

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EĞİMLİ KANALLARDA FARKLI SICAKLIKLARDAKİ SINIRLI JET
AKIŞLARINDA ISIL KARIŞMANIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beşir KOK

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Program: Enerji Eğitimi

MART-2010

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EĞİMLİ KANALLARDA FARKLI SICAKLIKLARDAKİ SINIRLI JET
AKIŞLARINDA ISIL KARIŞMANIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beşir KOK

(07119101)

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Program: Enerji Eğitimi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yasin VAROL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 08 Şubat 2010

MART-2010

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EĞİMLİ KANALLARDA FARKLI SICAKLIKLARDAKİ SINIRLI JET
AKIŞLARINDA ISIL KARIŞMANIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beşir KOK

Enstitü No: 07119101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.02.2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 03.03.2010

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yasin VAROL

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Cengiz YILDIZ

Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP

MART-2010

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın belirlenmesinde ve hazırlık aşamalarında her konuda beni yönlendiren ve yardımcı olan değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Yasin VAROL'a, çok yoğun bir programı olmasına rağmen sabırla her konuda bana yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP'a, deneylerin yapılmasında ve grafiklerin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet KOCA'ya, deney grafiklerinin hazırlanmasında emeği geçen değerli arkadaşlarım Mutlu OKÇU ve Fatih BAYRAK'a, deney setinin imalat sürecinde emeği geçen Gürbüz Makine Sanayi Ltd. Şti. sahipleri sayın Coşkun GÜRBÜZ ve Nihat GÜRBÜZ'e ve son olarak hayatımın her aşamasında benden manevi desteğini esirgemeyen değerli eşim Zeyneb'e en samimi duygular ile teşekkür ediyorum.

Beşir KOK
ELAZIĞ-2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması.....	2
2. MATERYAL ve METOT	7
2.1. Jet Teorisi	7
2.2. Taşınım İle Isı ve Kütle Geçişi	10
2.3. Silindirik Üzerinde Çapraz Akış	15
2.4. Doğal ve Zorlanmış (Karma) Taşınım.....	18
2.5. Deney Düzeneklerinin Tanıtılması.....	20
2.6. Deney Setinin Çalışma Prensipleri	24
3. BULGULAR.....	26
3.1. Y ₁ Sütunu Boyunca Sıcaklık Değişimlerinin Farklı Deney Parametrelerine Göre Değerlendirilmesi	27
3.1.1. Y ₁ Sütunu Boyunca Farklı Kanal Eğim Açılarının Etkisinin İncelenmesi	27
3.1.2. Pasif Elemanın Y ₁ Sütunu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi.....	38
3.1.3. Farklı Jet Hızlarının Y ₁ Sütunu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi.....	47
3.2. Çıkış Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi	52
3.2.1. Farklı Kanal Eğim Açılarının Çıkış Sıcaklığına Etkisinin İncelenmesi	52
3.2.2. Pasif Eleman Tahliye Bölgesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi.....	56
3.2.3. Jet Hızlarının Tahliye Bölgesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi.....	60
3.3. Akış Kanalı Boyunca Karışım İndeksinin İrdelenmesi.....	64
3.3.1. Farklı Kanal Eğim Açılarının Karışım İndeksi Üzerindeki Etkileri	65
3.3.2. Pasif Elemanın Karışım İndeksi Üzerindeki Etkileri.....	69
3.3.3. Farklı Jet Hızlarının Karışım İndeksi Üzerindeki Etkileri	74

	<u>Sayfa No</u>
3.3.4. Jetler Arası Sıcaklık Farkının Karışım İndeksi Üzerindeki Etkileri.....	78
3.4. Deney Sonuçlarının Eş Sıcaklık Eğrilerine Göre Değerlendirilmesi	81
3.4.1. Kanal Eğim Açısının Eş Sıcaklık Eğrileri Üzerindeki Etkisi.....	82
3.4.2. Pasif Elemanın Eş Sıcaklık Eğrileri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi .	84
3.4.3. Jet Hızının Eş Sıcaklık Eğrileri Üzerindeki Etkilerinin İrdelenmesi	87
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	90
5. ÖNERİLER.....	92
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	95

ÖZET

Bu çalışmada, dar bir kanal içerisine, birbirine paralel olarak yerleştirilmiş, farklı sıcaklıklardaki iki su jetinin karışım karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Kanal tamamen yalıtımlıdır ve akışkan kanalı düşük çaplı bir boru yardımıyla terk etmektedir. Deneyler kanalın farklı eğim açıları ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$) ve farklı su jeti nozul çapları (5mm ve 10mm) için yapılmıştır. Yapılan deneylerde, kanal içerisine kare ve daire kesitli pasif eleman yerleştirilerek bu elemanların ısı karışma üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Sonuçlar, sıcak ve soğuk su jetleri arasındaki sıcaklık farkının (ΔT) 15 ve 20 °C değerleri için elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada, kare ve daire kesitli pasif elemanların bazı deney parametreleri için karışım verimini düşürdüğü, fakat genel olarak karışım verimine olumlu yönde bir etkisinin olduğu görülmüştür. Kare kesitli pasif eleman, daire kesitli pasif elemana göre, ısı karışma daha olumlu bir etki yapmıştır. Yapılan deneylerde, ısı karışımının en düşük olduğu kanal eğim açısının $\theta = 0^\circ$ olduğu görülmüştür. Bunun yanında kanal eğim açısının artırılması ısı karışımını artırıcı yönde bir etki yapmıştır. Bütün deney parametrelerinde jet hızı arttırıldıkça kanal içerisinde özellikle tahliye bölgesinde ısı veriminin de arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jet akışlar, jetlerde ısı karışım, Paralel Jet, Isı Transferi

SUMMARY

Experimental investigation of thermal mixing in inclined channels for slot jet flows with different temperatures

In this study, mixing characteristics of two water jets with different temperature has been investigated experimentally. The jets are located parallel to each other in a shallow channel. The channel is insulated and the flow is discharged from channel via a small pipe. Experiments was performed for different inclination angle of the channel ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$) and different nozzle diameters (5 mm and 10 mm). In the experiments, square and circle shaped passive elements are located to see the effects of thermal mixing. Results are obtained for different temperature difference between hot and cold jets as $\Delta T = 15$ and 20°C .

In the performed study, it is obtained that square and circle shaped passive elements decrease the mixing efficiency but they make positive effect on mixing efficiency. Square shaped passive element shows better performance for thermal mixing than that of circle one. The lowest value for thermal mixing is obtained for $\theta = 0$. Thermal mixing is increased with increasing of channel inclination angle. Thermal efficiency increases with increasing of jet velocity for all studied parameters.

Key Words: Jet Flows, Mixed Convection on Jets, Parallel Jets, Heat Transfer

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Çarpan jetin akış bölgeleri	8
Şekil 2.2.	Serbest jetin akış bölgeleri	9
Şekil 2.3.	Büyük (a) ve küçük (b) lüle-levha aralıkları için, tek yuvarlak veya yarıkli lüleye ait yerel nusselt sayılarının dağılımı.....	11
Şekil 2.4.	Silindir etrafında sınır tabaka oluşumu ve ayrılma	16
Şekil 2.5.	Çapraz akışta dairesel bir silindirde ayrılmaya ait hız profili	17
Şekil 2.6.	Türbülansın ayrılma noktasına olan etkisi	18
Şekil 2.7.	Deney düzeneği fotoğrafı.....	20
Şekil 2.8.	Su kanalı (a) ön görünüş ve (b) yan görünüş	21
Şekil 2.9.	Su kanalı (Arkadan görünüş)	21
Şekil 2.10.	Isıl çift Şeması.....	22
Şekil 2.11.	Cam yünü ile yalıtılmış su kanalı.....	23
Şekil 2.12.	Deney setinin çalışma diyagramı	24
Şekil 3.1.	Deney setinin yandan görünüşü	26
Şekil 3.2.	Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	27
Şekil 3.3.	Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman kare , $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	28
Şekil 3.4.	Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman daire , $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	29
Şekil 3.5.	Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman yok , $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=2\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	30
Şekil 3.6.	Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{ mm}$, pasif eleman kare , $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=2\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	31
Şekil 3.7.	Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman daire , $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=2\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	32
Şekil 3.8.	Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{ mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	33
Şekil 3.9.	Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	34

Şekil 3.10. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	35
Şekil 3.11. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=2\text{ lt/dk}$)	36
Şekil 3.12. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=2\text{ lt/dk}$)	37
Şekil 3.13. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=2\text{ lt/dk}$)	38
Şekil 3.14. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	39
Şekil 3.15. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	39
Şekil 3.16. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	40
Şekil 3.17. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	41
Şekil 3.18. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	41
Şekil 3.19. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	42
Şekil 3.20. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{ mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	43
Şekil 3.21. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{ mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	44
Şekil 3.22. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{ mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	44
Şekil 3.23. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{ mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	45
Şekil 3.24. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{ mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	46
Şekil 3.25. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{ mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	46
Şekil 3.26. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{ mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	48
Şekil 3.27. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{ mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	48
Şekil 3.28. Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{ mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	59

Şekil 3.29.	Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	50
Şekil 3.30.	Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	51
Şekil 3.31.	Y_1 sütununun $t = 450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	51
Şekil 3.32.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	53
Şekil 3.33.	T5 noktası karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	53
Şekil 3.34.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	54
Şekil 3.35.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	55
Şekil 3.36.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	55
Şekil 3.37.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	56
Şekil 3.38.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	57
Şekil 3.39.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	57
Şekil 3.40.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	58
Şekil 3.41.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	59
Şekil 3.42.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	59
Şekil 3.43.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	60
Şekil 3.44.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	61
Şekil 3.45.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	62
Şekil 3.46.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	62
Şekil 3.47.	Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)	63

Şekil 3.48. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi (D=10 mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	63
Şekil 3.49. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	65
Şekil 3.50. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman kare , $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	66
Şekil 3.51. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman daire , $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	66
Şekil 3.52. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman yok , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	67
Şekil 3.53. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman kare , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	68
Şekil 3.54. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman daire , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	68
Şekil 3.55. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman yok , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	69
Şekil 3.56. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman kare , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	70
Şekil 3.57. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman daire , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	70
Şekil 3.58. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman yok , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	71
Şekil 3.59. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman kare , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	72
Şekil 3.60. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman daire , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	72
Şekil 3.61. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman yok , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	73
Şekil 3.62. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman kare , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	73
Şekil 3.63. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman daire , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	74
Şekil 3.64. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman yok , $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	75
Şekil 3.65. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman yok , $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	75
Şekil 3.66. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman kare , $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	76

Şekil 3.67. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman kare , $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	76
Şekil 3.68. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman daire, $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	77
Şekil 3.69. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman daire, $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	77
Şekil 3.70. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman yok, kanal eğim açısı= 0° , $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	78
Şekil 3.71. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman kare, kanal eğim açısı= 30° , $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	79
Şekil 3.72. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman daire, kanal eğim açısı= 60° , $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	79
Şekil 3.73. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman yok, kanal eğim açısı= 0° , $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	80
Şekil 3.74. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman kare, kanal eğim açısı= 30° , $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	80
Şekil 3.75. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman daire, kanal eğim açısı= 60° , $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	81
Şekil 3.76. Eş sıcaklık eğrilerinin kanal eğim açılarına göre karşılaştırılması (D= 10 mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	82
Şekil 3.77. Eş sıcaklık eğrilerinin kanal eğim açılarına göre karşılaştırılması (D= 5 mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	83
Şekil 3.78. Eş sıcaklık eğrilerinin Pasif elemana göre karşılaştırılması (D=5 mm, kanal eğim açısı= 30 , $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	85
Şekil 3.79. Eş sıcaklık eğrilerinin Pasif elemana göre karşılaştırılması (D=5 mm, kanal eğim açısı= 0 , $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	86
Şekil 3.80. Eş sıcaklık eğrilerinin jet hızlarına göre karşılaştırılması (pasif eleman kare, kanal eğim açısı= 0 , $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	88
Şekil 3.81. Eş sıcaklık eğrilerinin jet hızlarına göre karşılaştırılması (pasif eleman yok, kanal eğim açısı= 30 , $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)	89

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Alan, (m ²)
A_r	: Lüle kesit alan oranı
D	: Çap, (m)
D_h	: Hidrolik çap, (m)
Gr	: Grashof sayısı
H	: Lüle yüksekliği, (m)
h_m	: Taşınım ile kütle geçiş katsayısı, (m/s)
k-ε	: Lam- Bramhorst türbülans modeli
L	: Karakteristik uzunluk, (m)
<i>ṁ</i>	: Kütleli debi, (kg/s)
m	: Kütle, (kg)
<i>MI</i>	: Karışım indeksi, (%)
m_c	: Soğuk suyun debisi, (lt/sn)
m_h	: Sıcak suyun debisi, (lt/sn)
Nu	: Nusselt sayısı
P	: Islak çevre
Pr	: Prandtl sayısı
Ra	: Rayleigh Sayısı
Re	: Reynolds sayısı
Sc	: Schmidt sayısı
Sh	: Sherwood sayısı
S_t	: Standart sapma
t	: Zaman, (sn)
T_c	: Soğuk su sıcaklığı, (°C)
T_h	: Sıcak su sıcaklığı, (°C)
T_k	: Karışım sıcaklığı, (°C)
T_{ort}	: Ortalama sıcaklık, (°C)
T_t	: Tahliye bölgesindeki suyun sıcaklığı, (°C)

ν	: Kinematik viskozite, (m^2/s)
W	: Lüle genişliği, (m)
x,y,z	: Kartezyen kordinatlar, (m)
ΔT	: Sıcak ve soğuk suyun sıcaklık farkı, ($^{\circ}\text{C}$)
θ	: Kanal eğim açısı
μ	: Viskozite, (kg/s.m)

1. GİRİŞ

Birçok mühendislik uygulamasında farklı amaçlar için jet kuvvetlerinden yararlanılmaktadır. Jet kuvvetler; kullanılarak iki veya daha fazla gaz ya da sıvının karıştırılması, bilinen pervaneli karıştırıcılara alternatif olarak son yıllarda en fazla tercih edilen metodlardan biridir. Çünkü, bu metod ile daha düşük maliyetli ve daha hızlı ve homojen sonuç elde etmek mümkündür. Endüstride bu yöntem yüksek başlangıç nemi içeren katı parçacıkların kurutulmasında, toz toplamada, tankların ısı karışmasında, oda ve otomobil içi havalandırma sistemlerinde, biyomedikal cihazlarda ve yakıt sistemleri gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

Bilgisayar, televizyon, müzik setleri ve tıbbi aletler gibi birçok elektronik ekipman, beklentilerin artması sonucu gittikçe daha karmaşık bir yapıda üretilmektedirler. Bu karmaşık yapı beraberinde bunları oluşturan elektronik devrelerde ısınma gibi olumsuz bir netice doğurmuştur. Çalışma sıcaklığının artması sonucu ortaya çıkan ısı gerilmeler elektronik sistemlerin bozulmasının ve verimlerinin düşmesine neden olmaktadır. Çarpan hava jeti uygulamaları, bu tarz elektronik elemanların soğutulmasında kullanılan, son derece başarılı ve ekonomik bir yöntemdir.

Örneğin; gaz türbin motorlarında, termal verimlilik ve güç yoğunluğu temel olarak türbin giriş sıcaklığının etkisi altındadır. Modern gaz türbinleri, termal verimi artırmak amacıyla yüksek giriş sıcaklıklarında çalışacak şekilde tasarlanırlar. Yüksek türbin giriş sıcaklığında gaz türbini bileşenleri olan yanma odası duvarları ve türbin kanatlarını korumak için uygun soğutma tekniğinin kullanılması gerekir. Gelişmiş gaz türbini motorlarında termal verimi ve gücü arttırmak amacıyla kanatçıkların ulaşılan sıcaklık şartları altında (1300–1500 °C) hasarsız olarak çalışabilmesi için jet çarpmalı soğutma sistemi kullanılmaktadır [1]. Ayrıca jetler suyun havalandırılmasında, kağıt ve tekstil ürünlerinin kurutulmasında, gaz türbinlerinin kanatçıklarının soğutulmasında, cam temperlemede, metallerin ısı işlemlerinde, boya, ısıtma ve pişirme amaçlı kullanımlar ve gıda sanayi gibi bir çok alanda sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmada, farklı sıcaklıklara sahip jet akışları yardımıyla eğimli kanallarda ısı karışma karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu doğrultuda, kanal içerisine daire ve kare kesitli iki farklı pasif eleman yerleştirilerek akışa ikincil bir enerji verilmiş olup, pasif elemanın kanal çıkışında elde edilen karışma karakteristiklerine etkileri araştırılmıştır. Bir diğer parametre olarak, 5 ve 10 mm çapında iki farklı nozul kullanılıp farklı hızlardaki jet akışlarının karışma etkisi incelenmiştir. Ayrıca, soğuk suyun giriş sıcaklığı sabit tutulup, sıcak suyun iki farklı giriş sıcaklığı için sistemin ısı karışım etkinliği araştırılmıştır. Bunun yanında, kanal eğim açısının ısı karışmaya etkisini irdeleyerek, zorlanmış ve doğal taşınımın bir arada olduğu karma taşınım ısı transferi incelenmiştir. Sonuç olarak, dar ve eğimli kanalda minimum enerji ile maksimum ısı karışmanın hangi parametrelerde olduğu tespit edilmiştir.

1.1. Literatür Araştırması

Literatürde jet akışlarıyla ilgili pek çok sayısal ve deneysel çalışma mevcuttur. Bu bölümde tez konusuna da paralel olarak jet akışlarının şekilleri ve ısı transferi üzerindeki etkileri ile ilgili mevcut deneysel ve sayısal çalışmalar incelenmiştir.

Wang vd. [2], farklı sıcaklıklardaki ve karşıt yönlerdeki iki buhar jetinin çeşitli geometrik kombinasyonlara bağlı karışım etkinliğini incelemişlerdir. Çalışmada, eşit ve farklı çaplarda karşıt jetler kullanılmış, çıkış kanalına bir ve birden fazla biri birine zıt yönlerde farklı boylarda engeller yerleştirilmiş. Bu engellerin kanal içerisindeki yerleri değiştirilerek karışma olan etkileri incelenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda engel ile kanal duvarı arasındaki mesafe azaldıkça oluşan girdaptan dolayı karışımın etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. Kanal içerisine engel koymanın karışımı verimini arttırdığı tespit edilen diğer bir husustur.

Devahastin ve Mujumdar [3], karşıt akımlı farklı sıcaklıklara sahip iki buhar jetinin akış ve karışma karakteristiklerini zamana bağlı ve sayısal olarak çözmüşlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, hem giriş jeti hızının hem de sistemin geometrik yapısının karışımın etkinliği üzerinde önemli etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Wang vd. [4], karşıt akımlı farklı sıcaklıklara sahip yarıklı (slot)-jetlerde sıcaklık farkının akış ve karışma karakteristikleri üzerindeki etkisini düşük Reynolds sayıları için incelemiştir. Çalışmada, karışma karakteristiklerinin sıcaklık farkı ve geometrik orana (görünüş oranı) bağlı olarak değiştiğini tespit etmiştir. Wang ve Mujumdar [5], kanal içi türbülanslı akışta farklı sıcaklıklara sahip çoklu jetlerin karışma karakteristiklerini sayısal olarak incelemiştir. Jetlerin biribiri ile çarpışmaları sonucu oluşan çalkantıların karışma karakteristiklerini iyileştirici yönde artış kaydettiği sonucunu ortaya koymuşlardır. Rosengarten vd. [6], tarafından yapılan çalışmada, dar dikdörtgen kanalda karma taşınım ısı transferini, kanalın giriş ve çıkış parametrelerini esas alarak ısı karışma karakteristikleri incelenmiştir.

Devahastin ve Mujumdar [7], yaptıkları çalışmada bir kanala yukarıda iki sıcak ve aşağıda iki soğuk olacak şekilde birbirine karşıt olarak yerleştirilmiş buhar jetlerinin karışım verimini sayısal olarak incelemiştir. Karışım verimine etki eden giriş jetlerinin Reynolds sayıları, karışım tahliye kanalı yüksekliğinin giriş jetlerinin genişliğine oranı ve iki giriş jeti arası mesafenin jet genişliğine oranı üzerinde durulmuştur. Çalışmanın sonucunda sistem geometrisinin karışım verimini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Eksenel mesafeler azaldıkça karışım verimi artmıştır.

Wang ve Mujumdar [8], yaptıkları sayısal çalışmada standart $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanılarak farklı sıcaklıklardaki değişik geometrik şekillerde konumlandırılmış karşıt jetlerin üç boyutlu akış ve karışım analizini yapmışlardır. Çalışmada çoklu karşıt jet kullanıldığında karışım veriminin daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca karşıt jetlerin sayısı arttırıldıkça akıştaki dönüş yoğunluğunun hızla düştüğü tespit edilen bir diğer husustur. Tekli karşıt jetler ile karşılaştırıldığında çoklu karşıt jetlerde soğuk ve sıcak jet arası simetrik yapının karışım verimine çok fazla etki etmediği sonucuna varılmıştır.

Hosseinalipour ve Mujumdar [9], sürekli rejimdeki karşıt jetlerin iki boyutlu akış sürecini sayısal olarak incelemiştir. Sonuçlar sabit sıcaklıktaki ve yalıtılmış duvar olmak üzere iki ayrı sınır şartı için verilmiştir. Bu çalışmada geometrik, hidrodinamik ve termal parametrelerin akış ve ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada farklı durumların karşıt jetlerde akış ve ısı transferini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Dagtekin ve Öztop [10], yaptıkları sayısal çalışmada bir tarafı kapalı ve zemini sıcak bir kanala dikey olarak yerleştirilen farklı hızlara sahip çift jetin akış ve ısı transfer karakteristiklerini incelemişlerdir. Sıcak yüzeydeki Reynolds sayısı arttıkça Nusselt sayısında liner olarak artmış, bunun sonucu olarak ısı transferi artmış ve sıcak yüzeydeki termal sınır tabaka incelmıştır.

Ergen [11], düşük lüle plaka aralıklarında çarpan hava jetinin ısı transferi özelliklerini PHOENICS ticari yazılımını kullanarak sayısal olarak incelemiştir. Sonuç olarak lüle plaka mesafesinin çok düşük olduğu durumlarda lüle çıkışında maksimum bir ısı transferi sağlandığını tespit etmiştir. Lüle plaka mesafeleri arttıkça bu maksimum ısı transferinin yaşandığı noktanın çarpma noktasına doğru yaklaştığı görülmüştür. Reynolds sayısının yüksek seçildiği parametrik çalışmalarda da yerel Nusselt sayılarının çok yükseldiği tespit edilmiştir. Kısaca Reynolds sayısı arttıkça ısı transferi artmakta; bu da yerel Nu sayılarının artmasına neden olmaktadır. Lüle plaka mesafesi azaldığında ısı transferi artmıştır. Nusselt sayısının lüle plaka arası mesafe azaldıkça önemli derecede arttığını sayısal olarak saptanmıştır.

Köseoğlu [12], jet ile çarpma plakası arasındaki sıcaklık farkının yerel ve ortalama Nusselt sayısına etkisini $Re = 250-10000$, jet plaka mesafesi $H/D = 2-12$ aralığında deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Bahsedilen sıcaklık farkının özellikle küçük jet hızlarında ortalama ısı transferi üzerinde %35'e varan oranlarda etkili olduğu ve kaldırma kuvveti etkisiyle oluşan akışın yerel ısı transferini çarpma plakasının değişik bölgelerinde arttırdığı veya azalttığını tespit etmiştir. Dairesel ve eliptik jetin akış alanı, jet geometrisinin ve jet ile plaka arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olduğu yapılan sayısal çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Düşük Reynolds sayılı Lam- Bramhorst k-ε türbülans modeli dairesel, eliptik ve dikdörtgen kesitli türbülanslı jetlerin modellenmesinde test edilmiştir. Sonuç olarak modelin ısı transferini çarpma plakası üzerinde her noktada belirlemede yetersiz kaldığı ancak durma noktasından itibaren genel değişimi yakalayabildiği gözlemlenmiştir.

Levers ve Lin [13], yaptıkları sayısal çalışmada yedi farklı ebattaki sıcak su tankının ısı performansını CFD ve FLUENT ticari programlarını kullanarak incelemişlerdir. Sonuçlar tank yüksek \ çap oranı arttıkça, giriş – çıkış akış miktarları düştükçe ve giriş – çıkış tank yüzeyine yaklaştırıldıkça tank içerisindeki ısı katmanların arttığını göstermiştir.

Telişık [14], yaptığı çalışmada birbirine paralel olarak konumlandırılmış iki levhadan üstteki levhanın orta noktasına, yönü aşağıdaki levhaya bakacak şekilde bir hava jeti yerleştirilmiştir. Aşağıdaki sıcak yüzeye çarpan jetin akış ve ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelemiştir. Alt levha sabit sıcaklıkta tutularak ve üst levha yalıtılarak, Reynolds sayısının 250, 400, 500 ve 650 değerleri için simülasyonlar yapılmıştır. Lüle-alt levha arasındaki mesafenin lüle genişliğine oranı $H/W = 0.5, 1, 1.5, 2, 3.5$ ve 5 değerleri için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, bütün Reynolds sayılarında, akışkan ile sıcak alt levha arasındaki maksimum ısı transferi, jetin durma noktasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, Nusselt sayısı, Reynolds sayısı arttıkça veya lüle ile levha arasındaki mesafe azaldıkça artmaktadır. Lüle ile levha arasındaki mesafe $H/W = 0.5$ 'den 2'ye kadar arttıkça Nusselt sayısı hızlı bir şekilde azalmaktadır.

Çelik ve Eren [15], ısıtılmış dikdörtgen prizması şeklindeki bir cisme, jet akımı uygulanması halinde oluşan sıcaklık profili deneysel olarak incelemiştir. Bu amaçla, emme yapan hava tünelinin 30 x 30 cm çıkış kesitli daralma konisi içerisine, 3 x 30 cm çıkış kesitli yeni bir koni yerleştirilerek bir jet akımı meydana getirilmektedir.

Hava tüneli test odası içerisine yerleştirilen 13.6 x 29.5 cm ebatlarındaki küt cismin, farklı Reynolds sayılarında (5860, 8879, 11606) jet akımına maruz kalmasıyla birlikte üst, arka ve ön yüzeylerde oluşan sıcaklık değerleri tespit edilmektedir.

İşman vd. [16], sabit ısı akısıyla ısıtılmış bir yüzeyin, tek ve çift jet kullanılarak soğutulması işlemindeki akış ve ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelemiştir. Akışın, türbülanslı, iki boyutlu, sıkıştırılamaz ve sürekli rejimde olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada, standart k- ϵ türbülans modeli kullanılmış olup korunum denklemleri Galerkin Sonlu Elemanlar Metodu ile ANSYS-FLOTTRAN ticari programı kullanılarak çözülmüştür.

Atmaca vd. [17], hava tüneline jet akışı ölçümleri yapmışlardır. Önce, çevre akışı olmadan jet akış ölçümleri yapılmış daha sonra da çevre akışını ve jet çıkış hızını değiştirerek farklı hızlarda jet akış deneyleri yapılmıştır. Çalışmada, jet akışı ile serbest hava akımı birbirine paraleldir. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerle, akış profilinin, hız ve türbülans dağılımları gösterilmiştir.

Akansu Vd. [18], deneysel olarak yaptıkları çalışmada düz bir levhaya çarpan eğimli bir jetin ısı transfer karakteristiklerini incelemiştir. Yerel Nusselt sayıları ve yüzeydeki basınç dağılımları eğim açısına, jet-plaka arası mesafeye ve Reynolds sayısına bağlı olarak belirlenmiştir.

Sonuçlar ısı transferinin çoğunlukla eğim açısına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Eğim açısı arttıkça maksimum ısı transferi artmış ve düşük jet-plaka arası mesafelerde maksimum Nusselt sayısı artmıştır.

Lou vd. [19], yaptıkları sayısal çalışmada geometrik parametrelerin çarpan jetin ısı transferi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Nusselt sayısı, Reynolds sayısı, jet nozul genişliği ve nozul hedef plaka arası mesafe çalışmada kullanılan parametrelerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde jet genişliği ve nozul-plaka arası mesafe azaldıkça Nusselt sayısı ve ısı transfer katsayısının arttığı görülmektedir. Ayrıca hedef yüzeyin pürüzlülüğü çarpan jetin ısı transferini kötüleştirmiştir.

Türker [20], yaptığı çalışmada, dönen disk yüzeyine çarpan jet akımı ile bu akımın daha kolay anlaşılması için jet olmayan durumda dönen disk yüzeyine yakın laminar akım ve hareketsiz disk yüzeyine çarpan jet akımı problemlerini sayısal olarak incelemiştir. Çarpan jet akımlarında sabit yüzey sıcaklarındaki diskin çarpan hava jeti ile soğutulması sırasında radyal doğrultuda Nusselt sayısı değişimleri gözlenmiştir. En büyük Nusselt sayılarının çarpma bölgesinde meydana geldiği ve lüle - hedef yüzey aralığı (H/D) değeri arttıkça ısı transferinin azaldığı görülmüştür.

Arash [21], yaptığı sayısal ve deneysel çalışmada, açısal konumu değiştirilebilen düz bir levhanın üzerine farklı hızlarla gönderilen havanın yüzey basınç katsayısına olan etkisini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, çarpan bir jet akışında düzlemsel bir yüzeyin açısal konumu, nozul – yüzey mesafesi ve gönderilen akışkan hızının yüzey basınç katsayısı üzerine önemli ölçüde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Bilen [22], yapmış olduğu deneysel çalışmada, ısıtılan düzlem bir plakaya çarpan tam gelişmiş hava jetinin ısı transfer karakteristiklerini incelemiştir. Jet, farklı eğim açılarında ($45 \leq \theta \leq 90$) plakaya çarptırılmıştır. Deneylerde, Reynolds sayısı $10000 \leq Re \leq 40000$, lüle levha aralığı $6 \leq H/D \leq 14$ ve lüle çapı 15 mm alınmıştır. Yapılan deneylerde maksimum ısı transferi $H/D = 8$ mesafesinde gerçekleşmiştir. Ayrıca jet eğim açısı azaldıkça ısı transfer katsayısının azaldığı sonucuna varılmıştır.

Cornaro vd. [23], içbükey ve dışbükey yüzeyler üzerinde duman akımını görsel bir şekilde ifade ederek akışın yüzeylere göre durumlarını incelemişlerdir. Ayrıca açık jet üzerinde bölgesel hız ve türbülans yoğunluğu ölçümleri yapmışlardır. Çarpan jet akımında, akış halkalarının büyümesi ve yüzeye çarpması nozul çapına, nozul - yüzey mesafesine ve Reynolds sayısına bağlı olarak farklılık göstermiştir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Jet Teorisi

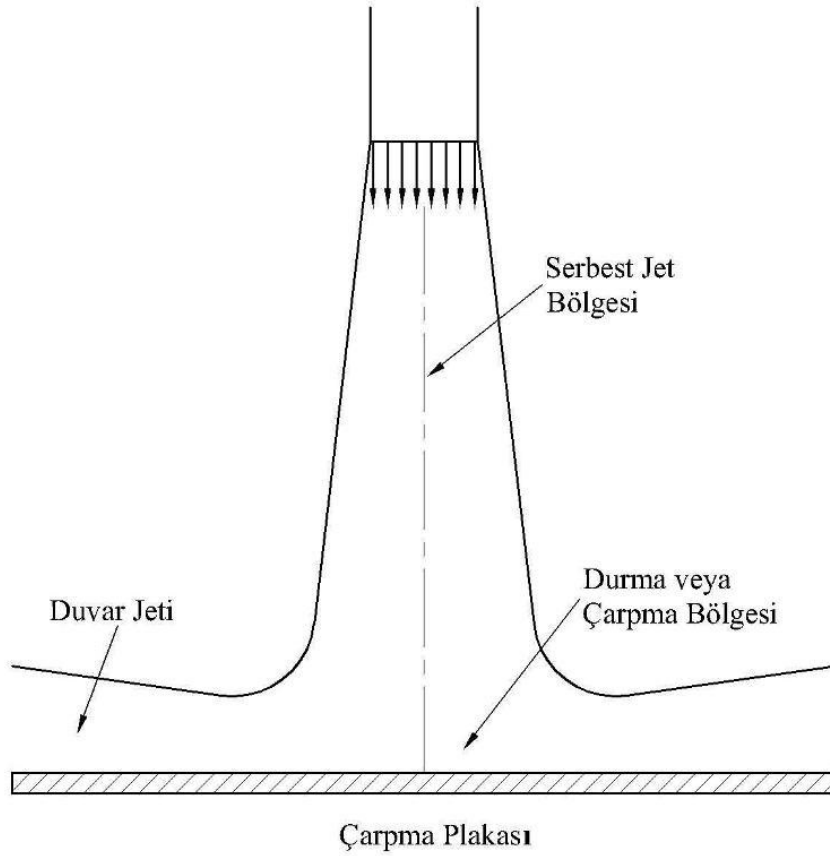
Mühendislik uygulamalarında önem taşıyan çoğu akışlar türbülanslıdır ve karşılaşılan problemlerin analitik olarak çözülmesi güçtür. Türbülanslı akışların uygun bir fiziksel modelinin belirlenmesi en büyük çıkmazdır. Konu üzerinde karşılaşılan problemler iki kısımda incelenir. Birincisi, çok basit olmadıkça herhangi bir türbülanslı akışa teorik çözüm getirmek zordur. Kompleks ve rastgele oluşan türbülanslı akışlar bir analiz gerektirmektedir. İkincisi, çarpma bölgesi kompleks bir akış alanıdır. Lüle-yüzey arası uzaklığın lüle genişliğine oranı olan boyutsuz sayı, yüzeye çarpmasından sonra oluşan akışlarda girdap viskozitesi, Prandtl sayısı ve karışım uzunluğu gibi kavramların belirlenmesi güçtür.

Son yıllarda, türbülansın oluşturulması, taşınımın dağılıp yayılması işlemlerinin incelenmesiyle türbülanslı akışlar üzerindeki tecrübe artmıştır. Türbülans enerji denklemi, enerjinin korunumundan elde edilir ve bu denklem ile Kolmogorov-Prandtl hipotezi, halen geçerli bir fiziksel çözüm sunan en büyük potansiyel olarak kabul edilmektedir.

Diğer yandan, sayısal yöntemler geçerli kılınarak kompleks türbülanslı modellerin çözümü sağlanmaktadır. Yani kompleks türbülanslı problemler bilgisayar kullanılarak çözülebilmektedir. Buna karşılık modeller sağlıklı deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulanmalıdır [24].

Çarpan jetlerin, akış ve ısı transferi özellikleri, jet çıkış geometrisi, jet çıkışındaki hız profili, jet ile plaka arasındaki mesafe, jet içerisindeki türbülans, çarpma plakası geometrisi ve jet ile plaka arasındaki sıcaklık farkı gibi birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir.

Bir yüzeye çarpan jet, Şekil (2.1)'de görüldüğü gibi serbest jet bölgesi, durma veya çarpma bölgesi ve duvar jeti bölgesi olmak üzere özellikleri birbirinden farklı üç bölgeye ayrılabilir.



