

# Mekan İçi Hava Hareketlerinin Sonlu Farklar Yöntemi ile Modellenmesi

Ediz KARAOĞLU

Yrd. Doç. Dr.Hakan ERSOY

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

## ÖZET

Menfezler bir havalandırma sisteminin en önemli elemanı olarak kabul edilmektedir. Bunun nedeni son kullanıcı ile karşı karşıya olmasıdır. Özellikle konfor klimasında iç mekan hava dağıtımında yapılan hatalar doğrudan doğruya kullanıcılara yansımaktadır. Buda tüm havalandırma sisteminin diğer unsurlarına oranla iç hava dağıtımın mekan içinde yayılmasını sağlayan menfezlerin seçimlerini ve yerleşimlerini önemli kılmaktadır. Araştırmalar havalandırma sistemlerine ait sorunların büyük bir çoğunluğunun menfezlerden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Mekan içi hava hareketlerini temsil eden bazı deneysel ifadeler, ilgili literatürde bulunmakla birlikte bunların karışık geometriye sahip mekanların havalandırma planlaması için yeterli olmadığı bilinmektedir. Bu noktada genellikle bir model oluşturularak deney yapılması önerilmektedir. Bu işlemin pahalı olması, deney şartlarının gerçeği tam temsil etmemesi yanı sıra değişikliklerin hızlı bir şekilde yapılamaması deneyi pratik olmaktan çıkmaktadır. Bu çalışmada, sonlu farklar yöntemi kullanılarak mekan içi hava hareketleri sanal ortamda modellenmiştir. İstenilen noktadaki hava hızları tüm mekan için tespit edilebilmektedir. Sanal ortamda menfezlerin konumları ve tipleri değiştirilerek en iyi sonuca rahatlıkla ulaşılabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hava hareketi, sonlu farklar yöntemi, modelleme, havalandırma

## ABSTRACT

Registers are regarded as the most important element of an air conditioning system. The reason of this is that they are faced with the last user. Especially in comfort air conditioner, the mistakes that are made in in-room air distribution affect the users directly. In comparison with the other elements of the whole air conditioning system,

this makes important the selection and placement of the inlets that enable the inner air distribution to spread in the room. Research reveals that most of the problems related with the air conditioning systems stem from the inlets. Although there are some experimental studies in the literature that represent the in-room air movements, they are not sufficient to plan air conditioning for rooms with complex geometrical shapes. At that point, it is advised that experiments should be carried out by developing a model. The high cost of this operation, the inability to make the changes rapidly, and the fact that the experiment conditions do not represent the reality prevent the experiment from being a practical one. In this study, in-room air movements are modelled in virtual medium by using finite differences method. The air speed at desired points can be determined for the whole space. Best result can be achieved easily by changing the places and the types of the inlets in the virtual medium.

**Keywords:** Air movement, finite differences method, modeling, air-conditioning

## GİRİŞ

Mühendislikte üç temel yöntem vardır. Analitik yöntemler, Sayısal yöntemler ve Deneysel yöntemler bu üç temel yöntemi oluşturmaktadır. Analitik yöntemlerde, fiziksel bir problemin diferansiyel denkleminin oluşturulması sonrasında ilgili sınır şartları çerçevesinde entegre edilmesi neticesinde sonuca ulaşılmaktadır. Bu sonuç teorik kesin sonuç olarak adlandırılmakta ve diğer iki yönteme referans teşkil etmektedir. Bununla birlikte, ancak kısmen basit geometri ve sınır koşullarında rahatlıkla kullanılabilir. Sınır koşullarının ve hesaplama yapılan alanın karışık olmasına bağlı olarak uygulanabilirliği ortadan kalkmaktadır.

Sayısal (nümerik) yöntemler genellikle hemen her türlü geometri ve sınır koşullarında çözüm üretebilmektedirler. Ancak çoğu zaman güçlü bir bilgisayar ve konusu ile ilgili bir yazılım gerektirmektedir. Bununla birlikte bir yaklaşım metodudur.

