

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMİZ ODALARDA HAVALANDIRMA KANALI TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hasan Semih ARSLAN
503131110**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU

Mayıs, 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503131110 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hasan Semih ARSLAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Temiz Odalarda Havalandırma Kanalı Tasarımı**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ali Feridun ÖZGÜÇ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Murat TUNÇ
Bilgi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2015**

ÖNSÖZ

Gelişen teknoloji ile artan hassas ortam gereksinimleri nedeniyle temiz oda tasarımı günümüzde önemli bir paya sahiptir. Bu sistemlere yüksek teknoloji içeren, elektronik, ilaç vb. birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada ise temiz oda sistemlerinde en uygun ortam şartlarının sağlanması amacıyla geliştirilen kontrol sistemleri konu edilmiştir.

Temiz oda sistemleri diğer mekanik sistemlere göre, gerek projelendirme safhasında gerek taahhüt safhasında daha yetkin bir mühendislik çalışması gerektirmektedir. Bu sebeple tez çalışmamı böyle bir alanda yapmanın heyecanı ile bu çalışmayı tamamladım.

Bu tez çalışmasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve beni yönlendiren tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Cem Parmaksızoğlu başta olmak üzere, bilgilerinden yararlandığım Sn. Damla Zülfikar'a ve çalışmalarım süresince yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2015

Hasan Semih ARSLAN
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Temiz Odalar	3
2.2 Temiz Oda Tipleri	3
2.2.1 Karışık akışlı temiz odalar	3
2.2.2 Laminer akışlı temiz odalar.....	4
2.3 Temiz Odaların Yapısal Özellikleri	5
2.3.1 Duvarlar	6
2.3.2 Pencere ve kapılar	6
2.3.3 Zemin	7
2.3.4 Tavan.....	8
2.4 Bazı Temiz Oda Yapısal Dizayn Örnekleri.....	9
2.5 Personel ve Giysiler	11
2.6 Malzemeler ve Ekipmanlar	11
2.7 Giriş Çıkışlar	12
2.8 Filtrasyon.....	12
2.8.1 Hepa filtreler	12
2.8.2 Ulpa filtreler	13
2.9 Temiz Oda Sınıfları	13
2.9.1 Federal standart 209	13
2.9.1.1 Federal standartlar 209 (a-d)	13
2.9.1.2 Federal standart 209e	14
2.9.2 Iso standart 14644-1	15
2.10 Otomatik Kontrol	16
2.10.1 Tanımlar	16
2.10.2 Otomatik kontrol türleri	18
2.10.2.1 İki konumlu kontrol	18
2.10.2.2 Yüzer kontrol	19
2.10.2.3 Oransal kontrol-P (proportional).....	19
2.10.2.4 Oransal+integral kontrol - PI (proportional + integral)	21
2.10.2.5 Oransal+ türevsel kontrol - PD (proportional + derivative).....	22
2.10.2.6 Oransal + integral + türevsel kontrol – PID (proportional + integral + derivative)	23
2.11 Temel Ses Bilgisi	24

2.11.1 Ses dalgalarının özellikleri - frekans, peryot, dalga boyu ve yayılma	24
2.11.2 Desibel.....	25
2.11.3 Ses gücü düzeyi.....	26
2.11.4 Ses basıncı düzeyi	26
2.11.5 Ses şiddeti ve ses şiddeti düzeyi.....	27
2.11.6 Frekans analizi.....	28
2.11.7 Oktav bantları	29
2.11.8 Gürültünün sınıflandırılması	30
2.12 Ses Yüksekliği ve Gürültü Ölçütü	31
2.12.1 Ses yüksekliği ve ses yüksekliği düzeyi.....	31
2.12.2 Gürültü ölçütü eğrileri.....	35
2.12.3 Ses Düzeyi.....	39
2.13 Gürültü Ölçümleri	41
2.14 Kanallarda Oluşan Gürültü.....	44
3. SES DÜZEYİ VE BASINÇ KONTROLÜNÜN ÖNEMLİ OLDUĞU TEMİZ ODA ÖRNEĞİ.....	49
3.1 Temiz Odalarda Basınç Kontrolü	49
3.1.1 Odalar arası hava akış kontrolü	49
3.1.2 Odaların basınçlandırılması	51
3.1.2.1 Üfleme kanalı tek kanatlı damper cihazları.....	51
3.1.2.2 Emiş kanalı tek kanatlı damper cihazları	52
3.1.3 Bir ilaç fabrikasında örnek oda basınç kontrolü.....	53
3.1.4 Ventüri valfler	54
3.1.4.1 Mekanik prensip	54
3.1.4.2 Mekanik basınç bağımsızlığı.....	54
3.1.4.3 Hava kontrol kavramları.....	55
3.1.4.4 Ventüri valf debi miktarının koni pozisyonuna göre belirlenmesi.....	56
3.2 Bir İlaç Fabrikasında Örnek Havalandırma Kanalı Tasarımı	58
3.2.1 Fabrikanın tanımı	58
3.2.2 Mahallerin temizlik sınıfları.....	58
3.2.3 Havanın veriliş ve toplanış şekli	58
3.2.4 Filtreler	58
3.2.5 Klima santral hesapları.....	59
3.2.5.1 Isıl yükler.....	59
3.2.5.2 Hava debileri	59
3.2.6 Kanal sisteminin tasarlanması	60
3.2.6.1 Hava Şartlandırma Ünitesi-1 Hesapları.....	63
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
4.1 Basınç Kontrolünün Sağlanması	77
4.2 Uygun Ses Düzeyinin Sağlanması.....	77
KAYNAKLAR.....	79
EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	87

KISALTMALAR

CAV	: Constant air volume
GMP	: Good manufacturing practice
HEPA	: High efficiency particulate air filter
HVAC	: Heating ventilation air conditioning
NC	: Noise criteria
ODI	: Oda duyulur ısı kazancı
P	: Proportional
PD	: Proportional derivative
PI	: Proportional integral
PID	: Proportional integral derivative
RC	: Room criteria
ULPA	: Ultra low penetration air filter
VAV	: Variable air volume

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Federal standart 209D'ye göre temiz oda sınıfları.....	14
Çizelge 2.2 : Federal standart 209E'ye göre temiz oda sınıfları.	15
Çizelge 2.3 : ISO standart 14644-1 'e göre temiz oda sınıfları.....	15
Çizelge 2.4 : Çeşitli kapalı yerlerdeki arka plan gürültüsü için önerilen RC ve NC değerleri	38
Çizelge 2.5 : NC ve RC seviyelerine bağlı olarak dinleme ve telefon kullanımı koşulları.....	38
Çizelge 3.1: Basınç farkına göre sızan hava debisi	60
Çizelge 3.2: Eurovent 2/2'ye göre kaçaklar	60
Çizelge 3.3: Hava şartlandırma ünitesi-1 ses seviye değerleri.	64
Çizelge 3.4: Oktav band genişliği.....	65
Çizelge 3.5: Dirsek ses yutumu	66
Çizelge 3.6: Düz kanal, birim uzunluk (m) başına ses yutumu	67
Çizelge 3.7: Branşman ses yutumu, dB	68
Çizelge 3.8: Elektronik kontrollü venturi valf ses üretimi.	72
Çizelge 3.9: Hepa filtre ses üretim değerleri.	73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Karışık akışlı temiz oda.....	3
Şekil 2.2 : Laminer akışlı temiz oda	4
Şekil 2.3 : Yatay ve dikey akışlı temiz od	4
Şekil 2.4 : Dikey ve yatay atışlı laminer kabinler	5
Şekil 2.5 : Drenaj sistemi.....	9
Şekil 2.6 : Temiz oda duvar-zemin birleşme noktalarında temiz dizayn	9
Şekil 2.7 : Platform birleşim yerleri için temiz dizayn.....	9
Şekil 2.8 : Bazı konstrüksiyon şekilleri	10
Şekil 2.9 : Elektrik ve bazı dolaplarda temiz dizayn	10
Şekil 2.10 : Profillerde temiz dizayn	11
Şekil 2.11 : Otomatik kontrol prensibi	16
Şekil 2.12 : Asansör sistemi	17
Şekil 2.13 : Kapalı çevrim kontrol.....	18
Şekil 2.14 : İki konumlu kontrol.....	19
Şekil 2.15 : Oransal kontrol transfer eğrisi.....	20
Şekil 2.16 : Oransal kontrol	21
Şekil 2.17 : Oransal+integral kontrol	22
Şekil 2.18 : Basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimi	25
Şekil 2.19 : Basit harmonik bir ses dalgasının bir yönde ilerleyişi	25
Şekil 2.20 : Arı sesler için eşyükseklik eğrileri	32
Şekil 2.21 : İşitme sınırları.....	32
Şekil 2.22 : Ses yüksekliği (sone) - Ses yüksekliği düzeyi (phon) çevrim eğrisi.....	33
Şekil 2.23 : Eş yükseklik indeksi eğrileri	34
Şekil 2.24 : Gürültü ölçütü (NC) eğrileri	36
Şekil 2.25 : Yeğlenen Gürültü ölçütü (PNC) eğrileri	37
Şekil 2.26 : Gürültü Sınıflandırma (NR) eğrileri.....	37
Şekil 2.27 : A, B ve C ağırlıklı ses düzeyleri için çevrim eğrileri.....	40
Şekil 2.28 : Geçiş parçaları ve ayrılmalar.....	47
Şekil 3.1 : Kapalı-kapı yaklaşımı kullanılarak bir temiz oda suitinde hava besleme ve dönüşleri	50
Şekil 3.2 : Basınç kontrolü kontrol şeması	52
Şekil 3.3 : Debi kontrolü kontrol şeması	53
Şekil 3.4 : Örnek oda basınç ve debi trend değerleri	53
Şekil 3.5 : Ventüri valf ve tek kanatlı damperin temel çalışma prensibi.....	54
Şekil 3.6 : Sıkışan yay sayesinde ventüri valflerde oluşan basınç bağımsızlığı özelliği.....	55
Şekil 3.7 : Tek kanatlı damper çalışma prensibi.....	56
Şekil 3.8 : Ventüri valf çalışma prensibi	56
Şekil 3.9 : Koni pozisyonuna göre geçirilen hava debisi.....	57
Şekil 3.10 : Ventüri valf kalibrasyon raporu	57

Şekil 3.11 : Eurovent 2/2'ye göre kanal sızdırmazlığı.....	61
Şekil 3.12 : Kanal sızdırmazlık test cihazı.....	62
Şekil 3.13 : Hava şartlandırma ünitesi-1 üfleme kanalı dizaynı	63
Şekil 3.14 : Hava şartlandırma ünitesi-1 akustik hesap kritik hattı	64
Şekil 3.15 : Standart ses gücü ve strouhalzahl grafiği	65
Şekil 3.16 : Ses yutumu grafiği.....	67
Şekil 3.17 : Daralma parçası ses üretimi.....	69
Şekil 3.18 : Elektronik kontrollü tek kanatlı damper ses üretimi	72
Şekil 3.19 : Flex kanal bağlantı şekilleri.....	73

TEMİZ ODALARDA HAVALANDIRMA KANALI TASARIMI

ÖZET

Temiz odaların tarihi hastanelerle başlamıştır. Ortamda bulunan parçacıkların cerrahi yara enfeksiyonlarına sebep olduğunun fark edilmesi sonucu çeşitli yöntemlerin geliştirilmesiyle temiz odalar oluşmuştur. Normal alanlardan farklı olarak temiz odalarda akış tipleri, yapısal özellikler, sınıflar, standartlar ve filtreler gibi önemli terimlere dikkat edilerek tasarım yapılır. Bu ortamlardaki şartları sağlamak adına otomatik kontrol önemli bir kavramdır. Bu ortamların sağlanması adına hava en önemli parametrelerden birisidir. Ortamda istenen koşulları havalandırma sistemi ile sağlarken aynı zamanda ortamda havalandırma sisteminden oluşan ses değerlerinin de, çalışma ortamının düzgün olması açısından, önemi büyüktür.

Bu çalışmaya temiz oda sistemlerinin mantığı ve bu sistemlerde kullanılan terimler açıklanarak başlanmıştır. Bu kısımda temiz oda tipleri, yapısal özellikler, sınıflar, standartlar ve filtreler gibi önemli terimlere değinilmiştir. Sonrasında otomatik kontrol ile ilgili tanımlar anlatılmıştır ve otomatik kontrol türleri açıklanmıştır. İlk kısmın son bölümünde ise ses ile ilgili tanımlar verilmiş ve kanal tasarımıyla ilişkisine giriş yapmak açısından konunun önemi incelenmiştir.

Sonraki bölümde temiz odalarda basınç kontrolünün sebebi ve önemi anlatılmıştır. Kirliliğin nasıl yönetileceği hususlarına değinilmiştir. Oda üfleme ve dönüş hava debilerinin arasındaki ilişkinin basınç kontrolü açısından önemi açıklanmıştır. Emiş havasında yapılan değişikliklerle elde edilen basınç kontrolünün gerekliliği anlaşıldıktan sonra belirlenen basınç değerlerinin nasıl sağlandığı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Sistemin sağlanmasında kullanılan tek kanatlı kontrol damperlerinin çalışma prensiplerine ve istenen koşullara ne kadar cevap verebildiklerine ışık tutulmuştur. Bu çalışma prensipleri kontrol sistemleri açısından değerlendirilmiştir. Sistemi daha iyi görebilme adına bir ilaç fabrikasının odasından alınan basınç ölçümleri, kullanılan vav cihazının damper pozisyonunu belirten besleme ve geri besleme sinyali ve oda basınç set değerini gösteren trendler elde edilmiştir. Burada görülen bir mahaldeki kapı açılmaları vb. sebeplerle oluşan odadaki basınç dalgalanmalarının kendine gelme süreleri tespit edilmiştir. Bu bölümde ayrıca günümüzde daha yaygın olarak kullanılan tek kanatlı damper ile hava kontrolünü dolayısıyla basınç kontrolünü sağlayan değişken debili sisteme alternatif olarak kullanılması daha iyi kontrol sağlayan ventüri valflerin tanımı yapılmıştır. Bu cihazın anlaşılması amacıyla mekanik prensibinden bahsedilmiştir. Mekanik olarak daha detaylı bir cihaz olan ventüri valfin aynı zamanda kontrol prensibi olarak klasik tek kanatlı damperden nasıl daha farklı çalıştığına değinilmiştir. Ayrıca bu cihazın gösterdiği karakteristiğin nasıl belirlendiği anlaşılmıştır.

Sonrasında bir ilaç fabrikasında kanal tasarımının anlaşılması için örnek bir tasarım ele alınmıştır. Mahal debileri kapasite tablosu oluşturularak belirlenmiştir. Bu

debilere bağlı olarak üfleme kanalları dizayn edilmiştir. Sonrasında kritik hat alınarak üfleme kanalından dolayı mahalde oluşan ses düzeyleri akustik hesap ile incelenmiştir. Odalarda basınç kontrolünü sağlama amacıyla kullanılan, hava debisini elektronik olarak kontrol eden tek kanatlı damper ve ventüri valfin kullanılmasının akustik olarak odayı nasıl etkilediği karşılaştırılmıştır. Kontrol açısından çeşitli avantajlar sağlayan ventüri valfin tek kanatlı dampere göre ortamda kısmen daha fazla fazla ses düzeyine sebep olmuştur.

AIR DUCT DESIGN IN CLEANROOMS

SUMMARY

The history of cleanrooms is started with hospitals. It is understood that particles in spaces are causing infections for surgical wounds, after that various solutions are developed to provide suitable environments. Definition of clean room in ISO standards is, "A room in which the concentration of airborne particles is controlled, and which is constructed and used in a manner to minimise the introduction, generation, and retention of particles inside the room and in which other relevant parameters, e.g. temperature, humidity, and pressure, are controlled as necessary". To provide these conditions air quality is the most important thing in clean rooms. That's why design and implementation process of the ventilation system is extremely important. After the proper installation of the ventilation system, it should also work properly. To provide certain conditions and make system work properly, automatic control systems are highly important. While providing the conditions in the space with ventilation system, on the other hand sound levels in the spaces which are the result of the ventilation system should be considered carefully. Because clean room spaces are generally quite environments, and may cause disturbances for personnel.

This study starts with the explanation of clean room concept and terms. In first part clean room types, structural specialities, standards and filters are explained briefly. Later definitions in automatic control systems are told and automatic control types are considered. In the last part of the first section general sound information is given. Terms like sound power levels, sound pressure, sound intensity level, frequency analysis, octave bands, noise criterias, noise measurements are explained. Also noise generations in ducts are considered in this part.

In the next section the importance and reason of the pressure control are explained in clean rooms. Information about contamination management is given. The relation between room supply air and return air flows to provide the pressure values in spaces are explained. In cleanrooms while we are providing a laminar flow in spaces to reduce the particle concentration, also it is important to manage the flow through doors or other openings. By doing this we can protect more critical spaces' particle concentration more easily. To do that pressure levels should be organised very well and ventilation and automatic control systems should serve very well. Most common approach is to fix the supply air to the spaces and provide the pressure in the room by doing some regulations on return air rates from spaces. After it is understood that the necessity of the regulations in return flow, information given about how pressure values are provided. Single blade dampers's work principles and their usage results are considered which are used to ensure this system. These

principles are evaluated in terms of control systems. To understand the system better pressure measurements, feedback and feedforward signals which show the position of the damper and room pressure set value, which are considered for a pharmaceutical factory's one room, are shown. Here it is seen how control system with single blade dampers react these pressure changes because of door openings. As a result of this process it is seen that single blade damper's system responses are not quite fast.

For critical environments which single blade damper can not provide a good solution, an alternative device "venturi valve" is considered. The Venturi air valve is a newer airflow control device with a more elaborate mechanical design. Venturi air valve has a curved body that functions as a valve seat, and a cone that moves in and out of the throat of the Venturi to restrict airflow. Venturi air valve is used as a simple metering device without measuring airflow. In this scenario, the Venturi operates as an open loop flow controller. It is seen that how this device works in a different control principle compared to single blade dampers. On the other hand it is seen that how the characteristics of these devices are defined.

After that, to understand the duct design, a duct design in a pharmaceutical factory is considered. Factory's designing process is completed and implementation process is continuing. Building has three floors which are consisted of ground, middle and roof floors. There are suspended ceilings in production spaces and height of the suspended ceiling changes according to the specialities of process types in rooms. There are ten air handling units in the building. In this study only air handling unit-1 is considered. Rooms, which this device will serve, are determined according to the processes and standards in spaces. Room flow rates are determined by creating capacity table. In this table rooms' codes, heights, areas, standards, working people numbers, heat gains, machines, room supply and return flow rates, room leakage flow rates, filters and control dampers can be seen. Lastly supply and return duct designs, according to the capacity table, using three dimensional program, are completed. During these calculations as the cleanrooms' pressure levels need to be controlled, every space has an air controller device. This makes our air duct design different compared to the comfort spaces' ventilation system design. Here ducts should be divided into groups and every room should have its own air controller.

In the last section, to see the acoustic effects of this ventilation system in the spaces, air handling unit-1 supply duct's sound generation is considered with an acoustic calculation. Supply fan is the main reason for the sound generation. But also in ducts and in different duct parts, there is a sound generation related to the velocity. As the main reason of sound generation in spaces is the supply fan's sound generation, critical path is determined as the nearest supply path. Here through the different elements' sound generations of ventilation system, like air handling unit, high efficiency filter, control unit and duct parts, are logarithmically summed. After these calculations ventilations system's effects in the room can be evaluated. In this study two different calculations are completed. First calculation is done with single blade damper with silencer. In second calculation single blade damper is replaced with venturi air valve with silencer. According to the standards given in the study both systems' RC levels are appropriate for the environment. But venturi air valves which provides control advantages compared to the single blade

damper, creates somewhat higher RC level compared to the single blade damper. As a result of the study it is seen that, venturi air valve can be used for spaces which need more sensitive control, and it doesn't affect the environment badly in terms of sound control.

1. GİRİŞ

Temiz odaların tarihi hastanelerle başlamıştır. Bakterilerin cerrahi yara enfeksiyonlarına sebep olduğunun fark edilmesi sonucu malzemelerde, yaralarda ve havaya püskürtülerek kullanılan antiseptik bir çözelti kullanımı ön plana çıkmıştır. Fakat tam olarak istenen sonuç elde edilememiştir ve bunun yanında cerrahi eldivenler, maskeler, önlükler ve bunun gibi aletler ortaya çıkarılmıştır. [1]

Geçmişteki temiz odalarla benzerlikleri olsa da filtre edilmiş hava ile ortam şartlandırılması günümüz temiz oda tasarımının en önemli artısıdır. 1940 yılına kadar klimalar konfor amaçlı tasarlanmıştır. Hastanelerdeki havalandırmanın kontaminasyon kontrolünün yapılması 2. Dünya Savaşı sonrası başlamıştır. Savaş sırasında kalabalık ortamlardaki enfeksiyon sorunu bu yönelimi tetiklemiştir. 1960'lı yılların başlarında tek yönlü akışın olduğu ve emici elbiselerin kullanıldığı mahallerde enfeksiyon oranının büyük bir düşüş yaşadığı gözlemlenmiştir. Aynı gelişmeler endüstride de kaydedilmiştir. Amaç üretilen silah, tank ve uçakların kalitesini ve güvenilirliğini artırmaktır. [1]

Tarih boyunca yaşanan gereksinimler doğrultusunda ortaya çıkan temiz odalara artık günümüzde her türlü hassas ortamda ihtiyaç duyulabilmektedir. İlaç üretim tesisleri de bu hassas üretim proseslerinden biridir ve temiz oda tasarım mantığının doğru bir şekilde uygulanması önemlidir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

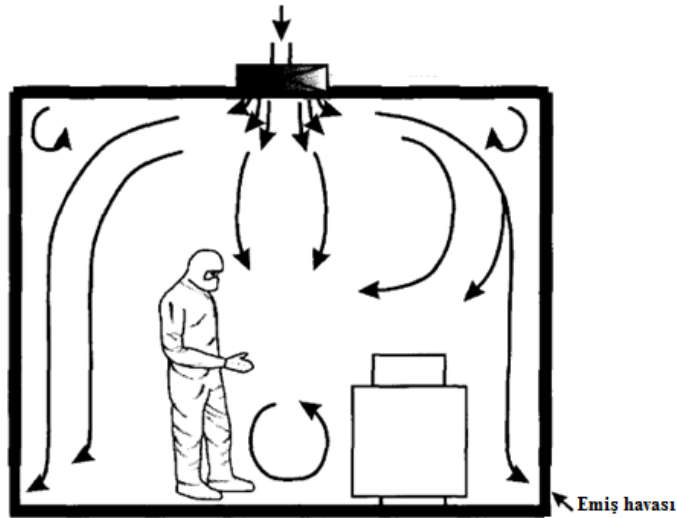
2.1 Temiz Odalar

Temiz oda, içinde partikül konsantrasyonunun kontrol edildiği, partiküllerin girişini, üretilmesini ve tutulmasını minimize edecek şekilde yapılandırılan, sıcaklık, nem ve basınç gibi bazı değerlerin kontrol edildiği bir odadır. Temiz odalarda partikül konsantrasyonunun fazla olması istenmez. Bunu sağlamak içinde odaya yüksek verimli hava filtrelerinden geçirilmiş yüksek debilerde hava verilir. Bu hava, insanlar ve makinelerden yayılan partikülleri ve bakterileri seyreltmek ve uzaklaştırmak için kullanılır. Temiz oda partikül üretmeyecek ve kolay temizlenecek malzemelerden yapılandırılır. Ayrıca temiz odada çalışacak personel, partikül yayılmasını minimize edecek, her yerini saran kıyafetler kullanmalıdır. [1]

2.2 Temiz Oda Tipleri

2.2.1 Karışık akışlı temiz odalar

Bu tip odalarda belli bir hızın üstünde yollanan havanın oluşturduğu türbülans sonucu şekilde görüldüğü gibi bir hava akışı oluşur. Bu yöntem ile D ve E sınıf temiz oda tasarım standartlarını karşılamak mümkündür.

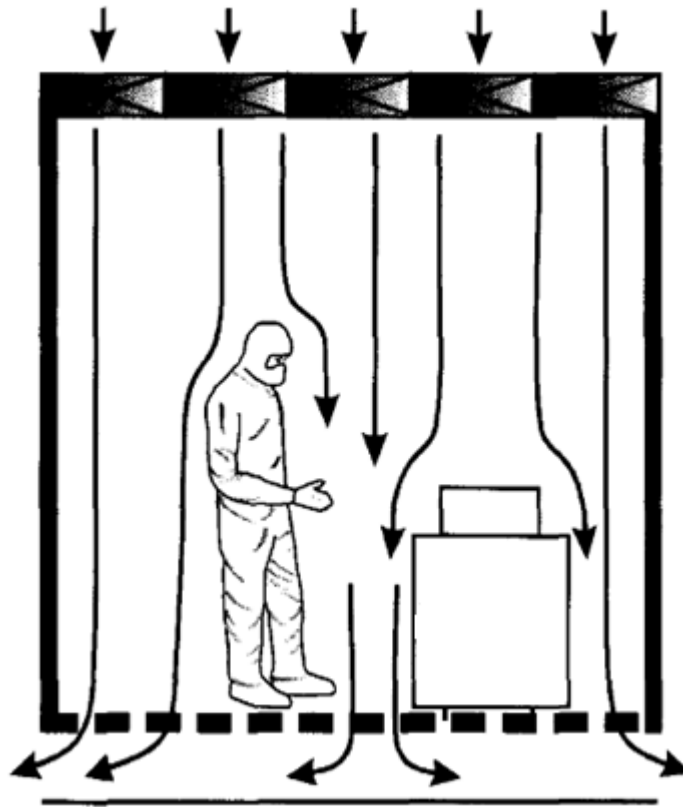


Şekil 2.1 : Karışık akışlı temiz oda [1]

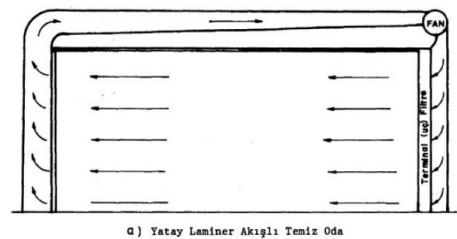
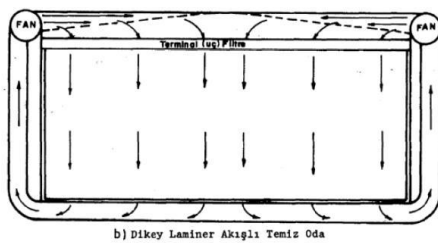
2.2.2 Laminer akışlı temiz odalar

Düzgün hava akışlı sistem kullanılarak istenilen en yüksek hava temizlik sınıfına ulaşılabilir. Bu prensibe göre hava sabit hızda paralel akım çizgileri doğrultusunda hareket ederken beraberindeki kirleticiler de en kısa yoldan toplama kanallarında toplanarak klima santraline gönderilir. [2]

Bu prensip şekil 2.3 ve 2.4'te görüldüğü gibi iki farklı şekilde uygulanabilir.



Şekil 2.2 : Laminer akışlı temiz oda [1]

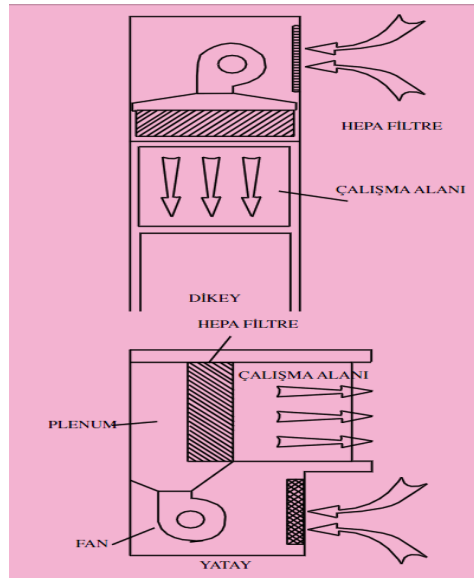


Şekil 2.3 : Yatay ve dikey akışlı temiz oda[2]

Laminer Akışlı Kabinler

Düzgün akışlı temiz odaların daha ekonomik olabilmesi için son yıllardaki temiz oda teknolojisinde, temiz oda içerisinde düzgün akışlı çalışma alanının minimumda tutularak sadece bu alanın düzgün akışlı sistem kullanılarak temizlik sınıfının yükseltilmesine yönelik araştırmaların ön plana çıktığı gözlemlenmektedir. Laminer hava akışlı cihazların amacı havayı içinde bulunan canlı ve cansız kirleticilerden minimum yatırım ve işletme maliyeti ile maksimum ölçüde temizlemektir. [2]

Laminer hava akışlı kabinleri dikey ve yatay olmak üzere iki alternatifli olarak üretilmektedirler. Bu cihazlar genellikle hava sirkülasyonunu frekans kontrollü bir fan aracılığıyla kendisi sağlayan, hava ihtiyacını ise temiz oda içerisinde temin eden HEPA veya ULPA filtre yardımı ile havayı temizleyen cihazlardır. [2]



Şekil 2.4 : Dikey ve yatay atışlı laminer kabinler [2]

2.3 Temiz Odaların Yapısal Özellikleri

- Temiz odalar hava sızdırmaz bir yapıda inşa edilmelidirler.
- İç yüzeyler pürüzsüz ve temizlenmeye uygun olmalıdır.
- İç yüzeyler aşınma sonucu toz ve parçacıklar çıkarmamak için yeterince sert olmalıdır.
- Bazı temiz odalarda minimum seviyede gaz çıkaran yapım malzemeleri gerekir.

2.3.1 Duvarlar

Duvarların en önemli özelliği sızdırmaz olmaları ve hava akışını bozmayacak şekilde düzgün yüzeye sahip olmalarıdır. Bu sistemlerin kurulmasında modüler yapılar ortaya çıkmaktadır. Modüler yapılar hazır şekilde teslim edilen ve şantiye alanında montajı yapılan sistemlerdir. Bu sistemlerde hijyenik paneller kullanılır. [1]

Bu paneller kritik hijyen güvenliği gerektiren alanların, Temiz Oda ve GMP standartlarına uygun şekilde tasarlanmış, modüler yapıdaki "Hijyenik Partisyon Paneller" ile istenilen şekilde bölünebilmesi için geliştirilmiştir. [3]

Herhangi bir ek taşıyıcıya ihtiyaç duymaksızın; gizli alüminyum çerçevesi ile yüksek mukavemet gösteren "Hijyenik Partisyon Paneller" ile geniş açıklıklar dahi sorunsuzca geçilebilmektedir. "Hijyenik Partisyon Paneller"in her iki yüzeyi düz, pürüzsüz yapıda ve anti-bakteriyel özelliğe sahip HPL (Yüksek Basıncılı Laminant) levhalar ile kaplanmıştır. Ayrıca müşteri talebine göre panel yüzeylerinde Paslanmaz, Galvaniz, Alüminyum veya Cam Elyaf Takviyeli Polyester gibi farklı malzemeler de tercih edilebilmektedir. [3]

"Hijyenik Partisyon Paneller", yüksek yalıtımlı izolatörler içeren (EPS, Taş Yünü, vs..) kompozit bir yapıya sahiptir. Birlikte kullanıldığı tüm diğer panel, kapı ve aksesuar sistemleri ile hemyüz şekilde dizayn edilmiştir. Yuvarlatılmış köşe ve bitiş detayları, kolay montaj şekli, sahada çıkabilecek değişikliklere veya ilavelere müdahale şansı veren malzeme yapısı ile öne çıkan "Hijyenik Partisyon Paneller", istenildiğinde yerinden sökülerek, farklı bir alana da monte edilebilmektedir. [3]

2.3.2 Pencere ve kapılar

Temiz odalarda en yaygın kullanılan kapılar, plastik kaplanmış tahta kapılar veya uygun şekilde işlenmiş hafif çelikle kaplanmış ve boyanmış kapılardır. Temizliğe yardımcı olmaları amacıyla el bulaşmasını engellemek amacıyla mümkün olduğunca kapı kolları az tutulmalıdır. [1]

Kapılar hava sızıntılarını engellemek için düzgün yüzey toleranslarıyla üretilmelidirler. Yine de sızdırmanın önüne tam anlamıyla geçilmesi mümkün değildir. Bu sebeple sink, bubble, kaskad gibi sistemlerle sızıntı yönlendirilmelidir.

