

ÇATES KONDENS ATIK ISISINDAN KONUT ISITILMASINDA YARARLANILMASI

Mustafa EYRİBOYUN
Keziban ÇALIK

ÖZET

Zonguldak Çatalağzı Termik Elektrik Santrali (ÇATES), 2×150=300 MW'lık kurulu güce sahip, kömür yakıtlıdır. Denizden alınıp denize atılan, santral yoğunlaştırıcısı soğutma suyunun, yıl boyunca en düşük sıcaklığı 25 °C, debisi ise 18000 m³/h'dir.

Bu çalışmada, ÇATES yoğunlaştırıcı soğutma suyunun atık ısısından, ısı pompası yardımıyla konut ısıtılması olanakları araştırılmıştır. 30 dairenin ısıtılmasına yetecek bir sistem düşünülmüştür. Sistemin ısı performans; Soğutma Etkinlik Katsayısı (SEK≡COP) ve Birincil Enerji Oranı (BEO≡PER) değerleri anlamında, NH₃, R-22 ve HFC-134a soğutkanları için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Hesaplarda; kazan verimi %75, kömürden elektrik enerjisine dönüşüm verimi %27 olarak alınmış ve BEO değerleri buna göre bulunmuştur. Isı pompası yoğunlaştırıcısında 5 °C aşırı soğutma, buharlaştırıcısında 5 °C aşırı kızdırma esas alınmıştır. Sistemdeki bütün üniteler için basınç kayıpları hesaplanarak, gerekli pompalar buna göre seçilmiştir. Hesap sonuçlarına göre, COP=4.97 ve BEO=1.34 değeriyle, 50/40 °C sıcak sulu ısıtma sisteminde NH₃'lı ısı pompası sistemi, birincil enerji tüketimi bakımından, kömür yakıt kullanan klasik kazanlı ısıtma sistemine göre %79 daha verimli olduğu görülmüştür.

Isı kaynağı ile tüketim yeri arasındaki mesafenin uzun olması, döşenmesi gereken yalıtımlı boruların ilk yatırım maliyetini artırarak; atık su kaynaklı ısı pompalarının kullanımı önündeki en büyük engeli oluşturmaktadır. ÇATES'e 1150 metre uzaklıktaki lojmanlar için yapılan ekonomik analiz hesaplarında; ilk yatırım maliyetinin %66'sının boru masrafı olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak olaya doğal kaynakların tüketiminin yavaşlatılması ve çevreye daha az kirletici atılması açılarından da bakılması gerekmektedir.

1.GİRİŞ

Modern yaşamın ve nüfus artışının doğal sonucu olarak enerjiye olan talep sürekli artmakta, buna karşın halen geniş ölçüde kullanılan fosil kökenli yakıt kaynakları ise hızla azalmaktadır. Her ne kadar alternatif enerji kaynakları üzerine yapılan bilimsel çalışmalardan olumlu sonuçlar alınsa da bu yollardan elde edilen enerji, bugün için, hayli pahalı olmaktadır. Yeryüzündeki petrolün 50-60 yıl, kömürün ise 200-250 yıl kadar sonra tükeneceği öngörülmektedir. Bu da insanlık tarihi dikkate alındığında çok kısa bir süredir. O halde; elde var olan enerji kaynaklarının en uygun şekilde kullanılması zorunludur.

Enerji üretim ve tüketiminde bugün mevcut olan eğilimlerin aynen devam edeceği varsayılarak hazırlanan (business-as-usual) senaryoda, OECD genelinde, 2010 yılındaki CO₂ emisyonlarının 1990 yılında gerçekleşenden %30 fazla olabileceği tahmin edilmektedir. Halbuki Kyoto Protokolü Ek-1'de yer alan ülkelerin, 2008-2012 yılları arasında, toplam sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyesinin % 5

altına çekmeleri öngörülmektedir [1]. Küresel iklim değişikliği sorununa çözüm amacıyla, emisyonların, Kyoto Protokolünde öngörülen değerlerin de altına düşürülmesi hedeflenmelidir. Nitekim AB önce 2010 yılına kadar 1990 düzeyinin %15 altına düşülmesini önermiş ve çoğu ülkenin de bunu desteklemiştir. Ancak ABD, Japonya, Kanada ve Avustralya gibi bazı gelişmiş ülkelerin itirazı üzerinde %5'te karar kılınmıştır [2].

1997 yılında 22 milyar ton olarak hesaplanan global CO₂ emisyonlarına %30 bina ısıtılması ve %35 endüstriyel aktiviteler sebebiyet vermektedir. Isı pompalarıyla potansiyel CO₂ emisyonlarının azaltılmasına dair hesaplama aşağıda verilmiştir:

1. 6.6 milyar ton CO₂ emisyonu bina ısıtılmasından gelmektedir (Toplam emisyonların %30'u).
2. %50 emisyon düşürülmesiyle bina ısıtmasının %30'unun ısı pompaları tarafından sağlandığı farz edilirse, 1.0 milyar tonluk bir emisyon konutsal ve ticari ısı pompalarıyla tasarruf edilecektir.
3. Sadece endüstriyel ısı pompalarıyla minimum 0.2 milyar ton emisyon tasarrufu sağlanabilecektir [3].

1.2 milyar tonluk CO₂ emisyonundaki azaltılma global emisyonun %6'sıdır! Tek bir teknolojinin sunabileceği en büyük değerdir ve bu teknoloji piyasada zaten vardır. Isı pompalarının kendisi için de gerekli olan, güç santrallerindeki daha yüksek verimlilikle gelecek küresel emisyon tasarruf potansiyeli %16'dır.

Enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması için yapılması gerekenler şunlardır:

- Enerji tasarrufunun artırılması ve enerji tüketiminin (ısıtma, aydınlatma, ulaşım, endüstriyel prosesler vb.) azaltılması,
- Enerji verimliliği daha yüksek (birim hizmet için gerekli olan birim enerjiyi azaltan) teknolojiler kullanılması,
- Fosil yakıtların yerine fosil olmayanların ve yüksek karbonlu fosil yakıtlar yerine düşük karbonlu fosil yakıtların kullanılması,
- Karbonun ayrılması ve (bitkiler, toprak ya da yeraltı boşluklarında) tutulması, sera gazı konsantrasyonlarının kimyasal ve endüstriyel proseslerde kullanılması, petrol geri kazanımının artırılması.

Bugün emisyonları düşürme kapasitesine sahip birçok teknoloji bulunmakta ancak bunların kullanımları sınırlı kalmaktadır. Bunun çeşitli nedenleri vardır [1]:

1. Alışılmış sanayi ve iş pratiğinde, yeni teknolojiler genellikle mevcut cihaz ve donanımların yenilenme dönemlerinde uygulamaya girmektedir. Başlıca sermaye yatırımlarının yenilenme hızı ise oldukça düşüktür (otomobillerde 8-10 yıl, imalat sanayiinde 15 yıl, enerji üretim tesisleri için 30 yılı aşkın, binaların kullanım ömrü ise 60-100 yıl). Dolayısıyla bu dönüşümün kendiliğinden olması beklenirse, yeni teknolojilerin yayılmaları çok yavaş olacaktır. Enerji ve büyük ölçekli sanayi üretimlerinde bu dönüşümün daha erkene çekilebilmesi ise, ancak bu dönüşüm sonuçlarının mevcut imkan ve donanımları kullanarak üretimi sürdürmekten daha kârlı hale gelmesi koşuluyla mümkün olabilir.
2. Yeni teknolojiler, genelde, yerine geçecekleri konvansiyonel teknolojilerden daha pahalıdır. Yeni teknolojiler ve imalat proseslerinin maliyetlerinin düşürülmesi mümkün olmadıkça, bunların konvansiyonel teknolojilerin yerine geçmesi oldukça zordur. Diğer taraftan, maliyetlerinin düşmesi, "teknoloji öğrenme" süreci nedeniyle, kümülatif üretimlerinin artmasıyla mümkündür. Ancak yüksek maliyetleri, bu teknolojilere yatırımı engellemektedir.
3. Teknolojik ilerlemeler genellikle, sistemin baştan sona tamamıyla değiştirilmesiyle değil, mevcut sistemlerde arka arkaya gerçekleştirilen küçük atılımlarla olmaktadır. Ancak emisyonların düşürülmesi, kapsamlı yenilikleri ve sistemlerin tümüyle değiştirilmesini gerektirmektedir.
4. Yeni teknolojilerin finanse edilmesi ve uygulanmasındaki risk, özellikle ekonominin daraldığı dönemlerde ve belirsizliğin yüksek olduğu pazarlarda, bu teknolojilere yapılacak yatırımları geciktirmektedir.

Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde termik santrallerin toplam içindeki payı giderek artmaktadır. 2000 yılı itibarıyla hidrolik santrallerin üretimi 30878.5×10^6 kWh iken, termik santrallerinki 124921.6×10^6 kWh olmuştur [4]. Termik santraller yakıt olarak; taş kömürü, linyit, fuel-oil ve doğal gaz kullanılmaktadır. Yakıtı ne olursa olsun termik santral bacalarından sıcak duman gazları ile ve yoğunlaştırıcılarından soğutma suları ile çevreye ısı atılmaktadır. Baca çekişini düşürmemek, baca içinde yoğunlaşmanın önüne geçmek ve gazların geniş alana yayılması gereğinden, baca gazı sıcaklığını belli bir değerin altına düşürmek mümkün olmamaktadır. Buna karşın atıldığı çevrede ekolojik denge üzerinde olumsuz etkilere yol açan soğutma suyunun ısısından faydalanmak mümkündür. Sera, yüzme havuzu gibi yerlerin ısıtılmasında doğrudan kullanılacak kadar sıcak olan bu su ile konut, işyeri vs gibi yerlerin ısıtılması istenirse bir ısı pompası kullanmak gerekecektir.

Isı pompası teknolojisi 1930’lu yıllarda gelişmeye başladı ve hala sürmektedir. Aynı zamanda “ekonomik ütopya” olarak görülmektedir. Önemli derecede hızlı çalışmalar İsveçli mühendisler tarafından 1939 ve 1945 yılları arasında yapılmıştır. Ayrıca bu süre içinde ABD’de iklimlendirme cihazları endüstrisi oluşmuştur ve ABD 1960 yıllarında yüz binlerce ısı pompası üretmiştir.

Dünyada ve Türkiye’de ısı pompaları üzerinde yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalara veya kaynakçaya bu kongrenin (Teskon) geçmiş yıllardaki bildiri kitapları, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği’nin (TTMD), iki yılda bir düzenlediği Uluslar arası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu bildiri kitapları ve Makine Mühendisleri Odası (MMO) İzmir Şubesinin ve özel şirketlerin çıkardığı tesisat içerikli dergileri aracılığı ile ulaşılabilir. Dolayısıyla burada bütün konu ile değil sadece su kaynaklı ısı pompası çalışmaları ve ısı pompası sistemlerinin ekonomik analizi ile ilgili çalışmalara değinilecektir.

Kara, su-su tipi prototip bir jeotermal ısı pompası deney düzeneği hazırlamış, deneysel olarak sistemin performansı saptanmış ve bilgisayar simülasyon programı geliştirilerek deneysel sonuçlarla uyumu test edilmiştir. Deney seti, 30-35°C sıcaklıktaki jeotermal su kaynağından yararlanarak kendisine bağlantısı yapılmış kapalı devre ısıtma tesisatı suyunu, jeotermal su sıcaklığından daha yüksek sıcaklığa (45°C) kadar ısıtan bir ısı pompası sistemidir. Soğutucu akışkan olarak R-22 kullanılmıştır. COP değeri deneysel olarak 2.8 civarında bulunmuştur. Programdan elde edilen COP değeri ise yaklaşık olarak 4.5 civarındadır. R-500 veya R-134a ile çalışılması durumunda daha yüksek performans elde edileceği gibi daha yüksek sıcaklıkta su üretilbileceği, R-22 ile sadece tabandan ısıtmanın mümkün olabileceği ileri sürülmüştür [5].

Akbıyık, Çerkezköy’deki bir tekstil fabrikasının atık suyu esas alınarak hava-su tipindeki ısı pompası kullanılması durumunu incelemiştir. Yapılan hesaplamalarda kondenser sıcaklığının toplam maliyet üzerindeki etkisinin ne olacağı $T_{kond} = 40-55^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında, $T_{kond} = 50^\circ\text{C}$ kazanla seri olarak kullanılması halinde, $T_{kond} = 55^\circ\text{C}$ kazansız olması halinde incelenmiştir. $T_{kond} = 55^\circ\text{C}$ kazansız durumda en düşük maliyet elde edilmiştir, ancak sistemin kazanla seri çalışması hedeflendiği için tercih edilmemiştir. Kazanda fuel-oil kullanımı esas alınarak yapılan toplam maliyet hesaplamaları, amortisman süresinin 5 yıl olduğunu göstermiştir. Soğutucu akışkan olarak R-22 kullanılmıştır [6].

Çakır, Eğirdir Gölü’nün uygun derinliğine soğutucu akışkan taşıyan borular yerleştirilerek ortalama 6°C sıcaklığına sahip sudan ısı pompası ile ısı enerjisi çekerek ekonomik koşullar altında toplu konut ısıtılmasını hedeflemiştir. Tesisat 55-45°C, döşemeden ısıtma olarak düşünülmüştür. Soğutucu akışkan olarak R-22 kullanıldığında COP değeri 3,5 bulunmuştur. Binanın katı yakıt yakan kazanla ısıtılması, R-22 ile çalışan ısı pompasıyla ısıtılmasına göre daha ekonomik olduğu bulunmuştur. Soğutucu akışkan olarak NH_3 seçilmiş, 45-35°C panel ısıtma yapıldığında ise ısı pompasının daha ekonomik olduğu görülmüştür [7].

Yaycı tarafından yapılan bir çalışmada, Van Gölü suyunu ısı kaynağı olarak kullanan, konut ısıtma amaçlı, soğutucu akışkan olarak R-12 ve R-22 kullanan ısı pompası sisteminin ekonomikliği üzerinde durulmuştur. kullanılmıştır. Çalışmada bildirildiğine göre, 15 yıllık ekonomik ömür esas alınarak yapılan hesapların sonucunda; ısı pompalı sistem, fuel-oil veya mazot yakıtlı, kazanlı sistemlere göre daha ekonomiktir. Yaycı çalışmasında 50-40°C, döşemeden ısıtma sistemini esas almıştır [8].

Özgören, yaptığı çalışmada bir ortamın ısıtılması ve soğutulması ile birlikte yıl boyunca sıcak su ihtiyacının karşılanmasını amaçlayan ısı pompası sisteminin tasarımı ve montajını yapmıştır. Modellemesi yapılan sistem split tip olup diğer ısı pompalarından farklıdır. Çünkü iç üniteye soğutucu akışkan yerine yaz mevsiminde soğutulan, kış mevsiminde ise ısıtılan su sirkülasyon pompası aracılığıyla dolaştırılarak ortamın soğutulması ve ısıtılması yapılmaktadır. Ayrıca sistem yaz ve kış çalışmasında sıcak su üretebilmektedir. Hava-hava, hava-su, su-hava ve su-su ısı pompaları için ısıtma ve soğutma etkinlikleri incelenmiştir. Sonuç olarak modellemesi yapılan sistemin gerekli olan ısıtma ve soğutma kapasitesine göre kompresör gücünü artırarak, Çukurova bölgesinde verimli bir şekilde uygulanabileceği bulunmuştur [9].

Doğan, yaptığı çalışmada ısı geri kazanım sistemleri ve sudan suya ısı pompası sistemi incelemiştir. Antalya/Çamyuva-Kemer Beach Hotel ve Antalya/Lara-Prince Hotel'de mevcut sistemle ısı pompası sisteminin yaz ve kış çalışmalarının ekonomik analizini yapmış, kule soğutma suyunun ve deniz suyunun kullanılması şartlarını incelemiştir. Sıcak su üretimi için (yaz çalışması), deniz suyu 28/33°C yoğuşma şartlarında klasik kule sistemine göre %16'lık bir enerji tasarrufu sağladığı saptanmıştır. Sıcak su üretimi için fuel-oil kullanılırsa, ısı geri kazanım sisteminin %75'lik bir enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. 40/45°C ısıtma rejimine göre (kış çalışması), ısı pompası sisteminin kullanılmasıyla, fuel-oil sistemine nazaran %34'lük bir enerji tasarrufu sağladığı bulunmuştur [10].

Büyükalaca, Ekinci ve Yılmaz tarafından Adana ili için 1981-1996 yılları arasında ısıtma ve soğutma sezonları için minimum, maksimum ve ortalama derece gün sıcaklıkları elde edilerek Seyhan Nehri için 1999-2000 yılları arasında su sıcaklıkları toplanmıştır. Seyhan Nehri'ni ısı kaynağı ve kuyusu olarak kullanmanın uygunluğu, diğer ilgili parametrelerin ve hava/su verilerinin karşılaştırılması sonuçları tartışılmıştır. Kurulan sistem hem havayı hem de suyu ısı kaynağı/kuyusu olarak kullanabilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda suyun ısı kaynağı/kuyusu olarak kullanımı özellikle ısıtma ve soğutma sezonlarının başlangıçlarında çok daha çekicidir. ısı pompası sisteminin birden fazla ısı kaynağı/kuyusu kullanabilecek şekilde dizaynının mümkün olduğu görülmüştür. Çalışmada yapılan sistem, temelde suyu ısı kaynağı/kuyusu olarak kullanmaktadır, ancak havadan ısı çekmesi (veya ısıyı havaya deşarjı) yönünde de değiştirilebilmektedir. Bu sistemler akıllı kontrol sistemleriyle desteklenmelidir. Bu sistemler, kuyu/kaynak sıcaklığının ve fanlar/pompalar gibi yardımcı elemanların enerji tüketimlerini değerlendirmesiyle, hangi ısı kaynağı/kuyusunun daha ekonomik olduğuna ilk kararı verebilmektedir. Birden fazla ısı kaynağı/kuyusu kullanabilen ısı pompası sistemlerinin, basit ısı pompalarından dezavantajı bunların çok yüksek ilk yatırım maliyetlerine sahip olmaları gösterilmiştir. Türkiye'nin enerji tüketimindeki hızlı artış ve son zamanlardaki enerji ithalatı göz önünde bulundurulursa, ısıtma ve soğutma sezonunda ısı pompası sisteminde su kaynaklarının kullanılması havanın kullanılmasına göre daha ekonomik olduğu sonucu bulunmuştur [11].

