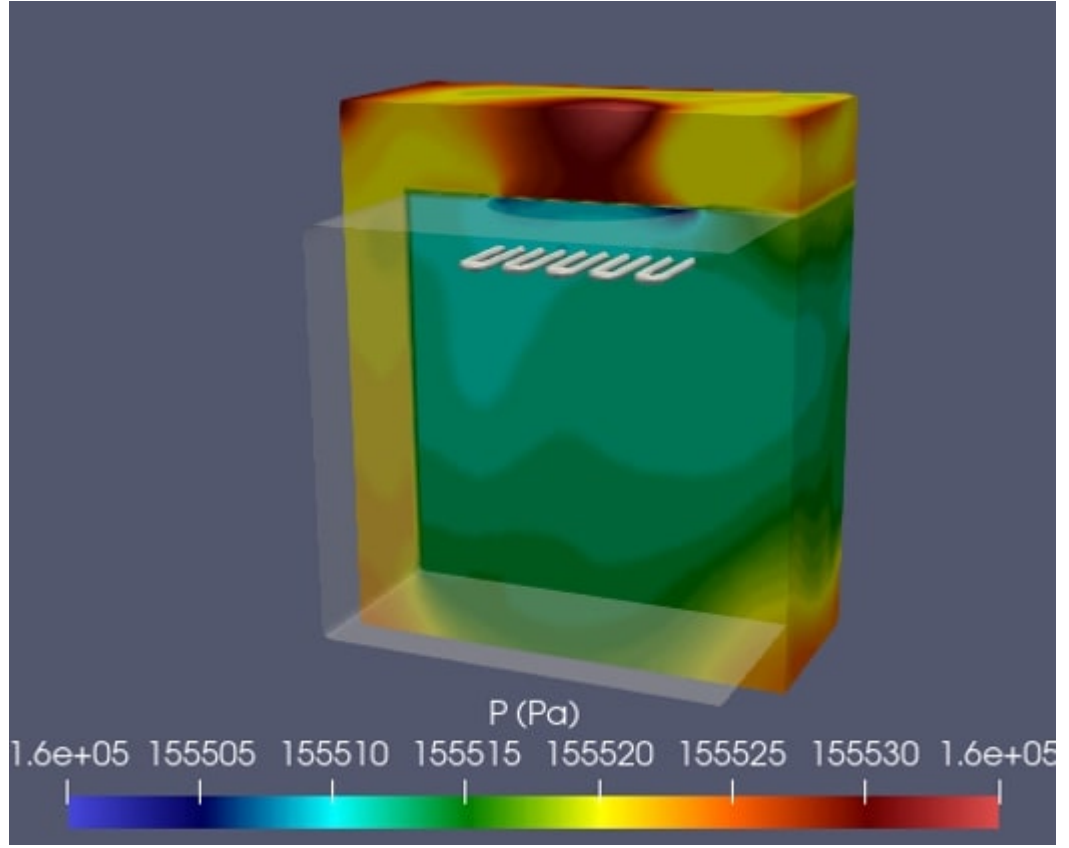
Şekil 4.2. b)İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda $z=0,1$ ile $0,25$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.



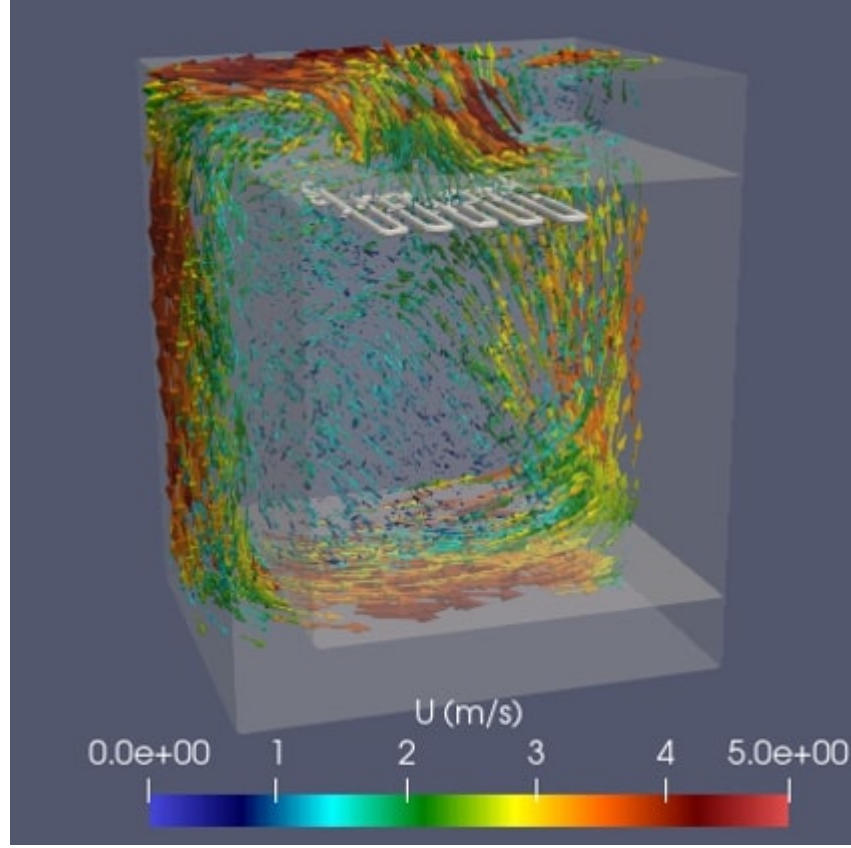
Şekil 4.3. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.



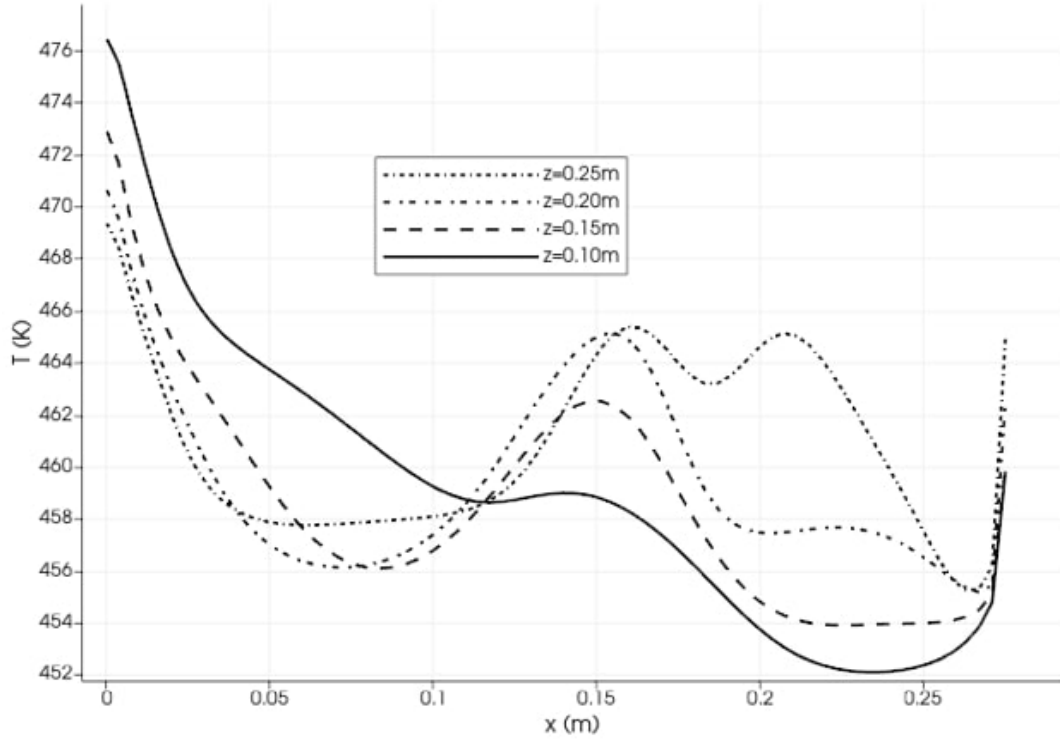
Şekil 4.4. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde durumdaki sıcaklık kontürleri.



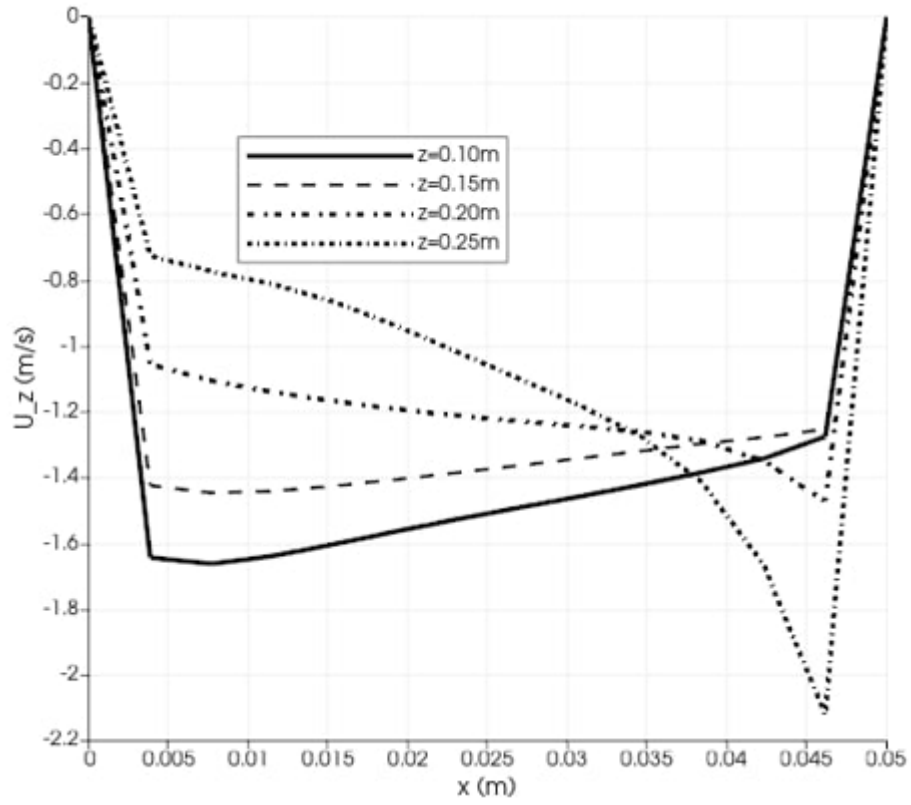
Şekil 4.5. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.



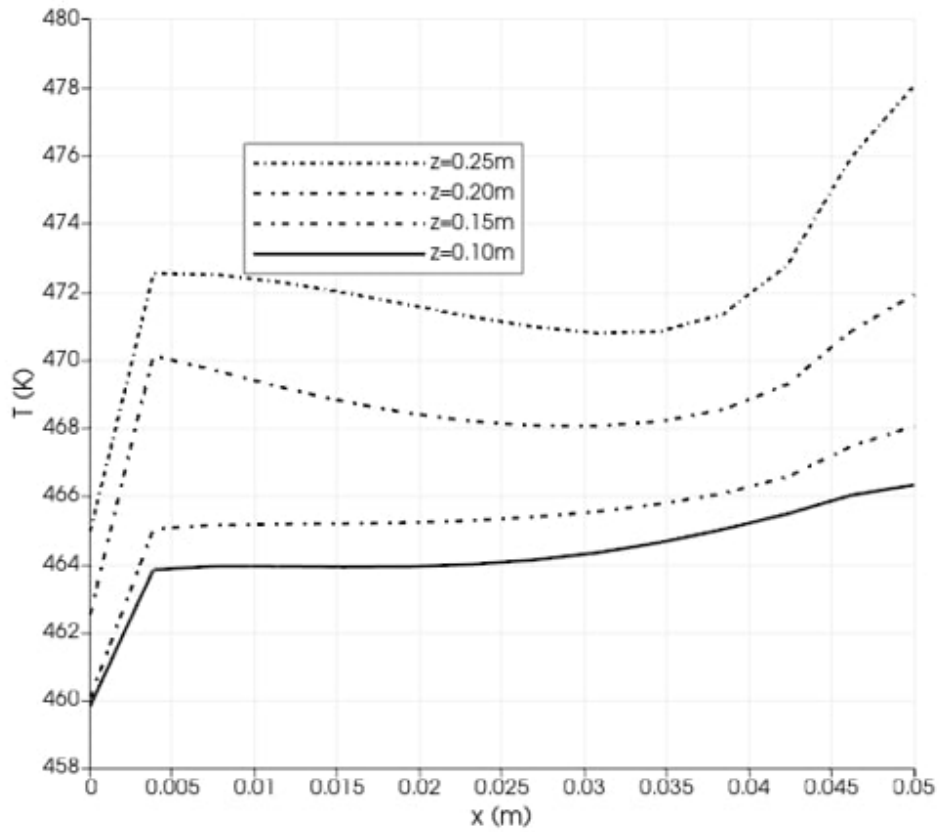
Şekil 4.6. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.



Şekil 4.7. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x eksenini boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.



Şekil 4.8. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca, $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ noktalarında hız dağılımları.



Şekil 4.9. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ noktalarında sıcaklık dağılımları.

4.2. Tek Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Keskin Köşeli Olması(TK)

Tasarımı gerçekleştirilen hava fritözün hava akış kanallarının keskin köşeli ve tek sepet olma durumu için yürütülen simülasyon sonuçları bu bölümde grafikler ile ayrıntılı sunulacaktır. Akış alanındaki merkezde xz düzleminde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.8. a.'da ve $z=0,1$ ile $0,20$ m noktaların da yz düzlemlerinde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.8. b.'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum hız $4,5$ m/s ile fan çıkış kenarında meydana gelmektedir. Şekilden yine görüleceği üzere fan çıkışlarında kompleks akış yapısı meydana gelmekte ve üst kanalın kapalı kenarlarında ters basınç gradyanı etkisiyle vorteks sistemleri meydana gelmektedir. Üst kanallardan akışkan yan kanallara hareketinde kompleks akış yapısı gözlemlenirken yan kanal boyunca akış göreceli olarak stabil olmakta ve yaklaşık olarak 2 m/s olmaktadır. Alt kanalda gözenekli yüzey etkisiyle akış da sıkışma meydana gelmekte ve akış hızı $3,6$ m/s hızına kadar çıkmaktadır. Sepet bölgesinde Şekil 4.8'den görüleceği üzere akış hızı açısından üç bölge gözlemlenmiştir. İlk yan kanallara yakın hâkim akış hızının yaklaşık olarak $1,2-2$ m/s

aralığında olduğu bölge, ikincisi hızın yaklaşık olarak 3,5*4,5 m/s aralığında merkeze yakın olduğu görece ince bir bölge, üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında hızın 1 m/s'den olduğu ve neredeyse sepetin %72 alanını bölgendir. xy düzlemlerindeki akış kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.b'den görüleceği üzere sepet bölgesinde hâkim akış hızı yaklaşık olarak 1 m/s'dir. Sepet kapalı yan yüzeyine yakın bölgede ise akış hızı 3,8 m/s kadar ulaşabilmektedir. Bu dramatik değişim sepet alt yüzeyinin gözenekli seçilmesi nedeniyle alt kanalda sıkışan akışın kapalı yüzey boyunca akmaya zorlanmasının birer sonucudur.

Akış alanındaki merkezde xz düzleminde sıcaklık kontürlerin dağılımı Şekil 4.9. a'da ve $z=0,1$ m ile 0,2 m noktalarında xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürleri Şekil 4.9. b'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi akış alanında maksimum sıcaklık rezistansın yakın çevresi hariç hemen rezistansın üstünde 500 K olarak gözlemlenmiştir. Yine şekilden görüleceği üzere akış alanındaki sıcaklık gradyanları büyük ölçüde akış yapısıyla paralellik göstermektedir. En büyük sıcaklık gradyanları üst kanalda gözlemlenmiştir. Bu kanalda üst kısımda sıcaklık yaklaşık olarak 500 K olurken kanalın sağ kısmında ise 483 K kadar düşebilmektedir. Şekil 4.9'de görüleceği üzere en büyük termal gerilmeye maruz dış yüzeyler üst ve yan yüzeylerdir. Sepet bölgesinde akış alanındaki en düşük sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Sepet bölgesindeki sıcaklık farkları açısından üç bölge gözlemlenebilir. İlki yan kanallara yakın ve sıcaklığın yaklaşık olarak 485 K olduğu bölge, ikincisi merkezde ve sepet bölgesinde maksimum sıcaklığı gözlemlendiği ince bir bölge ve üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında arasın da minimum sıcaklığın (460 K) meydana geldiği tam olarak sepet bölgesindeki vorteks sistemine denk gelen bölgedir. Sepet bölgesindeki xz düzlemindeki durum; xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.9.b'den görüleceği üzere benzerdir. Yine şekilden görüleceği üzere maksimum radyasyon yan yüzeyler üzerinde ve yakın bölgede meydana gelmektedir. Bu akış alanındaki radyasyonun bir sonucudur.

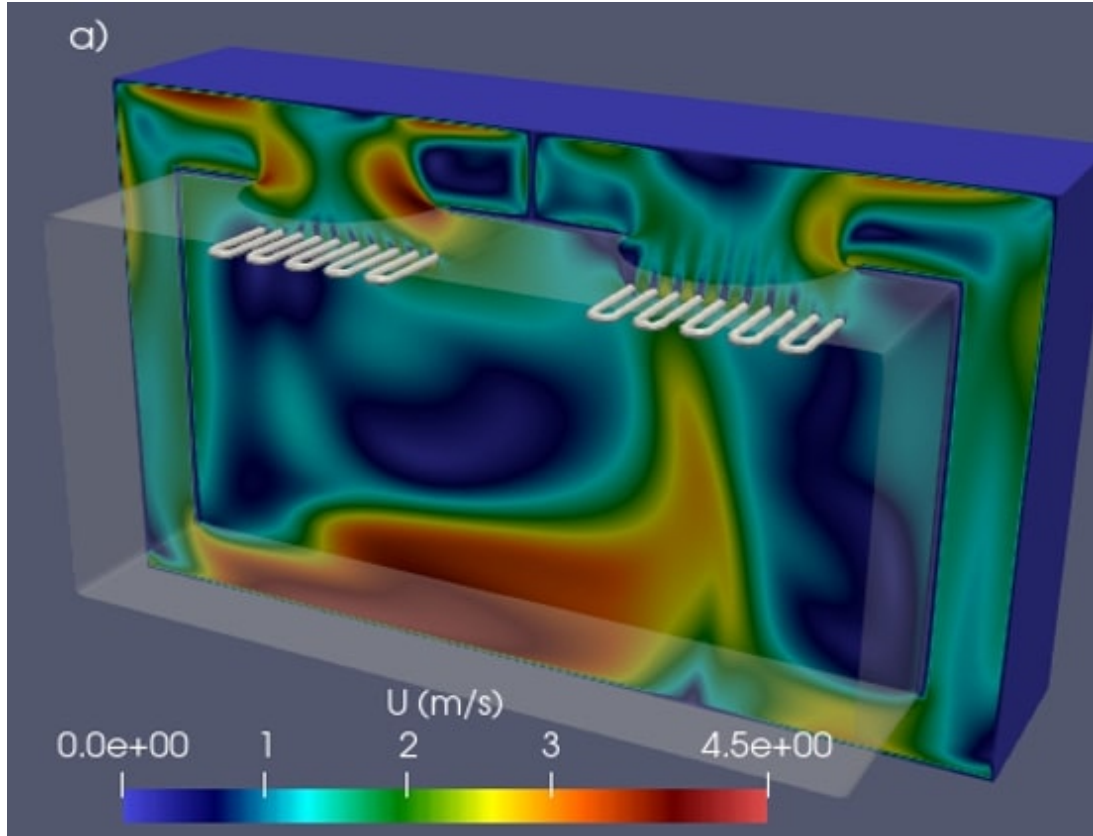
Akış alanındaki merkezde basınç kontürlerin dağılımı Şekil 4.10'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum basınç bekleneceği üzere fanın hemen üstünde meydana gelirken minimum basınç yine bekleneceği üzere fanın hemen altında meydana gelmektedir. En büyük basınç gradyanı ise üst kanalda gözlemlenmiştir. Sepet bölgesinde ise basınç aşağıdan yukarıya doğru kademeli olarak azalmaktadır. Akış alanındaki hız vektörlerinin dağılımı Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere akış alanında ikisi üst kanalı kapalı kısmında yakın diğer ikisi sepet bölgesinde ve neredeyse tüm sepet bölgesini kapsayan dört vorteks sistemi meydana gelmektedir. Yan ve alt kanal boyunca

hareket eden akışkanın büyük kısmı alt kanal kısmına yakın bir bölgede sepet bölgesine girmektedir. Bunu sonucu olarak diğerine nazaran daha büyük bir vorteks sistemi sepet bölgesinde meydana gelmektedir. Sepet bölgesinde meydana gelen büyük vorteks sistemi neredeyse akış alanının yüzde 80 kaplamakta ve dolayısıyla hız ve sıcaklık gradyanlarının dağılımını belirleyen ana parametreler olmaktadır.

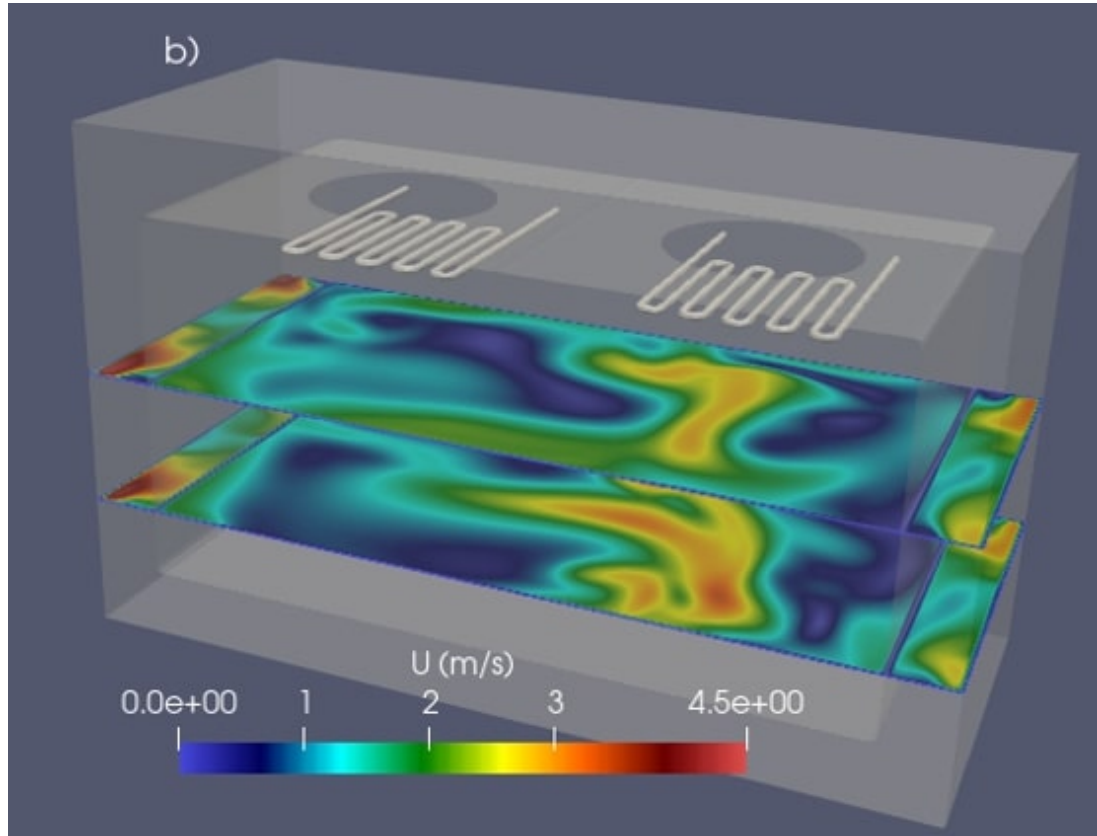
Hava fritözünün termal performansını gösteren ana parametre sepet bölgesindeki sıcaklık dağılımıdır. Şekil 4.9'dan görüleceği üzere rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 464-488 K aralığında değişmektedir. Bu sıcaklık değişimlerini daha ayrıntılı gözlemleyebilmek için akış alanının $y=0,13$ m'de (merkez) zx düzleminde $z=0,1, 0,15, 0,2$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere $z=0,1$ noktasında yan kanala yakın bölgede yan kanalın ve radyasyon etkisiyle sıcaklık yaklaşık olarak 488 K iken $x=0,05$ m'ye doğru dramatik düşmekte ve yaklaşık olarak 478 K düşmektedir. Daha sonra $x=0,13$ m doğru dramatik yükselmekte ve 486 K ulaşmaktadır. $x=0,15$ m kadar yanı kısa bir mesafede dramatik olarak 472 K kadar düşmektedir. Bu dramatik düşüşten sonra düşük bir gradyanda $x=0,5$ m kadar 466 K kadar düşmekte ve daha sonra sepet bölgesinin sağ yan yüzeyine doğru dramatik olarak 476 K kadar yükselmektedir. Şekil 4.12'den görüleceği üzere $z=0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında da sıcaklık $z=0,10$ m noktasına yaklaşık olarak benzer trend göstermektedir.

Sepetin sol kapalı kanalda $z=0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.13. a'da ve hız profilleri Şekil 4.13. b'de gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki 90 derecelik dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneneği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilden görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m'de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız radyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Sağ kapalı kanalda $z=0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profillerinin gösterildiği Şekil 4.13. a'da görüleceği üzere tüm eksenlerde dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x=0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanının $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.

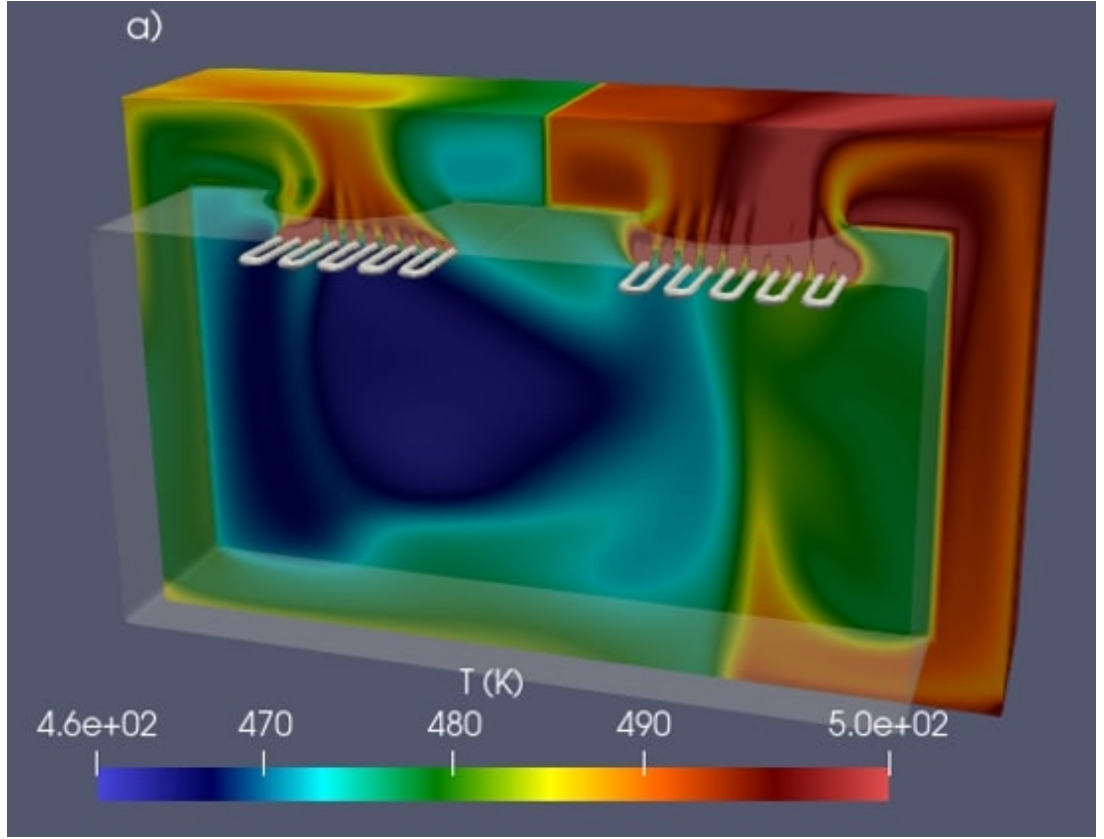
Sepetin sağ kapalı kanalda $z=0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.14. a'da ve hız profilleri Şekil 4.14. b'de gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki 90 derecelik dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneneği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilden görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m'de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız radyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Sağ kapalı kanalda $z=0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profillerinin gösterildiği Şekil 4.14. a'da görüleceği üzere tüm eksenlerde dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x=0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanının $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.



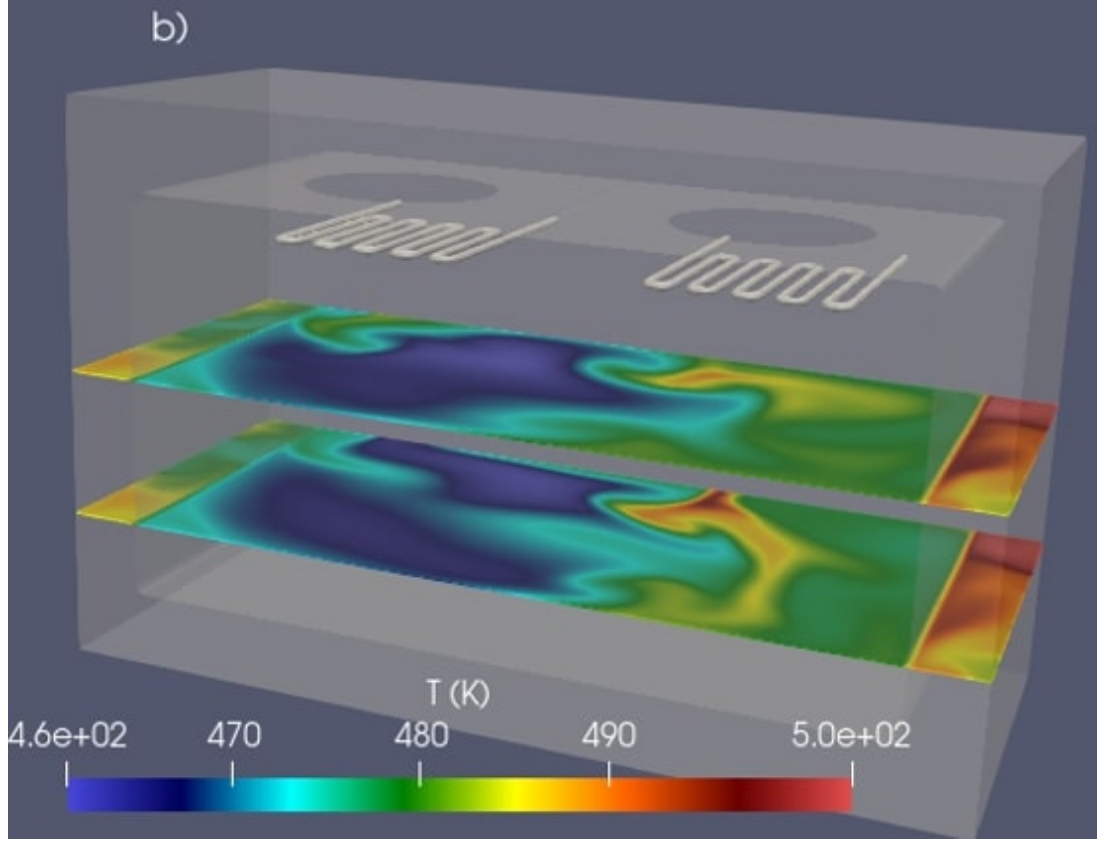
Şekil 4.10. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.