Deneysel yöntemler ise üretilmiş sistemler üzerinden, sıcaklık, hız, birim uzama gibi fiziksel değerlerin cihazlar yardımıyla ölçülmesine dayanmaktadır. Burada da ölçüm hataları ve kalibrasyon gibi sorunların üstesinden gelinmelidir. Ayrıca ölçüm yapılabilmesi için en azından bir prototipin imal edilmesi gerekmektedir.

## SAYISAL YÖNTEMLER

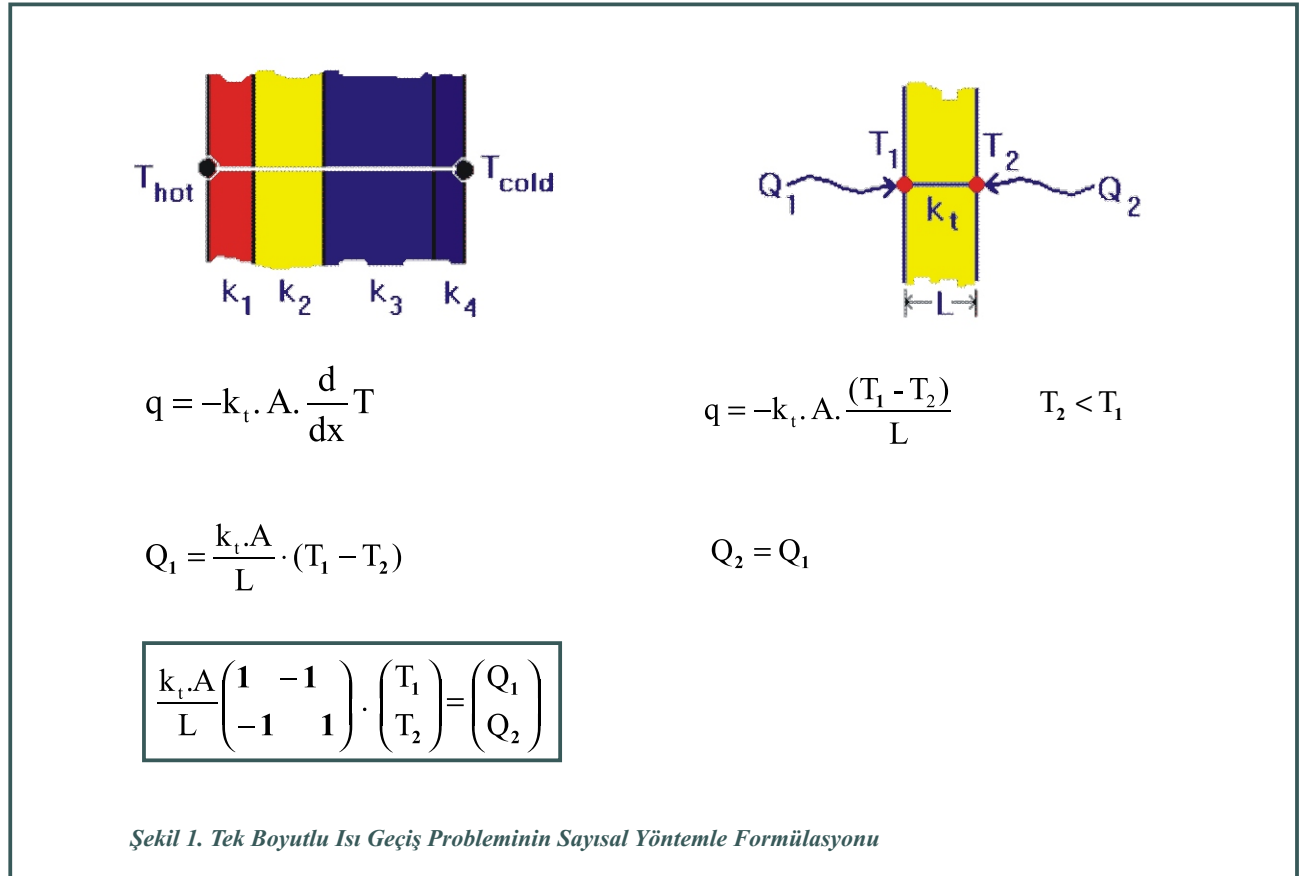
Teorik kesin sonucun elde edilemediği pratikte birçok mühendislik problemi vardır. Bu durum ya sistemi temsil eden diferansiyel denklemlerin karmaşıklığı ya da sınır ve başlangıç koşullarının uygulanabilirliğinin güçlüğünden kaynaklanmaktadır. Bu tür sorunların üstesinden gelmek için Sayısal (nümerik) yöntemlerden faydalanılmaktadır. Analitik yöntemin tersine bu yöntemler sadece ayırık düğüm noktalarında teorik kesin sonuca yaklaşım gösterebilmektedir. Herhangi bir sayısal yöntemin uygulanma prosedüründeki ilk adım sürekli ortamın ayrıklaştırılması yani elemanlara bölünmesidir. Bu durum analizi yapılacak bölgenin küçük elemanlara ve bunları birleştiren düğüm noktalarına bölünmesidir.

