

# MODİFİYE FIRILDAK-BACA-EMİCİ SİSTEMİNİN (FBE) İÇ HAVA KALİTESİNE ETKİSİ

Sibel MENTEŞE  
Türkey ONACAK  
A.Cemal SAYDAM  
Osman ÇOTUKER  
Burak SELÇUK

## ÖZET

Bu çalışmada, fırıldak-baca-emici (FBE) sisteminin “sağlıklı” bina koşullarının sağlanmasına katkısı araştırılmıştır. Bu amaçla, FBE sistemi, Çanakkale’de rüzgar şiddetinin yüksek olduğu düşünülen 3 katlı bir restoranın mutfağından çıkan boru vasıtasıyla dışarıya verilen bacanın üstüne monte edilmiştir. Modifiye edilmiş FBE sisteminde; motor takılarak rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesi tasarlanmıştır. Ancak, rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüşebilmesi için aşılması gereken eşik enerjisi için en az 10 km/saatlik rüzgar hızının sürekli olarak sağlanması gerekmektedir. Rüzgar hızı, bu değerin aşağısında kaldığı sürece, modifiye-FBE sistemi sadece rüzgarın o anki hızı ile dönüş yaparak iç havayı dönme hareketi ile dışarıya atmaktadır. Çalışmada, modifiye-FBE sisteminin kurulduğu binada özellikle yemek pişirme faaliyetleri neticesinde olumsuz yönde etkilenebilecek olan iç ortam hava kalitesinin iyileşmesinde hangi oranlarda katkısının olduğu; FBE sistemi kurulmasının öncesinde ve sonrasında benzer hava koşullarının (sıcaklık, nem, rüzgar hızı vb.) olduğu günlerde yapılan hava kaynaklı bakteri seviyesinin ölçülmesi ile araştırılmıştır. Genel olarak, bakteri seviyesinde modifiye-FBE sistemi sonrasında belirgin bir azalma gözlenmiştir. Ayrıca, modifiye-FBE sistemi öncesinde yapılan ölçümlerde, hava örneklerinin tamamında küf üremesi gözlenirken; modifiye-FBE sistemi sonrasında örneklerin sadece %8’inde küf üremesi gözlenmiştir. Bakteri konsantrasyonlarında ise, ölçüm yapılan ortama göre, %50 ila %90 arasında azalma gözlenmiştir. Bakteri seviyesindeki en yüksek azalma oranı ise mutfakta saptanmıştır ( $3 \times 10^3$  CFU/m<sup>3</sup>’den  $10^2$  CFU/m<sup>3</sup>’e).

**Anahtar Kelimeler:** rüzgar, fırıldak-baca-emici, hava kaynaklı bakteri, küf, iç hava kalitesi, enerji.

## ABSTRACT

The contribution of rotor-turbine-ventilator (RTV) system on “healthy” building conditions are investigated in this research. For this aim, a rotor-turbine-ventilator was settled on a chimney of a 3-storey restaurant via a long pipe coming from kitchen to outdoor. Conversion of wind energy to electrical energy is designed by assembling a motor on RTV. However, minimum wind speed of 10 km/hour as a threshold energy must be provided constantly to convert wind energy to electrical energy. As long as wind speed is below this value, modified-RTV system can only vent out the indoor air by means of spinning of outdoor air with the speed of wind. The contribution of modified-RTV system on improvement of indoor air quality of the restaurant, especially potential adverse effects from cooking activities, was searched by comparison of measurement of airborne bacteria levels, measured several days with similar air conditions (temperature, humidity, wind speed etc.), before and after the installation of RTV system. In general, a marked decrease in airborne bacteria level was observed after the modified-RTV system. Also, while mold growth was observed for all the measurements done before modified-RTV system installation, mold growth was observed for only 8% of the samples, collected after the installation. Bacteria levels decreased between 50% and 90%, depending on the

micro-environment measured. The highest decreasing rate in bacteria levels was observed in the kitchen (from  $3 \times 10^3$  CFU/m<sup>3</sup> to  $10^2$  CFU/m<sup>3</sup>).