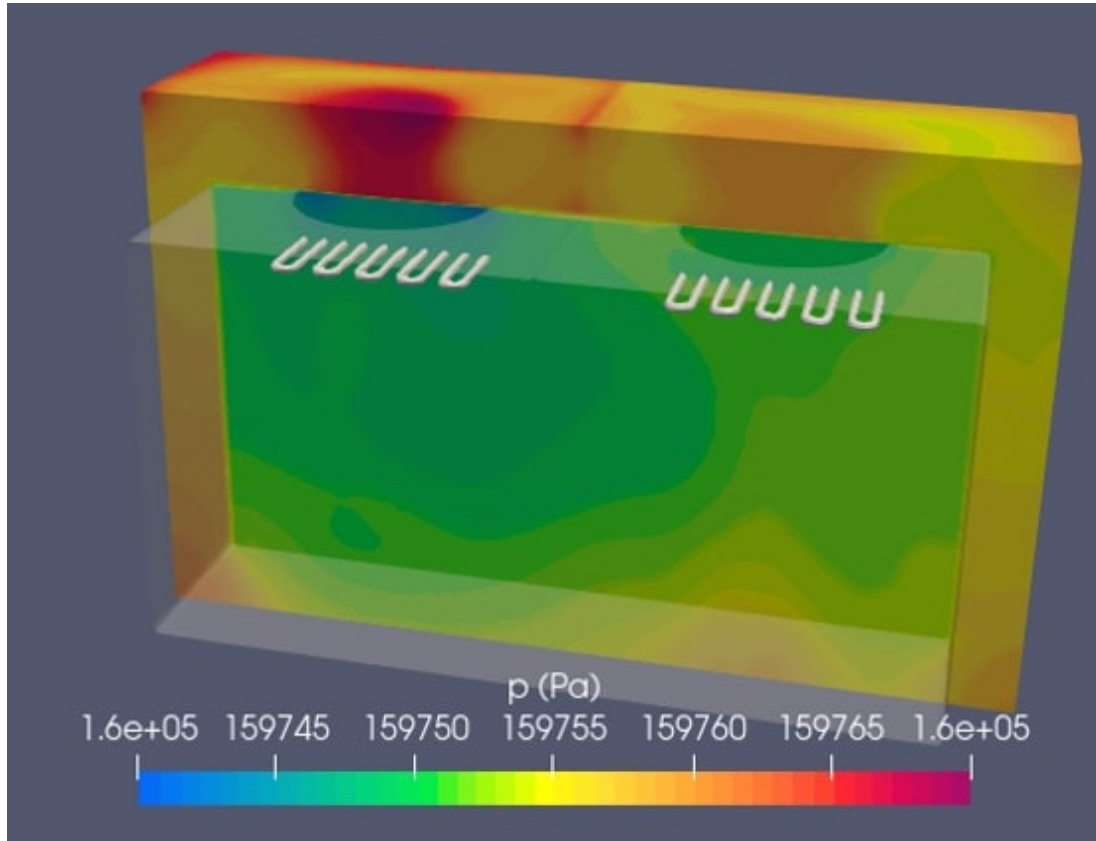
Şekil 4.11. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması b) $z=0,1$ ile $0,25$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.



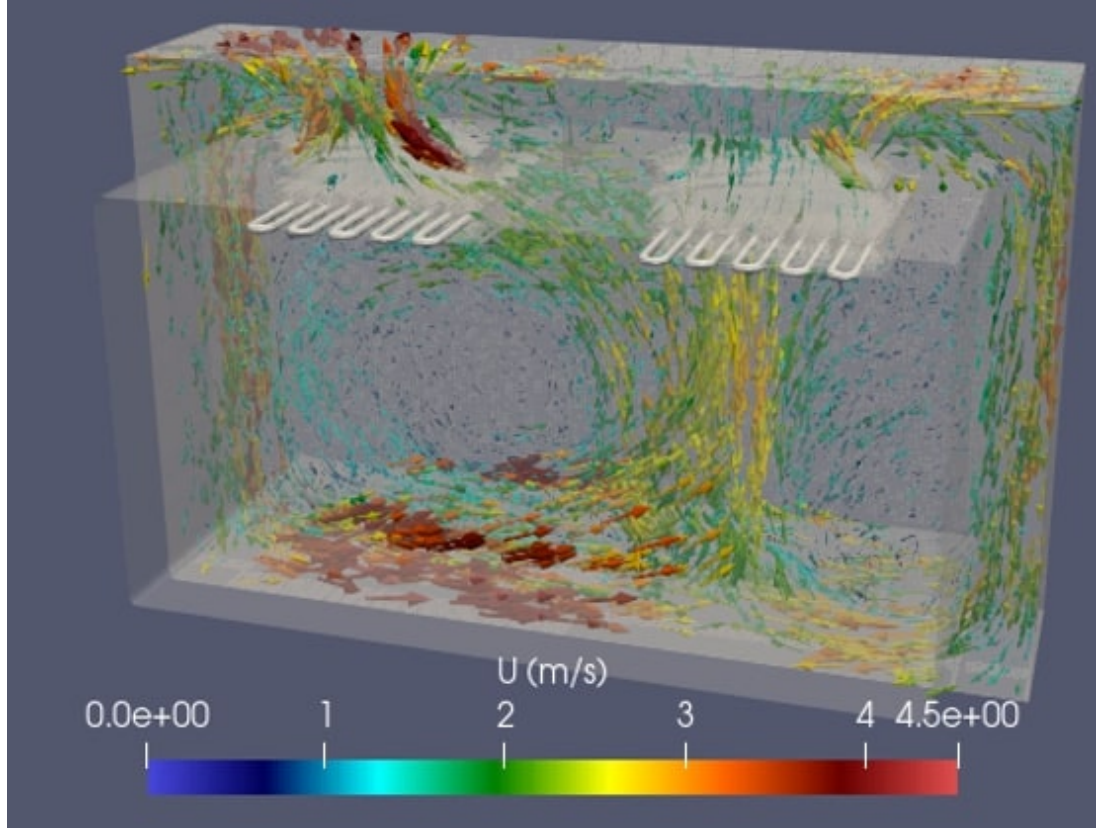
Şekil 4.12. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.



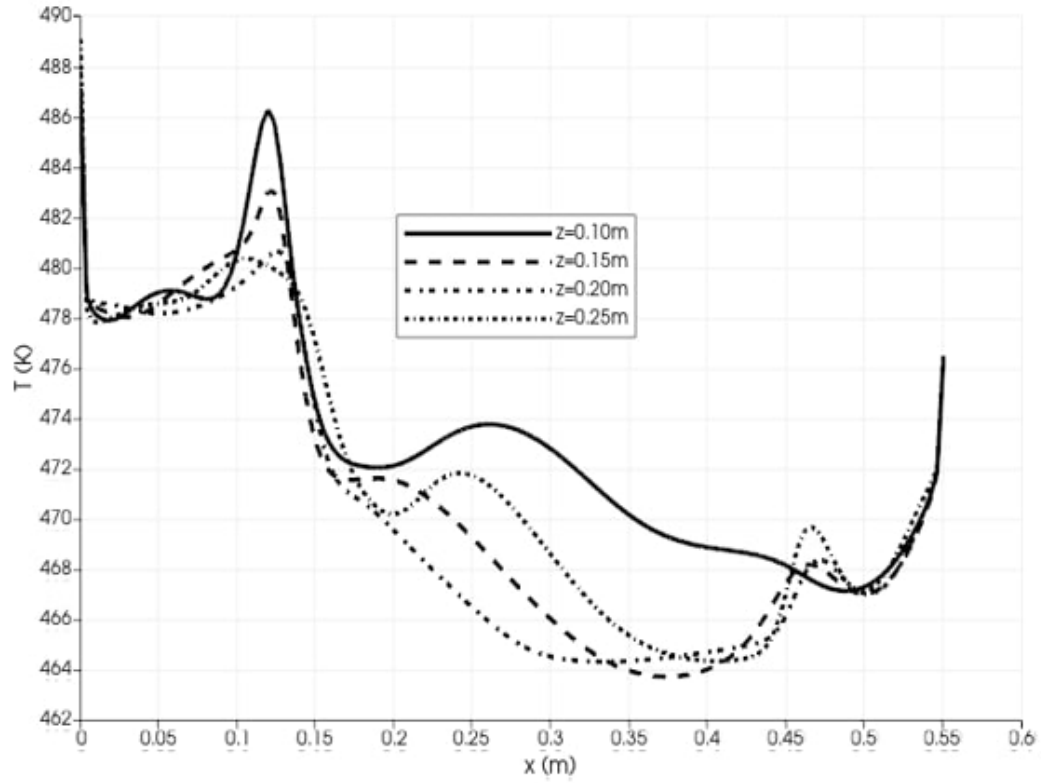
Şekil 4.13. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde sıcaklık kontürleri.



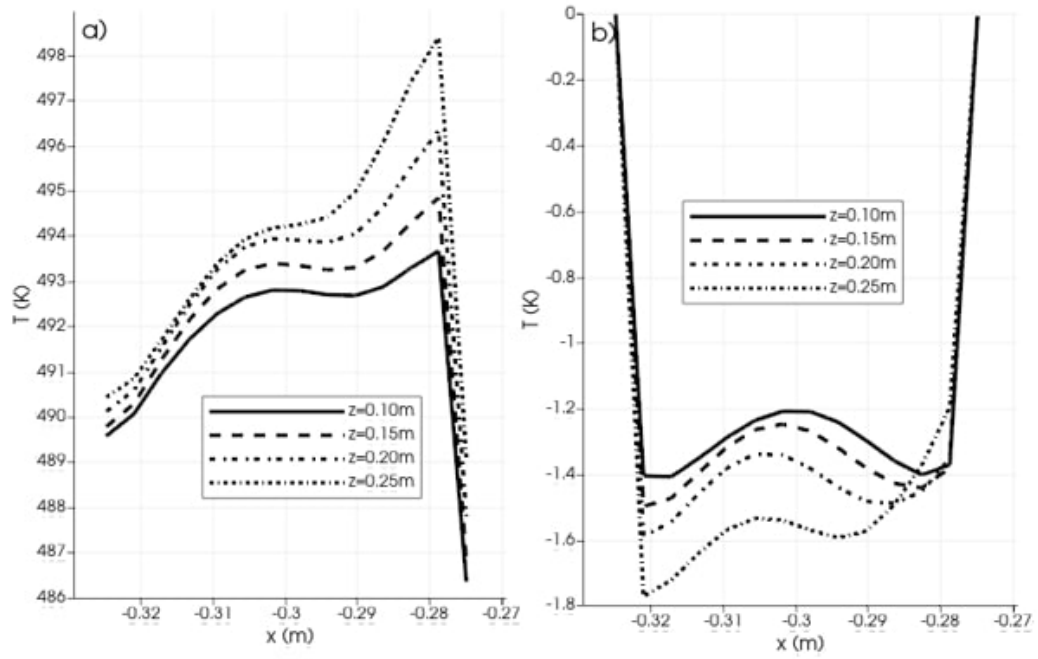
Şekil 4.13. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.



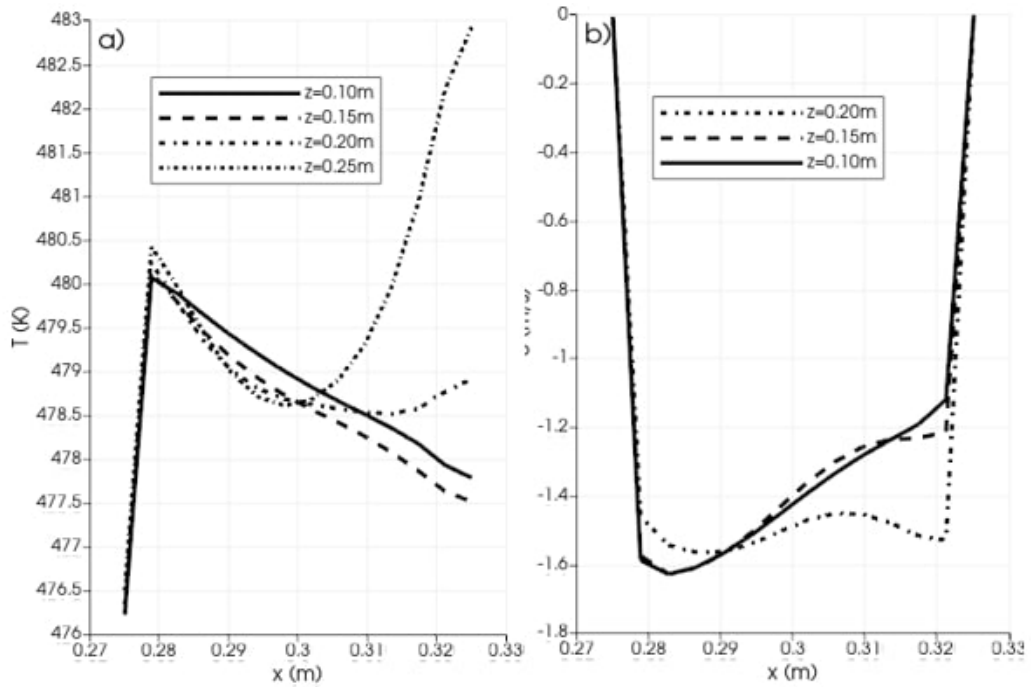
Şekil 4.14. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.



Şekil 4.15. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x eksenı boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.



Şekil 4.16. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde soldaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.



Şekil 4.17. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sağdaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.

4.3. İki Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Yuvarlak Köşeli Olması (İY)

Tasarımı gerçekleştirilen hava fritözün hava akış kanallarının yuvarlak köşeli ve iki sepet olma durumu için yürütülen simülasyon sonuçları bu bölümde grafikler ile ayrıntılı sunulacaktır. Akış alanındaki merkezde xz düzleminde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.15. a.'da ve $z=0,1$ ile $0,20$ m noktaların da yz düzlemlerinde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.15. b.'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum hız $6,5$ m/s ile fan çıkış kenarında meydana gelmektedir. Keskin köşeli tasarıma nazaran maksimum hızda $1,5$ m/s kadar bir artış söz konusudur. Şekilden yine görüleceği üzere fan çıkışında kompleks bir akış yapısı meydana gelmekte ve üst kanalın kapalı kenarında ters basınç gradyanı etkisiyle bir vorteks sistemi meydana gelmektedir. Üst kanaldan akışkan yan kanala hareketinde kompleks bir akış yapısı gözlemlenirken yan kanal boyunca akış göreceli olarak stabil olmakta ve yaklaşık olarak $2,3$ m/s olmaktadır. Alt kanalda gözenekli yüzey etkisiyle akış da sıkışma meydana gelmekte ve akış hızı 4 m/s hızına kadar çıkmaktadır. Sepet bölgesinde Şekil 4.15'den görüleceği üzere akış hızı açısından üç bölge gözlemlenmiştir. İlk yan kanala yakın hâkim akış hızının yaklaşık olarak $1-2$ m/s aralığında olduğu bölge, ikincisi hızın yaklaşık olarak $5*6,5$ m/s aralığında kapalı yüzeye yakın olduğu görece ince bir bölge, üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında hızın $1,2$ m/s'den olduğu ve neredeyse sepetin %73 alanını kapsayan bölgedir. xy düzlemlerindeki akış kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.15. b'den görüleceği üzere sepet bölgesinde hâkim akış hızı yaklaşık olarak $1,2$ m/s'dir. Sepet kapalı yan yüzeyine yakın bölgede ise akış hızı $5,5$ m/s kadar ulaşabilmektedir. Bu dramatik değişim sepet alt yüzeyinin gözenekli seçilmesi nedeniyle alt kanalda sıkışan akışın kapalı yüzey boyunca akmaya zorlanmasının birer sonucudur.

Akış alanındaki merkezde xz düzleminde sıcaklık kontürlerinin dağılımı Şekil 4.16. a.'da ve $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin dağılımı Şekil 4.16. b'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi akış alanında maksimum sıcaklık rezistansın yakın çevresi hariç hemen rezistansın üstünde 460 K olarak gözlemlenmiştir. Yine şekilden görüleceği üzere akış alanındaki sıcaklık gradyanları büyük ölçüde akış yapısıyla paralellik göstermektedir. En büyük sıcaklık gradyanları üst kanalda gözlemlenmiştir. Bu kanalda üst kısımda sıcaklık yaklaşık olarak 460 K olurken kanalın sağ kısmında ise 455 K kadar düşebilmektedir. Şekil 4.16'da görüleceği üzere en büyük termal gerilmeye maruz dış yüzeyler üst ve yan yüzeylerdir. Sepet bölgesinde akış alanındaki en düşük sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Sepet bölgesindeki sıcaklık farkları açısından üç bölge gözlemlenebilir. İlki yan kanala yakın ve sıcaklığın yaklaşık olarak 460 K olduğu bölge, ikincisi kapalı yüzeye

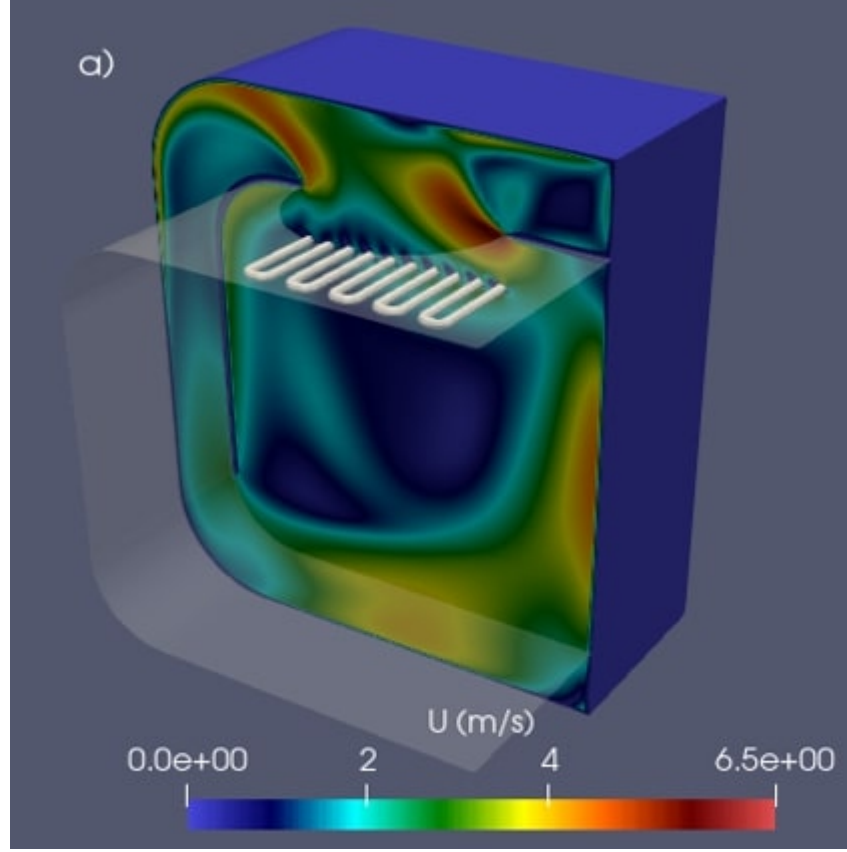
yakın ve sepet bölgesinde maksimum sıcaklığı gözlemlendiği ince bir bölge ve üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında arasın da minimum sıcaklığın (430 K) meydana geldiği tam olarak sepet bölgesindeki vorteks sistemine denk gelen bölgedir. Sepet bölgesindeki xz düzlemindeki durum; xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.2.b'den görüleceği üzere benzerdir. Yine şekilde görüleceği üzere maksimum radyasyon yan yüzeyler üzerinde ve yakın bölgede meydana gelmektedir. Bu akış alanındaki radyasyonun bir sonucudur.

Akış alanındaki merkezde basınç kontürlerin dağılımı Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi akış alanında maksimum basınç bekleneneği üzere fanın hemen üstünde meydana gelirken minimum basınç yine bekleneneği üzere fanın hemen altında meydana gelmektedir. En büyük basınç gradyanı ise üst kanalda gözlemlenmiştir. Sepet bölgesinde ise basınç aşağıdan yukarıya doğru kademeli olarak azalmaktadır. Akış alanındaki hız vektörlerinin dağılımı Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere akış alanında biri üst kanalı kapalı kısmında yakın diğeri yaklaşık olarak sepetin merkezine yakın iki vorteks sistemi meydana gelmektedir. Yan ve alt kanal boyunca hareket eden akışkanın büyük kısmı alt kanalın kısmına yakın bir bölgede sepet bölgesine girmektedir. Bunun sonucu olarak diğere nazaran daha büyük bir vorteks sistemi sepet bölgesinin merkezinde meydana gelmektedir. Sepet bölgesinde meydana gelen büyük vorteks sistemi neredeyse akış alanının yüzde 70 kaplamakta ve dolayısıyla hız ve sıcaklık gradyanlarının dağılımını belirleyen ana parametre olmaktadır.

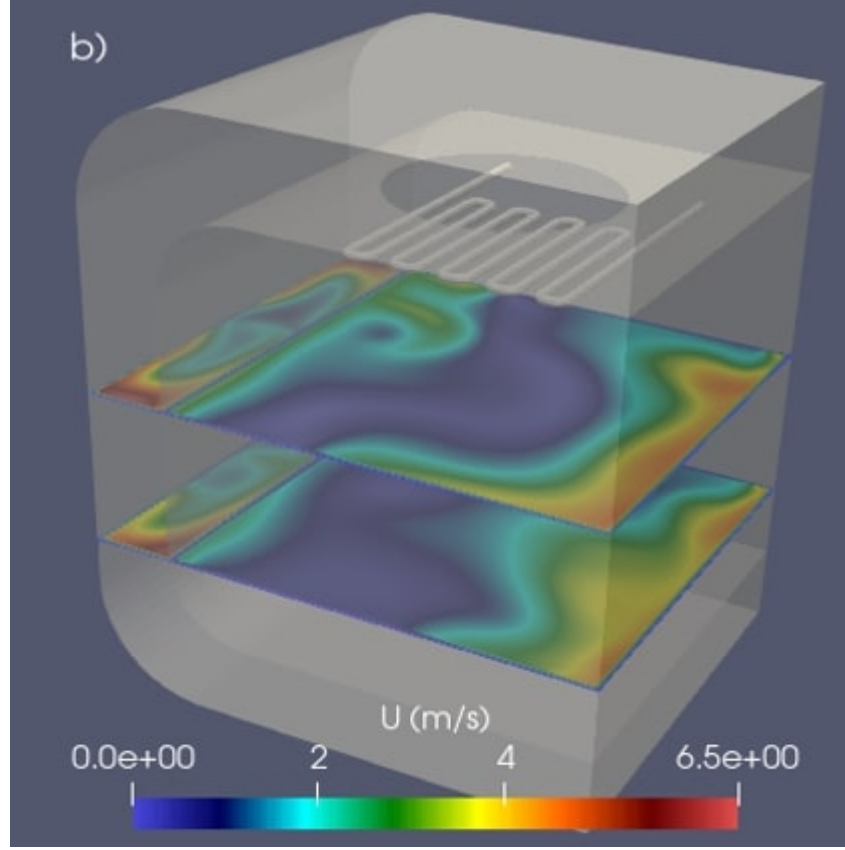
Hava fritözünün termal performansını gösteren ana parametre sepet bölgesindeki sıcaklık dağılımıdır. Şekil 4.16'dan görüleceği üzere rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 454-435 K aralığında değişmektedir. Bu sıcaklık değişimlerini daha ayrıntılı gözlemleyebilmek için akış alanının $y=0,13$ m'de (merkez) xz düzleminde $z=0,1, 0,15, 0,2$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere $z=0,1$ m noktasında yan kanala yakın bölgede yan kanalın ve radyasyon etkisiyle sıcaklık yaklaşık olarak 454 K iken merkeze doğru dramatik olarak $x=0,12$ m'de 442 K düşmektedir. $x=0,2$ m kadar stabil bir davranış gösterdikten sonra yine dramatik olarak $x=0,25$ m kadar yine dramatik olarak 438 K kadar düşmektedir. Bu noktadan sonra ise kapalı yüzeye doğru sıcaklık 448 K kadar çıkmaktadır. Söz konusu noktada ($z=0,1$ m) sıcaklık üç düşüş bir yükseliş olmak üzere üç farklı davranış göstermektedir. $z=0,15$ m noktasında yan kanal yüzeyine yakın kenar bölgelerde sıcaklık 453 K iken $x=0,12$ m noktasına doğru dramatik olarak 433K kadar düşmektedir. Bu noktadan sonra $x=0,22$ m mesafesine dramatik olarak 445K

yükselmektedir. Şekilde görüleceği üzere $z=0,15$ m noktasında sıcaklık gradyanında dört dramatik sıcaklık gradyanı gözlemlenmektedir. Bu dramatik sıcaklık gradyanı sonucu yan yüzeyler hariç bir pik iki dip nokta meydana gelmiştir. Söz konusu trend $z=0,2$ ve $0,25$ m noktaları içinde benzerdir. Bu sıcaklık dağılımındaki bu eğilimler sepet bölgesinde meydana gelen büyük vorteks sisteminin bir sonucudur.

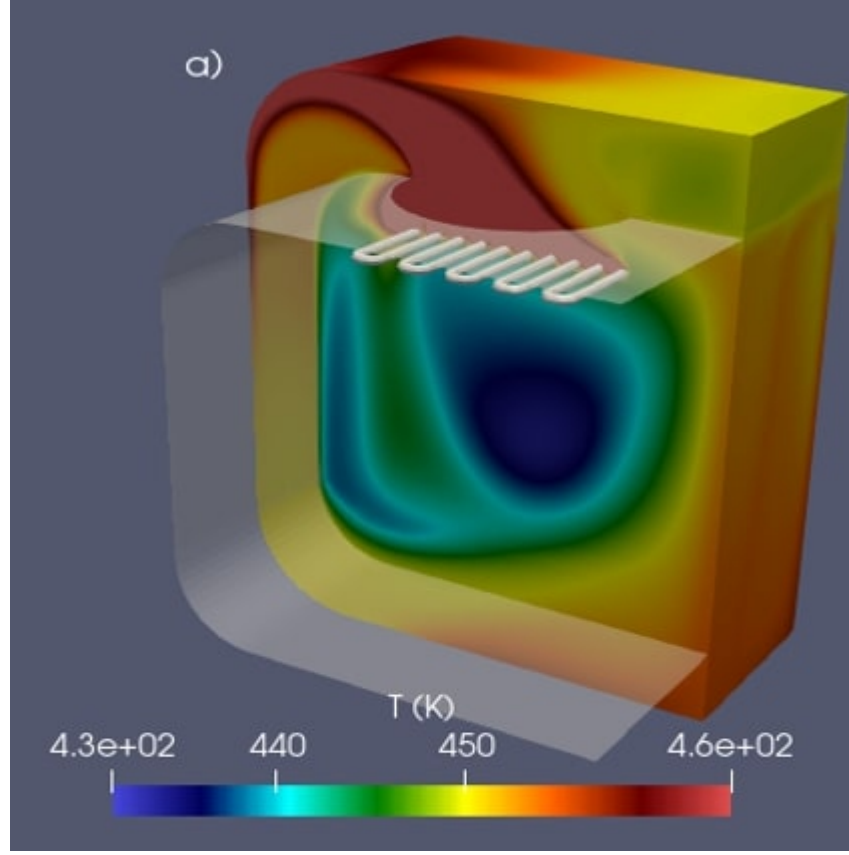
Merkezde kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca hız profilleri Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki 90 derecelik dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneneği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilde görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m’de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız radyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Merkezde kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Tüm eksenlerde bekleneneği üzere dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x= 0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanının $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.



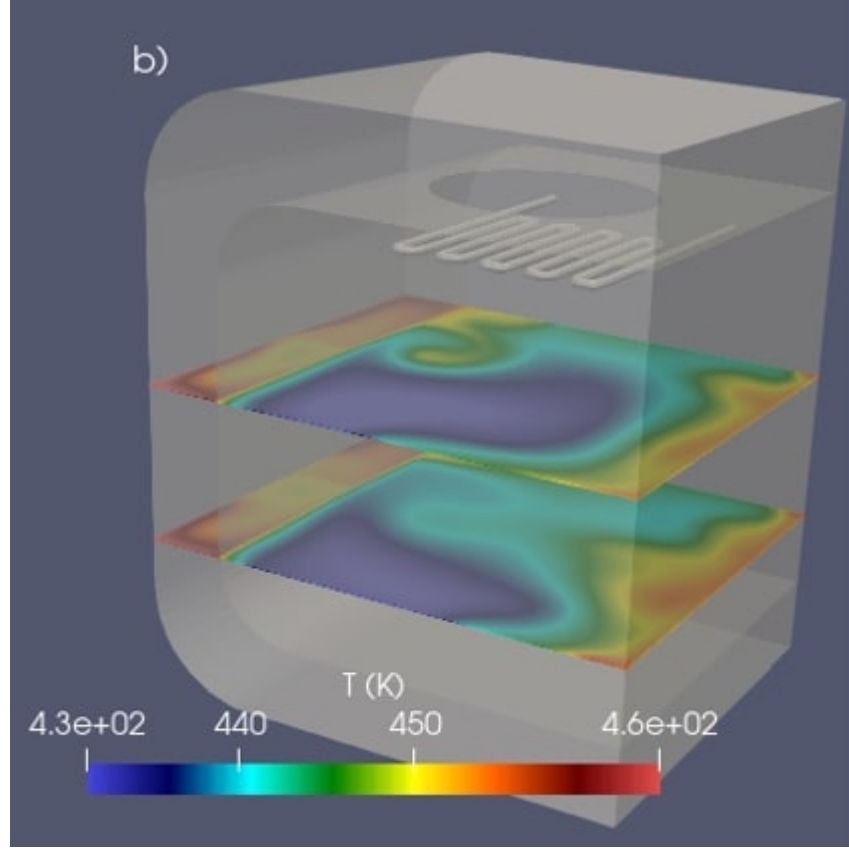
Şekil 4.18. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.



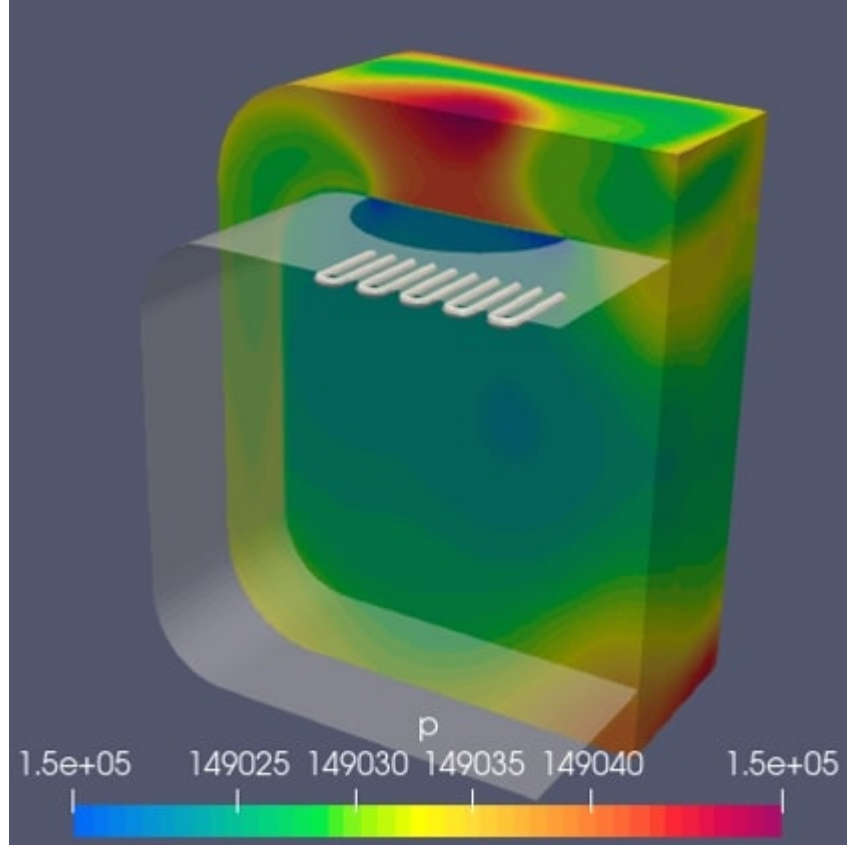
Şekil 4.19. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,25$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.