Küçükçalı, pazarda mevcut sıcak sulu ısıtma alternatifi olan hava-su, su-su ve toprak-su ısı pompaları bugünün koşullarında ekonomik olarak değerlendirilerek, kullanılabilirlikleri ve ekonomikliklerini araştırmıştır. ısı pompalarının sıcak sulu ısıtma amacıyla kullanımında bugün için de bir potansiyel olduğu görülmüştür. Özellikle yeterli ve uygun kalitede yer altı suyu bulunması durumunda su-su tipi ısı pompası cazip olabilmektedir. Yaptığı çalışmada aşağıdaki sonuçları bulmuştur.

1. Doğal gaz kullanma imkanı varsa, yoğuşmalı tip kazanlar çok avantajlı konumdadırlar. ısı pompaları bugünkü koşullarda yoğuşmalı kazanlarla rekabet edemez konumdadırlar. Ancak doğal gazın bulunmadığı alanlarda ısı pompaları ticari bir alternatif oluşturmaktadır.
2. En cazip alternatif sudan-suya ısı pompalarıdır. Bu tiplerde yakıt tipine bağlı olmakla birlikte, LPG veya motorin kullanımında yakıt maliyetlerini %65 oranlarında azaltabilmektedir.
3. Topraktan suya ısı pompalarında ısı değiştiricisi maliyetleri çok yüksektir. ısı değiştiricisi ve tesisat maliyeti ısı pompasının kendi fiyatından daha fazla olabilmektedir. Ayrıca sistem iyi hesaplanmazsa, beklenen performansın elde edilmesi mümkün değildir. Bu tiplerde aynı zamanda önemli ölçüde boş araziye gereksinim vardır.
4. Hava-su ısı pompaları her yerde uygulanabilme avantajına ve kolay tesis özelliğine sahiptir. Ancak bir yardımcı enerji kaynağına mutlaka gereksinim bulunmaktadır. Yüksek denge sıcaklıkları seçilerek makul geri ödeme süreleri olan basit ve temiz bir sistem oluşturulabilir.
5. ısı pompalarının en uygun kullanım alanı şehir dışındaki doğal gazın olmadığı yerlerdeki villa tipi konutlar olarak görülmektedir.

6. Deniz kıyısındaki yapılar için de ısı pompaları avantajlı bir alternatif olarak değerlendirilmelidir.
7. Sıcak sulu ısıtma sistemi mutlaka düşük sıcaklık ısıtması olmalıdır [12].

Bunların dışında, ısı pompalı sistemlerin ekonomik analizi ile ilgili olarak değinilmesi gereken yayınlar da mevcuttur. Yer kaynaklı ısı pompaları ve ekonomik analiz ile ilgili yapılmış çalışmalara örnek olarak Hepbaşlı ve arkadaşlarının çalışması [13] ile Kınca ve Temir'in ortak çalışması söylenebilir [14]. Hepbaşlı ve arkadaşları Ege Üniversitesi bünyesinde yer kaynaklı ısı pompası deney seti kurup çalıştırmışlardır. Güngör ve arkadaşları, endüstriyel proseslerde enerji geri kazanımında ısı pompalarının kullanımını, tiplerini ve çalışma ilkeleri ile ekonomiklik de dahil değişik kriterlere göre karşılaştırmasını geniş bir şekilde vermişlerdir [15].

Kılış tarafından yapılan çalışmada döşemeden ısıtma sistemlerinde, 0°C dış hava koşullarında ısıtma tesir katsayısının 3 dolaylarında ve azami su sıcaklığının 55°C civarında olduğu, buna karşılık geleneksel kazanlarda, 90-70°C sistemleri de radyatörlerde (radyatör gidiş suyu sıcaklığı 83°C) bu değer 2 dolaylarında olduğunu saptamıştır. Ayrıca yerden ısıtma durumunda, bina ısı yükünün %30 azaldığı gibi ilk yatırım maliyeti de genelde daha az olduğu görülmüştür. Isı pompalarının kullanımında, genel enerji politikası açısından şimdiye kadar göz ardı edilen en büyük mahzur elektrikle tahrik edildiklerinde ortaya çıktığı ve elektrik üretiminde termik santrallerin ağırlığının hissedilir boyutta olduğuna dikkat çekilmiştir. Termik santrallerde elde edilen elektrik enerjisinin üretimine sarf edilen birincil enerji kaynağına göre verimi en fazla %27 dolaylarındadır. Bu durumda ısıtma tesir katsayısı 3 olan bir ısı pompası aslında %27 verimle elde edilmiş elektrik enerjisini tüketmektedir. Tipik bir ısı pompasının birincil enerji oranı 0.81 olmakta, bu nedenle iyi bir geleneksel kazan verimi (~%75) ile mukayese edildiğinde ısı pompası kullanımının pek bir anlamı kalmadığını öne sürmüştür. Isıtma sisteminin, doğal gazla çalışan ısı pompası teknolojisini kullanmak ve de ısı pompalarının en verimli şekilde kullanılabilecek çağdaş görünümlü döşemeden ısıtma yönteminin yeni binalara uygulanmasıyla, doğal gaz + ısı pompası + döşemeden ısıtma üçlüsünün genel enerji bilançosuna katkısını incelemiştir. Sonuç olarak ısı verimi %80 olan doğal gaz brülörlü kazana karşılık ısı pompası sisteminin %155 gibi bir ısı verim elde ettiği belirlenmiştir [16].

İleri, ısı pompası sisteminde ilk yatırım maliyet artışı ile yükselen verimden sağlanacak kazançları karşılaştırmış, ilk yatırım maliyeti üzerindeki ekonomik limitleri belirlemiştir. Başlangıçta verimin oldukça yüksek olması halinde, ilk yatırımı arttırmak pahasına verim yükseltmenin ekonomik olması ancak kısıtlı şartlarda mümkünken, düşükçe verimli sistemlerde aynı oranlarda verim artışı elde etmek için çok daha büyük oranlarda maliyet artışına katlanılabileceği vurgulamıştır. Sonuç olarak, ısıtma sistemlerinde enerji tasarrufu potansiyelinden özellikle düşük verimli sistemlerin iyileştirilerek yararlanılabileceğini saptamıştır. Çalışmada örnek olarak kömür sobası ve daha pahalı bir ısı pompası sistemi karşılaştırılmış, yıllık ısıtma verimi 0.75 olan kömür sobasıyla ancak yıllık ısıtma verimi 2.25 olan bir ısı pompası ilk yatırımlar göz önünde bulundurulursa rekabetin söz konusu olacağı görülmüştür. Yine aynı şekilde yıllık ısıtma verimi 5.0 olan güneş enerjili bir sistemin ekonomiklik karşılaştırılmasında, güneş enerjili sistemin 9 yılı aşkın bir çalışma süresinde daha ekonomik olacağı görülmüştür [17].

Dünya'da yapılan çalışmalar: Cemalini ve Kester'den: 35-40°C sıcaklıkta atılan kondens soğutma suyunun 72 m uzaklıktaki sera içinde dolaşan havanın 15-20°C sıcaklığa gelmesi için kullanılması amaçlanmıştır. Avrupa'da seraların 15-20°C sıcaklık ve %80-90 bağıl neme sahip iç hava şartlarını sağlayabilmesi için kışın en soğuk zamanlarında 200-250 kcal/m²h, Rusya'da ise bu değer 600-700 kcal/m²h'i bulduğu hesaplanmıştır. 34 hektarlık alan için ısı ihtiyacı Avrupa için 68-85 Gcal/h, Rusya için ise 204-240 Gcal/h değerlerini bulmaktadır. Bunun karşılığı olan yıllık sıvı yakıt miktarı 66000 tondur. Şu anda bu ısı değerleri sıvı yakıt ya da gaz yakıt yakan kazanlarla karşılanmaktadır. Uygun bir teknik çözümleme ile güç santralının yoğunlaştırıcı soğutma suyu atık ısı kullanılarak amaçlanan ısı ihtiyacı karşılanabilecektir. Şimdiki teknolojiyle atılan suyun sıcaklığı 35-40°C değerlerindedir. Rusya hava şartları için, 34 hektarlık seranın 15-20°C iç sera sıcaklığını elde edebilmesi için 240 Gcal/h'lik ısıya ihtiyacı vardır ve bunu da 200 MW'lık bir güç santrali karşılayabilmektedir. Forgo and Bodas tarafından tasarlanan sistemin ekonomik avantajları; seranın ısıtılması için yakıt tüketimi olmayacaktır, zaten atık ısı kullanılmadan çevreye atılacaktır. Güç santrali soğutma suyu tüketimi elimine edilecektir. Özellikle suyun az olduğu bölgelerde varolan su, sulama gibi zirai uygulamalarda

kullanılabilecektir. Isı değiştirgeçlerinin yüzeyleri suyun soğutulmasını aynı anda da seranın ısıtılmasını sağlayacaktır. Yaz sezonu döneminde seradaki havalandırma ile ek bir malzemeye ihtiyaç duyulmadan çalışacaktır. Sadece böyle bir sistemin tasarımıyla yıllık 66.000 tonluk yakıt tasarrufu yapıldığı görülmüştür. Buna ek olarak, ekonomiklik incelendiği için seranın ısıtılması için yapılması gereken masraflar düşünöldüğü zaman, ısı değiştirgeçlerinin kullanılması durumunda yapılan kar, serada üretilen ürünlerin %25 daha düşük fiyatla ısıtılmasını da sağlayacaktır [18].

