

PLC VE SCADA ENTEGRASYONLU HİDROELEKTRİK SANTRALİN PROTOTİP TASARIMI, İMALATI VE 3B YAZICI İLE TÜRBİN ÜRETİMİ

Özkan POLAT¹, Mustafa Can BULUT², İsacan DÖNMEZ³, Koray ÖZSOY^{4*}

¹⁻²⁻³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, 32100, Türkiye

⁴Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Senirken MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Isparta, 32100, Türkiye

Geliş tarihi: 20.05.2021 Kabul tarihi: 24.06.2021

ÖZET

Çalışmada, hidroelektrik santral (HES)'in gerçek bir santral göz önünde bulundurularak HES prototip cihazının tasarımı, imalatı ve kontrol yazılımı gerçekleştirilmiştir. Dünya'da endüstriyel olarak birçok sistemde ve enerji üretim tesislerinde kullanılmakta olan PLC (Programlanabilir Mantık Denetleyiciler) ve SCADA (Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi) ile kontrol kumanda sistemi gerçekleştirilmiştir. Afyonkarahisar ili Dinar ilçesinde yer alan 3 MW kurulu güce sahip HES santralinin çalışma şartları SCADA ortamına aktarılıp, prototip cihazında görüntülenmiştir. Eğitim aracı ve materyali tasarımı yapılan HES Prototip cihazının üzerinde üretilen elektrik enerjisi, türbin çark açıklık yüzde değerleri ve suyun yüksekliğini ölçen veriler yer almaktadır. Akışkan debisi ve suyun devir sayısında değişimi, üretilen gerilim SCADA ekranı üzerinde gösterilmiştir. Böylece öğrencilerin santrale gitmeden, elektrik enerjisinin üretimindeki süreçleri kapsayan; elektromekanik kumanda sistemi, türbin ve jeneratör bölümü gerçekleştirilen HES cihazın prototip ile eğitimlerini uygulamalı olarak dersleri işleyebileceklerdir. Çalışmada, HES prototip cihazının mekanik tasarım ve imalatı, elektrik-elektronik sistem tasarımı ve montajı, PLC ve SCADA kontrol sistemleri ile prototip cihazının performans testi ve kontrolü için özgün yazılım geliştirilmiştir. Burada çark açıklığına bağlı olarak devir sensörü ve üretilen gerilim artmıştır. Çalışma ile HES prototip cihaz ülkemizde yer alan eğitim kurumlarında elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım derslerine temel altyapısı oluşturulmuştur. Ayrıca, gerçekleştirilen HES prototip santralin web üzerinden kontrol edilmesi ile COVID-19 gibi hastalıkların sebep olduğu pandemi sürecinde kontrol yazılımının eğitim (uzaktan eğitim) ve sanayi uygulamalarında kullanılabilirliğini artıracaktır.

Anahtar Kelimeler: PLC, SCADA, Hidroelektrik Santral, HES, Tasarım, İmalat, 3B yazıcı

DESIGN, MANUFACTURING OF HYDROELECTRIC POWER PLANT INTEGRATED WITH PLC AND SCADA AND PRODUCTION OF TURBINE WITH 3D PRINTER

ABSTRACT

In the study, the design, manufacture, and control software of the HEPP prototype device was carried out using the actual data of the hydroelectric power plant (HEPP). Control system has been performed by PLC (Programmable Logic Controller) and SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), which are used industrially in many systems and energy production plants globally. The operating conditions of the HEPP power plant with an installed power of 3 MW located in the Dinar of Afyonkarahisar province were transferred to the SCADA medium and shown on the prototype device. The electrical energy generated on the HEPP Prototype device, turbine wheel opening percentage values, and data measuring the height of the water are available. Fluid flow rate and the change in the number of water cycles, the generated voltage is shown on the SCADA screen by reflecting from the actual data. Therefore, without the students going to the power plant, covering the processes in

e-posta¹: ozkan.polat035@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6117-4835>

e-posta²: bulutmustafacan35@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9410-7727>

e-posta³: isa3can3@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3806-7625>

*e-posta⁴: korayozsoy@isparta.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8663-4446> (Sorumlu Yazar)

the generation of electrical energy, the control room, turbine, and generator section will teach the prototype and training of the HEPP device performed in the study. The study, mechanical design, and manufacture of HEPP prototype device, electrical-electronic system design, and assembly, PLC and SCADA control systems, HES actual data, and original software for performance testing and control of the prototype device were developed. With the study, the basic infrastructure of HEPP prototype device was established for electrical energy generation, transmission, and distribution lessons in educational institutions in our country. In addition, controlling the HEPP prototype power plant online (web) will increase the usability of the control software in education (distance education) and industrial applications during the pandemic process caused by diseases such as COVID-19.

Keywords: PLC, SCADA, Hydroelectric Plant, HEPP, Design, Manufacturing, 3D Printing

1. Giriş

Dünya nüfus artışına paralel olarak, ekonominin büyümesi, kentsel gelişim, yaşam standartlarının artması, teknolojik gelişmelerin hızlanması ve sanayileşme eşdeğer olarak dünyada enerji tüketimi her geçen yıl artmaktadır. [1]. Enerji tüketimindeki bu artış önümüzdeki yıllarda da devam edecektir. Enerji sektörünün günümüzde sürekli gündemde olmasının ana sebepleri; sera gazı etkisinin artması, fosil kökenli yakıtların bilinçsizce tüketimi ve azalması, küresel iklim değişikliği, ülkelerin enerji temini sorunu olarak belirlenmektedir [2]. Fosil yakıtların alternatifi olabileceği düşünülen yenilenebilir enerji kaynakları günümüzde geliştirilmesi ve büyütülmesi gereken enerji teknolojileri arasında yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji kullanımı ve kaynağın tükenme hızından daha hızlı biçimde kendini yenileyip aynı kalabilen kaynaklardır. Fosil yakıtların hızla azalması, yüksek maliyetli olması ve çevre sorunlarına sebep olması yenilenebilir enerjinin önemini artırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretimi günümüzde yaygın olarak jeotermal ve hidrolik enerji, biyokütle enerjisi, güneş ve rüzgâr enerjisidir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Türkiye’de dünya potansiyelinin %8’ine sahip jeotermal enerjiye, coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisine, yer şekil özelliklerin dolaylı hidrolik enerjiye ve ciddi bir rüzgâr enerjisi potansiyellerine sahiptir [3].

Yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerjisinin geniş çaplı kullanım türü nehirlerin üstünde barajlar inşa edilerek suyu büyük bir alanda potansiyel olarak biriktirip suyun neden olduğu potansiyel enerjiden faydalanarak elektrik enerjisi üretilmektedir [4]. Yüksek seviyeden alçak seviye akan sudan elde edilen kinetik enerji ile türbinlerin dönmesiyle elektrik üretimi gerçekleştiren sisteme Hidroelektrik Santrali (HES) denir [5]. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları içinde en önemli pay hidroelektrik kaynaklardır ve hidroelektriğin, pahalı olan elektriği ucuza üretme konusunda fiyatı dengeleyici bir rolü vardır. İthal edilmeyen yenilenebilir enerji kaynağı olan bu yenilenebilir enerji ülkenin enerji ihtiyacının giderilmesinde önemli bir yere sahiptir [6]. 2020 nisan ayı itibari ile işletmede bulunan 28.713,5 MW kurulu güce sahip 685 adet HES santrali bulunmaktadır. Elektrik üretimimizin %42,7’si HES santrallerinden karşılanmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye’de hidroelektrik enerjisi potansiyeli açısından yüksek orana sahiptir ve bu potansiyelini üretim aşamasında avantaja dönüştürmüştür. Türkiye’nin, yenilenebilir enerji kaynakları açısından bulunduğu potansiyel konum oldukça avantajlı bir durum oluşturmakta, ilaveten bu durum stratejik ve ekonomik olarak Türkiye’nin değerini yükseltmektedir.

