

Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi İçin Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi

Ahmet ERİŞMİŞ¹, Nesrin ADIGÜZEL^{2*}

^{1,2} Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25100, Erzurum

¹<https://orcid.org/0000-0002-6203-464X>

²<https://orcid.org/0000-0001-7610-2757>

*Sorumlu yazar: nesrin.adiguzel@atauni.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 22.04.2022

Kabul tarihi: 31.01.2023

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Kojenerasyon
Ekonomik analiz
Üniversite yerleşkesi

ÖZ

Dünya genelinde artan enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacın karşılanması için kullanılan fosil yakıtların tükenme durumu, çevreye verdiği kirlilik, küresel ısınma gibi durumlar insanlığın alternatif enerji kaynaklarına olan ilgisini arttırmıştır. Bu bağlamda kojenerasyon sistemleri son dönemde değer kazanmış ve uygulama alanları bulmuştur. Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi'ne ait doğalgaz ve elektrik tüketim değerleri incelenmiştir ve bu değerlere ait grafikler oluşturulmuştur. Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi için kurulması düşünülen kojenerasyon sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Atatürk Üniversitesi kampüsünün yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının 31,352,552 kW olduğu görülmüştür. Yıllık 12,282,914 m³ doğalgaz harcamasına denk gelen eş değer enerji tüketimi 117,621,184 kW olarak hesaplanmıştır. Kampüs için düşünülen kojenerasyon sistemiyle yıllık 28,800,000 kW elektrik üretilebilecektir. Ancak elde edilen sonuçlara göre Atatürk Üniversitesi kampüsünün ihtiyaç duyduğu ısı enerjisinin yalnızca bir kısmı (%18.6) bu sistem tarafından karşılanabilecektir.

Economic Analysis of Cogeneration System for Ataturk University Campus

Research Article

Article History:

Received: 22.04.2022

Accepted: 31.01.2023

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Cogeneration
Economic analysis
University campus

ABSTRACT

The increasing energy needs around the world and the depletion of fossil fuels used to meet this need, pollution to the environment, global warming have increased humanity's interest in alternative energy sources. In this context, cogeneration systems have gained value recently and found applications. In this study, natural gas and electricity consumption values of Ataturk University were examined and graphs of these values were created. Economic analysis of the cogeneration system intended to be established for Ataturk University Campus was carried out. Ataturk University campus's annual electricity needs were 31,352,552 kW. Equivalent energy consumption was calculated as 117,621,184 kW, equivalent to annual gas expenditures of 12,282,914 m³. 28,800,000 kW of electricity can be generated annually with the cogeneration system considered for the campus. However, according to the results obtained, only a fraction (18.6%) of the thermal energy needed by Ataturk University campus will be covered by this system.

To Cite: Erişmiş A., Adıgüzel N. Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi İçin Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 310-329.

1. Giriş

Dünya nüfusunun hızla artmasına bağlı olarak nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için sanayileşme de hızlı şekilde artmaktadır. Sanayileşmenin artması fosil yakıtlarının tüketimini de arttırmaktadır. Fosil yakıtların tüketiminin artması ile baca gazları (SO₂, NO(x) vb.) çevresel kirliliğe ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Fosil yakıtların yakılması ile ortaya çıkan yanma ürünlerinin sera etkisi yaparak buzulların erimesine, okyanusların yükselmesine ve istenmeyen iklim değişikliğine neden olduğu bilinen bir gerçektir. Dünyanın geldiği son durum işletmeleri enerji yönetimi konusunda yeni arayışlara itmiştir. Doğalgaz veya biyogaz gibi yakıtlarla çalışan kojenerasyon sistemleri işletmeler için daha uygun fiyata elektrik üretmesinin yanında aynı anda atık ısı kazanımı ile işletmelerin ısı ihtiyacını da karşılamaktadır (Kabacan, 2019).

Bir çalışmada, elektrik ve ısı üretimini sağlamak için yeni bir kojenerasyon hibrit çevrimi tanıtılmıştır. Bu sistem gaz döngüsü, buhar döngüsü, karbon yakalama sistemi, proton değişim membranı, elektrolizör, kriyojenik hava ayırma ünitesi ve amonyak sentez reaktörlerini içermektedir. Önerilen bu sistemin enerji, ekonomik, ekserji ve çevresel analizleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, bu sistemin yılda 689 GWh elektrik enerjisi ürettiğini göstermiştir. Bu hibrit sistemlerin enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %31,8 ve %53.3'e eşittir. Net bugünkü değer, geri ödeme süresi ve basit geri ödeme süresi ve iç verim oranı ekonomik yöntemleri ile hesaplamalar yapılmıştır. (Abbaspour, 2021).

Başka bir çalışmada, İstanbul'da bulunan Aktürk Yapı Kompleksi için kojenerasyon sistemi kullanımının uygunluğu, elektrik ve ısı tüketim verileri kullanılarak beş farklı kojenerasyon sistem kapasitesi (800, 1200, 1400, 2000 ve 2600 kW) dikkate alınarak araştırılmıştır. Kojenerasyon sisteminin yatırımın geri dönüş süresi, net tasarruf miktarı, talebi karşılama oranı ve kısmi yük verimliliği verileri kullanılarak farklı kapasiteler karşılaştırılmıştır. Farklı kapasiteler için yapılan yatırımın geri ödeme süreleri birbirine yakın olmakla birlikte, 1200 kW kapasiteli kojenerasyon sisteminin, en kısa geri ödeme süresine (1 yıl 5 ay) sahip olması nedeniyle Aktürk Yapı Kompleksi için uygun olduğu kanıtlanmıştır (Adıgüzel, 2015).

Bir fabrika binasında duvar ve yer karosu seramik üretim tesisinin doğal gaz yakıtlı kojenerasyon sisteminin termoeconomik ve çevresel değerlendirmelerinin sunulduğu bir diğer çalışmada ortam sıcaklıkları 10°C, 15°C, 20°C, 25°C ve 30°C olarak kabul edilmiştir. Termoeconomik değerler yer karosu kurutucu için 2.766,132 kWh/\$, duvar karosu kurutucu için 2.479,726 kWh/\$, yanma odası için 1.595,575 kWh/\$, kojenerasyon için 543,212 kWh/\$ olarak bulunmuştur. Yanma odası için 30°C ortam sıcaklığında maksimum toplam ekonomik parametre 11331,659 kWh/\$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca çevre ve çevre ekonomik parametreleri duvar karosu kurutucusu için 27.580,74 kg-CO₂/gün ve 399,92 \$/gün, yer karosu kurutucusu için sırasıyla 41.900,32 kg-CO₂/gün ve 607,55 \$/gün olarak belirlenmiştir (Caglayan ve Caliskan, 2019).

Bir diğer çalışmada elde edilen jeotermal enerjiyi biyokütle tesisinin buhar döngüsüne besleyen, biyokütle yakıtlı bir kojenerasyon tesisi ile entegre yeni bir jeotermal güç sistemi geliştirilmiştir. Jeotermal su, türbinin ekstraksiyon buharıyla birlikte bölgesel ısıtma için besleme suyuna ısı

sağlarken, biyokütle tesisinin besleme suyunu ısıtmak için jeotermal su kullanılmıştır. 35 MW'lık bir biyokütle kojenerasyon tesisine dayalı olarak, önerilen sistemin termodinamik ve ekonomik performansı değerlendirilmiş ve ana parametrelerin etkileri de araştırılmıştır. Sonuçlar, jeotermal enerji üretim verimliliğinin kojenerasyon modu veya güç üretim modu altında %25,47 veya %5,62'ye ulaşabileceğini göstermiştir. Jeotermal enerjiden, yıllık %17,08 jeotermal enerji üretim verimliliği ile 16.935,48 MWh elektrik üretilebilmiştir. Jeotermal enerjiye dayalı elektriğin seviyelendirilmiş maliyeti, yeni tasarımı benimserken sadece 0,0329 \$/kWh olarak bulunmuştur. (Chen, 2022).

