İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK CİHAZLI KABİNETİN AEROTERMAL TASARIMI

Anabilim Dalı: Mühendislikte İleri Teknolojiler

Programı: Uçak Mühendisliği

Y. Lisans Tezi

Resul AÇIKYOL

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Fırat Oğuz EDİS

Ekim 2007

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda teknik konulardaki yardımlarından, Hesaplamalı Mühendislik Laboratuvarı'nı (HEMLAB) kullanıma açarak yaptığı teknolojik yardımlarından ve lisans-yüksek lisans eğitimim boyunca danışmanlığımı yapmasından dolayı Fırat Oğuz EDİS'e, tez bildirisinin yazım aşamasındaki katkılarından dolayı Bayram ÇELİK ve Evren ÖNER'e teşekkür ederim.

Kasım 2007 **Resul AÇIKYOL**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii
TABLO LİSTESİ iv
ŞEKİL LİSTESİ v
ÖZET vi
SUMMARY vii

1. GİRİŞ 1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Tanımı 1

2. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE AKIŞ MODELLEMESİ 3

3. KABİNET TASARIMINDA HAD AŞAMASI 6
3.1 Yapılan kabuller 6
3.2 Sistem modellemesi 7
3.2.1 Gözenekli giriş modellemesi 8
3.2.2 Alt sistem ısı kaynaklarının modellenmesi 9
3.2.3 Fanların modellenmesi 10
3.3 Ağ örgüsünün oluşturulması 12
3.4 Çözüm aşaması 15
3.5 Ardişleme 16

4. TASARIM PARAMETRELERİNİN ÇEŞİTLENMESİ ve SONUÇLAR 18
4.1 Giriş alanı yeri – büyüklüğü 23
4.2. Kabinet fanı gücü – yeri 26
4.3 Ayırıcı levha 35
4.4 Tatminkar tasarımlar 37
4.5 Cihaz içi basitleştirmelerin değerlendirilmesi 38

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER 44

6. KAYNAKLAR 46

7. ÖZGEÇMİŞ 47

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1 **:** LES ve DNS için farklı Reynolds sayılarında gerekli çözüm ağı sayısı..... 5
Tablo 3. 1 **:** Elektronik cihazlardan ortaya çıkan ısı miktarları..... 9
Tablo 4. 1 **:** Analizi yapılan tasarım önerilerinde kullanılan tasarım seçenekleri..... 21
Tablo 4. 2 **:** Kabinet havalandırma tasarım önerileri ve bu öneriler için kabinet çıkışında ve cihaz girişlerinde hesaplanan ortalama sıcaklık artışları..... 22
Tablo 4. 3 **:** Giriş alanı konumunun etkisi..... 26
Tablo 4. 4 **:** Egzoz fanı konumunun sıcaklık artışına etkisi..... 35
Tablo 4. 5 **:** Levha-1 ve levha-1 ile levha-2 kullanıldığı durumda alınan sonuçlar..... 36
Tablo 4. 6 **:** Levha-1 ve levha-1 ile levha-3 kullanıldığı durumda alınan sonuçlar..... 37
Tablo 4. 7 **:** En uygun cihaz giriş sıcaklığı elde edilen tasarım önerileri..... 38
Tablo 4. 8 **:** Kabinet analizi ve yalnız cihaz analizi sonucunda sıcaklık artışları..... 41

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1 **:** Kabinet arkadan görünüşü ve cihaz numaralandırmaları..... 2
Şekil 3. 1 **:** Hava giriş ve çıkışının olduğu kabinet sistemi..... 7
Şekil 3. 2 **:** Filtre basınç kaybı – hız eğrisi..... 8
Şekil 3. 3 **:** Gözenekli giriş konumlandırması..... 8
Şekil 3. 4 **:** Isı kaynaklarının havalandırma kanalları içindeki yerleşimleri... 9
Şekil 3. 5 **:** Cihaz-1 ve cihaz-3 fan konumları..... 10
Şekil 3. 6 **:** Cihaz 2 fanlarının konumu..... 11
Şekil 3. 7 **:** Cihaz fanları basınç-hız eğrileri..... 12
Şekil 3. 8 **:** Kabinet için geliştirilmiş çözüm ağı..... 14
Şekil 3. 9 **:** Cihaz girişlerinde yoğunlaştırılmış çözüm ağı..... 14
Şekil 3. 10 **:** Cihaz-1 girişine yönlenen hava..... 17
Şekil 3. 11 **:** Cihaz-3 girişine yönlenen hava..... 17
Şekil 4. 1 **:** Kabinet giriş alanı için seçilen alternatifler..... 18
Şekil 4. 2 **:** Kabinet için seçilen egzoz fan yerleşimleri..... 19
Şekil 4. 3 **:** Kabinet içine yerleştirilen ayırıcı levhalar..... 20
Şekil 4. 4 **:** İki farklı giriş örneğinde cihaz-3 girişine yönlenen hava..... 24
Şekil 4. 5 **:** İki farklı giriş örneğinde cihaz-2 girişine yönlenen hava..... 24
Şekil 4. 6 **:** İki farklı giriş örneğinde cihaz-1 girişine yönlenen hava..... 25
Şekil 4. 7 **:** Cihaz girişlerinde sıcaklık eşyüzeyleri..... 25
Şekil 4. 8 **:** Cihaz-1 çıkışından yönlenen hava..... 27
Şekil 4. 9 **:** Cihaz-3 çıkışından yönlenen hava..... 27
Şekil 4. 10 **:** Cihaz-3 çıkışından yönlenen hava..... 28
Şekil 4. 11 **:** Cihaz-1 girişine yönlenen hava..... 28
Şekil 4. 12 **:** Cihaz2 girişine yönlenen hava..... 29
Şekil 4. 13 **:** Cihaz-3 girişine yönlenen hava..... 29
Şekil 4. 14 **:** Cihaz girişlerinde eş sıcaklık yüzeyleri..... 30
Şekil 4. 15 **:** Cihaz girişlerini dik kesen düzlemde sıcaklığa göre renklendirilmiş hız vektörleri..... 30
Şekil 4. 16 **:** Cihaz-1 çıkışından yönlenen hava..... 31
Şekil 4. 17 **:** Cihaz-1 girişine yönlenen hava..... 31
Şekil 4. 18 **:** Cihaz-2 girişine yönlenen hava..... 32
Şekil 4. 19 **:** Cihaz-2 çıkışından yönlenen hava..... 32
Şekil 4. 20 **:** Cihaz-3 girişine yönlenen hava..... 33
Şekil 4. 21 **:** Cihaz-3 çıkışından yönlenen hava..... 33
Şekil 4. 22 **:** Cihaz girişlerinde sıcaklık konturları..... 34
Şekil 4. 23 **:** Egzoz fanına yönlenen hava..... 34
Şekil 4. 24 **:** Levha-1 bulunduğu ve bulunmadığı durumda cihaz-1 çıkışı..... 36
Şekil 4. 25 **:** Cihaz içerisindeki katı cisimler..... 39
Şekil 4. 26 **:** Cihaz analizi için geliştirilen yüzey çözüm ağı..... 40
Şekil 4. 27 **:** Alınan kesitte çözüm ağı büyüklükleri..... 40
Şekil 4. 28 **:** Cihaz içerisindeki sıcaklığa göre renklendirilmiş akış çizgileri.. 42
Şekil 4. 29 **:** Cihaz giriş-çıkışlarında sıcaklık karşılaştırması..... 42
Şekil 4. 30 **:** Cihaz çıkışına yönlenen hava..... 43

ÖZET

Bu tez çalışmasında elektronik alt sistemlere sahip bir kabinetin içindeki ısı ve akışkan hareketinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri ile simülasyonu yapılmıştır. İçerisinde fan sistemi ile sıcak havayı kabinete veren 3 adet elektronik alt sistemi çevreleyen yaklaşık $1m^3$'lük bir hacme sahip kabinetin atmosfer basıncındaki ortama bağlı hava girişi ve sıcak havayı fan aracılığıyla ortama ileten havalandırma sistemi uygun büyüklüğe ve güce göre araştırılmıştır.

Sonlu hacimler yöntemine dayanarak çözüm yapan ticari bir akışkanlar dinamiği çözücüsü ile türbülanslı akış çözümleri elde edilmiştir. Yapılan modellemede öncelikle benzeri havalandırma problemleri incelenmiş ve uygun çözüm yöntemi seçilmiştir. Sistem içerisindeki ısı kaynakları, fanlar ve gözenekli bölgeler için hesaplamalı akışkanlar dinamiğine uygun modelleme yapılmıştır. Tasarım parametrelerinin kendi aralarında çeşitlendirilmesiyle çok sayıda çözüm önerisi getirilmiştir. Bu öneriler için oluşturulan, akışın içerisinde bulunduğu kapalı hacime çözüm ağı geliştirilmiş ve yüksek performanslı hesaplama gücü gerektiren akışkanlar dinamiği çözüm yöntemleri uygulanmıştır. Çözüm aşamasında elektronik alt sistem içerisine daha az sayıda çözüm ağı geliştirilmesine olanak sağlayan kabulün gerçekçiliği araştırılmış ve alınan sonuçlarla çözüm süresini oldukça azaltılmasını sağlayan bu kabulün iyi bir yaklaşım olduğu görülmüştür.

İstenilen hassasiyette elde edilen türbülanslı akış sonuçlarına ardişleme yapılmış, akışın daha kolay anlaşılmasını sağlayacak eş sıcaklık, eş hız eğrileri ortaya koyularak çözümler görselleştirilmiştir. Sonuçlar kabinetin taze havayı aldığı giriş ortamına göre sıcaklık artışları şeklinde sıralanmış ve en iyi tasarım önerileri ortaya koyulmuştur.

AEROTHERMAL DESIGN of ELECTRONICAL DEVICE CABINET

SUMMARY

In this study, heat and fluid flow in a small cabinet is simulated using computational fluid dynamics. The cabinet has three heat generating electronic sub-systems and a fan system for cooling the cabinet, which takes air from the outside. The volume of the cabinet is approximately $1m^3$. Various cabinet designs are analyzed and different configurations for the cooling system are proposed.
Solutions are obtaines via a commercial computational fluid dynamic solver. To model the cooling system, similar works are analyzed and the appropriate solution methods selected. The heat sources, fans and porous zones are modelled. Design parameters are combined and many design alternatives are proposed. Mesh generation and solution procedures are performed for all the combinations seperately. To decrease the computational fluid dynamic solution time a concession about decreasing generated mesh is made before starting the solutions. After that a confirmation of that concession is made and it is seen that this was a good approach.
The solution methods are runned by high performance computing techniques. Desired convergence had been obtained from turbulent flow solutions and results are post-processed to make understand the flowfield easier. Results are listed by temperature increase referenced to cabinet inlet temperature and best design alternatives are putted forward.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Tanımı

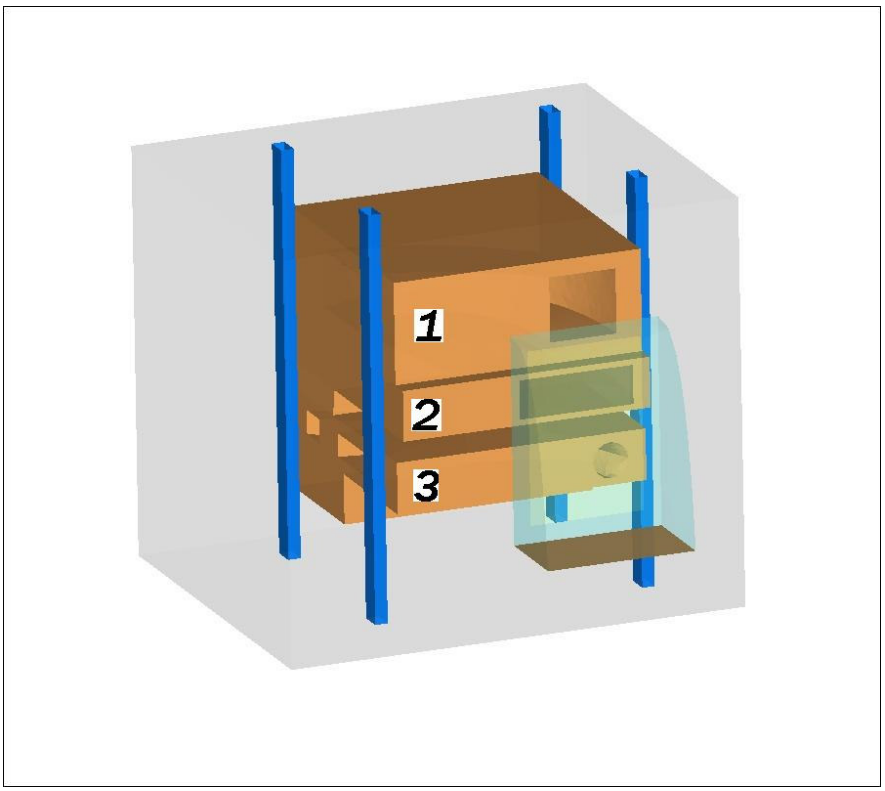
Akışkanlar dinamiğinin sayısal yöntemlerle irdelenmesi ile birçok akademik ve endüstriyel problemin çözümü artık sağlanabilmektedir. Özellikle gelişen bilgisayar teknolojisi ile çözümü imkansız gibi görünen akış alanlarına çok hızlı cevap verebilen, pek çok seçeneği ayrıntılı incelemeye olanak sağlayan yaklaşımlar yapılabilmektedir. Bu yaklaşımlar havacılık, otomotiv, inşaat, tıp ve bunlar gibi akışkan ile etkileşim içindeki tüm akademik ve endüstriyel alanlarda uygulanabilmektedir.

Sözü edilen sayısal yöntemlerin en gelişmişi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, akış alanının, akımda meydana gelebilecek değişiklikleri istenilen hassasiyette yakalayabilecek sonlu hacimlere ayrılması ve bu hacimlerde uygun çözüm yönteminin seçilmesi ile korunum denklemlerin çözülmesi temeline dayanır. Bu yöntemlerle; yapılan kabullere (sıkıştırılamaz, zamandan bağımsız, viskoz olmayan) bağlı olarak zorluk derecelerinde ve hassasiyetlerde sonuçlar elde edilir.

Eldeki çalışma, akademik gelişimi sürdürülen hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerinin endüstriyel uygulama alanındaki bir tasarım probleminde uygulanışıdır. Bu problem kapalı hacim aerodinamiği "*indoor aerodynamic*" olarakta bilinen ve daha çok havalandırma alanında ortaya çıkan problemlerle benzerlik göstermektedir. Bir başka deyişle Isıtma-Havalandırma "*Heating, Ventilation & Air Conditioning*" (HVAC) problemlerine benzemektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde Günther [1] yeni geliştirilen Airbus A380 uçağındaki yolcu kabini ve görevli uyku kabini havalandırma problemlerine deneysel ve nümerik yaklaşımlarda bulunmuştur. Hava giriş ve çıkış bölgelerinin büyüklükleri belli olan analizlerde kabinlerdeki havalandırma şartlarının standartlara uygunluğu incelenmiştir. İnsan ve cansız manken kullanılan PIV "*Particle Image Velocimeter*" deney sonuçları ile türbülans çözümü sonunda elde edilen hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçları birbirine benzerlik göstermektedir. Stamou [2] ise içinde farklı ısı kaynaklarının bulunduğu bir odanın havalandırma problemini çözmeye çalışmıştır. Bu ısı kaynakları

2 bilgisayar, 1 kullanıcı, 1 ampul ve 3 florasan olarak belirlenmiştir. Farklı türbülans modellerinin uygulandığı çözüm alanından elde edilen sıcaklık sonuçları yapılan deney ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Abanto [3] ise içerisinde çok sayıda bilgisayar ve kullanıcı olan bir oda için aynı problemi hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri ile çözmeye çalışmıştır. 11 bilgisayar, 1 tarayıcı, 2 yazıcı, florasan lamba ve 3 kullancı içeren odanın içindeki akış çözümlenmiş ve termal konfor şartları ortaya koyulmuştur.

Eldeki tez çalışmasında yapılan ise yaklaşık aynı akış karakteristiğine sahip, benzer Reynolds sayılarındaki, bir geometri için havalandırma problemine çözüm önerilmesidir. Kabinet problemi yaklaşık boyutları $1m^3$ olan bir kabinet içindeki akış alanının çözülmesi ve sonrasında havalandırma sisteminin tasarlanmasıdır. İçerisinde 3 adet bilgisayar ve benzeri elektronik cihazı içeren bu kabinet için en uygun hava girişinin yeri ve büyüklüğü ile kabinet içerisinde ısınmış havayı atmosferik basınç şartlarındaki ortama iletecek çıkış fanlarının yeri ve gücü için çözümler üretilmiştir. Kabinete arkadan, hava girişinin olduğu yüzeyden bakıldığında cihaz geometrisi ve alt-elektronik cihazların numaralandırması aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 1.1: Kabinet arkadan görünüşü ve cihaz numaralandırmaları

2. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE AKIŞ MODELLEMESİ

Akış alanını ifade eden Navier-Stokes denklemlerine çözüm üretme çabası yaklaşık 130 yıldır üzerinde pekçok matemetikçi ve fizikçinin çalışması sonucu günümüzdeki konumuna getirilmiştir. Bu denklem sisteminin çözümsüzlüğü denklem içindeki bilinen sayısının bilinmeyen sayısından az olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan en iyi yaklaşım; akıştaki herhangi bir zamanda ve konumdaki bir değerin aslında bir ortalama ve bu ortalamadan sapma miktarının toplamı şeklinde ifade edilebileceğini ortaya koyan 'Reynolds ortalama teoremi'dir. Fakat bu yaklaşımda da ortalama değerden sapma miktarlarının üç eksendeki çarpımları ortaya çıkmakta ve Reynolds gerilmeleri olarak isimlendirilen bu çarpımların bilinmeyen sayısını arttıması denklemi yine çözümsüzlüğe götürmektedir. Aşağıdaki denklemde gösterilen zamana göre ortalama alınmış momentum, enerji ve skaler taşınım denklemlerindeki çözümsüzlüğü getiren nonlineer Reynolds gerilmelerine ilk matematiksel yaklaşım Boussinesq (1877) tarafından 'edi viskozitesi teorisi'nin ortaya atılması ile başlamıştır. Denklem (3.4) [6] ile gösterilen bu yaklaşım Reynolds gerilmelerini akışdaki hız gradyanları ile orantılayarak orantı sabiti olarak edi viskozitesi kavramını ortaya koymaktadır..

