



**T.C. İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HASTANE KLİMA SANTRALLERİNİN AHP VE TOPSIS
YÖNTEMLERİ İLE SEÇİMİ**

M. Benan YAZICIOĞLU

Danışman Prof. Dr. Oğuz BORAT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İSTANBUL - 2019**

KABUL VE ONAY SAYFASI

M. Benan YAZICIOĞLU tarafından hazırlanan "HASTANE KLİMA SANTRALLERİNİN AHP VE TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE SEÇİMİ" adlı tez çalışması 05/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Oğuz BORAT

İstanbul Ticaret Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. B. Gültekin ÇETİNER

Marmara Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Berk AYVAZ

İstanbul Ticaret Üniversitesi



Onay Tarihi : 11. 02. 2019



Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK
Enstitü Müdürü

**AKADEMİK VE ETİK KURALLARA
UYGUNLUK BEYANI**

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tez herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04.12.2018

M. Benan AZICIOĞLU

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| İÇİNDEKİLER..... | i |
| ÖZET | ii |
| ABSTRACT | iii |
| TEŞEKKÜR..... | iv |
| ŞEKİLLER..... | v |
| ÇİZELGELER..... | vi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | vii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ..... | 11 |
| 2.1 Ön Tasarım | 15 |
| 2.2 Klima Santrallerinin Çalışanlara ve Hastalara Etkisi | 23 |
| 2.3 Temiz Oda Standartları | 26 |
| 3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ | 36 |
| 3.1 COPRAS Yöntemi..... | 41 |
| 3.2. ELECTRE Yöntemi | 43 |
| 3.3 PROMETHEE Yöntemi | 46 |
| 3.4 VIKOR Yöntemi | 49 |
| 3.5. AHP Yöntemi | 52 |
| 3.6. TOPSIS Yöntemi..... | 56 |
| 4. HASTANE KLİMA SANTRALİ SEÇİMİ | 67 |
| 4.1 AHP Yöntemiyle Klima Santrali Seçimi | 68 |
| 4.2 Yatırım Yönünden İkili Karşılaştırma | 69 |
| 4.3 Debi Yönünden İkili Karşılaştırma..... | 70 |
| 4.4 Kütle Yönünden İkili Karşılaştırma | 70 |
| 4.5 Kapasite Yönünden İkili Karşılaştırma..... | 71 |
| 4.6 Gürültü Yönünden İkili Karşılaştırma | 71 |
| 4.7 AHP Yöntemiyle Seçim Sonucu | 72 |
| 4.7 TOPSIS Yöntemiyle Klima Santrali Seçimi | 72 |
| 4.7.1. V Ağırlıklı Normalize Matris | 73 |
| 4.7.2. Çözüm Değerleri | 74 |
| 4.7.3. Pozitif İdeal Ayırım Ölçüleri..... | 74 |
| 4.7.4. Negatif İdeal Ayırım Ölçüleri | 74 |
| 4.7.5 Ayırım Ölçüleri ve Rank..... | 75 |
| 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME..... | 76 |
| KAYNAKLAR | 79 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 84 |

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HASTANE KLİMA SANTRALLERİNİN AHP VE TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE SEÇİMİ

M. Benan YAZICIOĞLU

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Oğuz BORAT

2019, 94 sayfa

Hastanelerde ortam koşullarının uygun bir aralıkta tutulması için iklim bölgelerine göre ısıtma, soğutma veya her ikisi gerekli olmaktadır. İnsan sağlığı için hastanelerdeki hijyenik ortamların sağlanması çok önemli hale geldi. Hastane çalışanlarının ve hastaların rahat çalışabilmesi için sıcaklık, nem, aydınlatma ve gürültü gibi faktörlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Yoğun bakım odaları 24-27°C sıcaklık ve %30-60 nem değerine sahip olmalıdır. Çok düşük nemler ise cilt kuruluğuna sebep olmakta ve hastaların fenalaşmasına yol açmaktadır. Bazen acil servislerde hipotermik vakaların tedavisinde sıcaklığın 32°C'de sabit tutulması istenebilir. Sağlık klima sistemleri büyük hacim gerektirmektedir. Bu yüzden bina tasarım sürecinde temel kavramların ilk tasarım geliştirilmesi aşamasında öncelik bulunmaktadır. Bina mimarisi ve inşaat planlamasında mümkün olan en erken zamanda bazı konularda birlikte çalışılmalıdır. Hastane klima santralleri sağlık mahallerinde konfor koşullarının sağlanması, hava kalitesinin korunması, hava yoluyla bulaşan enfeksiyonların azaltılması, koku kontrolü ve dumanın uzaklaştırılması fonksiyonlarını yerine getirmektedir. Hava değişim oranı, sıcaklık, nem ve filtreleme için hastanelerin çeşitli yerlerinde tasarım standartlarına göre uygulama yapılmaktadır. Hastane klima santrali diğer binalarda bulunanlara göre daha fazla parça gerektirmektedir. Bir klima santrali çevre konforu sağlama ve tesis havalandırması gibi birçok fonksiyonu aynı anda yerine getirir. Havalandırma ihtiyacını karşılamak için dış havayı içeri alma, bu hava ile iç havanın karıştırılması, ekipmanı korumak için filtreleme, nem kontrolü, bulaşıcıların uzaklaştırılması, fan gürültüsünü azaltarak çevre gürültü seviyesini kontrol etmek bu fonksiyonlardandır. Hastane ameliyathaneleri, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde her vakit temiz odalar gerekli olmaktadır. Mikrometre mertebesinde bir toz insan sağlığına olumsuz etki yapabilmektedir. Hastane klima santrali seçimini gerçekleştirmek için AHP ve TOPSIS yöntemleri tercih edildi. Kriterler olarak yatırım, hava debisi, klima santralinin kütlesi ve gürültü düzeyi ele alındı ve mevcut 5 seçenekten en uygun olan hastane klima santrali seçildi.

Anahtar Kelimeler: AHP yöntemi, hastane klima santralleri, karar verme, temiz odalar, TOPSIS yöntemi.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SELECTION OF HOSPITAL AIR HANDLING UNITS WITH AHP AND TOPSIS METHODS

M. Benan YAZICIOĞLU

**İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Industrial Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Oğuz BORAT

2019, 94 pages

Hospitals require heating, cooling, or both, depending on climate zones, to keep ambient conditions within a reasonable range. Factors such as temperature, humidity, lighting and noise must be assessed in order for hospital staff and patients to work comfortably. It is recommended to keep the intensive care units at 24-27°C temperature, 30-60% relative humidity and positive pressure. Very low moisture causes skin irritation and leads to the worsening of the patients. Healthcare air conditioning systems require large volumes. That is why it is urgent to develop the initial design of the design concepts in the building design process. Building architecture and construction planning should work together on some issues as early as possible. Hospital air-conditioning plants fulfill the functions of providing comfort conditions in health places, protection of air quality, reduction of airborne infections, odor control and smoke removal. Application is made according to design standards in various places of hospitals for air exchange rate, temperature, humidity and filtration. The hospital air handling unit requires more parts than other buildings. Air conditioning systems in the health sector operate on a 7/24 basis, are subject to strict standards and have a long life span. An air handling unit fulfills many functions, such as providing environment comfort and facility ventilation. These functions are to control the ambient noise level by introducing outside air to meet the ventilation requirement, mixing air with indoor air, filtering to protect equipment, controlling humidity, removing contaminants, reducing fan noise. Clean rooms are required every time in hospitals operating rooms, pharmaceuticals and cosmetics industries. In the micrometer range, a dust can adversely affect human health. AHP and TOPSIS methods were applied to the selection of hospital air handling units. As the criterion, the most appropriate hospital air handling unit was selected from the 5 alternative air handling units by taking into account the investment, the air flow rate, the mass of the air handling unit, and the noise level.

Keywords: AHP method, clean rooms, decision making, hospital air handling units, TOPSIS method

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlendiren, karşılaştığım zorlukları engin bilgi ve tecrbesi ile aşmamda yardımcı olan Danışman Hocam Prof. Dr. Oğuz Borat'a en kalbi teőekkrlerimi arz ederim.

Araştırmalarımnda yardımcı olan Endüstri Mhendisliği Blm elemanlarına teőekkr ederim.

Bana destek olan aileme minnet duygularımı belirtmek isterim.

M. Benan YAZICIOğLU
İSTANBUL, 2019



ŞEKİLLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 2.1. Bir klima santralinin elemanları (ASHRAE, 2013)..... | 14 |
| Şekil 2.2. Klima santralinin kontrolü (ASHRAE, 2013)..... | 17 |
| Şekil 2.3. Solunum sistemi (Davies ve Moores, 2010, e-okulbilgi, 2018)..... | 23 |
| Şekil 2.4. (a) bacillus, (b) coccus, (c) spirillum bakterileri ve mantar..... | 25 |
| Şekil 2.5. Bir temiz oda (Yazıcıoğlu ve Borat, 2018). | 27 |
| Şekil 2.6. Bir HEPA filtre kesiti (Whyte, 2010, Wikipedia 18.11.2018). | 33 |
| Şekil 3.7. Çok kriterli karar verme yöntemleri (Zhao vd 2016, Mirjat vd, 2018) | 38 |
| Şekil 3.8 Bilgi isteme durumuna göre çok kriterli karar verme yöntemleri (Mojtaba vd, 2016)..... | 39 |
| Şekil 3.9 İdeal çözüm ve ideal olmayan çözüm (Özdemir, 2014). | 56 |
| Şekil 4.10. Hastane klima santrali seçiminde hiyerarşik yapı. | 68 |



ÇİZELGELER

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 2.1. Klima santrallerinin gürültü değerleri. | 14 |
| Çizelge 2.2. Hastanelerde inşaat alanı ile yatak sayısı (Gonzales vd. 2018) ... | 15 |
| Çizelge 2.3. Temiz oda sınıflarında parçacık/m ³ olarak konsantrasyon değerleri (Yazıcıoğlu ve Borat, 2018). | 28 |
| Çizelge 2.4. Temiz odaların zorunlu test sıklığı (ISO 14644-2). | 28 |
| Çizelge 2.5. Temiz odaların hava değişim oranları (Terra Universal, 2012).. | 28 |
| Çizelge 2.6. Temiz odalar için ISO standartları. | 29 |
| Çizelge 2.7. İnsanın ürettiği parçacık sayısı (Yazıcıoğlu ve Borat, 2018). | 31 |
| Çizelge 3.8. PROMETHEE matris düzeni..... | 47 |
| Çizelge 3.9. Tercih Fonksiyonları (Dağdeviren ve Eraslan, 2008) | 48 |
| Çizelge 3.10. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisinin yapısı..... | 55 |
| Çizelge 3.11. Rasgele Tutarlılık İndeksi (Saaty, 1980). | 56 |
| Çizelge 4.12. Firmaların klima santrali özellikleri. | 67 |
| Çizelge 4.13. Karar kriterlerinin ikili karşılaştırılması | 68 |
| Çizelge 4.14. Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi..... | 69 |
| Çizelge 4.15. Yatırım yönünden ikili karşılaştırma. | 69 |
| Çizelge 4.16. Debi yönünden ikili karşılaştırma. | 70 |
| Çizelge 4.17. Kütle yönünden ikili karşılaştırma..... | 70 |
| Çizelge 4.18. Kapasite yönünden ikili karşılaştırma | 71 |
| Çizelge 4.19. Gürültü yönünden ikili karşılaştırma | 71 |
| Çizelge 4.20. Karar seçeneklerinin rank değerleri..... | 72 |
| Çizelge 4.21. TOPSIS için klima santralleri kriterleri. | 72 |
| Çizelge 4.22. TOPSIS normalize edilmiş R matrisi..... | 73 |
| Çizelge 4.23. V ağırlıklı normalize matris..... | 73 |
| Çizelge 4.24. İdeal çözüm kümesi ve negatif ideal çözüm kümesi..... | 74 |
| Çizelge 4.25. Pozitif ideal ayırım ölçüleri | 74 |
| Çizelge 4.26. Negatif ideal ayırım ölçüleri..... | 74 |
| Çizelge 4.27. Ayırım Ölçüleri ve Rank..... | 75 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|-----------------------------------|---|
| AHP | Analitik Hiyerarşi Süreci, Analytic Hierarchy Process |
| ASHRAE | Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers |
| CFU | Koloni oluşturan birim, colony forming unit |
| COPRAS | Alternatiflerin Karmaşık Orantılı Değerlendirmesi, Complex Proportional Assessment |
| ÇKKV | Çok Kriterli Karar Verme, Multi-Criteria Decision Making |
| DOD | Birleşik Devletler Savunma Bakanlığı, US Department of Defense |
| ECDC | Avrupa Hastalık Önleme ve Kontrol Merkezi, European Centre for Disease |
| NHSN | Ulusal Sağlık Güvenliği, Ağı, National Healthcare Safety Network |
| ELECTRE | Eliminasyon ve Seçme Çeviri Algoritması, Elimination and Choice Translating Algorithm |
| FGI | Tesis Kuralları Enstitüsü, Facility Guidelines Institute |
| HVAC | Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme, Heating, Ventilating, and Air Conditioning |
| ISO | Uluslararası Standartlaştırma Örgütü, International Organization for Standardizations |
| PM | Parçacık madde, particulate matter |
| PROMETHEE | Değerlendirmelerin Zenginleştirilmesi İçin Tercih Sıralaması, Preference Ranking Organization Method For Enrichment of Evaluations |
| RI | Rastgele tutarlılık indeksi, random consistency index |
| TI | Tutarlılık indeksi, consistency index |
| TO | Tutarlılık oranı, consistency ratio |
| TOPSIS | İdeal Çözüme Öncelik Sıralaması ile Benzerlik Tekniği, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution |
| VAV | Değişken-hava -hacim, variable-air-volume |
| VIKOR | Vize Kriterleri Optimizasyonu ve Ticari Çözümleri, VlseKriterijuska Optimizacijal Komoromisno Resenje |
| WHO | Dünya Sağlık Örgütü, World Health Organization |
| n | Matrisin mertebesi, matrix order |
| λ_{max} | Matristeki en büyük özdeğer, maximum eigen value |

1. GİRİŞ

Bu tezde hastanelerde kullanılan klima santralleri tasarımları ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile klima santrali seçimi incelenmektedir. Klima santralleri pazarı uygulama alanı (ticari ve konut), tür (ambalajlı, modüler ve özel) ve kapasiteye (5001-15000 m³/h, 15001-30000 m³/h, 30001-50000 m³/h) bağlı olarak verilmektedir. Pazarın 2026'da, 2016 yılına göre %5,7 artarak 12,91 milyar \$/yıl seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir (marketsandmarkets, 2018). Dünya klima talebi 2017 yılında bir önceki yıla göre %8,1 artarak 110,56 milyon üniteye ulaştı. Türkiye'de talep 2016'da 790 bin ünite ve 2017 yılında 839 bin ünite oldu (JRAIA, 2018). Ticari binalar, endüstri binaları, hastaneler, üniversiteler, veri merkezleri, laboratuvarlar ve sunucu odaları gibi sektörler bu pazarın büyümesini desteklemektedir. Önemli klima santrali imalatçıları arasında şunlar bulunmaktadır: Carrier Corporation, Dalkin Industries, LG and Samsung, Haier, Midea, Gree and Chigo, Trane, York, Wolf GmbH, GEA Ait Traetment, Sbaiana ve BPS CLIMA. Hastanelerde ortam koşullarının uygun bir aralıkta tutulması için iklim bölgelerine göre ısıtma, soğutma veya her ikisi gerekli olmaktadır.

İnsan sağlığı için hastanelerde hijyenik ortamların sağlanması çok önemli hale geldi. Hastane enfeksiyonları Norveç'te 132 milyon dolar ve İngiltere'de 1,7 milyar dolar ek maliyete sebep oldu. Hastane enfeksiyonu sebebiyle gerçekleşen ölümlerin ABD bütçesi üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Bu harcamaların 1,6 milyar dolarlık kısmı ameliyat bölgesinde oluşan enfeksiyonlardan oluşmaktadır. Bu enfeksiyonlar sonucu ABD'de yılda tahmini olarak 19 bin insan hayatını kaybetmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) verilerine göre tüm dünyada 1,4 milyon insan hastane enfeksiyonu yüzünden rahatsızlık çekmektedir. Avrupa'da akut bakım hastanelerine yatan hastaların %7'sinde hastane enfeksiyonu gelişmektedir. Hastane enfeksiyonlarına bağlı ölümler 37 000 kişinin doğrudan ölümü 110 000 kişinin dolaylı olarak ölümü hastane enfeksiyonları için yıllık 7 milyar Euro sağlık harcamasına yol açtı (ECDC, 2008). Hastane enfeksiyonlarıyla ilgili ilk çalışmalar 1965-1966 yıllarında ABD'de, CDC (Centers for Disease Control and Prevention, Hastalık Kontrol ve

Önleme Merkezleri) bünyesinde yapıldı. 1970'li yıllarda National Nosocomial Infections Surveillance (NNIS) sistemi sürveyans (surveillance, verilerin sistematik olarak toplanması ve işlenmesi) verilerini toplayarak yayınlamaya başladı. 2005 yılında, NNIS yeniden organize edilerek ismi NHSN (National Healthcare Safety Network) yapıldı.

Türkiye'de 1974 yılında çıkarılan ve sadece eğitim hastanelerini ilgilendiren Tababet Uzmanlık Yönetmeliği'nde "Enfeksiyon Komitesi" başlığı altında iki yönetmelik maddesi ile 1983 yılında çıkarılan Yataklı Tedavi Kurumları İşletme Yönetmeliği'nde, Yataklı Tedavi Kurumları İçerisinde Enfeksiyonlardan Korunma Hizmetleri başlığında iki yönetmelik maddesi ile resmi çalışmalar başladı.

Hastaneye yattıktan 48 saat sonra veya taburcu olduktan sonra ilk 10 gün içinde gelişen enfeksiyonlar hastane enfeksiyonu olarak kabul edilmektedir. 11.08.2005 tarihli ve 25903 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Yataklı Tedavi Kurumları Enfeksiyon Kontrol Yönetmeliği ile hastanelerde Enfeksiyon Kontrol Komiteleri oluşturuldu. Böylece sterilizasyon, antisepsi ve dezenfeksiyon işlemlerinin ilkeleri ve dezenfektanların seçimi ile ilgili standartlar belirlenerek, standartlara uygun kullanım denetlenmektedir. Hastane enfeksiyon kontrolü maliyet artışı yanında hayat kalitesinde bozulma, morbidite artışı (morbidity, hastalığa tutulmuş ama hayatta kalmış olan hastaların hastalık sonucu ölmüş insanlara oranı), hastanede kalış süresinde uzama, iş gücü ve üretkenlik kaybı gibi olumsuzluklara yol açmaktadır (WHO, 2002, Yalçın 2008, İnan, 2018).

Hastane çalışanlarının ve hastaların rahat çalışabilmesi için sıcaklık, nem, aydınlatma ve gürültü gibi faktörlerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Klima santrali imal eden firmalar tarafından teknik özellikler kataloglarda standartlara uygun olarak açıklamakta, kullanıcılar seçimlerini bunlara göre yapmaktadır. Burada çok kriterli karar verme problemi ortaya çıkmaktadır. Santralin fiyatı, hava debisi, hava hızı, ağırlığı, kapasitesi ve gürültü seviyesi gibi faktörler seçimi karmaşık hale getirmektedir. En uygun santralin seçiminde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin uygulanması kolaylık sağlamaktadır.

Klima Santrali Türleri

Fan coillar/ fan serpantinleri en küçük ve en basit klima santrali kategorisidir ve isimlerden de anlaşılacağı gibi, bunlar genellikle bir fan ve bir ısı transfer serpantini içerir. Serpantinlerin çok çabuk kirlenmesini önlemek için basit bir filtre de bulunur. Genelde basit denetleyiciye sahiptirler ve tek bir sıcaklık bölgesine hizmet ederler. Uygulamalara sahip olmalarına rağmen, daha büyük klima santrallerine göre genellikle daha düşük verimlidirler. Ayrıca daha iyi sıcaklık ve nem kontrolü sağlamada zorluk vardır.

Paket klima santralleri, küçük binalarda ve ticari uygulamalarda, özellikle çatı üniteleri olarak çok yaygındır. Paket üniteler genellikle tek bir muhafaza içinde fanlar, serpantinler, filtreler ve damperler içerir. Çoğu zaman muhafaza kendi klima kompresörlerini ve gaz brülörleri, elektrikli ısıtma bobinleri veya ısı pompası serpantinleri gibi ısıtma araçlarını içerir. Genellikle tek sıcaklık bölgelerine hizmet verirler, ancak çoklu terminal bölgelerine hizmet veren büyük değişken hava hacmi (VAV) klima santralleri de mevcuttur. VAV sistemleri tüm dünyada geleneksel sabit hacimli (CAV) sistemlere göre enerji tasarrufu sağladıkları için giderek daha fazla kullanılmaktadır. VAV sistemleri merkezi bir hava işleme ünitesi ile birlikte çalışırken havası koşullandırılan ortamda ısı değiştirici ve sesli çalışan fanlara gerek kalmaz. VAV sistemi soğutma ihtiyacına göre besleme havasının miktarını, hassas hava akış sensörleri ile kontrol eder ve değiştirir. Bu tip hava çıkış ünitelerine VAV terminali, VAV kutusu veya VAV ünitesi de denilmektedir.

VAV teknik özellikleri aşağıda verilmektedir:

- Çok esnek, ancak açık plan hacimler için idealdir.
- Operasyon ve bakım konusunda çok fazla endüstri tecrübesine sahip endüstri standardı teknolojidir.
- İyi kontrol edildiğinde ve bakım yapıldığında yüksek verimlilikte çalışma sağlanır.

- Klima santralleri, serbest soğutma için dışarıdaki havanın kullanımı için yapılandırılabilir.
- Yüksek bileşen sayısı ve kontrole olan ağır bağımlılık, sistemi, çalışanların konforunu da etkileyebilecek enerji yoğun arıza modlarına eğilimli yapabilir.
- Çok katlı büyük klima sistemleri aşırı derecede yüksek veya düşük yüklerde yeterince hizmet yapmakta zorlanabilir.
- Çok katlı büyük klima sistemleri mesai sonrası yüklerle hizmet ederken genellikle daha az verimlidir.
- Sistemin verimli çalışması için VAV kutusunda basınç kayıpları düşük olmalıdır.
- Odanın tavanına yerleştirileceği için, konfor koşulları bakımından ses seviyesinin olabildiğince düşük olması beklenir.
- Yer durumu ve yerleştirme kolaylığı için boyutları küçük olmalıdır.
- Damper kanatlarının şekli önemlidir. Oval biçimli damper kanatları doğrusal kontrol karakteristiği için uygundur.
- Bazı durumlarda ek ısıtma bataryası bulunan hava dağıtım kutusu önerilmektedir (Alarko, 2013, Better Buildings Partnership, 2015).

Paketlenmiş üniteler kompakt olmaları ve düşük başlangıç maliyetleri nedeniyle ün kazanmıştır. Hava akışı ve dolayısıyla soğutma miktarı her ortam için ayrı kontrol edilebilir. Bunlarda performans ve güvenilirlik yüksektir. Birkaç 30 bin m³/min'dan 900 bin m³/min'ya kadar olan debilerde mevcuttur, ancak bazı uygulamalarda standartlaştırmaları sınırlanabilir.

