

Ann-Based Economic Analysis Of A Geothermal Energy Assisted Hydrogen Generation System On Fpga

Ceyhun YILMAZ
Afyon Kocatepe University,
Turkey
ceyhunyilmaz@aku.edu.tr

İsmail KOYUNCU
Afyon Kocatepe University,
Turkey
ismailkoyuncu@aku.edu.tr

Murat TUNA
Kırklareli University,
Turkey
murat.tuna@klu.edu.tr

Murat ALÇIN
Afyon Kocatepe University,
Turkey
muratalcin@aku.edu.tr

Abstract

In this study, the economic analysis of a geothermal energy assisted hydrogen production system has been performed using Artificial Neural Networks (ANN) in real time on Field Programmable Gate Array (FPGA). During the modeling of the system in computer environment, a liquid geothermal resource with a temperature of 200 °C and a flow rate of 100 kg/s is used for electricity generation and this electricity is used as a work input in the electrolysis unit to split of water into the hydrogen and oxygen. In the designed system, the net work produced from the geothermal power cycle, the overall exergy efficiency of the system, the unit cost of the produced hydrogen and the simple payback period of the system (N_{sbp}) have been calculated as 7978 kW, 46.6%, 1.088 \$/kg H₂ and 4.096 years, respectively. In the second stage of the study, Feed-Forward ANN (FFANN) model with a single hidden layer has been used for modeling the system. The activation functions of hidden layer and output layer are Tangent Sigmoid and Linear functions, respectively. 45 data sets have been used for learning while 15 data sets have been used for testing. In the last stage of the study, geothermal energy assisted hydrogen generation system has been implemented on FPGA using the Matlab-based FFANN model of the system as a reference. 32-bit IEEE-754-1985 floating point format has been used in VHDL for the design. The implemented unit has been synthesized for the *Xilinx* VIRTEX-6 chip using Xilinx ISE Design Suite. After the Place and Route process, the maximum operating frequency and chip statistics of the FPGA-based geothermal energy assisted hydrogen production system designed unit have been presented.

Keywords: Geothermal energy, hydrogen production, Artificial Neural Networks, Field Programmable Gate Arrays

Fpga Üzerinde Jeotermal Enerji Destekli Hidrojen Üretim Sisteminin Ysa İle Ekonomik Analizi

Özet

Bu çalışmada, FPGA çipleri üzerinde jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi gerçek zamanlı olarak yapay sinir ağları ile modellenmiştir. Çalışmada, sistemin bilgisayar ortamında modellenmesinde, elektrik elektroliz ünitesinde suyun hidrojen ve oksijene parçalanmasında gerekli elektrik işini sağlamak için 200°C sıcaklık ve 100 kg/s debiye sahip sıvı bir

jeotermal kaynak kullanılmıştır. Tasarımı yapılan sistemde jeotermal güç çevriminden üretilen net iş 7978 kW, sistemin genel ekserji verimi 46.6%, üretilen hidrojenin birim maliyeti 1.088 \$/kg H₂ ve sistemin geri ödeme süresi (Nsbp) 4.096 yıl olarak hesaplanmıştır. İkinci aşamada, sistemin Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modellenmesi için tek gizli katmana sahip ileri beslemeli YSA modeli kullanılmıştır. YSA gizli katmanında aktivasyon fonksiyonu olarak Tanjant Sigmoid Aktivasyon fonksiyonu ve çıkış katmanında ise Purelin aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. YSA modellemesi aşamasında 45 veri seti eğitim için ve 15 veri seti test için ile kullanılmıştır. Son aşamada ise Matlab-tabanlı ileri beslemeli YSA modeli referans alınarak, jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sistemi FPGA çipleri üzerinde çalışmak üzere 32-bit kayan noktalı sayı standardı ile ünitesi VHDL dilinde kodlanmıştır. Ünite Xilinx ISE Design Suite programı kullanılarak VIRTEX-6 çipi sentezlenmiştir. Place ve Route işleminin ardından FPGA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin maksimum çalışma frekansı ve çip istatistikleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, hidrojen üretimi, Yapay Sinir Ağları, FPGA.