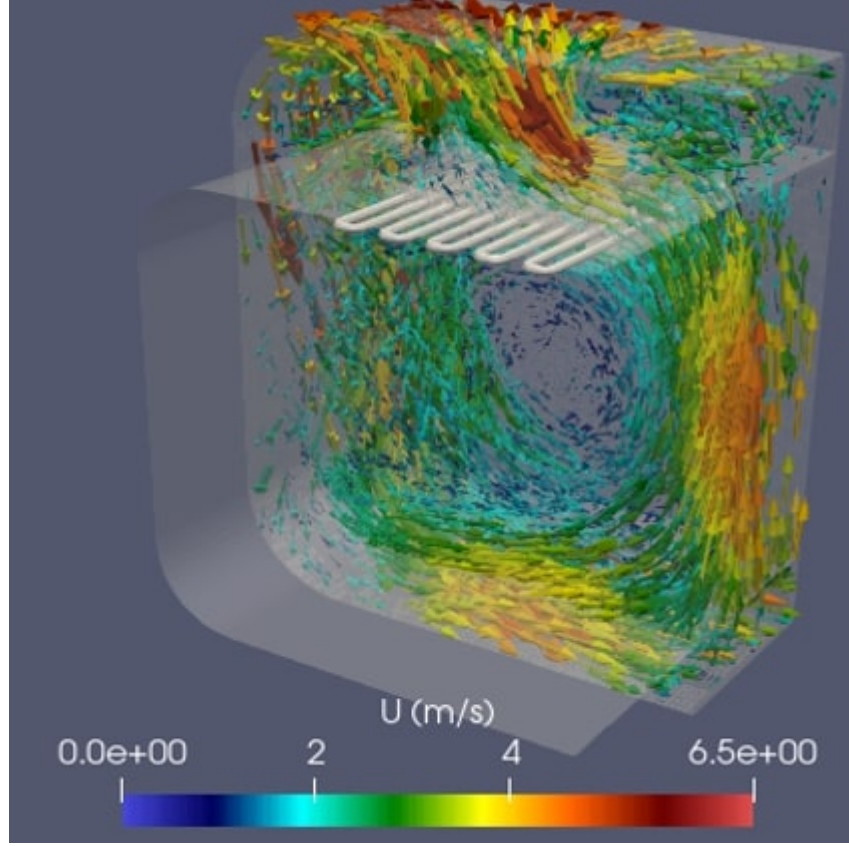
Şekil 4.20. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.



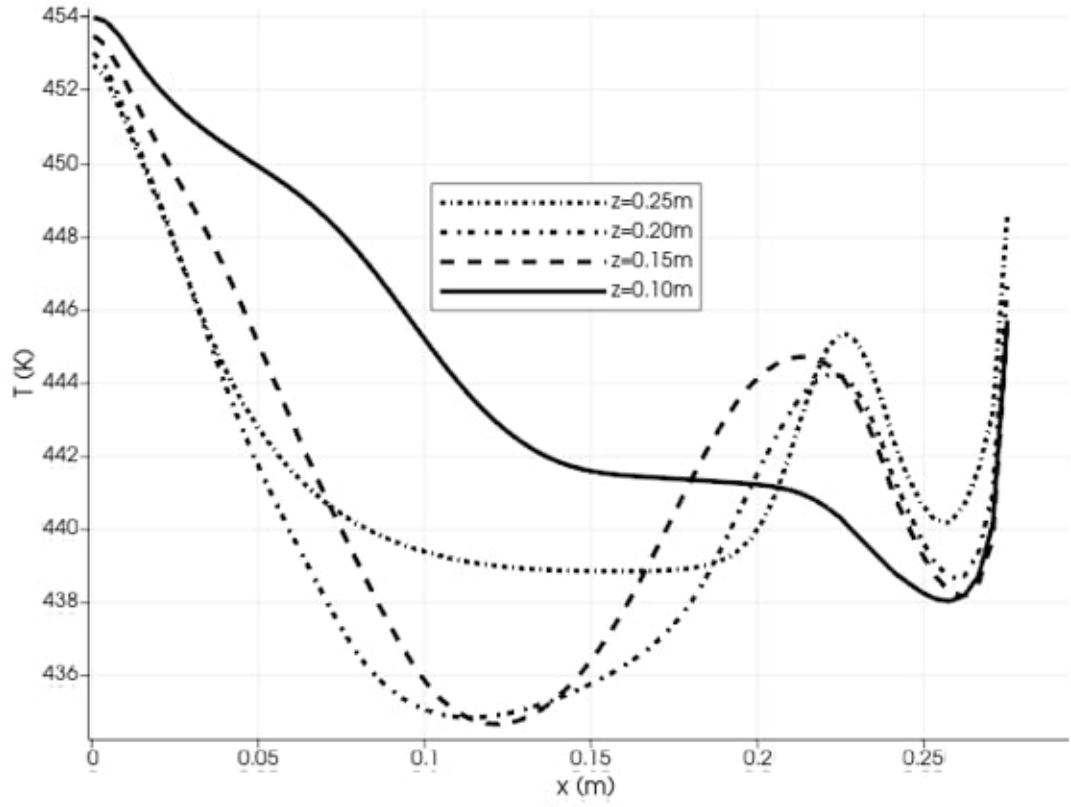
Şekil 4.21. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde sıcaklık kontürleri.



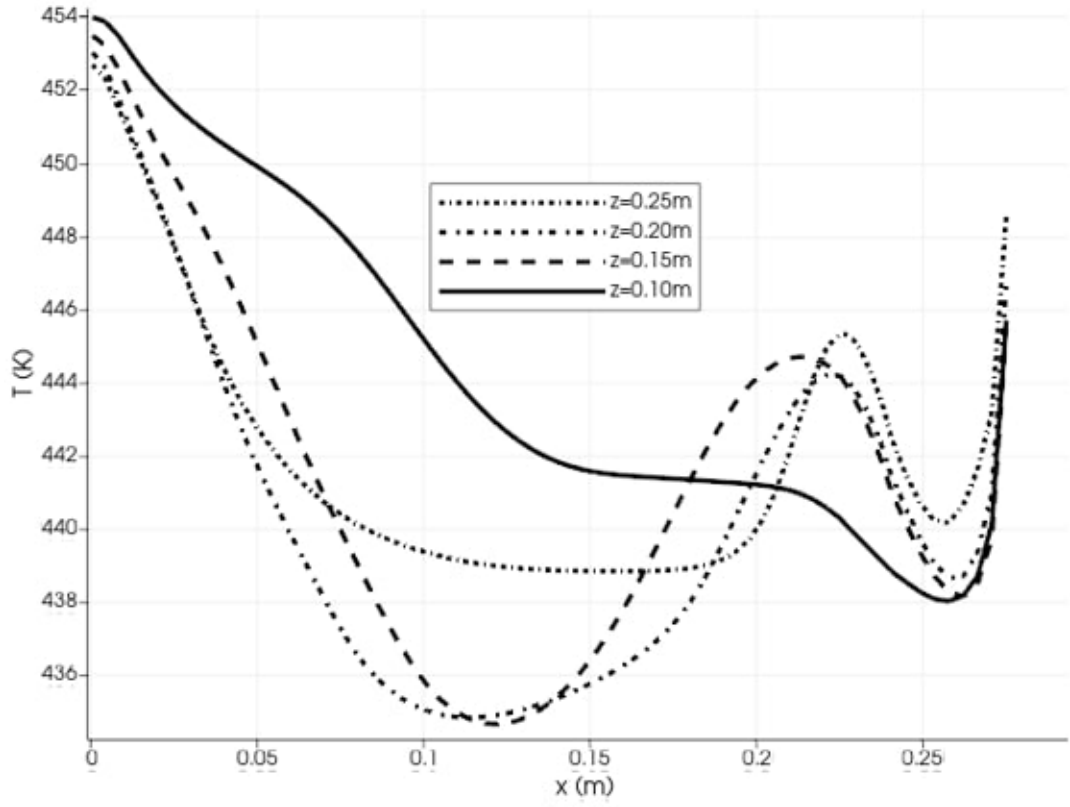
Şekil 4.22. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının radius olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.



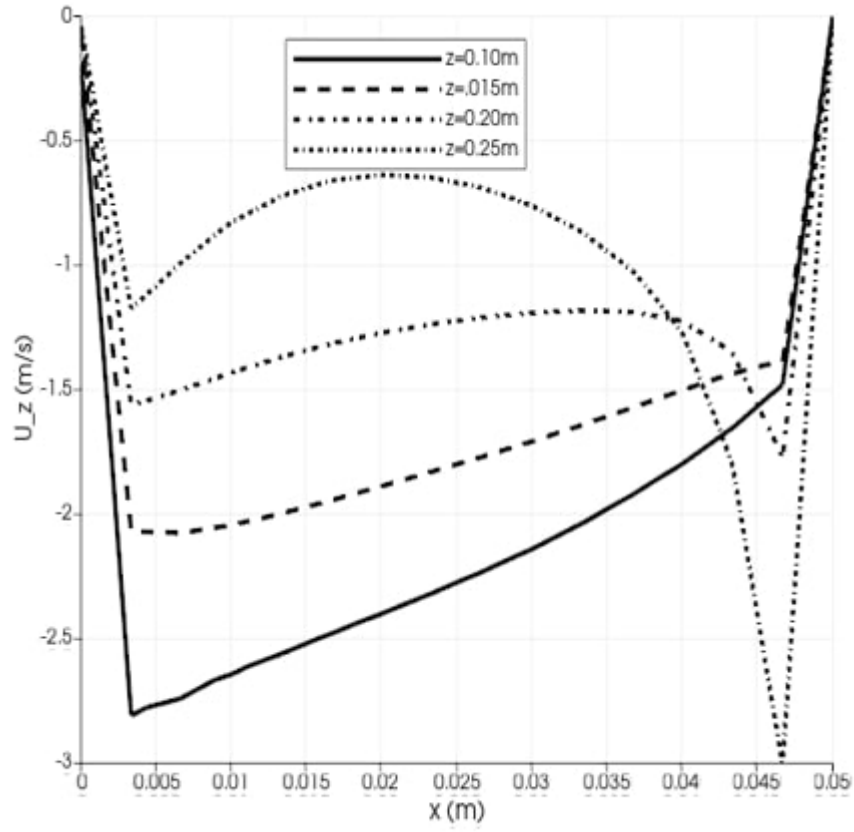
Şekil 4.23. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.



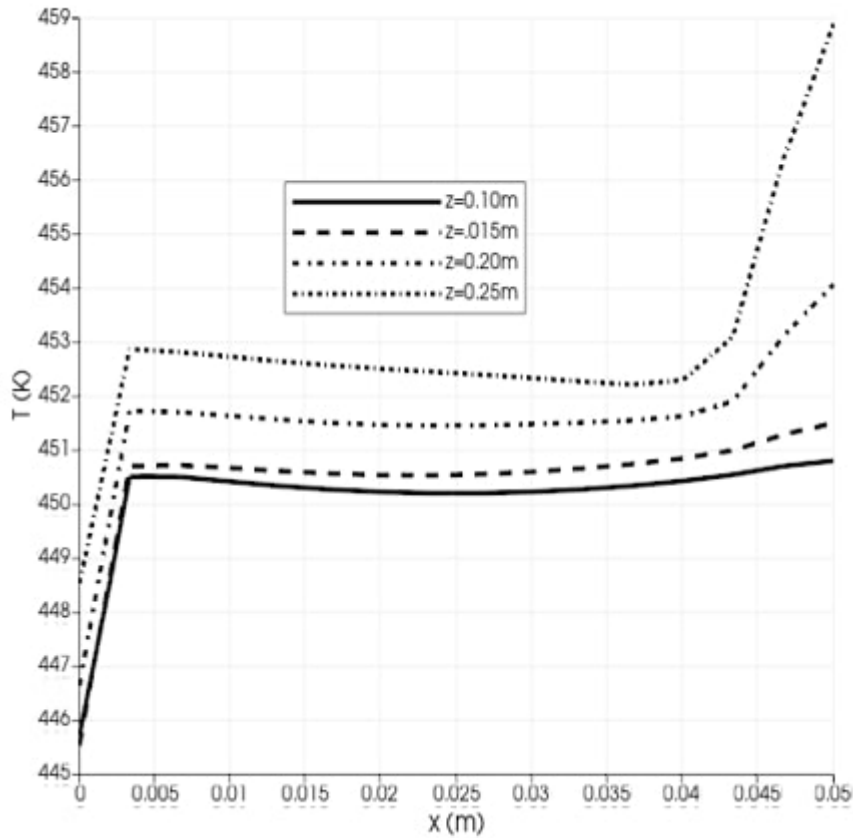
Şekil 4.24. iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x eksenı boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.



Şekil 4.25. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x eksenı boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.



Şekil 4.26. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında hız dağılımları.



Şekil 4.28. İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında sıcaklık dağılımları.

4.4. Tek Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Yuvarlak Köşeli Olması (TY)

Tasarımı gerçekleştirilen hava fritözün hava akış kanallarının yuvarlak köşeli ve tek sepet olma durumu için yürütülen simülasyon sonuçları bu bölümde grafikler ile ayrıntılı sunulacaktır. Akış alanındaki merkezde xz düzleminde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.22. a.'da ve $z=0,1$ m ile $0,20$ m noktaların da yz düzlemlerinde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.22. b.'de gösterilmiştir. Keskin köşeli tasarımına nazaran maksimum hızda $1,7$ m/s bir artış meydana gelmektedir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum hız $6,2$ m/s ile fan çıkış kenarında meydana gelmektedir. Şekilden yine görüleceği üzere fan çıkışlarında diğer tasarımlara benzer şekilde kompleks akış yapısı meydana gelmekte ve üst kanalın kapalı kenarlarında ters basınç gradyanı etkisiyle vorteks sistemleri meydana gelmektedir. Üst kanallardan akışkan yan kanallara hareketinde kompleks akış yapısı gözlemlenirken yan kanal boyunca akış göreceli olarak stabil olmakta ve yaklaşık olarak $2,1$ m/s

olmaktadır. Alt kanalda gözenekli yüzey etkisiyle akış da sıkışma meydana gelmekte ve akış hızı 3,5 m/s hızına kadar çıkmaktadır. Sepet bölgesinde Şekil 4.22'den görüleceği üzere akış hızı açısından üç bölge gözlemlenmiştir. İlk yan kanallara yakın hâkim akış hızının yaklaşık olarak 1,2-2 m/s aralığında olduğu bölge, ikincisi hızın yaklaşık olarak 3,5-4,3 m/s aralığında merkeze yakın olduğu görece ince bir bölge, üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında hızın 1 m/s'den olduğu ve neredeyse sepetin %65 alanına sahip bölgedir. xy düzlemlerindeki akış kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.22.b'den görüleceği üzere sepet bölgesinde hâkim akış hızı yaklaşık olarak 1,1 m/s'dir. Sepet kapalı yan yüzeyine yakın bölgede ise akış hızı 3,8 m/s kadar ulaşabilmektedir. Bu dramatik değişim sepet alt yüzeyinin gözenekli seçilmesi nedeniyle alt kanalda sıkışan akışın kapalı yüzey boyunca akmaya zorlanmasının birer sonucudur.

Akış alanındaki merkezde xz düzleminde sıcaklık kontürlerinin dağılımı Şekil 4.23. a'da ve $z=0,1$ m ile $0,2$ m noktalarında xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin Şekil 4.23. b'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi akış alanında maksimum sıcaklık rezistansın yakın çevresi hariç hemen rezistansın üstünde 480 K olarak gözlemlenmiştir. Yine şekilde görüleceği üzere akış alanındaki sıcaklık gradyanları büyük ölçüde akış yapısıyla paralellik göstermektedir. En büyük sıcaklık gradyanları üst kanalda gözlemlenmiştir. Bu kanalda üst kısımda sıcaklık yaklaşık olarak 480 K olurken kanalın sağ kısmında ise 482 K kadar düşebilmektedir. Şekil 4.23'de görüleceği üzere en büyük termal gerilmeye maruz dış yüzeyler üst ve yan yüzeylerdir. Sepet bölgesinde akış alanındaki en düşük sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Sepet bölgesindeki sıcaklık farkları açısından üç bölge gözlemlenebilir. İlki yan kanallara yakın ve sıcaklığın yaklaşık olarak 485 K olduğu bölge, ikincisi merkezde ve sepet bölgesinde maksimum sıcaklığı gözlemlendiği ince bir bölge ve üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında minimum sıcaklığın (460 K) meydana geldiği tam olarak sepet bölgesindeki vorteks sistemine denk gelen bölgedir. Sepet bölgesindeki xz düzlemindeki durum; xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.9.b'den görüleceği üzere benzerdir. Yine şekilde görüleceği üzere maksimum radyasyon yan yüzeyler üzerinde ve yakın bölgede meydana gelmektedir. Bu akış alanındaki radyasyonun bir sonucudur.

Akış alanındaki merkezde basınç kontürlerin dağılımı Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum basınç bekleneceği üzere fanın hemen üstünde meydana gelirken minimum basınç yine bekleneceği üzere fanın hemen altında meydana gelmektedir. En büyük basınç gradyanı ise üst kanalda gözlemlenmiştir. Sepet bölgesinde ise basınç aşağıdan yukarıya doğru

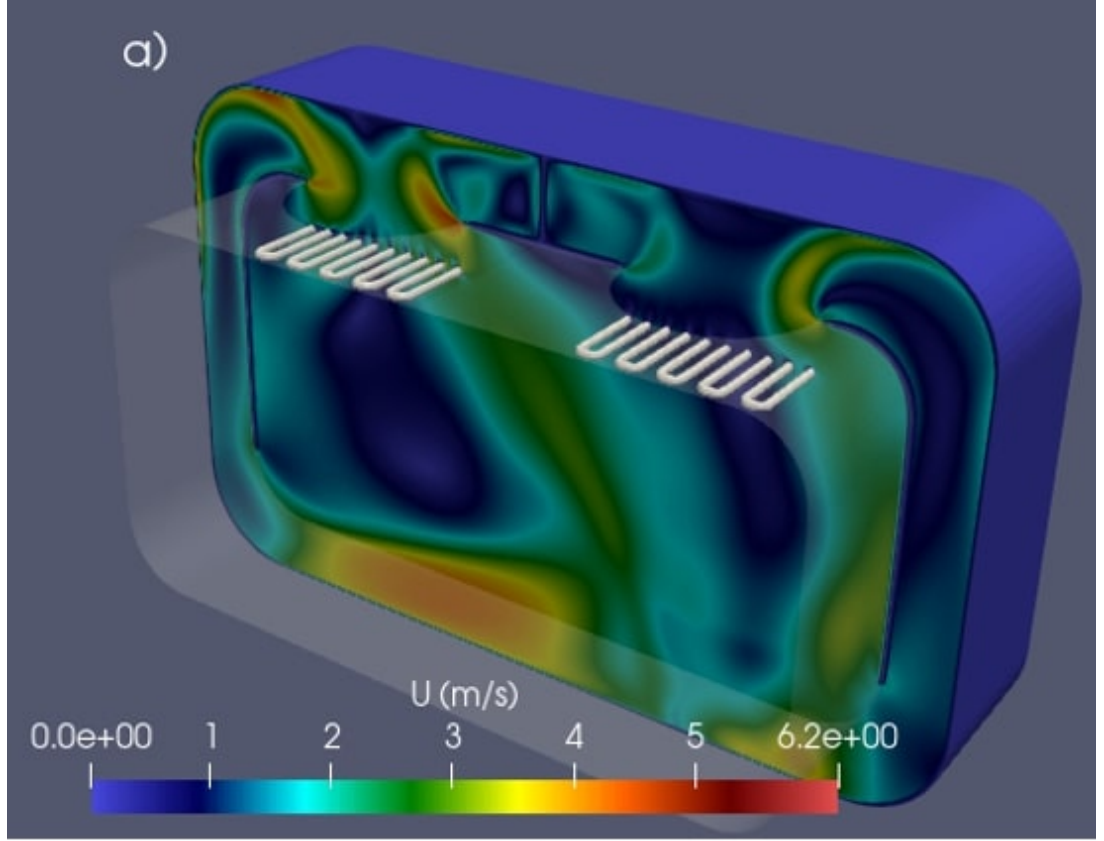
kademeli olarak azalmaktadır. Akış alanındaki hız vektörlerinin dağılımı Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere akış alanında ikisi üst kanalı kapalı kısmında yakın diğer ikisi sepet bölgesinde ve neredeyse tüm sepet bölgesini kapsayan dört vorteks sistemi meydana gelmektedir. Yan ve alt kanal boyunca hareket eden akışkanın büyük kısmı alt kanalın kısına yakın bir bölgede sepet bölgesine girmektedir. Bunun sonucu olarak diğerine nazaran daha büyük bir vorteks sistemi sepet bölgesinde meydana gelmektedir. Sepet bölgesinde meydana gelen büyük vorteks sistemi neredeyse akış alanının yüzde 82 kaplamakta ve dolayısıyla hız ve sıcaklık gradyanlarının dağılımını belirleyen ana parametreler olmaktadır.

Hava fritözünün termal performansını gösteren ana parametre sepet bölgesindeki sıcaklık dağılımıdır. Şekil 4.23’den görüleceği üzere rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 464-488 K aralığında değişmektedir. Bu sıcaklık değişimlerini daha ayrıntılı gözlemleyebilmek için akış alanının $y=0,13\text{m}$ ’de (merkez) zx düzleminde $z=0,1, 0,15, 0,2$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere $z= 0,1$ noktasında yan kanala yakın bölgede yan kanalın ve radyasyon etkisiyle sıcaklık yaklaşık olarak 464 K iken $x=0,1\text{m}$ ’ye doğru düşük bir gradyanla 450 K düşmektedir. Bu noktadan sonra yine düşük bir gradyanla yaklaşık olarak $x=0,2\text{m}$ mesafesinde 464 K yükselmektedir. Bu noktadan sonra ise $x=0,37$ m doğru sıcaklık dramatik olarak 441 K kadar düşmekte ve bu noktadan sonra sağ yan yüzeye doğru dramatik olarak 464 K kadar yükselmektedir. Benzer trend $z=0,15, 0,2$ ve $0,25$ m noktalarında farklı gradyanlar ile söz konusudur. Bu benzer eğilimler sepet bölgesinde meydana gelen iki vorteks sisteminin bir sonucudur.

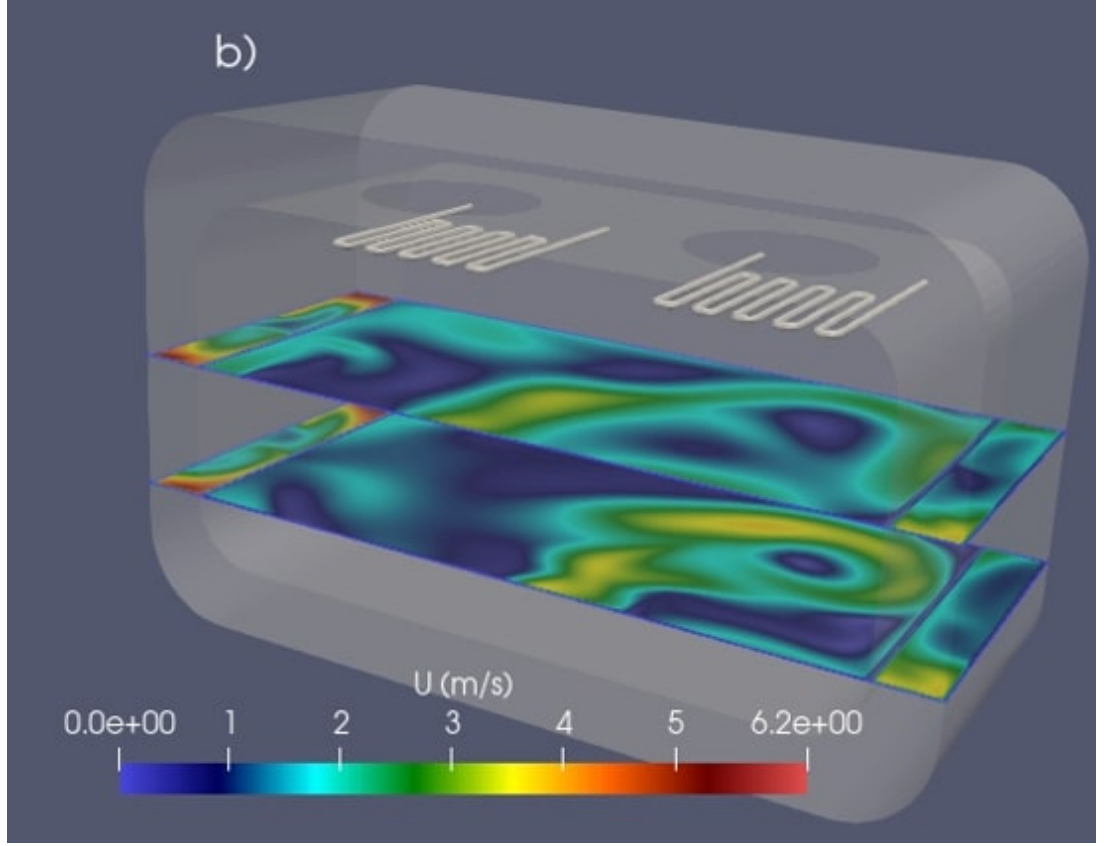
Sepetin sol kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.27. a’da ve hız profilleri Şekil 4.27. b’de gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki yuvarlak köşeli dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneceği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilden görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m’de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız radyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Sağ kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profillerinin gösterildiği Şekil 4.27. a’da görüleceği üzere tüm eksenlerde dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir.

Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x = 0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanın $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.

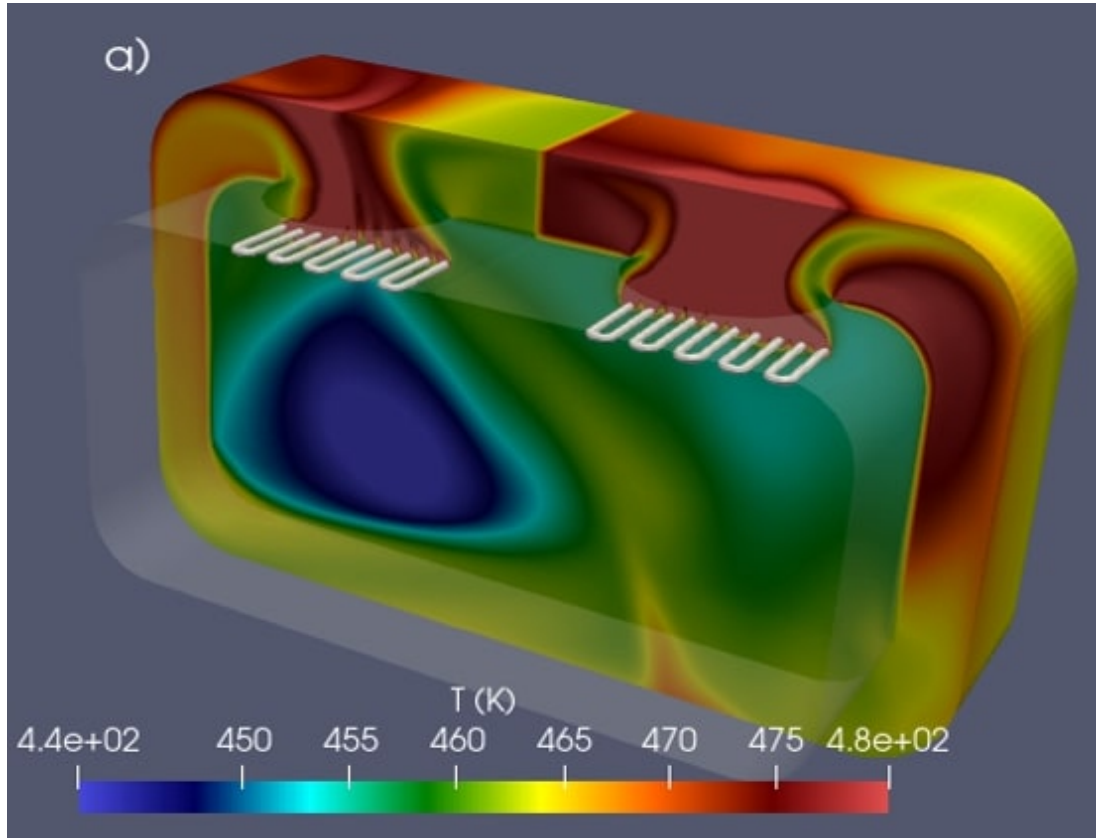
Sepetin sağ kapalı kanalda $z = 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.28. a'da ve hız profilleri Şekil 4.28. b'de gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki yuvarlak köşeli dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneceği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilden görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m'de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız radyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Sağ kapalı kanalda $z = 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profillerinin gösterildiği Şekil 4.28. a'da görüleceği üzere tüm eksenlerde dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x = 0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanın $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.



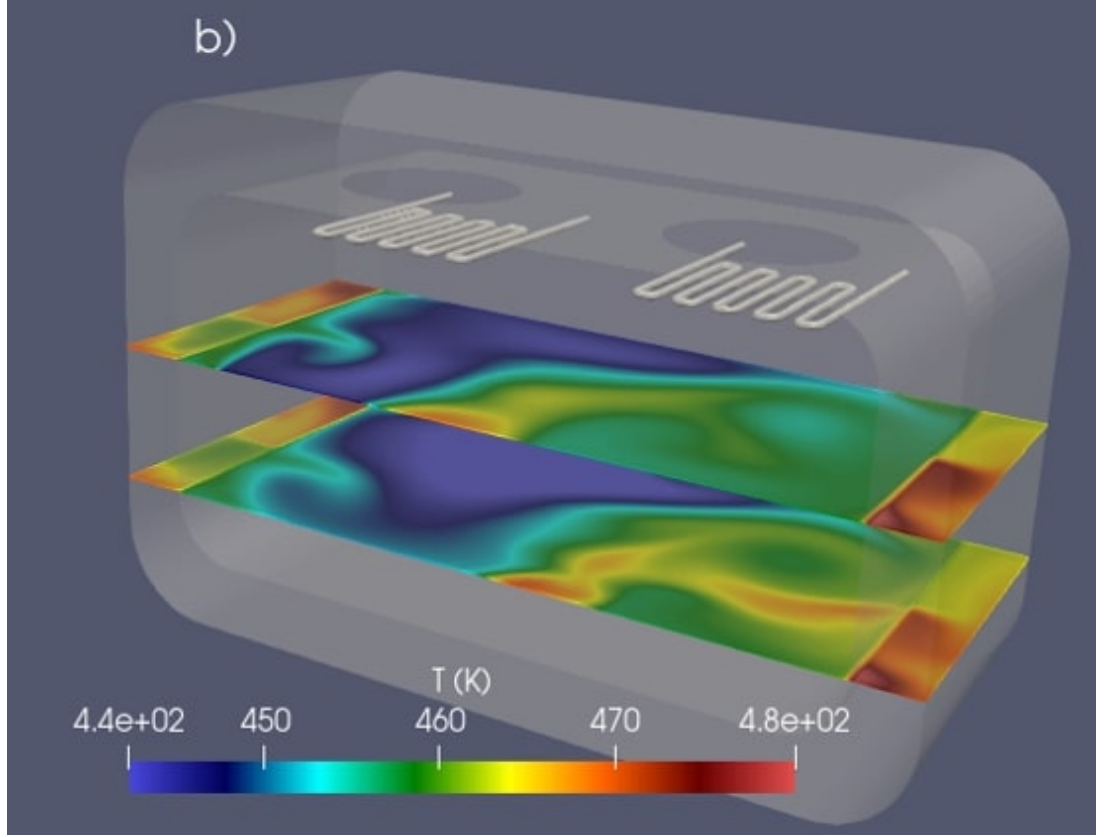
Şekil 4.29. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.