Yapılan bir çalışmada, 30 MW güç üretim kapasiteli bir gaz türbini çevrimi, bir buhar jeneratörü, bir anaerobik çürütücü ve ön arıtma sisteminin ısıtılması için bir ısı eşanjöründen oluşan bir kojenerasyon sistemi uygulanmıştır. Birinci ve ikinci yasa verimlerinin üç amaç fonksiyonunu ve sistemin toplam özgül maliyetini göz önünde bulundurarak, bir ısı ve güç çevriminin (CHP) termodinamik ve eksergo-ekonomik değerlendirmesi amaçlanmıştır. Tüm karışım oranlarında yanma odasının tersinmezliği en yüksek değer olarak bulunmuştur. Çevrimin ekserji verimliliği, saf biyogaz durumunda %46,94'ten saf doğal gaz durumunda %50,64'e yükseltilmiştir. Ayrıca, sistemin toplam maliyeti, saf doğal gaz durumunda 66,7 \$/MWh'den saf biyogaz durumunda 98,71 \$/MWh'ye yükseltilmiştir (Darabadi, 2018).

Başka bir araştırmada, enerji santrallerinden rafine edilmemiş biyogaz ve egzoz dumanları ile biyometan (bioCH₄) ve sıvı karbondioksit (CO₂) kojenerasyonu için yenilikçi bir entegre yapı geliştirilmiştir. Kriyojenik biyogaz yükseltme işlemi ve CO₂ yakalama döngüsü, sırasıyla rafine edilmemiş biyogazın ve enerji santrallerinden çıkan egzoz dumanlarının arıtılması için kullanılmıştır. Mevcut entegre proses, jeotermal enerjiden 2,368 kg/s arıtılmamış biyogaz, 21,32 kg/s baca gazı ve 7922 kW ısı akışı olarak 0,8434 kg/s bioCH₄ ve 2,631 kg/s sıvı CO₂ üretmiştir. Hibrit sistemin termal ve toplam ekserji verimleri sırasıyla %59,94 ve %73,10 olarak elde edilmiştir. Ekserji analizi, toplam sistem tahribatının %39,12'si ile ısı eşanjörleri (4043 kw) ve distilasyon kolonlarının (1857 kw) ekipmanlar arasında en fazla ekserji tahribatına sahip olduğunu göstermiştir. Ekonomik değerlendirme, ürünün iade süresinin ve ana maliyetinin sırasıyla 4,45 yıl ve 0.8189 ABD \$/m³ biyometan'a eşit olduğunu göstermektedir. (Ebrahimi, 2022).

Güneş destekli yanma sonrası karbon yakalamanın deneysel bir kojenerasyon sistemine entegrasyonunu değerlendiren bir çalışmada Ulusal Elektrik ve Temiz Enerjiler Enstitüsü'nde (INEEL) bir termal yağ geri kazanım sistemi ile birleştirilmiş 200 kW Capstone mikrotürbini içeren Thermoflex 25®'te modellenen bir kojenerasyon sistemi kurulmuştur. Ekonomik analiz için üç optimize edilmiş sistem göz önünde bulundurulmuştur: bir mikrotürbin kojenerasyon sistemi (COGEN), yanma sonrası karbon yakalama tesisi (COGEN-CCS) ile bir mikro türbin kojenerasyon sistemi ve güneş destekli yanma sonrası karbon yakalama ile bir mikro türbin kojenerasyon sistemi (COGEN-CCS + GÜNEŞ). Sonuçlar, CCS'nin uygulanmasının, sürece enerji sağlama olasılığı olmadan ve sıfıra yakın emisyonla maliyette yaklaşık %86 gibi önemli bir artışa yol açtığını göstermiştir. Ayrıca COGEN-CCS + SOLAR, genel sistem performansını iyileştirmiştir. Kilovat başına CO₂ emisyonları COGEN-CCS'ye

göre %0,2 artarken, LCOE COGEN durumuna kıyasla sifıra yakın emisyonla %230 artmıştır (Jordan, 2019).

Mikro kojenerasyon sistemleri ile LNG soğuk kullanımı üzerine az sayıda çalışma yapılırken, birçok çalışma büyük ölçekli enerji üretim sistemleri ile ilgilidir. Bir diğer çalışmada LNG pompası, bir LNG buharlaştırıcı, bir yanma odası, bir geri kazanıcı, bir kompresör, bir gaz türbini ve bir ısı eşanjörü içeren kombine bir LNG soğuk kullanılan mikro kojenerasyon sistemi önerilmiştir. Çeşitli ortam hava sıcaklıklarına göre ekonomik, enerjik ve çevresel analizler yapılmış ve sonuçlar geleneksel mikro kojenerasyon sisteminin genel performansı ile karşılaştırılmıştır. Üretilen elektrik hızı ve termal verim, incelenen her iki çevrim için de aynı bulunmuştur. Ancak geri ödeme süresi, geleneksel döngüden yaklaşık %6 daha yüksektir. Ortalama çevresel geri ödeme süresi yaklaşık 4.8 yıl olarak bulunmuştur (Kanbur, 2017).

Başka bir çalışmada, yerli bir dizel elektrik jeneratörü tabanlı yeni termoelektrik kojenerasyon sistemi %20 oranında biyodizel yakıt karışımı ile incelenmiştir. Motorun egzozu, suyu ısıtmak ve termoelektrik jeneratörler kullanarak elektrik üretmek için egzoz borusunun dikdörtgen konfigürasyon geometrisine sahip ısı kaynağı olarak kabul edilmiştir. Termoelektrik jeneratörler için farklı konumlarda beş durum için bir termal direnç modeli geliştirilmiştir. Karşılaştırmalı çalışma, TEG'lerin ısı kaynağına yakın dikdörtgen egzoz konfigürasyonunun iç duvarına monte edildiği maksimum 35 W gücün elde edildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, TEG tabanlı kojenerasyon sistemlerinin dikkate alınan tüm konfigürasyonları için kojenerasyon sistemini çalıştırarak geri ödeme süresi ve maliyet tasarrufu değerlendirmesi yapılmıştır. Teorik analiz, ele alınan tüm durumlardan, ısı kaynağına yakın olan durumun, TEG'lerin, yeterli su sıcaklığında güç ve ilk maliyet arasında en iyi dengeyi sağladığını ortaya çıkarmıştır (Karana, 2020).

Bir diğer çalışmada, bir Organik Rankine Çevrimi (ORC) ve bir buharın ortak çalışmasına dayalı olarak, ısı ve güç üretimi ve soğutmayı birleştirebilen mikro ölçekli bir tri/kojenerasyon sisteminin termodinamik modellemesi ve ekonomik analizi amaçlanmıştır. Trijenerasyon modunda (yaz işletimi), ORC genişletici tarafından üretilen gücün bir kısmı VCC kompresörü tarafından tüketilirken, herhangi bir fazla güç elektriğe dönüştürülmüştür. Sistemin kondenserinde üretilen ısı, sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılmıştır. Sistemin performansı, organik ortam R245fa için kritik altı çalışma basınçları için değerlendirilmiştir. Toplam 50 kWth ısı girdisi ve 5kWth soğutma yükü (yaz aylarında) varsayan bir temel durum senaryosunda (kızgınlık olmadan 90 °C'de buharlaşma sıcaklığı), net elektrik verimliliği 1.42 kWe'ye eşit bir elektrik çıkışı ile %2,38 olarak hesaplanmıştır. ORC'nin ekserji verimliliği yaklaşık %7 olarak tahmin edilmiştir. Akaryakıt ve elektrik tüketimindeki tasarruflar, 7 yıllık geri ödeme süresi ile yaklaşık %12'lik bir IRR'ye karşılık gelmiştir (Karellas, 2016).