Cube'dan alınan ve uygulamada olan çalışmalar aşağıda verimiştir: 6250 m² ticari alana sahip bina nehir yakınındaki güç istasyonu atık buharını ısı kaynağı olarak kullanan bir ısı pompası ile ısıtılmaktadır. Sistemde, 50°C sıcaklıktaki su üretilmekte ve yerden ısıtma sağlamakta ayrıca 60°C sıcaklıkta kullanım için sıcak su üretmektedir. Bu büyük ve kompleks tesis 1976/77 yıllarında inşa edilmiş olup COP değerinin 3'ü geçtiği görülmüştür. Bir başka yerde ise yer altı sularını ısı kaynağı olarak kullanan ısı pompası sistemi kurulmuştur. Sıvı yakıtlı kazan nadir olarak ek pik yüklerde ve acil ısınma gereksinimlerinde devreye alınmaktadır. Yönetim ve laboratuvar binaları, 830 kW ısı ihtiyacına karşılık 210 kW'lık ısı çıkışı verebilen, yer altı suyunu ısı kaynağı olarak kullanan ısı pompası, ek ısıtma görevini üstlenmektedir. Radyant tavan ısıtmasıyla, ısı ihtiyacının %86'sını karşılayabilmektedir. Ortalama COP değeri 4.5 olarak bulunmuştur [19].

Slesarenko yaptığı çalışmada, soğutucu akışkan olarak R-12 kullanılan ısı pompası sisteminin deniz suyundan tatlı su elde edilmesinde kullanılmasını amaçlamıştır. Deniz suyundan tatlı su eldesi dünyada her yıl %5-7 oranında artmaktadır. Deniz suyu büyük arıtma tesislerinde tatlı su haline getirilmektedir. Genellikle termal arıtmanın kullanıldığı bu tesislerde büyük miktarda ısı enerjisi gerekmektedir [20].

Berntsson, binalarda ve endüstride kullanılan ısı pompaları için ısı kaynaklarını araştırmıştır. Bunun yanında, seçilen ısı kaynaklarına göre çevresel etkileri de incelemiştir. Bazı ölkelerdeki endüstriyel ısı pompası tesisleri ve ısı pompası tiplerine göre dağılımları ile endüstriyel sektörlere ait verilerle, ısı kaynağı sıcaklıkları bulunmuştur. Isı pompası tipi seçerken, ısı kaynağı boyutları ve sıcaklıkları araştırılmıştır. CO₂ emisyonlarının azaltılması için ısı pompalarının fiyat etkileri diğer ısıtma yapan teknolojilerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; ısı pompaları bir çok durumda gelecekte CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yönelik olabileceği ve özellikle daha büyük sistemler için, sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünden su temelli ve atmosfer havası temelli ısı pompaları aralarında oldukça büyük farklar olduğu saptanmıştır [21].

2. ÇATES VE YAPILAN ÇALIşMANIN SUNUMU

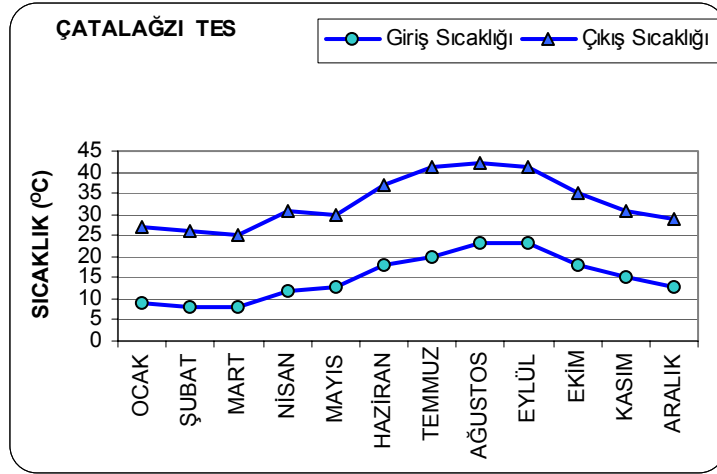
Santralin bulunduğu Çatalağzı beldesi, Zonguldak şehir merkezinin 15 km doğusunda yer almakta olup dış hava şartları Zonguldak ile aynı kabul edilebilir. Zonguldak için kalorifer tesisatı hesaplarına esas alınan dış dizayn sıcaklığı -3 °C olup, bölge olarak rüzgarlıdır [22].

Bu çalışmada, Zonguldak Çatalağzı Termik Elektrik Santrali (ÇATES) soğutma suyu atık ısısından, ısı pompası ile konut ısıtılması olanaklarının termodinamik ve ekonomik analizi üzerinde durulacaktır. ÇATES, yakıt olarak Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) tarafından Zonguldak'ta, Karadon ve Gelik ocaklarında üretilen taşkömürünün, elek altı olarak tabir edilen, düşük kalorili (En düşük 3500 kcal/kg) kısmını kullanmaktadır. Kurulu gücü 2×150=300 MW olup deniz kenarında kuruludur. Soğutma suyu olarak 18000 m³/h debisindeki deniz suyu kullanılmaktadır. Soğutma suyunun, çürük buhar yoğuşturucusundan çıkış sıcaklığı, deniz suyu sıcaklığına bağlı olarak değiştiği gibi aynı zamanda santralin fiili kapasitesine göre de değişmektedir. Yoğuşturucu giriş ve çıkışındaki sıcaklıklar santralde düzenli olarak ölçölmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Yıl boyunca ölçölen değerlerin aylar itibariyle ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir. Değerlerin daha kolay yorumlanabilmesi için grafiği şekil 1'de sunulmuştur. Bütün aylarda su debisi 18000 m³/h olarak verilmiştir. Sıcaklık ve debi değerleri tesisin tuttuğu kayıtlardan alınmıştır.

Tesisin çıkışında dereye verilen ısınmış haldeki soğutma suyu, birkaç yüz metrelik bu dere ile denize ulaşmaktadır. Derenin karşı tarafında mahalle bulunmaktadır ve tarım arazileri mevcuttur. İlık su bu tarım arazilerinde sera ısıtılmasında da kullanılabilir durumda olup henüz böyle bir uygulama bulunmamaktadır.

Tablo 1. ÇATES yoğuşturucu soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları.

AYLAR	Giriş Sıcaklığı T_{D1} (°C)	Çıkış Sıcaklığı T_{D2} (°C)
Ocak	9	27
Şubat	8	26
Mart	8	25
Nisan	12	31
Mayıs	13	30
Haziran	18	37
Temmuz	20	41
Ağustos	23	42
Eylül	23	41
Ekim	18	35
Kasım	15	31
Aralık	13	29



Şekil 1. Tablo 1'de verilen değerlerin grafiği.

Yoğuşturucudan çıkan su, 25 °C ile en düşük sıcaklığa Mart ayında, 42 °C ile en yüksek sıcaklığa ise Ağustos ayında ulaşmaktadır. Isı pompası için ısı kaynağı olarak düşünüldüğünde, en düşük sıcaklığın gerçekleştiği Mart ayı dahil, su sıcaklığı oldukça yüksektir. Bu çalışmada, ÇATES Lojmanlarından 30 dairenin ısı pompası ile ısıtılması halinde kurulması gereken sistemin ilk yatırım ve işletme maliyeti çıkartılmış ve mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Isı pompası sistemi olarak buhar sıkıştırımlı çevrim esas alınmış, soğutucu akışkan olarak NH₃, R-22 ve HFC-134a ayrı ayrı ele alınmıştır. NH₃'lı sistem iki farklı çalışma basınçları için hesaplanmıştır. Soğutucu akışkan tercihinde, ucuzluk ve ozon tabakasına etki dikkate alınmıştır.

