Doğalgazdan Hidrojen Üretimi: SMR Proses Simülasyonu, Rafineri Emisyon Yönetimi ve Güneş Enerjisi ile Ekonomik ve Çevresel Değerlendirme

Hydrogen Production from Natural Gas: SMR Process Simulation, Refinery Emission Management, and Economic and Environmental Assessment with Solar Energy

Hamdi Hakan OKUMUS[1], Ali DURUSU[2]

[*]: hakan_okm@live.com, ORCID: 0000-0000-0000-0000

[1]: *Fen Bilimleri Enstitüsi /Enerji Teknolojileri ABD/Enerji Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*

[2:]*Department of Electrical Engineerig, Yildiz Technical University, 34220, İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Su-buharı metan reformasyonu (Steam Methane Reforming - SMR), su buharı ve metanı kullanarak hidrojen gazının üretildiği bir süreçtir. Bu çalışmada, SMR yöntemi ve kullanılan katalizörler teorik olarak incelenmiş ve SMR ile hidrojen gazı üreten bir proses Aspen Plus® v11 yazılımında modellenmiştir. Sonrasında elde edilen sonuçların ekonomik ve çevresel analizi yapılmıştır.

Geçmişten günümüze hidrojen sentezinde kullanılan birçok katalizör incelenmiş olup, ticari olarak en yaygın kullanıma sahip olan nikel katalizörlerinin detaylı incelenmesi yapılmıştır. Bunun sonucunda model proseste geniş spektrumlu çalışma koşulları ve geniş ürün dağılımı sebebiyle Ni4AlCe katalizörü tercih edilmiştir. Proseste doğal gaz ve dietanolamin bileşikleri kullanılmıştır. Reaksiyonun gerçekleşmesi amacıyla sabit yataklı çok tüplü bir reaktör kullanılmış, bunun sonucunda doğal gaz, dietilamin ve oluşan hidrojen gazının dönüşüm oranları hesaplanmıştır. Ayrıca bu verilere dayanarak hidrojenin oluşum yüzdesi bulunmuştur. Prosesin son aşamasında elde edilen sentez gazı karışımı, destilasyon ünitesinde fraksiyonlarına ayrılarak yüksek saflıkta hidrojen gazı olarak tüplere doldurulup satışa sunulmuştur.

SMR prosesi, metanın yaklaşık %80-85 oranında hidrojene dönüşümünü sağlamaktadır. Geri kalan metan ve su, sistemde yeniden kullanılmak üzere depolanmaktadır. Bu durum enerji verimliliğini artırarak çevresel sürdürülebilirliği sağlamaktadır.

Doğal gaz kullanımı ile yıllık olarak belirli miktarda hidrojen üretilmiş ve bu üretimden elde edilen gelirler hesaplanmıştır. İlk yıl 379.307.277 m³ doğal gaz kullanılarak 103.045.896 kg hidrojen üretilmiş ve bu üretimden 309.137.688 dolar gelir elde edilmiştir. İkinci yıl, %90 kapasite ile çalışarak 92.741.306,4 kg hidrojen üretilmiş ve 278.223.919,2 dolar gelir elde edilmiştir. Üçüncü yıldan itibaren, %100 kapasite ile çalışarak 103.045.896 kg hidrojen üretilmiş ve 309.137.688 dolar yıllık gelir elde edilmiştir. Hidrojenin kilogram başına satış fiyatı ortalama 3 dolar olarak varsayılmıştır.

Tesisin toplam sabit sermaye yatırımı 163.267.032 dolar olarak belirlenmiştir. İlk yıl işletme ve kurulum maliyetleri 101.838.332,5 dolar, ikinci yıl 94.004.498,8 dolar ve üçüncü yıl 31.333.833,7 dolar olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisi sisteminin kurulumu ve bakımı, ilk yıl 27.380.756 dolar, ikinci yıl 21.904.605 dolar ve üçüncü yıldan itibaren 5.476.151 dolar olarak belirlenmiştir. Güneş enerjisi kullanımı, tesisin enerji maliyetlerini büyük ölçüde azaltmış ve Kapsam 2 emisyonlarını nötralize etmiştir.

