

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İYONİK RÜZGÂRLA ELEKTRONİK
EKİPMANLARIN SOĞUTULMASI

Fehime Dilek SOYUYÜCE

Yüksek Lisans Tezi
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ahmet KOCA

TEMMUZ-2016

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İYONİK RÜZGÂRLA ELEKTRONİK EKİPMANLARIN SOĞUTULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fehime Dilek SOYUYÜCE

(121134106)

Anabilim Dalı: Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı: Mekanik Sistemler

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11 Temmuz 2016

Tezin Savunulduğu Tarih: 25 Temmuz 2016

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet KOCA (F.Ü.)



Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Aydın DİKİCİ (F.Ü.)



Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜSTÜNDAĞ (B.Ü.)



TEMMUZ-2016

ÖNSÖZ

Mühendislik yaşamım ve akademik kariyerim için iyi bir referans olacağını düşündüğüm bu çalışma, lisans ve yüksek lisans eğitimim esnasında öğrenmiş olduğum temel mühendislik bilgilerinin uygulanması ve pekiştirilmesi amacıyla yapılmıştır.

Çalışmamızda cihazların gelişimine paralel olarak soğutma yöntemlerinde de yeniliklerle karşılaşmaktadır. Bu yeniliklerden biri olan iyonik rüzgarla soğutma tekniği kullanılarak ledlerin soğutulması gerçekleştirilmiştir. Böyle bir çalışmada bulunmaktan, burada öğrendiğim ve uygulayacağım birçok bilgiden dolayı kendimi şanslı hissediyorum.

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen,engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Ahmet KOCA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için oğlum Ergün SOYUYÜCE ,kızım İffet Naz SOYUYÜCE'ye ve annem İffet Necmioğlu'na tüm kalbimle teşekkür ederim.

Fehime Dilek SOYUYÜCE
ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Elektronik Ekipmanlardan Ledlerin Özellikleri	2
1.1.1. Led nedir?.....	2
1.1.2. Ledlerin Tarihsel Gelişimi.....	4
1.1.3. Ledlerin Kullanım Yerleri.....	4
1.1.4. Ledlerin Bağlantı Şekilleri	5
1.2. Elektronik Ekipmanların Soğutulması.....	6
1.2.1. Soğutma Teknikleri.....	7
1.2.2. Elektrohidrokinamik Yaklaşım ile Soğutma	9
1.2.2.1. Peltier Etkisi ile Soğutma	10
1.2.2.2. İyonik Rüzgar ile Soğutma	11
2. MATERYAL VE METOT	15
2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.....	15
2.2. Sonlu Farklar Metodu	15
2.3. Temel Denklemler	20
2.4. Denklemlerin Boyutsuzlaştırılması.....	20
2.5. Çözüm Algoritması	23
2.6. Literatür İle Karşılaştırma.....	26
3. BULGULAR.....	28
3.1. Geometrik Oranın Etkisi.....	28
3.2. Rayleigh Sayısının Etkisi	29
3.3. Isıtıcı ve soğutucu uzunluklarının etkisi.....	32

3.4.	Potansiyel Farkın Etkisi	33
3.5.	Point-GroundElektrodunun Mesafesinin Etkisi.....	35
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	38
	KAYNAKLAR	39
	ÖZGEÇMİŞ	39



ÖZET

Günümüzde elektronik ekipmanlar daha küçük, daha hızlı iken aynı zamanda daha komplike bir hale gelmişken bu ekipmanların ısı kontrolü çok daha önemli bir hale gelmiştir. Elektronik ekipmanların soğutulmasında kullanılan yöntemleri, kullanılan akışkanın hareket ettirilmesindeki yöntemlere göre sınıflandırılabilir. Bu yöntemlerden birisi de elektrohidrokinamik akış yöntemi olup iyonize olmuş moleküllerin elektrik alanı ile çevresindeki akışkan arasındaki etkileşimiyle gerçekleşir.

Bu çalışmanın temel amacı farklı geometrik oranlarına sahip kapalı bir kanalda havanın elektrik corona deşarjı yoluyla elektrohidrokinamik akışının sağlanmasıdır. Sayısal çalışma, kanalın geometrik oranının, Rayleigh sayısının, ısıtıcı soğutucu uzunluklarının, gerilim farkının ve point-ground elektronları arasındaki mesafenin geniş bir aralığı için gerçekleştirilmiştir. Yönetici denklemler sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Sonuçlar sabit akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri ve gerilimi dağılımı olarak görselleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında ısı transferine akışkan hareketinin kanalın geometrik oranı ile elektrotlar arasındaki mesafenin etkisinin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Corona deşarjı, sayısal simülasyon, elektronik soğutma, ısı transferi

SUMMARY

COOLING OF ELECTRONIC EQUIPMENT WITH IONIC WIND

Electronic equipment becomes faster, smaller and more complex and their thermal management becomes more important. Efficiently cooling methods for the electronic equipment can be classified by the fluid flow method. Electrohydrodynamics (EHD) method is one of the many contains motions of ionized particles or molecules and their interactions with electric fields and the surrounding fluid.

One of the main objectives of the present study was to develop an electrohydrodynamic (EHD) flow in air produced by the electric corona discharge in the cavity with different aspect ratios. The numerical results included a variety of cavity aspect ratio, Rayleigh Number, heater-cooler lengths, potential voltages and distance between point and ground electrode. Governing equations are solved using finite difference method. Results are plotted as streamlines, isotherms and voltage distribution. The numerical results reveal that flow and heat transfer enhancement are significantly dependent on aspect ratio and distance between point and ground electrode.

Keywords: Corona discharge, numerical simulation, electronic cooling, heat transfer

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Ledlerin içyapısı	3
Şekil 1.2. Led çeşitleri (3mm, 5mm, 10mm'lik ledler, SMT led, Superfluxled, High Powerled)	3
Şekil 1.3. Ledlerin seri bağlanmış şekli	5
Şekil 1.4. Ledlerin paralel bağlanmış şekli	6
Şekil 1.5. Ledlerin seri ve paralel bağlanmış şekli	6
Şekil 1.6. LED'in iç yapısı	7
Şekil 1.7. Fan ile soğutma	9
Şekil 1.8. Peltier etkisi devresi	11
Şekil 1.9. Anot katot durumunu gösterimi	12
Şekil 1.10. İyonik rüzgar akım yönü	13
Şekil 2.1. Sonlu Eleman Modeli	16
Şekil 2.3. Problem geometrisi	22
Şekil 2.4. Grid Dağılımı	23
Şekil 2.5. Nusselt sayısının $Ra=5 \times 10^5$ değeri için farklı grid değerlerinde değişimi	24
Şekil 2.6. Fortran programlarının akış şeması	25
Şekil 2.7. Literatür ile karşılaştırma a) Literatür çalışması [Lakeh, L., Molki, M.19], b) Bizim çalışmamız	27
Şekil 3.1. $h_L=c_L=0.5$ ve $Ra=5 \times 10^5$ değeri için sabit akım çizgileri (solda) ve eş sıcaklık eğrileri (sağda) a) $AR=0.5$, b) $AR=1.0$, c) $AR=2.0$	29
Şekil 3.2. $h_L=c_L=0.5$ ve $AR=2.0$ değeri için sabit akım çizgileri (solda) ve eş sıcaklık eğrileri (sağda) a) $Ra=10^3$, b) 10^4 , c) 10^5 , d) 10^6	31
Şekil 3.3. $Ra=10^5$ ve $AR=1.0$ değeri için sabit akım çizgileri (solda) ve eş sıcaklık eğrileri (sağda) a) $h_L=c_L=0.25$, b) $h_L=c_L=0.50$, c) $h_L=c_L=0.75$, d) $h_L=c_L=1.00$..	33
Şekil 3.4. $AR=1.0$ ve point-ground boyutsuz mesafesi $d=0.5$ için potansiyel fark değişimi a) 4kV, b) 5kV, c) 6kV, d) 7kV	35
Şekil 3.5. $AR=1.0$ ve potansiyel fark $V=10kV$ için potansiyel fark değişimi a) $d=1.0$, b) $d=0.75$, c) $d=0.50$, d) $d=0.25$	37

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Elektronik ekipmanların soğutulmasında kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları.....	8
---	---



SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Kesit alanı (m^2)
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
I	: Akım (A)
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
L	: Boy (m)
Q	: Isıl yük (W)
R	: Direnç
Ra	: Rayleigh sayısı (-)
T	: Sıcaklık ($^{\circ}C$)
V	: Gerilim(Volt)
W_e	: Elektrik gücü (W)
dT	: Sıcaklık farkı($^{\circ}C$)
dx	: x ekseninde boy(m)
T_Y	: Yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{∞}	: Ortalama sıcaklığı($^{\circ}C$)
QP	: Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı (W)
π	: Peltier sabiti (V)
ν	: Kinematik viskozite
Π	: Peltier sabiti (V)
Fe	: Elektrodinamik kuvvet (N/m^3)
Qe	: Elektrohıdronamik ısı (j)
q	: Elektrik şarj yoğunluğu (C/m^3)
ε_0	: Dielektrik geçirgenlik (F/m)
L	: Kanal uzunluğu
Ψ	: Akım fonksiyonu
ω	: Girdap fonksiyonu
E	: Boyutsuz elektrik kuvveti

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
EHD	: Elektrohidrodinamik
LED	: Light Emitting Diodes
SIC	: Silikon Karpit
TV	: Televizyon
x	: Kartezyen koordinatta x eksenini ifade eder
y	: Yüzey
∞	: Akışkan
w	: Yüzey ile temasta bulunan kısım
u	: “x” yönündeki hız
v	: “y” yönündeki hız

1. GİRİŞ

Dünyada hızla teknolojinin gelişmesi üzerine hayatı kolaylaştıran çeşitli elektronik ekipmanlar üretilmiştir. Elektronik ekipmanlar oyunculardan yüksek güçlü bilgisayarlara kadar hayatın her alanında bizler için pratiklik sağlamaktadır [1]. Bir elektronik ekipmanın çalışması üzerinden geçen elektrik akımı ile sağlanır. Herhangi bir dirençten geçen elektrik akımı her zaman ısının oluşmasını sağlar. Bu nedenle de elektronik cihazların işletme esnasındaki en büyük problemlerinden biri devrelerdeki dirençlerden dolayı meydana gelen ısınmanın giderilmesidir [2].

Üretilen elektronik cihazların kullanımı esnasında çeşitli sorunlarla karşılaşılır. En önemli sorunlarından biride elektronik cihazların ısınma problemi. Isınma problemi ortadan kaldırmak için çeşitli soğutma teknikleri geliştirilmiş bununla birlikte bu konu hakkında birçok araştırma yapılmıştır.

Elektronik sistemlerin soğutulması sırasında ısı kayıplarının bilinmesi gerekir. Hesaplanan ısı kayıplarına ve kullanım alanlarına göre uygun soğutma sistemi seçilmelidir. Elektronik ekipmanların soğutulmasında değişik teknikler ve akışkanlar kullanılmaktadır.

Genel olarak soğutma akışkanlarını 2 ana grupta sınıflandırabiliriz. Bunlar hava ile soğutma (doğal, zorlanmış, karışık konveksiyon, vb.) ve sıvı ile soğutmadır (direk indirek soğutma, vb.). Hava ile soğutma en çok kullanılan soğutma metodudur. Bunun ana sebebi havanın istenilen miktarda atmosferde bulunmasıdır. Buna ek olarak dizaynının kolay, fiyatının düşük olması ve yüksek güvenilirliği havayı iyi bir seçenek haline getirmektedir. Sıvılar havaya oranla daha yüksek ısı iletkenliklere sahiptirler. Bu sebepten sıvıyla soğutma hava ile soğutmada daha fazla etkilidir. Fakat sıvıyla soğutma beraberinde sızıntı, korozyon, ekstra ağırlık ve yoğunlaşma gibi potansiyel problemleri ve riskleri ortaya çıkarmaktadır. Elektronik ekipmanlarda eğer yüksek güvenilirlik isteniyorsa hava ile soğutma kullanılmalıdır. Yüksek güç yoğunluğu içeren sistemlerde ise sıvı ile soğutma kullanılmalıdır [1].

Bir akışkan akışı, hareketinin başlatılması biçimine bağlı olarak doğal veya zorlanmış akış olarak adlandırılır. Zorlanmış akış, bir akışkanın pompa veya fan gibi bir dış araç tarafından bir yüzey üzerinde akmaya zorlanmasıdır. Doğal akışlarda her akışkan hareketi, kaldırma kuvveti gibi doğal vasıtalarla gerçekleşir. Elektronik ekipmanların soğutulmasında dönen fanlar ile sağlanan zorlanmış hava taşınımıyla soğutma en çok

tercih edilen yöntemdir. Günümüzde mikroelektronik alanındaki gelişmeler ve çip hacimlerinin küçülmesi, hızlarının artması birim hacim başına düşen ısı miktarını artırmıştır. Bu da geleneksel soğutma tekniklerinin sınırlarına kadar zorlanmalarına neden olmuştur. Elektrohidrodinamik yaklaşımıyla soğutma geleneksel fanla soğutmaya alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknikte, akış alanındaki akışkana elektrik verilerek moleküller arası iyonik hareket sağlanır. Bu hareket sayesinde soğutma işlemi gerçekleşir. Elektrohidrodinamik yaklaşımı ile soğutmada en popüler yöntemlerden birisi iyonik rüzgar ile soğutmadır. İyonik rüzgar ortam havasında iki elektrod arasında akışkan deşarjıyla meydana gelir. Deşarj işlemi esnasında akışkan (hava) iyonları elektrik alanından dolayı hız kazanırlar ve nötr akışkan molekülleriyle çarpışarak yük geçişi sağlarlar. Akışkan molekülleri arasındaki bu momentum transferi beraberinde yığın halindeki akışkan hareketine neden olur ki bu hareket “iyonik rüzgar” olarak isimlendirilir. Kullanılan elektrik kaynağının türüne göre iki farklı iyonik rüzgar yaklaşımı tanımlanır. Güç kaynağı doğru akım (DC) ise “korona deşarjı”, alternatif akım (AC) ise “dielektrik engel deşarjı” yöntemi kullanılır.

Bir çok elektronik ekipmanlarda LED (Light Emitting Diodes) kullanılmaktadır. LED ışık veren bir diyottur. LED’in yaptığı iş temel olarak elektrik akımını durduran bir yarı iletken görevi yapmaktır. LED’ler çalışma ömürleri ve düşük enerji tüketimleri nedeniyle birçok farklı alanda tercih edilmekte ve kullanılmaktadır. Günümüzde kullanım alanlarına birkaç örnek verelim; Bir otomobilde konsol, radyo, CD çalar, navigasyon sistemi, göstergeler ve butonlar içinde 300 den fazla LED kullanılmaktadır, Yakın bir gelecekte LED maliyetinin düşmesinden dolayı birçok ışık kaynağını geride bırakıp ilk sırayı LED’ler alacaktır [3].