Zamana göre ortalama alınmış momentum denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho U_i\right)+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho U_i U_j\right)=-\frac{\partial P}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\mu\overline{S_{ji}}\right)-\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{\rho u_i u_j}\right) \tag{3.1}$$

Zamana göre ortalama alınmış termal enerji denklemi:

$$\frac{\partial\left(\overline{T}\right)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_i}\left(u_i\overline{T}\right)=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\alpha\frac{\partial\overline{T}}{\partial x_i}-\overline{u_i T}\right)+\overline{S} \tag{3.2}$$

Zamana göre ortalama alınmış skalerin taşınım denklemi:

$$\frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_i}(\partial U_i\Phi)=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\Gamma\frac{\partial\Phi}{\partial x_i}-\rho\overline{u_i\Phi}\right)+\overline{S_c}+\overline{S_p\Phi} \tag{3.3}$$

Boussinesq kabulü:

$$\tau_t=\mu_t\frac{\partial\bar{u}}{\partial y} \tag{3.4}$$

Prandtl'ın 1904 de ortaya attığı sınır tabaka teorisi ve ardından 1925 de geliştirdiği karışım-boyu *"mixing length"* teorisi ile türbülans gerilmelerine cebrik bir yaklaşım yapılmış olmaktadır. Bu yaklaşım cebrik türbülans modeli veya sıfır-denklem türbülans modeli olarak da adlandırılmaktadır. Ardından 1945'de yine Prandtl'ın ortaya attığı bir-denklem modeli ile edi viskozitesi türbülans kinetik enerjisi ile ilişkilendirilmiş ve daha yaklaşık sonuçlar alınmıştır. 1942 yılında Kolmogorov'un türbülanslı akışta edi boyutlarını tanımlaması ve yeni bir parametre, *w*, birim hacimde ve zamanda ısıya dönüşen kinetik enerji miktarını açıklaması ile *k-w* ismi ile anılan ilk iki-denklem türbülans modeli de geliştirilmiş olmaktadır. Fakat bu denklem karmaşık matematik ve lineer olmayan denklemleri içerdiğinden bilgisayar teknolojisinin ilerlemesine kadar kullanışsız kalmıştır. Bu modellerin kullanıma geçmesi ile birlikte akademik ve endüstriyel alanda pekçok kullanım sahası açılmış ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) farklı ihtiyaçlara yönelik geliştirilmeye devam etmiştir.

Günümüzde süperbilgisayar teknolojisinin kullanılması ile paralel olarak çok fazla sayıda işlemci bir arada aynı problemi çözmek üzere kullanılabilmektedir. Bu büyük sayısal işlemler "large eddy simulation" (LES), "detached eddy simulation" (DES) ve "direct numerical simulation" (DNS) gibi son derece yeni ve sonuçları deneysel verilerle oldukça iyi uyum gösteren fakat çok büyük donanım gereksinimi arz eden problemlerde uygulanır. LES yönteminde akış içerisine çözüm ağı büyüklüğü için belli boyutlarda filtreler ortaya koyulur. Bu filtre büyüklüğünden küçük hacimler için sabit modeller uygulanırkan filtreden büyükler için simülasyon yapılır. DES yönteminde ise duvara yakın sınır tabaka içerisinde çözümü zor olmayan Reynolds

ortalaması alınmış Navier-Stokes "*Reynolds Averaged Navier-Stokes*" (RANS) denklemleri çözülürken duvardan uzakta LES yöntemleri uygulanır. Son olarak DNS yönteminde ise akışta meydana gelebilecek en küçük değişimleri dahi yakalayacak, bir başka deyişle Kolmogorov edi boyutlarından daha küçük büyüklükte ve sıklıkta çözüm ağı geliştirilir. Türbülanslı bir akışın hassas nümerik çözümünü yapmak için (zamana bağımlı ve 3 boyutlu) fiziksel olarak bütün ilişkili tüm ölçeklerin çözülmesi gerekir. [4] Akıştaki değişimlerin tamamını yakalayabilmek için akışın Reynolds sayısının kübü kadar çözüm ağına gereksinim vardır. [5] Süperbilgisayar teknolojisi ile DNS çözümü henüz çok basit problemler için gerçekleştirilebilmiştir. Örneğin boru içinde veya levha üzerinde akış gibi çok düşük Reynolds sayısında problemler çözülebilmektedir. Reynolds sayısının 512 olduğu durum için ~$1.35 \text{x} 10^8$ mertebelerinde çözüm ağları için çözüm alınabilmektedir. [6]. Gerekli olan çözüm ağı sayısı için Wilcox [4] kitabında LES ve DNS için aşağıdaki tabloyu vermektedir. Bu tabloda, çözüm istenen Reynolds sayısında çözüm ağının bu iki ileri türbülans modeli için ne civarlarda olması gerektiği ifade edilmektedir.

Tablo 2. 1: LES ve DNS için farklı Reynolds sayılarında gerekli çözüm ağı sayısı

Re_H	N_{DNS}	N_{LES}
12.300	$6{,}7x10^6$	$6{,}1x10^5$
30.800	$4{,}0x10^7$	$3{,}0x10^6$
61.600	$1{,}5x10^8$	$1{,}0x10^7$
230.000	$2{,}1x10^9$	$1{,}0x10^8$

Yukarıdaki tabloda ilk sütun; Re_H , serbest akış Reynolds sayısını, diğer iki sütun ise DNS ve LES için gerekli olan çözüm ağı sayısını göstermektedir. Tablodan da görülebildiği gibi düşük Reynolds sayılı akışlarda DNS çözümü için, yüksek Reynolds sayılı akışlarda ise LES çözümü için gereken çözüm ağı sayısı milyar mertebelerine gelmektedir ki bu tip problemler günümüz teknolojisi ile çözülememektedir.

3. KABİNET TASARIMINDA HAD AŞAMASI

Katı model geometrisi oluşturulmuş olarak ele alınan kabinetin içerisinde 3 adet elektronik cihaz bulunmaktadır. Bu cihazlar kendi içlerinde ortaya çıkan ısıyı kendi fanları aracılığıyla kabinet içerisine aktarmakta, kabinet fanı/fanları aracılığıyla da sıcak hava kabinet içinden atmosferik basınç ortamına iletilmektedir. Akış alanı olacak şekilde modellenen kabinet içine çözüm ağı geliştirilmiş, sonlu hacimler prensibi ile çözüm yapan bir çözücü uygulanmış, istenilen hassasiyette sonuçlar alındıktan sonra ardişleme ile sonuçlar yorumlanmıştır.

Yapılan HAD analizlerinde kabinet girişine "basınç girişi" sınır şartı verilmiş ve içerde oluşacak akışın kabinet fanlarının hava emmesi ile oluşması beklenmiştir. Kabinet çıkış fanı ve alt-elektronik cihaz fanları için fan eğrileri tanımlanmış ve bu bölgelere 'fan' sınır şartı verilmiştir.

Kabinet alt-elektronik cihazlarının girişlerinde sıcaklıkların istenilen değerlerin üzerinde olmaması ana tasarım isteri olmuştur. Cihaz-1 girişindeki sıcaklığın ortam sıcaklığından en fazla 5 derece fazla olabileceği fakat cihaz-2 ve cihaz-3 girişlerindeki sıcaklığın en fazla 1 derece fazla olabileceği istenmiştir.

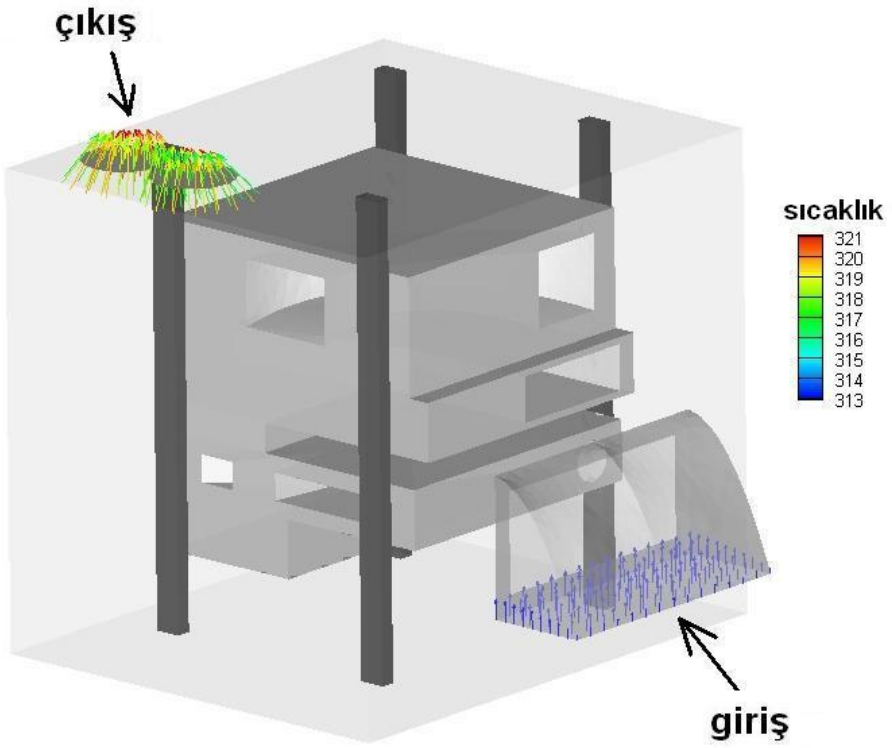
3.1 Yapılan kabuller

Akış çok yüksek hızlarda olmadığı için sıkıştırılamazlık kabulü ve bunun yanısıra akışın zamandan bağımsız hareket ettiği kabulleri yapılmıştır. Kabinetin bulunduğu ortamda sıcaklığın 40 ^{0}C olduğu ve kabinet duvarlarından dış ortama ısı iletiminin olmadığı düşünülmüştür. Normal şartlar altında oluşacak olan bu ısı akışı kabinet içerisindeki sıcaklığın azalmasında rol oynayacaktır fakat burada en-kötü-durum düşünülmüştür. Cihaz içerisindeki akışın belirli kanallarda seyrederken, içerisine sabit miktarlarda ısıların verildiği düşünülerek modelleme yapılmıştır. Bu kanallar cihaz içi konfigürasyonları tam olarak bilinemediğinden uygulanmıştır, normal şartlarda cihaz içerisinde dağınık halde duran bu sıcak hava fan vasıtasıyla emilecek bunun yanısıra kabinet içerisine cihaz duvarlarından ısı akışı da olacaktır. Bu durumun gerçekçiliğini test etmek için cihazlardan bir tanesi ayrı olarak ele alınmış

ve analiz edilmiştir. Bu analize ilişkin açıklamalar bölüm 4.5'de ayrıntılandırılmıştır. Cihazlarda ortaya çıkan ısı miktarlarının maksimum değerde olduğu düşünülmüştür.

3.2 Sistem modellemesi

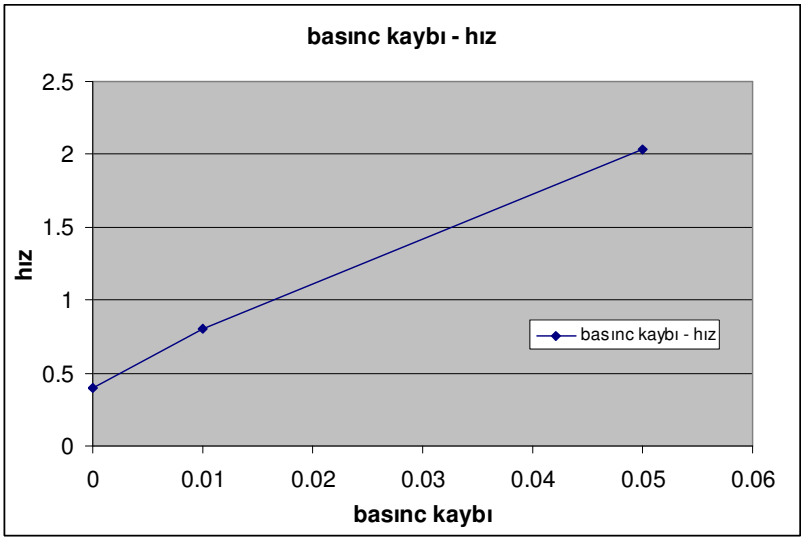
Kabinete bir sistem olarak bakıldığında, kabinet içerisine giren havanın cihazların içinde ısınarak ilerleyip kabinet içine atılması ve ardından kabinet fanı ile atmosferik basınç ortamına iletilmesi aşamalarının modellenmesi gerekmektedir. Bunun için toz filtresinin (gözenekli giriş), ısı kaynaklarının ve fanlarının gerçek çalışma koşullarının simülasyonu gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde atmosfer şartlarındaki ortamdan havanın alındığı, basınç girişi sınır şartı ile ifade edilen, kabinet giriş bölgesi ve sıcak havanın atmosfer şartlarındaki ortama iletildiği egzoz fanları gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Hava giriş ve çıkışının olduğu kabinet sistemi

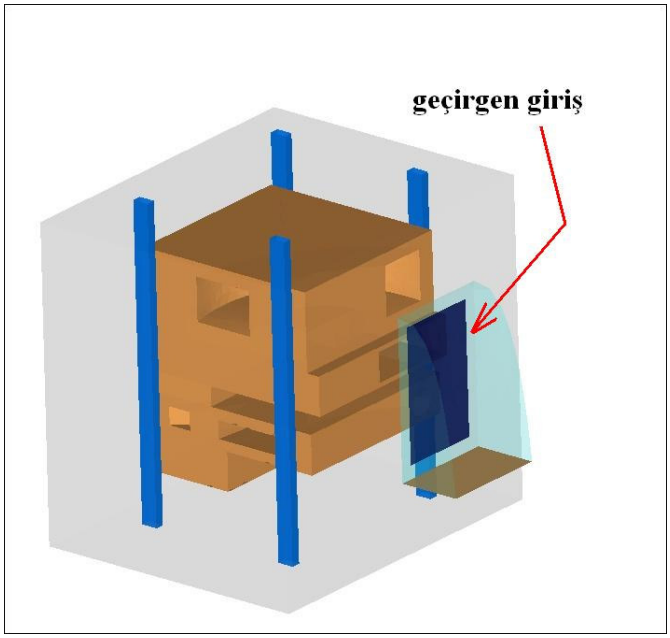
3.2.1 Gözenekli giriş modellemesi

Gözenekli girişler hız/basınç düşüşü karakteristiklerine göre incelenir. Kullanılan yazılıma filtre üreticisinden elde edilen yüzeydeki hızın değişiminin yarattığı basınç kaybı eğrisi polşnom şeklinde verilmiştir.



Şekil 3.2: Filtre basınç kaybı – hız eğrisi

Şekilden de görülebildiği gibi yüzeydeki hız değeri attıkça oluşan basınç kaybı da artmaktadır. Kabinet sisteminde bulunan elektromanyetik ve toz filtresinin konumu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



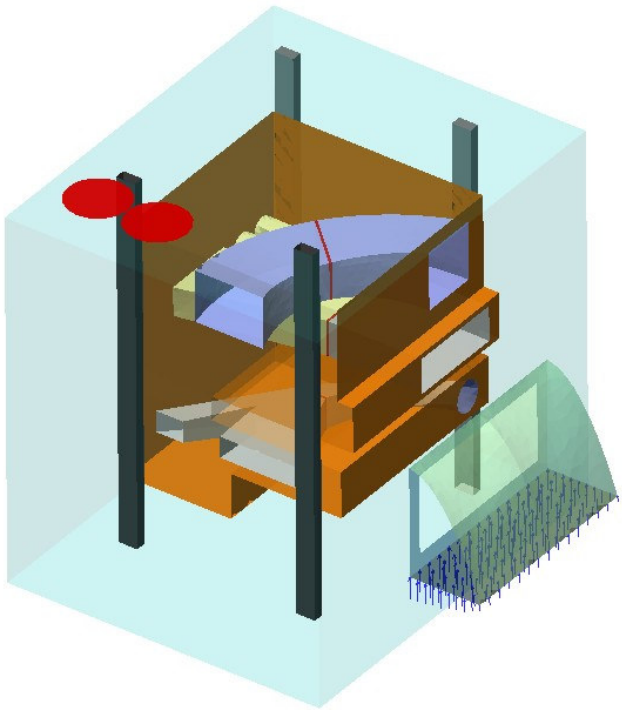
Şekil 3. 3: Gözenekli giriş konumlandırması

3.2.2 Alt sistem ısı kaynaklarının modellenmesi

Isı kaynaklarının çözüm ağı içerisine yerleştirilen sabit hacimlerden Tablo 3.1'de verilen sabit değerlerde akışa etki ettikleri düşünülmüştür. Bu ısı kaynaklarının uygulandığı hacime oranla etkidikleri düşünüldükleri için (W/m^3) cinsinden yazılıma ifade edilmiştir. Şekil 3.3'de kırmızı renkle gösterilen bu ısı kaynakları oluşturulan hava kanalının yaklaşık ortasında olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Tablo 3. 1: Elektronik cihazlardan ortaya çıkan ısı miktarları

Elektronik alt sistem	Isı miktarı (W)
Cihaz-1	300
Cihaz-2	415
Cihaz-3	50



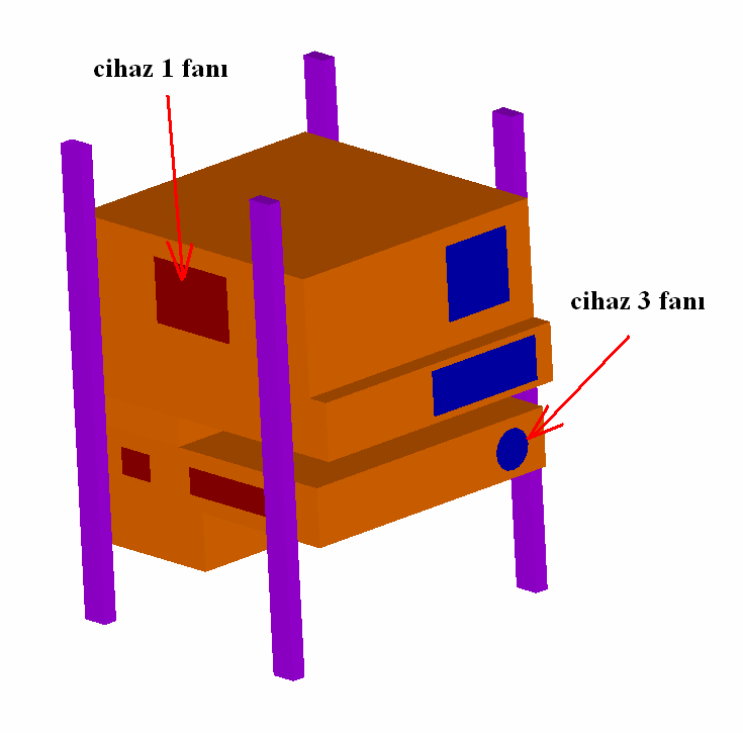
Şekil 3. 4: Isı kaynaklarının havalandırma kanalları içindeki yerleşimleri