Kloro-floro karbonlar (CFC) gibi yapay soğutkanların ozon tabakasının incelmeye yol açtığı, endüstriyel olarak kullanılmaya başlandıklarından 40-50 yıl sonra fark edilmiştir. Ozona zararsız olan hidro-kloro-floro karbon (HCFC) R134-a ise amonyaka göre 25 kat daha pahalıdır. Amonyak, iyi ısııl özellikleri, çevre dostu olması ve ucuz olması gibi nedenlerle büyük kapasiteli sistemlerde tercih

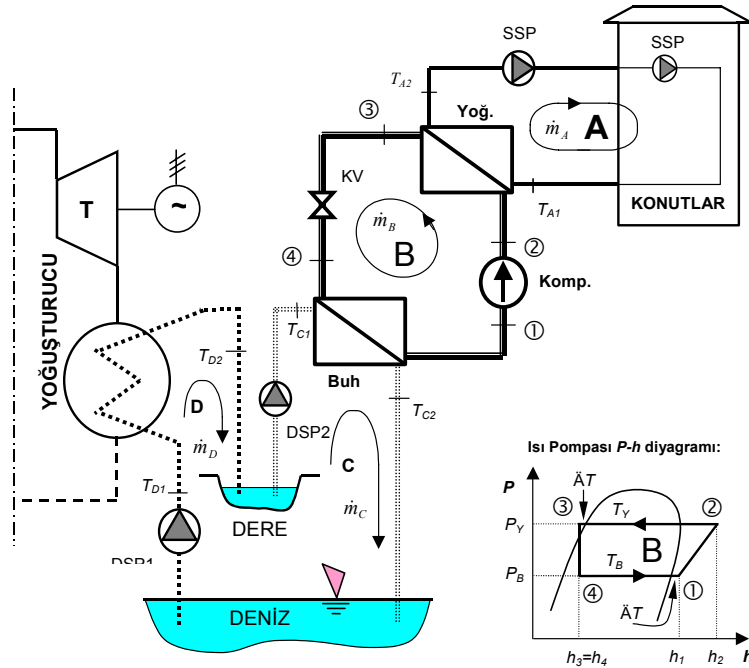
edilmektedir. Tek dezavantajı zehirli olmasıdır ancak, havada 0.5 ppm'de bile fark edilmektedir ve bu değer 100 katı konsantrasyonda her gün 8 saat süreyle bulunması bile fizyolojik olarak kabul edilebilir değerlerdir [23]. Soğutucu olarak amonyakın (NH_3) özellikleri ve tercih nedenleri [23]'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Hesaplarda kullanılan soğutucu akışkanların özellikleri Tablo 2'de topluca verilmiştir.

Tablo 2. Bazı soğutucuların karakteristikleri ve özellikleri [24].

Soğutucu	R-22	R-134a	R-717
	HCFC	HFC	Amonyak
Formülü	CHClF_2	CH_2FCF_3	NH_3
Molar Kütle	86.46	102.3	17.03
CFC-11'e göre Ozon Tüketme Potansiyeli	0.055	0	0
CFC-11'e göre Küresel Isıtma Potansiyeli	0.36	0.25	0
Tahmini Atmosferdeki Ömrü (yıl)	15	16	0
0°C 'de Hacimsel Soğutma Kapasitesi (kJ/m^3)	4344	2860	4360
Doğal Soğutucu	Hayır	Hayır	Evet
Toksik	Hayır	Hayır	Evet
Yanabilirlik	Hayır	Hayır	Evet

Önerilen ısı pompalı sistem A, B, C ve D ile gösterilen dört farklı çevrimden oluşmaktadır (Şekil 2). Mevcut sistem yalnız D döngüsünü içermektedir. A, B ve C çevrimleri ise önerilen sisteme aittir. Sistemin kısa tanımlanması şu şekildedir:

A döngüsünde akışkan su olup, ısı pompası yoğuşturucusuna T_{A1} sıcaklığında girmekte ve burada ısınarak T_{A2} sıcaklığında çıkarak binalara gitmektedir. B çevrimi, bir soğutma çevrimi olup ısı pompası olarak kullanılmaktadır. Mevcut sistemde dereye dökülen T_{D2} sıcaklığındaki deniz suyunun bir kısmı Deniz Suyu Pompası-2 (DSP2) ile ısı pompası buharlaştırıcısından geçirilir. Buharlaştırıcıda soğutucu akışkan tarafından ısı alınarak deniz suyu, T_{C2} sıcaklığında yeniden dereye dökülerek denize gönderilir. Buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkan kompresöre 1 noktasında girer, sıcaklığı ve basıncı artırılmış şekilde 2 noktasında çıkarak, yoğuşturucuya gönderilir. Soğutucu akışkan T_{A1} sıcaklığında yoğuşturucuya giren suyun sıcaklığını T_{A2} sıcaklığına yükseltir ve ısınan su SSP ile lojmanlara basılır.



Şekil 2. ÇATES için tasarlanan ısı pompasına ait şematik gösterim.

Şekil 2'de görülen sembollerin ne oldukları birimleriyle birlikte Tablo 3'de topluca verilmiştir. ①, ②, ③ ve ④ noktalarına ait entalpi değerleri okunurken; B çevriminde buharlaştırıcıdan sonra 5°C kızdırma (ΔT), yoğuşturucudan sonra 5°C aşırı soğutma yapıldığı (ΔT) dikkate alınmıştır. DSP2 ve SSP1'in basma yüksekliği ve motor güçleri basınç kaybı esas alınarak bulunmuş, basınç kayıplarına ısı değiştirgeçleri basınç düşümleri de dahil edilmiştir. Şekilde görünmeyen bütün devrelere uygun çap ve boyda borular, vana, dirsek, ölçü ve kontrol cihazları, ekonomik analiz için maliyet hesabına dahil edilmiştir.

Tablo 3. Şekil 2'deki sembollerin açıklamaları ve birimleri.

Adı	Birimi	Açıklama	Adı	Birimi	Açıklama
T_{A1}	°C	Konutlardan dönüş suyu sıcaklığı	P_Y	Bar	Soğutucu akışkan yoğuşma basıncı
T_{A2}	°C	Konutlara giden suyun sıcaklığı	P_B	Bar	Soğutucu akışkan buharlaşma basıncı
\dot{m}_A	kg/h	Konutlarda dolaşan suyun kütleli debisi	T_Y	°C	Soğutucu akışkan için P_Y basıncında yoğuşma sıcaklığı
\dot{m}_B	kg/h	Isı pompasında dolaşan amonyak kütleli debisi	T_B	°C	Soğutucu akışkan için P_B basıncında buharlaşma sıcaklığı
T_{C1}	°C	Sıcak deniz suyunun buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı	K	-	Kompresör (η_K)
T_{C2}	°C	Sıcak deniz suyunun buharlaştırıcıdan çıkış sıcaklığı	Yoğ.	-	Yoğuşturucu ($\eta_{Yoğ.}$)
\dot{m}_C	kg/h	Isı kaynağı olarak kullanılan ısınmış deniz suyu debisi	Buh.	-	Buharlaştırıcı ($\eta_{Buh.}$)
T_{D1}	°C	Deniz suyunun TES yoğuşturucusuna giriş sıcaklığı	DSP1	-	Deniz Suyu Pompası-1
T_{D2}	°C	Deniz suyunun TES yoğuşturucusundan çıkış sıcaklığı	DSP2	-	Deniz Suyu Pompası-2
\dot{m}_D	kg/h	TES yoğuşturucusundan geçen deniz suyu debisi	SSP1	-	Sıcak Su Pompası-1
h_1	kJ/kg	Kompresör girişindeki entalpi	SSP2	-	Sıcak Su Pompası-2
h_2	kJ/kg	Kompresör çıkışındaki entalpi	KV	-	Kısılma Vanası
h_3	kJ/kg	Yoğuşturucu çıkışındaki entalpi	T	-	TES Buhar Türbini
h_4	kJ/kg	Buharlaştırıcı girişindeki entalpi			

3. MEKANİK SİSTEME AİT HESAPLAR

Hesaplara esas alına 30 dairenin ısı ihtiyacını karşılamak üzere mevcut 500000 kcal/h'lik kömür yakıtlı kalorifer kazanı mevcuttur. Dolayısıyla ısı pompasının en olumsuz ay olan Mart ayında bu ısıyı vermesi gereği dikkate alınarak hesaplar yapılmıştır.

Bütün hesaplarda yoğuşturucu ve buharlaştırıcı verimleri %90, kompresör verimi %85 olarak alınmıştır. SSP1 ve DSP2 seri bağlı ikişer pompadan oluşmaktadır.

Gerçek çevrim için COP değeri:

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_{Yoğ.}}{(\dot{W}_{Komp} + \text{Santrifüj Pompaların Güçleri} + \text{Sirkülasyon Pompalarının Güçleri})}$$

Birincil Enerji Oranı (BEO) değeri:

$$BEO = \frac{\text{Isı pompasının arz edilen kullanılabilir ısı enerjisi}}{\text{Bu amaçla tüketilen birincil enerji}} = \eta \times COP$$

Burada η ısı-elektrik çevrim ve iletim verimi olup, değeri %27 olarak alınmıştır [16].

75-55°C sıcak sulu radyatörle ısıtmada hesaplamalarda sadece soğutucu akışkan NH₃ kullanılmış ve hesap sonuçları. Döşemeden ısıtma sistemi için ise NH₃'in yanında, HFC-134a ve R-22 ile de hesaplar yapılmıştır. Döşemeden ısıtmalı NH₃'li sistem için ayrıntılı değerler Tablo 4'de ve bütün durumlar için hesap sonuçları karşılaştırmalı olarak Tablo 5'de verilmiştir. Pompaların güçleri çalışma koşulları dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Şekil 2'de verilen sisteme ait devreler, elemanları ve özellikleri.

