

RAM MAKİNELERİNDE BACA FİLTRASYONU VE ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMLERİNİN TERMOEKONOMİK KARŞILAŞTIRMASI

Flue Gas Filtration in Stenters and Comparison of Waste Heat Recovery Systems Thermoeconomically

Mehmet Emin Uğur ÖZ

ÖZET

Bu çalışmada Ram Makinelerinin çıkışında koku ve kirlilik yaratan uçucu organik bileşenleri taşıyan sıcak atık havanın filtrasyonu için atık hava baca kanalı ile Ram çıkışı arasına yerleştirilmiş olan baca filtre sistemleri incelenmiştir. Atık ısının farklı filtre sistemleri ile nasıl ve ne kadar geri kazanılabileceği teorik olarak araştırılmış ve uygulamada karşılaşılan modellerin termoeconomik karşılaştırılması yapılmıştır. İlk yatırım açısından maliyetler değerlendirildiğinde Elektrostatik filtre yatırımı önde gelmekte daha sonra yoğunlaştırıcı hibrit filtre sistemi ve daha sonra da ısı değiştiricili elektrostatik filtre sistemi, yakıt tasarrufu açısından ise öncelikle elektrostatik filtreli sistem, ısı değiştiricili elektrostatik sistem ve yoğunlaştırıcı hibrit sistem gelmektedir.

Sonuçta, yoğunlaştırıcı hava - hava, hava - su ısı değiştirici modellerinin diğer uygulama modellerine göre standart çalışma koşulları altında performanslarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ram Atık Enerji, Koku yok etme, Baca Gazı Filtrasyon Sistemleri, Enerji geri kazanımı, Fizibilite.

ABSTRACT

Flue gas filter systems at the exit of the stenter machines in textile industry have been analysed in this study, which discharge to the atmosphere the volatile organic compounds smelling bad and polluting air. How and how much to recovery the waste heat from the flue gas by the different filter systems has been researched theoretically and compared the model performances common practised in the local textile industry thermoeconomically. In terms of first investment costs, electrostatic filter then condensate hybrid system and heat exchanger with electrostatic system sequentially comes. But, according to waste heat recovery and fuel saving firstly electrostatic filter then heat exchanger with electrostatic and condensate hybrid system comes.

Finally, it has been determined, that the performance under standart conditions of the model containing air to air, air to water type heat exchangers and condenser is better than the others.

Key Words: Stenter waste heat, Odor removal, Flue Gas Filtration Systems, Waste heat recovery, Feasibility.

1. GİRİŞ

Tekstildeki ram makinelerinin bacalarından açığa çıkan hava kirliliğinin önlenmesi ve uygulamada açığa çıkan atık ısıların geri kazanılmasını sağlayacak farklı teknolojik filtre sistemleri geliştirilmektedir. Söz konusu teknolojilerin tekstil firmalarında yaygın kullanımının önünde verimlilik, işletme maliyeti, işletme zorlukları, yangın riski ve ithal olmaları gibi ciddi problemler vardır.

Tekstil üretim kademeleri elyaf üretimi, işleme, eğirme, iplik hazırlama, kumaş üretimi, ağartma, boyama, baskı ve bitirme işlemidir. Her kademe uygun bir yönetim gerektiren atık üretir. Islak işlemler yün yıkama, eğirme, boyama, baskı vb. işlemlerdir [1].

Ram makineleri kumaşın son aşamalarına geldiğinde kullanılan makine çeşitlerinden biridir. Kabin sayısına göre makinenin uzunluğu 50 metreye kadar çıkabilir [2]. Ram makinelerinde ıslak işlemlerden çıkan kumaşa cinsine göre 120 - 180 °C arasında değişen sıcaklıklarda hava vererek ısı aktarılır ve bu kurutma işlemi sırasında gerdirmeye yapılarak kumaşın en, boy, ağırlık ve nemi tayin edilir. Bunun için kumaşlar makinede enine bir şekilde iğne ya da paletler tarafından kenarlarından tutturulur, bir çift yürüyen zincirle kumaşın hareketi düzenlenir. Amaç, kumaşı pişirmek, daha düzgün, daha şık ve parlak duran bir kumaş haline getirmektir. Termofix denilen bu işlemde kullanılan sıcak havayı üretmek için Ram makinesi bünyesinde mevcut olan ve zengin hava oranları ile çalışan gaz yakıcılar kullanılmaktadır. İlk modellerde bunun için kızgın yağ veya buhar serpantinleri kullanılmaktadır.

Yakıcının egzost havası kurutma işlemi için gerekli ısıyı verirken kumaşın bünyesindeki suyu ve üretim sürecinde kumaşa emdirilmiş olan ağır hidrokarbon moleküllerden oluşmuş uçucu organik bileşikler (UOB = VOC: Volatile Organic Compound) buharlaştırır. Ram makinesinin bacasından fanlar vasıtasıyla atmosfere atılan bu egzost havasının içinde tekstil havları ve yağlı su buharı diye tanımlanan UOB' ler bulunmaktadır. Koku ve kanserojen emisyonlar içeren duman gazları rüzgar vb. tesirler ile oldukça geniş bir alana yayılırken atmosferi kirletmekte ve bu arada doğal olarak atmosfere ısı enerjisi de atmaktadır.

UOB Emisyonlarının zararlı etkilerini bertaraf etmek için bu bileşiklerin atmosfere atılmalarının önlenmesi gerekir. Bu amaçla endüstriyel UOB emisyonlarının kontrolünde uygulamada karşımıza geri kazanımı da mümkün kılan (Simbiyotik) ve tamamen UOB' leri parçalayan filtreleme metotları ve sistemleri çıkmaktadır. En çok uygulanan UOB kontrol metotları ıslak tutuculu, elektrostatik filtreli, yoğunlaşmalı, oksidasyonlu, absorpsiyonlu, adsorpsiyonlu filtrasyon teknikleridir. UOB Kontrolü temelde "İşletme ve ekipmanda değişiklik" ve "Kontrol teknikleri eklemek" şeklinde iki grupta toplanabilir. Birinci grupta süreç ekipmanı, ham madde ve/veya süreç değiştirilerek kontrol yapılır. İkinci grupta emisyonu düzenlemek için ek bir kontrol mekanizması bulundurmaya şarttır. Birinci metot verimli ve faydalı olmakla beraber süreç ve/veya ekipmanı değiştirmek genellikle olası değildir ve uygulaması kısıtlıdır. İkinci metot ise imha ve geri kazanım tekniği olarak iki alt grupta sınıflandırılabilir. Yoğunlaşma, absorpsiyon, adsorpsiyon ve membranlı ayırıştırma gibi birçok tekniği ikinci grupta incelemek mümkündür.