**Key Words:** wind, rotor-turbine-ventilator, airborne bacteria, mold, indoor air quality, energy.

## 1. GİRİŞ

İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü çalışma mekanları ve yaşadıkları evler gibi iç ortamlarda geçirirler. İnsanların sağlıklı olması kadar binaların da “sağlıklı” yani hava kirleticilerinden mümkün olduğunca arındırılmış olması önemlidir. Ekonomik şartlar ve yaşanan bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak, insanlar buldukları mekanları ısıtma veya dış ortamla temasını azaltma ihtiyacı duyarlar. Bu nedenle sürekli kapalı ortamlarda bulunmak zorunda kalırlar. İç ortam hava kalitesinin bozulmasında iç ortamlarda yaygın olarak kullanılan malzemeler, günlük aktiviteler ve çeşitli çevresel faktörlerin etkili olduğu görülmüştür [1]. İç hava kirleticilerden havadan kaynaklı bakteri seviyesi, insan aktiviteleri ve havalandırma verimi ile doğrudan ilişkili olan kirleticilerdendir.

Bacalara yerleştirilen fırıldak havalandırma sistemleri özellikle yemek pişirme gibi faaliyetlerin yapıldığı mutfak ve restoranlarda iç hava kalitesini basit yolla iyileştirmeyi amaçlayan ve giderek daha yaygın hale gelen bir uygulama türüdür. Bu sistem ile her yönden esen rüzgar ile bir merkez etrafında dönme yeteneğine sahip “fırıldak” baca emiş sistemleri geliştirilmiştir. Ülkemizde de giderek yaygınlaşmakta olan bu baca emici sistemleri genellikle yaz mevsiminde dumanla sonlanan yakma ısıtma işlemleri uygulayan bazı lokantalar tarafından uygulamaya sokulmuş ve hem ocaklarının daha iyi çekiş yapmaları, hem de yemekhane ortamının daha iyi havalandırılmasına olanak tanımıştır.

Sıcak havalarda solar ısı çatılarda birikir ve evin içersine transfer olur. Bu durum ise rahatsızlık ve soğutma yükünde artışa; soğuk havalarda ise nemin çatılarda birikmesine ve rutubete neden olur [2]. ASHRAE'nin HVAC uygulamalarını içeren kılavuzunda da belirtilen çatı ventilasyonu ise bu problemleri ortadan kaldırmaktadır [3]. Çatı ventilatörleri binanın yüksek bir noktasına yerleştirilen bir ısı kaçış portu olarak tanımlanmakta ve rüzgar indüksiyonu ve baca çekmesi için birincil itici güç oluşturmaktadır. FBE ise rüzgar tahrikli hava mengesidir ve bir FBE'de çok sayıda dikey fırıldak (kavisli veya düz pervane) bulunmaktadır. Bir shaft ve mesnetler ile üstten hareket eden kısımdan ana bacaya bağlanır. Rüzgar mesnetler üzerinden estiğinde aerodinamik sürüklenme kuvvetlerine neden olur ve FBE dönmeye başlar. Bu dönme hareketi FBE'nin içinde negatif basınç oluşturur ve hava ana bacadan emilir. Hava türbinden ana baca vasıtasıyla aksel olarak girer ve dışarıya radyal olarak çıkarılır. Rüzgar olmadığı durumda ise FBE baca çekmesi ile ventilasyonu sağlar.