Şekil 2.1. Çarpan jetin akış bölgeleri

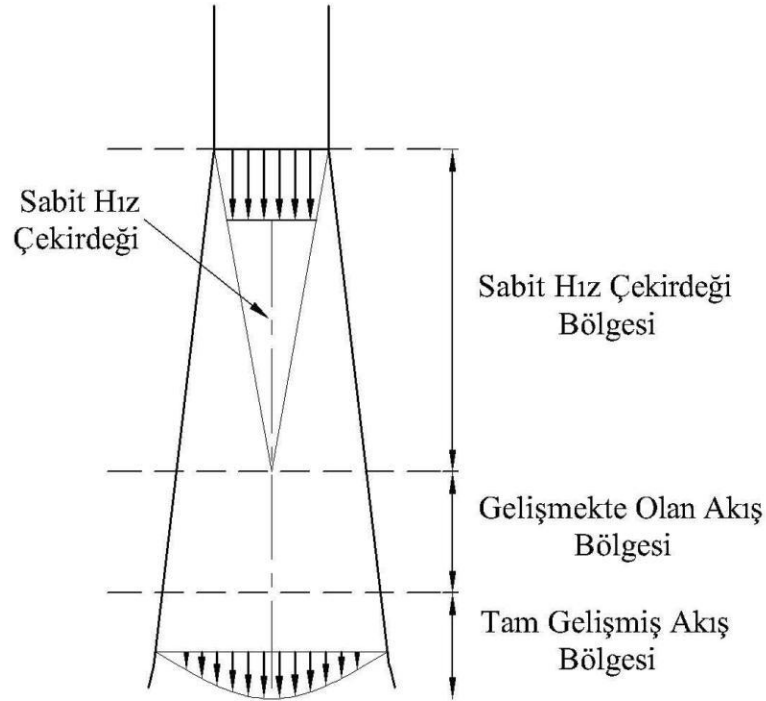
Serbest jet bölgesinde, jet ile durgun çevre arasında kütle, momentum ve enerji aktarımı söz konusudur. Bu etkileşim, jet içinde radyal yönde sabit olmayan bir hız profili oluşmasına, jetin serbest sınırının genişlemesine, toplam kütleli debinin artmasına, jet sıcaklığının değişmesine ve sabit hız çekirdeği bölgesinin daralmasına yol açar. Serbest jet bölgesinin karakteristiklerinden biri de bu bölgedeki akışın çarpma yüzeyinden etkilenmemesidir.

Durma veya çarpma bölgesinde akış, çarpma yüzeyinden etkilenmekte olup, akışın çarpma yüzeyine dik durumdan paralel duruma dönmesi söz konusudur. Bu bölge içerisindeki hız, çarpma yüzeyine dik yönde azalırken, çarpma yüzeyine paralel yönde bir artış göstermektedir. Yüzeye paralel ve dik hızların sıfır olduğu durgunluk noktası da bu bölge içerisinde yer almaktadır.

Durma bölgesinin karakteristiklerinden biri de çarpma yüzeyine yakın bölgede sınır tabakası analiziyle belirlenen, akışın ivmelenmesiyle sınır tabakasının incelmesidir. Aynı zamanda çevreyle momentum aktarımı sebebiyle sınır tabakasının kalınlaşma etkilerinin birbirini dengelemesi sonucu sınır tabakası kalınlığı fazla değişmez.

Duvar jeti bölgesindeki akış, çarpma yüzeyine paralel olup, çevrede durgun olarak bulunan akışkanla momentum aktarımının ve çarpma plakasıyla etkileşimin sonucu yavaşlar. Bu bölge içerisindeki hızlar, çarpma yüzeyinde ve serbest yüzeyde sıfır değerine sahiptir. Durma ve duvar jeti bölgesinde jet ile çarpma yüzeyi arasındaki güçlü etkileşim bu bölgelerdeki yerel Nusselt sayısını ve dolayısıyla ortalama Nusselt sayısını etkiler.

Serbest jet bölgesi, Şekil (2.2)'de görüldüğü gibi kendi içerisinde, sabit hız çekirdeği bölgesi, gelişmekte olan akış bölgesi ve tam gelişmiş akış bölgesi olmak üzere üç alt bölgeye ayrılmaktadır.



Şekil 2.2. Serbest jetin akış bölgeleri

Sabit hız çekirdeği bölgesinde hız lüle çıkışındaki hıza eşittir ve değişmemektedir. Bu bölgenin jet çıkışından itibaren uzunluğu, jet çıkış geometrisine, lüle çıkışındaki hız profiline ve türbülans yoğunluğuna bağlıdır.

Çevre ile jet arasındaki momentum aktarımının neticesinde, jet merkezindeki hızın azalması gelişmekte olan akış bölgesinde kendini gösterir. Bu bölgenin sonunda akış tam gelişmiş hale ulaşmaktadır [11].

2.2. Taşınım İle Isı ve Kütle Geçişi

Aşağıdaki çözümlemede, gaz jetinin lüleden, V_e sabit hız, T_e sıcaklık ve $C_{A,e}$ madde derişikliği ile çıktığı varsayılacaktır. Lüleden çıkan jetin çevre ile ısı ve maddesel dengede olduğu kabul edilmiştir. ($T_e = T_\infty$, $C_{A,e} = C_{A,\infty}$). Hedef levhada (çarpma yüzeyinde) sabit sıcaklıkta veya derişiklikte ($T_s \neq T_e$, $C_{A,s} \neq C_{A,e}$), ısı/ kütle geçişi olabilir. Bu durumda Newton'un Soğuma Yasası ve kütle geçişi için,

$$q'' = h(T_s - T_e) \quad (2.1)$$

$$N_A'' = h_m(C_{A,s} - C_{A,e}) \quad (2.2)$$

biçiminde yazılabilir.

Akışın lüle çıkışındaki türbülans düzeyinden etkilenmediği ve yüzeyin, hareketsiz olduğu varsayılmaktadır. Ancak, bu varsayım jetin çarpma hızından çok daha küçük olan yüzey hızlarında göz ardı edilebilir.

Karakteristik uzunluk, kesit alanının dört katının ıslak çevreye bölünmesi şeklinde ($D_h = 4A_{c,e} / P$) tanımlanan hidrolik çaptır. Böylece yuvarlak bir lüle için karakteristik uzunluk çaptır ve $L > W$ alınırsa, yarıklı bir lüle için genişliğin iki katıdır. Bu durumda yuvarlak bir lüle için, $Nu = hD/k$ ve yarıklı bir lüle için $Nu = h(2W/k)$ elde edilir. Büyük lüle-levha aralıkları ($H/D_h \geq 5$) için, sıcaklık dağılım Nu sayısının durma noktasında, ($r/D(x/2W) = 0$), aldığı en üst değerden giderek azalan bir çan eğrisi ile tanımlanır (Şekil 2.3). Küçük aralıklar için, sıcaklık dağılım iki tepe nokta ile tanımlanır. İkinci üst noktanın Nu değeri jetin Reynolds sayısı ile artar ve birinci üst noktayı aşabilir. İki farklı sıcaklık dağılımı ayıran $H/D \approx 5$ aralığı sabit hız çekirdeğinin uzunluğu ile ilişkilidir.

İkinci tepe noktanın oluşumu, hızlanan durma bölgesi akışından yavaşlayan duvar jetine geçişte türbülans düzeyindeki keskin artışa dayandırılır. Ek tepe noktalar gözlenmiş olup, türbülanslı duvar jetine geçişle birlikte, durma bölgesinde girdapların oluşumuna bağlanmaktadır.

Ortalama Nusselt sayıları, yüzey alanı boyunca yerel değerlerin integrali alınarak bulunabilir. Tek lüleler için, ısı geçiş bağıntıları,

$$\overline{Nu} = f(Re, Pr, r(\text{veya } x)/D_h, H/D_h) \quad (2.3)$$

biçiminde yazılabilir. Burada,

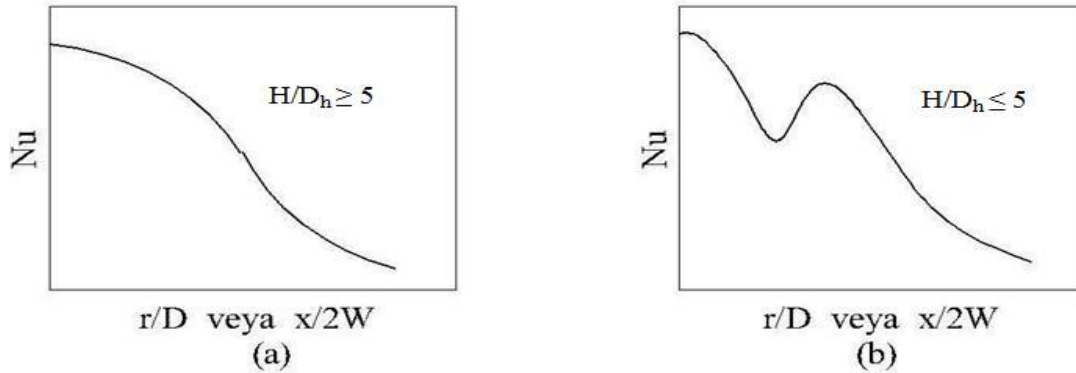
$$\overline{Nu} \equiv \frac{\bar{h}D_h}{k} \quad (2.4)$$

$$Re = \frac{V_e D_h}{\nu} \quad (2.5)$$

olup, hidrolik çap,

$$D_h = D \text{ (Yuvarlak lüle) veya } D_h = 2W \text{ (Yarıklı lüle)} \quad (2.6)$$

biçiminde tanımlanmaktadır.



Şekil 2.3. Büyük (a) ve küçük (b) lüle-levha aralıkları için, tek yuvarlak veya yarıklı lüleeye ait yerel nusselt sayılarının dağılımı

Birkaç kaynaktan elde edilen veriyi değerlendirdikten sonra, tek bir yuvarlak lüle için aşağıdaki bağıntı önerilmiştir.

$$\frac{\overline{Nu}}{Pr^{0.42}} = G \left(\frac{r}{D}, \frac{H}{D} \right) F_1(Re) \quad (2.7)$$

Burada;

$$F_1 = 2Re^{1/2} (1 + 0.005Re^{0.55})^{1/2} \quad (2.8)$$

ve

$$G = \frac{D}{r} \frac{1 - 1.1D/r}{1 + 0.1(H/D - 6)D/r} \quad (2.9a)$$

olmaktadır. D/r yerine $2A_r^{1/2}$ koyarak,

$$G = 2A_r^{1/2} \frac{1 - 2.2A_r^{1/2}}{1 + 0.2(H/D - 6)A_r^{1/2}} \quad (2.9b)$$

elde edilir.

Geçerlilik aralıkları ise,

$$\left[\begin{array}{l} 2000 \leq Re \leq 400000 \\ 2 \leq \frac{H}{D} \leq 12 \\ 2.5 \leq \frac{r}{D} \leq 7.5 \\ \text{veya} \\ 0.04 \geq A_r \geq 0.004 \end{array} \right]$$

olmaktadır.

$r < 2.5D$ ($A_r > 0.04$) için, $\overline{Nu}$ sayısına ilişkin sonuçlar grafiklerle verilmiştir.

Tek bir yarıklı lüle için önerilen bağıntı,

$$\frac{\overline{Nu}}{Pr^{0.42}} = \frac{3.06}{x/W + H/W + 2.78} Re^m \quad (2.10)$$

biçimindedir. Burada,

$$m = 0.695 - \left[\left(\frac{x}{2W} \right) + \left(\frac{H}{2W} \right)^{1.33} + 3.06 \right]^{-1} \quad (2.11)$$

olup, geçerlilik aralıkları aşağıda verilmektedir:

$$\left[\begin{array}{l} 3000 \leq Re \leq 90000 \\ 2 \leq \frac{H}{W} \leq 10 \\ 4 \leq \frac{x}{W} \leq 20 \end{array} \right]$$

İlk yaklaşım olarak, Denklem 2.10, $x/W < 4$ için kullanılabilir ve durma noktası için ($x = 0$), deney sonuçlarının %40'ı içinde değerler verir.

Yuvarlak lüle dizileri için;

$$\frac{\overline{Nu}}{Pr^{0.42}} = K \left(A_r, \frac{H}{D} \right) G \left(A_r, \frac{H}{D} \right) F_2(Re) \quad (2.12)$$

bağıntısını önermektedir. Burada,

$$K = \left[1 + \left(\frac{H/D}{0.6/A_r^{1/2}} \right)^6 \right]^{-0.05} \quad (2.13)$$

$$F_2 = 0.5Re^{2/3} \quad (2.14)$$

olup, G , tek bir lüle için, Denklem 2.9b ile verilen fonksiyondur. K fonksiyonu ise, $H/D \geq 0.6/A_r^{1/2}$ için, H/D arttıkça, dizinin ortalama Nusselt sayısının, tek bir lülenin Nusselt sayısından daha hızlı bir şekilde azaldığını göz önüne alınır. Bu bağıntı, aşağıda verilen aralıklar için geçerlidir:

$$\left[\begin{array}{l} 2000 \leq Re \leq 100000 \\ 2 \leq \frac{H}{D} \leq 12 \\ 0.004 \leq A_r \leq 0.04 \end{array} \right]$$

Yarıklı lüle dizisi için,

$$\frac{\overline{Nu}}{Pr^{0.42}} = \frac{2}{3} A_{r,o}^{3/4} \left(\frac{2Re}{A_r / A_{r,o} + A_{r,o} / A_r} \right)^{2/3} \quad (2.15)$$

bağıntısı önerilmektedir. Burada,

$$A_{r,o} = \left[60 + 4 \left(\frac{H}{2W} - 2 \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (2.16)$$

olmaktadır. Bu bağıntı, kullanılmış gazın dışarıya akışının, sınırlandırıldığı ve dış akış alanının $(S \times H)(W \times L) \geq 1$ bağıntısını sağlayacak büyüklükte olduğu koşullar için geçerlidir. Ek sınırlamalar ise, aşağıda verilmektedir.

$$\left[\begin{array}{l} 1500 \leq Re \leq 40000 \\ 2 \leq \frac{H}{W} \leq 80 \\ 0.008 \leq A_r \leq 2.5 A_{r,o} \end{array} \right]$$

Lüleler için optimum bir diziliş, H , S ve D_h büyüklüklerinin, hedef birim alan başına toplam gaz debisinin en büyük $\overline{Nu}$ değerini sağladığı diziliş olabilir. H sabit alınırsa yuvarlak ve yarıklı lüle dizilileri için, D_h ve S 'nin optimum değerleri;

$$D_{h,op} \approx 0.2H \quad (2.17)$$

$$S_{op} \approx 1.4H \quad (2.18)$$

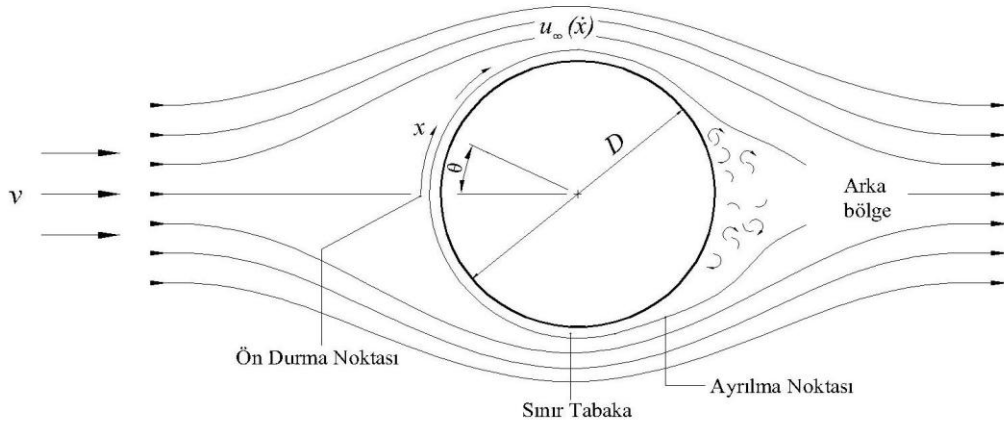
olarak bulunmuştur.

$(D_h/H)^{-1} \approx 5$ optimum değeri, yaklaşık olarak sabit hız çekirdeğinin uzunluğuna eşittir. Sabit hız çekirdeğinin aşağısında merkez jet hızı, taşınım katsayıları ile birlikte azalır.

$\overline{Nu}/Pr^{0.42}$ yerine $\overline{Sh}/Sc^{0.42}$ konmasıyla sağlanan ısı ve kütle geçişi benzeşiminden yararlanarak yukarıdaki bağıntılar taşınım ile kütle geçişine de uygulanabilir. Ancak, hem ısı hem de kütle geçişi için bağıntıların kullanılması, sırasında getirilen koşullarla sınırlandırılmıştır. Örneğin jetler, çan şeklindeki lüleler yerine, keskin köşeli deliklerden çıkıyorsa, bu bağıntılar kullanılamaz. Delik jeti, taşınım ile ısı veya kütle geçişini değiştiren akış daralması olgusundan önemli derecede etkilenir. Taşınım ile ısı geçişi durumunda, jet çıkış sıcaklığı ile çevre sıcaklığı ($T_e \neq T_\infty$) arasındaki fark da önemli bir etkidir. Bu durumda, çıkış sıcaklığının, Denklem 2.1 ile verilen, Newton'un Soğuma Yasasında kullanılması doğru olmaz. Bu sıcaklığın yerine, geri kazanım veya adyabatik duvar sıcaklığı olarak bilinen sıcaklık kullanılmalıdır [25].

2.3. Silindir Üzerinde Çapraz Akış

Pratikte sıkça karşılaşılan bir başka akış türü de, dairesel silindir üzerinde eksene dik akıştır. Şekil (2.4)'te gösterildiği gibi, serbest akışın, ön durma noktasında hızı sıfır olur ve basıncı artar. Bu noktadan başlayarak, basınç akış yönünde, başka bir deyişle artan x yönünde azalır ve uygun bir basınç gradyanı ($dp/dx < 0$) etkisiyle sınır tabaka oluşur. Ancak, basınç, silindirin sonunda en düşük değerine ulaşır ve silindirin arka tarafına doğru sınır tabaka ters yönde bir basınç gradyanının ($dp/dx < 0$) etkisinde kalır.



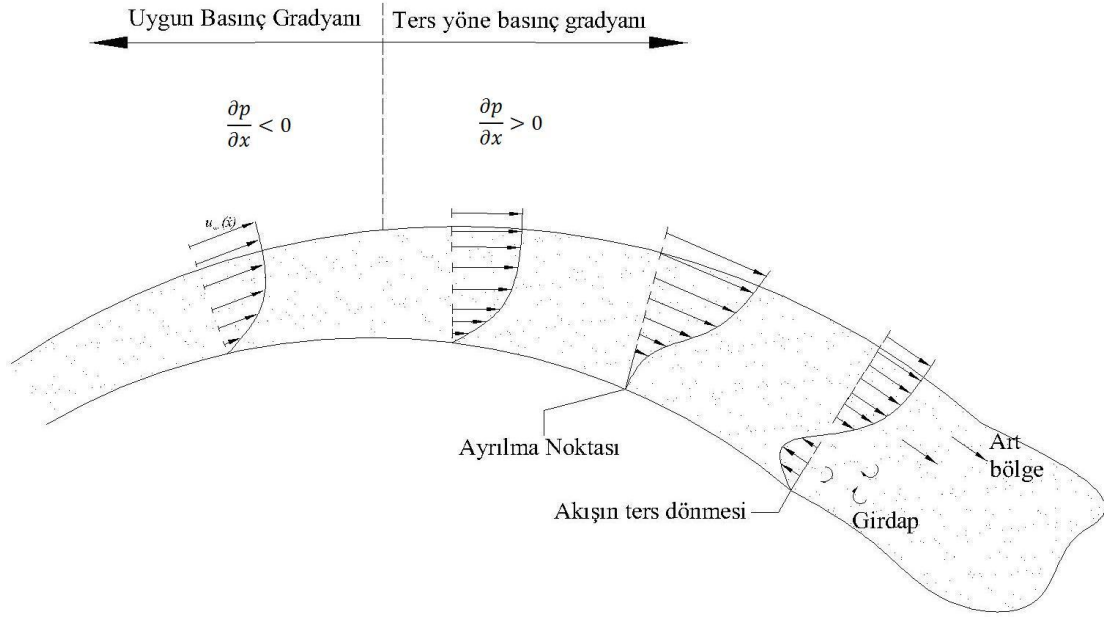
Şekil 2.4. Silindir etrafında sınır tabaka oluşumu ve ayrılma

Şekil (2.4)'te, silindir öncesi akış hızı, V ile serbest akış hızı, u_{∞} arasındaki farka dikkat edilmelidir. Düz levha üzerinde paralel akıştan farklı olarak V ve u_{∞} eşit değildir, durma noktasından olan x uzaklığına bağlı olarak u_{∞} değişir. Sürtünmesiz akış için Euler denkleminde, $u_{\infty}(x)$ 'in davranışı; $p(x)$ 'in davranışına zıt olmalıdır. Başka bir deyişle akışkan, durma noktasındaki $u_{\infty} = 0$ 'dan başlayarak, uygun basınç gradyanı nedeniyle ($dp/dx < 0$ olduğunda $du_{\infty}/dx > 0$) hızlanır, $dp/dx = 0$ olduğunda en yüksek hıza ulaşır ve ters yöndeki basınç gradyanı nedeniyle ise ($dp/dx > 0$ olduğu zaman, $du_{\infty}/dx < 0$) yavaşlar. Akışkan yavaşlarken, yüzeydeki hız gradyanı $\partial u / \partial y|_y = 0$, sıfır olur (Şekil 2.5). Ayrılma noktası denilen bu yerde, yüzeye yakın akışkanın, basınç gradyanını yenmek için yeterli ataleti yoktur ve ileri hareketi olanaksızdır. Arkadan gelen akışkan, geri yöndeki akışa engel olduğu için, sınır tabaka ayrılması oluşur. Bu noktada sınır tabaka yüzeyden ayrılır ve aşağı akış yönünde bir art bölge oluşur. Bu bölgedeki akış, girdapların olduğu, düzensiz bir akıştır. Ayrılma noktası, $(\partial u / \partial y)_s = 0$ olduğu yerde gerçekleşir.

Reynolds sayısına bağlı olan sınır tabakanın laminardan türbülansa geçişi, ayrılma noktasının konumundan büyük ölçüde etkilenir. Silindir için karakteristik uzunluk çaptır ve Reynolds sayısı,

$$Re_D \equiv \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (2.19)$$

şeklinde tanımlanır.



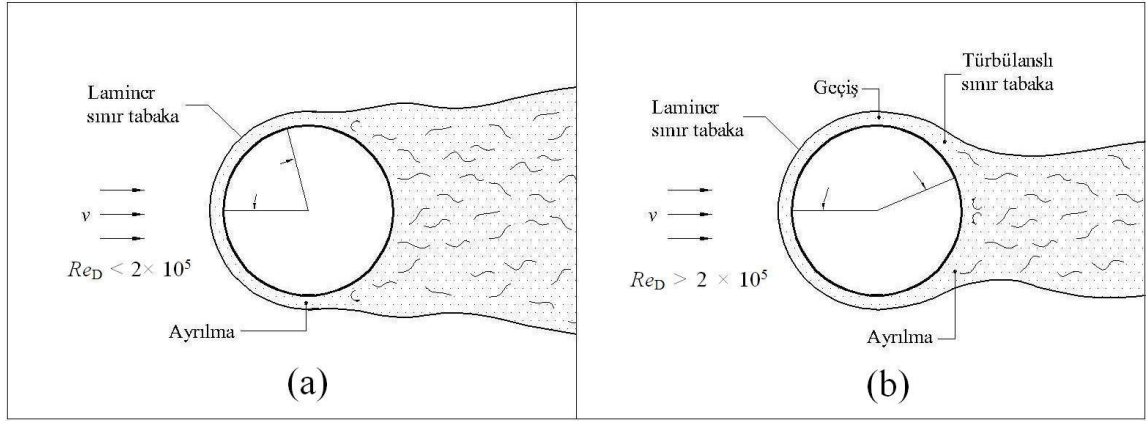
Şekil 2.5. Çapraz akışta dairesel bir silindirde ayrılmaya ait hız profili

Türbülanslı sınır tabakadaki akışkanın ataleti, laminar sınır tabakadakinden daha büyük olduğu için, laminlerden türbülansa geçişin ayrılmayı daha ilerideki bir noktaya ertelemesi beklenir. $Re_D \leq 2 \times 10^5$ ise, sınır tabaka laminar kalır ve ayrılma, $\theta \approx 80^\circ$ 'de olur (Şekil 2.6). Bununla beraber, $Re_D \geq 2 \times 10^5$ ise, sınır tabaka laminlerden türbülanslıya dönüşür ve ayrılma, $\theta \approx 140^\circ$ 'ye ertelenir.

Yukarıda sözü edilen olgular, silindire etki eden F_D direnç kuvvetini büyük ölçüde etkiler. Bu kuvvetin iki bileşeni vardır. Bunlardan birincisi sınır tabaka yüzey kayma gerilmesinden kaynaklanır ve sürtünme direnci olarak adlandırılır. Diğeri ise, art bölgenin oluşumundan kaynaklanan akış yönündeki basınç farkı ile ilişkilidir ve biçim direnci veya basınç direnci olarak bilinir. Boyutsuz direnç katsayısı C_D ,

$$C_D \equiv \frac{F_D}{A_f (\rho V^2 / 2)} \quad (2.20)$$

şeklinde tanımlanabilir.



Şekil 2.6. Türbülansın ayrılma noktasına olan etkisi

Burada; A_f , silindirin alın alanı veya serbest akış hızına dik kesit alanıdır. Direnç katsayısı, Reynolds sayısının bir fonksiyonudur. $Re_D < 2 \times 10^5$ (a) için ayrılma etkileri göz ardı edilebilir ve sürtünme direnci ağır basmaktadır. Bununla beraber, Reynolds sayısı arttıkça, ayrılma etkisi ve bu nedenle biçim direnci daha önemli olmaktadır. $Re_D > 2 \times 10^5$ (b) için ortaya çıkan C_D 'deki büyük azalma; ayrılmanın laminlerden türbülanslı akışa geçiş nedeniyle ertelenmesi, böylelikle art bölgenin büyüklüğünün ve biçim direncinin öneminin azalması sonucu olur [25].

2.4. Doğal ve Zorlanmış (Karma) Taşınım

Zorlanmış ve doğal taşınımın bir arada olduğu bir problemi çözümlerken kapsamlı bir literatür araştırması yapılmalıdır ve denklem (2.21) bir ilk yaklaşım olarak değerlendirilmelidir. Birlikte taşınım problemlerine 1970 sonları ve 1980 ortaları arasında oldukça önem verilmiştir. Bu konuda geniş literatür taramaları vardır. Bu tür akışlar ısı geçişi hesaplarını zorlaştıran birçok özelliğe sahiptir. Örneğin yatay, paralel levhalı ve altından ısıtılan bir kanalda boyuna girdaplar biçiminde üç boyutlu akışların oluştuğu ve Nusselt sayısının kanal boyunca azalan bir salınımla değiştiği saptanmıştır. Bunun ötesinde, kanal akışlarında üst ve alt yüzeylerde taşınım ile olan ısı geçişinin asimetrik olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak, laminar zorlanmış taşınım akışlarında kaldırma etkilerinin ısı geçişini önemli ölçüde artırabileceği, ancak zorlanmış taşınımın türbülanslı olması durumunda bu artırımın göz ardı edilebileceği söylenebilir.

Zorlanmış taşınımından söz ederken, doğal taşınımın etkileri göz ardı edilmektedir. Bu kuşkusuz bir kabuldür. Ancak şimdi bilmekteyiz ki, kararsız bir sıcaklık gradyanı varsa doğal taşınımın gerçekleşmesi mümkün olmaktadır. Benzer biçimde, zorlanmış taşınımın gözardı edilebileceği varsayılmaktadır. Artık, bu aşamada doğal ve zorlanmış taşınım etkilerinin kıyaslanabilirliğinden ve herhangi birinin gözardı edilebileceği durumlardan söz etmek gerekmektedir. $(Gr_L/Re_L^2) < 1$ olduğu zaman doğal taşınımın $(Gr_L/Re_L^2) > 1$ olduğu zaman da zorlanmış taşınım gözardı edilmektedir. Buna göre birlikte doğal ve zorlanmış taşınım rejimi $(Gr_L/Re_L^2) \approx 1$ için söz konusu olmaktadır.

Zorlanmış akışta, kaldırma kuvvetinin ısı geçişi üzerindeki etkisi, bu kuvvetin yönü ile akış yönü arasındaki farktan büyük ölçüde etkilenir. Kaldırma kuvvetinin etkili olduğu, zorlanmış akışa ilişkin ve geniş bir şekilde incelenmiş olan üç özel durum, aynı yönlü (destekleyen akış), karşı yönlü (engelleyen akış) ve dik yönlü (çapraz akış) hareket durumlarıdır. Isıtılmış dikey bir levha boyunca yukarı ve aşağı doğru zorlanmış akımlar, sırasıyla destekleyen akış ve engelleyen akış durumlarına karşılık gelmektedirler. Çapraz akışın örnekleri olarak da, ısıtılmış bir silindir, küre veya yatay bir levha üzerinde yatay akış verilebilir. Destekleyici ve çapraz akışlarda kaldırma kuvveti, sadece zorlanmış taşınım olması durumundaki ısı geçişini artırıcı, karşı akışlarda ise ısı geçişini azaltıcı yönde etki yapmaktadır .

İç ve dış akışlar için birlikte taşınılma ısı geçişi sonuçlarını,

$$Nu^n = Nu_F^n \pm Nu_N^n \quad (2.21)$$

eşitliğine göre ilişkilendirmek genellikle kullanılan bir yöntemdir. İlgilenilen geometri için Nu_F ve Nu_N Nusselt sayıları, sırasıyla zorlanmış ve doğal taşınım için olan bağıntılardan elde edilmektedir. 2.21 eşitliğinin sağ yanındaki artı işareti destekleyici ve çapraz akışlar için, eksi işareti ise karşı akışlar için uygulanmaktadır. Verilerin en iyi ilişkilendirilmesi $n = 3$ için elde edilmiş olmakla birlikte, yatay levhalardaki çapraz akışlar için $7/2$, silindir (veya küre) çevresindeki çapraz akışlar için ise 4 değerlerinin daha uygun olduğu saptanmıştır [25].

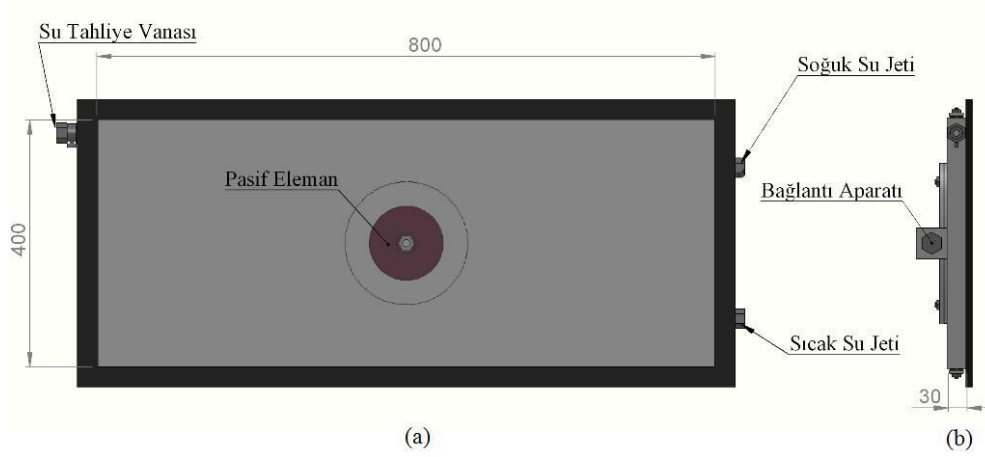
2.5. Deney Düzenekinin Tanıtılması

Bu çalışmada, kapalı bir su kanalının, giriş bölümüne birbirine paralel ve farklı sıcaklıklarda iki adet jet yerleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmanın amacı, farklı sıcaklıklardaki bu iki jet akışın değişik deney parametrelerine bağlı karışım verimini incelemektir. Deneylerde kullanılan deney parametreleri, farklı kanal eğim açıları, kanal içerisine yerleştirilmiş daire ve kare kesitli pasif eleman, farklı jet hızları ve jetler arası değişik sıcaklık farkları olarak sıralanabilir.



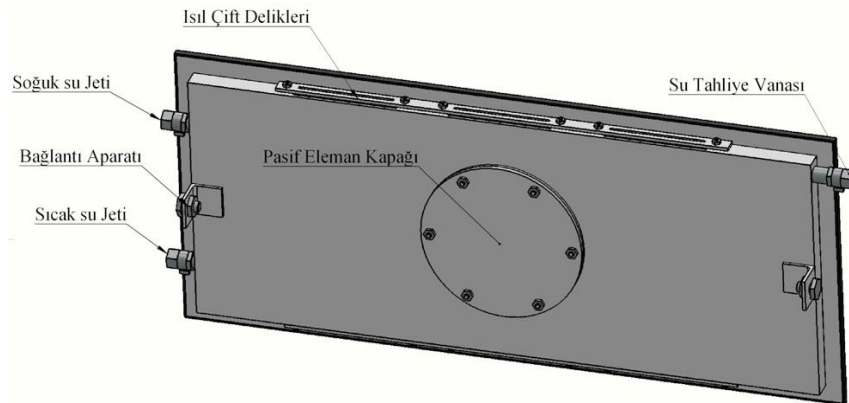
Şekil 2.7. Deney düzeneği fotoğrafı

Deney düzeneği Şekil (2.7)'de görüldüğü üzere su kanalı, sistem sehpası, rotametreler, veri derleyici (data logger) ve su ısıtıcısından oluşmaktadır. Sistemin ana unsurlarından olan su kanalı (Şekil 2.8) 2mm kalınlığındaki sac kullanılarak imal edilmiştir. Bu sac kanalın ebatları, 40 x 80 x 3 cm olacak şekilde kıvrılmış ve gerekli yerler kaynaklı birleştirme yapılmıştır. Kanalın giriş bölgesine birbirine paralel iki adet su jeti monte edilmiştir. Bu jetler arası mesafe 25 cm olarak belirlenmiştir. Kanal içerisindeki suyu dışarı boşaltmak amacıyla Şekil (2.8)'de görüldüğü gibi bir adet su tahliye vanası çıkışa yerleştirilmiştir.



Şekil 2.8. Su kanalı (a) ön görünüş ve (b) yan görünüş

Su kanalının üst kısmı kanal içindeki akışın görülebilmesi için 5mm kalınlığında pleksiglas ile kapatılmıştır. Pleksiglas levha ile kanal arasına sızdırmazlığı sağlamak amacıyla sıvı conta konulmuştur. Ayrıca kanal içerisinde oluşan basınçtan dolayı sistemde herhangi bir deformasyon oluşmaması için pleksiglas su kanalına 24 noktadan cıvatalı birleştirme ile birleştirilmiştir. Su kanalı içerisine akışa ikincil bir enerji vermek maksadı ile kare ve daire kesitli pasif bir eleman yerleştirildiği önceki bölümlerde ifade edilmişti. Bu doğrultuda su kanalına Şekil (2.9)'da görüldüğü gibi 20 cm capında bir delik açılmış ve bu delik arada kauçuk conta olacak şekilde bir kapak ile cıvatalı birleştirmeyeyle kapatılmıştır. Böylece deney seti bozulmadan sistem içerisine Şekil (2.8)'de görüldüğü gibi çok rahat bir şekilde polyemitten imal edilen pasif elemanlar yerleştirilmiştir.

