

Maksimum Güç Noktası İzleme Devresi Tasarımında PI ve PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi

Yılmaz Seryar ARIKUŞU¹, Nevra BAYHAN², Hasan TİRYAKI*

*.1,2; İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.

*Sorumlu Yazar / Corresponding author: hasan.tiryaki@istanbul.edu.tr

¹Y. S. ARIKUŞU, orcid.org/0000-0002-0915-5549,

²N. BAYHAN, orcid.org/0000-0002-7497-2377,

Geliş Tarihi / Received Date

15.06.2020

Kabul Tarihi / Accepted Date

24.06.2020

Yayın Tarihi / Published Date

20.07.2020

Alıntı / Citation :

Arikuşu, Y., S., Bayhan, N., Tiryaki, H. (2020). *Maksimum Güç Noktası İzleme Devresi Tasarımında PI ve PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi*, Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi, 1(1), 25-30.

Determination of PI and PID Controller Parameters in Maximum Power Point Monitoring Circuit Design

Özet – Bu çalışma, hibrit bir aracın elektrik sistemi için ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmının maksimum güç noktası izleme (MPPT) devresi ile elde edilmesini konu almaktadır. Araçta bulunan içten yanmalı motora ait salınım gazları egzoz üzerinde atık ısı oluşturmaktadır. Bu ısı enerjisinin elektriksel bir enerjiye dönüştürülmesi için maksimum güç noktası izleme devresine ihtiyaç duyulmaktadır. Oluşan ısı sürekli olarak sabit bir sıcaklıkta olmadığı için yapılan çalışmada maksimum güç noktası izleme devresinin hem alçaltan hem de yükselten devre tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada alçaltan devre ve yükselten devre tasarımlarına değinilmiş ve söz konusu devre oluşturulurken kullanılan kontrol yapılarından bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yükselten Devreler, Alçaltan Devreler, MPPT, PI, PID.

Abstract - This study focuses on obtaining some of the energy needed with the maximum power point tracking (MPPT) for the electrical system of a hybrid vehicle. Emission gases of the internal combustion engine in the vehicle create waste heat on the exhaust. Maximum power point monitoring circuit is needed to convert this heat energy into electrical energy. Since the generated heat is not constantly at a constant temperature both buck and boost converter designs of the maximum power point monitoring circuit are needed in the study. At this study, buck and boost converter designs are mentioned, and control structures used in creating the circuit are mentioned.

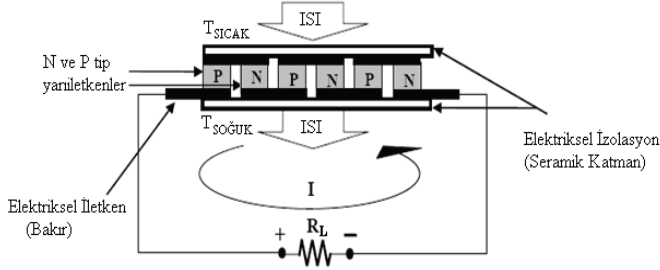
Index Terms : Boost Converter, Buck Converter, MPPT, PI, PID.

I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

S ON yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında artış olmuştur. Bunun nedeni hem fosil yakıtların tükenmesi hem de doğaya vermiş oldukları zararlardır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak genellikle güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi kullanılmaktadır [1]. Termoelektrik jeneratör kullanımı da yenilenebilir enerji kaynağı olarak günümüzde kullanılmaktadır. Termoelektrik kavramı 1820 yılında ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinin bulunmasıyla ve 1950’li yıllardan itibaren yarı iletken teknolojisinin gelişmesiyle dikkat çeken bir konu olmuştur. Termoelektrik jeneratör (TEJ) temel çalışma prensibi yarı iletken maddenin iki yüzeyine sıcaklık farkı uygulandığında bir gerilim farkı oluşturmasıdır. TEJ temel çalışma prensibi Thomas Seebeck tarafından bulunmuştur [2]. Bu çalışmada, hibrit elektrikli araçlarda alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması düşünülen termoelektrik jeneratör ile egzoz üzerindeki atık ısının elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve araç içi sistemlerde kullanılması hedeflenmiştir. Elde edilen elektrik enerjisi araç içi sistemlerini çalıştırabilmesi için Buck DC-DC dönüştürücünün kullanılması düşünülmüştür. Ayrıca TEJ’den elde edilecek gerilim araç bataryasını düzgün şekilde besleyebilmesi için Boost DC-DC dönüştürücünün kullanılması önerilmiştir. Yapılan bu çalışma hibrit araçlara yenilikçi, düşük emisyonlu ve alternatif bir enerji kaynağı oluşturulması hedeflenmiştir.

