



Küçük & Orta Ölçekli Fotovoltaik Modül Üretimi için Dijital PID Sıcaklık Denetimli Laminatör Deney Kiti Tasarımı ve Üretimi

Osman ÇİÇEK ^{1,*}, Seçil KARATAY ¹

¹Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kastamonu

Öz

Bu çalışmada, küçük & orta ölçekli fotovoltaik (PV) modül üretimi için laminatör tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. PV modüller ve/veya sistem tarafından sağlanacak enerjinin güvenilirliği; dış ortam koşullarına karşı dayanıklı ve uzun ömürlü olmaları ile mümkündür. Bu da endüstriyel açıdan zorunlu olan laminasyon tekniklerinin sunduğu korumayla sağlanır. Çalışma kapsamında ilk olarak, sistemin katı modeli Solidworks® programı kullanılarak oluşturulmuş ve optimum üretim koşulları için sistemin benzetimi yapılmıştır. Bu aşamadan sonra, tasarlanan sisteme ait bileşenler belirlenerek alüminyum levhaların CNC’de üretimi ve şase üzerine montajı gerçekleştirilmiştir. PV modül katmanlarının lamine edilmesi için istenilen ısı dağılım fişek rezistanslar tarafından sağlanırken, sıcaklığın kontrolü PID kontrolör tarafından sağlanmıştır. PV modül bileşenlerinin laminasyonunda gerekli olan vakum ve/veya basınç prosedürlerini için esnek membran bulunduğusu üst alüminyum levha, raylı kızaklar üzerine konumlandırılmıştır. Tasarım ve montajın tamamlanmasını takiben, güneş hücreleri seri ve/veya paralel bağlanarak hücre matrisleri oluşturulmuş ve sistemin endüstriyel olarak performansı test edilmiştir. Sonuç olarak, PV modül üretimi için oluşturulan dijital PID sıcaklık denetimli laminatör deney kiti, mevcut teknolojilerdeki laminasyon süreçlerinin izahını ve lisans/ön lisans düzeyindeki öğrencilerinin gerekli bilgi ve deneyime sahip olmalarını sağlayacaktır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 24/04/2018
Düzelme: 12/06/2018
Kabul: 18/06/2018

Anahtar Kelimeler

Güneş hücreleri
PV modül üretimi
laminasyon
laminatör
PID sıcaklık kontrol

Keywords

Solar cells
PV module production
Lamination
Laminator
PID temperature control

Digital PID Temperature Controlled Laminator Test Kit Design and Production for Small & Medium Scale Photovoltaic Module Production

Abstract

In this study, laminator design and production are realized for small & medium scale photovoltaic (PV) module production. The reliability of the energy to be supplied by the PV modules and / or the system is possible by being durable against external conditions and long life. This can be ensured by the protection provided by industrially mandatory lamination techniques. For the aim of the study, first, the solid model of the system is created using the Solidworks® program and the system is simulated for optimum production conditions. After this step, the components of the designed system are identified and aluminium plates are produced in CNC and assembled on the chassis. The temperature control is provided by the PID controller while the desired thermal distribution for lamination of the PV module layers is provided by cartridge resistors. The upper aluminium sheet with flexible membrane for vacuum and / or pressure procedures required for the lamination of the PV module components is positioned on the slide rails. Following completion of the design and assembly, cell matrices are constructed by connecting solar cells in series and / or parallel, and the system is tested for industrial performance. As a result, the digital PID temperature-controlled laminator test kit for PV module production will provide insight into the lamination processes in existing technologies and ensure that students at undergraduate / graduate level have the necessary knowledge and experience.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya üzerindeki teknolojinin hızla gelişmesi enerji talebini artırmakla birlikte enerji arzının sağlanmasını da beraberinde getirmektedir[1]. Sınırlı enerji kaynaklarının (kömür, petrol, doğalgaz, vb.) yakın bir

gelecekte tükeneceğinin bilinmesi, çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle alternatif bir kaynak olan yenilenebilir enerji kaynaklarının (RESs) yaygınlaştırılması ile ilgili önemli girişimleri gerekli kılmaktadır. Yeryüzündeki çoğu enerji formu için birincil kaynak olan güneş enerjisi temiz, bol ve yenilenebilir bir kaynaktır. Evren var olduğu sürece bu enerji kaynağı dönüştürülerek talep edilen enerji arzı sağlanabilir. Sadece 20 yıl içinde istikrarlı bir şekilde büyüyen güneş enerjisi endüstrisi, 2 milyar Avro (€)'dan fazla pazar payına sahiptir. Bu pazar içerisinde üretim ve kurulum kapasitesi ile en büyük pay fotovoltaik (PV) modül endüstrisine aittir [2].

Yunancada ışık anlamına gelen "phos" ve elektriğin öncülerinden olan Alessandro Volta'nın "voltaic" kelimelerinin birleşiminden meydana gelen fotovoltaik (photovoltaic), yarıiletken malzemeler kullanılarak ışığın (fotonların) elektriğe doğrudan dönüşümüdür [2, 3]. Güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren PV modüller ve/veya sistemler, şebekeden bağımsız küçük güç değerlikli uygulamalardan elektrik enerjisini doğrudan elektrik şebekesine besleyen büyük sistemlere kadar çok çeşitli uygulamaları bulunmaktadır [3]. RESs'in kullanımının etkin ve çok yönlü bir yolu olan PV modüller ve/veya sistemler, fosil kökenli kaynakların kullanımının azaltılması ve sebep oldukları sera gazı salınımlarının önüne geçilmesinde önemli rol oynarlar. Son yıllarda; dünya genelindeki PV sistemlerin kurulu güç kapasitesinin 300 GW'nin üzerinde olduğu bilinmektedir [3, 4].