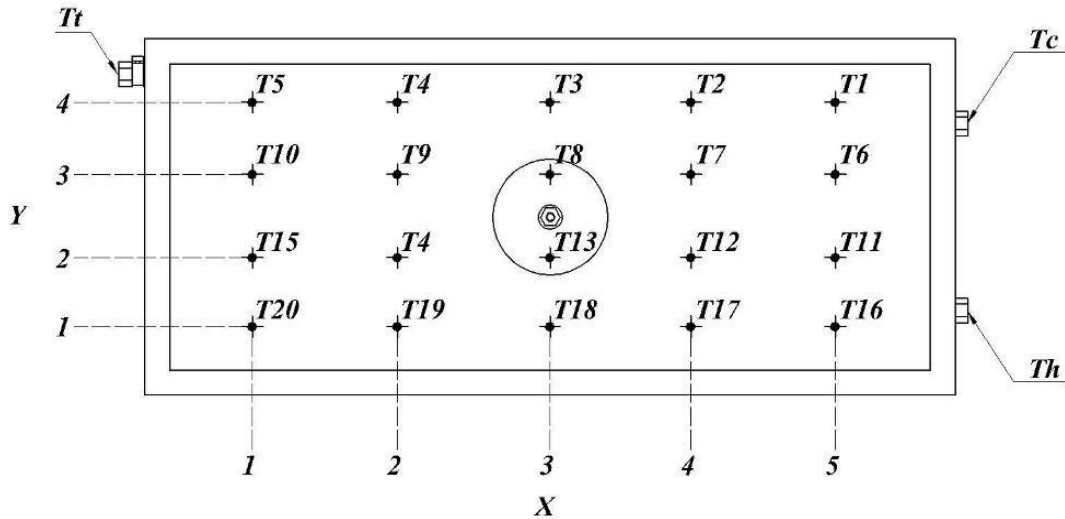


Şekil 2.9. Su kanalı (Arkadan görünüş)

Kanal içerisinde ısı çiftleri vasıtasıyla ölçümler alınmıştır. Sistemde toplam 23 adet ısı çifti mevcuttur. Bu ısı çiftleri veri derleyiciye bağlanmış olup sonuçlar doğrudan bilgisayara aktarılmaktadır. Bu deliklerin su sızdırmazlığını sağlamak için delikler üzerine kauçuk bir conta konulmuş ve bu conta da sisteme bir pul vasıtasıyla cıvatalı birleştirmeye bağlanmıştır. Su kanalı 30 x 30 mm kutu profil kullanılarak imal edilmiş bir sehpa üzerine bağlanmıştır. Bu sehpa yardımı ile su kanalına istenilen açı verilebilmektedir. Deneyler ($\theta = 0^\circ$, $\theta = 30^\circ$, $\theta = 60^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$) farklı kanal eğim açıları için yapılmıştır.

Deney setinde sıcak ve soğuk su jetlerinin debilerini ölçmek ve jetlere istenilen debide su verebilmek için iki adet rotametre kullanılmıştır. Bu rotametrelerin üzerinde bulunan debi ayar vanaları sayesinde sisteme verilen suyun debisi kolayca ayarlanabilmektedir.

Deneylerde kullanılan sıcak su; elektrikli bir su ısıtıcısı kullanılarak ısıtılmıştır. Bu ısıtıcı üzerinde bulunan üç farklı sıcaklık kademesi sayesinde sıcak su üç farklı sıcaklıkta sisteme verilebilmektedir. Soğuk suyun sıcaklığı sabit tutulmuş ve sıcak su iki farklı sıcaklıkta sisteme verilmiştir. Böylece iki ayrı (ΔT) sıcaklık farkı için deneyler tekrarlanmıştır. Bu da ayrı bir deney parametresi olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.10. Isıl çift Şeması

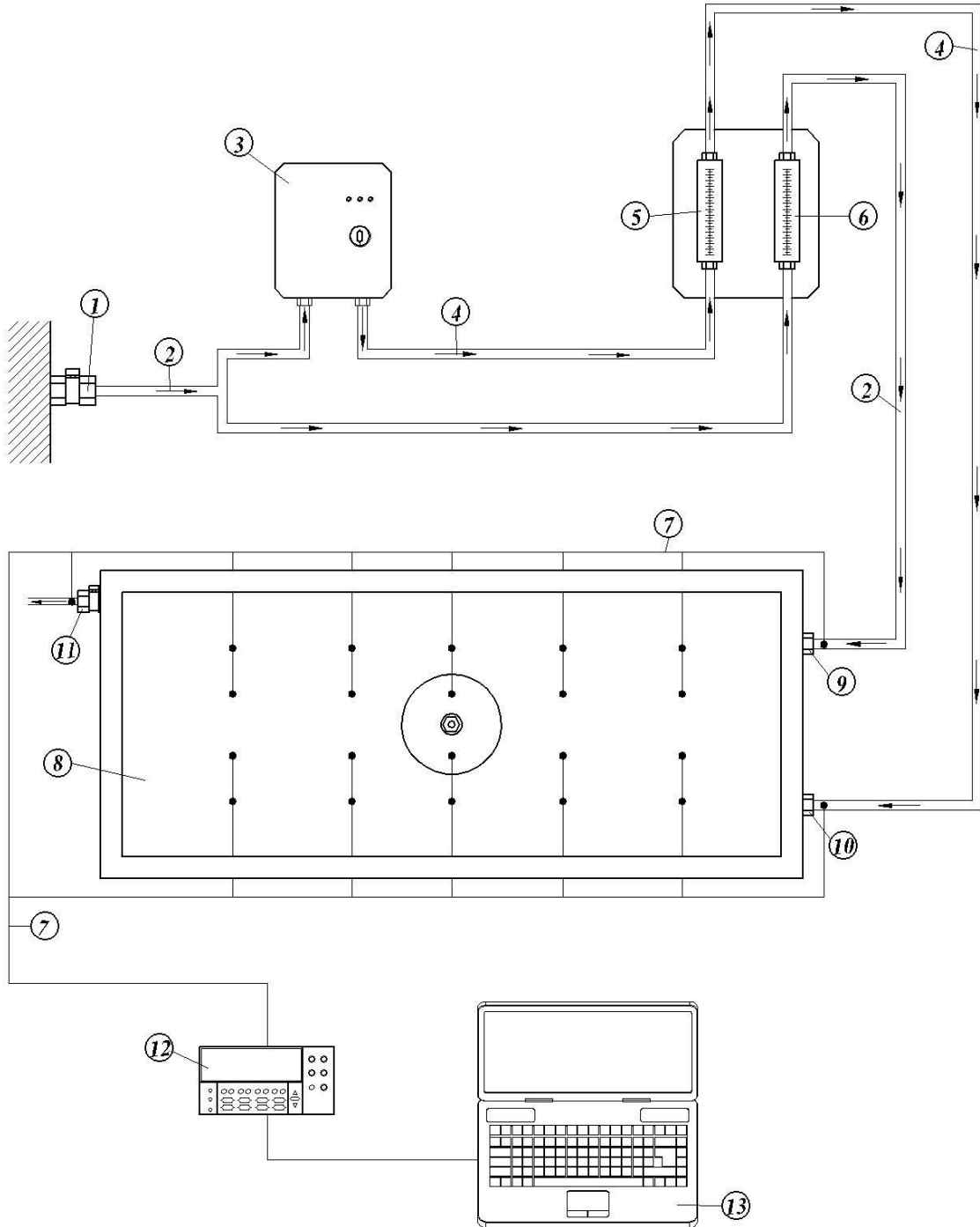
Kanal yüzey alanı Şekil (2.10)'da görüldüğü gibi X eksenı boyunca 5 sütuna ve Y eksenı boyunca 4 satıra bölünmüştür. Bu satır ve stünların kesişim noktalarına birer ısıl çift yerleştirilmiştir.



Şekil 2.11. Cam yünü ile yalıtılmış su kanalı

Kanal içerisindeki akışın dış ortam sıcaklığından etkilenmemesi ve kanal içerisinde ısı kaybı oluşmaması için su kanalı Şekil (2.11)'de görüldüğü gibi cam yünü ile yalıtılmıştır.

2.6. Deney Setinin Çalışma Prensibi



Şekil 2.12. Deney setinin çalışma diyagramı

Deney setinin çalışma prensibi Şekil (2.12)'de görülmektedir. Burada sayılarla gösterilen deney seti elemanlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

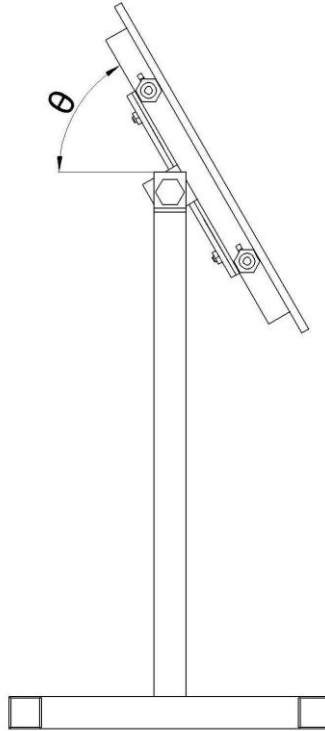
1. Soğuk su kaynağı (şebeke suyu)
2. Soğuk su
3. Elektrikli su ısıtıcısı
4. Sıcak su
5. Sıcak su rotametrosi (debi ölçer)
6. Soğuk su rotametrosi (debi ölçer)
7. Isıl çiftler (thermocouple)
8. Akış kanalı
9. Soğuk su jeti
10. Sıcak su jeti
11. Su tahliye vanası
12. Veri derleyici (Data Logger)
13. Bilgisayar

Şehir şebekesinden alınan soğuk su (yaklaşık 20 °C sıcaklığında) bir T borusu vasıtasıyla iki kola bölünmüştür. Burada soğuk suyun bir kolu elektrikli su ısıtıcısına bağlanmıştır. Isıtıcıdan sıcak olarak çıkan su, bir hortum ile sıcak su rotametrosine bağlanmıştır. Sıcak su, gene bir hortum ile buradan sıcak su jetine iletilmektedir. Soğuk suyun diğer kolu bir su hortumu ile soğuk su rotametrosine bağlanmış ve buradan da gene bir hortum kullanılarak soğuk su jetine bağlanmıştır. Kanal içerisindeki soğuk ve sıcak su karışımı Şekil (2.12)'de görüldüğü gibi su kanalına bağlanan bir vana ile dışarı tahliye edilmektedir. Su kanalına yerleştirilen 23 adet ısıl çift veri derleyiciye bağlanmıştır. Su kanalından alınan ölçümler veri derleyiciden bilgisayara aktarılmıştır.

3. BULGULAR

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi deneyler, ısı karışımı ve karışım sıcaklığını etkileyen 4 farklı parametre için yapılmıştır. Bunlar;

- a. Kanal eğim açısı
- b. Jet sıcaklık farkı
- c. Farklı jet hızları
- d. Pasif eleman tipi



Şekil 3.1. Deney setinin yandan görünüşü

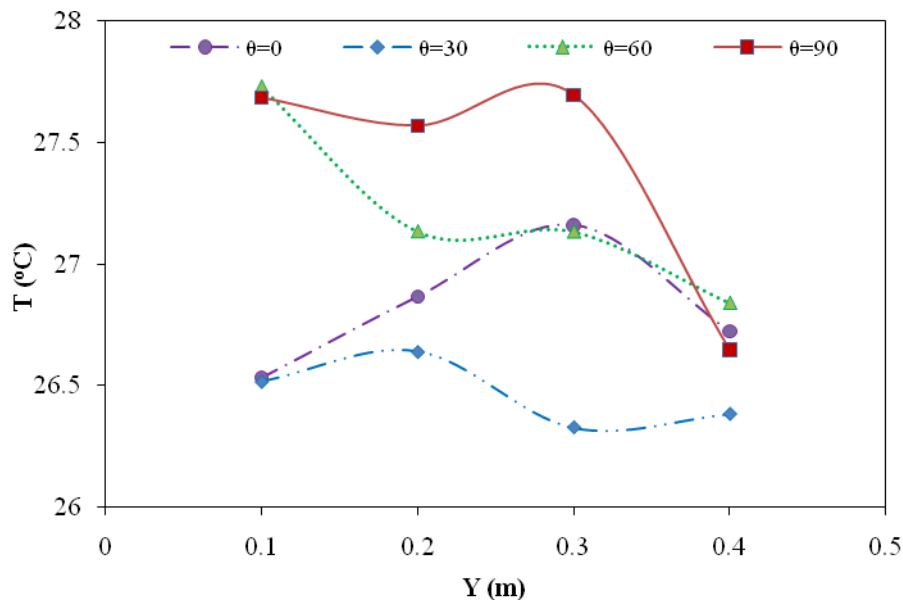
Su kanalı Şekil 3.1’de gösterildiği gibi $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ arasında değişen eğim açısına sahiptir. Burada amaç kanal eğim açısının karışım sıcaklığına olan etkisinin irdelenmesidir. Şekil (2.10)’da gösterildiği üzere kanal yüzey alanının yatayda dört satıra ve düşeyde beş sütuna ayırmıştır. Burada sütunlar (Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 ve Y_5) ve satırlar (X_1 , X_2 , X_3 ve X_4) şeklinde gösterilmektedir.

3.1. Y₁ Sütunu Boyunca Sıcaklık Değişimlerinin Farklı Deney Parametrelerine Göre Değerlendirilmesi

Y₁ sütunu kanal içerisinde su tahliye vanasına en yakın bölgede olduğu için bu sütun boyuncaki sıcaklık değişimleri önem taşımaktadır. Yapılan deneyler sonucunda giriş nozullarına su verildikten yaklaşık 450 sn (7.5 dk) sonra kanal içerisindeki karışımın sürekli rejime geldiği tespit edilmiştir. Y₁ sütununun 450. saniyedeki yani sürekli rejime geldiği andaki sıcaklıkların farklı deney parametrelerindeki durumları aşağıda irdelenmiştir.

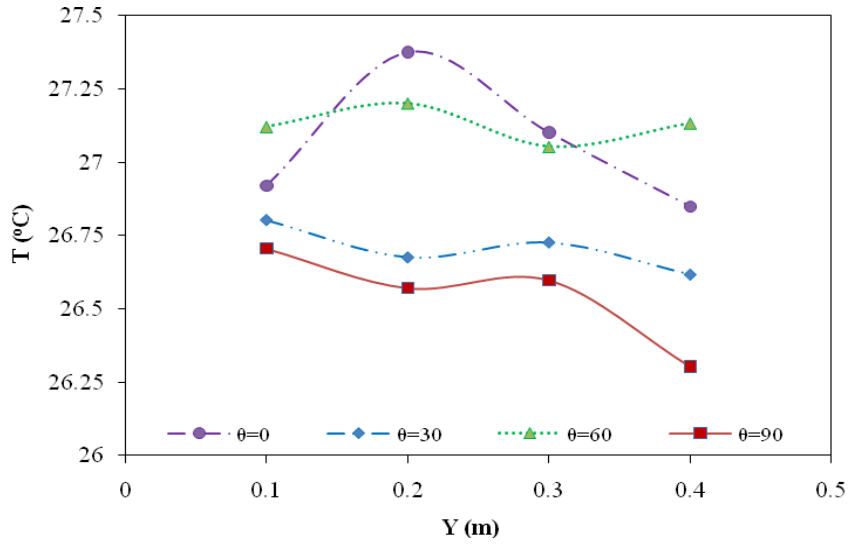
3.1.1. Y₁ Sütunu Boyunca Farklı Kanal Eğim Açılarının Etkisinin İncelenmesi

Şekil (3.2)'de Y₁ sütunu boyunca 450. saniyedeki ısı değişimleri farklı kanal eğim açıları ile verilmiştir. Verilen grafikte pasif eleman kullanılmamıştır. Bu grafikte deney parametreleri; Nozul çapı $D = 5 \text{ mm}$, sıcak su sıcaklığı $T_h \approx 35^\circ\text{C}$, soğuk su sıcaklığı $T_c \approx 20^\circ\text{C}$, sıcaklık farkı $\Delta T = T_h - T_c \approx 15^\circ\text{C}$, soğuk suyun kütleli debisi $M_c = 3 \text{ lt/dk}$ ve sıcak suyun kütleli debisi $M_h = 3 \text{ lt/dk}$ olarak belirlenmiştir.



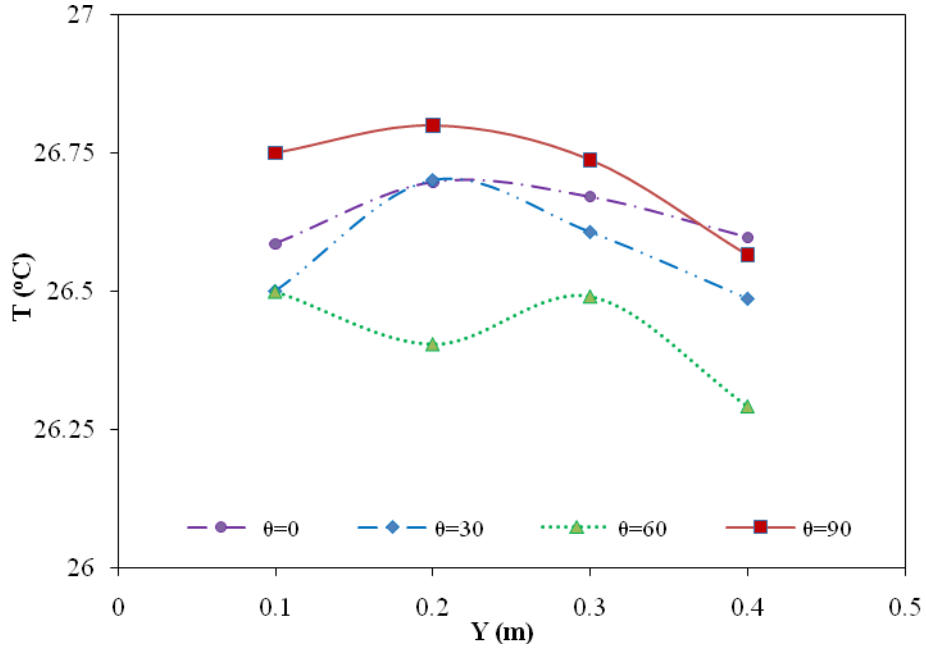
Şekil 3.2. Y₁ sütununun t=450. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3 \text{ lt/dk}$, $M_h=3 \text{ lt/dk}$)

Şekil 3.2 incelendiğinde $\theta = 0^\circ$ 'lık konum için Y_1 eksenini boyunca ciddi bir sıcaklık değişimi olmamış, $\theta = 0^\circ$ 'lık konum ve $Y = 0.3$ m mesafede bir sıcaklık artışı meydana gelmiş fakat tahliye bölgesine yakın olan noktada tekrar bir düşüş gerçekleşmiştir. $\theta = 60^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ 'lık konumda sıcaklığın nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Sonuçta tahliye bölgesinde bütün kanal eğim açıları için karışım sıcaklığının birbirine yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.3. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.3)'te bir önceki deney sonuçlarından farklı olarak kanal içerisine ebatları 10×10 cm olan kare kesitli bir pasif eleman yerleştirilmiştir. Çalışmada kanal içerisine yerleştirilen pasif elemanların kalınlığı, kanal derinliği olan 3 cm'ye eşittir. Bundan dolayı pasif elemanların alt ve üst yüzeylerinde akış gerçekleşmemektedir. Şekil incelendiğinde bütün kanal eğim açıları Y_1 sütunu boyunca kanal içerisinde pasif elemanın olmadığı duruma göre daha düzenli bir sıcaklık dağılımı meydana gelmiştir. $\theta = 0^\circ$ 'lık konumda ve $Y = 0.2$ m mesafede bir sıcaklık artışı tespit edilmiştir. Bütün kanal eğim açıları için tahliye bölgesinde su sıcaklığı birbirinden farklıdır ve bu farkın aralığı yaklaşık 1°C 'dir. Burada kanal eğim açısı $\theta = 60^\circ$ 'de iken en yüksek karışım sıcaklığına erişilmiştir. En düşük karışım sıcaklığının olduğu kanal eğim açısı ise $\theta = 90^\circ$ olarak tespit edilmiştir.

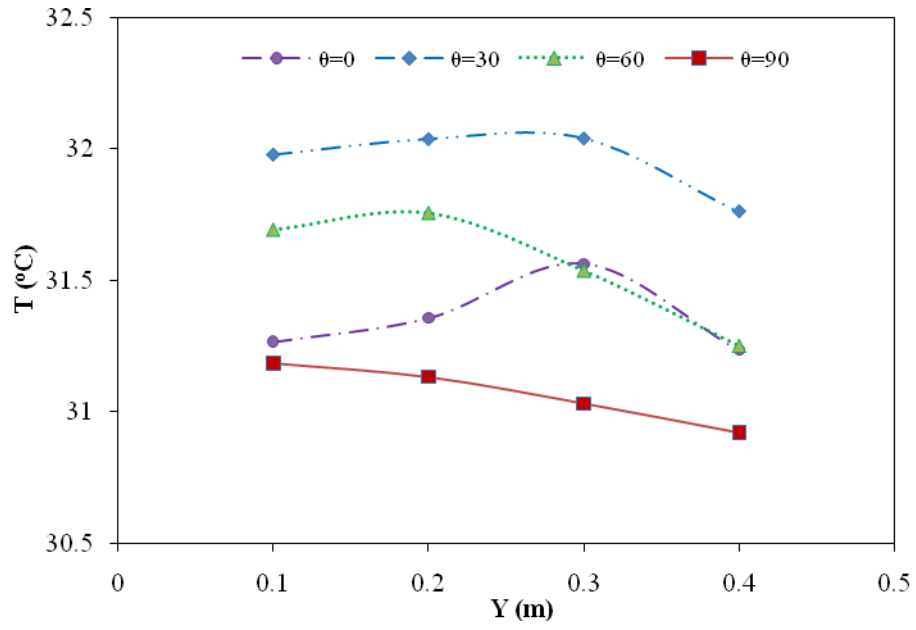


Şekil 3.4. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=15\text{ }^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.4)'teki grafikte kanal içerisine 12 cm çapında daire kesitli bir pasif eleman yerleştirilmiştir. Burada kanal eğim açısı $\theta = 60^\circ$ olan deney dışındaki diğer ölçümlerde Y_1 sütunu boyunca önemli bir sıcaklık değişimi görülmemiştir. Tahliye bölgesinde $\theta = 0^\circ$, $\theta = 30^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ kanal eğimleri arasında 0.25°C 'lık bir sıcaklık değişimi oluşmuş, bu da kanal eğim açısının bu deney parametrelerinde karışım sıcaklığına önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

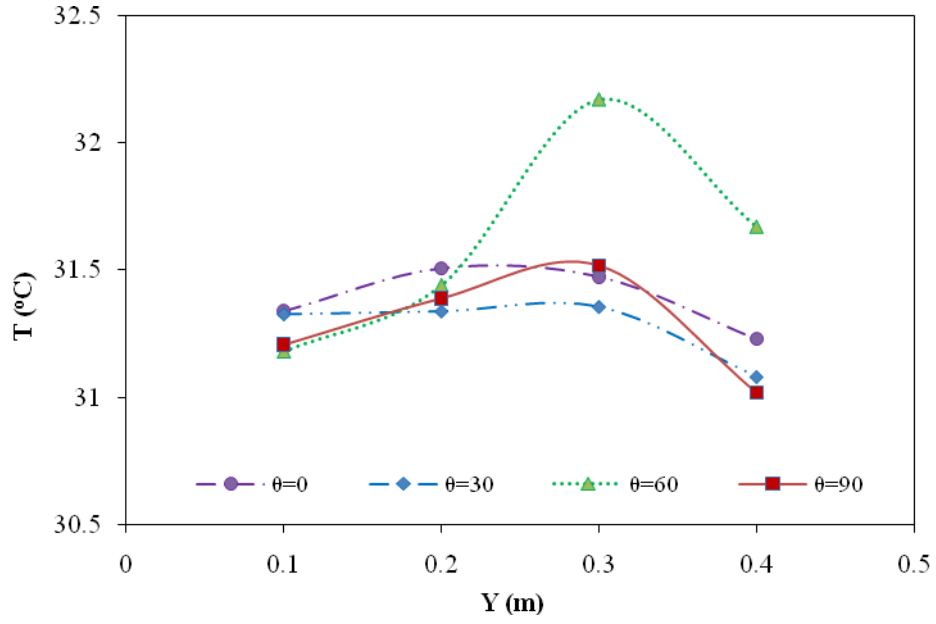
Pasif elemanın olmadığı, kare ve daire kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde su tahliye vanasına en yakın bölge olan $Y = 0.4\text{ m}$ mesafedeki su sıcaklık değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu da kanal içerisine pasif eleman yerleştirmenin karışım sıcaklığını çok fazla etkilemediğini göstermiştir.

Aşağıda verilen deney sonuçlarında sıcak suyun debisi $M_h = 3\text{ lt/dk}$ 'da sabit tutulup soğuk suyun debisi $M_c = 2\text{ lt/dk}$ 'ya düşürülmüştür. Ayrıca $35\text{ }^\circ\text{C}$ olan sıcak suyun sıcaklığı $T_h = 40\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükseltmek suretiyle sıcaklık farkı $\Delta T \approx 20\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükseltmiştir. Bu parametreler sabit tutularak kanal eğim açısının karışım sıcaklığına etkileri aşağıda incelenmiştir.



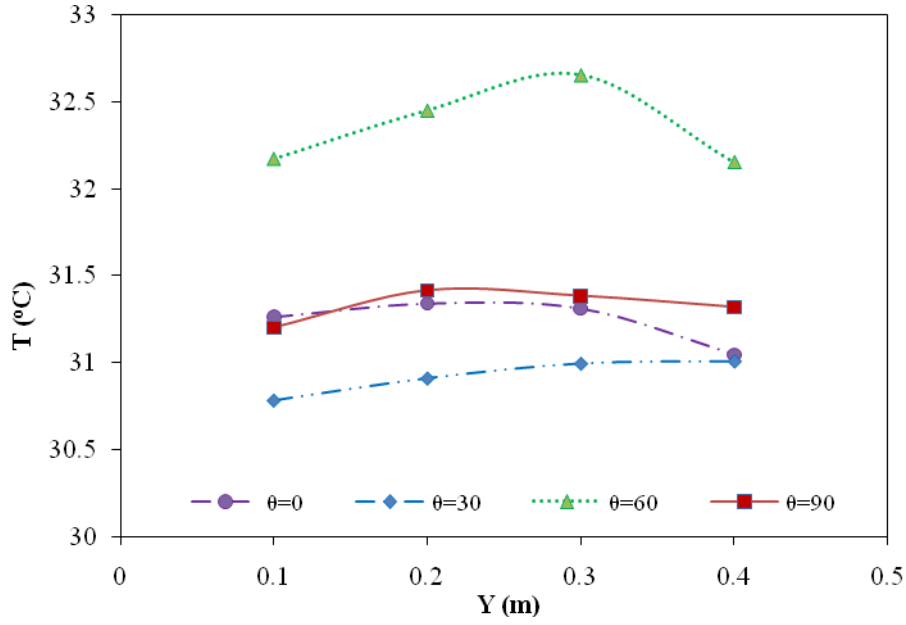
Şekil 3.5. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=2\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.5)'de görüldüğü gibi karışım sıcaklığı en yüksek $\theta = 30^\circ$ ve en düşük $\theta = 90^\circ$ 'lik konum için elde edilmiştir. $\theta = 0^\circ$ ve $\theta = 60^\circ$ 'lik kanal eğiminde yapılan deneylerde tahliye bölgesine en yakın nokta olan $Y = 0.4\text{ m}$ mesafede karışım sıcaklığının aynı olduğu tespit edilmiştir. Bütün kanal eğim açılarında Y_1 sütunu boyunca önemli bir sıcaklık değişimi görülmemiştir. En yüksek ve en düşük çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 1°C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.6. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.6)'da görüldüğü üzere $\theta = 0^\circ$, $\theta = 30^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ kanal eğiminde yapılmış olan deneylerde, Y_1 sütunu üzerinde tahliye bölgesine en yakın nokta olan $Y = 0.4$ m mesafede su sıcaklıklarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bunlardan farklı olarak kanal eğim açısı $\theta = 60^\circ$ 'de $Y = 0.1$ m mesafede diğer açılar ile aynı sıcaklıktan başlamış fakat $Y = 0.3$ m mesafede yaklaşık 2 °C'lık bir artış meydana gelmiş ve yine $Y = 0.4$ m mesafede karışım sıcaklığında bir düşüş meydana gelmiştir.

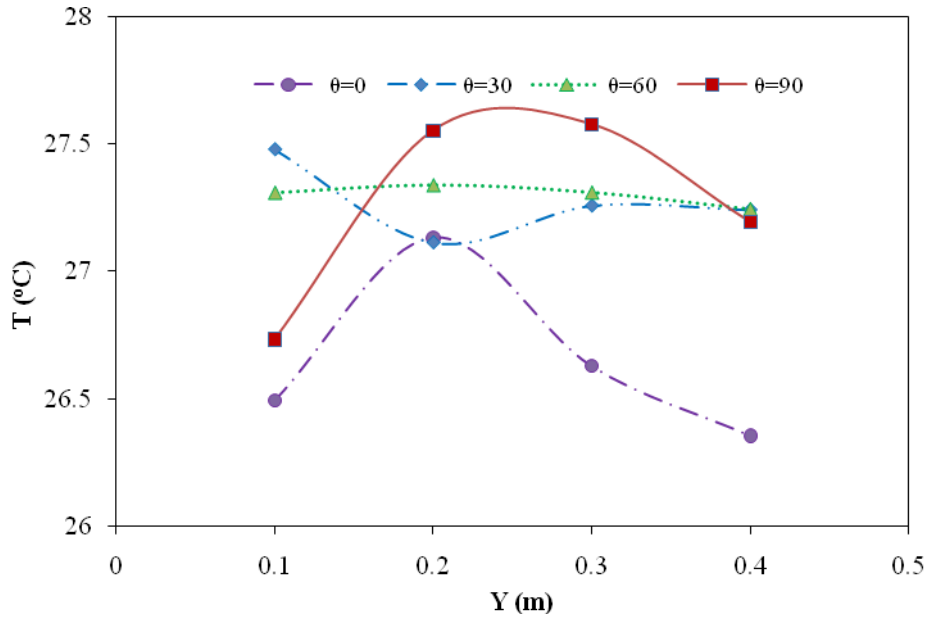


Şekil 3.7. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=2\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.7)'de bir önceki grafikten farklı olarak kanal içerisine daire kesitli pasif eleman yerleştirilmiştir. Grafikte $\theta = 0^\circ$, $\theta = 30^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ 'deki kanal eğimlerinde Y_1 sütunu boyunca sıcaklıkların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bütün kanal eğimlerinde Y_1 sütunu boyunca önemli bir sıcaklık değişimi tespit edilmemiştir. Fakat $\theta = 60^\circ$ kanal eğim açısında diğer kanal eğim açılarından farklı olarak Y_1 sütunu boyunca yaklaşık 1°C derece yüksek bir sıcaklığa sahip olduğu görülmektedir.

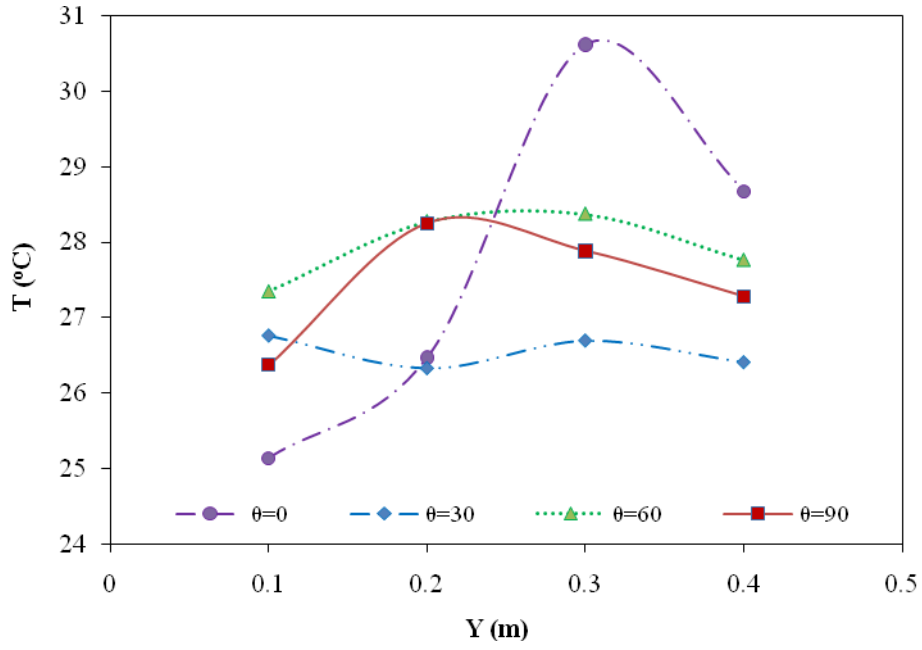
Gerek pasif elemanın olmadığı gerekse pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde Y_1 sütunu boyunca sıcaklık ortalamalarının yaklaşık olarak aynı aralıklarda olduğu tespit edilmiştir. Pasif eleman kullanılarak yapılmış deneyler arasında $\theta = 60^\circ$ kanal eğim açısında Y_1 sütunu boyunca karışım sıcaklığının diğer kanal eğim açılarındaki karışım sıcaklığından yaklaşık 1°C fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç $\theta = 60^\circ$ kanal eğim açısında pasif eleman kullanmanın karışım sıcaklığına artırıcı bir etki yaptığını göstermektedir. Bunun dışındaki kanal eğim açılarında pasif elemanın karışım sıcaklığına önemli bir etkisi tespit edilmemiştir.

Y_1 sütunu boyunca 450. saniyedeki sıcaklık değişimleri aşağıda gösterilmiştir. Burada aç ve kanal içerisine yerleştirilen pasif elemanlar değişken, bunun dışındaki parametreler sabit ve jetlerin nozul çapı $D = 10\text{ mm}$, sıcak su sıcaklığı $T_h \approx 35^\circ\text{C}$, soğuk su sıcaklığı $T_c \approx 20^\circ\text{C}$, soğuk ve sıcak su arası sıcaklık farkı $\Delta T = T_h - T_c \approx 15^\circ\text{C}$, soğuk suyun kütleli debisi $M_c = 3\text{ lt/dk}$ ve sıcak suyun kütleli debisi $M_h = 3\text{ lt/dk}$ olarak belirlenmiştir.