1.1. Elektronik Ekipmanlardan Ledlerin Özellikleri

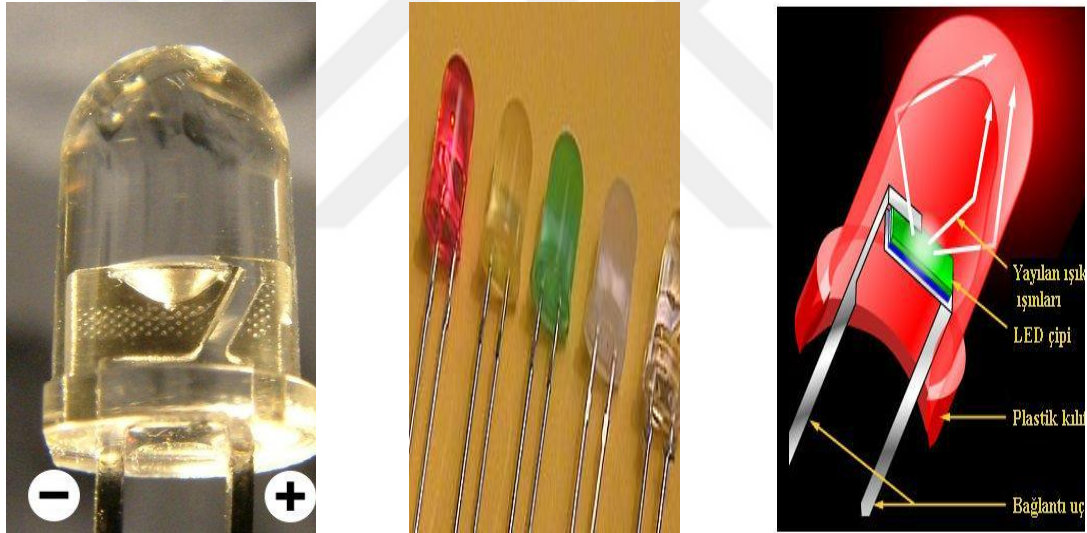
1.1.1. Led nedir?

LED, İngilizcede “Light Emitting Diodes” kelimelerinin kısaltılmış halidir . Bir LED yongası yapı itibarı ile N ve P tipi yarıiletken katmanlar arasına sandviç edilmiş aktif katman tabakasından ve bunların elektriksel bağlantılarından oluşan optoelektronik (elektronik ile ışık ışınlamaları arasındaki bağıntıları inceleyen fizik dalı) bir elemandır. doğru yönde bir akım geçirildiğinde elektronlar aktif katmanı uyarır ve bunun sonucunda aktif katmanda ışık

üretir. Üretilen bu ışık direkt veya reflektörden yansıma ile pencere katmanından yayılır [3].

LED'ler aktif katmanın malzeme yapısına bağlı olarak görülebilir ışık tayfının belirli bir bölümünde ışık yayarlar. Başka bir deyişle tek renk ışık üretilir ve aktif katmanda kullanılan materyel LED ışığının rengini belirler. Yüksek seviyede ışık veren renkli LED'lerde aktif katman olarak farklı malzeme kullanılır (GaAs, Gap, GaN, AlInGaP ve InGaN). LED'lerle beyaz ışık üretmek iki yöntemle mümkündür. Bunlardan birincisi; kırmızı, yeşil ve mavi üç adet LED yongasını bir kılıf içerisinde kullanarak beyaz ışığı elde etmektir. İkinci yöntem ise mavi LED yongasında üretilen ışığın bir fosfor tabakasını uyararak beyaz ışık üretilmesidir [4].

Gördüğümüz üzere LED'ler değişik ebatlarda, radyal biçim başta olmak üzere çok çeşitli yapıları bulunmaktadır (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2.).



Şekil 1.1. Ledlerin iç yapısı



Şekil 1.2. Led çeşitleri (3mm, 5mm, 10mm'lik ledler, SMT led, Superfluxled, High Powerled)

1.1.2. Ledlerin Tarihsel Gelişimi

Henry Joseph Round, 1907 yılında elektro ışıltamayı Silikon Karpit (SiC) parçaları halinde incelemiştir. Saçılan sarı ışık çok sönük kalmakla birlikte Silikon Karpitle çalışmadaki zorluklar, araştırma ve incelemeden vazgeçmek anlamına gelmekteydi. 1920'li yılların başında Bernhard Gudden ve Robert Wichard Pohl tarafından Bakırlı (ZnS:Cu) Çinko Sülfid'den yapılan fosfor materyaller kullanılarak Almanya'da bir çok başka deneyler de yapılmıştır. Elektrik akımı uygulamasını takiben 1936' dan sonra George Destriau Çinko Sülfid (ZnS) barutlarıyla ışık yayılımı konusunda bir rapor yayınlamış geniş çapta itibar görmesine ve popülerite kazanmasına sebep olan ve "elektro ışıltama" terimini keşfetmiştir [5].

1960'lı yılların sonuna doğru ilk görünür (kırmızı) ışıklı LED'ler GaAs maddesi üzerine Galyum Arsenür Fosfat (GaAsP) kullanılarak üretilmiştir. Galyum Fosfat (GaP) maddesine dönüşüm, daha parlak kırmızı LED'lerin tutması ve turuncu rengin üretilmesine olanak vermesi açısından verimdeki artışa imkan tanımıştır. Kısaca bu sayede verim artmıştır [6].

LED'lerin tarihçesi yalnızca rengi değil parlaklığı da kapsamaktadır. LED'ler de hemen hemen her on sekiz ayda aşağı yukarı iki kat güçlenen (parlaklaşan, ışık oranı artan) kendilerine benzer "Moore'un Yasa"sını takip etmekteydiler. İlk LED'ler sadece göstergelerde, eski hesap makinesi ekranlarında ya da dijital saatlerde kullanılacak kadar parlaklardı. Bununla birlikte daha yakın zamanda LED'ler daha yüksek parlaklık içeren uygulamalarda görülmeye başlanmıştır ve gelecek zaman içerisinde de bu şekilde gelişerek yol almaya devam edecektir [5].

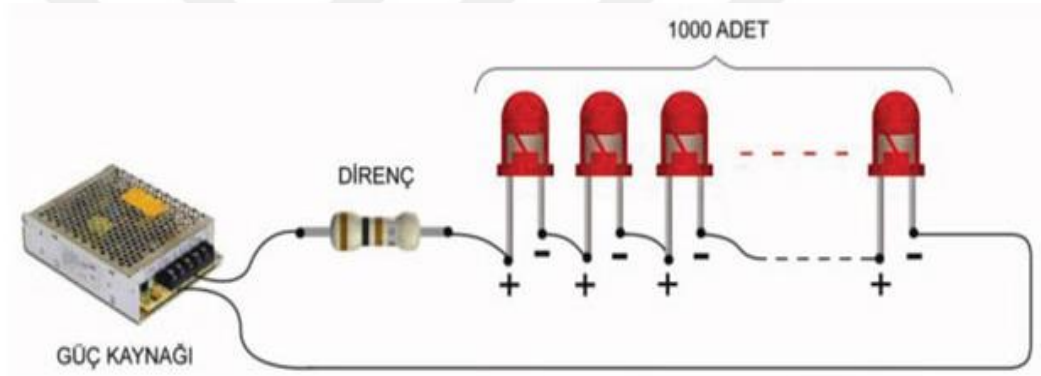
1.1.3. Ledlerin Kullanım Yerleri

Ledler aydınlatma, sinyalizasyon ve mimari aydınlatma alanlarında diğer ışık kaynaklarının yerini hızla almaya başlamışlardır. Ledlerde mavi ışığın kullanılabilmesi ile aydınlatma mümkün olmuş ve birçok farklı sektörde uygulama ve kullanım alanı bulmuştur. Kayıplarının az olması Ledlerin enerji sarfiyatlarındaki düşüklüğünün en önemli tercih sebebidir. Ömürleri oldukça uzun olan bu diyotlar diğer ampuller gibi flaman taşımadıklarından dolayı hemen her koşulda sorunsuz kullanılabilirler. LED'ler üzerlerine yaydıkları ışığın frekansı ile aynı veya daha yüksek bir frekansta ışık düşürüldüğünde foto

diyot özelliği gösterirler. Elektronik cihazlarda tuş olarak da kullanılmaktadırlar ayrıca makineler, TV ve monitörlerde de kullanılmaktadır [5].

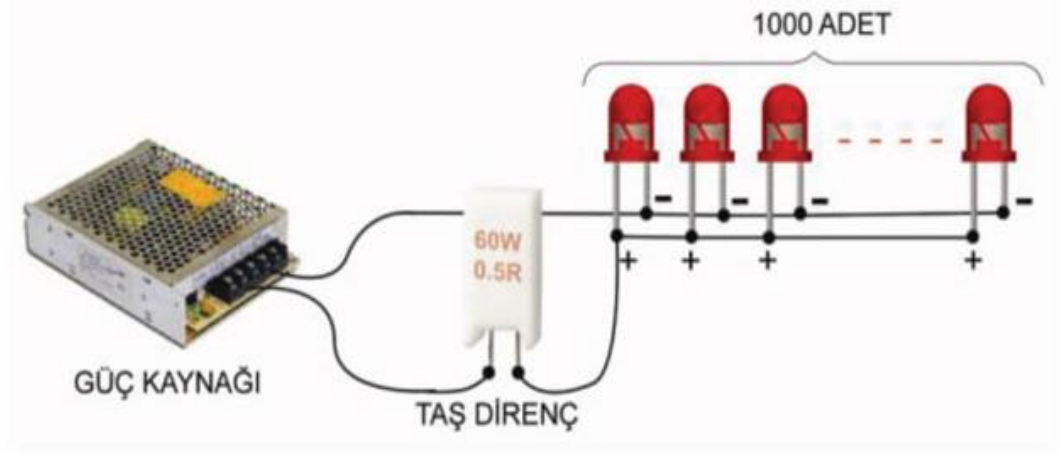
1.1.4. Ledlerin Bağlantı Şekilleri

Seri ve paralel olmak üzere iki şekilde ledler bağlantı yapılarak kullanılabilir. Led'lerin fazla kullanımı paralel bağlantı veya sadece seri bağlantı için kullanımı pek doğru değildir. Örnek olarak 1000 adet Led bağlantısını yaptığımızı düşünersek; sadece seri bağlantı yaptığımızda (Şekil 1.3.) “1000 x 2V = 2000V” gibi DC (DC: direct current– doğru akım) besleme gerilimi gereklidir. Uygulamada çok mümkün olmayan bir haldir. Bu kadar sayıda Led'lerin seri bağlantısı, arıza durumunda tüm LED'lerin sönmesine neden olacaktır [6].



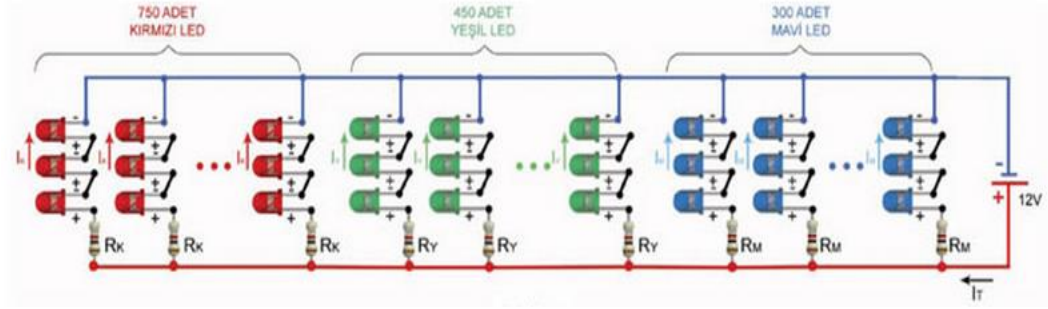
Şekil 1.3. Ledlerin seri bağlanmış şekli

Paralel bağlantı türü tek başına kullanıldığında ise (Şekil 1.4.), gerekli olan besleme gerilimi normal değerlerde olacaktır. 1000 adet paralel kol olduğu için bu kez de “1000 x 20mA = 20Amper” gibi yüksek bir akıma gerek duyarız. Böylece ihtiyaç duyulan güç kaynağının çıkış akım değerinin yüksek olmasına sebep olur bunun sonucunda maliyetinin artmasıyla sonuçlanır. Gerilim değeri 12V olduğunda, direnç üstünden de 20 Amper geçeceği için OHM kanunundan “Direnç = (Besleme gerilimi - LED gerilimi) / 20 Amper = (12V - 2V) / 20A = 0,5Ω” ve “P = I x V = 20A x 12V = 240W” hesaplarıyla “0,5Ω – 240W” değerinde direnç kullanmamız gerektiğini görüyoruz. Kullandığımız dirençleri 0,25W değerinde seçersek, bu değerde bir direncin boyut olarak ne kadar büyük olacağını anlayabiliriz [7].



Şekil 1.4. Ledlerin paralel bağlanmış şekli

Birçok dezavantajla karşılaşılmaktadır bu bağlantı tiplerinde. Bu sebepten ötürü LED sayısı fazla olan uygulamalarda karışık bağlantı kısaca seri ve paralel bağlantı yöntemi ile çözüm üretilmektedir (Şekil 1.5.). Karma şekilde yapılan bağlantıda LED'lerin uygun volt ve amper değerlerinde çalışmış olduğu ve bununla birlikte çalışma ömürlerinin artmış olduğu görülmektedir [7].



Şekil 1.5. Ledlerin seri ve paralel bağlanmış şekli

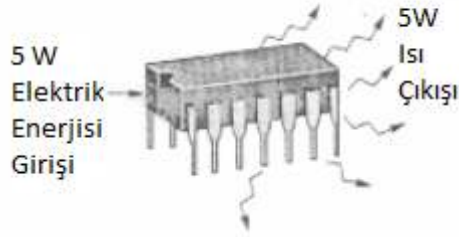
1.2. Elektronik Ekipmanların Soğutulması

Isı kayıplarının elektronik sistemlerin soğutulmasında seçilecek soğutma sistemi için bilinmesi gerekir. Bu kayıplar soğutma yükü olarak adlandırılır. Elektronik cihazın güç kaybını tespit etmek için verilen gerilimi (V) ve akımı (I) bilmek gerekir. Bu değerleri 1.1 denkleminde yerine koyarsak:

$$W_e = VI = I^2R \quad (1.1.)$$

elde edilir. Burada W_e elektronik cihazın elektrik gücünü ifade eder. Yani cihaza giren enerji miktarıdır.