Kontrollü ortamların dış ortamlarına mümkün olduğunca pencere yapılmamalıdır. Aksi halde gürültü, ısı kaybı, kazancı ve yoğuşma gibi problemler ortaya çıkabilir. İç duvarlardaki pencereler ise proses takibinin odalara girilmeden gerçekleştirilebilmesine imkan sağlar. Pencereler açılmaz tip, duvarla bir bütün gibi monte edilmelidir.

2.3.3 Zemin

Zemin malzemesinin seçimi, temiz oda içersinde uygulanan proseslerden mümkün olduğunca az etkilenecek , temizlenmesi kolay gibi kriterler eşliğinde seçilmelidir. Bu nedenle çizilmeyen, çatlamayan, aşınmayan , kimyasal aşınmalara dayanıklı olmalıdırlar. [1]

Zemin tasarlanması beton dökülmesi ve üstüne temiz oda tasarımına uygun malzeme kaplanması ile gerçekleştirilir. Kullanılabilecek kaplama malzemelerinden birisi vinildir. Vinil için dikkat edilmesi gereken en önemli özellik gaz çıkarmasıdır. Özellikle yarı iletken üretim uygulanan yerlerde bu sorun ön plana çıkmaktadır. [1]

Diğer bir malzeme iste epoksidir. Epoksi, termosetler grubundan yapıştırıcı bir kimyasal reçinedir. Suya, aside ve alkaliye direnci çok iyidir, zamanla direnç özelliğini yitirmez. Epoksi malzeme kaplaması sırasında titiz davranılmalıdır. Zemin beton ise , tozsuz, yağsız, sağlam ve ahşap mala ile düzeltilmiş veya kumlama yapılmış olmalıdır. Uygulama sırasında epoksi içinde hava kabarcığı oluşumu önlenmelidir. Çünkü işlem tamamlandıktan sonra üstüne uygulanan basınç sonucu kabarcıklar patlamakta, bakteri ve partikül kaynağı haline gelmektedir. [3]

Başka bir malzeme de polivinil klorürdür. PVC oldukça geniş kullanım alanı olan polimer malzemedir. Kimya endüstrisinde en değerli ürünlerden biri olan PVC'nin %50'den fazlası yapı sektöründe kullanılır. Son yıllarda, PVC geleneksel yapı malzemeleri olan ahşap, beton ve kilin birçok alanda yerini almıştır. PVC zemin kaplamaları yoğun yaya trafiğine uygun, uygulaması ve bakımı kolay, cila gerektirmeyen, anti-bakteriyel ve anti-statik zemin ürünleri olarak kullanılmaktadır. [3]

2.3.4 Tavan

Tavan tasarımı temiz odalar için çok önemlidir. Hava kanalları, basınçlı hava tesisatı, elektrik tesisatı, filtreler ve bunun gibi odaya girecekler hatlar için dizayn edilirler. Bunun için asma tavan sistemleri kullanılmak zorundadır. Önemli fabrikalarda 200 cm civarı yüksek asma tavan araları mevcut olabilir. Bu bölgede gerektiğinde bakım için eleman dolaşabilmelidir.

Asma tavan panelleri kritik hijyen güvenliği gerektiren alanlara ait tavan bölümlerine, Temiz Oda ve GMP standartlarına uygun şekilde tasarlanmış, modüler yapıda ve üzerinde yürünebilir özellikte partisyon paneller ile asma tavan yapılması amacı ile geliştirilmiştir. [3]

Partisyon panelleri ile oluşturulan “Yürünebilir Tavanlar”, özel askı aparatları ve taşıyıcı profil sistemi ile binanın mevcut tavan veya çatı bölümlerine sabitlenerek, özellikle ilaç üretim alanlarındaki havalandırma veya elektrik sistemlerine asma tavan üzerinden yürünerek ulaşılabilmesine ve üretim prosesleri aksatılmadan müdahale edilebilmesine olanak sağlar. [3]

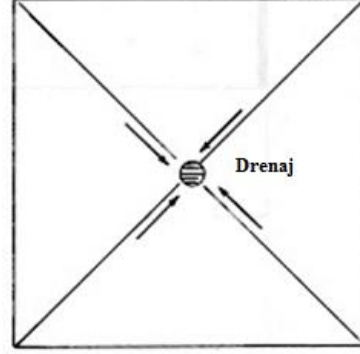
Partisyon panellerin her iki yüzeyi düz, pürüzsüz yapıda ve anti-bakteriyel özelliğe sahip HPL (Yüksek Basınçlı Laminant) levhalar ile kaplanmıştır. Ayrıca müşteri talebine göre panel yüzeylerinde Galvaniz, Alüminyum veya Cam Elyaf Takviyeli Polyester gibi farklı malzemeler de tercih edilebilmektedir. [3]

Partisyon paneller, yüksek yalıtımlı izolatörler içeren (EPS, Taş Yünü, vs..) kompozit bir yapıya sahiptir. Birlikte kullanıldığı tüm diğer panel, taşıyıcı profil, armatür ve hepa filtre kutularına hemyüz şekilde dizayn edilmiştir. [3]

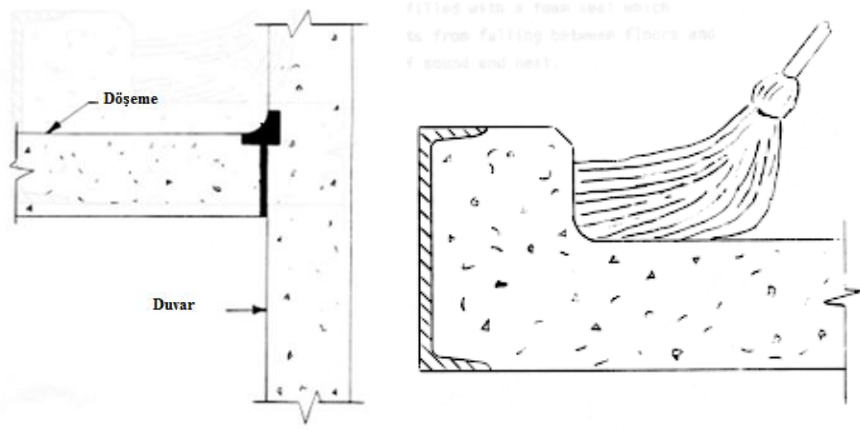
Yuvarlatılmış köşe ve bitiş detayları, kolay montaj şekli, sahada çıkabilecek değişikliklere veya ilavelere müdahale şansı veren malzeme yapısı ile öne çıkan “Yürünebilir Tavanlar”, istenildiğinde yerinden sökülerek, farklı bir alana da monte edilebilmektedir. [3]

2.4 Bazı Temiz Oda Yapısal Dizayn Örnekleri

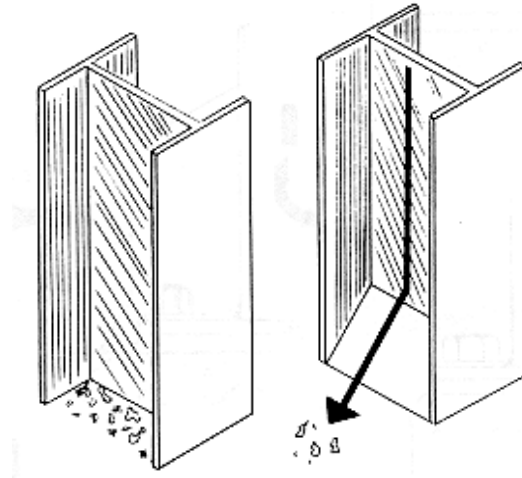
Şekil 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 ve 2.9’ da çeşitli temiz oda yapısal dizayn örnekleri gösterilmiştir.



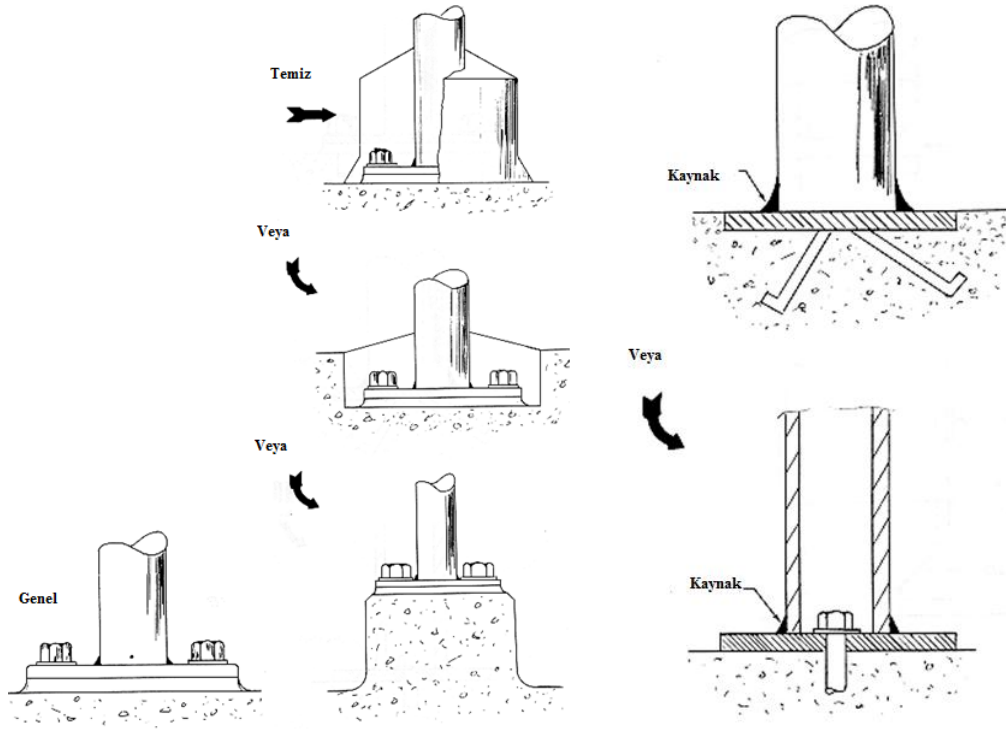
Şekil 2.5 : Drenaj sistemi



Şekil 2.6 : Temiz oda duvar-zemin birleşme noktalarında temiz dizayn

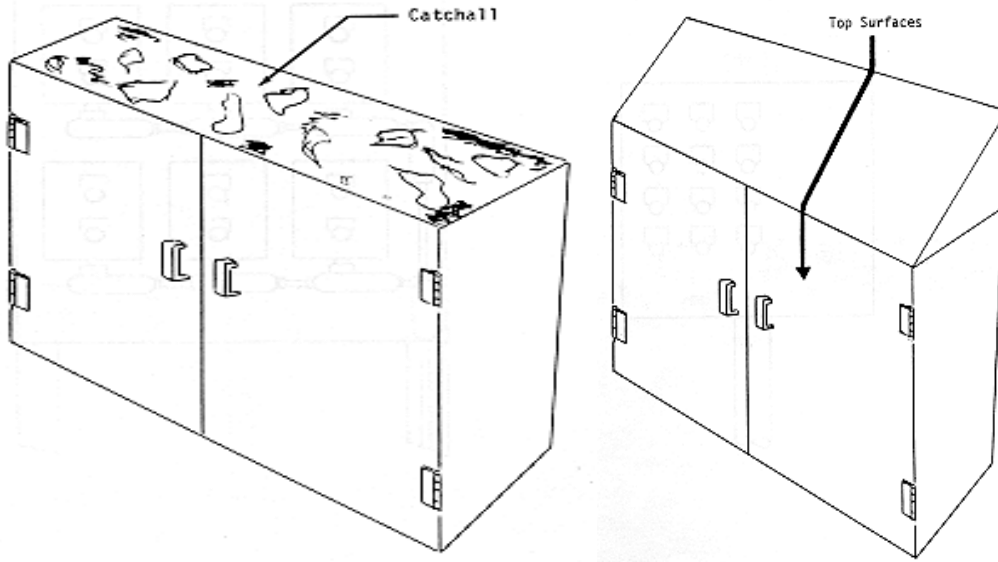


Şekil 2.7 : Platform birleşim yerleri için temiz dizayn

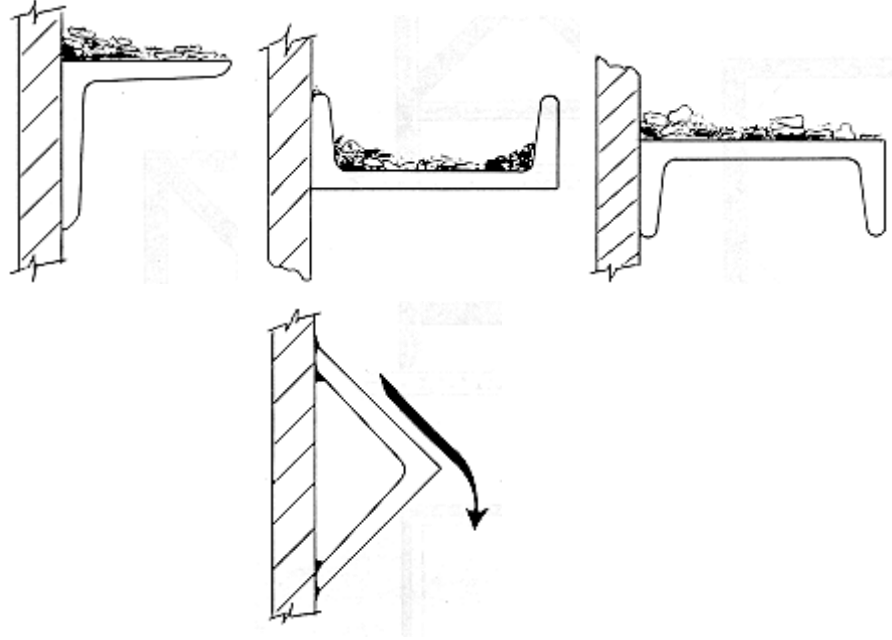


Şekil 2.8 : Bazı konstrüksiyon şekilleri

Şekil 2.8’de görüldüğü üzere en soldaki çözüm zayıf bir çözümdür , sağ taraftaki çözümler ise temiz oda için uygun çözümlerdir.



Şekil 2.9 : Elektrik ve bazı dolaplarda temiz dizayn



Şekil 2.10 : Profillerde temiz dizayn

2.5 Personel ve Giysiler

- Alana girmeden önce eller ve yüz yıkanmalıdır.
- Deri parçalarının yayılımını önlemek için linolin içeren sabun ve losyonlar kullanılmalıdır.
- Kozmetik ve deri parçaları bulunmamalıdır.
- Sigara ve yemek olmamalıdır.
- İpliksiz koruyucu elbiseler, önlükler, eldivenler, baş koruyucuları ve ayakkabı örtüleri kullanılmalıdır. [1]

2.6 Malzemeler ve Ekipmanlar

- Malzeme ve ekipmanlar temiz odaya girmeden önce yıkanmalıdır.
- Mürekkep dağıtmayan kağıt ve tükenmez kalem kullanılmalı, kurşun kalem ve silgi kullanılmamalıdır.
- Derideki yağ ve deri parçacıklarının aktarılmasında için, iş parçalarına eldivenle, parmak koruyucuları ve diğer yöntemler kullanılmalıdır.
- Farmakolojik ürün kapları steril olmalı ve yalnızca steril araçlarla ele alınmalıdır. [1]

2.7 Giriş Çıkışlar

Oda giriş çıkışları hava kilitleri vasıtasıyla kontrol edilmelidirler. Hava kilidi, farklı basınçlardaki iki odanın arasında olan ve basınç kontrolünü sağlayan odacıklardır. Farklı sınıflardaki mahallerin arasında mutlaka hava kilitleri bulunmalıdır.

2.8 Filtrasyon

Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan CEN'(European Committee for Standardization) in yayınladığı EN779 ve EN1822 standartlarına göre hava filtreleri, Kaba (G1, G2, G3,G4) Hassas (F5, F6, F7, F8, F9), Yüksek verimli-HEPA (H10, H11, H12, H13, H14) ve Ultra yüksek verimli-ULPA (U15, U16, U17) şeklinde gruplandırılmıştır. Bilindiği gibi G ve F tipi filtreler normal konfor uygulamalarında ve yüksek verimli filtreleri koruma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bütün dünyada olduğu gibi yurdumuzda da temiz oda veya temiz ortam uygulamaları sürekli olarak artmaktadır. İlaç sektöründeki globalleşme sonucu üretilen ürünlerin pazarlanabilmesi için üretimlerin mevcut standartlara uygun ortamlarda imal edilmesi, temiz oda uygulamalarını yaygınlaştırmaktadır. Daha önceleri GMP kurallarına göre sadece A, B, C Klas ortamlarda kullanılan HEPA (High Efficiency Particulate Air) filtreler son yıllarda bazı ilaç firmaları tarafından D Klas odalarda da standart olarak kullanılmaya başlanmıştır. [1]

2.8.1 Hepa filtreler

Günümüz temiz odalarının ihtiyaç duyduğu temizlik seviyesinin elde edilebilmesi ancak yüksek verimli partikül hava (HEPA) filtrelerinin kullanımı ile mümkün olur. HEPA filtrelerin dokusu değişik boyutlardaki cam liflerinden oluşur. Cam lifleri esas olarak bir bağlayıcı yardımıyla kendi lifler arası bağları ile bağlanır. Bu dokunun yoğunluğu, daha yüksek basınç düşümüne neden olan ve daha büyük filtre alanı gerektiren az verimli filtrelerinkinden çok daha büyüktür. HEPA filtrelerin verimliliği 0,3 mikron çapındaki partiküller için 99,97'den 99,999'a kadar değişmektedir. [4]

Hepa filtreler test ve kullanım sırasında kolayca zarar görebileceğinden filtre dokusuna kesinlikle dokunulmamalıdır. Filtre dokusu filtre çerçevesi düştüğünde yada sert bir cisme çarptığında da zarar görebilir. [4]

2.8.2 Ulpa filtreler

ULPA (Ultra Low Penetration Air) filtre sınıfı, 0,3 mikron yada daha küçük parçacıkların yakalanmasında standart HEP A filtrelerden daha yüksek verimlilikteki filtreleri tanımlamak için kullanılır. Bir ULPA filtrenin verimliliği 99,99'dan büyüktür. [4]

ULPA filtreler, küçük liflerin filtre dokusundaki daha yüksek oranı ve daha verimli olmaları ile farklıdır. Filtre dokusunun daha yoğun paketlenmesi nedeniyle basınç düşümü daha yüksektir ve aynı miktardaki filtre dokusu için ULPA filtrenin direnci, HEPA filtrenin direncinden büyüktür. [4]

2.9 Temiz Oda Sınıfları

Hastaneler, yarı iletken ve ilaç üretim tesislerinde kullanılan temiz odalar hava temizlik seviyelerine göre sınıflandırılırlar. Ultra temiz odalara olan ihtiyacın bir sonucu olarak, temizlik seviyeleri için bir takım standartlar oluşturulmuştur. [1]

2.9.1 Federal standart 209

2.9.1.1 Federal standartlar 209 (a-d)

İlk Federal Standart 209, 1963 yılında Amerika'da yayınlanmıştır. Federal Standart 209, 1966 (A), 1973 (B), 1987 (C), 1988 (D) ve 1992 E yıllarında revize edildi. Federal Standart 209A'dan 209D'ye kadar olan versiyonlarda yer alan temiz oda sınıflarındaki partikül limitleri de gösterilmiştir. Temiz oda sınıfı odanın bir feet küpündeki 0.5 mikrondan büyük partiküllerin ölçülmesi ile bulunur. [1]

Çizelge 2.1 : Federal standart 209D'ye göre temiz oda sınıfları. [5]

Klas	Tanecik adeti / ft ³				
	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	5.0 µm
1	35	7.5	3	1	---
10	350	75	30	10	---
100	---	750	300	100	---
1.000	---	---	---	1.000	7
10.000	---	---	---	10.000	70
100.000	---	---	---	100.000	700

Klas	Tanecik adeti / m ³				
	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	5.0 µm
1	1.240	265	106	35	---
10	12.400	2.650	1.060	353	---
100	---	26.500	10.600	3.530	---
1.000	---	---	---	35.300	247
10.000	---	---	---	353.000	2.470
100.000	---	---	---	3.530.000	24.700

2.9.1.2 Federal standart 209e

Federal Standart 209E' de odadaki partikül konsantrasyonları metrik sistemde verilmiştir. Sınıflandırma 0.5 mikrondan büyük partiküllerin konsantrasyonunun logaritması olarak belirlenmiştir. Örneğin M3 sınıfı için, 0.5 mikrondan büyük partiküller için sınır 1000/m³'tür. 1000'in logaritması 3 'tür ve Sınıf M3 olarak adlandırılmıştır. Federal Standart 209E' de belirtilen sınıf limitleri Çizelge 2.2' de gösterilmiştir. [1]

Çizelge 2.2 : Federal standart 209E'ye göre temiz oda sınıfları. [5]

Klass		Anılan çapa eşit veya büyük maksimum tanecik adedi / m ³ veya ft ³									
		0,1 µm		0,2 µm		0,3 µm		0,5 µm		5 µm	
		(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)
M1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	—	—
M 1,5	1	1.240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	—	—
M 2		3.500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	—	—
M 2,5	10	12.400	350	2.650	75.0	1.060	30.0	353	10.0	—	—
M 3		35.000	991	7.570	214	3.090	87.5	1.000	28.3	—	—
M 3,5	100	—	—	26.500	750	10.600	300	3.530	100	—	—
M 4		—	—	75.700	2.140	30.900	875	10.000	283	—	—
M 4,5	1000	—	—	—	—	—	—	35.300	1.000	247	7.00
M 5		—	—	—	—	—	—	100.000	2.830	618	17.5
M 5,5	10.000	—	—	—	—	—	—	353.000	10.000	2.470	70.0
M 6		—	—	—	—	—	—	1.000.000	28.300	61.800	175
M 6,5	100.000	—	—	—	—	—	—	3.530.000	100.000	24.700	700
M 7		—	—	—	—	—	—	10.000.000	283.000	61.800	1.750

2.9.2 Iso standart 14644-1

İlk doküman 1999 yılında yayınlandı. Bu standartta temiz oda sınıflandırma metodu yer almaktadır. ISO Standart 14644-1'e göre temiz oda sınıfları Çizelge 2.3'de yer almaktadır. [1]

Çizelge 2.3 : ISO standart 14644-1 'e göre temiz oda sınıfları. [2]

Sınıflandırma numaraları	Partikül büyüklüğünde eşit veya daha büyük max konsantrasyon limitleri (par./m ³ hava)					
	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	1 µm	5.0 µm
ISO klas 1	10	2				
ISO klas 2	100	24	10	4		
ISO klas 3	1.000	237	102	35	8	
ISO klas 4	10.000	2.370	1.020	352	83	
ISO klas 5	100.000	23.370	10.200	3.520	832	29
ISO klas 6	1.000.000	237.000	102.000	35.200	8.320	293
ISO klas 7				352.000	83.200	2.930
ISO klas 8				3.520.000	832.000	29.300
ISO klas 9				35.200.000	8.320.000	293.000

2.10 Otomatik Kontrol

Otomatik kontrol, bir sistemde bir veya birden fazla değişkenin ölçülmesi ve ölçülen bu değişkenlerin istenilen değerlerde amaca uygun olarak sabit tutulmasını sağlamaktır.

Doğada otomatik olarak kontrol edilen sistemler saymakla bitmez. Örneğin insan vücudu, ki bu sistemde sayısız kontrol sistemi vardır. Kan şekerimizi kontrol eden pankreas veya bir başka örnek, yükseklerle çıkıldıkça adrenalinin otomatik olarak kalp atışı ile birlikte yükselerek hücrelere daha çok oksijenin temin edilmesi vb birçok örnek bulunmaktadır. [6]

2.10.1 Tanımlar

Sistem: Belirli bir hedefi gerçekleştirmek üzere birlikte hareket eden nesneler ve donanımların kombinasyonuna sistem adı verilir.

İşaret: Sistem elemanlarının ve sistemlerin birbirleriyle etkileşmesini sağlayan her türlü ölçülebilir büyüklük.

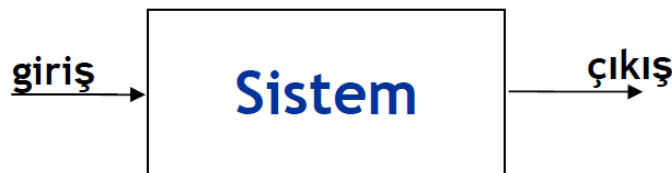
Sistem değişkenleri: Bir sistemde incelenen ve gözlemlenen birimler arasındaki matematiksel ilişkilerdir.

Çıkış(lar): Verilen bir sistemde ilgilendiğimiz değişkenler.

Giriş(ler): Çıkışı etkileyen ayarlayabildiğimiz değişkenler.

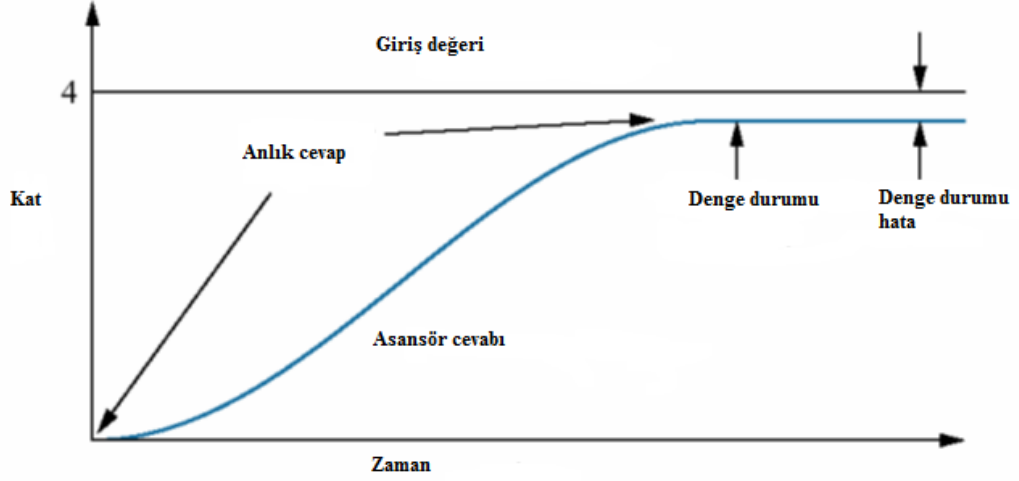
İki tip giriş vardır:

- Denetim(kontrol) girişı
- Bozucu etkiler



Şekil 2.11 : Otomatik kontrol prensibi

Örneğin, zemin katta asansörün 4. kat düğmesine basıldığını düşünelim. Asansör 4. kata yolcusunu rahatsız etmeden yükselerek taşınalıdır .4. Kat düğmesine basılması bir giriş işaretidir ve birim basamak olarak gösterilmiştir. Giriş, asansör durduktan sonra çıkışın almasını istediğimiz konumdur.



Şekil 2.12 : Asansör sistemi

Bozucu etki: Sistemin çıkışdeğerini ters (negatif) olarak etkileyen veya etkilemeye meyilli işarettir. Eğer sistemin içinde üretilmişse iç bozucu etki, dışında üretilmişse dış bozucu etki adı verilir.

Denetim girişinin bir önemli işlevi de bozucu girişin sistem çıkışındaki etkisini azaltmaya çalışmasıdır.

Örneğin, bir kontrol sistemi olarak sıcaklığı denetlenen(kontrol edilen) bir odayı düşünelim. Bu sistemde;

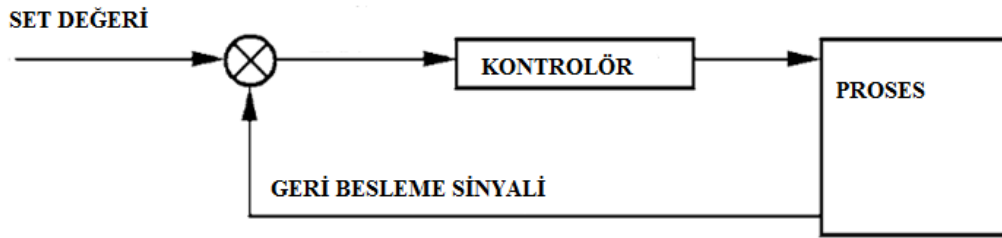
- Çıkış: Oda sıcaklığı
- Giriş: Termostat ayarı
- Bozucu Etki: Oda'nın kapısının açılıp kapanması

Matematiksel modelleme: Fiziksel sistemin giriş-çıkış davranışlarını belirleyen denklem takımını oluşturmaktır.