GİRİŞ

Günümüzde üzerinde yoğun bir şekilde çalışmalar yapılan ve literatürdeki güncel çalışma alanlarından birisi olan Yapay Sinir Ağları (YSA (Artificial Neural Networks)) görüntü işleme uygulamaları (Huang vd., 2008), kaotik sistem tasarımı (Alçın vd., 2016; koyuncu vd., 2017), kontrol (Le ve Jeon, 2010), optimizasyon (Lin ve Tsai, 2008), sınıflandırma sistemleri (Polat ve Yıldırım, 2010), senkronizasyon (Shen vd., 2014) ve tahmin (Nath vd., 2016) gibi birçok alanda kullanılabilir. Yazılım ve donanım tabanlı olarak iki farklı yöntem ile modellenen YSA, giriş-katmanı, gizli-katman ve çıkış-katmanı olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. YSA'nın gizli-katman ve çıkış-katmanında bulunan en önemli yapı aktivasyon/transfer fonksiyonudur. YSA'da kullanılan aktivasyon fonksiyonları doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (non-lineer) aktivasyon fonksiyonları olarak iki bölüme ayrılmaktadır. Doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları üstel (exponential) işlemler içerdiğinden bu aktivasyon fonksiyonlarının donanımsal gerçeklenmeleri yazılım tabanlı uygulamalara göre daha zor bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Donanım-tabanlı YSA uygulamaları için literatürde birçok platform kullanılabilir. Bu platformlara ASIC (Application Specific Integrated Circuits (Uygulamaya Özel Tümlü Devreler) (Rieger ve Deng, 2013), DSP (Digital Signal Processor (Sayısal Sinyal İşlemci)) (Kim vd., 2003), CNN (Cellular Neural Network (Hüresel Sinir Ağı)) (Kim vd., 2013) ve FPGA (Field Programmable Gate Array (Alan Programlanabilir Kapı Dizileri)) çipleri (Sahin ve Koyuncu, 2017) örnek olarak verilebilir. FPGA çiplerinin diğer platformlara göre oldukça fazla avantajları bulunmaktadır. Örneğin DSP platformları seri olarak işlem yaparken FPGA çipleri işlemleri paralel olarak işleyebilmektedir. ASIC platformları sadece bir defa programlanabilirken FPGA platformları ise tekrar tekrar programlanabilmektedir. Ayrıca FPGA'lerin maksimum çalışma frekansları ve donanım kapasiteleri gün geçtikçe artmaktadır. Bu gibi nedenlerden dolayı FPGA platformları gerçek zamanlı YSA uygulamalarında sıkça tercih edilmektedir.

Hidrojen, bir enerji kaynağı değildir, bir enerji taşıyıcısıdır. Hidrojenin üretimi, depolanması ve kullanımı ile ilgili teknik problemler vardır ve bu alanlarda çok sayıda bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Hidrojen, mevcut enerji kaynaklarından ve enerji tüketilerek üretilmektedir. Sürdürülebilir bir enerji geleceğinde hidrojenin mutlaka yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesi gerekmektedir. Güneş ve rüzgâra ilave olarak jeotermal enerjinin de hidrojen üretiminde kullanılması ve bunun hangi metotlarla yapılması gerektiği önemli araştırma konularından biridir. Bu çalışmada, hidrojenin jeotermal enerji kullanılarak üretimi dikkate alınmıştır. Hidrojen, jeotermal kaynaktan üretilen elektriğin kullanıldığı bir elektroliz yöntemi ile üretilmiştir.

Hidrojenin enerji içeriği bakımından ve kullanımda çevresel etkilerinden dolayı avantajlı bir yakıt türüdür. Enerji içeriği termodinamik olarak fosil yakıtlardan yaklaşık üç kat daha fazladır. Ayrıca kullanımında emisyon olarak sadece su ve/veya su buharı oluşur. İkincil bir enerji kaynağı durumunda olan hidrojenin yenilenebilir enerji kaynakları ile elde edilebilir olması, bu yakıt türünü geleceğin en önemli enerji taşıyıcısı konumuna getireceği kabul edilmektedir. Hidrojen, suyun ve temiz enerji kaynaklarının olduğu her yerde potansiyel olarak mevcuttur (Yılmaz, 2017). Hidrojenin gelecekte azalan benzin kaynaklarının yerini alabilecek muhtemel bir yakıt olduğu düşünülmektedir. Bu uygulama için yanmalı motorlarda bir yakıt olarak ya da yakıt pili teknolojisinin taşıtların tahrikinde

içten yanmalı motorların yerini alması durumunda, yakıt pillerinde kullanım şeklinde olabilir. Hidrojen içten yanmalı motor yakıtı olarak yüksek oktan sayısına sahiptir. Ve hidrojenin yakılması durumunda CO, CO₂ ve HC emisyonları oluşmaz. Hidrojeni kullanışlı bir yakıt haline getirmek için çözülmesi gereken, hidrojenin üretilmesi, depolanması ve yakıt ikmali gibi temel problemler vardır (Yılmaz, 2018).