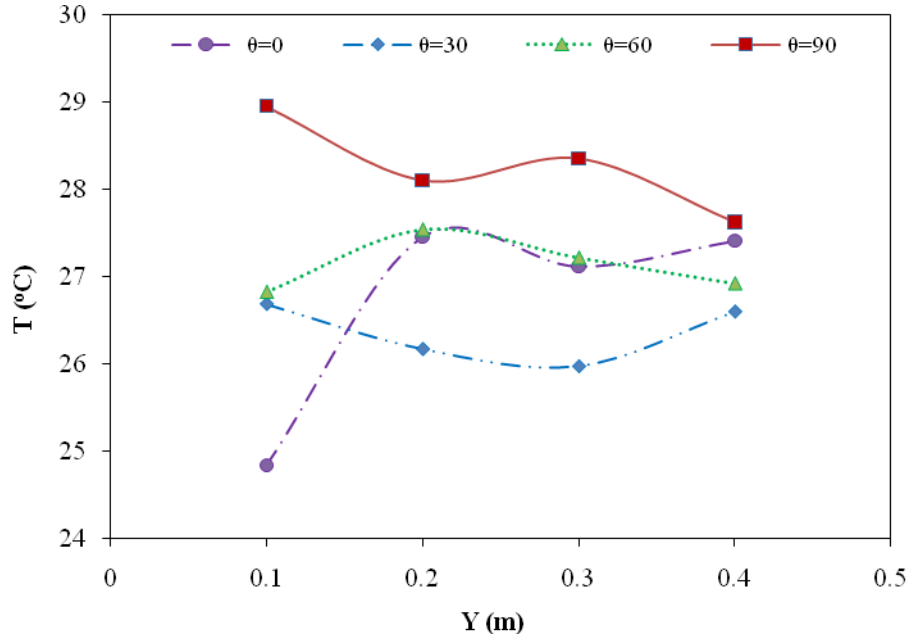
Şekil 3.8. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{ mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.8)'de görüldüğü üzere kanal eğim açısının $\theta = 0^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ olduğu durumlarda Y_1 sütunu boyunca 1-1.5 $^\circ\text{C}$ 'lik bir sıcaklık değişimi görülmektedir. $\theta = 30^\circ$ 'deki ve özellikle $\theta = 60^\circ$ 'deki konumlarda ciddi bir sıcaklık değişimi tespit edilememiştir. $\theta = 30^\circ$, $\theta = 60^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ kanal eğimlerinde $Y = 0.4\text{ m}$ mesafesindeki sıcaklık aynı ve $\theta = 0^\circ$ 'lik konumun bunlardan yaklaşık 1 $^\circ\text{C}$ düşük olduğu tespit edilmiştir. Burada kanal eğiminin karışım sıcaklığına artırıcı yönde bir etkisinin olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.9. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.9)'de kanal içerisine kare kesitli pasif eleman yerleştirilmiştir. Kanal eğim açısının $\theta = 0^\circ$ olduğu durumda Y_1 sütunu boyunca en düşük sıcaklık noktası olan $Y = 0.1$ m ile en yüksek sıcaklık noktası olan $Y = 0.3$ m mesafeleri arasında 5°C 'lik bir sıcaklık değişimi olduğu görülmektedir. Ve tahliye vanasına en yakın bölge olan $Y = 0.4$ m noktasında karışım sıcaklığı en yüksektir. Buradan $\theta = 0^\circ$ kanal eğim açısının karışım sıcaklığına artırıcı bir etki ettiği sonucu çıkmaktadır.

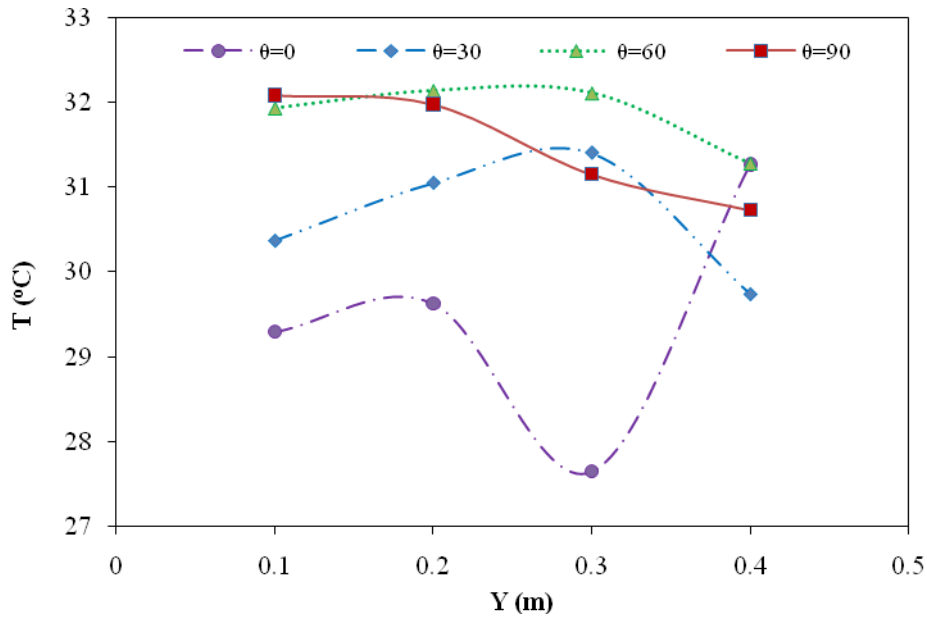


Şekil 3.10. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.10)'da kanal içerisine kare kesitli pasif eleman yerleştirilmiştir. Kanal eğim açısı $\theta = 0^\circ$ 'de $Y = 0.1$ m ile $Y = 0.2$ m noktaları arasında 3 °C'lik bir sıcaklık artışı meydana gelmiş fakat bu noktadan sonra önemli bir sıcaklık değişimi görülmemektedir. $\theta = 30^\circ$, $\theta = 60^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ kanal eğimlerinde Y_1 sütunu boyunca küçük aralıklı sıcaklık değişimleri olmuştur. Bütün kanal eğimlerinde $Y = 0.4$ m'de sıcaklıklar yaklaşık olarak 1°C 'lik aralıkta dengelenmiştir. Bu sonuç kanal eğim açısının karışım sıcaklığını önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir.

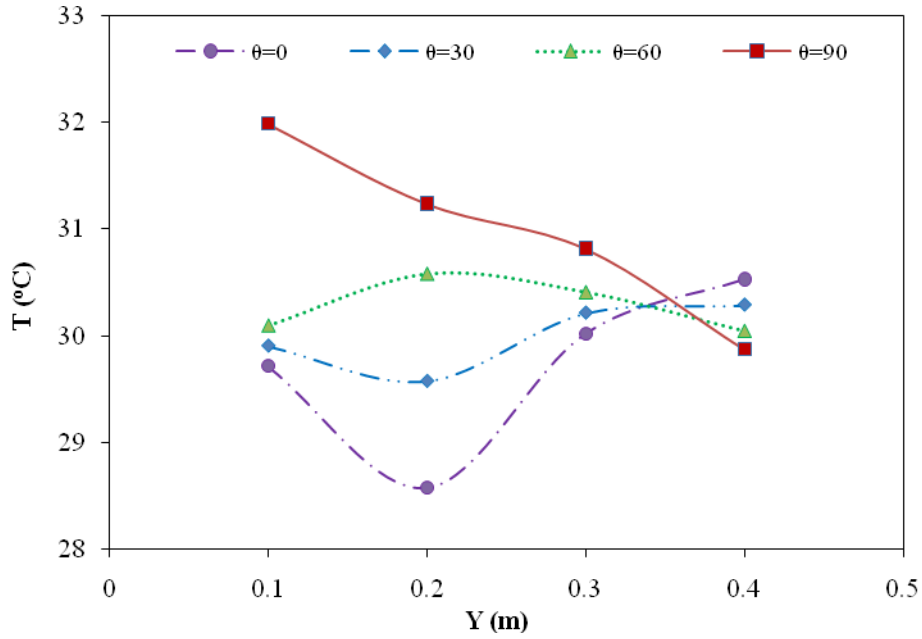
$\theta = 0^\circ$ 'deki konum için pasif elemanın etkileri incelendiğinde, $Y = 0.4$ m mesafede pasif eleman kullanılmadığında karışım sıcaklığı (T_k) yaklaşık olarak 26 °C iken daire kesitli pasif eleman yerleştirildiğinde bu sıcaklık yaklaşık 27.5 °C'ye ve kare kesitli pasif eleman yerleştirildiğinde bu sıcaklığın yaklaşık 29 °C'ye çıktığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar gösteriyorki $\theta = 0^\circ$ 'lik kanal eğim açısı için pasif eleman karışım sıcaklığına artırıcı yönde bir etki yapmıştır. Bunun dışındaki kanal eğim açılarında pasif elemanın karışım sıcaklığına önemli bir etkisi tespit edilmemiştir.

Aşağıda verilen deney sonuçlarında sıcak suyun debisi $M_h = 3$ lt/dk'da tutulup soğuk suyun debisi $M_c = 2$ lt/dk'ya düşürülmüştür. Ayrıca $T_h = 35^\circ\text{C}$ olan sıcak su sıcaklığı $T_h = 40^\circ\text{C}$ 'ye yükseltilmek suretiyle $\Delta T \approx 20^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler sabit tutularak kanal eğim açısının ve kanal içerisine yerleştirilen pasif elemanların karışım sıcaklığına etkileri aşağıda incelenmiştir.



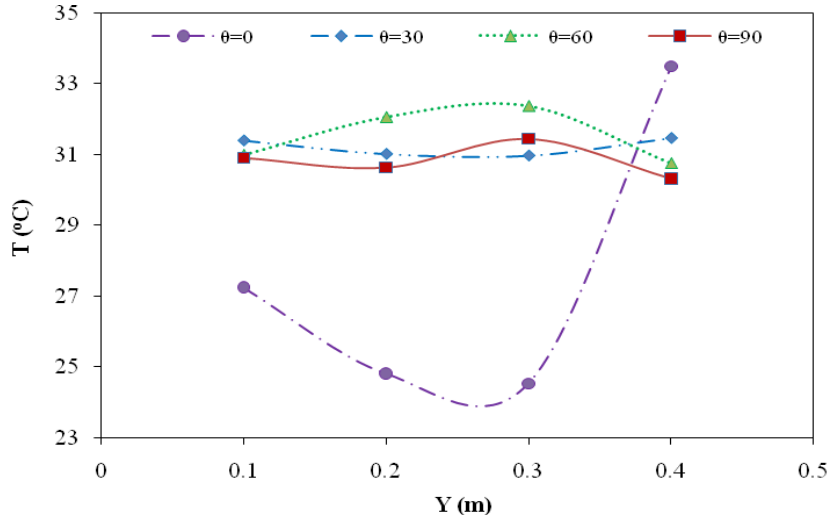
Şekil 3.11. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=2$ lt/dk)

Şekil (3.11)'de kanal içerisine pasif eleman yerleştirilmemiştir. Şekilde görüldüğü gibi kanal eğim açısı $\theta = 0^\circ$ 'de iken Y_1 sütunu boyunca yaklaşık 4°C 'lik bir sıcaklık değişimi meydana gelmiştir. Benzer bir dalgalanma $\theta = 30^\circ$ 'de yaklaşık 2°C miktarında görülmektedir. $\theta = 60^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ 'de Y_1 sütunu boyunca çok büyük bir sıcaklık değişiminin oluşmadığı görülmektedir. $Y = 0.4$ m mesafedeki sıcaklıklara bakıldığında $\theta = 0^\circ$, $\theta = 60^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ 'lik konumların birbirine yakın sıcaklıklarda ve $\theta = 30^\circ$ 'den yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.12. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=2\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.12)'de kanal içerisine kare kesitli pasif eleman yerleştirilmiştir. Grafik incelendiğinde $Y = 0.1\text{ m}$ mesafede $\theta = 0^\circ$, $\theta = 30^\circ$ ve $\theta = 60^\circ$ açılarındaki kanal konumları birbirine yakın sıcaklıklarda fakat $\theta = 90^\circ$ 'lik konum yaklaşık 2°C 'lik yüksek bir sıcaklıkla bunlardan farklılaştığı görülmektedir. $Y = 0.2\text{ m}$ mesafede bütün açılarda bir ısı değişimi görülmektedir. $Y = 0.3\text{ m}$ ile $Y = 0.4\text{ m}$ noktaları arasında bütün sistem açıları bir sıcaklıkta kesişmiş ve sonuçta çıkış bölgesine en yakın nokta olan $Y = 0.4\text{ m}$ mesafede birbirine yakın sıcaklıklardadır. Buradan farklı kanal eğimlerinin çıkıştaki karışım sıcaklığına önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır.



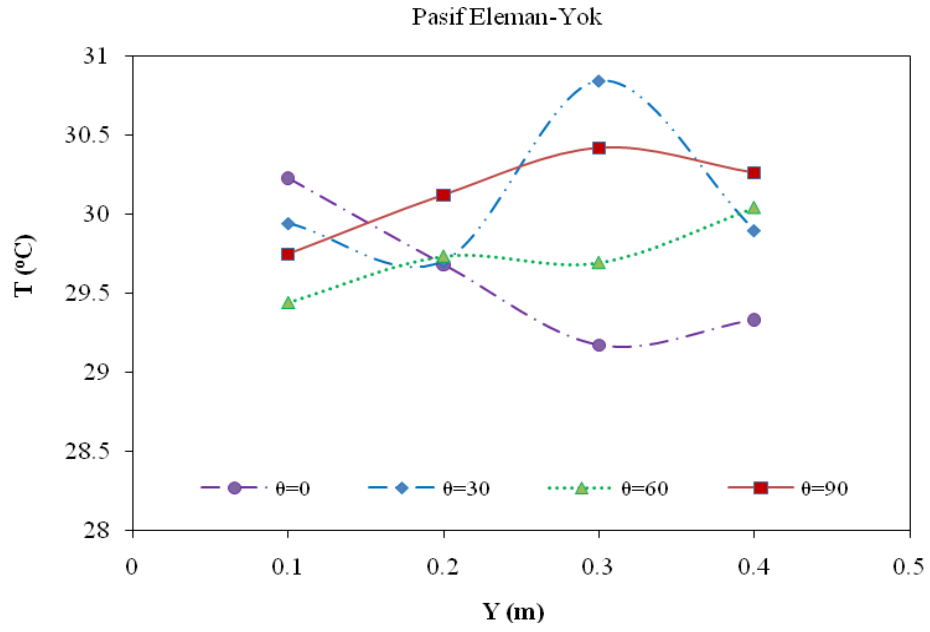
Şekil 3.13. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=2\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.13)'te kanal içerisine daire kesitli pasif eleman yerleştirilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi kanal eğim açısı $\theta = 0^\circ$ 'de iken Y_1 sütunu boyunca yaklaşık 10°C 'lik bir ısı değişimi meydana gelmiştir. Diğer sistem açılarında Y_1 sütunu boyunca önemli bir sıcaklık değişimi görülmemektedir. $Y = 0.4\text{ m}$ noltası incelendiğinde 1.5°C aralığında bütün açılarının sıcaklığı dengelenmiştir. Yapılan bu deneylerde açı faktörünün çıkış bölgesindeki karışım sıcaklığına önemli bir etkisine raslanmamıştır.

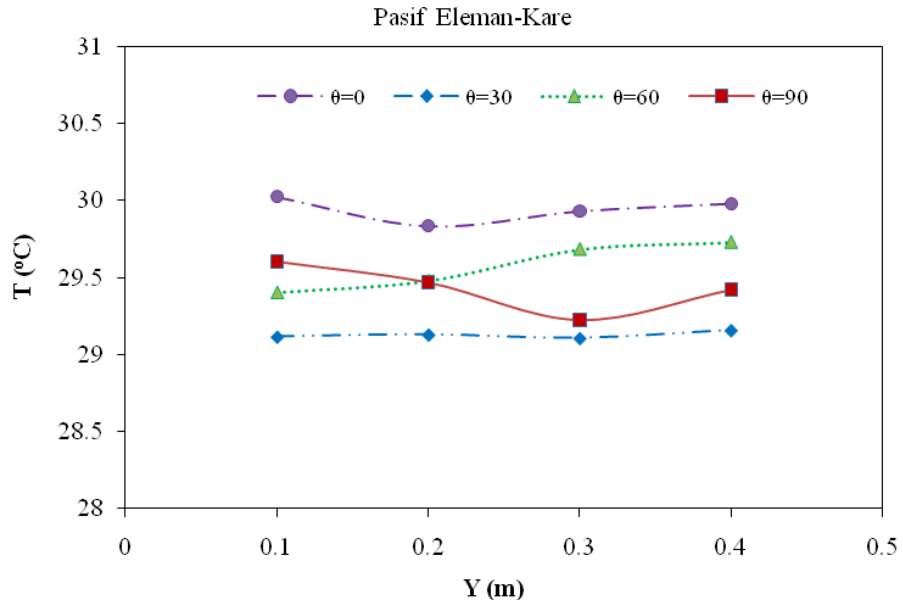
Yukarıda gösterilen deneylerde sistem içerisine konulan pasif elemanların etkisi göz önüne alınarak incelendiğinde, pasif eleman her ne kadar Y_1 sütunu boyunca sıcaklık değişimlerine sebep olmuşsa da sonuç itibarıyla kanalın tahliye bölgesindeki $Y = 0.4\text{ m}$ mesafesinde önemli ölçüde bir sıcaklık artışı sağlamadığı görülmektedir.

3.1.2. Pasif Elemanın Y_1 Sütunu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

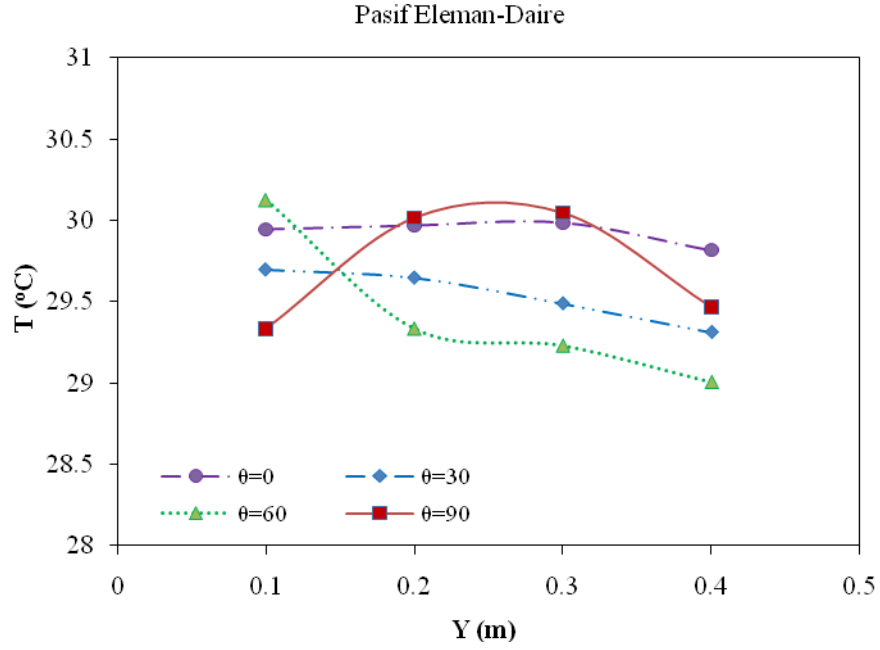
Aşağıda pasif elemanın karışım verimine ve sıcaklığına olan etkileri incelenmiştir. Gösterilen grafiklerde bütün deney parametreleri aynı değerlerde belirlenmiş, sadece kanal içerisine pasif eleman yerleştirilerek bunların 450 . saniyedeki Y_1 sütunu boyunca sıcaklık değişimlerine etkisi irdelenmiştir. Benzer bir çalışma yukarıdaki örneklerde de verilmiştir. Bu bölümde özellikle pasif elemanın etkileri üzerinde durulmuştur.



Şekil 3.14. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



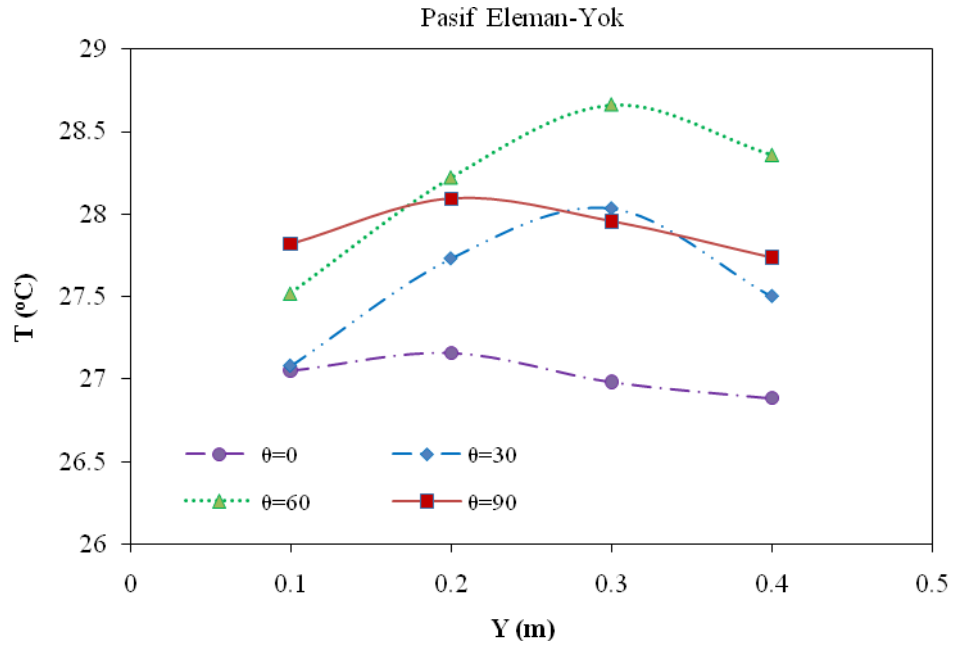
Şekil 3.15. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



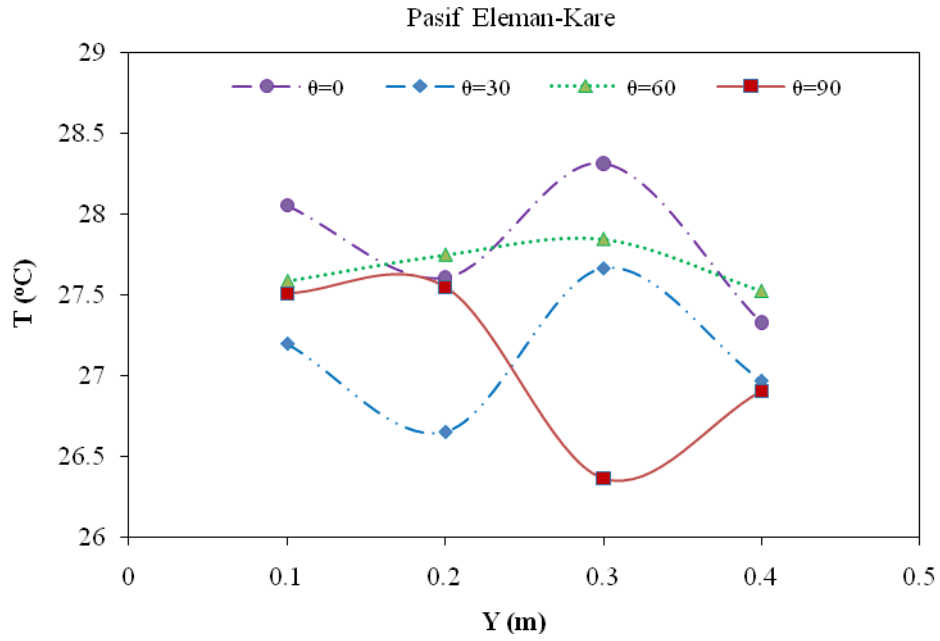
Şekil 3.16. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=20\text{ }^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.14)'te kanal içerisinde pasif elemanın olmadığı, Şekil (3.15)'te kare ve Şekil (3.16)'da daire kesitli pasif eleman kullanılmıştır. Şekiller karşılaştırıldığında pasif eleman kullanılmadığında $Y = 0.3\text{ m}$ bölgesinde sıcaklık yaklaşık $31\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar yükselmiş ve Y_1 sütunu boyunca yaklaşık $2\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir sıcaklık değişimi görülmektedir. Bunun aksine kare ve daire kesitli pasif elemanların kullanıldığı deneylere bakıldığında Y_1 sütunu boyunca büyük sıcaklık değişimleri oluşmamış ve meydana gelen ısı değişim miktarı yaklaşık $1\text{ }^\circ\text{C}$ civarında kalmaktadır. Bu sonuçlar pasif elemanın sıcak ve soğuk suyun karışma etkinliğine olumlu bir etki yaptığını göstermektedir.

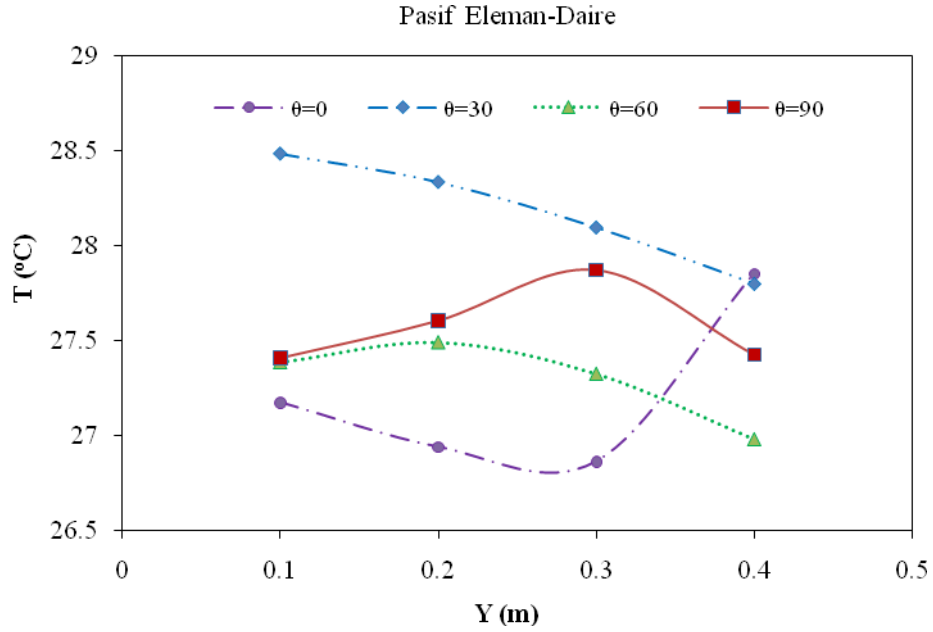
Aşağıda verilen deney sonuçlarında soğuk ve sıcak su arası sıcaklık farkı (ΔT) $15\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye, soğuk suyun debisi (M_c) 2.5 lt/dk 'ya düşürülmüştür. Aşağıda gösterilen bütün ölçümlerde deney parametreleri eşdeğer kullanılmış sadece herhangi bir pasif eleman kullanılmadan boş kanalda, kare ve daire kesitli pasif eleman kullanılmak suretiyle pasif elemanın etkileri irdelenmiştir.



Şekil 3.17. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)



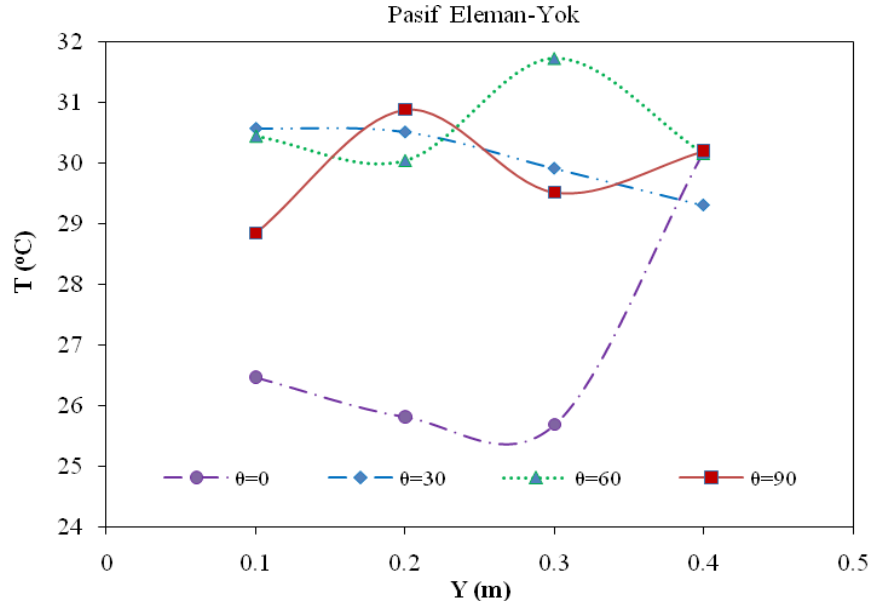
Şekil 3.18. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman kare, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)



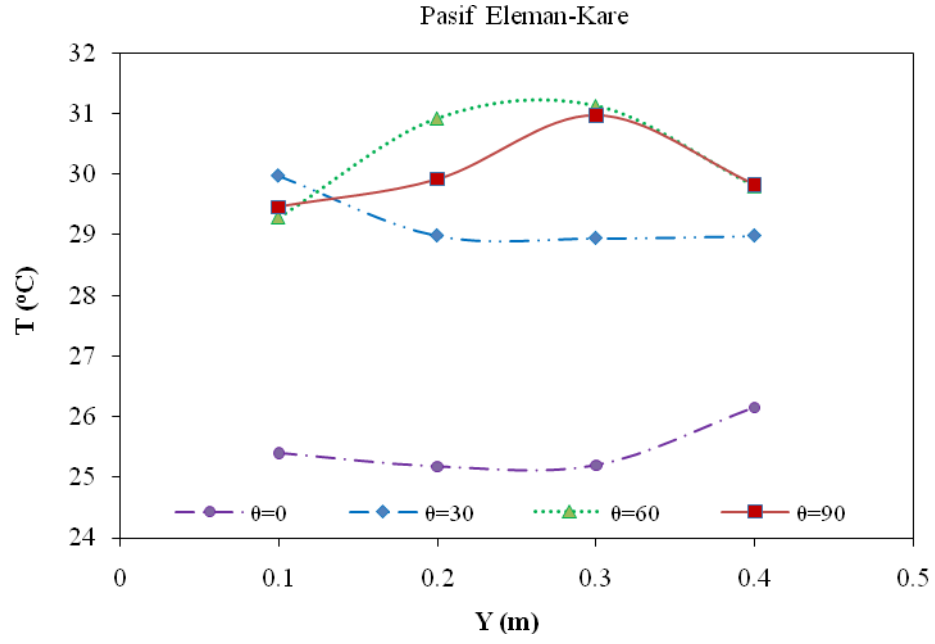
Şekil 3.19. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5\text{mm}$, pasif eleman daire, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.17)'de kanal içerisinde pasif elemanın olmadığı, Şekil (3.18)'de kare ve Şekil (3.19)'da ise daire kesitli pasif eleman kullanılmıştır. Şekiller incelendiğinde yapılan deneyler arasında pasif elemanın kullanılmadığı deneylerde karışım sıcaklığının yüksek olduğu görülmektedir. Kare kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneyler incelendiğinde Y_1 sütunu boyunca ısı değişimleri görülmektedir. Bu ısı değişimlerinin miktarı pasif elemanın kullanılmadığı deneylerde oldukça düşük olduğu görülmektedir. Pasif elemanların $Y = 0.4\text{ m}$ mesafedeki etkileri incelendiğinde kanal eğim açıları arası sıcaklık farkı pasif eleman kullanılmadan yapılan deneylerde yaklaşık 2°C , kare ve daire kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde yaklaşık 1°C olduğu görülmektedir. Buradan pasif elemanların tahliye bölgesinde karışım verimini olumlu yönde etkilediği sonucu çıkmaktadır. Fakat Y_1 sütunu boyunca etkileri göz önüne alınarak incelendiğinde pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde ısı değişimlerinin çok olduğu görülmektedir. Buradan pasif elemanın Y_1 sütunu boyunca karışım verimini olumsuz yönde etkilediği sonucu çıkmaktadır.

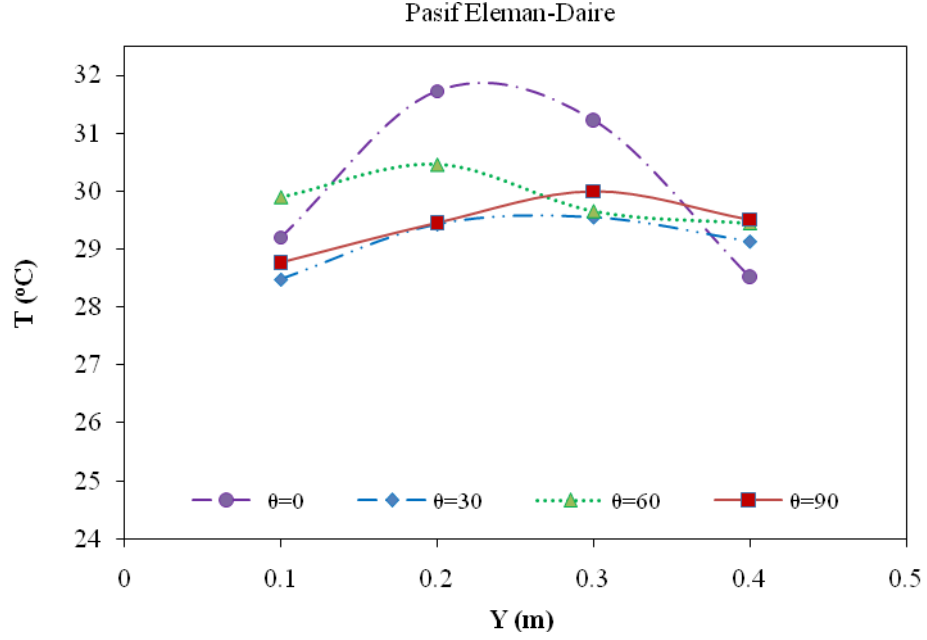
Aşağıda verilen deneylerde soğuk ve sıcak su arası sıcaklık farkı $\Delta T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye, soğuk suyun debisi $M_c = 3 \text{ lt/dk}$ 'ya ve jetlerin nozul çapı $D = 10 \text{ mm}$ 'ye yükseltilmiştir. Aşağıda gösterilen bütün ölçümlerde deney parametreleri aynı kullanılmış sadece sisteme kare ve daire kesitli pasif eleman yerleştirilmiştir.