3.2.3 Fanların modellenmesi

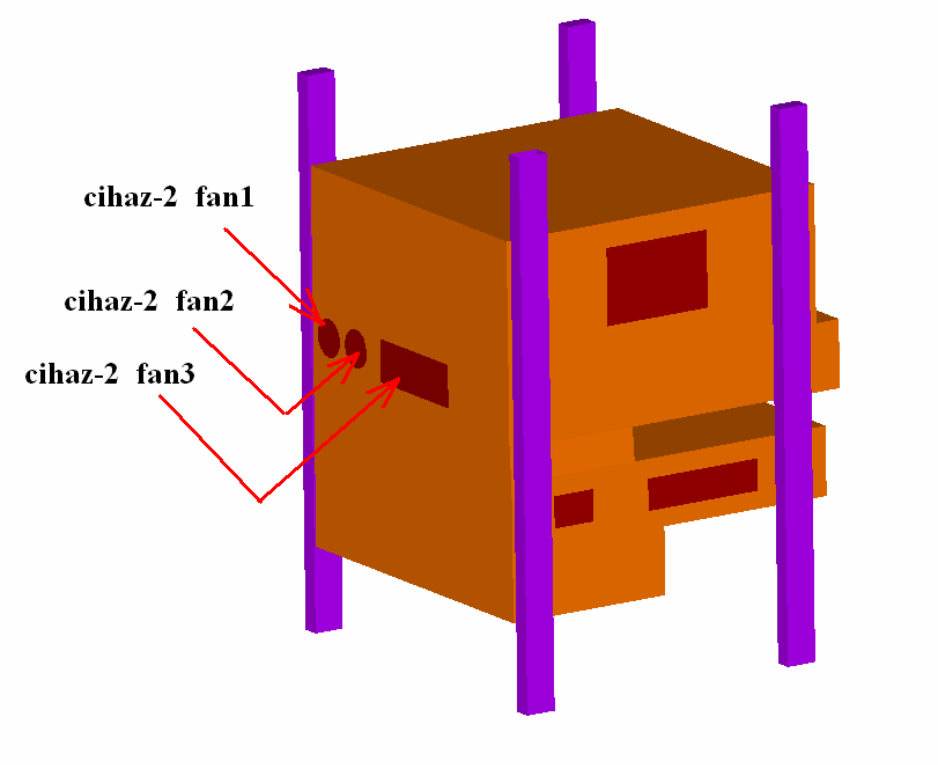
Fan modellemesi fanın çalışma durumunu ifade eden debi-basınç eğrilerinin, çözüm ağındaki yüzey alanları kullanılarak hız-basınç eğrisine dönüştürülmesi ile başlamıştır. Bu eğrilere birinci mertebeden yaklaşık denklemler uydurulmuş ve bu oluşturulan polinom ifadesinin katsayılarının yazılıma girilmesi ile modelleme yapılmıştır. Cihaz fanları her iki tarafında da çözüm ağı olacak şekilde 2 boyutlu yüzey olarak modellenmiştir. Yalnızca egzoz fanlarının kabinet yüzüne bakan tarafında çözüm ağı vardır, diğer yüzü karakteristikleri belirlenmiş olan kabinetin bulunduğu ortama dönüktür.

Cihaz-1 kabinet yan duvarına bakan fanla emme yapmakta, cihaz 2 kabinet ön yüzeyine bakan fanlarla, cihaz-3 ise kabinet arka yüzeyine (kabinete hava girişinin olduğu yüzeye) bakan fanla emme yapmaktadır.

Aşağıdaki şekillerde cihaz fanlarının konumu verilmektedir. Cihaz-1'de 1 fan, cihaz-2'de 3 fan, cihaz-3'de ise 1 fan cihaz içindeki sıcak havayı emerek kabinet ortamına iletmektedir.

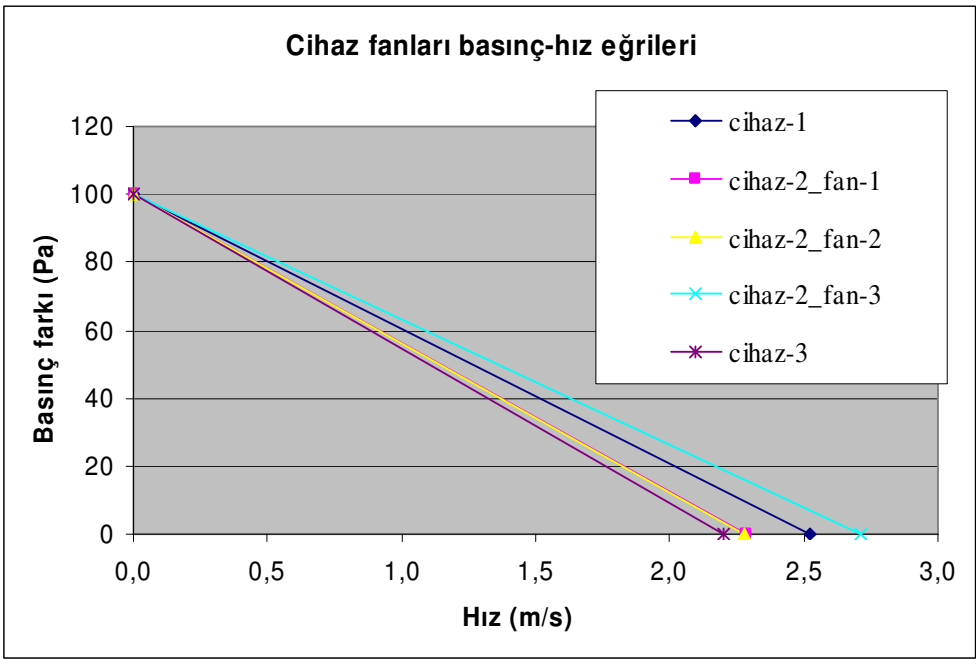


Şekil 3. 5: Cihaz-1 ve cihaz-3 fan konumları



Şekil 3. 6: Cihaz 2 fanlarının konumu

Cihaz fanlarının yazılım girdisinde kullanılan basınç-hız eğrileri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılabileceği gibi fanlar iki yüzeyi arasındaki basınç farkına göre çalışmaktadır. Örneğin, iki yüzey arasında basınç farkı hiç yoksa fan en yüksek çalışma performansında, basınç farkı arttığı miktarda da azalan bir performansta çalışmaktadır. Cihazlar için modellenen bütün fanlar iki yüzey arasında 100 Pascal'lık bir fark olduğu durumda çalışamaz hale gelmektedirler.



Şekil 3. 7: Cihaz fanları basınç-hız eğrileri

Yukarıda verilen basınç-hız eğrileri 1. mertebeden polinom halinde çözücüye girilmiştir.

3.3 Ağ örgüsünün oluşturulması

Sayısal çözüm ağı oluşturma aşamasında 2 seçenek ön plana çıkar. Yapılı "*structured*" ve yapısız "*unstructured*" olarak isimlendirilen bu çözüm ağı şekilleri uygulama alanındaki ihtiyaca ve geometri yapısına oldukça bağımlıdır. Yapılı çözüm ağı 2 boyutlu incelendiğinde dörtgen, üç boyutta incelendiğinde altıgen, bunun yanında yapısız çözüm ağları 2 boyutlu olarak incelendiğinde üçgen, 3 boyutlu olarak incelendiğinde ise piramit veya prizma şeklindedir. Basit geometrilerde sıklıkla uygulanabilen yapılı çözüm ağı karmaşık geometrilerde oldukça büyük zorluklar çıkarır. Yapılan bu çalışmada da geometrideki zorluklar nedeniyle yapısız çözüm ağı geliştirilmiştir. Geometrinin zorluğunun yanında her farklı tasarım alternatifi için yeni bir çözüm ağı geliştirilmesi zorunluluğu yapılı ağ kullanımını imkansız hale getirmiştir.

Çözüm ağı geliştirilmesinde önemli bir diğer nokta ise hücrelerin çarpıklığıdır (skewness). Hücre eş-açı çarpıklığı "*cell equiangle skew*" açı sapmalarının normalize edilmesi ile bulunan boyutsuz bir parametredir. Maksimum değerinin hesaplama

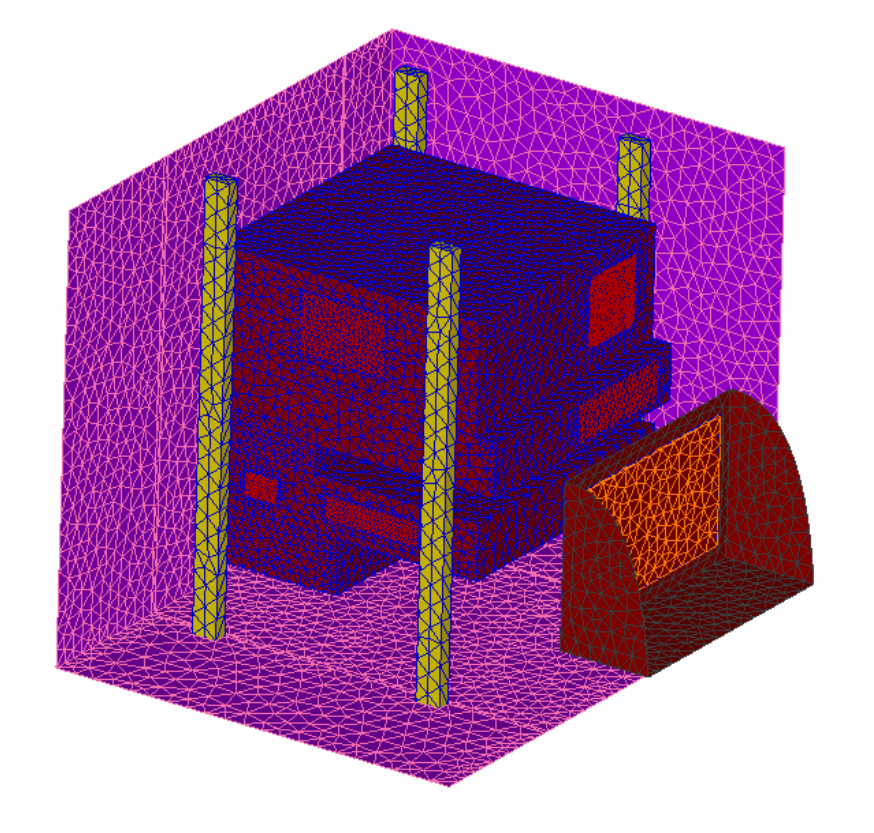
yöntemi aşağıdaki formülle verilen çarpıklığın değeri 0 olduğu durumda hücre eş açılara sahipken, 1 olduğu durumda ise değeri 180 veya 0 derece olan hücrelerin varlığından bahsedilir ki bu hücrelerde düğüm noktaları üst üste çakışmıştır ve çözüm alınamaz.

$$\max\left(\frac{q_{\max}-q_e}{180-q_e},\frac{q_e-q_{\min}}{q_e}\right) \qquad 3.1)$$

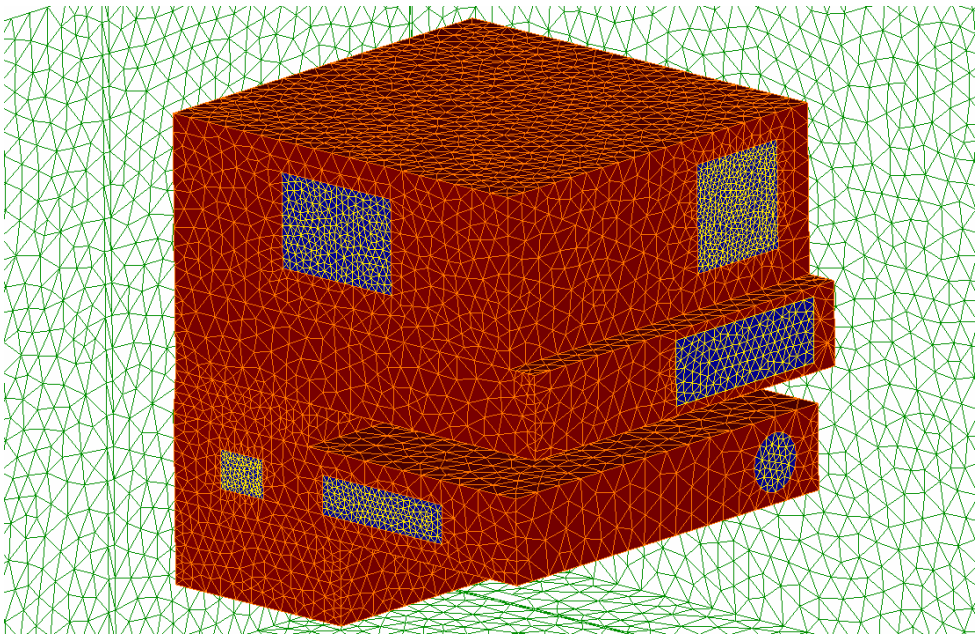
Yukarıdaki formülde; $q_{\max}$ yüzeyde veya hücredeki en büyük açıyı, $q_{\min}$ en küçük açıyı, q_e ise eş açıyı ifade etmektedir. Bu eş açı üçgen için 60, kare için 90 derecedir. [10]

"Gridgen" yazılımı aracılığıyla geliştirilen çözüm ağı türbülanslı akışı çözebilecek, akıştaki gradyanların değişiminin yüksek olduğu yerlere örneğin hava girişlerinin gerçekleştiği alanlara daha sık ve daha yüksek sayıda olacak şekilde geliştirilmiş, sonuçta 250.000 ile 300.000 sayıları arasında değişen çözüm ağı miktarları ortaya çıkmıştır. Aşağıdaki şekilde cihaz için geliştirilen örnek çözüm ağlarından biri gösterilmektedir. Şekil 3.9'da ise başka bir çözüm ağı üzerinde yoğunlaştırılmış cihaz girş ve çıkış bölgeleri gösterilmiştir.

Hücrelerin hacimsel olarak ortalama çarpıklığı 0.4, maksimum değeri de 0.9 civarında hesaplanmıştır. Bu maksimum değer çözüm için kabul edilebilir seviyelerdedir. Aşağıdaki şekilde kabinet için geliştirilen çözüm ağlarından biri gösterilmektedir.



Şekil 3. 8: Kabinet için geliştirilmiş çözüm ağı



Şekil 3. 9: Cihaz girişlerinde yoğunlaştırılmış çözüm ağı

3.4 Çözüm aşaması

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla yapılan çözümler sonlu hacimler yöntemine dayanarak çalışan "Fluent" yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Kabinet probleminin irdelenmesinde çözüm yöntemini doğrulamak adına geometri bulunamamasından dolayı herhangi bir karşılaştırma yapılamamıştır. Bu şekilde ki düşük hızda akışın bulunduğu havalandırma problemlerinin çözümünde Günther [1], Stamou [2], Abanto [3] ve Gebremedhin [8] 'in çalışmaları incelenmiş ve 2-denklem türbülans modellerinden k-ε modeli kullanılmıştır. Bu referans çalışmalarda sırası ile; A380 uçağı yolcu ve uyku kabini içerisindeki, tek kullanıcılı bilgisayar odası içerisinde, çok kullanıcılı bilgisayar odasında ve içinde inek olan küçük bir ahır içerisindeki akışın simülasyonu yer almaktadır. Her ne kadar incelenen geometrilerin bazıları eldeki kabinet geometrisinden birkaç kat büyük olsa da ortalama hız büyüklüklerinin düşük olması sayesinde yaklaşık aynı Reynolds sayılarında olduğu düşünülebilir. Bunun sonucunda çözüm yöntemlerinin benzer olması bir sakınca doğurmayacaktır.

Sıkıştırılamaz akışlarda Patankar ve Spalding'in (1972) geliştirdiği SIMPLE (semi-implicit method for pressure-linked equations) algoritması taşınım denklemlerini kısmi diferansiyel formdan cebrik forma çevirir. Cebrik denklemler iterasyonla çözülür. [8]

Sıkıştırılamaz akışlar için oda içerisindeki akım ve ısı transeri denklemlerini çözecek çeşitli metotlar bulunmaktadır. Şüphesiz ki klasik yöntem ayrışmış "*segregated*" yaklaşımıdır, bir başka deyişle çeşitli denklemler sırası ile iyi bilinen SIMPLE algoritması ile değiştirilir. [3]

Hız büyüklüklerinin çok düşük olması sebebiyle sıkıştırılamaz akış çözümü yapılmıştır. Bu yöntemde basınç-hız bağlanması "*pressure-velocity coupling*" ise benzer çalışmalara dayanarak SIMPLE algoritması ile yapılmıştır.

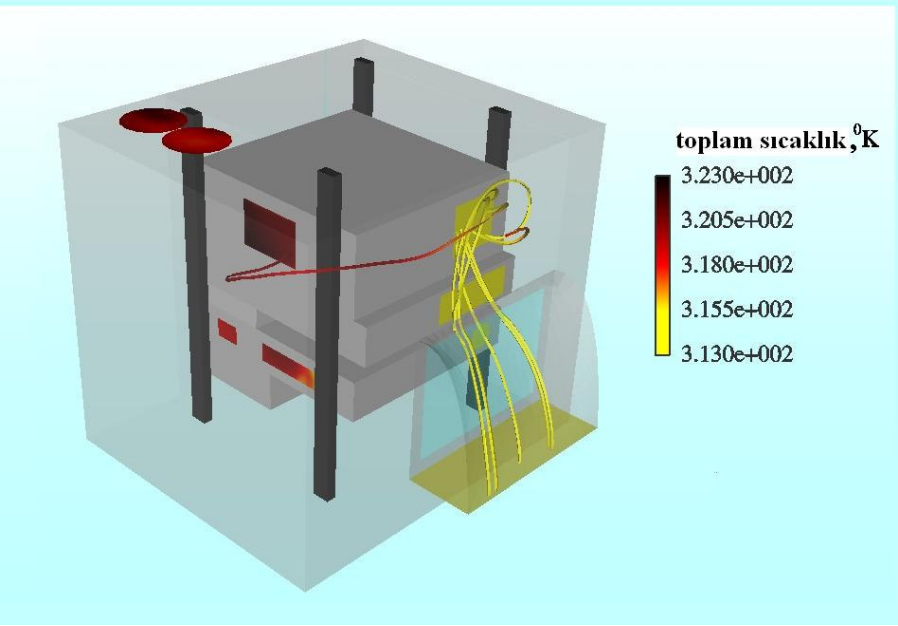
Çözüm sırasında, çok fazla sayıda sayısal çözüm ağı geliştirmemeyi sağlayan duvar fonksiyonu yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşımda türbülanslı sınır tabaka içerisindeki duvara yakın kısımlarda, bir başka deyişle viskoz alt katman "*viscous sublayer*" ile ara katman "buffer zone" içerisine sayısal ağ geliştirilmeden, sadece tamamen türbülanslı "fully turbulent zone" için çözümler alınır. Bu yaklaşımın temelinde duvara çok yakın kısımlarda akışın geometriden çok hızdan ve duvarda oluşan kayma gerilmelerinden etkilendiği düşüncesi yatmaktadır.