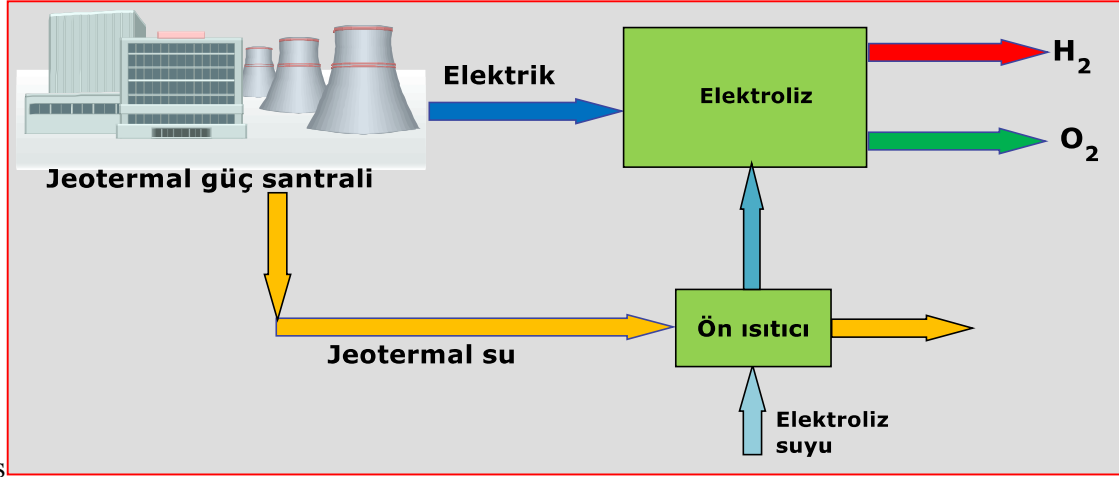
Hidrojen üretim yöntemlerinin başında suyun elektrolizi gelmektedir. Elektroliz için gerekli elektrik fosil yakıtlardan, hidroelektrik kaynaktan, nükleer güçten, jeotermal, güneş ve rüzgâr enerjilerinden elde edilebilir. Burada, kullanılacak olan elektriğin üretimindeki yöntem çok önemlidir. Çünkü amaç çevre kirliliğinin azaltılması iken, geleceğin enerjisini çevreye zararlı olan bir yöntemle elektrik üretmeye çalışmak uygun olmayacaktır. Kömür ve doğalgazdan konvansiyonel metotlarla hidrojen üretiminde ise açığa çıkan emisyonların etkileri az da olsa önemini koruyacaktır. Bu etkilerin en aza indirilebilmesi için hidrojen üretiminde jeotermal, güneş ve rüzgâr enerjileri gibi doğrudan yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması bir avantaj olabilecektir (Yılmaz vd., 2015).

Bu çalışmada, jeotermal enerjiden birleşik püskürtmeli binary güç çevrimi ile elde edilen elektrik Alkali elektroliz ünitesinde kullanılarak hidrojenin üretildiği bir model tasarlanmıştır. Bu modelin, detaylı termodinamik analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Termal sistemlerin modellenmesinde çok farklı mühendislik yöntemleri kullanılabilir. Literatürde de mevcut birçok yöntem vardır. Bu alan ile ilgili mevcut literatür çalışmaları, konvansiyonel analizlere dayalı olarak yapılmış ve üretilebilecek hidrojen miktarı üzerinedir. Bu çalışmada, belli sıcaklık ve debiye sahip bir jeotermal kaynaktan üretilen elektrik ile bir elektroliz ünitesinden üretilen hidrojenin miktarı, termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları dikkate alarak incelenmiştir. Yani, seçilen metodun yanında, sistemden üretilen elektrik ve hidrojenin birim ekserjetik maliyetleri ve hidrojenin pazar maliyetini de içeren yaşam döngü maliyet analizleri yapılmıştır. Gerekli olan bazı iyileştirmeler ile termodinamik ve ekonomik parametreler de detaylı olarak araştırılmıştır. Modellenen jeotermal destekli hidrojen üretimi sisteminin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu kombine sistemden üretilebilecek birim hidrojenin miktarı ve maliyeti incelenmiştir. Bu miktara jeotermal güç çevriminde kullanılan kaynak suyun sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, jeotermal kaynak su sıcaklığı değişiminin üretilen hidrojenin miktarı ve maliyeti üzerindeki etkisi de incelenmiştir. FPGA çiplerinde çalışmak üzere jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi gerçek zamanlı olarak yapay sinir ağları ile modellenmiştir. Çalışmanın İkinci Bölümü'nde, jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sistemi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü Bölüm'de sistemin YSA ile modellenmesi için tek gizli-katmana sahip ileri beslemeli YSA modeli tanıtılmış ve FPGA-tabanlı YSA uygulaması ile ilgili sonuçlar sunulmuştur. Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