Açık çevrim : Kontrol edilen değişken ile kontrolör arasında direk bir bağlantı yoktur. Dış hava sıcaklığına bağlı olarak, radyatör sıcaklığını ayarlayan bir kontrol

sistemine sahip bir bina ısıtma sistemi varsayalım. Bu sistem, dış hava sıcaklığının değişken değerlerine göre radyatörlere gönderilecek suyun sıcaklığını sürekli olarak değiştirerek, oda havası sıcaklığını sabit tutmaya çalışır. Oda havası sıcaklığı değerinin bu kontrole direk bir etkisi yoktur. Çünkü, kontrol edilen değişkenden bir geri besleme sinyali söz konusu değildir. [6]

Kapalı çevrim : Kontrol edilen değişkendeki değişimler kontrol cihazına direk olarak aktarılır. Böylece; düzeltici hareket, kontrol edilen değişkenin kontrol cihazında tanımlı noktaya getirilmesine kadar devam eder. Bu çevrim şekil 2.13'te özetlenmektedir. [6]



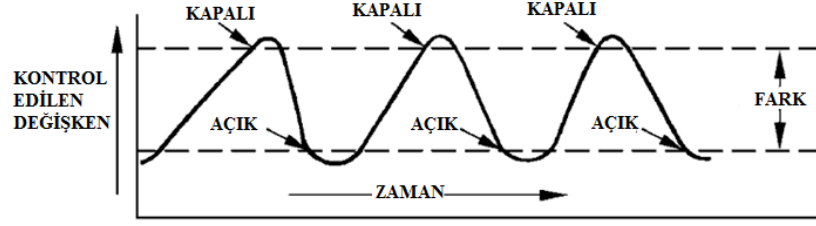
Şekil 2.13 : Kapalı çevrim kontrol[7]

2.10.2 Otomatik kontrol türleri

Otomatik kontrol döngüsünde kontrol edici blok yerine yerleştirilebilecek herhangi bir kontrol cihazı, kontrol noktası etrafında çalışılması gereken hassasiyette sistemi kontrol etmelidir. Prosesin gerektirdiği hassasiyette çalışacak, hatayı gereken oranda minimuma indirecek çeşitli kontrol türleri mevcuttur. [6]

2.10.2.1 İki konumlu kontrol

Bu türde nihai kontrol elemanı bir konumdan diğerine geçiş anı dışında tam açık veya tam kapalı konumdadır. Kontrol edilen değişken, kontrol noktasına geldiğinde nihai kontrol elemanı belirlenmiş bir konuma gelir ve kontrol edilen değişken değişmediği sürece bu konumda kalır. Kontrol edilen değişken kontrol noktasından belirli bir düzeyde uzaklaşınca nihai kontrol elemanı ikinci konumunu alır. Nihai kontrol elemanının hareketsiz kaldığı bu iki nokta arasındaki değere fark aralığı denir. Kontrol edilen değişken, fark aralığının iki sınır değerinden birine erişmediği sürece nihai kontrol elemanı hareket ettirilmez. [6]



Şekil 2.14 : İki konumlu kontrol[7]

2.10.2.2 Yüzer kontrol

İki konumlu kontrol ile oransal kontrol arasında bulunan bu kontrol türü, “üç konumlu kontrol” olarak da bilinmektedir. İki konumlu kontrolden farklı olarak nihai kontrol elemanına üç türlü kumanda uygulanabilir: aç- sabit kal- kapa.

Bu kontrol şeklinde sistemde istenen ayar değeri yakalandığında, servomotor o anda bulunduğu konumda hareketsizdir, istenen ayar değerinin belli bir miktar dışına çıktığında ise servomotor oluşan farkı düzeltmek üzere açma ya da kapama yönünde hareket eder. [6]

2.10.2.3 Oransal kontrol-P (proportional)

Nihai kontrol elemanı, kontrol edilen değişkenin değişim miktarına bağlı olarak konumlanır. Kontrol elemanının oransal bandı (X_p) içinde kontrol edilen değişkenin her değerine karşılık nihai kontrol elemanının bir tek konumu vardır. Başka bir deyişle kontrol edilen değişken ile nihai kontrol elemanı arasında doğrusal bir bağıntı kurularak gereksinim duyulan enerji ile sunulan enerji arasında bir denge oluşturulur. [6]

Nihai kontrol elemanının hareket boyunu değiştirerek kullanılan enerjinin %0’dan %100’e kadar yararlanabilmesi için gerekli kontrol edilen değişkendeki sapma miktarı oransal band olarak tanımlanır. Genel olarak oransal band kontrol cihazının kontrol skalası değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanır ve set değeri etrafında eşit olarak yayılır. [6]

Şekil 2.15’de şematik olarak gösterilmiş transfer eğrisi üzerinden, ayar değerinin (X_s) 20°C ve oransal band (X_p) değerinin 4°C olduğu ters hareketli bir oransal kontrol sistemini inceleyelim. Sıcaklık değerinin 18°C olduğu noktada nihai kontrol

elemanı konumu %100 pozisyonundadır. Nihai kontrol elemanı, sıcaklık değerinin ayar değeri ile eşit olduğu noktada %50 pozisyonundadır. Sıcaklık değerinin 22°C olduğu noktada ise nihai kontrol elemanı %0 pozisyonuna gelir. Bir oransal kontrol cihazının fonksiyonu;

$$V_p = K_p \cdot e + V_0 \quad (2.1)$$

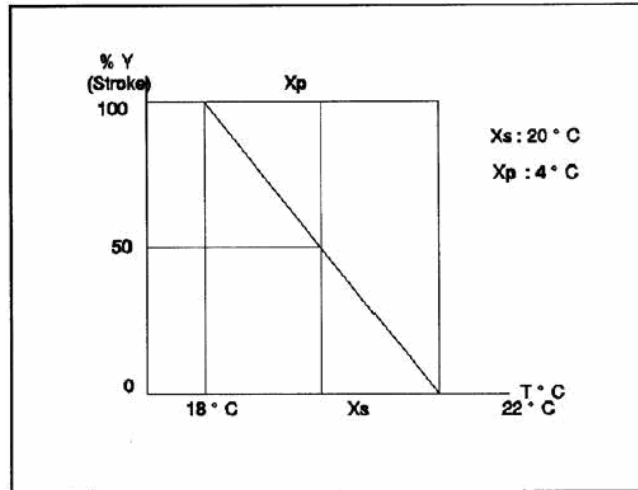
V_p : Kontrol cihazı çıkışı

K_p : Oransal kazanç

e : Hata sinyali veya offset

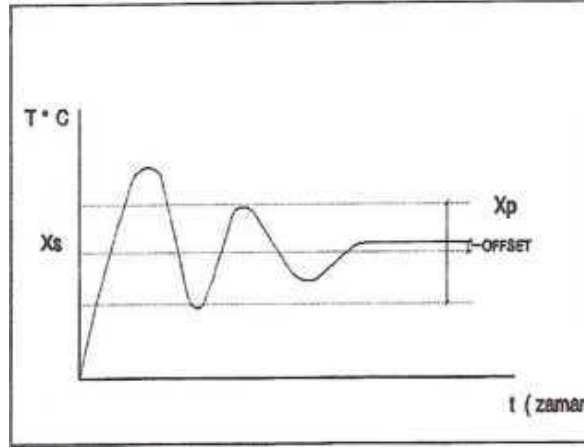
V_0 : Offset düzeltme parametresi

formülüyle de ifade edilebilir.



Şekil 2.15 : Oransal kontrol transfer eğrisi[6]

Şekil 2.16'da sembolize edilen oransal kontrol reaksiyon eğrisinden de gözüktüğü gibi; set değeri ile sistemin oturduğu ve sabit kaldığı değer arasındaki farka offset denir. Offset'i azaltmak için oransal band küçültülebilir. Ancak oransal band küçüldükçe, iki konumlu (on-off) kontrole yaklaşıldığı için set değeri etrafında salınımlar artabilir ve sistem dengeye oturamaz. [6]



Şekil 2.16 : Oransal kontrol[6]

Geniş oransal band seçeneğinde ise offset'in daha büyük olacağı düşünülürse; oransal band seçiminin kullanıldığı prosesin şartlarına uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Oransal band bir çok proste tam skala değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanıp yaygın olarak kullanılıyorsa da yine bazı proseslerde kazanç tanımı kullanılmaktadır. Oransal band ve kazanç arasındaki bağlantıyı, $\text{kazanc} = \%100 / \% \text{ oransal band}$, olarak ifade edebiliriz. Buradan görüldüğü gibi oransal band daraldıkça kazanç artmaktadır. [6]

2.10.2.4 Oransal+integral kontrol - PI (proportional + integral)

Oransal kontrolde oluşan offset'i azaltmak veya ortadan kaldırmak için kontrol cihazı integratör (integral alıcı devre) kullanır. Ölçülen değer ile set edilen değer arasındaki fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu integral değeri, fark değeri ile toplanır ve oransal band kaydırılmış olur. [6]

Matematiksel olarak formülize edersek;

$$V_p = K_p \cdot e + K_i \int e + V_0 \quad (2.2)$$

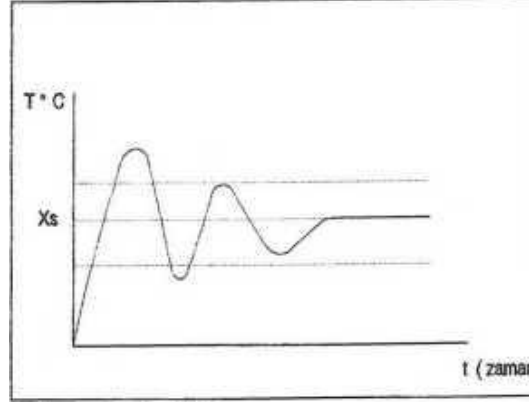
V_p : Kontrol cihazı çıkışı

K_i : Integral kazanç

t : Zaman

Bu şekilde sisteme verilen enerji otomatik olarak artırılır veya azaltılır ve proses değişkeni seti değerine oturtulur. İntegratör devresi, gerekli enerji değişkenliğine set

değeri ile ölçülen değeri arasındaki fark kalmayıncaya kadar devam eder. Fark sinyali sıfır olduğu anda artık integratör devresinin integralini alacağı bir sinyal söz konusu değildir. Herhangi bir şekilde sistem dengesi bozulup, proses değişkeni değeri set değerinden uzaklaşacak olursa tekrar fark sinyali oluşur ve integratör devresi düzeltici etkisini gösterir. [6]



Şekil 2.17 : Oransal+integral kontrol[6]

Şekil 2.17’de , offseti kalkmış bir oransal + integral kontrol reaksiyon eğrisinden de görüleceği gibi; Oransal + İntegral kontrolün en belirgin özelliği sistemin başlangıcında proses değişkeni değeri, set değerini önemli bir miktarda ki bu ilk yükselme noktası üst tepe değeri (overshoot) olarak tanımlanır. Set değeri etrafında sistem yük değerine bağlı olarak birkaç kere salınım yaptıktan sonra, set değerine oturur. [6]

2.10.2.5 Oransal+ türevsel kontrol - PD (proportional + derivative)

Oransal kontrolde oluşan offset, oransal + türevsel kontrol ile de azaltılabilir. Oransal + Türevsel kontrolde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyalinin türevi alınır. Türevi alınan fark sinyali, tekrar fark sinyali ile toplanır ve oransal devreden geçer. Bu şekilde düzeltme yapılmış olur. Ancak türevsel etkinin asıl fonksiyonu overshoot-undershoot'ları azaltmak içindir. Overshoot ve undershoot'ları azaltırken bir miktar offset kalabilir. [6]

Türevsel etki, düzeltici etkisini hızlı bir şekilde gösterdiği için hızlı değişimlerin olduğu kısa süreli proseslerde kullanılması uygundur. Sürekli tip uzun süreli proseslerde ve offset istenmeyen durumlarda PI veya PID tip seçilebilir. [6]

2.10.2.6 Oransal + integral + türevsel kontrol – PID (proportional + integral + derivative)

Kontrolü güç, diğer kontrol türlerinin yeterli olmadığı proseslerde tercih edilen bu kontrol türünde; oransal kontrolde oluşan offset, integral fonksiyonu ile giderilir. Meydana gelen overshoot'lar bu kontrole türevsel etkinin de eklenmesi ile minimum seviyeye indirilir veya tamamen ortadan kaldırılır. [6]

PID kontrolü matematiksel olarak formüle edersek;

$$V_p = K_p \cdot e + K_i \cdot \int e + K_d \cdot \Delta e / \Delta t + V_0 \quad (2.3)$$

K_d : Türevsel kazanç

$\Delta e / \Delta t$: Hatanın türevi

Esas amacı ayar değeri ile ölçüm değeri arasındaki hatayı sıfıra indirmek ve bu sayede istenilen değere ulaşmak olan tüm kontrol türlerinde; Oransal (P), integral (I), türev (D) parametrelerinin uygun bir şekilde ayarlanmaları sayesinde kontrol edilen değişkenin ayar değerine;

- Minimum zamanda

- Minimum üst ve alt tepe (overshoot ve undershoot) değerlerinden geçerek ulaşmasını sağlarlar.

İntegral ve türevsel parametrelerin söz konusu olmadığı ve sadece P tip kontrol cihazları ile kurulan sistemlerde de dengeye ulaşmak mümkündür. Ancak sadece P'nin aktif olduğu bu tür kontrol sistemlerinde azda olsa set değeri ile kontrol edilen değer arasında sıfırdan farklı + veya - değer ve de sıfıra indirilmeyen bir offset mevcuttur. Sadece P ile kontrol edilen böyle bir sisteme I'nın ilavesi offseti ortadan kaldırmaya yöneliktir. Diğer bir deyişle P+I türündeki bir kontrol cihazı ile denetlenen bir proseste normal şartlar altında sistem dengeye oturduktan sonra offset oluşması söz konusu değildir. Bununla beraber integral zamanın çok kısa olması prosesin osilasyona girmesine neden olabilir. P+ I denetim mekanizmasına D etkisi ilavesi ise set değerine ulaşmak için geçen zamanı kısaltmaya yararmaktadır. [6]

Gerek dengeye oturma zamanı, gerek reaksiyon zamanı ve gereksede üst ve alt salınımların optimum değerleri proseten prosese değişiklik göstereceğinden her proses için P,I,D değerleri ayarları birbirinden farklı olmalıdır. [6]

Daha önce ayarlanarak optimum değerleri tesbit edilmemiş bir PID kontrol cihazının PID parametrelerinin, ilk işletmeye alma esnasında optimum kontrol için ayarlanmaları gerekmektedir. [6]

2.11 Temel Ses Bilgisi

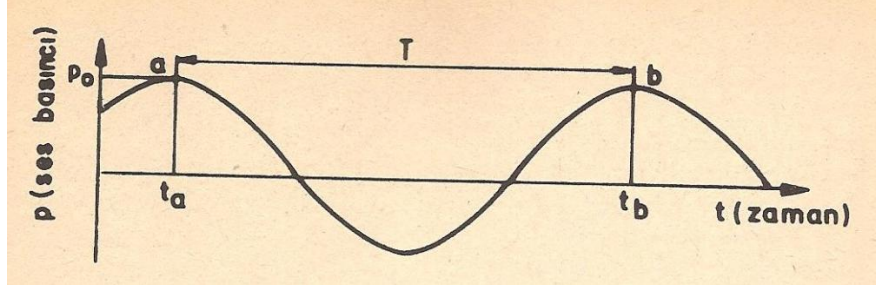
Ses, dalgalar halinde yayılan bir enerji şeklidir. Sesin tanımını, "kulak tarafından algılanabilen hava, su ya da benzeri bir ortamdaki basınç değişimi" olarak verebiliriz. Sesin doğuşu ve yayılması, ortamdaki parçacıkların titreşimi ve bu titreşimlerin komşu parçacıklara iletilmesiyle olur. Ortamdaki parçacıkların titreşmesiyle oluşan dalgalar, havada basınç değişiklikleri oluşturur. Bu basınç değişiklikleri kulak tarafından elektrik sinyallerine çevrilir ve beyin tarafından "ses" olarak algılanır. Hava basıncının değişme miktarına ses basıncı denir. [8]

Ses nesnel bir kavramdır. Yani ölçülebilir ve varlığı kişiye bağlı olarak değişmez. Gürültü ise öznel bir kavramdır. Gürültüyü, "hoşa gitmeyen, istenmeyen, rahatsız edici ses" olarak tanımlayabiliriz. Tanımdan da anlaşılacağı gibi, bir sesin gürültü olarak nitelenip nitelenmemesi kişilere bağlı olarak değişebilir. Bununla birlikte, birçok gürültü tipinin kuşkuyla yer vermeksizin herkes tarafından gürültü olarak kabul edileceği açıktır. Endüstriyel gürültü bu tip bir gürültüdür. Ayrıca çok yüksek sesin, hoşa gitse bile, işitme kaybından birçok fizyolojik ve psikolojik rahatsızlıklara dek uzanan zararlı etkisi nedeniyle kontrol edilmesi gerekir. [8]

2.11.1 Ses dalgalarının özellikleri - frekans, peryot, dalga boyu ve yayılma

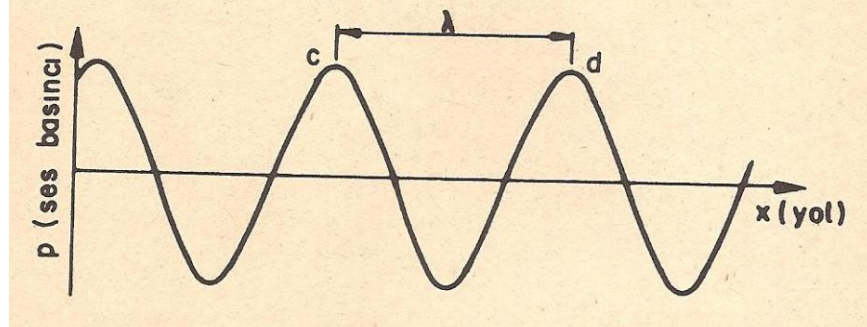
Şekil 2.18 basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimini göstermektedir. P_0 ile gösterilen, basıncın en büyük değerine genlik denir. Basıncın, birbirini izleyen en büyük iki değeri arasında geçen zamana (örneğin, t_b - t_a) peryot adı verilir. T ile gösterilen peryodun birimi, zaman birimi olan saniyedir. Şekil 2.18'den görüldüğü gibi, basınç değişimi her peryotta (T zamanında) aynen tekrarlanmaktadır. Peryodun tersi ($1/T$) frekanstır (f). Peryot, "bir basınç değişim devri için geçen zaman" olarak tanımlanabileceğine göre; frekans,

"birim zamandaki basınç değişim devri sayısı" dır. Bu tanımlardaki "basınç değişim devri" ile anlatılmak istenen, basıncın aynı düzeye ulaştığı (aynı yönden yaklaşarak) birbirini izleyen iki nokta (örneğin a ve b) arasındaki kısımdır. Frekans, genellikle "bir saniyedeki devir sayısı" (Hertz) ile ölçülür. Yukarıdaki tanımdan da anlaşılacağı gibi $T = 1/f$ 'dir. [8]



Şekil 2.18 : Basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimi [8]

Şekil 2.18 herhangi bir noktadaki basıncın zamanla değişimini göstermektedir. Herhangi bir anda, ses dalgasının yarattığı ses basıncının ses kaynağından olan uzaklıkla değişimi ise Şekil 2.19'da olduğu gibi gösterilebilir. Şekil 2.19'da, yatay eksen yolu gösterdiğinden, birbirini izleyen iki benzer nokta (örneğin c ve d) arasındaki uzaklık dalga boyu (λ) olacaktır. [8]



Şekil 2.19 : Basit harmonik bir ses dalgasının bir yönde ilerleyişi[8]

2.11.2 Desibel

İlk kez elektrik mühendisliğinde kullanılan desibel, bir oranı veya görelî bir değeri gösterir. Alexander Graham Bell'in anısına bel adı verilen birim, iki büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla 1 bel, oranları 10 olan iki büyüklüğü göstermektedir. Bu oranın çok yüksek olmasından dolayı desibel adı verilen ve "oranların logaritmasının 10 katı" olarak tanımlanan birim daha yaygın

olarak kullanılmaktadır. Bu sayılardan biri bilinen bir sayı olarak alındığından; desibel, söz konusu bir büyüklüğün referans büyüklüğüne oranının logaritmasının 10 katıdır. Desibel, genelde, güç ya da güç eşdeğeri büyüklükleri ölçmekte kullanılır. Desibel (dB) ile ölçtüğümüz büyüklüklere düzey adı verilir, örneğin, W değerindeki bir gücün W_0 referans değerine göre düzeyi,

$$Düzey(dB) = 10 \cdot \log W/W_0 \quad (2.4)$$

olarak tanımlanır. Dolayısıyla, referans olarak alınan W_0 'ın değerini bilmeme durumunda, tek başına W'nun dB cinsinden düzeyi hiçbir anlam taşımaz. Doğrusal bir ölçek yerine logaritmik bir ölçek kullanılışından dolayı, alt ve üst sınır değerleri arasında büyük farklar olan ses ölçümleri için desibel çok uygundur. [8]

2.11.3 Ses gücü düzeyi

Bir ses kaynağının yaydığı ses enerjisinin gücüne ses gücü (veya akustik güç), bu gücün düzeyine ise ses gücü düzeyi (L_w) adı verilir. Referans gücü olarak uluslararası referans $W_0 = 10^{-12}$ W kullanılır. Eski Amerikan standardı ise $W_0 = 10^{-13}$ W'tır. Yukarıdaki tanıma göre, ses gücü W olan bir kaynağın ses gücü düzeyi L_w ,

$$L_w = 10 \cdot \log W/10^{-12} \quad (2.5)$$

formülüyle bulunur.

Bir makinanın ses gücü, bu makinanın toplam gücünün ses olarak yayılan kısmıdır ve genellikle toplam gücün çok küçük bir kısmıdır. Amacı ses üretmek olan hoparlörlerde bile toplam gücün en fazla % 10'u ses gücüdür. [8]

2.11.4 Ses basıncı düzeyi

Ses, kulak zarıyla temasta bulunan havanın basıncının değişmesiyle algılandığından, bir ses kaynağının ses gücünden daha çok, belli bir noktada yarattığı ses basıncı önemlidir. Ses basıncı düzeyi L_p ,

$$L_p = 10 \cdot \log p^2/p_0^2 \quad (2.6)$$

olarak tanımlanır. Burada p ses basıncının ortalama kare değerinin karekökü (rms değeri), p_0 ise uluslararası referans basıncı olarak kabul edilen 20 mikropaskal

(20×10^{-6} Pa ya da N/m²)'dir. 20 mikropaskalın referans olarak seçilme nedeni; ortalama genç bir yetişkinin, frekansı 1000 Hz olan bir ses dalgasını duyabilmesi için en az 20×10^{-6} Pa değerinde bir basıncın gerekmesidir. Yani 1000 Hz'deki duyma eşiği referans alınmıştır. Ses basıncı düzeyinin tanımında basınçların değil de basınçların karelerinin oranının kullanılma nedeni, dB'in genellikle güç oranları için kullanılması ve gücün, basıncın karesiyle orantılı olmasıdır. [8]

Sesin doğmasını ve iletilmesini sağlayan hava basıncındaki değişimin, basit harmonik bir ses dalgası için sinüs eğrisiyle gösterilebilir. Değişik frekanslardaki harmonik ses dalgalarının bir araya gelmesiyle oluşan bir ses dalgasının yaratacağı ses basıncının rms değeri ,

$$P_t^2 = \sum p_i^2 \quad (2.7)$$

eşitliğinden bulunabilir. Burada p_i , i'ninci ses basıncının rms değerini, p_t ise toplam ses basıncının rms değerini göstermektedir. [8]

2.11.5 Ses şiddeti ve ses şiddeti düzeyi

Bir ses kaynağından ses şeklinde yayılan enerjinin birim zamandaki miktarına ses gücü denir. Şimdi bu enerjinin yayılma şeklini inceleyelim. Sesin, kaynağın bulunduğu ortamın akustik ve geometrik özellikleriyle, kaynaktan olan uzaklığa bağlı olarak değişen bir özelliği de ses şiddetidir. Ses şiddetini tanımlamak için W ses gücüne sahip bir ses kaynağından çıkan ses dalgalarının A alanından geçtiği anı düşünelim. Birim alandaki güç,

$$I = W/A \quad (2.8)$$

ses şiddetini verir. Ses şiddetini ölçmek zordur. Fakat, ses şiddeti ile ses basıncı arasındaki, düzlemsel dalgalar için verilen ve kaynaktan uzakta olmak koşuluyla diğer dalga tipleri için de geçerli olan,

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (2.9)$$

bağıntısını kullanarak, ölçülen ses basıncının rms değerinden (p) ve sesin iletiildiği ortamın yoğunluğu ρ ile bu ortamdaki sesin yayılma hızı c'den ses şiddeti I hesaplanabilir.

Ses şiddeti düzeyi L_I ise, daha önceki düzey tanımlamalarına benzer şekilde,

$$L_I = 10 \cdot \log I/I_0 \quad (2.10)$$

olarak tanımlanır. I_0 olarak 10^{-12} W/m^2 alınmaktadır.

Sesin havada yayılması düşünüldüğünde, eşitlik (2.9)'dan yararlanarak,

$$L_I = L_p - 0.16 \text{ dB} \quad (2.11)$$

bulunur. 0.16 dB insan kulağının fark edemeyeceği bir değer olduğundan, havada ilerleyen ve eşitlik 2.9 un geçerli olduğu ses dalgaları için L_I yerine L_p alınabilir. Bu nedenle gürültü analizlerinde ses şiddeti yerine, ölçülmesi çok daha kolay olan ses basıncı kullanılır. [8]

2.11.6 Frekans analizi

Peryodik sesler kendilerini oluşturan harmoniklere ayrılabilirdiği gibi, peryodik olmayan karmaşık sesler de sonsuz sayıda harmonik fonksiyonun toplamı şeklinde düşünülebilir. Böyle bir analize girdiğimizde, teorik olarak sıfırdan sonsuza kadar her frekanstaki fonksiyonun, verilen karmaşık bir fonksiyonu oluşturmakta katkısının olabileceği görülür. Her frekanstaki fonksiyonun katkısını frekansın fonksiyonu olarak çizersek sürekli bir eğri elde ederiz. Bu tür eğrilere frekans dağılımı eğrisi veya frekans spektrumu denir. Peryodik bir fonksiyonun frekans spektrumunu çizecek olursak, yalnız belli frekanslar için değerler buluruz. [8]

Doğada rastladığımız sesler genellikle karmaşık sesler olduğundan; frekans analizi, ses ölçüm ve analizinde önemli bir yer tutmaktadır. Karmaşık bir sesin frekans dağılımını incelersek, o sesin daha çok hangi frekanslardaki seslerden oluştuğunu kolayca görebiliriz. Gürültü kontrolü açısından, birçok durumda gürültünün frekans dağılımını bilmek gerekmektedir. Çünkü, gürültü kontrolünü sağlamak için alınacak önlemler, yayılması ya da doğması önlenecek sesin frekansına bağlı olarak değişebilir. Ayrıca, kulağın her frekansa gösterdiği duyarlılık farklıdır.

Bir ses kaynağının çıkardığı sesin frekans dağılımını elde etmek için birçok değişik ölçüm aygıtı kullanılabilir. Temel kural, gelen sinyalleri süzerek (filtre ederek) istenilen frekanslardaki bileşenlerin büyüklüğünü ölçmektir. Geçmesine izin verilen

frekans aralığını değiştirerek, her frekans bandındaki bileşenlerin katkısını bulabiliriz. Burada önemli olan, gelen sinyali hangi genişlikteki frekans bantlarında süzeceğimize. Çok geniş bant aralığı kullanıldığında frekans ölçümleri fazla bir anlam taşımaz. Buna karşılık çok dar bant aralığı kullanılması, gereksiz zaman kaybına neden olabilir. Bant genişliğini, genellikle yapılacak analizin niteliğı ve duyarlılığı belirler. [8]

Ses ve gürültü analizinde, oktav bantları ve 1/n oktav bantları ($n = 2, 3, 10$ vb.) kullanılarak standartlaşmaya gidilmiştir. Genelde oktav analizi kullanılmakla birlikte, hassasiyet gerektiren durumlarda yaygın olarak 1/3 oktav ya da 1/10 oktav analizi kullanılır. [8]

2.11.7 Oktav bantları

Frekans analizinde karşılaşacağımız ilk soru, hangi frekans aralığında inceleme yapmamız gerektiğidir. Bir sesi oluşturan harmoniklerin tümünün, örneğın frekansı 100 kHz olan bir harmoniğın katkısının incelenmesi gerekir mi? Bu sorunun yanıtını vermek için insan kulağının işitebileceğı frekansları bilmemiz gerekir. Konumuz ses ve gürültü olduğundan, insan kulağının duyarlı olmadığı frekansları incelemenin bir yararı yoktur. [8]

İnsan kulağı yaklaşık olarak 16 — 20 000 Hz arasındaki seslere karşı duyarlıdır. Bu frekansı, s aralığı değişik kaynaklarda 16 Hz — 16 kHz ya da 20 Hz — 20 kHz olarak verilmektedir. Kulağın en hassas olduğu frekans ise 3 000 Hz'dir. Normal bir konuşma 200- 10000 Hz frekans aralığını kapsar. Konuşmanın anlaşılabilir olması için 1000 — 2500 Hz aralığındaki frekanslar yeterlidir. Telefonlar genel olarak 500 — 3000 Hz frekans aralığındaki sesleri iletir. Müzik, genel olarak konuşmadan daha geniş bir frekans aralığına sahiptir. Alt sınır 200 Hz'den 30 Hz'e veya biraz daha altına düşerken, üst sınır 10 kHz'in epey üzerine çıkabilir. Buna karşılık, gürültü kontrolü açısından kulağın duyarlı olduğu tüm frekans aralığını incelemek gerekmeyebilir. Alt limit olarak 45 Hz civarı, üst limit olarak ise duruma göre 6 ya da 11 kHz alınabilir. [8]

Görüldüğü gibi incelememiz gereken frekans aralığı çok geniştir ve sabit genişlikte bantların kullanılması birçok durumda çok uzun analiz süresi gerektirir. Bu nedenle, ses analizlerinde, inceleyeceğimiz frekans aralığı oktav bandı adı verilen kısımlara

bölünür. Bir oktav bandında, bandın üst sınır değeri, alt sınır değerinin iki katıdır ve her bandın üst sınır değeri, bir sonraki bandın alt sınır değeridir. Her bandın merkez frekansı ise alt ve üst sınır değerlerinin aritmetik ortalaması olmayıp, geometrik ortalamasıdır. [8]

2.11.8 Gürültünün sınıflandırılması

Gürültü değişik açılardan sınıflandırılabilir. Gürültüyü,

- a. frekans dağılımına (spektrumuna),
- b. ses düzeyinin zamanla değişme şekline,

bağlı olarak sınıflandırabiliriz. Frekans dağılımına göre yapılan sınıflandırmada iki tip gürültüden söz edebiliriz :

1. Geniş bant gürültü : Gürültüyü oluşturan arı seslerin frekansları geniş bir aralığı kapsar. Yani, gürültünün frekans spektrumu yayılmış, hiçbir frekans bandında toplanmamıştır. Her frekanstaki katkının aynı olduğu geniş bant gürültüye ise beyaz gürültü adı verilir. [8]
2. Dar bant gürültü : Geniş bant gürültünün tersine, bu tür gürültünün frekans dağılımı, belli bir frekans bandında toplanmış bir grafik gösterir. Diğer bir deyişle, gürültüyü oluşturan arı seslerden frekansı belli bir aralıkta olanlar baskındır. [8]