Termodinamiğin I. kanunu denge durumunda sisteme giren enerjinin sistemden çıkan enerjiye eşit olduğunu söyler. Farz edelim ki elektronik cihazın enerjisi, direnç elemanlarının akımıyla elde edilen ısıya eşit olsun. Bu durumda Şekil 1.4' deki gibi, elektronik cihazın ısı kaybı veya soğutma yükü bu enerjiye eşittir, yani $Q=W_e$. Bu kanunun dışında çalışan sistemlerin dışa verdikleri enerji farklı şekildedir. Örneğin bir radar yayıcı borusu, radyo veya televizyon frekans dağıtıcı cihazlarda olduğu gibidir. Başka bir soğutma yükü hesaplama yöntemi ise her bir elemandan kaybedilen ısıyı hesaplayıp daha sonra bunları toplayarak toplam ısı kaybını bulmaktır [8].



Şekil 1.6. LED'in iç yapısı

1.2.1. Soğutma Teknikleri

Elektronik ekipmanların ısı tasarımları, düzgün ve güvenli çalışması için çok önemlidir. Elektronik ekipmanların soğutulmasında birçok farklı teknikler ve akışkanlar kullanılmaktadır. Bunları genel olarak şu şekilde sınıflandırabiliriz.

1. Hava ile soğutma (doğal,zorlanmış,karışık konveksiyon..)
2. Sıvı ile soğutma (direk,indirek soğutma,...)

Bu soğutma tekniklerinin farklı kullanım yerleri vardır. Ayrıca her birinin avantaj ve dezavantajları Tablo 1.1.'de verilmiştir [10].

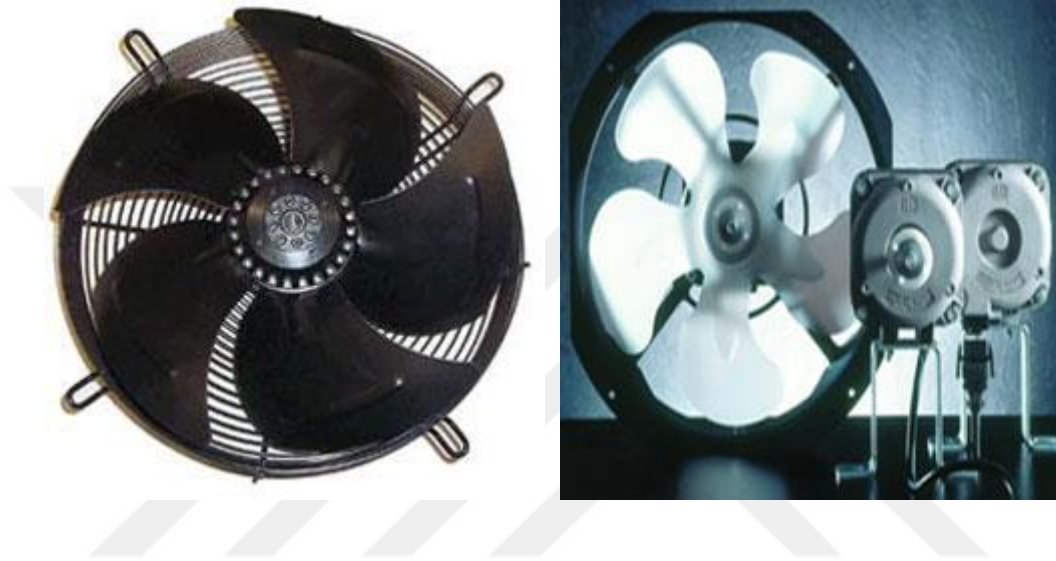
Tablo 1.1. Elektronik ekipmanların soğutulmasında kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları [10]

	Doğal hava Konveksiyonu (DHK)	Zorlanmış hava konveksiyonu (ZHK)	ZHK ve su soğutmalı ısı esanjörü(SSIE)	Sıvı soğutmalı buharlaştırma	
				Direk	İndirek
Konstrüksiyon (Ana ısı akışı)	Elemanve kanatçık devre bordü kabuk çevre	DHK ve fan	SSIE hava akış Pasajına yerleştirilmiş	Elemanı daldırma ve ısı esanjörü(su,Hava)	Elaman soğuk
Soğutucu	Hava	Hava	Hava,su	Emici sıvı	Su,vs
Soğutucunun Sirkülasyonun u Sağlayan	Doğal Sirkülasyon	Fan	Fan,Pompa	Pompa	Pompa
Soğutucu hızı	0.2 m/s	0.5-10m/s		Çok büyük	
Soğutucu kapasitesi	Küçük	Orta-Büyük	Orta-Büyük	Küçük	Büyük
Ekipman hacmi	Büyük	Orta	Orta	Küçük	Küçük
Akustik ses	Yok		Orta	Küçük	Küçük
Soğutmanın güvenirliği	Yüksek	Orta	Orta	Küçük	Küçük
Ekonomi	Yüksek	Orta	Orta	Küçük	Küçük
Kapasite	Baca etkisi ile kapasite artışı			Isı Değiştirici Kapazitesine Bağlı	Isıdirenci azaltmak için gaz kullanılabilir

En çok tercih edilen soğutma metodu hava ile soğutmadır. Bunun en önemli sebebi de havanın istenilen miktarda atmosferde kolayca bulunmasıdır. Buna ek olarak tasarımın kolay, fiyatının düşük ve yüksek güvenilirliğinin olması havayı iyi bir tercih sebebi haline getirmiştir.

Doğal veya fan destekli olarak hava soğutması kullanılması, elektronik parçaların soğutulması için çok yaygın bir yöntemdir.

Bir fan eklenerek daha fazla soğutma gerçekleştirilir. Bu fan yardımıyla soğutucunun üzerinden geçen hava akışı artırılır ve daha fazla sıcaklığın havaya geçmesi sağlanmış olur. Fan hariç, hava soğutma ilave bir cihaz gerektirmez ve soğutma işlemini performanslı olarak yapar. Ama su soğutma, çeşitli ilave ekipmanlar gerektirmektedir [9].



Şekil 1.7. Fan ile soğutma

Sıvıyla soğutmalı sistemleri iki kategoriye ayrılır, direk soğutmalı ve direk olmayan (indirek) soğutmalı sistemler olarak. Direk soğutmalı sistemlerde, elektronik parçalar sıvıyla direk temastadır. Direk olmayan soğutmalı sistemlerde ise elektronik parçayla sıvının direk teması bulunmaz [10].

1.2.2. Elektrohidrodinamik Yaklaşım ile Soğutma

Elektrohidrodinamik (EHD) yaklaşımı veya daha çok bilinen adıyla elektrokinetik, elektriksel olarak şarj edilen akışkanların dinamiğinin çalışma alanıdır. Bu çalışma alanı iyonize edilmiş parçacıkların veya moleküllerin elektrik alanındaki birbirleriyle ve çevrelerindeki akışkanla olan ilişkilerini inceler.

Zamanla mikroelettronik alanındaki gelişmeler ve çip hacimlerinin küçülürken saat hızlarının artmasıyla birim hacim başına düşen ısı miktarı artmıştır. Bu da geleneksel

soğutma tekniklerinin sınırlarına kadar zorlanmalarına neden olmuştur. Elektrohידrodinamik yaklaşımıyla soğutma geleneksel fanla soğutmaya alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknikle, akış alanındaki akışkana elektrik verilerek moleküller arası iyonik hareket sağlanarak soğutma yapılmaktadır. Bu yaklaşım günümüzde teorik ve uygulamalı olarak pek çok araştırmacının ilgi odağı olmuştur. Bununla birlikte elektrohידrodinamik yaklaşımın kullanıldığı soğutma sistemlerinin gerçek uygulamalarda kullanılması, teknik bazı sebeplerden dolayı zaman almıştır [11].

1.2.2.1. Peltier Etkisi ile Soğutma

Fransız fizikçi Jean Charles Athanasa Peltier 1834 yılların sonuna doğru iki farklı yarı iletken malzeme üzerinden DC akım geçirilmesini denemiş ve bunun sonucunda akımın hareket ettiği yönde ısı hareketi oluştuğunu keşfetmiştir. Bu yüzden bu olay Peltier etkisi olarak adlandırılmaktadır [13]. Birleştirilen iki farklı yarı iletken malzemeden oluşmuş devre üzerinden doğru akım geçirdiğimizde ısı açığa çıkmaktadır. Çıkan ısı miktarı, devreden geçirilen doğru akımla doğru orantılı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır;

$$Q_P = \pi I \quad (1.2)$$

$$\pi = \alpha T \quad (1.3)$$

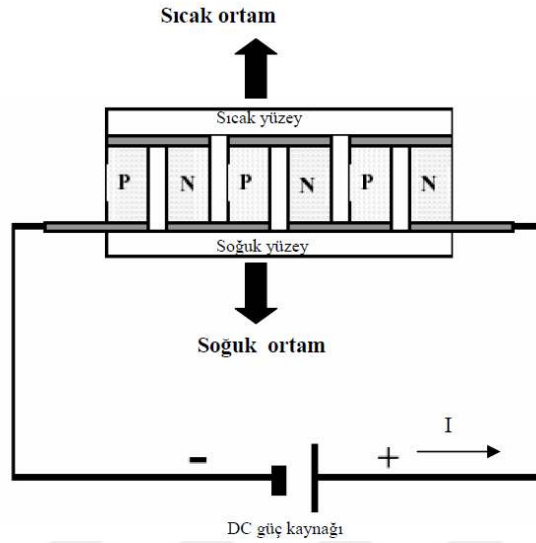
$$Q_P = \alpha T I \quad (1.4)$$

Elektriksel güç dışarıdan verildiğinde, sistem içinde elektronların hareket etmeleri için gerekli enerji sağlanır. Hareketlenen elektronlar değişen enerji düzeyleri arasında yol alırken ısı transfer etmekte, yani ısı taşımaktadır diyebiliriz [17].

Elektriksel güç arttırılırsa, hareket eden elektron sayısı da artacağından sıcak yüzey ile soğuk yüzey arasındaki ısı transfer oranı yani ısı transfer miktarı da artış gösterecektir. Bununla birlikte akım yönü ters çevrilirse, tüm bu olaylar tersine işleyecek ve sıcak yüzeyle soğuk yüzeyin kendi arasında yer değiştirmesine sebep olacaktır.

İki tane önemli ısı etki vardır; Joule etkisi ve Fourier Etkisi. Bu ikisinden dolayı soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki sıcaklık değişimi aynı miktarda yani aynı oranda gerçekleşmemektedir. Kararlı hale gelen devremizde soğuk yüzeyden soğurabilen ısı miktarı, $Q_P = \alpha T I$ eşitliği ile bulunmaktadır.

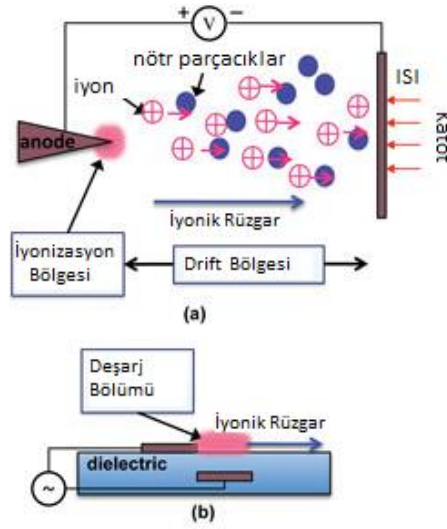
Şekil 1.8’ de açıkça görüldüğü gibi akımın belirttiği yöne göre birleşme noktalarının birinde soğuma olayı, diğerinde de ısınma olayının meydana geldiği görülür.



Şekil 1.8. Peltier etkisi devresi

1.2.2.2. İyonik Rüzgâr ile Soğutma

Elektrohidrodinamik yaklaşımı ile soğutmada en popüler yöntemlerden birisi iyonik rüzgâr ile soğutmadır. İyonik rüzgâr ayrıca “elektrik rüzgârı” ve “corona rüzgârı” olarak da adlandırılır. İyonik rüzgar ortam havasında iki elektrod arasında akışkan deşarjıyla meydana gelir (Şekil 1.9) Deşarj işlemi esnasında akışkan (hava) iyonları elektrik alanından dolayı hız kazanırlar ve nötr akışkan molekülleriyle çarpışarak yük geçişi sağlarlar. Akışan molekülleri arasındaki bu momentum transferi beraberinde yığın halindeki akışkan hareketine neden olur ki bu hareket “iyonik rüzgâr” olarak isimlendirilir.



Şekil 1.9. Anot katot durumunu gösterimi

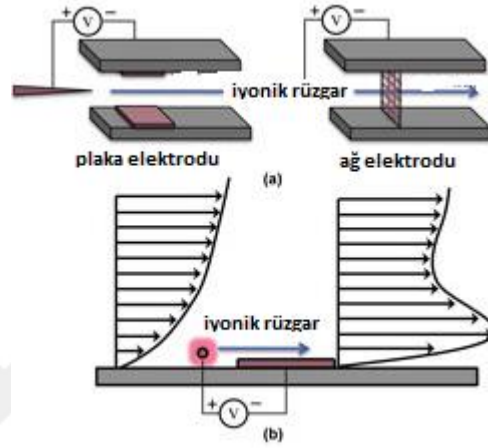
Francis Hauksbee tarafından iyonik rüzgâr tanımlaması 1709’da ilk defa kullanılmıştır. İlerleyen zamanda birçok benzer çalışmalar ve tanımlamalar Isaac Newton, Benjamin Franklin ve Micheal Faraday tarafından da ifade edilmiştir [12]. Yakın zamanda bu alanda yapılan çalışmaların ilki 1959 yılında Stuetzer tarafından gerçekleştirilmiştir [10]. Modern mühendislik uygulamalarında iyonik rüzgâr yaklaşımının kullanılmasına yönelik bir diğer çalışma ise 1961 yılında Robinson tarafından gerçekleştirilmiştir [13]. Bulunan temel bağıntılar günümüzde halen kullanılmaktadır. 1960 ve 1970’li yıllarda elektrik ve elektronik alanındaki teknolojik gelişmelerle birlikte etkili ısı transferinin önemi artınca Tessera Technologie Inc. ve Ventiva gibi büyük firmalar laptop ve LED soğutmada iyonik rüzgarın kullanıldığı uygulamaları test etmişlerdir [14].

Kullanılan elektrik kaynağının türüne göre iki farklı iyonik rüzgar yaklaşımı tanımlanır. Güç kaynağı doğru akım (DC) ise “corona deşarjı”, alternatif akım (AC) ise “dielektrik engel deşarjı” yöntemi kullanılır.