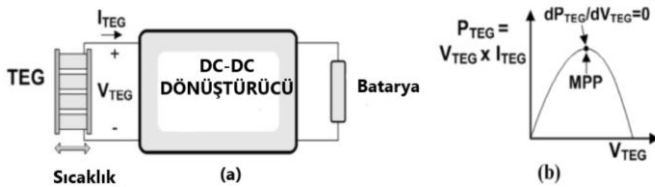
II. MPPT TOPOLOJİSİ [MPPT TOPOLOGY]

Şekil 1’ de P ve N tipi yarı iletken maddenin elektrik gerilimi için seri, seramik plakalar yardımıyla termal olarak paralel bağlanarak da ısıl genişleme sağlanmış olup TEJ’nin devresi gösterilmiştir [2].



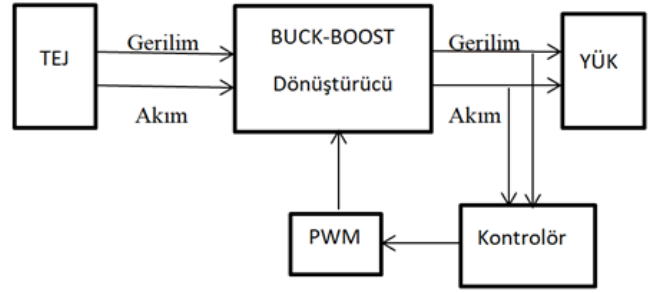
Şekil 1. Termoelektrik jeneratör (TEJ) Yapısı [2]

MPPT çalışma prensibi, fotovoltaik ve termoelektrik jeneratör sistemlerinde gerilim ve akım değerlerinin izlenmesi ve çeşitli algoritmalar ile çıkış gerilimini kontrol eden elektronik donanım olarak bilinmektedir. Literatürdeki çalışmalarda, MPPT sisteminde çıkış gerilimleri elde etmek için DC-DC çevirici devresi olan Buck ve Boost devrelerinin kontrolü üzerinde durulmuş olup böylelikle istenilen gerilimler elde edilmiştir [3][4][5]. Maity ve arkadaşlarının çalışmasında, DC-DC dönüştürücünün anahtarlama frekansı bulanık mantık tabanlı kontrolörle elde edilmiştir [6]. MPPT sisteminin blok diyagram devresi Şekil 2a’da ve güç -gerilim eğrisi Şekil 2b’de verilmiştir.



Şekil 2. (a) TEJ Devre Şeması (b) Güç ve Gerilim Grafiği [1]

Çeşitli sıcaklıklarda hibrit araçlarda motor gücüne bağlı olarak TEJ’den elde edilen güçler farklı olmaktadır. Elde edilen farklı ve düzensiz gerilimler bataryanın kısa sürede boşalmasına ve araç içi sistemlerin düzgün çalışmamasına neden olur. Bunu önlemek için DC-DC çeviricide Mosfet sürümünde anahtarlama sinyali genlik modülasyonunu (PWM) kontrol edilmelidir. TEJ’ün topolojisi Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. TEJ Topolojisi