FBE, Avustralya ve ABD gibi ılıman iklime sahip yerlerde çok yaygınken; Orta ve Batı Avrupa'da göreceli soğuk iklim koşulları nedeni ile pek tercih edilememektedir. Ucuz olması nedeni ile ülkemizde özellikle lokantalarda kullanılmaya başlanmıştır. Farklı boyutlardaki FBE'ler kullanılarak yapılan bir çalışmada [4], büyük çaplı ventilatörlerin daha yüksek ventilasyon oranlarında indüklemeye yaptığını tespit etmiştir. Lai and Kuo (2005) ise, büyük FBE'yi bir yurda takmış ve sonuç olarak ventilasyon oranının büyük miktarda arttığı ve negatif basıncın indüklenmesiyle ortamlardaki nem, rutubet ve kötü kokuların giderildiğini belirtmektedir [5]. Dale and Ackerman (1993), arazi koşullarında yaptıkları denemelerde akış hızının rüzgar hızı ve rüzgar yönüne bağlı olarak değiştiğini göstermiştir [6]. FBE'nin farklı amaçlar için kullanıldığı bir çalışmada, ters eğimli santrifüj fanı ve rüzgar türbini olarak kullanılmış ve statik basınç ile hava akışı ve rüzgar hızı arasında bir korelasyon saptamıştır [7]. Revel (1998), dikey mesnetli ventilatörlerin eğik mesnetli ventilatörlerden daha verimli olduğunu belirtmektedir [8]. Üç farklı yükseklikteki dikey mesnetli FBE'lerin karşılaştırıldığı bir çalışmada, mesnet yüksekliğindeki %50 artışın debide ortalama %13.5 artış sağladığı bulunmuştur [9]. Lai (2003), teorik olarak türbin ventilatör ve doğal havalandırmanın uygun kombinasyonu ile iç ortam hava kalitesinin büyük oranda iyileştiğini belirtmektedir [4]. Bunun yanı sıra, doğal enerji olan rüzgar enerjisi kullanımı ile klima sistemlerine bağımlılığın azalmasını, dolaylı olarak ise enerji tüketiminin düşmesini de sağlamaktadır.

Bu çalışmada, fırıldak-baca-emici (FBE) sisteminin “sağlıklı” bina koşullarının sağlanmasına katkısı havadaki bakteri seviyesindeki değişim açısından araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Modifiye-FBE Sistemi

Modifiye FBE sistemi, Çanakkale’de rüzgar şiddetinin yüksek olduğu düşünülen 3 katlı bir restoranın mutfağından çıkan boru vasıtasıyla dışarıya verilen bacanın üstüne monte edilmiştir. Kullanılan FBE sistemi, halihazırda piyasada satılan sistem ile birebir aynı özellikte değildir; modifiye edilmiştir. Modifiye edilmiş FBE sistemine motor takılarak rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesi tasarlanmıştır. Çanakkale, rüzgar hızının şiddetli olduğu ve rüzgarlı gün sayısının en yüksek olduğu illerimizin başında gelmektedir. Üretilen elektrik enerjisi ile binanın dış cephesinin gece aydınlatması, termometre ve saatten oluşan 3'lü bir elektrik panelinin elektrik tüketiminin bu sistemden sağlanması (yaklaşık 9-12 volt) planlanmıştır. Ancak, rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için aşılması gereken eşik enerjisi için en az ortalama 10 km/saatlik rüzgar hızının sürekli olarak sağlanması gerekmektedir. Rüzgar hızı, bu değerin aşağısında kaldığı sürece, modifiye-FBE sistemi sadece rüzgarın o anki hızı ile dönüş yaparak iç havayı dönme hareketi ile dışarıya atmaktadır.



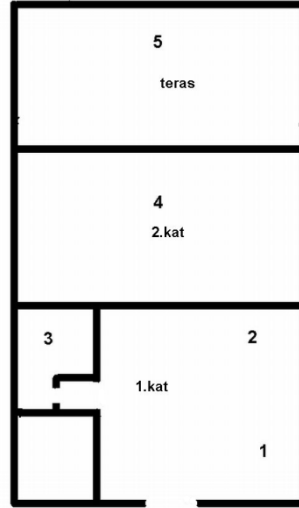
Şekil 1. Modifiye-FBE sistemi.