Modüler klima santralleri, kullanıcıların tutarlı yapıya ve kesitlere sahip modüllerde bulunan bireysel bileşenleri seçmelerine izin verir. Kullanıcı, çeşitli seçeneklerden kılıfların, fanların, filtrelerin, serpantinlerin ve aksesuarların türünü seçebilir. Modüller fabrikada monte edilir veya tek tek gönderilebilir ve

yerinde monte edilebilir. Modüler üniteler genellikle büyük esneklik sağlar ve çoğu hava işleme gereksinimini karşılayabilir.

Özel klima santralleri, kullanıcının ihtiyaç duyabileceği hemen hemen tüm yapılandırmalarda kullanılabilir. Genel olarak en yüksek kalitede yapıya sahiptirler ve büyük debilerde, çok hassas kontrolün ve sıkı koşulların mevcut olduğu kurumsal veya endüstriyel uygulamalarda kullanılırlar. Modüler bir çizgiye uymayan düzensiz alanlarda da uygulanabilirler. Özel birimler, neredeyse her türlü hava şartlandırma bileşenini ihtiva edecek şekilde yapılandırılabilir. Aynı zamanda içinde yürüyüş yolları ve servis alanları yer alabilir ve hatta pompalar veya ısı değiştiriciler gibi kaymaz monteli ekipman için de yer alabilirler. Tartışılan tüm birim türlerinin en pahalısıdır, ancak en uzun ömre sahip olması beklenebilir.

Bir klima santralinin anatomisi

Gövde ve yapı: Kaliteli bir klima santrali, 30 yılı aşkın süredir uygun bakım ile sürülebilir. Çift duvarlı yapı artık en küçük birimler için standarttır, ancak duvarlar arasındaki yalıtımın uygulanması da önemlidir. Çeşitli metal üreticilerinden gelen metalik bağlantılar olmadan (termal köprüleme olmaksızın) enjekte edilen köpük yalıtımı, fiberglas yalıtımından daha iyi termal ve akustik performansa sahiptir. Ünite dışarıya monte edilecekse, ekstra yalıtım tavsiye edilir ve korozyona dayanıklılık en önemli önceliktir.

Hava karıştırma kutusu, dış havanın binadan dönüş havasıyla birleştirildiği yerdir. Kontrol damperleri, gelen hava akımlarını ve tahliye havasını orantılı olarak kullanır.

Filtreler

Hava filtreleri kirleticileri hava akımından temizler ve hava kalitesini önemli ölçüde artırır (IAQ). ASHRAE Standardı 52.2-2007 Hava Temizleme Cihazlarının Parçacık Boyutuna Göre Uzaklaştırma Etkinliği İçin Test Yöntemleri gibi hava filtreleri için sınıflama sistemleri, filtrenin yakalama performansının kapsamlı ve tutarlı bir şekilde gösterilmesini sağlayan ortalama verimlilik raporlama değerini (MERV) tanımlar.

Avrupa Standardizasyon Komitesi EN779: 2012 gibi daha yeni sınıflama sistemleri, sadece parçacıkları yakalama yeteneklerini değil, aynı zamanda öngörülen yıllık enerji kullanımlarını da dikkate alan hava filtreleridir. ABD'de önümüzdeki yıllarda da benzer bir yaklaşımın benimsenmesi bekleniyor.

Filtrelerin ömrü ve maliyeti, filtrelerin tasarımı ve takibi sırasında dikkatle düşünülmelidir. Genel olarak, filtrelerin ilk maliyeti, enerji kullanımı, değişiklik ve bertaraf maliyetleri göz önüne alındığında, filtrelerin kullanım ömrü maliyetinin %4 kadar azı olabilir. Ayrıca, erişim alanı üzerinde fazlalık olmaması da son derece önemlidir. Bir klima santralinde filtrelere ulaşılması zorsa, bunlar kolayca değiştirilmez ve ünite aşırı enerji tüketir ve performans düşük olur.

Tedarik ve iade fanlar: Fanlar herhangi bir klima santralinin kalbi olup binanın toplam yıllık enerji kullanımının önemli bir bölümünü temsil edebilir. Besleme fanı, havayı filtreler ve serpantinler üzerinden iter veya emer ve daha sonra kanallara doğrudan boşluklara veya terminal kutularına dağıtır. Tüm klima santralleri bir geri dönüş fanı gerektirmez, ancak birden fazla alana hizmet eden veya hava tarafı ekonomizörlerini kullanan üniteler tipik olarak klima santraline havayı geri döndürmek ve binadan hava almak için bir fan gerekli olur.

Besleme fanı, ısıtma ve soğutma serpantinlerinden sonra monte edilen klima santralleri besleme fanı ünitelerden havayı çektiği için çekme üniteleri olarak adlandırılır.

Darbeli klima santrallerinde, besleme fanı, serpantinlerden önce bulunur. Bu düzenleme, fan havanın ısınmasına izin verir, bu da önemli olabilir. Besleme havasının, çekme havası üniteleri için gerekli olan alt-soğutmaya gerek kalmadan, hava akımından çıkarılması mümkün olur. Emmeden çok daha az yaygın olmakla birlikte, üfleme ünitelerinin özellikle sağlık hizmetlerinde uygulamaları vardır. Ayrıca düşük sıcaklıklı hava sistemlerinde artan uygulama söz konusudur.

Fan seçimi

Hava şartlandırıcılara uygulanan birçok fan türü vardır; aralarındaki temel farklar, kanat konfigürasyonu ve fan çarkının tamamen muhafaza edilip edilmediği ile ilgilidir.

Herhangi bir fan için gerekli olan enerji, fanın oluşturması gereken hava basıncıyla birlikte hareket edecek hava miktarının bir fonksiyonudur. ASHRAE Standard 90.1-2010, Yüksek Olmayan Konut Binaları Dışındaki Binalar İçin Enerji Standardı, klima sistemlerinde hava debisi ve filtrasyon seviyesiyle ilgili çeşitli faktörlere bağlı olarak maksimum fan gücü kısıtlamaları sağlar. Standart 90.1'in gelecek sürümleri, AMCA 205-2010'da açıklandığı gibi minimum fan verimlilik derecesini (FEG) içerecek. En yüksek verimliliğin %10'u dâhilinde çalışması gerekecektir. Bu tamamen sertifikalandırılmış paketlenmiş üniteler için geçerli olmayabilir.

Herhangi bir fan seçiminin kritik bir parçası akustik performanstır. Bir projedeki maksimum kabul edilebilir gürültü seviyesini bilmek her zaman önemlidir. Fanların ve klima santrali muhafazasının uygun seçimi ve belirtilmesi, susturuculara ve diğer pahalı gürültü azaltma tekniklerine olan ihtiyacı azaltabilir. Fan sesini azaltmanın en iyi yolu fan gücünü azaltmaktır olduğundan, verimli fanlar sıklıkla en iyi akustik performansa sahiptir.

Serpantinler

Serpantinler havayı ısıtmak, soğutmak ve nemini almak için kullanılır. Isı kaynağı, sıcak su, buhar, elektrik rezistansı veya bir ısı pompasından sağlanabilir. Soğutma ve nem alma, soğutucunun genleşmesi veya dolaylı olarak soğutulmuş su veya glikol dolaşımı yoluyla sağlanabilir. Kuru iklimlerde soğutma, havadaki kuru termometre sıcaklığını azaltan ancak havadaki nemi artıran sprey serpantinleri ile de gerçekleştirilebilir.

Erişim

Erişim bölümleri, tasarım gözetiminde ya da kasten alan ya da bütçe kısıtlamaları nedeniyle klima santrallerinde sıklıkla ihmal edilir. Ancak, erişimdeki eksiklik, hava taşıyıcısı içindeki her bir bileşenin, ünitenin ömrü boyunca birçok kez rutin servis, onarım veya değiştirme gerektireceği için, doğru değildir. Uygun ısı transferini sağlamak için serpantinler sık sık temizlenmeli ve bunun için ön ve arkad yönlerden bunlara erişilebilir olmalıdır. Bir birime ulaşmak daha zor olduğunda, daha az bakım sağlanır ve bu da genel verimin düşmesine ve uzun ömürlülüğün azalmasına neden olur.

Nemlendiriciler

Buhar, ultrasonik dağılım, kızıl ötesi ısıtma ve suyun atomizasyonu dâhil olmak üzere nemlendirme için çeşitli yöntemler vardır. Belirli bir projede hangi yöntemin en uygun olduğunu belirlemek için dikkatli bir şekilde düşünmek gerekir. Ancak genel olarak nemlendiriciler bakım yoğunluğuna sahiptir. Bu nedenle, nemlendiriciler uzun süre düzgün çalışmayacaksa, ciddi hasarlar ve sorunlar ortaya çıkabilir. Bunların kolayca erişilebilen yerlere monte edilmesi uygun olur.

Kodlar ve standartlar

Uluslararası Yapı Kodu (IBC) ve Uluslararası Mekanik Kod (IMC), diğer şeylerin yanı sıra ekipman yeri, yoğuşmanın bertarafı ve minimum dış hava miktarı için gereksinimleri sağlar. Bireysel birimler ve paketlenmiş birimler için enerji verimliliği gereksinimleri Uluslararası Enerji Koruma Kodu (IECC), ASHRAE 90.1 ve Kaliforniya Enerji Komisyonu Başlık 24'te sağlanmaktadır. Her eyalet ve bölge, bu kodların ve standartların uygulanabilirliğini belirler.

Kod minimum performansın ötesine geçmek için önemli bir baskı meydana getirir. Yeni binaların minimum kod uyumlu olanlardan çok daha az enerji ile çalışmasını gerektiren federal projeler için birçok görev vardır. ABD Yeşil Binalar Konseyi'nin LEED derecelendirme sistemi, yeni binaların %10'un üzerinde artan tasarruflara dayanan, kod uyumlu bir binadan ve ödül puanlarından en az %10 daha az enerji harcamasına sahip olmasını gerektirir. Uluslararası Yeşil Yapı Kodu (IGCC) ve ASHRAE Standardı 189.1 aynı zamanda enerji performansını da ciddi olarak ele almakta ve bu durum eyalet ve bölgeler tarafından giderek daha fazla benimsenmektedir.

Birçok kuruluş, klima santrallerinin ve ilgili bileşenlerin test edilmesi, derecelendirilmesi ve kurulumu için standartlar sağlar. Bunlardan bazı örnekler olarak Hava Hareketi ve Kontrol Derneği (AMCA), Uluslararası İklimlendirme, Isıtma ve Soğutma Enstitüsü (AHRI), ASHRAE ve Sac ve Klima Müteahhitleri Ulusal Derneği (SMACNA) sayılabilir. Bu kuruluşlar, üreticilerin performanslarını ölçmek için kullanabilecekleri test ve derecelendirme standartları yapmaktadır.

Büyük kurumsal kullanıcılar, hava işleme ekipmanlarında tutarlılık ve bakım kolaylığı sağlamak için genellikle kodlara ek olarak kendi standartlarına sahiptir.

Klima santrallerinde ortaya çıkan eğilimler

Klima santrallerindeki teknolojinin çoğu, on yıllardır nispeten değişmemiş olmasına rağmen, doğru uygulamada yararlı olabilecek nispeten yeni bileşenler ve uygulamalar geliştirilmiştir. Doğrudan tahrikli fanlar, fan ile fan motoru doğrudan birbirine bağlamaktadır (McAtee ve Riley, 2012)



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Hijyenik ortamların iklimlendirme ve havalandırılmasında hijyenik klima santralleri kullanılmalıdır. Hijyenik sistemlerde kullanılan klima santrali konfor klima santrallerine göre ilave özelliklere sahip olmalıdır. Bu özellikler aşağıda verilmektedir:

1. Hijyenik klima santralleri, parçacık ve mikro-organizmaları klima kasetinden içeriye sokmamalı ve sızdırmaz bir yapıya sahip olmalıdır.
2. Hijyenik klima santralleri, içinde parçacıkların birikmesine izin vermemelidir. Bu nedenle santralin iç yüzeyleri düz olmalı, elemanlar gözenekli bir yapıya sahip olmamalıdır.
3. Hijyenik klima santralleri mikro-organizmanın oluşumuna izin vermemelidir. Bu nedenle klima santrali yüzeylerinde suyun birikmesine veya nem oranının yüksek olmasına izin verilmemelidir. Kullanılan tüm malzemeler mikroorganizma üretmeyecek yapıda olmalıdır.
4. Hijyenik klima santralleri rahatlıkla temizlenebilir olmalıdır. Temizleme için klima santrali içinde bulunan elemanlara rahatça ulaşılmalıdır (Köse ve Laka, 2016). Klima sistemlerinin enerji tüketimi tüm teknik bina hizmetleriyle ilgili olarak, hastaneler, ofis binaları ve benzer kullanımlı diğer binalar gibi ticari binalar söz konusu olduğunda en yoğun olanlardır (Kitzberger vd 2018).

Klima sistemlerinin (HVAC, Heating, Ventilating, and Air Conditioning) enfeksiyon üzerindeki etkileri çok iyi bilinmesine rağmen ilgili standartlar arasında büyük farklılıklar olduğu belirtilmektedir. Hastanelerde enfeksiyon açısından yüksek riskli birçok steril mahal bulunmakta ve klima sistemleri steril mahallerdeki enfeksiyon riski üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Steril mahaller için kullanılan klima ve havalandırma sistemleri sıcaklık, nem parametrelerine ilaveten, parçacık sayısı, mikroorganizma sayısı, basınç

farklılıkları, hava hızı gibi parametrelere de yoğunlaşmaktadır. Bu sebeple, steril ortamlarda klima uygulamalarının daha zor olduğu da belirtilmektedir (Anıl, 2008). Personel ve hasta konfor koşullarının sağlanması, tedaviyi kolaylaştırmaktadır. Elektronik veri depolama, destek IT sistemleri, özel görüntüleme ve diğer tıbbi donanım için çevre koşulları önemlidir. Klima olmadığında hastalar, sıcaklık yönünden rahatsız edici bir duruma maruz kalabilmektedir.

Muayene odalarında hastaların basit kıyafet giymeleri ve mesela ortopedik bir hasta için hekimlerin saatlerce çalışmak durumunda olmaları sıcaklık ve nem kontrolü yapılmasını gerektirmektedir.

Aydınlatma sebebiyle gelen ışınım bağıl nemin ısı konforu etkilemektedir. İki bölmeli anlık enerji dengesi modeli (Gagge modeli) ile yapılan çalışmada bağıl nemin deri ıslaklığı üzerine etkisinin deri sıcaklığı üzerine olan etkisinden daha fazla olduğu belirlenmektedir (Arslanoğlu ve Yiğit, 2017).

Oda içerisindeki sıcaklık dağılımı ve akış yapısı giriş hız ve sıcaklığına bağlı olarak önemli ölçüde değişmiştir. Giren hava jetinin yapısı sıcaklık dağılımının homojenliğine etki etmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 2 m/s'lik hızla üflenmiş havada daha homojen bir sıcaklık yapısı olduğu görülmektedir. Üfleme sıcaklığı düştükçe duvarlardaki düşük sıcaklık sınır şartı nedeniyle ısı kaybının yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum giriş hızından bağımsız olmak üzere ofis içerisindeki havanın sıcaklığını tüm noktalarda etkilemektedir. Tüm şartlar incelenip genel bir kaniye varılmak istendiğinde ise mevcut şartlarda 303K giriş sıcaklığı ve 2 m/s giriş hızına sahip bir klimada düzgün dağılımlı bir sıcaklık dağılımı elde etmek mümkündür. Bu çalışmada oda içerisindeki kişi veya eşya olmadığına da dikkat edilmelidir. Giren hava jetinin yapısına bağlı olarak sıcaklık dağılımı ve akış yapısı önemli ölçüde değişmektedir (Yüce ve Pulat, 2017).

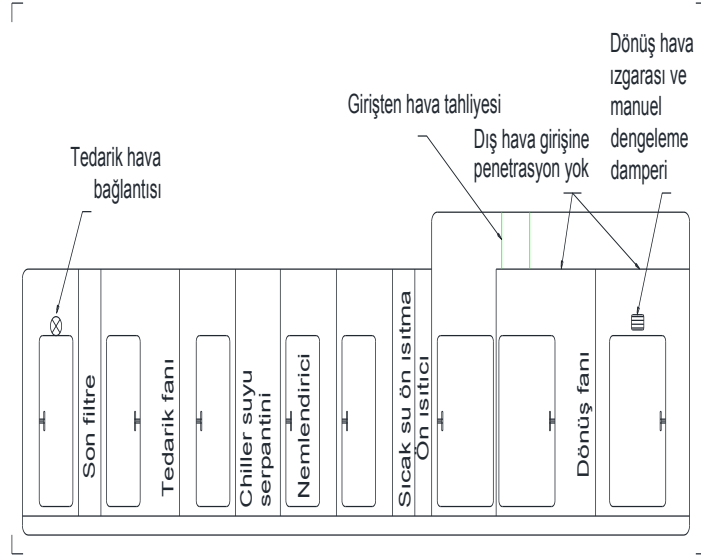
Enfeksiyon kapmış hastalardan çıkan deri ve vücut sıvıları sağlık tesislerinde mikroorganizmaların patojeni düzeyini yükseltir. Bu patojenler temas ile veya

havada asılı kalmaları sebebiyle temassız olarak yayılabilmektedir. HVAC sistemi enfeksiyon kontrolünde kullanılan birkaç araçtan biridir.

Birçok sağlık tesisinde sağlık veya güvenlik tehlikeleri oluşturan kimyasal dumanlar, aerosoller veya zararlı gazlar ortaya çıkar veya depolanır. Bu tür uygulamalarda, duman davlumbazı, radyoizotop tutucu ve anestezi atık tahliyesi gibi birincil koruma teçhizatı HVAC ile birlikte çalışır.

Hava taşıma ve dağıtma sistemleri sağlık mahallerinde konfor koşullarının sağlanması, hava kalitesinin korunması, hava yoluyla bulaşan enfeksiyonların azaltılması, koku kontrolü ve dumanın uzaklaştırılması fonksiyonlarını yerine getirmektedir. Hava değişim oranı, sıcaklık, nem ve filtreleme için hastanelerin çeşitli yerlerinde tasarım standartlarına göre uygulama yapılmaktadır.

Bir klima santralinde ısıtıcı, nemlendirici ve fanlar gibi elemanlar ve bunların bağlantıları bulunur. Şekil 2.1'de 10x3x3 [m] boyutlarında olan bir klima santrali verilmektedir. Tedarik havası girişi, son filtre, tedarik fanı, chiller suyu serpantini, nemlendirici, sıcak su ön ısıtma ve dengeleme damperi görülmektedir. York hijyenik klima santrallerinde hava debisi 0,8-60 m³/s arasında olabilmektedir. Hava kalitesine birçok faktör etki etmektedir. Bunlardan mekanik performans, klima kasasından ısıl iletim, hava kaçağı, gürültü iletimi, bakterilerden koruma, hava temizliği ve filtre verimi, nemlendirme ve nem alma belirtilebilir.



Şekil 2.1. Bir klima santralının elemanları (ASHRAE, 2013).

Bazı klima santrallerinin gürültü seviyeleri frekansa bağlıdır. Çizelge 2.1.'de firma kataloglarından derlenen bazı gürültü değerleri verilmektedir. Frekans 1000 Hz olduğunda gürültünün 53-56 dB arasında bulunduğu görülmektedir. Gürültü ölçeği logaritmik olduğunda yüksek değerlerdeki değişimlerde hızlı artış etkisi bulunmaktadır.

Çizelge 2.1. Klima santrallerinin gürültü değerleri.

| Santral | 125 Hz, dB | 500 Hz, dB | 1000 Hz, dB | 8000 Hz, dB | Toplam dBA |
|---------|------------|------------|-------------|-------------|------------|
| A | 61,0 | 55,0 | 53,0 | 52,0 | 61,0 |
| B | 62,0 | 56,0 | 54,0 | 53,0 | 62,5 |
| C | 63,0 | 57,0 | 55,0 | 54,0 | 63,5 |
| D | 64,0 | 58,0 | 56,0 | 55,0 | 64,5 |

Fanlar hava işleme sistemindeki tüm basınç kayıplarının üstesinden gelmek zorundadır. Kanal sistemi böylece havayı nakleder. Genellikle hastane klima santrallerinde sabit kanal basınç kontrolü yeterli hava tedarik edildiğinden emin olmayı sağlamaktadır. İkinci bir fan basınç kontrolü egzoz havasını

atmosfere atmak için ve kelebek vanalar pnömatik denge elde etmek için kullanılmaktadır.

Bir fan, tüm hava işleme sistemindeki tüm basınç kayıplarının üstesinden gelmek zorundadır, kanal sistemi böylece havayı nakleder. Genellikle hastane ve modern ticari binalarla klima santralinde 1.sabit kanal basınç kontrolü, yeterli hava tedarik edildiğinden emin olmayı, 2. ikinci fan basınç kontrolü egzoz havasını atmosfere atmak atmayı ve 3. sabit kelebek vanalar pnömatik dengeyi sağlamak için kullanılmaktadır (Kitzberger, 2018).

2.1 Ön Tasarım

Sağlık klima sistemleri (HVAC) büyük hacim gerektirir. Bu yüzden bina tasarım sürecinde tasarım kavramlarının önceden ilk tasarımının geliştirilmesi aciliyeti vardır. Bina mimari ve inşaat planlamasında mümkün olan en erken zamanda bazı konularda birlikte çalışmak gereklidir.

İspanya'da bazı hastanelerin inşaat alanları, yatak sayıları, işçi sayıları ile mülkiyet durumları Çizelge 2.2'de verilmektedir. Yatak sayısı başına inşaat alanı 180 m², 170 m² ve 70 m² olmaktadır. Yıllık ortalama enerji tüketimi çoğunlukla 5000 MWh olmaktadır. İnşaat alanının artmasıyla ortalama yıllık enerji tüketimi de artmaktadır. Hastanede ortalama yıllık enerji tüketimi yatak başına 50 MWh olmaktadır (Gonzales vd. 2018).