Corona Deşarjı:

Corona deşarjı, keskin uçlu (corona) ve köreltilmiş uçlu (counter) elektrot arasına voltaj uygulanarak elde edilir (Şekil 1.10). Birbirlerine göre asimetrik duran elektrotların konumundan dolayı elektrik alanında yüksek homojensizlik beraberinde hava boşluğunda kısmi bozulmalara ve keskin uçlu elektrot etrafında küçük plazma bölgelerin oluşmasına neden olur. Bu hava boşluğu köreltilmiş elektrota doğru plazma bölgesinden büyük iyonik

kaymalara neden olur. Bu olayda bahsi geçen bölgelerde iyonik rüzgarın oluşması olarak nitelendirilir. Corona deşarjı ve ardından gerçekleşen iyonik rüzgar her iki yönde de oluşturulabilir. Pozitif yönde coronelektrodu anot olurken countelektrodu katot olur. Negatif yönde ise coronelektrodu katot olurken counter ise anot olur. Böylece iyonik rüzgarın yönü kontrol edilebilir [15].



Şekil 1.10. İyonik rüzgar akım yönü

Dielektrik Engel Deşarjı

Dielektrik engel deşarjı güç kaynağı alternatif akım olduğunda iyonik rüzgar elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde elektrotlardan biri dielektrik bir yalıtım malzemesiyle kaplanır ve yine iki elektrot arasında yüksek voltaj uygulanır. Bahsi geçen yalıtım malzemesi elektriksel olarak şarj olan yüzeyleri toplar ve böylece elektrot boşluğundaki deşarj sonucunda oluşabilecek kıvılcımlar önlenmiş olur. Osülasyonlu alan kullanılarak, her yarım döngüde şarj işlemi söndürülür ve tekrar şarj edilebilir hale getirilir. Asimetrik elektrot geometrisi kullanılarak, yüzey ile yalıtım malzemesi arasında iyonik rüzgar duvar jeti oluşturulur.

Her iki yöntem de 1kV'dan büyük yüksek potansiyelleri ve atmosferik basınçta ozon üreten işlemlerde kullanılırlar. Bu iki iyonik rüzgar yöntemi de akışkan (hava) deşarjına bağlı yöntemler olduklarından, her zaman kıvılcım oluşma riski vardır. Bu nedenle uygun tasarım ve çalışma şartlarıyla bu dezavantaj giderilmelidir. Genel olarak tüketicilerin kullandığı elektronik cihazların büyük çoğunluğu DC gerilim kullandığından corona deşarjı elektronik ekipmanların soğutulmasında daha popüler bir yöntemdir [15].

Bu çalışmanın amacı, iyonik rüzgar oluşturarak LED temelli elektronik ekipmanların etkili bir şekilde soğutulmasıdır. Bu amaçla daha çok DC kaynak soğutmasında kullanılan “Corona Deşarjı” kullanılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HED) temelinde hazırlanan yönetici denklem kullanılarak bir ortamdaki ısı kaynağının (LED) iyonik rüzgar kullanılarak soğutulabilmesi için uygun parametre seçimleri yapılmaya çalışılmıştır. Hazırlanan HED sayısal çalışması ilk olarak literatürdeki benzeri ile kıyaslanarak sayısal modelin doğruluğu ispatlanmıştır.



2. MATERYAL VE METOT

2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), akışkanlar mekaniği problemlerinin analizi ve çözümlenmesi için sayısal yöntem ve algoritmaların kullanıldığı bir akışkanlar mekaniği bilimi dalıdır. Sıvı ve gazların katı yüzeyler ile etkileşimleri bilgisayar yardımı ile simüle edilir. Sonuçların gerçek etkileşime göre durumları, kullanılan bilgisayar ya da bilgisayarların performansına bağlıdır.

2.2. Sonlu Farklar Metodu

Birçok elektromanyetik problemlerin çözümünde analitik yöntemler, sayısal yöntemler ayrıca deney sonuçları kullanılmaktadır. Bilgisayarın çok öncelikli olmadığı yıllarda, analitik yöntemlere ağırlık verilmiş ve birçok problem ayrıntılı şekilde ele alınmıştır. Bazı durumlarda analitik çözümde sonuç almanın imkansız olduğu anlaşılmıştır. Böyle durumlarla karşılaşınca deneysel yöntemler tercih edilmiştir. Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak 1980'li yıllarda karmaşık yapıların analizinde, sayısal yöntemler il defa kullanılmaya başlanmıştır. Doğru, verimli ve hızlı çözümler üretebilecek algoritmalar ise 1990'lardan itibaren yapılmaktadır [20]. Elektromanyetik problemlerin sonucuna ulaşmak için kullanılan birden çok sayısal yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları problemi zamana bağlı, bazıları da frekansa bağlı çözer. Fakat bütün elektromanyetik problemleri tek bir çözümünde kullanılabilecek bir yöntem bulunmamaktadır Her yöntem ancak belli koşullarda doğru sonuçlar verir. Akış alanının hesaplanmasında kullanılan sayısal yöntemler:

- a) Sonlu hacim yaklaşımıyla sayısal çözüm
- b) Sonlu farklar yaklaşımıyla sayısal çözüm
- c) Sonlu elemanlar yaklaşımıyla sayısal çözüm
- d) Sınır elemanlar yaklaşımıyla sayısal çözüm

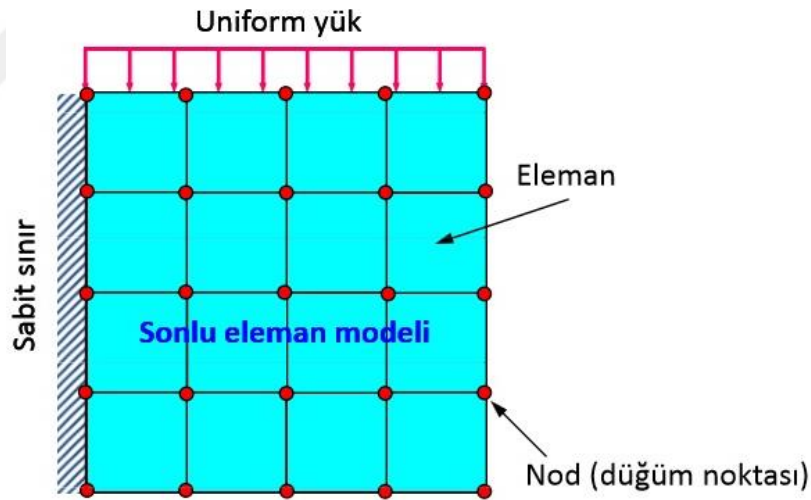
Ortaya çıkan sonuçların doğruluğunu test etmek için deneysel sonuçlar ve diğer sayısal yöntem sonuçları kullanılmaktadır. Elektromanyetik problemlerin bazıları çok karmaşıktır ve bu problemlerin çözümü için geliştirilen sayısal yöntemlerin doğru ve hızlı çözümler

üretebilmesi aşırı hassas hesaplamaların yapılmasını gerektirir. Sayısal yöntemin problemin gerektirdiği tüm sistem ihtiyaçları iyi belirlenmeli ve bir optimizasyon yapılmalıdır.

Göz önünde tutulması gereken birçok kriter vardır. Simülasyon süresi, İşlemci (CPU) hızı, bellek (RAM) ihtiyacı, hafıza kapasitesi, modellemede kullanılan üst seviyeli programlama dillerinin ve sonuçları uygun formatta işleyebilecek gelişmiş grafik çizim programlarının seçimi olarak sıralanabilir.

Sonlu elemanlar yaklaşımıyla sayısal çözüm;

Kısmi diferansiyel denklemlerin sayısal çözümünde öncelikle tercih edilen yöntemler sonlu elemanlar metodu ya da sonlu elemanlar yöntemi olarak adlandırılır. Bu yöntemlerin uygulanması için öncelikle basit yaklaşım fonksiyonları oluşturulması gerekir (Şekil 2.1). Kullanılan bu teknik ile akustik, katı ve sıvı mekaniği, ısı transferi, elektromanyetizma, biyomekanik, gibi birçok farklı alanda problemler çözülebilmekte ve doğru sonuçlar alınabilmektedir.



Şekil 2.1. Sonlu Eleman Modeli

- Karmaşık sınır koşullarına sahip sistemlerde,
 - Düzgün olmayan geometriye sahip sistemlerde,
 - Kararlı hal, zamana bağlı ve özdeğer problemlerinde,
 - Lineer ve lineer olmayan problemlerde,
- uygulanabilir.

Elektronik sanayinde çalışan mühendisler ve tasarımcılar elektronik parçaların büyük kısmı için yapısal parametreleri özellik ve ısıl inceleme yapmak için analitik çözümleri büyük oranda kullanabilir. Burada bahsedilen elektronik elemanlar farklı ısı ve titreşim ortamında yüksek doğrulukta çalışması gereken elemanlardır. Özellikle bu tür uygulamalarda yüksek doğrulukta analitik araçların kullanılması çok önemlidir. Deneyimli mühendis ve tasarımcıların analitik çözümler için kullandığı 3 önemli metot vardır. Elle hesaplamalar, sonlu farklar metodu ve sonlu elemanlar metodu basit problemlerin yaklaşık çözümleri için elle hesaplama etkili olabilir. Bilgisayar modellerinden elde edilen sonuçlar alınırken hata oranlarının sonlu farklar metodu analitik çözüm için çok güçlü bir metottur. Özellikle elektronik sistemlerdeki ısıl problemlerde sürekli ve geçici modellerin çözümü için bu yöntem kullanılmaktadır. Model birbirine bağlı birçok ağ noktasından oluşarak problem sisteminin gerçek geometrisini oluşturur. Geçici rejim problemleri sıcaklık zaman direnç gibi birçok değişkene bağlıdır. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde güç istasyonu temelli bilgisayarın kullanılması gerekir.

Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları;

- Geometrisi karmaşık şekillerin incelenmesine olanak sağlar.

Gerektiğinde bazı alt bölgelerde daha hassas hesaplamalar yapılabilir,

- Değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde kolaylıkla uygulanabilir.

Örneğin, anizotropi, nonlineer, zamana bağlı malzeme özellikleri gibi malzeme özellikleri dikkate alınabilir,

- Cismin geometrisinde basitleştirme yapma ihtiyacı duyulmaz,

• Sistemin temel denklemleri kurulduktan sonra sınır koşulları, oldukça basit satır sütun işlemleriyle denklem sistemine dahil edilebilir.

• Matematiksel olarak genelleştirilebilir ve çok sayıda problemi çözmek için aynı model kullanılabilir,

- Yöntemin hem matematiksel anlamı hem de fiziksel temeli mevcuttur,

• Mühendislik uygulamalarında kullanılabilecek birçok yazılım mevcuttur (Fortrankodları, ABAQUS, ANSYS, Nastran, Patran, Marc vs.)

Sonlu Elemanlar Yönteminin Dezavantajları; • Bazı problemlere uygulanmasında bazı zorluklar (sınır koşulları, ayırıklaştırılma vs.) vardır,

• Elde edilen sonucun doğruluğu verilerin ve uygulanan yöntemin doğruluğuna bağlıdır,

- Kabul edilebilir doğru sonucun elde edilmesi için bölgenin ayrıklaştırılması (mesh)deneyim gerektirir,

- Diğer yaklaşık yöntemlerde olduğu gibi, Sonlu Elemanlar Yöntemi ile elde edilen sonucun doğruluğu üzerinde dikkat edilmeli ve fiziksel problem iyi incelenmeli ve sonuç ona göre test edilmeli ve yorumlanmalıdır.

Sonlu hacim yaklaşımıyla sayısal çözüm;

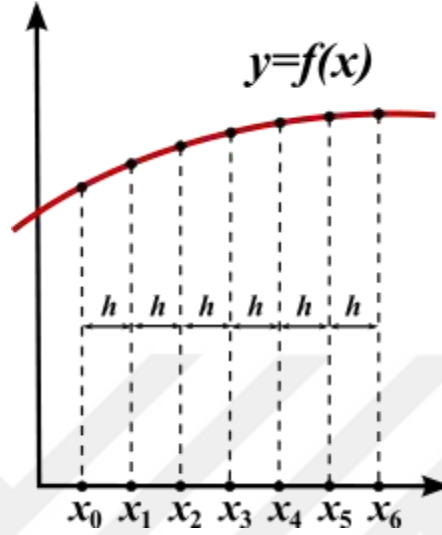
Sonlu hacimler yöntemi, sonlu elemanlar yöntemine benzer olarak çözülecek geometriyi parçalara ayırarak yani bölerek bu parçaların her biri için çözüm yapma ve daha sonra bu çözümleri birleştirerek problemin genel çözümünü bulma ilkesine dayanır. Enerji denge yaklaşımını kullanarak bir düzlem duvarda ısı iletiminin sonlu fark formülasyonu türetilmekte ve elde edilen denklemlerin nasıl çözüleceği tartışılmaktadır. Sonlu hacim yöntemi ortamın yeterli sayıda hacim elemanına bölünmesi ve daha sonra her elemana enerji dengesinin uygulama esasına dayanır. Sonlu hacimler yönteminde de sonlu elemanlar yöntemine benzer olarak sonlu farklar metodu temel olarak alınmıştır. Ancak gelişmişlik olarak sonlu farklar yönteminden oldukça hassastır. Sonlu elemanlardan farklı olarak bu yöntem akış denklemlerini sayısal olarak çözülebilecek cebirsel denklemlere dönüştürmek için kontrol hacmini esas alan bir teknik kullanır. Yani bu teknik, akış denklemlerinin integrasyonunu her kontrol hacminde alma ilkesine dayanır. Bu integrasyon sonucu her bir kontrol hacmini karakterize eden denklemlerin ortaya çıkmasını sağlar. Sonlu hacim, her bir örgü üzerindeki her bir düğüm noktasını çepeçevre saran ufak hacimli yapıya denir.

Sonlu hacimler yöntemi, kısmi diferansiyel denklemlerin cebirsel denklemler ile çözülmesidir. Sonlu farklar yöntemine oldukça benzerdir. Sonlu hacimler yöntemi kısmi diferansiyel denklemlerde sapma terimi içeren hacim integralleri, sapma teoremi (divergence theorem) ile yüzey integrallerine dönüştürülmektedir. Bu terimler, her bir sonlu hacmin yüzeylerindeki akışlar olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntem, özellikle hesaplamalı akışkanlar mekaniği problemlerinde kullanılmaktadır.