Elde edilen çözümlerde gerekli hassasiyetteki yakınsamalar elde edilmiştir. Bu yakınsama kriterlerinden ilki cihaz giriş ve çıkışlarındaki ortalama sıcaklıkların değişim miktarları olmuştur. Sıcaklık değerinde değişiminin olmadığı görüldükten sonra iterasyonlar durdurulmuştur. İkinci yakınsama kriteri ise kabinete giren ve çıkan kütle miktarlarının süreklilik denklemini sağlaması açısndan yüzey ortalamalarına göre birbirine eşitlenmesidir.

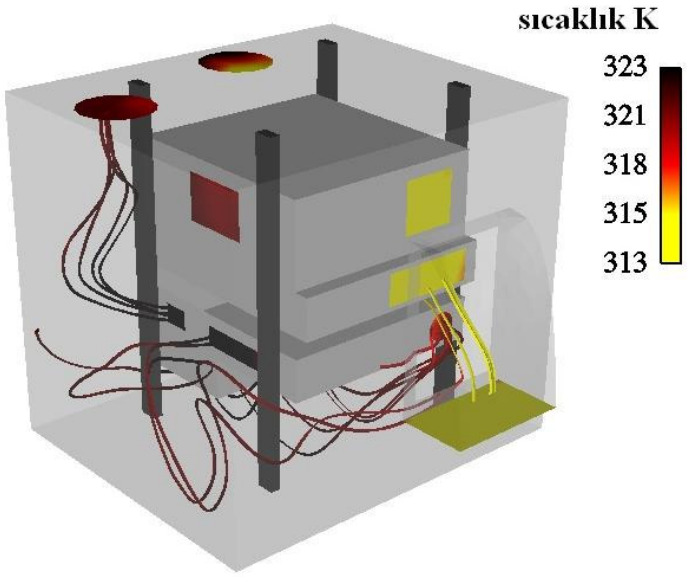
Geliştirilen çözüm ağlarında ortalama 800 iterasyonla sonuçlar elde edilmiştir. Çözüm sonrasında, duvar üzerinde türbülanslı sınır tabaka kalınlığını serbest akış hızı ve duvardaki kayma gerilmeleri ile ilişkilendirerek ifade etmede kullanılan birimsiz katsayı *y-plus* değeri 20 ile 150 arasında bulunmuştur. Bu değer duvar fonksiyonu kullanımı için gerekli aralık içerisinde kalmaktadır.

3.5 Ardişleme

Sonuçlar, kabinet içerisindeki sıcaklıkların istenilen bölgelerdeki değerlerinin sayısal olarak sunumuna yönelik yapılmıştır. Bu bölgeler sıcaklık artışının minimize edilmesi gereken cihaz girişleridir. Bunun yanında cihaz çıkışlarından kabinet içine yönelen sıcak hava ve cihaz girişlerine yönelen hava üzerinde akım çizgileri belirlenmiş bunun sonucunda kabinet içindeki akım alanının anlaşılması kolaylaştırılmıştır. Aşağıdaki şekillerde cihaz-1 ve cihaz-3 girişlerindeki akım çizgileri ters yöne doğru çizilmiş ve böylece cihaza giren havanın nerelerden geldiği görülebilmiştir. Şekil 3.10'da cihaz-1 hava ihtiyacının çoğunu kabinet dışından gelen taze hava ile karşılamaktadır. Kendi çıkışından gelen bir miktar sıcak hava da girişe yönlenmekte fakat belirgin bir sıcaklık artışına neden olmamaktadır. Şekil 3.11'de gösterilen cihaz-3 ise giriş bölgesindeki havanın neredeyse tamamını diğer bir alt elektronik sistem olan cihaz-2 içerisinde ısınmış hava ile karşılamaktadır. Bu istenilmeyen durumu bertaraf etmek için farklı tasarım önerileri geliştirilmiştir.



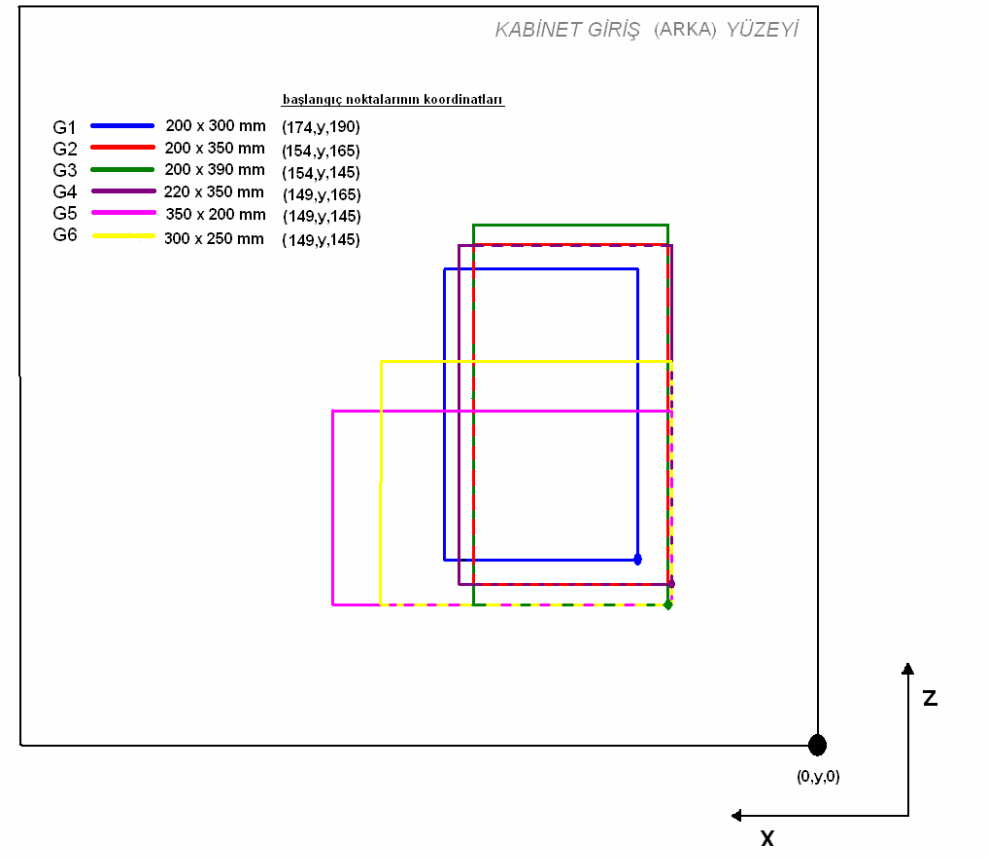
Şekil 3. 10: Cihaz-1 girişine yönlenen hava



Şekil 3. 11: Cihaz-3 girişine yönlenen hava

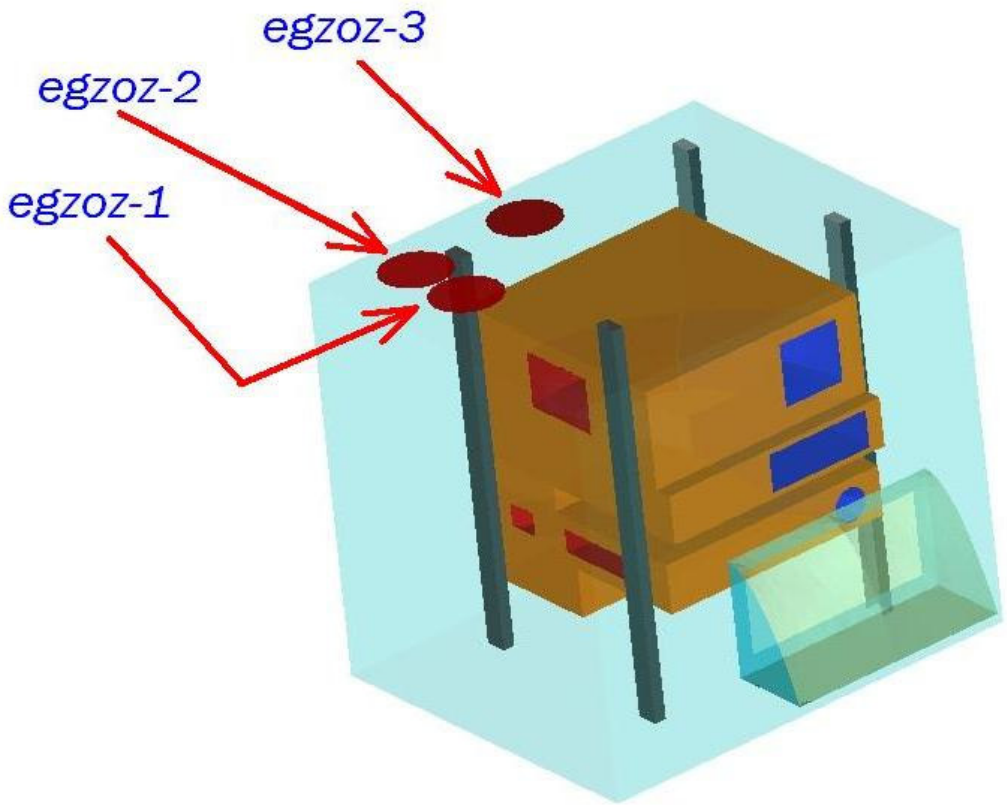
4. TASARIM PARAMETRELERİNİN ÇEŞİTLENMESİ ve SONUÇLAR

Kabinet analizlerinde giriş alanının yeri ve büyüklüğü, kabinet fanının yeri, gücü ve sayısı, ayırıcı levha bulunup bulunmadığı ve sayısı başlıca tasarım parametreleridir. Analizlerde kullanılan giriş alanı büyüklükleri ve konumları Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Kabinet fanı yeri ve gücü ile ilgili gösterimler Şekil 4.2'de ve son olarak ayırıcı levhaların konumları ve isimlendirilmeleri Şekil 4.3'de belirtilmiştir. Bu isimlendirmelere bağlı olarak tasarım ve analiz sürecinde kullanılan, sonuçların ifadesinde kolaylık sağlayan kodlar Tablo 4.1'de verilmektedir. Tablo 4.2'de ise elde edilen sonuçlar toplu halde sıralandırılmış, ve ardından cihaz girişlerindeki sıcaklık artışları yorumlanmıştır.



Şekil 4. 1: Kabinet giriş alanı için seçilen alternatifler

Analizler yukarıda gösterilen 6 farklı giriş alanının diğer değişkenlerle çeşitlenmesiyle yapılmıştır. Tasarım kriteri olan cihaz girişlerindeki sıcakık artışlarına etkileri bölüm 4.1' de incelenmiştir.

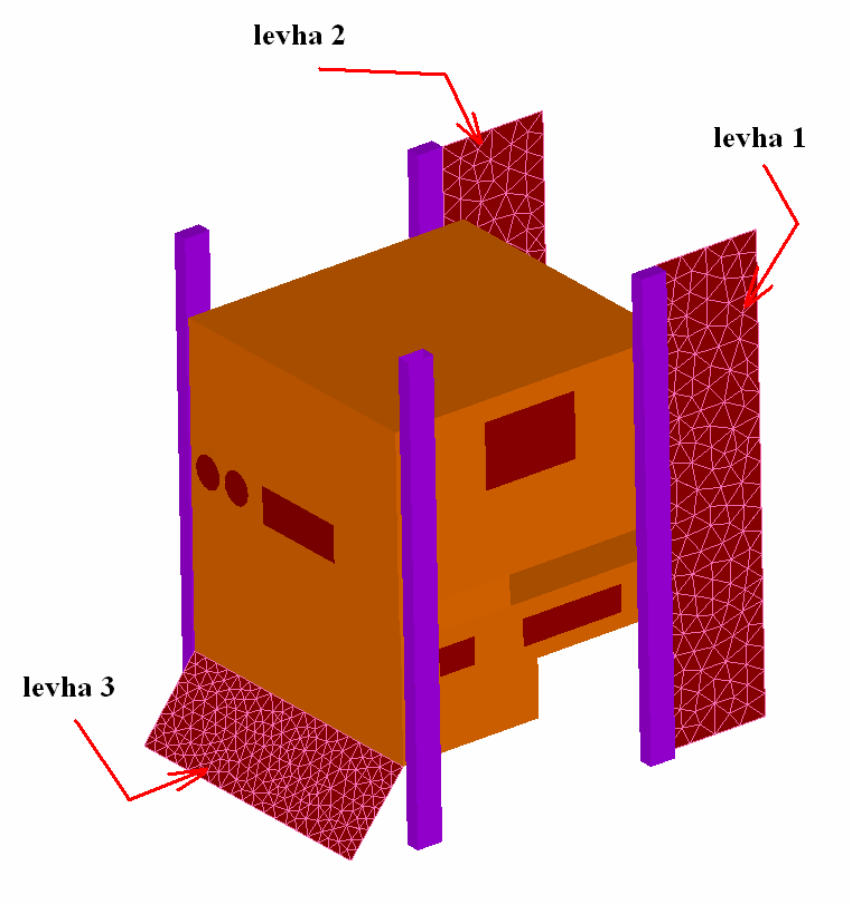


Şekil 4. 2: Kabinet için seçilen egzoz fan yerleşimleri

Yukarıdaki şekilde yerleşimleri gösterilen egzoz fanları tek tek veya beraber çalışmaları durumu göz önünde bulundurularak analizlere katılmıştır. Cihaz 1 ve cihaz 3 çıkış bölgeleri kabinet yan duvarına baktıkları için egzoz 1 egzoz 2 bu yöne yerleştirilmiştir. Cihaz 2 ise diğer cihazlardan daha fazla ısı ürettiği için kabinet ön yüzeyine yakın yerleştirilen egzoz 3 de bir tasarım önerisi olarak seçilmiştir.

Aşağıdaki şekilde kabinet içerisine yerleştirilmiş akım ayırıcı levhalar görülmektedir. Cihaz-1 ve cihaz-3 çıkışlarından kabinet girişine yönlenebilecek sıcak havayı engellemek amacıyla levha-1 koyulması düşünülmüştür. Cihaz-2 çıkışındaki sıcak havayı kabinet içerisinde dolaştırmadan egzozlara göndermek içinse levha-3 düşünülmüştür. Yapılan ilk analizlerde görülmüştür ki, cihaz-2 çıkışından bir miktar

hava kabinete arkadan bakıldığında sağdan cihaz-3 girrişine yönlenmektedir. Bu akışı engellemek içinse levha-2'nin analizlere dahil edilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 4. 3: Kabinet içine yerleştirilen ayırıcı levhalar

Tasarım önerilerinde listelemeyi kolaylaştırması ve sonuçların ifadesini kolaylaştırması açılarından değişkenlere kodlar atanmıştır. Bu değişkenler giriş alanı (8 adet büyüklüğü ve yeri belli), kabinet fan seçenekleri (F kodu egzoz fanı gücüne göre, E kodu ise bu kabinet fanının yerine göre), ayırıcı levha olup olmadığı (L0 levha yok, L1 ise 1 numaralı levha kullanılmış) kriterlerine göre incelenmiştir. Aşağıdaki tabloda verilen kodlar sonuçların karşılaştırılması aşamasında da oldukça kullanışlı olmuştur.

Tablo 4. 1: Analizi yapılan tasarım önerilerinde kullanılan tasarım seçenekleri

Giriş Alanı Seçenekleri		**Fan Seçenekleri**		**Egzoz Yer ve Sayısı Seçenekleri**		**Levha yerleşimi seçenekleri**	
Kod	Ölçüler, cm	Kod	Fan	Kod	Egzoz	Kod	Levha
G1	20 x 30	F1	Etri 148	E1	Egzoz 1	L0	Levah yok
G2	20 x 35	F2	Etri 352	E2	Egzoz 2	L1	Levha 1
G3	20 x 39	F1D	Etri 148	E3	Egzoz 3	L12	Levha 1+2
G4	22 x 35		dikdörtgen	E12	Egzoz 1+2	L13	Levha 1+3
G5	35 x 20		şekil	E12Y	egzozlar		
G6	30 x 25				yakın		
G0	20 x 35						
G1A	20 x 30						

Yapılan analizler sonucunda bulunan sıcaklık artışı değerleri ise aşağıdaki tabloda verilmştir. Bu sonuçlar ilerleyen alt-başlıklarda ayrıntılı olarak incelenmiştir.