Sistem tarafından üretilen ısının makul bir şekilde tahsisi, sistemin performansını iyileştirebilir. Bu nedenle yapılan bir çalışmada, güneş yardımcı ısı ile birleştirilmiş gelişmiş adyabatik sıkıştırılmış hava enerji depolamasına dayalı bir kojenerasyon sistemi modeli önerilmiş ve beş ısı dağılımı şeması

oluşturulmuştur. Termodinamik ve ekonomik açıdan, beş ısı dağıtım şemasının (%100, %75, %50, %25, %0) performansı analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Üç tip ısı eşanjörünün etkinliğinin, yoğun olmayan elektrik ve ürün fiyatlarının sistem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, ısı dağılım oranı ne kadar küçükse, ekserji verimi ve net bugünkü değerin o kadar büyük olduğunu göstermiştir. Pik elektrik ve sıcak su fiyatlarındaki artış ve düşük tepe elektrik fiyatındaki düşüş ile net bugünkü değer artar. Optimal koşullar altında, enerji depolama yoğunluklarının aralıkları ve beş ısı dağıtım şemasının net mevcut değerleri sırasıyla 15,109~17,466 MJ•m⁻³ ve 13.992 × 10⁷~22.616 × 10⁷ \$ olarak bulunmuştur (Li, 2021).

Bir diğer çalışmada, kömürle çalışan bir kojenerasyon tesisinin yeni bir konfigürasyonu önerilmiştir. Bu yeni sistem, yanma odası, Rankine çevrimi, absorpsiyonlu soğutucu, alkalın elektrolizör ve metanasyon tesisinden oluşmuştur. Önerilen konfigürasyonda, yanma odasından çıkan egzoz gazının ısısı, elektrik üretmek için bir Rankine çevriminde kullanılmıştır. Elektrik enerjisi sağlamak için Rankine çevriminin yanı sıra rüzgar türbinleri de düşünülmüştür. Hem Rankine çevriminden hem de rüzgar türbinlerinden üretilen elektriğin bir kısmı, hidrojen ve oksijen üretmek için bir alkalın elektrolizör tarafından kullanılmıştır. Elektrolizörden gelen oksijen, yanma sürecini iyileştirmek için yanma odasına enjekte edilmiştir. Sonuçlar, elektrik üretmek için 80 adet 1 MW Kuzey rüzgar türbini kullanılarak, egzoz gazındaki tüm CO₂'in sentez gazına dönüştürüldüğünü göstermiştir. Tüm sistem enerji ve ekserji verimleri %16,6 ve %16,2'ye eşit olarak bulunmuştur. %85 ve %30,1 ile en yüksek ve en düşük enerji verimliliği kompresör ve buhar santralleri ile ilgilidir. Rüzgar türbininin enerji ve ekserji verimleri %30,7 ve %11,9 olarak bulunmuştur. Sistem 40.920,4 MWh elektrik ve 180,5 MWh soğutma üretmiştir. Sentez gazı üretmek için CO₂ tüketildiğinden, önerilen sistem yılda 1009,4 ton sentez gazı üretirken önemli miktarda 2776 t CO₂ emisyonunu önleyebilmiştir. Ekonomik analize dayalı olarak, sistemin geri ödeme süresi 11,2 yıl ve iç verim oranı %10 olarak bulunmuştur (Li, 2020).

Başka bir çalışmada, çalışma sıvısı olarak amonyak-su çözeltisini kullanan yeni bir paralel kombine soğutma ve güç (CCP) sistemi önerilmiş ve araştırılmıştır. Bu sistemin en büyük avantajı, çift seviyeli soğutma sıcaklıkları ve kapasitelerinde soğutma üretmek için iki evaporatör kullanılmasıdır. Yüksek sıcaklıkta soğutma çıkışı üretmek için, bir ejektörlü soğutma döngüsü tanıtılmıştır. Ejektör performansının tahmin edilmesi için şok çemberi modeline dayalı yeni bir model önerilmiştir. Anahtar parametrelerin sistem performansı üzerindeki etkisini bulmak için sistem termo-ekonomik olarak analiz edilmiştir. Parametrik çalışma sonuçları, yüksek sıcaklıktaki soğutma yükünün hem termodinamik hem de ekonomik performans üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, parametrik bir optimizasyon gerçekleştirilmiş ve optimize edilen sistem literatürdeki birkaç amonyak-su CCP sistemi ile karşılaştırılmıştır. Bu durumda, %68,8'lik optimal enerji verimliliği, %37'lik ekserji verimliliği ve 8.77'lik soğutma-güç oranı tahmin edilmiştir. Ekonomik analizden, optimal net bugünkü değer ve basit geri ödeme süresi sırasıyla 49.2 M\$ ve 4,8 yıl ile elde edilmiştir (Mosaffa, 2021).

Yapılan bir çalışmada, yeni bir trijenerasyon sistemine tersinir absorpsiyonlu ısı pompası ve içten yanmalı motorun entegrasyonu önerilmiştir. Su-amonyak karışımı kullanan tersinir absorpsiyonlu ısı pompası, motorun egzoz gazı tarafından çalıştırılmış ve dönüşümlü olarak ısıtma ve soğutma üretebilmiştir. Önerilen trijenerasyon sistemi sunulmuş ve ısıtma ve soğutma işletim modları altında verilen enerji hizmetleri değerlendirilmiştir. Önerilen sistemin ekonomik uygulanabilirliğini değerlendirmek için seviyelendirilmiş bir enerji maliyeti analizi yapılmıştır. İkinci yasa analizi yapılarak genel ekserji verimliliği geleneksel sistemlerinkine karşılaştırılmıştır. Son olarak, yeni trijenerasyon sistemi bir örnek olay incelemesinde, yani İtalya'nın Pisa kentinde bulunan büyük bir ofis binasında uygulanmıştır. Bulgular, tersinir absorpsiyonlu ısı pompası ve kojenerasyon ünitesini entegre eden sistemin değerli ekonomik ve enerji performansı sağladığını göstermiştir. Sistemin ekserji verimliliği %43'e ulaşabilmiş ve geleneksel kojenerasyon ve ayrı üretim sistemine kıyasla sırasıyla %5 ve %10 civarında maliyet tasarrufu sağlanmıştır (Urbanucci, 2019).

Son yıllarda Danimarka, yenilenebilir enerji ve ulaşımın elektrifikasyonuna yapılan yatırımları artırmıştır. Danimarka Gündemi, 2050 yılına kadar tüm birincil enerji tüketiminin rüzgar, biyokütle ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklar tarafından karşılanacağını öne sürmüştür. Bu değişiklikler, önemli yatırımları ve tüm enerji altyapılarının ve tüketim türlerinin yeniden düşünülmesini gerektirmektedir. Buna binaen yapılan bir araştırmada, elektrikli bir arabanın şarj edilmesi ile ev uygulamaları için yenilikçi bir kojenerasyon sistemi (entegre ısıtma sistemli mikro katı oksit yakıt hücresi) arasındaki etkileşimler araştırılmıştır. Elektrikli arabanın kojeneratör tarafından şarj edilmesi, evin ısı talebini kısmen karşılamak için kullanılacak atık ısı üretmiştir. Bu şekilde, genel verimliliği artırmak ve toplam enerji maliyetlerini azaltmak mümkün olabilmiştir. Elektrikli bir arabayı şarj etmek ve mevcut atık ısıyı verimli bir şekilde kullanmak için farklı yenilikçi stratejiler önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı, sistemi şebekeden bağımsız hale getirmek, SOFC'lerin termal stresini azaltmak ve entegre bir ısıtma sisteminin nominal gücünü belirlemektir. Sonuçlar, sübvansiyonlar dahil edilmese bile, sistemin enerji verimliliğini ve ekonomik karlılığını göstermiştir (Violetto, 2017).

Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi yerleşkesine yeni bir kojenerasyon santrali kurulduğunda elektrik ve ısı ihtiyacının ne kadar karşılandığına bakılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre sistemin avantajlı olup olmadığı belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kojenerasyon sisteminin, Atatürk Üniversitesi kampüsünde bulunan ısı merkezi ile ısıtılan binalar için uygulanması halinde yatırım maliyetinin ekonomik açıdan analizi yapılmıştır. Yapılacak analiz için ısı merkezinin 2019 yılı doğalgaz tüketim değerleri ve söz konusu binaların 2019 yılı elektrik tüketim değerleri incelenmiştir. Tablo 1'de Atatürk Üniversitesi yerleşkesi için 2019 yılına ait doğalgaz ve elektrik tüketim miktarları verilmiştir.

Tablo 1. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketim Miktarları

AYLAR	AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİM MİKTARI (m ³)	AYLIK ELEKTRİK TÜKETİM MİKTARI (kWh)
OCAK	2,105,727	2,958,720
ŞUBAT	1,911,412	2,855,919
MART	1,837,475	2,503,862
NİSAN	1,463,442	2,790,044
MAYIS	707,074	2,658,744
HAZİRAN	180,861	2,490,299
TEMMUZ	71,894	2,418,332
AĞUSTOS	0	2,529,892
EYLÜL	119,281	2,386,870
EKİM	791,208	2,306,858
KASIM	1,292,764	2,707,339
ARALIK	1,801,776	2,745,673
TOPLAM	12,282,914 m³	31,352,552 kWh

Tablo 2’de Atatürk Üniversitesi ısı merkezinde kullanılan doğalgaz miktarı için ve Atatürk Üniversitesi’nin elektrik tüketimi için ödediği ücretler aylık olarak verilmiştir.

Tablo 2. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketimleri için Ödenen Ücretler

AYLAR	AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİM ÜCRETİ TL	AYLIK ELEKTRİK TÜKETİM ÜCRETİ TL
OCAK	3,567,166	2,008,500
ŞUBAT	3,226,422	1,656,166
MART	3,138,857	1,516,636
NİSAN	2,472,852	1,772,100
MAYIS	1,207,461	1,683,089
HAZİRAN	308,655	1,649,675
TEMMUZ	121,702	1,549,002
AĞUSTOS	0	1,773,346
EYLÜL	229,936	1,614,646
EKİM	1,528,068	1,580,535

KASIM	2,499,613	1,854,923
ARALIK	3,482,305	1,881,187
TOPLAM	21,783,037 TL	20,539,805 TL

Tablo 3'te elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri kW/ay olarak verilmiştir. Bu değerlerden biri olan doğalgaz tüketim değeri Atatürk Üniversitesi ısı merkezinde bulunan yetkililerden, elektrik tüketimi değerleri ise Atatürk Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığından alınmıştır.

Ocak ayı doğalgaz yakıt tüketim değeri m³/ay: 2,133,508

Ocak ayı doğalgaz enerji tüketim değeri kW/ay: 20,430,472

Bu hesap tüm aylar için yapılmış ve tabloya eklenmiştir.

Tablo 3. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketim Miktarları

AYLAR	AYLIK ELEKTRİK TÜKETİMİ kWh /ay	AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİMİ m ³ /ay	AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİMİ kWh /ay
OCAK	2,958,720	2,105,727	20,164,441
ŞUBAT	2,855,919	1,911,412	18,303,681
MART	2,503,862	1,837,475	17,595,660
NİSAN	2,790,044	1,463,442	14,013,920
MAYIS	2,658,744	707,074	6,770,940
HAZİRAN	2,490,299	180,861	1,731,924
TEMMUZ	2,418,332	71,894	688,456
AĞUSTOS	2,529,892	0	0
EYLÜL	2,386,870	119,281	1,142,234
EKİM	2,306,858	791,208	7,576,607
KASIM	2,707,339	1,292,764	12,379,508
ARALIK	2,745,673	1,801,776	17,253,806
Toplam	31,352,552	12,282,914	117,621,184

Kojenerasyon sisteminin seçiminde kWh birimi kullanılacağından tüketim değerleri kWh cinsinden hesaplanmıştır. 1 m³ doğalgazın enerji değeri yaklaşık 10.64 kWh'tır [11]. Yakıt verimi %90 alınmıştır.

Tahrik ünitesinin belirlenmesinde; enerji ihtiyacının en yüksek düzeyde karşılanmasının yanı sıra ilk yatırım maliyetinin de mümkün olan en kısa sürede karşılanması önemlidir. Ayrıca müşteri talepleri ve enerji çeşidi gibi faktörler de dikkate alınmalıdır.

Atatürk Üniversitesi ısı merkezinden alınan doğalgaz faturaları ve yapı işleri daire başkanlığından alınan elektrik faturalarından elektrik tüketim maliyetinin doğalgaz tüketim maliyetinden fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca sistemin devreye alınması ve devreden çıkarılması kısa sürede gerçekleştirilmelidir. Aksi halde ek maliyetler doğacak ve yatırımın geri ödeme süresi artacaktır.

Bu bilgiler ışığında tesis için hali hazırda kampüs içinde bulunan doğalgazla çalışan içten yanmalı gaz motorlu sistem seçilmiştir.

Tesisin ihtiyacı olan enerji miktarını karşılayacak olan kojenerasyon sistemi, tesisin enerji ihtiyacı ile uyumlu olmalıdır. Doğru seçimin yapılması için;

1. Tesisin ısı enerjisi ihtiyacının en yüksek düzeyde karşılanması,
2. Tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının en yüksek düzeyde karşılanması,
3. İlk yatırımın maliyetinin en kısa sürede geri dönüşünün olması,
4. Kojenerasyon sisteminin en yüksek düzeyde (kapasitesine en yakın) çalışması.
5. Yaz ve kış aylarında enerji tüketimindeki değişimler de dikkate alınmalıdır.

Kojenerasyon sisteminin tahrik gücünü belirlemek için, enerji tüketim değeri en yüksek kış ayı olan ocak ayı ile enerji tüketim değeri en yüksek olan yaz ayı haziran ayları referans aylar olarak alınmıştır. Kojenerasyon sistemindeki enerji üretiminin, referans aylardaki enerji tüketimini karşılama oranı dikkate alınmıştır.

Tesisin aylık elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri ilgili birimlerden alınarak tablo haline getirilmiştir (Tablo 3). Bu tabloda Atatürk Üniversitesi kampüsünün kış aylarında elektrik tüketiminin biraz daha fazla olduğu görülmüştür. Kış aylarında daha fazla olmasının nedeni öğrenci sayısının fazla olmasına, ısı merkezindeki kazanların sürekli çalışmasına ve kışın havanın erken kararmasına bağlanmıştır.

Tablo 4'te ve tablo 5'te referans aylardaki (referans aylar olarak kış aylarından ocak, yaz aylarından haziran seçilmiştir) tüketim değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Ocak ayı tüketim değerleri

Doğalgaz tüketimi (kWh)	Doğalgaz tüketimi (m ³)	Doğalgaz tüketimi (TL)	Elektrik tüketimi (kWh)	Elektrik tüketimi (TL)	TOPLAM TÜKETİM (TL)
20,164,441	2,105,727	3,567,166	2,958,720	2,008,500	5,575,666

Tablo 5. Haziran ayı tüketim değerleri

Doğalgaz tüketimi (kWh)	Doğalgaz tüketimi (m ³)	Doğalgaz tüketimi (TL)	Elektrik tüketimi (kWh)	Elektrik tüketimi (TL)	TOPLAM TÜKETİM (TL)
1,731,924	180,861	308,655	2,490,299	1,649,675	1,958,330

Seçilen motorun özellikleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. MWM Marka, TCG-2020-V20 Model Doğalgazlı Motorun Özellikleri

Mekanik gücü	2056 kW	
Elektrik gücü	2000 kW	
Yakıt tüketimi	4577 kW	(+%5)
Egzoz ısısı (120 °C)	972 kW	(±%8)
Egzoz çıkış sıcaklığı	414 °C	
Ceket suyu ısı gücü	1040 kW	(±%8)
Intercooler ısı gücü	142 kW	(±%8)
Elektrik verimi	43.70 %	
Termik verimi	47.06 %	
Toplam verim	90.76 %	
Yıllık ortalama çalışma saati	8000 saat	
Ana bakım zamanı	64000 saat	

MWM Marka, TCG-2020-V20 Model doğalgazlı motor için İlteknö firmasından teklif alınmıştır.