Tekstil sektöründe en büyük enerji tüketimi kurutma işlemlerinde olur. Bu işlemde en sık kullanılan makine Ram dir. Bu nedenle verimsizliklerin azaltılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Cay ve ark. fabrikalardan alınan deneysel verilerin kullanıldığı bir kazan, bir pompalı Ram makinesinin ekserji analizinde ekserji verimini 34.4 % bulmuşlardır [3]. Mohit S. Işar Ram makinesindeki yakıcılara yakma havası ön ısıtıcısı olarak havadan havaya yeni bir kanatçıklı ısı değiştirici modeli üzerinde çalışmış ve deneysel sonuçları tasarımı kullanarak ekonomik geçerliliğini test etmiştir [4]. Önerilen modelin geri ödeme süresi yaklaşık 1 ay olarak hesaplandı. Khan ve Ghoshal Ram atık havasından UOB lerin alınması tekniklerini detaylı bir şekilde araştırarak her birinin esaslarını dezavantajlarını ve uygulanabilirliklerini karşılaştırmışlar ve karar alma stratejileri hakkında yol göstermişlerdir [5]. Yoğunlaşmalı UOB yok etme tekniğinde maksimum işletme maliyeti 120 \$/m³ ve yok etme verimi 70-85 %, absorpsiyonda ve aktif karbonlu adsorpsiyon tekniklerinde sırasıyla 120 \$/m³, 90-98 % ve 35 \$/m³, 80-90 % bulmuşlardır.

Düşük UOB konsantrasyonlarında yoğunlaştırma tekniği ekonomik değildir. Adsorpsiyon dan daha fazla sermaye ağırlıklıdır. En yüksek UOB konsantrasyonlarında (8000 ppm) adsorpsiyon tekniği ile rekabet edebilir. Geri kazanılan UOB lerin bir solvent olarak yeniden kullanımı her durumda daha ekonomik olması için önemlidir [6]. Sadece karbon adsorpsiyonunda yok etme verimi 95 % ve daha büyüktür, yoğunlaşturmada 90 % dir.

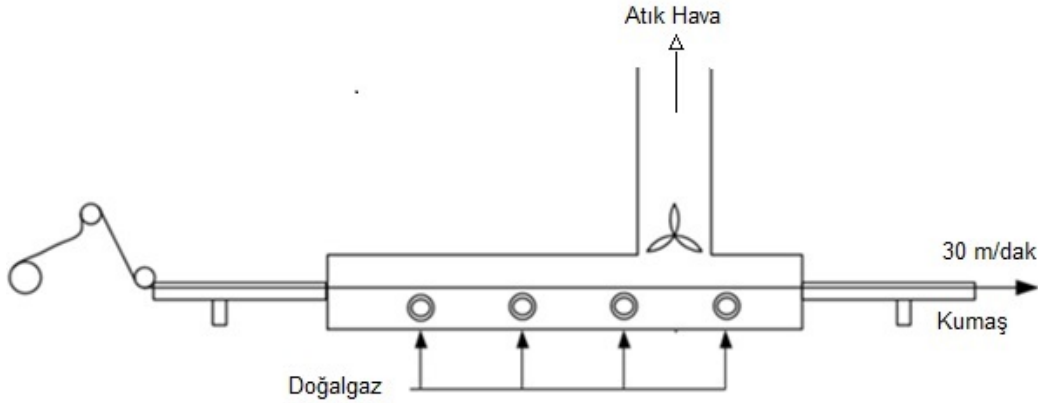
Yoğunlaştırma UOB geri kazanımı için emniyetli bir alternatiftir. İkinci bir eleman ve bu nedenle daha fazla bir ayırma teknolojisi gerektirmez, kolaydır. Yüksek konsantrasyon gereksinimi, yüksek sıcaklık ve basınç gibi koşullar, yüksek kaynama sıcaklıklı UOB ler, yüksek işletme maliyeti vb. kısıtlayıcı koşullardan etkilenir. Bu durum ticari anlamda zorluklara neden olur. Sonuçta, katalitik oksidasyon

UOB geri kazanımı verim ve maliyet açısından önemli değilse iyi bir tercihtir. UOB Geri kazanımı önemli ise en iyi alternatif adsorbsiyon uygulamasıdır. Biyolojik filtrasyon hala araştırılmaktadır, gelecekte UOB kontrolünde en çok potansiyeli olan bir uygulamadır [5].