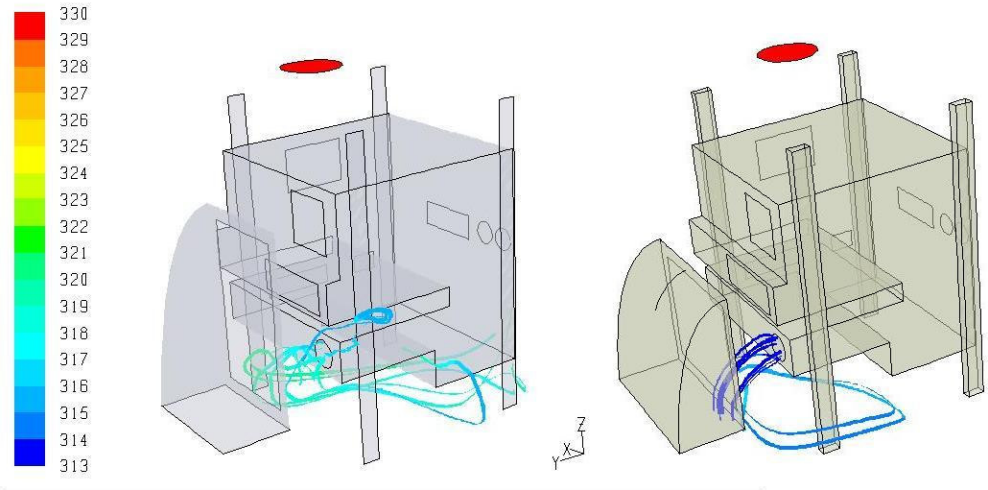
Tablo 4. 2: Kabinet havalandırma tasarım önerileri ve bu öneriler için kabinet çıkışında ve cihaz girişlerinde hesaplanan ortalama sıcaklık artışları

Tasarım Önerisi					Analiz Sonucunda Giriş Kesitinde Elde Edilen Ortalama Toplam Sıcaklık Artışı, ^{0}C				Tasarım Önerisi					Analiz Sonucunda Giriş Kesitinde Elde Edilen Ortalama Toplam Sıcaklık Artışı, ^{0}C			
Sıra No	**Giriş**	**Fan**	**Egzoz**	**Levha**	**Cihaz-1**	**Cihaz-2**	**Cihaz-3**	**Çıkış**	**Sıra No**	**Giriş**	**Fan**	**Egzoz**	**Levha**	**Cihaz-1**	**Cihaz-2**	**Cihaz-3**	**Çıkış**
1	G1	F2	E1	L0	1	1	6	7	**23**	G3	F1	E12	L0	0	1	6	5
2	G1	F2	E1	L1	0	1	7	7	**24**	G3	F1	E13	L1	0	1	7	4\7
3	G1	F2	E1	L12	1	1	7	7	**25**	G3	F1	E12	L13	0	1	6	6
4	G1	F2	E3	L13	0	1	7	7	**26**	G4	F2	E2	L0	0	1	4	7
5	G1	F2	E2	L0	0	1	6	7	**27**	G4	F2	E2	L1	0	1	4	7
6	G1	F2	E2	L1	0	0	6	7	**28**	G4	F2	E2	L13	0	1	4	7
7	G1	F2	E2	L13	0	0	2	7	**29**	G5	F2	E1	L0	3	1	1	7
8	G2	F2	E1	L0	0	1	4	7	**30**	G5	F2	E2	L0	2	0	1	7
9	G2	F2	E2	L1	0	1	4	6	**31**	G5	F1	E1	L1	4	1	1	8
10	G2	F2	E2	L13	0	1	4	6	**32**	G5	F1	E2	L0	3	1	2	8
11	G2	F1	E2	L0	1	1	5	9	**33**	G6	F2	E2	L0	2	0	1	6
12	G2	F1	E2	L1	0	1	7	8	**34**	G6	F2	E1	L0	2	0	1	6
13	G2	F1	E2	L13	0	1	7	9	**35**	G6	F1	E1	L0	4	1	2	8
14	G2	F1	E12	L0	0	1	7	7	**36**	G6	F1	E3	L1	4	1	2	8
15	G2	F1	E12	L1	0	1	8	7	**37**	G6	F1	E3	L0	3	1	2	8
16	G2	F1	E12	L13	0	1	7	6	**38**	G1	F1D	E12 Y	L0	1	1	6	6/8
17	G3	F2	E1	L0	0	1	5	5	**39**	G1	F1	E12	L1	0	1	8	5/7
18	G3	F2	E1	L1	0	1	5	5	**40**	G1	F1D	E1	L0	1	1	6	8
19	G3	F2	E1	L13	0	1	5	5	**41**	G0	F2	E1	L1	1	1	4	6
20	G3	F2	E2	L0	0	1	6	6	**42**	G1	F1	E12	L0	1	1	6	6
21	G3	F2	E2	L1	0	1	3	6	**43**	G1 A	F2	E1	L1	2	1	4	7
22	G3	F2	E2	L13	0	0	2	6									

4.1 Giriş alanı yeri – büyüklüğü

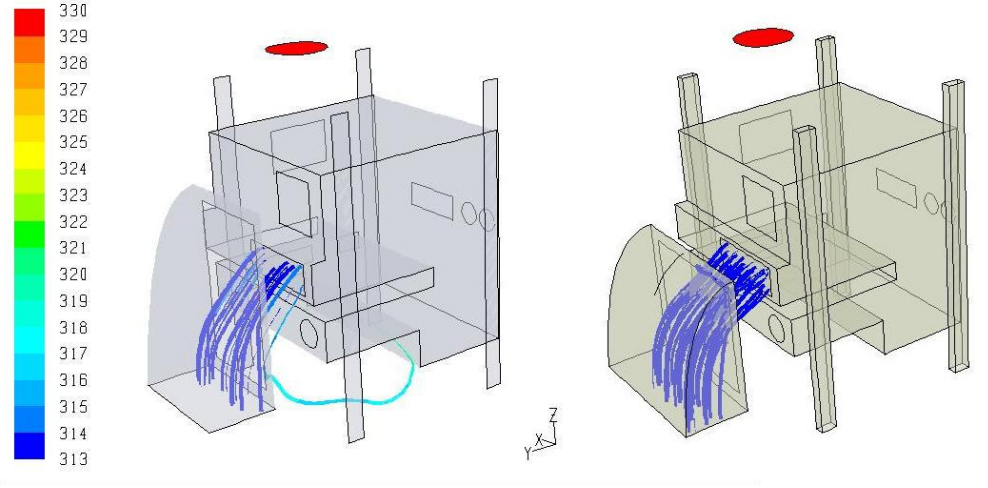
Giriş alanı için çok sayıda alternatif çözüm denenmiştir. İlk grup denemede kabinet giriş dikdörtgeninin uzun kenarı dikey olarak yerleştirilmiş, ikinci grupta ise yatay olarak yerleştirilmiştir. Tasarım önerilerinden 9 ve 27 sıra numaralı analizler karşılaştırıldığında giriş alanının bir miktar büyütülmesi ve cihaz girişlerinin tam karşısına koyulması çabası bir sonuç vermemiştir. Giriş alanında G1, G2, G3 ve G4 kodlu önerilerde cihaz-3 girişindeki sıcaklık artışına engellenememiştir. Uzun kenarı yere dik olan bu ilk grup denemelerde kabinet dışından gelen havanın kabinet önündeki muhafaza aracılığıyla yukarı doğru yönlendiği ve cihaz-3 girişine kabinet dışarısından neredeyse hiç hava gelmediği görülmüştür. Kabinet dışından alınan havanın tamamı sözü edilen muhafaza aracılığıyla yalnız cihaz-1 ve cihaz-2 girişine yönlenmektedir. Cihaz-3 girişindeki havanın ise tamamen cihaz-2 ve cihaz-3 çıkışlarından ısınarak kabinet içinde yol aldıktan sonra gelen hava olduğu ardişleme sonucunda görülmüştür. Akım çizgilerine dayanarak yapılan bu akım görüntüleme işlemi sonucunda cihaz-3 girişine taze hava almak amacıyla ikinci grup denemelere geçilmiştir.

G5 ve G6 kodlu tasarım önerilerni içeren ikinci grup denemelerde uzun kenarın yere yatay olarak yerleştirilmesi ve bir miktar yere yakınlaştırılması ile cihaz-3 girişinde istenmeyen sıcaklık artışı engellenmiştir. Bu durum 8 ve 34 numaralı tasarım önerilerinden görülebildiği gibi uzun kenarın yere yatay olarak yerleştirilmesi ve giriş alanının 5 cm aşağı kaydırılması ile cihaz-3 girişindeki sıcaklık artışı engellenmiş, bir önceki duruma göre 3 derece azalmıştır. Aşağıdaki şekillerde cihaz-1, cihaz-2 ve cihaz-3 girişlerine hava yönlenmesi akım çizgileri ile ifade edilmektedir. Bu şekillerde akım çizgileri sıcaklığa göre renklendirilmiştir. Şekillerin sol kısmında bulunan sıcaklık değerleri Kelvin cinsinden ifade edilmiştir.



Şekil 4.4: İki farklı giriş örneğinde cihaz-3 girişine yönlenen hava

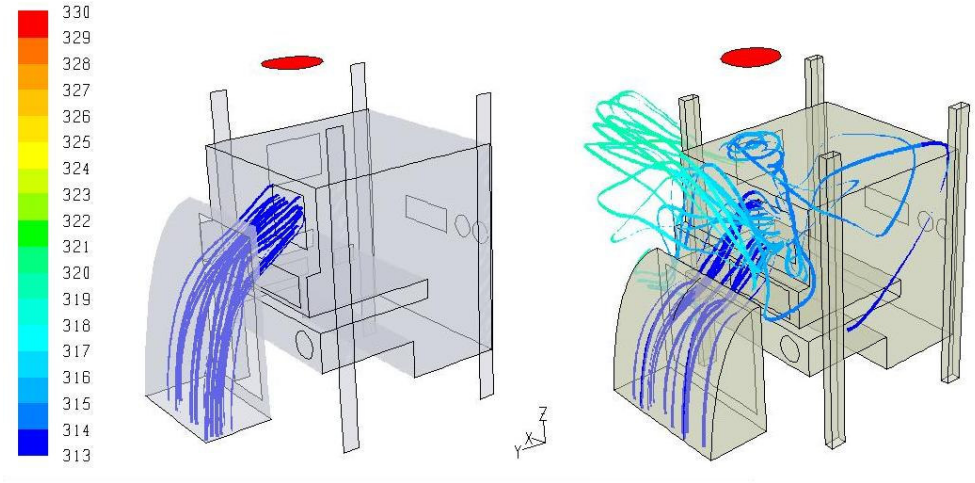
Yukarıdaki şekilde cihaz-3 girişine yönlenen hava soldaki şekilde tamamen kabinet içindeki sıcak hava iken sağdaki şekilde çoğunluğu kabinet dışından gelen taze hava olmuştur. Tablo 4.2'den de görüldüğü üzere 8 sıra numaralı öneride cihaz-3 girişinde sıcaklık artışı 4 derece iken 34 sıra numaralı analizde 1 derece olmuştur.



Şekil 4.5: İki farklı giriş örneğinde cihaz-2 girişine yönlenen hava

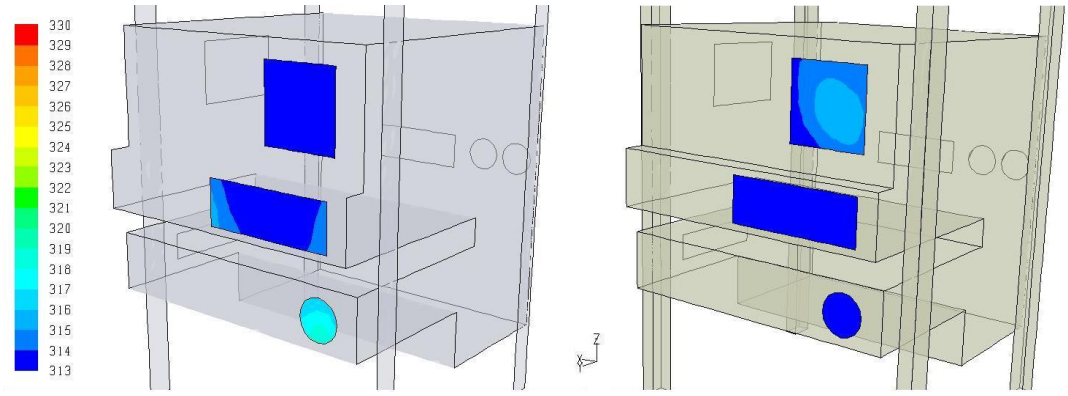
Yukarıdaki şekilde cihaz-2 girişine yönlenen hava gösterilmektedir. Soldaki tasarım önerisi, 8 sıra numaralı, kabinet içersinden bir miktar sıcak hava aldığı için cihaz giriş sıcaklığı 1 derece yüksektir. 34 sıra numarasına sahip sağdaki seçenekte ise cihaz girişine yönlenen hava tamamen kabinet dışından gelmektedir.

Aşağıdaki şekilde ise cihaz-1 girişine yönlenen hava sıcaklığa göre renklendirilmiş akım çizgileri ile gösterilmektedir. Giriş alanının uzun kenarının yere yatay yerleştirilmesi sonucu bağıl olarak aşağı kayan girişten cihaz-1 girişine sağlanan taze hava artık sağlanamamaktadır. Kabinet içerisinden de bir miktar sıcak havanın katıldığı karışım sonucu giriş sıcaklığı 2 derece artmıştır.



Şekil 4.6: İki farklı giriş örneğinde cihaz-1 girişine yönlenen hava

Aşağıdaki şekilde alt-elektronik cihazların girişlerinde sıcaklık eşyüzeyleri verilmektedir. Akım çizgilerinde görülen hava yönelimlerinin cihaz girişlerinde nasıl bir etki yaptığı bu şekilde daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 4. 7: Cihaz girişlerinde sıcaklık eşyüzeyleri

Tasarım önerilerinden 5 ve 33 sıra numaralı önerilerde de cihaz-3 girişindeki sıcaklık artışı değerlerinden kabinet giriş alanının konumu ve duruş şeklinin önemli bir

tasarım parametresi olduğu görülmektedir. Aşağıdaki tabloda giriş alanı dışındaki bütün şartların aynı olduğu durumlar da kabinet giriş sıcaklığına göre artışlar derece cinsinden tablo halinde verilmektedir.

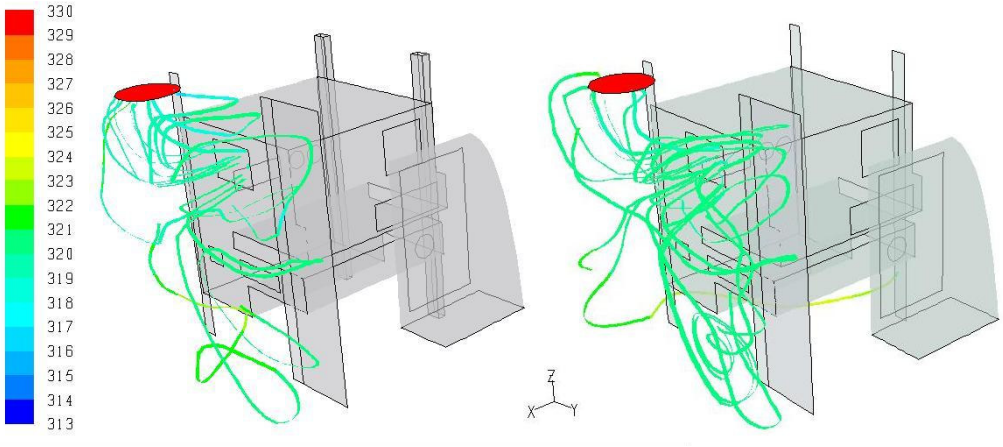
Tablo 4. 3: Giriş alanı konumunun etkisi

Sıra No	Giriş	Fan	Egzoz	Levha	Cihaz-1	Cihaz-2	Cihaz-3	Çıkış
8	G2	F2	E1	L0	0	1	4	7
34	G6	F2	E1	L0	2	0	1	7
5	G1	F2	E2	L0	0	1	6	7
20	G3	F2	E2	L0	0	1	6	6
26	G4	F2	E2	L0	0	1	4	7
33	G6	F2	E2	L0	2	0	1	6

Yukarıdaki tabloda ifade edilen sonuçlarda görülmektedir ki, G5 ve G6 kodlu giriş alanları alt-elektronik cihaz girişlerinde aynı sıcaklık artışına neden olmaktadır. Elektromanyetik filtrenin bulunduğu gözenekli giriş alanı maliyeti bakımındn G5 kodlu giriş önerisinin iyi bir seçenek olduğu ortaya koyulmuştur.

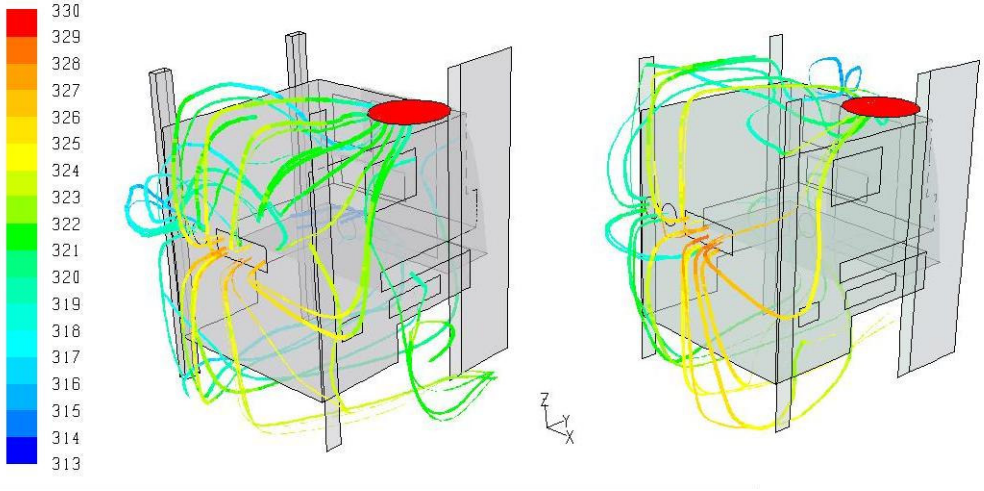
4.2. Kabinet fanı gücü – yeri

Seçilecek fanın gücüne ilk yaklaşım olarak kabinet içindeki cihazların debilerinin toplamından biraz fazla debide çalışacak bir fan üzerinde durulmuştur. Bu nedenle ilk olarak 110 *l/s* maksimum debide çalışan bir fan düşünülmüştür. Fakat kabinet içindeki karmaşık akış şartları, cihaz sıcak hava çıkışlarının farklı yönlerde olması ve kabinet girişine yerleştirilen toz filtresinin sebep olduğu basınç kaybı nedeniyle yeterli debide çalışamayan fan sıcaklık artışını engelleyememiştir. Bunun üzerine 150 l/s maksimum debide çalışan bir ikinci alternatif göz önüne alınmıştır. 9 ve 12 sıra numaralı çözüm önerileri incelendiğine beklendiği gibi güçlü fan kullanımında alt-elektronik cihaz grişlerindeki sıcaklık artışı daha düşük seviyelerde olmuştur. Sözü edilen iki öneride cihaz-3 girişindeki sıcaklık güçlü fan kullanımı ile 3 derece azaltılmıştır. Aşağıdaki şekillerde cihaz çıkışlarından yönlenen hava ile cihaz girişlerine yönlenen hava içerisinde sıcaklığa göre renklendirilmiş akım çizgileri ile giriş yüzeylerinde eş sıcaklık dağılımları karşılaştırılmaktadır.



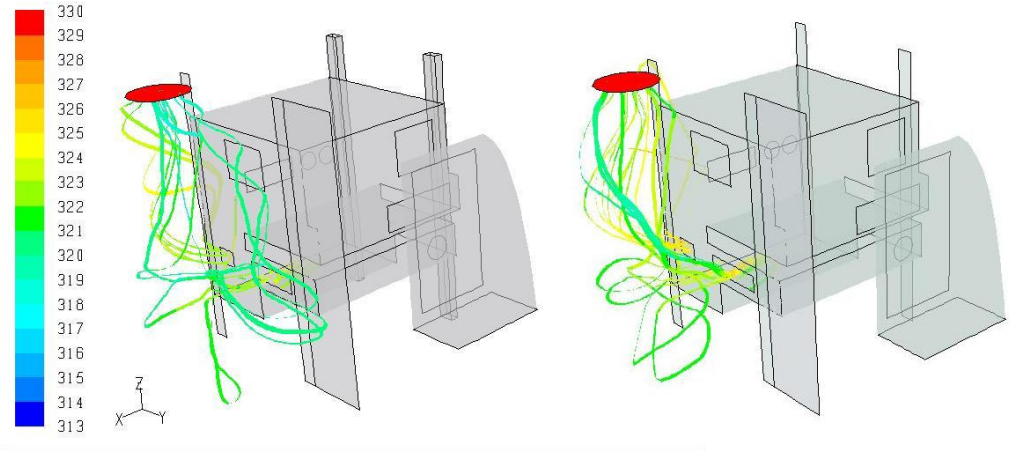
Şekil 4.8: Cihaz-1 çıkışından yönlenen hava

Yukarıdaki şekilin sol tarafında, 9 sıra numaralı öneride, güçlü fan kullanılmış sağdaki 12 sıra numaralı öneride ise daha güçsüz fan kullanılmıştır. Buna bağlı olarak cihaz-1 çıkışındaki havayı güçlü fan daha fazla emerek kabinet içine yayılmasını önlemektedir.