Sayısal yöntemler için, sonlu elemanlar, sonlu farklar ve sınır elemanlar gibi sınıflandırmalar yapılmaktadır. Sonlu farklar metodunda her bir düğüm noktası için diferansiyel denklemler yazılmakta daha sonra türevler fark denklemleri ile yer değiştirilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminde ise

cebric denklem sisteminin elde edilmesi için fark denklemleri yerine integral formülasyonları kullanılmaktadır. Aşağıda sayısal yöntemin bir boyutlu ısı geçiş problemindeki uygulaması görülmektedir.

### Sayısal Yöntemlerin Adımları

- 1-) Analizi yapılacak olan bölge ayrıklaştırılarak elemanlar ve bunları birbirine bağlayan düğüm noktalarından (nod) ibaret hale getirilir.
- 2-) Tek bir elemanın fiziksel davranışını temsil edecek şekil fonksiyonu belirlenir.
- 3-) Bir eleman için denklemler elde edilir.
- 4-) Problemin bütünü temsil etmek üzere elemanların matematiksel bir sistem içerisinde montajları yapılır.
- 5-) Sınır koşulları, başlangıç koşulları ve yüklemeler sisteme uygulanır.
- 6-) Düğüm noktalarındaki yer değiştirme, sıcaklık gibi fiziksel değerlerin elde edilmesi amacıyla yönelik olarak çözüm yaptırılır.
- 7-) İlgili diğer fiziksel büyüklüklerin görsel ve sayısal anlamdaki analizleri, ilgilenilen bölge için yapılır.



## MAHAL İÇİNDE HAVA HAREKETLERİ

Menfezler mahal içerisinde bulunurlar ve dolayısıyla bir havalandırma sisteminin en son unsuru olarak kabul edilirler. Son kullanıcıyla karşı karşıyadır ve bu yönüyle sistemin en önemli elemanıdır. Konu ile ilgili literatürde, havanın mahal içinde dağıtılması, bir başka deyişle menfezlerin yerlerinin ve tiplerinin belirlenmesi tüm havalandırma tekniğinin en zor görevlerinden birisi olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla bu görevin başarılı bir şekilde yerine getirilmesi büyük deneyime sahip olmayı gerektirmektedir.