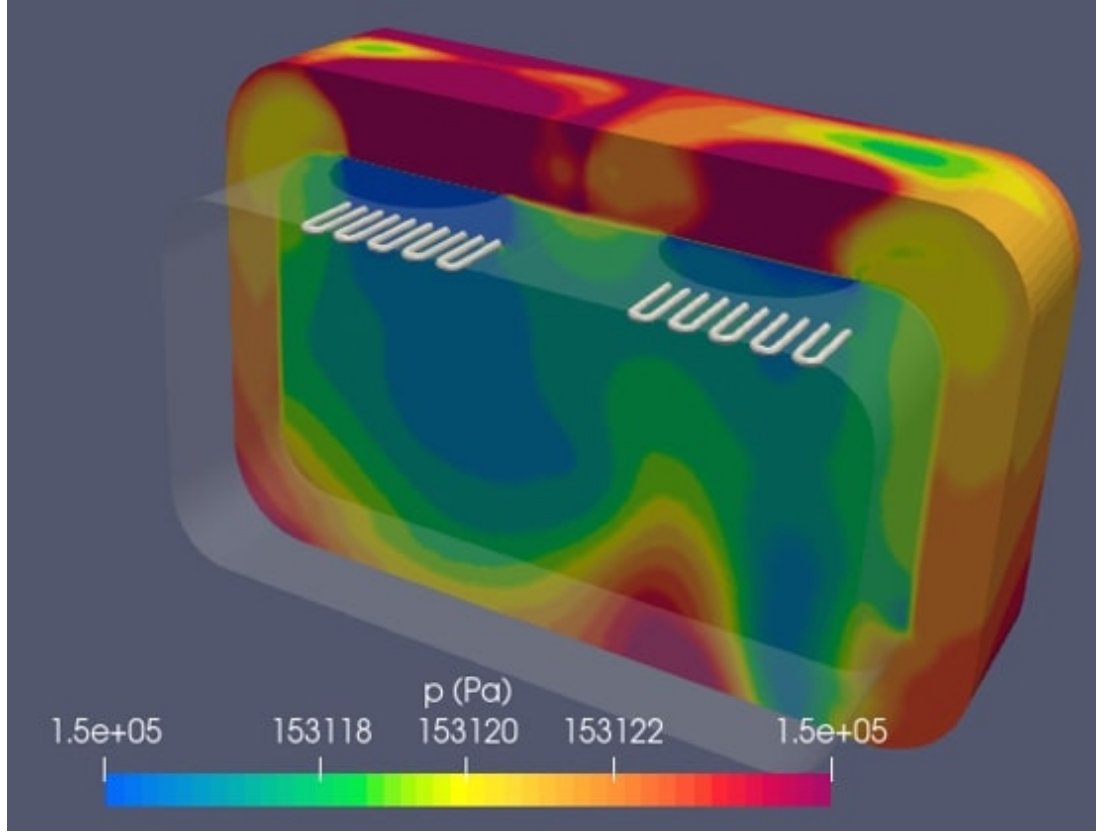
Şekil 4.30. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,25$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.



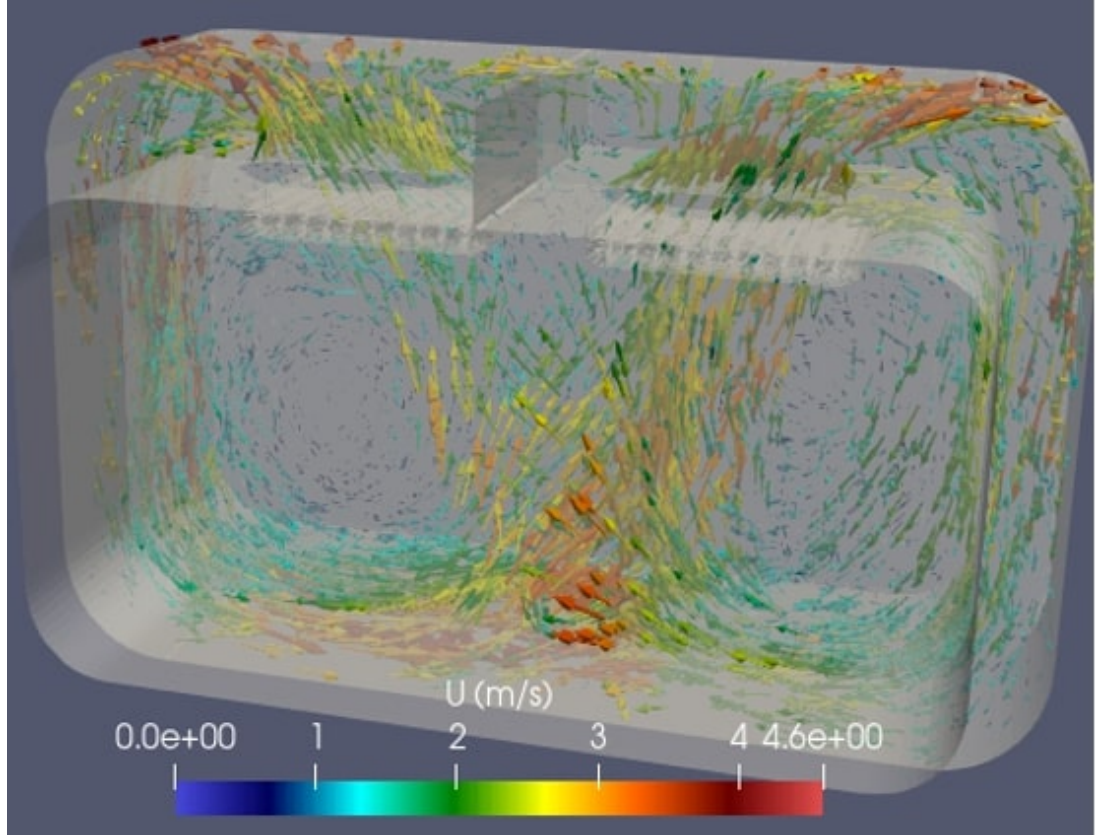
Şekil 4.31. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri



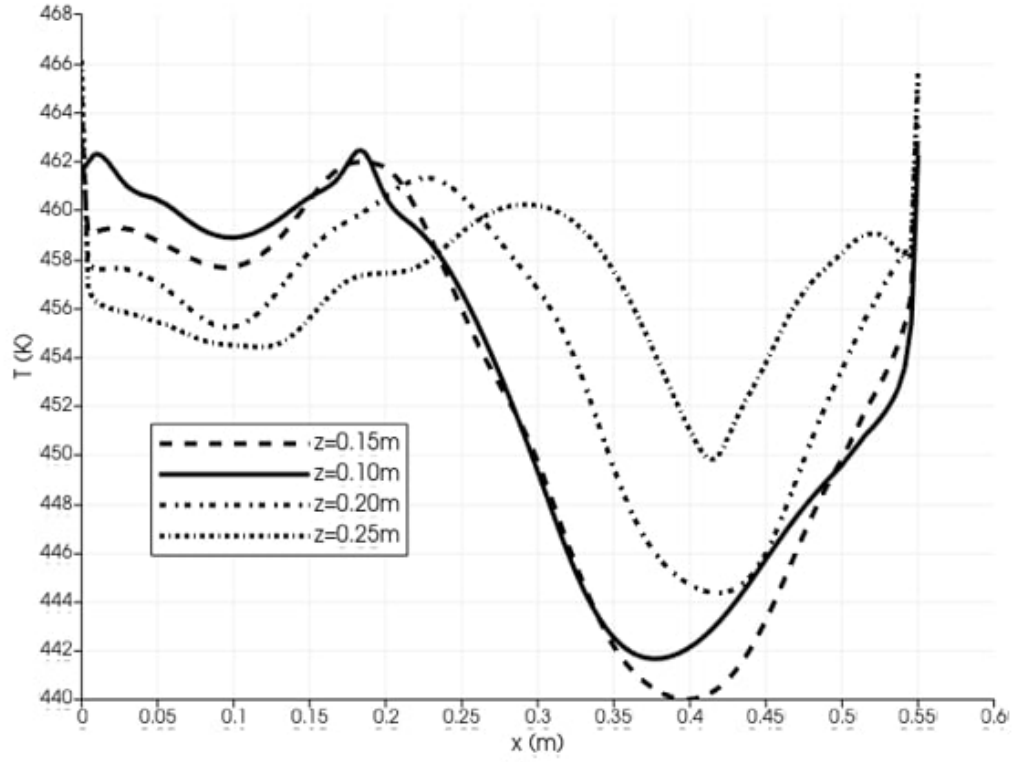
Şekil 4.32. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde sıcaklık kontürleri



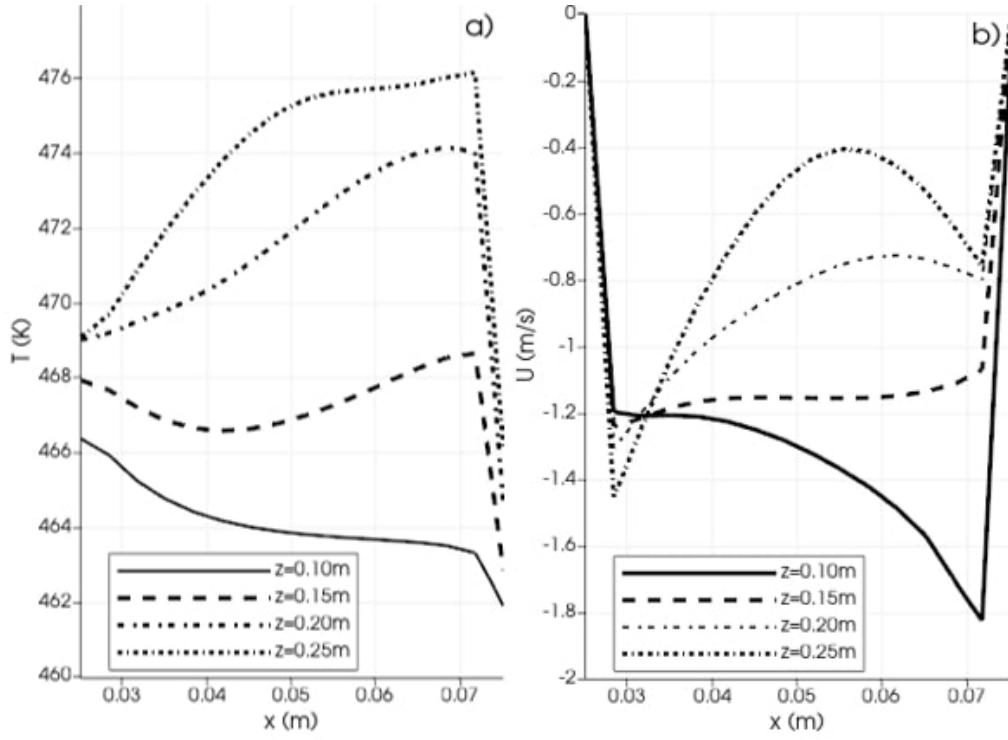
Şekil 4.33. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.



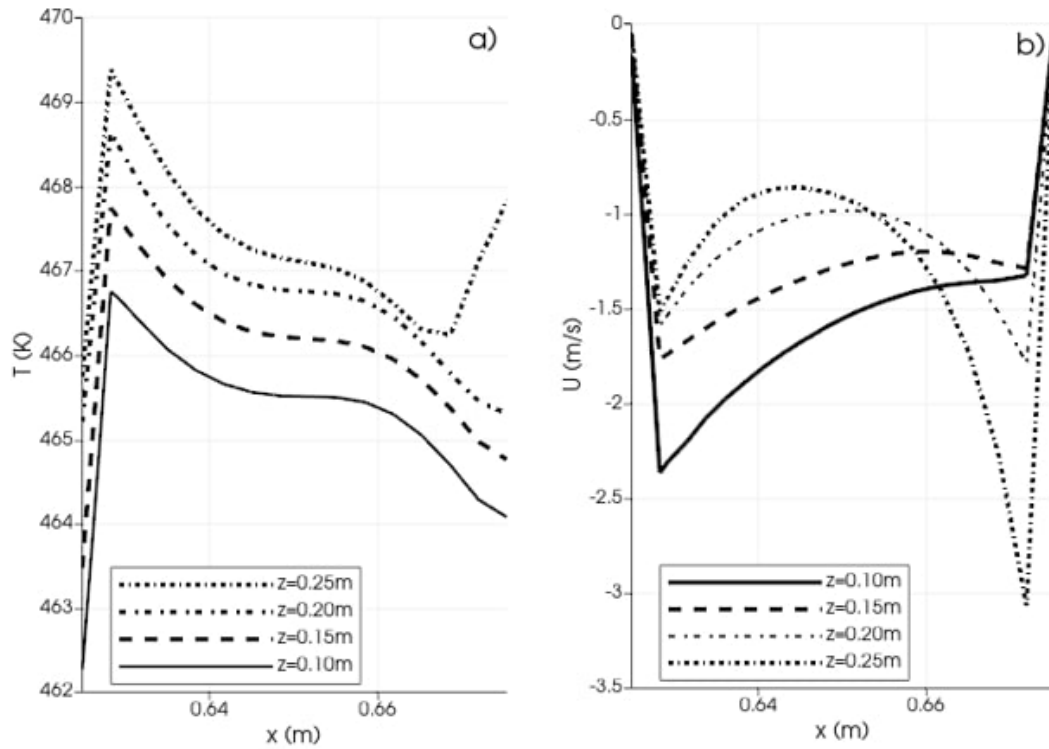
Şekil 4.34. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.



Şekil 4.35. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x eksenini boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.



Şekil 4.36. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde soldaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.



Şekil 4.37. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde sağdaki kapalı kanal da x boyunca, $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.

4.5. Dağıtıcı Kanatlar ile İki Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Keskin Köşeli Olması (İKK)

Tasarımı gerçekleştirilen hava fritözün hava akış kanallarının keskin köşeli, iki sepet olma ve dağıtıcı fan kullanılması durumu için yürütülen simülasyon sonuçları bu bölümde grafikler ile ayrıntılı sunulacaktır. Akış alanındaki merkezde xz düzleminde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.29. a.'da ve $z=0,1$ ile $0,20$ m noktaların da yz düzlemlerinde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.29. b.'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum hız 5 m/s ile fan çıkış kenarında meydana gelmektedir. Şekilde yine görüleceği üzere fan çıkışında kompleks bir akış yapısı meydana gelmekte ve üst kanalın kapalı kenarında ters basınç gradyanı etkisiyle bir vorteks sistemi meydana gelmektedir. Üst kanaldan akışkan yan kanala hareketinde kompleks bir akış yapısı gözlemlenirken yan kanal boyunca akış göreceli olarak stabil olmakta ve yaklaşık olarak 2 m/s olmaktadır. Alt kanalda gözenekli yüzey etkisiyle akış da sıkışma meydana gelmekte ve akış hızı $3,6$ m/s hızına kadar çıkmaktadır. Sepet bölgesinde Şekil 4.29'den görüleceği üzere akış hızı açısından üç bölge gözlemlenmiştir. İlk yan kanala yakın hâkim akış hızının

yaklaşık olarak 1-1,8 m/s aralığında olduğu bölge, ikincisi hızın yaklaşık olarak 3,2*4,2 m/s aralığında kapalı yüzeye yakın olduğu görece ince bir bölge, üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında hızın 1 m/s'den olduğu ve neredeyse sepetin %75 alanını bölgedir. xy düzlemlerindeki akış kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.b'den görüleceği üzere sepet bölgesinde hâkim akış hızı yaklaşık olarak 1 m/s'dir. Sepet kapalı yan yüzeyine yakın bölgede ise akış hızı 4 m/s kadar ulaşabilmektedir. Bu dramatik değişim sepet alt yüzeyinin gözenekli seçilmesi nedeniyle alt kanalda sıkışan akışın kapalı yüzey boyunca akmaya zorlanmasının birer sonucudur. Hem Şekil 4.29. a'dan hem de Şekil 4.29. b'den görüleceği üzere dağıtıcı kanal sepet bölgesinde daha düşük hız gradyanlarının meydana gelmesine neden olmaktadır.

Akış alanındaki merkezde xz düzleminde sıcaklık kontürlerinin dağılımı Şekil 4.30. a'da ve $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürleri Şekil 4.30. b'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi akış alanında maksimum sıcaklık rezistansın yakın çevresi hariç hemen rezistansın üstünde 470 K olarak gözlemlenmiştir. Dağıtıcı kanatsız tasarımına nazaran maksimum sıcaklık açısından 20 K daha düşük sıcaklık gözlemlenmektedir. Yine şekilde görüleceği üzere akış alanındaki sıcaklık gradyanları büyük ölçüde akış yapısıyla paralellik göstermektedir. En büyük sıcaklık gradyanları üst kanalda gözlemlenmiştir. Bu kanalda üst kısımda sıcaklık yaklaşık olarak 470 K olurken kanalın sağ kısmında ise 455 K kadar düşebilmektedir. Şekil 4.30'da görüleceği üzere en büyük termal gerilmeye maruz dış yüzeyler üst ve yan yüzeylerdir. Sepet bölgesinde akış alanındaki en düşük sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Sepet bölgesindeki sıcaklık farkları açısından üç bölge gözlemlenebilir. İlki yan kanala yakın ve sıcaklığın yaklaşık olarak 45 K olduğu bölge, ikincisi kapalı yüzeye yakın ve sepet bölgesinde maksimum sıcaklığı gözlemlendiği ince bir bölge ve üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında minimum sıcaklığın (430 K) meydana geldiği tam olarak sepet bölgesindeki vorteks sistemine denk gelen bölgedir. Sepet bölgesindeki xz düzlemindeki durum; xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.30.b'den görüleceği üzere benzerdir. Yine şekilde görüleceği üzere maksimum radyasyon yan yüzeyler üzerinde ve yakın bölgede meydana gelmektedir. Bu akış alanındaki radyasyonun bir sonucudur. Hem Şekil 4.30. a'dan hem de Şekil 4.30. b'den görüleceği üzere dağıtıcı kanal sepet bölgesinde daha düşük sıcaklık gradyanlarının meydana gelmesine neden olmaktadır.

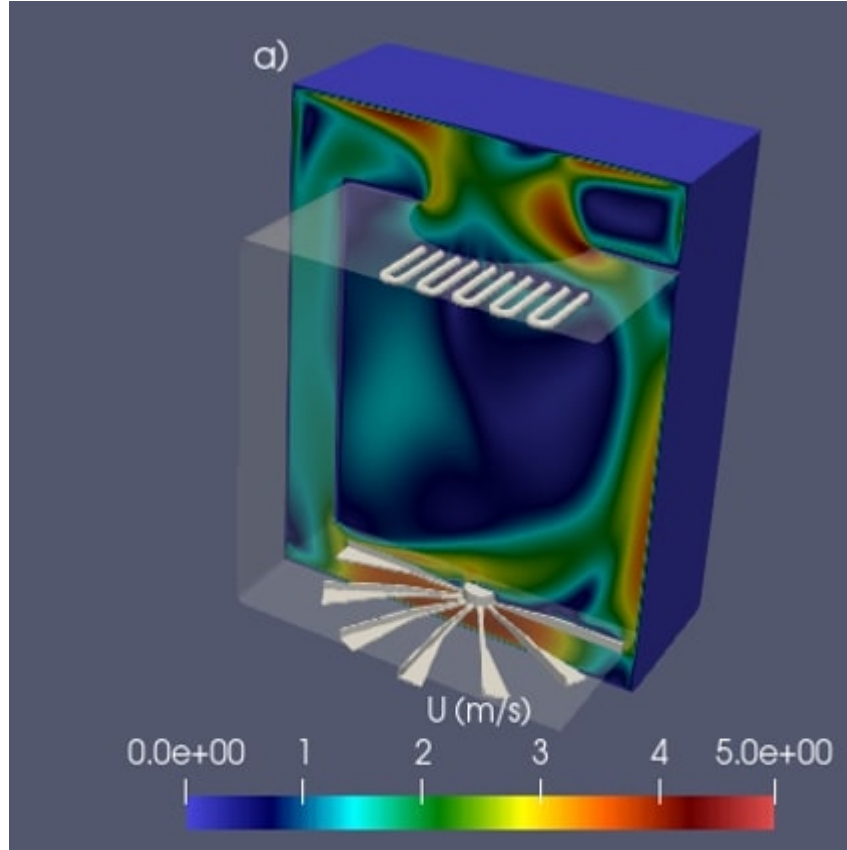
Akış alanındaki merkezde basınç kontürlerinin dağılımı Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum basınç bekleneyeceği üzere fanın hemen üstünde meydana gelirken minimum basınç yine bekleneyeceği

üzere fanın hemen altında meydana gelmektedir. En büyük basınç gradyanı ise üst kanalda gözlemlenmiştir. Sepet bölgesinde ise basınç aşağıdan yukarıya doğru kademeli olarak azalmaktadır. Akış alanındaki hız vektörlerinin dağılımı Şekil 4.32’de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere akış alanında biri üst kanalı kapalı kısmında yakın diğeri yaklaşık olarak sepetin merkezine yakın iki vorteks sistemi meydana gelmektedir. Yan ve alt kanal boyunca hareket eden akışkanın büyük kısmı alt kanalın kısmına yakın bir bölgede sepet bölgesine girmektedir. Bunun sonucu olarak diğere nazaran daha büyük bir vorteks sistemi sepet bölgesinin merkezinde meydana gelmektedir. Sepet bölgesinde meydana gelen büyük vorteks sistemi neredeyse akış alanının yüzde 80 kaplamakta ve dolayısıyla hız ve sıcaklık gradyanlarının dağılımını belirleyen ana parametre olmaktadır.

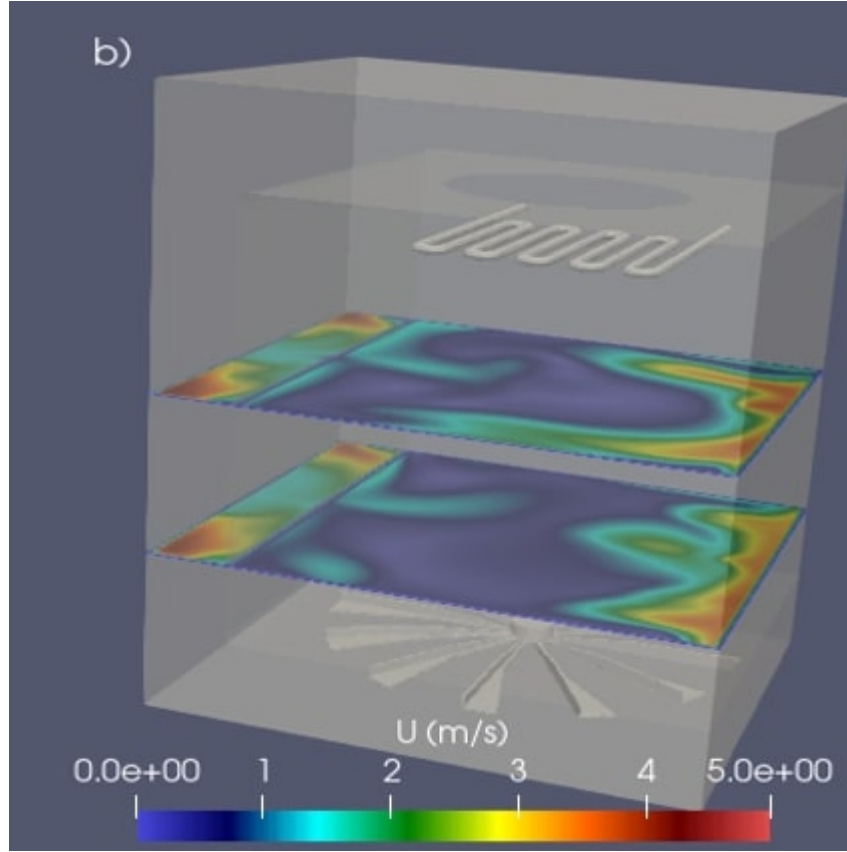
Hava fritözünün termal performansını gösteren ana parametre sepet bölgesindeki sıcaklık dağılımıdır. Şekil 4.29’dan görüleceği üzere rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 454-438 K aralığında değişmektedir. Bu sıcaklık değişimlerini daha ayrıntılı gözlemleyebilmek için akış alanının $y=0,13$ m’de (merkez) zx düzleminde $z=0,1, 0,15, 0,2$ ve $0,25$ noktalarında x boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.33’de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere $z= 0,1$ m noktasında yan kanala yakın bölgede yan kanalın ve radyasyon etkisiyle sıcaklık yaklaşık olarak 454 K iken merkeze doğru dramatik olarak $x=0,12$ m’de 443 K düşmektedir. Bu noktadan sonra ise kapalı yüzeye doğru sıcaklık 450 K kadar çıkmaktadır. Söz konusu noktada ($z=0,1$ m) sıcaklık bir düşüş bir yükseliş olmak üzere iki farklı davranış göstermektedir. $z=0,15$ m noktasında kenar bölgelerde (yan kanal ve kapalı köşe) sıcaklık dağılımı $z=0,1$ m ile benzer trend gösterirken $x=0,12$ m noktasında sıcaklık 438 K düşmektedir. Gerek $z=0,15$ m ve $0,2$ m noktalarında sıcaklık eğilimi $z=0,1$ m benzer fakat daha yüksek gradyanlarda olmaktadır. $z=0,25$ m noktasında ise diğer noktalara nazaran $x=0,12$ m noktasında sıcaklık değişimi küçük bit pik noktası meydana gelmektedir.

Merkezde kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca hız profilleri Şekil 4.34’da gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki 90 derecelik dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneceği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilde görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m’de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız radyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Merkezde kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.35’de

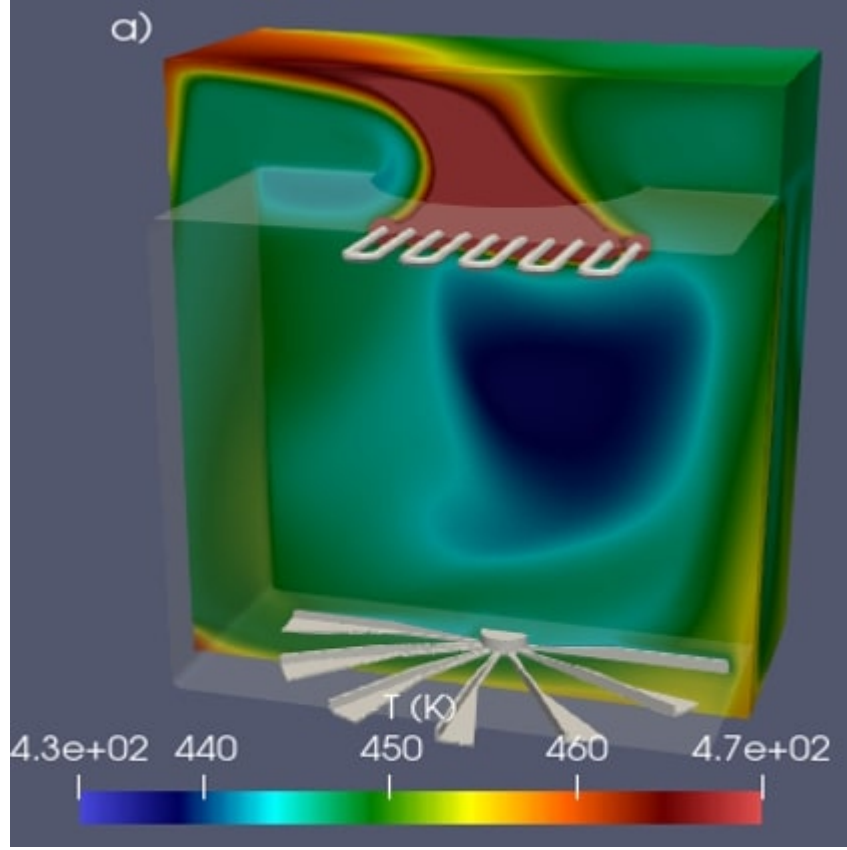
gösterilmiştir. Tüm eksenlerde bekleneneği üzere dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x=0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanın $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.



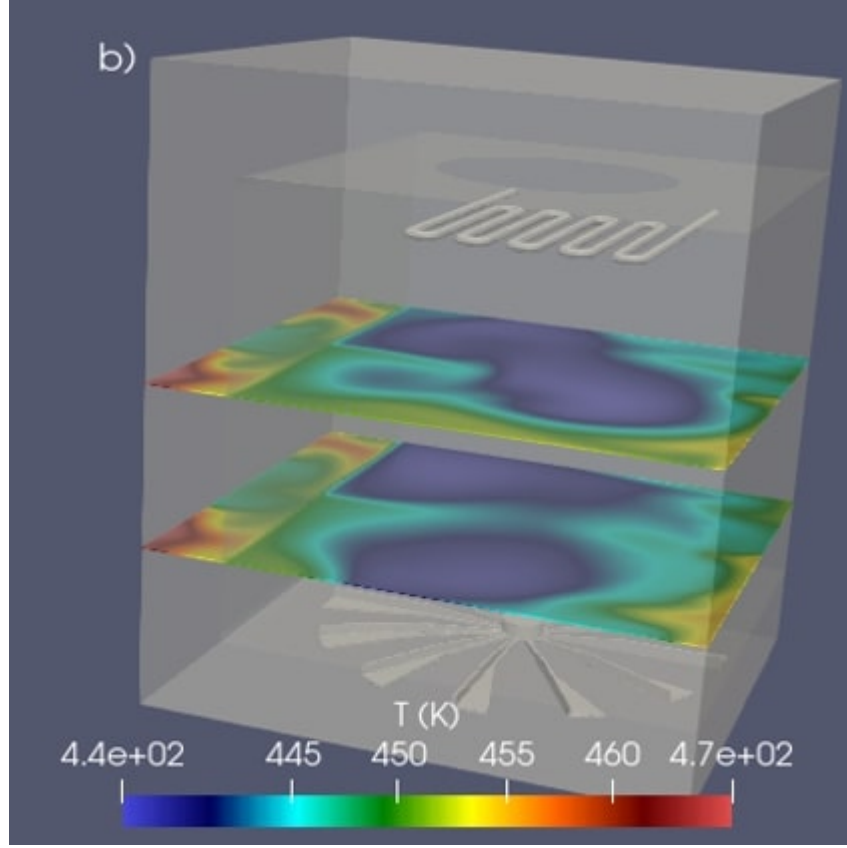
Şekil 4.38. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.



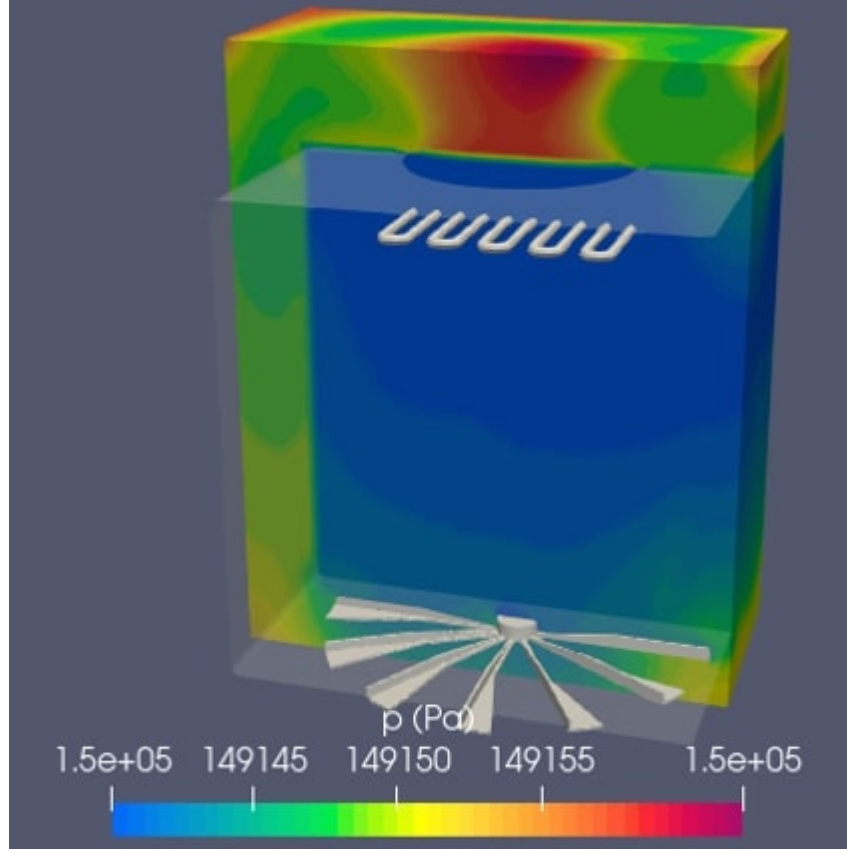
Şekil 4.39. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,22$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.