Sonlu farklar yaklaşımıyla sayısal çözüm;

Sayısal yöntemlerden biri de sonlu farklar metodudur. Çözümde sonlu fark denklemlerinden faydalanır. Diferansiyel denklemlerin analitik çözümlerine bu denklemler ile yaklaşılr. Oluşan hata, denklemin gerçek analitik çözümü ile gerçek çözüme yapılan yaklaşma arasındaki farka eşittir. Sonlu farklar yönteminde temel iki hata türü vardır;

yuvarlama hatası ve kesme hatası. Yuvarlama hatasına kesinliğin azalması denir. Kesme hatasında yuvarlama hatası sıfırdır, sonlu fark denkleminin gerçek çözümü ile gerçek çözüme yapılan yaklaşım arasındaki farka eşittir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. $y=f(x)$ doğrusu

Belli bir problemi çözmede sonlu farklar yöntemi kullanmak için, önce problemin tanım kümesine karar vermek daha sonra tanım kümesini ayırklaştırmak gerekir. Ayırklaştırma, genelde, tanım kümesini eşit parçalara bölerek yapılır.

$$f'(x_0) \cong \frac{f(x_0+h)-f(x_0)}{h} \quad (2.1)$$

$$\frac{f(x_0+h)-f(x_0)}{h} = f'(x_0) + \frac{h}{2}f''(x_0) + \frac{h^2}{6}f'''(x_0) + \dots \quad (2.2)$$

Sınır eleman yaklaşımıyla sayısal çözüm;

Elektrik alan denklemlerinin çözümü için farklı bir yaklaşım kullanır. Bu yöntemle Sınır elemanları yöntemi denir. Sınır elemanları yöntemi ile elde edilen sonuçlar analitik çözüme en yakın sonuçlardır.

2.3. Temel Denklemler

Isıl taşınımın etkili olduğu akışkan hareketini iki boyutlu kartezyen koordinatlarda incelemek için sayısal çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu tür problemlerde hesaplanması gereken üç parametre vardır. Bunlar; basıncı hız ve sıcaklıktır. Bu parametreleri hesaplayabilmek için kütle korunumu (süreklilik), momentumun korunumu (Newtonun 2. Yasası) ve enerjinin korunumu (Termodinamiğin 1. Yasası) denklemleri kullanılır. Bu denklemler bu tür problemlerde sırasıyla Süreklilik, Navier-Stokes ve enerji denklemi olarak adlandırılır. Sayısal çözüm 2 boyutlu yapılacak olup sabit akışkan özellikleri için ve Newtonsal akışkan kabulüyle gerçekleştirilmiştir. Elektrohidrokinamik (EHD) akışkan hareketi, elektrik ile akış alanı arasındaki etkileşimle gerçekleşir. Elektriksel potansiyel farkı dielektrik bir akışkana uygulandığında, akışkan içerisinde elektriksel bir alana neden olur [31-34]. Bu akışı hesaplayabilmek için Navier-Stokes denkleminin EHD teriminin eklenmesi gerekir. Bu durumda elde edilen yönetici denklemler sırasıyla;

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = 0 \quad (2.3)$$

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \gamma \left[\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right] + \frac{F_e}{\rho} \quad (2.4)$$

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} = \frac{k}{\rho C_p} \left[\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial y^2} \right] + \frac{Q_e}{\rho C_p} \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemler sırasıyla süreklilik, EHD terimli momentum ve enerji denklemdir. Ayrıca problem geometrisinde elektrik alanını hesaplamak için elektrik alan denkleminin de ihtiyacı vardır [35].

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = -\frac{q}{\epsilon_0} \quad (2.6)$$

2.4. Denklemlerin Boyutsuzlaştırılması

Boyutsuzlaştırma işlemi sayısal çözümlemelerde, hesaplamaların daha kolay yapılması ve çözümün genelleştirilmesi adına büyük önem taşımaktadır. Buna göre; (2.1)-(2.3) denklemlerini boyutsuz formda kullanabilmek için, aşağıda verilen boyutsuz ifadeler aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$X = \frac{x}{L}, Y = \frac{y}{L}, u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}, \psi = \Psi \alpha$$

(2.7)

$$\theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, Ra = \frac{g \beta (T_h - T_c) L^3}{\nu^2} \quad (2.8)$$

$$AR = \frac{H}{L}, c_L = \frac{c_L'}{L}, h_L = \frac{h_L'}{L}, d = \frac{d'}{H} \quad (2.9)$$

$$E = \frac{\epsilon}{\vartheta}, E_H = \frac{\epsilon_H}{\vartheta}, F = \frac{L \rho_{ion} E_i}{u_r^2 \rho} \quad (2.10)$$

olabilir.

İki boyutlu bir akış için sırasıyla akım ve girdap formülasyonu;

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2.11)$$

$$\omega = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir.

Boyutsuz ifadeler kullanılarak akım-girdap formülasyonlu yönetici denklemler şu şekilde yazılabilir aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$-\omega = \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) \quad (2.13)$$

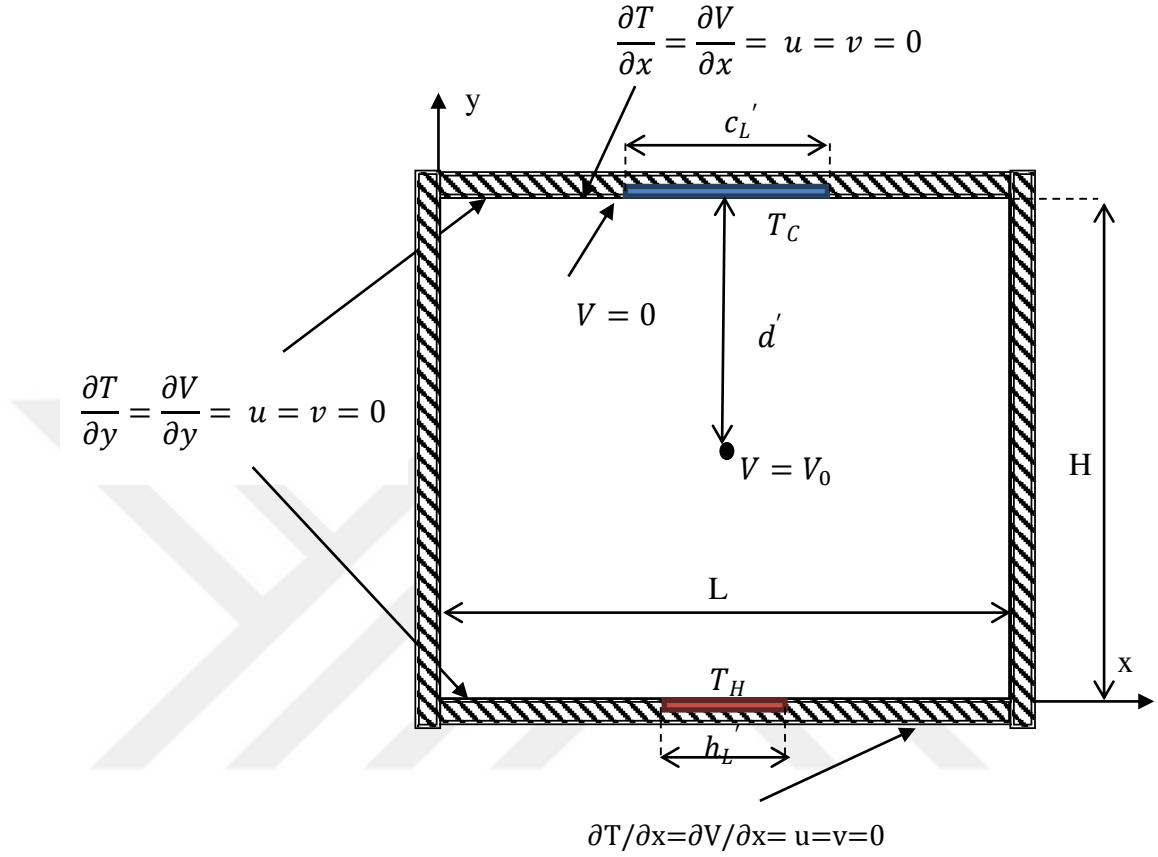
$$\frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) + \beta g \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial q}{\partial x} - \frac{\partial E}{\partial x} \frac{\partial q}{\partial y} \right) \quad (2.14)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] + \frac{\sigma_e E^2}{\rho c_p} \quad (2.15)$$

Sınır Şartları;

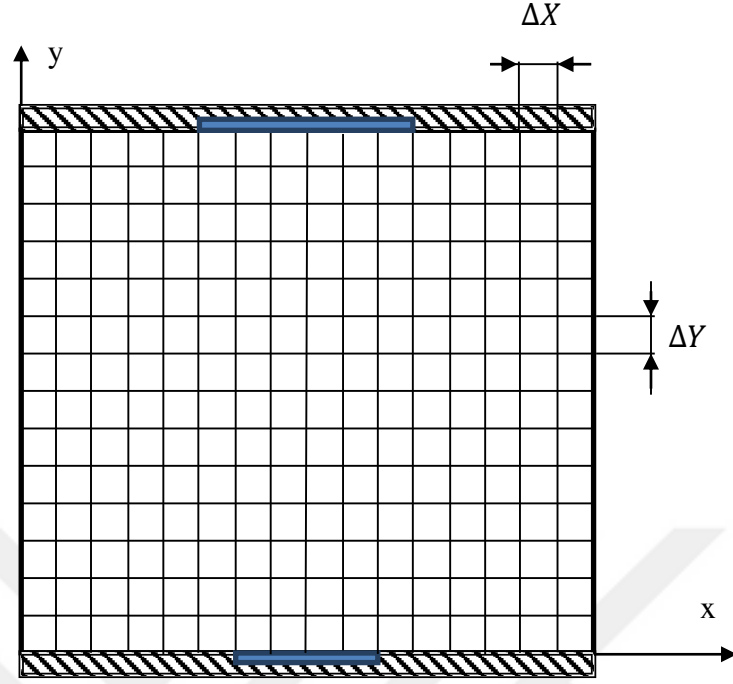
Problem geometrisi ve sınır şartları Şekildeki gibidir. Dikdörtgen şeklindeki geometrinin tüm yüzeyleri yalıtımlı olup üst yüzeyinin tamamı ground elektrot olup gerilimsizdir. Kanalin tam orta noktasında “r” yarıçaplı point elektrot referans gerilimine sahiptir. Kanalin üst yüzeyinin bir kısmı soğuk, alt yüzeyinin bir kısmı se sıcak olup bunların

oranı kanal enine göre değişmektedir. Ayrıca ground-point elektrot mesafesi de kanal yüksekliğine orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 2.3. Problem geometrisi

Sayısal çözümlemelerde, kullanılan yönetici denklemler problem geometrisi uygun grid aralıklarına bölünerek her bir noktaya uygulanarak çözüm yapılır. Bu amaçla iki boyutlu çözüm için aşağıdaki şekilde gösterilen grid yapısı kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Grid Dağılımı

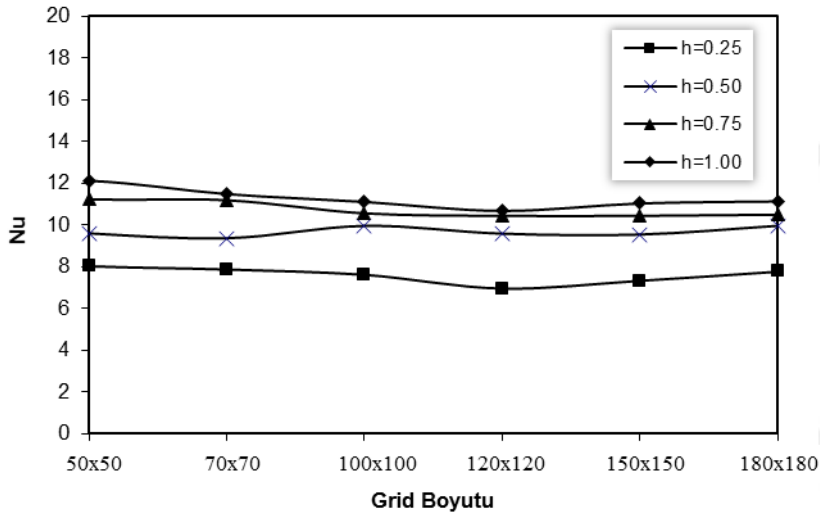
“Sonlu Farklar Yöntemi” Diferansiyel denklemleri cebirsel denklemlere dönüştürmek için kullanılan farklı yöntemlerden biri olup bu tez çalışmasında da bu yöntem kullanılmıştır.

2.5. Çözüm Algoritması

Sonlu farklar yöntemiyle elde edilen cebirsel denklemler her bir grid noktasına uygulanmıştır. Bu durumda grid noktası kadar denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımlarındaki bilinmeyen parametreleri (Hız, basınç, sıcaklık gibi) hesaplayabilmek için denklem takımları için kullanılan çözüm yöntemlerinden Gauss-Siedel tekraralama yöntemi kullanılmıştır. Tekrarlama yöntemlerinde istenilen hassasiyete ulaşıncaya kadar işlemler tekrarlanır. Bu metot diğer metotlara göre daha hızlı yakınsadığı için seçilmiştir. Bu metotta hesaplanan değişkenin yeni değerinden eski değeri çıkarılır ve belirli bir relaksiyon faktörü ile çarpılır, eski değerine eklenir.

$$T^1 = T^0 + r(T^{\text{hesaplanan}} - T^0) \quad (2.16)$$

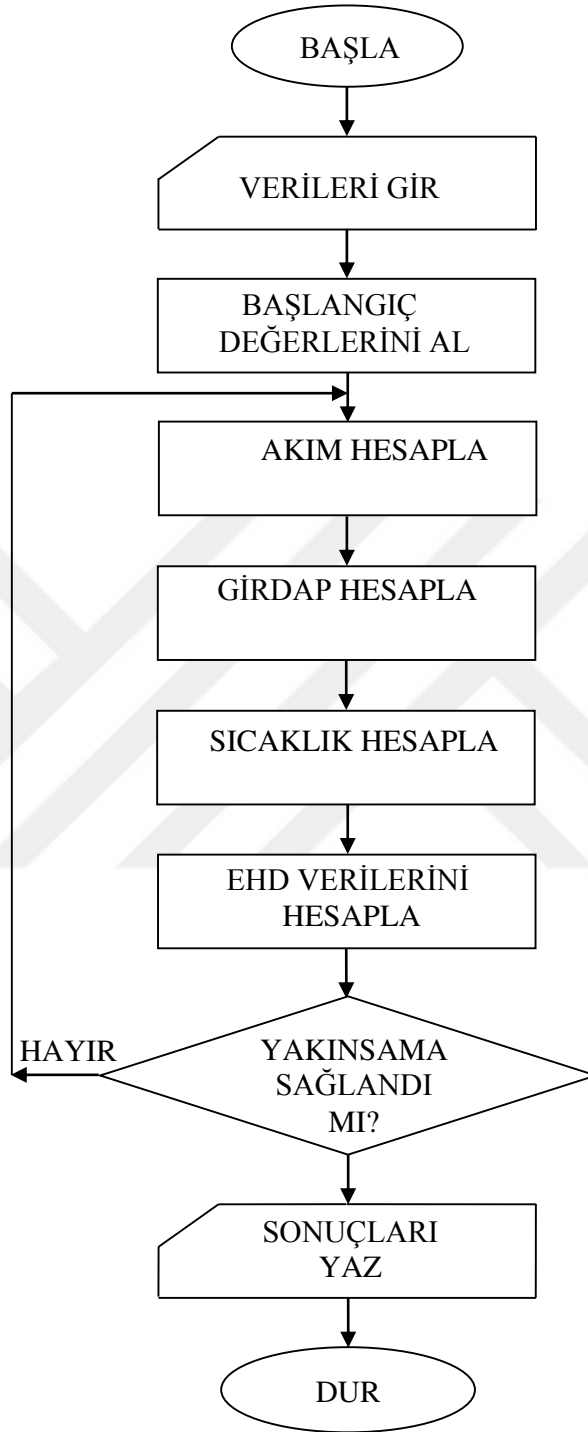
Burada T^0 , değişkenin eski değeri, $T^{hesaplanan}$ hesaplamalar sonucunda bulunmuş değeri, T^1 bir sonraki adımda kullanılacak yeni değeri, r ise relaksasyon faktörüdür. Eğer r değeri birden küçük seçilirse yöntemim adı Under Relaxation olur ($r < 1$). Cebirsel denklemler çözülürken yakınsama kriteri olarak 5×10^5 seçilmiş ve tüm bağımlı değişkenler için relaksasyon parametresi 0.15 alınmıştır. X ve Y yönünde eşit grid dağılımı kullanılmış ve yapılan testler neticesinde 100×100 grid boyutunun yeterli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Nusselt sayısının $Ra=5 \times 10^5$ değeri için farklı grid değerlerinde değişimi

Tüm cebirsel denklemlerin çözümü için yukarıda açıklanan yöntem kullanılmıştır. Her düğüm noktasında yeni hesaplanan değerler ile bir önceki değerleri karşılaştırılarak, aralarındaki fark belirli bir toleransın (yakınsama toleransı) altına düşünceye kadar işlemler tekrarlanmıştır.