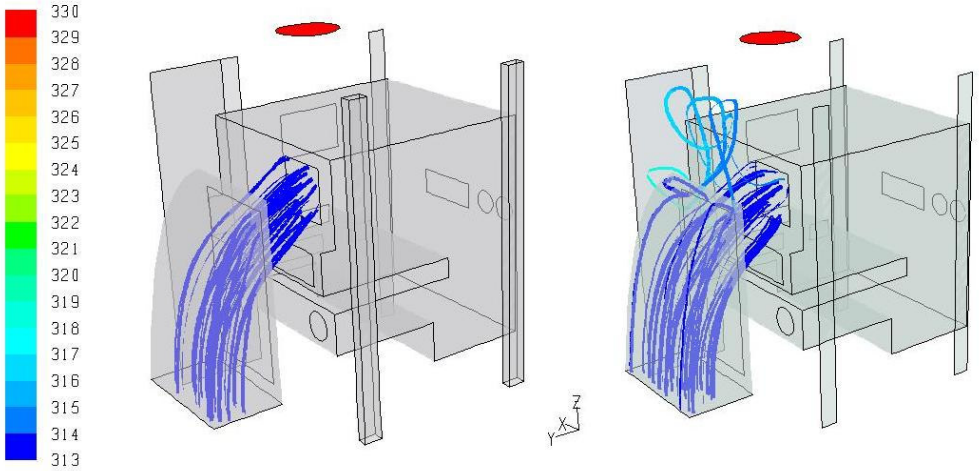
Şekil 4. 9: Cihaz-2 çıkışından yönlenen hava

Yukarıdaki şekilde de cihaz-2 çıkışındaki havayı güçsüz egzoz fanının tam olarak ememediği görülmektedir. Bu durumda ısınan hava kabinet içinde serbest dolaşmaktadır.

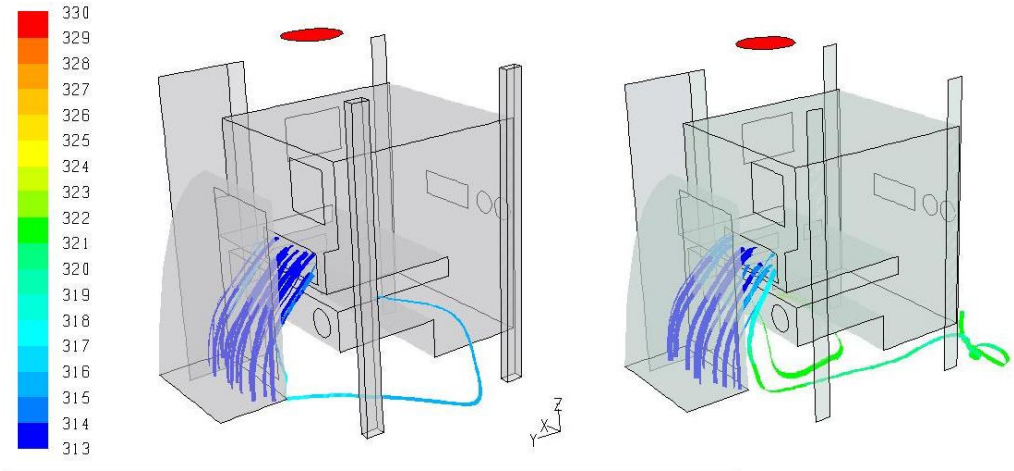


Şekil 4. 10: Cihaz-3 çıkışından yönlenen hava

Yukarıdaki şekilden cihaz-3 çıkışındaki hava içinde aynı durum söz konusudur. Cihaz çıkışındaki havanın tamamı fanlar tarafından kabinet dışına atılamamaktadır. Kabinet çıkışlarından yönlenen havanın gerekli miktarda emilememesi sonucu cihaz içerisinde serbest dolaşan sıcak hava cihaz girişlerine yönlenmekte ve giriş sıcaklıklarını arttırmaktadır. Bu durumu gösteren akım çizgileri aşağıdaki şekillerde ifade edilmiştir.

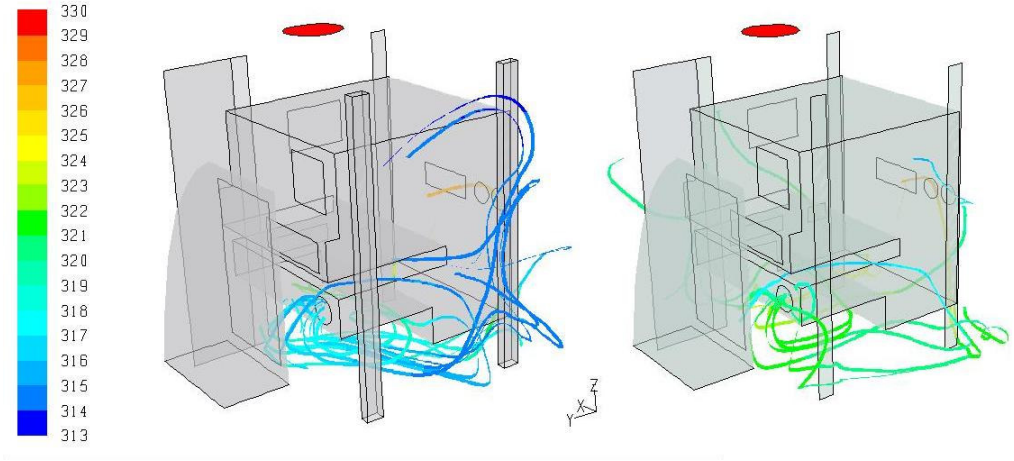


Şekil 4. 11: Cihaz-1 girişine yönlenen hava



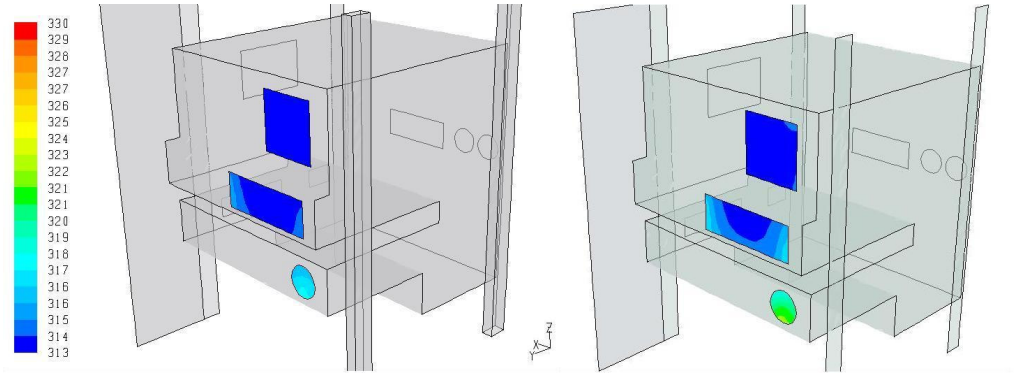
Şekil 4. 12: Cihaz 2 girişine yönlenen hava

Cihaz -2 girişine yönlenen havanın çoğunlukla kabinet dışından gelen taze havayla beslendiği görülmektedir. Kabinet içerisindeki sıcak havadan da bir miktar alan girişlerde sıcaklık kabinet giriş sıcaklığına nazaran 1 derece yüksektir.



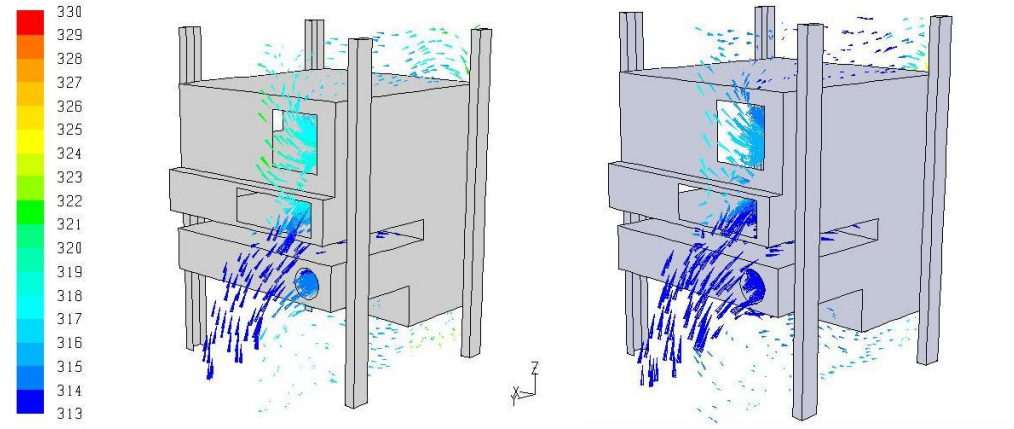
Şekil 4. 13: Cihaz-3 girişine yönlenen hava

Yukarıda gösterilen cihaz-3 girişine yönlenen havanın iki durumda da kabinet içinden alındığı fakat güçsüz fan örneğinin kullanıldığı 12 sıra numaralı sağdaki tarasım önerisinde girişe yönlenen havanın daha sıcak olduğu ortaya koyulmaktadır. Cihaz girişlerinde oluşan sıcaklık eş yüzeyleri aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 4. 14: Cihaz girişlerinde eş sıcaklık yüzeyleri

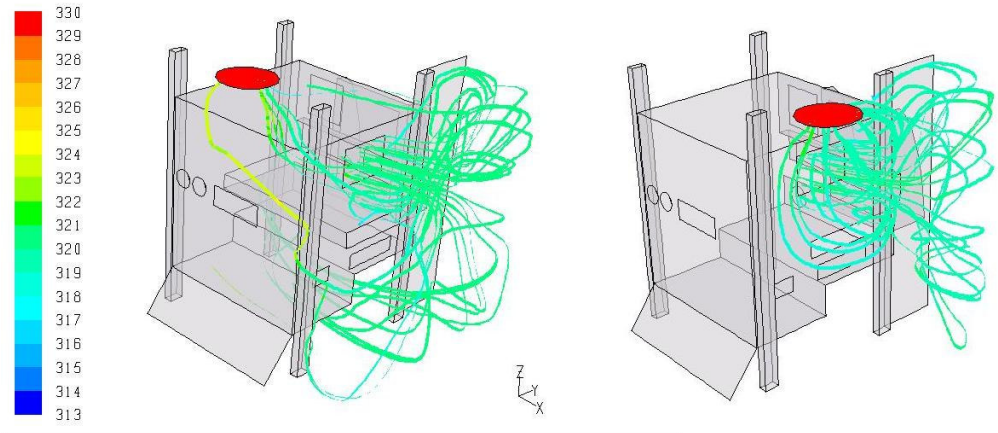
Egzoz çeşidi olarak güçlü fan kullanma gerekliliği yukarıda karşılaştırılan durumlardan görülmektedir. Buna ek olarak Tablo 4.2'de verilen sonuçlar içerisinden 31-32 sıra numaralı tasarım önerileri incelendiğinde yüksek debili fan kullanımı ile cihaz-1 ve cihaz-3 girişlerinde 1 ^{0}C düşüş görülmüştür. Bu durumu ifade eden, cihaz girişlerini kesen bir düzlem üzerinde sıcaklığa göre renklendirilmiş hız vektörlerinin gösterimi aşağıda ifade edilmiştir.



Şekil 4. 15: Cihaz girişlerini dik kesen düzlemde sıcaklığa göre renklendirilmiş hız vektörleri

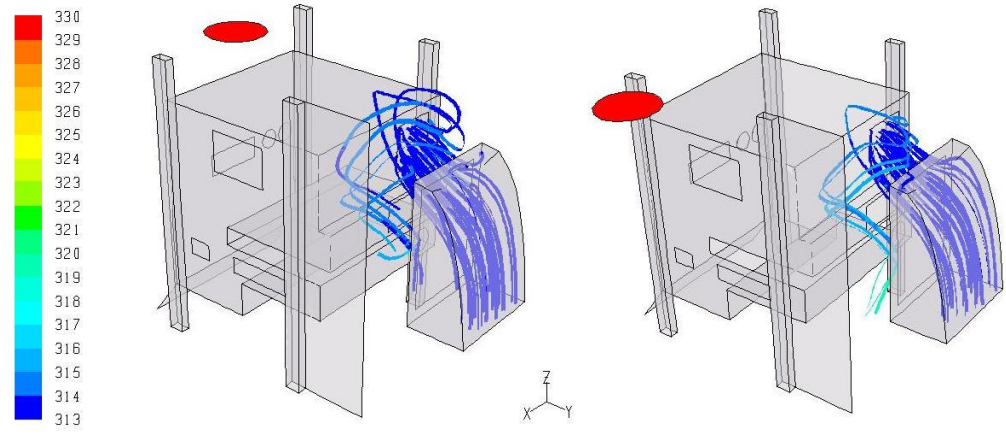
Bir diğer tasarım parametresi olan egzoz fanının konumu ile ilgili Tablo 4.2 incelendiğinde 4 ve 7 sıra numaralı analizlerden egzoz fanının iki farklı konumunda cihaz-3 girişindeki sıcaklığın 5 derece, cihaz-2 girişindeki sıcaklığın 1 derece düştiği görülmektedir. Bu durumu açıklayan karşılaştırmalı cihaz giriş ve çıkışlarındaki akım çizgileri aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir. Şekillerde soldaki tasarım 4 sıra

numaralı sağdaki şekilse 7 sıra numaralı tasarım önerisi için yapılmış ardişleme sonuçlarını ifade etmektedir.



Şekil 4. 16: Cihaz-1 çıkışından yönlenen hava

Yukarıdaki şekilden görülmektedir ki, cihaz-1 çıkışındaki hava 4 sıra numaralı öneri için kabinet egzoz fanına tam olarak ulaşamamaktadır. Bunun sonucunda kabinet içerisinde serbestçe dolaşan sıcak hava girişlerde istenmeyen sıcaklık artışlarına neden olmaktadır.

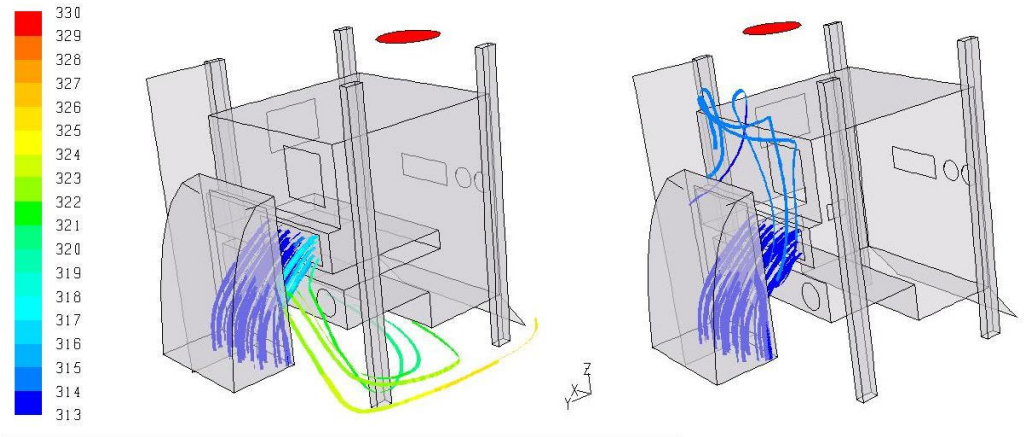


Şekil 4. 17: Cihaz-1 girişine yönlenen hava

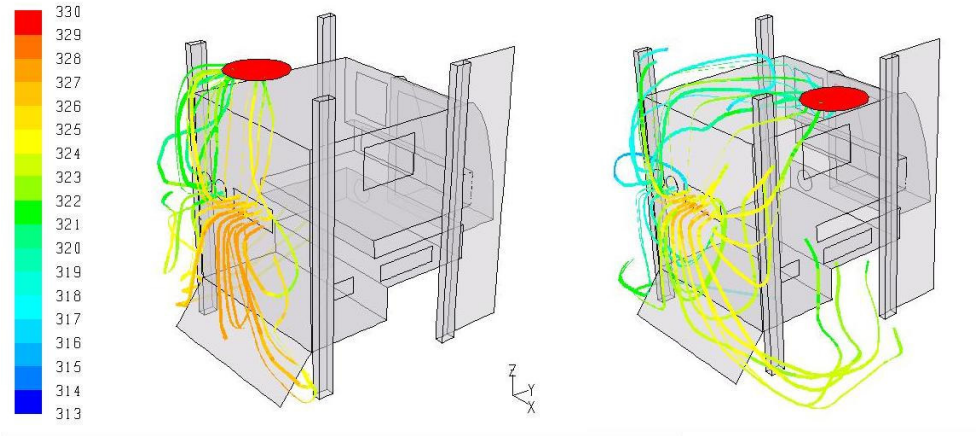
Şekilde cihaz girişine yönlenen hava gösterilmektedir. Bölüm 4. 1'de anlatılan giriş alanının duruş şekli sebebiyle sıcaklık artışı gerçekleşmemektedir.

Aşağıdaki şekilde cihaz-2 girişine yönlenen hava gösterilmektedir. Görüldüğü gibi 4 sıra numaralı öneride belirtilen cihaz kabinet içerisinden de bir miktar hava

almaktadır. Buna bağlı olarak Tablo 4. 2'de de belirtildiği gibi 1 derecelik sıcaklık artışı gerçekleşmektedir.