Enerji talebinin karşılanmasında PV modüller ve bunların kombinasyonundan oluşan diziler; teknik yapıları, performansı ve güvenilirliği açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu modüller, sistem içerisinde sorun oluşturmayacak ve uzun ömürlü olmaları için tasarlanmalı ve üretilmelidir. Güneş hücresi matrislerinin değişken iklim koşullarına (yağmur, kar, dolu, korozyon, vb.) ve mekanik mukavemetlere karşı dayanıklılık sağlamak amacıyla endüstriyel bir süreç olan kapsülleme, başka bir ifadeyle laminasyon metodu uygulanmaktadır [5]. PV modül lamine edilmeden önce güneş hücreleri, seri ve/veya paralel bağlanarak istenilen parametrelerde elektriksel bağlantıları gerçekleştirilir. Oluşturulan bu matrisin performansı ve güvenilirliği laminasyon işlemine ve bu işlemde kullanılan bileşenlerle (cam levha, Etilen Vinil Asetat (EVA), Tedlar®) doğrudan ilişkilidir [6].

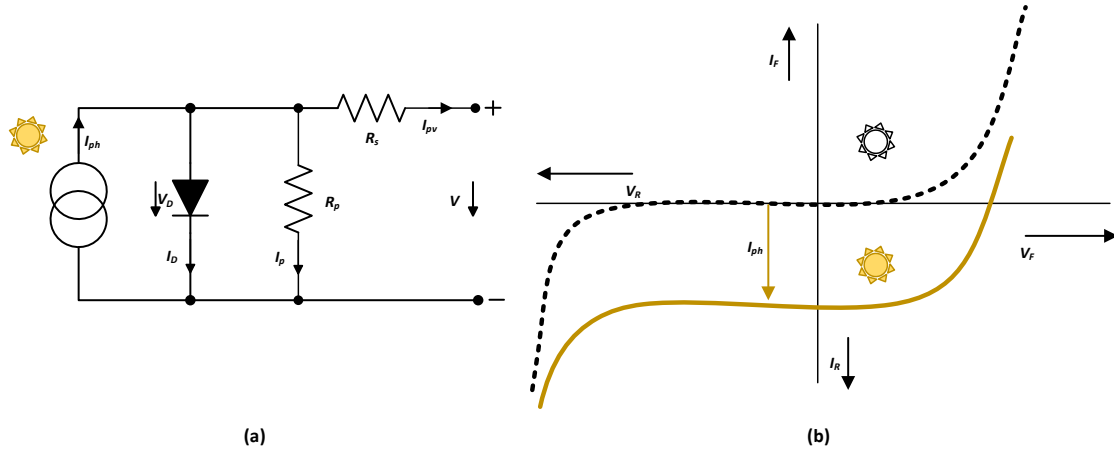
Bu çalışmada, seri ve/veya paralel bağlanarak birleştirilmeleri gerçekleştirilen hücre matrislerinin dış ortam koşullarına karşı dayanıklı ve uzun ömürlü olmaları için lamine edecek bir laminatör deney kiti tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Deney kiti, PV modül katmanlarının lamine edilmesi için istenilen ısı dağılımının sağlanması ve vakum ve/veya basınç süreçlerini yerine getirebilecek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, mevcut teknolojilerdeki laminasyon süreçlerinin izahı için lisans ve ön lisans öğrencilerinin gerekli bilgi ve deneyime sahip olmalarını sağlamıştır.

2. PV MODÜL (PV MODULE)

Güneş hücrelerinin gücü, küçük değerlikte olup enerji üretimi ve pratik uygulamalar için seri ve/veya paralel bağlanarak birleştirilmeleri gerekmektedir. Güneş hücrelerinin bir araya getirilmesinden elde edilen yapıya endüstriyel bir ürün olan PV modül denilir. PV sistemler tarafından sağlanacak enerjinin güvenilirliği, PV modülün ömrü dış ortam koşullarına karşı sunduğu korumaya bağlıdır. PV modüllerin performans ve ömürleri için çoğu üretici tarafından kullanılan temel modül üretim prosesleri, 30 yıl önce geliştirilmiş ve bu kısımda açıklanmaktadır. Gelişen teknoloji ve spesifik uygulamalar için PV modül üretimi (esnek ince film uygulamaları, uzay araçları, vb.) süreç ve materyaller olarak küçük değişiklikler gerektirebilir [7].

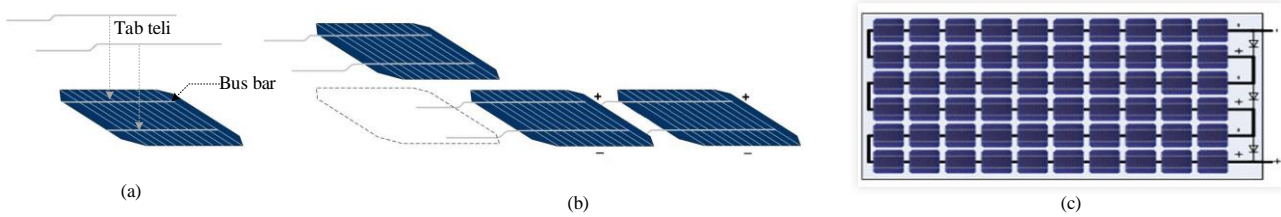
2.1. Güneş Hücre Matrisi (Solar cell Matrix)

PV bir güneş hücresi, üzerine ışık (güneş ışınımı) düştüğünde ışınım enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken temelli aygıtlardır. Güneş ışınımındaki fotonlar, yarıiletken yapıda elektron-hol çiftlerini oluşturur ve azınlık yük taşıyıcılarının yoğunluğunun artmasına neden olur. Bu yük taşıyıcıları uzay-yük bölgesine yayılmakta ve burada elektriksel alan oluşturmaktadır. Dolayısıyla yarıiletkenin n tarafı ile p tarafındaki kontak noktaları arasında potansiyel bir fark oluşur. Güneş hücresinin çalışmasına ait tek diyot eşdeğer devre modeli ve akım-voltaj karakteristiği Şekil 1'de görülmektedir [8].



Şekil 1. Bir güneş hücresinin elektriksel eşdeğer devre modeli (a) ve akım-voltaj karakteristik eğrisi (b) [8].