Çizelge 2.2. Hastanelerde inşaat alanı ile yatak sayısı (Gonzales vd. 2018)

| Hastane | Mülkiyet | İnşaat alanı, m ² | Çalışan sayısı | Yatak sayısı |
|------------------------|----------|------------------------------|----------------|--------------|
| San Carlos | Kamu | 175000 | 5811 | 996 |
| Juan Ramon Jimenez | Kamu | 126241 | 2711 | 725 |
| HM Madrid Üniversitesi | Özel | 7711 | 257 | 110 |

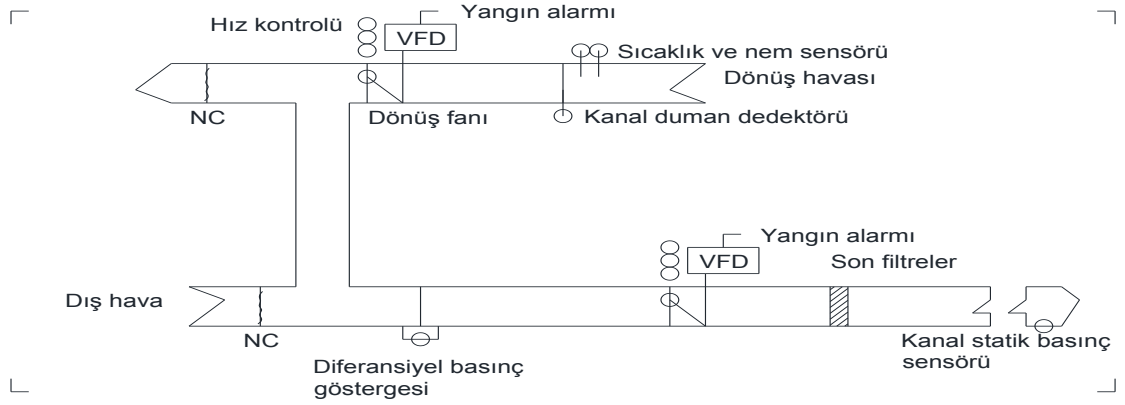
Çevre havası kirliliği ile kabul edilen hastaneye kabul edilen hasta sayısı arasında bir bağıntı bulunmaktadır. Hava kirliliği yapan PM10 (parçacık

büyüklüğü $\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), SO_2 ve CO hasta sayısının artmasında önemli bir risk oluşturmaktadır (Chen vd, 2018). Tehlikelerin çalışanlara etkisi birçok açıdan değerlendirilmektedir. Biyolojik riskler bulaşıcı ve enfeksiyon hastalıkları, iğne ucu yaralanmalarıdır. Ergonomik riskler kötü duruşlar, hasta taşıma ve tekrarlayan hareketlerdir. Kimyasal riskler enfeksiyonu önleme, sterilizasyon, anestezi gazları, ilaçlar veya meditasyon ile ilgilidir. Fiziksel riskler X ışınları, radyoizotop ve lazerle ilgilidir. Psikolojik riskler stres, şiddet ve tükenmişlik ile ilgilidir. Mekanik riskler kayma, tökezleme ve düşme ile ilgilidir (Trembley ve Gauthier 2018).

ISO 12100:2010, makine güvenliği - tasarım için genel ilkeler - risk değerlendirmesi ve risk azaltma, ISO/TC199 (Safety of Machinery), endüstri, sağlık ve güvenlik kurumları, yetkililer, sendikalar, işveren dernekleri ile birlikte geliştirildi. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) gibi uluslararası kuruluşlar, makine ile ilgili yaralanma risklerini azaltan standartlar geliştirmektedir. Hastanelerde risk değerlendirme ve risk azaltma hakkındaki ISO Makine Güvenliği standardına uyan asansör, görüntüleme makinaları ve motorlu yataklar gibi birçok makine bulunmaktadır. Bu standarta göre makine, en az bir tanesi hareket eden ve belirli bir uygulama için bir araya getirilen bağlantılı parçalardan veya bileşenlerden oluşan bir tahrik sistemi ile donatılmış bir düzenek olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca makine, cihaz ve alet ayırımı enerji, madde ve sinyal akımına göre yapılmaktadır (ISO, 2010, Trembley ve Gauthier 2018).

Klima santrali tasarımında bazı hususların göz önüne alınması gerekmektedir:

1. Klima santrali şeması ve çalışma sırası çoğu zaman en sona bırakılır. Gerekli bütün hava taşıma sisteminin gerekli parçalarının hepsini içerdiğinden emin olunmalıdır. Bir örnek klima santrali kontrol şeması Şekil 2.2'de verilmektedir. Bu çalışma tüm gerekli parça ve kesit ölçüleri ile yaklaşık ağırlıkları da içermelidir.



Şekil 2.2. Klima santralinin kontrolü (ASHRAE, 2013).

2. Klima santrali planları ve yer ayırma

Tüm döşemelerde klima santrali bölgeleri belirlenir. Tedarik, dönüş ve egzoz düşey boruları için kesilen kanalların yerleştirilmesi. Kesilen yerleşimlerin detaylarının geliştirilmesi ve kanallarının çıkış ve döşeme üzerindeki yatay ana kanallara bağlanması için yeterli hacim bulunduğundan emin olunması. Borulama ve diğer sistemlerin kesilen hacmi paylaşması planlanmalıdır. Ayrılan çıkış noktalarında herhangi yangın veya duman damperleri için montaj ve servis için ulaşımını mümkün kılacak yeterli hacim sağlanmalıdır.

3. Klima santrali planlama, düzenleme ve boyutlandırma

Klima santrali cihazları ve düzen planları ile kesitlerinin taslak gelişimi yapılmalıdır.

4. Mekanik odanın ön yerleşim düzenleri

Bu yerleşimler tüm klima santrali ve diğer ana ekipmanın yerleşimlerini içermelidir. Servis boşlukları tanımlanmalıdır. Motor kontrol merkezleri, starterler, bağlantı kesiciler veya değişken hız sürücüler için yeterli hacim sağlandığından emin olmak için elektrik mühendisleri ile beraber çalışılmalıdır.

5. Hacim bölgesinin tipik detayları

Bireysel hacimler için kullanılacak bölge kontrol çeşitlerinin tanımlanması. Mesela değişken-hava –hacim (VAV, variable-air-volume) yeniden ısıtma, sabit-hacim (CV, sabit hacim ve dual kanal bireysel hacim gerektirir. Bölge kontrol cihazlarının yaklaşık sayısı ve bunları paylaşacak hacim sayısı belirlenmelidir.

6. Su ve buhar yükseltici boru sistemi

Buhar, yoğuşan su, chiller suyu ve sıcak su için yükseltici borulama ön planlaması yapılmalıdır. Çeşitli cihaz elemanlarının yolları ve ana notalarını belirlenir. Boru kesmeleri ve gerekli hacimler konusu bina tasarımcısı ile beraber çalışılmalıdır.

Klima Santrali Tasarım İncelemeleri

Bir klima santrali çevre konforu sağlama ve tesis havalandırması gibi birçok fonksiyonu aynı anda yerine getirir. Havalandırma ihtiyacını karşılamak için dış havayı içeri alma, bu hava ile iç havanın karıştırılması, ekipmanı korumak için filtreleme, nem kontrolü, bulaşıcıların uzaklaştırılması, fan gürültüsünü azaltarak çevre gürültü seviyesini kontrol etmek bu fonksiyonlardandır (ASHRAE, 2013).

Klima Santrali Kasası

Bir klima santrali tasarımında temel öneme sahip hususlar şunlardır; su ve kir birikimini en aza indirmek, korozyona direnç sağlamak, kontrol ve bakım için kolay ulaşımına izin vermek. Açık yüzeyli yalıtıma izin vermemek çok önemlidir. Soğutma serpantinlerinden ve nemlendiricilerden gelen suların birikmesi önlenmelidir. Nihai filtrelemeden sonra kaplamaya FGI (Facility Guidelines Institute) kuralları izin vermemektedir (FGI 2010). Sistemde açık yüzü yalıtım bulunmaması en iyi tasarımı oluşturur. Lifli klima santrali yalıtımları hava

akımlarından yalıtım için mutlaka geçirgen olmayan polyester film gibi bir astarla kaplama yapılmalı veya çift cidarlı sac konstrüksiyonlar kullanılmalıdır.

Lifli yalıtım toz ve nem biriktirir ve tehlikeli mikroorganizmalara gelişebilecekleri bir çevre oluşturur. Bu yüzden yalıtım malzemesi inert malzeme olmalı ve mikrobik büyümeyi desteklememelidir. Bulaşma olduktan sonra kolay temizlik sağlayacak iyi bir yol bulunmamaktadır. Bazı imalatçılar lif erozyonunu etkin biçimde önleyecek kaplamalar kullanırken bazıları da kir ve nemi atacak ve temizlemeyi kolaylaştıracak plastik ve folyo kaplamalar kullanmaktadır. Bu malzemeler metal gibi uzun ömürlü olmayabilir. Klima santralinin bütün iç yüzeyleri kontrol ve temizlik için ulaşılabilir olmalıdır. Kaplamalar açık renkli olmalı ve iç aydınlatma yapılmalıdır. Böylece bakım görevleri kolaylaştırılmalıdır. Çift cidarlı paneller ısı bariyer oluşturacak şekilde imal edilerek nemli yaz havalarında dış yüzeyler üzerinde suyun yoğuşması önlenmelidir.

Son yıllarda ısı santrallerinde içine poliüretan köpük doldurulmuş çift cidarlı paneller kullanılmaktadır. Bu paneller yüksek rijitlik, yüksek ısı direnç ve lifli yalıtıma göre daha az hava sızması özelliklerine sahiptir. Panel bağlantılarında ekstrüzyonla imal edilmiş ısı dirençli sentetik malzemeler kullanılmaktadır.

Tasarımcılar tarafından bakım ve servisi kolaylaştıracak ilave kasa elemanlarının incelenmesi gerekmektedir (ASHRAE, 2013):

1. Ray, asansör ve vinç gibi kaldırma ve iletme makinaları; motor, fan ve diğer ağır parçaları yerine yerleştirmek ve yerinden çıkarmak için yardımcı olur.
2. Santralin içine girmeden gresle yağlama yapmak için yağlama ağzını santralin dışına kadar uzatan parçalar kullanılabilirdir.
3. Kontrol pencereleri, uygun aydınlatma ve gereksiz enerji tüketimine engel olacak zamanlayıcı donanımı sağlanmalıdır.

4. Basınç ve sıcaklık test portlarını açma-kapama kolaylığı sağlanmalıdır.

Fabrika kontrolünden sonra yerine monte edilen klima santralinde sızma testi yapılmalıdır. Taşıma ve montaj sırasında akıntılar olabilir. Yerinde kontrol ile arzu eden sızma ile ilgili standartların karşılandığından emin olunur.

Dış Hava Girişleri

Klima santralinin dış hava girişleri tasarımcı tarafından dikkatle incelenmelidir. Hava girişleri bulaşma ihtimali olan yerlere yakın seçilmemelidir. Kazan ve jeneratör bacaları, laboratuvar havalandırma egzozları, tesisat havalandırmaları, soğutma kuleleri, ambulans bekleme yerleri, otopark alanları, helikopter pistleri ve yükleme rampaları hava girişi yakınında olmamalıdır. Bu kaynaklara en az mesafe FGI de 3-23 m olarak belirlenmiştir. Tasarımcı standartta tavsiye edilen 9,1 m değerinin üzerine bazı durumlarda çıkabilir. Kaynak bulaştırıcıların derişikliği ve doğası, rüzgâr yönü ve bina geometrisi buna etki yapar. Bazı havada bulunan lejyoner hastalık bakterileri gibi patojenler soğutma kulelerinden çok uzak mesafelere iletilebilmektedir. Lejyoner hastalığına klima hastalığı veya zatürre hastalığı da denilmektedir. Lejyoner hastalığına legionella pneumophila bakterileri sebep olmaktadır. Kullanılacak mesafenin belirlenmesinde bazı durumlarda modelleme ve benzetim teknikleri gerekli görülebilir.

Bitki kırıntıları ve kuru yapraklar, kuş tüyleri ve diğer çöpler girişte, eleklerde ve filtrelerde birikip mikropların büyümesine ortam hazırlayabilir. Bina üstüne hava girişi konulacaksa çatı seviyesinden en az 0,9 m yukarıya yerleştirilmelidir. Kar sürüklenmesi böylece önlenmiş olur.

Bina içi hava kalitesinin insan sağlığına etkileri araştırma konusudur Sıcaklık, nem, parçacıklar ve gürültü ile sağlık arasında ilişki bulunmaktadır. Mutlak nem (absolute humidity) tanımlanmış bir basınçta birim hacimdeki havada bulunan nem miktarıdır (g/m³). Bağlı nem (relative humidity) birim hacimdeki havada bulunan nem miktarının aynı sıcaklıkta doymuş havada bulunan nem miktarına

oranıdır. Bağıl nem %5-30 olduğunda gözleri ve üst solunum yollarını tahriş etmekte ve şikâyete yol açmaktadır. Hastanelerde hasta odalarında kış mevsiminde 3 ay boyunca sıcaklık ve nem ölçülerek 36 hasta ve 45 personelle anket yapılarak nem %33 ten %44'e yükseltildiğinde konforun iyileştiği ve hava kuruluğu algısının azaldığı saptanmaktadır (Hashiguchi vd 2007, Wolkoff, 2018). Gözyaşı buharlaşma hızının düzgün hale gelmesi için 10 dakika gerektiği ve gözyaşı buharlaşma hızının göz kuruluğu olan hastalarda daha yüksek olduğu bilinmektedir (Madden vd 2013). Düşük nem, güneşe maruz kalma süresinin uzaması ve hava kirliliği göz kuruluğu hastalığının artmasına sebep olmaktadır (Um vd, 2014).

Günümüzde, özel kontrol algoritmalarına sahip değişken kanal basınç kontrol sistemleri bilimsel olarak araştırılmaktadır. Bunların avantajlı operasyonel verimlilikleri gün geçtikçe artmaktadır (Okochi and Yao 2016, Tukur and Hallinan 2017). Statik basınç sıfırlama kontrolünde kullanılan Belimo (CH), Schneider Electronics (DE), Sauter (CH), Pichler (DE) ve Halton (FI) gibi çeşitli ürünler bulunmaktadır. Klima santrali mikrop ve parçacık birikmesine izin vermemelidir. Sağlık hizmeti için klima sistemleri (HVAC-Heating, Ventilating, and Air Conditioning) büyük hacim gerektirmektedir. Bu yüzden bina tasarım sürecinde önceden ilk tasarımın geliştirilmesi gereklidir. Bina mimari ve inşaat planlamasında mümkün olan en erken zamanda bazı konularda tesisat mühendisleri ile birlikte çalışmak gerekmektedir. Klima santrali şeması ve çalışma sırası çoğu zaman en sona bırakılır. Hava taşıma sisteminin gerekli parçaların hepsini içerdiğinden emin olunmalıdır. Tüm döşemelerde klima bölgeleri belirlenmeli, tedarik, dönüş ve egzoz düşey boruları için kesilen kanalların uygun şekilde yerleştirilmesi sağlanmalıdır. Kesilen yerleşimlerin detaylarının geliştirilmesi ve kanalların çıkış ve zemin üzerindeki yatay ana kanallara bağlanması için yeterli hacim bulunduğundan emin olunması, borulama ve diğer sistemlerin kesilen hacmi paylaşması planlanmalıdır. Ayrılan çıkış noktalarında herhangi yangın veya duman damperleri için montaj ve servis için ulaşımı mümkün kılacak yeterli hacim sağlanmalıdır. Klima cihazları ve düzen planları ile kesitlerinin taslak gelişimi yapılmalıdır. Bu çalışma tüm gerekli parça ve kesit ölçüleri ile bunların yaklaşık ağırlıklarını içermelidir. Tüm

klima sistemi ile diğer ana ekipmanın yerleşimleri de dikkate alınmalıdır. Servis boşlukları tanımlanmalıdır. Motor kontrol merkezleri, starterler, bağlantı kesiciler veya değişken hız sũrũcũler için yeterli hacim sağlandığından emin olmak için elektrik mũhendisleri ile beraber çalışılmalıdır. Değişken-hava-hacim (VAV, variable-air-volume), yerden ısıtma, sabit-hacim (CV, constant volume) ve dual kanal bireysel hacim gerektirir. Bũlge kontrol cihazlarının yaklaşık sayısı ve ilgili kutuları veya bũlgeleri paylaşacak hacim sayısı belirlenmelidir.

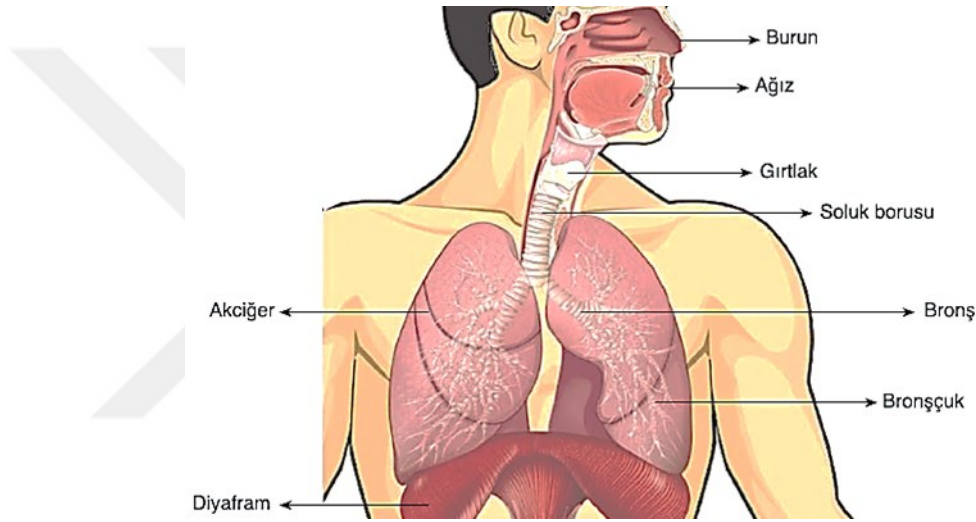
Buhar, yoğuşan su, chiller suyu ve sıcak su için yũkseltici borulama n planlaması yapılmalıdır. Çeşitli cihaz elemanlarının yolları ve ana noktaları belirlenmeli boru kesmeleri ve gerekli hacimler konusu bina tasarımcısı ile beraber ele alınmalıdır.

Bir klima santrali evre konforu sağlama ve tesis havalandırması gibi birçok fonksiyonu aynı anda yerine getirir. Havalandırma ihtiyacını karşılamak için dış havayı içeri alma, bu hava ile i havanın karıştırılması, ekipmanı korumak için filtreleme, nem kontrolũ, bulaşıcıların uzaklaştırılması, fan gũrũltũsũnũ azaltarak evre gũrũltũ seviyesini kontrol etmek bu fonksiyonlardandır.

Klima santrallerinde lifli yalıtımları hava akımlarından korumak için mutlaka geçirgen olmayan polyester film gibi bir astarla kaplanmalı veya çift cidarlı sac konstrũksiyonlar kullanılmalıdır. Lifli yalıtım toz ve nem biriktirir ve tehlikeli mikroorganizmalara gelişebilecekleri mũkemmel bir evre oluşturur. Bu yũzden yalıtım malzemesi inert malzeme olmalı ve mikrobiyal bũyũmeyi desteklememelidir. Bulaşma olduktan sonra temizlemeyi sağlayacak iyi bir yol bulunmamaktadır. Bazı imalatçılar lif erozyonunu etkin biçimde önleyecek kaplamalar kullanırken bazıları da kir ve nemi atacak ve temizlemeyi kolaylaştıracak plastik ve folyo kaplamalar kullanmaktadır. Bu malzemeler metal gibi uzun mũrlũ olmayabilir. Klima santralinin bũtũn i yũzeyleri kontrol ve temizlik için ulaşılabilir olmalıdır.

2.2 Klima Santrallerinin Çalışanlara ve Hastalara Etkisi

Solunum sırasında hava ile birlikte tozlar da vücuda girmektedir. Solunum sisteminde (respiratory system); burun (nose), boğaz (throat), gırtlak (voicebox), soluk borusu (windpipe) ve akciğerler (lungs) bulunur. Solunum sistemindeki burun boşluğu (nasal cavity), ağız boşluğu (oral cavity), gırtlak (pharynx), soluk borusu (larynx), bronşlar (main brochus), bronşçuklar (bronchioles), akciğerler (lungs) ve diyafram (diphragm) Şekil 2.3'te verilmektedir.



Şekil 2.3. Solunum sistemi (Davies ve Moores, 2010, e-okulbilgi, 2018).

Burun 10 μm büyüklükteki tozları tutabilmektedir. Üst solunum yollarında çapı 5-10 μm olan tozlar tutulabilmektedir. Çapı 2,5-5 μm olan tozlar akciğerlere girmeden geri gönderilebilmektedir. Çapı 1-2,5 μm olan tozlar bronşlarda tutulabilmektedir. Akciğerlerde savunma mekanizması ile birçok zarar önlenmektedir. Bir madenci hayatı boyunca 1000 g kömür tozu yutarken daha sonra yapılan tıbbi muayenede ciğerlerde 40 g dan daha az toz olduğu tespit edilmiştir. Ciğerler kendini temizlese de tozlar hastalıklara sebep olabilmektedir (CCOHC, 2018).

Sağlık hizmeti için klima sistemlerinin (HVAC) çevre şartlarına, enfeksiyon ve zararlı maddelerin kontrolüne, bina ömür güvenliğine etkili hayati fonksiyonları yerine getirmesi gerekmektedir (ASHRAE, 2013).

Klima sistemlerinin enfeksiyon üzerindeki etkileri çok iyi bilinmesine rağmen ilgili standartlar arasında büyük farklılıklar olduğu belirtilmektedir. Steril mahaller için kullanılan klima ve havalandırma sistemleri sıcaklık ve nem parametrelerine ilaveten, parçacık sayısı, mikroorganizma sayısı, basınç farklılıkları, hava hızı gibi parametrelere de yoğunlaşmaktadır. Bu sebeple, steril ortamlarda klima uygulamalarının daha zor olduğu da belirtilmektedir (Anıl, 2008).

Çalışan ve hasta konfor koşullarının sağlanması, tedaviyi kolaylaştırmaktadır. Elektronik veri depolama, destek IT sistemleri, özel görüntüleme ve diğer tıbbi donanım için çevre koşulları önemlidir. Klima olmadığında hastalar, sıcaklık yönünden rahatsız edici bir duruma maruz kalabilmektedir.

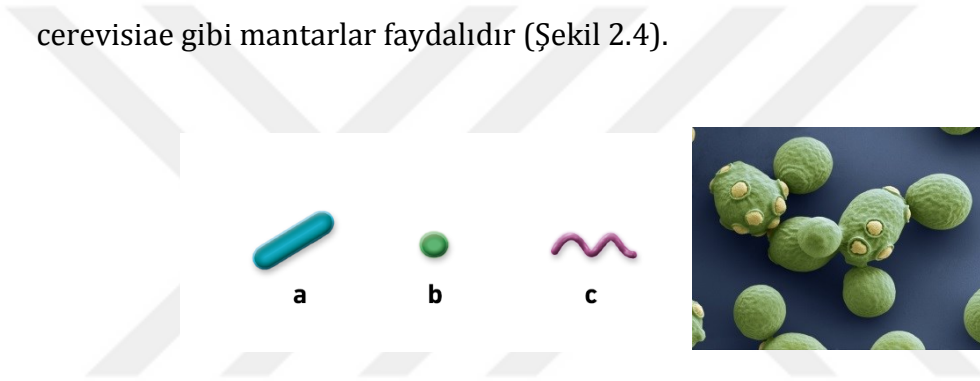
Muayene odalarında hastaların basit kıyafet giymeleri ve mesela ortopedik bir hasta için hekimlerin saatlerce çalışmak durumunda olmaları sıcaklık ve nem kontrolü yapılmasını gerektirmektedir. Yoğun bakım bölümlerinin 24-27°C sıcaklık, %30-60 bağıl nem aralığında ve pozitif basınçta tutulmaları önerilir (Özel ve Hançer, 2005). Bazen acil servislerdeki hipotermi vakalarının tedavisinde sıcaklığın 32 °C de sabitlenmesi arzu edilmektedir (DOD 2011). Çok düşük nemler ise cilt kuruluğuna sebep olmakta ve hastaların fenalaşmasına yol açmaktadır.