HİDROJEN ÜRETİM SİSTEMİ

Bu çalışma kapsamında yapılması özetlenen çalışmalar bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla sistemdeki akışkanların termo-fiziksel özellikleri yerleşik olan ve temel termodinamik hesaplamalara izin veren EES (Engineering Equation Solver) programı ile mühendislik sistemlerin detaylı ekonomik analizi ve değerleri içeren Aspen Plus programı kullanılmıştır. Bu çalışmamızda düşünülen modelin temel şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Jeotermal güç santralinde üretilen elektrik elektroliz yöntemiyle hidrojen üretiminde kullanılırken santrali terk eden jeotermal su, elektroliz için kullanılacak suyun ön ısıtmasında kullanılmaktadır.

Şekil 1: Bir jeotermal

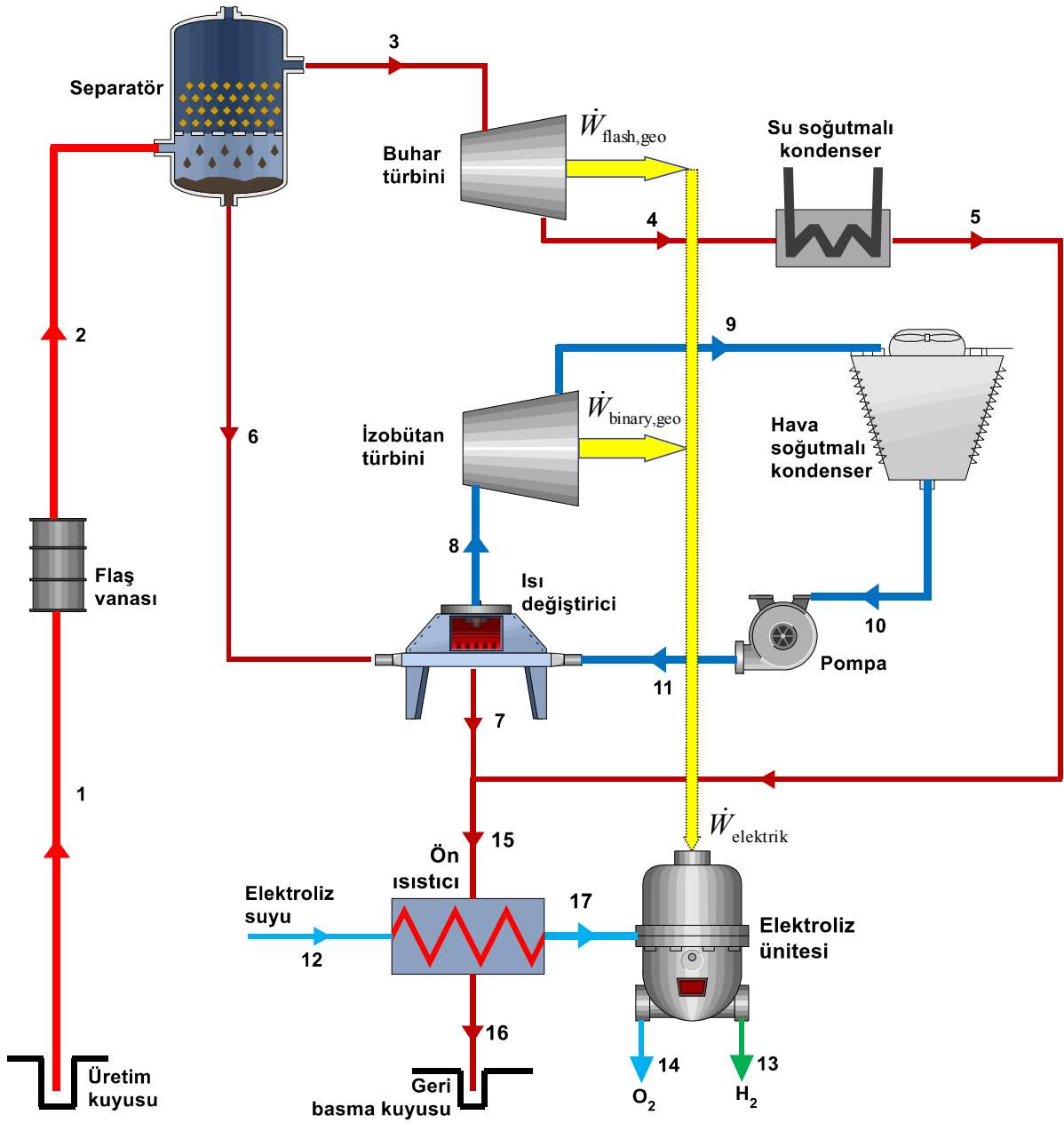


kaynağından enerjisi kullanılarak elektroliz ile hidrojen üretimi sistemi

Modellenen sistem için jeotermal enerjiden hidrojen üretilirken, hidrojen üretim metodu olarak elektroliz yöntemi dikkate alınmıştır. Bu araştırma kapsamında modellenen sistem için 200°C sıcaklığında ve 100 kg/s akış debisine sahip sıvı yoğunluklu bir jeotermal kaynak göz önüne alınarak çalışmada kullanılmıştır. Modellerin termodinamik ve termoekonomik analizleri bu kabule göre yapılmıştır. Yapılan örnek uygulamada jeotermal enerji kullanılarak modelin termodinamik ve ekonomik analizleri yapılarak üretilebilecek hidrojen miktarı ve üretim maliyetleri gibi parametreler bulunacaktır. Bu parametrelerin nasıl değiştiği ve optimum değerlere termoekonomik optimizasyon metodu ile jeotermal kaynağın sıcaklığı gibi bazı parametrelerin değişimiyle araştırılarak verilecektir. Model olan sistemde, yüksek sıcaklık ve sıvı bir jeotermal kaynağın termodinamik özellikleri dikkate alındığında daha fazla güç üretimine uygun olan birleşik püskürtmeli binary çevrim kullanılmıştır. Birleşik püskürtmeli