PV modülde, güneş hücreleri seri ve/veya paralel olarak düzenlenir. Üretim sürecinde, kalaylı bakır şeritler (tab telleri) güneş hücrelerinin üst kontak noktalarına (bus bar) Şekil 2a'da benzetildiği gibi lehimlenirler. Güneş hücrelerinin üst kontak noktalarındaki metal şeritlerin iletkenliği düşük olduğundan lehimleme esnasında tab tellerinin bus bar telleri boyunca üst üste lehimlenmesine özen gösterilir [7]. Endüstriyel uygulamalar için geleneksel lehimleme süreçlerinin yerine elektriksel iletken yapıştırıcılar kullanılmaktadır [9].

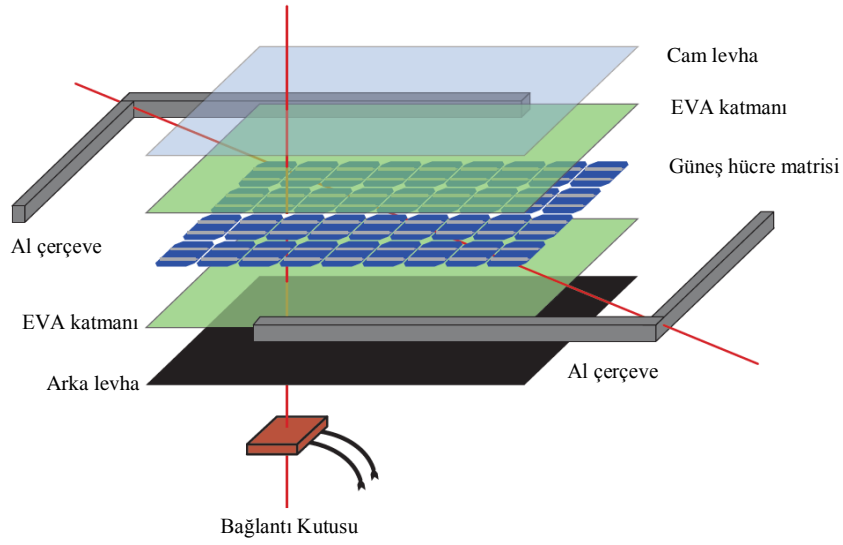


Şekil 2. (a) Güneş hücrelerinin üst kontak noktalarına tab tellerinin lehimlenmesi; (b) Güneş hücrelerin seri bağlantısı; (c) Seri bağlanan güneş hücrelerinin düzeni [7].

Her bir güneş hücresinin üst kontak noktalarına (bus bar'a bağlı metal şeritler), akım akışını kolaylaştırmak ve dizgi direncini azaltmak amacıyla double veya triple tab telleri kullanılarak bağlantı sağlanır [10]. Şekil 2b'de benzetildiği gibi tab tellerinin bir başka güneş hücresinin arka kontak noktasına lehimlenmesiyle dizgiler, diğer bir ifadeyle seri bağlantısı gerçekleştirilmiş olur. Bir veya birden fazla dizginin bir araya gelmesinden oluşan yapı, hücre matrisi olarak adlandırılır. Farklı modül konfigürasyonları için güneş hücreleri seri ve/veya paralel bağlanarak PV modüle ait çıkış parametreleri ayarlanabilir. Güneş hücrelerinin düzenine ait şematik gösterim Şekil 2c'de verilmiştir [7].

2.2. PV Modül Katmanları (The Layers of the PV Module)

Hücre matrislerinin 20 yıldan daha uzun bir süre değişken iklim koşullarında çalışabilmelerinde; yapıyı darbelerle karşı koruma, elektriksel izolasyon, hava ve nemin oluşturacağı faktörlerden korumak için endüstriyel kapsülleme uygulamalardan faydalanılmaktadır. "Kapsüllemiş" bir PV modül, Şekil 3'de verilen farklı bileşenden oluşur [7].

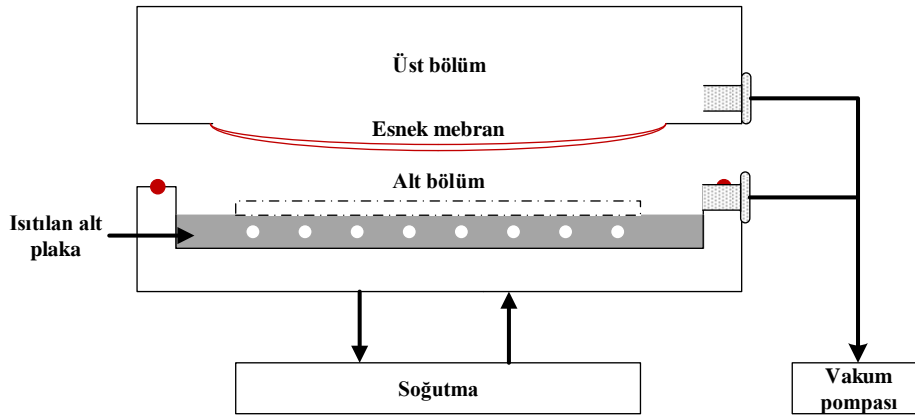


Şekil 3. Bir PV modülünün kapsüllemesine ait bileşenleri [10].

Çoğunlukla, PV modülün mekanik sertliğini ve darbelere karşı korumasını sağlamak amacıyla 2–3 mm kalınlığında termal olarak temperlenmiş, demir içermeyen (“beyaz”) cam kullanılır. Hücre matrisini; üst cam tabaka ile alt tabaka arasına sıkıştırılması amacıyla kapsülleyici malzeme olarak tek kovalent bağ ile karbon atomlarının omurgasına sahip uzun moleküllerden oluşan bir plastik olan ve 0.5–0.7 mm kalınlığında folyolar halinde temin edilen EVA (etilen vinil asetat) kullanılır [7, 8]. PV modül laminasyonunda, arka folyo tabaka olarak ise genellikle 0.5 mm kalınlığında a polyvinyl fluoride film (PVF) olan Tedlar® veya bileşikleri (Tedlar®–Polyester–Tedlar®; Tedlar®–Alüminyum–Tedlar®) kullanılır [8].