Bazı araştırmalara göre havalandırma ile ilgili sorunların % 70'i menfezlerden kaynaklanmaktadır. Menfez seçimi için her duruma uygun kesin kurallar koymak mümkün değildir. Özellikle yüksek ısıtma ve soğutma yükü olan karmaşık geometrik ölçülere sahip mahallerde güçlüklerle karşılaşmaktadır. Çok alçak ve çok yüksek tavanlı mahaller, içinde balkon bulunan salonlar sarkan kirişli veya tavan yüksekliği değişken mahaller, konser salonları, vb. havalandırmacılık için zor mahallerdir. Böyle durumlarda, bir model mahal oluşturarak deney yapmak en iyi çözüm olarak görülmektedir. Standartlarda bu deneylerin nasıl yapılacağı tanımlanmaktadır.

### Menfezlerin Görevleri

- Gerekli hava debisini vermesi
- Havanın mahal içinde yayılmasını sağlamak
- Rahatsız edici hava akımları oluşturmaması
- Havayı doğrudan toplayıcı menfezlere göndermemesi
- Gürültü oluşturmaması
- Mimari tasarıma uygun olması

Bir mekana dağıtıcı menfezlerle verilen hava, normal olarak toplayıcı menfezlerle geri alınır. Bazı durumlarda, verilen havanın bir bölümü atmosfere veya komşu mahallere kaçar. Bu durumda mahal içinde pozitif basınç oluşur. Eğer mahal içinde eksi basınç oluşmuş ise örneğin tuvalet ve banyo gibi mekandan emilen havanın bir bölümü veya tümü atmosferden veya komşu mahallerden gelir. Görüldüğü gibi mahal içinde bir hava hareketi söz konusudur. Bu hava

hareketinin içeride bulunan insanları rahatsız etmeyecek şekilde olması gerekir. Menfez seçiminde ve yerleştirilmesinde dikkat edilecek en önemli konunun bu olduğu söylenebilir.

Hava, dağıtım menfezleri aracılığı ile mahal içine gönderilir. Bu menfezlere, basma veya üfleme menfezleri adıda verilmektedir. Mekan içine gönderilen hava mahal havası ile karışarak kapsamında bulunan bir kısım antalpi ve nem miktarını bırakır. Böylece ya daha fazla ısınır veya serinler ve ayrıca nem oranı değişir. Bu hava daha sonra Toplama veya Emme menfezleri tarafından tutularak yeniden tesisata gönderilir.

Mahal içinde oluşan hava dağılımında öneme sahip başlıca etkenler şunlardır.

İç ortam havasının hızı, mahal içine gönderilen basma havasının sıcaklık derecesi, hava dağıtım ile toplama menfezlerinin yeridir.

### İç Ortam Havasının Hızı

Mahal içinde bulunan bireylerin hissettiği rahatsızlık veya sıkıntı duygusunun başlıca nedeni iç ortam havasının hızıdır. Mahal ortamı havasının hızına bağlı olarak bireylerin ne gibi tepkiler gösterdiği Tablo 1'de gösterilmiştir.

Buradaki tepkiler bazı faktörlere bağlı olarak farklılık ve ayrıcalık gösterebilir.

- 1-) Bireyin cinsi ve yaşı
- 2-) Oturma, ayakta durma veya gezinme gibi bireylerin yaptığı uğraşının niteliği
- 3-) Mahallin hangi amaçla kullanıldığı, örneğin bir büro mahalinin, bir mağazanın veya bir konferans salonunun söz konusu olması anılan faktörler arasındadır.

Konfor veya rahatlık duygusunun sağlanmasını amaçlayan iklimlendirme tesislerinde, mahallin kullanılma amacına ve bireylerin uğraşı durumuna bağlı olarak mekan hava hızı olarak 0,1 ila 0,3 m/sn aralığında değişen hız değerleri kabul edilebilir.