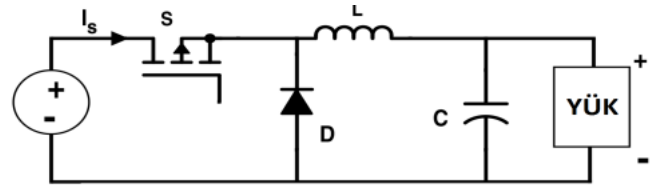
Şekil 3’de görüldüğü üzere DC-DC dönüştürücü olarak Buck (Alçaltan) ve Boost (Yükselten) dönüştürücüler seçilmiştir. Termoelektrik jeneratörden elde edilen gerilim bataryanın geriliminden fazla ise Buck dönüştürücü çalıştırılarak istenilen gerilime düşürülür. Tam tersi durumda TEJ’den elde edilen gerilim bataryanın değerinden düşük ise Boost dönüştürücü çalıştırılarak istenilen gerilim değerine yükseltilir.

Bu çalışmada TEJ’ün farklı sıcaklık değişiminde düzensiz güç elde etmesinden dolayı PWM değerini istenilen kontrol seviyesinde tutmak için hem Buck hem de Boost devresinin kullanılması uygun bulunmuştur. MPPT devresinde PWM değerini kontrol edebilmek için klasik PI kontrolörü ve PID kontrolörü önerilmiştir.

III. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ [DC-DC CONVERTER]

A. Buck (Alçaltan) Dönüştürücü

Şekil4’de Buck (Alçaltan) tip DC-DC dönüştürücüsünün basitleştirilmiş devre şeması verilmiştir.



Şekil 4. Buck Dönüştürücü Devresi [7]

Şekil 4’de görüldüğü üzere Buck dönüştürücüsü devresinde LC filtre devre elemanı kullanılır. Devrede L bobini ve C ise kondansatörü ifade eder. Filtre kullanımı sayesinde elektriksel gürültü ve dalgalanma minimuma indirilir.

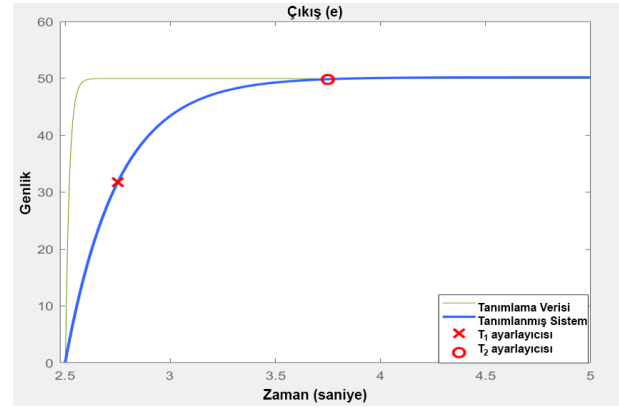
Buck devresinin indüktans ve kapasitans denklemleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$L_{min} = \frac{(1-D_{min})V_0}{2f_s I_0} \quad (1)$$