Her bir grafik sonuçları için farklı Fortran programları hazırlanmıştır. Şekil 2.6' de tüm Fortran programlarında kullanılan işlem sırasına ait akış şeması gösterilmiştir.

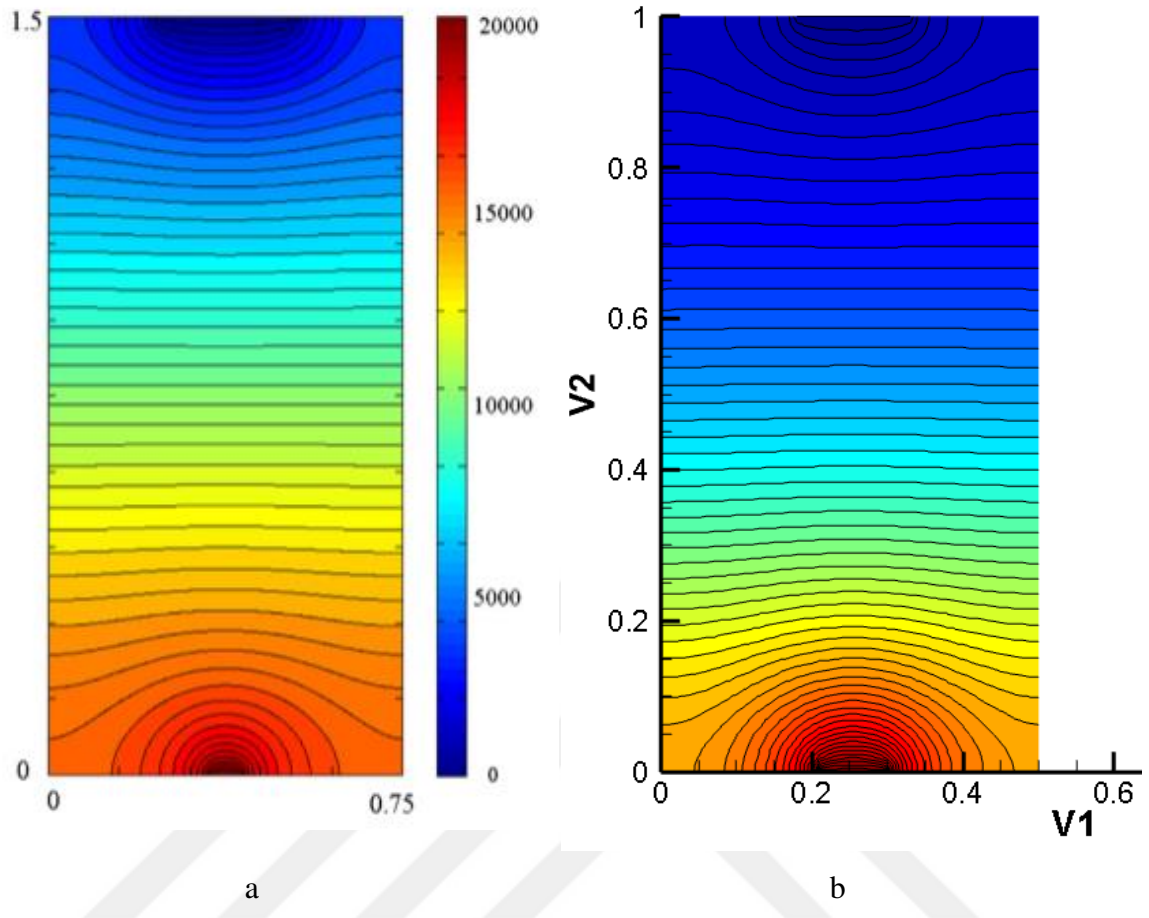


Şekil 2.6. Fortran programlarının akış şeması

2.6. Literatür İle Karşılaştırma

Sayısal çalışma için hazırlanan modelin ve çözüm algoritmasının kontrolü amacıyla literatürde bu alanda yapılan çalışmalardan biri tercih edilmiştir. Çalışmanın doğruluk kontrolü için seçilen literatür çalışmasının hem deneysel hem de sayısal bir çalışma olmasına ayrıca son yıllarda yapılmış bir çalışma olmasına dikkat edilmiştir. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar önceki bölümde incelenmiştir. EHD akışının olduğu sayısal çalışmalar çok azdır. Bunun yanında hem deneysel hem de sayısal olan çalışma yok denecek kadar azdır. Lakeh ve Molki'nin yaptığı çalışma laminar iç akışın olduğu EHD ve taşınım ile ısı transferinin incelendiği deneysel ve sayısal bir çalışmadır. Çalışmada iki paralel plaka arasındaki akış incelenmiştir. Plakaların alt ve üst yüzeylerine yerleştirilen uzunlamasına elektriksel kaynaklarla ikincil elektriksel akış hareketi sağlanmıştır. Tam gelişmiş akış alanında corona deşarjı oluşturularak sonuçlar alınmıştır. Elde edilen deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmamız için hazırladığımız ilk problem geometrisi ve şartları Lakeh ve Molki'nin yaptığı çalışma ile aynıdır. Böylece yapılan çalışmanın doğruluğu teyit edilmeye çalışılmıştır.



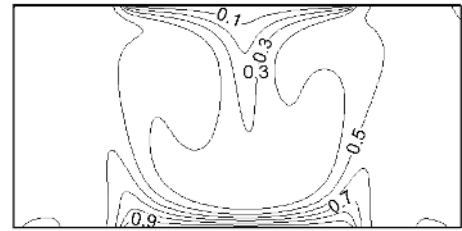
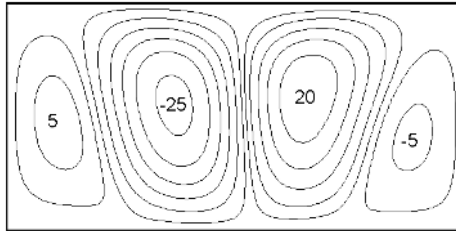
Şekil 2.7. Literatür ile karşılaştırma a) Literatür çalışması [Lakeh, L., Molki, M.19], b) Bizim çalışmamız

3. BULGULAR

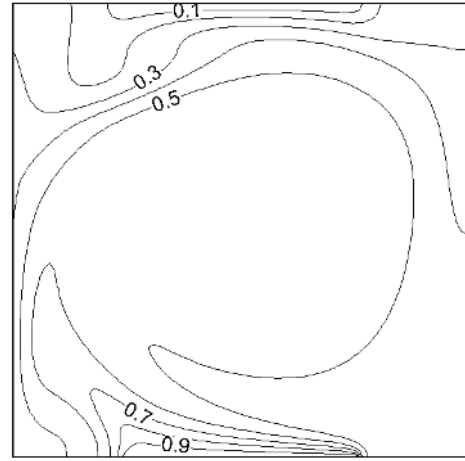
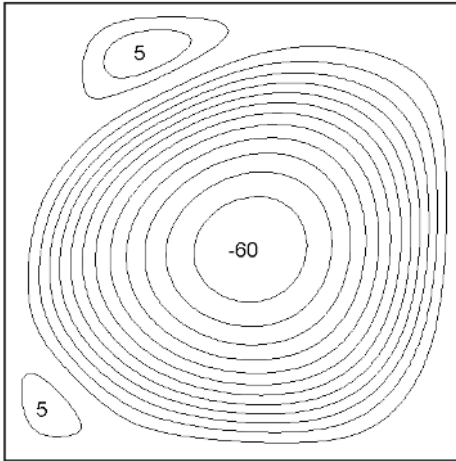
Bu çalışmada bir kanal içerisinde bulunan pozitif ve negatif gerilim nedeniyle akışkan hareketi incelenmiştir. Bu amaçla yazılan algoritma sonucunda elde edilen sonuçlar ile farklı parametrelerin etkisi incelenmiştir. Bu parametreler kanal geometrik oranı, gerilimleri arasındaki potansiyel fark, ısı transferinin etkisiyle oluşan sıcaklık farkı ve point elektrot ile ground arasındaki geometrik değişikliklerdir.

3.1. Geometrik Oranın Etkisi

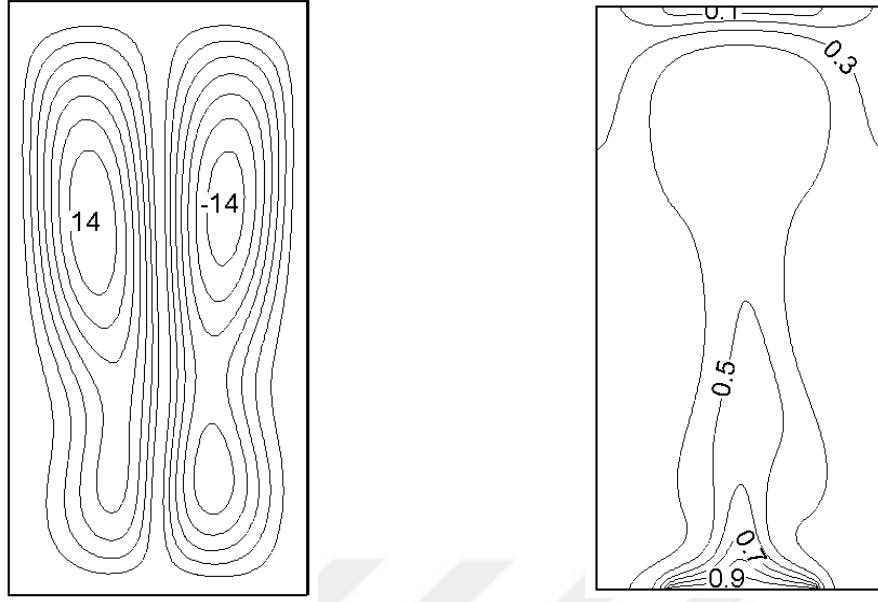
Geometrik oranın etkisini incelemek için farklı geometrik oranlarda ($AR=0.5, 1.0, 2.0$) Rayleigh sayısının 10^6 değeri için elde edilen eş sıcaklık eğrileri, sabit akım çizgileri, şarj yoğunluğu Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bu şekilde sabit tutulan parametreler potansiyel farkın $V_0=10kV$ değeri ve point elektrot ve ground arasındaki en yüksek ($h=1.0$) mesafedir. Ayrıca soğuk ve sıcak yüzeyler 0.5 boyutsuz değerler sahiptir.



a)



b)



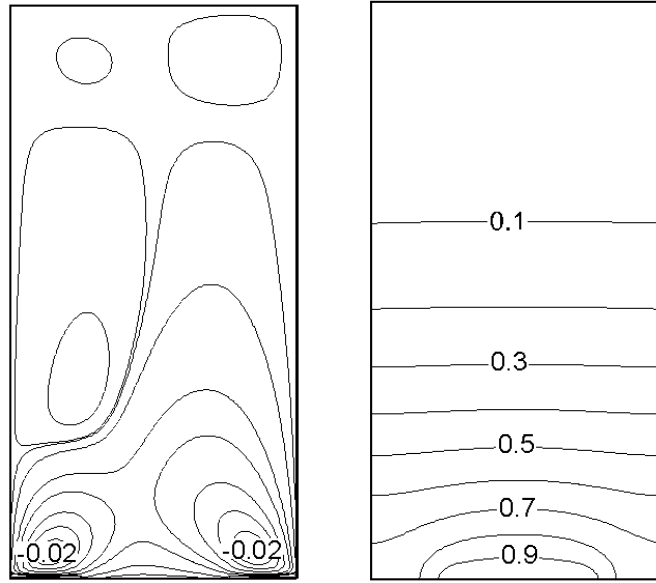
c)

Şekil 3.1. $h_L=c_L=0.5$ ve $Ra=5 \times 10^5$ değeri için sabit akım çizgileri (solda) ve eş sıcaklık eğrileri (sağda) a) $AR=0.5$, b) $AR=1.0$, c) $AR=2.0$

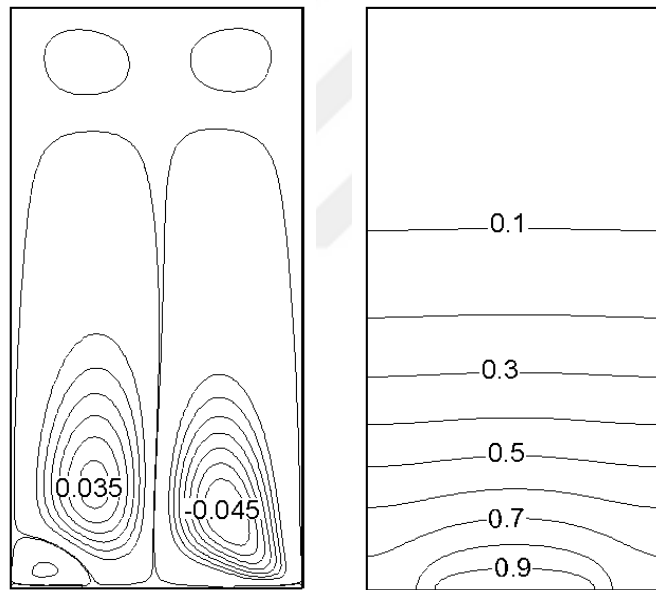
Dar kanalda birbirine simetri dört akış hücresi oluşmuştur. Uzun kanalda ise yine birbirine simetri iki kanal hücresi görülmektedir. Kare kanalda akışkan hareketi bu geometrilerin aksine temel bir akış hücresi oluşurken buradaki akışkan debisi en yüksek debidir. Ayrıca eş sıcaklık eğrilerine bakıldığında yine kare geometride 0.5 boyutsuz değerindeki akışkan bölgesi en geniş bölgedir.