### 2.2. Ölçüm Sistemi

Çalışmada, modifiye-FBE sisteminin kurulduğu binada özellikle yemek pişirme faaliyetleri neticesinde olumsuz yönde etkilenebilecek olan iç ortam hava kalitesinin iyileşmesinde hangi oranlarda katkısının olduğu; FBE sistemi kurulumunun öncesinde ve sonrasında benzer hava koşullarının (sıcaklık, nem, yüksek ve benzer rüzgar hızı vb.) olduğu günlerde yapılan hava kaynaklı bakteri seviyesinin ölçülmesi ile araştırılmıştır. Havadan kaynaklanan bakterilerin konsantrasyonunun belirlenmesi NIOSH Method-0800 ve Mentese ve ark. (2009)'da anlatıldığı gibi yapılmıştır [10,11]. Buna göre, havadaki bakteriler tek-basamaklı biyoimpaktör vasıtasıyla Plate-count besiyeri üzerine bir pompa ile aktif örnekleme prensibine göre toplanmıştır. Örnekleme, insan solunum seviyesi olan 1.5 metre yükseklikte olacak şekilde, iç ortamın tam merkezine; dış ortamda ise, pencere dışından yapılmıştır. Herhangi bir kontaminasyona izin verilmeden agarlar plakalara yerleştirildikten sonra, havadan biyoaerosoller toplanmıştır. Bakterilerin çoğalması için 37 °C'de 2 gün süre ile inkübasyon işlemine maruz bırakılan hava örneklerindeki bakteri sayıları basit koloni sayım tekniği ile ışık mikroskobu altında sayılarak toplam bakteri konsantrasyonu (TBC) colony forming unit/m<sup>3</sup> hava biriminde (CFU/m<sup>3</sup>) hesaplanmıştır.

Havadaki bakteri için tespit sınırı 18 CFU/m<sup>3</sup>tür. Ayrıca besiyerlerinde küf üremesinin olup olmadığı da kaydedilmiştir.

Ölçümler restoranın giriş katında iki noktadan; restoranın giriş kapısının sağ tarafından (1. Kat-ön) ve restoranın giriş kapısına en uzak noktasından (1.kat-arka); giriş kattaki mutfaktan; 2. Kattaki yemek salonundan ve 3. Kattaki terasından (dış ortam) alınmıştır (Şekil 2). Hava kalitesi ölçümleri süresince, hava sıcaklığı, bağıl nem değerleri, rüzgar hızı ve yönü de kaydedilmiştir. Ölçüm yapılacak günler (Eylül-Ekim 2012), meteorolojik öngörüler ışığında, benzer rüzgar hızı, sıcaklık ve bulutluluk durumlarının olduğu değişken olmayan koşullarda yapılmıştır.