binary güç çevrimi jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde son yıllarda yaygın olan yeni bir çevrimdir (Şekil 1). Bu çevrim hem püskürtmeli hem binary çevrimin avantajlarından aynı anda yararlanmayı sağlamaktadır. Bu çevrim yüksek sıcaklıklardaki jeotermal kaynaklar için uygundur ve bu özelliği ile çift püskürtmeli çevrimlere bir alternatif oluşturur. Öncelikle, üretim kuyusundan 1 halinde 200 °C sıcaklıkta gelen jeotermal akışkan kısılma vanasıyla 2 halindeki basınca kısıılır. Sistem geneli dikkate alınarak yapılan sabit entalpili bir basınç optimizasyonu ile uygun basınca kısıılır. Bu kısılma ile kuruluk derecesi 0 olan akışkan, artık belli bir kuruluk derecesine sahip olan jeotermal akışkan ($x = m_{\text{buhar}}/m_{\text{toplam}}$) püskürtme havuzuna gönderilir. Yüksek sıcaklıkta ve sıvı yoğunluklu jeotermal akışkan püskürtme havuzunda püskürtüldükten sonra 3 halinde elde edilen buhar bir buhar türbinine gönderilerek elektrik elde üretilir. Daha sonra türbinden 4 halinde çıkan akışkan 5 halinde Kondenserde soğutulduktan sonra 7 haliyle birleşerek 15 halinde tekrar yer altına enjekte edilir. Püskürtme havuzundan 6 halinde çıkan ve kuruluk derecesi 0 olan jeotermal akışkan ise, binary çevrimin ısı değiştiricisine gönderilir. Burada jeotermal akışkanın enerjisi çevrimdeki ikincil akışkana transfer edilir ve 7 halinde ısı değiştiriciden çıkıp 5 haliyle birleşerek 15 halinde yer altına enjekte edilir. Isı değiştiricide kızgın buhar olarak 8

halinde çıkan yüksek enerjili binary akışkan, pompa ile belli bir basınca basılır ve türbine gönderilir. Kuruluk derecesi 1 olan bu ikincil akışkan türbinden geçirilerek elektrik elde edilir ve 9 halindeki ikincil akışkan tekrar kondense edilmek için hava soğutmalı kondenserde 10 haline doymuş sıvı olarak çıkar ve böylelikle ikinci çevrimde tamamlanır.