3.2. Rayleigh Sayısının Etkisi

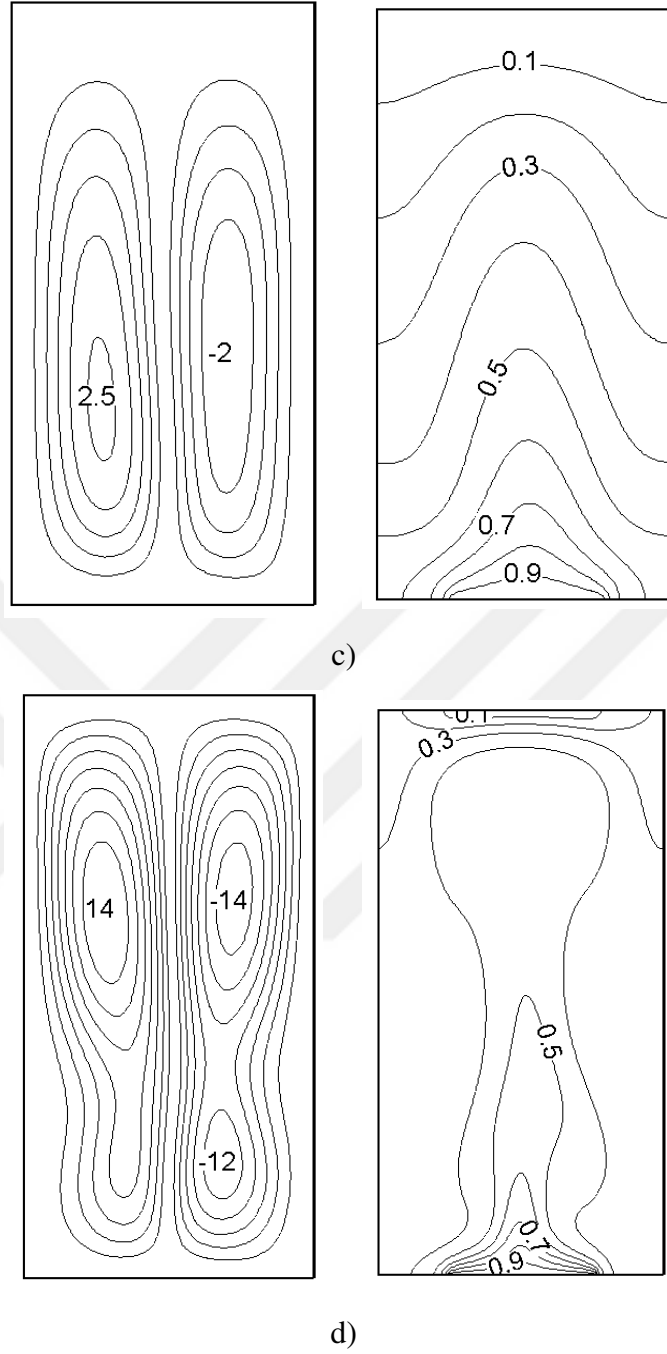
Rayleigh sayısı doğal ısıtaşınımında hesaplanan boyutsuz bir sayıdır ve sıcaklık farkının değişiminden etkilenir. Dolayısıyla Rayleigh sayısının değişimi boyutsuz sıcaklık farkının değişimine bağlıdır. Bu değişimi görebilmek için uzun kanalda ($AR=2.0$) ve ısıtıcı soğutucu uzunluklarının 0.5 boyutsuz değeri için farklı Ra sayılarında sabit akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri çizilmiştir (Şekil 3.2).



a)



b)

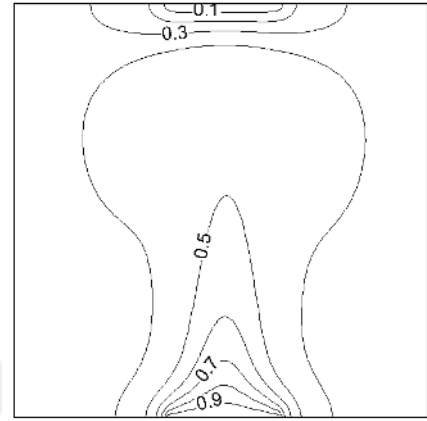
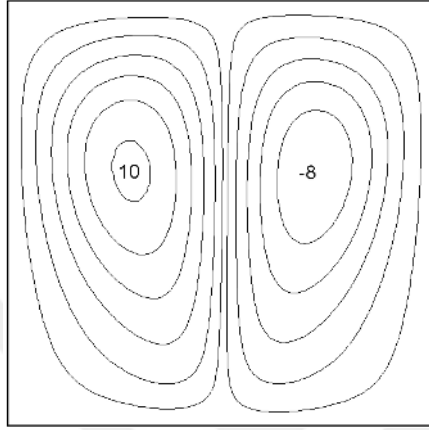


Şekil 3.2. $h_L=c_L=0.5$ ve $AR=2.0$ değeri için sabit akım çizgileri (solda) ve eş sıcaklık eğrileri (sağda) a) $Ra=10^3$, b) 10^4 , c) 10^5 , d) 10^6

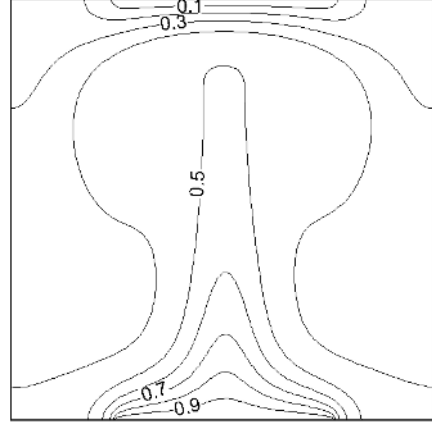
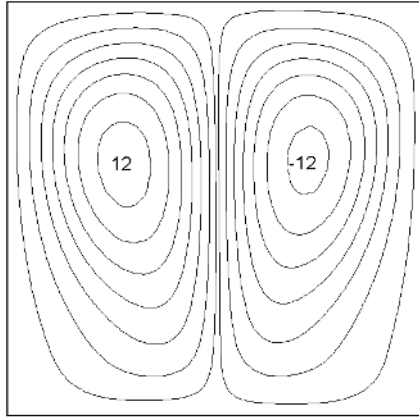
En düşük sıcaklık farkının olduğu Rayleigh sayısında (10^3) iletimin etkili olması nedeniyle birbirine paralel eş sıcaklık eğrileri görülmektedir. Sıcaklık arttıkça bu yapı bozularak neredeyse taşınımın etkili olduğu form görülmektedir. Rayleigh sayısının en üst değeri (10^6) laminar akış sınırındır. Akım çizgileri de bu değişimden etkilenmektedir.

3.3. Isıtıcı ve soğutucu uzunluklarının etkisi

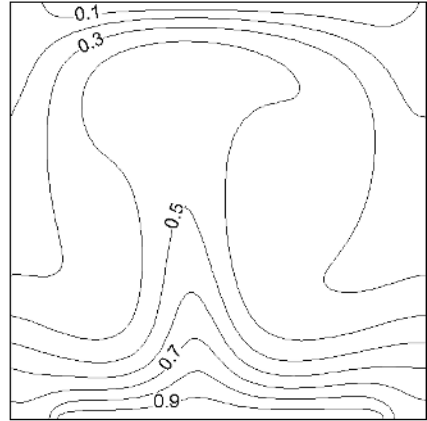
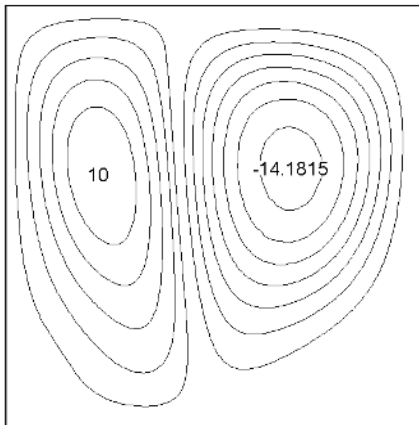
Rayleigh sayısının 10^5 değeri için ve kare geometride ısıtıcı ve soğutucu uzunluğunun akışkan hareketine ve ısı transferine etkisini incelemek için elde edilen sonuçlar Şekil 3.3’de verilmiştir.



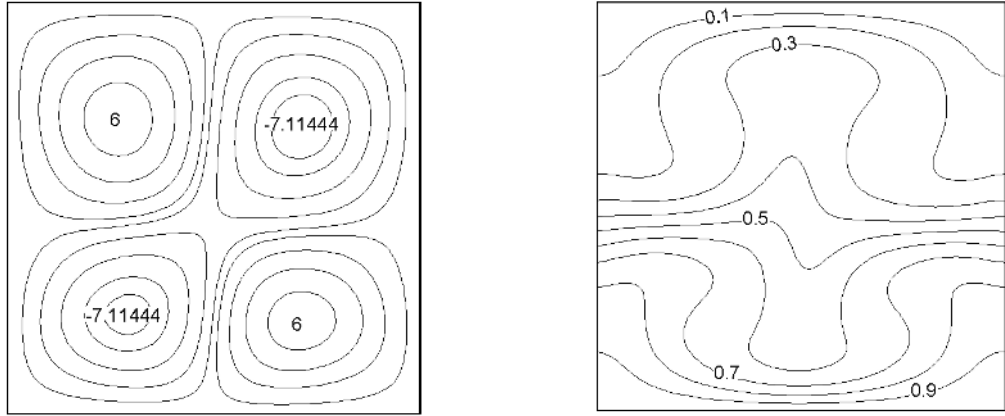
a)



b)



c)



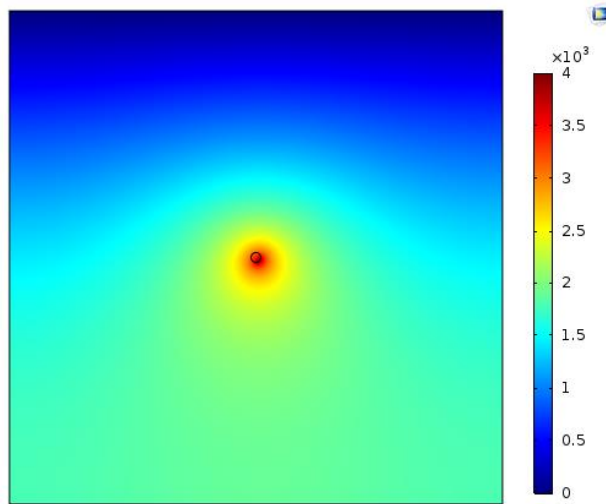
d)

Şekil 3.3. $Ra=10^5$ ve $AR=1.0$ değeri için sabit akım çizgileri (solda) ve eş sıcaklık eğrileri (sağda) a) $h_L=c_L=0.25$, b) $h_L=c_L=0.50$, c) $h_L=c_L=0.75$, d) $h_L=c_L=1.00$

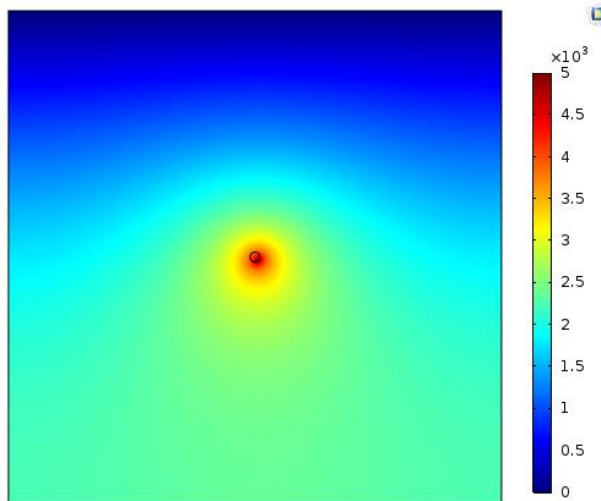
Isıtıcı ve soğutucunun boyutsuz uzunluğu değıştikçe akışkan hareketi ve ısı transferi oldukça değışmektedir. Isıtıcı ve soğutucu boyutu arttıkça akışkan debileri artarken maksimum ısıtıcı-soğutucu boyutunda (Şekil 3.3.d) dört bölgeli akış hücreleri simetrik olarak oluşmuştur. Eş sıcaklık eğrilerine bakıldığında maksimum ısıtıcı-soğutucu uzunluğunda daha homojen bir dağılımın olduğu görölmektedir.