Literatür incelendiğinde, HES ile ilgili yapılan çalışmaların su biriktirme ve taşıma kapasitelerinin ve barajın içerisinde bulunan su seviyesinin tahmini, santraller için verimli olan türbin tercihi, nehir tipi santralin en uygun boyutlarının hesaplanması, küçük HES projelerinin maliyet değerlendirilmesi, HES işletme yönetimi gibi konular üzerinde çalışmalar görülmektedir. Ülkemizde su kaynakları üzerine inşaa edilen santraller, büyük havzalardaki su potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elektrik enerjisi elde edilmesini sağlamaktadır [7]. Akarsu santrallerde su, baraj veya depolama yapılmadan bir kanal ya da tünel yardımıyla hız kazanarak türbin üzerine düşürülür. Türbin üzerine düşürülen suyun kinetik enerjisi türbin-generator sistemi ile elektrik enerjisine çevrilir. Türkiye’de 2019 yılı sonu itibariyle 558 adet kayıtlı akarsu tipi hidroelektrik santral bulunmaktadır. Akarsu tipi HES’lerin

doğal yaşama zararları depolamalı tipi HES'lere nazaran çok daha azdır. Kuruluş maliyetlerinin düşüklüğü, bölgesel uygulanabilirliği, doğa dostu olmaları bu tip santrallerin sayısının her geçen gün arttırmaktadır [8]. HES'ler akan suyun kinetik enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üretirler. Suyun akış hızı akan su içindeki kinetik enerji miktarını belirler. Büyük bir nehirde akan su veya çok yüksek bir noktadan düşürülen su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Büyük miktarda enerji taşıyan su kanal ya da borular yardımı ile türbinlere doğru akar ve elektrik üretimi için türbinlerin dönmesini sağlar. Akan su ile birlikte jeneratörlere bağlı olan türbinlerin dönmesiyle mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür.

HES'lerde türbin, kumanda odası, şalt sahası ve transformatör birimlerin kontrol ve otomasyonu günümüzde PLC ve SCADA ile gerçekleştirilmektedir. PLC endüstri otomasyon elektromekanik kumanda sistemlerinde kullanılan giriş / çıkış birimleri (ing. input/output) ve seri haberleşme arabirimleri içinde bulunduran, kontrol yapısına uygun belirli bir program altında çalışan bir bilgisayardır. Yapısında bulunan birçok giriş ve çıkış birimi ile cihazları kontrol edebilir [9]. Endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan SCADA, otomasyon süreçleri veri toplama işlemi, gözleme, denetim gibi işlemleri yapmak için kullanılmaktadır. SCADA sistemleri, fabrikadaki otomasyon süreçlerin denetimlerini yapan Remote Terminal Unit (RTU), PLC gibi kontrolör ile birlikte kullanımı tesisin üretim takibi ve kontrolüne yönelik alt yapı oluştururlar. Literatür incelendiğinde, ünite gücü 10MW'a kadar olan ve geniş bir aralıkta çalışabilen yatay eksenli francis tipi türbinlerin kullanıldığı nehir tipi küçük hidroelektrik santral (KHS) için bir SCADA sisteminin geliştirilerek, prototip imalatı gerçekleştirilmiştir [10].

3B baskı teknolojisi günümüzde sanayi sektöründe özellikle prototip üretiminde kullanılması ile büyük inovasyonlardan birisi olmuştur. 3 Boyutlu baskı teknolojisi, plastik veya metalik malzemelerin birbirleri üzerine eklenerek tasarımın ihtiyacı doğrultusunda katmanlar oluşturulması yolu ile 3B modellerin üretilmesini sağlayan bir teknolojidir [11]. 3B yazıcı teknolojileri, ürünü katman katman oluşturan eklemeli imalat yöntemidir [12]. Tasarımı hazırlanan parçalar, bilgisayar destekli tasarım (BDT) yazılımları ile oluşturulan 3B katı modellerden üretilirler [13]. Bu süreçte malzemenin katman katman eklenmesi ve dolayısıyla israf olan malzeme miktarının düşürülmesi, diğer yöntemlerle kıyaslandığında bu teknolojiyi daha verimli kılar [14]. Bu teknoloji, polimerleri kullanarak fiziksel modellerin prototiplerini olabildiğince hızlı bir şekilde üretmek için geliştirilmiştir [15]. Yeni ürün geliştirmedeki hataları ve devir sürelerini büyük oranda azaltarak ürünlerin piyasaya sürülmesini hızlandırır.

Çalışmada, gerçek HES'ten alınan gerçek elektrik üretim verileri ile eş zamanlı çalışan prototip hidroelektrik santralin mekanik tasarımı, imalatı, elektrik elektronik sistem tasarımı ve PLC-SCADA kontrol yazılımı gerçekleştirilmiştir. Afyonkarahisar ili Dinar ilçesinde yer alan 3MW kurulu güce sahip HES santralının çalışma şartları SCADA ortamına aktarılmış, HES prototip santralinde operatör panelinde görüntülenmiştir. HES prototip cihazında; elektrik enerjisi üreten dinamo, türbin çark açıklık dereceleri gösteren oransal vana, su seviyesinin ölçümü gerçekleştiren sıvı seviye sensörleri, suyun devir daimi gerçekleştiren pompa, PLC ve SCADA ekranı gösteren operatör panel yer almaktadır. Su akış oranı ve devir sayısındaki değişimleri, üretilen gerilim ile Dinar-II HES santralinde üretilen gerçek verilerden yansıtılarak SCADA ekranı üzerinde gösterilmiştir. Özellikle gerçek bir santralin verileri ile senkronize bir sistem geliştirilmiştir. Ayrıca ülkemizde yer alan eğitim kurumlarında Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım derslerine temel altyapısı oluşturulmuştur. Böylece öğrencilerin HES santrale gitmeden, elektrik enerjisinin üretimindeki süreçleri kapsayan; kumanda odası, türbin ve jeneratör bölümü çalışmada gerçekleştirilen HES cihazın prototip ile eğitimlerini uygulamalı olarak dersleri işleme imkânı sunulmuştur. Bu sayede öğrencilerin zaman ve ulaşım sorunu, maliyet gibi faktörlerden elimine edilmesi sağlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

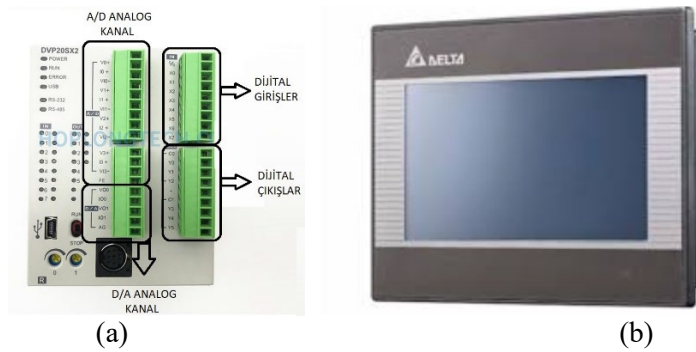
2.1 Materyal

Çalışmada, materyal olarak Delta DVP PLC, DOP HMI Panel, oransal vana, dalgıç pompa, su akış sensörü, sıvı seviye sensörleri kullanılmıştır.

2.1.1 Delta DVP PLC ve DOP HMI Panel

PLC içinde giriş/çıkış birimi olan, ardışık pozisyon kontrol yapabilen işlemci, zamanlayıcı-sayıcı, analog kanal gibi kontrol işlemlerinin gerçekleştirilebildiği kontrol sistemidir. Endüstriyel otomasyon sistemlerinde DELTA DVP PLC serisi dayanıklı, hızlı lojik işlemleri, ek modülleri ve geniş kapsamlı komut seçenekleri ile kullanıcılara ekonomik çözümler sunar. PLC-haberleşme protokolleri ile otomasyon sistemlerine kolayca entegrasyon sağlanabilir [16]. Çalışmada, Delta DVP SX2 PLC tercih edilmiştir. Şekil 1a'da gösterildiği gibi DVP SX2 PLC özellikleri; 8 giriş, 6 çıkış, 4 analog giriş, 2 analog çıkış bulunmaktadır. Analog giriş ve çıkışlar $-20\sim+20\text{mA}$, $-10\sim10\text{V}$, $4\text{-}20\text{mA}$ şeklindedir. PLC üzerinde dahili RS-232 ve RS485 port, master veya slave yapılabilmek imkanına sahiptir.