Kanal basıncı değerlerini sıfırlayarak çok durumlu işlem kullanan bir Zaman Kontrol Programı'nın (TCP) uygulanması, enerji tüketiminde önemli tasarruflar sağlamaktadır. Ancak, bu basit ve etkili önlemlerin uygulanması için harcanan zamanın dikkate alınması gerekmektedir (Kitzberger vd, 2018).

Havada bulunan mikroplar hastane ortamlarında mevsimlik olarak değişmektedir. Dış hasta bölümünde 1649,7 kob/m³ ile en yüksek bakteri

seviyesi görülmektedir. En yüksek mantar seviyesi ise 193,4 kob/m³ olmaktadır. Mikrobiyolojide kob birimi (koloni oluşturan birim, CFU, colony-forming unit) bir numunede canlı bakteri veya mantar hücresi sayısını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Havada mikrop seviyesini düşük tutmak için temizleme sıklığı yeterli olması gerekmektedir (Ayesha vd 2018). Uluslararası 209E ve ISO 14644-1 sayılı standartlardan başka ulusal standartlar da bulunmaktadır. Ulusal standartlarda Fransa ve Galler ülkeleri bakteri sayısı olarak 10 kob/m³ ve Rusya 5-20 kob/m³ değerlerini vermektedir (Kovalenko, 2013).

Mikroplardan bakteriler; çomak (rod), küre (spherical) ve spiral gibi çok çeşitli şekillerde olabilmektedir, bazı mantarlar zararlı olduğu halde *saccharomyces cerevisiae* gibi mantarlar faydalıdır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. (a) bacillus, (b) coccus, (c) spirillum bakterileri ve mantar

Bakteriler 1000 nm büyüklüktedir. Virüsler bakterilerden daha küçüktür 20-400 nm büyüklüğe sahiptir. Bakterilerde hücre duvarı (wall) varken virüslerde bunun yerine protein mantosu (coat) bulunmaktadır. Bakterilerde DNA ve RNA stoplazmada serbestçe yüzer. Virüslerde hücre membranı bulunur. Virüslerde DNA ve RNA protein mantosu içindedir. Bakteriler yerel enfeksiyona sebep olurken virüsler sistematik enfeksiyon yaparlar. Bakterilerle ilgili tedavide antibiyotikler kullanılır. Virüsler tamamen durdurulamaz ama yavaşlatılabilir. Genellikle zararlı olan virüslerin beyin tümörlerinin tahrip edilmesinde kullanımı araştırılmaktadır (Parker vd. 2000).

İnce tozlar hastalıklara sebep olmakta ve hastaların iyileşmesini geciktirmektedir. Çapı 30 µm olan tozlar normal gözle görülebilir. Çapı 10 µm

den büyük tozlar ışık ve kontrast durumunda görülebilmektedir. Tozların zararlarından korunmak için temiz odalar kullanılmaktadır.

2.3 Temiz Oda Standartları

Temiz odalar, içlerindeki havanın temizlik seviyesine göre sınıflandırılır. Temiz oda sınıfı, havanın hacmine göre parçacıkların miktarına ve büyüklüğüne göre, odaya uygun temizlik seviyesini ifade eder. ABD ve Kanada'daki birincil otorite ISO 14644-1 ISO sınıflandırma sistemidir. Bu standart, ISO 1, ISO 2, ISO 3, ISO 4, ISO 5, ISO 6, ISO 7, ISO 8 ve ISO 9 temiz oda sınıflarını içerir. ISO 1 en temiz olan sınıftır. En yaygın sınıflar ISO 7 ve ISO 8'dir.

Eski Federal Standart 209E 2001 yılında geri çekildi ve 1999 yılında resmi olarak ISO-14644-1 ile değiştirildi, ancak hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Temiz odalar ayrıca endüstriye özgü ve bölgesel standartlara uygun olmalıdır. Örneğin AB GGMP (A-B-C-D), eczacılık ürünleri için geçerlidir.

Temiz odalar endüstriyel ürünlerin imal edildiği atmosferi kontrol edilen yerlerdir. Bir temiz oda Şekil 5'te verilmektedir. Nano teknolojide imalatın yapıldığı ortamın temiz olması çok önemlidir. Hastane ameliyathaneleri, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde her vakit, otomotiv ve makine imalatında bazı süreçlerde temiz odalar gerekli olmaktadır. Mikrometre mertebesinde bir toz insan sağlığına olumsuz etki yapabilmektedir.



Şekil 2.5. Bir temiz oda (Yazıcıoğlu ve Borat, 2018).

Temiz odalarda havada uçan parçacıklar, belirli sınırlar içinde kalacak şekilde kontrol edilir. Boyutu mikrometreden küçük kirletici parçacıkların uzaklaştırılması gerçek bir süreç kontrolünü gerektirmektedir. Havada uçan kirletici parçacıkların kaynağı insanlar, süreçler, kullanılan aletler ve makinelerdir. Bu parçacıkların sürekli olarak havadan uzaklaştırılması gerekmektedir. Uzaklaştırılması gereken parçacıkların büyüklükleri ve miktarı süreçle yakından ilgilidir. Temiz oda tasarımları imalat için uygun ortamların oluşturulmasını, yatırım ve işletme masraflarının kabul edilebilir düzeyde tutulmasını amaçlamaktadır.

Temiz terimini ve temizlik derecesini tanımlamak kolay değildir. Bir yüzey silindikten sonra artıkların kalması ve sürekli nem tabakası kalması temizliğin belirlenmesine ilişkin iki basit yöntem olarak düşünülebilmektedir.

İlk federal standart ABD’de temiz oda ve iş atölyelerinin gereksinimleri ve temiz odalar adıyla 1963 yılında 209 sayılı olarak yayınlandı. Bu standartta 1 ft³ havadaki 0,5 µm den büyük olan parçacıkların sayısı esas alınmaktadır. Sonraki yıllarda beş kez gözden geçirilen standardın son şekli 1992 tarihli 209E sayılıdır.

Temiz odalardaki parçacık miktarı ve standart hava temizleyicilerin sınıfları 209 E Federal Standardında belirtilmektedir. Kirletici parçacıkların ürüne bulaşmasını azaltmak için sıkı kurallar ve yöntemler uygulanmaktadır.

Federal Standart 209E ve ISO 14644-1 arasındaki fark Federal Standartta ft³ ve ISO da m³ kullanılmasıdır. Sınıf 1 en temiz olanıdır. ISO 14644-1standartında 1’den ve 9’a kadar sınıf vardır. Parçacık büyüklüğü 0,1 µm esasına göre ISO Sınıf 1, ISO Sınıf 2, ISO Sınıf 3, ISO Sınıf 4, ISO Sınıf 5 ve ISO Sınıf 6 için sırasıyla 10¹, 10²,10³, 10⁴ ve 10⁶ parçacık sayısı/m³ değerleri verilmektedir. Federal Standart 209E Sınıf 1 ISO Sınıf 3’e eşdeğer olmaktadır. Parçacık büyüklüğüne göre konsantrasyon değerleri ISO 14644-1 ve Federal Standart 209E karşılaştırmalı olarak Çizelge 3’de verilmektedir.

Çizelge 2.3. Temiz oda sınıflarında parçacık/m³ olarak konsantrasyon değerleri (Yazıcıoğlu ve Borat, 2018).

| Sınıf | ≥0,1µm | ≥0,2µm | ≥0,3µm | ≥0,5 µm | ≥1,0 µm | ≥5,0 µm | 209E |
|----------------|---------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| ISO1 11sınıf 1 | 10 | | | | | | |
| ISO2 sınıf 2 | 100 | 24 | 10 | | | | |
| ISO3 | 1000 | 237 | 102 | 35 | | | Sınıf 1 |
| ISO4 | 10000 | 2370 | 1020 | 352 | 83 | | Sınıf 10 |
| ISO5 | 100000 | 23700 | 10200 | 3520 | 832 | | Sınıf |
| ISO6 | 1000000 | 237000 | 102000 | 35200 | 8320 | 298 | Sınıf |
| ISO7 | | | | 352000 | 83200 | 2930 | Sınıf |
| ISO8 | | | | 3520000 | 832000 | 29300 | Sınıf |
| ISO9 | | | | 35200000 | 8320000 | 293000 | Ofis |

Çizelge 2.4'te ISO 14644-2 numaralı standardına göre belirlenen zorunlu test sıklığı verilmektedir.

Çizelge 2.4. Temiz odaların zorunlu test sıklığı (ISO 14644-2).

| Test parametresi | Sınıf | Test aralığı en çok | Test yöntemi |
|----------------------|--------------|---------------------|-------------------|
| Parçacık sayım testi | ≤ ISO 5 | 6 ay | ISO 14644-1 Ek A |
| | > ISO 5 | 12 ay | |
| Hava basıncı farkı | Tüm sınıflar | 12 ay | ISO 14644-1 Ek B5 |
| Hava akışı | Tüm sınıflar | 12 ay | ISO 14644-1 Ek B4 |

Hava kalitesi hava değişim sayısına bağlıdır. Sınıf 5 temiz odada saatte 400-500 defa hava değişimi olurken sınıf 7 temiz odada saatte 50-60 defa hava değişimi olmaktadır. Temiz oda hava değişim oranları Çizelge 2.5.'te verilmektedir. Hava kalitesi hava değişim sayısına bağlıdır. ISO sınıf 3 temiz odada saatte 360-540 defa hava değişimi olurken ISO sınıf 8 temiz odada saatte 5-48 defa hava değişimi olmaktadır.

Çizelge 2.5. Temiz odaların hava değişim oranları (Terra Universal, 2012).

| FS temiz oda sınıfı | ISO eşdeğer sınıfı | Hava değişim oranı |
|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | ISO 3 | 360-540 |
| 10 | ISO 4 | 300-540 |
| 100 | ISO 5 | 240-480 |
| 1000 | ISO 6 | 150-240 |
| 10000 | ISO 7 | 60-90 |
| 100000 | ISO 8 | 5-48 |

Temiz odalar için uygunluk testi, değerlendirme ve ölçme ve diğer konular ISO standartlarında verilmektedir (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6. Temiz odalar için ISO standartları.

| |
|--|
| ISO 14644-1 Hava temizlik sınıfları |
| ISO 14644-2 Temiz oda uygunluk testi |
| ISO 14644-3 Temiz oda ve ilgili kontrollü çevrelerde değerlendirme ve ölçme yöntemleri |
| ISO 14644-4 Temiz oda tasarım ve inşaatı |
| ISO 14644-5 Temiz oda işlemleri |
| ISO 14644-6 Terim, tanım ve birimler |
| ISO 14644-7 Geliştirilmiş temiz cihazlar |
| ISO 14644-8 Moleküler kirlenme |
| ISO 14698-1 Biyolojik kirlenme: genel ilkeler |
| ISO 14698-2 Biyolojik kirlenme: Verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması |
| ISO 14698-3 Biyolojik kirlenme: Temiz yüzeylerin veriminin ölçülmesi yöntemi |

ABD ordusu mühendislik grubu temiz odaların planlama, tasarım, yapı, bakım, restorasyon ve yenileştirme kriterleri ile askeri departmanlar, savunma ajansları ve DOD (US Department of Defense, Birleşik Devletler Savunma Bakanlığı) alan çalışmalarına ve uygulamalarına ilişkin ortak ilkeleri belirlemektedir. Parçacıkların bulaşmasını önlemek için temiz odadaki havanın debisi, akış yönü, sıcaklığı, basıncı ve nemi özel filtrelerle kontrol altında

tutulur. Yarı iletken, elektronik, sağlık, kozmetik ve ilaç endüstrisi gibi alanlarda temiz odalar sıkı protokol ve yöntemlerle tasarlanıp imal edilmektedir.

Temiz odalar inşa edildikten sonra bakım ve temizlik işlemleri aynı yüksek standartlarla yapılmalıdır. Yüzey kirleticileri biçimlerine göre film türünde ve parçacık türünde olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Çok küçük olan bir elektronik devrede bu kirleticiler çok ciddi bir etkiye sahip olabilmektedir. Kalınlığı sadece 10 nm olan bir film tablet veya yonganın kaplamaya yapışma yeteneği böyle bir kirleticiden dolayı feci biçimde azalabilir. Bu yüzden 0,5 µm den büyük parçacıklar istenmemektedir. Bazı endüstriler bundan daha küçük parçacıkların bulunmamasını gerektirmektedir. Kirletici kaynakları aşağıda incelenmektedir:

1. İnsan. Kirletici kaynaklarının en önde geleni insandır. Bir insanda 10^{14} hücre ve 10^{15} bakteri bulunmaktadır. Hücreler sürekli yenilenmekte ve insan cildinden dökülen parçalar, yağlar, saçlar, kozmetik ve parfüm, ağız suyu, keten ve elyaf gibi elbise artıkları söz konusu olmaktadır. Bir insan vücudunda dakikada 300 milyon hücre ölmektedir.

2. Tesisat. Odanın duvar, döşeme ve tavanı, boya ve kaplamalar, parke, lamine gibi inşaat malzemeleri kirletici kaynağıdır. Klima sisteminin artıkları, oda havası, buhar sızıntısı ve döküntüler kirletici kaynağıdır.

3. Takımlar. İmal edilen takımlar sürtünme ve aşınma ile kirletici üretirler. Yağlar, süpürge ve tozlar da bu grupta sayılmaktadır.

5. Akışkanlar. Havada yüzen parçacıklar, bakteriler, temizlik kimyasalları, organik parçacıklar ve nem.

5. Plastizerler, atılan gazlar ve deiyonize su.

6. İmal edilen ürünler. Silikon yonga, kuartz flake, temiz oda artıkları ve alüminyum parçacıklar kirletici kaynağıdır.

İnsanın bir dakikada ürettiği parçacık sayısı hareket durumuna göre verilmektedir (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7. İnsanın ürettiği parçacık sayısı (Yazıcıoğlu ve Borat, 2018).

| Faaliyet | Parçacık sayısı, 10 ⁶ adet/min |
|-------------------------------|---|
| İnsan hareketsiz, ayakta veya | 0,1 |
| 0,9 m/s hızla yürüyen insan | 5 |
| 1,6 m/s hızla yürüyen insan | 7 |
| 2,2 m/s hızla yürüyen insan | 10 |
| El şakası yapan insan | 100 |

Alışılmış ofis odalarında 1 ft³ havada 0,5 µm den büyük parçacık sayısı 500 bin ile 1 milyon arasındadır. Federal Standart sınıfı 1000 olan bir temiz odada ise parçacık sayısı 1000 den fazla olmamalıdır. Bir insan hücresi en az 3 µm ve en çok 120 µm büyüklüğündedir. İnsan saçı 75-100 µm büyüklüğe sahiptir ve temiz odada bundan 200 kez daha küçük parçacıklar felakete yol açabilir. Kirletici parçacıklar fabrikanın ölü zamanını artırarak üretim maliyetini yükseltirler. Örneğin NASA (National Aeronautics and Space Administration)'nın milyar dolarlık Hubble uzay teleskopu 0,5 µm den küçük parçacıklar nedeniyle arızalandığı için bir süre amaçlanan görevini yerine getirememiştir.

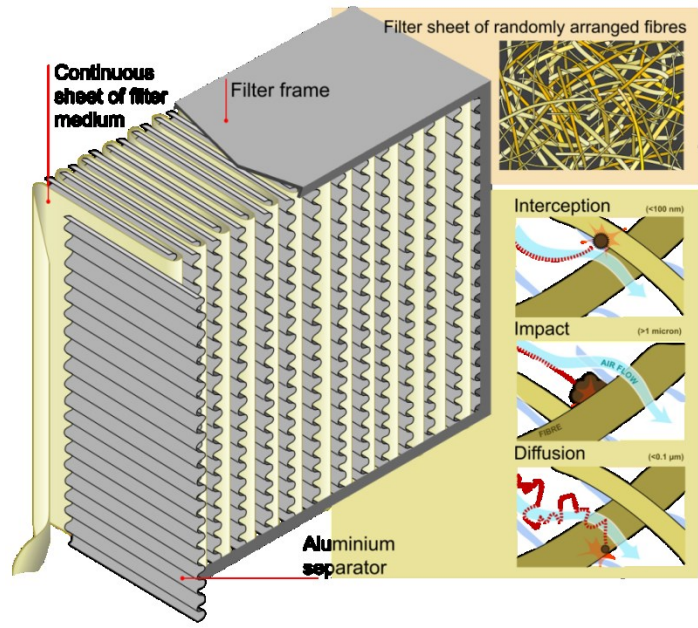
Temiz odadaki havanın sıcaklığı 21°C ve bağıl nemi %45 olmalıdır. Bunun sağlanması için havanın HEPA (High Efficiency Particulate Air, High Efficiency Particulate Absorber, High Efficiency Particulate Arresting) Yüksek Verimli Parçacık Havası filtresinden geçirilmesi gerekmektedir (Whyte, 2010). Bu filtreler temiz odaların asıl elemanlarından ve genellikle radyolojik olmayan atıklar için kullanılmaktadır. HEPA filtreler Radyolojik atıklarda HEPA filtreler giriş ve çıkış havası için kullanılmaktadır. HEPA filtreler havada bulunan 0,3 µm den büyük parçacıkların en az %99,97 sini uzaklaştırabilmektedir. Bu büyüklükteki parçacıkların uzaklaştırılması zordur. ULPA (Ultra Low Penetration Air) filtrelerde bu oran %99,999 a yükselmektedir. Radyoaktif parçacıkların veya etkinliklerin konsantrasyonu iz miktardan birkaç yüz tera

Becquerel (TBq) değerine kadar çıkabilmektedir. ULPA filtreler 0,12 µm ve daha büyük toz, polen gibi parçacıkları uzaklaştırabilmektedir. EN 1822 standardına göre U 15, U 16 ve U 17 için ULPA filtrelerin verimi sırasıyla %99,9995, %99,99995 ve %99,999995 olmaktadır. Aercology, Airflow Systems, Torit ve AQE firmaları %99,97 verimli HEPA filtre imal etmektedir. Temiz odalar hava içinde asılı toz parçacıkların birim hacimdeki sayısına göre sınıflandırılmaktadır (Yazıcıoğlu ve Borat, 2018).

HEPA filtreler, çok küçük parçacıkların yanı sıra en büyük parçacık kirleticileri için çok yüksek bir filtreleme verimliliği sağlar. evre Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü (Institute of Environmental Sciences and Technology) IEST-RP-CC001.3 ve MIL-STD-282 Metot 102.9.1 tarafından tanımlandığı gibi, bir HEPA filtresi 0,3 µm boyutunda en az % 99.97 kirletici madde yakalamalıdır.

0,3 µm referans noktası, verimlilik derecelendirmelerinde kullanılır, çünkü yakalanacak toz bir filtrenin en zor parçacık boyutuna yaklaşır. HEPA filtreleri, 0,3 µm den küçük ve 0,3 µm den büyük parçacıkların ayrılmasında daha etkilidir. Parçacık boyutu 0,3 µm nin altına düştüğünde, HEPA filtrenin parçacık uzaklaştırma veriminin artması sezgiseldir. Ancak bu filtreleme bilimlerinde kabul edilen bir gerçektir. Bir HEPA filtre Şekil 2.6'da verilmektedir. Şekilde filtre ortamının sürekli levhası, filtre erevesi ve alüminyum seperatör görülmektedir. Filtre levhasında gelişigüzel yerleştirilmiş lifler bulunmaktadır.

HEPA filtreler %5'e kadar akrilik bağlayıcı ile bağlanmış borosilikat cam liflerinden veya polipropilen gibi polimer liflerinden imal edilmektedir. Havada bulunan parçacıklar doğrudan durdurma, çarpma ve yayılım yoluyla tutularak hava temizlenmektedir.



Şekil 2.6. Bir HEPA filtre kesiti (Whyte, 2010, Wikipedia 18.11.2018).

Genel olarak dört filtreleme mekanizması bulunmaktadır (Whyte, 2010, Donaldson Co.2018):

a. Ataletle çarpma (inertial impaction): Havada asılı bulunan büyük ve ağır parçacıkların ataleti daha büyüktür. Akışkan akımı yön değiştirirken lifli uzaya doğru bu parçacıklar doğrultularında harekete devam ederler ve ortam liflerine çarpıp tutulurlar.

b. Yayınım (diffusion): Difüzyon daha küçük parçacıklarda olur. Küçük parçacıklar viskoz sıvıda tutunamazlar ve akış içine yayınırlar. Parçacıklar akış yönüne dik yönde hareket ederken liflerle koloide olup toplanırlar.

c. Doğrudan durdurma (interception): Önemli atalet kuvvetine sahip olacak kadar büyük olmayan ve yayınım yapacak kadar küçük olmayan orta büyüklükteki parçacıklarda doğrudan durdurma mekanizması ortaya çıkar. Bu orta büyüklük parçacıkları akış yönünü takip ederek fiber ortamına temas eder ve böylece yakalanırlar.

d. Eleme (siewing): Parçacıklar çok büyükse lif alanında filtreleme meydana gelir.

ABD’de HEPA filtre imal eden bazı büyük şirketler aşağıda verilmektedir:

1) Rabbit Air MinusA2. Burada altı aşamalı filtreleme mevcuttur.

- a. Ön filtre - En büyük parçacıkları yakalar ve diğer filtrelerin ömrünü uzatır.
- b. Orta Filtre - Büyük alerjenleri ve toz parçacıklarını yakalar.
- c. BioGS HEPA Filtre - Tüm alerjenler, toz, polen ve küf parçacıklarının en küçüklerini yakalar. Gerçek HEPA filtresinin ömrünü 3 yıla kadar uzatır.
- d. Karbon Filtre - Kokuları ve kimyasal buharları ortadan kaldırır.
- e. Özelleştirilmiş Filtre - Ürünü özel ihtiyaçlarınıza göre özelleştirebilir. Geliştirilmiş mikrop savunması, toksin emilimi, evcil hayvan alerjileri veya koku giderimi arasında seçim yapılabilir.
- f. İyon Jeneratörü- Havadaki kirletici maddeleri ozon üretmeden etkisizleştirmek için iyonik bir alan oluşturur.

2) Levoit Kompakt Hava Temizleyici

3) Honeywell HPA300 True HEPA Alerjen Sökücü

4) Winix PlasmaWave 5500-2

5) AIRMEGA 300S Akıllı Etkin Hava Temizleyici

6) Hamilton Beach TrueAir Kompakt Pet Hava Temizleyici

7) Winix WAC9500 Ultimate Pet True HEPA Hava Temizleyici

8) Coway Mighty Hava Temizleyici AP-1512HH

9) GermGuardian AC5000E 3-i-1 Hava Temizleyici

10) Alen BreatheSmart Özelleştirilebilir Hava Temizleyici (Home air guides).