Şekil 3.20. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10 \text{ mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_c=3 \text{ lt/dk}$, $M_h=3 \text{ lt/dk}$)



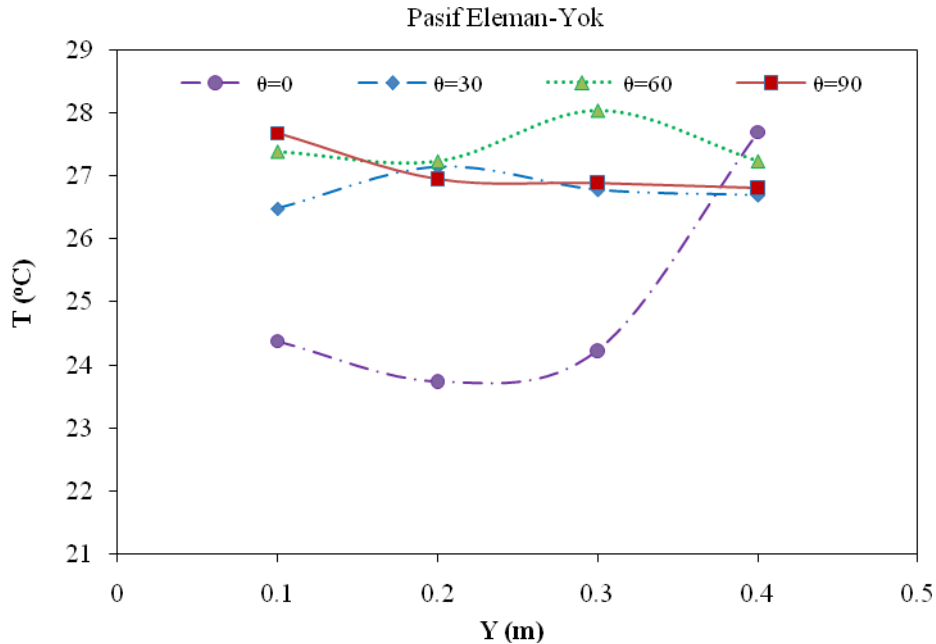
Şekil 3.21. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



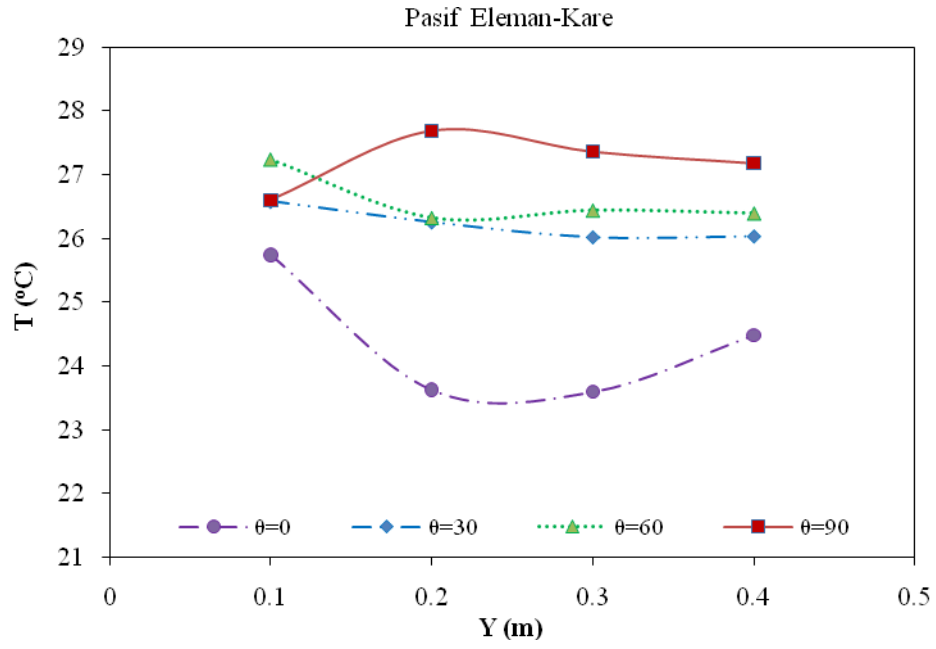
Şekil 3.22. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D =10$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.20)'de kanal içerisinde pasif elemanın olmadığı, Şekil (3.21)'de kare ve Şekil (3.22)'de daire kesitli pasif eleman kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde tahliye bölgesindeki karışım sıcaklıklarının pasif elemanın olmadığı deneylerde ve kare kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kare kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerden kanal eğim açısı $\theta = 0^\circ$ olduğu durum için karışım sıcaklığı $4^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}$ kadar düşük olduğu görülmektedir. Bunun dışındaki açılardaki karışım sıcaklıkları birbirine yakın ve Y_1 sütunu boyunca önemli bir sıcaklık değişimi meydana gelmemiştir. Daire kesitli pasif elemanın kullanıldığı deneyler incelendiğinde karışım sıcaklığının $1.5^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C}$ kadar düşük olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan bütün deneyler göz önüne alındığında kullanılan pasif elemanların genellikle karışımın etkinliğini artırıcı yönde bir etki yaptığı tespit edilmiştir.

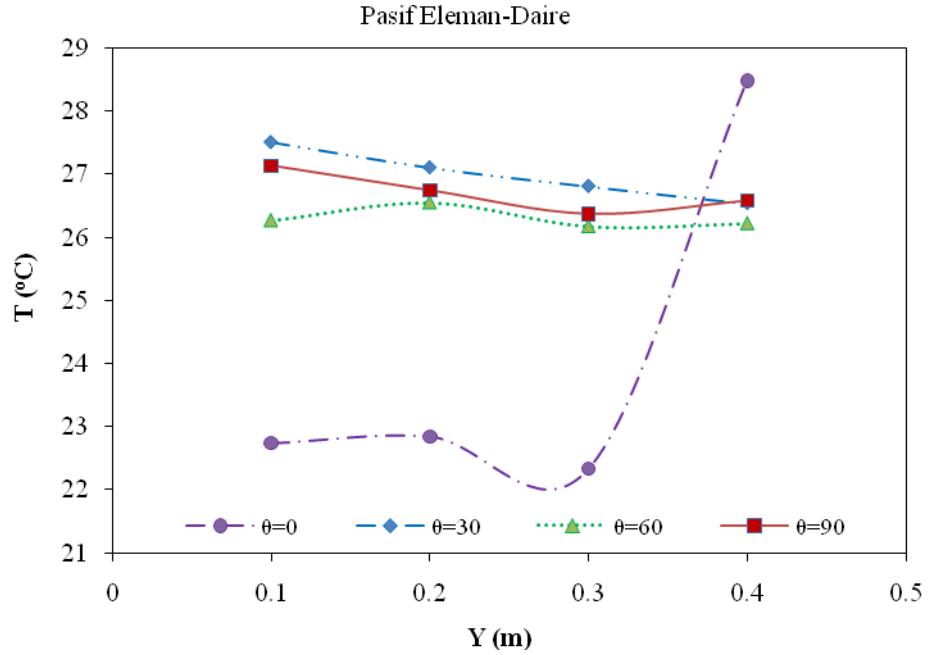
Aşağıda verilen deneylerde sıcak ve soğuk su arası sıcaklık farkı (ΔT) 15°C 'ye, soğuk suyun debisi (M_c) 2.5 lt/dk 'ya düşürülmüştür. Aşağıda gösterilen bütün ölçümlerde deney parametreleri eşdeğer kullanılmış sadece sisteme kare ve daire kesitli pasif eleman yerleştirilmiştir.



Şekil 3.23. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10\text{ mm}$, pasif eleman yok, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=2.5\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)



Şekil 3.24. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=15$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

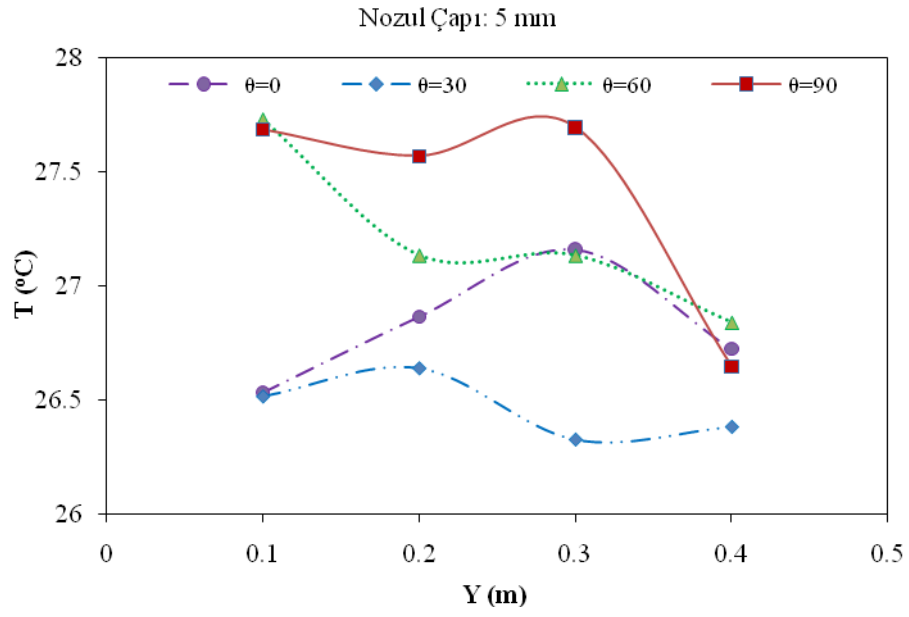


Şekil 3.25. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=15$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

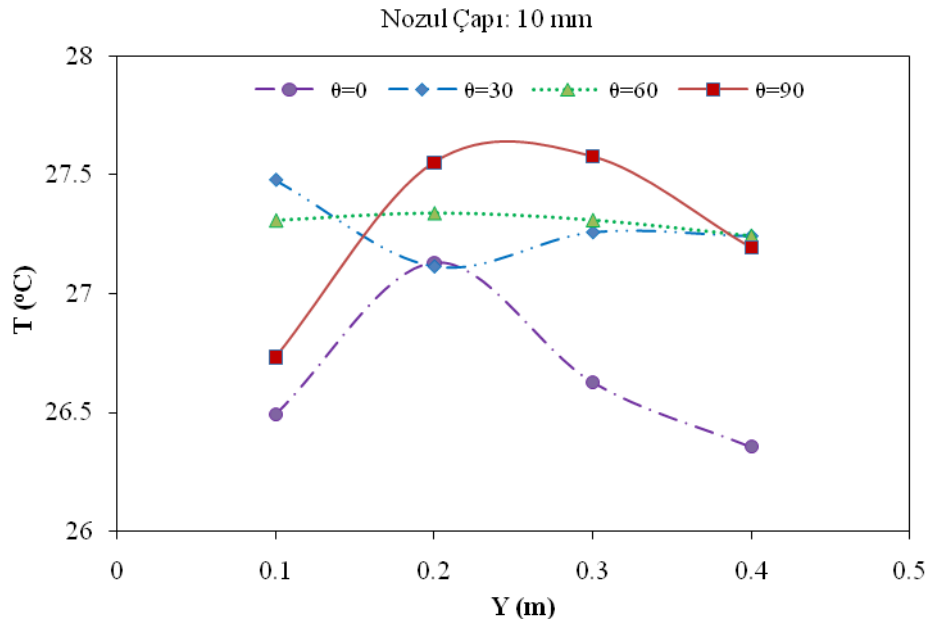
Şekil (3.23)'te kanal içerisinde pasif elemanın olmadığı, Şekil (3.24)'te kare ve Şekil (3.25)'te daire kesitli pasif eleman kullanılmıştır. Grafikler incelendiğinde kanal eğim açısının $\theta = 0^\circ$ olduğu durumlarda Y_1 Sütunu boyunca büyük ölçekli bir ısı değişim olduğu görülmektedir. Fakat tahliye bölgesinde pasif elemanın olmadığı ve daire kesitli pasif eleman olan deneylerde bütün kanal eğim açıları arasında sıcaklık değerleri birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kare kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde ise tahliye bölgesinde kanal eğim açıları arasında yaklaşık 3°C 'lik bir sıcaklık farkı görülmektedir. $\theta = 0^\circ$ 'deki konum dışında bütün kanal eğim açıları Y_1 sütunu boyunca önemli bir sıcaklık değişiminin olmadığı görülmektedir. Ayrıca tahliye bölgesindeki sıcaklık her üç durum da yaklaşık aynı değerlerde olduğu saptanmıştır. Bu sonuç pasif elemanların gerek karışımın etkinliğine gerekse karışım sıcaklığına önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

3.1.3. Farklı Jet Hızlarının Y_1 Sütunu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Bu bölümde farklı jet hızlarının, Y_1 sütunu boyunca sıcak ve soğuk suyun karışım verimi ve karışım sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Birbirleriyle karşılaştırılan grafiklerin jet hızları dışındaki diğer bütün parametreleri eşdeğer seçilmiştir. Deney setinde kullanılan jetlerde 5 ve 10 mm çaplarında iki adet nozul kullanılmıştır. Suyun debisi sabit tutularak jet nozulları değiştirilmek suretiyle jet hızı artırılıp düşürülmüştür.



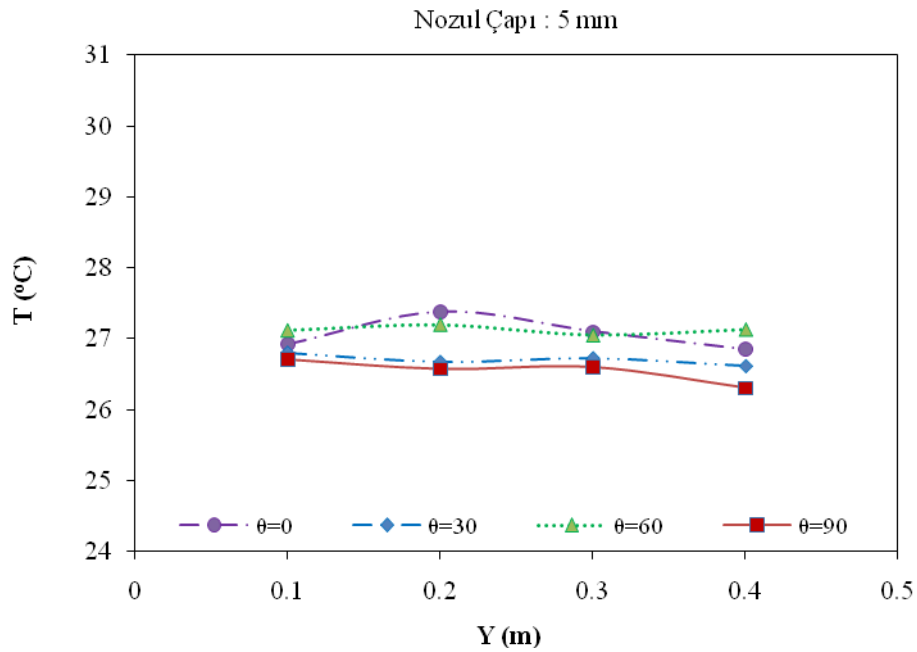
Şekil 3.26. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



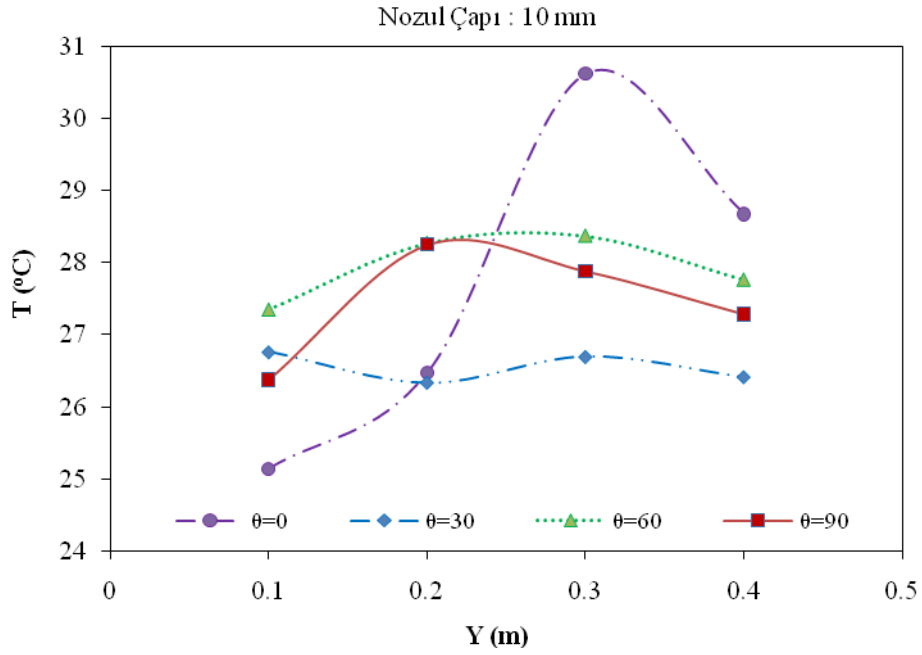
Şekil 3.27. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekiller (Şekil 3.26 ve Şekil 3.27) incelendiğinde 450. saniyede Y_1 sütunu boyunca sıcaklık değişimleri $D = 10$ mm nozul çapında daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca $Y = 0.4$ m mesafedeki karışım sıcaklığı $D = 10$ mm nozul çapında daha yüksek olduğu şekillerden anlaşılmaktadır.

Aşağıda verilen deney sonuçlarında Şekil 4.26 ve Şekil (4.27)'den farklı olarak kanal içerisine kare kesitli pasif eleman yerleştirilmiştir. Bunun dışındaki diğer parametreler eşdeğer seçilmiştir. Şekil (3.28)'de $D = 5$ mm ve Şekil (3.29)'da $D = 10$ mm çapında nozul kullanılmıştır.



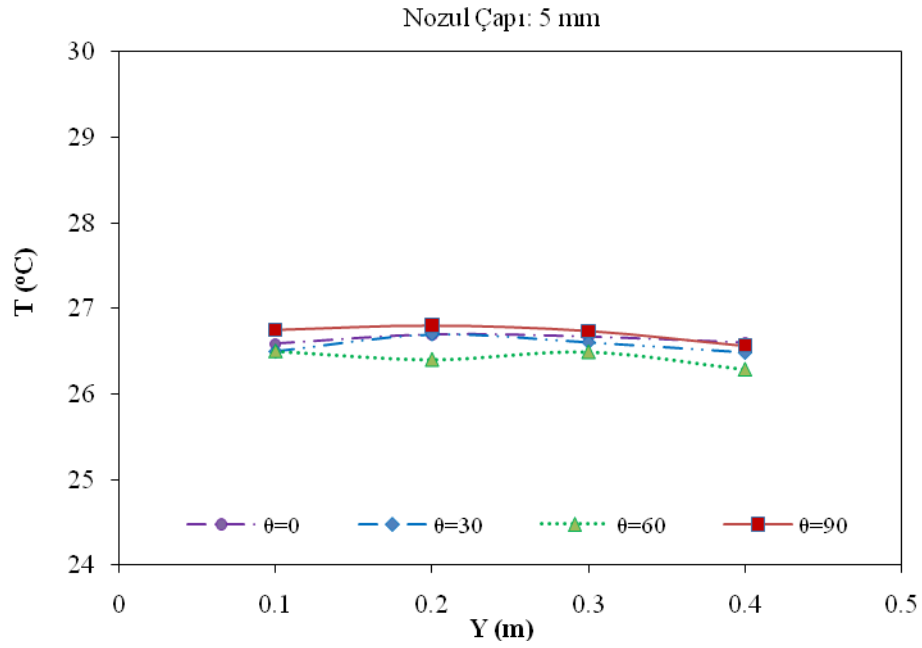
Şekil 3.28. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



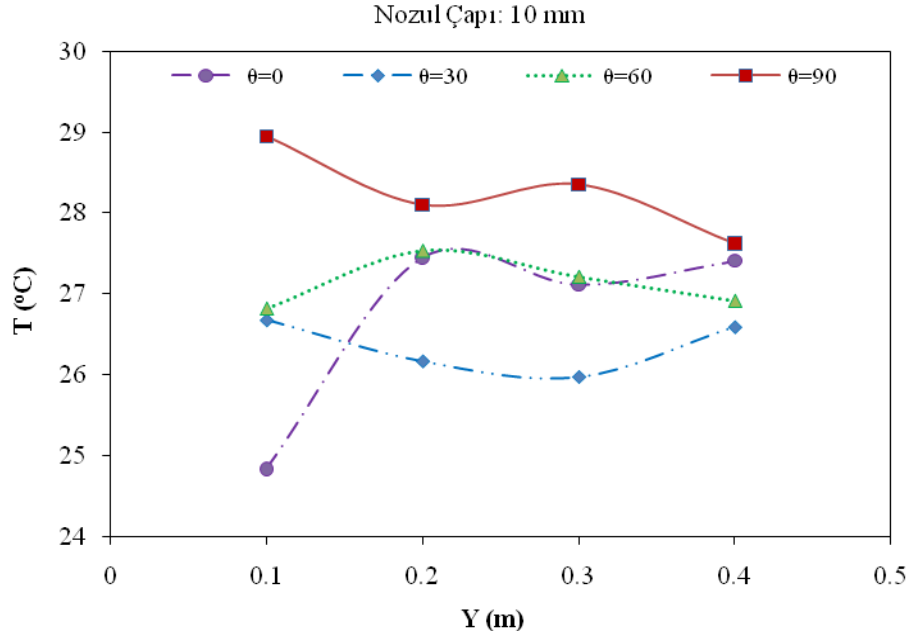
Şekil 3.29. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil 3.28 ve Şekil 3.29 incelendiğinde, $D = 5$ mm nozul kullanılarak yapılan deneylerde Y_1 sütunu boyunca meydana gelen sıcaklık değişimleri, $D = 10$ mm nozul kullanılarak yapılan deneylere göre daha düşük aralıkta ve yaklaşık olarak 1°C civarında olduğu tespit edilmiştir. $D = 10$ mm nozul kullanılarak yapılan deneylerde bu sıcaklık değişimleri yaklaşık 6°C gibi çok yüksek bir aralıkta olduğu görülmektedir. Bu sonuç jet hızının karışım verimi üzerinde artırıcı bir etki yaptığını göstermektedir. Bununla beraber karışım sıcaklığı genel olarak $D = 10$ mm nozul kullanılarak yapılan deneylerde daha yüksektir. Bu da mevcut parametrelerde jet hızını arttırmanın karışım sıcaklığını düşürdüğünü göstermektedir.

Aşağıda verilen deney sonuçlarında kanal içerisine daire kesitli pasif eleman yerleştirilmiştir. Diğer deney parametreleri bir önceki verilen deney parametreleriyle eşdeğer olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.30. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



Şekil 3.31. Y_1 sütununun $t=450$. saniyedeki sıcaklık değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil 3.30 ve Şekil (3.31)'deki deney sonuçları incelendiğinde, $D = 5$ mm çapında nozul kullanılarak yapılan deneylerde bütün kanal eğim açıları Y_1 sütunu boyunca 0.5 °C'lık küçük bir sıcaklık değişimi meydana gelmiş, $Y = 0.4$ m mesafede bütün kanal eğim açıları karışım sıcaklıkları birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. $D = 10$ mm çapındaki nozul kullanılarak yapılan deneylerde ise Y_1 sütunu boyunca sıcaklık değişimi yaklaşık 3 °C olarak tespit edilmiştir. Buradan nozul çapını düşürmenin kanal içerisinde karışım etkinliğini artırıcı bir etki yaptığı sonucu çıkmaktadır.

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda jet hızını arttırmanın karışım verimini olumlu yönde etkilediği ve düşük jet hızlarında karışım sıcaklığının nispeten daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

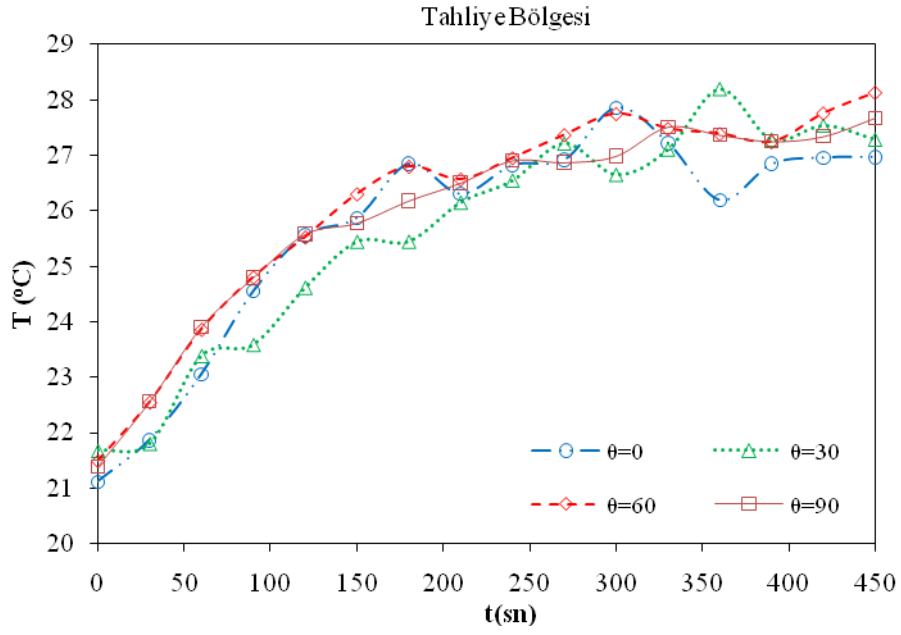
3.2. Çıkış Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi

Tahliye suyunun ne kadar sürede sürekli rejime geldiği, deney parametrelerinin etkinliğinin ölçülebilmesi açısından çok önemlidir. Bundan dolayı deney düzeneğinde su kanalına bağlı tahliye vanası içerisine bir adet ısıl çift yerleştirilmiştir.

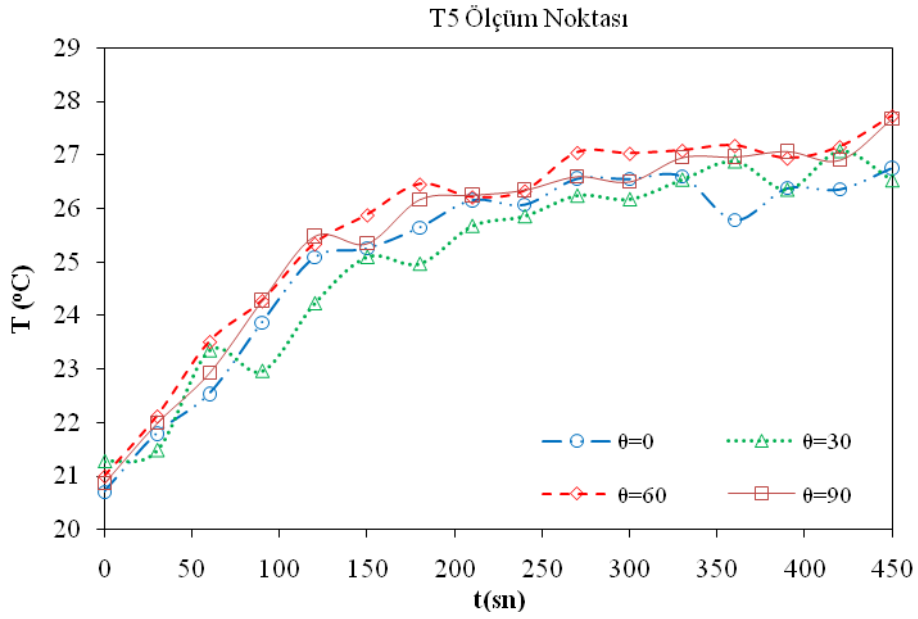
Bu ısıl çift vasıtasıyla çıkıştaki sıcak-soğuk su karışımının zaman içerisindeki sıcaklık değişimi gözlenebilmektedir. Aşağıda farklı deney parametrelerinin bu karışım sıcaklığı üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

3.2.1. Farklı Kanal Eğim Açılarının Çıkış Sıcaklığına Etkisinin İncelenmesi

Aşağıda Şekil (3.32)'de tahliye vanası içerisindeki suyun sıcaklığı ve Şekil (3.33)'te tahliye vanasına en yakın ölçüm noktası olan T5 noktasındaki karışım sıcaklığının zamana göre sıcaklık değişim grafikleri verilmiştir.

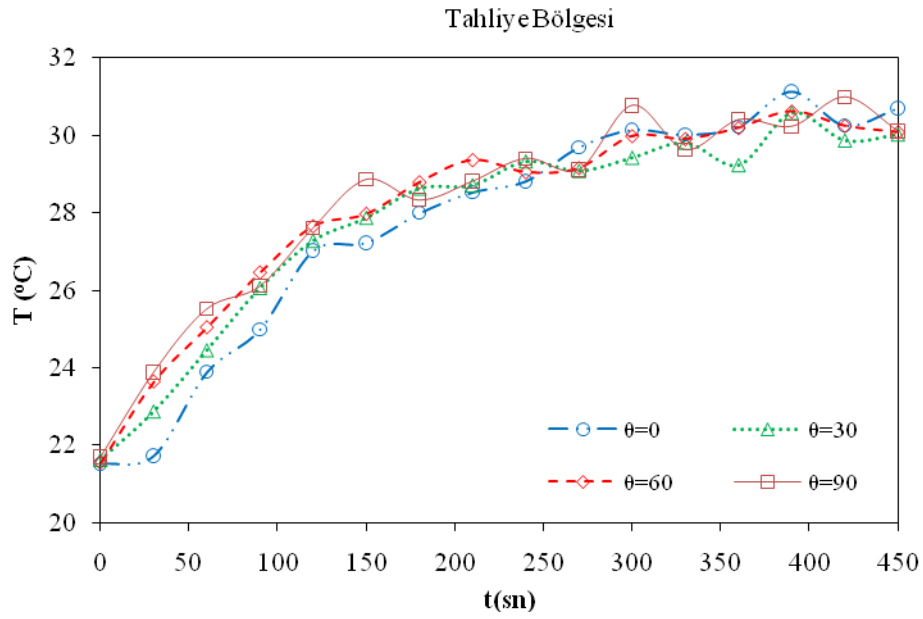


Şekil 3.32. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



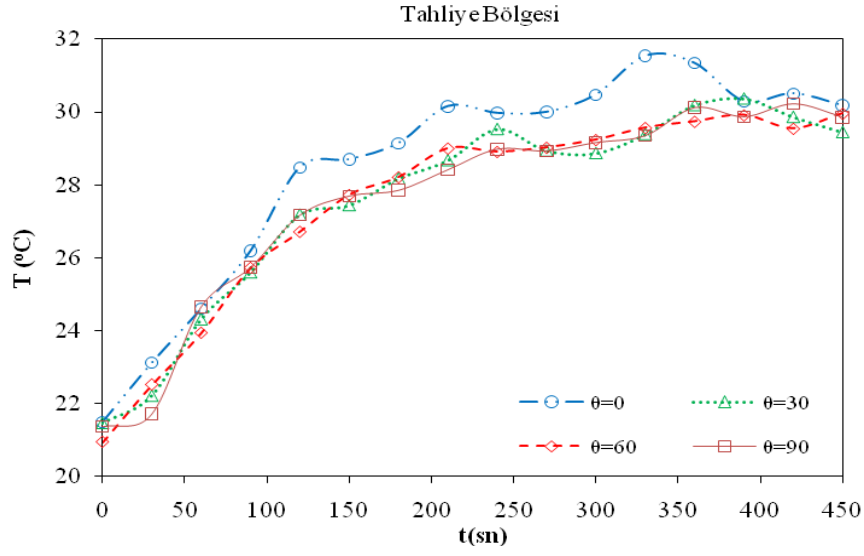
Şekil 3.33. T5 noktası karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil 3.32 ve Şekil 3.33 karşılaştırıldığında bütün kanal eğim açıları için sıcaklık ölçümlerinin zamana göre değişimi, tahliye bölgesinde ve T5 noktasında birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu iki ölçüm noktasının birbirine yakın olmasıdır. Sonuçların birbirine bu şekilde yakın çıkması deney ölçümlerinde herhangi bir hata olmadığını göstermektedir.



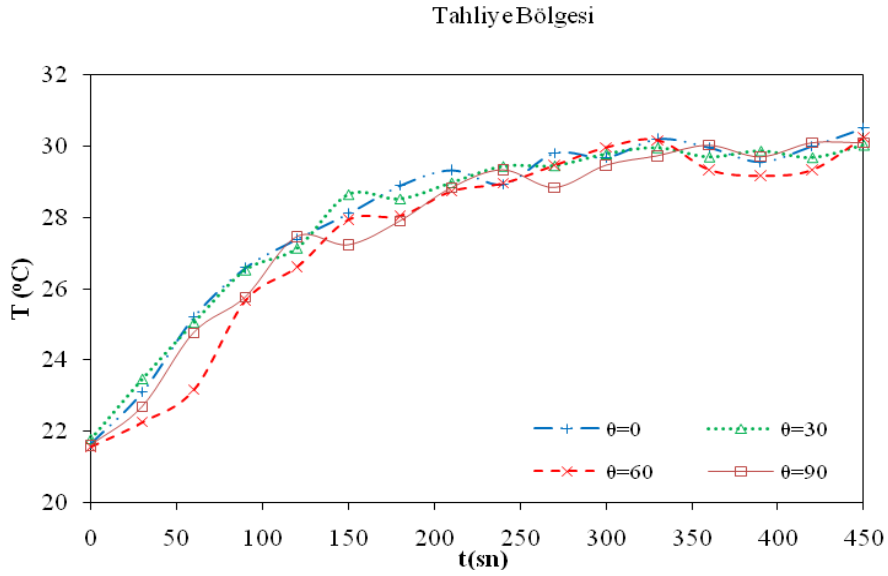
Şekil 3.34. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.34)'te görüldüğü gibi kanal eğim açısı tahliye bölgesinde karışım sıcaklığının zamana bağlı değişimine önemli bir etki etmemiştir.



Şekil 3.35. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.35)'te verilen tahliye bölgesinin sıcaklık-zaman grafiğinde kanal eğim açısı $\theta = 0^{\circ}$ 'de iken tahliye bölgesindeki karışım sıcaklığı diğer kanal eğim açılarına göre daha değişken sıcaklıklara sahip olduğu görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere diğer kanal eğim açıları, çıkıştaki karışım sıcaklığına önemli bir etki yapmamaktadır.

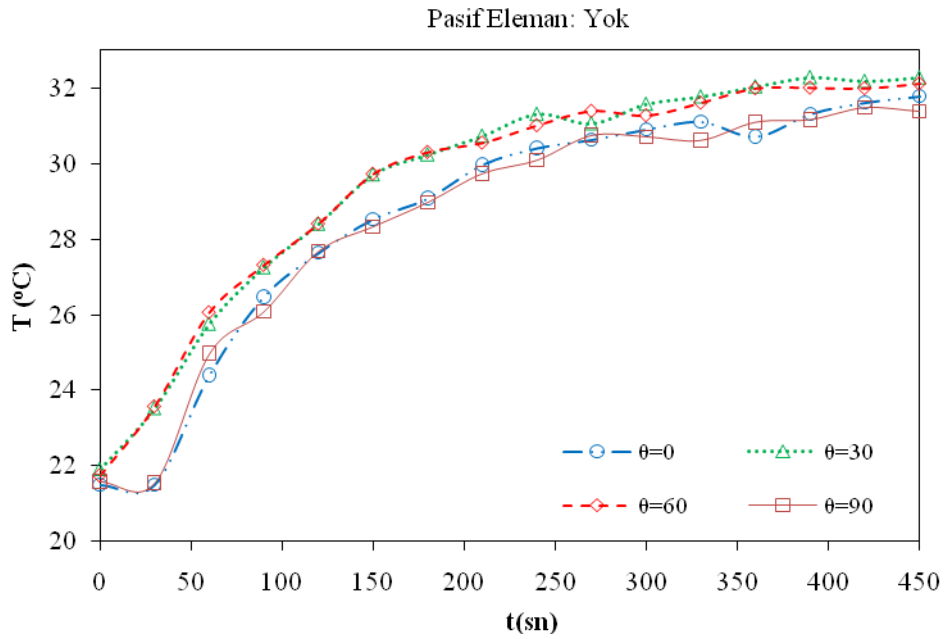


Şekil 3.36. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

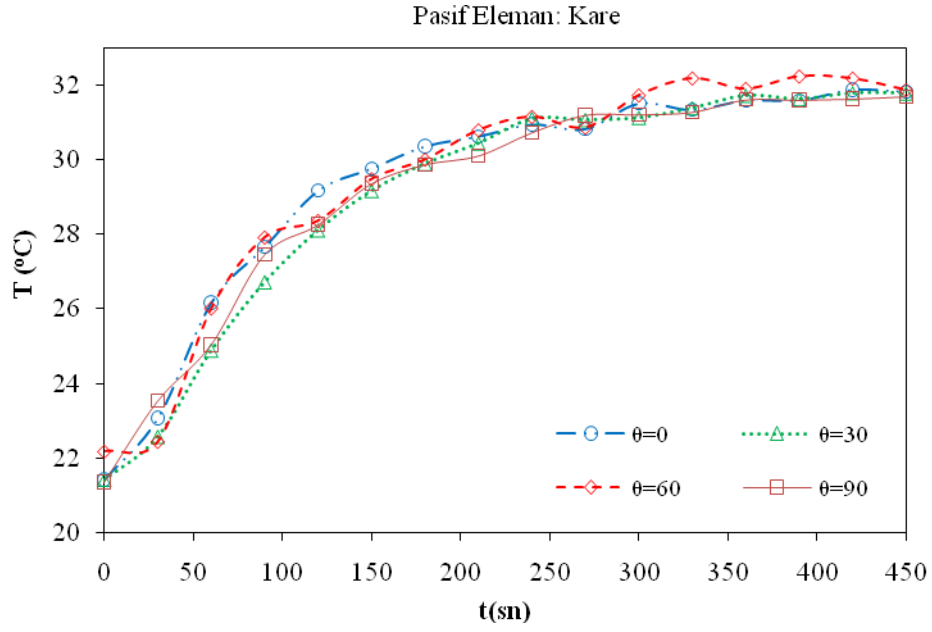
Şekil (3.36)'da görüldüğü gibi tahliye bölgesi karışım sıcaklığı bütün açılarda zaman içerisinde birbirine yakın ve zamanla artan bir değişim göstermiştir. Bu durum eğimli kanalların karışım sıcaklığının zamana bağlı yükselişine önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

3.2.2. Pasif Elemanın Tahliye Bölgesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

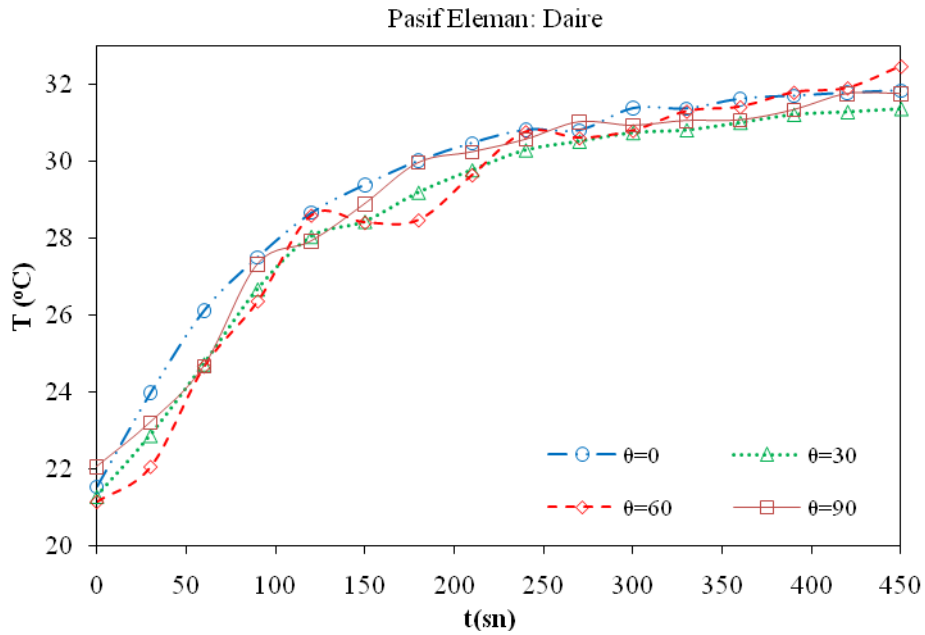
Aşağıda verilen deney sonuçlarında kanal içerisine kare ve daire kesitli pasif eleman yerleştirilerek bunların tahliye bölgesindeki karışım sıcaklığının zamana bağlı değişimine etkileri irdelenmiştir. Pasif eleman dışındaki diğer bütün deney parametreleri eşdeğer seçilmiştir.