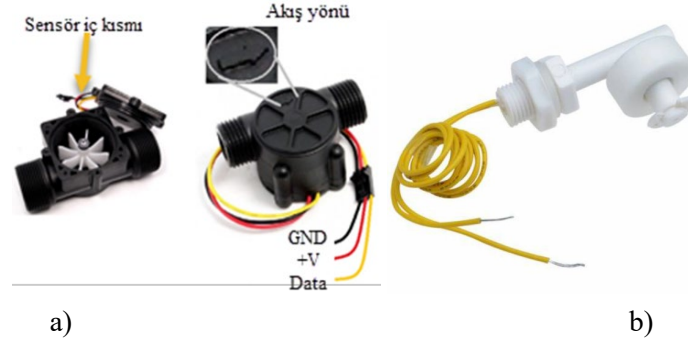
Çalışmada Şekil 1b'de gösterildiği gibi kullanılan Delta DOP B07411 HMI (İnsan – Makine Arayüzü) panel kullanılmıştır. Delta DOP B07411 HMI, ARM9 32-bit RISC işlemci kontrol edilmektedir. USB, RS232 ve RS-485 haberleşme protokollerine sahiptir. 7" ekran boyutuna sahip olup 65536 renk TFT LCD ekrana sahiptir. DOP aracılığıyla Delta PLC'ye ethernet ve USB üzerinden program yüklenebilmektedir [17].



Şekil 1. Kontrol elemanların görüntüsü a) Delta DVP- PLC SX2 a) HMI B07411 HMI

2.1.2 Devir ve Seviye Sensörleri

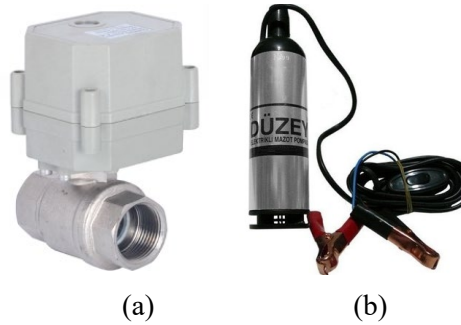
YF-S201 devir sensörü sızdırmazlık, kolay kullanılabilme ve dijital çıkış verme özelliklerine sahip su akış ve hidrolik basınç sensördür (Şekil 2a). Devir sensörü, içerisinden akan su pervaneyi döndürmesi ile devir sayısı çıkışını veren bir sensördür. Sensörün çalışma gerilimi DC5V-24V çalışma akımı ise 15mA'dır. Pervanenin tur sayısı hall-effect manyetik sensörler ile ölçülmektedir. Sensörün ölçüm yaptığı debi 1-30L/dakika ve su basıncı ise $\leq 75\text{MPa}$ şeklindedir. Şamandıralı sıvı seviye sensörü yüzer plastik gövdeye sahiptir. (Şekil 2b). Şamandıraya sıvı teması olduğu zaman yükselir ve kapalı duruma geçer ve kapalı bilgisini gönderir, sıvı teması kesildiği zaman ise açık duruma geri döner ve açık bilgisini gönderir. Sensörün maksimum anahtarlama voltajı 100V DC akımı ise 0.5A'dır. Sensörün dayanabileceği maksimum güç akımı ise 1A'dır.



Şekil 2. Sensörlerin dış görüntüsü a) YF-S201 devir sensörü b) Sıvı seviye sensörü

2.1.3 Elektrikli Oransal Vana ve Dalgıç Pompa

Oransal vana sistemdeki akışkanı, istenen anda durdurmaya, debisini ayarlamaya ya da akışını serbest bırakmaya izin veren vana çeşididir. Duravis EVP15-S2-C5 oransal vana 4-20 mA analog kontrol edilebilen 9-24V DC beslemeli ve 500 mA'e kadar akım çeken vanadır. (Şekil 3a). Dalgıç pompa tamamen sıvının içerisinde bulunacak şekilde kullanılan ve gövdesine yakın bir şekilde hava geçirmez olarak kapatılmış motorlu bir pompadır. Dalgıç tip pompaların faydası pompa kavitasyonunu önlemesidir. Dalgıç pompalar vakum oluşturan ve atmosferik basınca dayanan jet pompalarının aksine sıvıyı yüzeye iter [18]. Düzey DZY-24B dalgıç pompa rekor kalınlığı 14 mm olan, 340 gram ağırlıklı, uzunluğu 180 mm ve çapı 40 mm olan bir üründür. Ürünün basıncı 1 Bar'dır ve ürün 45-60 dk çalışma kapasitesi olup tam kapasite ile 10-15 lt/dk çalışarak suyu 3 metreye kadar yukarı aktarabilmektedir. Pompa 24V DC ile beslenip en fazla 2.5A çekmektedir (Şekil 3b).