2.3. Laminasyon Süreci (Lamination process)

Genellikle; tam hücre matrislerinin laminasyon süreci ısıtma, kopolimer EVA’nın kürlenmesi ve soğutma kısımlardan oluşan bir vakum-laminatör tarafından gerçekleştirilir. Bu süreçler, PV modülün olduğu dış ortamdan bağımsız kenarları sıkıca bir kapakla kapatılan iç bölmesi ve modülün bulunduğu bölümden ayıran bir diyafram kısımlarında gerçekleşir. PV modül üzerine mekanik olarak basınç uygulanırken, yapı içerisindeki hava kabarcıklarının oluşmaması ve vakumda tutulması için her iki bölme bağımsız olarak vakumlanır. Sistemin çalışmasına ait şematik gösterim Şekil 4’de verilmiştir [7, 8].

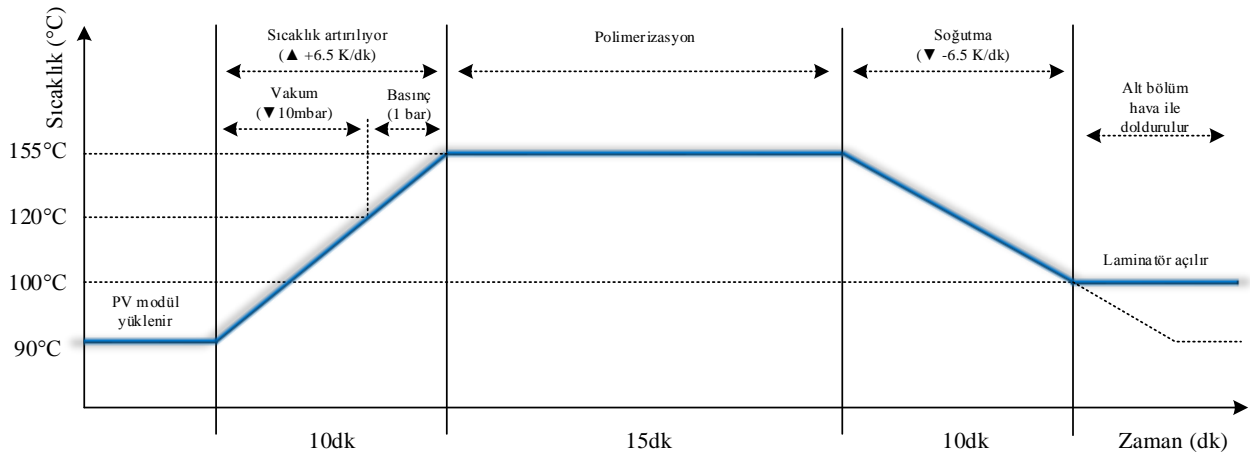


Şekil 4. Laminatörün çalışmasına ait şematik gösterim [11].

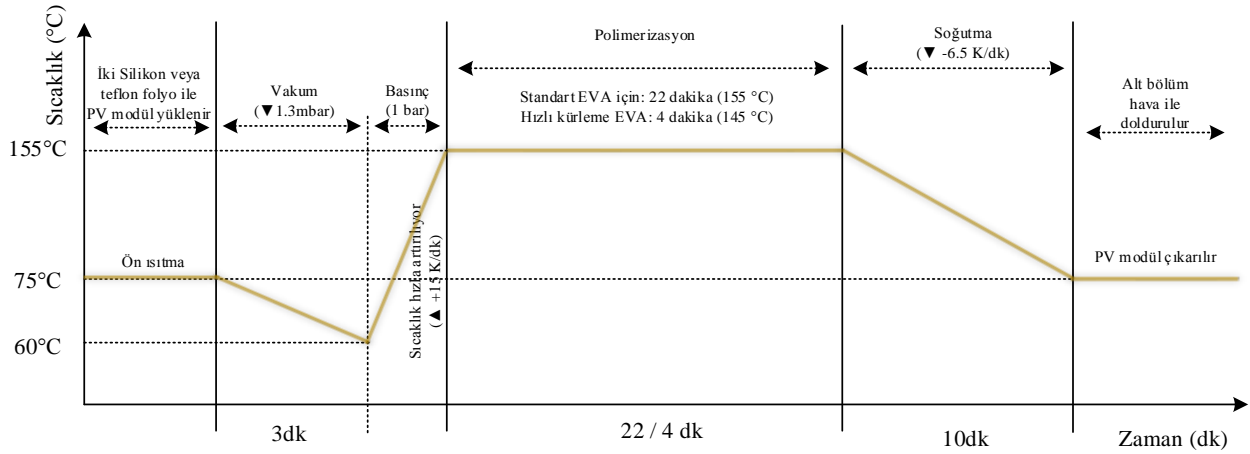
Her iki bölme vakumlanırken, modülün olduğu bölmenin sıcaklığı EVA’nın erime noktası olan 120 °C’nin üzerine çıkartılır. Eriyik hale gelen EVA hücre matrislerini sarar. Birkaç dakika sonra; modülün bölmesi hala vakum altındayken, üst bölüm hava ile doldurularak diyaframın modül üzerine basınç uygulaması sağlanır. Bu aşamadan sonra kürlenme sürecinin başlayabilmesi için sıcaklık 150 °C yükseltilir. Standart bir

EVA için 60 dakika süren kürlenme reaktivi [13], öncesinde zayıf bir bağ yapısı ile bağlanmış olan EVA zincirlerinin çapraz bağlanmasını sağlar [7, 8]. Optimum basınçta kürlenme, seri üretim sürecini azaltır ve dolayısıyla yeniden üretime geçilmesini hızlandırır [8].