Şekil 3.37. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi
($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

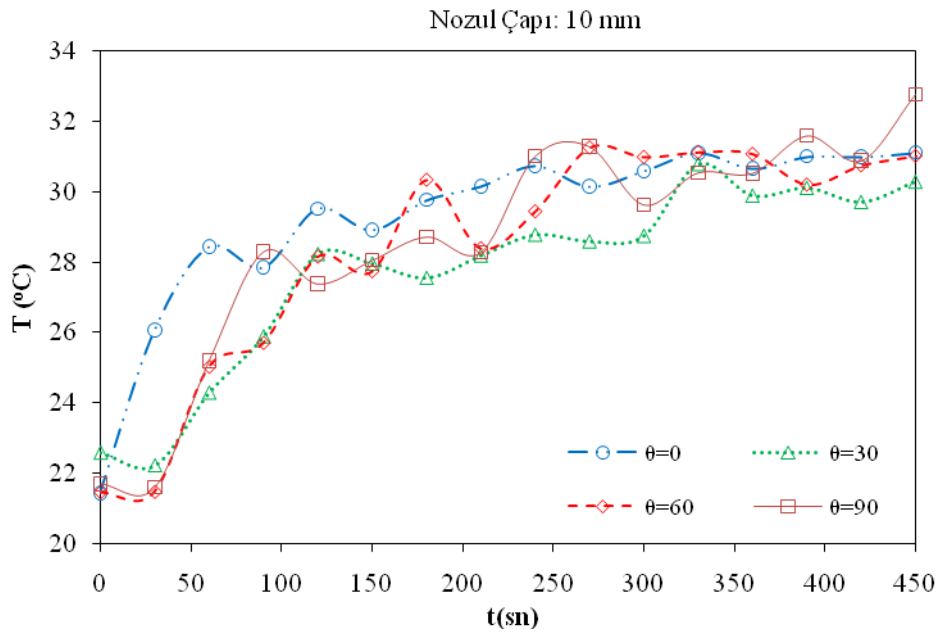


Şekil 3.38. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

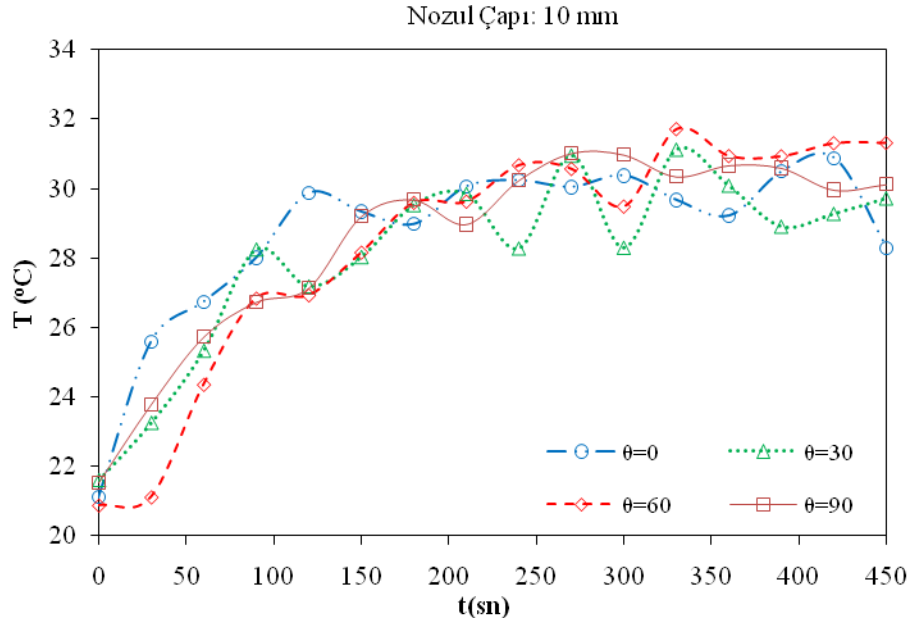


Şekil 3.39. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

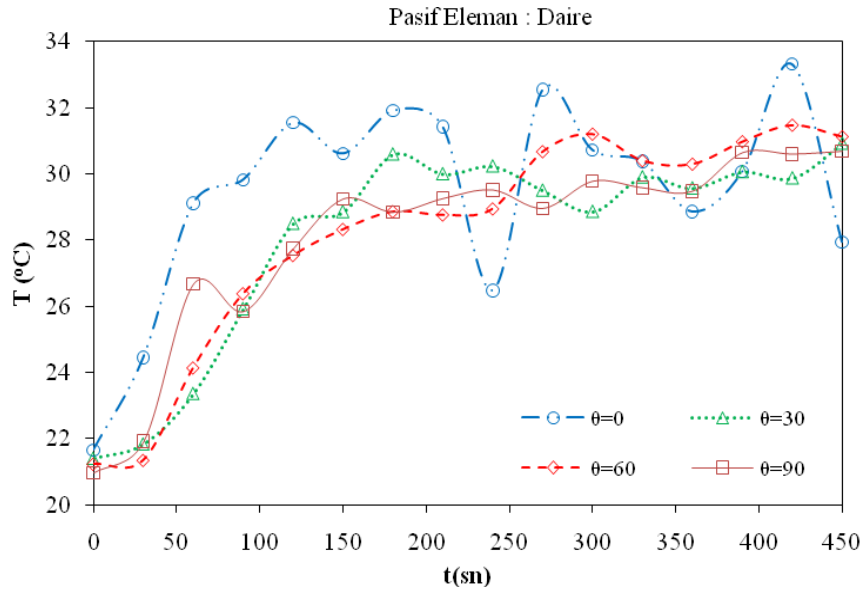
Yukarıda verilen (Şekil 3.37, Şekil 3.38 ve Şekil 3.39) deney sonuçları incelendiğinde kare kesitli pasif eleman konularak yapılan deneylerde tahliye bölgesindeki suyun sıcaklığı ilk 200 saniye içerisinde, pasif eleman konulmadan yapılan deneylerde ilk 250 saniyede ve daire kesitli pasif eleman konularak yapılan deneylerde ilk 300 saniyede karışımın sıcaklığı sürekli rejime gelmiştir. Buradan kare kesitli pasif elemanın karışım etkinliğine arttırıcı ve daire kesitli pasif elemanın karışım etkinliğine düşürücü bir etkisinin olduğu sonucu çıkmaktadır.



Şekil 3.40. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



Şekil 3.41. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

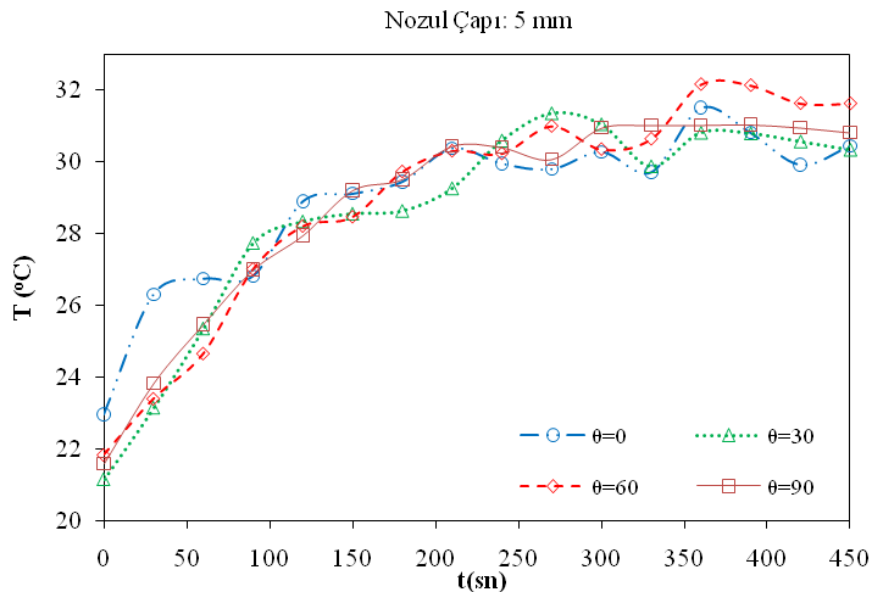


Şekil 3.42. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

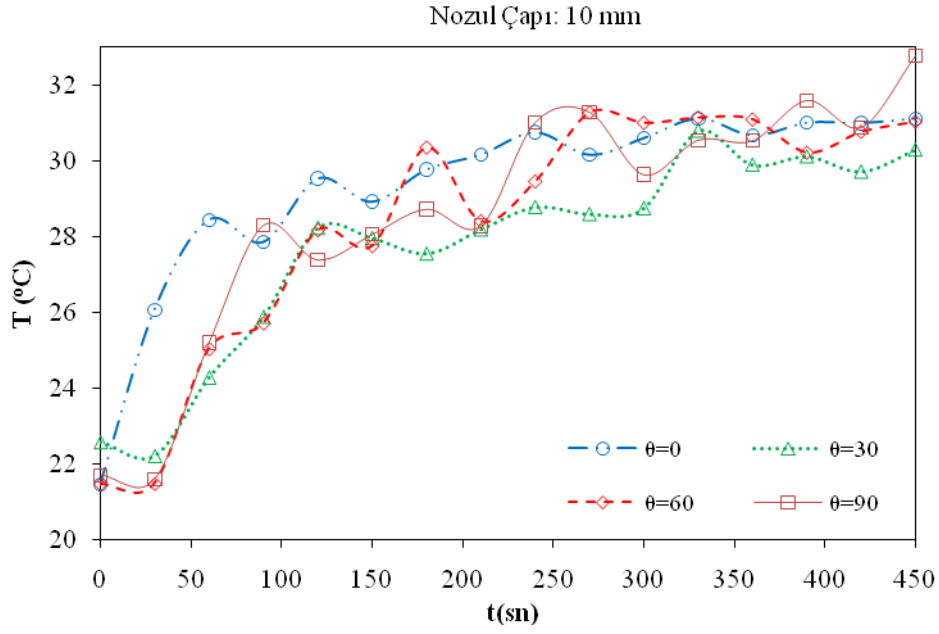
Daire kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde (Şekil 3.42) özellikle kanal eğim açısı $\theta = 0^\circ$ iken tahliye bölgesinde ciddi bir sıcaklık değişimi meydana gelmiştir. Benzer sıcaklık değişimleri pasif eleman kullanılmadan yapılan deneylerde de (Şekil 3.40) görülmektedir. Kare kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde (Şekil 3.41) tahliye bölgesindeki sıcaklık değişim miktarları diğer durumlara göre biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Tahliye bölgesindeki suyun sıcaklığının bütün durumlar için yaklaşık 150. saniyeden sonra sürekli rejime geldiği söylenebilir fakat bu deney parametrelerinde sürekli rejimdeki suyun sıcaklığında değişimin yüksek olduğu tespit edilen diğer bir husustur.

3.2.3. Jet Hızının Tahliye Bölgesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Aşağıda gösterilen grafiklerde farklı jet hızlarının tahliye bölgesindeki sıcak ve soğuk suyun karışım verimi ve sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Birbirleriyle karşılaştırılan grafiklerin jet hızları dışındaki diğer bütün parametreleri eşdeğer seçilmiştir. Deney setinde kullanılan su debisi sabit tutularak jetlerin nozul çapı değiştirilmek suretiyle akışkanın hızı arttırılmış veya düşürülmüştür.

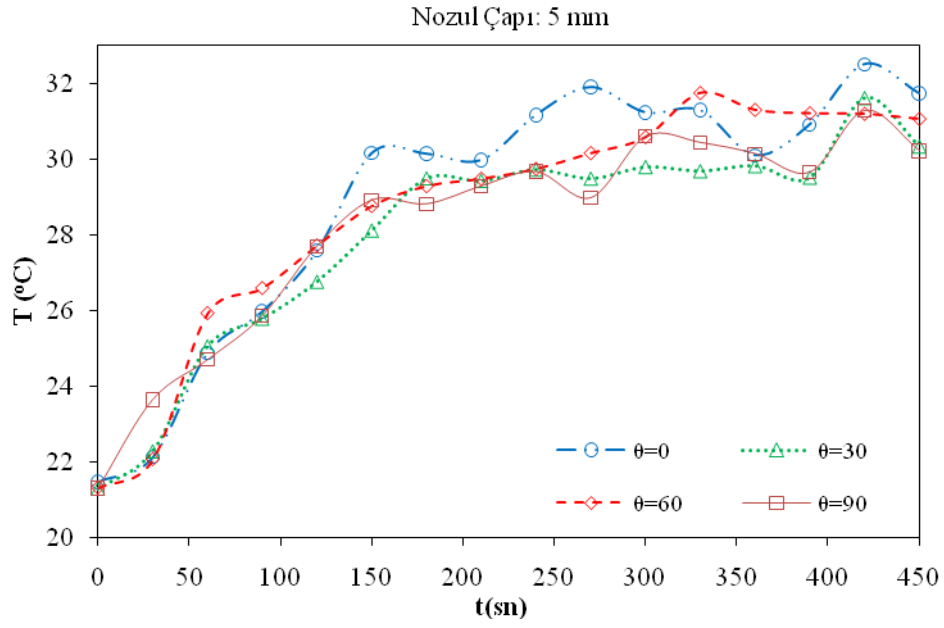


Şekil 3.43. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

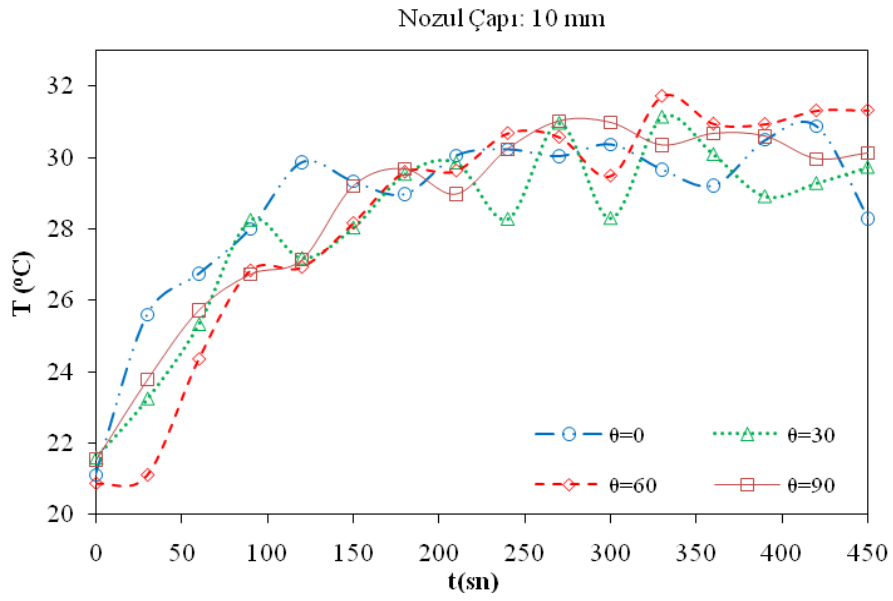


Şekil 3.44. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil 3.43 ve Şekil 3.44 incelendiğinde tahliye bölgesinde karışım sıcaklığı $D = 5$ mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde daha düzgün bir şekilde yükselmiş ve sürekli rejime gelmiştir. $D = 10$ mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde tahliye bölgesindeki karışım sıcaklığı sürekli rejime daha kısa bir sürede ulaşmış fakat karışım sıcaklığında sürekli bir değişimin olduğu tespit edilmiştir.

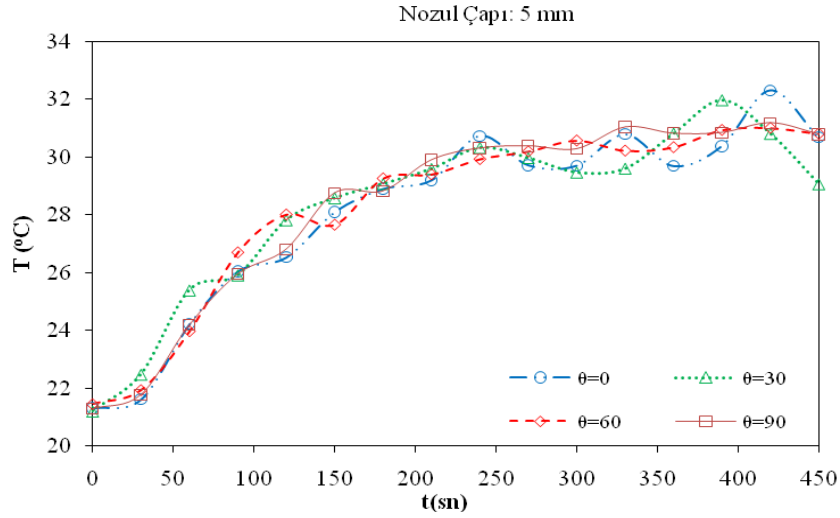


Şekil 3.45. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

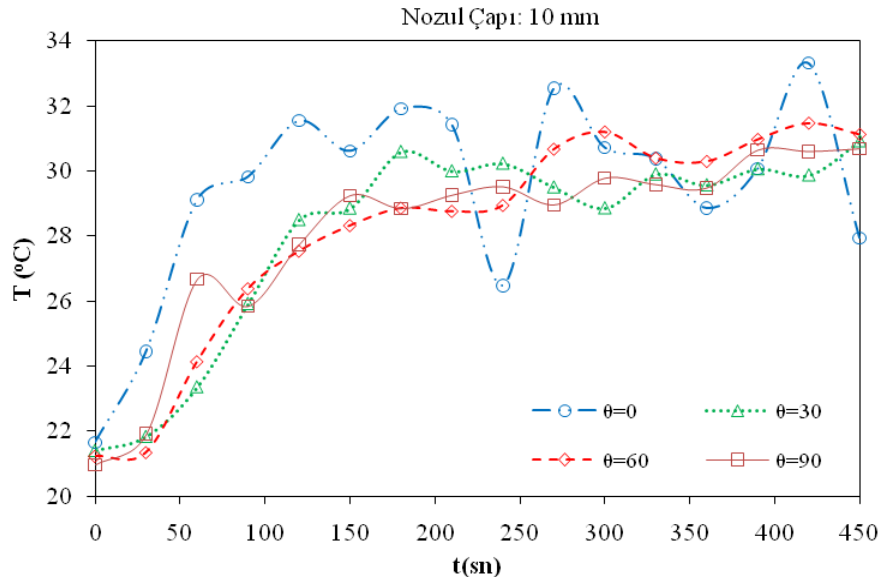


Şekil 3.46. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

$D = 5$ mm nozul kullanılarak yapılan deneylerde (Şekil 3.45) bütün kanal eğim açılarında zaman bağılı düzgün bir sıcaklık artışı görülmektedir. $D = 10$ mm nozul kullanılarak yapılan deneylerde (Şekil 3.46) tahliye bölgesinde sürekli bir sıcaklık değişimi görülmüştür.



Şekil 3.47. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



Şekil 3.48. Tahliye bölgesi karışım sıcaklığının zamana göre değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil 3.47 ve Şekil (3.48)'de nozul çapının etkileri incelendiğinde, önceki deneylerde de tespit edildiği gibi jet nozul çapı düşürüldükçe tahliye bölgesinde genel olarak sıcaklığın zamana bağlı yükselişinde daha kararlı bir yapının oluştuğu görülmektedir. Bu durum aynı zamanda nozul çapını düşürmenin tahliye bölgesindeki karışım etkinliğini arttırdığı sonucunu da vermektedir.

3.3. Akış Kanalı Boyunca Karışım İndeksinin İrdelenmesi

Yapılan bu çalışmada sıcak ve soğuk su arasında mükemmel karışım hedeflenmiştir. Bu doğrultuda kanal içerisinde karışım verimini veren,

$$MI = \frac{S_t}{\Delta T} \times 100 \quad (3.1)$$

bağıntısı kullanılmıştır. Burada S_t sıcak ve soğuk su sıcaklığı arasındaki standart sapmayı göstermektedir. Standart sapma,

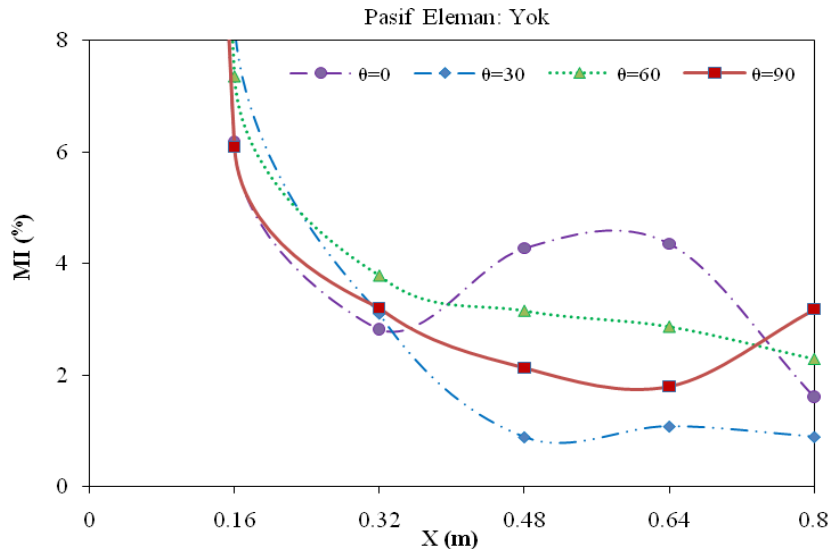
$$S_t = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (T_h - T_{ort})^2 / (n-1) \right)} \quad (3.2)$$

ile hesaplanır. Eşitliklerde MI (mixing index), karışım indeksini, ΔT , sıcak ve soğuk su arası sıcaklık farkı ve T_{ort} , sıcak ve soğuk suyun ortalama sıcaklığını ifade etmektedir.

Kanal, Şekil (3.4)'te görüldüğü gibi X eksenini boyunca 5 sütuna bölünmüştür. Bu sütunlar önceki bölümlerde Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 ve Y_5 olarak adlandırılmıştı. Aşağıda verilen grafiklerde bu sütunların ortalama karışım indeksleri verilmiştir. Bu sütunlar X eksenini üzerinde sırasıyla $X = 0.16$, $X = 0.32$, $X = 0.48$, $X = 0.64$ ve $X = 0.8$ m noktalarında bulunmaktadır. Grafikler karışım indeksinin kanal boyunca yüzde cinsinden değerlerini vermektedir. Burada kanal içerisinde sıcak ve soğuk suyun hiç karışmadığı nokta olan 0 metre mesafesinde karışım indeksi %100'dür. Bu indeks yüzdesinin $MI = 0$ 'a yaklaşması sıcak ve soğuk suyun karışım veriminin iyileşmesi anlamına gelmektedir.

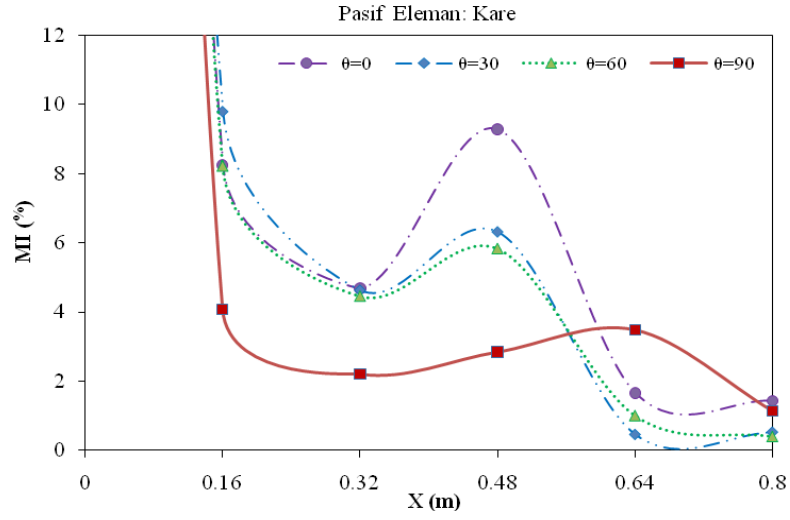
3.3.1. Farklı Kanal Eğim Açılarının Karışım İndeksi Üzerindeki Etkileri

Bu bölümde akış kanalı boyunca karışım indeksinin yüzde cinsinden değişimi farklı kanal eğimleri için verilmiş ve kanal eğim açısının karışım indeksi üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Verilen grafiklerde kanal eğim açısı dışındaki bütün deney parametreleri eşdeğer olarak belirlenmiştir.



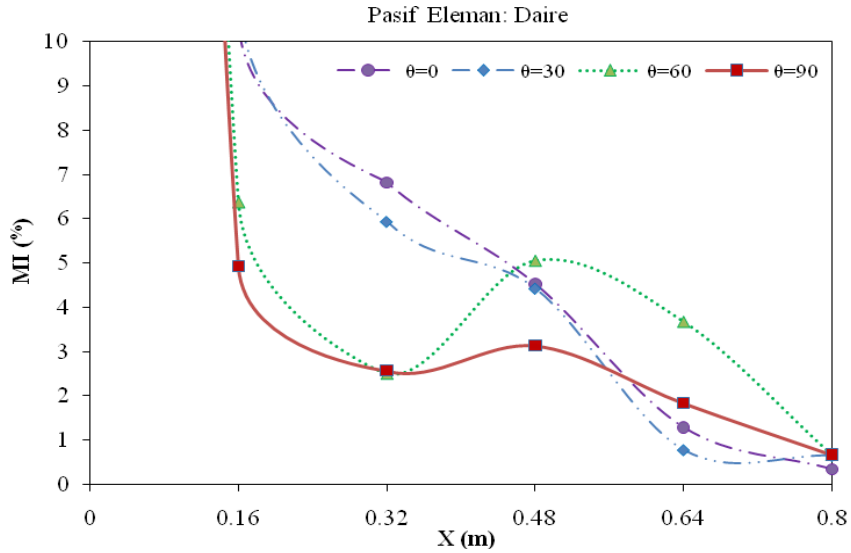
Şekil 3.49. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil 3.49 incelendiğinde en verimli karışımın $\theta = 30^\circ$ 'deki kanal eğiminde olduğu görülmektedir. Burada tahliye bölgesi olan $X = 0.8$ m mesafede karışım indeks yüzdesinin yaklaşık 1'e kadar düştüğü görülmektedir. Tahliye bölgesinde en düşük karışım verimi yaklaşık % 3 ile $\theta = 90^\circ$ 'lik konumda olduğu tespit edilmiştir. $\theta = 0^\circ$ 'deki kanal eğiminde $X = 0.48$ m ve $X = 0.64$ m mesafede karışım indeksi % 4.5'e kadar yükselmiştir.



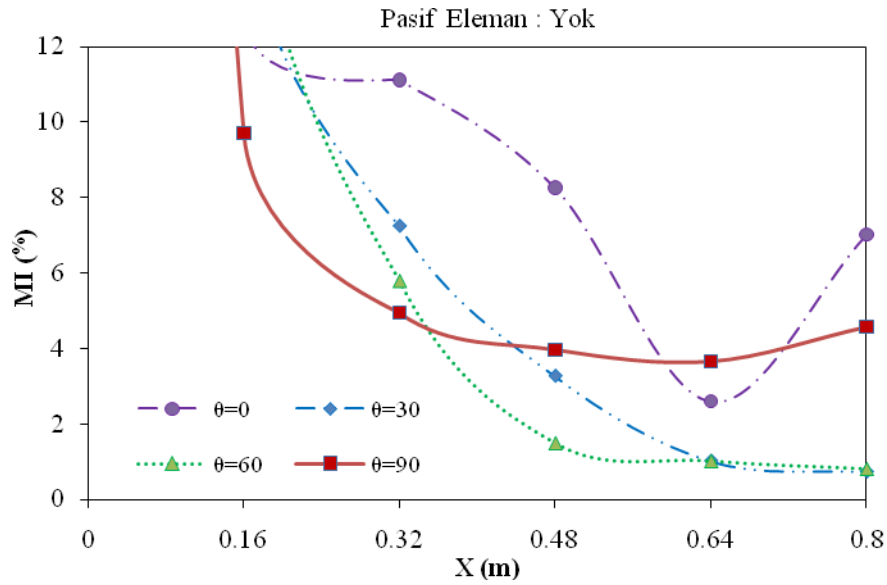
Şekil 3.50. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman kare , $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.50)'de karışım indeksinin kanal boyunca $\theta = 90^\circ$ 'lik konumda çok düzgün olduğu görülmektedir. Bunun dışındaki kanal eğim açılarında kanal boyunca $MI \approx \% 10$ 'a yükseldiği tespit edilmiştir. Bütün kanal eğimlerinde tahliye bölgesindeki karışım indeksinin $\% 0-2$ aralığında olduğu görülmektedir.



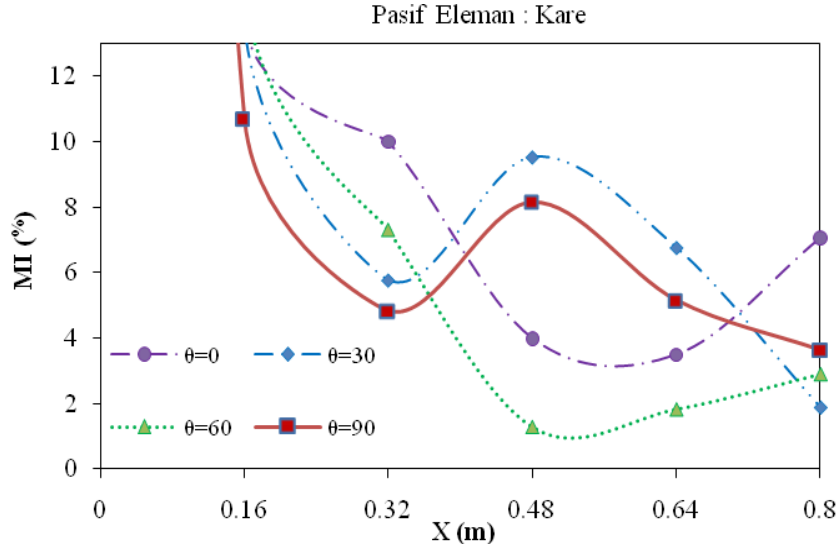
Şekil 3.51. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman daire , $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)

Şekil (3.51)'de $X = 0.32$ m mesafede $\theta = 60^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ lik konumların karışım veriminin diğer durumlara göre daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil incelendiğinde tahliye bölgesinde bütün kanal eğim açıları için karışım indeksi % 1 civarındadır. Bu durum tahliye bölgesinde karışım verimin bütün kanal eğim açıları için çok yüksek olduğunu göstermektedir.



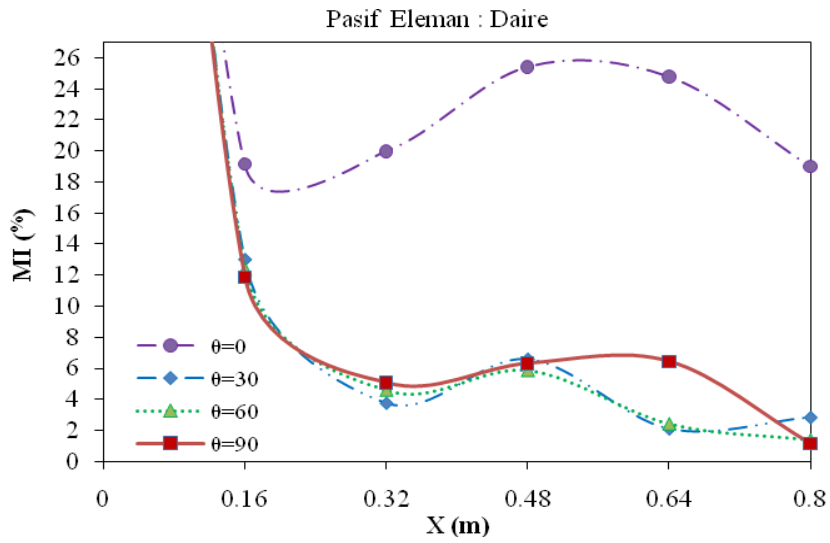
Şekil 3.52. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.52)'de görüldüğü gibi kanal eğim açısının $\theta = 30^\circ$ ve $\theta = 60^\circ$ olduğu durumlarda kanal boyunca tahliye bölgesine yaklaştıkça karışım indeksi yüzdesi liner olarak düşmektedir. Tahliye bölgesinde bu değer % 1'e kadar düşmektedir. $\theta = 90^\circ$ lik konumda karışım indeksi $X = 0.32$ m mesafesine kadar hızla düşmüş fakat $X = 0.32 - 0.8$ m aralığında karışım indeksi % 4 civarında devam etmiştir. $\theta = 0^\circ$ lik konumda karışım indeksinin çok düşük olduğu söylenemez, bu konumda $X = 0.16 - 0.8$ m aralığında karışım indeksinde yaklaşık % 10'luk bir değişim görülmekte ve tahliye bölgesinde bu değer % 5 civarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.53. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare , $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.53)'te verilen deney sonuçlarında bütün kanal eğim açılarında, kanal boyunca karışım indeksinde değişimler olduğu görülmektedir. Tahliye bölgesinde $\theta = 30^\circ$, $\theta = 60^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ lik konumlarda karışım indeksi yaklaşık % 4 ve $\theta = 0^\circ$ lik konumda bu değer yaklaşık % 7 olduğu görülmektedir.