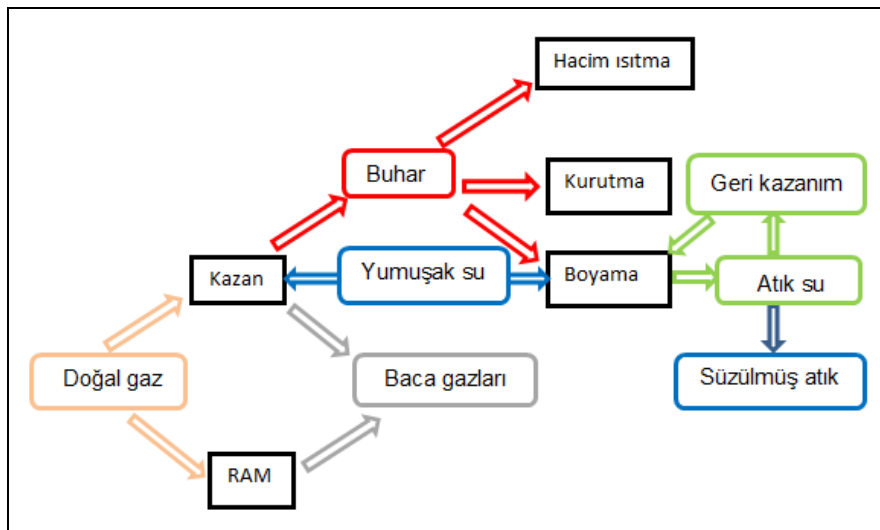
2. YERLİ FİLTRE SİSTEMLERİ ÖRNEK UYGULAMA MODELLERİ

Ramdan çıkan baca gazlarının filtrasyonunda öne çıkan yerli uygulama teknikleriduman gazlarını soğutarak taşıdıkları yağ ve su buharlarını basınçlarına karşılık gelen doyma sıcaklığında yoğuşturur. Yoğuşturma (Çiğlenme) ile UOB' leri atık gaz sisteminden ayırtırmak için ısı değıştiriciler soğutucu akışkan olarak taze hava veya yumuşak su kullanır ve atık gazın sıcaklığını düşürürler. Bu maksatla tesis ihtiyacına göre hava-hava, hava-su tipinde zıt akışlı ısı değıştiricilerden biri veya her ikisi birlikte kullanılabilir. Isıtılmış taze hava Ram yakıcılarına gönderilmekte (Rekuperasyon), sıcak su ise tesisin destek ünitelerine veya sıcak su depolarına yönlendirilmektedir. Eğer tesis boyahane ise sıcak su ikincil bir ısıtıcıdan geçirilip boya ekipmanlarına yönlendirilebilir. Her durumda atık enerji tasarruf edilerek işletme maliyetleri düşürülmektedir.

Aşağıdaki **Şekil 1.** de Ram makinesinin çalışma prensibi ve **Şekil 2.** de ise tekstil üretim sürecindeki pozisyonu gösterilmektedir.



Şekil 1. Ram prensip şeması



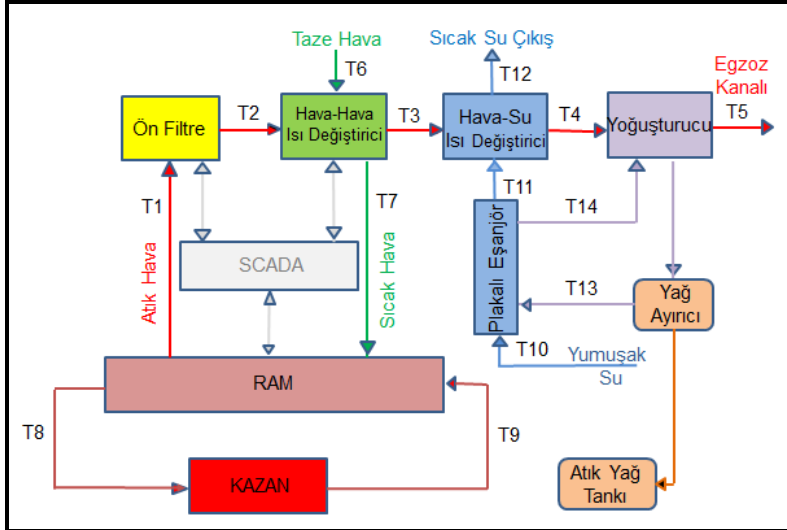
Şekil 2. Analiz edilen üretim sürecinin akış şeması

Yapılan etütler; yerel tesislerde Ram baca gazlarının filtrasyonunda uygulanan tüm modellerde çoğunlukla kaba/ince ızgaralar ile bunu takip eden ısı değiştiriciler ve ek olarak elektrostatik filtrelerin kullanıldığını göstermektedir.

Yerel imalatçıların uyguladığı sistemleri 3 grupta toplamak mümkündür:

2. 1. A Modeli: Isı Değiştirici ve Yoğuşturucu Hibrit Sistem

Bu sistemde Ram Baca gazı filtrasyon sistemine eklenen bir yoğuşturucu vasıtası ile filtre sisteminin soğutma gücü ve dolayısı ile toplam verimi artırılmaktadır.



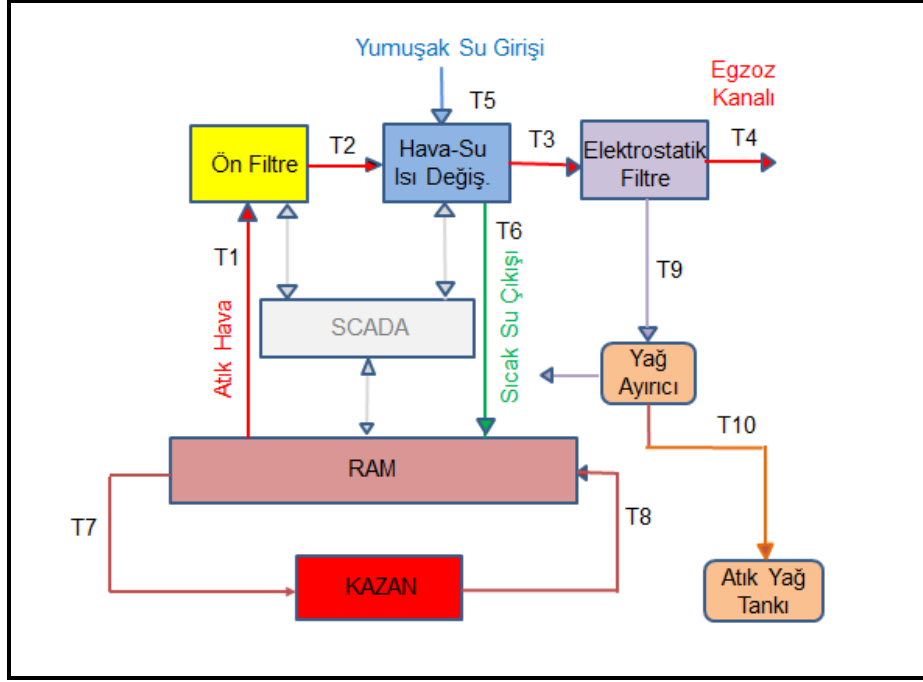
Şekil 3. Model A şematik görünüşü

Modelin ana yapısı aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 3.).