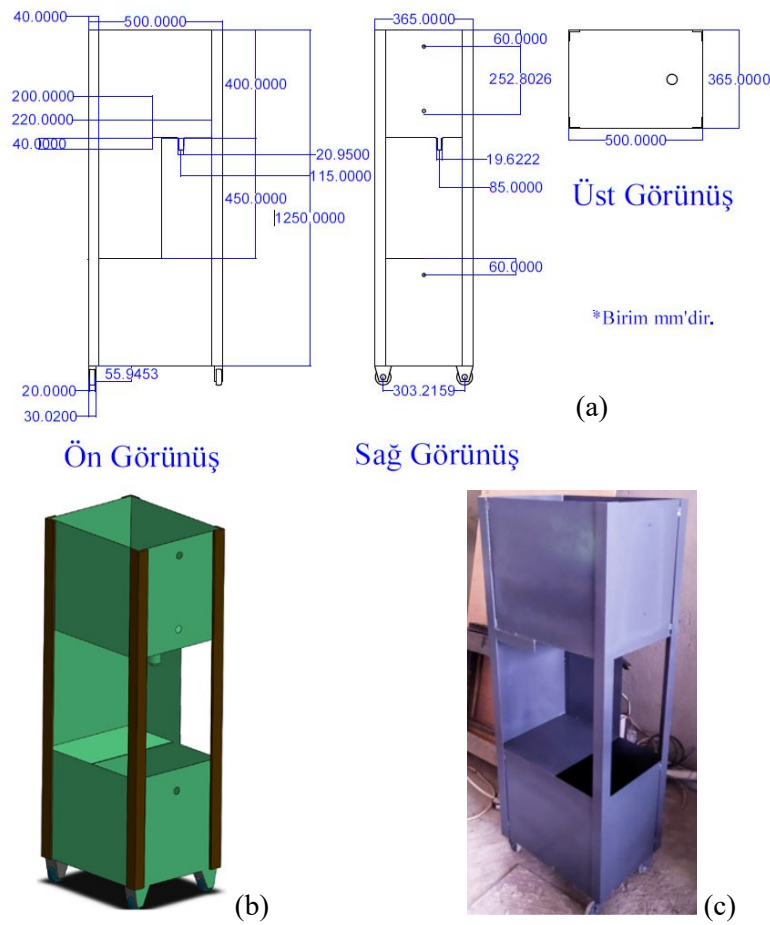


Şekil 3. a) Elektrik oransal vana görüntüsü , b) dalgıç pompa görüntüsü

2.2 Metot

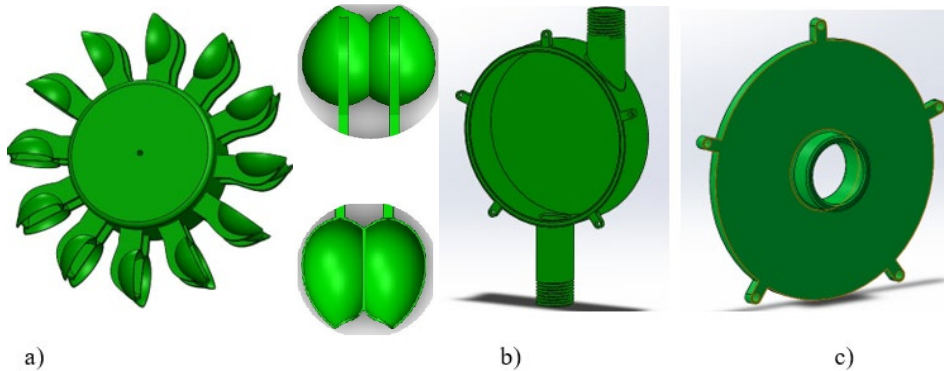
2.2.1. Mekanik Tasarım ve İmalat

Çalışmada, tüm materyalleri üzerinde barındıracak ve HES prototip santralin çalışmasını sağlayacak şekilde ana gövdenin mekanik tasarımı Solidworks programının Sheet Metal modülü kullanarak Şekil 4a'de teknik resimde gösterildiği gibi HES prototipin ana gövdesi, üstte ve altta olmak üzere suyun birikimi için iki adet su havuzundan ve iki havuz arasında yer alan elektrik panosundan oluşacak şekilde çizilmiştir. Şekil 4b'de HES prototip santralin 3B katı modelleme gösterilmiştir. Ayrıca ana gövde içerisinde oransal vana, su seviye sensörü bulunmaktadır. Her bir havuz 73 L su kapasitesine sahiptir. Şasenin rahat hareket edebilmesi için alt kısımda 4 adet rulman tekerlek mevcuttur. Şase imalatında 40x40mm ebatlarında 5 metre demir L profil ve 2 mm kalınlığında 50 kg sac levha kullanılmıştır. Bağlantı işlemi kaynak ile yapılmıştır. Boyama işlemi ile ana gövde imalatı sona ermiştir.



Şekil 4. Ana gövdenin tasarım ve imalat görüntüleri a) teknik resim b) 3B katı model c) imalat

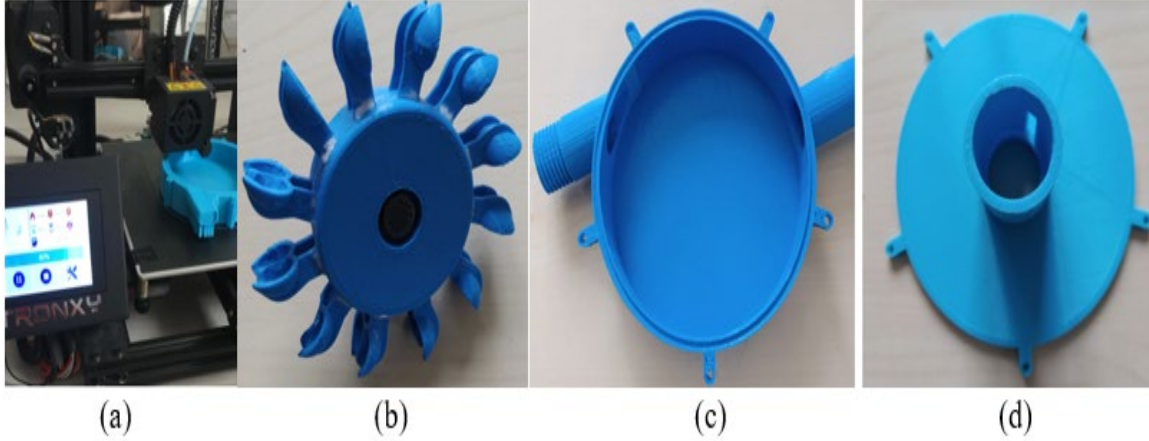
Ana gövdenin tasarım ve imalat işlemleri gerçekleştirildikten sonra bir diğer mekanik aksam olan ve elektrik enerjisi üretimi için kullanılan pelton türbin ve türbin kapakları SolidWorks programı ile ayrı ayrı çizilip montajı yapılmıştır (Şekil 5.) Şekil 5a'da gösterildiği gibi türbinin çapı 95 mm, genişliği 25mm ve çark sayısı 12 adet olacak şekilde çizilmiştir. HES prototip cihazında çarkın çapı ve dönme hızı etken parametrenin olmadığı ve daha alçak düşülerde kolayca çalışabilen pelton türbin tercih edilmiştir. Burada, pelton türbinini düşey olarak konumlandırılmıştır. Şekil 5b'de gösterilen dış kapak devir sensörü ile dinamo arasında bağlantısı yapılmıştır. Şekil 5c'de türbinin içindeki suyun dışarıya akmasını engellemek ve dinamonun sabit kalmasını sağlamaktadır.



Şekil 5: Pelton türbin ve kapalarının görüntüsü a) Pelton türbin b) Dış kapak c) İç kapak

Çalışmada, açık kaynak kodlu Tronxy XY-2 FDM marka model numaralı 3B yazıcı ile Polylactic Acid (PLA) malzemeden pelton türbin, dış ve iç kapak imal edilmiştir (Şekil 6). İmalat

parametreleri 0,2 mm katman kalınlığı, nozul sıcaklığı 235 °C, baskı hızı 40 mm/s'dir. 3B yazıcının sabit parametreleri ve teknik özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Türbin ve türbin kapakları rulman aracılığıyla dinamoya yataklanmıştır. Türbin kutusu su sızdırma riskine karşı yüzeyi spreyci vernik ile yalıtılmıştır ayrıca iki kapak arası sıvı conta ile izole edilmiştir.



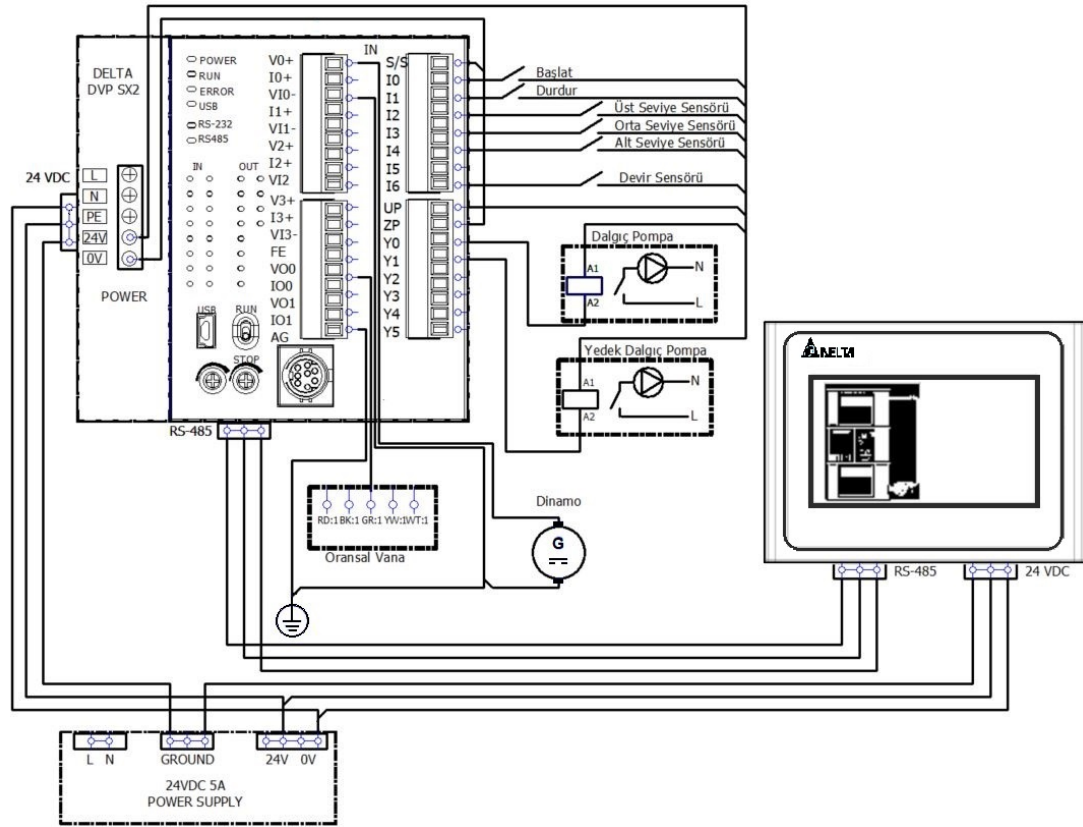
Şekil 6: Pelton türbin imalat görüntüleri a) 3B yazıcı imalat b) pelton türbin, c) dış kapak d) iç kapak