Üretim sürecini hızlandırmak için modern hızlı-kürlenmeli EVA malzemesi, kürlenme fazının 22 dakikadan 4 dakikaya indirilmesini sağlayabilir. Ancak farklı veya eşit işlemlerin avantajlarını azaltabilir. Günümüzde, üretim verimini ve seri imalat hızını önemli ölçüde artıran 150°C'deki "sabit sıcaklık" metodu tercih edilmektedir. The Austrian Company Isovolta AG'nin standart EVA için önerdiği Laminasyon prosesi; laminitörün üst plakasında bulunan ve modülün bulunduğu alt ısıtma plakası ile ısıtılan bölmei ayıran, vakum işlemi ile gerekli basıncın oluşturulmasını sağlayan bir diyafram tarafından gerçekleştirilir. Diğer taraftan, standart ve hızlı kürlenme EVA için "Springborn" yöntemine göre PV modül üretim prosedürü gerçekleştirilmektedir. Her iki üretim yöntemine ait grafikler Şekil 5'de görülmektedir [8].



(a)



(b)

Şekil 5. Standart ve hızlı kürlenme EVA için Isovolta AG (a) ve Springborn yöntemine (b) göre PV modül üretim prosedürü [8].

2.4. Laminasyon Sonrası Adımlar (Post-lamination Steps)

Laminasyon sonrası modül kenar ve köşelerinde oluşan taşmalar ve fazlalıklar kesme ve düzeltme bandında giderilmektedir. Elde edilen modülün dışarıda kalan uçlarına terminal bağlantılar yapılarak, dış etkilere karşı korunması amacı ile modülde potansiyel nem giriş yolunu kapatmak için silikon kauçuk ile kapatılması, akabinde çerçeveleme işlemi yapılmaktadır [12,14]. Burada, alüminyum çerçevenin aktif hücre devresinden elektriksel olarak izole edilmesi oldukça önemlidir [7]. Yüksek voltaj delinme testlerinin yanı sıra, standart koşullar altında (STCs, AM1.5, 1000 W/m², 25 °C) tüm modüllerin I-V eğrisi, teknik

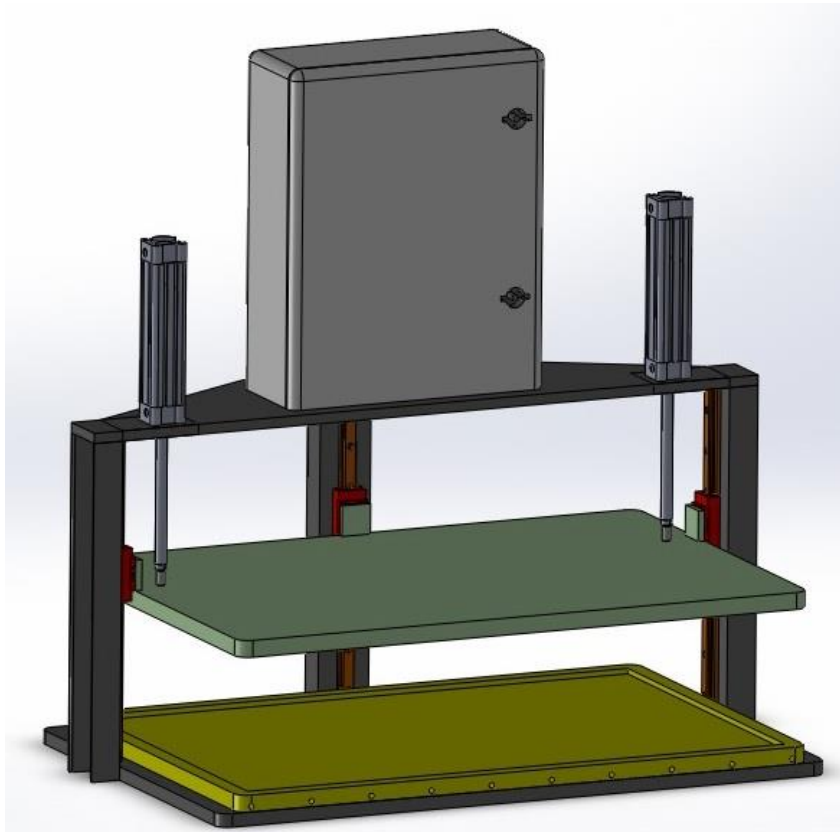
özellikleri karşılayıp karşılamadıklarını kontrol etmek için bir güneş simülöründe ölçülenmesinin ardından modül sisteme montaj edilmeye hazır hale gelmektedir [7,15]. Laminasyon sürecinin kısaltılması [16], hatalı üretim oranının azaltılması [14], sistemin otomasyon ile kontrolünün artırılması [17], test süreçlerinin daha hızlı, ekonomik olarak gerçekleştirilmesini [18] hedefleyen çalışmalar yapılmıştır. Bu endüstriyel süreçler; verimliliği ve kaliteyi artıran çalışmalar olmakla birlikte sistemi daha fazla karmaşık ve pahalı hale gelmesinde etken olmuştur.

3. DENEY KİTİ TASARIMI VE ÜRETİMİ (TEST KIT DESIGN AND PRODUCTION)

PV hücre matrislerinin değişken iklim koşullarında çalışmaları ve yüksek verimde ömürlerinin uzatılabilmesi, laminasyon süreçlerinin uygulanması ile mümkündür. Gerçekleştirilen çalışmada, laboratuvar ortamında laminasyon süreçlerini yerine getirmesi amacıyla bir laminatör deney kiti tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.1. Tasarım (The Design)

Tasarlanan sistemin amacı, genel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. İlk olarak sistem, belirlenen ölçütler doğrultusunda PV modüllerinin üretimine ait istekleri yerine getirmek için optimum koşulları sağlamasıdır. İkinci olarak ise maliyet açısından mekanik tasarımdaki parça ağırlıklarının minimum ölçekte, optimum üretimi gerçekleştirecek düzeyde olmasıdır. Solidworks® 2013 programı kullanılarak tasarlanan sisteme ait bileşenler, istenilen ölçülerde ve özelliklerde montaja hazır hale getirilmiştir. Solidworks®'de oluşturulan sisteme ait görünüm Şekil 6'de verilmiştir.