Tablo 1. Mekan İçi Hava Hızlarının Bireyler Üzerindeki Etkileri

Mekan Havası Hızı m/sn	Bireyler Tarafından Gösterilen Tepki	Uygulanma Alanı
0 ila 0,1	Tepki genellikle olumsuz niteliktedir. Havanın durgun olduğu ve boğulma hissinin duyulduğu söylenir.	Bu aralıktaki hız değerleri ender hallerde kullanılır.
0,1 ila 0,2	Tepki olumlu niteliktedir.	Bu hız sınırları konfor iklimi amaçlı iklimlendirme tesislerinde kullanılır.
0,2 ila 0,3	Tepki oturan insanlar için olumsuz ayakta duran veya yavaş hareket eden insanlar için uygundur	Söz konusu hız değerleri mağazalar, bankalar ve kamu yapısı gibi tesislerde konfor iklimi alanında kullanılır.
>0,3	Tepki uygunsuz niteliktedir. Hava akımlarından dolayı rahatsızlık hissi duyulur.	Bu sınırdan büyük olan hız değerleri endüstriyel iklimlendirme tesislerinde uygulanır.

### Basma Havaasının Sıcaklığı

Bir mahal içinde bulunan bireyler tarafından hissedilen hava akımı duygusunun bir başka nedeninde basma havaasının sıcaklığı ya da bir başka değişle basma havaası ile mahal havaası arasındaki sıcaklık farkıdır. Mahal ortamı havaasının hızına ve mahal havaasının sıcaklığı ile bu mahal için esas alınan normal konfor sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak, durumlarından hoşnut olmayan insanların oranları literatürdeki grafiklerde verilmektedir. Herne şekilde olursa olsun her şeyden önce önemli olan sorun şudur: Basma havaası ile mahal havaasının birbirine karıştırılması sonucunda, mahallin çeşitli bölgelerinde hissedilen ısı duyguları yeterli bir benzerlik ve homojenlik özelliğine sahip bulunmalıdır. Bu benzerlik ve homojenlik özelliğine erişilmesi, ancak emme ve basma menfezlerinin uygun bölgelerde seçilmesi sayesinde mümkün olabilir.

### Emme ve Basma Menfezlerinin Konumu

Emme ve basma menfezlerinin mahal içindeki konumu, konfor veya rahatlık duygusu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Menfez konumlarının seçimi işleminde genellikle sınırsız bir serbestlik söz konusu değildir ve bu işlem esas olarak, iklimlendirme tesisatının tipine bağlıdır.

Basma menfezleri, bir duvarın alt ya da üst kısmında, bir pencerenin alt kısmındaki duvar yüzeyi üzerinde veya tavana yerleştirilebilir. Duvarların üst kısımlarında öngörülen basma menfezleri, yaz mevsiminde gerçekleştirilen iklimlendirme işlemleri için son derecede uygun sonuçlar verir. Bunun

nedeni, serin havanın aşağılara doğru inmeye ve bu koşullar altında mahal havaası ile karışmaya eğilim göstermesidir. Kış mevsiminde ise, sıcak hava, tavana yakın bölgelerde tabakalar halinde yayılmış durumda toplanır. Bundan dolayı, basma havaası ile mahal havaasının uygun bir karışım oluşturması için, emme menfezlerinin duvarların alt bölgelerinde öngörülmesi gerekir. Bir duvar üzerinde gerçekleşmesi düşünülen basma menfezi konumunun seçimi işinde bazı koşullara uyulması zorunludur. Bu koşullar aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

- 1-) Menfezin uygun bir çalışmaya olanak vermesi ve tavan yüzeyinde siyahımsı lekelerin belirmemesi için, basma menfezinin üst ayırıtı, tavan seviyesinden yaklaşık 30 cm kadar daha aşağıda bulunmalıdır. Tavanda, kirişler ve aydınlatma aygıtları gibi çıkıntılı kısımlar bulunması halinde, istenmeyen türbülanslar olmayacak kadar aşağı indirilmelidir.
- 2-) Bir duvar menfezinin konumu hakkında kesin bir karar verilmeden önce, mahallin boyutları ile boyut oranlarının ve sıcak, soğuk cidarların konumsal durumunun olabildiği kadar ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekir. Basma basama havaası mahallin büyük ayırıtı boyunca püskürtülmeli; böylece tekmil yüzeyin süpürülmesi ve karşıt cidar üzerinde hava hüzmesi darbesi veya şoku oluşumunun önlenmesi gerekir. Bundan başka basma devresinin konumunda havanın serin cidarlar boyunca soğuyarak aşağıya doğru inmesini engelleyecek şekilde düzenlenmelidir.