Çizelge 1. 3B yazıcının sabit parametreleri ve teknik özellikleri

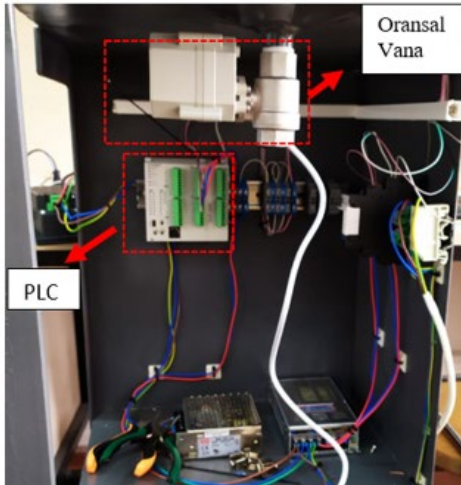
İsim	Birim	Boyutlar
İnşa Alanı	mm	255x255x260
Katman kalınlığı	mikron	20
Malzeme		PLA/ ABS/ HIPS/ WOOD/ PC/ PVC
Baskı Teknolojisi		Ergiyik Biriktirme Modelleme (EBM)
Filament çapı	mm	1.75
Nozul Çapı	mm	0.2 / 0.3 / 0.4
İmalat Boyutları	mm	478 x 455 x 520
İnşa Tabla Sıcaklığı		110 °C (max)

2.2.2. Elektrik-Elektronik Sistem Tasarımı

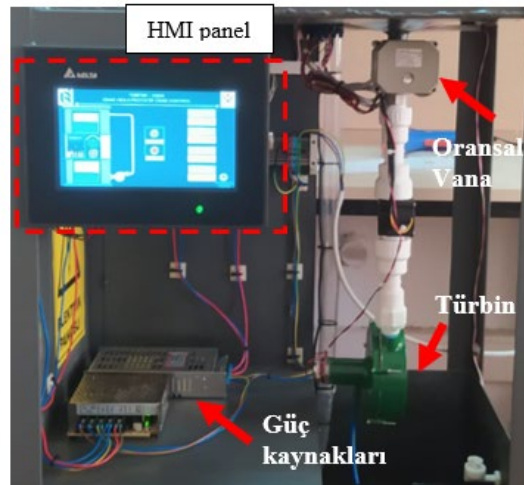
Çalışmada seviye ve devir sensörlerinden elde edilen veriler PLC üzerinden HMI operatör panel üzerinde gösterilmektedir. Şekil 7'de elektrik elektronik devre tasarım diyagramı ve şeması verilmiştir. Sistemin DC beslemesi iki adet 24V DC güç kaynağı bağlantısı ile gerçekleştirilmiştir. Su havuzundaki suyun debisini ayarlamak için PLC DVP SX2 modelindeki analog kanalı (AD0)'a oransal vana bağlanmıştır. Oransal vananın çıkışına bağlı olan hall effect sensör olarak çalışan devir sensörü akan suyun dakikada devir sayısını dijital veri olarak PLC'ye ve HMI panel aktarılmıştır. Suyun seviye bilgileri seviye sensörleri ile sistem çalıştıkça veri bilgileri alınmıştır. Sıvı seviye sensörleri alınan bilgiye göre suyun devir daimi dalğış pompa ile gerçekleştirilmiştir. Enerji üretimini sağlayan dinamo türbin kutusuna monte edilerek türbinin dönmesi ile elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürüp 0-300mV arasında gerilim değerleri alınmıştır. Elektrik ve elektronik malzemelerin kontrolünü gerçekleştiren Delta SX2 model PLC ve Delta DOP HMI(Şekil 7a) panel sisteme monte edildikten sonra haberleşmeleri sağlanmıştır. İki ekipman arasında RS485 tip haberleşme kullanılmıştır. DOP HMI Panel(Şekil 7b) ve PLC 24V DC güç kaynağından beslenmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 7: Elektrik-elektronik sistem görüntüsü a) diyagram b) pano devresi c) HMI devresi

2.2.3. Kontrol Yazılımın Geliştirilmesi

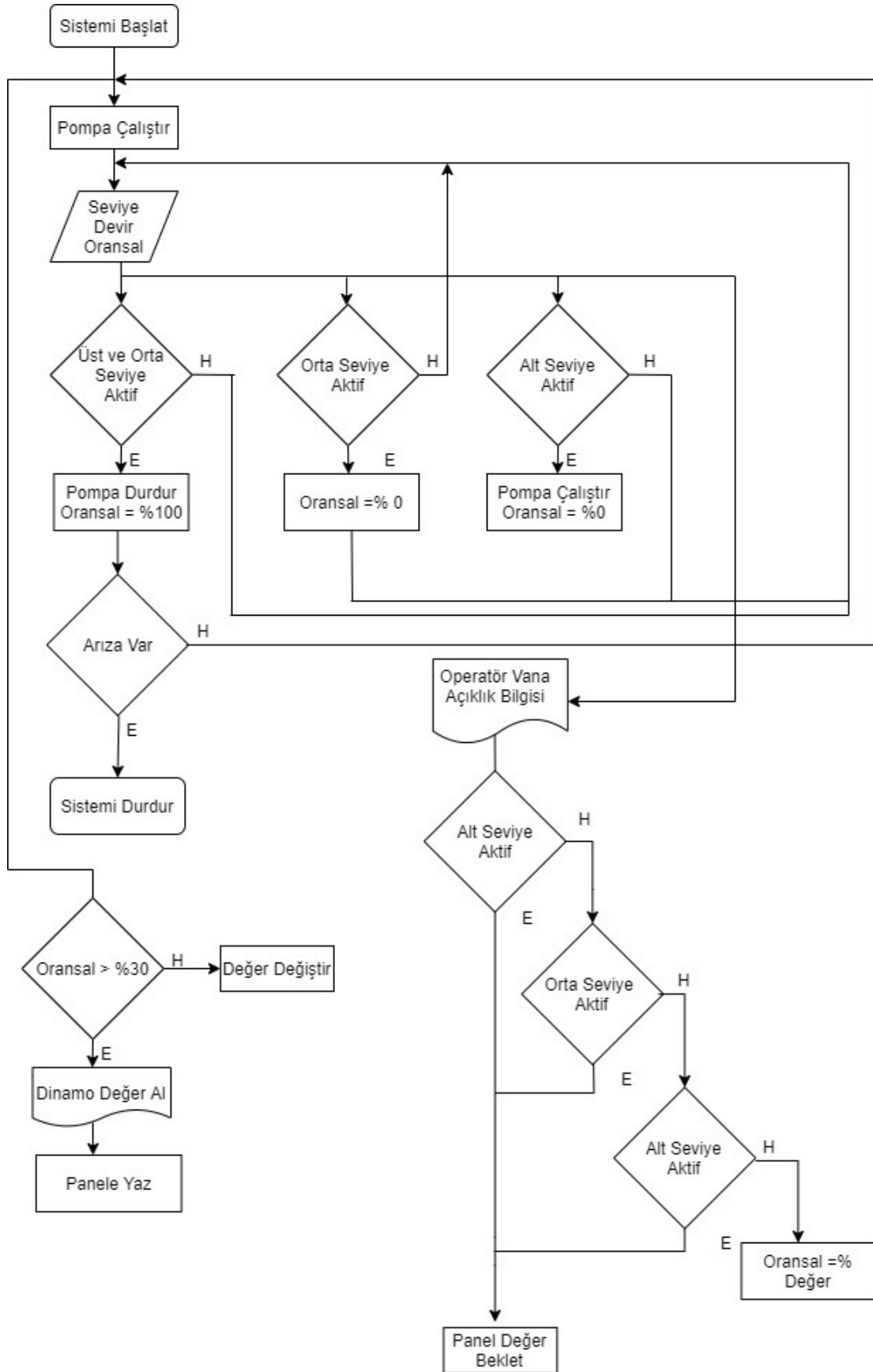
Delta DVP-SX2 PLC'nin giriş/çıkış tanımlamaları yapılmıştır. Buna göre start/stop, seviye ve devir sensörü giriş elemanları, ileri/geri yönde dalgıç pompa çıkış elemanı olarak bağlanmıştır. Ayrıca kontrol yazılımı için yardımcı kontaklar, zamanlayıcılar, analog/giriş çıkış, data bitleri kullanmıştır. PLC giriş çıkış bilgileri Çizelge 2'de detaylı biçimde gösterilmiştir.