- Otomatik Mekanik bir ön filtre, 100 mikrona kadar kaba ve ince havları yakalanması için kullanılmaktadır. Tekstil kumaş havları ve yağ zerreciklerinin yapışkan parçacık topları oluşturmasını önleyebilmek için kaba havları ayrıştırmak amacıyla sistem girişine konulan filtre tıkanıldığında sprej nozullardan sıcak su ve buhar ile püskürtülerek yıkanır. İstendiğinde manuel olarak da bu elekler çıkarılıp temizlenebilir (15-20 dak).
- Hava - hava tipindeki ısı değiştirici. Bu ısı değiştiricide Ram makinesinden atılan ve sıcaklığı 160 – 180 °C aralığında olan eğer polyester kumaş kurutulmuş ise bağıl nemi % 2 – 3 olan atık hava ortamdaki 30 °C de ve yaklaşık % 60 bağıl nemdeki taze hava ile 110 °C ye soğutularak muhteviyatındaki yağ buharlarını ve yağ ile topaklanan daha ince partiküllerin sistemden ayrıştırılmasını sağlamaktadır. Burada 90 °C ye ısıtılan % 2 bağıl nemdeki taze hava Ram da kullanılmaktadır.
- Hava – su tipindeki ısı değiştirici. Burada 110 °C deki atık hava 20 °C deki besi suyu ile 70 °C ye soğutulurken su 45 °C' ye ısınmakta ve tesiste ihtiyaç duyulan tüketim noktalarına yönlendirilmektedir.
- Yoğuşturucu ünite: Soğutma gücünün artmasına yardımcı olan ünite hava – su ısı değiştiricisinden 70 °C de çıkan atık hava 45 °C ve altına soğutulmakta ve daha fazla sayıda organik bileşik buharının yoğuşmasına yardımcı olarak sistemin verimini arttırmaktadır [7].

2. 2. B Modeli: Elektrostatik Filtre ve Isı Değiştirici Kombinasyonlu Sistem

Uygulanan modelin şematik görünüşü Şekil 4.' tedir.



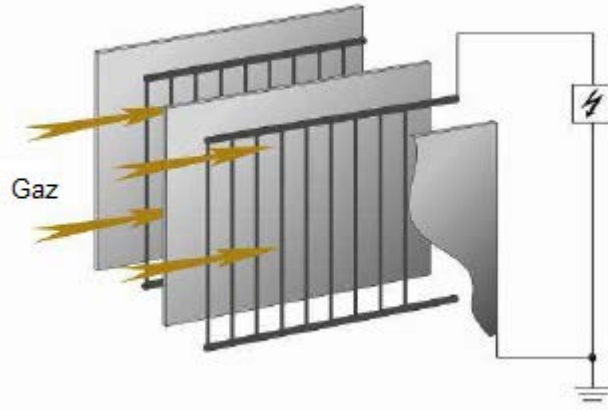
Şekil 4. Model B şematik görünüşü

Sistemin modülleri ve işlevleri aşağıdaki gibidir.

- Otomatik temizlemeli ön filtre: Ram' dan çıkan tekstil kumaş havları ve yağ zerreciklerinin yapışkan parçacık toprakları oluşturmasını önleyebilmek için kaba havları ayırıştırarak amacıyla sistem girişine konulan ve yedekli çalışan bir elekten ibarettir. Belirlenmiş basınç farklarına ulaşıldığında yedek filtre devreye girerken tıkanmış olan filtre sprey nozullardan sıcak su ve su bazlı yağ çözen kimyasallar püskürtülerek yıkanır.
- Isı Değiştiriciler: Ram makinelerinden atılan yaklaşık 180 °C sıcaklıktaki atık hava idarenin talebi doğrultusunda sıcak hava üretimi için hava – hava veya sıcak su üretimi için hava – su tipindeki ısı değiştiricilerden biri veya her ikisi vasıtası ile 110 - 70 °C aralığına kadar soğutulmuş atık havanın taşıdığı yağ buharlarının kısmen yoğunlaşması ve bünyesindeki aerosol partiküllerin ayırıştırılarak atık tankında toplanması sağlanmaktadır.

Belirlenen fark basıncına ulaşıldığında kirlenmiş olan ısı değiştiriciler sıcak su ve su bazlı yağ çözen kimyasallar ile temizlenir.

- Hava – hava tipinde ısı değiştiriciler kullanıldığında 90 – 110 °C sıcaklığına ısıtılmış taze hava Ram da kullanılmaktadır. Hava – su tipindeki ısı değiştiriciler kullanıldığında ise 55 – 60 °C sıcaklığında sıcak su üretilebilmekte atık gaz sıcaklığı 60 – 70 °C aralığına indirilebilmektedir.
- Elektrostatik Filtre: Invertörlü bir fan yardımı ile ön filtreden geçirilerek üniteye çekilen atık hava bir iyonizerden geçirilirken güçlü bir manyetik alandan pozitif yükle elektriklenmiş halde çıkar ve pozitif, negatif yüklü toplayıcı yüzeylere girer burada pozitif yüklü plakalar tarafından itilen parçacıklar negatif yüklü plakalarca çekilerek toplanır. Böylece 0,3 mikrona kadar büyüklüğe sahip parçacıkların tutulması mümkün olur (Şekil 5.).