3-) Basma menfezlerinin, mahal içinde bulunan bireylerin konumuna göre yerleştirilmesi konfor ve rahatlık duygusu açısından son derece önemlidir. Mahallin süpürgelik deyimiyle tanımlanan ve düşey cidarlarla döşemenin ortak birleşme ayrıtlarına yakın bölgelerde, düşey cidarların döşemeye yakın kısımlarında öngörülen ya da pencere altındaki duvarlara yerleştirilen basma menfezleri, konfor veya rahatlık duygusunun sağlanmasını amaçlayan iklimlendirme tesislerinde gitgide yaygın şekilde uygulanmaktadır. Bu tip menfezlerde, havanın basılması işlemi, düşey doğrultu ile 15 ila 20° lik bir açı yapacak şekilde tavana doğru gerçekleşir. Soğuk cidarlar boyunca oluşması olasılığı bulunan hava akımlarının önlenmesine imkan verdiği için, bu tip menfezler özellikle kış mevsimi koşullarına uygundur.

Tavan menfezleri, yalnızca yüksekliği 2,5 m.'den büyük olan mekanlarda öngörülebilir. Gerçekten de, hava akımı duygusunun önlenmesi amacıyla, düşey doğrultulu hava huzmesi ile mahal içerisinde bulunan insanların başı arasında en azından 1 m'lik bir açıklığın bırakılması zorunludur.

#### Emme Menfezlerinin Konumu

Emme menfezleri, mahallin süpürgelik deyimiyle tanımlanan bölgelerinde, bir duvarın alt kısımlarında, tavan üzerlerine yerleştirilebilir. Konumları ne olursa olsun bu

menfezler kirlenen havayı boşaltma görevlerini öncelikli olarak yapmalıdırlar.

Menfezler öyle seçilip boyutlandırılmalıdır ki hava atış mesafeleri şekilde görülen odaya ait A, B, C boyutlarını aşmasın. Bu şekilde görülen örneklerde havanın hız değerleri rahatsız edici değerlerin altında kalmaktadır. Eğer iki karşılıklı hava jeti çarpıyorsa atış mesafesi,