Avrupa'da en büyük HEPA filtre imalatçıları Freudenberg Filtration Technologies SE & Co. KG (Almanya), Ahlstrom-Munksjö (Finlandiya), Donaldson Company, Inc. (Belçika), Bekaert Group (Belçika), Nilfisk Advance (Danimarka) ve Nederman (İsveç) olmaktadır.



3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

İnsanlar hayatları boyunca belirli seçenekler arasından seçim yapmak durumunda kalmaktadır. Sadece iki seçenek arasında ve bir faktöre bağlı seçim kolayca yapılabilir. Seçenekleri ayırt etmek bu faktöre göre karar vermek bazı durumlarda fazla çaba göstermeyi gerektirebilir. Karar verme ile seçenekler arasında daha uygun olan seçilmek istenir. Seçenek sayısı ve seçime etki eden faktör sayısı arttıkça karar verme karmaşıklığı artmaktadır.

Karar analizinin temel adımları problemin tanımı, muhtemel seçeneklerin belirlenmesi, karar vermenin kontrolünde olmayan olayların belirlenmesi her seçeneğin her olay için elde edeceği sonuçları gösteren karar tablosunun oluşturulması, bir karar modelinin seçilmesi ve bunun uygulanması ile en uygun seçeneğin belirlenmesi olmaktadır. Bulunan sonucun tutarlı olup olmadığı araştırılır.

Karar teorisi yaklaşımı; doğrusal programlama, oyun teorisi, fayda teorisi gibi geniş kullanım alanı olan pek çok karar verme aracının gelişimine temel oluşturmaktadır.

Aşağıdaki durumlarda bir karar analizi gerekli olmaktadır:

- ✓ Kara verici bir problem olduğunun farkındadır.
- ✓ Problemi çözmek için bir zorunluluk söz konusudur.
- ✓ Birden fazla uygun seçenek vardır.
- ✓ Tercih edilebilir seçeneklerde belirsizlik vardır.

Bir karar problemini çözerken kurulan model, gerçek sistemi ne kadar iyi temsil ederse, elde edilen sonuçların güvenilirliği de o kadar artar. Özellikle niceliksel etkenler ile birlikte niteliksel etkenlerin de göz önünde bulundurulması sonuçların daha gerçekçi olmasını sağlamaktadır. Karar problemleri genellikle ait oldukları karar ortamının koşulları esas alınarak sınıflandırılır. Karar verme

türleri bilgi sahibi olma derecesine göre belirlilik durumu, risk altında bulunma ve belirsizlik durumu olarak sınıflandırılmaktadır.

Belirlilik Durumu: İki veya daha fazla seçeneğin hangi olayla karşılaşacağıın bilinmesi sonucun kesin tahmin edilmesini sağlamaktadır.

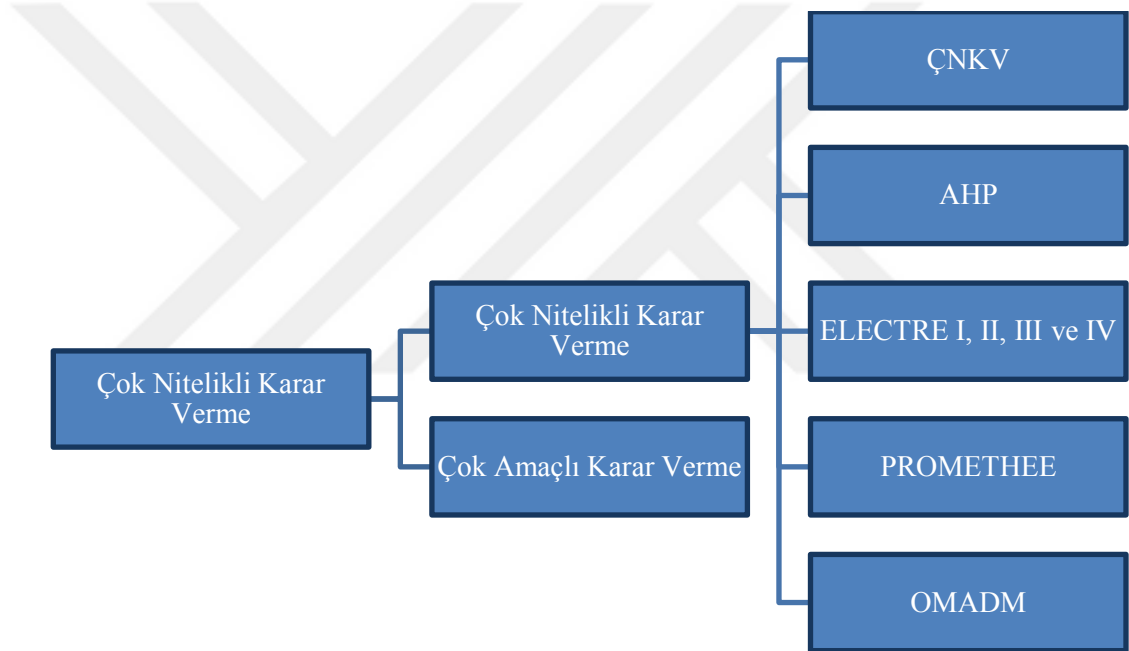
Risk Altında Bulunma: Gerçek problemlerde ortaya çıkmaktadır. Risk, seçeneklerin gelecekte farklı olaylarla karşılaşılabilceği ve muhtemel sonuçların beklenenden farklı olabileceği anlamına gelmektedir.

Belirsizlik Durumu: Karar seçeneklerinin hangi olaylarla karşılaşabileceği ve ne gibi sonuçların ortaya çıkacağı bilinir. Ancak olaylarla hangi sıklıkta karşılaşılacağı konusunda belirsizlik bulunmaktadır.

Karar vericiler için en iyi seçeneği seçmek oldukça zor bir iştir. Karar vericiler alternatifler arasından seçim yaparken değişik amaçları gerçekleştiren, bazen de birbiriyle çelişen seçenekler arasından en uygun olanı bulmak zorundadırlar. Bu nedenle birçok karar verici bu şekildeki problemlerle karşılaştığı zaman Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin uygulanması kolaylık sağlamaktadır (Aladağ, 2011).

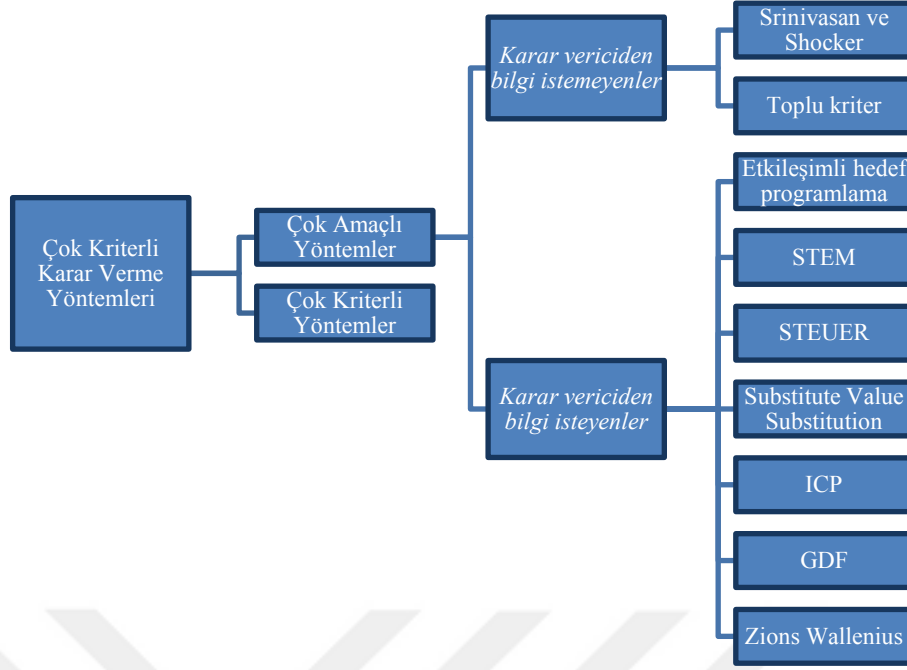
ÇKKV, birden fazla ve aynı anda uygulanan kriterlerin içerisinde en iyi tercih seçilmesini kolaylaştırmaktadır. Her problem setinde ilgili kriterler belirlenmektedir. Karar için göz önünde bulundurulması gereken çok sayıda faktör olmasına rağmen karar verici en önemlilerini kriter olarak kabul eder ve ihtiyaçların karşılanmasında mevcut alternatifleri, tespit edilmiş mukayese kriterlerinin varlığı altında değerlendirerek kendisi için en uygun olan alternatifi üç aşamalı olarak belirlemektedir. İlk aşama kriterlerin tespit edilmesi ve bu kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerinin sıralanmasıdır. İkinci aşama ise alternatiflerin bu kriterleri ne oranda tatmin ettiklerinin belirlenerek, bütün kriterler üzerinden, her alternatife ait nihai değerlendirmeye ulaşılmasıdır. Son aşama ise en yüksek puana sahip alternatifin tercih edilmesidir. ÇKKV yöntemlerinin ilk aşamasında kriterlerin

birbirlerine göre önem derecelerinin belirlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Yöneylem modellerinin sınıflandırılması çeşitli karar kriterlerine bağlı olarak karar verme problemi ile ilgili olmaktadır. Karar vermede birbiriyle çelişen kriterler de ortaya çıkabilmektedir. ÇKKV problemlerini iki ana kolu Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV, MADM, Multi-Attribute Decision Making) ve Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV, MODM, Multi-Objective Decision Making) olmaktadır (Şekil 3.7). Diğer Çok Amaçlı Karar Verme (OMADM, Other Multi-Objective Decision Making) yöntemleri içinde bulunan TOPSIS (Technique for order of Preference by Similarity) yöntemi popüler kullanıma sahip bulunmaktadır.



Şekil 3.7. Çok kriterli karar verme yöntemleri (Zhao vd 2016, Mirjat vd, 2018)

Yöntemlerle ilgili karar vericiden bilgi isteme durumuna göre bir sınıflandırma Şekil 3.8.'de verilmektedir.



Şekil 3.8. Bilgi isteme durumuna göre çok kriterli karar verme yöntemleri
(Mojtaba vd, 2016).

Bir ÇKKV probleminin açıklanması ve çözümünde, aşağıdaki unsurlar belirlenmektedir:

Karar verme birimi veya karar vericinin kim ya da kimlerden oluşacağı
Bir kriterler kümesi ve kriterler arasındaki ilişkiler ve bunların hiyerarşik yapısı

Uygun alternatifler kümesi, x karar değişkeninin n boyutlu vektörlerinden oluşan alternatifler kümesi:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$$

Değerlendirme için uygun amaç fonksiyonları veya nitelikler kümesi:

$$F_j = [f_1, f_2, \dots, f_n] \quad X_j = [x_1, x_2, \dots, x_n]$$

Verilen bir alternatif x için her bir kriterin değerleri:

$$f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$$

Verilen bir a_i alternatifi için her bir kriterin değerleri:

$$X_j(a_j)=x_{ij}$$

Alternatifler kümesinin tanımı, karar değişkenlerinin ve niteliklerin türü, bunların ölçüm düzeyleri, problemin doğal durumu, araç/amaç ilişkilerinin türü.

Karar kuralının ne olacağı veya karar vericinin tercih yargılarının modellenmesi için ihtiyaç duyulan bilgisinin türü.

Çok Kriterli Karar Verme alanı ile ilgili kaynaklar incelendiğinde, ÇKKV probleminin yapısının oluşturulmasında ve alanda gözlemlenen farklı yaklaşım ve yöntemlerin tanımlanmasında önemli yer tutan ve en çok kullanılan, birkaç farklı terim ile karşılaşılmaktadır. Nitelik, amaç, hedef, kriter terimlerini anlamak bir ÇKKV problemini kavramak açısından önemlidir.

Nitelik, amaca ulaşma seviyelerinin değerlendirilmesi için bir vasıta sağlamaktadır. Karar problemindeki her alternatif, birkaç nitelikte karakterize edilerek değerlendirilir. Araba alım örneği verilecek olursa nitelikler, arabanın bir depo benzinle gidebileceği mesafe, fiyatı, beygir gücü gibi olabilir. Bir nesnel gerçekliği tanımlamaya yarayan nitelikler, gerçekte var olan, ölçümü kolay, nesnel özellikler olabileceği gibi, öznel olarak bir olguya atanan, ölçümü zor özellikler olabilir. Fakat her durumda bunlar, o gerçeğin ya da olgunun dış dünyaca algılanan karakteristik özellikleridir. Bu yüzden belirlenen nitelikler, her ne kadar karar vericinin değerlerinden ve gerçeği modelleme faaliyetinden farklı düşünülme de, onun istek ve ihtiyaçlarından yola çıkarak bağımsız bir biçimde belirlenebilirler. Örneğin ağırlık, güç, fiyat gibi nitelikler nesneldir; karar vericinin istek ve beklentileri bunları değiştirememektedir. Ancak estetik, şıklık, stil, statü imajı gibi özellikler öznelidir. Zorluklara rağmen, karar verme sürecinin başında, tüm alternatifler için belirlenen niteliklere ait seviyelere değer biçmek ve bunu karar vericinin istek ve beklentilerinden yola çıkarak yapabilmek mümkündür. Nitelikler tanımlandıktan ve ölçüldükten sonra hangi niteliklerin hangi seviyelerde maksimize edileceği veya minimize edileceği

hangi seviyelerde niteliklere sahip alternatiflerin tercih edileceğine karar verilir. Bir araba için karar verirken ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti, yakıt tüketimi, estetik ve egzoz emisyonu gibi faktörler göz önüne alınabilir.

Hedefler gerçekleştirilmesi arzulanan amaca ulaşma çabası içinde önceden belirlenen değerleri belirtir. Hedefler, karar vericinin istek ve ihtiyaçları ile tam anlamıyla paralel bir yapı içinde tanımlanır. Bir arabanın 1 L yakıtla gidebileceği mesafenin maksimize edilmesi bir amaç iken, 1 L yakıtla kat edilecek mesafesinin 15 km olmasının istenmesi hedef belirleme olmaktadır. Ayrıca, hedeflerin başarılıp başarılammaması yargısı, eldeki alternatifler kümesinden bağımsızdır. Bu yönden hedef kavramı amaç kavramından ayrılır:

Kriterler, karar vermeye yol gösteren tüm ölçümler, standartlar veya kurallara verilen genel addir.

ÇKKV analizinde, bir problemin yapısı ve çevresel faktörlerini tanımlayan karar durumunun açıkça betimlenmesi gerekli bir konudur. Karar durumunun iyi bir tasvirinin yapılabilmesi için problemin çerçevesi ve temel bileşenleri açık bir şekilde saptanmalıdır (Çınar, 2004).

3.1 COPRAS Yöntemi

1996 yılında Vilnius Gediminas Teknik Üniversitesi araştırmacıları çok kriterli karar verme yöntemi olan COPRAS (Complex Proportional Assessment, Alternatiflerin Karmaşık Orantılı Değerlendirmesi) yöntemini geliştirdiler. COPRAS yöntemi çok kriterli değerlendirmede maksimum ve minimum kriter değerleri için kullanılabilir. COPRAS yöntemi, karmaşık kriterler ve çok sayıda alternatif içeren problemlere kolaylıkla uygulanabilmektedir (Sarıçalı ve Kundakçı 2016). Ağır taşıtların kaza yapmasını engellemek için kara yollarında bulunan kör noktalarla ilgili bir vaka çalışmasına bu yöntem uygulandı (Pitchipoo vd, 2014). COPRAS yönteminin çözümün diğer alternatiflerden ne kadar iyi veya kötü olduğunu yüzde olarak ortaya koyması diğer ÇKKV yöntemlerinden en önemli farkı olmaktadır (Aksoy, 2015, Özbek, 2017).

COPRAS yönteminde aşağıdaki adımlar bulunmaktadır:

1. Etkili kriterlerin ve mevcut alternatiflerin belirlenmesi ve seçimi. Önce ÇKKV ye etkili nitelikler seçilir. Sonra mevcut alternatifler seçilir.

2. Alternatif ve niteliklerle ilgili X karar matrisinin oluşturulması. Alternatif ve niteliklerle ilgili veriler matris şeklinde gösterilir (Kotil vd. 2018).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

3. Karar matrisinin normalize edilmesi

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \bar{x}_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{n1} & \bar{x}_{n2} & \bar{x}_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada n alternatif sayısı, m nitelik sayısı ve $\bar{x} = x_{ij} / \sum x_{ij}$ olmaktadır.

4. P_j maksimize indeksi ve R_j minimize indeksi belirlenir. Maksimum değer optimum ise P_j niteliği için belirlenir. Değilse R_j değeri belirlenir.

5. \hat{X} ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması.

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{11} & \hat{x}_{12} & \hat{x}_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ \hat{x}_{n1} & \hat{x}_{n2} & \hat{x}_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada $\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} * W_j$ olmaktadır.

6. P_j maksimize indeksinin ve R_j minimize indeksinin belirlenmesi.

7. Her alternatif için Q_j izafi ağırlığının belirlenmesi. İzafi ağırlığı en yüksek olan alternatif en iyi alternatif olarak göz önüne alınmaktadır.

3.2. ELECTRE Yöntemi

ELECTRE (Elimination and Choice Translating Algorithm, Eliminasyon ve Seçme Çeviri Algoritması) ailesi 1968 yılında Benayoun, Roy ve Sussman tarafından tanıtıldı. Yöntem daha sonra Bernard Roy tarafından geliştirildi. Bu aile, ELECTRE I, II, III, IV, IS ve TRI yöntemlerini içerir. Tüm ELECTRE yöntemleri kavramları tanımlarken benzer görünmektedir, ancak çözülmekte olan karar probleminin türüne göre farklılık göstermektedir. ELECTRE I'in seçim problemleri için en uygun olduğu ispatlanmıştır. ELECTRE TRI, atama tipi problemleri için uygun görünmektedir ve diğer ELECTRE yöntemleri problemleri sıralamak içindir. Özellikle, ELECTRE III'ün sorunlu sıralama için daha uygun olduğu kanıtlanmıştır. ELECTRE III'ün farklı uygulamalarda yararlı olduğu belirlenmiştir. Tüm ELECTRE yöntemleri kavramları tanımlarken benzer görünmektedir, ancak çözülmekte olan karar probleminin türüne göre farklılık göstermektedir. ELECTRE I'in seçim problemleri için en uygundur. ELECTRE TRI, atama tipi problemleri için uygun görünmektedir ve diğer ELECTRE yöntemleri problemleri sıralamak içindir. Özellikle, ELECTRE III'ün sorunlu sıralama için daha uygundur ELECTRE III'ün farklı uygulamalarda faydalıdır (Mary ve Suganya, 2016). ELECTRE ve TOPSIS yöntemlerin başlangıç aşamaları aynıdır.

ELECTRE yönteminin adımları:

1. A Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri yer alır. Karar matrisi (A) karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

A_{ij} matrisi m karar noktası sayısını, n değerlendirme faktörü sayısını verir.

2. X Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

R standart karar matrisi A matrisinin elemanları normalize edilerek hesaplanır: X matrisinin x_{ij} elemanı; A matrisinin a_{ij} elemanı, matrisin i. sütun elemanlarının kareleri toplamının kareköküne bölünmesiyle elde edilir. Burada

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad \text{olmaktadır (Kotil vd. 2018).}$$

Normalizasyon işleminin sonunda X matrisi elde edilir.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

3. Y Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

Her bir değerlendirme faktörünün karar verici açısından önemi farklı olabilir. Bu yüzden ELECTRE çözümüne ulaşabilmek için Y matrisi hesaplanır. Karar verici öncelikle değerlendirme faktörlerinin ağırlıklarını belirler ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$). Daha sonra X matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak Y matrisi elde edilir.

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

4. C_{kl} Uyum ve D_{kl} Uyumsuzluk Kümesinin Belirlenmesi

Y matrisi ile uyum ve uyumsuzluk kümeleri belirlenir. Bu aşamada alternatif karar noktaları kriterler açısından birbirlerine göre kıyaslanır.

Uyum kümesi (C_{kl}) aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$C_{kl} = \{j, v_{kj} \geq v_{lj}\} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Uyumsuzluk kümesi (D_{kl}) aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$D_{kl} = \{j, v_{kj} < v_{lj}\} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Formül temel olarak satır elemanlarının birbirlerine göre büyüklüklerinin karşılaştırılmasına dayanır.

5. C Uyum ve D Uyumsuzluk Matrisinin Oluşturulması

C uyum matrisinin oluşturulması için uyum kümeleri kullanılır. $j = 1, 2, \dots, n$

Oluşan C matrisi aşağıda gösterilmiştir:

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & - & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & - \end{bmatrix}$$

C matrisi gibi D matrisi de $m \times m$ boyutludur ve $k = 1$ için değer almaz. D matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & - & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & - \end{bmatrix}$$

6. F Uyum-Üstünlük ve G Uyumsuzluk Üstünlük Matrislerinin Oluşturulması

F uyum üstünlük matrisi $m \times m$ boyutludur ve matrisin elemanları uyum eşik değerinin karşılaştırılmasından elde edilir.

Formüldeki m karar noktası sayısını göstermektedir.

Uyumsuzluk üstünlük matrisi (G) de $m \times m$ boyutludur ve F matrisine benzer şekilde oluşturulur.

7. E Toplam Baskınlık Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada hem c hem de d değerleri için 1 olarak sonuçlanmış satırlar seçilerek toplam üstünlük durumu oluşturulur. Toplam üstünlük matrisinin (E) elemanları f_{kl} ve g_{kl} matrisinin elemanlarının karşılıklı çarpımına eşittir. Burada E matrisi C ve D matrislerine bağlı olarak $m \times m$ boyutludur ve yine 1 ya da 0 değerlerinden oluşur. $e_{kl} = f_{kl} \cdot g_{kl}$

Toplam baskınlık matrisinden alternatiflerin kısmi tercih sırası belirlenebilir. Eğer $e_{kl} = 1$ ise, bu hem uyum, hem de uyumsuzluk kriterini kullanarak alternatif A_k 'nin A_l 'ye tercih edildiği anlamına gelir.

8. Karar Noktalarının Önem Sırasının Belirlenmesi

E matrisinin satır ve sütunları karar noktalarını gösterir:

$$E = \begin{bmatrix} - & 0 & 0 \\ 1 & - & 1 \\ 1 & 0 & - \end{bmatrix}$$

3.3 PROMETHEE Yöntemi

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method For Enrichment of Evaluations, Değerlendirmelerin Zenginleştirilmesi İçin Tercih Sıralaması)

yöntemi, Brans tarafından önerilmiştir ve alternatif çiftler arasındaki geçiş ilişkisine dayanan bir yöntem türüdür. Sıralama yöntemi, öncelikle her bir kriter üzerindeki alternatifleri karşılaştırır. PROMETHEE yöntemi, her bir kriterdeki alternatif çiftler arasındaki tercih farkını tanımlamak için tercihli işlevi başlatır. Dolayısıyla, tercihler, alternatiflerin çiftleri arasındaki sayısal farklar ile ilgili olarak, karar vericinin görüş noktasından tercih tercihini açıklamak için oluşturulmuştur. Bu fonksiyonların değeri 0 ile 1 arasındadır. Fonksiyonun değeri ne kadar büyükse, tercihin farkı da büyük olur. Değer sıfır olduğunda, alternatif çifti arasında tercihli bir fark yoktur. Tam tersine, değer 1 olduğunda, alternatiflerden biri diğerini kesinlikle salıverir.