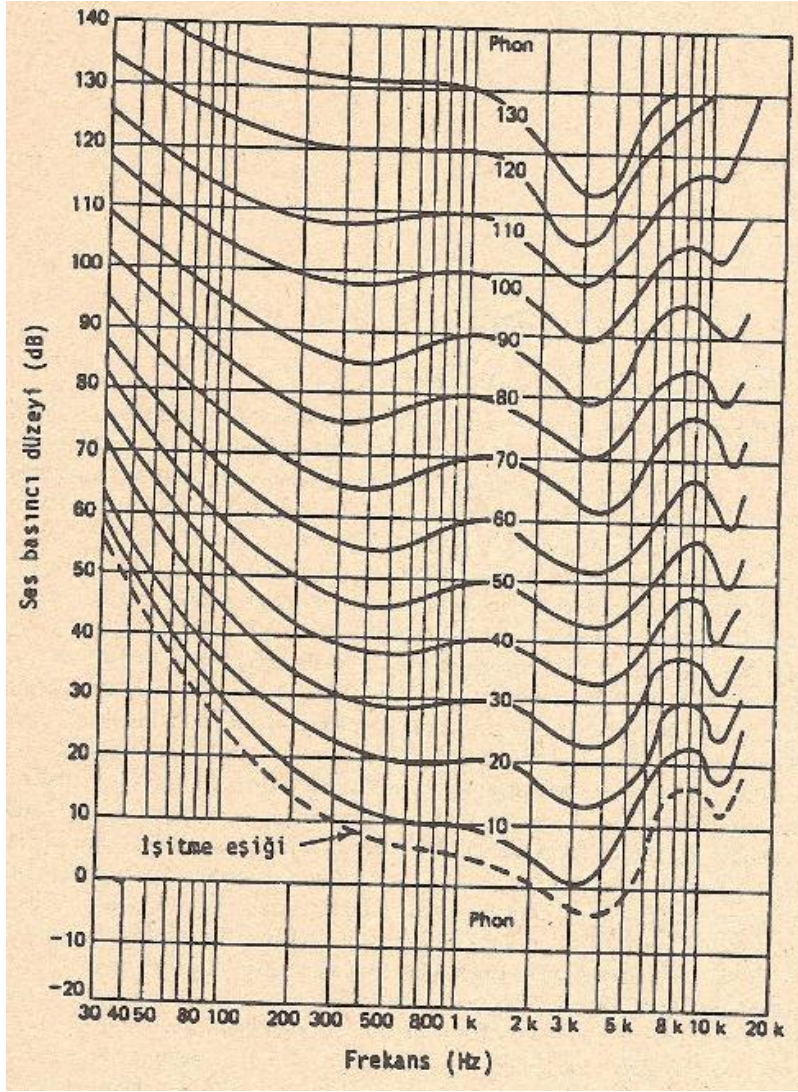
Ses düzeyinin zamanla değişimi açısından, gürültüyü yine iki ayrı grupta incelemek olasıdır:

1. Kararlı Gürültü : Gürültünün düzeyinde zamanla önemli bir değişme gözlenmez. Sabit bir hızda ve güçte çalışan herhangi bir motorun yaratacağı gürültü, kararlı gürültüye iyi bir örnektir. [8]
2. Kararsız gürültü : Gürültü düzeyinde zamanla önemli değişikliklerin gözlemlendiği gürültü türüdür. Zamanla değişme, dalgalanma ya da durup yeniden başlama (kesikli olma) şeklinde gözlenebilir. Bu tür gürültülere, sırasıyla, dalgalı gürültü ve kesikli gürültü adı verilir. Kararsız gürültünün diğer bir şekli de darbe gürültüsüdür. Darbe gürültüsünün, kesikli gürültüden farkı; her gürültü anının, darbe gürültüsünde çok daha kısa olmasıdır (genellikle 1 saniyenin altında). [8]

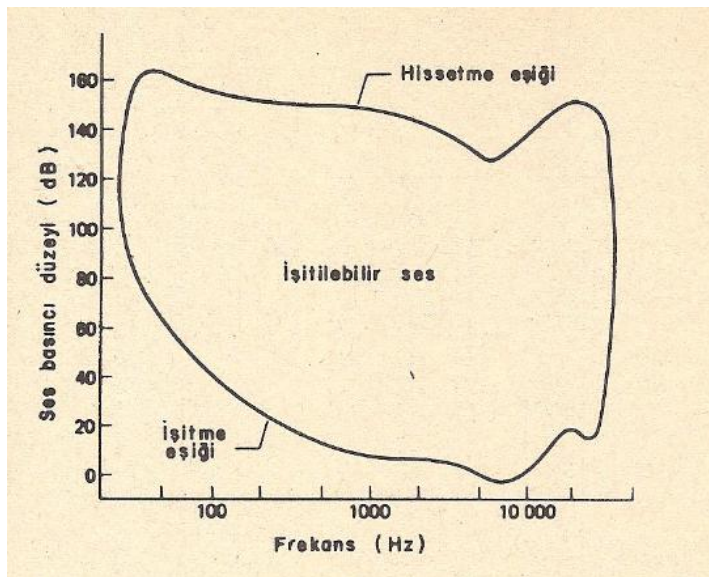
2.12 Ses Yüksekliği ve Gürültü Ölçütü

2.12.1 Ses yüksekliği ve ses yüksekliği düzeyi

Bir sesin yüksekliği; yalnız, o sesin yarattığı ses basıncı tarafından belirlenmez. Yani, aynı ses basıncını yaratan değişik frekanslardaki sesler, kişilerce değişik yükseklikte algılanırlar. Dolayısıyla; ses yüksekliği, sesin frekansı ve yarattığı ses basıncı tarafından belirlenir. Değişik frekanslarda aynı yükseklikte duyulan iki sesin ses basınçları arasındaki ilişkinin saptanması için, kaçınılmaz olarak kişisel yargıya başvurulmuştur. Ölçüt olarak çok sayıda kişinin kişisel tepkileri alınmış ve istatistiksel sonuçlara dayanarak, ses yüksekliği ile ses basıncı ve frekansı arasındaki bir ilişki bulunmuştur. Aynı yükseklikte duyulan değişik frekanslardaki saf tonların ses basıncı düzeylerinin frekansla değişimleri çizilerek eş yükseklik eğrileri elde edilmiştir. Herhangi bir eş yükseklik eğrisinin üzerindeki her nokta aynı yükseklikteki sesleri göstermekte ve eğrinin 1000 Hz'i kestiği noktadaki ses basıncı düzeyinin sayısal değerine o yükseklikteki sesin yükseklik düzeyi (ya da ses yüksekliği düzeyi) denmektedir. Birimi phon'dur. Örneğin, 1000 Hz'de 40 dB ses basıncı düzeyine sahip bir arı sesin yaratacağı sesin yükseklik düzeyi 40 phon'dur; kulağa bu yükseklikte gelen tüm seslere, hangi frekansta olurlarsa olsunlar, 40 phon yükseklik düzeyine sahip denilir. Ses yüksekliği tamamen öznel bir kavram olduğu için, uygulamada standartlaşma sağlamak amacıyla "ortalama insana" göre elde edilen eşyükseklik eğrileri kullanılmaktadır. Şekil 2.20 eşyükseklik eğrilerini göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi; belli bir ses yüksekliği için gereken ses basıncı, 3 kHz dolaylarında en düşük değerini alırken, frekans küçüldükçe yükselmektedir. Bu da insan kulağının en çok 3 kHz dolayındaki frekanslara karşı duyarlı olduğunu gösterir. Şekil 2.20'in incelenmesi, bir an sesin frekansının yükselmesi sonucu, sesin belli bir frekansta aniden duyulabilirliğini yitirdiğini göstermektedir. Şekilde noktalı olarak gösterilen eğri, duyma eşiğini göstermektedir. Bu eğrinin altında kalan noktalar, ortalama bir insan kulağı tarafından duyulamayacak titreşimleri gösterir. İşitme sınırları Şekil 2.21'de gösterilmektedir. Kapalı eğri içinde kalan noktalara karşı gelen sesler, insan kulağı tarafından duyulabilen seslerdir. Eğrinin alt kısmı duyma eşiğini, üst kısmı ise hissetme eşiğini göstermektedir. Eğri dışında kalan tüm noktalar duyulamayan titreşimlere aittir. [8]

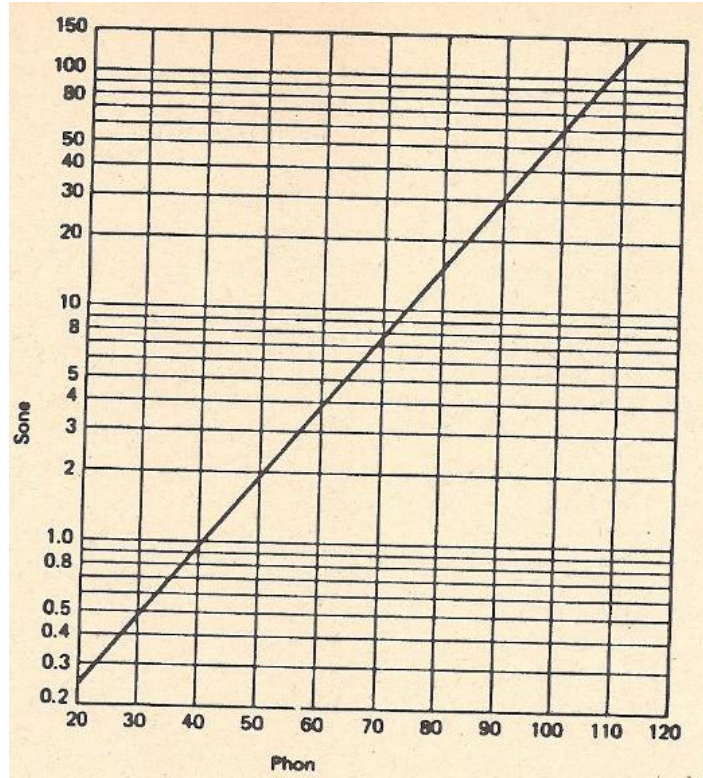


Şekil 2.20 : Arı sesler için eşyükseklik eğrileri[8]



Şekil 2.21 : İşitme sınırları[8]

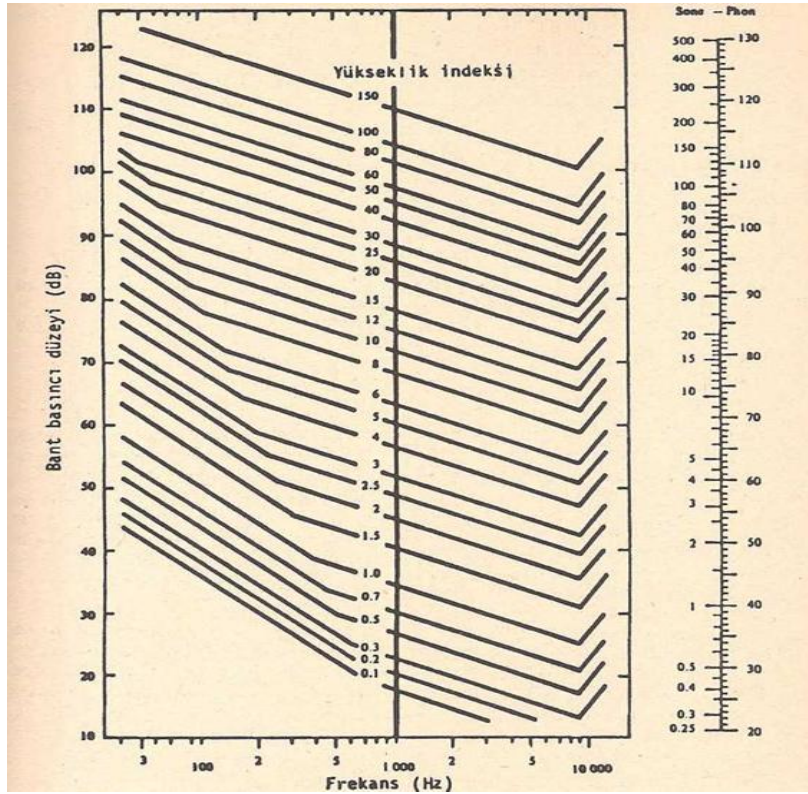
Ses yüksekliği düzeyi, tanımından da anlaşıldığı gibi logaritmik olarak ölçülmektedir. Bu nedenle; yükseklik düzeyi, iki aynı sesin yüksekliğini tam olarak kıyaslamaya, birinin diğerinden ne kadar daha yüksek olduğunu söylemeye elverişli değildir. Örneğin, yükseklik düzeyi 60 phon olan bir ses, yükseklik düzeyi 30 phon olan bir sese göre ne kadar daha yüksektir? Yine birçok kişinin, kişisel tepkisini ölçerek elde edilen sonuçlar, yaklaşık olarak 10 phon'luk bir artışın ses yüksekliğini iki katına çıkardığını göstermektedir. Bu nedenle, ses yüksekliği iki katına çıkınca sesin yüksekliğini gösteren sayının da iki katına çıkacağı yeni bir ölçü bulunarak birime sone (son) adı verilmiştir. Ses yüksekliği birimi olan sone, 1000 Hz frekansındaki 40 dB ses basıncı düzeyine sahip arı bir sesin ses yüksekliği olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, 40 phon ses yüksekliği düzeyindeki bir sesin ses yüksekliği 1 sone'dur. Phon ile sone arasındaki ilişki için şekil 2.22'den yararlanılabilir. [8]



Şekil 2.22 : Ses yüksekliği (sone) - Ses yüksekliği düzeyi (phon) çevrim eğrisi[8]

Şimdiye kadar arı seslerin, yani tek bir frekansa sahip seslerin ses yükseklikleri incelendi. Halbuki, yüksekliğini ölçmek istediğimiz sesler, genelde, arı sesler olmayıp birçok harmonikten oluşan karmaşık seslerdir. Bu durumda sesin yüksekliğini Şekil 2.20'deki eşyükseklik çizgilerinden yararlanarak bulamayız. Sesi

oluşturan her harmoniği ayrı ayrı incelememiz gerekir ki bu da olanaksızdır. Bu durumda en uygun yöntem, sesi oktav bantlarına ayırıp, her bandı ayrı ayrı ele almaktır. Karmaşık seslerin ses yüksekliklerinin ve ses yüksekliği düzeylerinin ölçülmesi için S.S. Stevens tarafından ampirik bir yöntem geliştirilmiş ve Şekil 2.20'dekine benzer, eşyükseklik indeksi eğrileri çizilmiştir. Şekil 2.23'te gösterilen bu yeni eğrilerin daha önce tartışılan eşyükseklik eğrilerinden (Şekil 2.20) farkı, tek bir frekans yerine bir frekans bandı kullanılıyor olmasıdır. Yani, düşey eksen tek bir frekansa sahip bir sesin ses basınç düzeyini değil de, birçok harmonikten oluşan bir sesin belli bir frekans bandında ölçülen bant basıncı düzeyini göstermektedir. Bant basıncı düzeyinin ölçülmesi, karmaşık bir sesin belli bir frekans bandında süzülerek, bu frekans bandındaki harmoniklerin yarattığı ses basıncı düzeyinin bulunmasıdır. Dolayısıyla, Şekil 2.23'te belli bir frekanstan söz edildiğinde, yalnız o frekanstaki harmonik bir ses dalgası değil, o frekansı merkez frekansı kabul eden bir frekans bandı içinde kalan tüm harmonikler kastedilmektedir. O frekans için okunan basınç düzeyi de yine söz konusu frekans bandı için ölçülen bant basıncı düzeyini göstermektedir. Bu nedenlerle, Şekil 2.23'teki eğriler, Şekil 2.20'de verilen eşyükseklik eğrilerinden farklıdır. [8]



Şekil 2.23 : Eş yükseklik indeksi eğrileri[8]

Stevens'ın geliştirdiği, karmaşık bir sesin toplam ses yüksekliğini bulma yöntemini aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz:

1. Oktav bant analizi ile her oktav bandındaki bant basıncı düzeyleri (BBD) lr. Genellikle 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 ve 8000 Hz bantlarını kullanmak yeterli olmaktadır.
2. Her merkez frekansı ve buna karşı gelen BBD kullanılarak, her banttaki yükseklik indeksi şekil 2.23'ten bulunur.
3. Toplam ses yüksekliği S_t aşağıdaki ampirik formülden hesaplanır :

$$S_t = S_m + K \left(\sum_{i=1}^n S_i - S_m \right) \quad (2.12)$$

S_t = toplam ses yüksekliği (sone)

S_m = en büyük yükseklik indeksi

S_i = i'ninci yükseklik indeksi

$K = 0,3$

Toplam ses yüksekliği düzeyi, toplam ses yüksekliği S_t 'den, şekil 2.22'de verilen evirim eğrisini kullanarak bulunabilir. Oktav bant analizi yerine 1/2 veya 1/3 oktav bant analizi sonuçlan kullanılacaksa, eşitlik 2.12'deki K değerı sırasıyla 0,2 veya 0,15 alınmalıdır. [8]

2.12.2 Gürültü lt eğrileri

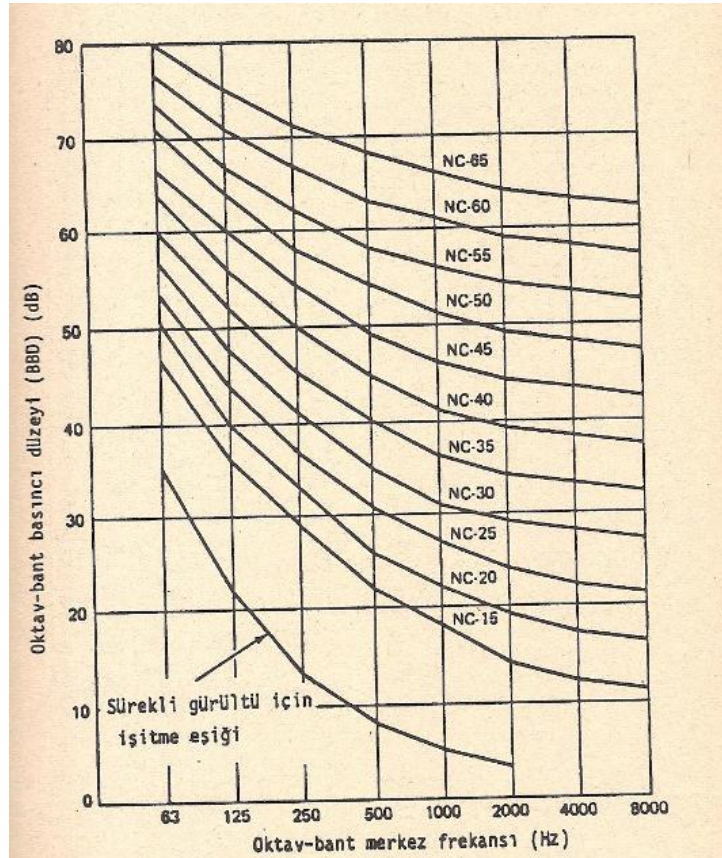
Kapalı yerlerdeki arka plan (fon) gürültüsünün düzeyini saptamanın ve bilinen sınır değerlerle kıyaslamanın bir yolu, gürültü lt (NC) eğrilerini kullanmaktır. İlk olarak 1957 yılında çizilen bu eğriler kapalı yerlerdeki gürültüyü belirtmek için kullanılmaktadırlar. şekil 2.24'te gösterilen NC eğrilerinin değişik kullanım şekilleri vardır. Burada, bunlardan en basit ve en yaygın olarak kullanılanı üzerinde durulacaktır. Her eğri, verilen belli bir NC değerı için ulaşılabilecek en yüksek oktav bant basıncı düzeyini göstermektedir. En basit kullanımda, incelenen gürültünün ölçülen oktav bant basıncı düzeyleri NC eğrilerinin üzerine işaretlenir; en büyük NC değerine yakın nokta gürültünün NC değerini belirler. [8]

1971 yılında, NC eğrileri gözden geçirilerek yeniden çizilmişlerdir. Yeni eğrilere yeğlenen gürültü lt (PNC) eğrileri adı verilir. şekil 2.25 PNC eğrilerini göstermektedir. Genellikle, İngiltere'de ısıtma havalandırma endüstrisinde ve

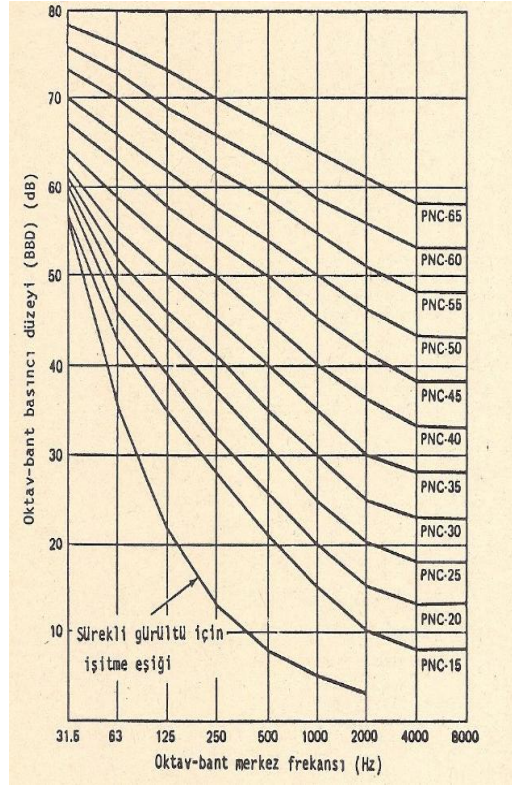
Amerika'da her alanda yaygın olan NC ve PNC eğrilerine karşılık, İngiltere'de diğer endüstri kollarında ve Avrupa'da her alanda NR eğrileri adı verilen gürültü sınıflandırma eğrileri kullanılmaktadır. NR eğrilerinin kullanımı, diğer eğrilerin kullanımı gibidir. Şekil 2.26'da verilen NR eğrilerinin, NC ve PNC eğrileriyle kıyaslanması, arada çok önemli bir fark olmadığını göstermektedir. [8]

Gürültü yüksekliğinin saptanması için Stevens'in phon ile ölçtüğü ses yüksekliği düzeyi ile NR ya da NC, PNC sayılan arasında tam bir bağıntı bulmak olanaksızdır. Bunun nedeni, her iki yöntemdeki yaklaşımların farklı olmalıdır. Ayrıca tüm ses ve gürültü yüksekliğine ilişkin ölçümler kişisel yargıya dayanmaktadır. Bu da, NC eğrilerinin zamanla değişmesinin ve NC ile NR eğrileri arasındaki farklılığın önemli nedenlerinden biridir. [8]

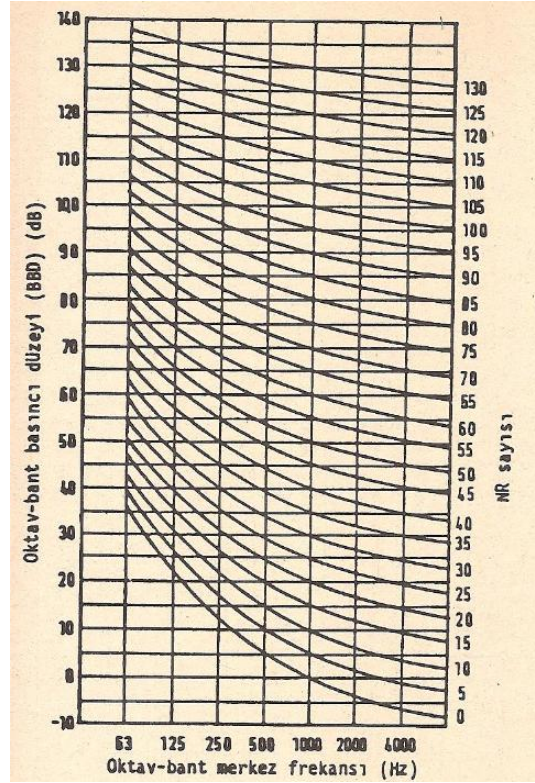
Genelde gürültü ölçütü eğrileri adını verebileceğimiz NC, PNC ve NR eğrilerinin kullanılmasının en büyük yaran, çeşitli kapalı yerler için izin verilen gürültü üst sınır değerlerinin tek bir sayıyla belirlenebilmesidir. Çizelge 2.4, bazı kapalı yerlerdeki arka plan gürültüsü için önerilen NC değerlerini göstermektedir. [8]



Şekil 2.24 : Gürültü ölçütü (NC) eğrileri [8]



Şekil 2.25 : Yeğlenen gürültü ölçütü (PNC) eğrileri[8]



Şekil 2.26 : Gürültü sınıflandırma (NR) eğrileri[8]

Çizelge 2.4 : Çeşitli kapalı yerlerdeki arka plan gürültüsü için önerilen RC ve NC değerleri.[9]

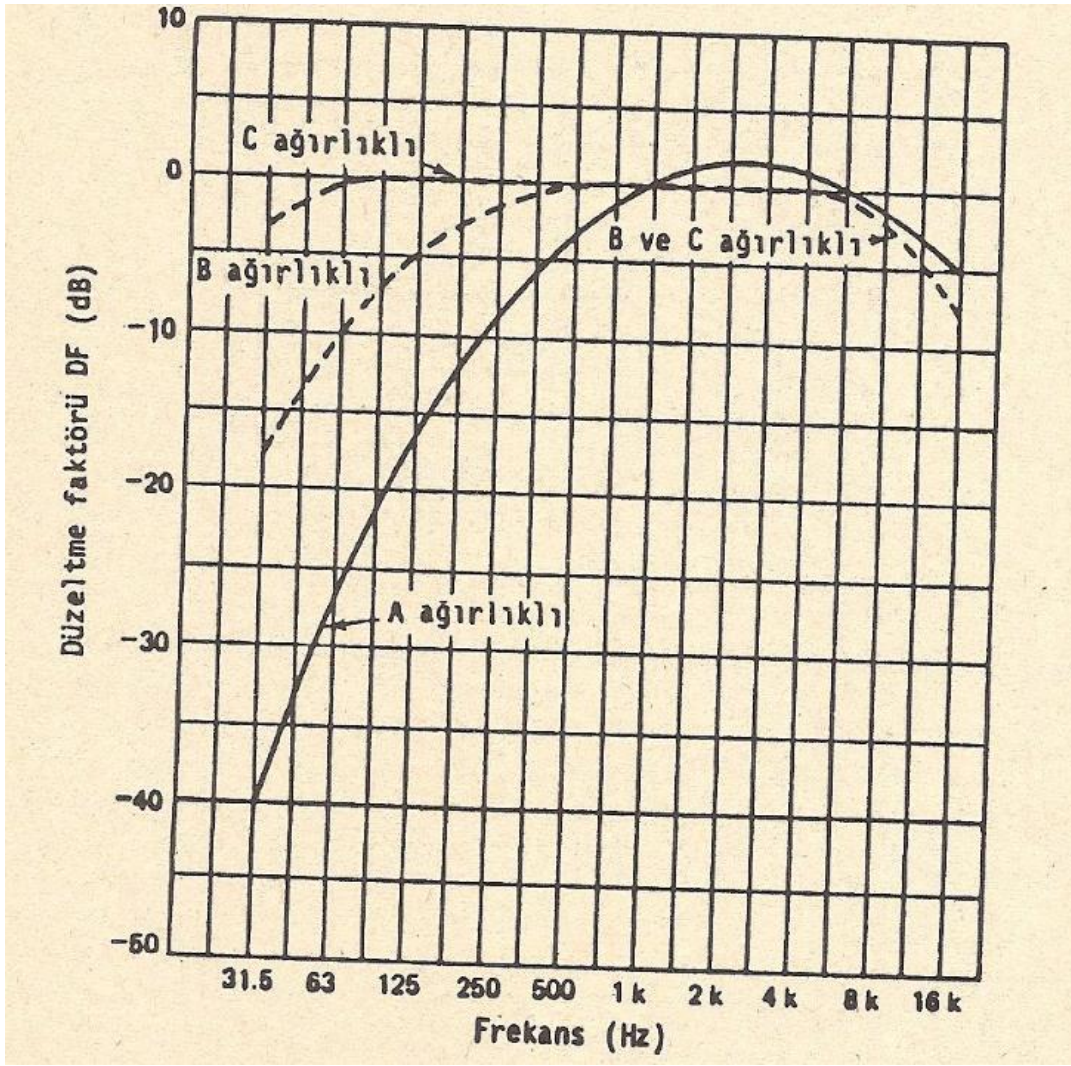
Mahal Türü	NC veya RC Seviyesi	Yaklaşık dBA	Mahal Türü	Seviyesi NC veya RC	Yaklaşık dBA
KONUTLAR			İBADETHANELER VE OKULLAR		
Özel ev (kırsal ve banliyö)	20-30	25-35	İbadethaneler	20-30	25-35
Özel ev (kentsel)	25-35	30-40	Kütüphaneler	30-40	35-45
Apartman dairesi	30-40	35-45	Okullar ve derslikler	30-40	35-45
OTELLER			Laboratuvarlar	35-45	40-50
Özel Odalar	30-40	35-45	Eğlence salonları	35-50	40-55
Balo salonu, yemek salonu	30-40	35-45	Koridorlar, holler	35-50	40-55
Holler, koridorlar, lobiler	35-45	40-50	KAMU BİNALARI		
Garajlar	40-50	45-55	Kütüphaneler, müzeler	30-40	35-45
Mutfaklar, çamaşırhaneler	40-50	45-55	Mahkeme salonları	30-40	35-45
HASTANELER VE KLİNİKLER			Posta ofisleri, lobiler	35-45	40-50
Özel odalar	25-35	30-40	Genel banka alanları	35-45	40-50
Ameliyathaneler	30-40	35-45	Lavabolar, tuvaletler	40-50	45-55
Koğuşlar ve koridorlar	30-40	35-45	LOKANTALAR, KAFETERYALAR		
Laboratuvarlar	30-40	35-45	Lokantalar	35-45	40-50
Lobiler, bekleme odaları	35-45	40-50	Kokteyl salonları	35-40	40-45
Lavabolar ve tuvaletler	40-50	45-55	Gece kulüpleri	35-45	40-50
OFİSLER			Kafeteryalar	40-50	45-55
Yönetim kurulu odaları	20-30	25-35	MAĞAZALAR		
Konferans odaları	25-35	30-40	Giyim mağazaları	35-45	40-50
Yönetici ofisleri	30-40	35-45	Büyük mağazalar (üst katlar)	35-45	40-50
Genel ofisler	30-45	35-50	Büyük mağazalar (alt katlar)	40-50	45-55
Kabul odaları	30-45	35-50	Küçük mağazalar	40-50	45-55
Genel açık ofisler	35-45	40-50	Süpermarketler	40-50	45-55
Tasarım odaları	35-45	40-50	İÇ SPOR ETKİNLİKLERİ		
Holler ve koridorlar	40-55	45-60	Büyük müsabaka salonları	30-40	35-45
Tablolama ve hesaplama alanları	40-50	45-55	Bovling salonları	35-45	40-50
TİYATRO, GÖSTERİ VE MÜZİK SALONLARI			Spor salonları	35-45	40-50
Konser ve opera salonları	15-25	20-30	Yüzme havuzları	40-55	45-60
Ses kayıt stüdyoları	15-25	20-30	ULAŞIM (DEMİRYOLU, OTOBÜS, UÇAK)		
Tiyatro salonları	25-30	30-40	Bilet satış ofisleri	30-40	35-45
Çok amaçlı salonlar	25-30	30-35	Bekleme salonları	35-50	40-55
Sinema salonları	30-35	35-40			
TV dinleme stüdyoları	30-35	35-40			
Amfityatrolar	30-35	35-40			
Seminer salonları	30-35	35-40			
Planetariumlar (gökevleri)	30-35	35-40			
Lobiler	35-45	40-50			