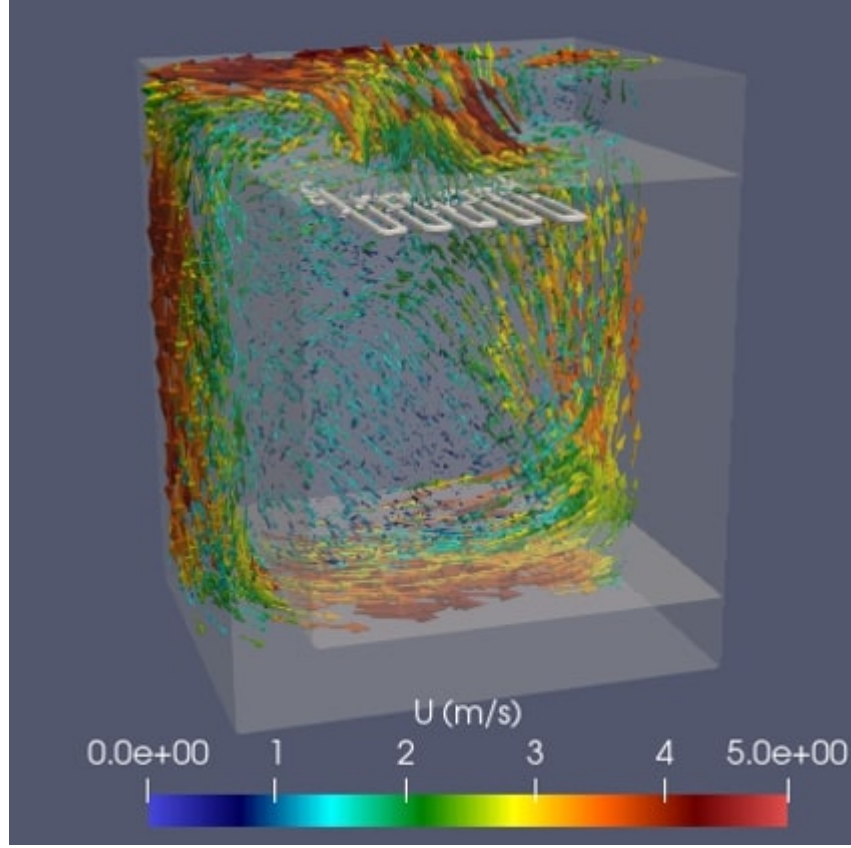
Şekil 4.40. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.



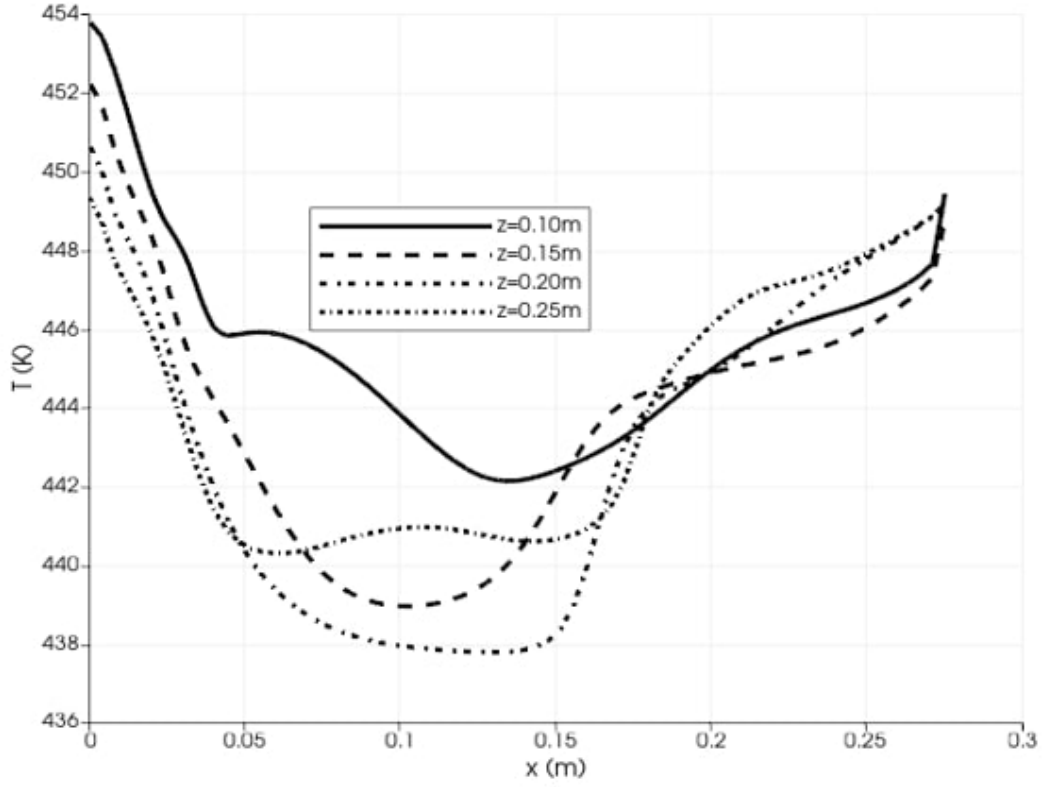
Şekil 4.41. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,22$ m noktalarında xy eksenlerinde sıcaklık kontürleri.



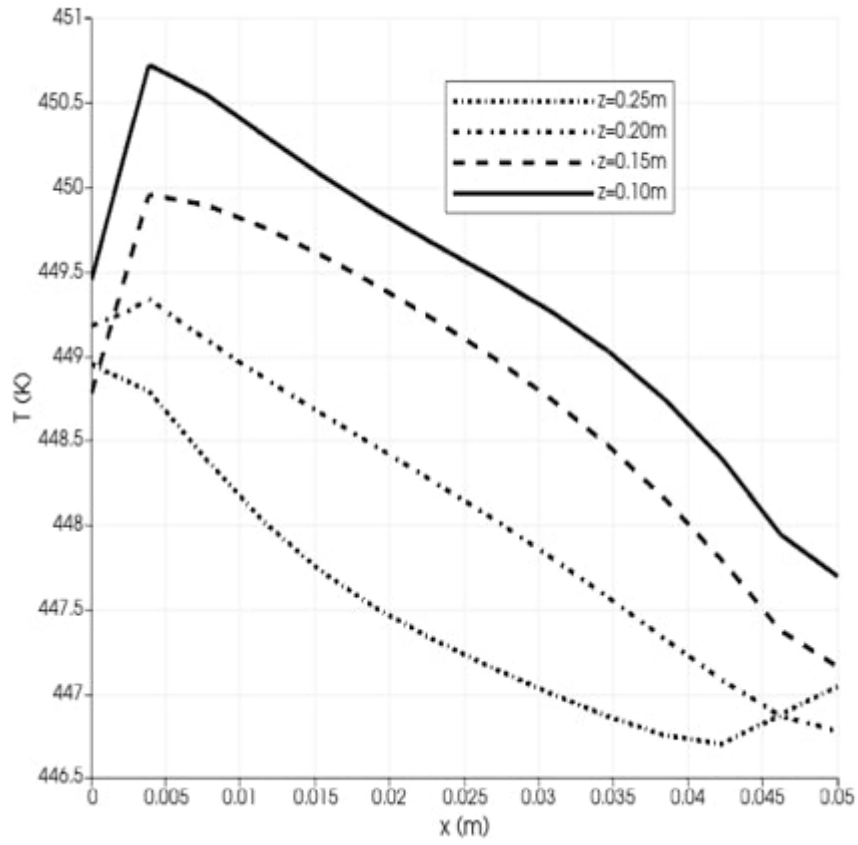
Şekil 4.42. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.



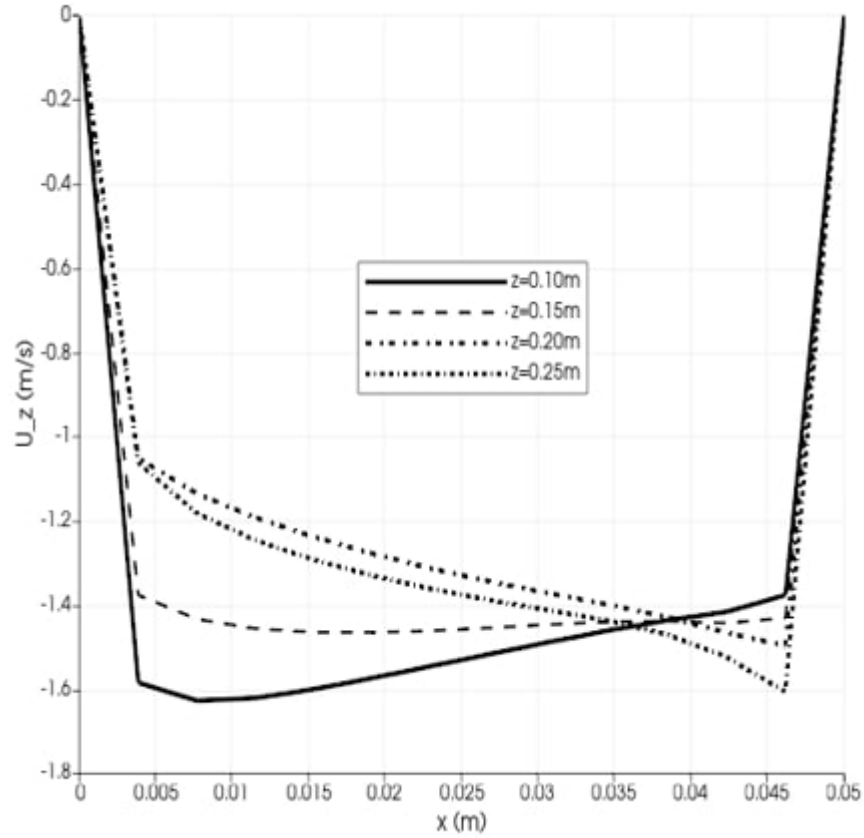
Şekil 4.43. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.



Şekil 4.44. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x ekseni boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.



Şekil 4.45. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanalda x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında hız dağılımları.



Şekil 4.46. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında sıcaklık dağılımları.

4.6. Dağıtıcı Kanatlar ile Tek Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Keskin Köşeli Olması (TKK)

Tasarımı gerçekleştirilen hava fritözün hava akış kanallarının keskin köşeli, tek sepet olma ve dağıtıcı fan kullanılması durumu için yürütülen simülasyon sonuçları bu bölümde grafikler ile ayrıntılı sunulacaktır. Akış alanındaki merkezde xz düzleminde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.36. a.'da ve $z=0,1$ ile $0,20$ m noktaların da yz düzlemlerinde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.36. b.'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum hız $4,5$ m/s ile fan çıkış kenarında meydana gelmektedir. Şekilden yine görüleceği üzere fan çıkışlarında kompleks akış yapısı meydana gelmekte ve üst kanalın kapalı kenarlarında ters basınç gradyanı etkisiyle vorteks sistemleri meydana gelmektedir. Üst kanallardan akışkan yan kanallara hareketinde kompleks akış yapısı gözlemlenirken yan kanal boyunca akış göreceli olarak stabil olmakta ve yaklaşık olarak 2 m/s olmaktadır. Alt kanalda gözenekli yüzey etkisiyle akış da sıkışma

meydana gelmekte ve akış hızı 4 m/s hızına kadar çıkmaktadır. Sepet bölgesinde Şekil 4.36'dan görüleceği üzere akış hızı açısından dört bölge gözlemlenmiştir. İlki yan kanallara yakın hâkim akış hızının yaklaşık olarak 1,2-2 m/s aralığında olduğu bölge, ikincisi hızın yaklaşık olarak 3,5*4,5 m/s aralığında alt yüzeye yakın olduğu görece ince bir bölge, üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında hızın 1 m/s'den olduğu ve neredeyse sepetin %50 alanının olduğu bölgedir. Son bölge ise rezistanslara yakın hızın 1 m/s altında olduğu bölgelerdir. xy düzlemlerindeki akış kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.b'den görüleceği üzere sepet bölgesinde hâkim akış hızı yaklaşık olarak 1-2 m/s aralığındadır. Sepet merkezinin alt bölgesine yakın bölgede ise akış hızı 4 m/s kadar ulaşabilmektedir. Bu dramatik değişim sepet alt yüzeyinin gözenekli seçilmesi nedeniyle alt kanalda sıkışan akışın merkez boyunca akmaya zorlanmasının birer sonucudur.

Akış alanındaki merkezde xz düzleminde sıcaklık kontürlerinin dağılımı Şekil 4.37. a'da ve $z=0,1$ ile 0,2 m noktalarında xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin Şekil 4.37. b'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi akış alanında maksimum sıcaklık rezistansın yakın çevresi hariç hemen rezistansın üstünde 480 K olarak gözlemlenmiştir. Yine şekilde görüleceği üzere akış alanındaki sıcaklık gradyanları büyük ölçüde akış yapısıyla paralellik göstermektedir. En büyük sıcaklık gradyanları üst kanalda gözlemlenmiştir. Bu kanalda üst kısımda sıcaklık yaklaşık olarak 480 K olurken kanalın sağ kısmında ise 470 K kadar düşebilmektedir. Şekil 4.37'de görüleceği üzere en büyük termal gerilmeye maruz dış yüzeyler üst ve yan yüzeylerdir. Sepet bölgesinde akış alanındaki en düşük sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Sepet bölgesindeki sıcaklık farkları açısından üç bölge gözlemlenebilir. İlki yan kanallara yakın ve sıcaklığın yaklaşık olarak 475 K olduğu bölge, ikincisi merkezde ve sepet bölgesinde maksimum sıcaklığı gözlemlendiği ince bir bölge ve üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında minimum sıcaklığın (455 K) meydana geldiği tam olarak sepet bölgesindeki vorteks sistemine denk gelen bölgedir. Sepet bölgesindeki xz düzlemindeki durum; xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.37.b'den görüleceği üzere benzerdir. Yine şekilde görüleceği üzere maksimum radyasyon yan yüzeyler üzerinde ve yakın bölgede meydana gelmektedir. Bu akış alanındaki radyasyonun bir sonucudur.

Akış alanındaki merkezde basınç kontürlerinin dağılımı Şekil 4.38'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum basınç bekleneneği üzere fanın hemen üstünde meydana gelirken minimum basınç yine bekleneneği üzere fanın hemen altında meydana gelmektedir. En büyük basınç gradyanı ise üst kanalda gözlemlenmiştir. Sepet bölgesinde ise basınç aşağıdan yukarıya doğru

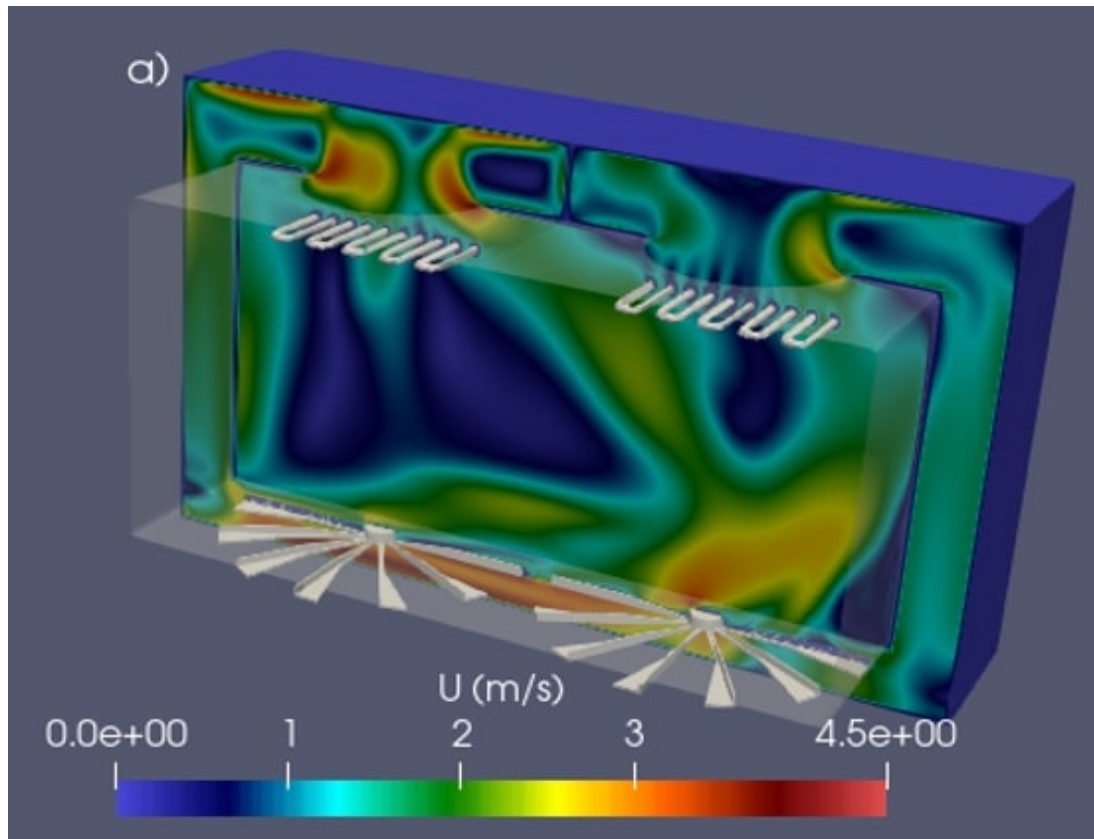
kademeli olarak azalmaktadır. Akış alanındaki hız vektörlerinin dağılımı Şekil 4.39'da gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere akış alanında ikisi üst kanalı kapalı kısmında yakın diğer ikisi sepet bölgesinde ve neredeyse tüm sepet bölgesini kapsayan dört vorteks sitemi meydana gelmektedir. Yan ve alt kanal boyunca hareket eden akışkanın büyük kısmı alt kanalın kısmına yakın bir bölgede sepet bölgesine girmektedir. Bunun sonucu olarak diğerine nazaran daha büyük bir vorteks sistemi sepet bölgesinde meydana gelmektedir. Sepet bölgesinde meydana gelen büyük vorteks sistemi neredeyse akış alanının %75 kaplamakta ve dolayısıyla hız ve sıcaklık gradyanlarının dağılımını belirleyen ana parametreler olmaktadır.

Hava fritözünün termal performansını gösteren ana parametre sepet bölgesindeki sıcaklık dağılımıdır. Şekil 4.37'dan görüleceği üzere rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 464-488 K aralığında değişmektedir. Bu sıcaklık değişimlerini daha ayrıntılı gözlemleyebilmek için akış alanının $y=0,13\text{m}$ 'de (merkez) zx düzleminde $z=0,1, 0,15, 0,2$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.40'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere $z=0,1$ m noktasında yan kanala yakın bölgede yan kanalın ve radyasyon etkisiyle sıcaklık yaklaşık olarak 470 K iken $x=0,05$ m'ye doğru yükselmekte ve bu noktadan sonra kısmi düşüş ve yükselen gradyanlar ile $x=0,5$ m'de 445K olmaktadır. $z=0,15$ m noktasında x boyunca sıcaklık değişiminde yan yüzeyler hariç iki pik üç dip nokta gözlemlenmektedir. Pik noktalar $x=1,4$ m'de 464 K, $x=0,37$ m'de 450 K'dir Üç dip nokta ise $x=0,2$ m'de 457K, $x=0,28$ m'de 450K ve $x=0,48$ m'de 446 K'dir. $z=0,15$ m'deki benzer eğilim $z=0,2$ ve $0,25$ m noktaları içinde söz konusudur.

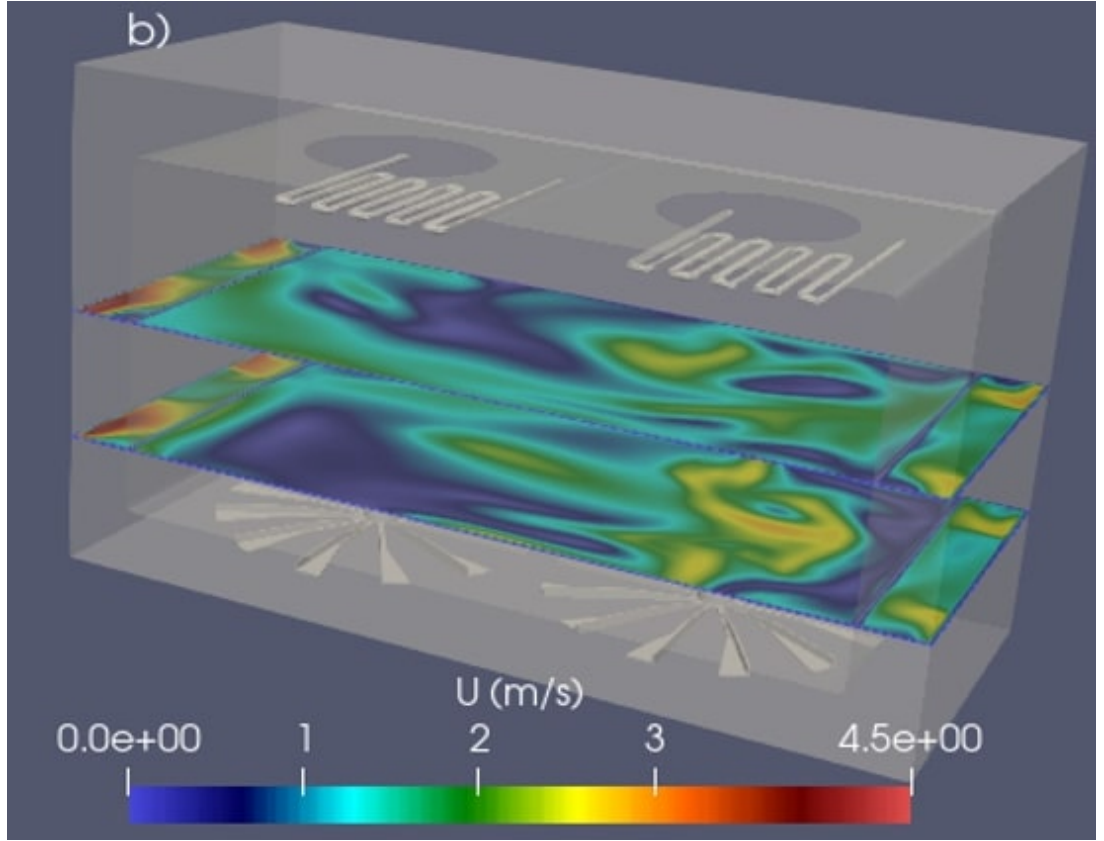
Sepetin sol kapalı kanalında $z=0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.41. a'da ve hız profilleri Şekil 4.41. b'de gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki 90 derecelik dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneceği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilde görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m'de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız gradyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Sağ kapalı kanalda $z=0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profillerinin gösterildiği Şekil 4.41. a'da görüleceği üzere tüm eksenlerde dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x=0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel

artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanının $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.

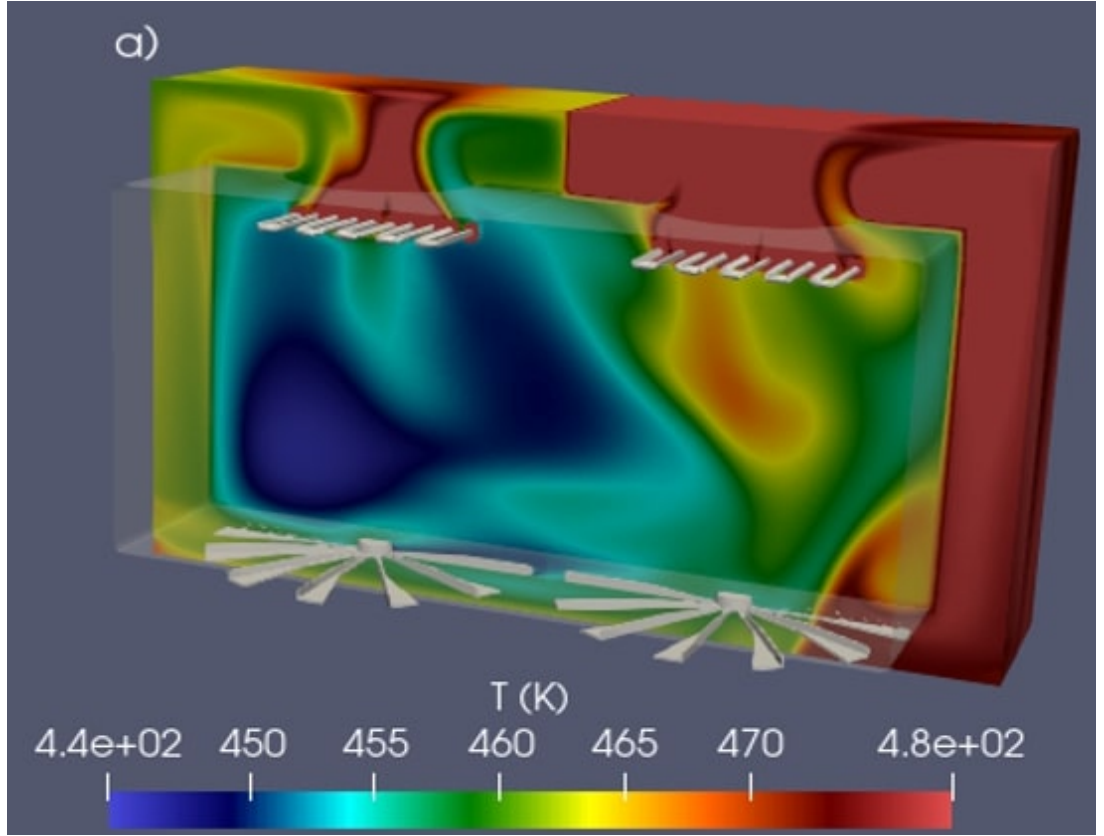
Sepetin sağ kapalı kanalda $z=0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.42. a'da ve hız profilleri Şekil 4.42. b'de gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki 90 derecelik dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneneği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilde görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m'de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız radyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Sağ kapalı kanalda $z=0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profillerinin gösterildiği Şekil 4.42. a'da görüleceği üzere tüm eksenlerde dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x=0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanının $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.



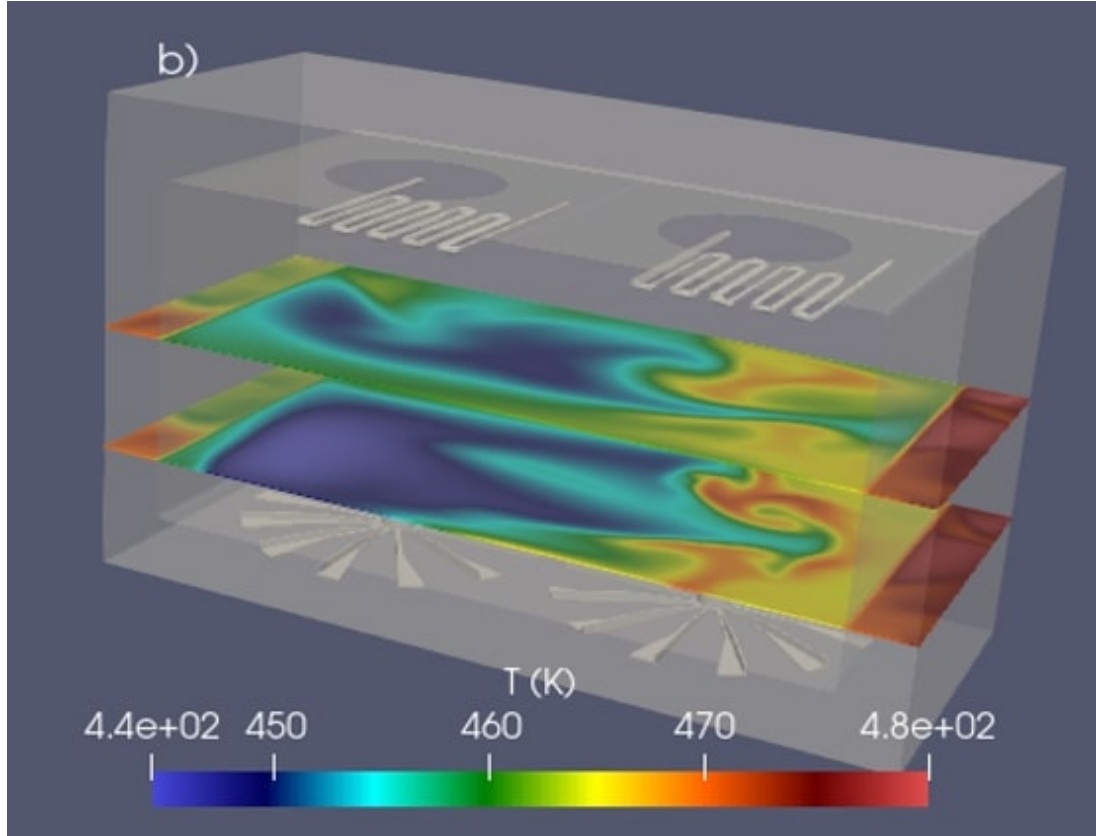
Şekil 4.47. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.



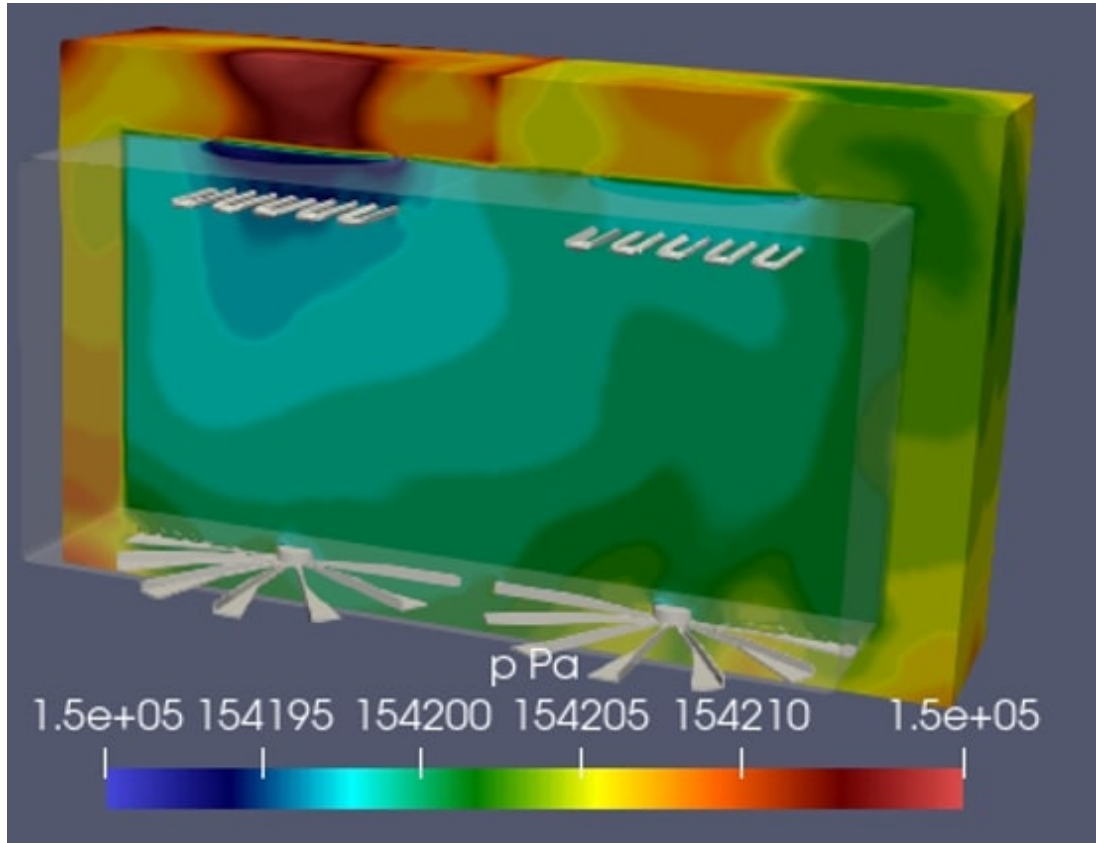
Şekil 4.48. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,22$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.