Jeotermal çevrimi terk eden akışkan hala belli bir enerjiye sahiptir, bu yaklaşık olarak 70 – 90°C arası bir sıcaklıktır. Sistemde kullanılan jeotermal akışkan yer altına enjekte edilmeden önce bir ön ısıtıcı vasıtasıyla elektroliz suyunun ısıtılmasında kullanılmaktadır. Şekil 2’de 7 ve 5 halinde jeotermal akışlar çevrimlerini tamamlayıp 15 haline geldiklerinde belli bir enerjileri vardır. 15 halindeki jeotermal akışkan elektroliz işleminde hidrojen üretimi için kullanılacak suyun 17 haline ısıtılmasında kullanılmaktadır. Bu işlem, elektroliz işleminde kullanılacak olan suyun sıcaklığı hidrojen üretimi için gerekli olan iş miktarını doğrudan etkilediğinden, elektroliz işlemi için gerekli olan birim enerji miktarını düşürmeyi hedeflemektedir.

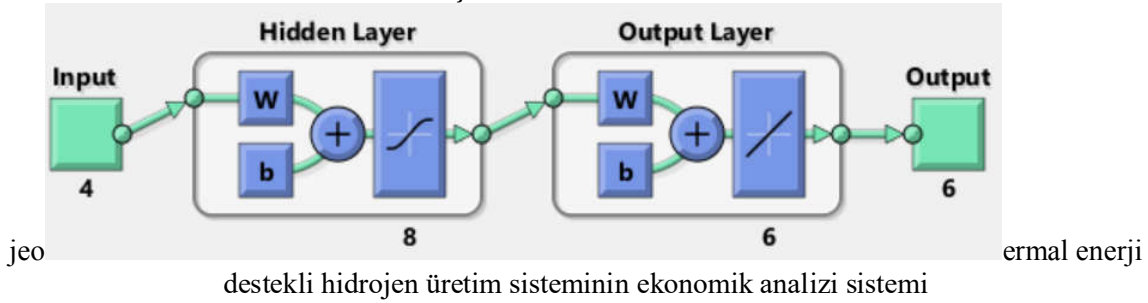


Şekil 2: Flash binary güç çevriminden üretilen elektrik enerjisi alkali elektroliz ünitesinde suyun oksijen ve hidrojene parçalanmasında kullanılırken, jeotermal çevrimi terk eden ve yer altına geri basılacak olan jeotermal su elektroliz suyunun ön ısıtılmasında kullanılmaktadır

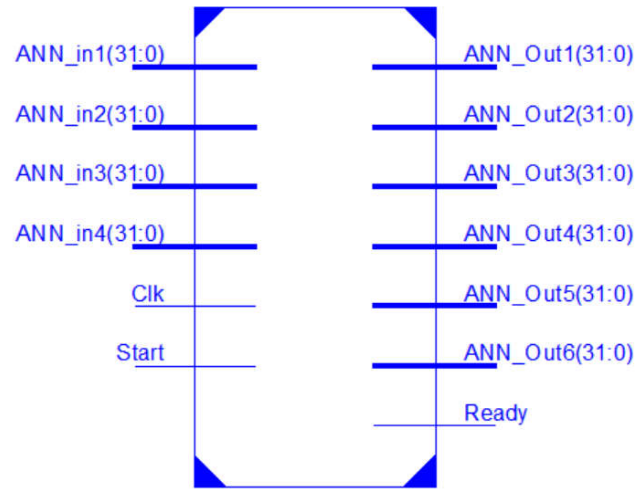
FPGA-TABANLI JEOTERMAL ENERJİ DESTEKLİ HİDROJEN ÜRETİM SİSTEMİNİN YSA İLE EKONOMİK ANALİZİ

Bu bölümde, 32-bit IEEE 754-1985 kayan noktalı sayı standardına uygun olarak FPGA çiplerinde çalışmak üzere VHDL dilinde YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi ünitesi yapay sinir ağları kullanılarak modellenmiştir sistemi ünitesi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi sistemi ünitesinin test edilmesi ve sentezlenmesi amacı ile Xilinx ISE Design Suite 14.7 kullanılmıştır. Tasarlanan ünite VIRTEX-6 çipi için sentezlenmiş ve test edilmiştir. Çalışmada öncelikli olarak sistemin termodinamik ve ekonomik analizi için EES programı ile 60X10 veri seti oluşturulmuştur. Sistemde 4 adet giriş (jeotermal kaynak sıcaklığı, kaynak debisi, çevre sıcaklığı ve hidrojen debisi) ve 6 adet çıkış (enerji verimi, ekserji verimi, güç üretim kapasitesi, elektriğin maliyeti, hidrojenin maliyeti ve sistemin geri ödeme süresi) sinyali bulunmaktadır. Sistemin veri seti, 45X10 eğitim veri seti ve 15X10 test veri seti olarak ikiye ayrılmıştır. Bu işlemin ardından ileri beslemeli çok katmanlı YSA yapısı 4 girişli ve 6 çıkışlı olmak üzere nümerik olarak oluşturulmuştur. YSA yapısında bulunan 1 adet gizli katmanda 8 nöron bulunmaktadır. Her nöron içerisinde transfer fonksiyonu olarak tanjant sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi sistemi için oluşturulan nümerik-tabanlı ağ yapısı blok şeması Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3: YSA-tabanlı