Çizelge 2.5 : NC ve RC seviyelerine bağlı olarak dinleme ve telefon kullanımı koşulları.[10]

NC veya RC Seviyesi	Ortam	Telefon Kullanımı	Dinleme Koşulları
<20	Sessiz	Mükemmel	Kritik
20-30	Sakin	Mükemmel	Mükemmel
30-40	Orta derecede gürültülü	İyi	İyi ile yeterli arası
40-50	Gürültülü	Yeterli	Yeterli ile biraz zor arası
50-60	Çok gürültülü	Zor	Zor

2.12.3 Ses Düzeyi

Ses düzeyi, ses basıncı düzeyinin belli bir eğriye göre ağırlıklı olarak bulunmuş şeklidir. Daha önce gördüğümüz gibi; karmaşık bir sesin ses yüksekliğini belirlemekteki amaç, kulağın frekansa ve ses basıncı düzeyine olan duyarlılığını göz önünde bulundurarak, kulağın birçok harmonikten oluşan bir karmaşık sesi hangi yükseklikte algılayacağını belirtilebilmesidir. Eğer kulak her frekanstaki sese aynı derecede duyarlı olsaydı, yani Şekil 2.20'deki eğriler düz yatay çizgiler olsaydı, ses basıncı düzeyi aynı zamanda sesin yüksekliğini belirlerdi. Ne var ki kulağın her frekansa olan duyarlılığı farklıdır, örneğin, düşük frekanstaki bir sesin 3 kHz frekanstaki bir sesle aynı yükseklikte duyulması için düşük frekanslı sesin ses basıncı düzeyinin daha yüksek olması gerekir. Kulağın bu özelliğini göz önünde bulundurarak, karmaşık bir sesin yüksekliğini tek bir sayıyla ölçmenin pek kolay olmadığı sonucuna varmıştık. Bundan önceki bölümlerde, önce her oktav bandındaki ses yüksekliklerini toplayarak, daha sonra bir seri eğri kullanarak, karmaşık bir sesin yüksekliğini tek bir sayıyla göstermenin yollarını görmüştük. Bunun üçüncü ve en basit yöntemi ise, her frekans bandındaki ses basıncı düzeyini belli bir ağırlıkta alıp, toplam ses basıncı düzeyini bulmaktır. Temel ilke, kulağın duyarlılığı ile orantılı ağırlıklar kullanmaktır. Kulağın duyarlı olduğu frekanslardaki harmoniklerin ses basıncı düzeylerine ağırlık verilip, kulağın duyarlılığının azaldığı frekanslara sahip harmoniklerin ses basıncı düzeylerinin ağırlıkları azaltılarak bulunan toplam ses basıncı düzeyi, kulağın söz konusu sesi hangi yükseklikte algıladığının bir ölçüsü olmaktadır. Bu amaçla dört ayrı tip ağırlık eğrisi geliştirilmiştir. Bunlardan A, B ve C adı verilen ilk üç tip, önceleri, sırasıyla düşük, orta ve yüksek ses düzeyleri için kullanılmışsa da şu anda A tipi her yükseklik düzeyi için, işitme bozulması ve sesin yarattığı rahatsızlıklar açısından, insanların gürültüye gösterdikleri tepkiyi ölçmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Her uygulamada A ağırlık eğrisinin yeğlenmesinin nedeni, bu eğrinin kulak duyarlılık eğrileriyle doğrudan olan ilişkisidir. Şekil 2.27; A, B, C ağırlık eğrilerini göstermektedir. Bu eğrileri kullanarak yapılan ölçümlere ses düzeyi ölçümü denmektedir. Ağırlıklamayı kendi içinde yapıp, ölçüm sonunda doğrudan ses düzeyini veren ölçüm cihazlarına ses düzeyi ölçer denilmektedir. Ses düzeyinin birimi, kullanılan ağırlık eğrisine göre dBA, dBB ya da dBC'dir. [8]



Şekil 2.27 : A, B ve C ağırlıklı ses düzeyleri için çevirim eğrileri[8]

Özetleyecek olursak, ses yüksekliğini belirtmek için başlıca üç yöntem kullanılır. Basitten, karmaşığa göre sıralarsak :

1. Ağırlık eğrilerinin kullanılmasıyla ses düzeyinin ölçülmesi. Genellikle ses düzeyi ölçer kullanarak, ses düzeyi doğrudan dBA (ya da dBB, vs.) cinsinden ölçülür. Gürültünün frekans dağılımı hakkında hiçbir bilgi sağlanamaz.
2. Gürültünün oktav bant analizini ve gürültü ölçütü eğrilerini kullanarak, gürültüyü NC, NR ya da PNC değeri olarak sınıflandırmak. Bu yöntemi kullanmak için her frekans bandında ölçüm yapmak gerekir. Fakat gürültü sınıflandırma değeri (NC, NR ya da PNC değeri) en yüksek değerli eğriye yaklaşan ölçüm değerince belirlenir. Diğer ölçüm değerlerinin hiçbir etkisi olmaz. (Diğer ölçüm değerlerini de göz önünde bulunduran NC, NR ve PNC

eğrilerini kullanma yöntemleri de bulunmakla birlikte, bunlar fazla yaygın değildirler.)

3. Stevens'ın geliştirdiği toplama yöntemini ve yükseklik indeksi eğrilerini kullanarak, toplam ses yüksekliğinin (sone cinsinden) veya toplam ses yüksekliği düzeyinin (phon cinsinden) bulunması. Bu yöntemi kullanmak için de yine her frekans bandında ölçme yapmak gerekir. Bu ölçümlerden yararlanarak, en yüksek gürültüyü yaratan banttaki ölçüm değerine ağırlık veren, bu arada diğer bantların da katkısını belli oranlarda göz önünde bulunduran toplamayla toplam ses yüksekliği bulunur.

Yukarıda özetlenen yöntemlerden ilki, basitliği nedeniyle birçok uygulamada kullanılır. Söz gelimi, egzoz borusunda bozukluk olan bir aracın çıkardığı sesin limitlerin üzerinde olup olmadığının saptanması için bir polis memuru kolayca bir ses düzeyi ölçer kullanabilir. Tek ve basit bir ölçmeyle gürültünün düzeyini saptayabilir. Buna karşılık görevi gürültü kontrolü olan bir mühendise, gürültünün dBA cinsinden yüksekliği çok sınırlı bir bilgi sağlar. Gürültü kontrolünde frekans dağılımının önemi çok fazla olduğundan, gürültü yüksekliğinin NC vb. değerlerle ya da sone cinsinden bilinmesinin de fazla bir yararı olmaz. Fakat bir gürültünün yüksekliğini sone olarak ya da NC vb. değer olarak belirtebilmek için oktav bant analizi yapılması zorunlu olduğundan, gürültü kontrolü için gerekli bir bilgi sağlanmış olur. [8]

2.13 Gürültü Ölçümleri

Gürültü kontrolünde gürültü ölçümleri önemli bir yer tutar. Gürültü ölçümlerinde amaç, gürültü kaynağını bulmak veya belli bir noktadaki gürültü düzeyini saptamaktan, gürültünün frekans dağılımını bulmaya ya da darbe gürültüsünü saptamaya kadar çok çeşitli olabilir. En çok kullanılan ölçüm, istenilen bir yerdeki gürültü düzeyinin saptanmasıdır. Bu ölçümler, genellikle, çevre gürültüsünün standartlara uygunluğunu ya da bir işyerindeki gürültü düzeyinin istenen sınırlar içinde olup olmadığını kontrol etmek için yapılır. [8]

Gürültü ölçümleri, ya kaynağın bulunduğu ortamda ya da özel olarak hazırlanmış test odalarında yapılır. Test odalarında yapılan ölçümlerde amaç, genellikle, ses kaynağının ses yayma özelliklerinin bulunması (örneğin, ses gücü düzeyinin

saptanması, yönelme katsayısının değişiminin incelenmesi) ya da kaynağın ses gücü düzeyinin bulunmasıdır. Endüstriyel gürültü kontrolü için, daha çok, kaynağın bulunduğu ortamda ölçüm yapmak gerekmektedir. [8]

En çok yapılan ölçüm, ses düzeyinin saptanmasıdır. Ses düzeyinin ölçümü için her banttaki ses basıncı düzeyini bulup, ağırlık eğrisini kullanarak, ağırlıklanmış toplam ses basıncı düzeyini hesaplamak yerine; bu amaç için geliştirilmiş ses düzeyi ölçerler kullanarak, istenilen bir noktadaki ses düzeyi doğrudan ölçülebilir. Ses düzeyi ölçerlerin basit ve gelişmiş tipleri vardır. Basit tipleri, genel amaçlı olarak pratikte çok fazla kullanılırlar, Amaç, istenilen noktalardaki ses düzeyini 1 dB ya da 0.5 dB hassasiyette ölçmektir. Kullanımları basittir ve süratli ölçüm için kullanılabilirler. Bu tip ölçerlerin bir kısmında A, B, C ve D ağırlıklı ses düzeyleri bulmak için ayrı elektronik devreler bulunur. Böylece ses düzeyi; dBA, dBB, dBC ya da dBD olarak ölçülebilir. Hassas türlerde ölçüm hassasiyeti 0.1 dB'dir. Gelişmiş tiplerin, darbe tipi gürültüleri ölçmekten, sesi çeşitli frekans bantlarında filitre etmeye kadar birçok değişik özellikleri olabilmektedir, örneğin, preslerin veya şahmerdanların çıkardığı kısa süren darbe tipi gürültüler ancak gelişmiş tiplerle ölçülebilir. Ayrıca daha önceki bölümlerde incelenen eşdeğer sürekli gürültü düzeyini ve ses etkilenim düzeyini de doğrudan ölçebilen ses düzeyi ölçerler bulunmaktadır. [8]

Ses düzeyi ölçer seçiminde önemli olan, amaca uygunluktur. "Endüstri tipi" olarak da isimlendirilen basit türlerle, hassas ölçüm yapmanın, darbe gürültüsü ölçmenin olanaksızlığı yanında; "hassas tip" adı verilen ve birçok değişik özelliği olan bir cihazın günlük kontrol ölçümlerinde kullanılmasının gereksizliği de vurgulanmalıdır. Ses düzeyi ölçerlerin ölçümlerden önce ve sonra kalibre edilmeleri gereklidir. Çok değişik çeşitleri olan bu cihazların hangi türlerinin, nerede, nasıl kullanılacağı deneyim ve kimi zaman uzmanlık isteyen bir konudur. Bazı yapımcı firmaların bu konularda ayrıntılı bilgi veren birçok yayınları vardır. Genelde sorun, yalnız uygun cihazın seçimi değildir. Uygun mikrofonun nasıl seçileceğinin, mikrofonun cinsine göre mikrofonun gürültü kaynağına yöneltme şeklinin ve özellikle gelişmiş cihazlarda bulunan ayarların ne şekilde kullanılacağı (örneğin, ne tür gürültüde "hızlı" ayarının kullanılacağı, ne zaman "yavaş" ya da "darbe" ayarlarının kullanılması gerektiğinin) ve benzeri noktaların iyi bilinmesi gerekir. Bununla birlikte, endüstri tipi basit ses düzeyi ölçerlerle gürültü düzeyi ölçümlerinde; cihazı gürültü

kaynağına doğrultmak, kendimizden elverdiğince uzakta tutmak, cihazın mikrofonu yakınında normalde orada olmayan sesi yansıtıcı ya da yutucu yüzeylerin bulunmamasına özen göstermek gibi birkaç kuralı uygulamak yeterli olabilir. Güvenilir, hassas ölçümler için aşağıdaki kuralları uygulamak gereklidir. [8]

1. Her şeyden önce elimizdeki cihazın pillerinin yeterli güçte olup olmadığı kontrol edilmelidir.
2. Ölçümlerden önce ve sonra cihaz kalibre edilmelidir.
3. Kullanılan cihazın tipi, numarası vb. özellikleri bir yere not edilmelidir (özellikle elimizde değişik ölçüm cihazları bulunuyorsa, daha sonra, ölçümde hangi cihazı kullandığımızı bilmek isteyebiliriz).
4. Ölçüm yapılan ortamın atmosferik özellikleri saptanmalıdır (sıcaklık, nem oranı, dışarıda ölçüm yapılıyorsa rüzgâr hızı ve yönü).
5. Ölçümün yapıldığı yerin bir planının çıkarılması, ölçüm noktalarının ve çevredeki yansıtıcı ve yutucu yüzeylerin plan üzerinde işaretlenmesi son derece yararlıdır. Yapılan ölçümlerin çevredeki yüzeylerden ne denli etkilenmiş olabileceğine karar verebilmek için böyle bir planın elimizde olması gereklidir.
6. Bir gürültü kaynağının gürültü düzeyi ölçülecekse, Önce söz konusu kaynak çalışmadan, ölçüm noktasındaki arka plan gürültüsünün ölçülmesi gerekir. Böylece, asıl ölçüm değerlerinin arka plan gürültüsünden ne denli etkilendiği görülür. Eğer arka plan gürültüsüyle asıl ölçüm değeri arasında 10 dB ya da daha fazla fark varsa, yapılan ölçüm 0.5 dB hassasiyetle geçerlidir. Aradaki fark 10 dB'den daha azsa, söz konusu kaynağın gürültüsünü saptayabilmek için, asıl ölçümden arka plan gürültüsünün çıkarılması gereklidir .
7. Kullanılan cihazın özelliklerine ve ölçülecek gürültünün türüne göre doğru ayarlar seçilmelidir.

Basit ses düzeyi ölçerlerle yapılacak ölçümlerle yalnız ses düzeyi ve bunun değişik şekilleri saptanabilir. Ölçülen sesi oluşturan harmoniklerin frekans dağılımları konusunda hiçbir bilgi elde edilemez. Amaç gürültü düzeyinin saptanması, standartlarla karşılaştırılması ya da sağlığa zararlı olup olmadığının araştırılmasıysa, yalnız ses düzeyinin ölçülmesi yeterlidir. Ölçüm sonucunda gürültünün fazla olduğuna ve azaltılması gerektiğine karar verilirse, o zaman yalnız ses düzeyini

bilmek yeterli olmaz. Aynı gürültü düzeyindeki iki ayrı ses çok farklı frekans dağılımı gösterebilir. Gürültü kontrolunda kullanılan yöntemler çoğu kez frekansa bağlı olduğundan, uygulanacak gürültü kontrolü yöntemine karar vermeden önce gürültünün frekans dağılımını bilmek gerekir. Bu da frekans analizi (spektrum analizi) ile sağlanabilir. [8]

En basit spektrum analizi, mikrofonla elektrik sinyallerine çevrilen ses basıncı değişiminin filtre devreleriyle frekans bantlarındaki harmoniklerine ayrılmasıyla yapılır. Yapılan analiz türüne göre, filtre edilecek bandın bant genişliği, alt ve üst sınırları otomatik olarak ayarlanır ve incelenen sinyali oluşturan harmoniklerden yalnız istenen bant sınırları içinde kalanların geçmesine izin verilir. Böylece yalnız bu harmoniklerin düzeyi ölçülür. Aynı işlem değişik frekans bantları için yinelenirse, her banttaki ses basıncı düzeyi (bant basıncı düzeyi) ölçülmüş olur. Daha önce de görüldüğü gibi genellikle oktav, 1/3 oktav ve 1/10 oktav bantları kullanılır. Bu tür analizler sabit yüzdeli bant genişliğine sahip analizlerdir. Yani, yüksek frekanslı bantların bant genişliği, düşük frekanslı bantların bant genişliğine göre daha fazladır. Sabit kalan, bant genişliğinin merkez frekansına oranıdır. Bir de sabit bant genişliği alınarak yapılan frekans analizleri vardır. Bu analizlerde bant genişliği, merkez frekansının değerine bağlı olmaksızın her bant için aynıdır. Frekans analizinde kullanılan bant genişliği azaldıkça analiz daha hassaslaşmakta, buna karşılık analizin yapılacağı bant sayısı çoğaldığı için analiz süresi artmaktadır. [8]

2.14 Kanallarda Oluşan Gürültü

Fanlar ve diğer makinelerin yanı sıra, dirsekler, damperler, ayrılmalar, debi ayar cihazları, ses zayıflatıcılar gibi kanal sistemi elemanlarında da, hava akışına bağlı gürültü oluşur. Hava akışının, kanal sistemi ile etkileşiminin sonucu olan bu tür gürültüler, kanal elemanının geometrisine, akıştaki türbülans seviyesine ve akış hızına bağlıdır. Bu gürültü sorunları, şu önlemlerle giderilebilir:

1. Kanallarda hava akışına bağlı olarak oluşan gürültü, hava hızının yaklaşık olarak altıncı kuvveti ile orantılı olduğu için, hava hızını yeterince düşük kılmak için kanal sisteminin boyutlandırılması, gürültüyü kayda değer oranda azaltır. Çizelge 2.5’de kanallarda, Çizelge 2.6’da dirseklerde ve

Çizelge 2.7’de de, veriş ve emiş menfezlerinde, akustik açıdan önerilen hava hızları verilmiştir.

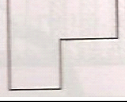
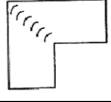
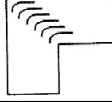
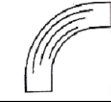
2. Kanal kesit alanında, ani değışiklikler yapılmaz. Şekil 2.28’de gösterildiğı gibi simetrik geçişlerde eğim 7.5° , simetrik olmayanlarda ise 15° ile sınırlandırılır.
3. Ayrılmalar, birleşmeler ve dönüşlerde, Şekil 2.28’de önerilen en uygun biçimlere yakın, yumuşak geçişler sağlanır.
4. Kanal bağlantılarında oluşan gürültüyü zayıflatmak için, bağlantı elemanı ile, ilgili çıkış birimi arasına, uygun ses zayıflatıcı elemanlar (susturucular, ses sönümleyiz plenumlar, ses yalıtımı kaplamaları ve akustik panjurlar) yerleştirilir.
5. Terminal cihaza uzaklıklarına bağı olarak, damperler, kullanılan mahallerde istenmeyen gürültüler üretirler. Bu gürültüler, kanalda hava ile taşınarak menfezlere ulaşırlar veya kanal cidarı ve tavandan geçerek, mahale girerler. İyi bir tasarım için damperler, menfezlere, 1.5 m’den daha yakın olmamalıdır.
6. Kanal sistemi içerisindeki gürültünün, hava akışı ile taşınmasını önlemek için, kanal içine susturucular yerleştirilir. Susturucular, içlerinde özel cam yünü veya taş yünü perdeler olan bir elemandır. Perdelerin boyutları büyüdükçe, sesi yutma yetenekleri de artar. Ancak, buna koşut olarak, basınç kayıpları da artar. Yüksek hızlı sistemlerde ise, yeniden gürültü oluşumu (rejenerasyonu) sorunu oluşur. Bir susturucunun etkin olabilmesi için, fanlara ve kanal bağlantılarına uzak olması gereklidir.
7. Eğer yeterli alan varsa, içlerinde 50 ila 150 mm kalınlıkta ses yalıtım kaplaması olan plenumlar, ses azaltılmasına, çok etkin katkıda bulunurlar.
8. Kanalların ve plenumların iç yüzeylerine kaplanan akustik yalıtım malzemeleri, kanal içinde taşman ve duvarından dışarıya geçen sesi yutarak zayıflatırlar. Bunlar, mineral yün veya yangına dayanıklı, açık hücreli esnek köpükten levha veya şiltelerdir ve ısı yalıtımı da sağlarlar. 25 mm kalınlıktaki yalıtım, yalnızca yüksek frekanslı gürültüyü azaltırken, düşük frekanslı gürültüye karşı, 50 ila 100 mm kalınlıkta yalıtım kullanılması gerekir.
9. Makine dairelerinde oluşan gürültünün, dış ortama yayılmasını önlemek için, aerodinamik profilli ve ses yutucu dolguya sahip kanatları olan akustik panjurlar kullanılabilir. [9]

Çizelge 2.6 : Tasarım gürültü ölçütlerini sağlamak için kanallarda önerilen maksimum hava hızları. [9]

ANA KANAL KONUSU	Tasarım RC(N)	MAKSİMUM HAVA HIZI, m/s	
		Dikdörtgen Kanal	Dairesel Kanal
Şaft içinde veya alçı panel tavan üzerinde	45	17.8	25.4
	35	12.7	17.8
	25	8.6	12.7
Akustik asma tavanın üzerinde	45	12.7	22.9
	35	8.9	15.2
	25	6.1	10.2
Mahal içinde	45	10.2	19.8
	35	7.4	13.2
	25	4.8	8.6

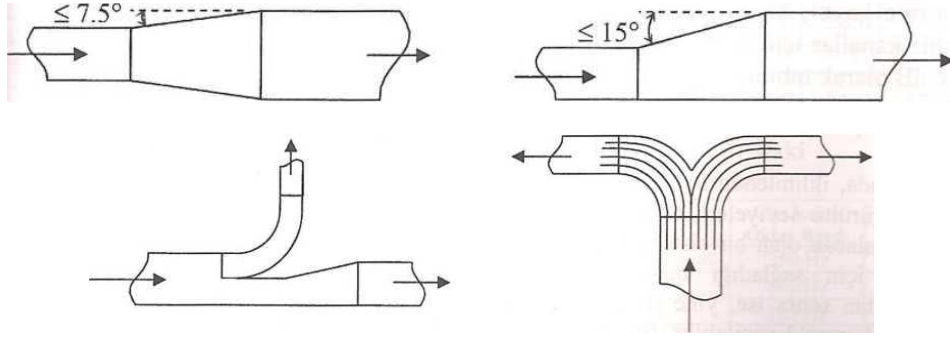
NOTLAR: 1. Kollardaki hızlar, tablodakilerin % 80 kadarı olmalıdır.
2. Menfez bağlantılarındaki hızlar, tablodakilerin % 50 kadarı olmalıdır.

Çizelge 2.7 : Tasarım gürültü ölçütlerini sağlamak için kanal dirseklerinde önerilen maksimum hava hızları,m/s. [9]

ÖNERİLEN RC VEYA NC DEĞERİ					
≥50	10	12.5	12.5	14	15
45	8	10	10	12	13
40	6.5	8	8	10	12
35	5	6.5	6.5	8	10
30	4	5	5	6	7.5
25	3	4	4	5	6
≤20	-	2.5	2.5	3	3

Çizelge 2.8 : Tasarım gürültü ölçütlerini sağlamak için menfezlerde önerilen maksimum alın hızları. [9]

AÇIKLIĞIN TÜRÜ	TASARIM RC(N)	MENFEZDEKİ ALIN HIZI, m/s
Veriş menfezleri	45	3.2
	40	2.8
	35	2.5
	30	2.2
	25	1.8
Emiş menfezleri	45	3.8
	40	3.4
	35	3
	30	2.5
	25	2.2



Şekil 2.28 : Geçiş parçaları ve ayrılmalar[9]

3. SES DÜZEYİ VE BASINÇ KONTROLÜNÜN ÖNEMLİ OLDUĞU TEMİZ ODA ÖRNEĞİ

3.1 Temiz Odalarda Basınç Kontrolü

3.1.1 Odalar arası hava akış kontrolü

Havada taşınabilen kirlenmenin temiz odaya girişi iyi tasarımın bunu sınırlamasına rağmen, sık sık karşılaşılan bir problemdir. Bu kötü detaylandırılmış yapı aracılığı ile dış hava kirliliğinin temiz odaya endüklenmesiyle oluşabilir. Bu nedenle yapıdaki boşluklar en az seviyede tutulmalı ve bu problemi önlemek üzere oda basınçlandırılmalıdır. [11]

Hava kirliliğinin girişi; personel, ekipman ve malzemenin kötü bir şekilde tasarlanmış hava kilitleri ve değişme odalarından geçişleri sırasında da oluşabilir; bu yüzey ve hava kirlenmesi olabilir. [11]

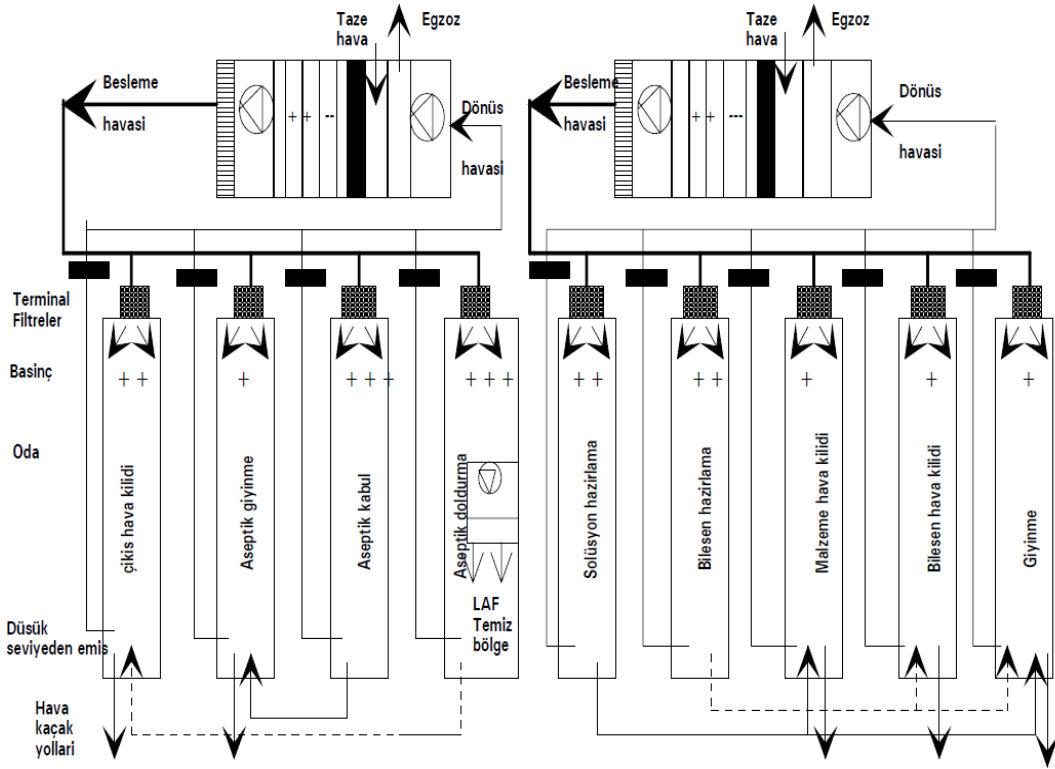
Farmasotik temizoda suitleri, her birinde değişik imalat proses aşamalarının olduğu birçok temiz odadan oluşurlar. Üretilen malzeme ve ambalaj malzemesi değişik odalardan geçerken düzenli bir şekilde artan çevre şartı standardı gerekir. Doldurma ve kabın kapatılması ve sızdırmaz hale getirilmesi işlemlerinin yapıldığı odalarda en yüksek kalite şartları gerekir. Ağzı sızdırmaz hale getirilmiş ürün, etiketleme ve kontrol için giderken daha az katı çevre şartlarına ihtiyaç duyulur. Bu değişik standartlar, farklı besleme hava debileri ve kritik alanların üzerinde tek-yönlü akış üniteleri kullanılmak suretiyle sağlanır. [11]

Bu farklı şartların her bir temiz odada sabit tutulabilmesini temin etmek için, temizoda standartları ve GPMP (Good Pharmaceutical Manufacture Practice) kuralları odaların farklı basınçlarda tutulmasını gerektirir. Bu daha düşük derecedeki bir odadan daha yüksek dereceli bir alana istenmeyen bir hava akışını önlemek ve dolayısıyla kirlilik transferi ihtimalini azaltmak için yapılır. [11]

Temiz oda standartlarında temiz oda sınıfları arasında 10-15 Pa basınç farkı olması gerektiği konusunda bir görüş birliği vardır. Bu seviye halihazırda ulaşılabilir bir seviyedir, gözlenmesi kolaydır ve kirlilik transferini önleyecek görünmektedir. [11]

Aşırı derecede basınç farkları kapı aralarından “ısılk” sesine neden olabilir ve menteşeli kapıların manuel olarak açılıp kapanmasında küçük zorluklar olabilir. [11]

Oda basınç sınırlarını kesen proses ekipmanları probleme neden olabilirler. Bu ekipmanlar odalar arasındaki proses tünellerinden geçebilirler. Tüneller değişik basıncıdaki odaların sınırlarını kestiğinden tünelden hava akışını bir tür maskeleye ile kısıtlamak gereklidir. Eğer bu yapılmazsa bu durumda en yüksek basınçlı alana beslenecek olan hava debisi aşırı derecede artacaktır. [11]



Şekil 3.1 : Kapalı-kapı yaklaşımı kullanılarak bir temiz oda suitinde hava besleme ve dönüşleri[11]

Her odaya beslenen hava debisi ya kirlenmenin seyreltilebileceği standartları karşılayacak ya da soğutma yüklerini karşılayacak olan miktardır. [11]

Odalar hava sızdırmaz bir şekilde yapılmalı ve böylece oda yapısından dışarı hava akışı en aza indirilmelidir. Buna rağmen kapı aralıklarından yüksek basınç tarafından alçak basınç tarafına hava akışını önlemek olanaksızdır. Küçük boşluklardan ve

açıklıklardan olan hava kaçağının miktarı aşağıdaki formülün uygulanması ile hesaplanabilir. [11]

$$Q = A \cdot \alpha \cdot \sqrt{\Delta P} \quad (3.1)$$

Q:hava debisi (m³/s)

A: kaçak alanı (m²)

ΔP :Basınç farkı (Pa)

α :katsayı (0.85)

Kapılardan olan kaçak, kapının etrafındaki toleranslar verildiğinde iyi bir tahminle hesaplanabilir, ancak toplam kaçak inşaat detaylarının kalitesine bağlıdır ve oda işletmeye alınıncaya kadar bilinmesi olanaklı değildir. Bundan dolayı klima sisteminin kapasitesi beklenenden fazla kaçak olması durumunu da kompanse edebilecek şekilde belirlenmelidir. [11]

3.1.2 Odaların basınçlandırılması

Odaların kirlilik yönetimine göre basınç değerlerinin belirlenmesi sonrası her bir mahale giren ve çıkan bütün hava debileri belirlenir. Belirlenen değerler doğrultusunda odanın bulunduğu basıncı koruyabileceği şekilde üfleme ve emiş hava debileri belirlenir.

Ancak mahallerde kapıların açılması, komşu mahaldeki basınç değişimi, anlık egzoz ihtiyacı gibi durumlar sebebiyle değişen mahal basıncının, tasarlanan kirlilik yönetimine ters bir durum oluşturmaması gerekmektedir. Bu sebeple üflenene veya emilen hava debisi değerlerinin değişken olması gerekir.

Değişken debili sistemlerden en yaygın olanı üfleme hava debisinin sabit tutulması ve dönüş hava debisinin değişken debi özelliği ile odadaki odadaki basıncın belirlenmiş set değerini korumasıdır. Üfleme kanalına ve dönüş kanalına yerleştirilen cihazlarla bu işlemler sağlanır.