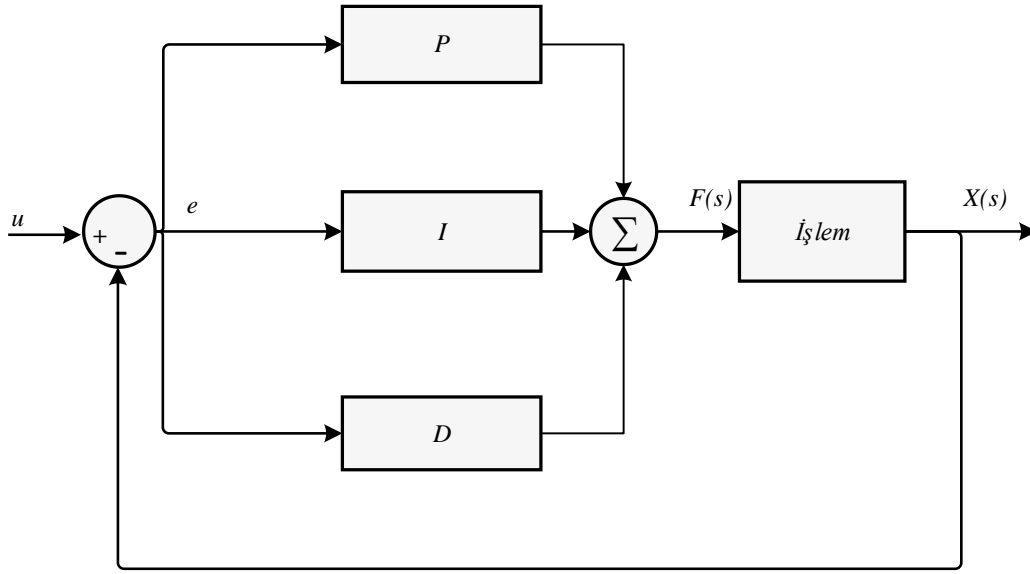
Şekil 6. Solidworks® tasarımı.

3.2. PID Sıcaklık Kontrol Ünitesi (PID Temperature Control Unit)

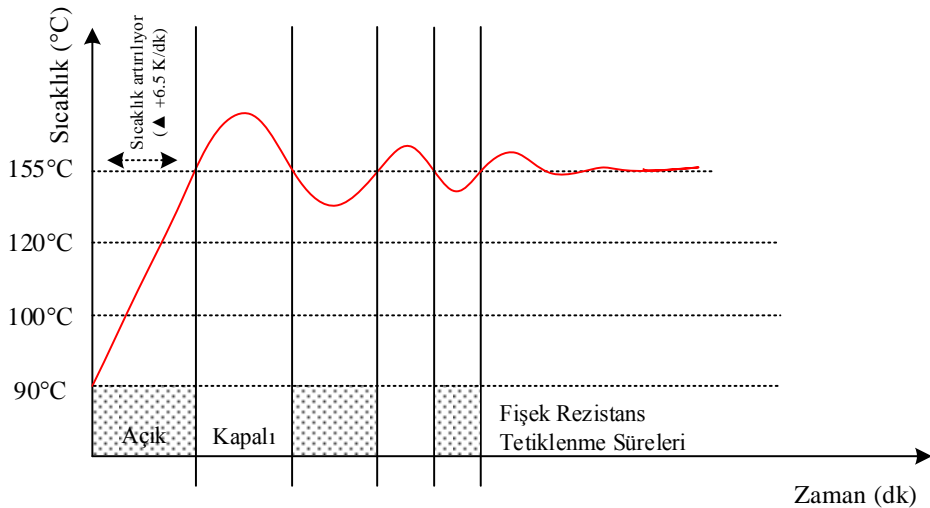
PV hücre matrislerinin lamine edilmesinde, uygulanacak parametrelerin takibinin ve kontrolünün yapılması için bir birime ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle laminatör üzerinde sistemin açılıp kapatılması ve ısı

prosedür için gerekli olan sıcaklık kontrolünün gerçekleştirilebilmesi için PID sıcaklık kontrol ünitesinden faydalanılmıştır.

PID (Proportional – Integral – Derivative) kontrol; sistemin daha kararlı ve minimum hata payıyla çalışması amacıyla PD ve PI yöntemlerinin dezavantajlarını baskılayıp, iyi yönlerinden faydalanarak oluşturulan bir kontrol olup, endüstride çok kullanılan ve kabul gören bir algoritmadır. PID sıcaklık kontrolü, işlemin doğruluğunu artırmak için birçok işlemi içerisinde bulunduran bir döngü kontrol özelliğine sahiptir. PID kontrol cihazlarının çok tercih edilmesinin nedenleri; geniş çalışma koşulları, işlevsel olmaları ve güvenilir performansa sahip olmaları şeklinde sıralanabilir. PID algoritması, optimal yanıt almak için değişen üç temel katsayıdan oluşur: Oransal, integral ve türev. Şekil 7a'da görüldüğü gibi bir PID kontrol cihazının ardındaki temel fikir, bir sensörü okumak ve daha sonra, oransal, integral ve türev çıktılarını elde ederek istenen çıktıyı hesaplamak ve bu üç bileşeni toplanmaktır [19].



(a)



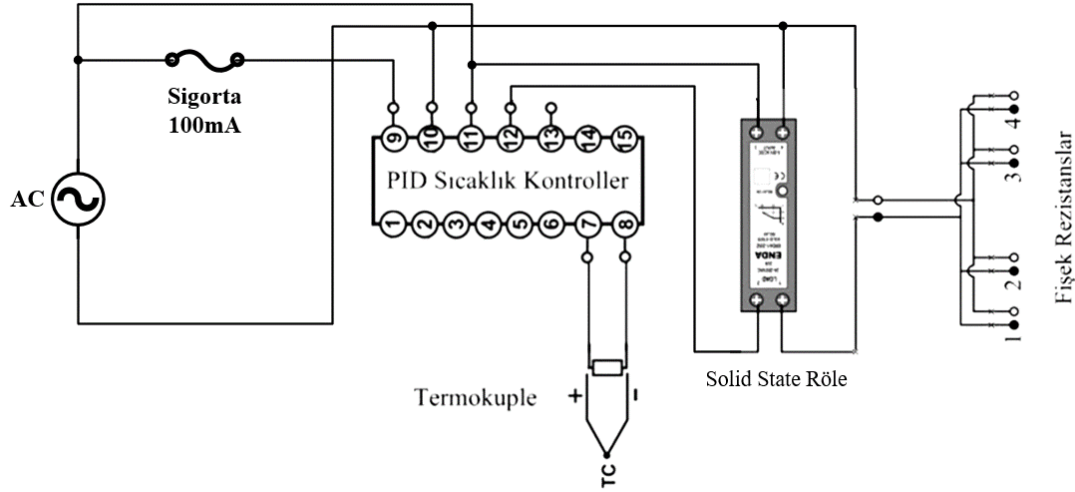
(b)