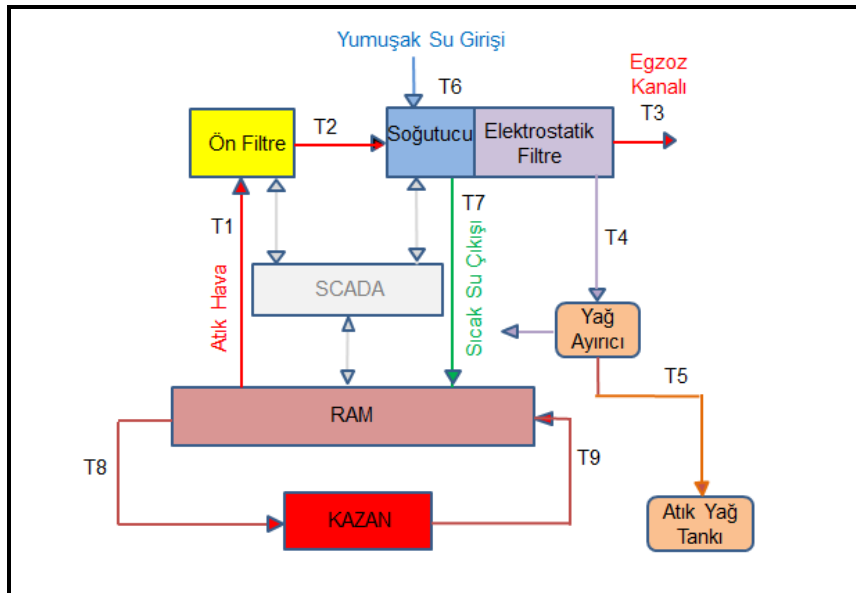
Şekil 5. Elektrostatik Filtre çalışma prensibi [8]

Belirlenen fark basıncına ulaşıldığında kirlenmiş olan yüzeyler sıcak su ve su bazlı yağ çözücü kimyasallar ile otomatik olarak yıkanır ve temizlenir.

Bu tip filtrelerin tüm modellerde olduğu gibi SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition: Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama) sistemine sahip olması ve PLC (Programmable Logic Controller: Programlanabilir Mantık Denetleyici) sistemleri ile çalıştırılması kaçınılmazdır.

2. 3. C Modeli: Elektrostatik Filtre Sistemi

Elektrostatik filtre sisteminin yapısı tek bir gövdede hemen girişte bir mekanik filtre ve soğutucu bölümü ardından gelen elektrostatik filtre bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 6.). Bunlar iyonizer ve trafo gurubunu takip eden toplayıcı plakalardır.



Şekil 6. Model C şematik görünüşü

Elektrostatik filtrelerin metal aksamı paslanmaz krom nikel alaşımı olmalıdır. Normal çelik mamulü olanlar paslanmaya uzun süre dayanıklı olmamakla birlikte uygun bakımları yapıldığı takdirde yaklaşık 10 yıl kullanılabilir [9].

Elektrostatik filtrelerin düşük sıcaklıkla çalıştırılması (Yaklaşık 50 °C ve daha düşük) ve periyodik yıkama işlemine özen gösterilmesi yangın tehlikesini azaltmak için gereklidir. Toplayıcı plakalardaki yağ filminin kalınlığı temizlik periyoduna dikkat edilmez ise artarak trafonun uyguladığı 10 – 15 kV seviyesindeki elektrik voltajının plakalarda elektrik arkı yapmasına ve birikmiş yağ tabakasının yanmasına neden olur. Buna rağmen sistem bu tür risklere karşı donanımlıdır. Hemen filtre girişindeki bir yoğuşturucu ile atık hava soğutulurken kaba partiküllerden de ayrıştırılmış olmaktadır. Ayrıca termostat kontrollü otomatik çalışan giriş ve çıkış damperleri yangın tehlikelerine karşı emniyet sistemi olarak üniteye eklenmiştir. Yangın başladığında termostatik olarak damper kapakları kapanmakta ve iç hacme nozullar vasıtası ile su veya buhar püskürtülmektedir. Bu modellerin kendi bünyesinde yoğuşturucu mevcut olup Ram' dan çıkan 150 – 160 °C sıcaklık ve % 2 bağıl nemdeki (Polyester kumaş için) atık hava 55 °C civarına soğutulmaktadır. Çıkışta yağ konsantrasyonu 50 mg / m³ den daha aşağıya çekilmektedir.

2. 4. Atık Gaz Sistemi;

Filtre sistemine egzost giriş sıcaklığı: 160 - 180 °C

ESP Filtre çalışma sıcaklığı: 35 - 50 °C

Çalışma süresi: Ortalama 6000 saat / Yıl

Güç kaynağı: 380 V, 50 Hz

Termofiks sıcaklığı: 195 °C

Taze hava kalitesi: 20 mg / m³ Yağ Buharı

Atık Isı Geri Kazanım Sistemi;

Havadan suya ısı değiştiricilerinde;

Isı değiştiricisine soğuk su giriş sıcaklığı: Ortalama 15 - 20 °C

Isı değiştiricisinden su çıkış sıcaklığı: Ortalama 80 - 90 °C Aralığında olabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Havadan havaya ısı değiştiricilerinde;

Isıtıcı atık gaz giriş sıcaklığı: Ortalama 180 – 200 °C

Isıtıcı gaz çıkış sıcaklığı: Ortalama 90 – 110 °C

Isıtılan hava giriş sıcaklığı: 25 – 30 °C

Isıtılan hava çıkış sıcaklığı: 90 – 110 °C

Yoğuşturucu; 50 – 70 °C

Aralığında olabilecek şekilde tasarlanmaktadır.

3. ENERJİ GERİ KAZANIMI

3.1. Hesap Yöntemleri

3. 1. 1. Isı Değiştiricilerinde Isı Transfer Hesabı

Baca gazından atılan ısı miktarı:

$$Q_{bg,i} = \dot{m}_{bg} \cdot C_{p,bg} \cdot (T_2 - T_3) \cdot \eta_{HI} \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

$Q_{bg,i}$ = Baca gazının verdiği ısı, (kW)

\dot{m}_{bg} = Baca gazının kütleli debisi, (kg/sn)

$C_{p,bg}$ = Baca gazının sabit basınç özgül ısınma ısısı, (kJ/kg.K); Ortalama gaz sıcaklığında

T_2 = Baca gazının Hava-Hava Isı Değiştiricisine giriş sıcaklığı, °C

T_3 = Baca gazının Hava-Hava Isı Değiştiricisinden çıkış sıcaklığı, °C

η_{HI} = Hava-Hava Isı Değiştiricisinin ısı verimi

$$\eta_{HI} = \frac{Q_{HI}}{Q_{max}}$$
$$Q_{max} = (m \cdot C_p)_{min} \cdot (T_2 - T_6)$$
$$(m \cdot C_p)_{min} = \min\{(\dot{m}_{bg} \cdot C_{p,bg}), (\dot{m}_h \cdot C_{p,h})\}$$
$$\eta_{HI} = \frac{(\dot{m}_h \cdot C_{p,h}) \cdot (T_7 - T_6)}{(m \cdot C_p)_{min} \cdot (T_2 - T_6)}$$