3.1.2.1 Üfleme kanalı tek kanatlı damper cihazları

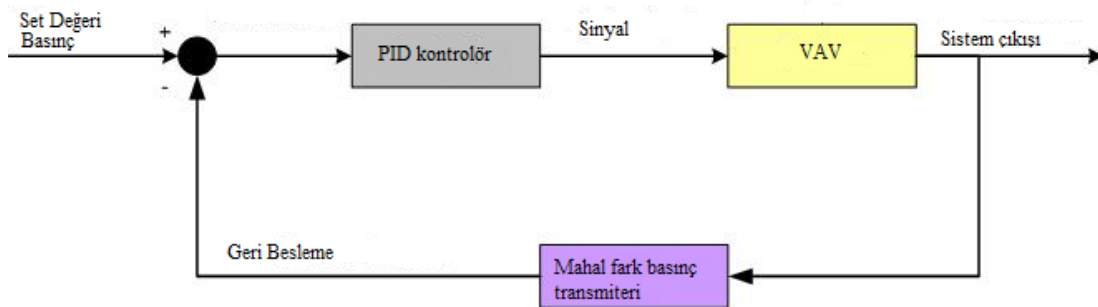
Bu cihazlar “CAV” olarak tabir edilmektedir. CAV ‘ın açılımı “constant air volume” olarak bilinmektedir. Bu sistemlerde oda üfleme havası değişim sayısına göre sabitlenir ve odaya sürekli aynı debi üflenilir. Oda basınç ayarları sadece emiş kanalı vasıtasıyla gerçekleştirilir. Yine 0-10 volt sinyale göre istenen debiyi sağlayan sinyal ayarlanır ve sistem çalışmaya bırakılır. Ancak HEPA’ların kirlenme durumlarına

göre CAV cihazları da bir otomasyon sistemiyle desteklenmelidir. Kirlilik oranına göre CAV cihazları klapelerini açarak debiyi artırır.

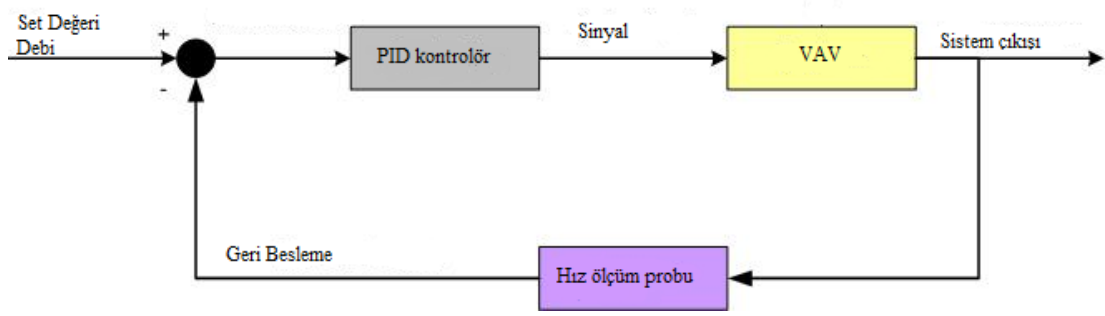
3.1.2.2 Emiş kanalı tek kanatlı damper cihazları

Bu cihazlar “VAV” olarak tabir edilir. VAV ‘ın açılımı “variable air volume” olarak bilinmektedir. VAV cihazları oda dönüş kanallarında ve egzoz, taze hava kanallarında kullanılırlar ve oransal olarak kontrol edilirler. Firma kataloglarında VAV cihazlarının minimum ve maksimum debi değerleri de verilmektedir. Klasik tek kanatlı damper mantığıyla çalışmaktadırlar. 0-10 volt sinyal ile kontrol edilen bu cihazlarda 0 volt minimum debiyi, 10 volt ise maksimum debiyi sağlayacak şekilde cihazın klapesini konumlandırır. Vav cihazlarının oda dönüşündeki görevi odanın basınç değerinin korunmasını sağlamaktır. Örneğin odadan hesaplanan kaçaklar çeşitli sebepler nedeniyle durmuş ve oda şişmeye başlamışsa basınç sensörlerinden gelen sinyaller ile VAV cihazı emişi artırarak mahal basıncını olması gereken değere getirir.

Buradaki kontrol prensibi kapalı çevrimdir. Kontrolör olarak ise PID kontrol kullanılmaktadır. Fakat aynı anda çalışan iki farklı döngüden bahsedebiliriz. Birinci döngü (şekil3.2) oda basınç değeriyle ilişkili olan döngüdür. Bu PID kontrolünde set değeri odada belirlenen basınç değeri. Odada olan basınç değişimleri, odadaki basınç sensörü vasıtasıyla geri besleme sinyali olarak sisteme gelir. Burada PID kontrol set değerine bağlı olarak damper pozisyonunun konumunu belirler. İkinci döngü ise (şekil3.3) geldiği konumda geçirdiği debinin doğruluğunu bu sefer cihaz içindeki hız ölçüm problemlerinden gelen geri besleme sinyali ile PID kontrole tabi tutarak kontrol eder.

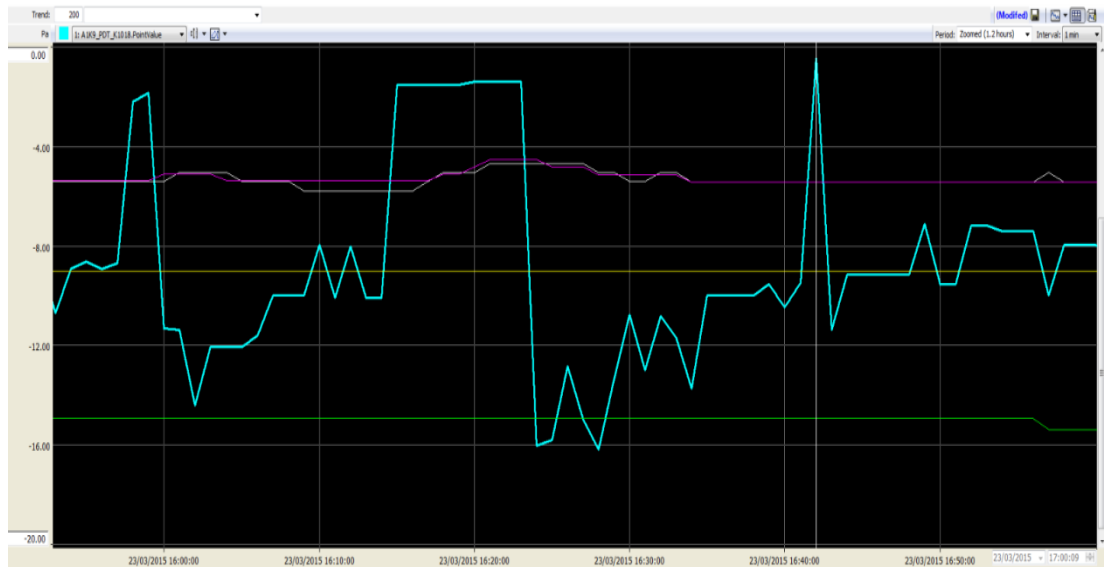


Şekil 3.2 : Basınç kontrolü kontrol şeması



Şekil 3.3 : Debi kontrolü kontrol şeması

3.1.3 Bir ilaç fabrikasında örnek oda basınç kontrolü



Şekil 3.4 : Örnek oda basınç ve debi trend değerleri

Şekil3.4 ‘te bir ilaç fabrikasında bir odanın basınç kontrolünün zamanla nasıl sağlandığı görülmektedir. Odanın basınç set değeri -9 Pa’dır. Odada bulunan mahal basınç fark trans미터lerinden okunan değer de bu grafikte görülmektedir. Aynı zamanda ilişkinin doğru görülmesi amacıyla grafiğe damper’e verilen sinyal ve geri besleme sinyali eklenmiştir.

Odada basıncın düştüğü alanlarda pozitif mahale açılan mahal kapısı açılmaktadır. Bu sürede oda basıncının tekrar normal hale gelmesi için gereken süre görülmektedir. Basıncın ilk yükseldiği noktada kapı kısa süreli açılıp kapanmıştır. Oda basıncının tekrar sabit denilebilecek (salınımların ufak olduğu) düzeye gelmesi ise 5-10 dakika arası zaman almıştır.

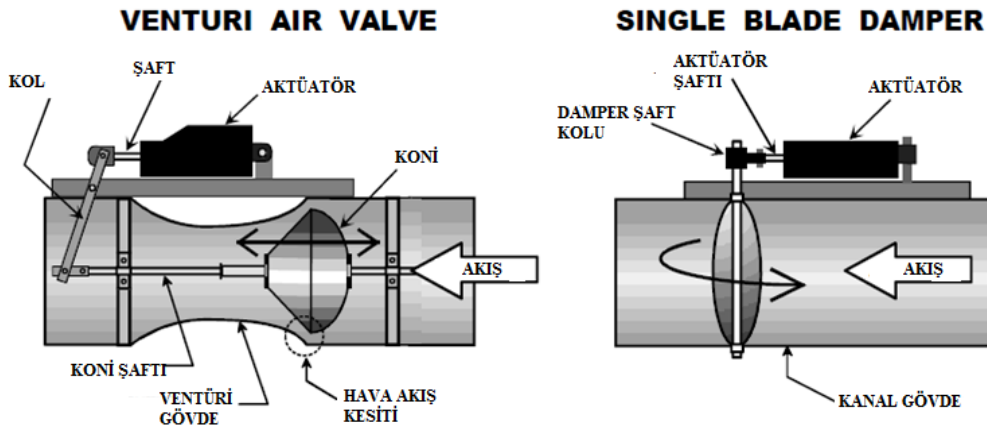
3.1.4 Ventüri valfler

Tek kanatlı damperler HVAC sistemlerinde uzun zamandır ve büyük ihtimalle ilk kullanılan hava kontrol cihazlarıdır. Başlarda el ile kontrol edilerek kullanılmışlardır. Sonrasında otomatik kontrol sistemleriyle çalışmaya başlayarak, debi kontrolünde önemli paya sahip olmuşlardır.

Ventüri valf ise daha farklı ve detaylı bir sistemle çalışan yeni bir hava kontrol cihazıdır. [12]

3.1.4.1 Mekanik prensip

Şekil 3.5’de iki sistemin de çalışma prensibi görülmektedir. Tek kanatlı damper bir şafta bağlanmış bir diskin hareketi ile kontrolü sağlamaktadır. Ventüri valf ise bir valf yatağı görevi yapan eğimli bir gövdeye sahiptir, ve içinde hareket eden koni ile boğaz genişliğini değiştirerek hava kontrolünü sağlar.



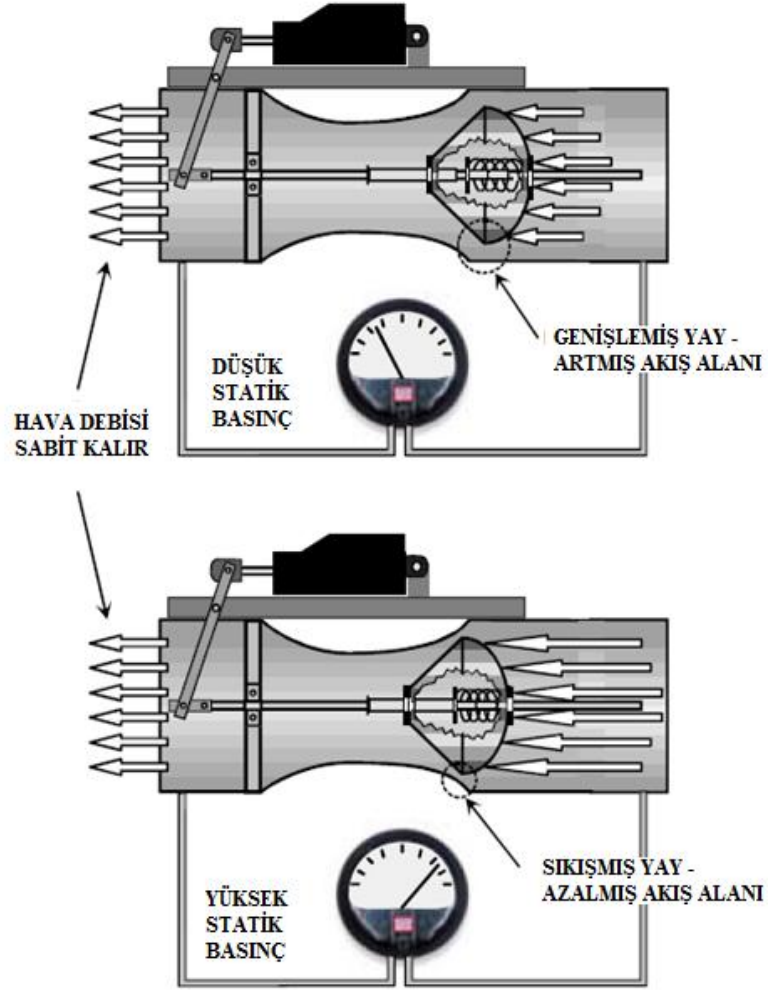
Şekil 3.5 : Ventüri valf ve tek kanatlı damperin temel çalışma prensibi[12]

3.1.4.2 Mekanik basınç bağımsızlığı

Venturi gövde içerisinde hareket eden koni sadece aktüatör gücü ile hareket etmez. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi koni içerisinde hassas bir yay sistemi bulunmaktadır. Bu yay sayesinde koni en ufak değişimlerde bile hareket edebilmektedir. Koni üzerinde hem yay kuvveti hem de basınç farkının oluşturduğu kuvvet etkilidir. Koni ventüri gövde içerisinde yatay ekseninde hareket eder ve basıncın yayı dengelediği noktada sabit kalır. [12]

İki nokta arasındaki basınç farkının artmasıyla hız artımı söz konusu olacaktır. Fakat basınç farkı aynı zamanda yayı sıkıştırarak kesit alanının daralmasına sebep olduğu

için debi sabit kalacaktır. Bu işlem sayesinde ventüri valfler kanal içindeki basınç farkından bağımsız olarak sabit debiyi geçirebilirler. [12]

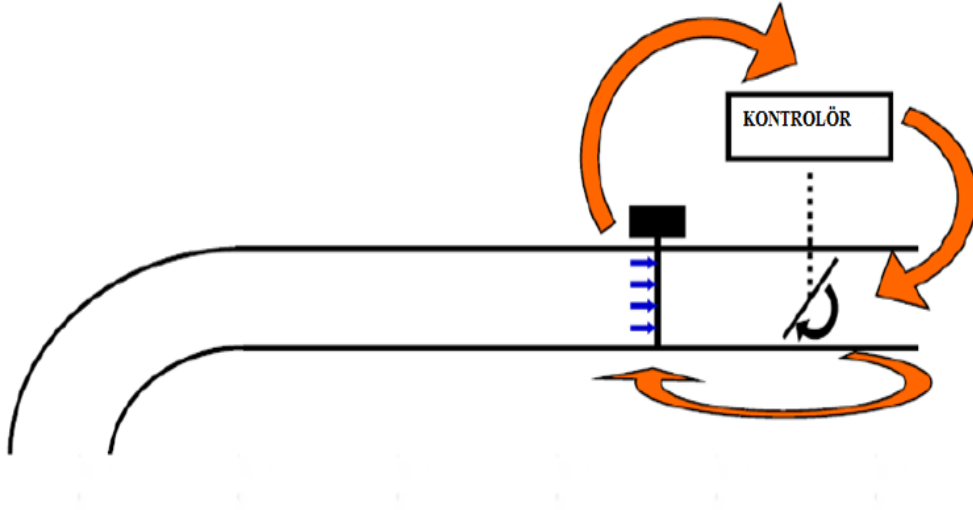


Şekil 3.6 : Sıkışan yay sayesinde ventüri valflerde oluşan basınç bağımsızlığı özelliği[12]

3.1.4.3 Hava kontrol kavramları

Kapalı çevrim kontrol

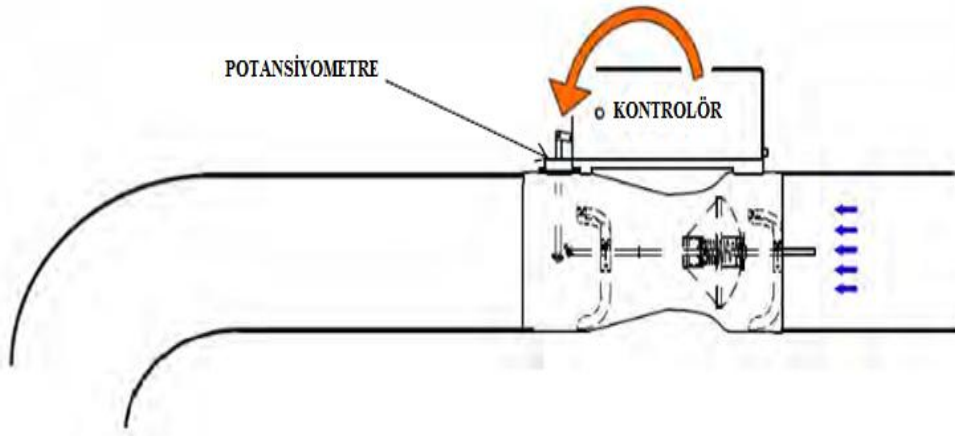
Şekil 3.7’de görüldüğü üzere yaygın kullanılan tek kanatlı damperler kapalı çevrim prensibi ile debi kontrolünü sağlamaktadır. 3. Bölümde açıklandığı üzere bu sistemde geri besleme sinyali hız ölçüm problemlerinden gelmektedir. [12]



Şekil 3.7 : Tek kanatlı damper çalışma prensibi

Açık çevrim kontrol

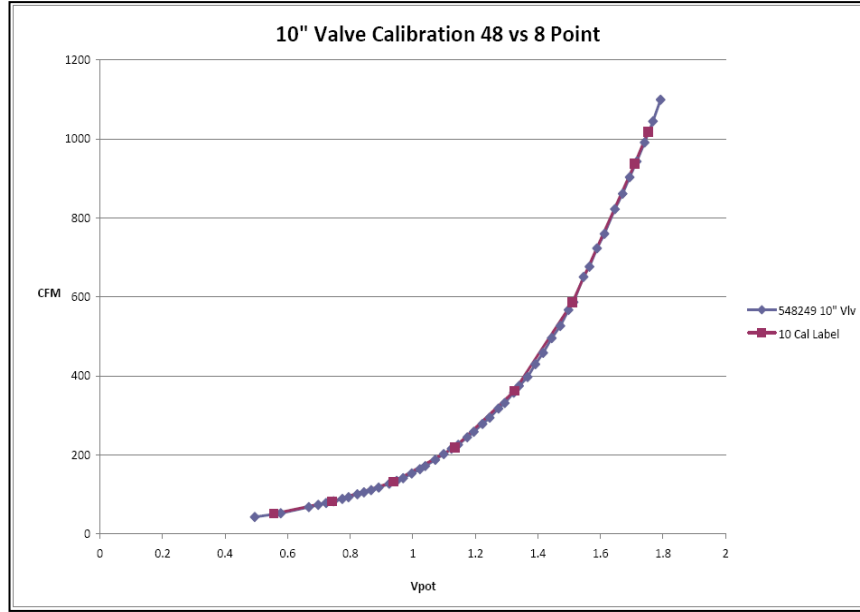
Ventüri valflerde ise her debi için belirlenen bir koni konumu vardır. Yani ventüri valf bir debi ölçüm cihazı gibi değerlendirilerek geri besleme ve debi için kontrolör olmaksızın belirlenen konumda belirlenen debiyi geçirir. [12]



Şekil 3.8 : Ventüri valf çalışma prensibi

3.1.4.4 Ventüri valf debi miktarının koni pozisyonuna göre belirlenmesi

Cihazın açık çevrim olarak çalışması için her noktada geçireceği debinin bilinmesi gerekir. Bu sebeple her cihazın karakteristik eğrileri şekil 3.9 ve 3.10'da görüldüğü gibi yapılan kalibrasyonlarla belirlenmektedir.



Şekil 3.9 : Koni pozisyonuna göre geçirilen hava debisi

Phoenix Controls®
Corporation

Acton, MA
www.phoenixcontrols.com

Accel 10" Valve

Serial # : 548249

OMAR #: VA110MAMEHM

Type: HOR EXHAUST LVC

Min Stop : 0.495

Max Stop : 1.792

Test Data

	<u>CFM</u> *	<u>VPOT</u>
1	51	0.556
2	82	0.742
3	132	0.939
4	219	1.134
5	362	1.325
6	586	1.510
7	937	1.709
8	1018	1.752

* @ 1000 ft. , 70° F (Corr. Factor 0.982)

Calibration Data

A	-0.127
B	0.421
C	0.673
D	1.226

Insp By: ca

Date : 05/26/2010

Şekil 3.10 : Ventüri valf örnek kalibrasyon raporu

3.2 Bir İlaç Fabrikasında Örnek Havalandırma Kanalı Tasarımı

3.2.1 Fabrikanın tanımı

Fabrikanın projelendirme safhası tamamlanmış olup uygulama çalışmaları devam etmektedir. Bina zemin kat, ara kat ve çatı kat olmak üzere 3 kattan oluşmaktadır. Asma tavan yüksekliği mahallere göre değişmektedir.

Zemin katta hammadde, bitmiş ürün, ambalaj depoları, tartım ve üretim mahalleri bulunmaktadır. 1. katta laboratuvarlar bulunmaktadır. Çatı katta ise teknik alanlarla beraber ofisler planlanmıştır.

3.2.2 Mahallerin temizlik sınıfları

Bu 3 kat için toplam 10 santral alanı belirlenmiştir. Bu 10 santralden 3 tanesi standart, 7 tanesi hijyen klima santralidir. 1 santral alanında ise nem kontrolü sağlanmaktadır. Hijyen alanların tümü sınıf 100000 (ISO 8) olarak belirlenmiştir.

3.2.3 Havanın veriliş ve toplanış şekli

Hijyen alanlarda hava üflemesi swirl difüzörler ile tavandan gerçekleştirilmiştir. Hesaplar hepa önünde 0.40 ila 0.50 m/s aralığında üfleme hızını sağlayacak şekilde yapılmıştır. Buradaki amaç hepalarla binen yükü azaltmak ve ses oranını azaltmaktır. Emişlerin ise yerden perfore menfezlerle emilmesi planlanmıştır. Aynı şekilde emiş ağzlarında da 2.5 m/s hızın üstüne çıkılmamıştır. Perfore menfezler dolayısıyla daralan kesit göz önüne alınarak hesap yapılmıştır. Buradaki amaç emiş kutularında oluşan ses miktarını azaltmaktır. Alanların dar olduğu personel hava kilit odalarında emişler dolaplardan gerçekleştirilmiştir. Standart santral bölgelerinde ise üfleme ve emiş tavandan gerçekleştirilmiştir. Havayı şartlandırıp gönderen santraller çatı katta konumlandırılacaktır.

3.2.4 Filtreler

Hijyen alanlarda klima santrali içinde G4 , F7 ve F9 olmak üzere 3 kademe filtre uygulanacaktır. Ayrıca mahallerin tavanında bulunan hepa filtreler de H13 sınıfında olacaktır. Standart alanlarda ise G4 ve F7 filtreler kullanılmıştır.

3.2.5 Klima santral hesapları

Bu hesaplamalar excel tablosunda oluşturulan kapasite tablosu aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu tabloya mahal alanı, yüksekliği, basıncı , sınıfı, nemi , hava değişim sayısı ve mahal ismi, kodu girilerek hesaplamalara başlanır. Santral santral ayrılan bu tabloyla işlemlerin hızlı ve düzenli yapılması oldukça kolaylaşır. Bu tablodaki hesaplar ise şöyledir:

3.2.5.1 Isıl yükler

Bu bölümde iletimle gelen ısı, insandan gelen ısı, aydınlatmadan gelen ısı ve makinelerden gelen ısı toplamaları alınarak oda duyulur ısısı bulunur. İletimle gelen ısı kazancı bir yaklaşımla m² başına 24 W kabul edilmiştir. İnsandan gelen ısı kişi başı yaklaşık 65 W kabul edilmiştir. Aydınlatma ısı kazancı ise yine m² başına 24 W kabul edilmiştir.

3.2.5.2 Hava debileri

Mahale üflenecek hava debisi ihtiyaca göre belirlenir. Mahalde istenen hava değişim sayısına göre hesaplanan hava debisi ve odadaki ısı kazancını karşılayacak hava debisi arasından büyük olan yani ihtiyacımızı karşılayacak olanı seçerek üfleme havamızı belirleriz.

$$V_h = \frac{ODI}{C_p \cdot \rho_a \cdot \Delta T} \quad (3.2)$$

ODI : Oda duyulur ısı kazancı (W)

ΔT : Odaya gönderilen hava ile oda şartı arasındaki sıcaklık farkı (°C)

$C_p \times \rho_a$: Havanın özgül ısısı x Havanın yoğunluğu (J/m³.K)

V_h : Isı kazancına göre hesaplanan hava debisi

Odalar arası basınç farkından oluşan hava akımı debileri ise 3.1 formülüyle bulunur. Bu uygulamada şu değerler kullanılmıştır;

Çizelge 3.1 Basınç farkına göre sızan hava debisi.

Pa	Tek Kapı(m ³ /h)	Çift Kapı(m ³ /h)
5	80	200
10	100	250
15	150	300
20	180	400
25	200	425
30	220	450

Mahale üflenen hava debisi ve odaya sızan hava debisi toplanıp, bu toplamdan odadan kaçan hava debisi ve egzoz hava debisi toplamı çıkarılırsa , mahalden emilecek debi hesaplanmış olur.

3.2.6 Kanal sisteminin tasarlanması

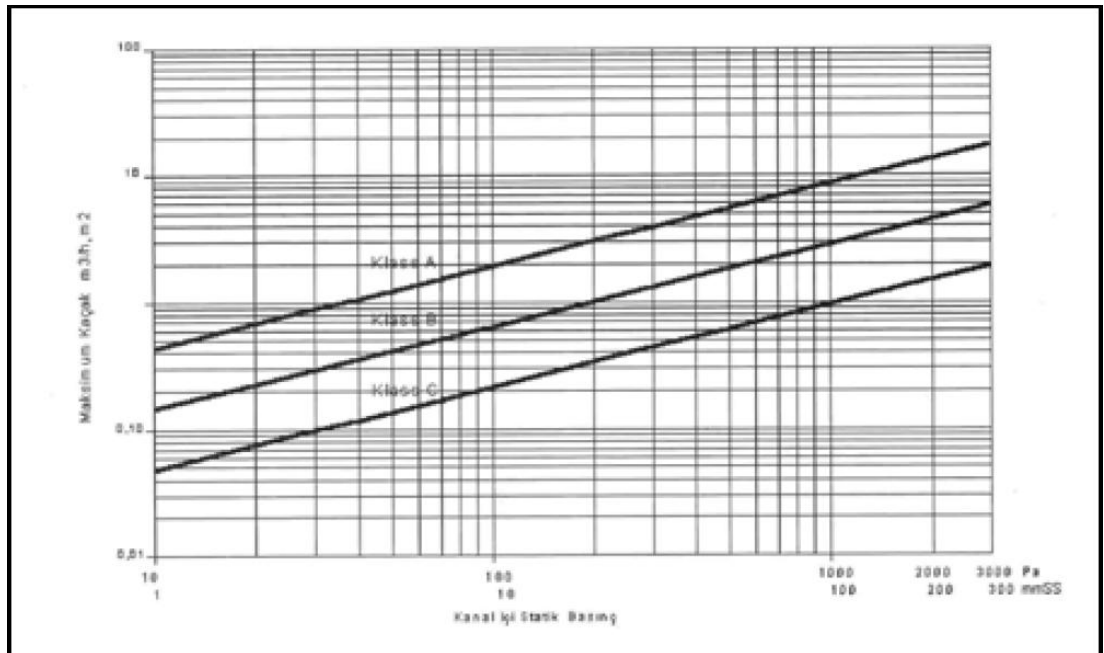
Hijyenik ve temiz oda sistemlerinde kullanılan hava dağıtım ve toplama kanalları tasarım, imalat ve montaj aşamalarında çok daha fazla ihtimam gerektirir. Kanalların oksitlenmemiş ve iyi korunmuş galvaniz sac veya paslanmaz sacdan tercihen fabrikasyon usulu flanşlarla monte edilecek şekilde imal edilmiş olması gerekir. Sevkiyat, montaj aşamalarında kanal içerisine toz, böcek vs. girmemesi için kanal başları devamlı alüminyum folyo veya selofan film ile kapalı tutulur. Kanallar mümkün olduğu kadar kısa olmalı, fleksibil bağlantıların boyu maksimum 2 m ile sınırlı tutulmalıdır. [13]

Çizelge 3.2 Eurovent 2/2'ye göre kaçaklar. [13]

Klas	Hava kaçağı (maks.) [l/s]
A	0.65 0,027 P
B	0.65 0,009 P
C	0.65 0,003 P

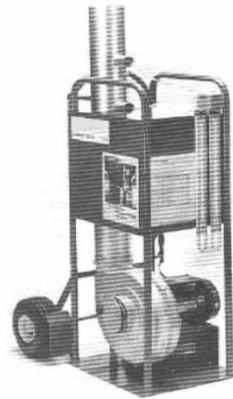
Kanallarda aranan özelliklerin başlarında sızdırmazlık gelir. Sızdırmazlık sağlamanın amacı bütün klima sistemlerinde geçerli olan, şartlandırılmış olan havanın kaçmasını engelleyerek enerji sarfiyatına engel olmak, arzu edilen yere, arzu edilen basınçta havayı sevk edebilmek ve kaçak sonucu oluşacak gürültüyü önlemek kriterleri sayılabilir. Hijyenik klima sistemlerinde genellikle kanal sonunda bulunan HEPA filtrelerin neden olduğu yüksek basınç düşüşleri nedeni ile kanal içi statik basınç yüksektir. Dolayısıyla kaçak problemleri çok daha fazla önem kazanır. Ayrıca hijyenik ve temiz oda klimasında çok önemli olan mahaller arası basınç farkı oluşturma kriterini de kaçaklar dolayısıyla yerine getirmek çok zorlaşır. Bina boşluklarında kaçaklardan dolayı oluşacak pozitif basınçları pasifize etmek için DIN 1946/4 de kaçağın 3 katı kadar aspirasyon önerilmektedir. Dönüş kanallarında oluşacak kaçaklar ise yukarıda sayılan mahsurların dışında, geçtiği mahallerden emeceği mikroorganizma veya kimyasalların birbirine karışmasına neden olacağından tehlike arz eder. [13]

Kanalların sızdırmazlığı ile ilgili Amerikan SMACNA, Avrupa Birliği, EUROVENT 2/2, Alman DIN V 24194 ve İngiliz DW142 standartları bulunmaktadır. Bütün standartlar da aynı denklem kullanmasına rağmen, farklı notasyonlar kullanmışlardır. Avrupa Birliği'ne girmeye hazırlanan Türkiye'nin uyması gereken ve piyasada genellikle uygulanan EUROVENT 2/2 standardıdır. [13]