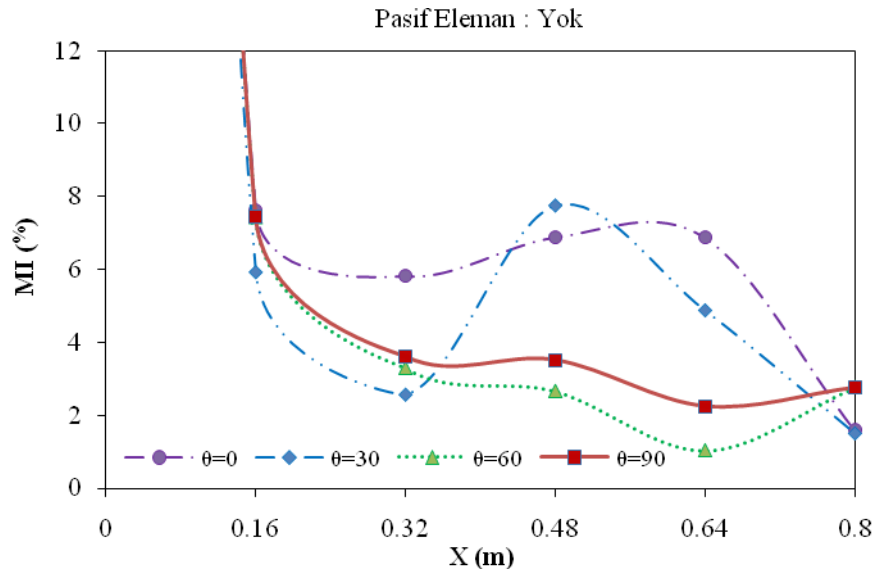
Şekil 3.54. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman daire , $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.54)'te görüldüğü gibi kanal eğim açısı $\theta = 0^\circ$ 'de iken karışım indeksi kanal boyunca çok yüksek değerlerdedir. Bu konumda sıcak ve soğuk suyun çok iyi karıştığı söylenemez. Fakat diğer kanal eğimlerinde $X = 0.32$ m ve $X = 0.48$ m mesafede karışım indeksi yaklaşık % 7 ve tahliye bölgesinde ortalama % 2 civarındadır.

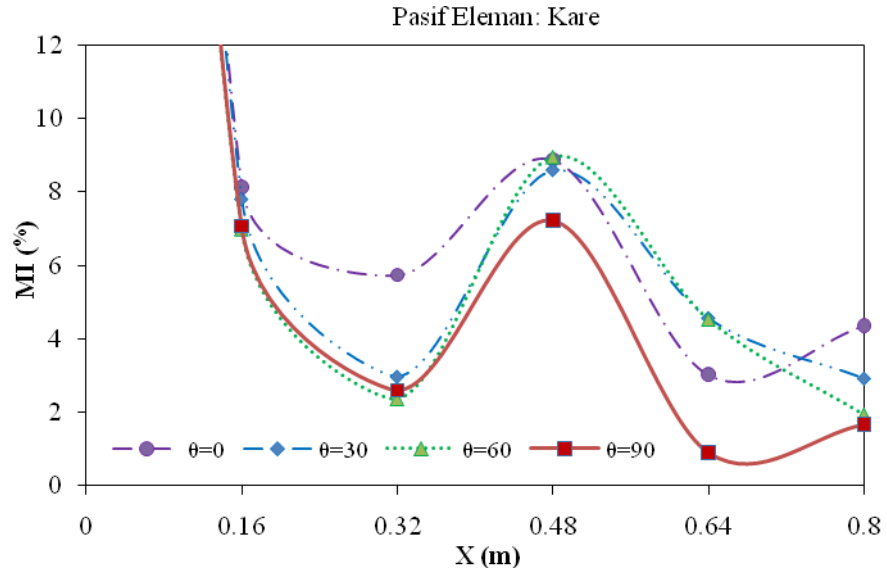
Yukarıda verilen örneklerde anlaşılabacağı üzere kanal eğim açısı $\theta = 0^\circ$ 'de iken karışım veriminin düşük olduğu görülmektedir ve kanal boyunca bu verim sürekli değişmiştir. $\theta = 0^\circ$ dışındaki kanal eğimlerinde yapılan deneyler incelendiğinde genel olarak karışım veriminin $\theta = 0^\circ$ 'lik duruma göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Buradan kanal eğim faktörünün karışım indeksini etkilediği ve kanal eğimini arttırmanın karışım verimini arttırdığı sonucuna varılmıştır.

3.3.2. Pasif Elemanın Karışım İndeksi Üzerindeki Etkileri

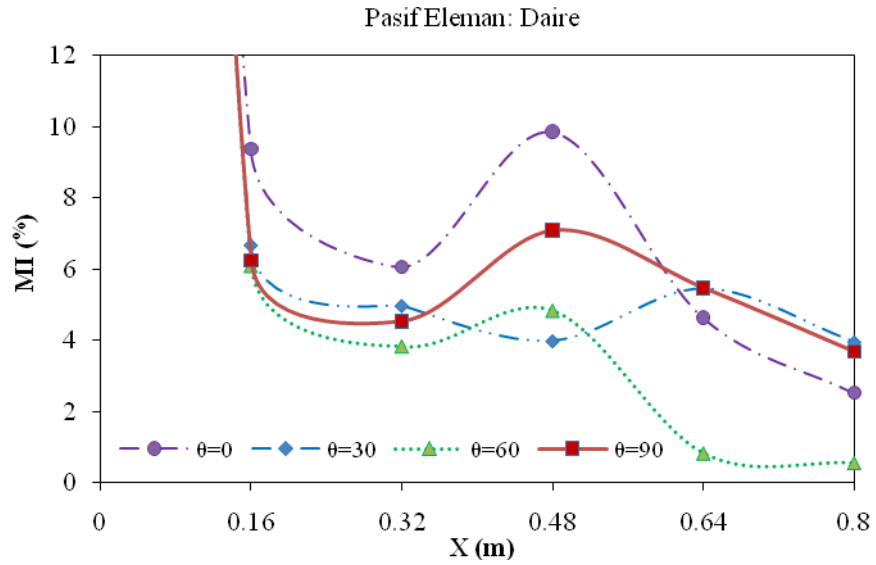
Aşağıda sonuçları verilen deneylerde kanal içerisine kare ve daire kesitli pasif eleman yerleştirilmiş ve bunun kanal içerisindeki sıcak ve soğuk suyun 450. saniyedeki karışım indeksine etkileri irdelenmiştir. Gösterilen grafiklerde bütün deney parametreleri eşdeğer belirlenmiş olup, sadece kanal içerisine pasif eleman yerleştirilmiştir.



Şekil 3.55. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20^\circ\text{C}$, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



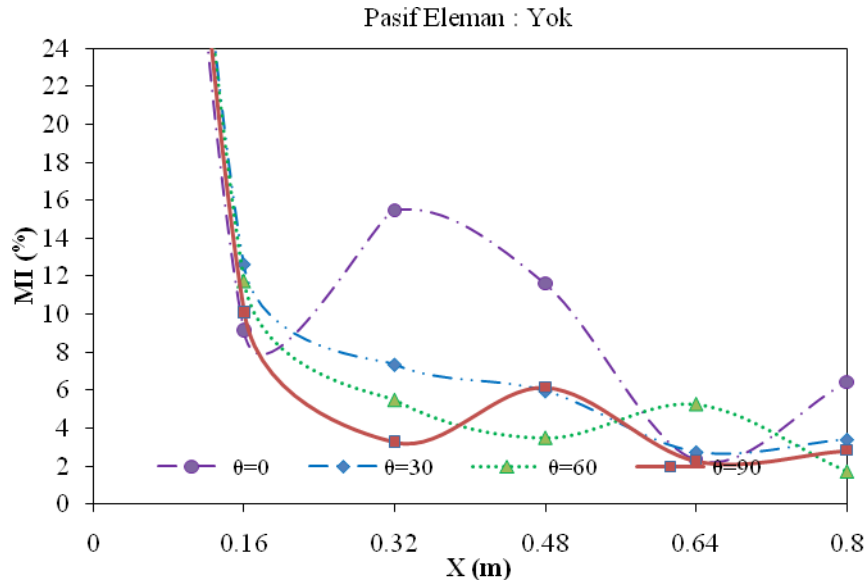
Şekil 3.56. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare , $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



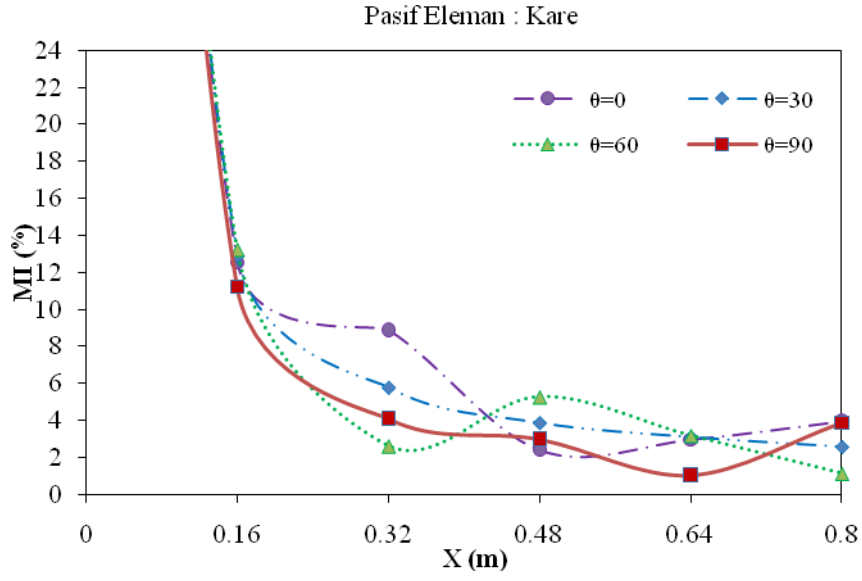
Şekil 3.57. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman daire , $\Delta T=20$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekiller incelendiğinde (Şekil 3.55, Şekil 3.56 ve Şekil 3.57) daire kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde pasif elemanın kanal içerisinde bulunduğu bölge olan $X = 0.32$ m ile $X = 0.48$ m arasında karışım indeksinin yüksek olduğu görülmektedir.

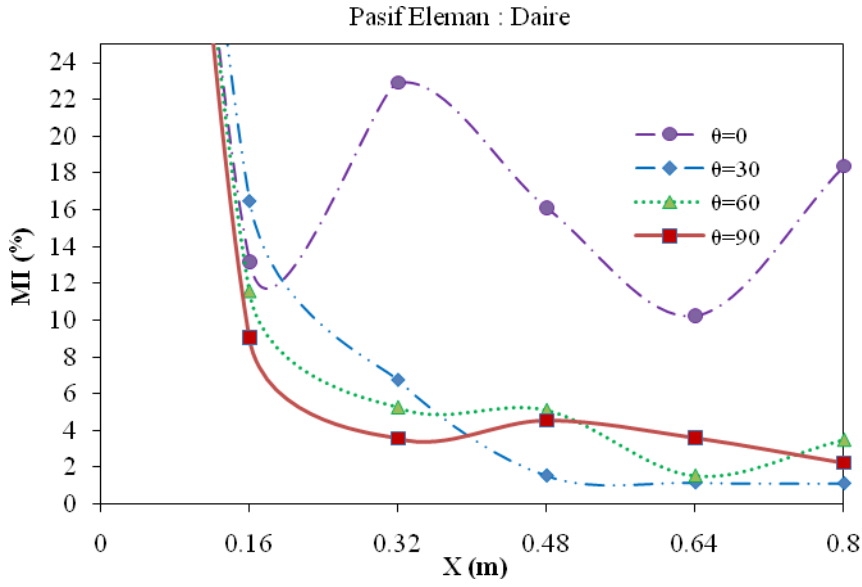
Pasif eleman konularak yapılan deneylerde kanal boyunca karışım indeks değerlerinin daha değişken olduğu görülmektedir. Ayrıca tahliye bölgesinde pasif eleman kullanılmadan yapılan deneylerde karışım indeksinin nispeten daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında mevcut parametrelerde yapılan deneylerde kanal içerisine kare veya daire kesitli pasif bir eleman yerleştirmenin sıcak ve soğuk suyun karışım verimini olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3.58. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=2$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



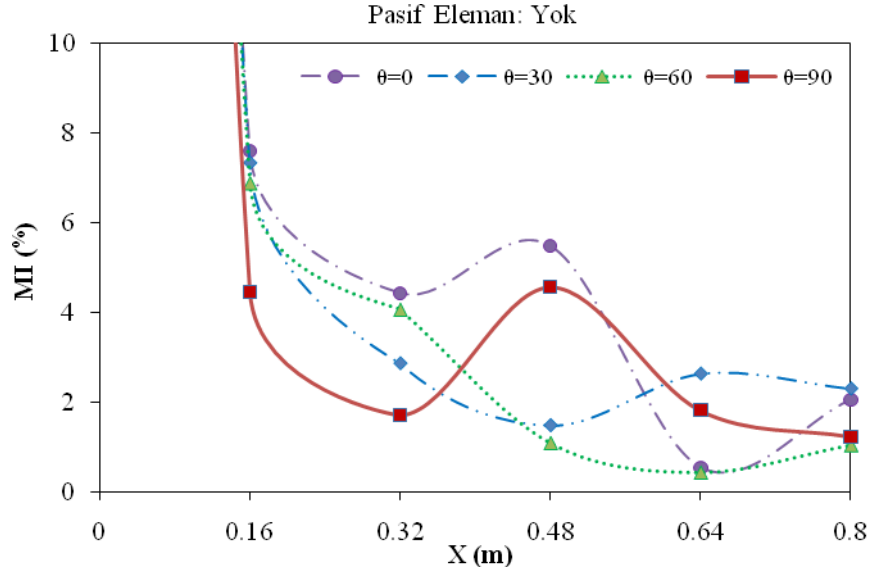
Şekil 3.59. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare , $\Delta T=20$ °C, $M_c=2$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



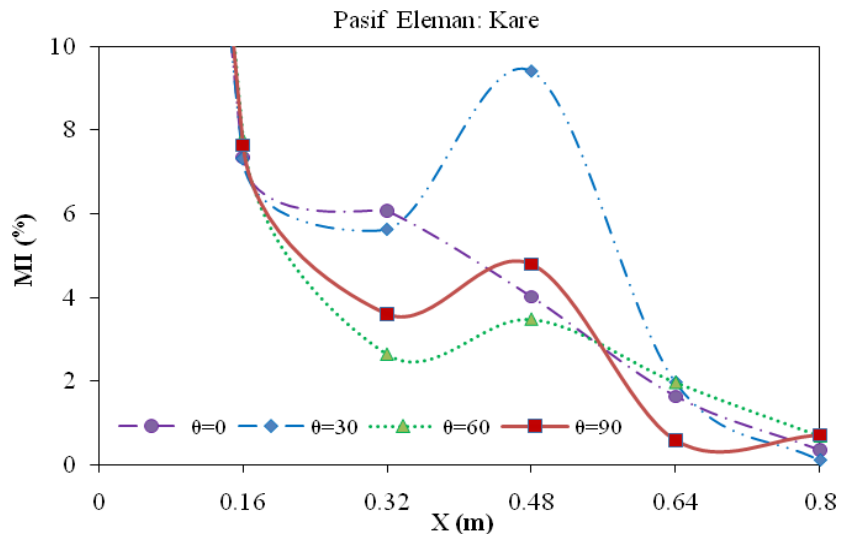
Şekil 3.60. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman daire , $\Delta T=20$ °C, $M_c=2$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekiller incelendiğinde pasif eleman kullanılmadan ve daire kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde (Şekil 3.58 ve Şekil 3.60) $\theta = 0^\circ$ ’lık konumda kanal boyunca karışım indeksinde büyük ölçekli değişimler görülmektedir.

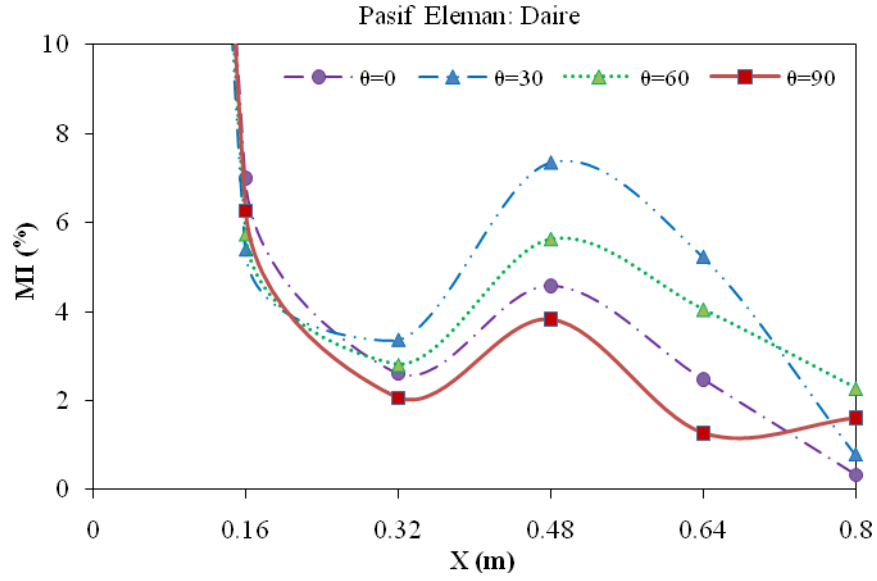
Özellikle daire kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneyde tahliye bölgesindeki karışım indeks yüzdesi % 20 civarındadır. Bu da düşük bir karışım verimidir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda genel olarak kanal boyunca en iyi karışımın kare kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde (Şekil 3.59) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.61. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



Şekil 3.62. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman kare, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

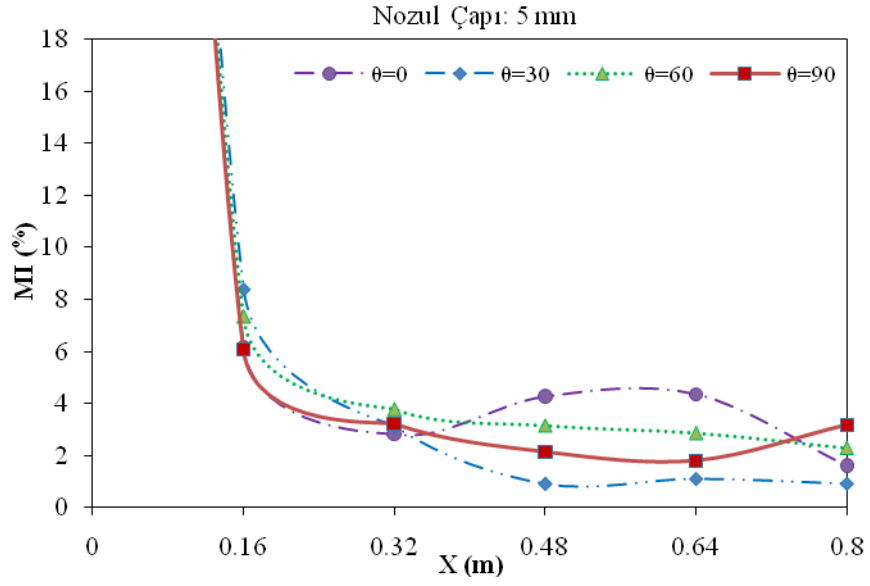


Şekil 3.63. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

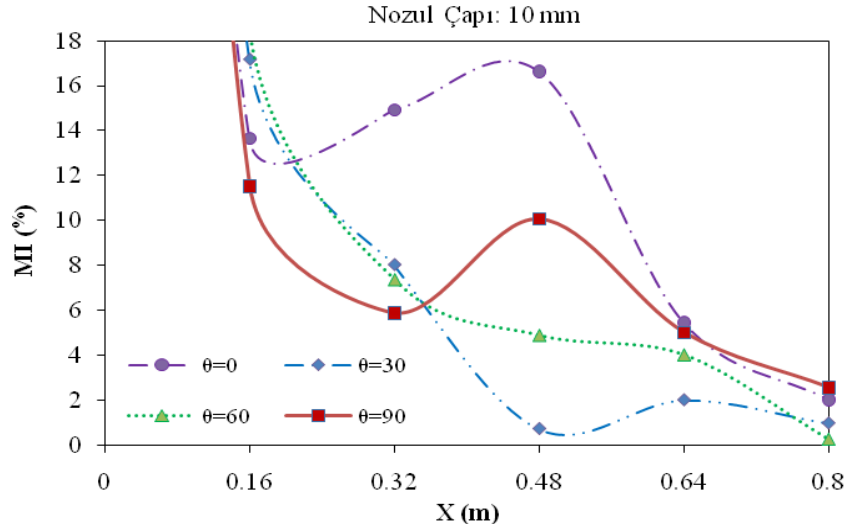
Şekil 3.61, Şekil 3.62 ve Şekil 3.63 incelendiğinde kanal içersine pasif eleman yerleştirildiğinde pasif elemanın kanal içerisinde bulunduğu bölge olan $X = 0.48$ m noktasında karışım indeks yüzdesinin yüksek olduğu görülmektedir. $X = 0.8$ m mesafede yani tahliye bölgesinde karışım veriminin en yüksek olduğu durum kare kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerdir.

3.3.3. Farklı Jet Hızlarının Karışım İndeksi Üzerindeki Etkileri

Bu bölümde verilen grafiklerde farklı jet hızlarının akış kanalı boyunca karışım indeksi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Birbirleriyle karşılaştırılan grafiklerin jet hızları dışındaki diğer bütün deney parametreleri eşdeğer seçilmiştir. Deney setinde kullanılan su jetlerinde akışkanın hızı suyun debisi sabit tutularak jetlerin nozul çapı değiştirilmek suretiyle arttırılmış veya düşürülmüştür.

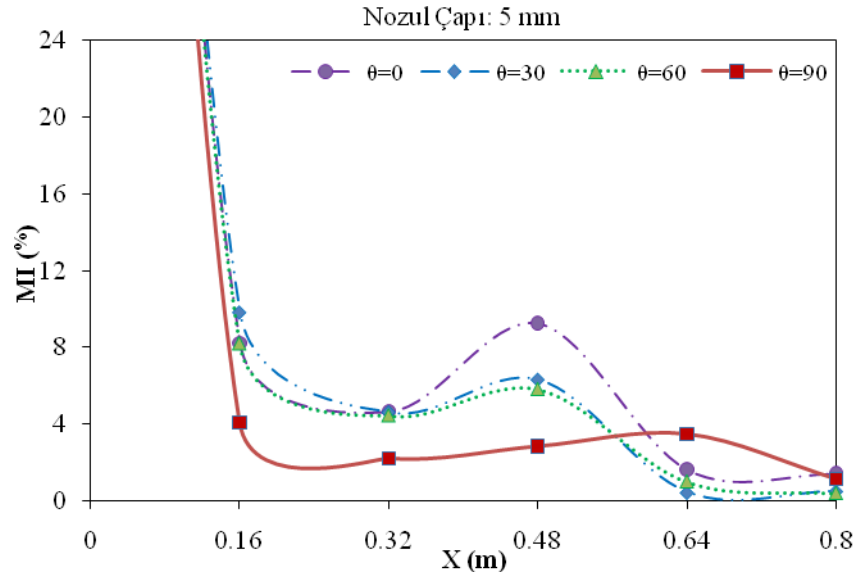


Şekil 3.64. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=5$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

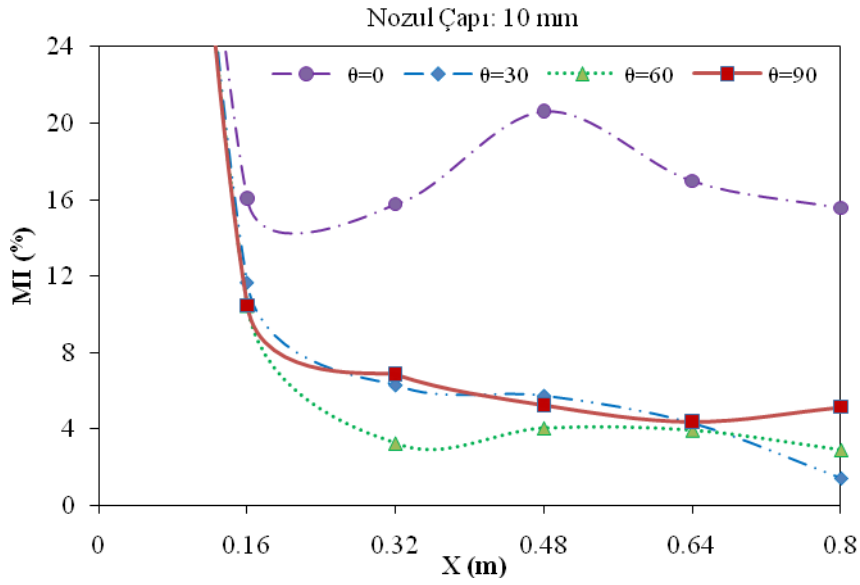


Şekil 3.65. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil 3.64 ve Şekil 3.65 incelendiğinde Jet hızı arttırıldığında kanal boyunca karışım indeksinin düştüğü görülmektedir. Fakat tahliye bölgesi olan $X = 0.8$ m mesafede jet hızının karışım indeksine önemli bir etki yapmadığı tespit edilmektedir.



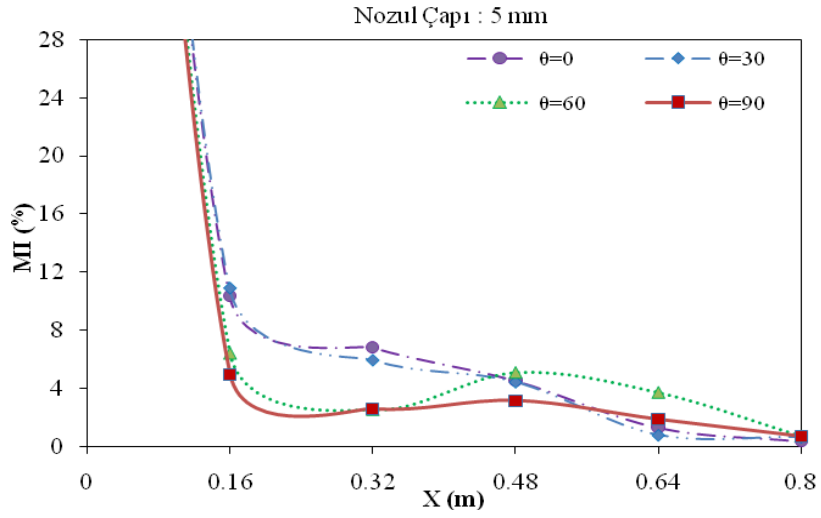
Şekil 3.66. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman kare , $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



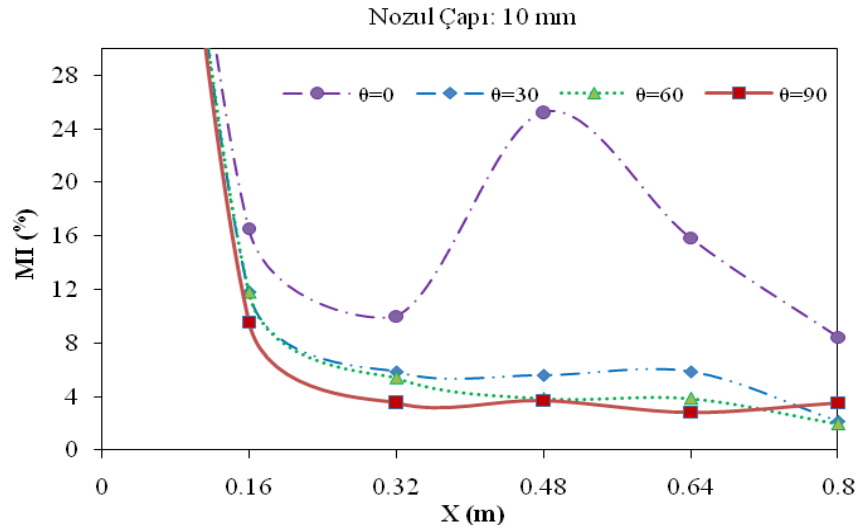
Şekil 3.67. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman kare , $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

D = 5 mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde (Şekil 3.66) $\theta = 90^\circ$ 'lik konum dışındaki diğer bütün kanal eğimlerinde karışım indeksi kanal boyunca değişmektedir.

D = 10 mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde (Şekil 3.67) $\theta = 0^\circ$ ’lık konum dışındaki diğer kanal eğimlerinde $X = 0.16$ m ile $X = 0.8$ m arasında karışım indeksinde önemli bir değişim oluşmamıştır. Tahliye bölgesi olan $X = 0.8$ m mesafede karışım indeksi D = 5 mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde daha düşüktür. Buradan jet hızı artışının karışım verimine olumlu yönde etki ettiği sonucu çıkmaktadır.



Şekil 3.68. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman daire, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

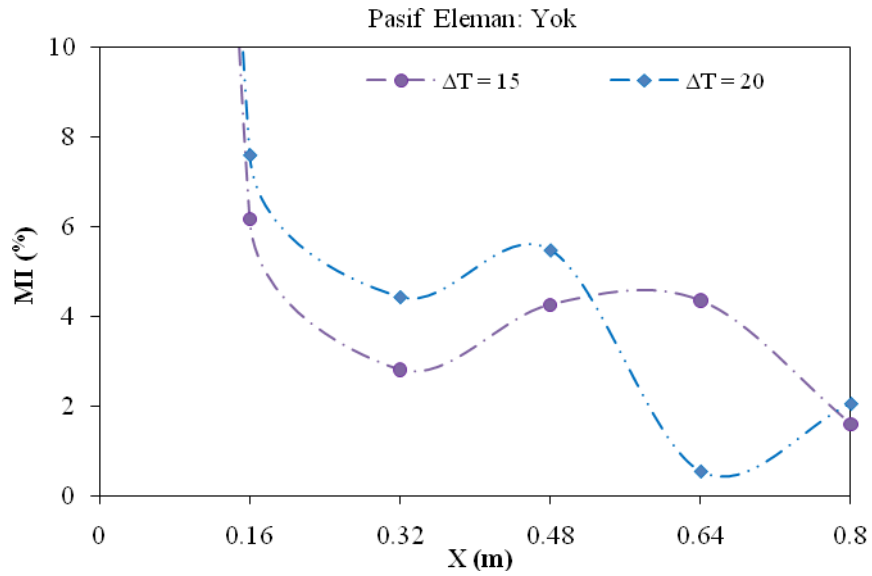


Şekil 3.69. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=10 mm, pasif eleman daire, $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

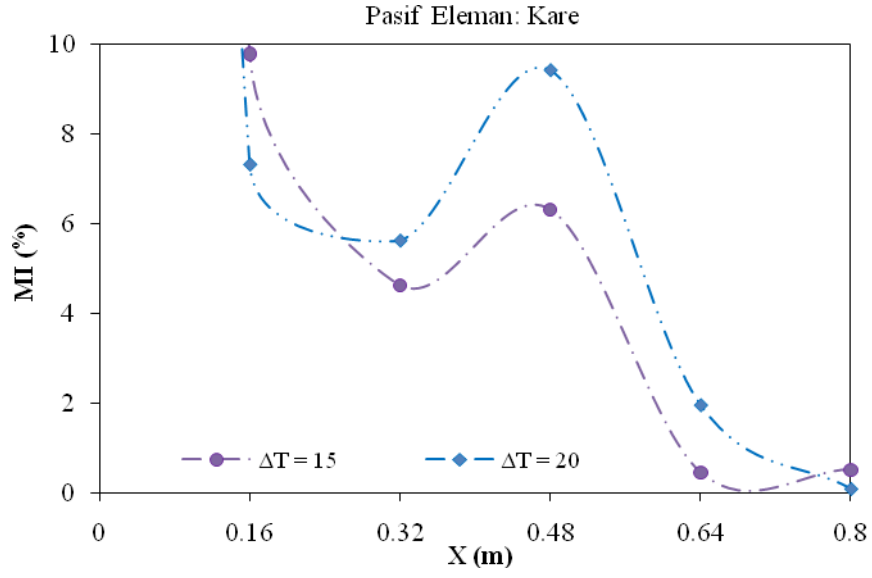
Şekil 3.68 ve Şekil (3.69)'da bir önceki deney sonuçlarında tespit edilen durum vardır. Jet hızı arttıkça karışım verimi artmıştır.

3.3.4. Jetler Arası Sıcaklık Farkının Karışım İndeksi Üzerindeki Etkileri

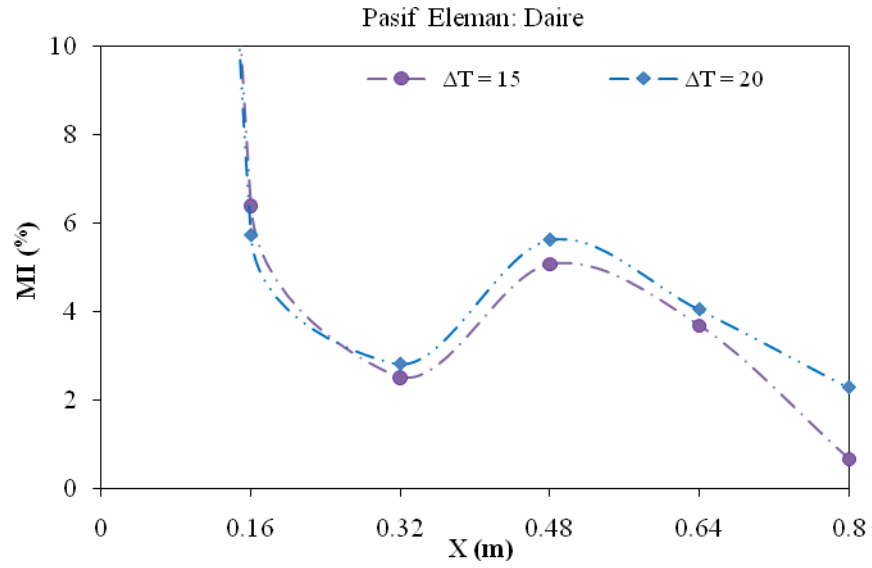
Daha önceki bölümlerde deneylerin iki farklı ΔT 'de (sıcak ve soğuk su jeti arasındaki sıcaklık farkı) yapıldığı belirtilmişti. Bu bölümde farklı ΔT 'lerin karışım verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda aşağıda $\Delta T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ için karışım indeksleri verilmiştir.