Isıtılan akışkanın aldığı ısı miktarı: (Örnek: Hava - Hava Tipi Isı değiştirici)

$$Q_{HI} = \dot{m}_h \cdot C_{p,h} \cdot (T_7 - T_6), \quad (\text{kW}) \quad (2)$$

Q_{HI} = Taze havaya verilen ısı, (kW)

\dot{m}_h = Taze havanın kütleli debisi, (kg/sn)

$C_{p,h}$ = Taze havanın sabit basınç özgül ısınma ısısı, kJ/kg.K

T_6 = Taze havanın Hava-Hava Isı Değiştiricisine giriş sıcaklığı, °C

T_7 = Taze havanın Hava-Hava Isı Değiştiricisinden çıkış sıcaklığı, °C

η_{HI} = Hava-Hava Isı Değiştiricisinin ısı verimi

3. 1. 2. Yoğuşturucuda çekilen ısı miktarı;

$$Q = (\dot{m}_{bg} c_p \Delta t + \dot{m}_y h_{su,\zeta}) / 3600 \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

$$h_{su,\zeta} = c_{p,su,\zeta} \cdot t_\zeta = 4,181 \text{ kJ/kgK} \cdot t_\zeta \text{ (K)}, \quad (\text{kJ/kg})$$

\dot{m}_y = Yoğuşturucuya giren atık havanın taşıdığı ve yoğuşturucuda yoğuşan su buharı miktarı, (Duman gazındaki yağ buharlarının yoğuşturulması için), (kg su/s)

Δt = Baca gazının yoğuşturucuya giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki fark, (K)

Yoğuşan su miktarı;

$$\dot{m}_y = \dot{m}_{bg} \times (\Delta\omega \times 10^{-3}), \quad (\text{kg su/s}) \quad (4)$$

$$\Delta\omega = (\omega_g - \omega_\zeta)$$

ω = Atık havanın özgül nemi (gr su / kg hava), [10]

Yoğuşturucuya gönderilmesi gereken soğutma suyu miktarı;

$$\dot{m}_{ss} = \frac{Q_y}{c_{p,s} \times \Delta T} \quad (\text{kg/s}) \quad (5)$$

3. 1. 3. Enerji/Yakıt Tasarruf Miktarı

Toplam ısı geri kazanım miktarı (IGK):

$$IGK = \dot{Q}_{HI} + \dot{Q}_{SI} + Q_y \quad (\text{kW})$$

Yakıt Tasarrufu (YT):

$$YT = (IGK \cdot 3600 \cdot \alpha) / (H_U \cdot \eta_K) \quad \text{Sıvı yakıtlar için} \quad (\text{kg/yıl})$$

$$YT = (IGK \cdot 3600 \cdot \alpha) / (H_U \cdot 4,184 \cdot \eta_K) \quad \text{Gaz yakıtlar için} \quad (\text{Nm}^3/\text{yıl})$$

YT = Hava-su ısı değiştiricisinde tasarruf edilen yakıt miktarı, kg/yıl, Nm³/yıl

IGK = Baca gazının verdiği ısı, kW (kJ/sn)

α = Isı değiştiricisinin yıllık çalışma saati, h/yıl

H_U = Yakıtın alt ısıl değeri, kJ/kg (Sıvı yakıtlar için), kCal/Nm³ (Gaz yakıtlar için).

η_K = Kazan verimi

3. 2. Tasarrufun Parasal Değeri:

Tasarruf Tutarı;

$$TT = YT \cdot BF \quad (\text{TL/Yıl}) \quad \text{İşletme giderlerinden dolayı sonucun \% 80' i dikkate alınabilir.}$$

BF = Yakıt birim fiyatı (Sıvı yakıt için TL/kg, Gaz yakıt için TL/m³)

Tablo 1. Farklı filtrasyon modellerinin yıllık gaz yakıt tasarrufları

Model A								
20	h/Gün,	30	gün/Ay	6000	h/Yıl	çin	Kaz. ver. η =	80
966088,64	(kJ/h) / 10 ⁹ =	0,000966	TJ/h *	6000	=	5,797	TJ/yıl	
230735,29	(kCal/h) / (8250	* η) =	34,960	Nm ³ /h	D.Gaz			
Model B								
359,2	kW							
308912	(kCal/h) / (8250	* η) =	46,805	Nm ³ /h	D.Gaz			
Model C								
514	kW							
442040	(kCal/h) / (8250	* η) =	66,976	Nm ³ /h	D.Gaz			

4. EKONOMİK ANALİZ

Ram baca gazlarının filtrasyonu için düşünülen yatırım projelerinin değerlendirilmesinde ve alternatifler arasında seçim yapılmasında çeşitli yöntemler kullanılabilir.

Bu yöntemler nakit akımlarının değerlendirilmesine ilişkin yöntemlerdir.

1. Geri ödeme süresi (Payback period)
2. Net bugünkü değer (NPV - Net Present Value)
3. Kârlılık indeksi (PI – Profitability Index)
4. İç Getiri oranı (IRR - Internal Rate of Return)

4. 1. Amortisman

Enerji tesisleri, makine ve cihazları için;
Amortisman süresi $n=5$ yıl, amortisman oranı $I= \% 20$ [11].
Yıllık faiz oranı; $i= \% 24$ (TL için),

$$\text{Amortisman Değeri} = P * [1 - (I/100)]^n$$

$$\text{Amortisman Değeri} = P * [1 - (20/100)]^5$$

1TL= 0.142 Euro

Elektrik BF= 0.4030 TL/kWh= 0.0573 Euro [12]

Doğalgaz BF= 1.315 TL/Nm³= 0.187 Euro [13]

Basit Geri Ödeme Süresi;

$$\text{Amortismanlı geri ödeme süresi} = \frac{\text{İlk yatırım} - \text{Amortisman değeri}}{\text{Senelik net nakit akışı}}$$

Geri ödeme süresi ne kadar kısa ise yatırım da o kadar caziptir

4. 2. Karlılık Oranı (KO)

$$KO = \frac{\text{Ortalama yıllık net tasarruflar (Amortismandan sonra)}}{\text{Sermaye gideri}}$$

KO ne kadar yüksek ise yatırımın o kadar cazip olacağı aşikârdır.