Şekil 3.11 : Eurovent 2/2'ye göre kanal sızdırmazlığı[13]

EUROVENT 2/2 standardına göre kanallardaki sızdırmazlık için A,B ve C olmak üzere üç klas tanımlanmıştır. Buna göre kanal içindeki statik basıncın P (Pa) olduğu bir kanalın dış yüzeyinin bir m^2 'sinden müsaade edilebilir maksimum hava kaçağı (l/s) olarak Çizelge 3.2 'deki formüllerle hesaplanabilmektedir. Bu formüllere göre kanal içi statik basınca göre her bir klas için müsaade edilen maksimum debi kacakları şekil 3.11'de grafik olarak görülmektedir. Bu klaslar içinden hijyenik ortam klima sistemlerinde kullanılan genellikle B ve C klas'dır. Örneğin DIN 1946/4 bir ameliyathane sistemi basma havası kanalları için minimum klas B öngörürken, bir ilaç fabrikası klas 10.000 bir sahaya hizmet eden basma kanallarında klas C talep edebilmektedir. EUROVENT 2/2 de tavsiye edilen maksimum test basıncı kanal işletme ortalama statik basıncını geçmemek koşulu ile klas B için 1000 Pa, klas C için ise 2000 Pa'dır. Test için genellikle şekil-2'dekine benzer bir cihaz kullanılır. Bu cihaz frekans kontrollü bir fan, fan çıkışında diyaframlı bir debi ölçer ve kanal basıncını ölçmek için bir manometreden oluşmaktadır. Test edilecek kanal, açık yerleri körlenerek sistemden ayrılır. Her testte kanal yüzeyinin minimum 10 m^2 olması istenir. Kanal içindeki statik basınç, işletme statik basıncına çıkarılarak 5 dakika bu basınçta bekletilir. Basınç, stabil hale gelince okuma yapılır. Kaçak miktarı müsaade edilenin üzerinde ise gerekli onarımlar yapılarak kanal sızdırmazlık kriteri sağlanana kadar testler tekrar edilir. Her ne kadar EUROVENT2/2'de kanallarının belirli yüzdesinin testi şart koşulsada, hijyenik klima sistemi uygulamalarında, işin hassasiyeti dikkate alınarak genellikle kanalların tamamı test edilir. Daha sonra EUROVENT 2/2'de örnek verilene benzer bir tutanak hazırlanarak işveren ve yapıcı firma tarafından karşılıklı imzalanır. [13]



Şekil 3.12 : Kanal sızdırmazlık test cihazı[13]

3.2.6.1 Hava Şartlandırma Ünitesi-1 Hesapları

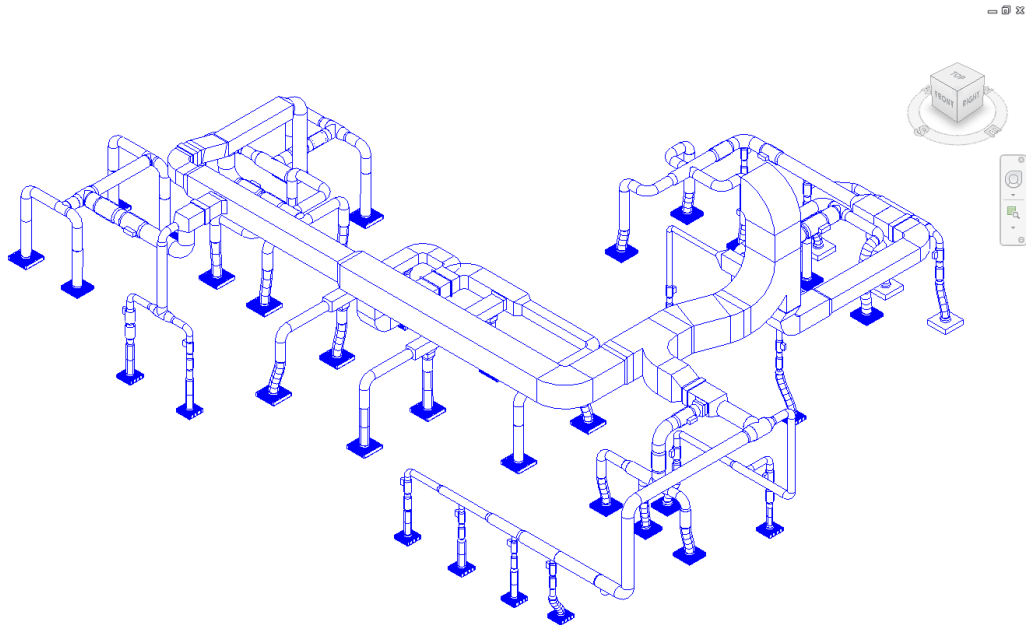
Debi Hesabı :

İnsandan gelen ısı kazancı	:	65 x 24	= 1495 W
Aydınlatmadan gelen ısı kazancı	:	24 x 234,55	= 5629 W
İletimle gelen ısı kazancı	:	24 x 234,55	= 5629 W
Makinelerden gelen ısı kazancı	:	25 x 0.4	= 9800 W
Oda duyulur ısı kazancı	:	Toplam	= 22553 W

$$V_h = \frac{ODI}{C_p \cdot \rho_a \cdot \Delta T} = 6633 \text{ m}^3/\text{h}$$

Bu değer toplam değerdir fakat mahallerde standardın sağlanması için kabul edilen değişim sayısı hesaplanan değişim sayısından daha fazla olduğu için değişim sayısına göre debi hesabı yapılmalıdır.

Sonuç olarak 1 numaralı ünitenin üfleme havası debisi kapasite tablosunda 19650 m³/h olarak hesaplanmıştır.

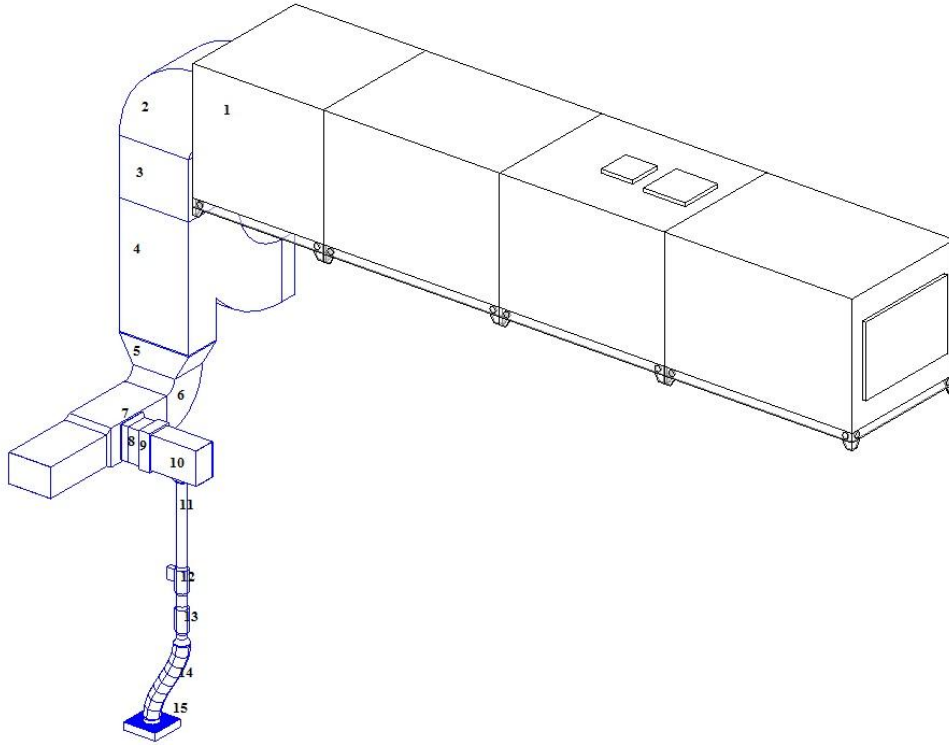


Şekil 3.13 : Hava şartlandırma ünitesi-1 üfleme kanalı dizaynı

Akustik Hesap :

Akustik hesap için gürültü kaynağına en yakın devre kritik hat olarak alınmalıdır.

[14]



Şekil 3.14 : Hava şartlandırma ünitesi-1 akustik hesap kritik hattı

Devre-1: Santralde üretilen gürültü seviyeleri oktav band frekanslarına göre üreticiden temin edilebilir.

Çizelge 3.3 Hava şartlandırma ünitesi-1 ses seviye değerleri.

10 SUPPLY FAN		Free				Weight	287,6		Kg	
Air Volume	19650	m3/h	Fan Type	ER80C-4DN.M7.1R (plug)			Motor			
Ext. Static Pressure	803	Pa	Fan Speed	1493		rpm	Sound Power Level		96	dBA
Total Static Pressure	1874	Pa	Absorbed Power	14,4		kW	Efficiency		72,7	%
Dynamic Pressure	44	Pa	Motor Power	22		kW	Air Pressure Drop		44	Pa
Total Pressure	1918	Pa	Motor Speed	1500		rpm	Fan Hz		51	
, Eff1 Motor										
Ses Seviyesi / Sound Power Level					dBA					
	OUTLET SIZE				INLET SIZE					
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz		
Inlet Size	82	85	89	88	84	80	75	71		
Outlet Size	80	83	87	86	82	78	73	69		

Devre-2: Dirsek

Dirsek hem ses üreten hem de ses yutan bir elemandır. Ses üretimi için 3.3 numaralı denklemden elde edilen değer kullanılır. [14]

$$L_w = \text{Standart ses gücü} + 10 \cdot \log \Delta f_{\text{okt}} + 30 \cdot \log d_a + 50 \cdot \log V_a \quad (3.3)$$

Standart ses gücü şekil 3.15’de, grafikten okunabilir.

d_a : dirsek eşdeğer çapı, m

V_a : hava hızı, m/s

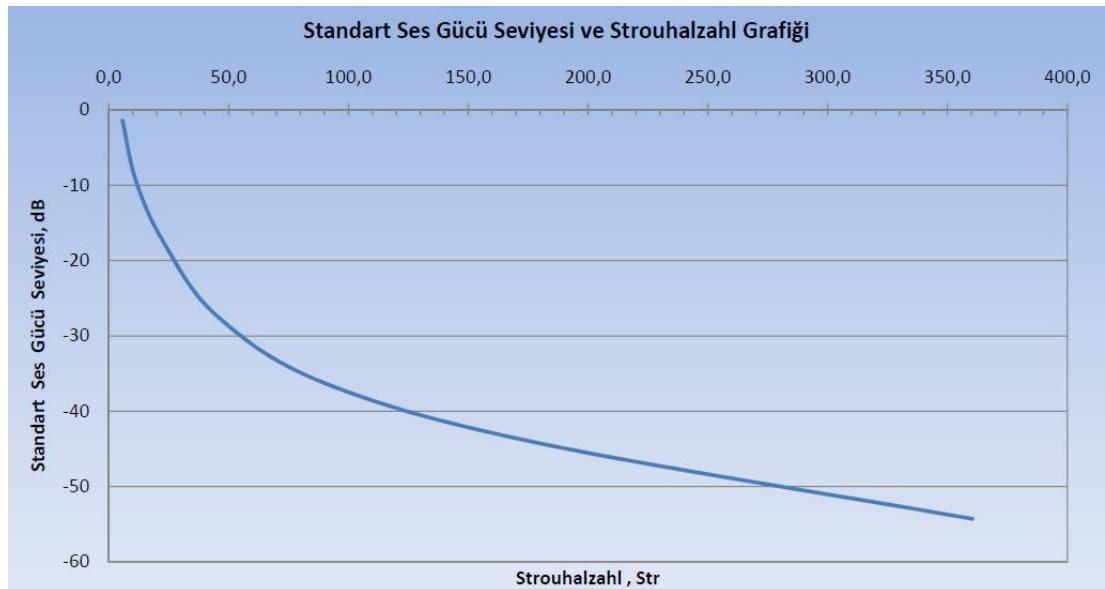
Δf_{okt} : oktav band genişliği.

f_m : Oktav bandı merkez frekansı, Hz

Strouhal sayısı (St) : $f_m \cdot d_a / V_a$.

Çizelge 3.4 Oktav band genişliği. [14]

Oktav Bandı	Oktav Band Genişliği
f_m	Δf_{okt}
63	45
125	90
250	180
500	355
1000	700
2000	1400
4000	2800
8000	5600



Şekil 3.15 : Standart ses gücü ve strouhalzahl grafiği[14]

Ses yutumu için çizelge 3.5 kullanılır.

Çizelge 3.5 Dirsek ses yutumu. [14]

Ses Yutumu (dB)								
İzole Durumu	Kanal Genişliği	Oktav Ortalama Band Frekansı (Hz)						
	(mm)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
İzolesiz kanal	125	0	0	0	6	8	4	3
	250	0	0	6	8	4	3	3
	500	0	6	8	4	3	3	3
	1000	6	8	4	3	3	3	3
Dirsek önünde izoleli	125	0	0	0	6	8	6	8
	250	0	0	6	8	6	8	11
	500	0	6	8	6	8	11	11
	1000	6	8	6	8	11	11	11
Dirsek arkasında izoleli	125	0	0	0	7	11	10	10
	250	0	0	7	11	10	10	10
	500	0	7	11	10	10	10	10
	1000	7	11	10	10	10	10	10
Her iki yönde izoleli	125	0	0	0	7	12	14	16
	250	0	0	7	12	14	16	18
	500	0	7	12	14	16	18	18
	1000	7	12	14	16	18	18	18

Denklem 3.3 ile devre-2 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir:

$$L_{w63} = -2 + 10\log(45) + 30\log(1,04) + 50\log(6,1) = 54$$

$$L_{w125} = -14 + 10\log(90) + 30\log(1,04) + 50\log(6,1) = 45$$

$$L_{w250} = -25 + 10\log(180) + 30\log(1,04) + 50\log(6,1) = 37$$

$$L_{w500} = -34 + 10\log(355) + 30\log(1,04) + 50\log(6,1) = 31$$

$$L_{w1000} = -45 + 10\log(700) + 30\log(1,04) + 50\log(6,1) = 23$$

$$L_{w2000} = -54 + 10\log(1400) + 30\log(1,04) + 50\log(6,1) = 17$$

$$L_{w4000} = -62 + 10\log(2800) + 30\log(1,04) + 50\log(6,1) = 12$$

Devre-3: Düz kanal

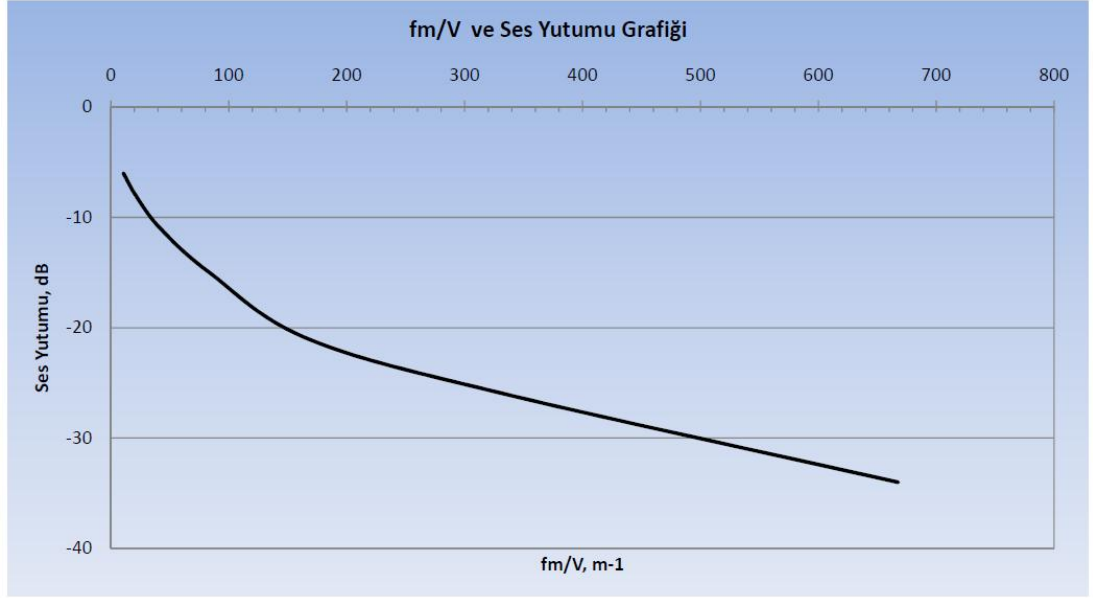
Düz kanal hem ses üreten hem de ses yutan bir elemandır. Ses üretimi için 3.4 numaralı denklem kullanılır. [14]

$$L_w = 10 + 10 \cdot \log A + 50 \cdot \log V \quad (3.4)$$

V: kanaldaki hava hızı, m/s

A: kanal kesit alanı, m²

Şekil 3.16'daki fm/V değerine bakılarak grafikten elde edilen değer 3.4 numaralı denklemden elde edilen değerden çıkarılır. Böylece kanaldaki ses üretimi bulunmuş olur. [14]



Şekil 3.16 : Ses yutumu grafiği[14]

Ses üretim değeri bulunduktan sonra çizelge 3.6 yardımı ile ses yutum değeri de belirlenir. [14]

Çizelge 3.6 Düz kanal, birim uzunluk (m) başına ses yutumu. [14]

P/A	Ses yutumu , dB/m						
1/m	Frekans , Hz						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
260	0.98	0.66	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
130	1.15	0.66	0.33	0.2	0.2	0.2	0.2
100	1.31	0.66	0.33	0.16	0.16	0.16	0.16
70	0.82	0.66	0.33	0.1	0.1	0.1	0.1
30	0.49	0.33	0.23	0.07	0.07	0.07	0.07
20	0.33	0.33	0.16	0.07	0.07	0.07	0.07

Denklem 3.4 ve şekil 3.17 ile devre-3 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir;

$$L_{w63} = -5 + 10 + 50 \log(6,1) + 10 \log(0.9) = 43$$

$$L_{w125} = -8 + 10 + 50 \log(6,1) + 10 \log(0.9) = 40$$

$$L_{w250} = -11 + 10 + 50 \log(6,1) + 10 \log(0.9) = 37$$

$$L_{w500} = -16 + 10 + 50 \log(6,1) + 10 \log(0.9) = 32$$

$$L_{w1000} = -21 + 10 + 50 \log(6,1) + 10 \log(0.9) = 27$$

$$L_{w2000} = -26 + 10 + 50 \log(6,1) + 10 \log (0,9) = 22$$

$$L_{w4000} = -34 + 10 + 50 \log(6,1) + 10 \log (0,9) = 14$$

Devre-4: Ayrım

Kanal ayırımına gelindiğinde hava debisi ayrıldığı gibi ses enerjisi de ayrılır. Kanal ayırımında ses yutumu için çizelge 3.7 kullanılır. [10]

Çizelge 3.7 Branşman ses yutumu, dB.[10]

$S_{Bi}/\Sigma S_{Bi}$	ΔL_{bi}	$S_{Bi}/\Sigma S_{Bi}$	ΔL_{bi}
1	0	0.1	10
0.8	1	0.08	11
0.63	2	0.063	12
0.5	3	0.05	13
0.4	4	0.04	14
0.32	5	0.032	15
0.25	6	0.025	16
0.2	7	0.02	17
0.16	8	0.016	18
0.12	9	0.012	19

ΔL_{bi} : Branşmanda ses yutumu, dB

S_{Bi} : Branşman kesit alanı, m²

ΣS_{Bi} : Ayrımın olduğu kanalda, ana kanaldan çıkan toplam branşman kesit alanı, m²

$S_{Bi} / \Sigma S_{Bi} = 0.3/1.18 = 0.25$, bu değer için bizim sistemimizde 6 dB ses yutumu gerçekleşir. [15]

Denklem 3.3 ile devre-4 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir;

$$L_{w63} = -3 + 10 \log(45) + 30 \log(0,9) + 50 \log(4,3) = 44$$

$$L_{w125} = -16 + 10 \log(90) + 30 \log(0,9) + 50 \log(4,3) = 33$$

$$L_{w250} = -27 + 10 \log(180) + 30 \log(0,9) + 50 \log(4,3) = 25$$

$$L_{w500} = -36 + 10 \log(355) + 30 \log(0,9) + 50 \log(4,3) = 19$$

$$L_{w1000} = -46 + 10 \log(700) + 30 \log(0,9) + 50 \log(4,3) = 12$$

$$L_{w2000} = -57 + 10 \log(1400) + 30 \log(0,9) + 50 \log(4,3) = 5$$

$$L_{w4000} = -63 + 10 \log(2800) + 30 \log(0,9) + 50 \log(4,3) = 2$$

Devre-5: Daralma

Şekil 3.17 ile devre-5 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir.

$$L_{w63} = 51$$

$$L_{w125} = 51$$

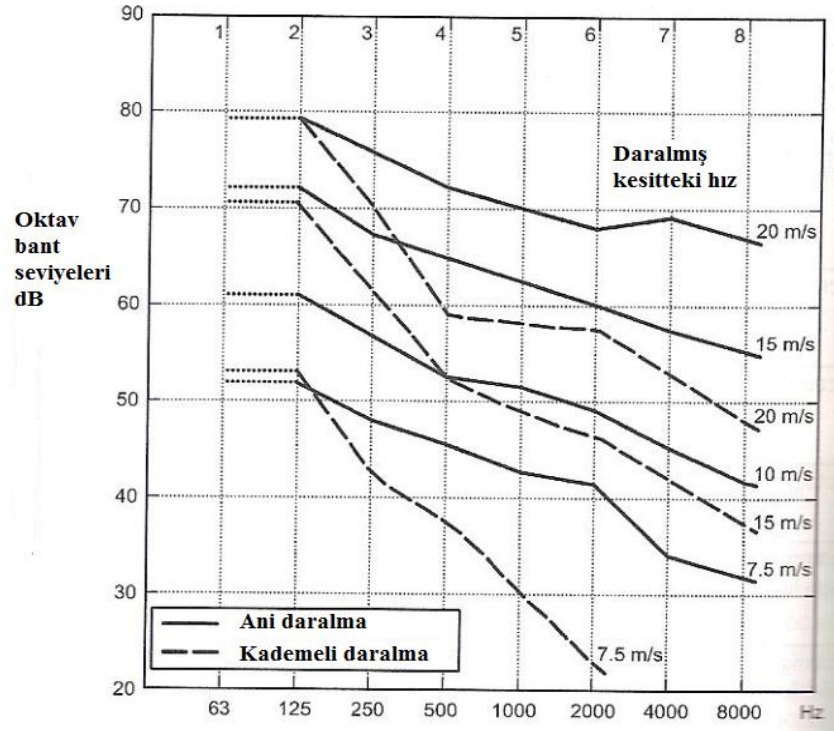
$$L_{w250} = 42$$

$$L_{w500} = 38$$

$$L_{w1000} = 30$$

$$L_{w2000} = 22$$

$$L_{w4000} = 20$$



Şekil 3.17 : Daralma parçası ses üretimi[10]

Devre-6: DİRSEK

Denklem 3.3 ile devre-6 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir:

$$L_{w63} = -2 + 10\log(45) + 30\log(0.6) + 50\log(4.3) = 38$$

$$L_{w125} = -14 + 10\log(90) + 30\log(0.6) + 50\log(4.3) = 28$$

$$L_{w250} = -25 + 10\log(180) + 30\log(0.6) + 50\log(4.3) = 20$$

$$L_{w500} = -34 + 10\log(355) + 30\log(0.6) + 50\log(4.3) = 14$$

$$L_{w1000} = -45 + 10\log(700) + 30\log(0.6) + 50\log(4.3) = 7$$

$$L_{w2000} = -54 + 10\log(1400) + 30\log(0.6) + 50\log(4.3) = 0$$

$$L_{w4000} = -62 + 10\log(2800) + 30\log(0.6) + 50\log(4.3) = 0$$

Devre-7: Ayrılma

Denklem 3.3 ile devre-7 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir:

$$L_{w63} = -1 + 10\log(45) + 30\log(0,38) + 50\log(4,12) = 33$$

$$L_{w125} = -5 + 10\log(90) + 30\log(0,38) + 50\log(4,12) = 32$$

$$L_{w250} = -18 + 10\log(180) + 30\log(0,38) + 50\log(4,12) = 22$$

$$L_{w500} = -26 + 10\log(355) + 30\log(0,38) + 50\log(4,12) = 17$$

$$L_{w1000} = -36 + 10\log(700) + 30\log(0,38) + 50\log(4,12) = 10$$

$$L_{w2000} = -42 + 10\log(1400) + 30\log(0,38) + 50\log(4,12) = 7$$

$$L_{w4000} = -52 + 10\log(2800) + 30\log(0,38) + 50\log(4,12) = 1$$

$S_{Bi} / \Sigma S_{Bi} = 0.135 / 0.27 = 0.5$, devre-7'de bu değer için bizim sistemimizde 3 dB ses yutumu gerçekleşir.

Devre-8: Düz kanal

Denklem 3.4 ve şekil 3.16 ile devre-8 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir.

$$L_{w63} = -6 + 10 + 50 \log(4,12) + 10 \log (0.135) = 18$$

$$L_{w125} = -10 + 10 + 50 \log(4,12) + 10 \log (0.135) = 12$$

$$L_{w250} = -13 + 10 + 50 \log(4,12) + 10 \log (0.135) = 9$$

$$L_{w500} = -18 + 10 + 50 \log(4,12) + 10 \log (0.135) = 4$$

$$L_{w1000} = -25 + 10 + 50 \log(4,12) + 10 \log (0.135) = 0$$

$$L_{w2000} = -29 + 10 + 50 \log(4,12) + 10 \log (0.135) = 0$$

$$L_{w4000} = -40 + 10 + 50 \log(4,12) + 10 \log (0.135) = 0$$

Devre-9: Manuel Damper

Damperlerde üretilen gürültü 3.5 numaralı formül ile hesaplanabilir. [9]

$$L_w = K_D + 10. \log(f_0/63) + 50. \log U_D + 10. \log A_k + 10. \log H \quad (3.5)$$

f_0 : Oktav bandı merkez frekansı, Hz

K_D : Damper tayfı, dB

U_D : Daralmış kesitteki hız, m/s

A_k : Kanal kesidi, m²

H : Damperin, dönme eksenine dik doğrultudaki uzunluğu, m

St : Strouhal sayısı

$$K_D = 3,8 - 10,7. \log St \quad St \leq 25 \quad (3.6)$$

$$K_D = 39 - 35,9. \log St \quad St > 25 \quad (3.7)$$

Denklem 3.5,ve damperin %20 kapalı olduğu kabulü ile devre-9 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir.

$$L_{w63} = -2 + 10\log(63/63) + 50\log(5,14) + 10\log(0,3) + 10\log(0,135) = 14$$

$$L_{w125} = -5 + 10\log(125/63) + 50\log(5,14) + 10\log(0,3) + 10\log(0,135) = 16$$

$$L_{w250} = -8 + 10\log(250/63) + 50\log(5,14) + 10\log(0,3) + 10\log(0,135) = 16$$

$$L_{w500} = -13 + 10\log(500/63) + 50\log(5,14) + 10\log(0,3) + 10\log(0,135) = 14$$

$$L_{w1000} = -24 + 10\log(1000/63) + 50\log(5,14) + 10\log(0,3) + 10\log(0,135) = 7$$

$$L_{w2000} = -35 + 10\log(2000/63) + 50\log(5,14) + 10\log(0,3) + 10\log(0,135) = -1$$

$$L_{w4000} = -46 + 10\log(4000/63) + 50\log(5,14) + 10\log(0,3) + 10\log(0,135) = -8$$

Devre-10: Ayrılma

$$L_{w63} = -1 + 10\log(45) + 30\log(0.125) + 50\log(4,53) = 21$$

$$L_{w125} = -1 + 10\log(90) + 30\log(0.125) + 50\log(4,53) = 24$$

$$L_{w250} = -1 + 10\log(180) + 30\log(0.125) + 50\log(4,53) = 27$$

$$L_{w500} = -1 + 10\log(355) + 30\log(0.125) + 50\log(4,53) = 30$$

$$L_{w1000} = -2 + 10\log(700) + 30\log(0.125) + 50\log(4,53) = 32$$

$$L_{w2000} = -4 + 10\log(1400) + 30\log(0.125) + 50\log(4,53) = 34$$

$$L_{w4000} = -13 + 10\log(2800) + 30\log(0.125) + 50\log(4,53) = 27$$

$S_{Bi} / \Sigma S_{Bi} = 0.012/0.17 = 0.07$, devre-10'da bu değer için bizim sistemimizde 11 dB ses yutumu gerçekleşir.

Devre-11: Düz kanal

Denklem 3.4 ve şekil 3.16 ile devre-11 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir.

$$L_{w63} = -6 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 19$$

$$L_{w125} = -11 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 12$$

$$L_{w250} = -14 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 9$$

$$L_{w500} = -19 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 4$$

$$L_{w1000} = -26 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 0$$

$$L_{w2000} = -29 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 0$$

$$L_{w4000} = -42 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 0$$

Devre-12: Elektronik kontrollü tek kanatlı damper

Damperlerde üretilen ses seviyeleri imalatçı firmadan alınmıştır. Alınan cihaz susturucu ilaveli olarak hesaba katılmıştır. Değerler 200 m³/h debi, 150 Pa basınç düşümü için alınmıştır.



Akustik değerler								
f [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
L _w Gen	55	53	38	17	<15	<15	<15	<15
L _w Rad	30	31	28	28	25	26	20	16
De [dB]	5	7	16	32	50	42	25	22

V = 200 m³/h and Δp_{st} = 150 Pa

Şekil 3.18 : Elektronik kontrollü tek kanatlı damper ses üretimi

Devre-12: Hava kontrolü için alternatif olarak kullanılacak elektronik kontrollü ventüri valf

Damperlerde üretilen ses seviyeleri imalatçı firmadan alınmıştır. Alınan cihaz susturucu ilaveli olarak hesaba katılmıştır. Değerler 200 m³/h debi, 150 Pa basınç düşümü için alınmıştır.

Çizelge 3.8 Elektronik kontrollü venturi valf ses üretimi.