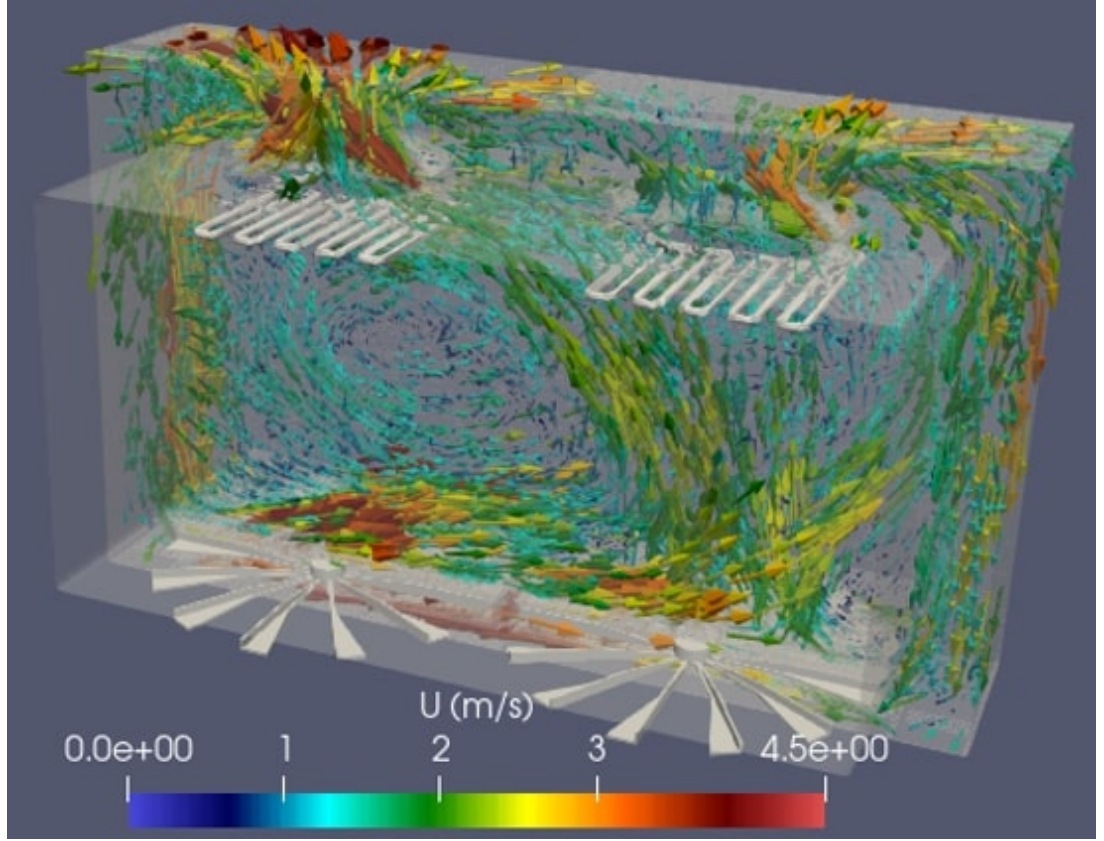
Şekil 4.49. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.



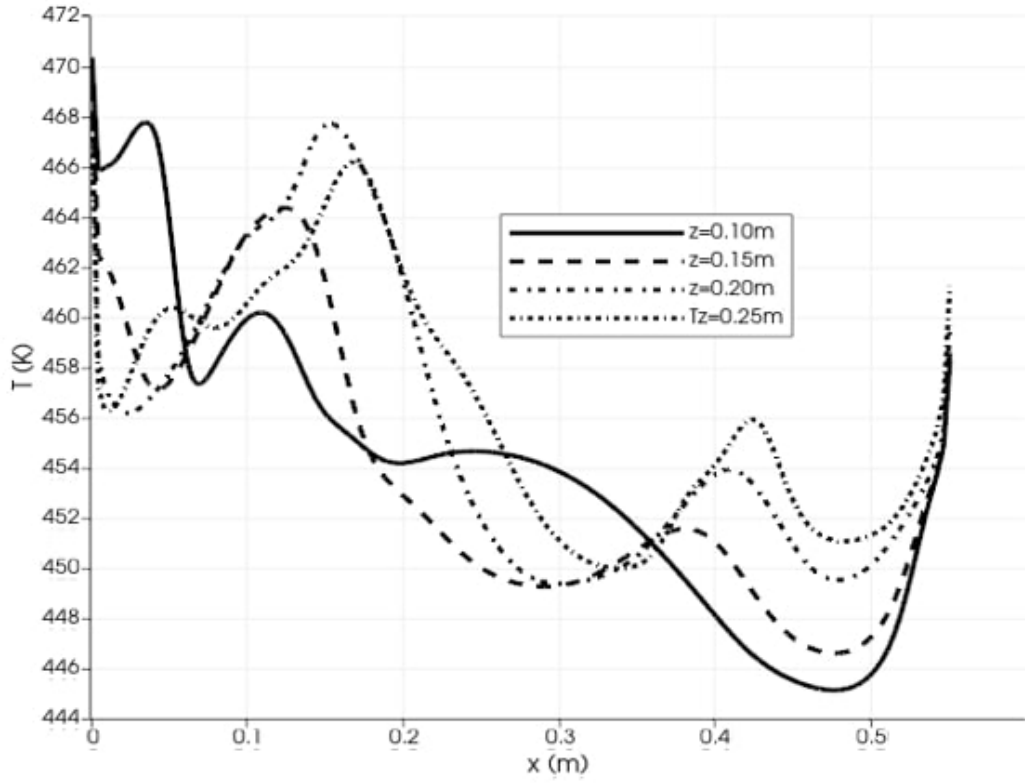
Şekil 4.50. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde durumdaki sıcaklık kontürleri.



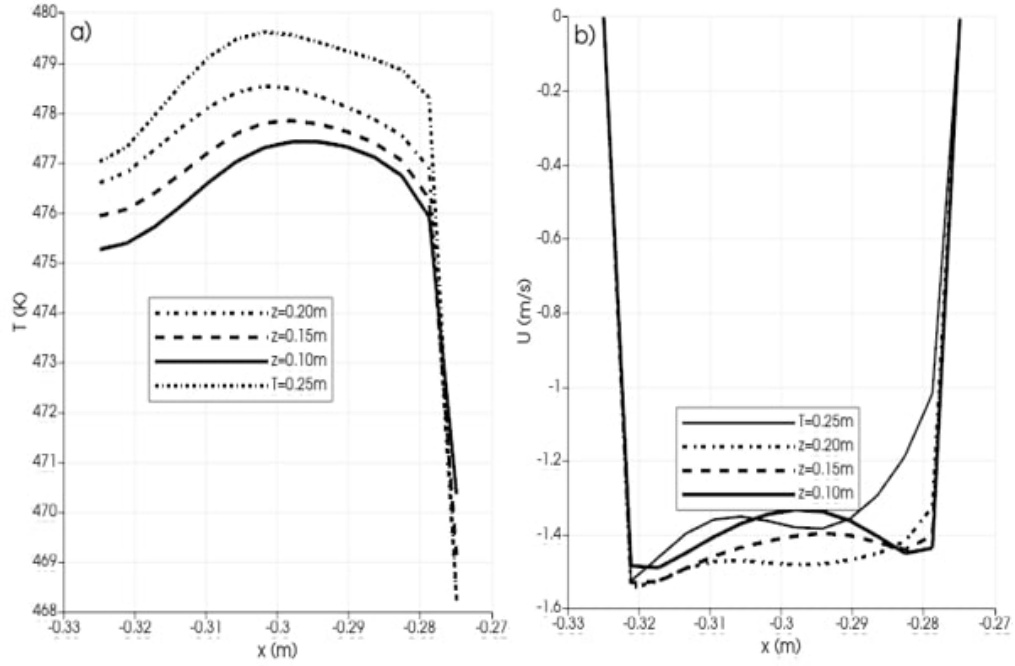
Şekil 4.51. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.



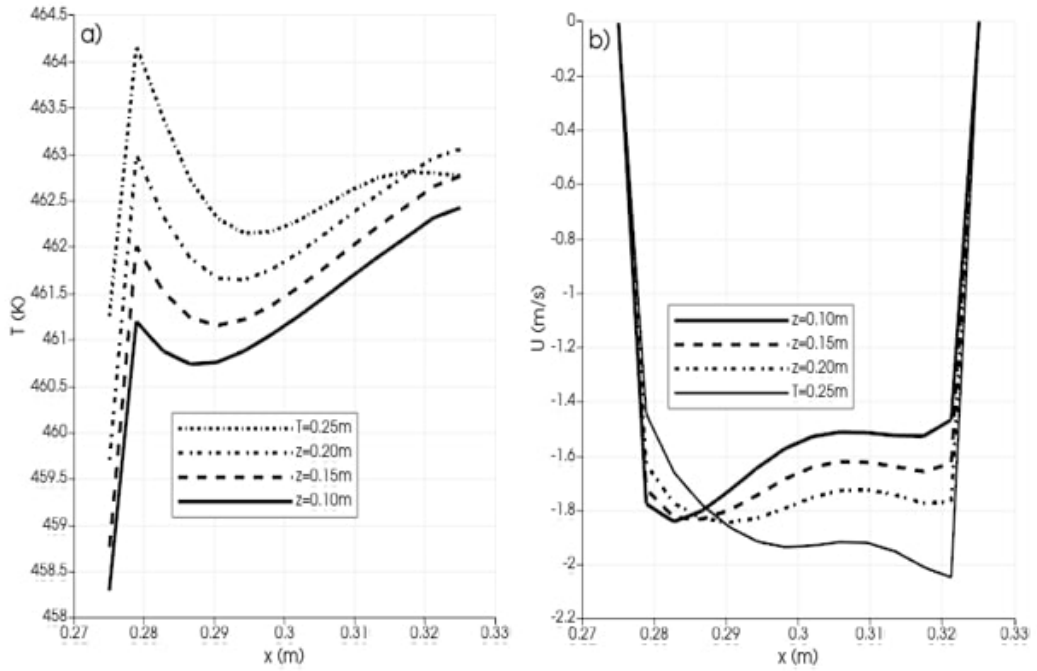
Şekil 4.52. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.



Şekil 4.53. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x eksenini boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.



Şekil 4.54. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde soldaki kapalı kanal da x boyunca, $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.



Şekil 4.55. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sağdaki kapalı kanal da x boyunca, $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.

4.7. Dağıtıcı Kanatlar ile İki Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Yuvarlak Köşeli Olması (İYK)

Tasarımı gerçekleştirilen hava fritözün hava akış kanallarının yuvarlak köşeli, iki sepet olması ve dağıtıcı kanat kullanılması durumu için yürütülen simülasyon sonuçları bu bölümde grafikler ile ayrıntılı sunulacaktır. Akış alanındaki merkezde xz düzleminde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.43. a.'da ve $z=0,1$ ile $0,20$ m noktaların da yz düzlemlerinde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.43. b.'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum hız $5,8$ m/s ile fan çıkış kenarında meydana gelmektedir. Keskin köşeli tasarıma nazaran maksimum hızda $1,3$ m/s kadar bir artış söz konusudur. Şekilde yine görüleceği üzere fan çıkışında kompleks bir akış yapısı meydana gelmekte ve üst kanalın kapalı kenarında ters basınç gradyanı etkisiyle bir vorteks sistemi meydana gelmektedir. Üst kanaldan akışkan yan kanala hareketinde kompleks bir akış yapısı gözlemlenirken yan kanal boyunca akış göreceli olarak stabil olmakta ve yaklaşık olarak $1,8$ m/s olmaktadır. Alt kanalda gözenekli yüzey etkisiyle akış da sıkışma meydana gelmekte ve akış hızı 4 m/s hızına kadar çıkmaktadır. Sepet bölgesinde Şekil 4.43'den görüleceği üzere akış hızı açısından üç bölge gözlemlenmiştir. İlk yan kanala yakın hâkim akış hızının yaklaşık olarak $1-2$ m/s aralığında olduğu bölge, ikincisi hızın yaklaşık olarak $5*5,8$ m/s aralığında kapalı yüzeye yakın olduğu görece ince bir bölge, üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında hızın $1,2$ m/s'den olduğu ve neredeyse sepetin %80 alanını kapsayan bölgedir. xy düzlemlerindeki akış kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.46. b'den görüleceği üzere sepet bölgesinde hâkim akış hızı yaklaşık olarak $1,2$ m/s'dir. Sepet kapalı yan yüzeyine yakın bölgede ise akış hızı $5,3$ m/s kadar ulaşabilmektedir. Bu dramatik değişim sepet alt yüzeyinin gözenekli seçilmesi nedeniyle alt kanalda sıkışan akışın kapalı yüzey boyunca akmaya zorlanmasının birer sonucudur.

Akış alanındaki merkezde xz düzleminde sıcaklık kontürlerinin dağılımı Şekil 4.44. a.'da ve $z=0,1$ ile $0,2$ noktalarında xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin Şekil 4.44. b'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi akış alanında maksimum sıcaklık rezistansın yakın çevresi hariç hemen rezistansın üstünde 470 K olarak gözlemlenmiştir. Yine şekilde görüleceği üzere akış alanındaki sıcaklık gradyanları büyük ölçüde akış yapısıyla paralellik göstermektedir. En büyük sıcaklık gradyanları üst kanalda gözlemlenmiştir. Bu kanalda üst kısımda sıcaklık yaklaşık olarak 470 K olurken kanalın sağ kısmında ise 455 K kadar düşebilmektedir. Şekil 4.44'de görüleceği üzere en büyük termal gerilmeye maruz dış yüzeyler üst ve yan yüzeylerdir. Sepet bölgesinde akış alanındaki en düşük sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Sepet bölgesindeki sıcaklık farkları açısından üç bölge gözlemlenebilir. İlki yan

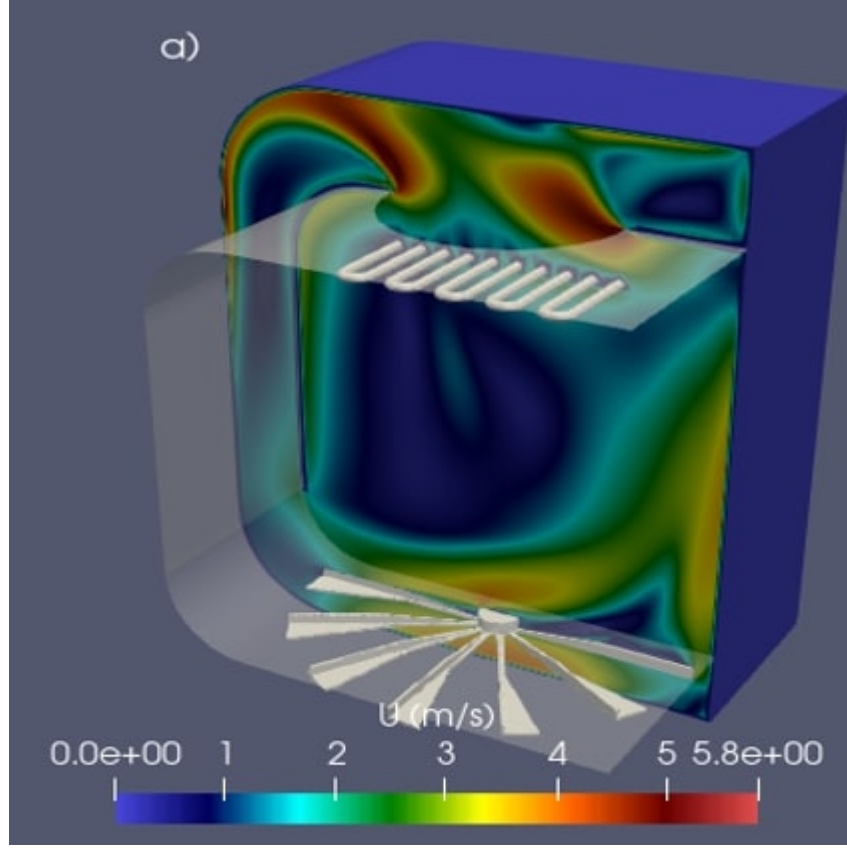
kanala yakın ve sıcaklığın yaklaşık olarak 455 K olduğu bölge, ikincisi kapalı yüzeye yakın ve sepet bölgesinde maksimum sıcaklığı gözlemlendiği ince bir bölge ve üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında minimum sıcaklığın (430 K) meydana geldiği tam olarak sepet bölgesindeki vorteks sistemine denk gelen bölgedir. Sepet bölgesindeki xz düzlemindeki durum; xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.44.b'den görüleceği üzere benzerdir. Yine şekilde görüleceği üzere maksimum radyasyon yan yüzeyler üzerinde ve yakın bölgede meydana gelmektedir. Bu akış alanındaki radyasyonun bir sonucudur.

Akış alanındaki merkezde basınç kontürlerinin dağılımı Şekil 4.45'de gösterilmiştir. Şekil görüldüğü gibi akış alanında maksimum basınç bekleneneği üzere fanın hemen üstünde meydana gelirken minimum basınç yine bekleneneği üzere fanın hemen altında meydana gelmektedir. En büyük basınç gradyanı ise üst kanalda gözlemlenmiştir. Sepet bölgesinde ise basınç aşağıdan yukarıya doğru kademeli olarak azalmaktadır. Akış alanındaki hız vektörlerinin dağılımı Şekil 4.46'da gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere akış alanında biri üst kanalı kapalı kısmında yakın diğeri yaklaşık olarak sepetin merkezine yakın iki vorteks sistemi meydana gelmektedir. Yan ve alt kanal boyunca hareket eden akışkanın büyük kısmı alt kanalın kısına yakın bir bölgede sepet bölgesine girmektedir. Bunun sonucu olarak diğere nazaran daha büyük bir vorteks sistemi sepet bölgesinin merkezinde meydana gelmektedir. Sepet bölgesinde meydana gelen büyük vorteks sistemi neredeyse akış alanının %68 kaplamakta ve dolayısıyla hız ve sıcaklık gradyanlarının dağılımını belirleyen ana parametre olmaktadır.

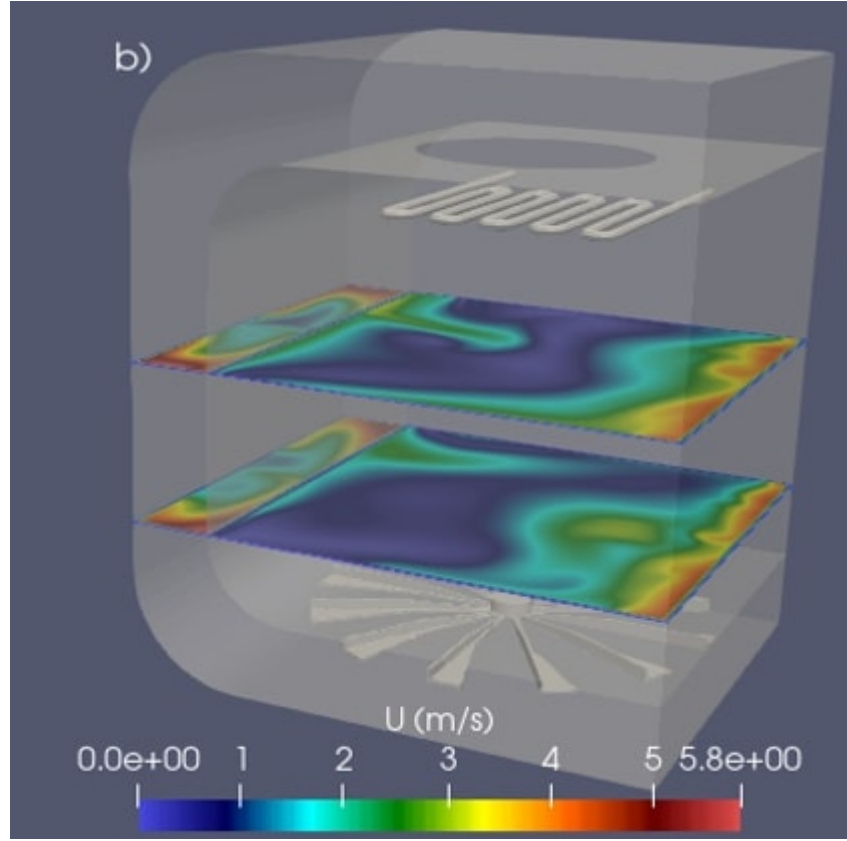
Hava fritözünün termal performansını gösteren ana parametre sepet bölgesindeki sıcaklık dağılımıdır. Şekil 4.44'dan görüleceği üzere rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 454-435 K aralığında değişmektedir. Bu sıcaklık değişimlerini daha ayrıntılı gözlemleyebilmek için akış alanının $y=0,13$ m'de (merkez) xz düzleminde $z=0,1, 0,15, 0,2$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.47'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere $z=0,1$ m noktasında yan kanala yakın bölgede yan kanalın ve radyasyon etkisiyle sıcaklık yaklaşık olarak 453 K iken merkeze doğru dramatik olarak $x=0,17$ m'de 438 K düşmekte ve $x=0,21$ m kadar yaklaşık olarak stabil kaldıktan sonra kapalı yan yüzeye doğru dramatik olarak 452 K kadar çıkmaktadır. $z=0,15$ m kapalı kanal yan yüzeye yakın sıcaklık 453 K iken $x=0,8$ m'ye doğru dramatik olarak 441 K düşmekte ve bu noktada sıcaklık dağılımı açısından ilk dip nokta meydana gelmektedir. Bu noktadan sonra $x=0,14$ m kadar sıcaklık düşük bir gradyanla 443 K'ne çıkmaktadır ve bu nokta eğilimdeki tek pik noktadır. Söz konusu pik noktadan sonra sıcaklık $x=0,23$ m'de

yine küçük bir sıcaklık gradyanı ile 439 K'ne düşmekte ve bu noktadan sonra kapalı yan yüzeye doğru dramatik olarak artmaktadır. $z=0,2$ ve $0,25$ m noktalarında sıcaklığın x boyunca gösterdiği eğilim daha büyük sıcaklık gradyanları ile benzerdir.

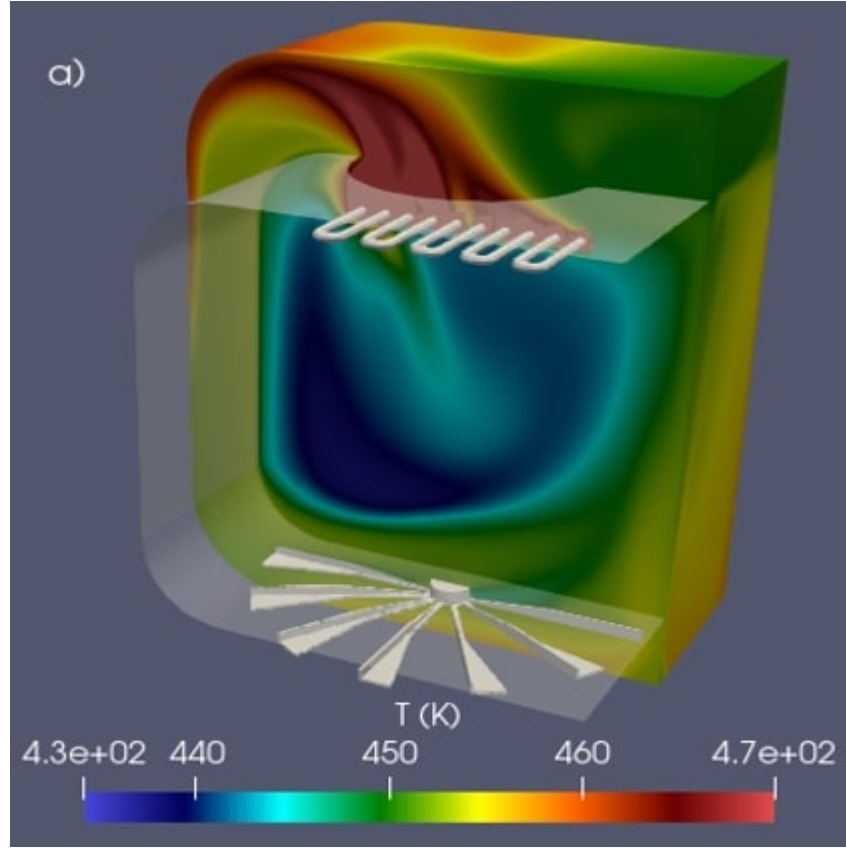
Merkezde kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca hız profilleri Şekil 4.48'de gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki 90 derecelik dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneneği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilde görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m'de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız radyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Merkezde kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.49'da gösterilmiştir. Tüm eksenlerde bekleneneği üzere dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x= 0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanının $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.



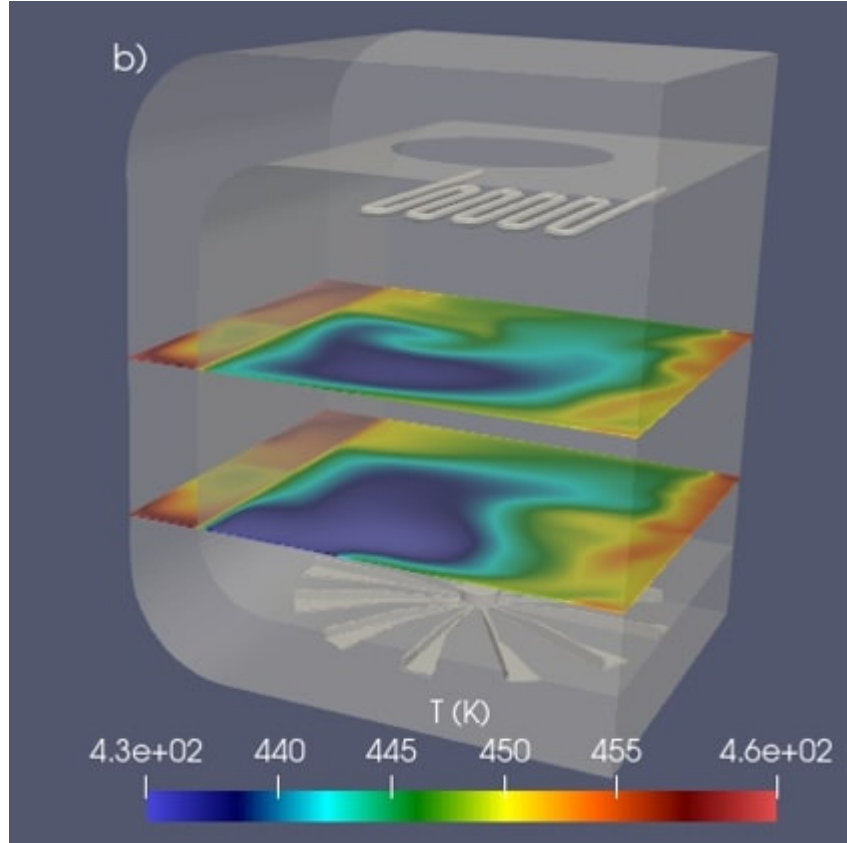
Şekil 4.56. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.



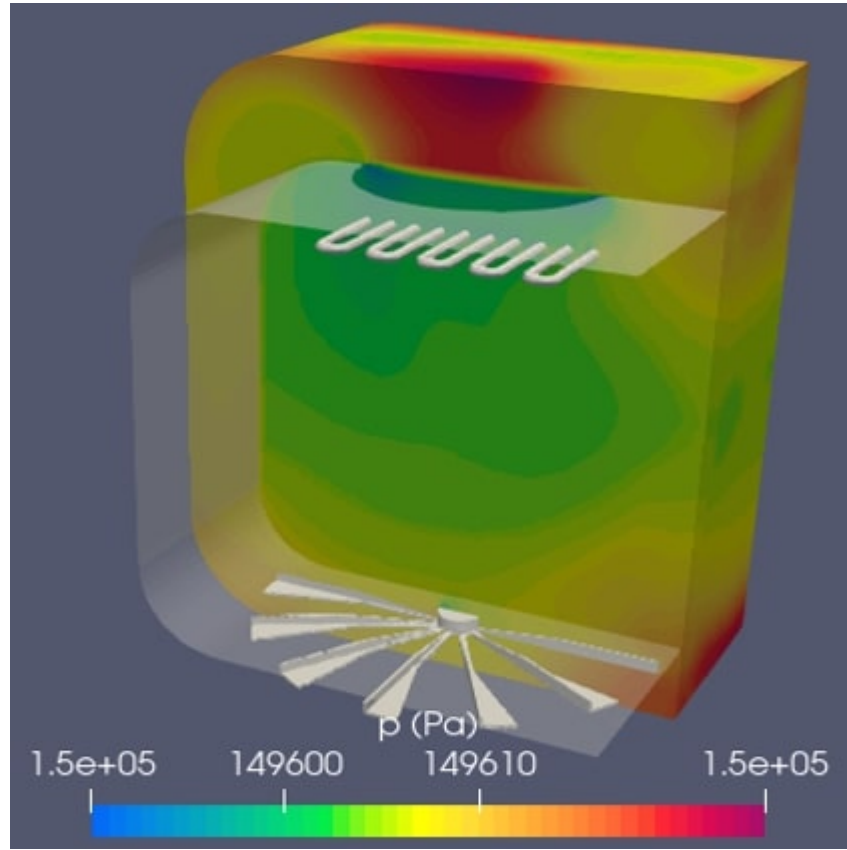
Şekil 4.57. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,22$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.



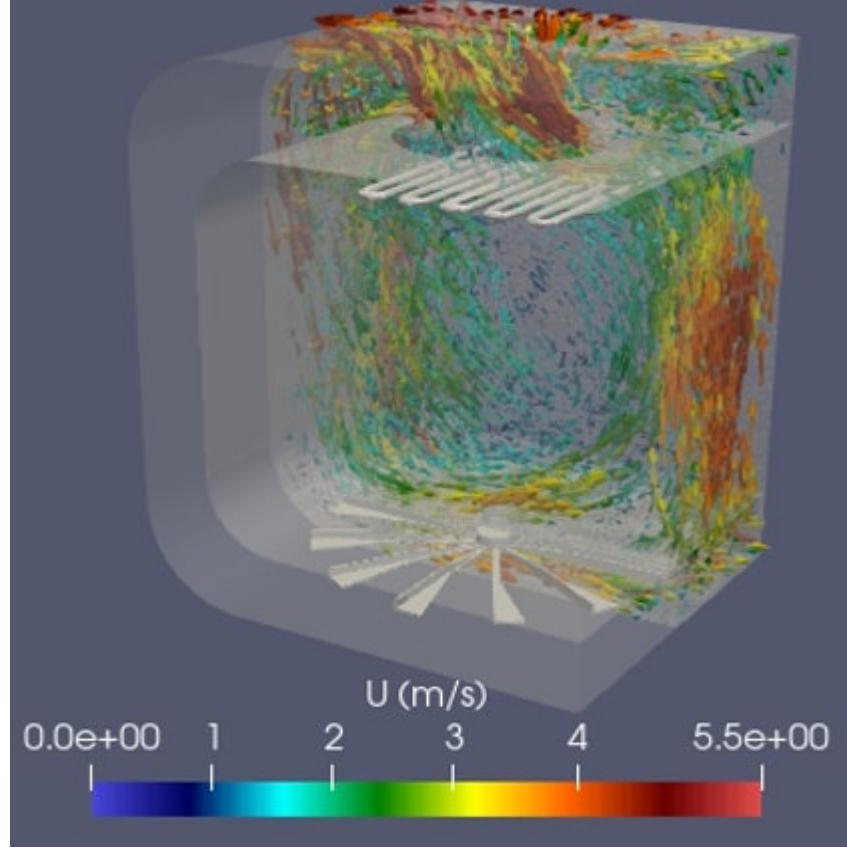
Şekil 4.58. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.