4. 3. İndirimli Nakit Akışı

Faiz oranı i , yıl n ve mevduatın değeri D ile gösterirsek,

$$S = D[1 + (i/100)]^n$$

İlk yatırımın bugünkü değeri;

$$P = F/(1 + i)^n$$

İskonto (İndirim) oranı;

$$a = 1/(1 + i)^n$$

Yatırımın kar etme miktarının (Karlılık Oranı: KO) ve ilk yatırımın kendini hangi sürede geri ödeyebileceğinin (Geri Ödeme Süresi: GÖS) hesabı için elde edilen yıllık net tasarrufların parasal değerinin (Net Nakit Akışı: NNA) bilinmesi zorunludur (**Tablo 2.**). Bunun için yıllık tasarruflardan yıpranma payı ile birlikte tüm masrafların çıkarılması ve elde kalacak olanın bilinmesi şarttır.

Tablo 2. Net nakit akışı

MODEL A					
Sermaye	644047,59	TL			NNA
Yıllar	Yıllık tasarruf TL	Amortisman TL	Bakım, onarım TL	İşçilik TL	Net yıllık tasarruf TL
0	0	0	0	0	0
1	405343,99	128809,52	2500	4000	270034,48
2	405343,99	103047,61	2500	4000	295796,38
3	405343,99	82438,09	2500	4000	316405,90
4	405343,99	65950,47	2500	4000	332893,52
5	405343,99	52760,38	2500	4000	346083,62
MODEL B					
Sermaye	523980,00	TL			NNA
0	0	0	0	0	0
1	155277,00	104796,00	2500	4000	43981,00
2	155277,00	83836,80	2500	4000	64940,20
3	155277,00	67069,44	2500	4000	81707,56
4	155277,00	53655,55	2500	4000	95121,45
5	155277,00	42924,44	2500	4000	105852,56
MODEL C					
Sermaye	760410,00	TL			NNA
0	0	0	0	0	0
1	403950,24	152082,00	2500	4000	245368,24
2	403950,24	121665,60	2500	4000	275784,64
3	403950,24	97332,48	2500	4000	300117,76
4	403950,24	77865,98	2500	4000	319584,26
5	403950,24	62292,79	2500	4000	335157,45

4. 4. Net Bugünkü Değer (NBD)

NBD; Projenin ömrü boyunca tüm yıllık sermaye giderleri ve tasarrufların bugünkü değerini hesaplar. Tüm bugünkü değerlerin toplanmasıyla (Giderler negatif, miktarlar ve net tasarruflar ise pozitif olarak gösterilerek) elde edilen toplamdır [13]. Nakit akışlarının faiz oranlarına göre yıllar bazında belirlenmiş bir oranla (İskonto Oranı) indirgenmiş değerlerinden (İndirimli Nakit Akışı: İNA) tasarrufların bugünkü değeri hesaplanır ki bu değer (Net Bugünkü Değer: NBD) karar alma sürecinin en kritik göstergesidir.

Bir projenin ömrü boyunca tüm yıllık sermaye giderleri ve tasarrufların bugünkü değerinin hesabıdır ve en yüksek olan proje tercih edilir, negatif çıkanı ret edilir. Farklı NBD' ler arasında hangisinin tercih edileceğine karar vermek için ise indirgenmiş net nakitler toplamı olan NBD' nin sermaye giderlerine oranı olan karlılık indeksine (Kİ) bakılır [14]. Yüksek Kİ tercih edilir. **Tablo 3.** Bu analizi göstermektedir. NBD negatif ise proje ret edilir, pozitif ise kabul edilir.

Net nakit akışı (NNA) = Nakit girişi (NG) – Nakit çıkışı (NÇ)

$$NBD = NNA_0 * a_0 + NNA_1 * a_1 + \dots + NNA_n * a_n$$

Aşağıdaki tabloda, net tasarrufların uygun "a" değeri ile çarpılması suretiyle bugünkü değerler bulunmaktadır, NBD' ler sermaye giderlerinin indirimli net tasarrufların toplamından çıkarılması ile elde edilmektedir.

Tablo 3. Net bugünkü değerler (NBD)

		MODEL A		MODEL B		MODEL C	
1 €	6,39TL	Sermaye Gideri	- 644048	TL	-523980	TL	-760410
			-100790	€	-82000	€	-119000
		Yıllık Tasarruf	405344	TL	155277	TL	403950
	Faiz		63434	€	24300	€	63216
Yıl	24% A	NNA (TL) B	İNA (TL) A*B	NNA (TL) C	İNA (TL) A*C	NNA (TL) D	İNA (TL) A*D
0	1	-644047,59	-644047,59	-523980	-523980	-760410	-760410
1	0,806	270034,48	217769,74	43981	35468,55	245368,24	197877,61
2	0,65	295796,38	192375,38	64940,2	42234,78	275784,64	179360,46
3	0,524	316405,9	165950,87	81707,56	42854,57	300117,76	157407,94
4	0,423	332893,52	140805,17	95121,45	40233,86	319584,26	135175,7
5	0,341	346083,62	118051,8	105852,56	36107,13	335157,45	114324,8
		NBD =	190905,37	NBD =	-327081,11	NBD =	23736,52
		Kİ =	1,3	Kİ =	0,38	Kİ =	1,031
		KO=	10,86	KO=	-22,44	KO=	1,04
GÖS	Amortismansız		1,6	Yıl	3,4	Yıl	1,9 Yıl
	Amortismanlı		1,1	Yıl	2,3	Yıl	1,3 Yıl
NNA: Net Nakit Akışı		İNA: İndirimli Nakit Akışı					
SONUÇ: MODEL B NBD (-) Ret							
MODEL B KO (-) Ret							
MODEL A ve C NBD (+) Kabul							
MODEL A (Kİ) > MODEL C (Kİ) Tercih Nedeni							
MODEL A (KO) > MODEL C (KO) Tercih Nedeni							
Kısa süre MODEL A (GÖS) < MODEL C (GÖS) < MODEL B							

5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Yukardaki **Tablo 2.** ve **Tablo 3.**' ten görüldüğü gibi tasarrufların parasal değerinden amortisman ve yıllık % 24 faiz ödemelerinin çıkarılmasıyla bulunan net tasarrufların (Net Nakit Akışı: NNA ve İndirimli Nakit Akışı: İNA) sermaye giderine oranından bulunan karlılık oranının (KO); Büyüklüğünü dikkate aldığımızda tercih sıralaması:

KO MODEL A > KO MODEL C > KO MODEL B olacaktır.