Çizelge 2. PLC giriş/çıkış ve data adresleri

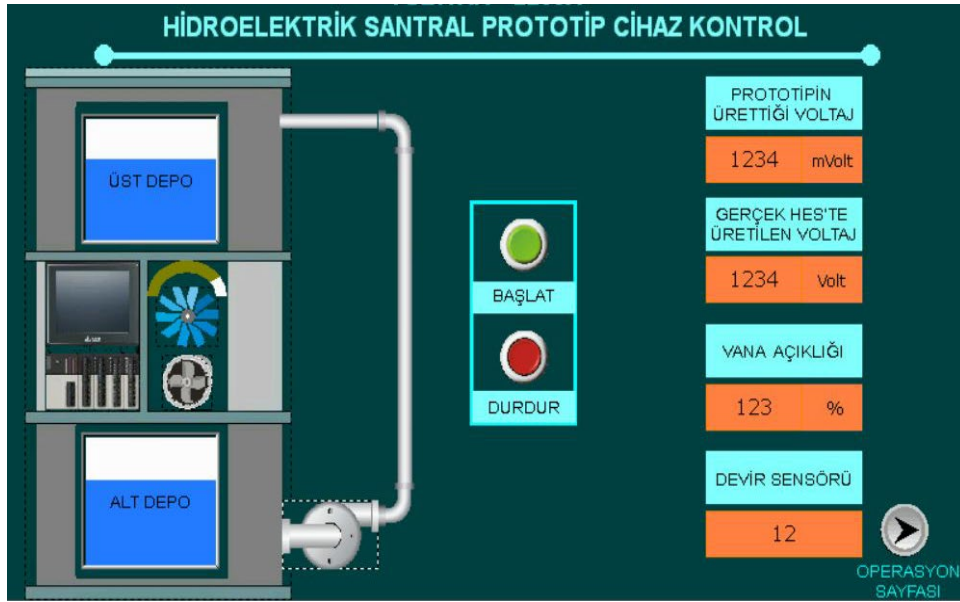
	Dijital Girişler		Dijital Çıkışlar		Yardımcı Kontaklar
X0	Start	Y0	Dalgıç Pompa ileri	M0	Sistem Mühür
X1	Stop	Y1	Dalgıç Pompa geri	M1	Üst Sensör CMP
X2	Üst Seviye Sensörü		Data	M2	Üst Sensör CMP
X3	Orta Seviye Sensörü	D20~D22	Oransal SCL_1	M3	Üst Sensör CMP
X4	Alt Seviye Sensörü	D104	Sensör Vana Veri	M4	Üst TMR SET
X6	Devir Sensörü	D102	Kullanıcı Vana Veri	M5	Kullanıcı Bilgi Alma CMP
	Analog Giriş-Çıkış	D120~D123	Alt Tank Animasyon	M6	Kullanıcı Bilgi Alma CMP
A/D0	Oransal Vana	D124~D126	Üst Tank Animasyon	M7	Kullanıcı Bilgi Alma CMP
D/A0	Dinamo	D140~D143	Oransal SCL_2	M8	Sensör Bilgi Yolla Mühürleme
	Zamanlayıcılar	D150	Devir Sensör Veri	M20	Devir Sensör CMP
T0	Sistem Başlama	D240~D243	Dinamo SCL 1	M21	Devir Sensör CMP
T1	Dolum Süresi	D244	Dinamo Değer	M22	Devir Sensör CMP
T3	Boşalma Süresi	D245	Dinamo Ekran	M25	Dinamo Analog Kanal CMP
T4	Pompa Bekleme	D340~D346	Dinamo SCL 2	M26	Dinamo Analog Kanal CMP
T5	Animasyon Süre	D500-D501	Vana Bilgi Giriş/yazma	M27	Dinamo Analog Kanal CMP

Çalışmada HES santral prototip cihaz Delta B07S411HMI üzerindeki SCADA sayfasından kontrol edilebilmektedir. HES Prototip cihazının SCADA tasarımı ana ekran, operasyon sayfası ve sinyal takip sayfası olmak üzere üç ekrandan oluşturulmuştur. Sistem çalışmaya başladığında pompa da çalışmaya başlamaktadır. Sistem üzerindeki algılayıcılardan alınan seviye ve devir bilgisi PLC'ye gönderilmiştir. Pompa; üst,orta ve alt seviye sensörlerinden alınan bilgiye göre çalışmaktadır. Gerçekleştirilen prototip sistem SCADA sayfasından çalıştırılabilmektedir. Sistem çalışmaya başladığında pompa çalışmaya başlar. Üst ve orta seviye sensörlerinin aktif olması durumunda pompa durur ve oransal vana tamamen açılır. Orta seviye sensörünün aktif olması durumunda türbine yetersiz su gitmemesini engellemek için oransal vana tamamen kapanır. Alt seviye sensörünün aktif olması durumunda alt havuzda su taşmasını engellemek için oransal vana tamamen kapanır. Sıvı seviye sensörlerinden alınan veriler PLC'ye gönderilir. Devir sensörü, oransal vananın açıklık oranına göre üst havuzdan akan suyun devri ölçer ve ölçülen devir değeri SCADA ekranı üzerinde gösterilir. Bu işlemler SCADA ekranından takip edilebilmektedir. Çalışmada HES prototipin kontrol yazılım için ilk aşama programa ait akış diyagramının çizilmesidir. Sisteme ait akış diyagramı Şekil 8'de gösterilmiştir.

HES prototip santral çalıştırıldığında Şekil 9'da gösterilen SCADA ana ekran gelmektedir. Ana ekranda, oransal vana, devir sensörü, pelton türbin, pompa çalışma durumu ve su depoları animasyon şeklinde gösterilmiştir. Ana ekranda "Prototipin Ürettiği Enerji", "Dinar HES-II'de Üretilen Enerji", "Vana Açıklığı" ve "Devir Sensörü" verileri anlık olarak takip edilebilmektedir. Ayrıca HES prototip cihazın çalışma durumu animasyon şeklinde görülmektedir.