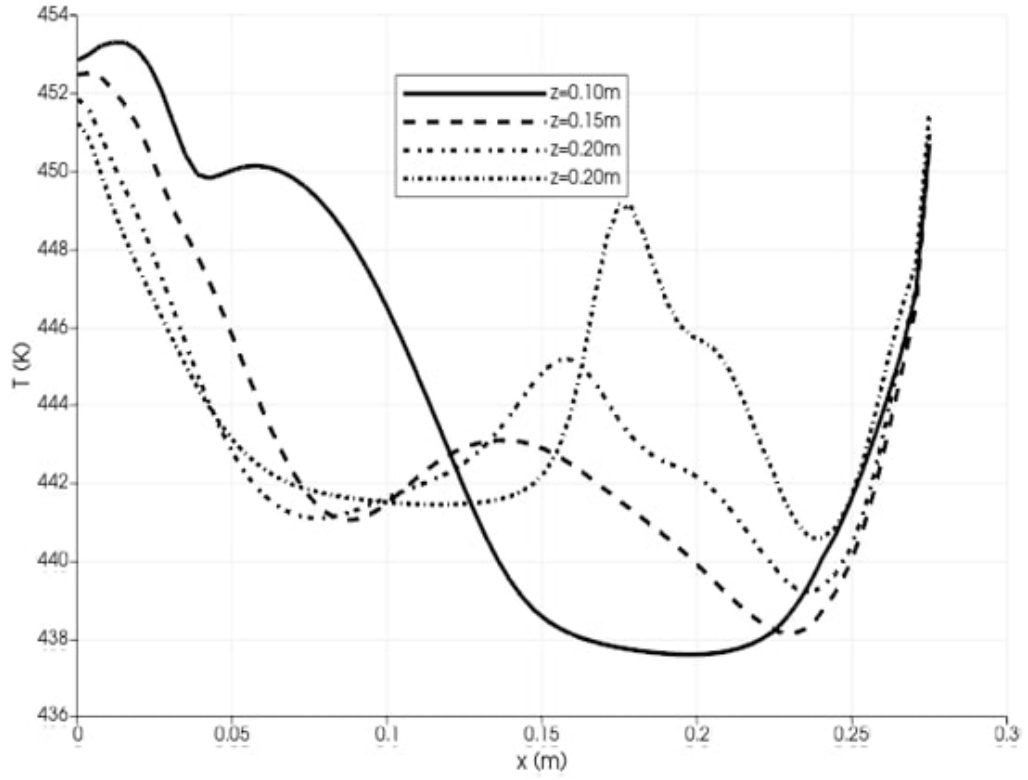
Şekil 4.59. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde durumunda sıcaklık kontürleri.



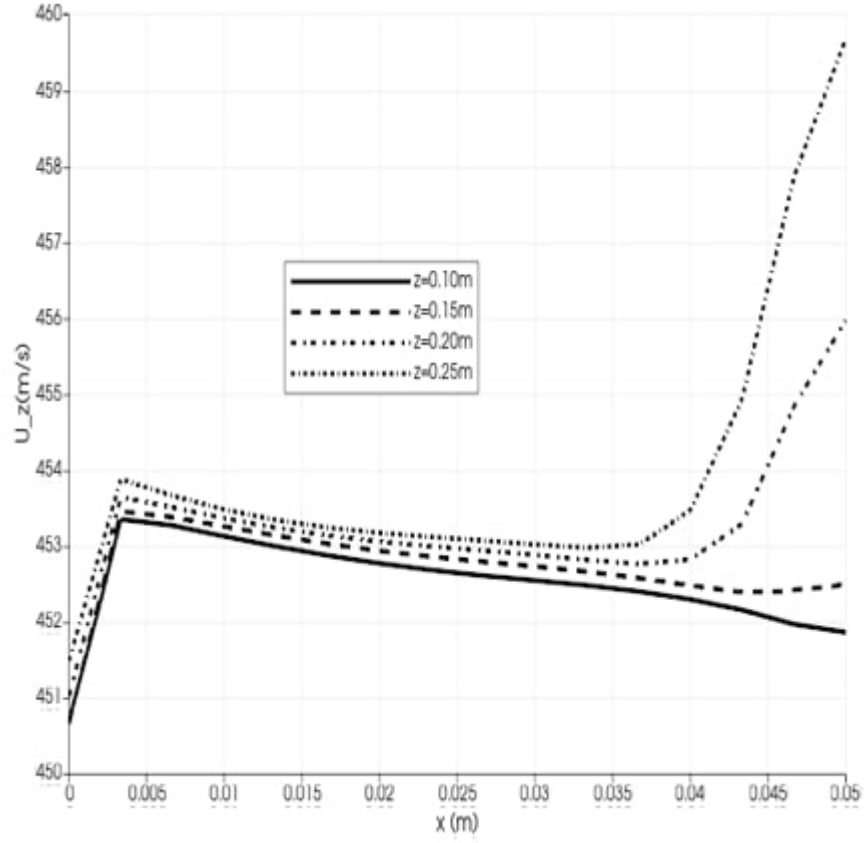
Şekil 4.60. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.



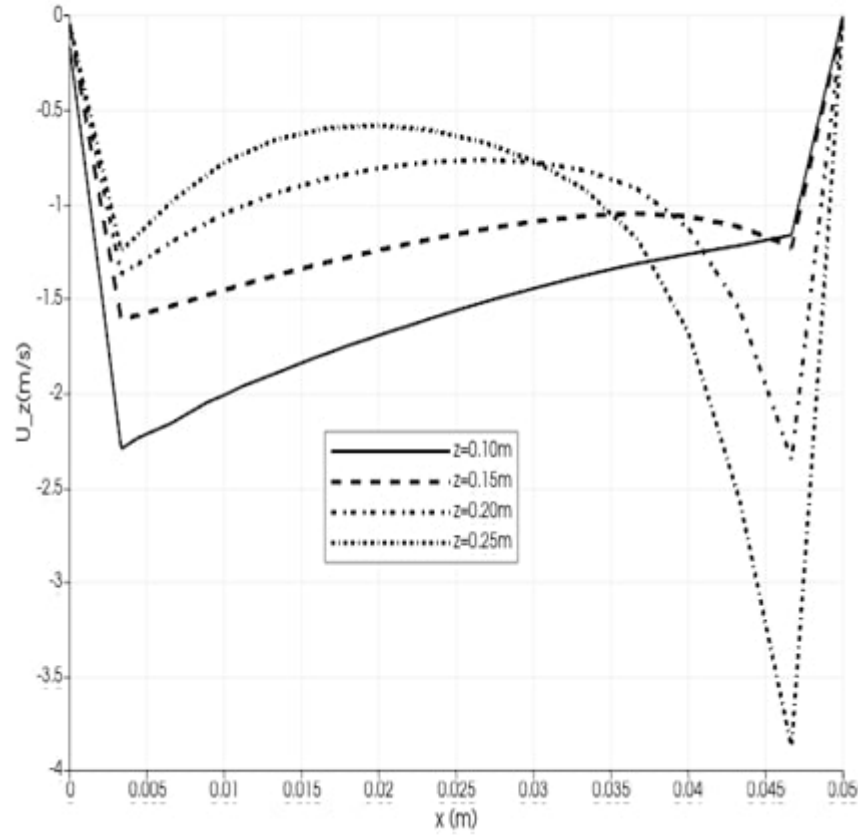
Şekil 4.61. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.



Şekil 4.62. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x ekseni boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.



Şekil 4.63. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında hız dağılımları.



Şekil 4.64. Dağıtıcı kanatlar ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında sıcaklık dağılımları

4.8. Dağıtıcı Kanatlar ile İki Sepet Kullanılması ve Hava Kanallarının Yuvarlak Köşeli Olması (TYK)

Tasarımı gerçekleştirilen hava fritözün hava akış kanallarının yuvarlak köşeli tek sepet ve dağıtıcı kanat kullanılması durumu için yürütülen simülasyon sonuçları bu bölümde grafikler ile ayrıntılı sunulacaktır. Akış alanındaki merkezde xz düzleminde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.50. a.'da ve $z=0,1$ ile $0,20$ m noktaların da yz düzlemlerinde hız kontürlerinin dağılımı Şekil 4.50. b.'de gösterilmiştir. Keskin köşeli tasarımına nazaran maksimum hızda $1,3$ m/s bir artış meydana gelmektedir. Şekilde görüldüğü gibi akış alanında maksimum hız $5,8$ m/s ile fan çıkış kenarında meydana gelmektedir. Şekilde yine görüleceği üzere fan çıkışlarında diğer tasarımlara benzer şekilde kompleks akış yapısı meydana gelmekte ve üst kanalın kapalı kenarlarında ters basınç gradyanı etkisiyle vorteks sistemleri meydana gelmektedir. Üst kanallardan akışkan yan kanallara hareketinde kompleks

akış yapısı gözlemlenirken yan kanal boyunca akış göreceli olarak stabil olmakta ve yaklaşık olarak 2,1 m/s olmaktadır. Alt kanalda gözenekli yüzey etkisiyle akış da sıkışma meydana gelmekte ve akış hızı 3,5 m/s hızına kadar çıkmaktadır. Sepet bölgesinde Şekil 4.50'den görüleceği üzere akış hızı açısından üç bölge gözlemlenmiştir. İlk yan kanallara yakın hâkim akış hızının yaklaşık olarak 1,2-2 m/s aralığında olduğu bölge, ikincisi hızın yaklaşık olarak 3,5-4,3 m/s aralığında merkeze yakın olduğu görece ince bir bölge, üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında hızın 1 m/s'den olduğu ve neredeyse sepetin %65 alanına sahip bölgedir. xy düzlemlerindeki akış kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.22.b'de görüleceği üzere sepet bölgesinde hâkim akış hızı yaklaşık olarak 1,1 m/s'dir. Sepet kapalı yan yüzeyine yakın bölgede ise akış hızı 3,3 m/s kadar ulaşabilmektedir. Bu dramatik değişim sepet alt yüzeyinin gözenekli seçilmesi nedeniyle alt kanalda sıkışan akışın kapalı yüzey boyunca akmaya zorlanmasıyla birer sonucudur.

Akış alanındaki merkezde xz düzleminde sıcaklık kontürlerinin dağılımı Şekil 4.51. a'da ve $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin Şekil 4.51. b'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi akış alanında maksimum sıcaklık rezistansın yakın çevresi hariç hemen rezistansın üstünde 470 K olarak gözlemlenmiştir. Yine şekilde görüleceği üzere akış alanındaki sıcaklık gradyanları büyük ölçüde akış yapısıyla paralellik göstermektedir. En büyük sıcaklık gradyanları üst kanalda gözlemlenmiştir. Bu kanalda üst kısımda sıcaklık yaklaşık olarak 480 K olurken kanalın sağ kısmında ise 462 K kadar düşebilmektedir. Şekil 4.51'de görüleceği üzere en büyük termal gerilmeye maruz dış yüzeyler üst ve yan yüzeylerdir. Sepet bölgesinde akış alanındaki en düşük sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Sepet bölgesindeki sıcaklık farkları açısından üç bölge gözlemlenebilir. İlk yan kanallara yakın ve sıcaklığın yaklaşık olarak 465 K olduğu bölge, ikincisi merkezde ve sepet bölgesinde maksimum sıcaklığı gözlemlendiği ince bir bölge ve üçüncüsü söz konusu iki bölge arasında arasın da minimum sıcaklığın (440 K) meydana geldiği tam olarak sepet bölgesindeki vorteks sistemine denk gelen bölgedir. Sepet bölgesindeki xz düzlemindeki durum; xy düzlemlerindeki sıcaklık kontürlerinin gösterildiği Şekil 4.51.b'den görüleceği üzere benzerdir. Yine şekilde görüleceği üzere maksimum radyasyon yan yüzeyler üzerinde ve yakın bölgede meydana gelmektedir. Bu akış alanındaki radyasyonun bir sonucudur.

Akış alanındaki merkezde basınç kontürlerinin dağılımı Şekil 4.52'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi akış alanında maksimum basınç bekleneceği üzere fanın hemen üstünde meydana gelirken minimum basınç yine bekleneceği üzere fanın hemen altında meydana gelmektedir. En büyük basınç gradyanı ise üst

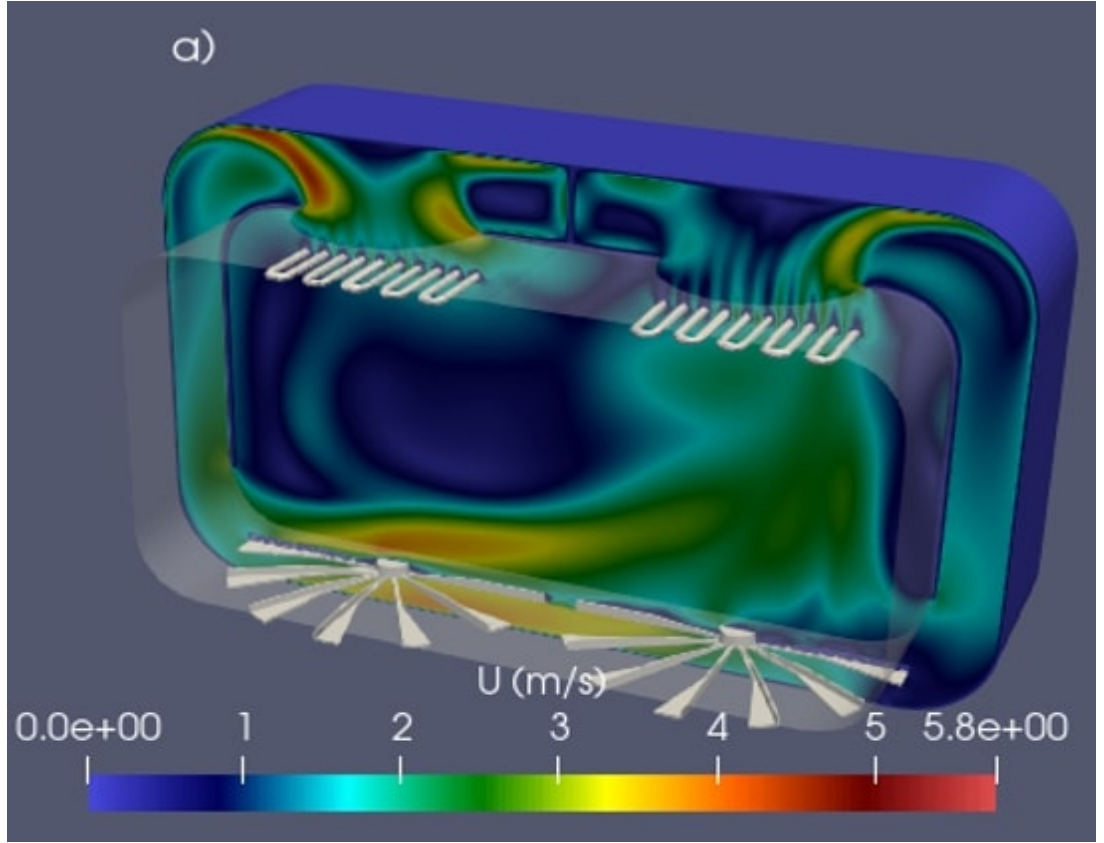
kanalda gözlemlenmiştir. Sepet bölgesinde ise basınç aşağıdan yukarıya doğru kademeli olarak azalmaktadır. Akış alanındaki hız vektörlerinin dağılımı Şekil 4.53'de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere akış alanında ikisi üst kanalı kapalı kısmında yakın diğer ikisi sepet bölgesinde ve neredeyse tüm sepet bölgesini kapsayan dört vorteks sistemi meydana gelmektedir. Yan ve alt kanal boyunca hareket eden akışkanın büyük kısmı alt kanalın kısına yakın bir bölgede sepet bölgesine girmektedir. Bunu sonucu olarak diğerine nazaran daha büyük bir vorteks sistemi sepet bölgesinde meydana gelmektedir. Sepet bölgesinde meydana gelen büyük vorteks sistemi neredeyse akış alanının %82 kaplamakta ve dolayısıyla hız ve sıcaklık gradyanlarının dağılımını belirleyen ana parametreler olmaktadır.

Hava fritözünün termal performansını gösteren ana parametre sepet bölgesindeki sıcaklık dağılımıdır. Şekil 4.54'de görüleceği üzere rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 464-443 K aralığında değişmektedir. Bu sıcaklık değişimlerini daha ayrıntılı gözlemleyebilmek için akış alanının $y=0,13$ m'de (merkez) zx düzleminde $z=0,1, 0,15, 0,2$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere $z=0,1$ m noktasında yan kanala yakın bölgede yan kanalın ve radyasyon etkisiyle sıcaklık yaklaşık olarak 464 K iken $x=0,015$ m'ye doğru düşük bir gradyanla 460 K düşmektedir. Bu noktadan sonra yine düşük bir gradyanla yaklaşık olarak $x=0,025$ m mesafesinde 464 K yükselmektedir. Bu noktadan sonra ise $x=0,5$ m doğru sıcaklık değişen düşük gradyanlar ile 448 K kadar düşmekte ve bu noktadan sonra sağ yan yüzeye doğru dramatik olarak 458 K kadar yükselmektedir. $z=0,15$ m'de $x=0,32$ m'de sıcaklık eğilim açısından 444 K ile en dip nokta gözlemlenmektedir. Bu noktadaki diğer dip nokta 450 K ile $x=0,42$ m noktasındadır. $z=0,2$ ve $0,25$ m noktalarında da benzer eğilim farklı gradyanlar ile söz konusudur. Bu benzer eğilimler sepet bölgesinde meydana gelen iki vorteks sisteminin bir sonucudur.

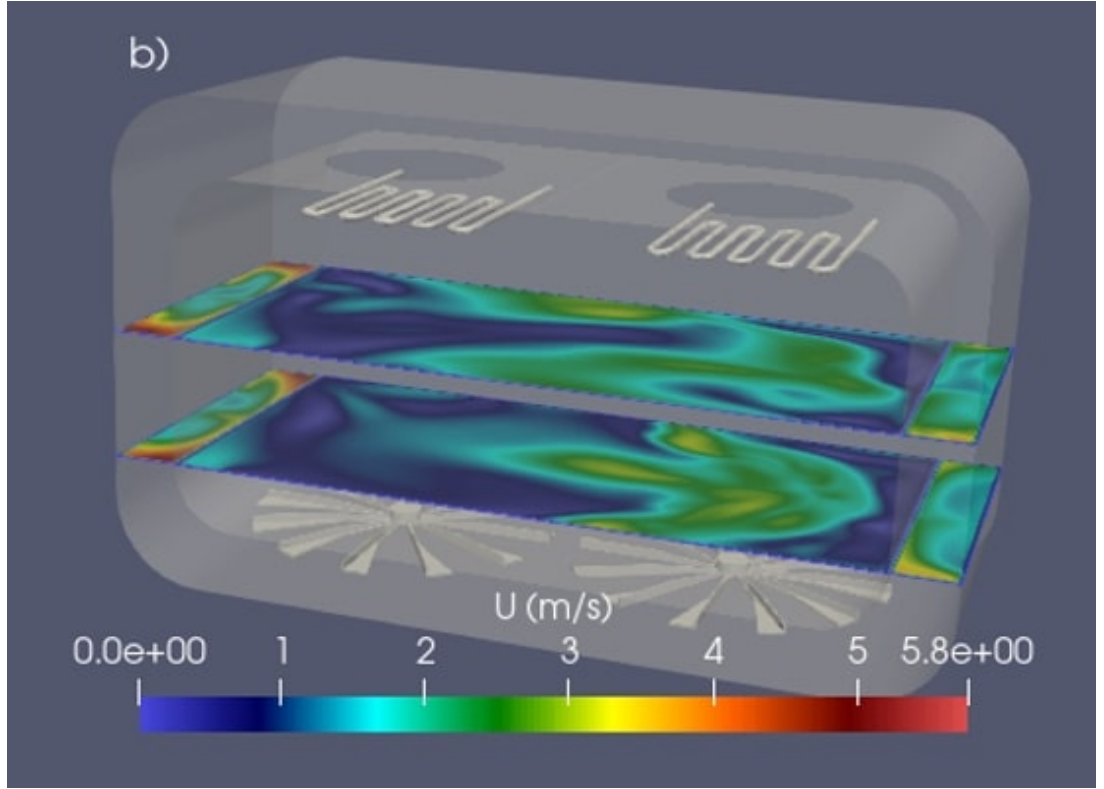
Sepetin sol kapalı kanalda $z=0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.55. a'da ve hız profilleri Şekil 4.55. b'de gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki yuvarlak köşeli dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneceği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilde görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m'de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız radyanları daha

düşük seviyede kalmaktadır. Sağ kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profillerinin gösterildiği Şekil 4.55. a'da görüleceği üzere tüm eksenlerde dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x= 0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanın $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.

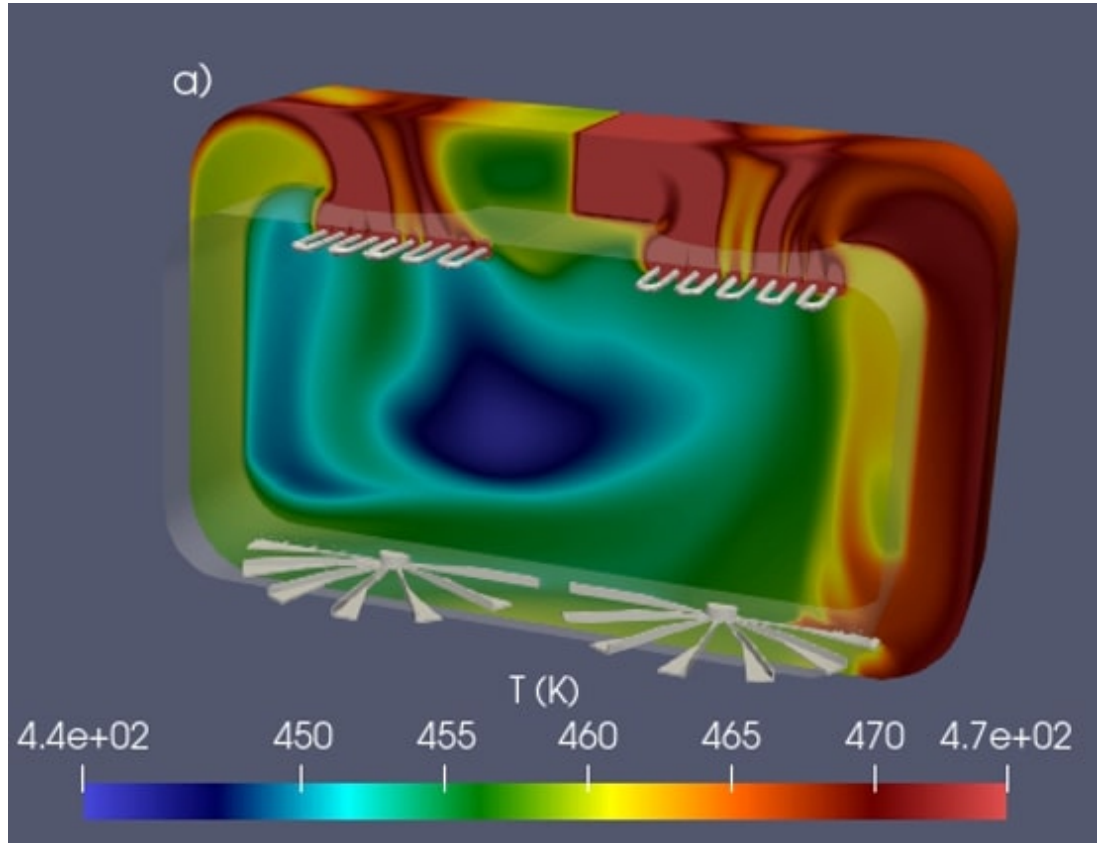
Sepetin sağ kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profilleri Şekil 4.56. a'da ve hız profilleri Şekil 4.56. b'de gösterilmiştir. Kapalı kanalda fan tarafından tahrik edilen akışın iki yuvarlak köşeli dirsekten hareketi söz konusudur. Bu iki dirsek bekleneneği üzere akış alanı belirleyen ana geometrik parametrelerdir. Şekilden görüleceği üzere en büyük hız gradyanı $z=0,25$ m'de sepet tarafındaki yüzeyin hemen üzerinde meydana gelmektedir. Kanal boyunca akış gelişmekte fakat kanal boyu akışın tam gelişmesine yetmemektedir. Diğer noktalarda ($z=0,1, 0,15$ ve $0,20$ m) $z=0,25$ m nazaran hız radyanları daha düşük seviyede kalmaktadır. Sağ kapalı kanalda $z= 0,1, 0,15, 0,20, 0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık profillerinin gösterildiği Şekil 4.56. a'da görüleceği üzere tüm eksenlerde dış yüzey üzerinde minimum sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Dış yüzeylerde gözlemlenen minimum sıcaklıklardan sonra tüm eksenlerde sıcaklıklar yaklaşık olarak $x= 0,05$ m kadar lineer yükselmekte ve bu noktadan sonra sıcaklık sepet köşesine doğru düşük bir gradyanda eksponansiyel artmaktadır. En düşük sıcaklık gradyanın $z=0,1$ m noktasında gözlemlenmiştir.



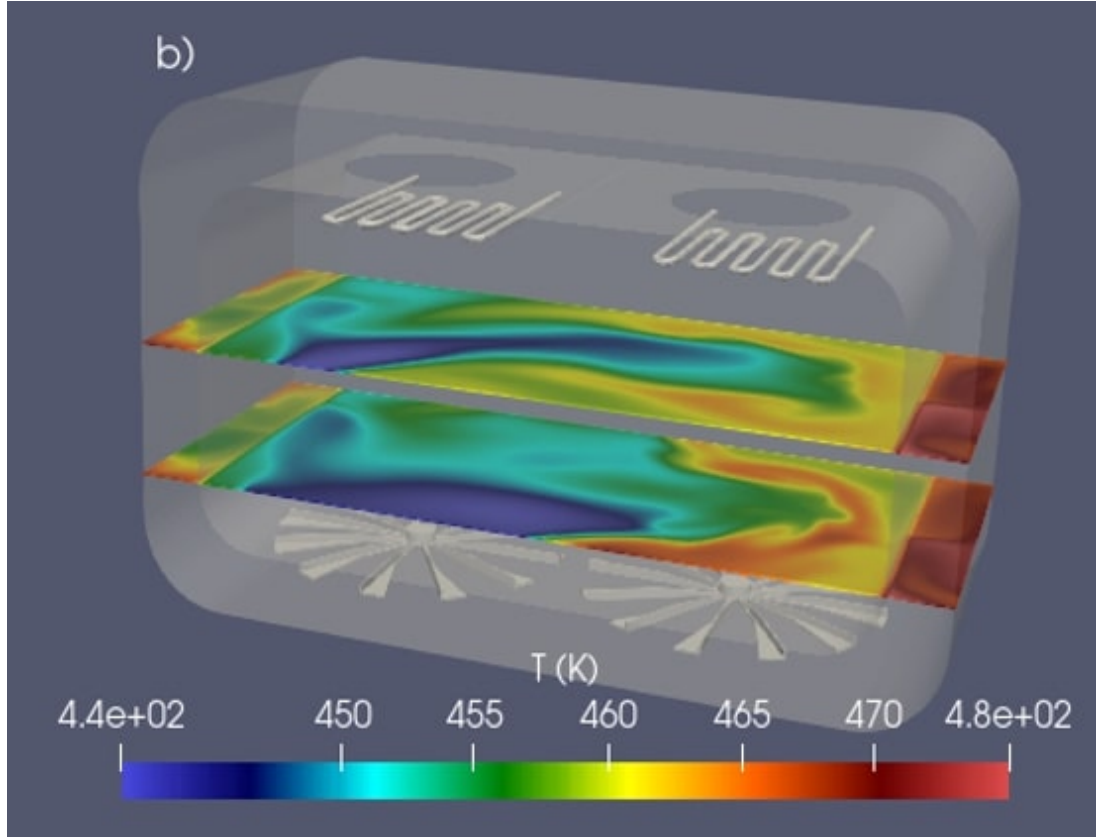
Şekil 4.65. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde hız kontürleri.



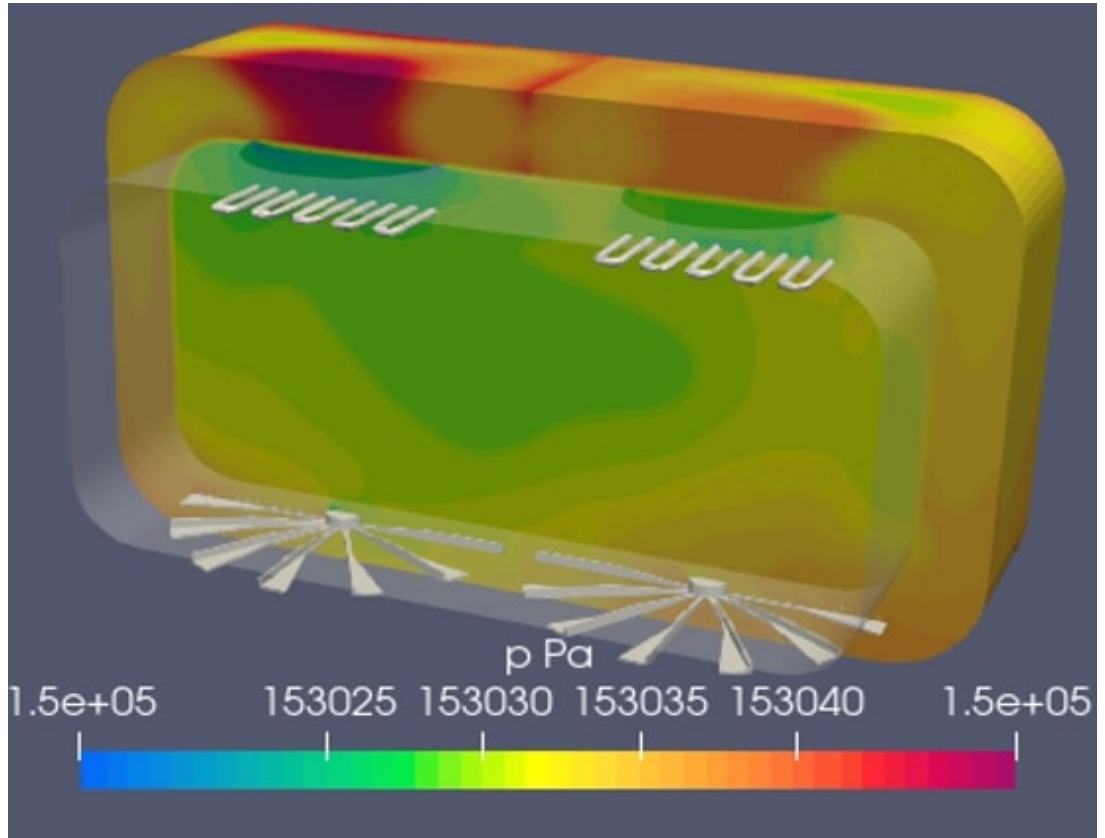
Şekil 4.66. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,22$ m noktalarında xy eksenlerinde hız kontürleri.