Bu yöntem PROMETHEE I (kısmi sıralama) ve PROMETHEE II (tam sıralama) olarak iki farklı temel modelden oluşur. PROMETHEE I yardımıyla, temel olarak belirlenmiş tercih fonksiyonlarına dayanarak alternatifleri üstünlük (P), eşitlik (I) ve karşılaştırılmaz (R) kategorilerinde belirleyerek bir sonuç oluşturmak mümkündür. Ancak bu sonuç tam bir sıralama vermemekte, sadece alternatifleri negatif ve pozitif akımlarına göre karşılaştırarak yerlerini belirlemektedir. PROMETHEE II ile alternatiflerin net akımları hesaplanarak alternatifler en iyiden en kötüye doğru sıralanabilir. Sonuç olarak birçok kriter açısından değerlendirilen alternatiflerin göreceli karşılaştırılması tamamlanmış olur.

PROMETHEE yöntemi adımları (Özbek, 2017):

1. Karar verici tarafından alternatifler, kriterler ve kriter ağırlıkları belirleyerek karar matrisi hazırlanır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. PROMETHEE matris düzeni.

| Alternatif | 1. Kriter | 2. Kriter | ... | n. Kriter | Ağırlık (W) |
|------------|-----------|-----------|-----|-----------|-------------|
| A_1 | | | | | |
| A_2 | | | | | |
| ... | | | | | |
| A_n | | | | | |

2. Her bir kriter için tercih fonksiyonu tanımlanır. Tercih fonksiyonları kriterin yapısına ve alternatiflerin temel özelliklerine göre belirlenir (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. Tercih Fonksiyonları (Dağdeviren ve Eraslan, 2008)

| Tip | Parametreler | Fonksiyon |
|-------------------------|--------------|---|
| Birinci Tip (olağan) | -- | $p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$ |
| İkinci Tip (U-tipi) | l | $p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1 \\ 1, & x > 1 \end{cases}$ |
| Üçüncü Tip (V-tipi) | m | $p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$ |
| Dördüncü Tip (Seviyeli) | q, p | $p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < x \leq q + p \\ 1, & x > q + p \end{cases}$ |
| Beşinci Tip (Lineer) | s, r | $p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ \frac{x-s}{r}, & s \leq x \leq s+r \\ 1, & x \geq s+r \end{cases}$ |
| Altıncı Tip (Gaussian) | σ | $p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$ |

3. Belirlenen tercih fonksiyonları dikkate alınarak karar noktalarının ikili karşılaştırmaları yapılır ve bütün alternatif çiftleri için ortak tercih fonksiyonları belirlenir. A ve B iki karar noktasını göstermek üzere ortak tercih fonksiyonu için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$P(A, B) = \begin{cases} 0, & f(A) \leq f(B) \\ p[f(A) - f(B)], & f(A) > f(B) \end{cases}$$

Değerlendirme faktörünün maksimize ya da minimize yönlü olup olmadığına dikkat edilmesi gerekmektedir.

4. Pozitif ve negatif üstünlük değerleri hesaplanır. Pozitif üstünlük (Φ^+) ele alınan alternatifin diğer alternatiflere göre ne oranda baskın bir tercih olduğunu ifade eder. Negatif üstünlük (Φ^-) ise ele alınan alternatifin diğer alternatiflere göre ne oranda zayıf bir tercih olduğunu ifade eder. Φ^+ ne kadar büyürse,

alternatif o kadar iyi duruma gelir. Φ^- ise ne kadar küçülürse, alternatif o kadar iyi duruma gelir.

5. PROMETHEE I ile alternatiflerin kısmi sıralaması elde edilir. Elde edilen pozitif değer (Φ^+) ilgili alternatifin diğer olası alternatifler karşısında ne kadar üstün olduğunu gösterirken, negatif değer (Φ^-) diğer olası alternatifler karşısında ne kadar zayıf olduğunu gösterir.

6. PROMETHEE I ile alternatiflerin birbirlerine göre öncelik değerleri hesaplanır. Ancak pozitif ve negatif akımların karşılaştırılması sonucu elde edilen PROMETHEE I sonuçları tam bir sıralama yapmak isteyen karar verici için yeterli sonuçları vermeyecektir.

7. Kıyaslanamaz alternatiflerin olmadığı tam bir sıralama istendiğinde PROMETHEE II ile net öncelikler değerleri hesaplanır: $\Phi^{net} = \Phi^+ - \Phi^-$
Alternatifler elde edilen net akım değerlerine göre büyükten küçüğe sıralanır ve nihai sıralama elde edilir.

3.4 VIKOR Yöntemi

Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) tekniklerinden VIKOR (VlseKriterijuska Optimizacijska Komoromisno Resenje, Vize Kriterleri Optimizasyonu ve Ticari Çözümleri) yöntemi Opricovic tarafından ilk olarak 1998 yılında ortaya atıldı. Sürdürülebilirliği değerlendirmek ve karşılaştırmak için de kullanılabilir (Mardani vd, 2016).

VIKOR yöntemi karmaşık sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirildi. Uzlaşma sıralamasını, uzlaşmayı belirler çözüm ve ağırlık stabilite aralıkları uzlaşma çözümünün tercih kararlılığı için başlangıç verileri ağırlıklar ile elde edilir. Her bir alternatifin değerlendirildiği fazedilirse her kriter işlevine göre, sıralama karşılaştırılarak uzlaşma ideal alternatife yakınlığın ölçüsü yapılabilmektedir. Bu yöntem, çelişkili kriterler ile bir problemin uzlaşılabilir çözümünün belirlenmesi ve seçilen alternatifler kümesinin sıralanmasına odaklanarak karar vericiye nihai bir karara ulaşmasında yardımcı olmaktadır

(Opricovic ve Tzeng 2004). VIKOR yöntemi çoğunluğun maksimum grup faydasını ve rakiplerin bireysel pişmanlığının minimum yapılmasını amaçlamaktadır. Hesaplamaları oldukça basit ve açıktır.

Alternatiflerin her bir kritere göre değerlendirildiği varsayıldığında, uzlaşma sıralaması ideal çözüm yakınlık ölçüsü karşılaştırılarak gerçekleştirilir. Son on yılda, VIKOR çok kriterli ve alternatifli gerçek hayat problemlerini ele almada daha popüler bir karar destek aracı haline gelmiştir.

VIKOR yöntemi çoğunluğun maksimum grup faydasını ve rakiplerin bireysel pişmanlığının minimum yapılmasını amaçlamaktadır. Hesaplamaları oldukça basit ve açıktır.

Alternatiflerin her bir kritere göre değerlendirildiği varsayıldığında, uzlaşma sıralaması ideal çözüm yakınlık ölçüsü karşılaştırılarak gerçekleştirilir. Son on yılda, VIKOR çok kriterli ve alternatifli gerçek hayat problemlerini ele almada daha popüler bir karar destek aracı haline gelmiştir. VIKOR yönteminin uygulama adımları (Özbek, 2017):

1. Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisi karar verici tarafından sürecin başlangıcında oluşturulan matristir. Bu matrisin satırlarında karar seçenekleri ve sütunlarında değerlendirme faktörleri yer alır. Burada i karar seçeneklerini ve j kriterleri göstermektedir.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

2. En İyi (f_i^*) ve En Kötü (f_i^-) Değerlerinin Bulunması

Kriterler için en iyi ve en kötü değerler belirlenir:

$$f_i^* = \max_i x_{ij} \quad f_i^- = \min_i x_{ij}$$

i karar seçeneklerini ($i = 1,2,3, \dots, m$) ve j kriterleri ($j = 1,2,3, \dots, n$) göstermektedir.

3. S_j ve R_j Değerlerinin Hesaplanması

Alternatifler için S_j ve R_j değerleri hesaplanır. w_j kriterin ağırlığını belirtmektedir. S_j değeri ortalama grup, R_j ise en kötü grup değerini gösterir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n \frac{w_j(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad R_j = \max \left[\frac{w_j(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \right]$$

4. Q_j Değerlerinin Hesaplanması

Her bir alternatif için aşağıdaki formül yardımıyla değerlendirme kriterlerine göre belirlenen Q_j değerleri, maksimum grup faydasını gösterir.

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1-v)(R_j - R^*)}{R^- - R^*}$$

Formülde gösterilen S^* ve R^* minimum S_j ve R_j değerlerini, S^- ve R^- değerleri ise maksimum S_j ve R_j değerlerini göstermektedir. v değeri maksimum grup faydasını yaratacak strateji için ağırlık değerini, $1-v$ ise karşıt görüşteki karar vericilerin minimum değerini ifade etmektedir.

5. S_j , R_j ve Q_j Değerlerinin Sıralanması

Hesaplanan S_j , R_j ve Q_j değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır.

6 C_1 Kabul Edilebilir Avantaj ve C_2 Kabul Edilebilir İstikrar Kümelerinin Belirlenmesi

Elde edilen sonucun geçerli olması için iki koşul sağlanmalıdır:

C1 Kabul edilebilir avantaj: $Q(P_2) - Q(P_1) \geq D(Q) = \frac{1}{i-1} Q(a'') - Q(a') \geq DQ$

$DQ = 1/(m-1)$

C2 Karar vermede kabul edilebilir istikrar: S ve/veya R değerine göre yapılan sıralamada a' en iyi sıradaki seçenek olmalıdır.

3.5. AHP Yöntemi

AHP (Analytic Hierarchy Process, Analitik Hiyerarşi Süreci) öncelikleri türetmek suretiyle alternatifleri sıralamanın bir yolunu ve sorunun çözülmesini sunar. Matematik ve psikolojiye dayanarak AHP, ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert tarafından ortaya atıldı. Daha sonra 1977'de Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirildi.

AHP yönteminin Saaty tarafından belirlenen aksiyomları şunlardır (Özbek, 2017):

1 Kapalı olma: Eğer i kriterinin j kriterine göre önem derecesi a_{ij} ise j kriterinin i kriterine göre önem derecesi a_{ji} olur.

2. Homojenlik: İkili karşılaştırmalarda kriterlerden birinin diğerine üstünlüğü sonsuz olamaz.

3. Bağımsızlık: Karar seçenekleri ve kriterler birbirinden bağımsızdır.

4. Karar problemi hiyerarşik yapıda tasarlanabilir.

AHP yönteminin bazı faydaları aşağıda verilmektedir:

- AHP çok sayıda kriter için uygulanabilir.
- İleri seviye teknikler gerektirmediğinden uygulanması daha kolaydır.
- Nicel ne nitel faktörler değerlendirilebilir.
- Karar vericinin tercihlerini doğru tespit etmesine fırsat verir.
- İnsan tercih, deneyim, bilgi, sezgi, yargı ve düşünceleri karar sürecine dâhil edilebilir.
- Ağır matematik hesap içermez.
- Farklı şartlara uygulanabilir,
- AHP ile ikili karşılaştırmaların tutarlılık dereceleri ölçülebilir.
- AHP sistematik yapı sebebiyle çok karmaşık problemleri bile basitleştiren sürece sahiptir.
- Grup kararlarının alınmasına uygundur.

AHP yönteminin hiyerarşinin oluşturulmasının zor olması, karşılaştırma işlemleri daha çok gruplar tarafından yapıldığından fazla zaman alması, yeni bir kriter ekleme veya çıkarma durumunda seçeneklerin sırasının değişmesi gibi mahzurlu yönleri de bulunmaktadır (Özbek, 2017).

Her bir insan için aynı karar probleminde karar ölçütlerinin önem düzeyi ve karar seçeneklerinin değerlendirilmesinde yargılar farklılık gösterebilmektedir. Bu tür karar problemlerinin çözümünde analitik hiyerarşi süreci daha etkin karar verme imkânı sağlayabilmektedir. AHP karar vericiler için birden fazla amaç önemli olduğunda, karar vericilerin kararına yardımcı olduğu en uygun yöntem ve kişinin kararları organize şekilde yapmaya çalıştığı bir süreçtir.

Çok amaçlı karar verilirken en temel sorun, değerlendirilen seçenekler için birçok kriter göz önünde bulundurularak ağırlık, izafi önem veya üstünlük belirlemektir. En ekonomik teklifin seçimi hiyerarşik bir modele oturtulduktan

sonra hiyerarşiyi oluşturan öğelerin izafi üstünlükleri hesaplanır. Bu değerler 1, 3, 5, 7, 9 önem ölçeği değerleridir. Önem ölçeğinde yer almayan 2, 4, 6, 8 gibi değerler ara değerlerdir. Karar verici 1 ve 3 arasında kararsız kalırsa 2 değerini kullanabilir.

AHP için aşağıdaki adımlara karar verilir (Saaty, 2008).

Öncelikleri oluşturmada düzenli bir şekilde karar vermek için:

- a. Sorun tanımlanır ve aranan bilgi türü belirlenir.
- b. Karar hiyerarşisini kararın hedefi ile tepeden ayrılır. Ara seviyelerden, geniş bir perspektiften hedefler (sonraki elemanların bağlı olduğu kriterler) en düşük seviyeye (genellikle bir alternatifler kümesidir) ayrılır.
- c. Bir çift karşılaştırma matrisini oluşturulur Üstteki her eleman seviyesi aşağıda bulunan unsurları karşılaştırmak için kullanılır.
- d. Önceliklere ağırlık vermek için karşılaştırmalardan elde edilen öncelikler kullanılır. Bu her eleman için yapılır. Sonra her bir öğe için aşağıdaki seviyede, ağırlıklı değerler eklenerek genel elde edilir. Son önceliklere kadar alana kadar ekleme ile bu sürece devam edilir. En alt seviyedeki alternatifler elde edilir.

AHP de öncelikle problem belirlenir ve probleme ait kriterler, alt kriterler ve alternatifler ile hiyerarşi oluşturulur. Daha sonra ikili karşılaştırmalar yapılarak karşılaştırma matrisi oluşturulur.

AHP adımları:

1. İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Kriterlerin ikili karşılaştırılması Çizelge 3.10'da açıklanmaktadır.

Çizelge 3.10. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisinin yapısı.

| Kriterler | 1. Kriter | 2. Kriter | i. Kriter | n. Kriter |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1. Kriter | W_1/W_1 | W_1/W_2 | | W_1/W_n |
| 2. Kriter | W_2/W_1 | W_2/W_2 | | W_2/W_n |
| i. Kriter | | | | |
| n. Kriter | W_n/W_1 | W_n/W_2 | | W_n/W_n |

2. Kriter Ağırlıklarının ve Alternatiflerin Değerlerinin Belirlenmesi

Üçüncü adımda ikili karşılaştırma matrisleri yardımıyla karar alternatiflerinin ağırlığı hesaplanmaktadır. İkili karşılaştırma matrisindeki her bir sütun değeri, bulunduğu sütun toplamına bölünerek matris normalleştirilmektedir. Normalleştirilmiş matristeki her sütunun toplam değeri 1 olmaktadır.

3. Tutarlılık Oranının Hesaplanması

TI: Tutarlılık indeksi (consistency index)

$$TI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$$

Burada λ_{\max} matristeki en büyük özdeğer (eigen value) ve n matrisin mertebesi olmaktadır.

TO: Tutarlılık oranı (consistency ratio):

$$TO = TI/RI$$

Burada RI, rastgele tutarlılık indeksi (random consistency index) olup Çizelge 3.11'de verilmektedir.

Çizelge 3.11. Rasgele Tutarlılık İndeksi (Saaty, 1980).

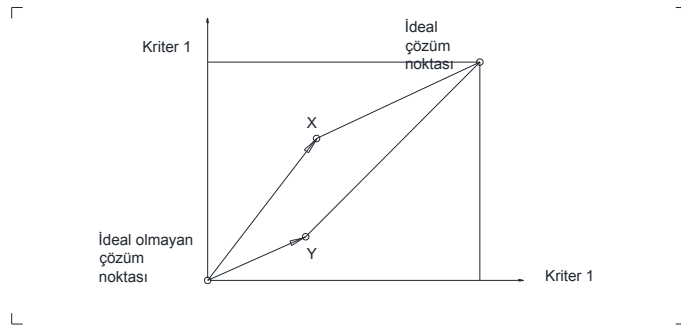
| | | | | | | | | | | |
|----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| RI | 0 | 0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

TO tutarlılık oranı 0,10 den küçük ise matrisin tutarlı olduğu kabul edilmektedir.

3.6. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Yoon ve Hwang tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir. TOPSIS yöntemi ELECTRE yönteminin temel yaklaşımlarını kullanır. Karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı ana prensibine dayanır ve çözüm süreci ELECTRE yöntemine nazaran daha kısadır. TOPSIS yöntemi altı adımdan oluşan bir çözüm sürecini içerir. Yöntemin ilk iki adımı ELECTRE yöntemi ile ortaktır.

Şekil 3.9'da gösterildiği gibi X ve Y iki alternatif olsun; Burada alternatiflerden X'in ideal çözüme yakın olması ve aynı şekilde negatif ideal çözümden uzak olması Y'ye göre X'in tercih edilme sebebidir. Y'nin X'e göre ideal çözümden uzak olması ve aynı zamanda negatif ideal çözüme yakın olması karar verici açısından Y'nin tercih edilmeme sebebidir.



Şekil 3.9 İdeal çözüm ve ideal olmayan çözüm (Özdemir, 2014).

TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin belirli kriterler doğrultusunda sıralaması yapılmaktadır. Bu yöntemin ilk aşaması karar matrisinin oluşturulmasıdır. Daha sonra ise karar matrisinden hareketle normalize edilmiş karar matrisi elde

edilerek buna ağırlık verilir. İdeal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar hesaplanır. Son olarak ise her bir alternatifin göreceli puanları hesaplanarak alternatiflerin sıralaması gerçekleştirilir.

Aşağıda TOPSIS yönteminin adımları verilmektedir (Özbek, 2017):

1. A Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri yer almaktadır. A matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir.

Karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

A_{ij} matrisinde m karar noktası sayısı ve n değerlendirme faktörü sayısı olmaktadır.

2. R Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

R Standart Karar Matrisi, A matrisinin elemanları kullanılarak oluşturulur:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (3.2)$$

R matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

3. V Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

Önce değerlendirme faktörlerine ilişkin w_i ağırlık değerleri belirlenir. Ağırlık değerlerinin toplamı 1 olur: $\sum w_i=1$

Sonra R standart karar matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak V standart karar matrisi oluşturulur:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

4. A* İdeal ve A- Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması

TOPSIS yöntemi, her bir değerlendirme faktörünün monoton artan veya azalan bir eğilime sahip olduğunu varsaymaktadır.

İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için V matrisindeki ağırlıklı değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin maksimumları seçilir. Değerlendirme faktörü minimum içinse minimumlar seçilir. Mesela maliyet küçük olsun istendiğinden burada maksimum yerine minimum seçilmesi gerektiği unutulmamalıdır. A* ideal çözüm seti aşağıda verilmektedir:

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (3.5)$$

İdeal çözüm seti $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$ olmaktadır.

Negatif ideal çözüm seti ise, V matrisindeki ağırlıklı değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri seçilerek oluşturulur. Fakat maliyet küçük olsun istendiğinden burada minimum yerine maksimum seçilmesi gerektiği unutulmamalıdır. A^- negatif çözüm seti aşağıda verilmektedir:

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (3.6)$$

Negatif çözüm kümesi $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$ olmaktadır.

(3.5) ve (3.6) formüllerinde J fayda (maksimize), J' ise kayıp (minimize) değerini göstermektedir. İdeal çözüm kümesi ve negatif ideal çözüm kümesi, m değerlendirme faktörü sayısı kadar elemandan oluşmaktadır.

5. Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

TOPSIS yönteminde her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme faktör değerinin ideal ve negatif ideal çözüm setinden sapmalarının bulunabilmesi için uzaklık yaklaşımından yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen karar noktalarına ilişkin sapma değerleri ise S_i^* ideal ayırım ve negatif ideal ayırım S_i^- ölçüsü olarak adlandırılmaktadır. İdeal ayırım ölçüsü (3.7) formülünde ve negatif ideal ayırım ölçüsü hesaplanması (3.8) formülünde gösterilmiştir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (3.7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.8)$$

Burada hesaplanacak S_i^* ve S_i^- değerleri karar noktası sayısı kadardır.

6. İdeal Çözüme İzafi Yakınlığın Hesaplanması

Her bir karar noktasının C_i^* ideal çözüme izafi yakınlığının hesaplanması için ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden kullanılır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. C_i^* ideal çözüme izafi yakınlık değerinin hesaplanması (3.9) formülünde verilmektedir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (3.9)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ arasında bulunur ve $C_i^*=1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^*=0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

Örnek Problem: Çok Kriterli Kara Verme Yöntemlerinden TOPSIS ile Eleman Seçimi (Özdemir, 2014, <http://www.deu.edu.tr> TOPSIS Yontemi.doc, 2018).

Özel bir firmada müdürlük yapan Ahmet Bey halkla ilişkiler birimine yeni eleman alacaktır. Açılan pozisyona başvuran adaylara ait bilgiler tabloda yer almaktadır. Ahmet Bey'in en çok önem verdiği özellik dış görünüştür. Daha sonra ise yaş ve eğitim gelmektedir. Buna göre ilgili pozisyon için en uygun aday hangisidir? Firma için küçük yaşlı adaylar değil yaşlı büyük olan adaylar önemlidir.

| Ağırlıklar | 0,4 | 0,35 | 0,25 |
|------------|-------------|------|--------|
| | Dış görünüş | Yaş | Eğitim |
| Ayşe | 8 | 23 | 20 |
| Fatma | 9 | 25 | 18 |
| Hayriye | 7 | 27 | 24 |
| Nuriye | 8 | 24 | 22 |

Çözüm:

İlgili problemde 3 karar kriterinin 4 tane de alternatifin olduğu görülmektedir. Yukarıda bahsedilen sırada adım adım problem çözülebilir.

1.Adım Karar Matrisinin Oluşturulması

Tablo 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

| | A | B | C | D |
|---|----------------|--------------------|------------|---------------|
| 1 | | Dış görünüş | Yaş | Eğitim |
| 2 | Ayşe | 8 | 23 | 20 |
| 3 | Fatma | 9 | 25 | 18 |
| 4 | Hayriye | 7 | 27 | 24 |
| 5 | Nuriye | 8 | 24 | 22 |

Problemde verilen veriler yukarıdaki tablodaki gibi Excel'e girilerek karar matrisi oluşturulur. Karar matrisi oluşturulduktan sonra 2. Adım olan Normalize Matrisin elde edilmesi işlemine geçilir.