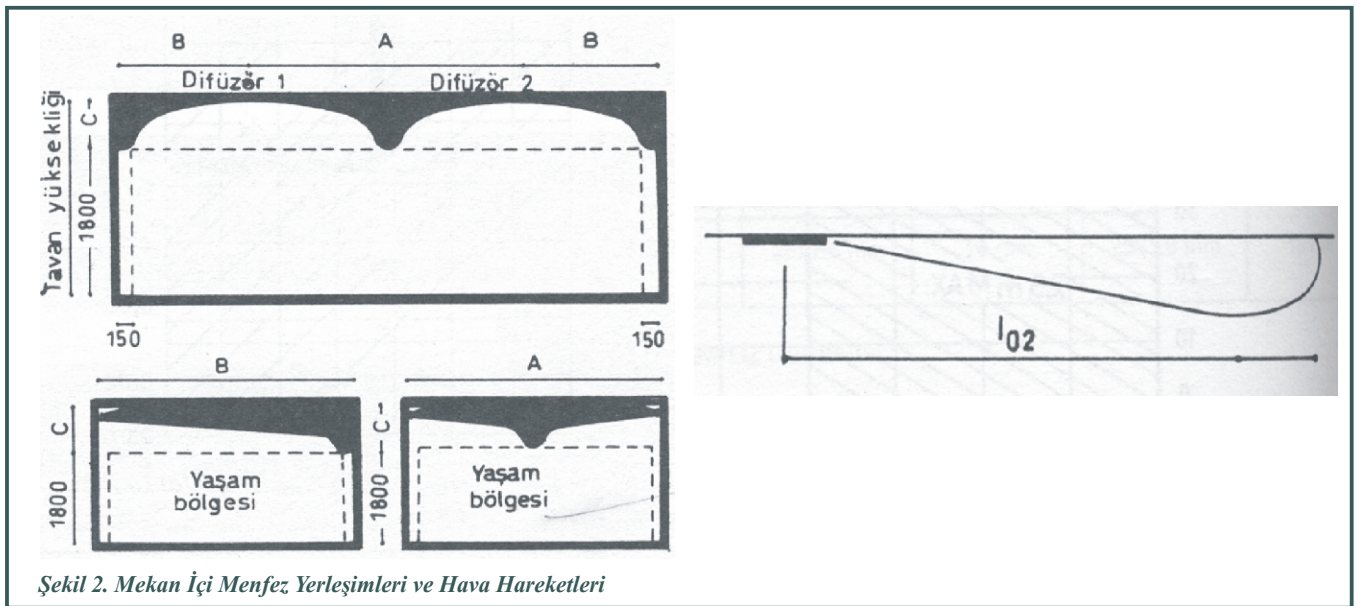
$$L_{02} \leq A/2 + C \text{ şartını sağlamalıdır.}$$

Eğer menfez bir duvara karşı üflüyorsa,

$$L_{02} \leq B + C \text{ olmalıdır.}$$

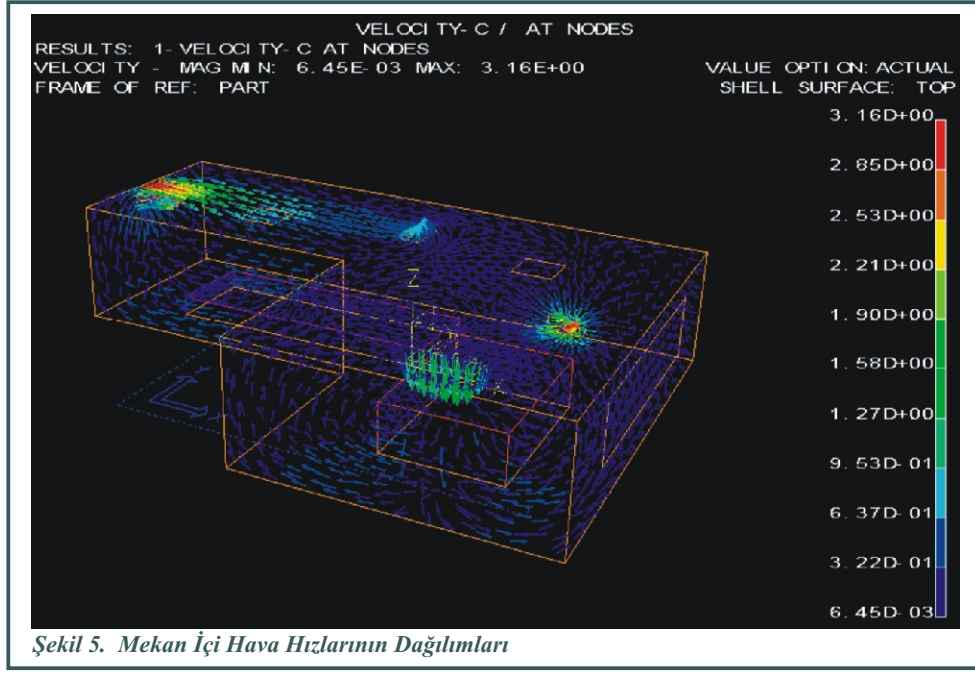
Bu formüller menfez veya difüzörün maksimum hava atış mesafesi değerlerini hesaplamakta kullanılabilir. Uygun hava dağılımını elde etmek için hava atış mesafeleri maksimum değerlerin %75'inden daha az tutulmalıdır. Menfezler için kataloglarda verilen atış mesafeleri izotermik hal içindir. Besleme havasının yüksek soğutma yüklerinde yatay olarak üflenmesi halinde her derece sıcaklık farkı için atış mesafesi %1,5 azalır. Buna karşılık düşey yayılma mesafesi daha yüksek değerler alır. Tam tersine üflenen yatay hava daha sıcak ise her derece sıcaklık farkı için atış mesafesi %2 büyür.