Proje Sahası Teslim Fiyatı:1,350,000 – Euro + KDV

Step-up Trafo ve OG Şalt Tesis: 220,000 – Euro + KDV’dir.

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırmada Atatürk Üniversitesi’nin elektrik ve doğalgaz tüketimlerine göre sistem seçimi yapılmış olup bu değerlere göre kojenerasyon sisteminin kurulmasının ekonomik olarak uygun olup olmadığı incelenmiştir. Tablo 7’de Atatürk Üniversitesi kampüsüne kurulması düşünülen kojenerasyon ünitesinin işletme değerleri verilmiştir. Tablo 8’de çevrim verimlerinin santral kapasitesi yüzdesi, tablo 9’da çevrim verimlerinin enerji tüketimine göre yüzdesi verilmiştir.

Tablo 7. Kampüse Kurulması Düşünülen Kojenerasyon Ünitesinin İşletme Değerleri

Modül Çalışma Saatleri	Saat/yıl	8,000
Yakıt Türü	NG	
Yakıt Isıl Değeri	kcal/m ³	8,250
Yakıt Tüketimi (+%5 tolerans)	kW	8,330
Yakıt Tüketimi	m ³ /saat	868
Senelik Yakıt Tüketimi	m ³ /yıl	6,945,620
Elektrik Üretimi – Brüt (cos phi=1)	kWh	3,600
İç İhtiyaç ve Dahili Kayıplar	kWh	90
Elektrik Üretimi - Net	kWh	3,510
Senelik Elektrik Üretimi (Net)	kWh/yıl	28,800,000
Yağ Tüketimi	kg/h	0.54
Egzoz Isı Gücü (±%8 tolerans)	kWh	1,788
Ceket Isı Gücü (±%8 tolerans)	kWh	1,872
Ara Soğutucu (±%8 tolerans)	kWh	261
Maksimum Toplam Isı Üretim Kapasitesi	kWh	3,660
İşletme Toplam Isı Tüketimi 75%	kWh	2,745

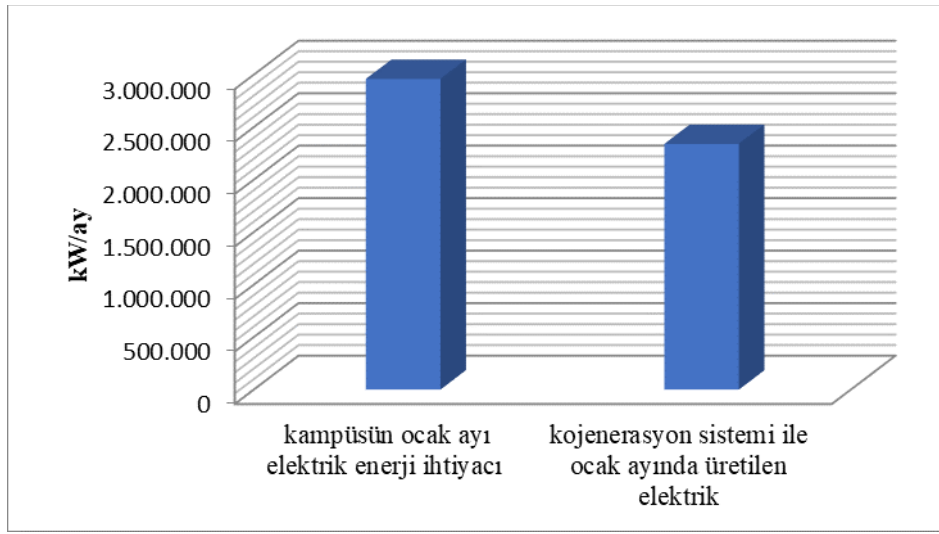
Tablo 8. Çevrim Verimlerinin Santral Kapasitesi Yüzdesi

Elektrik Verimi	%	43.22
Isı Verimi	%	43.94
Toplam Verimi	%	87.16

Tablo 9. Çevrim Verimlerinin Enerji Tüketimine Göre Yüzdesi

Elektrik Verimi- Net	%	42.14
Isı Verimi	%	32.96
Toplam Verimi	%	75.09

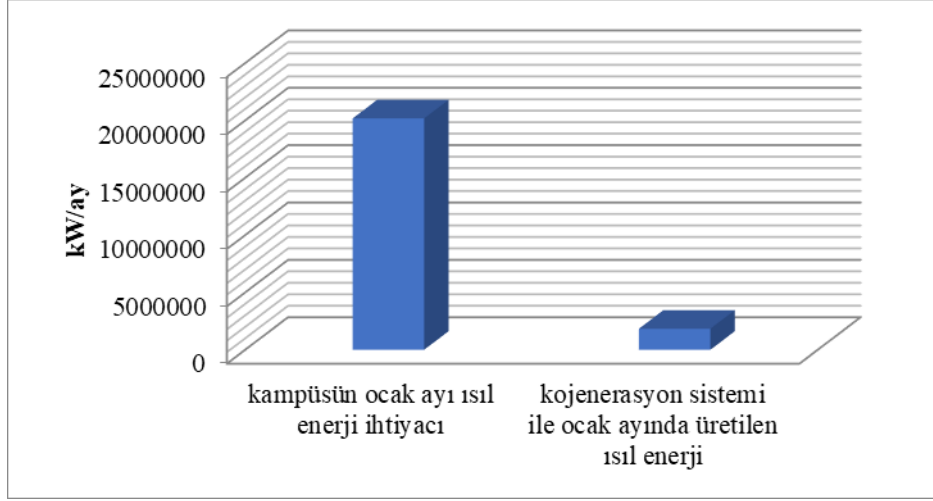
Seçilen kojenerasyon sisteminin ürettiği enerjinin referans aylardaki enerji tüketimini karşılama durumu aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 1. Ocak ayında tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

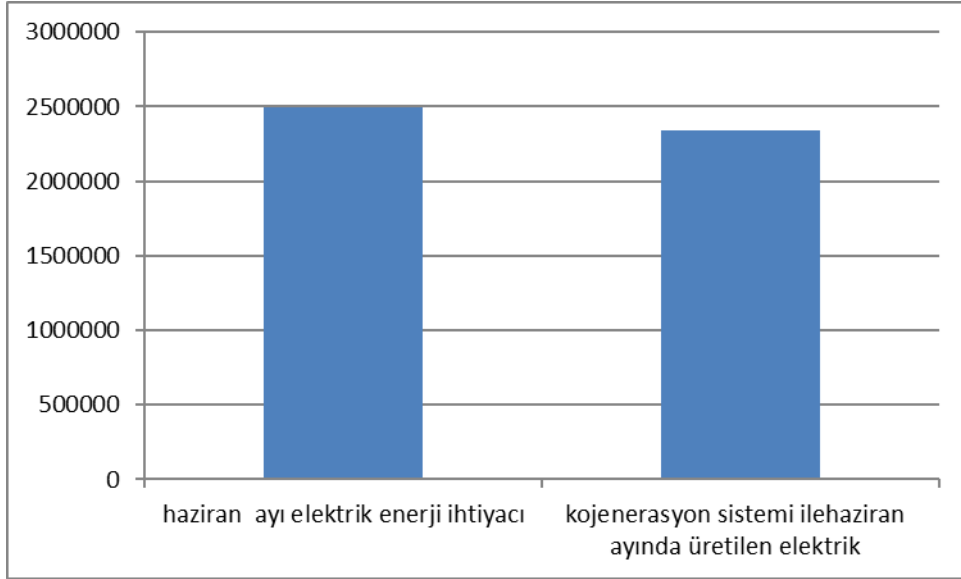
Şekil 1’de görüldüğü üzere ocak ayından kampüsün elektrik enerjisi ihtiyacı yaklaşık 2,958,720 kWh ve kojenerasyon sisteminden üretilen elektrik enerjisi 2,340,117 kWh’tir. Yani kojenerasyon sistemi ocak ayında gerekli olan elektrik enerjisinin yaklaşık %79,1’ini üretmektedir.