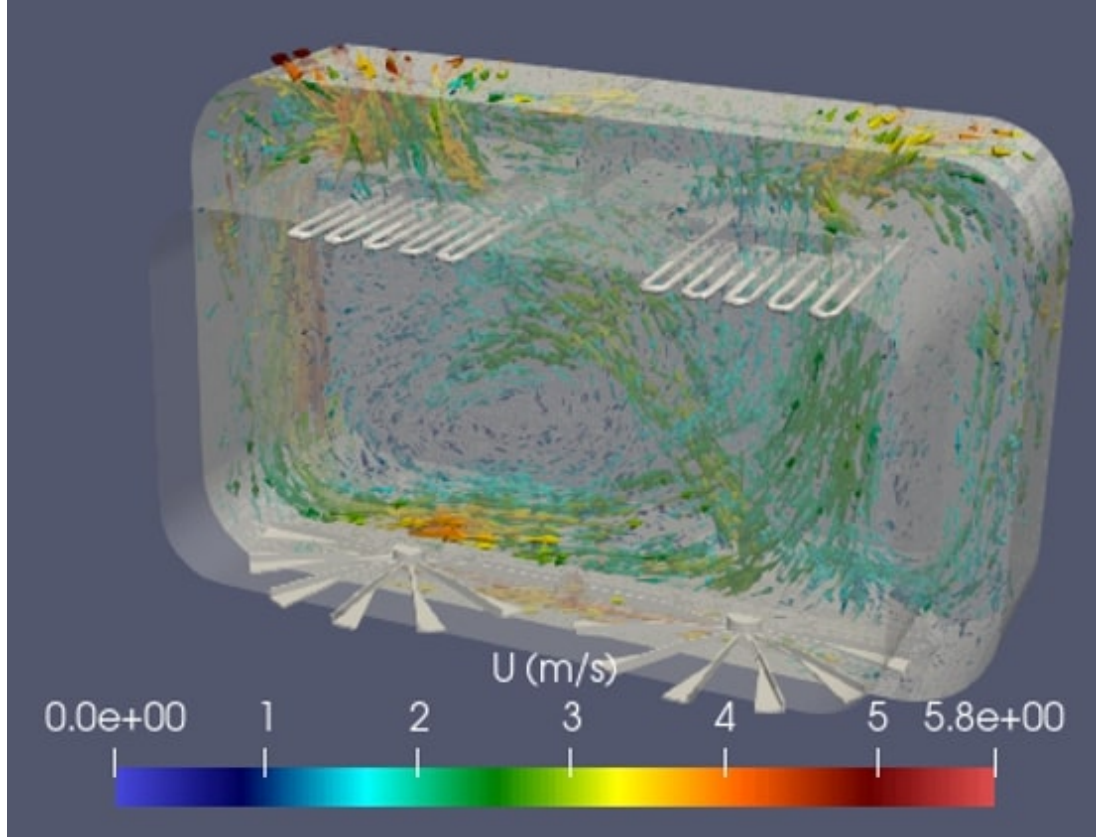
Şekil 4.67. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda a) merkezde xz ekseninde sıcaklık kontürleri.



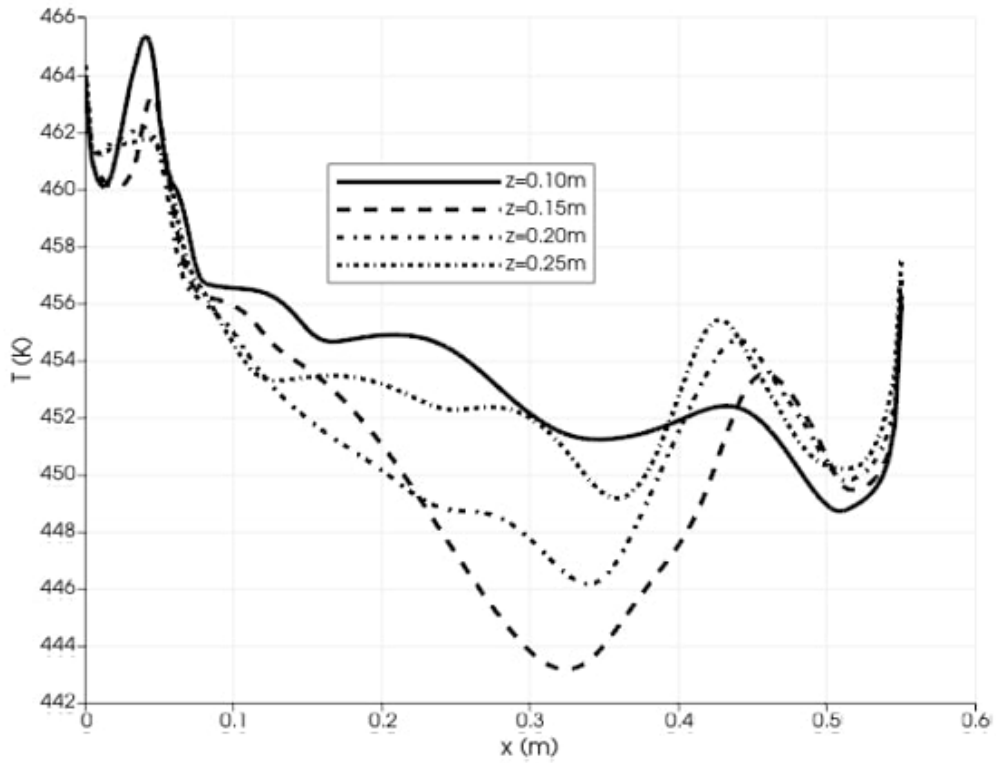
Şekil 4.68. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda b) $z=0,1$ ile $0,2$ m noktalarında xz eksenlerinde durumdaki sıcaklık kontürleri.



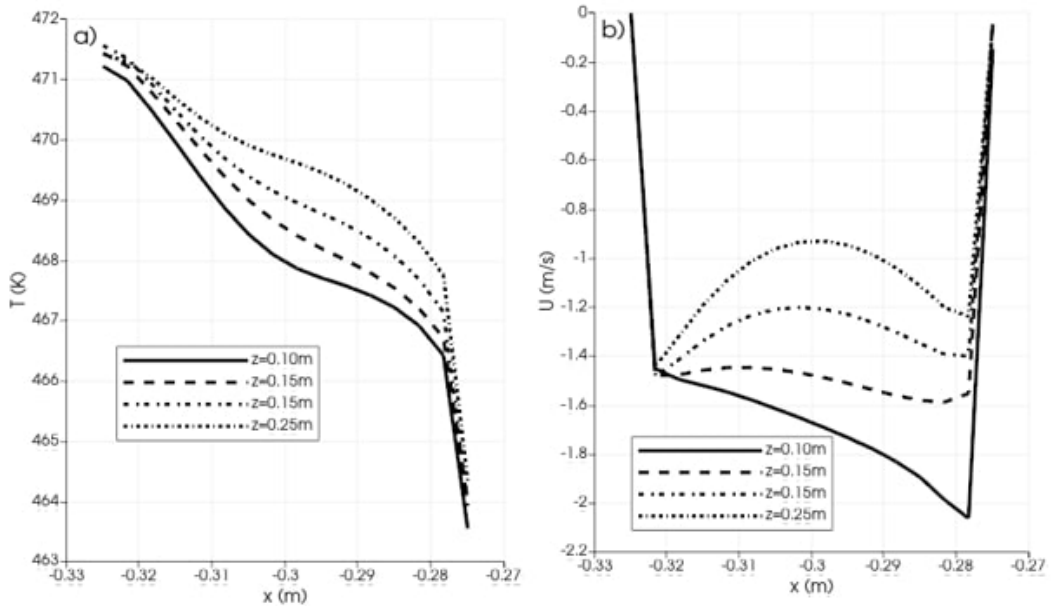
Şekil 4.69. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde basınç kontürleri.



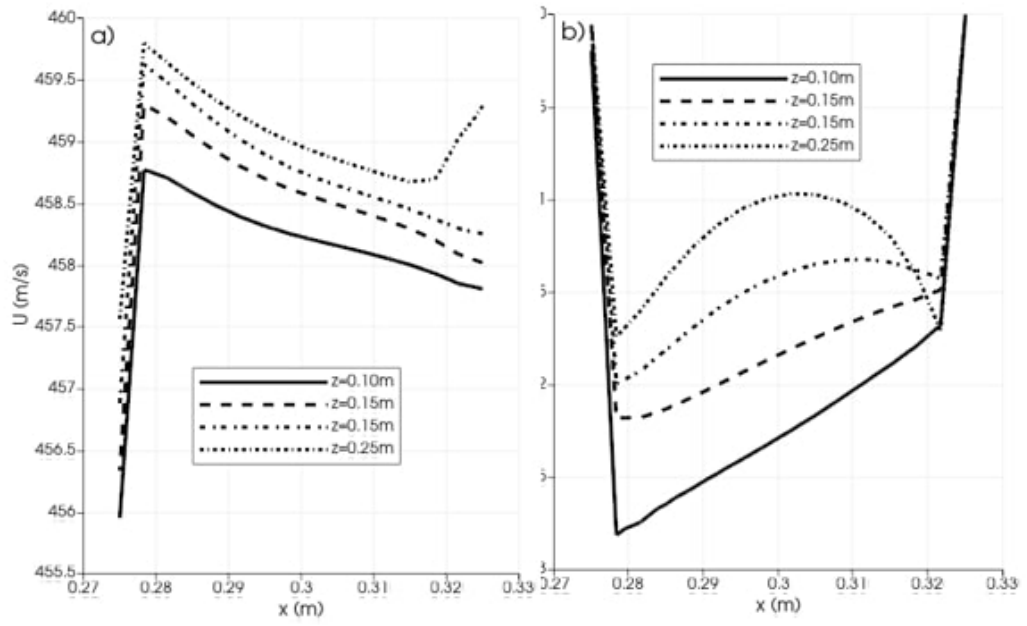
Şekil 4.70. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde xz düzleminde hız vektörleri.



Şekil 4.71. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sepet bölgesinde x eksenini boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında x boyunca sıcaklık dağılımları.



Şekil 4.72. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda merkezde soldaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.



Şekil 4.73. Dağıtıcı kanatlar ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda merkezde sağdaki kapalı kanal da x boyunca , $z=0,1, 0,15, 0,20$ ve $0,25$ m noktalarında a) sıcaklık ve b) hız dağılımları.

5. TARTIŞMA

Tez çalışmasında tasarımı gerçekleştirilen endüstriyel bir hava fritözünün geometrik düzenlemeler sonucunda termal performansındaki değişim HAD simülasyonları ile araştırılmıştır. Toplamda mevcut tasarım dahil yapılan 8 düzenlemenin sonuçları önceki bölümde ayrıntılı grafikler ile sunulmuştur. Termal performans açısından düzenlemelerin etkileri sepet bölümündeki sıcaklık gradyanları dikkate alınarak karşılaştırılabilir. Bu bölümde bu etki sepet bölgesi dikkate alınacak tartışılacaktır.

Keskin köşeli iki ve tek sepet kullanılması durumu: İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda akış alanında maksimum hız 5 m/s ve maksimum sıcaklık 490K gözlemlenmiştir. Rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 450-470 K aralığında olduğu saptanmıştır. Yan yüzeylerdeki yüksek sıcaklık değerleri ihmal edilirse sepet bölgesinin %80 sıcaklık 465-450 aralığında değişmektedir. Sepet bölgesinde yukarı çıkıldıkça enine sıcaklık dağılımı alta nazaran daha düşük sıcaklık gradyanlarında değişmektedir. Söz konusu sıcaklık dağılımında etkili parametrenin sepet bölgesindeki meydana gelen ve neredeyse tüm akış alanın kapsayan vorteks sistemiyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda akış alanında maksimum hız 4,5 m/s ve maksimum sıcaklık 500 K gözlemlenmiştir. Rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde ise sıcaklık 454-488 K aralığında olduğu saptanmıştır. İki sepet kullanılmasına nazaran akış hızında maksimum hız dikkate alındığında 0,5 m/s'lik bir düşüş söz konusudur. İki sepet kullanımında sepet bölgesinde maksimum sıcaklık farkı 20 K iken tek sepet kullanımında 36 K olmaktadır. Tek sepet kullanımında yan yüzeylerdeki yüksek sıcaklık değerleri ihmal edilirse sepet bölgesinin %80 sıcaklık 464-452 aralığında değişmektedir. Sepet bölgesinde yukarı çıkıldıkça enine sıcaklık dağılımı alta nazaran daha düşük sıcaklık gradyanlarında değişmektedir. Söz konusu sıcaklık dağılımında etkili parametrenin sepet bölgesindeki meydana gelen ve neredeyse tüm akış alanın kapsayan iki vorteks sistemiyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Tek sepet kullanımında akış hızı düşerken sepet bölgesinde sıcaklık gradyanları iki sepet bölgesine oranla artmakta dolayısıyla tasarımın termal performansını önemli derece düşürmektedir.

Yuvarlak köşeli iki ve tek sepet kullanılması durumu: İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda akış alanında maksimum hız 6,5 m/s ve maksimum sıcaklık 460 K gözlemlenmiştir. Rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 454-435 K aralığında olduğu

saptanmıştır. Yan yüzeylerdeki yüksek sıcaklık değerleri ihmal edilirse sepet bölgesinin %80 sıcaklık 445-435 K aralığında değişmektedir. Sepet bölgesinde yukarı çıkıldıkça enine sıcaklık dağılımı alta nazaran daha düşük sıcaklık gradyanlarında değişmektedir. Söz konusu sıcaklık dağılımında etkili parametrenin sepet bölgesindeki meydana gelen ve neredeyse tüm akış alanını kapsayan vorteks sistemiyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda akış alanında maksimum hız 6,2 m/s ve maksimum sıcaklık 480 K gözlemlenmiştir. Rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde ise sıcaklık 440-464 K aralığında olduğu saptanmıştır. İki sepet kullanılmasına nazaran akış hızında maksimum hız dikkate alındığında 0,3 m/s'lik bir düşüş söz konusudur. İki sepet kullanımında sepet bölgesinde maksimum sıcaklık farkı 19 K iken tek sepet kullanımında 24 K olmaktadır. Tek sepet kullanımında yan yüzeylerdeki yüksek sıcaklık değerleri ihmal edilirse sepet bölgesinin % 80 sıcaklık 462-440 K aralığında değişmektedir. Sepet bölgesinde yukarı çıkıldıkça enine sıcaklık dağılımı alta nazaran daha düşük sıcaklık gradyanlarında değişmektedir. Söz konusu sıcaklık dağılımında etkili parametrenin sepet bölgesindeki meydana gelen ve neredeyse tüm akış alanını kapsayan iki vorteks sistemiyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Tek sepet kullanımında akış hızı düşerken sepet bölgesinde sıcaklık gradyanları iki sepet bölgesine oranla artmakta dolayısıyla tasarımın termal performansını önemli derece düşürmektedir.

Keskin köşeli, dağıtıcı fan ilave iki ve tek sepet kullanılması durumu: İki sepet kullanılması, dağıtıcı fanın olması ve hava kanallarının keskin köşeli olması durumunda akış alanında maksimum hız 5 m/s ve maksimum sıcaklık 470 K gözlemlenmiştir. Rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 454-438 K aralığında olduğu saptanmıştır. Yan yüzeylerdeki yüksek sıcaklık değerleri ihmal edilirse sepet bölgesinin %80 sıcaklık 445-438 K aralığında değişmektedir. Sepet bölgesinde yukarı çıkıldıkça enine sıcaklık dağılımı alta nazaran daha düşük sıcaklık gradyanlarında değişmektedir. Söz konusu sıcaklık dağılımında etkili parametrenin sepet bölgesindeki meydana gelen ve neredeyse tüm akış alanını kapsayan vorteks sistemiyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda akış alanında maksimum hız 4,5 m/s ve maksimum sıcaklık 470 K gözlemlenmiştir. Rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde ise sıcaklık 446-468 K aralığında olduğu saptanmıştır. İki sepet kullanılmasına nazaran akış hızında maksimum hız dikkate alındığında 0,5 m/s'lik bir düşüş söz konusudur. İki sepet kullanımında sepet bölgesinde maksimum sıcaklık farkı 16 K iken tek sepet kullanımında 22 K olmaktadır. Tek sepet kullanımında yan yüzeylerdeki yüksek sıcaklık değerleri ihmal edilirse sepet bölgesinin % 80 sıcaklık

467-446 K aralığında değişmektedir. Sepet bölgesinde yukarı çıkıldıkça enine sıcaklık dağılımı alta nazaran daha düşük sıcaklık gradyanlarında değişmektedir. Söz konusu sıcaklık dağılımında etkili parametrenin sepet bölgesindeki meydana gelen ve neredeyse tüm akış alanın kapsayan iki vorteks sistemiyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Tek sepet kullanımında akış hızı düşerken sepet bölgesinde sıcaklık gradyanları iki sepet bölgesine oranla artmakta dolayısıyla tasarımın termal performansını önemli derece düşürmektedir.

Yuvarlak köşeli dağıtıcı fan ilave iki ve tek sepet kullanılması durumu: İki sepet kullanılması, dağıtıcı fan ilave ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda akış alanında maksimum hız 5,8 m/s ve maksimum sıcaklık 470 K gözlemlenmiştir. Rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde sıcaklık 453-438 K aralığında olduğu saptanmıştır. Yan yüzeylerdeki yüksek sıcaklık değerleri ihmal edilirse sepet bölgesinin %80 sıcaklık 446-438 K aralığında değişmektedir. Sepet bölgesinde yukarı çıkıldıkça enine sıcaklık dağılımı alta nazaran daha düşük sıcaklık gradyanlarında değişmektedir. Söz konusu sıcaklık dağılımında etkili parametrenin sepet bölgesindeki meydana gelen ve neredeyse tüm akış alanını kapsayan vorteks sistemiyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması durumunda akış alanında maksimum hız 5,8 m/s ve maksimum sıcaklık 470 K gözlemlenmiştir. Rezistans yakın çevresi hariç sepet bölgesinde ise sıcaklık 443-464 K aralığında olduğu saptanmıştır. İki sepet kullanımında sepet bölgesinde maksimum sıcaklık farkı 15 K iken tek sepet kullanımında 21 K olmaktadır. Tek sepet kullanımında yan yüzeylerdeki yüksek sıcaklık değerleri ihmal edilirse sepet bölgesinin %80 sıcaklık 458-443 K aralığında değişmektedir. Sepet bölgesinde yukarı çıkıldıkça enine sıcaklık dağılımı alta nazaran daha düşük sıcaklık gradyanlarında değişmektedir. Söz konusu sıcaklık dağılımında etkili parametrenin sepet bölgesindeki meydana gelen ve neredeyse tüm akış alanın kapsayan iki vorteks sistemiyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Tek sepet kullanımında akış hızı düşerken sepet bölgesinde sıcaklık gradyanları iki sepet bölgesine oranla artmakta dolayısıyla tasarımın termal performansını önemli derece düşürmektedir.

Dağıtıcı fan kullanılması durumu: Dağıtıcı fan akış hızı açısından akış alanı üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Buna karşın sepet bölgesinde sıcaklık gradyanının azalmasında önemli derecede etkisi gözlemlenmiştir. Örneğin iki sepet kullanılması durumunda sepet bölgesinde maksimum sıcaklık farkı 20 K iken dağıtıcı kanat durumunda söz konusu fark 16 K düşmektedir.

6. SONUÇLAR

Araştırmada mevcut geometri ve mevcut geometri üzerinde yapılan; (i) İki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (ii) tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (iii) İki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması, (iv) tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması, (v) sepet altında akış dağıtıcı fan ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (vi) sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının keskin köşeli olması, (vii) sepet altında akış dağıtıcı fan ile iki sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması, (viii) sepet altında akış dağıtıcı fan ile tek sepet kullanılması ve hava kanallarının yuvarlak köşeli olması, şeklinde sekiz geometrik düzenlemenin termal performans üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucu akış alanlarındaki maksimum hız ile sıcaklık değerleri ve sepet bölgesinde maksimum minimum sıcaklık farkları Tablo 6.1’de verilmiştir. Araştırmada aşağıdaki temel verilere ulaşılmıştır:

1. Akış alanının yapısı tüm düzenlemeler de benzer olmasına rağmen maksimum-minimum hız farkları değişiklik göstermektedir.
2. Tüm düzenlemelerde düzenlemeler de sepet bölümünde akış hızı açısından; (i) yan kanala yakın akış hızının 1-2,2 m/s aralığındaki bölge, sepetin kapalı kenarına veya merkezine yakın ince bir bölgede 3-4,5 m/s aralığında akış hızı ve (ii) iki bölge arasında bir vorteks sisteminin gözlemlendiği hızın 1 m/s altında olduğu bölge olmak üzere üç bölge gözlemlenmiştir.
3. Yukarıda sepet bölgesinde akış hızına benzer bir ayırım sıcaklık farklarında da meydana gelmiştir.
4. Tüm düzenlemelerde akış alanında minimum sıcaklık değerleri 450 K üzerinde olduğu gözlemlenmiş ve minimum sıcaklığı vorteks sisteminde meydana geldiği tespit edilmiştir.
5. Dış yüzey üzerinde maksimum termal gerilme üst ve yan yüzeylerde meydana gelmektedir.
6. Yuvarlak köşeli tasarımlarda keskin köşeli tasarımlara nazaran daha az basın kaybı olduğundan akış hızı önemli ölçüde artarken sepet bölgesinde ise daha düşük sıcaklık gradyanları meydana gelmiştir. Bu durum açıkça Tablo 6.1’den görülebilir.

7. Dağıtıcı fan kullanımı, akış alanındaki hız gradyanları açısından ihmal edilebilir seviyede etkili iken, sıcaklık gradyanı üzerinde önemli ve olumlu bir etkisi bulunmaktadır. Örneğin, ikili sepetin keskin köşeli düzenlemesinde, dağıtıcı fan etkisiyle maksimum ve minimum sıcaklık farkı 20 K'den 12 K'ye düşmektedir..
8. Tez kapsamında yürütülen sekiz düzenlemenin termal performans açısından (sepet bölgesindeki sıcaklık gradyanları) en iyi tasarım İkili sepet yuvarlak köşeli dağıtıcı fan tasarım olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6.1. Yapılan sekiz düzenlemenin akış alanlarındaki maksimum hız ile sıcaklık değerleri ve sepet bölgesinde maksimum minimum sıcaklık farkları.

Tasarımlar	U _{max} (m/s)	T _{max} (K)	Sepet bölgesi (T _{max} -T _{min}) (K)
İK	5	490	450-470
TK	4,5	500	452-488
İR	6,5	460	454-435
TR	6,2	480	464-440
İKK	5	470	452-438
TKK	4,5	480	468-446
İRK	5,8	470	453-438
TRK	5,8	470	464-443

7. ÖNERİLER

Sekiz farklı geometrik düzenlemenin endüstriyel hava fritözünün termal performansı üzerindeki etkisinin araştırıldığı tez çalışmasında yürütülen simülasyonlar sonucunda termal performansı artırma yönünde aşağıdaki tasarım kriterleri tespit edilmiştir. Tespit edilen tasarım kriterleri ve ileriye dönük yürütülmesi planlanan çalışmalar aşağıda verilmiştir:

- Yuvarlak köşeler akış alanında bekleneceği üzere düşük basınç kaybı nedeniyle akış hızını önemli derece artırmaktadır. Bu durum sepet bölgesinde enine sıcaklık gradyanlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu tez çalışmasında yuvarlatma yarıçapı 0,05 m seçilmiştir. Farklı yarıçapların veya yarıçaplarının etkisinin araştırılması gerekir.
- İki sepet kullanılması tek sepete nazaran daha düşük sıcaklık gradyanı ve göreceli olarak daha stabil bir akış alanı sağlamıştır. Bu açıdan benzer uygulamalarda tek sepet uygulamalarında sepet bölgesi bir yüzey ile ayrılarak iki simetrik akış alanı daha dengeli bir pişirme süreci sağlayacaktır.
- Dağıtıcı fan tüm tasarımlarda sepet bölgesinde daha düşük sıcaklık gradyanlarına neden olmuştur. Bu sepet bölgesinde daha uniform bir pişirme süreci sağlayacaktır. Dağıtıcı fan tez çalışmasında sabit seçilmiştir. İleriki çalışmalarda dağıtıcı fanın düşük devirde döndürme etkisine yönelik çalışmalar optimal pişirme süreçlerinin belirlenmesinde önemli katkısı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abd Rahman, N. A., Abdul Razak, S. Z., Lokmanalhakim, L. A., Taip, F. S., vd Mustapa Kamal, S. M. (2017). Response surface optimization for hot air-frying technique and its effects on the quality of sweet potato snack. *Journal of Food Process Engineering*, 40(4), e12507. <https://doi.org/10.1111/JFPE.12507>
- Andrés, A., Arguelles, Á., Castelló, M. L., vd Heredia, A. (2013). Mass Transfer and Volume Changes in French Fries During Air Frying. *Food and Bioprocess Technology*, 6(8), 1917–1924. <https://doi.org/10.1007/S11947-012-0861-2/FIGURES/5>
- Chhanwal, N., Anishaparvin, A., Indrani, D., Raghavarao, K. S. M. S., vd Anandharamakrishnan, C. (2010). Computational fluid dynamics (CFD) modeling of an electrical heating oven for bread-baking process. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 452–460. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2010.04.030>
- Dana, D., vd Saguy, I. S. (1995). Oil uptake during deep-fat frying : Factors and mechanism. *Food Technol.*, 49(4), 142-145,152. <https://doi.org/10.3136/FSTR.7.265>
- Fang, M., Huang, G. J., vd Sung, W. C. (2021). Mass transfer and texture characteristics of fish skin during deep-fat frying, electrostatic frying, air frying and vacuum frying. *LWT*, 137, 110494. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110494>
- Fikry, M., Khalifa, I., Sami, R., Khojah, E., Ismail, K. A., vd Dabbour, M. (2021). Optimization of the Frying Temperature and Time for Preparation of Healthy Falafel Using Air Frying Technology. *Foods 2021, Vol. 10, Page 2567*, 10 (11), 2567. <https://doi.org/10.3390/FOODS10112567>
- Funami, T., Funami, M., Tawada, T., vd Nakao, Y. (1999). Decreasing Oil Uptake of Doughnuts During Deep-fat Frying Using Curdlan. *Journal of Food Science*, 64(5), 883–888. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.1999.TB15933.X>
- Ghaitaranpour, A., Mohebbi, M., vd Koocheki, A. (2018). Characterizing the cellular structure of air and deep fat fried doughnut using image analysis techniques. *Journal of Food Engineering*, 237, 231–239. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2018.06.006>
- Goyal, M. R., vd Meghwal, M. (2016). *Mathematical Modeling in Foods: Review*. 75–110. <https://doi.org/10.1201/9781315366258-19>
- Guzik, P., Szymkowiak, A., Kulawik, P., Zajac, M., vd Migdał, W. (2022). The confrontation of consumer beliefs about the impact of microwave-processing on food and human health with existing research. *Trends in Food Science vd Technology*, 119, 110–121. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.11.011>
- Houston, M. (2018). The role of noninvasive cardiovascular testing, applied clinical nutrition and nutritional supplements in the prevention and treatment of

- coronary heart disease. *Therapeutic Advances in Cardiovascular Disease*, 12(3), 85–108. https://doi.org/10.1177/1753944717743920/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_1753944717743920-FIG5.JPEG
- Huang, Y., Ho, S. S. H., Ho, K. F., Lee, S. C., Yu, J. Z., vd Louie, P. K. K. (2011). Characteristics and health impacts of VOCs and carbonyls associated with residential cooking activities in Hong Kong. *Journal of Hazardous Materials*, 186(1), 344–351. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2010.11.003>
- Mehmet Sidar GÜLER, P., Fedai, H., Demirbağ, R., Üniversitesi Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalı Şanlıurfa, H., Üniversitesi Tıp Fakültesi Kardiyoloji Anabilim Dalı, H., vd Öz, T. (2021). Kardiyovasküler Hastalıklarda Sağlıklı Beslenme Önerileri Healthy Nutrition Recommendations in Cardiovascular Diseases. *Journal of Harran University Medical Faculty*, 18(2), 342–348. <https://doi.org/10.35440/hutfd.947849>
- Moyo, S. M., Mavumengwana, V., vd Kayitesi, E. (2017). Effects of cooking and drying on phenolic compounds and antioxidant activity of African green leafy vegetables. *Https://Doi.Org/10.1080/87559129.2017.1289384*, 34(3), 248–264. <https://doi.org/10.1080/87559129.2017.1289384>
- Reddy, K. S., vd Katan, M. B. (2004). Diet, nutrition and the prevention of hypertension and cardiovascular diseases. *Public Health Nutrition*, 7(1a), 167–186. <https://doi.org/10.1079/PHN2003587>
- Sansano, M., Juan-Borrás, M., Escriche, I., Andrés, A., vd Heredia, A. (2015). Effect of Pretreatments and Air-Frying, a Novel Technology, on Acrylamide Generation in Fried Potatoes. *Journal of Food Science*, 80(5), T1120–T1128. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12843>
- Santos, C. S. P., Cunha, S. C., vd Casal, S. (2017). Deep or air frying? A comparative study with different vegetable oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(6), 1600375. <https://doi.org/10.1002/EJLT.201600375>
- Shanta Retelny, V., Neuendorf, A., vd Roth, J. L. (2008). Nutrition Protocols for the Prevention of Cardiovascular Disease. *Nutrition in Clinical Practice*, 23(5), 468–476. <https://doi.org/10.1177/0884533608323425>
- Soladoye, O. P., Juárez, M. L., Aalhus, J. L., Shand, P., vd Estévez, M. (2015). Protein Oxidation in Processed Meat: Mechanisms and Potential Implications on Human Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(2), 106–122. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12127>
- Song, G., Li, L., Wang, H., Zhang, M., Yu, X., Wang, J., Xue, J., vd Shen, Q. (2020). Real-time assessing the lipid oxidation of prawn (*Litopenaeus vannamei*) during air-frying by iKnife coupling rapid evaporative ionization mass spectrometry. *Food Control*, 111, 107066. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2019.107066>
- Tank, A., Chhanwal, N., Indrani, D., vd Anandharamakrishnan, C. (2014).

- Computational fluid dynamics modeling of bun baking process under different oven load conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2030–2037. <https://doi.org/10.1007/S13197-012-0736-6/METRICS>
- Teruel, M. del R., Gordon, M., Linares, M. B., Garrido, M. D., Ahromrit, A., vd Niranjana, K. (2015a). A Comparative Study of the Characteristics of French Fries Produced by Deep Fat Frying and Air Frying. *Journal of Food Science*, 80(2), E349–E358. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12753>
- Teruel, M. del R., Gordon, M., Linares, M. B., Garrido, M. D., Ahromrit, A., vd Niranjana, K. (2015b). A Comparative Study of the Characteristics of French Fries Produced by Deep Fat Frying and Air Frying. *Journal of Food Science*, 80(2), E349–E358. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12753>
- Tian, J., Chen, S., Shi, J., Chen, J., Liu, D., Cai, Y., Ogawa, Y., vd Ye, X. (2017). Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying: An in vitro study. *Food Structure*, 14, 30–35. <https://doi.org/10.1016/J.FOOSTR.2017.06.001>
- Toydemir, G., Gultekin Subasi, B., Hall, R. D., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., vd Capanoglu, E. (2022). Effect of food processing on antioxidants, their bioavailability and potential relevance to human health. *Food Chemistry: X*, 14, 100334. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2022.100334>
- Üyesi, Ö., Demirel, O., vd Üniversitesi, S. D. (2020). TÜRKİYE’DE EV-DIŞI YEMEK YEME ALIŞKANLIĞININ ANALİZİ. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 16(4), 976–988. <https://doi.org/10.17130/IJMEB.853587>
- Wang, L., Xiang, Z., Stevanovic, S., Ristovski, Z., Salimi, F., Gao, J., Wang, H., vd Li, L. (2017). Role of Chinese cooking emissions on ambient air quality and human health. *Science of The Total Environment*, 589, 173–181. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.02.124>
- Xu, Z., Leong, S. Y., Farid, M., Silcock, P., Bremer, P., vd Oey, I. (2020). Understanding the Frying Process of Plant-Based Foods Pretreated with Pulsed Electric Fields Using Frying Models. *Foods 2020, Vol. 9, Page 949*, 9(7), 949. <https://doi.org/10.3390/FOODS9070949>
- Yao, Z., Li, J., Wu, B., Hao, X., Yin, Y., vd Jiang, X. (2015). Characteristics of PAHs from deep-frying and frying cooking fumes. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(20), 16110–16120. <https://doi.org/10.1007/S11356-015-4837-4/FIGURES/6>
- Zaghi, A. N., Barbalho, S. M., Guiguer, E. L., vd Otoboni, A. M. (2019). Frying Process: From Conventional to Air Frying Technology. *https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600541*, 35(8), 763–777. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600541>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

İsim Soyisim : NECVA ERGÜVEN
Doğum Tarihi : 1997-11-14
Doğum Yeri : ŞANLIURFA
Telefon : 0500 000 00 00
E-Posta : necvaerguven@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Okul	Bölüm	Baş. Yılı	Bit. Yılı
HARRAN ÜNİVERSİTESİ	MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ	2015	2021

Yayınlar ;

Erguven N., vd Fıratoglu Z. A. (2025) Endüstriyel Bir Aırfryerin Akış ve Termal Performansının Araştırılması, 23th UBAK, 05 - 06 July 2025, Ankara.