**Şekil 2.** Ölçüm noktaları: 1-1.kat-ön; 2-1.kat-arka; 3-mutfak; 4-2.kat-yemek salonu; 5-terasa(dış ortam).

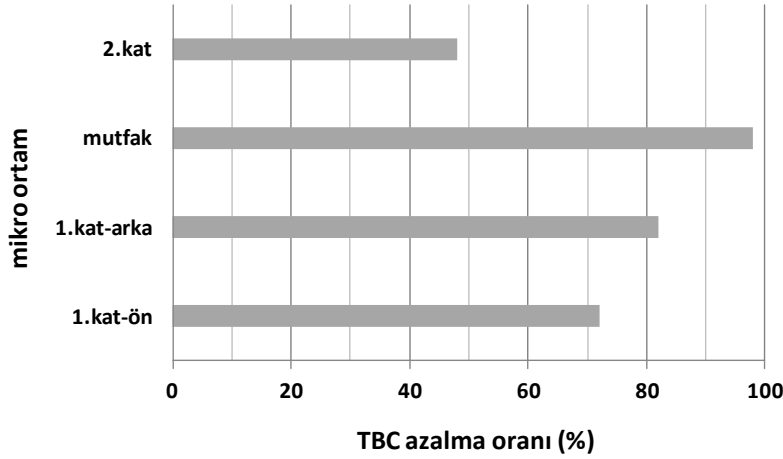
### 3. BULGULAR

Ölçüm yapılan günlere ait meteorolojik parametreler şu şekildedir: 29-31 °C, % 50 bağıl nem, rüzgar hızı ortalama 20 km/saat. Ölçüm yapılan günlerde modifiye-FBE sisteminin elektrik üretim potansiyeli test edilmiştir. Rüzgar hızının anlık değişimine göre sistemin dönüş hızı değişim göstermektedir ve ancak 30 km/saat mertebesine ulaştığında ledlerin yanmasını sağlayabilmiş ve maksimum 12 voltluk seviyeye ulaşabilmiştir. Ancak, rüzgar hızı anlık olarak azalması neticesinde ledler hemen sönmekte ve tekrar yanması için yine yüksek rüzgar hızının olması gerekmektedir. Bu nedenle sistemin sürekliliğinden bahsetmek pek mümkün değildir.

Modifiye-FBE sistemi restorana kurulmadan önce 10 hava örneği; kurulduktan sonra ise 36 hava örneği toplanmıştır. Ölçümler her ortamdan iki tekrarlı olarak alınmıştır. Ölçümlerin tekrarlanabilirliği lineer regresyon ile hesaplanmıştır. Buna göre, iki ölçüm arasında %99,9 benzerlik bulunmaktadır. En yüksek TBC seviyesi, FBE sistemi kurulumu yapılmadan önce restoranın mutfağında ölçülmüştür (3x10<sup>3</sup> CFU/m<sup>3</sup>). FBE sistemi kurulmadan önce en düşük TBC seviyesi restoranın terasında (dış ortamda) ölçülmüştür (54 CFU/m<sup>3</sup>). FBE sistemi kurulduktan sonra en yüksek TBC seviyesi 1.kat-ön noktasında (360 CFU/m<sup>3</sup>); en düşük TBC seviyesi ise mutfak hariç diğer tüm noktalarda ölçümlerin en az birinde (0; bakteri üremesi olmadı) gözlenmiştir. Ortalama TBC seviyesi açısından ölçüm noktalarının tamamında TBC seviyesi ≤ 10<sup>2</sup> CU/m<sup>3</sup> mertebesinde dir.

FBE sistemi kurulmadan önce ve sonraki dönemde alınan hava örneklerindeki ortalama TBC seviyelerine göre restoranın 4 farklı iç ortamındaki mikro-ortamda TBC seviyesi azalma göstermiştir. Şekil 3'de TBC seviyelerinin FBE sistemi kurulduktan sonraki azalma oranları (%) verilmiştir. Buna göre genel olarak %50 ve üzerinde bir azalım söz konusu olmuştur. En düşük azalma hızı restoranın 2.kat yemek salonunda gözlenmiştir. Aslında azalma oranı diğer mikro-ortamlar ile kıyaslandığında

düşük gibi görünse de; bu ölçüm noktasında ortalama TBC seviyesi FBE kurulumundan önce iç ortam ölçüm noktaları arasında zaten en düşük seviyenin gözlemlendiği nokta olması nedeni ile TBC seviyesi bazında halen düşüktür. Hava örneklerindeki küf üreme oranı açısından da belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Buna göre, FBE sistemi öncesinde küflü örnek sayısı %80 iken; FBE sistemi sonrasında bu oran %8'e düşmüştür.



Şekil 3. Modifiye-FBE Sistemi Kullanıldıktan Sonra TBC Seviyesindeki Azalma Oranı (%).