Eğitim bölümünde veri bölme işlemi için random ve eğitim kuralı olarak Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Eğitim işlemi 5000 döngü (epoch) sonucunda 5.07×10^{-4} ortalama karesel hata (mean square error (MSE)) değerine ulaşmıştır. Bu aşamanın ardından test aşamasına geçilmiş ve bu aşamada 15X10 veri seti yardımı ile test işlemi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan YSA yapısından elde edilen başarılı sonuçlardan sonra YSA yapısı referans kabul edilerek ilgili ağırlık ve bias değerleri FPGA üzerinde YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi sistemi oluşturulabilmesi için kayan noktalı sayı standardında ağ yapısı ve transfer fonksiyonları ile birlikte VHDL dili kullanılarak kodlanmıştır. FPGA üzerinde çalışmak üzere tasarımı Xilinx ISE Design Tools programı kullanılarak yapılan YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi sistemi ünitesinin en üst seviye blok diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi sistemi blok diyagramı

Tasarımı yapılan ünite üzerinde ANN_in1, ANN_in2, ANN_in3 ve ANN_in4 olmak üzere dört adet 32-bit kayan noktalı sayı standardına uygun giriş sinyali YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi ünitesinin giriş sinyallerini ifade etmektedir. 1-bit Start sinyali ünitenin çalışması için gerekli kontrol sinyalini, 1-bit Clk sinyali sistem içerisindeki birimlerin senkron bir şekilde çalışabilmesi için kullanılan sinyalleri ifade etmektedir. Ünite çıkışında bulunan ANN_Out1, ANN_Out2, ANN_Out3, ANN_Out4, ANN_Out5 ve ANN_Out6 olmak üzere altı adet 32-bit kayan noktalı sayı standardına uygun sinyaller ise YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi ünitesinin çıkış sinyalleridir. Ünite çıkış ürettiği durumda Ready sinyali '1' değerini çıkışa göndermektedir. Diğer durumlarda Ready sinyal değeri '0' olmaktadır. Tasarımda kullanılan toplayıcı, çıkarıcı, bölücü ve çarpıcı birimleri, Xilinx ISE Design Tools tarafından geliştirilen IP-Core Generator kullanılarak oluşturulmuştur. Tasarımı yapılan ünite sentezlenmiş ve Place-Route işleminin ardından elde edilen FPGA çip istatistikleri Virtex-6 (XC6VLX240T aracı, FF1156 paketi, -1 hız) için Tablo 1'de sunulmuştur. FPGA çiplerinde çalışmak üzere tasarımı yapılan YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi ünitesi maksimum çalışma frekansı 108.015 MHz olarak elde edilmiştir.

Tablo 1: FPGA üzerinde tasarımı yapılan YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi ünitesi çip kullanım istatistikleri

| Kullanılan Lojik Birimler | Kullanılan | Mevcut | Kullanım Oranı (%) | Maksimum Çalışma Frekansı (MHz) |
|---------------------------|------------|---------|--------------------|---------------------------------|
| Slice Register Sayısı | 301,440 | 112,337 | 37% | 180.015 |
| LUT sayısı | 150,720 | 113,402 | 75% | |
| Giriş-Çıkış Sayısı | 323 | 600 | 53% | |
| DSP48E1 Sayısı | 8 | 768 | 1% | |