Yapılan ekonomik analizler, yatırım maliyetleri, işletme giderleri ve yıllık enerji ihtiyaçlarını kapsamaktadır. Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonlarının değerlendirilmesi sonucu, güneş

enerjisi kullanımıyla Kapsam 2 emisyonlarının nötralize edildiği tespit edilmiştir. Tesisin kümülatif nakit akışı, dördüncü yıl itibarıyla başa baş noktasına ulaşmış ve sonraki yıllarda sürekli kar elde etmiştir. Bu çalışma, hidrojen üretiminde SMR yönteminin ve güneş enerjisi kullanımının ekonomik ve çevresel faydalarını ortaya koymakta olup, mevcut ve gelecekteki enerji projeleri için önemli bir referans teşkil etmektedir. Aynı zamanda, mevcut SMR rafinerilerinin gri hidrojenden mavi hidrojene geçiş yapabilmesi için gerekli teknolojik ve ekonomik altyapıyı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler — *Hidrojen Üretimi, Steam Methane Reforming (SMR), Ekonomik Analiz, Çevresel Analiz, Güneş Enerjisi*

ABSTRACT

Steam Methane Reforming (SMR) is a process that produces hydrogen gas using steam and methane. In this study, the SMR method and the catalysts used in the process were theoretically examined, and a hydrogen production process using SMR was modeled using Aspen Plus® v11 software. The economic and environmental analyses of the obtained results were then conducted.

Various catalysts used in hydrogen synthesis from past to present were examined, with a detailed analysis of nickel catalysts, which are the most commonly used commercially. Consequently, due to its broad operational range and wide product distribution, the Ni4AlCe catalyst was chosen for the model process. Natural gas and diethanolamine compounds were used in the process. A fixed-bed multitubular reactor was employed to facilitate the reaction, and the conversion rates of natural gas, diethanolamine, and the resulting hydrogen gas were calculated. Additionally, the hydrogen formation percentage was determined based on these data. In the final stage of the process, the synthesis gas mixture was fractionated in a distillation unit to obtain high-purity hydrogen gas, which was then bottled and made available for sale.

The SMR process achieves approximately 80-85% methane-to-hydrogen conversion. The remaining methane and water are stored for reuse in the system, enhancing energy efficiency and environmental sustainability.

The annual hydrogen production and the revenues generated from this production were calculated based on natural gas consumption. In the first year, 379.307.277 m³ of natural gas was used to produce 103.045.896 kg of hydrogen, resulting in a revenue of $309.137.688. In the second year, operating at 90% capacity, 92.741.306,4 kg of hydrogen was produced, generating $278.223.919,2 in revenue. From the third year onward, operating at 100% capacity, 103,045,896 kg of hydrogen was produced annually, resulting in $309.137.688 in revenue each year. The average selling price of hydrogen was assumed to be $3 per kilogram.

The total fixed capital investment for the facility was determined to be $163.267.032. The operating and installation costs were $101.838.332,5 in the first year, $94,004,498.8 in the second year, and $31.333.833,7 in the third year. The installation and maintenance costs of the solar energy system were $27.380.756 in the first year, $21.904.605 in the second year, and $5.476.151 from the third year onward. The use of solar energy significantly reduced the facility's energy costs and neutralized Scope 2 emissions.

Economic analyses included investment costs, operating expenses, and annual energy needs. The assessment of Scope 1 and Scope 2 emissions revealed that using solar energy neutralized Scope 2 emissions. The cumulative cash flow of the facility reached the break-even point in the fourth year and achieved sustained profitability in subsequent years. This study demonstrates the economic and environmental benefits of the SMR method and solar energy use in hydrogen production, providing a valuable reference for current and future energy projects. It also offers the necessary technological and economic infrastructure for existing SMR refineries to transition from grey hydrogen to blue hydrogen.

Keywords- *Hydrogen Production, Steam Methane Reforming (SMR), Economic Analysis, Environmental Analysis, Solar Energy*