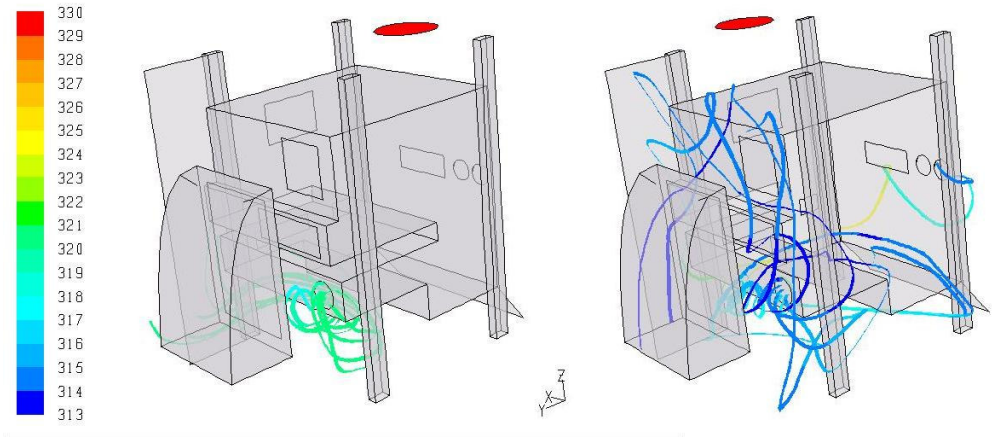
Şekil 4. 18: Cihaz-2 girişine yönlenen hava



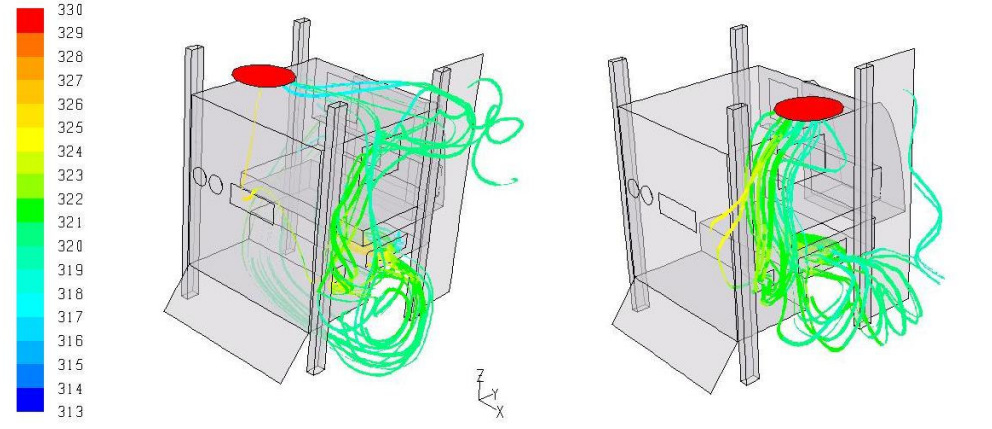
Şekil 4. 19: Cihaz-2 çıkışından yönlenen hava

Cihaz-2 girişine daha yüksek sıcaklıkta gelen hava cihaz içerisinde de ısınarak daha yüksek sıcaklıkta kabinete geri iletilmektedir.

Kabinet içerisinde artan sıcaklık değerleri ise cihaz-3 girişinde istenmeyen sıcaklık artışlarına neden olmaktadır. Her iki durumda da aldığı havanın tamamını kabinet içerisinden sağlayan cihaz-3 girişindeki hava sıcaklığı 4 sıra numaralı tasarım önerisinde diğerine göre oldukça yüksek olarak bulunmuştur. Bunun nedeni egzoz fanının yanlış konumlandırılması ve Bölüm 4. 1'de ifade edilen giriş alanının yanlış konumlandırılması olmuştur. Bu durumu ifade eden akım çizgileri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

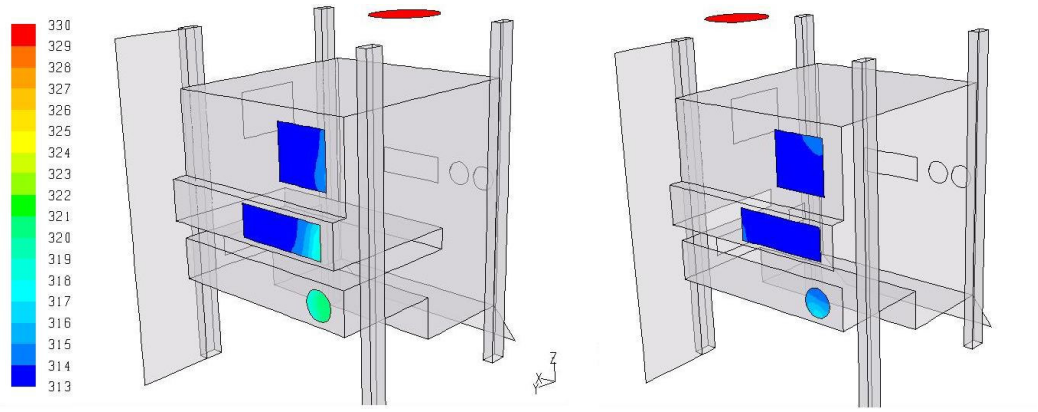


Şekil 4. 20: Cihaz-3 girişine yönlenen hava



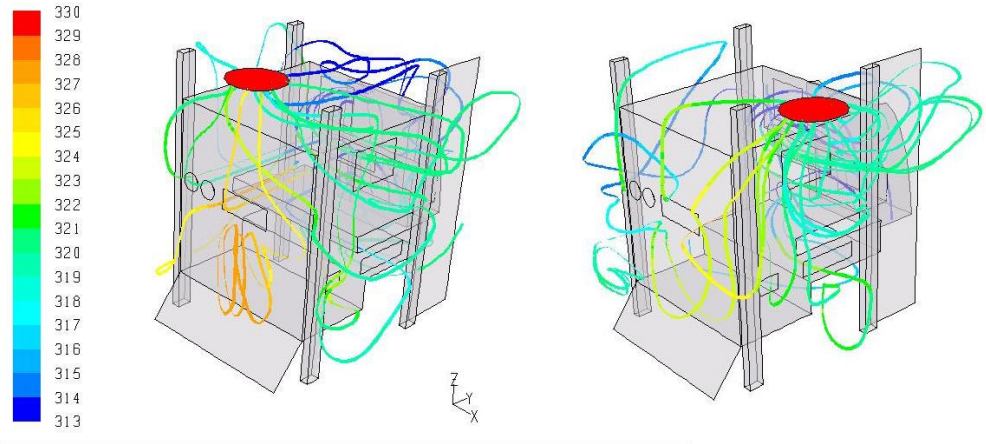
Şekil 4. 21: Cihaz-3 çıkışından yönlenen hava

Yukarıdaki cihaz giriş ve çıkışlarındaki akım çizgilerine ek olarak cihaz girişlerinde sıcaklık konturları aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Şekil 4. 22: Cihaz girişlerinde sıcaklık konturları

Egzoz konumlandırmasında yukarıda ifade edilmeye çalışıldığı gibi egzoz-3 konumu istenilen şartları sağlayamamıştır. Bunu aşağıdaki şekilden de görebilmekteyiz Bu şekilde egzoz fanına yönlenen akım çizgileri sıcaklığa göre renklendirilmiş olarak verilmektedir.



Şekil 4. 23: Egzoz fanına yönlenen hava

19-22 veya 29-30 numaralı öneriler karşılaştırıldığında E2 kodlu egzoz konumunun E1 kodlu egzoz konumundan da daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Egzoz fanı konumlandırılmasında karşılaştırılabilecek tasarım önerileri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 4. 4: Egzoz fanı konumunun sıcaklık artışına etkisi

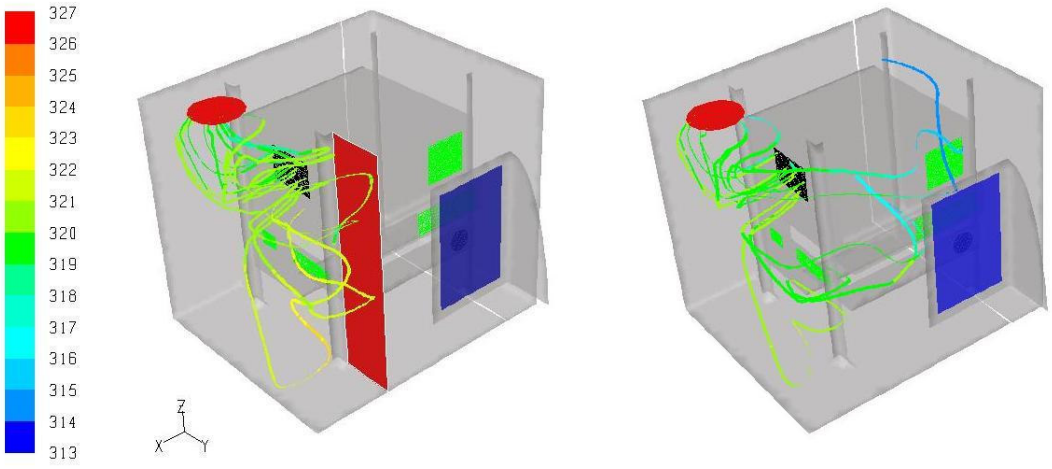
Sıra No	Giriş	Fan	Egzoz	Levha	Cihaz-1	Cihaz-2	Cihaz-3	Çıkış
4	G1	F2	E3	L13	0	1	7	7
7	G1	F2	E2	L13	0	0	2	7
19	G3	F2	E1	L13	0	1	5	5
22	G3	F2	E2	L13	0	0	2	6
29	G5	F2	E1	L0	3	1	1	7
30	G5	F2	E2	L0	2	0	1	7

Birden fazla fanın kullanılmasının üretim, işletme maliyeti, gürültü ve titreşim konuları açısından ek yük getireceği düşünülmüştür.

Sonuç olarak E2 kodlu egzoz fanı konumunun önerilen konum seçenekleri arasında en iyisi olduğu ve tek kullanılabileceği görülmektedir.

4.3 Ayırıcı levha

Tasarım aşamasında cihaz çıkışlarından girişlere yönlenebilecek sıcak havanın önüne ayırıcı levhalar yerleştirerek istenilmeyen sıcaklık artışı önlenmeye çalışılmıştır. Tablo 4.2'de verilen sonuçlardan ilk 4 tasarım önerisi, 35 ve 36 numaralı tasarım önerileri veya 26, 27, 28 numaralı tasarım önerileri karşılaştırıldığında levhaların sıcaklık artışında istenilen miktarda etkiyi yapamadığı gözlenmiştir. Bunun yanında 11 ve 12 numaralı ve 20 ve 21 numaralı tasarım örmeklerinden de bu sonuç anlaşılmaktadır. 26 ve 27 sıra numaralı analiz sonuçlarından elde edilen Şekil 4.24 cihaz-1 çıkışından yönlenen havanın ızlediği yolu gösteren akış çizgileridir, Kelvin birimindeki sıcaklığa göre renklendirilmiştir.



Şekil 4. 24: Levha-1 bulunduğu ve bulunmadığı durumda cihaz-1 çıkışı

Yukarıdaki iki şekilde akış çizgilerinden ve cihaz girişlerindeki ortalama sıcaklık değerlerinden de görülmektedir ki, cihaz-1 çıkışındaki akışın düşük bir miktarı cihaz girişine yönlenmektedir ve engellenmektedir. Bu yönelim yüksek sıcaklık artışlarına neden olmadığı için levha kullanışsız kalmıştır. Bunun yanında egzoz fanları ile kabinet dışına atılamayan ısınmış hava yine kabinet içinde kalmıştır. Levhalar sadece ısınmış havanın cihaz girişlerine doğrudan yönelimini engellemektedir. Bu nedenlerle ayırıcı levha tasarım parametreleri arasında en az etkiyi göstermiştir.

Tasarım önerilerinden 2 ve 3 sıra numaralılar incelendiğinde, sadece levha-1 kullanılan ve levha-1 ile levha-2'nin beraber kullanıldığı durumlarda hiçbir farklılık ortaya çıkmamıştır. Bu durum sonucunda tasarım ortaya koyma sürecinin başında levha-2 elenmiş ve ilerleyen çalışmalarda kullanılmamıştır. Bu sonuç aşağıda tablo halinde ifade edilmiştir.

Tablo 4. 5: Levha-1 ve levha-1 ile levha-2 kullanıldığı durumda alınan sonuçlar

Sıra No	Giriş	Fan	Egzoz	Levha	Cihaz-1	Cihaz-2	Cihaz-3	Çıkış
2	G1	F2	E1	L1	0	1	7	7
3	G1	F2	E1	L12	1	1	7	7

18-19 numaralı analizler incelendiğinde ise levha-3'ün sıcaklık artışlarında hiç bir katkı sağlamadığı görülmektedr. Bu durumu ifade eden tasarım önerisi sıcaklık artış değerleri aşağıdaki tablodan görülmektedir.

Tablo 4. 6: Levha-1 ve levha-1 ile levha-3 kullanıldığı durumda alınan sonuçlar

Sıra No	Giriş	Fan	Egzoz	Levha	Cihaz-1	Cihaz-2	Cihaz-3	Çıkış
18	G3	F2	E1	L1	0	1	5	5
19	G3	F2	E1	L13	0	1	5	5

Levha kullanımı istenilen tasarım kriterlerin sağlama konusunda en etkisiz kalan parametre olmuştur.

4.4 Tatminkar tasarımlar

Yapılan analizler sonucunda, cihaz giriş sıcaklıklarında minimal artış gösteren çeşitli tasarım önerileri ortaya çıkmıştır. Tablo 4.2'de yer alan tasarım önerilerinden, yapılan analizler sonucunda 2-3 ^{0}C'lık cihaz giriş sıcaklığı artışı öngörülenler aşağıda Tablo 4.3'de sıralanmıştır.

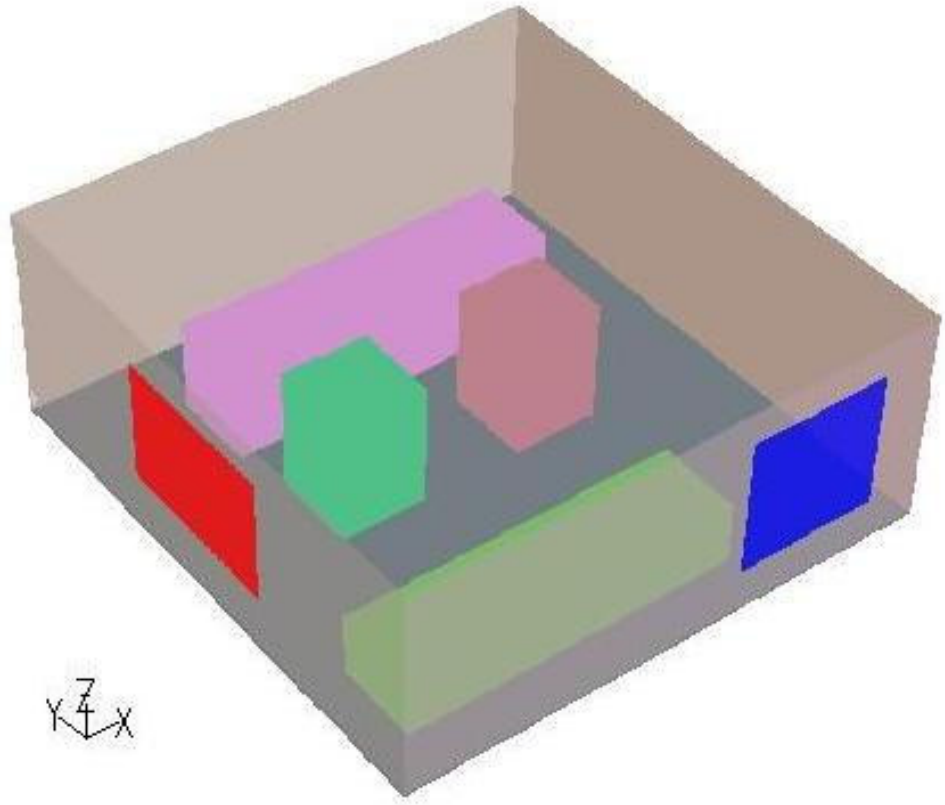
Tabloda yer alan tasarım önerileri incelendiğinde, giriş alanı kabin altından 149 cm yukarıda olan seçeneklerde levha olmadan düşük cihaz giriş sıcaklıklarına ulaşıldığı görülmektedir. 30, 33, 34 sıra numaralı tasarımlarda yüksek güçlü kabin fanı kullanılması ile cihaz giriş sıcaklıkları ortam sıcaklığının sadece 2^{0}C üstünde tutulabilmiştir. Kabin fanının daha zayıf olduğu hallerde cihaz giriş sıcaklıkları ortamdan yaklaşık 3^{0}C daha yüksek çıkmaktadır. Aradaki küçük fark bu konuda maliyet, titreşim, ses vb. faktörlerin de gözönüne alınarak karar verilebileceğini göstermektedir. Analiz sonuçları incelendiğinde giriş alanının daha da büyütülmesinin kabin havalandırmasına olumlu etki yapacağı görülmektedir fakat yapısal nedenler ve eletromanyetik toz filtresi maliyeti nedenleriyle giriş alanının sınırlı tutulması istenilmiştir. Bu nedenlerle, bu çalışma kapsamında daha büyük giriş alanları ile analiz yapılmamıştır.

Tablo 4. 7: En uygun cihaz giriş sıcaklığı elde edilen tasarım önerileri.

Tasarım Önerisi					Analiz Sonucunda Giriş Kesitinde Elde Edilen Ortalama Toplam Sıcaklık Artışı, 0C				Açıklama
Sıra No	Giriş	Fan	Egzoz	Levha	Cihaz-1	Cihaz-2	Cihaz-3	Çıkış	
7	G1	F2	E2	L13	0	0	2	7	Çift Levha
21	G3	F2	E2	L1	0	1	3	6	Tek Levha
22	G3	F2	E2	L13	0	0	2	6	Çift Levha
29	G5	F2	E1	L0	3	1	1	7	Levhasız, yüksek güçlü fan
30	G5	F2	E2	L0	2	0	1	7	Levhasız, yüksek güçlü fan
32	G5	F1	E2	L0	3	1	2	8	Levhasız, düşük güçlü fan
33	G6	F2	E2	L0	2	0	1	6	Levhasız, yüksek güçlü fan
34	G6	F2	E1	L0	2	0	1	6	Levhasız, yüksek güçlü fan
37	G6	F1	E3	L0	3	1	2	8	Levhasız, düşük güçlü fan

4.5 Cihaz içi basitleştirmelerin değerlendirilmesi

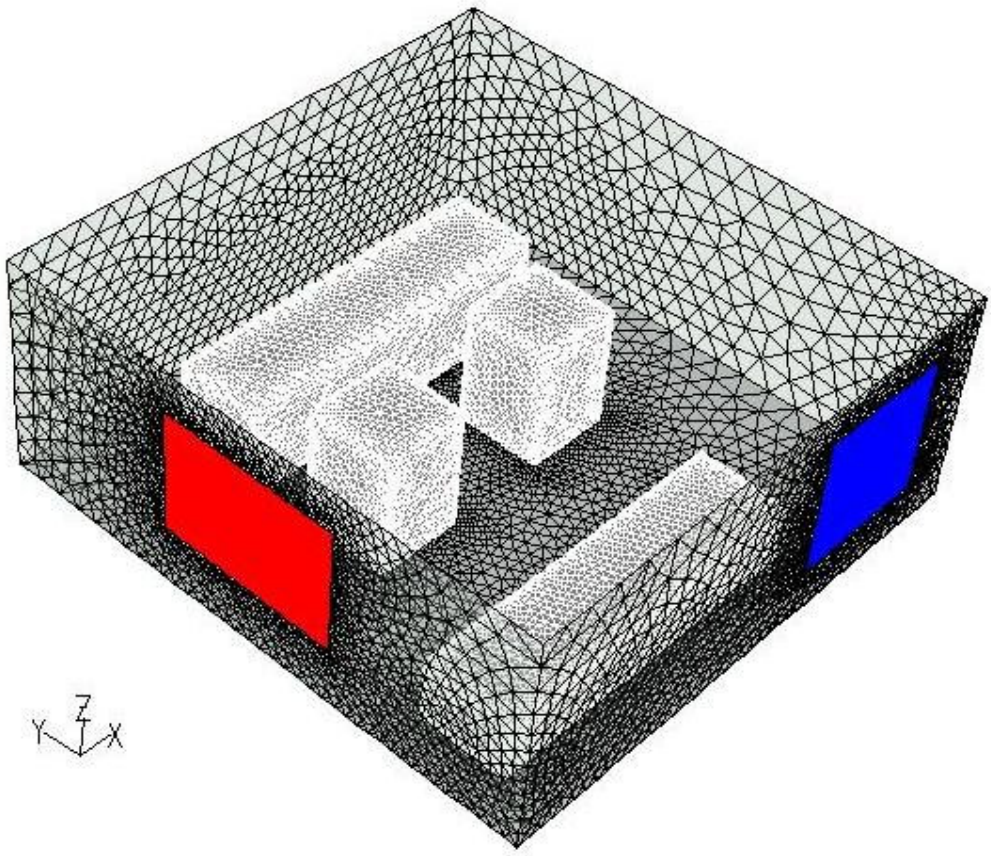
Çalışmanın bu kısmında, yapılan cihaz içi hava akış kanalının gerçekçiliği araştırılmıştır. Alt-elektronik cihazın içerisindeki hacim de modellenmiş, cihaz için bir giriş ve bir çıkış sınır şartı verilerek havanın dağınık halde cihaz içerisinde dolaşmasına izin verilmiştir. Sadece cihaz-1 için bu analizler gerçeklenmiştir. Cihaz içerisinde ortaya çıkan toplam ısı, cihaz içerisine keyfi olarak yerleştirilen katı cisimlerin çeperlerinden akışa iletilmiştir. Aşağıdaki şekilde cihaz geometrisi ve içerisine yerleştirilen katı cisimler gösterilmiştir. Mavi renkle gösterilen bölge giriş alanını, kırmızı renkle gösterilen çıkış alanını, içerdeki 4 katı cisimse cihazda bulunabilecek cisimleri temsil etmektedir.