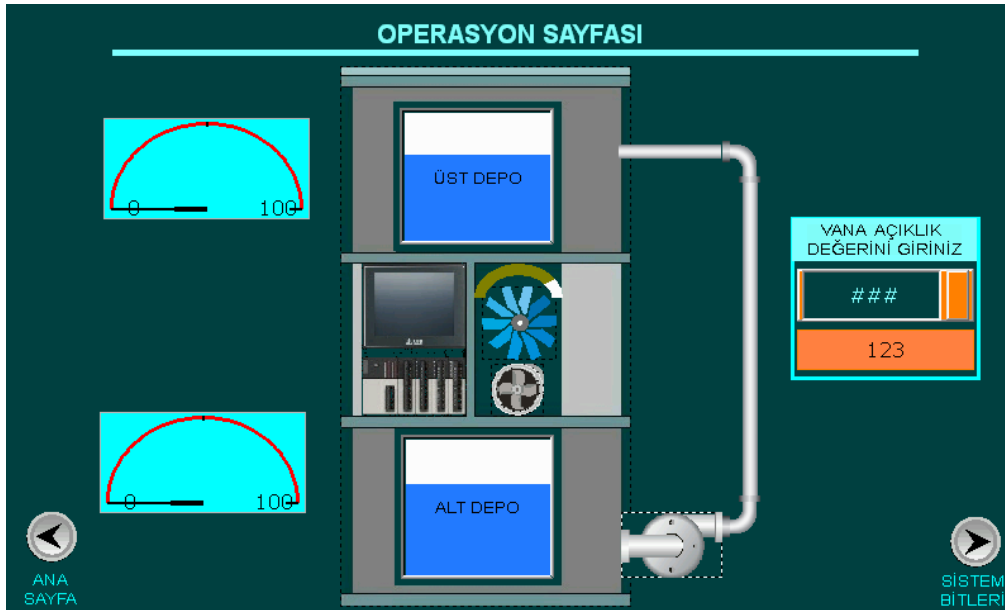


Şekil 8. HES prototipin kontrol yazılımının akış diyagramı



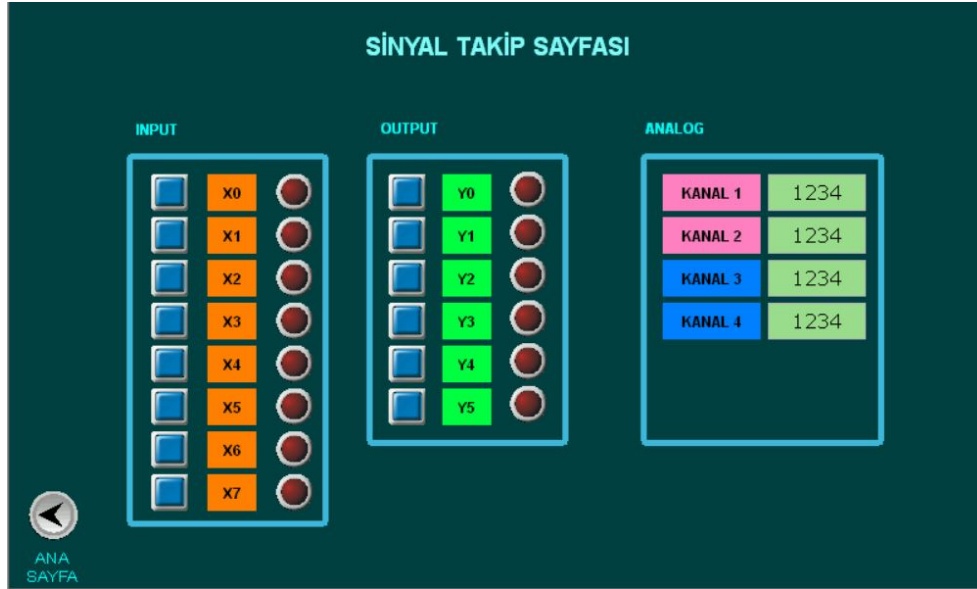
Şekil 9. HES prototip santralin SCADA ana ekranı

Şekil 10'da operasyon sayfasında kullanıcının oransal vana açıklık değeri veri girişi yapabildiği keypad bulunmaktadır. Girilen değer PLC'ye aktarılmakta ve oransal vana istenilen açıda çalışmaktadır. Böylece HES prototip santralin üst ve alt depodaki su miktarı, çalışma durumu gözlemlenebilmektedir.



Şekil 10. SCADA operasyon sayfası

Şekil 11'de gösterildiği gibi, sinyal takip sayfası programcıya ait bir sayfa olup sistemde kullanılan tüm giriş-çıkış bitleri ve dataları takip edebileceği sayfadır.



Şekil 11. Sinyal takip sayfası

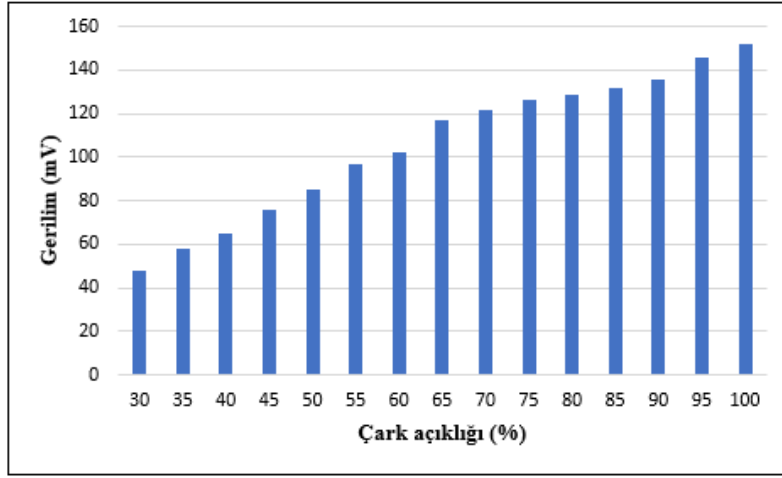
3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, pelton türbin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. HES santral prototip cihazında sistem çalıştırıldığında çark açıklığının yüzde değerine göre pelton türbinin saniyedeki devir sayısı sensör ile ölçülmektedir. Buna bağlı olarak türbin dönüşünde dinamoda üretilen voltaj değeri mV olarak alınmaktadır. Çizelge 3’de suyun çark açıklığına bağlı olarak devir sensörü ve üretilen voltaj değerleri verilmiştir. Ayrıca Dinar-II Hes santralin aynı çark açıklığında üretilen gerçek Çizelge 3’de gerilim değerleri de gösterilmiştir.

Çizelge 3. HES prototip santralin çark açıklığına göre üretilen gerilim değerleri

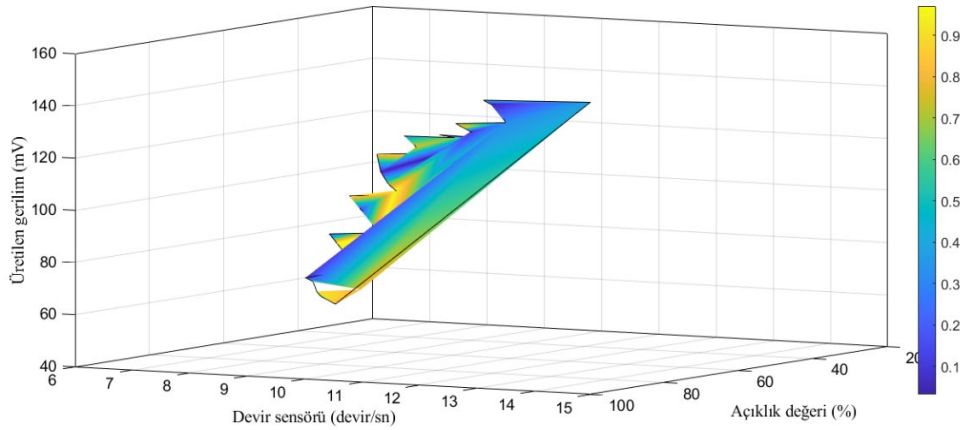
Çark Açıklığı	Dinar HES-II’de Üretilen Voltaj (V)	Üretilen Voltaj (mV)	Devir Sensörü (devir/sn)
30	191	48	6
35	231	58	7
40	259	65	7
45	303	76	8
50	338	85	9
55	386	97	9
60	406	102	9
65	466	117	10
70	486	122	10
75	502	126	11
80	514	129	11
85	526	132	12
90	542	136	12
95	582	146	13
100	606	152	15