2. Adım Normalize Matrisin Elde Edilmesi

Her bir alternatife karşılık gelen karar kriter değerlerinin kareleri alınır daha sonra her bir sütuna ait değerler toplanarak karekökü alınarak aşağıdaki tablo elde edilir. İlgili hücelere ait Excel formülleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 2:Normalizasyon İşlemi

| | A | B | C | D |
|----|--------------------------------|--------------------|-------------|---------------|
| 8 | | Dış görünüş | Yaş | Eğitim |
| 9 | Ayşe | 64 | 529 | 400 |
| 10 | Fatma | 81 | 625 | 324 |
| 11 | Hayriye | 49 | 729 | 576 |
| 12 | Nuriye | 64 | 576 | 484 |
| 13 | $\sqrt{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2}$ | 16,0623784 | 49,58830507 | 42,23742416 |

B9 ►=B2*B2, B9 hücresinde gerçekleştirilen işlem B10, B11 ve B12 hücreleri için tekrar edilir. C9 ►=C2*C2, C9 hücresinde gerçekleştirilen işlem C10, C11 ve C12 hücreleri için tekrar edilir. D9 ►=D2*D2, D9 hücresinde gerçekleştirilen işlem D10, D11 ve D12 hücreleri için tekrar edilir. B13 ►=SQRT(SUM(B9:B12)), B13 hücresinde gerçekleştirilen işlem C13 ve D13 hücreleri için de gerçekleştirilir ve her bir karar kriterine ait

$$\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}$$

değerleri elde edilir. Daha sonra ise her bir hücre için

$$\frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}$$

işlemi gerçekleştirilir.

Tablo 3: Normalize Edilmiş Matris

| | A | B | C | D |
|----|----------------|--------------------|------------|---------------|
| 16 | | Dış görünüş | Yaş | Eğitim |
| 17 | Ayşe | 0,498 | 0,464 | 0,474 |
| 18 | Fatma | 0,560 | 0,504 | 0,426 |
| 19 | Hayriye | 0,436 | 0,544 | 0,568 |
| 20 | Nuriye | 0,498 | 0,484 | 0,521 |

B17 ►=B2/\$B\$13, B17 hücresinde gerçekleştirilen işlem B18, B19 ve B20 hücreleri için tekrar edilir. C17 ►=C2/\$C\$13, C17 hücresinde gerçekleştirilen işlem C18, C19 ve C20 hücreleri için tekrar edilir. D17 ►=D2/\$D\$13, D17 hücresinde gerçekleştirilen işlem D18, D19 ve D20 hücreleri için tekrar edilir. Yukarıdaki işlemler gerçekleştirilerek normalize edilmiş matris elde edilir.

3. Adım Ağırlıklı Normalize Matrisin Elde Edilmesi

Tablo 4: Ağırlıklandırılmış Normalize Matrisin Elde Edilmesi

| | A | B | C | D |
|----|----------------|--------------------|-------------|---------------|
| 23 | Ağırlık | 0,4 | 0,35 | 0,25 |
| 24 | | Dış görünüş | Yaş | Eğitim |
| 25 | Ayşe | 0,199 | 0,162 | 0,118 |
| 26 | Fatma | 0,224 | 0,176 | 0,107 |
| 27 | Hayriye | 0,174 | 0,191 | 0,142 |
| 28 | Nuriye | 0,199 | 0,169 | 0,130 |

B25 ►=\$B\$23*B17, B25 hücresinde gerçekleştirilen işlem B26, B27 ve B28 hücreleri için tekrar edilir. C25 ►=\$C\$23*C17, C25 hücresinde gerçekleştirilen işlem C26, C27 ve C28 hücreleri için tekrar edilir. D25 ►=\$D\$23*D17, D25 hücresinde gerçekleştirilen işlem D26, D27 ve D28 hücreleri için tekrar edilir.

4. Adım İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Değerlerinin Elde Edilmesi

Burada dikkat edilmesi gereken husus her bir karar kriteri birer getiri unsuru gibi düşünüldüğünden ideal çözüm değerleri için her sütuna ait maksimum değerler dikkate alınırken negatif ideal çözüm değerleri için ise her sütuna ait minimum değerlerin dikkate alınmasıdır.

Tablo 5: İdeal çözüm değerlerinin elde edilmesi

| | A | B | C | D |
|----|------------------------------|-------|-------|-------|
| 31 | İdeal Çözüm Değerleri | 0,224 | 0,191 | 0,142 |

B31 ►=MAX(B25:B28), B31 hücresinde gerçekleştirilen işlem C31 ve D31 hücreleri için tekrar edilir.

İdeal çözüm değerleri

$$A^* = \{0.224, 0.191, 0.142\}$$

şeklinde elde edilecektir.

Tablo 6: Negatif ideal çözüm değerlerinin elde edilmesi

| | A | B | C | D |
|----|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| 33 | Negatif İdeal Çözüm Değerleri | 0,174 | 0,162 | 0,107 |

B33 ►=MIN(B25:B28), B33 hücresinde gerçekleştirilen işlem C33 ve D33 hücreleri için tekrar edilir.

Negatif ideal çözüm değerleri ise

$$A^- = \{0.174, 0.162, 0.107\}$$

şeklinde elde edilecektir.

5. Adım İdeal ve İdeal Olmayan Noktalara Olan Uzaklık Değerleri

Tablo 7: İdeal uzaklıklar tablosu

| | A | B | C | D |
|----|----------------|--------------------|------------|---------------|
| 35 | | Dış görünüş | Yaş | Eğitim |
| 36 | Ayşe | 0,00062 | 0,00080 | 0,00056 |
| 37 | Fatma | 0,00000 | 0,00020 | 0,00126 |
| 38 | Hayriye | 0,00248 | 0,00000 | 0,00000 |
| 39 | Nuriye | 0,00062 | 0,00045 | 0,00014 |

Yukarıda yer alan tabloda 0,00000 değeri gerçek sıfırı ifade etmeyip virgülden sonra 5 basamakla sınırlandırıldığı için Excel tarafından böyle gösterilmektedir. Virgülden sonraki basamak sayısı artırılarak 0,00000 şeklinde gösterilen değerler sıfırdan farklı olduğu görülebilir. B36 ►=(B25-\$B\$31)^2, B36 hücrelerinde gerçekleştirilen işlemler B37, B38 ve B39 hücreleri için tekrar edilir. C36 ►=(C25-\$C\$31)^2, C36 hücrelerinde gerçekleştirilen işlemler C37, C38 ve C39 hücreleri için tekrar edilir. D36 ►=(D25-\$D\$31)^2, D36 hücrelerinde gerçekleştirilen işlemler D37, D38 ve D39 hücreleri için tekrar edilir.

İdeal uzaklığın hesaplanmasında

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

formülü kullanılmaktadır. Bu durumda her bir karar kriterine ait ideal uzaklıklar aşağıdaki gibi hesaplanır.

Tablo 8: İdeal uzaklıkların hesaplanması

| | A | B | C | D | E | F |
|----|----------------|--------------------|------------|---------------|---------------|----------------------------------|
| 35 | | Dış görünüş | Yaş | Eğitim | Toplam | S_i[*] |
| 36 | Ayşe | 0,00062 | 0,00080 | 0,00056 | 0,002 | 0,044472 |
| 37 | Fatma | 0,00000 | 0,00020 | 0,00126 | 0,001 | 0,038216 |
| 38 | Hayriye | 0,00248 | 0,00000 | 0,00000 | 0,002 | 0,049806 |
| 39 | Nuriye | 0,00062 | 0,00045 | 0,00014 | 0,001 | 0,034766 |

E36 ►=SUM(B36:D36), E36 hücresinde gerçekleştirilen işlem E37, E38 ve E39 hücreleri için tekrar edilir. F36 ►=SQRT(E36), F36 hücresinde gerçekleştirilen işlem F37, F38 ve F39 hücreleri için tekrar edilerek

$$S_i^*$$

değerleri elde edilir.

Tablo 9: Negatif ideal uzaklıklar tablosu

| | A | B | C | D |
|----|----------------|--------------------|------------|---------------|
| 42 | | Dış görünüş | Yaş | Eğitim |
| 43 | Ayşe | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| 44 | Fatma | 0,002 | 0,000 | 0,000 |
| 45 | Hayriye | 0,000 | 0,001 | 0,001 |
| 46 | Nuriye | 0,001 | 0,000 | 0,001 |

B43 ►=(B25-\$B\$33)^2, B43 hücresinde gerçekleştirilen işlem B44, B45 ve B46 hücreleri için tekrar edilir. C43 ►=(C25-\$C\$33)^2, C43 hücresinde gerçekleştirilen işlem C44, C45 ve C46 hücreleri için tekrar edilir. D43 ►=(D25-\$D\$33)^2, D43 hücresinde gerçekleştirilen işlem D44, D45 ve D46 hücreleri için tekrar edilir.

Negatif ideal uzaklığın hesaplanmasında

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

formülü kullanılmaktadır. Bu durumda her bir karar kriterine ait negatif ideal uzaklıklar aşağıdaki gibi hesaplanır.

Tablo 10: Negatif ideal uzaklıkların elde edilmesi

| | A | B | C | D | E | F |
|----|----------------|--------------------|------------|---------------|---------------|----------------------------------|
| 42 | | Dış görünüş | Yaş | Eğitim | Toplam | S_i⁻ |
| 43 | Ayşe | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,027573 |
| 44 | Fatma | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,051768 |
| 45 | Hayriye | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,045368 |
| 46 | Nuriye | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,035079 |

E43 ►=SUM(B43:D43), E43 hücresinde gerçekleştirilen işlem E44, E45 ve E46 hücreleri için tekrar edilir. F43 ►=SQRT(E43), F43 hücresinde gerçekleştirilen işlem F44, F45 ve F46 hücreleri için tekrar edilerek değerleri elde edilir.

6. Adım İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

Tablo 11: İdeal ve Negatif ideal çözüm değerleri tablosu

| | A | B |
|----|----------|----------|
| 48 | S_i^+ | S_i^- |
| 49 | 0,044472 | 0,027573 |
| 50 | 0,038216 | 0,051768 |
| 51 | 0,049806 | 0,045368 |
| 52 | 0,034766 | 0,035079 |

İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanmasında

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}$$

formülü kullanılmaktadır.

Tablo 12: Sonuç tablosu

| | A | B | C | D |
|----|----------------|----------|----------|----------|
| 48 | Aday | S_i^+ | S_i^- | C_i^* |
| 49 | Ayşe | 0,044472 | 0,027573 | 0,382722 |
| 50 | Fatma | 0,038216 | 0,051768 | 0,575299 |
| 51 | Hayriye | 0,049806 | 0,045368 | 0,476687 |
| 52 | Nuriye | 0,034766 | 0,035079 | 0,502241 |

D49 ►=C49/(C49+B49), D49 hücresinde gerçekleştirilen işlem D50, D51 ve D52 hücreleri için tekrar edilir. En uygun aday en yüksek değere sahip olan Fatma olur.

4. HASTANE KLİMA SANTRALİ SEÇİMİ

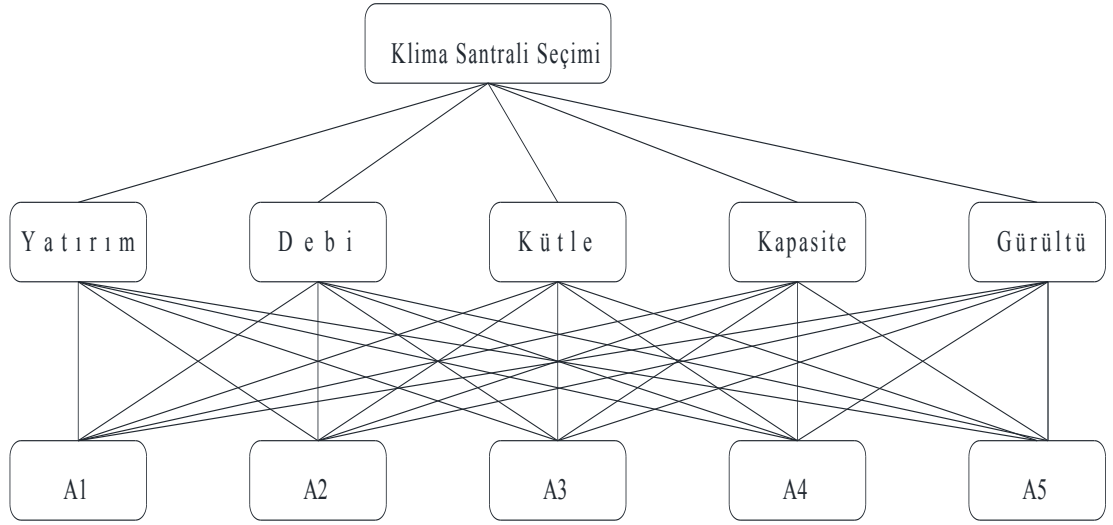
Bu tezde hastane klima santrali seçimine yönelik AHP ve TOPSIS yöntemlerinin uygulanması için öncelikle seçim kriterleri belirlendi. Kriterler belirlendikten sonra, kriterler arasındaki ilişkiler hiyerarşik olarak elde edildi. AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanıldı. Daha sonra en uygun klima santralinin seçimini gerçekleştirebilmek için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturuldu.

Klima firmalarından derlenen klima santrali özelliklerden seçimde önemli bulunan özellikler Çizelge 3.12'de verilmektedir. Burada yatırım toplam yatırım değerini, debi taze hava debisini, kütle toplam kütle, kapasite toplam soğutma kapasitesini ve gürültü 1000 Hz frekanstaki gürültü değerini göstermektedir.

Çizelge 4.12. Firmaların klima santrali özellikleri.

| Firmalar | Yatırım, TL | Debi, m ³ /h | Kütle, kg | Kapasite, kW | Gürültü, dB |
|----------|-------------|-------------------------|-----------|--------------|-------------|
| A1 | 85000,00 | 19980,00 | 2721,00 | 38,92 | 53,00 |
| A2 | 73000,00 | 21348,00 | 2735,00 | 57,07 | 55,00 |
| A3 | 75000,00 | 20340,00 | 2594,00 | 39,05 | 54,00 |
| A4 | 67000,00 | 23040,00 | 2832,00 | 53,31 | 56,00 |
| A5 | 70000,00 | 22500,00 | 2804,00 | 55,00 | 56,00 |

Hiyerarşik yapı oluşturularak Şekil 4.10 elde edildi.



Şekil 4.10. Hastane klima santrali seçiminde hiyerarşik yapı.

4.1 AHP Yöntemiyle Klima Santrali Seçimi

AHP yöntemi adımları ile klima santrali seçimi aşağıda verilmektedir. Beş kriter ve beş santral ele alınarak karar verme problemi çözülmektedir.

Kriterlerin ikili olarak karşılaştırılması yapılarak sonuçlar Çizelge 3.13'te verilmektedir.

Çizelge 4.13. Karar kriterlerinin ikili karşılaştırılması

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 |
|--------|------|------|------|------|------|
| K1 | 1,00 | 0,50 | 6,00 | 4,00 | 3,00 |
| K2 | 2,00 | 1,00 | 9,00 | 7,00 | 6,00 |
| K3 | 0,17 | 0,11 | 1,00 | 0,33 | 0,20 |
| K4 | 0,25 | 0,14 | 3,00 | 1,00 | 0,33 |
| K5 | 0,33 | 0,17 | 5,00 | 3,00 | 1,00 |
| Toplam | 3,8 | 1,9 | 24,0 | 15,3 | 10,5 |

Kriterlerin ikili karşılaştırılmasından sonra her bir eleman sütun toplamına bölünerek normalize işlemi yapıldı (Çizelge 4.14). Yatırım, debi, kütle, kapasite ve gürültü sırasıyla K1, K2, K3, K4 ve K5 kriterleri olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4.14. Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | W | A*W | D=A*W/W |
|-----------------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| K1 | 0,267 | 0,260 | 0,250 | 0,261 | 0,285 | 0,265 | 1,333 | 5,040283 |
| K2 | 0,533 | 0,521 | 0,375 | 0,457 | 0,570 | 0,491 | 2,467 | 5,023482 |
| K3 | 0,044 | 0,058 | 0,042 | 0,022 | 0,019 | 0,037 | 0,188 | 5,093653 |
| K4 | 0,067 | 0,074 | 0,125 | 0,065 | 0,032 | 0,073 | 0,372 | 5,131947 |
| K5 | 0,089 | 0,087 | 0,208 | 0,196 | 0,095 | 0,135 | 0,689 | 5,105997 |
| λ_{max} | | 5,0790725 2 | TI | 0,020 | TO | 0,018 | | |

4.2 Yatırım Yönünden İkili Karşılaştırma

Excel kullanılarak AHP yöntemi ile yatırım yönünden ikili karşılaştırmalar Çizelge 4.15'te verilmektedir. Tutarlılık oranı 0,10 dan küçük bulunduğundan uygun olmaktadır. Tutarlılık oranı bu değeri aştığında matrisin tutarsız olduğu kanaatine varılarak ikili karşılaştırma matrisinin gözden geçirilerek gerekirse farklı değerlerle yeniden düzeltilmesi gerekmektedir (Özbek, 2017).

Çizelge 4.15. Yatırım yönünden ikili karşılaştırma.

| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | W | A*W | D=A*W/W |
|-----------------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| A1 | 0,040 | 0,038 | 0,041 | 0,041 | 0,040 | 0,040 | 0,201 | 5,005979 |
| A2 | 0,197 | 0,186 | 0,192 | 0,183 | 0,186 | 0,189 | 0,931 | 4,930854 |
| A3 | 0,124 | 0,124 | 0,128 | 0,127 | 0,133 | 0,127 | 0,639 | 5,027159 |
| A4 | 0,361 | 0,372 | 0,371 | 0,367 | 0,362 | 0,367 | 1,835 | 5,002462 |
| A5 | 0,277 | 0,279 | 0,268 | 0,282 | 0,279 | 0,277 | 1,394 | 5,028042 |
| λ_{max} | | 4,9988993 | TI | 0,000 | TO | 0,000 | | |

4.3 Debi Yönünden İkili Karşılaştırma

Excel kullanılarak AHP yöntemi ile debi yönünden ikili karşılaştırmalar Çizelge 4.16'da verilmektedir. Tutarlılık oranı 0,10 dan küçük bulunduğundan uygun olmaktadır.

Çizelge 4.16. Debi yönünden ikili karşılaştırma.

| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | W | A*W | D=A*W/W |
|----|-----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| A1 | 0,052 | 0,052 | 0,049 | 0,053 | 0,052 | 0,052 | 0,260 | 5,0564609 |
| A2 | 0,151 | 0,151 | 0,144 | 0,153 | 0,149 | 0,150 | 0,755 | 5,0480087 |
| A3 | 0,073 | 0,072 | 0,068 | 0,069 | 0,065 | 0,069 | 0,342 | 4,9291293 |
| A4 | 0,469 | 0,468 | 0,472 | 0,475 | 0,481 | 0,473 | 2,375 | 5,0212057 |
| A5 | 0,255 | 0,257 | 0,267 | 0,250 | 0,253 | 0,256 | 1,266 | 4,9380596 |
| | λ_{max} | 4,9985728 5 | TI | 0,000 | TO | 0,000 | | |

4.4 Kütle Yönünden İkili Karşılaştırma

Excel kullanılarak AHP yöntemi ile kütle yönünden ikili karşılaştırmalar Çizelge 4.17'de verilmektedir. Tutarlılık oranı 0,10 dan küçük bulunduğundan uygun olmaktadır.

Çizelge 4.17. Kütle yönünden ikili karşılaştırma.

| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | W | A*W | D=A*W/W |
|----|-----------------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|-----------|
| A1 | 0,133 | 0,130 | 0,129 | 0,141 | 0,127 | 0,132 | 0,666 | 5,0435341 |
| A2 | 0,146 | 0,143 | 0,141 | 0,147 | 0,138 | 0,143 | 0,715 | 5,0011962 |
| A3 | 0,042 | 0,041 | 0,040 | 0,039 | 0,040 | 0,040 | 0,201 | 4,967685 |
| A4 | 0,333 | 0,343 | 0,361 | 0,353 | 0,364 | 0,351 | 1,763 | 5,0251476 |
| A5 | 0,346 | 0,343 | 0,329 | 0,320 | 0,331 | 0,334 | 1,654 | 4,9524243 |
| | λ_{max} | 4,9979974 | TI | -0,001 | TO | 0,000 | | |

4.5 Kapasite Yönünden İkili Karşılaştırma

Excel kullanılarak AHP yöntemi ile kapasite yönünden ikili karşılaştırmalar Çizelge 4.18'de verilmektedir. Tutarlılık oranı 0,10 dan küçük bulunduğundan uygun olmaktadır.

Çizelge 4.18. Kapasite yönünden ikili karşılaştırma

| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | W | A*W | D=A*W/W |
|----|-----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| A1 | 0,044 | 0,045 | 0,044 | 0,045 | 0,043 | 0,044 | 0,221 | 4,9969855 |
| A2 | 0,398 | 0,406 | 0,412 | 0,404 | 0,407 | 0,406 | 2,031 | 5,005893 |
| A3 | 0,049 | 0,048 | 0,049 | 0,049 | 0,049 | 0,049 | 0,243 | 4,9884697 |
| A4 | 0,159 | 0,162 | 0,160 | 0,162 | 0,162 | 0,161 | 0,809 | 5,0232179 |
| A5 | 0,350 | 0,338 | 0,335 | 0,340 | 0,339 | 0,340 | 1,696 | 4,9835525 |
| | λ_{max} | 4,9996237 | TI | 0,000 | TO | 0,000 | | |

4.6 Gürültü Yönünden İkili Karşılaştırma

Excel kullanılarak AHP yöntemi ile gürültü yönünden ikili karşılaştırmalar Çizelge 4.19'da verilmektedir. Tutarlılık oranı 0,10 dan küçük bulunduğundan uygun olmaktadır.

Çizelge 4.19. Gürültü yönünden ikili karşılaştırma

| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | W | A*W | D=A*W/W |
|----|-----------------|-----------|-------|-------|-------|--------|-------|-----------|
| A1 | 0,042 | 0,043 | 0,043 | 0,042 | 0,042 | 0,043 | 0,212 | 4,9724038 |
| A2 | 0,148 | 0,152 | 0,152 | 0,152 | 0,152 | 0,151 | 0,758 | 5,0188676 |
| A3 | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,237 | 5,0144736 |
| A4 | 0,381 | 0,379 | 0,379 | 0,379 | 0,379 | 0,380 | 1,897 | 4,9968652 |
| A5 | 0,381 | 0,379 | 0,379 | 0,379 | 0,379 | 0,380 | 1,897 | 4,9968652 |
| | λ_{max} | 4,9998950 | TI | 0,000 | TO | 0,0000 | | |

4.7 AHP Yöntemiyle Seçim Sonucu

İkili karşılaştırmalardan hesaplanan değerler kullanılarak karar alternatiflerinin rank değerleri hesaplandı (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Karar seçeneklerinin rank değerleri

| | Fiyat | Debi | Kütle | Kapasite | Gürültü | Toplam | Normalize | Rank |
|----|-------|-------|-------|----------|---------|--------|-----------|------|
| A1 | 0,040 | 0,052 | 0,132 | 0,044 | 0,043 | 0,310 | 0,3104594 | 5 |
| A2 | 0,189 | 0,150 | 0,143 | 0,406 | 0,151 | 1,038 | 1,0379986 | 3 |
| A3 | 0,127 | 0,069 | 0,040 | 0,049 | 0,047 | 0,333 | 0,3328469 | 4 |
| A4 | 0,367 | 0,473 | 0,351 | 0,161 | 0,380 | 1,731 | 1,7312020 | 1 |
| A5 | 0,277 | 0,256 | 0,334 | 0,340 | 0,380 | 1,587 | 1,5874928 | 2 |

Yatırım, debi, kütle kapasite ve gürültü ana kriterlerine göre $A1 > A2 > A3 > A5 > A4$ olmaktadır. En uygun karar alternatifinin A1 firmasına ait klima santrali olduğu ve en az uygun olanın ise A4 firmasına ait olan klima santrali olduğu bulundu.