SONUÇLAR

Sunulan bu çalışmada, FPGA çiplerinde çalışmak üzere ekonomik analiz sistemi YSA-tabanlı olarak VHDL dilinde kodlanmıştır. Tasarımda 32-bit IEEE-754-1985 kayan noktalı sayı standardı kullanılmıştır. Tasarlanan ünite Xilinx ISE Design Tools 14.7 programı kullanılarak VIRTEX-6 FPGA çipi için sentezlenmiştir. Çalışmada ekonomik analiz sistemi 60X10 veri seti kullanılarak Matlab üzerinde YSA modeli oluşturulmuştur. Ağ yapısı olarak 4-8-6 ileri beslemeli çok katmanlı YSA yapısı kullanılmıştır. Sistemin gerçek zamanlı olarak modellenebilmesi için oluşturulan Matlab-tabanlı YSA yapısı referans olarak alınmıştır. Referans model kullanılarak FPGA çipi üzerinde çalışmak üzere YSA-tabanlı çok katmanlı ileri beslemeli ekonomik analiz ünitesi tasarlanmıştır. Tasarımın maksimum çalışma frekansı Place ve Route işleminin ardından Xilinx ISE Design Tools programı kullanılarak 180.015 MHz olarak elde edilmiştir. İleride bu çalışmada sunulan FPGA çipi üzerinde tasarımı yapılan

YSA-tabanlı jeotermal enerji destekli hidrojen üretim sisteminin ekonomik analizi ünitesi kullanılarak gerçek zamanlı uygulamalar gerçekleştirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 18.KARIYER.57 proje numarası ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

REFERANSLAR

- Alçın, M., Pehlivan, İ., ve Koyuncu, İ. (2016). Hardware design and implementation of a novel ANN-based chaotic generator in FPGA. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 127(13), 5500-5505.
- Huang, J., Lee, J., ve Ge, Y. (2008). An array-based scalable architecture for DCT computations in video coding IEEE 2008 International Conference on in Neural Networks and Signal Processing, pp. 451-455.
- Kim, N., Kehtarnavaz, N., Yeary, M. B., ve Thornton, S. (2003). DSP-based hierarchical neural network modulation signal classification. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 14(5), 1065-1071.
- Koyuncu, İ., Çetin, Ö., Katırcıoğlu, F., ve Tuna, M. (2015, May). Edge detection application with FPGA based Sobel operator. *23th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, pp. 1829-1832.
- Koyuncu, İ., Şahin, İ., Gloster, C., ve Sarıtekin, N. K. (2017). A Neuron Library for Rapid Realization of Artificial Neural Networks on FPGA: A Case Study of Rössler Chaotic System. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 26(01), 1750015.
- Le, Q. N., ve Jeon, J. W. (2010). Neural-network-based low-speed-damping controller for stepper motor with an FPGA. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(9), 3167-3180.
- Lin, C. J., ve Tsai, H. M. (2008). FPGA implementation of a wavelet neural network with particle swarm optimization learning. *Mathematical and Computer Modelling*, 47(9-10), 982-996.
- Nath, S., Kotal, S. D., ve Kundu, P. K. (2016). Seasonal prediction of tropical cyclone activity over the north Indian Ocean using three artificial neural networks. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 128(6), 751-762.
- Polat, Ö., ve Yıldırım, T. (2010). FPGA implementation of a General Regression Neural Network: An embedded pattern classification system. *Digital Signal Processing*, 20(3), 881-886.
- Rieger, R., ve Deng, S. L. (2013). Double-differential recording and AGC using microcontrolled variable gain ASIC. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 21(1), 47-54.
- Sahin, I., ve Koyuncu, I. (2012). Design and implementation of neural networks neurons with radbas, logsig, and tansig activation functions on FPGA. *Electronics and Electrical Engineering*, 120(4), 51-54.
- Shen, H., Park, J. H., ve Wu, Z. G. (2014). Finite-time synchronization control for uncertain Markov jump neural networks with input constraints. *Nonlinear Dynamics*, 77(4), 1709-1720.
- Tuna, M., ve Fidan, C. B. (2016). Electronic circuit design, implementation and FPGA-based realization of a new 3D chaotic system with single equilibrium point. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 127(24), 11786-11799.
- Yilmaz, C., Kanoglu, M., & Abusoglu, A. (2015). Exergetic cost evaluation of hydrogen production powered by combined flash-binary geothermal power plant. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(40), 14021-14030.
- Yilmaz, C. (2017). Thermoeconomic modeling and optimization of a hydrogen production system using geothermal energy. *Geothermics*, 65, 32-43.
- Yilmaz, C. (2018). A case study: Exergoeconomic analysis and genetic algorithm optimization of performance of a hydrogen liquefaction cycle assisted by geothermal absorption precooling cycle. *Renewable Energy*, 128, 68-80.
- Yu, B., Chan, R. H., Mak, T., Sun, Y., ve Poon, C. S. (2013). On-chip systolic networks for real-time tracking of pairwise correlations between neurons in a large-scale network. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(1), 198-202.