HES prototipin çalışmasında kullanıcı tarafından çark açıklığının oransal vana ayarlanarak suyun debisi değiştirilmektedir. Çalışmada, HES prototipin açıklık değerinin yüzde(%) değişimine bağlı olarak dinamoda üretilen gerilim değerleri Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. HES prototip santralin çark açıklığına bağlı dinamonun ürettiği gerilim değerleri

Şekil 13’de devir sensörü ve çark açıklığına bağlı olarak üretilen gerilim değerleri 3 Boyutlu yüzey grafiği ile gösterilmiştir. Burada çark açıklığına bağlı olarak devir sensörü ve üretilen gerilim artmıştır.



Şekil 13. HES prototip santralin devir sensörü, çark açıklığına bağlı olarak üretilen gerilim değerleri

Literatür incelendiğinde, Bayındır vd. [19] çalışmasında, basınç, seviye ve sıcaklık sensörlerinden elde edilen verileri anlık izlenmesi, sistemin görsel takibi edilebilmesini göstermiştir. Altınkaya vd. [20], nehir tipi HES santralin prototipi ile su akış oranı, devir sayısı ve su seviyesinin ölçümü ve kontrolünü ile eğitim materyali olarak kullanımını göstermiştir. Çalışmada, eğitim aracı ve materyali tasarımı ile gerçekleştirilen PLC-SCADA entegrasyonlu HES prototip cihazının üzerinde üretilen elektrik enerjisi, türbin çark açıklık yüzde değerleri ve suyun yüksekliğini gösteren bulguların literatürdeki çalışmalara benzemektedir.

4. Sonuçlar

HES prototip santralin tasarımı, imalatı ve 3B Yazıcı ile türbin üretimi ile PLC ve SCADA entegrasyonlu kontrol yazılımı için yapılan bu çalışma ile aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir:

- HES Prototip ile enerji üretimi gerçekleştirilmesi ile enerji üretim faaliyetini SCADA sistem ile izleyip kontrolünü yapılabilmektedir. Böylece ortaöğretim ve yükseköğretim öğrencilerine yönelik eğitim amaçlı kullanılabileceği gösterilmiştir.
- Gerçekleştirilen deneysel çalışma ile sistemin güvenilir, hassas ve daha az maliyetli olduğunu göstermiştir.
- Su akış oranı ve devir sayısındaki değişimleri, üretilen gerilim SCADA ekranı üzerinde başarılı bir biçimde gösterilmiştir. Böylece öğrencilerin santrale gitmeden, elektrik enerjisinin üretimindeki süreçleri kapsayan türbin ve jeneratör bölümü uygulamalı olarak dersleri işleyebileceklerdir.
- Gerçekleştirilen HES prototip santralde 3B baskı teknolojisinin kullanımı ile birlikte öğrencilerde 3B düşünebilme kabiliyeti, analitik düşünme becerilerin geliştirilmesi ve proje tabanlı öğrenim kazanımları elde edilmiştir.
- Çalışmada kullanılan yöntemle üretilen HES prototip cihazın toplam maliyeti 4000 TL olup, literatürdeki benzer yöntemlerle üretilen prototip maliyetinden daha az bulunmuştur.
- Bundan sonraki çalışmalarda gerçekleştirilen HES prototip santralin web üzerinden kontrol edilmesi ile COVID-19 gibi hastalıkların sebep olduğu pandemi sürecinde kontrol yazılımın eğitim (uzaktan eğitim) ve sanayi uygulamalarında kullanılabilirliğini artıracaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde veri kullanmamıza izin veren Özce Mühendislik Ltd. Şti şirketine ve projeyi 1919B012000418 numaralı 2209-A- Üniversite Öğrencileri Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında destekleyen TÜBİTAK BİDEB birimine teşekkürü bir borç biliriz.

Etik Standartların Beyanı

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasalözel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

Kaynaklar

- [1] Ulu TM, Adıyaman ilinin yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi üzerine bir değerlendirme, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 33(1): 263-274.
- [2] Adıyaman Ç, “Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012).
- [3] Koç E, Kaya K, Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. Mühendis ve Makine 2015; 56(668): 36-47.
- [4] Karaaslan A, Aydın S, Yenilenebilir enerji kaynaklarının çok kriterli karar verme teknikleri ile değerlendirilmesi: Türkiye örneği. Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi 2020; 34:4 1351-1375.
- [5] Unsur C, Kale HESin enerji üretimine katkısı Güneysu/Rize. Türk Hidrolik Dergisi 2021; 5(1): 18-24.
- [6] Karagöl ET, Kavaz İ, “Kaya gazı devrimi: küresel enerji piyasalarındaki yansımaları ve Türkiye’deki geleceği”. In Icpess International Congress On Politic, Economic And Social Studies. Sarajevo,13-14, 2017.
- [7] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), “Hidroelektrik Enerji”, Ankara, 2020.
- [8] Özdemir MS, Dalcalı A, Ocak C. “Akarsu tipi hidroelektrik santraller ve bu santrallerde kullanılan türbin-generatörler”. Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi 2020; 2(2): 69-75.
- [9] Birok E, “Yüksek Mertebeden Teorik Bir Sistemin S7-300/400 Tipi Plc İçin Sayısal Benzetim İle Dijital PID Kontrolör Tasarımı”, Yüksek lisans tezi, Kocaeli üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, 2013.

- [10] Güner E, Nadar A, Tör OB, Küçük hidrolik santralleri için geliştirilen bir “SCADA” sistemi: HESKON. Elektrik Mühendisleri Odası 2005; 1:1-6.
- [11] Mahouti P, 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile bir mikroşerit yama antenin maliyet etkin üretimi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2019; 7(3): 473-479.
- [12] Hopkinson N, Hague R, Dickens P, Introduction to rapid manufacturing, rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age (First edition). Hoboken: John Wiley & Sons 1-2, 2006.
- [13] Levy GN, Schindel R, Kruth JP. Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (lm) technologies. State of the art and future perspectives, Cırp Annals Manufacturing Technology, 2003; 52(2): 589-609.
- [14] Kruth JP, Leu MC, Nakagawa T. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping, Cırp Annals - Manufacturing Technology, 1998; 47(2):525-540.
- [15] Santos EC, Shiomi M, Osakada K, Laoui T, Rapid manufacturing of metal components by laser forming. International Journal Of Machine Tools And Manufacture, 2006; 46(12): 1459-1468.
- [16] İnan S.A., Özsoy K., Delta DVP-PLC serisi programlama ve otomasyon, Nobel Akademi Yayıncılık, Ankara, 2020.
- [17] DeltaTurkey, <http://destek.delta-turkey.com/viewtopic.php?f=54&t=1585.html> (Erişim Tarihi: 30.03.2021)
- [18] Gölcü M, Kanat sayısının dalgıç pompa performansına etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2002; 6(2): 127-133.
- [19] Bayindir R, Kaplan O, Bayyigit C, Sarikaya Y, Hallaçlıoğlu M. PLC ve SCADA kullanılarak bir endüstriyel sistemin otomasyonu. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 2011; 27(1): 107-115.
- [20] Altinkaya H, Ersayan A, Yılmaz M, “Kanal Tipi Hidroelektrik Santral’in PLC-SCADA Uygulaması ve Prototipinin Yapılması” In 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016), Antalya,760, 2016.