Şekil 7. Kullanılan PID kontrolöre ait kapalı çevrim şeması (a); PID kontrol edilen sistemin sıcaklık-zaman eğrisi (b).

PID sıcaklık kontrolörleri, istenen sıcaklık ayar noktası ile mevcut işlem sıcaklığı arasındaki farkı hesaplamak için bir formül kullanarak çalışırlar. Daha sonra işlem sıcaklığının mümkün olan en yakın

noktaya kadar kalmasını sağlamak için sonraki işlem döngülerinde ne kadar güç kullanılacağını tahmin eder. PID sıcaklık kontrolörleri, ayar noktasına erişilinceye kadar %100 güç uygulandığı açık/kapalı sıcaklık kontrolörlerinden farklıdır. Bu noktada işlem sıcaklığı tekrar ayar noktasının altına düşene kadar güç % 0'a kesilir. Tipik bir kontrol sisteminde süreç değişkeni, sıcaklık (°C), basınç (psi), akış hızı (lt/dk) vb. gibi kontrol edilmesi gereken sistem parametresidir. Bir sensör, süreç değişkeninin ölçmek ve sisteme geri besleme sağlamak için kullanılır [19].

PID kontrolör; termokupl'dan gelen değişken ölçüm bilgisini, referans bilgisi ile karşılaştırarak, istenilen sıcaklık değerinin elde edilebilmesi için fişek rezistanslarını açık/kapalı hale getirmektedir (Şekil 7b). Bu kontrol ünitesi, işlem süreci boyunca sürekli olarak çalışmakta ve istenilen sıcaklık değerini ayarlamaktadır. Bahsedilen sisteme ait elektriksel eşdeğer devre modeli Şekil 8'de görülmektedir.

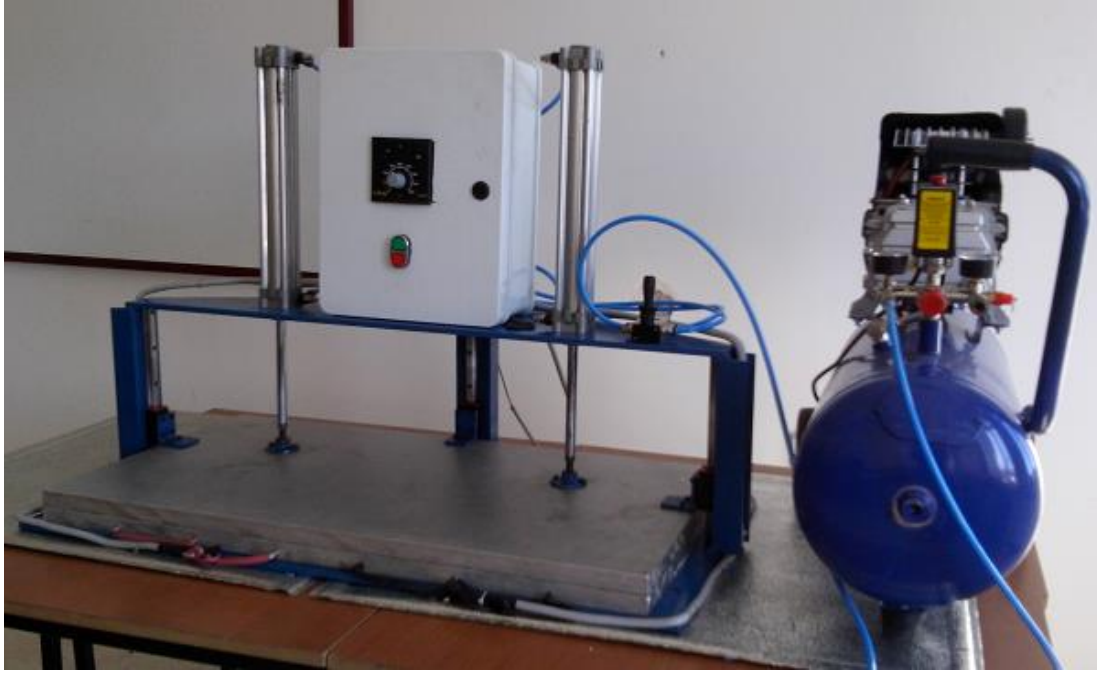


Şekil 8. Deney kitine ait kontrol ünitesinin elektriksel devresi.

Laminatörde kullanılan fişek rezistanslar seçilmeden önce, kullanılan alüminyum levhanın ağırlığı ile özgül ısısı kullanılarak, istenilen sıcaklık dikkate alınarak fişek rezistans hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Sisteminde fişek rezistansların 250 °C sıcaklık değerini verebilecek şekilde tasarlanmıştır. İstenilen sürede alüminyum levhanın 25 °C sıcaklıktan 250 °C sıcaklığa çıkması için gereken güç 6000 W civarındadır. Bu gücün sağlanabilmesi amacıyla 500 W gücünde 12 adet fişek rezistans kullanılmıştır.