A Devresi (Kapalı) (Konutlarda tesisat mevcut, diğerleri önerilen)	
Elemanlar	Özellikleri
Sıcak su pompası-1 (SSP1)	53 m ³ /h, 60 mSS, 2×7=14 kW
Sıcak su pompası-2 (SSP2)	15 m ³ /h, 9 mSS, 0.8 kW
Devre özellikleri	
Konutların ısı gereksinimi	500000 kcal/h
Kanallardaki kayıp ısı	25000 kcal/h
Yoğuşturucudan çekilen ısı:	525000 kcal/h
Sıcaklık düşümü (ΔT)	10 °C (50 - 40)
Debi	53 m ³ /h
Toplam basınç düşümü	60 mSS
B Devresi (Kapalı) (Önerilen)	
Isı pompası soğutkan devresi	
Elemanlar	Özellikleri
Buharlaştırıcı	628 kW
Yoğuşturucu	680 kW
Kompresör	116 kW, 1894 kg /h (NH ₃ için)
Kısılma Vanası	1894 kg/h
Sıvı deposu	200 kg
C Devresi (Açık) (Önerilen)	
Sıcak deniz suyu – Isı pompası buharlaştırıcısı – Deniz	
Elemanlar	Özellikleri
Deniz suyu pompası-2 (DSP2)	108 m ³ /h, 10 mSS, 2×3=6 kW
Buharlaştırıcısı	628 kW
D Devresi (Açık) (Mevcut)	
Soğuk deniz suyu - Çürük buhar yoğuşturucu - Dere – Deniz	
Elemanlar	Özellikleri
Deniz suyu pompası-1 (DSP1)	18000 m ³ /h
Çürük buhar yoğuşturucusu	2.5-3.0 Mcal/h (Çalışma şartlarına bağlı)

Tablo 5. NH₃, HFC134-a ve R-22'nin farklı değişkenler için karşılaştırılması.

Soğutucu Akışkan	Isıtma Sistemi	Kütleli Debi	Kompresör Kapasitesi	Kompresör Çıkış Sıcaklığı	COP	BEO	Enerji Tasarrufu
NH ₃	(75/55)°C Radyatörle Isıtma	0,622 kg/s	(İki Kademeli ara soğutmalı) W _I = 100 kW W _{II} = 116 kW	135°C	2,99	0,81	%8
		2240 kg/h					
NH ₃	(50/40)°C Döşemeden Isıtma	0,526 kg/s	116 kW	120°C	4,97	1,34	%79
		1894 kg/h					
HFC134-a	(50/40)°C Döşemeden Isıtma	4 kg/s	127 kW	65°C	4,60	1,24	%65
		14400 kg/h					
R-22	(50/40)°C Döşemeden Isıtma	3,7 kg/s	124 kW	85°C	4,69	1,27	%69
		13320 kg/h					

Tablo 5'den görüleceği gibi soğutucu akışkan olarak NH₃'ün seçilmesi ve döşemeden ısıtma sisteminin uygulanması durumunda en iyi sonuçların alındığı görülmektedir. Bu durumda COP=4.97, BEO=1.34 ve Enerji Tasarrufu=%79 olmaktadır. Bu yüzden de tesisat ve ekonomik analiz hesaplarında ısıtma sistemi ve soğutucu akışkan olarak bu sonuçlar esas alınmıştır.

4. EKONOMİK ANALİZ

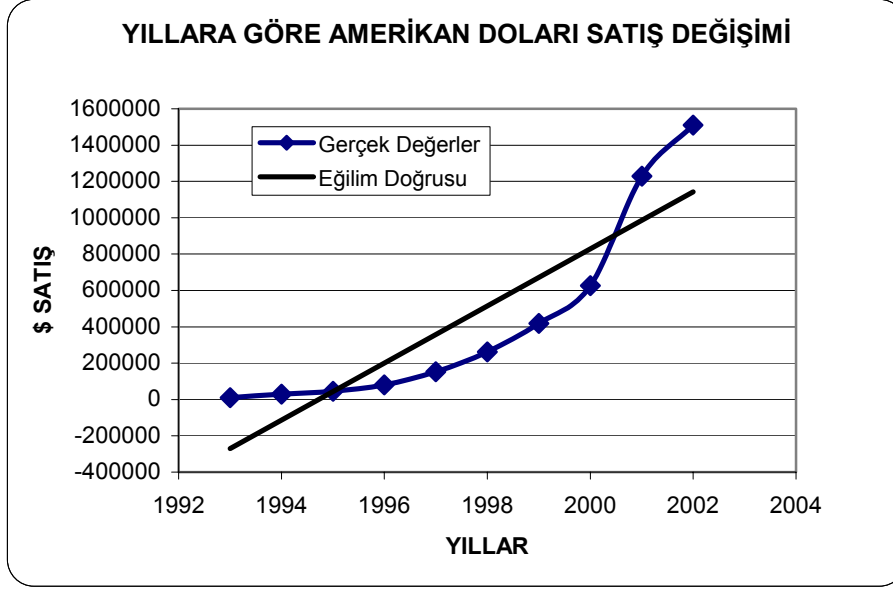
Yatırımların ekonomik değerinin ölçümü ve alternatif yatırımların mukayesesi için bir çok metod vardır. Kendi içinde alt sınıflar da içeren bu yöntemlerin, en çok kullanılan üçü şöyledir: Eşdeğer Kıymet Metodları, Getiri Oranı Metodları, Zaman Metodları [25].

Bunların hepsi eşdeğer metodlar olup hangisi kullanılırsa kullanılsın, sonuç aynı alternatifi tercih şeklinde ortaya çıkacaktır. Önerilen ısı pompası sistemi için ekonomik analiz yapılırken daha açıklayıcı olması bakımından Eşdeğer Kıymet Metodlarından olan Bugünkü Değer Metodu (BDM) ve Gelecek Değer Metodları (GDM) kullanılmıştır. Metodların ayrıntısı Çalık'ta [26] ve konu ile ilgili daha geniş bilgiler Okka'da [25] bulunabilir.

Mevcut ve önerilen sistemin ilk yatırım maliyeti, toprağa gömülü, hazır yalıtımlı borular dışında, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2003 Birim Fiyatları ile bulunmuştur. Hesaplar ABD doları bazında yapılmış, bunun için geriye doğru 10 yıl için TC Merkez Bankası web sayfalarından, aylık bazda alınan döviz kurları yıllık bazda hesaplanmış ve eğilimi belirlenmiştir (Şekil 3). Aynı dönem için KEDAŞ sanayi tüketici elektrik fiyatları ile taşkömürü satış fiyatları için de eğilim belirlenmiştir. Bu eğilimden hareketle gelecekteki değerler için öngörülerde bulunulmuştur. Dikkate değer bir nokta, gerek Türk Lirası (TL) gerekse Dolar (\$) bazında, örneğin kompresör, ısı değiştirgeci vs. gibi ısı pompası sistemine olan ve diğer parçaların fiyatlarında yıllar itibarıyla yükselme gözlenirken, taşkömürü fiyatında ise reel olarak azalma vardır (Şekil 4). Ancak hesaplarımızda, taşkömürü fiyatında sürekli düşme olamayacağı düşüncesiyle fiyatının 85 \$ olarak sabit kaldığı esasına göre işlem yapılmıştır. Ekonomik analize ait diğer detaylar burada verilmeyecektir. Hesaplar ayrıntılı bir şekilde [26]'de bulunmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen mevcut sisteme ve önerilen ısı pompası sistemine ait 15 yıllık ekonomik ömür için nakit akışları Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir.

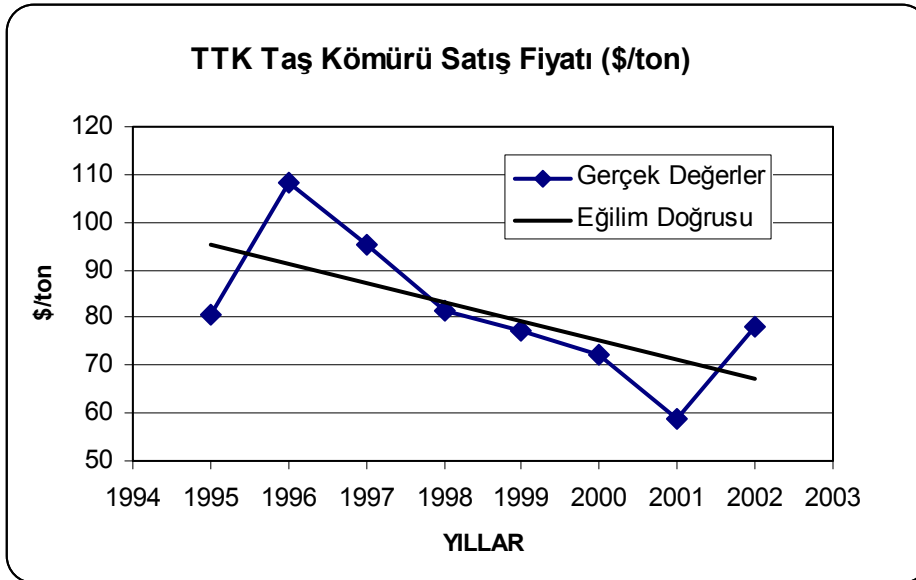
Önerilen ısı pompası sisteminin kurulması düşünülen yer ile konutların bulunduğu yer arasında 1150 metre mesafe vardır. Bu araya döşenmesi gereken borular, toprağa gömülü, hazır yalıtımlı ve 30 yıl garantili borular olarak alınmış, fiyatları da bir özel sektör firmasından temin edilmiştir. Boruların

parasal tutarının toplam yatırım içindeki payı %66 olarak çıkmıştır. Hesaplarda ısı pompası sistemi bakım onarım masraflarına boru maliyeti katılmamıştır. İlk yatırım masrafları açısından bakıldığında kazanlı mevcut sistemin, önerilen sisteme göre oldukça ucuz olduğu görülmektedir; 9497 \$. Isı pompalı sistemin maliyeti toplam 113098\$'dır. Isı pompası ile konutlar arasına döşenmesi gereken boruların tutarı 74443 \$ olurken, boru dışında diğer bütün sistem elemanları 38655 \$'da kalmaktadır.



$$\text{Eğilim Denklemi: } y = 16,25 \cdot 10^{+4} x - 32,415 \cdot 10^{+7}$$

Şekil 3. ABD Doları/TL karşılığı değerinin son on yıldaki durumu.



$$\text{Eğilim Denklemi: } y = -4,0117x + 8098,9$$

Şekil 4. TTK taşkömürü tüketici fiyatlarının ABD Doları bazında son 8 yıllık değişimi.