Şekil 2’de görüldüğü gibi kojenerasyon sistemi ocak ayında gerekli olan ısı enerjisinin yalnızca %9,1’ini karşılayabilmiştir. Geriye kalan ısı enerjisi mevcut kullanılan sistemden karşılanacaktır.



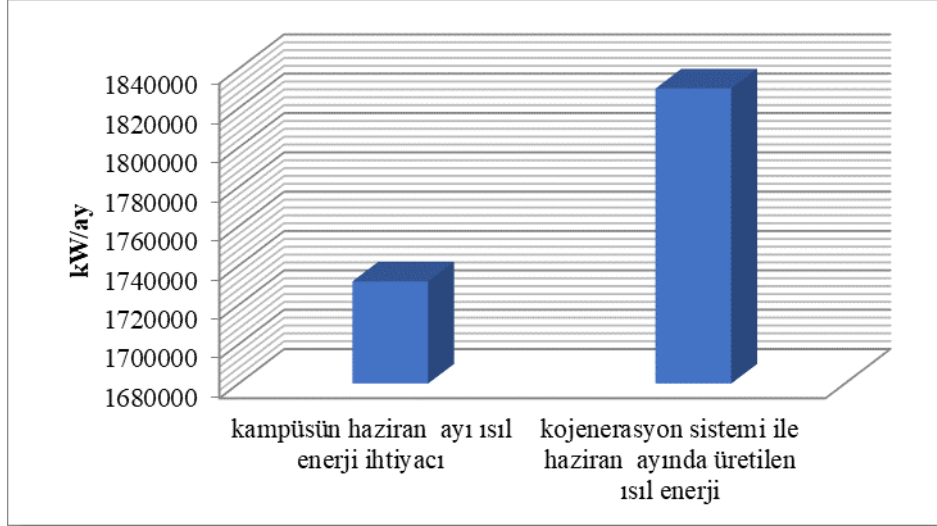
Şekil 2. Ocak ayında tesisin ısıtma enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

Şekil 3'te görüldüğü gibi haziran ayında kampüsün elektrik enerjisi ihtiyacı yaklaşık 2,490,299 kWh ve kojenerasyon sisteminden üretilen elektrik enerjisi 2,340,117 kWh'tir. Yani kojenerasyon sistemi Haziran ayında gerekli olan elektrik enerjisinin yaklaşık %94'ünü üretmektedir.



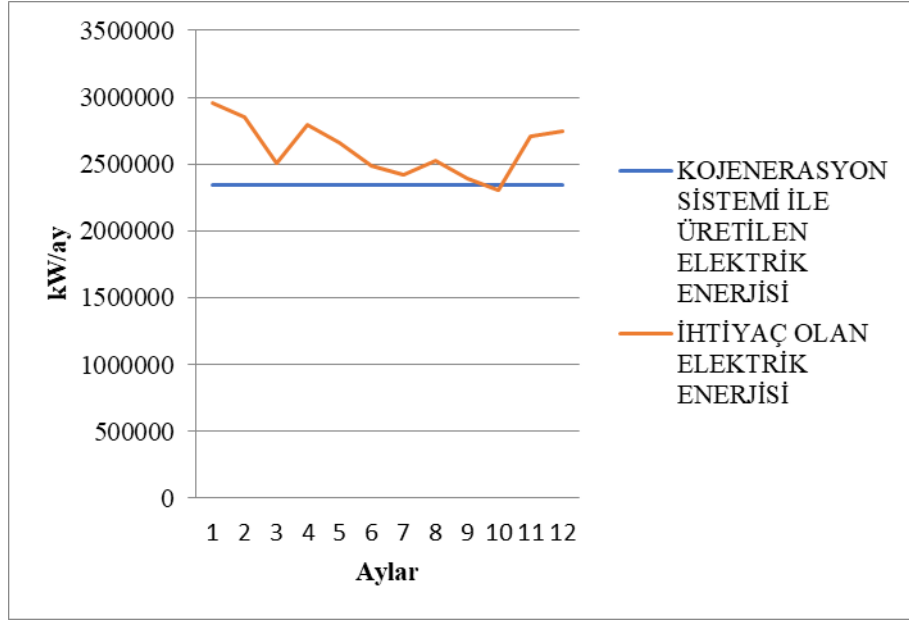
Şekil 3. Haziran ayında tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

Şekil 4'te kojenerasyon sisteminin haziran ayında ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisinin tamamını karşıladığı görülmektedir.



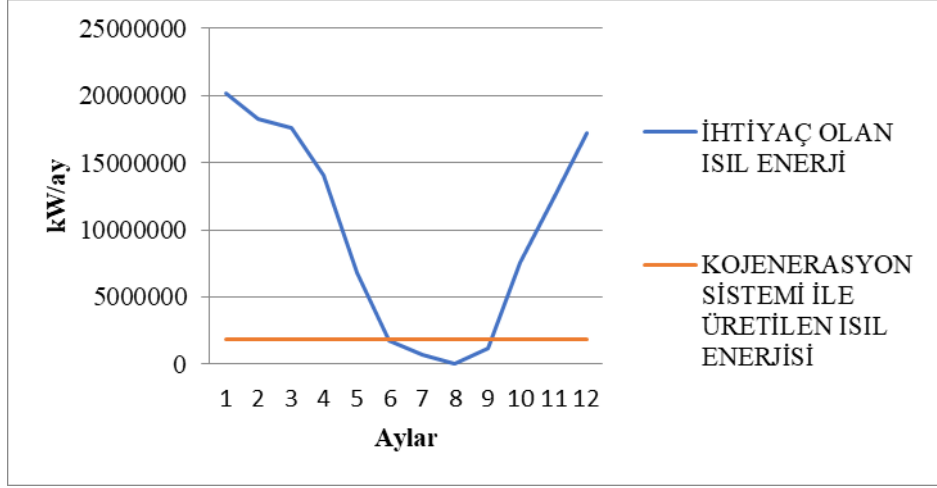
Şekil 4. Haziran ayında tesisin ısı enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

Şekil 5'te ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin çok büyük bir kısmının (%91.9) kojenerasyon sistemi ile üretileceği görülmektedir.



Şekil 5. Kojenerasyon sistemi ile üretilen elektrik enerjisinin ihtiyacı karşılama mukayesesi

Ancak elde edilen sonuçlara göre şekil 6'da görüldüğü gibi Atatürk Üniversitesi kampüsünün ihtiyaç duyduğu ısı enerjinin yalnızca bir kısmı (%18.6) sistem tarafından karşılanabilecektir.