3.4. Potansiyel Farkın Etkisi

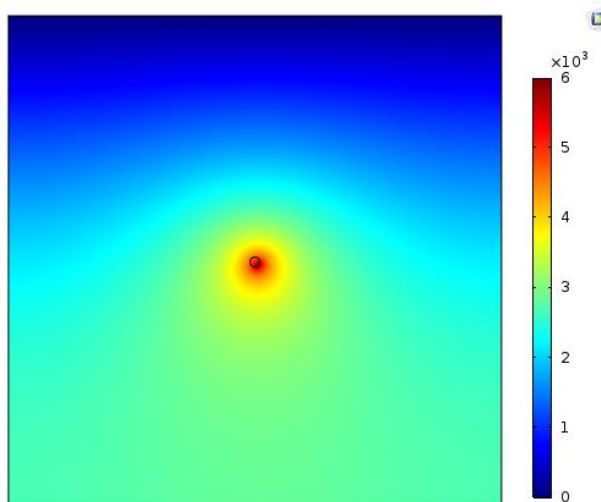
Potansiyel farkın etkisini görebilmek için kanal geometrik oranı $AR=1.0$ 'da sabit tutarak farklı potansiyel fark (V) için aldığımız şarj yoğunluğu grafikleri Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



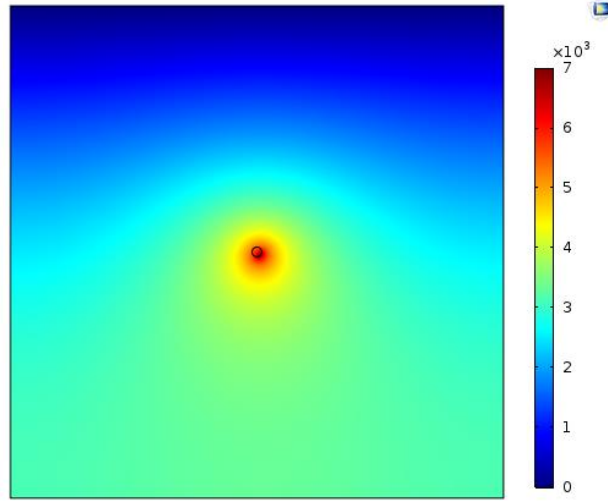
a)



b)



c)



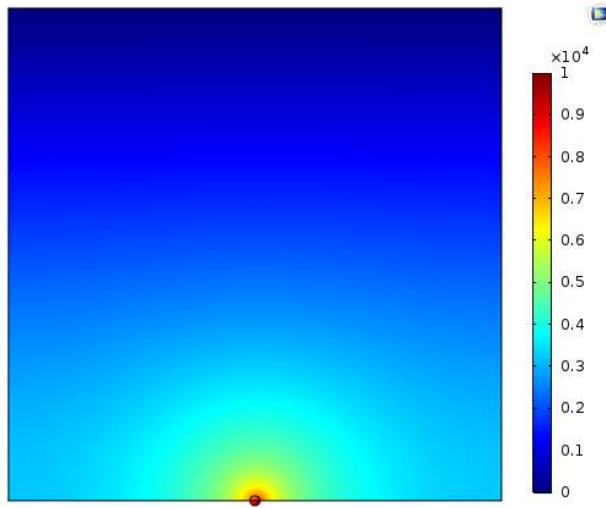
d)

Şekil 3.4. AR=1.0 ve point-ground boyutsuz mesafesi $d=0.5$ için potansiyel fark değişimi
a)4kV, b) 5kV, c) 6kV, d)7kV

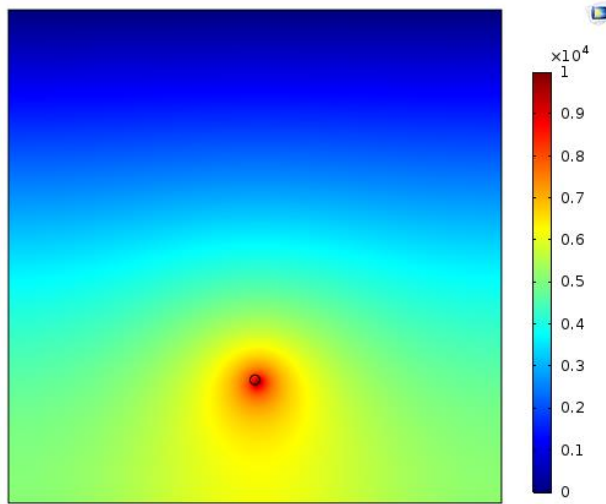
Şekil 3.4'e bakıldığında potansiyel farkın çözüm geometrisinde etkisinin çok düşük olduğu görülmektedir. Tabii ki çözüm geometrisinde yüksek potansiyel farka bağlı yüksek voltaj değerleri görülmekle birlikte bunların dağılımı hep sabit kalmıştır.

3.5. Point-GroundElektrodunun Mesafesinin Etkisi

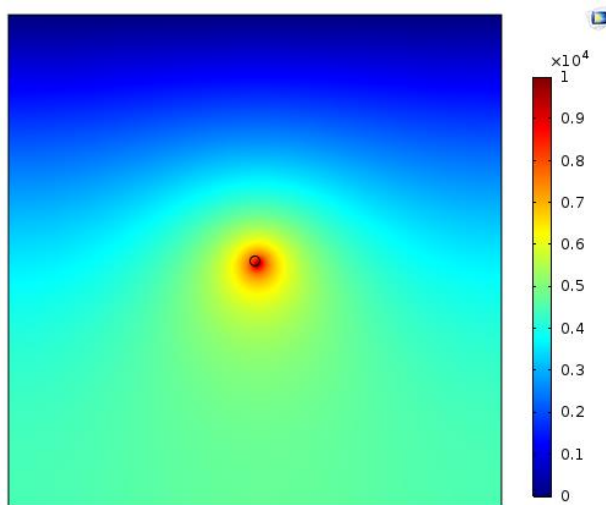
Point-ground elektrotların arasındaki farkın etkisini görebilmek için $V=10\text{kV}$ Potansiyel değerinde kanal geometrik oranı $AR=1.0$ 'da sabit tutarak farklı “d” boyutsuz değerleri aldığımız şarj yoğunluğu grafikleri Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



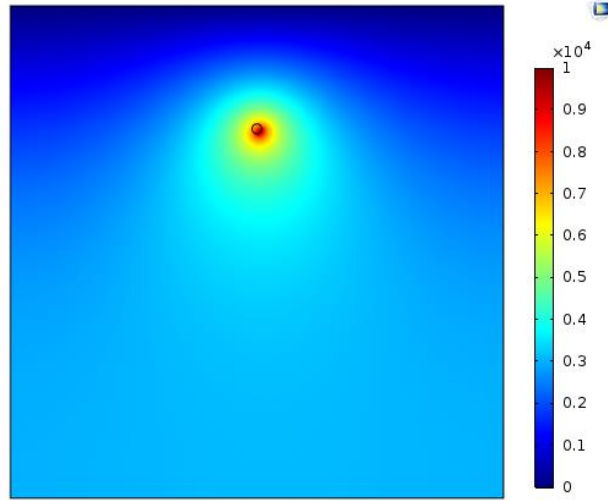
a)



b)



c)



d)

Şekil 3.5. $AR=1.0$ ve potansiyel fark $V=10\text{kV}$ için potansiyel fark değişimi a) $d=1.0$, b) $d=0.75$, c) $d=0.50$, d) $d=0.25$

Point-ground elektrotları arasındaki boyutsuz uzunluğun potansiyel fark değişimine etkisi oldukça fazla olmaktadır. Kare geometri için $d=1$. Durumunda bu iki elektrot kanalın alt ve üst ucunda bulunmaktadır. Bu durumda kanalın büyük bir bölümünde voltaj değeri 5000V 'un altındadır. Point elektrot ground'a yaklaştıkça potansiyel farkın geometri içindeki etkisi daha net görülebilmektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, iyonik rüzgar oluşturarak LED temelli elektronik ekipmanların etkili bir şekilde soğutulmasıdır. Bu amaçla daha çok DC kaynak soğutmasında kullanılan “Corona Deşarjı” kullanılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HED) temelinde hazırlanan yönetici denklem kullanılarak bir ortamdaki ısı kaynağının (LED) iyonik rüzgar kullanılarak soğutulabilmesi için uygun parametre seçimleri yapılmaya çalışılmıştır.

Yapılan sayısal çalışma sonucunda akışkan akışı, ısı transferi ve potansiyel değişime etkisini incelemek için çeşitli parametreler denenmiştir. Bu parametreler kanalın geometrik oranı (AR), boyutsuz Rayleigh sayısı (Ra), ısıtıcı-soğutucu boyutsuz uzunluğu ($h_L=c_L$), potansiyel fark (V) ve point-ground elektrot arasındaki boyutsuz mesafedir (d). Bu parametrelerin etkisini görebilmek için eş sıcaklık eğrileri, sabit akım çizgileri ve potansiyel fark grafikleri çizilmiştir.

Kanal geometrik oranının ve Rayleigh sayısının ısı transferi ve akışkan hareketine oldukça etkisin olduğu görülmektedir. Bu arada ısıtıcı-soğutucu uzunluğunun etkisi en uzun değerde çok etkilidir. Potansiyel farkın etkisi problem geometrisinde görülmezken point-ground elektrotlarının boyutsuz mesafesinin potansiyel değişimine etkisi oldukça fazladır. Özellikle bu iki elektrot birbirine yaklaştıkça etki çok daha fazla olmaktadır.

Gelecekte iyonik rüzgarın etkisini deneysel olarak ölçecek çalışmalar yapılabilir. Günümüzde güç yoğunluğu artan elektrotların soğutulmasında alternatif yöntemlerin geliştirilmesi sektörün geleceği açısından çok önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Büyükbıçakcı, E.**, 2006. Faz değıştirci maddelerin transformatörlerin soğutulmasında kullanılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniv, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Çengel, Y.**, 1997. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik (Ekonomik Baskı). Literatür Yayınları, İstanbul.
- [3] <http://tr.wikipedia.org/wiki/LED>. 20 Temmuz 2016
- [4] http://www.ilayled.com.tr/Led_Nedir.html. 20 Temmuz 2016
- [5] www.damla-led.com/tr/isik-yayan-diyotun-kisa-tarihcesi.html. Damla Led 02 Mart 2015.
- [6] <http://www.geceucusu.com/topic/988-led-tipleri-teknik-ozellikleri-ve-baglanti-sekilleri/>. 20 Temmuz 2016
- [7] <http://www.signgraphic.com.tr/-3-15-nasil-bir-led-baglantis-i-.html>. 10 Haziran 2016
- [8] **Go,D . and Tirumala,R.**, 2012. A New Frontier for Air, *Technical Brief*.
- [9] http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Is%C4%B1%20Transferi.pdf 19 Mayıs 2015
- [10] http://www.bayar.edu.tr/besergil/1_konduksiyonla_isi_transferi.pdf.
- [11] <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/led.htm>. Bilim ve Teknik Dergisi 02 Mart 2015.
- [12] **Jewell-Larsen, N.E., Ran H., Zhang Y., Schwiebert M., Honer, K.A., Mamishev, A.V.**, 2009. Electrohydrodynamic (EHD) Cooled Laptop, *25th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (Semi-Therm)*, 261-266.
- [13] **Koca, A.**, 2002. Elektronik Ekipmanların Soğutulması, *Doktora Semineri*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Elazığ.
- [14] **Robinson,M.**,1962. A history of the ionic wind, *American Journal of Physics*, **30**, 366-372.
- [15] **Soyuyüce, D.**, 2014. Led Aydınlatmada Soğutma Teknikleri ,*Yüksek Lisans Semineri*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [16] **Sarı, A.**, 2000. Bazı yağ asitleri ve ötektik karışımlarının enerji depolayıcı madde olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gaziosman Paşa Ü. Fen Bil. Ens, Tokat.

- [17] **Stuetzer, O.M.**, 1959. İon Drag Pressure Generation, Journal Of Applied Physics , *Journal of Applied Physic*, **30**, 984-994.
- [18] **Yılmaz, S.**, 2008. Soğutma uygulamaları için faz değıştiren maddelerde termal enerji depolama, *Yüksek lisans tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Ens, Adana.
- [19] **Lakeh, L.B. and Molki M.**, 2013. Enhancement of Convective Heat Transfer by electrically-induced swirling effect in laminar and fully-developed internal flows. *Journal of Electrostatics*, **71**, 1086-1099.
- [20] **Erol, Y. ve Balık H.**, 2001. Zaman domeninde sonlu farklar metodu ile tek boyutlu yapılarda elektromanyetik dalga yayılımının simülasyonu, *1. Ulusal Bilişim-Multimedya Konferansı* ,176-193.
- [21] **Yıldırım, S.**, 1999. Yüksek Gerilimli Sistemlerde Elektrik Alanların Sınır Elemanları Yöntemi Yardımıyla incelenmesi, *Doktora Tezi* , Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü, Elazığ.
- [22] **Yıldırım, S. ve Uyar, M.**, 2002 Elektrik Alan Hesaplamalarında kullanılan sayısal çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması, *Eleco 2002*, Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü Fırat Üniversitesi, Bursa.
- [23] **Kasayapanand, N.**, 2009. A computational fluid Dynamics modeling of natural convection in finned enclosure under electric field, *Applied Thermal Engineering*, **29**, 131-141.
- [24] **Ghazanchaei, M. and Adamiak, K.**, 2015. Predicted flow characteristics of a wire-nonparallel plate type electrohydrodynamic gas pump using the Finite Element Method, *Journal of Electrostatics*, **75**, 103-111.
- [25] **Nasirivatan, S. and Kasaeian, A.**, 2015., Performance optimization of solar chimney power plant using electric/corona wind, *Journal of Electrostatics*, **78**, 22-30.
- [26] **Wang, J. and Liu, Q.**, 2016. Experimental study of high power LEDs heat dissipation based on corona discharge, *Applied Thermal Engineering*, **98**, 420-429.
- [27] **Kasayapanand, N. and Kiatsiriroat, T.**, 2005. EHD enhanced heat transfer in wavy chanel, *International Communications in Heat and Mass Transfer* , **32**, 809-821.
- [28] **Kasayapanand, N.**, 2007. Electrode arrangement effect on natural convection, *Energy Conversion and Management* , **48**, 1323-13330.
- [29] **Kasayapanand, N.**, 2008. Electrohydrodynamic enhancement of heat transfer in vertical fin array using computation fluid dynamics technique, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **35**, 762-770.

- [30] **Vatan, S.N. and Nia E.S.**, 2014. Empirical correlation for performance evaluation of electric/corona wind on natural convection, *Journal of Electrostatics*, **72**, 82-90.
- [31] **Kasayapanand, N.**, 2008. Enhanced heat transfer in inclined solar chimneys by electrohydrodynamic technique, *Renewable Energy*, **33**, 444-453.
- [32] **Kasayapanand, N.**, 2007. Numerical modeling of natural convection in partially open square cavities under electric field, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **34**, 630-643.
- [33] **Kasayapanand, N.**, 2007. Numerical modeling of the effect of number of electrodes on natural convection in an EHD fluid, *Journal of Electrostatics*, **65**, 465-474.
- [34] **Kasayapanand, N. and Kiatsiriroat, T.**, 2007. Numerical modeling of the electrohydrodynamic effect on natural convection in vertical channels, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **34**, 162-175.

ÖZGEÇMİŞ

Fehime Dilek SOYUYÜCE 13 Ağustos 1979 yılında Gaziantep’de doğdu. İlköğretim ve ortaöğretimini Elazığ’da tamamlayarak 1998 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans eğitime başlamıştır. 2003 yılında aynı bölümden Elektrik-Elektronik Mühendisi unvanını alarak mezun olmuştur. 2005 yılında açmış olduğu proje ofisinde 2010 yılına kadar çalışmıştır. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği A.B.D ‘da yüksek lisans eğitime başlamıştır. Evli ve iki çocuk annesi olan Fehime Dilek SOYUYÜCE halen eğitime devam etmektedir.