Şekil 3.70. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=5\text{ mm}$, pasif eleman yok, kanal eğim açısı= 0° , $M_c=3\text{ lt/dk}$, $M_h=3\text{ lt/dk}$)

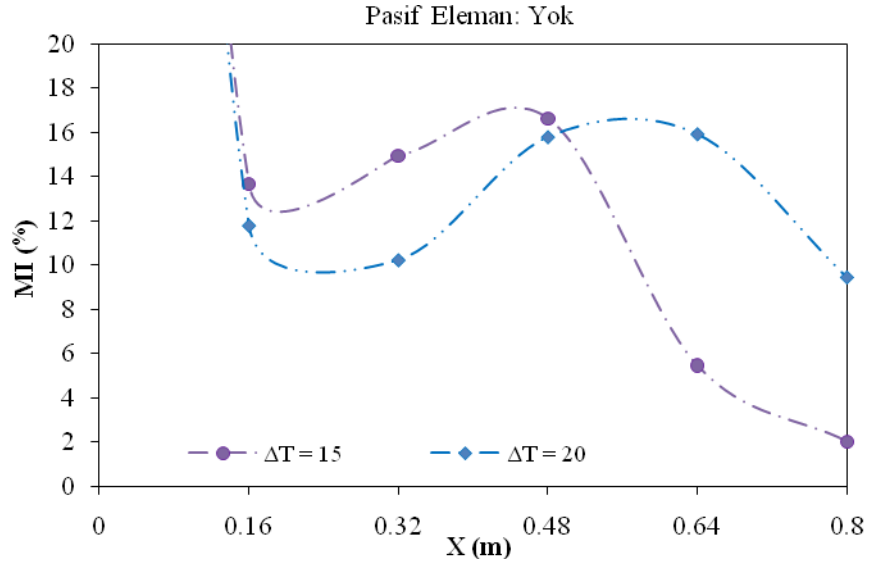


Şekil 3.71. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman kare, kanal eğim açısı=30°, Mc=3 lt/dk, M_h=3 lt/dk)

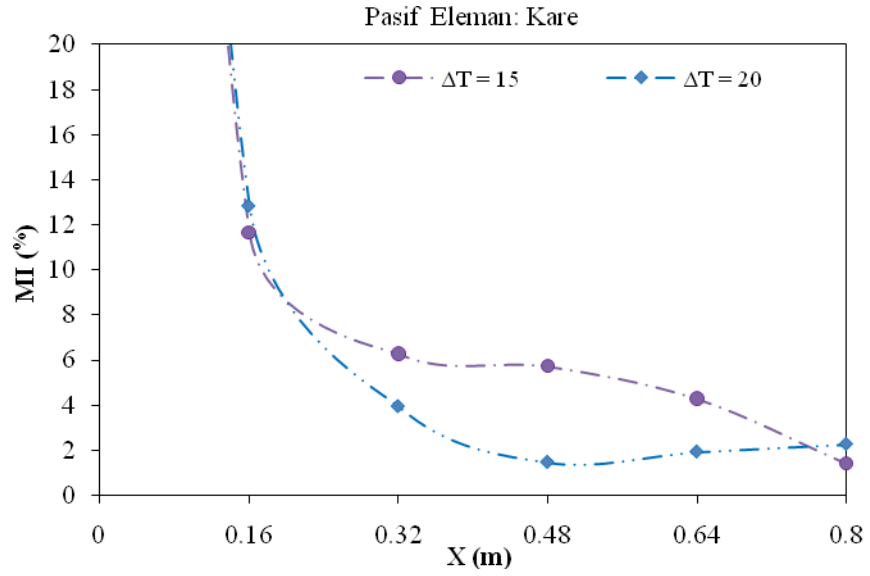


Şekil 3.72. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi (D=5 mm, pasif eleman daire, kanal eğim açısı=60°, Mc=3 lt/dk, M_h=3 lt/dk)

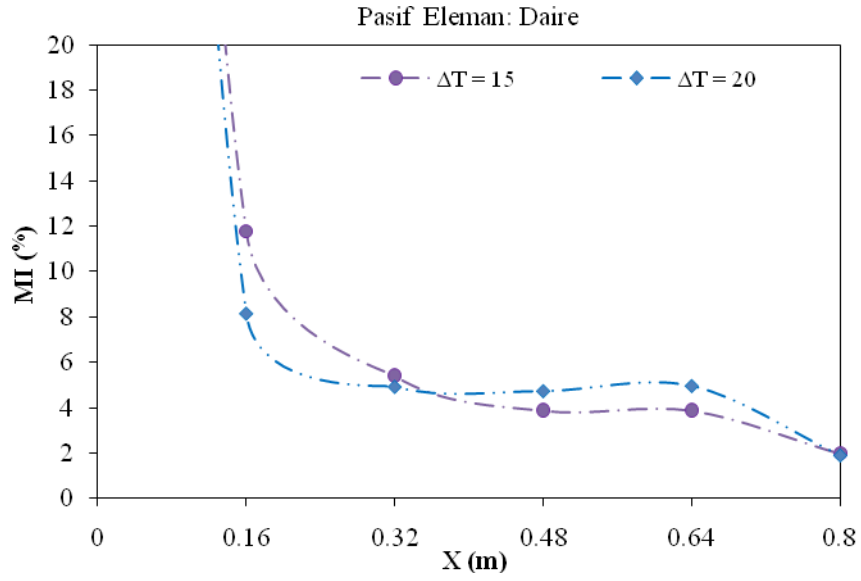
Şekillerde görüldüğü gibi (Şekil 3.70., Şekil 3.71. ve Şekil 3.72.) sıcak ve soğuk suyun sıcaklık farkı $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ seçildiğinde karışım verimi genel olarak daha iyidir.



Şekil 3.73. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman yok, kanal eğim açısı= 0° , $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



Şekil 3.74. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman kare, kanal eğim açısı= 30° , $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)



Şekil 3.75. Karışım indeksinin kanal boyunca değişimi ($D=10$ mm, pasif eleman daire, kanal eğim açısı= 60° , $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

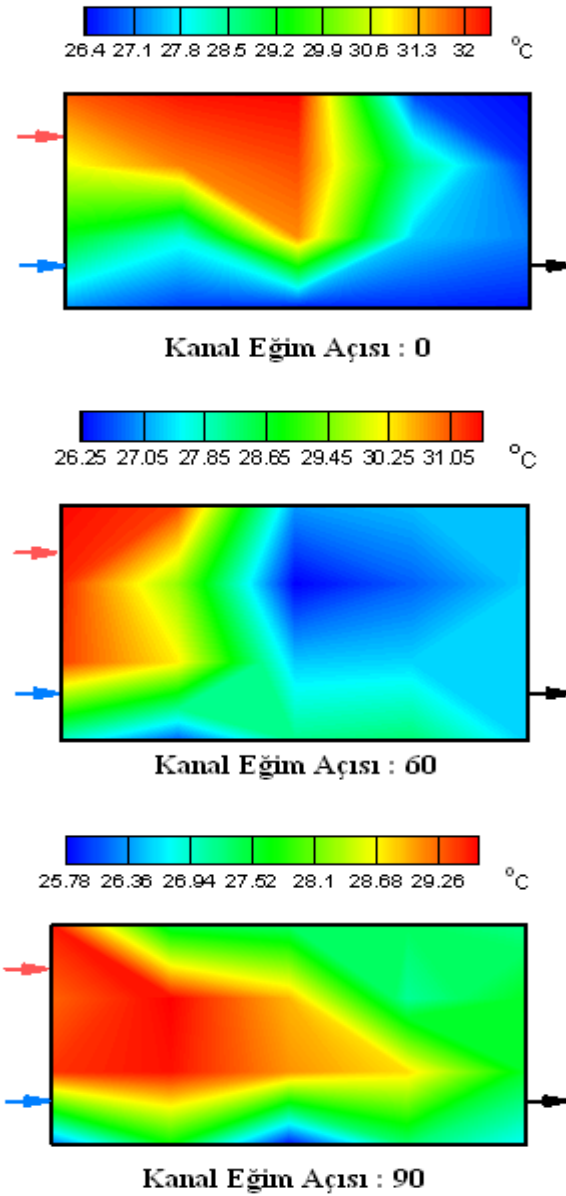
Şekil 3.73., Şekil 3.74. ve Şekil (3.75)'te $D = 10$ mm çapında nozul kullanılmıştır. Şekiller incelendiğinde genel olarak $\Delta T = 20$ °C'de karışım veriminin daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Fakat bir önceki deney sonuçlarında $D = 5$ mm çapında nozul kullanıldığında $\Delta T = 15$ °C'de karışım verimi daha yüksek olarak tespit edilmişti. Bu sonuçlar yüksek jet hızlarında düşük ΔT , düşük jet hızlarında ise yüksek ΔT seçilmesinin karışım verimi açısından en ideal durum olduğunu göstermektedir.

3.4. Deney Sonuçlarının Eş Sıcaklık Eğrilerine Göre Değerlendirilmesi

Akış kanalı içerisine Şekil (2.10)'da gösterildiği gibi 20 adet ısı çifti yerleştirildiği daha önceki bölümlerde ifade edilmişti. Bu bölümde kanal içerisine yerleştirilen bu ısı çiftlerinin 450. saniyedeki sıcaklık ölçümleri kullanılarak eş sıcaklık eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler Tecplot programı kullanılarak elde edilmiştir. Aşağıda farklı deney parametrelerindeki eş sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir.

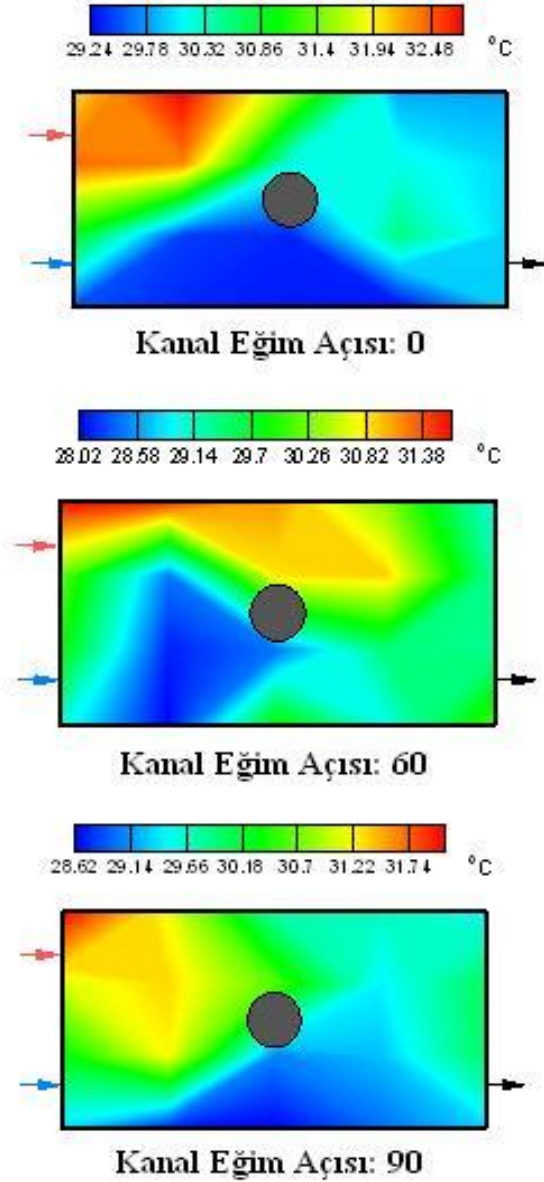
3.4.1. Kanal Eğim Açısının Eş Sıcaklık Eğrileri Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde kanal eğim açısının farklı sıcaklıklardaki jetlerin karışım verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aşağıda verilen eş sıcaklık eğrilerinde kanal eğim açısı dışındaki bütün deney parametreleri eşdeğer seçilmiştir.



Şekil 3.76. Eş sıcaklık eğrilerinin kanal eğim açılarına göre karşılaştırılması ($D=10$ mm, pasif eleman yok, $\Delta T=15$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.76)'da verilen farklı kanal eğim açlarındaki eş sıcaklık eğrileri incelendiğinde kanal eğim açısı $\theta = 0^\circ$ 'den $\theta = 90^\circ$ 'ye doğru arttıkça kanal içerisindeki karışım veriminin arttığı tespit edilmiştir.

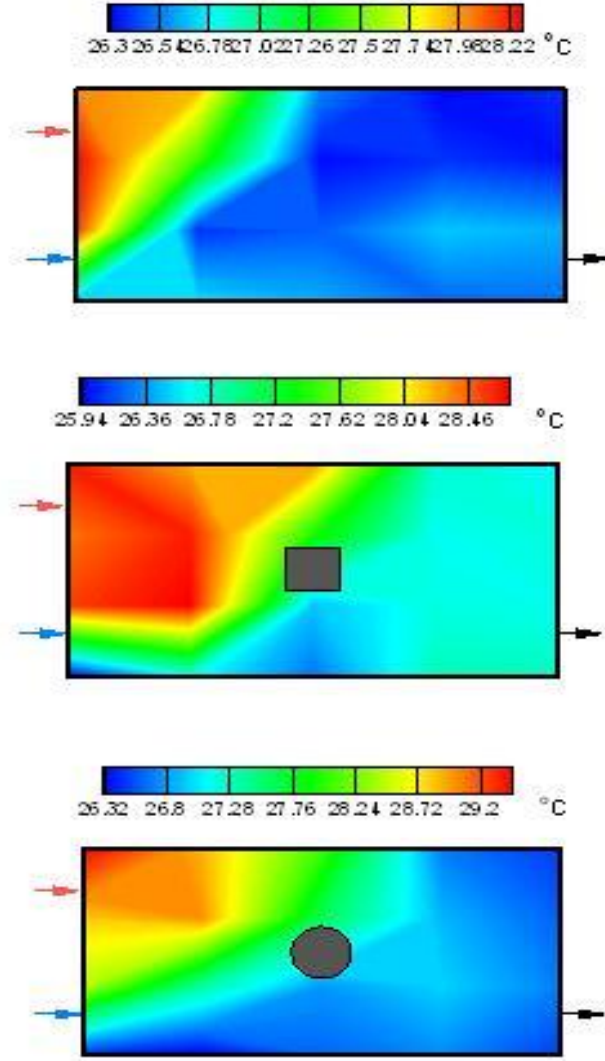


Şekil 3.77. Eş sıcaklık eğrilerinin kanal eğim açlarına göre karşılaştırılması ($D=5$ mm, pasif eleman daire, $\Delta T=20$ $^\circ\text{C}$, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.77)'de verilen farklı kanal eğim açılarındaki eş sıcaklık eğrileri incelendiğinde en düşük karışım veriminin $\theta = 0^\circ$ 'lik konumda olduğu görülmektedir. $\theta = 60^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ 'lik konumlarda karışım veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 3.76 ve Şekil (3.77)'deki sıcaklık dağılımlarının farklı kanal eğimlerindeki durumları incelendiğinde açı faktörünün karışım verimini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

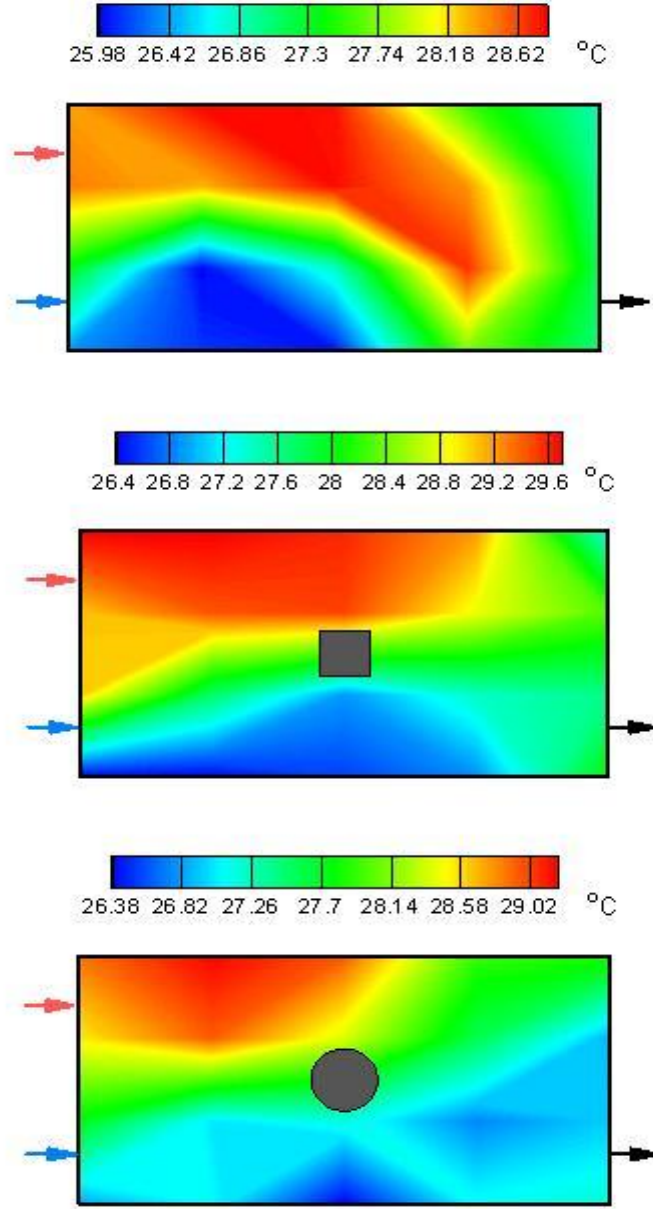
3.4.2. Pasif Elemanın Eş Sıcaklık Eğrileri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Aşağıda eş sıcaklık eğrileri verilen deneylerde kanal içerisine kare ve daire kesitli pasif eleman konulmuş ve bunun karışım verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Eş sıcaklık eğrileri kanalın 450. saniyedeki sıcaklık şemasını göstermektedir. Gösterilen grafiklerde bütün deney parametreleri eşdeğer belirlenmiş olup, sadece kanal içerisine pasif eleman yerleştirilmiştir.



Şekil 3.78. Eş sıcaklık eğrilerinin pasif elemana göre karşılaştırılması ($D=5$ mm, kanal eğim açısı= 30° , $\Delta T=15^\circ\text{C}$, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.78)'de görüldüğü gibi tahliye bölgesinde karışım veriminin en yüksek olduğu durum kare kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneydir. Pasif eleman kullanılmadan yapılan deneyde kanal boyunca karışım verimin çok düşük olduğu görülmektedir.



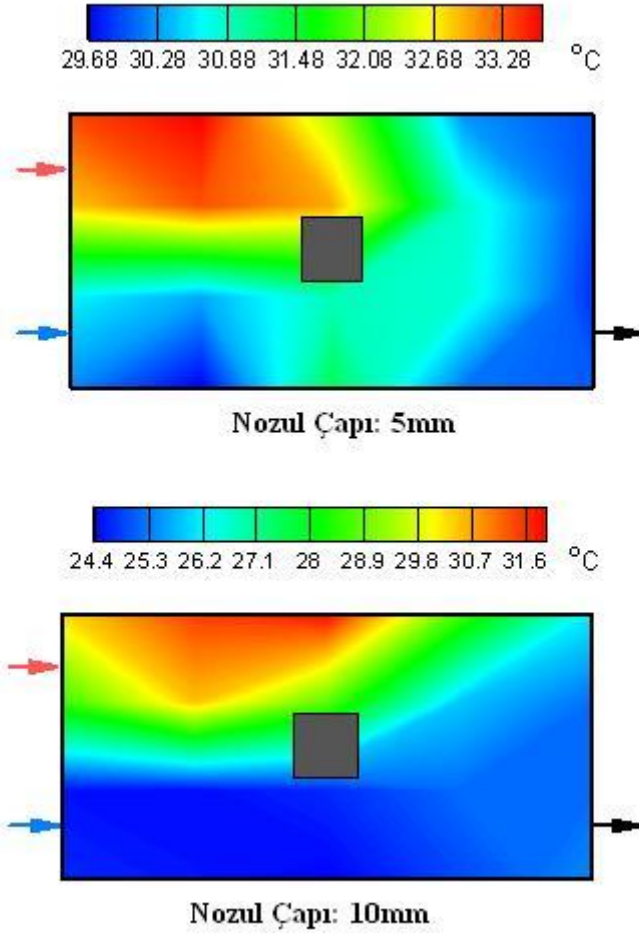
Şekil 3.79. Eş sıcaklık eğrilerinin Pasif elemana göre karşılaştırılması ($D=5$ mm, kanal eğim açısı=0, $\Delta T=15$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.79)'da verilen eş sıcaklık eğrileri incelendiğinde; kanal genelinde sıcak ve soğuk suyun karışım veriminin en iyi olduğu durum daire kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneydir.

Tahliye bölgesindeki karışım verimi açısından deney şartları birbiriyle karşılaştırıldığında, kare kesitli pasif eleman kullanılarak yapılan deneyin sıcak ve soğuk suyun karışımı açısından diğer durumlara göre daha verimli olduğu görülmektedir. Şekil 3.78 ve Şekil (3.79)'da verilen karşılaştırmalar irdelendiğinde pasif elemanın kanal boyunca karışım verimini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

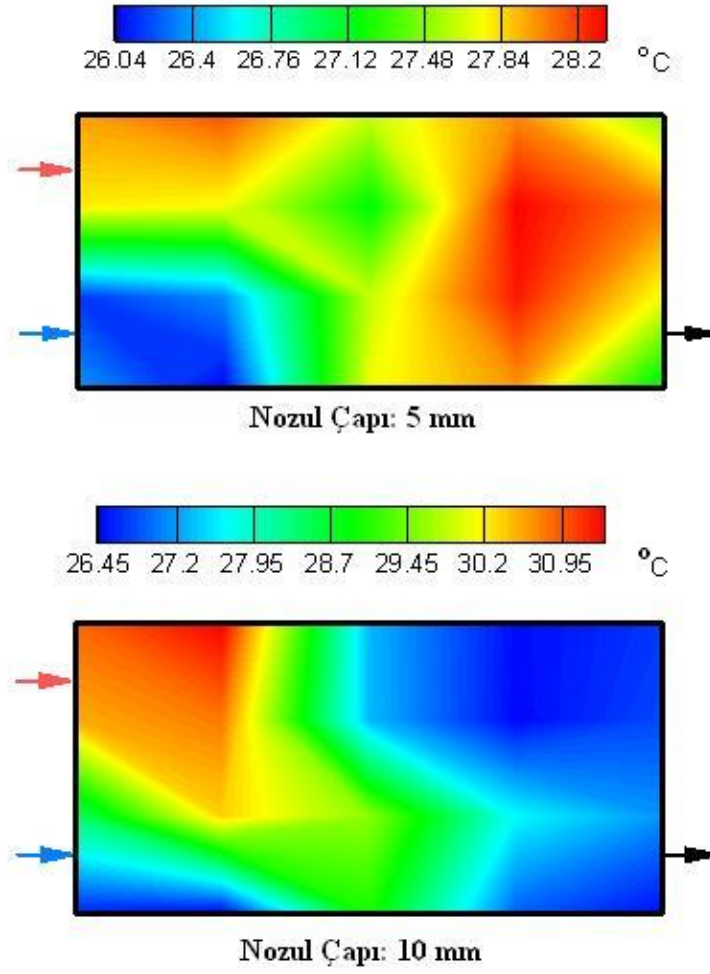
3.4.3. Jet Hızının Eş Sıcaklık Eğrileri Üzerindeki Etkilerinin İrdelenmesi

Bu bölümde verilen eş sıcaklık eğrileri ile farklı jet hızlarının akış kanalı boyunca karışım verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Birbirleriyle karşılaştırılan şemaların jet hızları dışındaki diğer bütün deney parametreleri eşdeğer seçilmiştir. Deney setinde kullanılan su jetlerinde akışkanın hızı suyun debisi sabit tutularak jetlerin nozul çapı değiştirilmek suretiyle arttırılmış veya düşürülmüştür.



Şekil 3.80. Eş sıcaklık eğrilerinin jet hızlarına göre karşılaştırılması (pasif eleman kare, kanal eğim açısı=0, $\Delta T=20$ °C, $M_c=3$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.80)'de $D = 10$ mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneyde kanal içerisindeki sıcak ve soğuk suyun kanal boyunca iyi karışmadığı görülmektedir. Suyun debisi sabit tutularak nozul çapı $D = 5$ mm'ye düşürülerek jetlerin hızları arttırılmıştır. Bu durumda yapılan deney incelendiğinde kanal içerisinde önceki duruma göre nispeten daha homojen bir karışımın sağlandığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.81. Eş sıcaklık eğrilerinin jet hızlarına göre karşılaştırılması (pasif eleman yok, kanal eğim açısı=30, $\Delta T=15$ °C, $M_c=2.5$ lt/dk, $M_h=3$ lt/dk)

Şekil (3.81)'de kanal eğim açısı $\theta = 30^\circ$ ve kanal içerisine herhangi bir pasif eleman yerleştirilmeden yapılmış farklı jet hızlarındaki deney sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir. Şekilde $D = 5$ mm çapında nozul kullanılan deneyde tahliye bölgesinde suyun sıcaklığının yüksek, $D = 10$ mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneyde ise tahliye bölgesi karışım sıcaklığının düşük olduğu görülmektedir. Bu verilerden yola çıkılarak jet hızının tahliye bölgesinde karışım sıcaklığının artmasına pozitif bir etki yaptığı sonucuna varılmıştır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, bir su kanalı içerisine birbirine paralel olarak konumlandırılmış farklı sıcaklıklardaki iki su jetinin değişik deney parametreleri için karışım karakteristikleri incelenmiştir. Yapılan deneylerde, kanal içerisine yerleştirilen kare ve daire kesitli pasif elemanların, farklı jet hızlarının, jetler arası sıcaklık farkının ve $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ açıları arasında değişen kanal eğimlerinin sıcak ve soğuk suyun karışım verimi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir.

- Kanal eğiminin Y_1 sütunu boyunca ısı karışım üzerindeki etkileri incelendiğinde, kanal eğim faktörünün jet hızı değişikçe farklı etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. $D = 10$ mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde sıcak ve soğuk su arasındaki ısı karışım $\theta = 0^\circ$ kanal eğiminde en düşüktür. Kanal eğimi arttıkça karışım veriminin arttığı görülmüştür. $D = 5$ mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde kanal eğim faktörünün ısı karışımına önemli bir etkisine rastlanmamıştır.
- Pasif eleman kullanımı Y_1 sütunu boyunca karışım verimini önemli ölçüde etkilemiştir. Pasif eleman bazı deney parametrelerinde karışım verimini düşürücü yönde etkilemiş ise de yapılan deneylerin çoğunda karışım verimini arttırmıştır.
- Jet hızının Y_1 sütunu üzerindeki etkileri incelendiğinde, $D = 10$ mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde Y_1 sütunu boyunca ısı değişim miktarlarının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bu değişimlerin $D = 5$ mm nozul kullanılarak yapılan deneylerde önemli ölçüde düştüğü tespit edilmiştir. Buradan, jet hızını arttırmanın Y_1 sütunu boyunca karışım verimini yükselttiği sonucuna varılmaktadır.
- Kanal eğim faktörü, tahliye bölgesindeki karışım sıcaklığının zamana bağlı değişimine önemli ölçüde etki etmemiştir.
- $D = 5$ mm çaplı nozul ve kare kesitli pasif eleman kullanıldığında, tahliye bölgesindeki karışım sıcaklığı diğer deney parametrelerine göre daha hızlı sürekli rejime gelmiştir. Daire kesitli pasif eleman kullanıldığında karışım sıcaklığı nispeten daha uzun bir sürede sürekli rejime gelmiştir. $D = 10$ mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde, tahliye bölgesindeki suyun sıcaklığı bütün durumlar için yaklaşık 150. saniyeden sonra sürekli rejime gelmiştir. Fakat bu deney parametrelerinde sürekli rejimdeki suyun sıcaklığında sürekli bir değişim gözlenmiştir.

- D = 5 mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde, tahliye bölgesinde karışım sıcaklığının zamana bağlı yükselişi genel olarak düzgün bir şekilde gerçekleşmiştir. D = 10 mm çaplı nozul kullanılarak yapılan deneylerde ise, tahliye bölgesindeki karışım sıcaklığı sürekli rejime daha kısa bir sürede ulaşmış fakat sürekli rejimdeki suyun sıcaklığında yüksek değişimler gözlenmiştir.
- Eğimli kanalların karışım indeksi üzerindeki etkileri incelendiğinde, kanal eğim açısı $\theta = 0^\circ$ olduğunda karışım indeksinin kanal boyunca oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu açı arttırıldıkça karışım indeksi düşmüştür.
- Pasif eleman kullanılarak yapılan deneylerde, kanal içerisinde pasif elemanın bulunduğu bölgede karışım indeksi değerinin genelde yüksek olduğu görülmüştür. Fakat kanal çıkışına doğru bu değer oldukça düşmüştür. Pasif eleman kullanılmadan yapılan deneylerde ise kanal içerisindeki karışım indeksinde çok büyük değişimler meydana gelmemiştir. Tahliye bölgesinde pasif eleman kullanımının karışım verimini önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir.
- Yapılan deneylerde jet hızının karışım verimini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Jet hızı arttıkça karışım verimide önemli ölçüde artmıştır.
- Sıcak ve soğuk jet akış arasındaki sıcaklık farkının (ΔT) karışım verimi üzerindeki etkileri incelendiğinde, yüksek jet hızlarında düşük ΔT ve düşük jet hızlarında yüksek ΔT seçiminin karışım verimi açısından daha olumlu sonuçlar doğurduğu anlaşılmıştır.

4. ÖNERİLER

Yapılan tüm bu çalışmalar neticesinde, ileride çalışmayı farklı boyutlarda analiz etmek için aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- Kanal içerisine daha değişik geometrilerde (üçgen, altıgen ve dikdörtgen gibi) pasif eleman yerleştirilerek bunun ısı karışım üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Pasif eleman-jet arası mesafe değiştirilmek suretiyle bunun ısı karışım üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Değişik geometrilere sahip nozullar kullanılarak bunun ısı karışım üzerindeki etkileri incelenebilir.
- Akış kanal ebatları değiştirilerek bunun ısı karışım üzerindeki etkileri incelenebilir.
- Su dışında farklı bir akışkan kullanılıp aynı deneyler yapılarak bu akışkanın ısı karışım karakteristikleri incelenebilir.
- Daha yüksek ΔT sıcaklık farklarında deneyler yapılabilir.
- Sıcak ve soğuk jetlerin yerleri birbiriyle değiştirilerek bunun ısı karışım üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Jetler akış kanalına farklı açılarda yerleştirilerek bunun karışım verimi üzerindeki etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Şahin, F., 2008. Jet çarpmalı dikdörtgen kesitli bir kanalın ısı transferi büyüklüklerinin deneysel (tlc metodu ile) ve teorik analizi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [2] Wang, S.J., Devahastin, S. and Mujumdar, A.S., 2005. A Numerical Investigation of Some Approaches to Improve Mixing in Laminar Confined Impinging Streams, *Applied Thermal Engineering*, **25**, 253-269.
- [3] Devahastin, S. and Mujumdar, A.S., 2002. A numerical study of flow and mixing characteristics of laminar confined impinging streams, *Chemical Engineering journal*, **85**, 215-223.
- [4] Wang, S.J., Devahastin, S. and Mujumdar, A.S., 2006. Effect of temperature difference on flow and mixing characteristics of laminar confined opposing jets, *Applied Thermal Engineering*, **26**, 519-529.
- [5] Wang, S.J. and Mujumdar, A.S., 2005. A numerical study of flow and mixing characteristics of three-dimensional confined turbulent opposing jets: Unequal jets, *Chemical Engineering Processing*, **44**, 1068-1074.
- [6] Rosengarten, G., Morrison, G.L. ve Behnia, M., 2001. Mixed convection in a narrow rectangular cavity with bottom inlet and outlet, *Int. J. Heat Fluid Flow*, **22**, 168-179.
- [7] Devahastin, S. and Mujumdar, A.S., 2000. A numerical study of mixing in a novel impinging stream in-line mixer, *Chemical Engineering and Processing*, **40**, 459-470.
- [8] Wang, S.J. and Mujumdar, A.S., 2007. Flow and mixing characteristics of multiple and multi-set opposing jets, *Chemical Engineering and Processing*, **46**, 703-712.
- [9] Hosseinalipour, S.M. and Mujumdar, A.S., 1997. Flow and thermal characteristics of steady two dimensional confined laminar opposing jets: part I. Equal jets, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, **24**, 27-38.

- [10] **Dagtekin, I. ve Oztop, H.F.**, 2008. Heat transfer due to double laminar slot jets impingement onto an isothermal wall within one side closed long duct, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, **35**, 65-75.
- [11] **Ergen, H.**, 2007. Düşük lüle plaka mesafelerinde çarpan hava jetinin oluşturduğu ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] **Köseoğlu, M.F.**, 2007. Çarpan akışkan jetleri kullanılarak elektronik elemanların soğutulmasının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [13] **Levers, S. and Lin, W.**, 2009. Numerical simulation of three-dimensional flow dynamics in a hot water storage tank, *Applied Energy*, **86**, 2604-2614.
- [14] **Telişik, Ç.B.**, 2007. Lüle – hedef yüzey arası uzaklığın çarpan jet akış ve ısı transfer karakteristiklerine etkisinin sayısal olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [15] **Çelik, N. ve Eren, H.**, 2002. Dikdörtgenler prizması şeklindeki bir cismin jet akımı ile soğutulması, Balıkesir Üniversitesi, *IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu*.
- [16] **İşman, M.K., Pulat, E., Etemoğlu, A.B., ve Can, M.**, 2005. Çarpan dikdörtgen hava jetlerinde akış ve ısı transferi karakteristiklerinin sayısal analizi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, **25**, 1, 17-24.
- [17] **Atmaca, M., İnan, A.T. ve Gül, M.Z.**, 2006/4. Jet akışlarının farklı durumlar için incelenmesi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*.
- [18] **Akansu, Y.E., Sarioglu, M., Kuvvet, K. and Yavuz, T.**, 2008. Flow field and heat transfer characteristics in an oblique slot jet impinging on a flat plate, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **35**, 873-880.
- [19] **Lou, Z.Q., Mujumdar, A.S. and Yap, C.**, 2005. Effects of geometric parameters on confined impinging jet heat transfer, *Applied Thermal Engineering*, **25**, 2687-2697.
- [20] **Türker, E.**, 2006. Dönen bir disk yüzeyine çarpan jet akımının sayısal incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [21] **Arash, S.**, 2008. Yatayla eğimli yüzeylere çarpan jet akışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [22] **Bilen, K.**, 1994. Isıtılan düzlem bir plakaya dik ve eğik hava jeti çarpmasında ısı transfer karakteristiklerinin deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [23] **Cornaro, C., Fleischer, A.S. and Goldstein, R.J.**, 1999. Flow Visualization of a Round Jet impinging on Cylindrical Surfaces, *Experimental Thermal and Fluid Science*, **20**, 66-78.
- [24] **Topuzoğlu, S.**, 2004. İç ve dışbükey yüzeylere çarpan dikdörtgen kesitli bir hava jetinin termik ve kinetik olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü, Elazığ.
- [25] **Incropera, F.P., ve DeWitt, D.P.**, 2001. *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Literatür Yayıncılık (Çeviri).

ÖZGEÇMİŞ

Beşir KOK 01.06.1980 yılında Mardin ilinin Nusaybin ilçesinde doğdu. İlkokul ve orta okulu nusaybinde tamamladı. 1998 yılında Nusaybin Endüstri Meslek Lisesinden mezun oldu. 2000 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümünü kazandı ve 2004 yılında buradan mezun oldu. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü'nde Enerji Biliminde yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı yıl Elazığ da Gürbüz Makina Sanayi ltd. Şirketinde işe başladı ve halen burada Proje ve Ar-Ge müdürü olarak çalışmaktadır.