4.7 TOPSIS Yöntemiyle Klima Santrali Seçimi

Kriter olarak klima santralinde yatırım, hava debisi, kütle, kapasite ve gürültü alındı. Beş klima markası (A1, A2, A3, A4 ve A5) içinden seçim yapmak için gerekli bilgiler Çizelge 4.21’de verilmektedir.

Çizelge 4.21. TOPSIS için klima santralleri kriterleri.

| | Yatırım, TL | Debi, m ³ /h | Kütle, kg | Kapasite, kW | Gürültü, dB |
|---------|-------------|-------------------------|------------|--------------|-------------|
| A1 | 85000,00 | 19980,00 | 2721,00 | 38,92 | 53,00 |
| A2 | 73000,00 | 21348,00 | 2735,00 | 57,07 | 55,00 |
| A3 | 75000,00 | 20340,00 | 2594,00 | 39,05 | 54,00 |
| A4 | 67000,00 | 23040,00 | 2832,00 | 53,31 | 56,00 |
| A5 | 70000,00 | 22500,00 | 2804,00 | 55,00 | 56,00 |
| TOPKARE | 2,757E+10 | 2,306E+09 | 37495542 | 12163,6099 | 15022 |
| KAREKÖK | 166036,14 | 48018,171 | 6123,36035 | 110,2887569 | 122,56427 |

R normalize işlemi yapılmış matris Çizelge 4.22'de verilmektedir.

Çizelge 4.22. TOPSIS normalize edilmiş R matrisi.

| Ağırlık | 0,32 | 0,36 | 0,04 | 0,12 | 0,16 |
|---------|------------|------------------------|----------|-------------|------------|
| | Yatırım TL | Debi m ³ /h | Kütle kg | Kapasite kW | Gürültü dB |
| A1 | 0,512 | 0,416 | 0,444 | 0,353 | 0,432 |
| A2 | 0,440 | 0,445 | 0,447 | 0,517 | 0,449 |
| A3 | 0,452 | 0,424 | 0,424 | 0,354 | 0,441 |
| A4 | 0,404 | 0,480 | 0,462 | 0,483 | 0,457 |
| A5 | 0,422 | 0,469 | 0,458 | 0,499 | 0,457 |
| TOPKARE | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| KAREKÖK | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

4.7.1. V Ağırlıklı Normalize Matris

V ağırlıklı normalize matris elde edildi (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. V ağırlıklı normalize matris.

| Ağırlık | 0,32 | 0,36 | 0,04 | 0,12 | 0,16 |
|---------|------------|------------------------|----------|-------------|------------|
| | Yatırım TL | Debi m ³ /h | Kütle kg | Kapasite kW | Gürültü dB |
| A1 | 0,164 | 0,150 | 0,018 | 0,042 | 0,069 |
| A2 | 0,141 | 0,160 | 0,018 | 0,062 | 0,072 |
| A3 | 0,145 | 0,152 | 0,017 | 0,042 | 0,070 |
| A4 | 0,129 | 0,173 | 0,018 | 0,058 | 0,073 |
| A5 | 0,135 | 0,169 | 0,018 | 0,060 | 0,073 |
| TOPKARE | 0,1024 | 0,1296 | 0,0016 | 0,0144 | 0,0256 |
| KAREKÖK | 0,3200 | 0,3600 | 0,0400 | 0,1200 | 0,1600 |

4.7.2. Çözüm Değerleri

İdeal çözüm değerleri ve negatif ideal çözüm değerleri elde edildi (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. İdeal çözüm kümesi ve negatif ideal çözüm kümesi.

A* İdeal çözüm değerleri

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| MAK | 0,129 | 0,173 | 0,017 | 0,062 | 0,069 |
| MİN | 0,164 | 0,150 | 0,018 | 0,042 | 0,073 |

4.7.3. Pozitif İdeal Ayırım Ölçüleri

Pozitif ideal ayırım ölçüleri Çizelge 4.25'te verilmektedir.

Çizelge 4.25. Pozitif ideal ayırım ölçüleri

| | Yatırım TL | Debi m ³ /h | Kütle kg | Kapasite kW | Gürültü dB | TOPLAM | Si* |
|----|------------|------------------------|-----------|-------------|------------|--------|-----------|
| A1 | 0,0012035 | 0,0005263 | 0,0000007 | 0,0003900 | 0,0000000 | 0,0021 | 0,0460485 |
| A2 | 0,0001337 | 0,0001609 | 0,0000008 | 0,0000000 | 0,0000068 | 0,0003 | 0,0173868 |
| A3 | 0,0002377 | 0,0004098 | 0,0000000 | 0,0003844 | 0,0000017 | 0,0010 | 0,0321497 |
| A4 | 0,0000000 | 0,0000000 | 0,0000024 | 0,0000167 | 0,0000153 | 0,0000 | 0,0058729 |
| A5 | 0,0000334 | 0,0000164 | 0,0000019 | 0,0000051 | 0,0000153 | 0,0001 | 0,0084919 |

4.7.4. Negatif İdeal Ayırım Ölçüleri

İdeal çözüme izafi yakınlıklar Çizelge 4.26'da verilmektedir.

Çizelge 4.26. Negatif ideal ayırım ölçüleri

| | Yatırım TL | Debi m ³ /h | Kütle kg | Kapasite kW | Gürültü dB | TOPLAM | S _r |
|----|------------|------------------------|----------|-------------|------------|---------|----------------|
| A1 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00398 |
| A2 | 0,00053 | 0,00011 | 0,00000 | 0,00039 | 0,00000 | 0,00103 | 0,03213 |
| A3 | 0,00037 | 0,00001 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00001 | 0,00039 | 0,01970 |
| A4 | 0,00120 | 0,00053 | 0,00000 | 0,00025 | 0,00000 | 0,00197 | 0,04444 |
| A5 | 0,00084 | 0,00036 | 0,00000 | 0,00031 | 0,00000 | 0,00150 | 0,03871 |

4.7.5 Ayırım Ölçüleri ve Rank

Ayırım ölçüleri ve rank Çizelge 4.27'de verilmektedir.

Çizelge 4.27. Ayırım Ölçüleri ve Rank

| | Si* | Si- | Ci* | Rank |
|----|-----------|--------|---------|------|
| A1 | 0,0460485 | 0,0040 | 0,07961 | 5 |
| A2 | 0,0173868 | 0,0321 | 0,64885 | 3 |
| A3 | 0,0321497 | 0,0197 | 0,37991 | 4 |
| A4 | 0,0058729 | 0,0444 | 0,88327 | 1 |
| A5 | 0,0084919 | 0,0387 | 0,82011 | 2 |

C_i^* değeri 0 ile 1 arasında bulunur. Pozitif ideal çözüme en yakın mesafede bulunan seçenek en uygun karar seçeneği olarak belirlenmektedir. Burada en uygun seçenek A1 klima santrali olmaktadır. Yöntemlerin vereceği sonuç kullanılan kriter ağırlıklarına bağlı bulunmaktadır. Kriterlerin seçimi yanında Burada en uygun seçenek A1 klima santrali olmaktadır. Yöntemlerin vereceği sonuç kullanılan kriter ağırlıklarına bağlı bulunmaktadır. Kriterlerin seçimi yanında kriterlere gerçek ağırlığının verilebilmesi de tatmin edici sonuca ulaşmayı sağlamaktadır.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

ÇKKV yöntemleri, mevcut alternatifleri deterministik kriter değerlerine göre inceleyerek, en iyi uzlaşıcı çözüme ulaştırır ve sonucunda karar verici eldeki mevcut alternatifleri sıralayabilir, gruplandırabilir veya aralarından seçim yapabilir. Bu çalışma kapsamında, hastane klima santrali seçim problemi ele alınmış ve problemin çözümünde sistematik bir yaklaşım izlenmiştir. Seçimi etkileyen kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yöntemi kullanılmıştır.

AHP yöntemi, sağlık bakımı ve medikal karar verme sürecinde; tanılama, hasta katılımı, tedavi, organ transplantasyonu, proje-teknoloji değerlendirme ve seçme, insan kaynakları planlama, sağlık bakımını ve politikalarını değerlendirme gibi birçok alanda kullanılmaktadır. AHP yönteminin bu kullanım alanları, yöntemin bir değerlendirme aracı olarak gücünü göstermektedir (Cihan vd, 2017). Hastane klima seçimini etkileyen kriterlerden yatırım miktarı, hava debisi, santral kütlesi, soğutma kapasitesi ve gürültü seviyesine ilişkin sonuçların karar verme sürecinde daha fazla ağırlığa sahip olduğu yapılan anketlerle belirlenmiştir. Hastanelerde seçim süreci iyi yönetilmediğinde işletme ve bakım masraflarının aşırı olması, hizmet kalitesinin yeterli olmaması gibi orta vadede birçok olumsuz durum ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma ile oluşturulan kavramsal çerçevenin ve sistematik yaklaşımın, birçok sağlık kuruluşu için zaman alıcı ve kritik bir süreç olan klima santrali seçim sürecinde kullanılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, ÇKKV yöntemlerinin uygun bir şekilde kullanılması ve ilgili uzman kişilerin de sürece dâhil edilmesi ile edinilen teknoloji hasta bakımının iyileştirilmesine, yatırım ve risklerin kontrol altına alınmasına katkıda bulunmaktadır. AHP yöntemine göre kriterler arasında etkileşim değerlendirilerek ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir.

Yapılan anket çalışmalarına göre yeni kurulacak bir sistemde ilk yatırım masraflarına önem verildiği görülmektedir. Ancak gürültü hastanede istenmediğinden en yüksek ağırlığa sahip olmaktadır. Onu hemen soğutma kapasitesi izlemektedir. Soğutma kapasitesi tesisin tevsi edilmesi durumunda

ortaya çıkacak ek yükleri karşılamak için önemlidir. Bunları yatırım, hava debisi ve kütle izlemektedir. Santral kütlesi taşıma ve montaj kolaylığı için istenir. Diğer kriter ağırlıkları ile karşılaştırıldığında en düşük ağırlığa sahip kriter santral kütlesi ile ilgili olmaktadır.

AHP yöntemiyle belirli bir kritere göre A1, A2, A3, A4 ve A5 seçeneklerinin ikili karşılaştırmasında bulunan w ağırlık puanı fiziksel olarak seçeneklere ait değerlerin karşılaştırılmasına dayanmaktadır ve bunların her biri bağıl sonuçları göstermektedir.

Yatırım yönünden seçeneklerinin ikili karşılaştırılmasında $w=0,367$ olarak en büyük değere sahip A4 klima santralidir; bu yatırım miktarı 67000 TL ile en az olan A4 klima santrali olup sonuç mantıklıdır. Debi yönünden seçeneklerin ikili karşılaştırılmasında $w=0,473$ olarak en büyük değere sahip A4 klima santralidir. A4 klima santrali en fazla hava debisini sağladığından bu sonuç da mantıklıdır. Kütle yönünden seçeneklerin ikili karşılaştırılmasında $w=0,040$ olarak en küçük değere sahip A3 klima santralidir. A3 klima santrali en küçük kütleyle sahip olduğundan sonuç doğrudur. Kapasite yönünden seçeneklerin ikili karşılaştırılmasında $w=0,406$ olarak en büyük değere sahip A2 klima santralidir. En yüksek kapasiteye A2 santrali sahip olduğundan bulunan sonuç mantıklıdır. Gürültü yönünden seçeneklerin ikili karşılaştırılmasında $w=0,043$ olarak en küçük değere sahip A3 klima santralidir. En düşük gürültü seviyesi A1 santralinde olduğundan bulunan sonuç doğrudur. Kriterlerin birbirlerine göre üstünlükleri veya diğer bir ifadeyle ağırlık faktörleri anket çalışmalarına dayanmaktadır. AHP yöntemiyle A1, A2, A3, A4 ve A5 seçeneklerinin ikili karşılaştırmasında bulunan bağıl değerler, kriterler arası değerlendirmeyle bulunan kriterlerin ağırlık vektörüyle işleme tabi tutulunca seçeneklerin gerçek sıralamaları ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak AHP yöntemine göre birinci tercih, normalize değer 0,2145 ile A1 klima santralidir. En az uygun klima santrali ise, normalize değeri 2,1744 ile A4 klima santralidir.

TOPSIS yönteminde kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için 1 den 5 e kadar veya 1 den 9 a kadar ya da daha farklı bir puan cetveli veya SWARA, AHP ve ENTROPI

gibi bir yöntem kullanılabilir. TOPSIS yöntemiyle de seçeneklerin sıralanmasında AHP ile bulunan sıralama sonucu bulunmuştur.

Bu çalışmada AHP ve TOPSIS çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanarak elde edilen sonuçlar birbiriyle uyumlu olarak aynı marka klima santrali (A1) seçilmesi gereğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada kullanılan anket sonuçlarında işletme masrafları ve bakım giderlerinin etkisi dikkate alınmadığı görülmektedir. Bundan sonraki bir çalışmada konunun bu açıdan da ele alınması yatırım ve işletme giderlerinin bir arada görülmesini sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- ALARKO, 2013. VAV Değişken hacimli hava sistemleri. Alarko Teknik Bülten, 3 Mart 2013, 47.
- Anıl, O. B., 2008. A Research on Design of Heating, Ventilation and Air Conditioning of Hygienic Spaces in Hospitals. MS Thesis. School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology, İzmir.
- Anıl, O. B., Mobedi, M., Özerdem, M. B., 2007. Hastane Hijyenik Ortamları İçin Klima ve Havalandırma Sistemleri Tasarım Parametreleri. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. 25-28 Ekim 2007, 497-509, İzmir.
- Arslanoğlu, N., Yiğit, A., 2017. Bağlı Nemin Işınım Etkisi Altında Isıl Konfor Üzerine Etkisinin İncelenmesi. 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 19-22 Nisan 2017, İzmir
- ASHRAE, 2013. HVAC design manual for hospitals and clinics. 2nd ed. Atlanta,:ASHARE.
- Ayesha, A., Zeeshan. M., Hashmi, I., Zahid, U., Bhatti, M. F., 2018. Microbial quality assessment of indoor air in a large hospital building during winter and spring seasons. Building and Environment 135 (2018) 68-73.
- Behzadian M., Otaghsara S. K., Yazdani, M., Ignatius J., 2012. "A state-of-the-art survey of TOPSIS applications", Expert Systems with Applications. 39, 13051-13069.
- Better Buildings Partnership, 2015. Variable volume air systems. 3 June 2015.
- Carayon, P., 2010. Human factors in patient safety as an innovation. Applied Ergonomics 41, 2010. 657-665.
- Chen, C., Liu, C., Chen, R., Wang, W., Li, W., Kan, H., Fu, C., 2018. Ambient air pollution and daily hospital admissions for mental disorders in Shanghai, China. Science of the Total Environment, 613-614.
- Christiansen, N., Kaltschmitt, M., Dzukowski, F., Isensee, F., 2015. Electricity consumption of medical plug loads in hospital laboratories: Identification,evaluation,prediction and verification and energy and buildings 107, 392-406.
- Cihan, Ş. Enes Ayan, E. Eren, T., Topal, T. Yıldırım, E. K., 2017. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Ekokardiyografi Cihazı Seçiminin Yapılması. Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi 41,41-49.

- Dağdeviren, M., Eraslan, E., 2008. Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. *J. Intelligent Manufacturing*, 194, 397-406.
- Davies, A., Moores, C., 2010. *The respiratory system*. 2nd. Ed., Elsevier Ltd.
- DOD, 2011. Unified facilities criteria (UFC) design. Medical military facilities. Washington, DC, Department of Defence.
- Donaldson Company, Inc., 04.09.2018. Aerospace & Defense Group.
- ECDC, 2008. European Centre for Disease Prevention and Control.
- FGI 2014. Guidelines for Design and Construction of Hospitals and Outpatient Facilities - FGI (Facility Guidelines Institute).
- Gonzalez, A. G., Garcia-Sanz-Calcedo, J., Salgado, D. R., 2018. A quantitative analysis of final energy consumption in hospitals in Spain. *Sustainable Cities and Society* (2018) 169-175.
- Hashiguchi, N., Hirakawa, M., Tochiyama Y., Kaji Y., Karaki, C., 2008. Effects of setting up humidifiers on thermal conditions and subjective responses of patients and staff in a hospital during winter. *Applied Ergonomics*, (39) 158-165.
- Ishizaka A., Nemery P., 2013. *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*. John Wiley and Sons.
- ISO 12100:2010 Safety of machinery-General principles for design, Risk assessment and risk reduction.
- İnan, D., 2018. Hastane Enfeksiyonları. *Türk Klinik Mikrobiyoloji ve Enfeksiyon Hastalıkları Derneği*. 15 Şubat 2018 KLİMİK, İstanbul.
- JRAIA, 2018. World Air Conditioner Demand by Region. The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association, April 2018, Tokyo, Japan.
- Jusoh, A., 2016. VIKOR Technique: A Systematic Review of the State of the Art Literature on Methodologies and Applications. *Sustainability* 2016, 8(37):2-38.
- Kitzberger, J., Kotik, J., Schmöllerl, M., Pröll, T., 2018. Energy saving through implementation of a multi-state Time Control Program (TCP) in demand-controlled ventilation of commercial buildings. *Energy and Buildings* 164(2018)33-47.
- Kotil, T., Yazıcıoğlu, O., Borat, O., 2018. *Sayısal Çözümleme*. 2. Baskı. Seçkin İstanbul.

- Kovalenko, M., 2013. Comparative analysis of European and Russian standards for ventilation of operating rooms in hospitals. B. Thesis. Building Services Engineering, Mikkeli University of Applied Sciences, Finland.
- Köse, İ. İ., Laka, S., 2016. Hijyenik Ortamlarda Havalandırma ve Klima Sistemleri. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2):31-37.
- Madden, L. C., Tomlinson A., Simmons, P. A., 2013. Effect of humidity variations in a controlled environment chamber on tear evaporation after dry air therapy. *Eye Contact Lens* (39) 169-174.
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Govindan, K., Senin, A. A., Mary, S. A. S. A., Suganya, G., 2016. Multi-Criteria Decision Making Using ELECTRE. *Circuits and Systems*. 7:1008-1020.
- Mcatee, R., Riley, E., 2012. How to select an air handling unit. *Consulting and Specifying Engineer*, December 27, 2012.
- Mojtaba, Z., Christina, P., Hamed, R., Abbas, M., Othman, I., 2016. Multi-criteria decision making approach in E-learning: A systematic review and classification. *Applied Soft Computing*. 45:108-128.
- Okochi, G. S., Yao, Y., 2016. A rewiw of recent developments and technological advancements of variable-air-volume (VAV) air contionings systems. *Renew. Sustain Energi Rev.* 59 (2016) 784-817.
- Opricovic, S., Tzeng, G. H., 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*. 156(2):445-455.
- Özbek, A., 2017. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözme. Seçkin, Ankara.
- Özdemir M. (Ed. Yıldırım, B. F., Önder, E), 2014. Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, TOPSIS, Dora, Bursa.
- Özel, F. Ve Hançer, M. Z., 2005. Hastanelerde iklimlendirme sistemleri, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 89, 27-42.
- Parker, J. N., Gillespie, G. Y., Love, C. E., Randall, S., Whitley R.J., Markert, J.M., 2000. Engineered herpes simplex virus expressing IL-12 in the treatment of experimental murine brain tumors. *Journal List Proc Natl Acad Sci USA* 97(5), 2208–2213.
- Pitchipoo, P. A., Vincent, D.S.B, Rajini, N. C., Rajakarunakaran, S.D., 2014. COPRAS Decision Model to Optimize Blind Spot in Heavy Vehicles: A Comparative Perspective. *Procedia Engineering* 97, 1049-1059.

- Saaty, T. L., 1980. The analytic hierarchy process, planning, priority setting, resource allocation, McGraw-Hill, New York.
- Sarıçalı, G., Kundakçı, N., 2016. AHP ve COPRAS Yöntemleri İle Otel Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. IREM, 4(1),45-66.
- Teke, A., Timur, O., 2014. Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals. Sustainable Energy Reviews 33, 224-235.
- Terra Universal, Inc., 2012. FS209E and ISO Cleanroom Standards. 4 January, 1-6. 800 S. Raymond Ave., Fullerton, CA 92831 USA.
- Tremblay, J. C. And Gauthier, F., 2018. Safety machinery in hospitals: An exploratory study in the province of Quebec, Canada. Safety Science 103, 207-217.
- Tukur, A., Hallinan, K. P., 2017. Statically informed static pressure control in multi-zone VAV systems. Energy Build., 135, 244-252.
- Turan, Y., Çakırca, M. E., Bölükbaşı, D. (Danışmanlar: Borat, O. ve Yazıcıoğlu, O.), 2018. Tedarikçi Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Uygulanması. Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Um, S. B., Kim, N. H., Lee, H. K., Song J. S., Kim, H.C., 2014. Spatial epidemiology of dry air disease. Finding from SK. Int. J. Health Geogr 13, 3-9.
- Whyte, W., 2010. Clean Room Technology, Fundamentals of Design, Testing and Operation. 2nd Ed., Wiley, New York.
- Wolkoff, P., 2018. Indoor air humidity, air quality, and health- an overview. International Journal of Hygiene and Environmental Health 221, 376-390.
- Yüce, B. E., Pulat, E., 2017. Bir ofis odasındaki termal akışın kış şartlarında sayısal olarak incelenmesi.13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 19-22 Nisan, İzmir.
- Erişim Tarihi: 04.09.2018. <http://donaldsonaerospace-defense.com/library/files/documents/pdfs/042665.pdf>
- Erişim Tarihi: 30.08.2018. <http://www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioglu/dosyalar/TOPSISSYontemi.doc>
- Erişim Tarihi: 30.08.2018. <https://e-okulbilgi.com/canlilarda-solunum-sisteminin-ozellikleri-nelerdir-1219.html>

Erişim Tarihi: 04.09.2018. <https://homeairguides.com/reviews/top-10-best-rated-air-purifiers-buyer-guide/>

Erişim Tarihi: 18.11.2018. www.wikipedia.hepafilters

Erişim Tarihi: 18.11.2018. <https://www.marketsandmarkets.com/air-conditioning.asp.AirConditioning>



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : M. Benan YAZICIOĞLU

Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul, 12/11/1986

E-posta : eposta@iticu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lisans : Doğu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği

Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği

Yayımları

Yazıcıoğlu, M. B., Borat, O., Yazıcıoğlu, O., 2019. Hospital Air Handling Unit Selection with AHP Method in Turkey. International Journal of Science and Research, 8(2), 530-537.

Yazıcıoğlu, M. B., Borat, O., Yazıcıoğlu, O., 2018. Hastane klima sistemleri ve temiz odalar. V. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Sempozyumu (ISMS) 16-17 Kasım, Crowne Plaza Hotel, Ankara.