3.3. Deney Kiti (Test Kit)

Sistemin katı modelinin ve kontrol işlemlerine ait sistem bileşenlerinin belirlenmesinden sonra sistem elemanlarının CNC'de üretimi ve montaj aşamasına geçilmiştir. Öncelikle hücre matrislerinin lamine edilmesi işleminin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için mekanik şase oluşturulmuştur. Oluşturulan şase üzerine, PV modül katmanlarının ısıl işleme tabi tutulacağı alt alüminyum levha yerleştirilmiştir. Deneylerde uygulanacak, vakum yöntemi ile basınç süreçleri için gerekli olan esnek membranın yerleştirileceği üst alüminyum levha, raylı kızaklar yardımıyla alt alüminyum levha üzerine konumlandırılmıştır. Üst alüminyum levhanın aşağı ve yukarı yönlü hareket işleminin gerçekleştirilebilmesi için pnömatik sistemden faydalanılmıştır. Pnömatik sistemin girişindeki basınç regülatörü kullanılarak, basıncı daima ayarlanan değerde sabit tutması sağlanmıştır. Ayrıca, pnömatik sistemde her iki yönlü hareket, mekanik kumandalı valf yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Tasarım sonucunda oluşturulan laminasyon sistemine ait görünüm Şekil 9'de verilmiştir.



Şekil 9. Gerçekleştirilen laminasyon sistemine ait görünüm.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Düşük değerlikteki güneş hücreleri; pratik uygulamaları için seri ve/veya paralel bağlanarak birleştirilmeleri (güneş hücresi matrisi), dış ortam koşullarına karşı dayanıklı ve uzun ömürlü olmaları için farklı bileşenlerle lamine edilmelidir (PV modül). Endüstriyel bir ürün olan PV modüller tarafından sağlanacak enerjinin güvenilirliği, laminasyon tekniğinin sunduğu korumaya bağlıdır. Enerji talebinin her geçen gün arttığı, geleneksel enerji kaynak türlerine alternatif yenilenebilir enerji kaynak türlerinin önem kazandığı çağımızda, mevcut teknolojilerin tarifi ve izahının yapılması gerekmektedir. Çalışma kapsamında; PV modül katmanlarının lamine edilmesi için istenilen ısı dağılımının sağlanması ve vakum ve/veya basınç prosedürlerini yerine getirmesi amacıyla bir laminatör deney kiti tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarımda, Solidworks® 2013 programı kullanılmış olup program içerisinde optimum üretim koşulları için sistemin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen sistem, mevcut teknolojilerdeki laminasyon süreçlerinin izahı için lisans ve ön lisans öğrencilerinin gerekli bilgi ve deneyime sahip olmalarını sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar, Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (KUBAP) (Proje No:KUBAP-01/2014-05) vasıtasıyla destekleri için KUBAP' a teşekkür eder. Ayrıca yazarlar, Öğr.Gör. Hasan MAKARA'ya öğrencilerin uygulamadaki koordinasyonu ile ilgili yardımlarından dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Atabey G., Tezcan, S.S. "Rüzgâr Santrallerinin Modellenmesi ve Rüzgâr Santrallerinin İletim Sistemi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi" Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji 5 (3): 197-212 <<http://dergipark.gov.tr/gujsc/issue/31140/293379>>
- [2] Papadopoulou E.V.M. Photovoltaic Industrial Systems: An Environmental Approach, Greece: Springer, 2011.
- [3] Pearsall N. The Performance of Photovoltaic (PV) Systems: Modelling, Measurement and Assessment, United Kingdom: Elsevier, 2017.

- [4] Goetzberger A., Hoffmann V. Photovoltaic Solar Energy Generation, New York: Springer, 2005.
- [5] Lynn P. A. Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics, United Kingdom: WILEY, 2010.
- [6] Reinders A., Verlinden P., van Sark W., Freundlich A. Photovoltaic Solar Energy: From the Fundamentals to Applications, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2017.
- [7] Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons, 2003.
- [8] Krauter S. C. Solar Electric Power Generation - Photovoltaic Energy Systems, Netherlands: Springer, 2006.
- [9] Feng P. "Electrically Conductive Adhesives," 24 May 2016. Available: <http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/solar-photovoltaic-materials/solar-photovoltaic-materials-landing/documents/Electrically-Conductive-Adhesives-for-PV-Applications-DuPont.pdf>. [Erişildi: 18 Apr 2018].
- [10] Wenham S., Green M., Watt M. Applied Photovoltaics, Chap. 5, Centre for Photovoltaic Devices and Systems,, Sydney: University of New South Wales, 1995.
- [11] Jäger K., Isabella O., Smets A. H., van Swaij R. A., Zeman M. Solar Energy: Fundamentals, Technology, and Systems, Delft University of Technology, 2014.
- [12] El Amrani A., Mahrane A., Moussa F. Y., Boukennous Y. "Solar Module Fabrication" International Journal of Photoenergy, cilt 2007, no. Article ID 27610, 2007.
- [13] Czanderna A., Pern J. Sol. Energy Mater. Sol. Cells, cilt 43, p. 101–181, 1996.
- [14] Krauter S., Péridon R., Lippke B., Hanusch M., Grunow P. "PV Module Lamination Durability" ISES Solar World Congress, Kassel (Germany), 2011.
- [15] Wiese S., Kraemer F., Meier R., Schindler S. "Mechanical Problems of Manufacturing Processes for Photovoltaic Modules" 18th European Microelectronics and Packaging Conference, EMPC 2011, UK, 2011.
- [16] Hogan S. J. et al. "Automated lamination for photovoltaic module encapsulation" Conference: Photovoltaic Specialists Conference 1993, Conference Record of the Twenty Third IEEE, 1993.
- [17] Nowlan M., Murach J., Sutherland S., Moore S., Miller D., Hogan S. "Development of automated photovoltaic module manufacturing processes" Photovoltaic Specialists Conference, 2002. Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE, 2002.
- [18] Meekhun D., Boitier V., Dilhac J. Blin G. "An Automated and Economic System for Measuring of the Current-Voltage Characteristics of Photovoltaic Cells and Modules" ICSET 2008, 2008, 144-148 .
- [19] Kuo B. C. "PID kontrolü ile tasarım", Otomatik Kontrol Sistemleri 7th ed., Çeviri Editörü, Prof. Dr. Atilla BİR,, İstanbul: Literatür Yarıncılık, 2009.