Hava akışı			Basınç düşümü		Ses gücü seviyeleri, dB					
					Oktav band değerleri, Hz					
cfm	L/s	m ³ /h	in wc	Pa	125	250	500	1000	2000	4000
50	25	85	0.60	150	37	34	34	< 20	< 20	< 20
100	45	170	0.60	150	43	38	35	< 20	< 20	< 20
150	70	250	0.60	150	46	41	36	< 20	22	< 20
200	95	340	0.60	150	48	44	38	24	25	22

Devre-13: Düz kanal

Denklem 3.4 ve şekil 3.16 ile devre-13 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir.

$$L_{w63} = -6 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log(0,11) = 19$$

$$L_{w125} = -11 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log(0,11) = 12$$

$$L_{w250} = -14 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log(0,11) = 9$$

$$L_{w500} = -19 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 4$$

$$L_{w1000} = -26 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 0$$

$$L_{w2000} = -29 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 0$$

$$L_{w4000} = -42 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) = 0$$

Devre-14: Flex kanal

Denklem 3.4 ve şekil 3.16 ile devre-14 ses üretimi hesabı aşağıdaki gibidir.

$$L_{w63} = -6 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) + 15 = 44$$

$$L_{w125} = -11 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) + 15 = 27$$

$$L_{w250} = -14 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) + 15 = 24$$

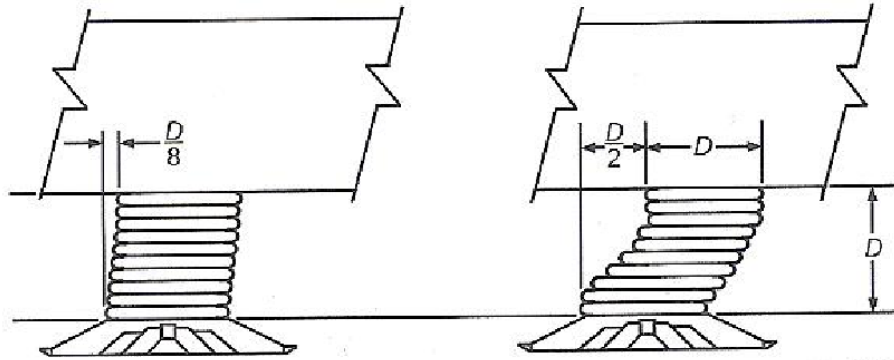
$$L_{w500} = -19 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) + 15 = 19$$

$$L_{w1000} = -26 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) + 15 = 12$$

$$L_{w2000} = -29 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) + 15 = 9$$

$$L_{w4000} = -42 + 10 + 50 \log(4,53) + 10 \log (0.11) + 15 = 0$$

Flex kanalın şekil 3.19’da görüldüğü gibi kıvrılması sebebiyle düz kanala 15 dB eklenerek hesap yapılmıştır.



Şekil 3.19 : Flex kanal bağlantı şekilleri[10]

Devre-15: Filtre

Üretici firmalardan değerler alınmıştır. 300x 300 cm boyutlarında , H13 tip hepa filtre için için ses üretim değerleri hesapta kullanılmıştır.

Çizelge 3.9 Heka filtre ses üretim değerleri.

Ölçü	Oktav bandlara göre ses üretimi, dB							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
AFV-8C/Z3/0/R4-S/PO/OD-5-300	19	13	15	12	12	11	15	16
AFV-8C/Z3/0/R5-S/PO/OD-5-400	11	9	12	9	10	9	12	15
AFV-8C/Z3/0/R5-S/PO/OD-5-500	11	9	12	9	9	9	12	15

Devre-16: Mahal

Bir ses kaynağından kaynaklanıp, bir odadaki belirli bir noktada oluşan ses basınç seviyeleri, kaynağın kuvvetine, odanın akustik özelliklerine, odanın hacmine ve gözlem noktasından ses kaynağının uzaklığına bağlıdır. Odadaki ses yutumu için 3.8 numaralı denklem kullanılabilir. [10]

$$L_p - L_w = -10 \cdot \log r - 5 \cdot \log V - 3 \cdot \log f + 10 \cdot \log N + 25 \quad (3.8)$$

r : ses kaynağı ile alıcı arası uzaklık (ft)

V : odanın hacmi(ft³)

f : Frekans(Hz)

N : Ses kaynağı adedi

Denklem 3.8 ile devre-16 ses yutumu hesabı aşağıdaki gibidir.

$$L_p - L_{w63} = -10 \log(13) - 5 \log(317) - 3 \log(63) + 10 \log(1) + 25 = -4$$

$$L_p - L_{w125} = -10 \log(13) - 5 \log(317) - 3 \log(125) + 10 \log(1) + 25 = -4.9$$

$$L_p - L_{w250} = -10 \log(13) - 5 \log(317) - 3 \log(250) + 10 \log(1) + 25 = -5.8$$

$$L_p - L_{w500} = -10 \log(13) - 5 \log(317) - 3 \log(500) + 10 \log(1) + 25 = -6.7$$

$$L_p - L_{w1000} = -10 \log(13) - 5 \log(317) - 3 \log(1000) + 10 \log(1) + 25 = -7.6$$

$$L_p - L_{w2000} = -10 \log(13) - 5 \log(317) - 3 \log(2000) + 10 \log(1) + 25 = -8.5$$

$$L_p - L_{w4000} = -10 \log(13) - 5 \log(317) - 3 \log(4000) + 10 \log(1) + 25 = -9.4$$

Bulunan ses basıncı değerleri denklem 3.9 ve 3.10 yardımı ile logaritmik olarak toplanarak mahalde oluşan toplam ses basıncı değerleri farklı oktav bandlarda tespit edilmiş olunur.

$$S_{g2t} = 10 \cdot \log(SUM) \quad (3.9)$$

$$SUM = 10^{S_{g2}/10} + 10^{(S_{g1} - S_{a2})/10} \quad (3.10)$$

S_{g1} = 1.devrede üretilen ses basıncı düzeyi, dB

S_{g2} = 2.devrede üretilen ses basıncı düzeyi, dB

S_{a2} = 2.devrede yutulan ses basıncı düzeyi, dB

S_{g2t} = 2.devrenin sonunda üretilen ses basıncı düzeyi, dB [10]

İlk hesapta (EK-C) tek kanatlı damper kullanılmıştır. Buradaki hesap ile odanın RC seviyesinin 31 çıktığı görülmektedir. İkinci hesapta (EK-D) tek kanatlı damper yerine ventüri valf kullanılmıştır. Bu hesap ile odanın RC seviyesinin 32 çıktığı görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Temiz oda sistemlerinin en önemli gayesi ürün kalitesinin garanti altında olmasıdır. Bu sebeple bu sistemler için belirlenen çok sayıda standart, test ve ölçüm gibi süreçler bulunmaktadır. Bu şartları sağlayabilmek tasarımcının ana hedefidir.

4.1 Basınç Kontrolünün Sağlanması

Temiz odalarda istenen şartları sağlayabilmek adına, basınç kontrolü önemli parametrelerden birisidir. Bunu sağlamak için kullanılan değişken debili sistemlerin çalışma prensiplerini incelediğimizde mahaldeki anlık değişimlere cevap verme açısından klasik tek kanatlı damperlerin çok hızlı tepki veremediği tespit edilmiştir. Ventüri valflerin ise tepkime süreleri düşük olduğundan, bir mahaldeki basınç dalgalanmalarını çok daha kısa sürede düzeltilebilmektedir. Temiz odanın hassaslığına ve mahaldeki basınç değişiminin dalgalanma eğiliminin derecesine göre ventüri valflerin kullanımı tek kanatlı damper kontrolüne göre avantaj sağlayacaktır.

Aynı şekilde bu şartları sağlayabilmek için kanal dizaynının ve montajının da çok doğru şekilde yapılması gerekmektedir. Kanallardaki kayıplar ve sızıntılar minimuma indirilmezse istenen oda debileri sağlanamaz ve basınç kontrolü çok zorlaşır.

4.2 Uygun Ses Düzeyinin Sağlanması

Temiz odalarda istenen şartların sağlanması için en önemli parametrelerden olan hava kalitesini sağlarken, aynı zamanda ortamda oluşturduğu etkilere de göz atılmalıdır. Temiz odalar genelde ses düzeyinin çok yüksek olmadığı, sakin ortamlardır. Bu nedenle kanal sistemimizin akustik hesabını değerlendirmeliyiz.

Bu çalışmada akustik hesap yapılırken aynı zamanda odalarda basınç kontrolünü sağlama amacıyla kullanılan tek kanatlı damper ve ventüri valfin kullanılmasının akustik olarak odayı nasıl etkilediği karşılaştırılmıştır.

İlk hesapta tek kanatlı damper kullanılmıştır. Buradaki hesap ile odanın RC seviyesinin 31 çıktığı görülmektedir (EK-C). İkinci hesapta tek kanatlı damper yerine ventüri valf kullanılmıştır. Bu hesap ile odanın RC seviyesinin 32 çıktığı görülmektedir (EK-D). Çizelge 2.5'e göre iki ortamın orta derecede gürültülü olduğu ve ortamı bir laboratuvar gibi düşünürsek çizelge 2.4'te uygun görülen RC seviyelerine uygun olduğu görülmektedir. Sonuç olarak kontrol açısından çeşitli avantajlar sağlayan ventüri valfin tek kanatlı dampere göre ortamda kısmen daha fazla fazla ses düzeyine sebep olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1]Whyte, W., (2001). *Cleanroom Technology Fundamentals of Design , Testing and Operation*, John Wiley&Sons, England.
- [2]Bilge, M., Bilge , D., (2001). Temiz Oda Tasarım Kriterleri, *TTMD Dergisi*, ISSN 1302-2415 (13):14-19.
- [3]Url-1 <www.polipanel.com.tr>, alındığı tarih : 04.05.2015.
- [4]Url-2 < http://www.nebb.org/assets/1/7/PST_CR_20091.PDF >, alındığı tarih: 04.05.2015.
- [5]Özkaynak, T., (2001). *Temiz Oda Tasarımı ve Klima Sistemleri*, Tetisan Ltd. Şti. Teknik Yayınları, ISBN 975-95172-0-5,İstanbul.
- [6]Değirmenci, M., (2003). *Otomatik Kontrol Tesisatı*, MMO/2003/318, Türkiye Makine Mühendisleri Odası Birliği, İstanbul.
- [7]American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2009). *Fundamentals*, 1791 Tullie Circle, N.E.,Atlanta, GA 30329.
- [8]Özgüven, N., (1985). *Endüstriyel Gürültü Kontrolü*, MMO/1985/118, Türkiye Makine Mühendisleri Odası Birliği, Ankara.
- [9]Uralcan, İ.Y., (2003). *Havalandırma Tesisatı*, MMO/2003/297-3, Türkiye Makine Mühendisleri Odası Birliği, İstanbul.
- [10]American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2007). *Hvac Applications*, 1791 Tullie Circle, N.E.,Atlanta, GA 30329.
- [11]Demirel , Ö., (1999). İlaç Sanayinde Temiz Oda Dizaynı ve Temiz Oda Sınıfı ile Mikroorganizma Sayısı Arasındaki İlişkiler, *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Efes Convention Center* , İzmir.
- [12]Url-3 < <http://w3.usa.siemens.com/buildingtechnologies/us/en/consulting-engineer/engineeradvantage/Documents/venturi-air-valve-or-blade-damper.pdf> >, alındığı tarih: 04.05.2015, Technology Report , 2008 , Document No. 149-985, Siemens Industry.
- [13]Özkaynak, T., (2001). Hijyenik Ortam Klima Santralleri ve Kanal Sistemlerinde Aranan Özellikler, *TTMD Dergisi* , ISSN 1302-2415 (13):14-19.
- [14]Gürson, O., (2011). < <http://www.ttmd.org.tr/userfiles/file/Havalandırma%20Sistemlerinde%20Akustik%20Tasarım.pdf> >, alındığı tarih: 22.05.2015.

EKLER

Ek-A- Hava şartlandırma ünitesi 1 mahal özellikleri:

MAHAL BİLGİSİ												
Santral No	ODA NO	ODA ADI	ODA ŞARTLARI			ODA ÖLÇÜLERİ					Sınıf	Min. Değişim Sayısı
			Rutubet	Sıcaklık	Basınç	L	W	H	Alan	Hacim	Class	
			%RH (+,-5)	°C (+,-2)	Pa	m	m	m	m2	m3	ISO	defa/h
	C.2.6	GRANÜLASYON										
HAVA ŞARTLANDIRMA ÜNİTESİ-1 (Hijyen)	C.2.6.01	Mikser Odası	30-60	22	5	3.41	5.89	4.5	20.08	90.38	iso 8	20
	C.2.6.03	P A/L IBC Dolum	30-60	22	20	2.5	1.64	3	4.10	12.30	iso 8	20
	C.2.6.04	M A/L IBC Dolum	30-60	22	20	2.5	2.34	3	5.85	17.55	iso 8	20
	C.2.6.05	IBC Dolum Odası	30-60	22	15	5.9	4.03	4.5	23.78	107.00	iso 8	20
	C.2.6.06	P A/L Granülasyon	30-60	22	20	2.5	1.18	3	2.95	8.85	iso 8	20
	C.2.6.07	M A/L Granülasyon	30-60	22	20	2.49	2.29	3	5.70	17.11	iso 8	20
	C.2.6.08	Granülasyon Odası	30-60	22	15			4.5	56.04	252.20	iso 8	20
	C.2.6.16	Granülasyon A/L	30-60	22	10	1.34	2.69	3	3.60	10.81	iso 8	20
	C.2.6.15	Solüsyon Hazırlık	30-60	22	5	1.63	2.45	3	3.99	11.98	iso 8	20
	C.2.6.10	P A/L Kaplama	30-60	22	20	2.5	1.12	3	2.80	8.40	iso 8	20
	C.2.6.11	M A/L Kaplama	30-60	22	20	2.5	2.42	3	6.05	18.15	iso 8	20
	C.2.6.12	Kaplama Odası	30-60	22	15	3.18	5.23	4.5	16.63	74.84	iso 8	20
	C.2.6.14	Malzeme Odası	30-60	22	5	1.98	1.31	3	2.59	7.78	iso 8	20
	C.2.7.01	P A/L Kapsül Dolum	30-60	22	20	2.6	1.49	3	3.87	11.62	iso 8	20
	C.2.7.02	M A/L Kapsül Dolum	30-60	22	20	2.5	2.26	3	5.65	16.95	iso 8	20
	C.2.7.03	Kapsül Dolum Odası	30-60	22	15	5.07	4.02	4.5	16.39	73.77	iso 8	20
	C.2.7.11	Kapsül Dolum A/L	30-60	22	10	1.8	1.69	3	3.04	9.13	iso 8	20
	C.2.7.07	P A/L Tablet 2	30-60	22	20	2.5	1.25	3	3.13	9.38	iso 8	20
	C.2.7.08	M A/L Tablet 2	30-60	22	20	2.5	2.25	3	5.63	16.88	iso 8	20
	C.2.7.09	Tablet Baskı 2 Odası	30-60	22	15			4.5	15.07	67.83	iso 8	20
	C.2.7.12	Tablet Baskı 2 A/L	30-60	22	10	1.8	1.69	3	3.04	9.13	iso 8	20
	C.2.5.06	Ofis	30-60	22	5	2.51	3.41	3	8.56	25.68	iso 8	20
	C.2.5.07	IPC Lab	30-60	22	5	3.01	5.31	3	15.98	47.95	iso 8	20
		TOPLAM							234.55	925.64		

Ek-B- Hava şartlandırma ünitesi 1 hava debilerinin belirlenmesi:

MAHAL BİLGİSİ			ISIL YÜKLER						HAVA DEBİLERİ										
Santral No	ODA NO	ODA ADI	İnsan Yükünden Isı Kazancı	Aydınlatma Isı Kazancı (24 W/ m ²)	İletim Isı Kazancı (24W/ m ²)	Makine Isı Kazancı		Oda Duy. Isı Kazancı ODI	Δt	Hesaplanan Hava Debisi	Hesaplanan Değişim Sayısı	Min. Değişim Sayısına Göre Hava Debisi	Kabul Edilen Oda Giriş Hava Debisi	Kabul Edilen Çevrim Sayısı	Odaya Giren Hava Debisi	Odadan Çıkan Hava Debisi	Oda Egzos Hava Debisi	Taze hava miktarı V	Oda Dönüş Havası Debisi
			W	W	W	Kw	W	W	°C	m ³ /h	1/h	m ³ /h	m ³ /h	1/h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
HAVA ŞARTLANDIRMA ÜNİTESİ-1 (Hiyen)	C.2.6	GRANÜLASYON																	
	C.2.6.01	Mikser Odası	65	482	482	1	400	1,429	10	420	5	1,808	2000	22.13	530			80	2,530
	C.2.6.03	P A/L IBC Dolum	65	98	98			262	10	77	6	246	250	20.33	80	80		16	250
	C.2.6.04	M A/L IBC Dolum	65	140	140			346	10	102	6	351	350	19.94	200	200		23	350
	C.2.6.05	IBC Dolum Odası	65	571	571	4	1,600	2,806	10	825	8	2,140	2200	20.56	280	250		95	2,230
	C.2.6.06	P A/L Granülasyon	65	71	71			207	10	61	7	177	200	22.60	80	80		12	200
	C.2.6.07	M A/L Granülasyon	65	137	137			339	10	100	6	342	350	20.46	200	200		23	350
	C.2.6.08	Granülasyon Odası	65	1,345	1,345	3	1,000	3,755	10	1,104	4	5,044	5200	20.62	280	80		224	5,400
	C.2.6.16	Granülasyon A/L	65	87	87			238	10	70	6	216	300	27.74	160	160		14	300
	C.2.6.15	Solüsyon Hazırlık	65	96	96			257	10	75	6	240	300	25.04	80		100	16	280
	C.2.6.10	P A/L Kaplama	65	67	67			199	10	59	7	168	200	23.81	80	80		11	200
	C.2.6.11	M A/L Kaplama	65	145	145			355	10	105	6	363	400	22.04	200	200		24	400
	C.2.6.12	Kaplama Odası	65	399	399	3	1,000	1,863	10	548	7	1,497	1500	20.04	280	80		67	1,700
	C.2.6.14	Malzeme Odası	65	62	62			190	10	56	7	156	200	25.70	180			10	380
	C.2.7.01	P A/L Kapsül Dolum	65	93	93			251	10	74	6	232	300	25.81	80	80		15	300
	C.2.7.02	M A/L Kapsül Dolum	65	136	136			336	10	99	6	339	400	23.60	200	200		23	400
	C.2.7.03	Kapsül Dolum Odası	65	393	393	5	2,000	2,852	10	839	11	1,475	1600	21.69	280	200		66	1,680
	C.2.7.11	Kapsül Dolum A/L	65	73	73			211	10	62	7	183	200	21.92	200	200		12	200
	C.2.7.07	P A/L Tablet 2	65	75	75			215	10	63	7	188	200	21.33	80	80		13	200
	C.2.7.08	M A/L Tablet 2	65	135	135			335	10	99	6	338	350	20.74	200	200		23	350
	C.2.7.09	Tablet Baskı 2 Odası	65	362	362	8	3,000	3,788	10	1,114	16	1,357	1400	20.64	280	200		60	1,480
	C.2.7.12	Tablet Baskı 2 A/L	65	73	73			211	10	62	7	183	200	21.92	200	200		12	200
	C.2.5.06	Ofis	65	205	205	1	200	676	10	199	8	514	550	21.42	180			34	730
	C.2.5.07	IPC Lab	65	384	384	2	600	1,432	10	421	9	959	1000	20.86	180			64	1,180
		TOPLAM	1,495	5,629	5,629	25	9,800	22,553		6,633		18,513	19,650		4,510	2,770		938	21,290

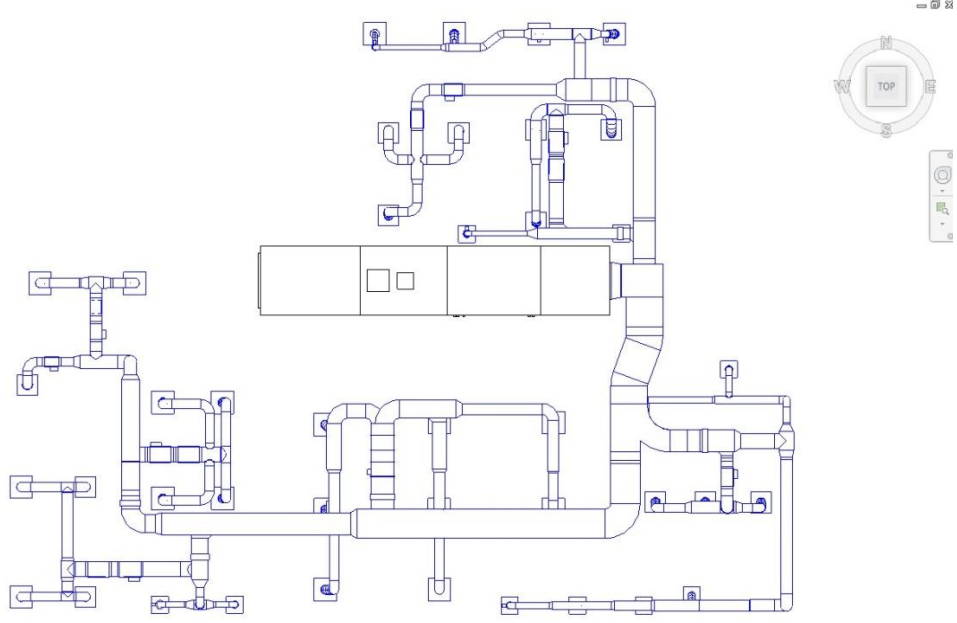
Ek-C- Hava şartlandırma ünitesi-1-Tek kanatlı damper kullanılarak akustik hesap tablosu:

	HVAC AKUSTİK HESAP															
	Devre Elemanı	BRANŞMAN HATTI			ANA HAT					Frekans (Hz)						
		Debi	Genişlik	Yükseklik	Debi	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik								
		m3/h	m	m	m3/h	m	m	m		63	125	250	500	1000	2000	4000
1	FAN	-	-	-	-	-	-	-	Ses üretimi (dB)	80	83	87	86	84	80	75
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	80	83	87	86	84	80	75
2	90° DİRSEK	-	-	-	19650	-	1	0.9	Ses üretimi (dB)	54	45	37	31	23	17	12
									Ses yutumu (dB)	0	-7	-12	-14	-16	-18	-18
									Ara toplam (dB)	80	76	75	72	68	62	57
3	DÜZ KANAL	-	-	-	19650	0.8	1	0.9	Ses üretimi (dB)	43	40	37	32	27	22	14
									Ses yutumu (dB)	-1	-1	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	79	75	75	72	68	62	57
4	T-AYRIM	4650	0.6	0.5	19650	-	1	0.8	Ses üretimi (dB)	44	33	25	19	12	5	2
									Ses yutumu (dB)	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
									Ara toplam (dB)	73	69	69	66	62	56	51
5	DARALMA	-	-	-	4650	0.5	0.6	0.5	Ses üretimi (dB)	51	51	42	38	30	22	20
									Ses yutumu (dB)	-1	-1	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	72	68	69	66	62	56	51
6	90° DİRSEK	-	-	-	4650	-	0.6	0.5	Ses üretimi (dB)	38	28	20	14	7	0	0
									Ses yutumu (dB)	0	0	-7	-12	-14	-16	-18
									Ara toplam (dB)	72	68	62	54	48	40	33
7	T-AYRIM	2000	0.3	0.45	4650	-	0.6	0.5	Ses üretimi (dB)	33	32	22	17	10	7	1
									Ses yutumu (dB)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
									Ara toplam (dB)	69	65	59	51	45	37	30
8	DÜZ KANAL	-	-	-	2000	0.2	0.3	0.45	Ses üretimi (dB)	18	12	9	4	0	0	0
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	69	65	59	51	45	37	30
9	MANUEL DAMPER	-	-	-	-	-	-	-	Ses üretimi (dB)	14	16	16	14	7	0	0
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	69	65	59	51	45	37	30
10	T-AYRIM	200	0.11	0.11	2000	0.2	0.3	0.45	Ses üretimi (dB)	25	29	32	35	36	38	31
									Ses yutumu (dB)	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
									Ara toplam (dB)	58	54	48	41	38	38	31
11	DÜZ KANAL	-	-	-	200	1.5	0.11	0.11	Ses üretimi (dB)	19	12	9	4	0	0	0
									Ses yutumu (dB)	-1	-1	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	57	53	48	41	38	38	31
12	ELEKTRONİK TEK KANATLI DAMPER	-	-	-	-	-	-	-	Ses üretimi (dB)	55	53	38	17	15	15	15
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	59	56	49	41	38	38	31
13	DÜZ KANAL	-	-	-	200	0.2	0.11	0.11	Ses üretimi (dB)	19	12	9	4	0	0	0
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	59	56	49	41	38	38	31
14	FLEX KANAL	-	-	-	200	0.2	0.11	0.11	Ses üretimi (dB)	44	27	24	19	12	9	0
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	59	56	49	41	38	38	31
15	FİLTRE	-	-	-	-	-	-	-	Ses üretimi (dB)	19	13	15	12	11	15	16
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	59	56	49	41	38	38	32
16	MAHAL	-	-	-	-	-	-	-	Ses üretimi (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ses yutumu (dB)	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
									Ara toplam (dB)	55	51	43	34	30	29	22
TOPLAM:								RC: 31		55	51	43	34	30	29	22

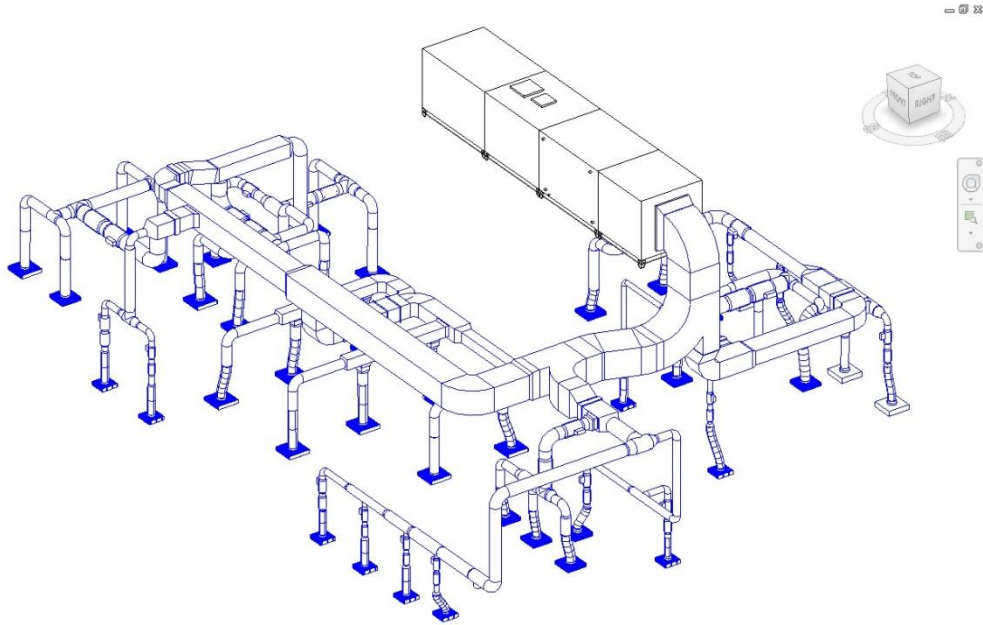
Ek-D- Hava şartlandırma ünitesi-1-Ventüri valf kullanılarak akustik hesap tablosu:

HVAC AKUSTİK HESAP																
	Devre Elemanı	BRANŞMAN HATTI			ANA HAT					Frekans (Hz)						
		Debi	Genişlik	Yükseklik	Debi	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik								
		m3/h	m	m	m3/h	m	m	m		63	125	250	500	1000	2000	4000
1	FAN	-	-	-	-	-	-	-	Ses üretimi (dB)	80	83	87	86	84	80	75
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	80	83	87	86	84	80	75
2	90° DİRSEK	-	-	-	19650	-	1	0.9	Ses üretimi (dB)	54	45	37	31	23	17	12
									Ses yutumu (dB)	0	-7	-12	-14	-16	-18	-18
									Ara toplam (dB)	80	76	75	72	68	62	57
3	DÜZ KANAL	-	-	-	19650	0.8	1	0.9	Ses üretimi (dB)	43	40	37	32	27	22	14
									Ses yutumu (dB)	-1	-1	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	79	75	75	72	68	62	57
4	T-AYRIM	4650	0.6	0.5	19650	-	1	0.8	Ses üretimi (dB)	44	33	25	19	12	5	2
									Ses yutumu (dB)	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
									Ara toplam (dB)	73	69	69	66	62	56	51
5	DARALMA	-	-	-	4650	0.5	0.6	0.5	Ses üretimi (dB)	51	51	42	38	30	22	20
									Ses yutumu (dB)	-1	-1	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	72	68	69	66	62	56	51
6	90° DİRSEK	-	-	-	4650	-	0.6	0.5	Ses üretimi (dB)	38	28	20	14	7	0	0
									Ses yutumu (dB)	0	0	-7	-12	-14	-16	-18
									Ara toplam (dB)	72	68	62	54	48	40	33
7	T-AYRIM	2000	0.3	0.45	4650	-	0.6	0.5	Ses üretimi (dB)	33	32	22	17	10	7	1
									Ses yutumu (dB)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
									Ara toplam (dB)	69	65	59	51	45	37	30
8	DÜZ KANAL	-	-	-	2000	0.2	0.3	0.45	Ses üretimi (dB)	18	12	9	4	0	0	0
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	69	65	59	51	45	37	30
9	MANUEL DAMPER	-	-	-	-	-	-	-	Ses üretimi (dB)	14	16	16	14	7	0	0
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	69	65	59	51	45	37	30
10	T-AYRIM	200	0.11	0.11	2000	0.2	0.3	0.45	Ses üretimi (dB)	25	29	32	35	36	38	31
									Ses yutumu (dB)	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
									Ara toplam (dB)	58	54	48	41	38	38	31
11	DÜZ KANAL	-	-	-	200	1.5	0.11	0.11	Ses üretimi (dB)	19	12	9	4	0	0	0
									Ses yutumu (dB)	-1	-1	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	57	53	48	41	38	38	31
12	ELEKTRONİK VENTURİ VALF	-	-	-	-	-	-	-	Ses üretimi (dB)	45	45	40	35	20	20	20
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	57	54	49	42	38	38	32
13	DÜZ KANAL	-	-	-	200	0.2	0.11	0.11	Ses üretimi (dB)	19	12	9	4	0	0	0
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	57	54	49	42	38	38	32
14	FLEX KANAL	-	-	-	200	0.2	0.11	0.11	Ses üretimi (dB)	44	27	24	19	12	9	0
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	58	54	49	42	38	38	32
15	FİLTRE	-	-	-	-	-	-	-	Ses üretimi (dB)	19	13	15	12	11	15	16
									Ses yutumu (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ara toplam (dB)	58	54	49	42	38	38	32
16	MAHAL	-	-	-	-	-	-	-	Ses üretimi (dB)	0	0	0	0	0	0	0
									Ses yutumu (dB)	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
									Ara toplam (dB)	54	49	43	35	30	29	22
TOPLAM:								RC: 32	54	49	43	35	30	29	22	

Ek-E- Hava şartlandırma ünitesi 1- plan görünüşü:



Ek-F- Hava şartlandırma ünitesi 1- üç boyutlu görünüşü:



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Hasan Semih Arslan
Doğum Yeri ve Tarihi : Beşiktaş/İstanbul , 08/12/91
E-Posta : sarslan@normmekanik.com,
semiharslan7@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi,
Makina Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2010-2015 Norm Mekanik Tesisat Ltd. Şti.