## SONUÇ

Modifiye edilmiş FBE sistemi, bakteri seviyesinde ve küf üremesinde belirgin bir azalma gözlemlenmesini sağlamıştır. Ancak, farklı koşullardaki mikro-ortamlarda tekrarlı birçok deneme ile veriminin hangi aralıklarda değişebileceği de ortaya konulmalıdır. Bu amaçla, çalışma farklı ortamlarda tekrarlanacaktır. Sistemin iç hava kalitesini iyileştirmesine karşın; özellikle elektrik üretim kapasitesinin olduğu, ancak rüzgar hızı düşük olduğunda (< ortalama 10 km/saat) elektrik üretimi için gerekli eşik değerinin bu çalışma kapsamında her zaman aşılmadığının gözlemlenmesi nedeni ile, elektrik sarfiyatını düşürme potansiyeli belirgin olarak ortaya konulamamıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] MENTESE S., "Investigation of indoor air quality and determination of their sources", Ph.D. thesis, Hacettepe University, Ankara, 2009.
- [2] KHAN N., Su, Y., Riffat, S.B., Biggs, C., "Performance testing and comparison of turbine ventilators", 33:2441-2447, 2008.
- [3] ASHRAE, HVAC Applications, Handbook, S28.20, 1999.
- [4] LAI C.M., "Experiments on the ventilation efficiency of turbine ventilators used for building and factory ventilation", Energy Build, 35:927-32, 2003.
- [5] LAI C.M., Kuo I.S., "Assessment of the potential of roof turbine ventilators for bathroom ventilation", Technical note 26.2, Building Services Engineers, Taiwan, p. 173-9, 2005.
- [6] DALE J.D., Ackerman M.Y., "Evaluation of the performance of attic turbine ventilators", ASHRAE Trans, 99(1):14-22, 1993.
- [7] HAVENS P., "A combined fan and wind turbine model for attic turbine ventilators", Energy efficient and healthy buildings ARE318-E, 2004.

- [8] REVEL A., Testing of two wind driven roof ventilators. Available from /www.edmonds.com.au
- [9] WEST S., “Improving the sustainable development of building stock by the implementation of energy efficient, climate control technologies”, Build Environ, 38:281–9, 1999.
- [10] NIOSH, Method 0800 – Bioaerosol Sampling (Indoor air), Culturable Organisms: Bacteria, Fungi, Thermophilic Actinomycetes, NIOSH, 1998.
- [11] MENTEŞE S., Arisoy M., Rad A., Güllü G., “Bacteria and Fungi Levels in Various Indoor and Outdoor Environments in Ankara, Turkey”, CLEAN-Soil, Air, Water 37 (6), 487-493, 2009.

## ÖZGEÇMİŞ

### Sibel MENTEŞE

1981 doğumlu Menteşe, 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2004 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Mühendis unvanını almıştır. Sosyal Çevre konuları üzerine de ilgisi olan Menteşe, 2007 yılında Ankara Üniversitesi Sosyal Çevre Bilimleri Bölümünden ikinci Yüksek Lisans derecesini almıştır. 2004-2009 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır ve 2009 yılında iç hava kalitesi üzerine kapsamlı bir doktora tezi tamamlamıştır. Dr. Menteşe, Türkiye ve Almanya’da iç ortam hava kalitesi ve malzeme kalite uygunluk testi konuları üzerine çeşitli projeler yapmıştır. 2010 yılından bu yana Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır.

### Türkey ONACAK

Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden 1985 yılında lisans, 1990 yılında yüksek lisans ve 1999 yılında doktora derecesini almıştır. Halen Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde Öğ. Gör. Dr. olarak görev yapmaktadır. Termik santraller, sıvı örnekleme sistemleri ve otomatik yağış ölçüm sistemleri üzerine çalışmalar yapmaktadır.

### A.Cemal SAYDAM

ODTÜ Kimya bölümünde 1974 yılında lisans ve 1976 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 1981 yılında Liverpool Üniversitesinde doktora eğitimini tamamlayana Saydam, 1985 yılında Doçent ve 1992 yılında Profesör unvanının almış ve 2002 yılına kadar ODTÜ’de görev yapmıştır. 2002 yılından bu yana Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde çalışmaktadır. Oşinografi, çöl tozları ve uydu görüntülerinin güncel yöntemler ile yorumlanması üzerine çeşitli çalışmalar yapmaktadır.

### Osman ÇOTUKER

2012 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2012 yılından bu yana Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir. Yeşil araba uygulamaları ve hava kalitesi üzerine çalışmalar yapmaktadır.

### Burak SELÇUK

2012 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2012 yılından bu yana Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir. Yeşil araba uygulamaları ve hava kalitesi üzerine çalışmalar yapmaktadır.