Eğer hava çevreleyici bir yatay düzleme, örneğin tavana paralel olarak üflenirse, hava jeti ile tavan arasında bir negatif basınç oluşur. Bu basıncın etkisi ile jet tavana yapışır. Coanda



Şekil 2. Mekan İçi Menfez Yerleşimleri ve Hava Hareketleri





Şekil 5. Mekan İçi Hava Hızlarının Dağılımları

Menfez 1 : 3 m/sn (Basma)  
 Menfez 2 : 0 m/sn (Emme, vent)  
 Menfez 3 : 2 m/sn (Basma)  
 Menfez 4 : 3 m/sn (Emme)

Mekanın ağ yapısının oluşturulmasında sonlu elemanlar analizlerinde karışık geometrilerin elemanlara ayrılmasında yaygın olarak kullanılan dört düğüm noktalı tetrahedral elemanlar kullanılmıştır. Buna karşılık program çözücü olarak akış analizlerinde daha iyi sonuç veren sonlu farklar yöntemi ile düğüm noktalarındaki sonuçlara ulaşılmıştır. Böylece her iki yöntemin avantajlı yönleri birleştirilmiş olmaktadır.

## SONUÇLAR

Bilgisayar ortamında elde edilen sonuçlar mevcut tekniklere göre önemli avantajları ortaya koymaktadır.

- 1-) Karışık geometri mekanların istenilen her noktasındaki hava hareketleri sanal ortamda elde edilmiştir. Böylece oturma alanları daha doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. Yüksek veya düşük hava hızlarının bulunduğu kısımların kullanımından kaçınılabilmektedir.
- 2-) Basma ve emme menfezlerinin yerleri değiştirilmek suretiyle en uygun hava dolaşımı elde edilebilmektedir. Bunun klasik yöntemle yapılabilmesi mümkün değildir.

- 3-) Menfezlerden üflenen havaya açısal doğrultu verilebilmesi sayesinde menfez yerlerinin yanı sıra tiplerinin seçiminde de karar verilebilmektedir.
- 4-) Menfez üretim firmaları menfez kanat tasarımlarını belirlemede bu yöntemi kullanabileceklerdir.
- 5-) Bu yöntem ilerleyen aşamalarda mekan içi hava hızları yanı sıra sıcaklık dağılımları konusunda da değerler üretebilecek kapasiteye sahiptir.
- 6-) Yukarıda bahsedilen tüm işlemlerin masraflı olan hatta belli durumlarda mümkün olmayan deneyler yerine sanal ortamda yapılabilecek olması önemli bir maliyet kazancı sağlamaktadır.

## KAYNAKÇA

1. Moaveni S.,1999, Finite Element Analysis, Theory and Applications with Ansys, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey
2. I-deas User's Manuel
3. Köktürk U.,1998, İklimlendirme ve Klimatoloji Tekniği Cilt 1,2,3,4, Beşiktaş
4. Dağsöz A.K.,1990, Isı Geçişi, Alp Teknik Kitaplar, İstanbul
5. Isısan Çalışmaları No: 158, Klima-Havalandırma Tesisi