Şekil 6. Kojenerasyon sistemi ile üretilen ısı enerjinin ihtiyacı karşılama mukayesesi

Kojenerasyon sistemini kurmak için karar vermeden önce ekonomik analiz yapılması gerekmektedir. Bu analizin sonucuna göre karar vermek oldukça önemlidir. Analizde dikkate alınması gereken hususlar;

- Satın alınan elektriğin birim maliyeti,
- Satın alınan yakıtın (doğalgaz) birim maliyeti,
- Yağlama yağı birim maliyeti,
- Bakım giderleri,
- Personel giderleri,
- Tesis sigorta bedeli ve vergiler,
- Kojenerasyon sistemi için yapılacak olan yatırım giderleridir.

Tablo 10’da kojenerasyon sisteminin üreteceği yıllık elektrik enerjisi, ısı enerjisi, doğalgaz tüketimi, yağlama yağı tüketimi değerleri ve alınan elektrik enerjisinin birim fiyatı, doğalgazın birim fiyatı, yağlama yağının birim fiyatı verilmiştir.

Tablo 10. Yıllık Santral İşletme Değerleri

İşletme Yılları	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl
Net elektrik üretimi kWh/yıl	28,800,000	28,800,000	28,800,000	28,800,000	28,800,000	28,800,000	28,800,000
Tüketilen elektrik miktarı kWh/yıl	28,800,000	28,800,000	28,800,000	28,800,000	28,800,000	28,800,000	28,800,000
Net atık ısı kazanımı kWhth	29,280,000	29,280,000	29,280,000	29,280,000	29,280,000	29,280,000	29,280,000
Tüketilen ısı enerjisi kWhth (%75)	21,960,000	21,960,000	21,960,000	21,960,000	21,960,000	21,960,000	21,960,000

Doğalgaz tüketimi Nm³	6,945,620	6,945,620	6,945,620	6,945,620	6,945,620	6,945,620	6,945,620
Yağlama yağı tüketimi ton	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32
Tüketilen elektriğin fiyatı €/kWh	0,09160	0,09160	0,09160	0,09160	0,09160	0,09160	0,09160
Doğlagazın fiyatı €/1000Nm³	257,6	257,6	257,6	257,6	257,6	257,6	257,6
Yağlama yağı fiyatı €/ton	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500

Tablo 11’de kojenerasyon santrali ile birlikte işletmenin gelirleri verilmiştir.

Tablo 11. İşletme Gelirleri

İşletme yılları	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl
Tüketilen elektrik geliri (€)	2,572,128	2,572,128	2,572,128	2,572,128	2,572,128	2,572,128	2,572,128
Satılan elektrik geliri (€)	0	0	0	0	0	0	0
Atık ısıdan kazanılan gelir (€)	657,951	657,951	657,951	657,951	657,951	657,951	657,951
Toplam gelirler Euro	3,230,079	3,230,079	3,230,079	3,230,079	3,230,079	3,230,079	3,230,079

Tablo 12’ de işletme giderleri verilmiştir.

Tablo 12. İşletme Giderleri

İşletme Giderleri (€)	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl
Doğalgaz gideri	1,788,895	1,788,895	1,788,895	1,788,895	1,788,895	1,788,895	1,788,895
Yağlama yağı giderleri	15,120	15,120	15,120	15,120	15,120	15,120	15,120
Bakım giderleri	168,000	168,000	168,000	168,000	168,000	168,000	168,000
Personel giderleri	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000
Tesis sigorta bedeli %0.25	3,925	3,925	3,925	3,925	3,925	3,925	3,925
Toplam işletme gideri	2,005,940	2,005,940	2,005,940	2,005,940	2,005,940	2,005,940	2,005,940

Tablo 13’te kojenerasyon santrali ile oluşacak proje kazancı (gelir gider farkı) verilmiştir.

Tablo 13. Proje Kazancı

İşletme yılları	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl
Toplam işletme gelirleri (Euro)	3,230,079	3,230,079	3,230,079	3,230,079	3,230,079	3,230,079	3,230,079
Toplam işletme giderleri (Euro)	2,005,940	2,005,940	2,005,940	2,005,940	2,005,940	2,005,940	2,005,940
İşletme karı (Euro)	1,224,139	1,224,139	1,224,139	1,224,139	1,224,139	1,224,139	1,224,139
Yatırımın hurda bedeli Euro %10	-	-	-	-	-	-	185,260

Proje Sahası Teslim Fiyatı: 1,593,000 Euro (KDV dahil)

Step-up Trafo ve OG Şalt Tesis: 259,600 Euro (KDV dahil)

Santral Binası, Genset, Trafo ve kabin temelleri ve yeraltı kanalları gibi tüm inşaat işleri: 200,000 Euro

Yerel ve merkezi makamlardan tüm izin ve lisans işleri: 10,000 Euro

Kapsam dışı borulama ve kablolama işleri: 100,000 Euro

Motor gaz girişine kadar doğalgaz boru hattı döşenmesi işi: 15,000 Euro

Tesis içi, gerekli olabilecek kompanzasyon işlemleri: 20,000 Euro

Ön görülmeyen giderler %10: 219,760 Euro

Toplam İlk Yatırım Maliyeti: 2,417,360 Euro

Kojenerasyon sisteminin kurulmasına karar vermek için kullanılacak ekonomik analiz yöntemleri:

-Geri Ödeme Süresi (GÖS)

-Net Bugünkü Değer (NBD)

-Fayda Maliyet Analizi (F/M)

-Geri Ödeme Süresi İle Ekonomik Analiz:

Bu yöntem, ekonomik ömür içinde anaparanın ve faiz giderlerinin ne kadar zamanda geri alınabileceğini ölçen ve yatırımın ne kadar süre işletme lehine işletilebileceğini gösteren, zaman ölçümüne dayalı bir metottur.

Teknolojik ilerlemenin hızlı olduğu sektörlerde (elektronik, silah, bilgisayar, kamera, vb.) bu yöntem çok önemlidir. Bu sektörlerde piyasaya çıkan ürünün ne kadar süre ile üretileceği ve pazarlanacağı aşağı yukarı hesaplanmış durumdadır. Üretilen ürünün hayat seyri içerisinde yatırımı geri ödemesi gerekir. Aksi takdirde teknolojik yenilikler ve yeni ürünler yatırımı zararlı hale getirebilir.

Geri ödeme süresi herhangi bir yatırıma ait anaparanın ne kadar sürede geri alınacağını gösterir. Bu metot projenin kabulü veya reddi konusunda kesin sonuç vermez. Sadece yatırımcıyı yönlendirebilir. Geri ödeme süresi 3 yıl veya 3 yıldan az ise yatırım kabul edilebilir aksi halde yatırım reddedilir. Projenin getirisinin bulunması için NBD, NGD, KI, İ* metotlarının kullanılması gerekir. Geri ödeme süresi metodu bu metotlara yardımcı bir metottur.

$$GÖS = \frac{YT}{GGF}$$

(1)

$$GÖS = \frac{2,417,360}{1,224,139}$$

23,7 ay yani yaklaşık 2 yıl olarak hesaplanır.

-Net Bugünkü Değer İle Ekonomik Analiz (NBD):

NBD, yatırımın nakit girişlerinin bugünkü değerinden (BD_H) nakit çıkışlarının bugünkü değerinin (BD_G), çıkarılmasıyla hesaplanır. Şayet sonuç pozitif değer ise kabul edilir, negatif değer ise proje reddedilir. Yani;

$NBD > 0$ ise proje kabul edilir,

$NBD = 0$ ise durum farksızdır herhangi bir yatırıma gerek yoktur,

$NBD < 0$ ise proje reddedilir.

$$NBD = BD_H - BD_G = -C + \sum \frac{F_1}{(1+i)} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (2)$$

2020 yılı ortalama faiz oranının ülkemizde %12, yatırımın ekonomik ömrünün 15 yıl olduğu düşünülürse;

$$NBD = BD_H - BD_G = -2,417,360 + \sum \frac{1,224,139}{(1+0,12)} + \frac{1,224,139}{(1+0,12)^2} + \dots + \frac{1,224,139}{(1+0,12)^{15}}$$

$$NBD = 2,193,038 \text{ Euro}$$

$NBD > 0$ olduğundan yatırım kabul edilir.