Amortismanlı geri ödeme süresinin (GÖS) ; En kısasının en cazip olacağı düşüncesiyle tercih sıralaması,

GÖS MODEL A > GÖS MODEL C > GÖS MODEL B olacaktır.

Sermaye giderlerinin indirimli (İskontolu) net tasarrufların (İndirimli Nakit Akışı: İNA) toplamından çıkarılması ile bulunan tasarrufların bugünkü değerlerinin toplamına göre (Net Bugünkü Değer, NBD); (-) Olan NBD' nin ret edilmesi (+) olanının kabul edileceği ve en büyük değer tercih edileceği varsayımıyla;

NBD MODEL B= - 327 081,11 TL ret edilir ve büyüklüğe göre tercih sıralaması;

NBD MODEL A > NBD MODEL C olacaktır.

Farklı NBD' ler varsa karlılık indeksi (Kİ); En yüksek olanının daha cazip olacağı kabulü ile tercih sıralaması:

Sonuç: Tercih önceliği Kİ MODEL A > Kİ MODEL C olacaktır.

İlk yatırım maliyetleri açısından değerlendirilirse Elektrostatik filtre yatırım maliyeti önde gelmekte daha sonra yoğunlaştırıcı hibrid filtre sistemi ve daha sonra da ısı değiştiricili elektrostatik filtre sistemi, yakıt tasarrufu açısından ise öncelik sırasına göre elektrostatik filtre sistemi, ısı değiştiricili elektrostatik filtre sistemi ve yoğunlaştırıcı hibrid sistem gelmektedir.

Yoğuşturmanın UOB geri kazanımı için emniyetli ve ekonomik bir alternatif olduğu görülmektedir. İkinci bir eleman ve bu nedenle daha fazla bir ayırma teknolojisi gerektirmemektedir. Yüksek UOB konsantrasyonu, yüksek sıcaklık ve basınç gibi koşullar, yüksek kaynama sıcaklıklı UOB ler, yüksek işletme maliyeti vb. kısıtlayıcı koşullar için yerli üretim modelleri daha detaylı incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Pollution Prevention and Abatement Handbook - Part III Multilateral Investment Guarantee Agency Environmental Guidelines for Textiles Industry.
- [2] <https://eksisozluk.com/ram-ramoz-makinesi--4926540>, 02.10.2015
- [3] CAY, A. , TARAKÇIOĞLU, I. HEPBAŞLI, A. "Exergetic performance assessment of a stenter system in a textile finishing mill", Int. J. Energy Res. 2007, 31, 1251–1265.
- [4] MOHIT S. ISHAR, "Stenter Exhaust Heat Recovery for Combustion Air Preheating, Project Report Indian Institute of Technology" , Bombay, Heat Transfer Laboratory, 6/6/2005.
- [5] KHAN, GHOSHAL, "Removal of Volatile Organic Compounds from polluted air", Journal of Loss Prevention in the Process Industries 13 (2000) 527–545.
- [6] SPIVEY, J. "Recovery of volatile organics from small industrial sources.", Environmental Progress, 7 (1), 1988, 31.
- [7] www.erkamax.com (Kasım 2018)
- [8] "VOC-removal by means of non-thermal plasmas: plasma chemistry, techniques and examples", R. Brandenburg, "VOCs", 3rd Summerschool, Kaunas, July 2012.
- [9] <http://www.kadriugur.com.tr>. (Kasım 2018)
- [10] http://www.aktonassoc.com/Akton_500F_CHART_SI.PDF
- [11] <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/11/20151104-6-1.pdf> - Enerji Tesisleri/Cihazlar-Hesap kodu 253-01, (Kasım 2018)
- [12] <http://www.limakuludag.com.tr> (Kasım 2018)
- [13] <http://www.bursagaz.com> (Kasım 2018)
- [14] A. HEPBAŞLI, Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi, Schneider Electric Enerji Verimliliği Serisi I, ISBN: 978-9944-508-6-9, 1. Baskı 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Emin Uğur ÖZ

1977 Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (Eski ADMMA) mezunu olan yazar uzun yıllar kamu ve özel sektörde Makine Mühendisi olarak çalışmıştır. Bina ve Sanayi Enerji Yöneticisi ve Eğitim Etüt Sertifikalarına sahiptir ve Uzak Yol Vardiya Mühendisidir. British Gas denetiminde yürütülmüş olan Ankara Doğalgaz Dönüşüm Projesinde Amec – Kutlutaş Consortium' unda saha mühendisi olarak ve Akfengaz bünyesinde İtalgas denetimindeki Bursa Doğalgaz Dönüşüm Projesinde ise Regülatör istasyonlarından sorumlu danışman olarak görev yapmıştır.



YÖK – Dünya Bankası II. Endüstriyel Eğitimi Geliştirme Projesi kapsamında öğretim görevlisi olarak yetiştirilmek üzere 1991 yılında Amerika Birleşik Devletleri, Michigan, Ferris State University' de HVAC konusunda özel eğitim almıştır. Y. Lisansını (1995) ve Doktorasını (2006) Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tamamlamıştır. Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Gaz ve Tesisat Teknolojisi Programının kurucusudur (1993) ve halen programın Dr. Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Evli ve 1 kız çocuk babası olan yazar İngilizce bilmektedir.