Tablo 6. Geleneksel sisteme ait 15 yıllık ekonomik ömür için nakit akışları.

Geleneksel Sistem İçin Nakit Akışları (İlk Yatırım = 9.497 \$)									
Yıllar	Kömür \$/ton (TTK)	İhtiyaç (ton)	Toplam (\$)	Bakım Onarım (%5) \$	Elektrik \$/kWh (KEDAŞ)	İhtiyaç (kWh)	Toplam (\$)	Toplam İşletme (Giderler \$)	BDM
2003	85	255	21675	508	0.079	1440	114	22297	20838
2004	85	255	21675	544	0.080	1440	115	22334	40380
2005	85	255	21675	582	0.081	1440	117	22373	58715
2006	85	255	21675	622	0.083	1440	120	22417	75931
2007	85	255	21675	666	0.084	1440	121	22462	92098
2008	85	255	21675	713	0.085	1440	122	22510	107295
2009	85	255	21675	763	0.086	1440	124	22561	121590
2010	85	255	21675	816	0.087	1440	125	22616	135048
2011	85	255	21675	873	0.089	1440	128	22676	147740
2012	85	255	21675	934	0.090	1440	130	22739	159707
2013	85	255	21675	999	0.091	1440	131	22806	171011
2014	85	255	21675	1069	0.092	1440	132	22877	181704
2015	85	255	21675	1144	0.093	1440	134	22953	191835
2016	85	255	21675	1224	0.094	1440	135	23035	201450
2017	85	255	21675		0.095	1440	137	21812	198660
Toplam (İşletme + Bakım-Onarım + İlk Yatırım) = 1.913.500 \$									

Tablo 7. Isı pompası sistemine ait 15 yıllık ekonomik ömür için nakit akışları.

Isı Pompası Sistemi İçin Nakit Akışları (İlk Yatırım = 113.098\$ boru fiyatı çıkarıldığında = 38.655 \$)						
Yıllar	\$/kWh (KEDAŞ)	İhtiyaç (kWh)	Toplam (\$)	Bakım Onarım (%5) \$	Toplam İşletme (Giderler \$)	BDM
2003	0.079	246240	19453	2068	21521	20113
2004	0.080	246240	19699	2213	21912	39617
2005	0.081	246240	19945	2368	22313	58557
2006	0.083	246240	20438	2533	22971	77809
2007	0.084	246240	20684	2711	23395	95924
2008	0.085	246240	20930	2901	23831	113591
2009	0.086	246240	21177	3104	24280	130853
2010	0.087	246240	21423	3321	24744	147752
2011	0.089	246240	21915	3553	25469	165934
2012	0.090	246240	22162	3802	25964	182358
2013	0.091	246240	22408	4068	26476	198535
2014	0.092	246240	22654	4353	27007	214508
2015	0.093	246240	22900	4658	27558	230320
2016	0.094	246240	23147	4984	28130	246012
2017	0.095	246240	23393		23393	213060
Toplam (İşletme + Bakım-Onarım + İlk Yatırım) = 2.248.040 \$						

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, ÇATES yoğunlaştırıcı soğutma suyunun atık ısısından, ısı pompası yardımıyla konut ısıtılması olanakları araştırılmış ve sonuçları sunulmuştur. 30 dairenin ısıtılmasına yetecek bir sistem düşünülmüştür. Sistemin ısı performans; Soğutma Etkinlik Katsayısı (SEK=COP) ve Birincil Enerji Oranı (BEO=PER) değerleri anlamında, NH₃, R-22 ve HFC-134a soğutkanları için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Hesaplarda; kazan verimi %75, kömürden elektrik enerjisine dönüşüm verimi %27 olarak alınmış ve BEO değerleri buna göre bulunmuştur. Isı pompası yoğunlaştırıcısında 5 °C aşırı soğutma, buharlaştırıcısında 5 °C aşırı kızdırma esas alınmıştır. Sistemdeki bütün üniteler için basınç kayıpları hesaplanarak, gerekli pompalar buna göre seçilmiştir. Hesap sonuçlarına göre, COP=4.97 ve BEO=1.34 değerleriyle, 50/40 °C sıcak sulu ısıtma sisteminde NH₃'lı ısı pompası sistemi, birincil enerji tüketimi bakımından, kömür yakıt kullanan klasik kazanlı ısıtma sistemine göre %79 daha verimli olduğu görülmüştür. Diğer durumla için elde edilen değerler şu şekildedir:

NH₃'lı ısı pompası, 70/50 °C ısıtma suyu sisteminde COP=2.99, BEO=0.81

NH₃'lı ısı pompası, 50/40 °C ısıtma suyu sisteminde COP=4.97, BEO=1.34

R-22'li ısı pompası, 50/40 °C ısıtma suyu sisteminde COP=4.69, BEO=1.27

HFC-134a'lı ısı pompası, 50/40 °C ısıtma suyu sisteminde COP=4.60, BEO=1.24

Fosil yakıt olarak kömürün daha az harcanması anlamında olumlu olan ısı pompası sistemi, ekonomik analiz sonuçlarına bakılırsa; özellikle boru maliyetinin yüksekliği nedeniyle ekonomik görünmemektedir. Bugünkü Değer Metodu (BDM) kullanılarak, 15 yıllık ekonomik ömür için yapılan hesaplamalarda, ilk yatırım maliyeti, işletme ve bakım - onarım giderleri de dahil, ısı pompası sistemi için 2.248.040 \$ (işletme ve bakım - onarım giderleri hesaplanırken boru maliyeti hesaplara dahil edilmemiştir), geleneksel sistem için sonuç 1.913.500 \$ olarak bulunmuştur.

ÇATES yoğunlaştırıcısından en düşük 25°C sıcaklıkta, 18.000m³/h debide sıcak su denize atılmaktadır. Bu suyun sıcaklığı Ağustos ayında 42°C'ye kadar çıkmaktadır. Sıcaklığını 5°C düşürerek dahi ısı kazanılması halinde 5 (°C) × 1 kcal/(kg·°C) × 18000000 (kg/h) = 90.000.000 (kcal/h)'lik (104500 kW) ısı kazanılmış olacaktır. Atık ısıya sahip su, yakın çevresindeki seralarda sebze yetiştirme mevsiminde, doğrudan kullanılabilir kadar yüksek sıcaklığa sahiptir. Ayrıca yapılan ekonomik analizde yalnız kış aylarında konut ısıtılması yapıldığı dikkate alınmış, bunun yanında yazları kullanma sıcak suyu üretimi dikkate alınmamıştır. Bunlar da dikkate alınsa bile, mevcut sisteme göre hala daha pahalı olduğu düşünülebilir ancak, sağlayacağı kömür tasarrufu ve emisyon azaltıcı etkisi yanında sosyal fayda da dikkate alınmalıdır.

Yapılan bu hesaplamalara enflasyon dahil edildiği için % *i* faiz oranı olarak nominal faiz oranı kullanılmıştır. Tek bir değer üzerinden yapılan bu hesaplamalar, ilk yatırım maliyeti, bakım-onarım masrafları ve işletme giderlerini de içine alan tüm masrafların iyimser ve kötümser sonuçlarının karşılaştırılmasının yapılmasını sağlamak amacıyla minimum ve maksimum faiz oranları ile bunlara yakın birkaç değer için duyarlılık analizi yapılmıştır. Türkiye gibi ekonomisi sürekli değişen ülkelerde istikrarlı bir gidiş izlenemediği için bu analizin yapılması; olası hataların engellenmesi ve yapılacak masrafların daha net görülebilmesi için önemlidir.

Isı pompaları, geleneksel ısıtma sistemlerine göre birincil enerjiyi daha az tükettikleri için azot oksit (NO_x), sülfür dioksit (SO₂) ve karbondioksit (CO₂) gibi çevreye zararlı emisyonların azaltılması için önemlidir. Buna karşılık, elektrikli ısı pompalarının çevresel etkileri, elektriğin nasıl üretildiğine bağlıdır. Örneğin, su gücü veya yenilenebilir enerji kaynaklarından elektriğini sağlayan ısı pompaları, elektriğini kömür, petrol yada gaz yakıtlı güç santrallerinden elde edenlere göre daha az emisyon üretir.