-Fayda Maliyet Analizi:

Fayda maliyet oranı yatırımın ömrü boyunca sağlayacağı girdilerin bugünkü değerlerinin, bu yatırım için yapılan harcamaların bugünkü değerine oranıdır. Bu analizde yatırımın kabul edilebilmesi için F/M oranının 1 den büyük olması gerekmektedir.

$$F/M = \frac{\left[\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} \right] + \frac{H}{(1+r)^{n+1}}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (3)$$

$$F/M = \frac{\left[\sum_{t=1}^{15} \frac{3,230,079 \cdot (1+0.09)^t}{(1+0.12)^t} \right] + \frac{185.260}{(1+0.12)^{16}}}{\sum_{t=1}^{15} \frac{2,005,940 \cdot (1+0.09)^t}{(1+0.12)^t} + 2,417,360}$$

F/M= 1,568 olarak hesaplanır. 1’den büyük olduğu için yatırım kabul edilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi kampüsü için kurulması planlanan kojenerasyon santralinin ekonomik analizi yapılmıştır. Kojenerasyon sistemi seçiminde Atatürk Üniversitesi kampüsünün elektrik tüketimi, E/I (Elektrik/Isı) oranı ve gerekli ısı enerjisi miktarının yıl içinde aşırı değişkenlik göstermesi etkili olmuştur. Ayrıca bu çalışmada soğuk iklim bölgelerinde elektrik/ısı oranından faydalanılamayacağı kanaatine varılmıştır. Bunun nedeni bu bölgelerde kış aylarında duyulan ısı ihtiyacının elektrik ihtiyacından oldukça fazla olmasıdır. Yaz aylarında ise ısı ihtiyacı neredeyse hiç yoktur. Türbinli sistemlerin kurulum maliyetinin fazla olması ve kampüsün ısı ihtiyacının yıl içinde değişkenlik göstermesi, doğalgaz motorlu sistemin seçilmesini etkilemiştir. Aylık tüketimlerin en çok ve en az olduğu aylar dikkate alınarak motor gücü belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre 2 adet MWM marka TCG 2020 V20 model doğalgaz motorlu sistem seçilmiştir.

Atatürk Üniversitesi’ne ait bir yıllık enerji tüketim değerlerine göre kampüsün yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının 31,352,552 kW olduğu görülmüştür. Yıllık 12,282,914 m³ doğalgaz harcamasına denk gelen eş değer enerji tüketiminin 117,621,184 kW olduğu görülmüştür. Bu sistemle yıllık 28,800,000 kW elektrik üretililecektir.

Seçilen sistem için çeşitli ekonomik analiz yöntemleri uygulanmıştır. Geri ödeme süresi analizinde geri ödeme süresi yaklaşık 2 yıl olarak bulunmuştur. Bu süre gayet makul kabul edilmektedir. Ancak geri ödeme süresi analizi tek başına anlamlı sonuç vermemektedir. Sistemin değerlendirilmesi için yapılan diğer analiz paranın bugünkü değeri üzerinden yapılmıştır. Bu analiz sonucu da olumludur ve yatırımın yapılmasını desteklemektedir. Son olarak fayda/maliyet analizi yapılmış ve bu analiz de yatırımın yapılmasını desteklemiştir.

Kojenerasyon sistemlerinin bölgesel ısıtma yapılan kampüslerde, alışveriş merkezlerinde, hastanelerde, toplu konut projelerinde, büyük ölçekli otellerde, havaalanlarında uygulanması için

desteklenmelidir. Kojenerasyon sistemleri enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı olan ülkemiz için hem ekonomik hem de çevresel olarak katkı sağlayacaklardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Abbaspour H., Ehyaei M.A., Ahmadi A., Panahi M., Abdalisousan A., Mirzohosseini A. Energy, exergy, economic, exergoenvironmental and environmental (5E) analyses of the cogeneration plant to produce electrical power and urea. *Energy Conversion and Management*; 2021; 235: 113951.
- Adıgüzel N., Comaklı O., Ekmekci I., Pusat S. Economical evaluation of a cogeneration system for a building complex. *Advances in Mechanical Engineering*; 2015; 7(3): 1687814015575951.
- Caglayan H., Caliskan H. Thermodynamic based economic and environmental analyses of an industrial cogeneration system. *Applied Thermal Engineering*; 2019; 158: 113792.
- Chen H., Wang Y., Li J., Xu G., Lei J., Liu T. Thermodynamic analysis and economic assessment of an improved geothermal power system integrated with a biomass-fired cogeneration plant. *Energy*; 2022; 240: 122477.
- Darabadi Zareh A., Khoshbakhti Saray R., Mirmasoumi S., Bahlouli K. Extensive thermodynamic and economic analysis of the cogeneration of heat and power system fueled by the blend of natural gas and biogas. *Energy Conversion and Management*; 2018; 164: 329-343.
- Ebrahimi A., Ghorbani B., Ziabasharhagh M. Exergy and economic analyses of an innovative integrated system for cogeneration of treated biogas and liquid carbon dioxide using absorption–compression refrigeration system and ORC/Kalina power cycles through geothermal energy. *Process Safety and Environmental Protection*; 2022; 158: 257-281.
- Jordán PS., Javier Eduardo AM., Czerwiec Zdzislaw M., Guzman Alan Martin Z., Perez Liborio H., Zamudio Jesus Antonio F., Guillen Mario Roman D. Techno-economic analysis of solar-assisted post-combustion carbon capture to a pilot cogeneration system in Mexico. *Energy*; 2019; 167: 1107-1119.
- Kabacan T. Bölgesel ısıtma yapılan yerleşkelerde ısı merkezlerine kojenerasyon sisteminin entegrasyonu ve Muş Alparslan Üniversitesi Kampüsü Örneği, Fen Bilimleri Enstitüsü; Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye, 2019.

- Kanbur BB., Xiang L., Dubey S., Hoong Choo F., Duan F. A micro cogeneration system with LNG cold utilization-part 1: Energetic, Economic and Environmental Analyses. *Energy Procedia*; 2017; 105: 1902-1909.
- Karana DR., Sahoo RR. Thermal, environmental and economic analysis of a new thermoelectric cogeneration system coupled with a diesel electricity generator. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*; 2020; 40: 100742.
- Karellas S., Braimakis K. Energy–exergy analysis and economic investigation of a cogeneration and trigeneration ORC–VCC hybrid system utilizing biomass fuel and solar power. *Energy Conversion and Management*; 2016; 107: 103-113.
- Li P., Hu Q, Sun Y., Han Z. Thermodynamic and economic performance analysis of heat and power cogeneration system based on advanced adiabatic compressed air energy storage coupled with solar auxiliary heat. *Journal of Energy Storage*; 2021; 42: 103089.
- Li ZX., Ehyaei MA., Ahmadi A., Jamali DH., Kumar R., Abanades S. Energy, exergy and economic analyses of new coal-fired cogeneration hybrid plant with wind energy resource. *Journal of Cleaner Production*; 2020; 269: 122331.
- Mosaffa AH., Farshi LG., Khalili S. A novel enhanced ammonia-water power/cooling cogeneration system with dual level cooling temperature: Thermodynamic and economic assessments. *Energy Conversion and Management*; 2021; 244: 114530.
- Urbanucci L., Testi D. Integration of reversible absorption heat pumps in cogeneration systems: Exergy and economic assessment. *Energy Conversion and Management*; 2019; 200: 112062.
- Vialetto G., Noro M., Rokni M. Combined micro-cogeneration and electric vehicle system for household application: An energy and economic analysis in a Northern European climate. *International Journal of Hydrogen Energy*; 2017; 42(15): 10285-10297.