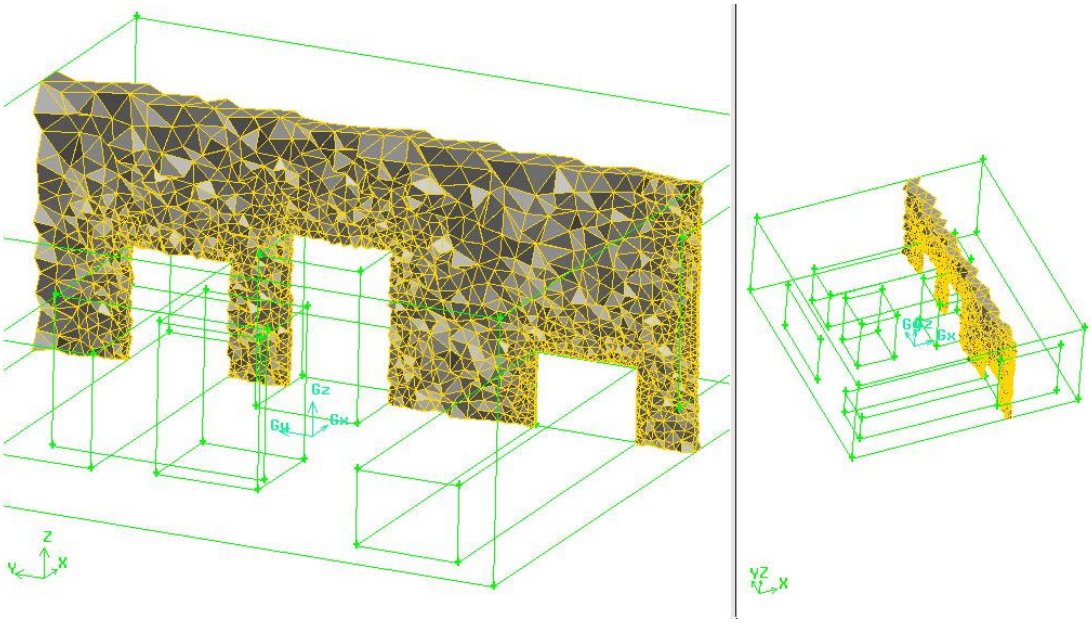
Şekil 4.25: Cihaz içerisindeki katı cisimler

Bu çözümde sayısal çözüm ağı yapısız olarak sayısı 400.000 olacak şekilde oluşturulmuştur. Üçgen prizmalardan oluşan hücrelerde ortaya çıkan, açıya dayalı olarak hesaplanan hücre çarpıklığı en yüksek 0.8 olmuştur ki bu değer çözüm için uygundur.

Çözümler kabinet çözümlerinde olduğu gibi iki denklem türbülans modellerinden *k*-ε modeli kullanılarak elde edilmiştir. Sınır tabaka çözümünde duvar fonksiyonu kullanılmıştır ve *yplus* değeri 15-50 aralığında olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu değer duvar fonksiyonu kullanmak için uygun bir aralıktır. Aşağıdaki şekillerde cihaz için geliştirilen yüzeydeki çözüm ağı ve girişe yakın bir noktadaki kesitte hücre büyüklükleri gösterilmiştir.



Şekil 4.26: Cihaz analizi için geliştirilen yüzey çözüm ağı



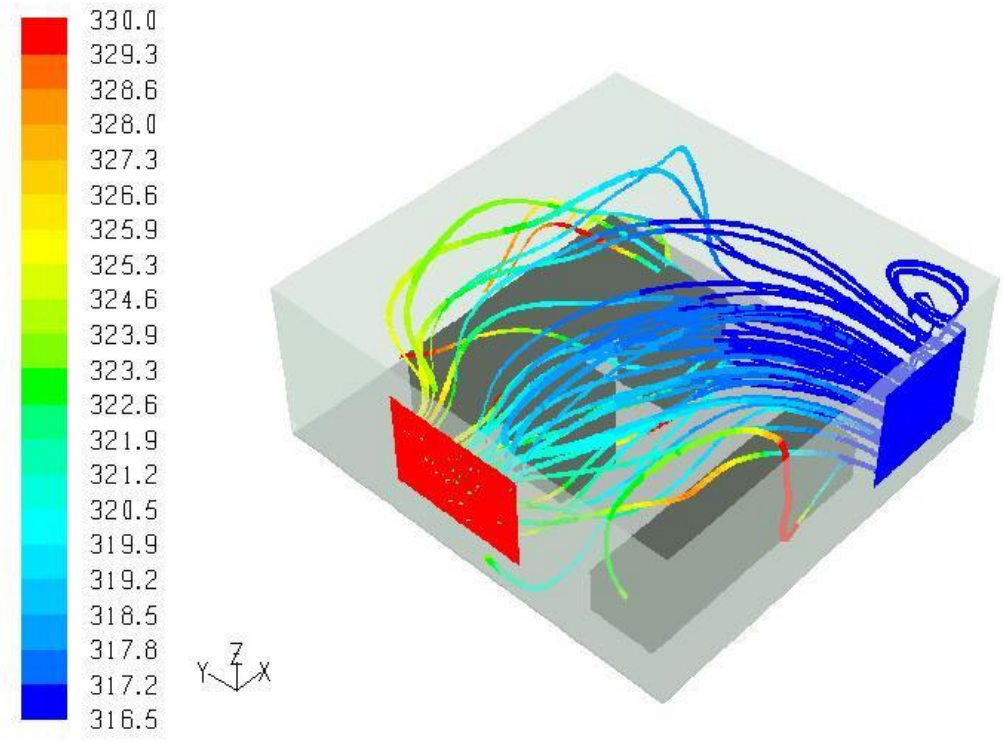
Şekil 4. 27: Alınan kesitte çözüm ağı büyüklükleri

Yapılan analizlerde çıkış sınır şartı olarak fan verilmemiştir. Çünkü cihazın kabinet içinde olduğu durumda kabinet fanı etkisiyle cihaz fanının iki yüzeyi arasındaki basınç farkı değişmektedir, burada ise cihaz fanı olarak tanımlanabilecek yüzeyin dışarı bakan yüzü atmosfer şartlarındadır. Bu yüzden kabinet için çözümü alınmış bir örnek durumdaki cihaz girişi ortalama hız büyüklüğü giriş sınır şartı olarak verilmiştir. Sözü edilen örnek kabinet analizi içinse 32 sıra numaralı analiz seçilmiştir. Bu alternatifte cihaz girişindeki sıcaklık kabinet giriş sıcaklığından 3.5 ^0C ve cihaz çıkışındaki sıcaklık 10.7 ^0C fazla olarak bulunmuştu. Cihaz içi cisimlerinin çeperlerinden ısı iletimi olduğu düşünülerek yapılan analizlerin sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4. 8: Kabinet analizi ve yalnız cihaz analizi sonucunda sıcaklık artışları

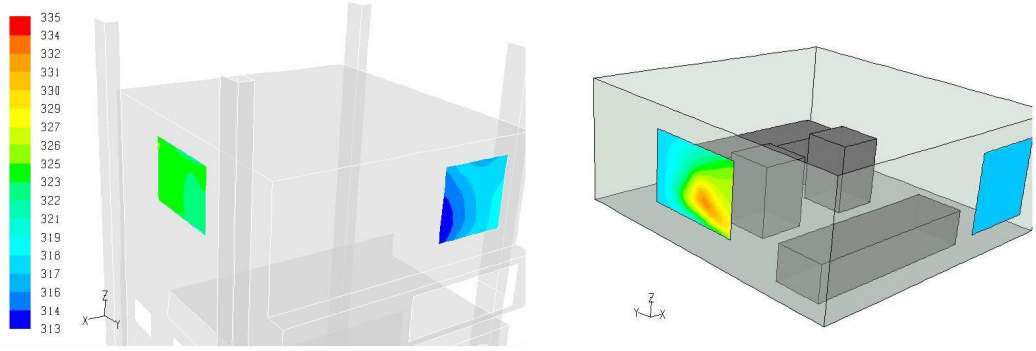
	giriş	çıkış
Kabinet analizinden gelen	3.5	10.7
Cihaz modellemesi	3.5	10.7

Çözüm sonucunda bulunan cihaz içindeki akım çizgilerinin sıcaklığa göre renklendirilmiş şekli aşağıda gösterilmiştir.

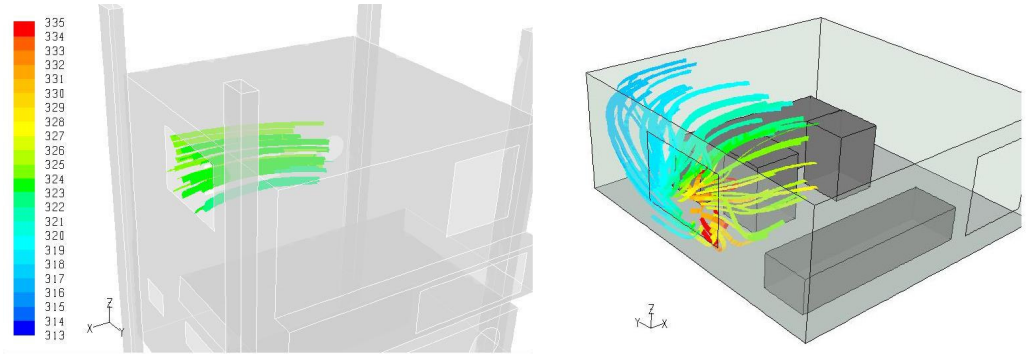


Şekil 4. 28: Cihaz içerisindeki sıcaklığa göre renklendirilmiş akış çizgileri

Aşağıdaki şekillerde ise kabinet için yapılan analiz ile cihazın tek başına analiz edilmesi sonucunda bulunan cihaz giriş ve çıkışındaki sıcaklık konturları ve cihaz çıkışlarına yönlenen hava sıcaklığa göre renklendirilmiş olarak yanyana fverilmektedir.



Şekil 4. 29: Cihaz giriş-çıkışlarında sıcaklık karşılaştırması



Şekil 4. 30: Cihaz çıkışına yönlenen hava

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere cihazın çıkışından yönlenen hava iki durumda farklı olmaktadır. Bunun sonucunda sıcak hava kabinet içerisinde farklı dağılım davranışları izleyecektir. Fakat kabinet içerisine yönlenecek sıcak havanın gerçekçi bir yaklaşımı ancak cihaz içerisinin konfigürasyonu bilinebilirse elde edilebilir.

Yapılan analizlerde görülmüştür ki, ana kabinet için hesaplanan cihaz çıkışı sıcaklıkları cihazın ayrı bir sistem olarak ele alındığı durumdaki çıkış sıcaklıkları ile uyum göstermektedir. Bu durumda tek farklılık cihaz çıkışından kabinet içerisine yönlenecek hava için gerçekleşmektedir. Bu şekilde yapılan hava kanallarının sistem için çözüm ağı sayısını azaltması nedeniyle iyi bir yaklaşım olduğu söylenebilir.

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

Kabinet çalışmasında, içerisindeki alt-elektronik cihazların girişlerinde ortalama sıcaklık artış değerlerinin en aza indirilmesi istenilmektedir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen farklı tasarım seçenekleri belirlenen parametrelerin değiştirilmesi ile oluşturulmuştur. Bu parametreler; kabinet giriş alanı yeri ve büyüklüğü, kabinet egzoz fanı veya fanlarının konumu, sayısı ve gücü, kabinet içerisine akımın yönüne tesir edebilecek ayırıcı levha ilavesi olarak belirlenmiştir.

Kabinet giriş alanı başlangıç önerilerinde dikdörtgen şeklinde ve kısa kenarı yere paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. İlk yapılan 2 giriş alanı önerisi de cihaz girişlerinin tam karşısında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yapılan analizlerde yüksek çıkan sıcaklık artışının nedenini bulabilmek için ardişleme ile akım görüntülemesi yapılmış ve kabinet giriş muhafazası nedeniyle akımın yukarı yönlendiği farkedilmiştir. Bunun sonrasında kabinet girişinin uzun kenarı yere yatay olacak şekilde yerleştirilmiş ve istenilmeyen sıcaklık artışı bir miktar engellenmiştir. Sonrasında 4 adet farklı giriş alanı önerisi ilave edilmiş ve sonuçları yorumlanmıştır. Giriş kısmında bulunan elektromanyetik filtrenin maliyeti de göz önünde bulundurularak G5 kodlu tasarım giriş alanı kullanılabilirlik açısından önerilmiştir.

Kabinet egzoz fanı yeri için 3 farklı öneri, sayısı için 2 farklı öneri ve gücü olarak 2 farklı öneri getirilmiştir. Yapılan çeşitlemelerin sonuçlarına ardişleme uygulanarak cihaz çıkışlarından kabinet içerisine iletilen havanın tam olarak emilimi kontrol edilmiştir. Bu durumda güçsüz fanın istenilmeyen sıcaklık artışını engelleyemediği görülmüştür. Birden fazla fanın kullanımının ise maliyet ve gürültü açısından kullanışlı olmayacağı düşünülmüştür. Güçlü fandan 1 adet ve doğru yerde kullanıldığı durumda tasarım hedeflerine ulaşıldığı görülmüş ve bu parametreleri içeren öneriler öne çıkarılmıştır.

Kabinet içerisinde akım yönlenmelerini kontrol altında tutabilmek için ayırıcı levha kullanımı düşünülmüştür. Belirlenen 3 konumda yerleştirilen levhalarla yapılan analizler sonucunda levhaları tek başınaa veya beraber kullanmanın cihaz girişlerinde meydana gelen istenmeyen sıcaklık artışlarını engelleyemediği görülmüştür. Akım

görüntüleme tekniği ile yapılan ardişleme sonucunda da levhaların akım ayırıcı olarak kullanışsızlığı ortaya koyulmuştur.

Kabinet aerotermal tasarımı konusunda tatminkar tasarım önerileri hazırlanmış ve tablo halinde sunulmuştur.

Yapılan çalışmaya ek olarak, kabinet tasarımı ilerletilmek istenildiğinde seçilecek örnek bir durum için gerçek boyutlarda bir kabinet prototipi üretilerek deneyler yapılabilir, fan modeli değiştirilerek veya ayırıcı levhalar konumlandırılarak deney sayısı arttırılabilir ve HAD sonuçlarının deney sonuçlarına ne kadar yaklaştığı incelenebilir.

Cihaz içi konfiürasyonları tam olarak bilinemediğinden yapılan analizlere ek olarak cihaz içi de ayrı olarak modellenmişti fakat katı model sağlayıcısından cihaz içlerinin gerçek konfigürasyonları elde edilebilirse çıkış yüzeylerinde akı dağılımı olarak gerçeğe daha yakın simülasyonlar yapılabilir.

Kabinet fanının alt elektronik cihazların giriş hava sıcaklıklarının 10 derece arttığında çalışmaya başladığı göz önünde bulundurularak zamana bağlı analizler yapılması ile daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir.

6. KAYNAKLAR

[1] **Günther G., Bosbach J., Pennecot J., Wagner C., Lerche T., Gores I.**, Experimental and numerical simulations of idealized aircraft cabin flows, Aerospace Science and Technology, 2006

[2] **Stamou A., Katsiris A.**, Verification of a CFD model for indoor airflow and heat transfer, Building and Environment, 2005

[3] **Abanto H., Barrero D., Reggio M., Ozell B.**, Airflow modelling in a computer room, Building and Environment, 2004

[4] **Wilcox D. C.**, Turbulence Modelling for CFD, DCW Industries, Inc, 1994

[5] **Tennekes H., Lumley L.**, A First Course in Turbulence, The MIT Press, 1972

[6] **Ferziger H., Peric M.**, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer-Verlag, 2002

[7] **İsmail B. Çelik**, Introductory Turbulence Modelling, Lecture Notes, West Virginia University, 1999

[8] **Gebremedhin K.G.**, Numerical simulation of flow field around a cow using 3-D body-fitted coordinate system, Journal of Thermal Biology, 2001

[9] **Klaus A. Hoffmann, Steve T. Chiang**, Computational Fluid Dynamics Volume-3, Engineering Education System, USA, 2000

[10] Fluent User Guide, Version 6.2, Fluent Inc.

[11] Gridgen User Guide, Version 15.08, Pointwise Inc

[12] Gambit User Guide, Version 2.3.16, Fluent Inc

7. ÖZGEÇMİŞ

Giresun ilinin şirine ilçesi Şebinkarahisar'da 28/07/1981 tarihinde doğan Resul Açıkyol ilk, orta ve lise eğitimini İzmir'de tamamlamıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Mühendisliği programından 2004 yılında mezun olmuş ve İleri Teknolojiler Enstitüsü Uçak Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.