Çevresel etkiler göz önünde bulundurulduğunda, CO₂ emisyonlarının %30'unu bina ısıtılması ve %35'ini endüstriyel aktiviteler oluşturmaktadır. 6,6 milyar ton CO₂ emisyonu bina ısıtılmasından gelmektedir. Isı pompası sistemlerinin kullanılması halinde 1,2 milyar tonluk CO₂ emisyonunda azaltılma olacağı tahmin edilmektedir ve bu değer global emisyonların %6'sıdır. Tek bir teknolojinin sunabileceği en büyük düşüş değeridir. Güç santrallerinde üretilen elektriğin daha yüksek verimlilikle elde edilmesi durumunda ise küresel CO₂ emisyon tasarrufu %16 olarak tahmin edilmektedir.

Yoğuşturucularında soğutma suyu olarak deniz suyu kullanan termik santraller bu suyu ısınmış olarak tekrar denize dökmektedirler. Bu da suyun denize döküldüğü yerin çevresinde ekolojik dengeye zarar vermektedir. Buralarda yaşamlarını sürdüren canlılar bu dengenin bozulmasından az yada çok mutlaka etkileneceklerdir. Isı pompalarıyla yoğuşturucu soğutma sularının geri kazanılması şu an ekonomik olarak kazançlı görünmemektedir. Ancak bu uygulamalar, aynı zamanda doğal dengenin bozulmasını önleyici bir tedbir olarak da düşünülmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] http://www.tubitak.gov.tr/btpd/btspd/enerji/21yy_enj_bl5.html
- [2] Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Çetiner, G. "Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları", Tesisat Dergisi 52: Sayfa: 84-100, İstanbul.
- [3] www.heatpumpcenter.org/tutorial/home.htm/August.2001.
- [4] <http://www.die.gov.tr/istTablolar.htm#cev>
- [5] Kara, Y., A., "Düşük sıcaklıktaki Jeotermal Kaynakların Isı Pompası Yardımıyla Bina Isıtımında Kullanımı", Doktora Tez Çalışması, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999, Erzurum.
- [6] Akbıyık, E. "Tekstil Endüstrisinde Atık Sularla Kayıp Olan Enerjinin Isı Pompaları Yardımıyla Geri Kazanımı", Yüksek Lisans Tez Çalışması, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999, İstanbul.
- [7] Çakır, A., "Eğirdir Gölü Isı Kaynaklı Isı Pompası Tasarımı", Yüksek Lisans Tez Çalışması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998, Isparta.
- [8] Yaycı, A., "Bir Binanın Van Gölü Isı Kaynaklı Isı Pompası İle Isıtılmasının Ekonomikliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tez Çalışması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999, Isparta.
- [9] Özgören, M. (1996) "Isıtma ve Soğutma Amaçlı Isı Pompası Sisteminin Modellenmesi", Yüksek Lisans Tez Çalışması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [10] Doğan, V. (1999) Isı Geri Kazanım ve Sudan Suya Isı Pompası Uygulaması, *Tesisat Kongresi*, (TESKON-99), İzmir.
- [11] Büyükalaca, O., Ekinci, F., Yılmaz, T., "Experimental Investigation of Seyhan River and Dam Lake as Heat Source-Sink for a Heat Pump", *Energy*, Vol:28, pg:157-169, 2003.
- [12] Küçükçalı, R., "Isı pompalarının ısıtmada kullanımının olabilirliği", *Termodinamik Dergisi*, Sayı: 119, syf: 52-61, 2002.
- [13] Hepbaşlı, A., Akdemir, Ö., Hancıoğlu, E., "Experimental Study of a Closed Loop Vertical Ground Search Heat Pump System", *Energy Conversion and Management*, Vol: 44, pg: 527-548, 2003.
- [14] Kıncay, O., Temir, G., "Toprak ve Hava Kaynaklı, Isı Pompalı Sistemlerin Ekonomik İncelenmesi", *TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 68, syf: 31-38, 2002.
- [15] Güngör, A., Kurtuluş, E., Akdemir, Ö., "Endüstriyel Proseslerde Enerji Geri Kazanımında Isı Pompalarının Kullanımı", *Tesisat Kongresi*, (TESKON-01), 2001, İzmir.
- [16] Kılış, B., "Doğal Gaz, Isı Pompaları ve Yapıların Isıtılması", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, Cilt: 11, Sayı: 1, syf: 54-56, 1988.
- [17] İleri, A., "Isı Pompaları ve Diğer Isıtma Sistemlerinde Verim Arttırılmasının Ekonomik Limitleri", *Isı Bilimi ve Tekniği 4. Kongresi*, syf: 57-67, 1983.
- [18] Camatini, E., Kester, T., "Heat Pumps and Their Contribution To Energy Conversion", *NATO Advanced Study Institute Series*, Nordoof-Leyden, 1976.
- [19] Cube, L., H., "Heat Pump Technology", Butterworth, 1981, England.

- [20] Slesarenko, V., "Heat Pump as a Search of Heat Energy for Desalination of Sea Water", Desalination, Vol: 139, pg: 405-410, 2001.
- [21] Berntsson, T., "Heat Sources - Technology, Economy And Enviroment", International Journal of Refrigeration, Vol:25, pg:428-438, 2002.
- [22] TMMOB Makine Mühendisleri Odası, "Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları", Yayın No: 84, 14. Baskı, 2000, İstanbul.
- [23] Eroğlu, V., Alatlı, L., Tanyol, İ., Ardıç, A., Torun, E., "Komple Çevreci Yüksek Verimli Absorbsiyonlu Sistemler", , 527-562, IV. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilim ve Teknolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 17-19 Nisan 2000, İstanbul/TÜRKİYE
- [24] Aye, L., Charters, W.W.S., "Electrical and Engine Driven Heat Pumps for Effective Utilisation of Renewable Energy Resources", Applied Thermal Engineering, Vol:23, pg:1295-1300, 2003.
- [25] Okka, O., "Mühendislik Ekonomisi", Nobel Yayın Dağıtım, 3. Baskı, 2000, Ankara.
- [26] Çalık, K., "Zonguldak Çatalağzı Termik Elektrik Santralının Kondens Soğutma Suyu Atık Isısından Konut Isıtılmasında Yararlanılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003, Zonguldak.

ÖZGEÇMİŞLER

Mustafa EYRİBOYUN

1982'de lisans, 1985'de yüksek lisans, 1997'de doktora derecelerini aldı (Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, Isı-Proses Dalı). Halen çalışmakta olduğu Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden ısı transferi, kütle transferi, klima dersleri vermektedir. Isparta, Antalya, Denizli ve Burdur illerindeki askeri inşaat ve tesislerin, ısıtma, soğutma, klima ve güneş enerjili sıcak su sistemlerinin inşasını içeren işlerde, kontrol mühendisi asteğmen olarak askerliğini yaptı. Doktora tezi kapsamında bilgisayar destekli bir çok tüpü deney seti kurup çalıştırdı. Diğer deneysel çalışmaları: "Kayaçların ve Kömürlerin Isısal İletkenliklerinin Ölçülmesi Amacı İle Bir Isısal İletkenlik Ölçer Sisteminin Geliştirilmesi" (ZKÜ, AFP, tamamlandı). Halen "Sıvı Karbondioksit İle Patlatma Sisteminde Gaz Çıkış Hızının Deneysel Olarak Saptanması", adlı TÜBİTAK destekli bir projenin yürütücüsüdür. 1996'da Japonya'nın Osaka kentinde JICA bursiyeri olarak üç aylık süreli "AirConditioning Engineering Course"na katıldı. Temmuz 2001'de Montréal-Kanada'da "Modern Methods in Scientific Computing and Applications (NATO ASI)" yaz okuluna katıldı. 1986'dan beri amatör olarak fotoğrafla ilgilenmektedir. Bu ilgisi 2002/2003 öğretim yılında "Mühendisler İçin Estetik ve Temel Fotoğraf Bilgisi" dersine dönüşmüştür. Türkiye ve Japonya'da olmak üzere ondan fazla slayt gösterisi sunmuş ayrıca karma fotoğraf sergilerinde fotoğrafları sergilenmiştir. Okumak, bilgisayar, elektronik, fotoğraf, sinema, şiir ve kır gezileri özel ilgi alanlarıdır. Amatörce denemeler ve şiir yazmakta, ayrıca mühendislik öğrenimiyle ilgili animasyonlu bilgisayar programları yapmaktadır. Kurucu, yönetici ve üye olarak çok sayıda sivil toplum örgütünde görev yapmıştır/yapmaktadır. Evlidir. Çocuğu yoktur.

Keziban ÇALIK

1977'de Rize'de doğdu; ilk ve orta öğrenimini Zonguldak Gazi İlk Öğretim Okulu'nda tamamladı; Mehmet Çelikel Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1994 yılında ZKÜ Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği'ne girdi; 1998'de "bölüm birincisi" olarak mezun olduktan sonra ZKÜ Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2001 yılında girdiği ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı'ndan Temmuz 2003'de mezun oldu.