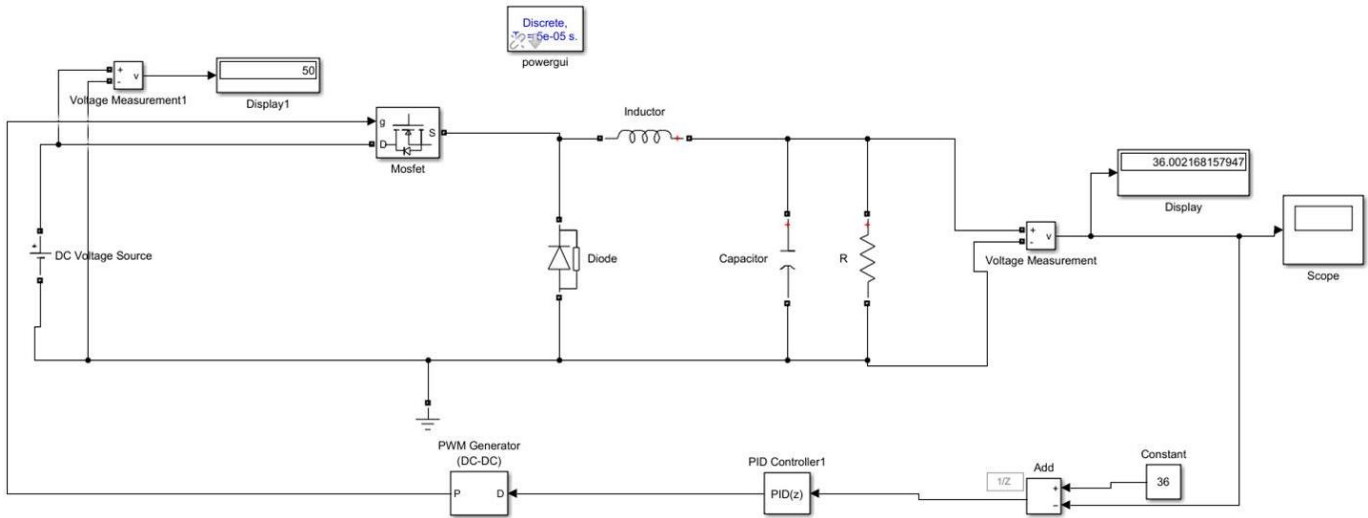
$$C_{min} = \frac{(1-D_{min})}{8L_{min} \frac{\Delta V_0}{V_0} f_s^2} \quad (2)$$

Güç anahtarının on süresinin anahtarlama periyoduna oranına duty cycle denir. D_{min} minimum duty cycle değerini ifade eder. Duty cycle 0 ile 1 arasında değer alır. f_s (Hz) anahtarlama frekansıdır. V_0 çıkış gerilimidir.

ΔV_0 gerilim dalgalanması, I_0 çıkış akımı olarak ifade edilir. Şekil 5’de önerilen Buck devrenin simülasyon çalışması verilmiştir.



Şekil 6: PID Sistem Tanımlama



Şekil 5. Buck Simülasyon Devresi

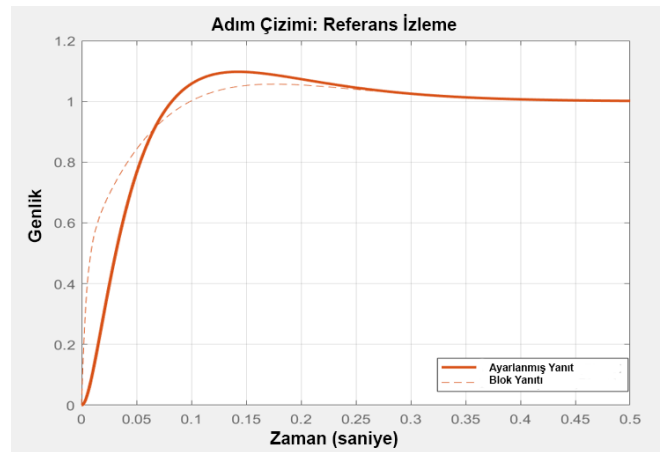
Şekil 5’ de referans değeri olarak 36 V seçilerek, Buck devresinden 36 V elde edilmesi beklenmektedir. Referans değerinde gerilim elde etmek için mosfetin anahtarlama frekansı kontrol edilmelidir. Anahtarlama frekans kontrolü içi kapalı çevrimde PID kontrolör kullanılmıştır ve istenilen gerilim elde edilmiştir [9].

DC-DC dönüştürücünün PID kontrolör parametrelerini bulmak için, Matlab’da [8] “PID Plant Identification (PID Sistem Tanımlama)” araç kutusu kullanılmıştır. Bunun kullanılma sebebi, DC-DC dönüştürücünün yüksek frekansta anahtarlama yapmasından dolayı sistemin lineer olmamasıdır. Doğrusal olmayan sistemin sürekli örnekleme zamanı ve birim basamak sinyali ayarlanarak çalıştırılması gerekmektedir.

Sistem tanımlama ile birim basamak giriş sinyali uygulanarak, sistemin doğrusal olması ve kararlı bir noktaya getirilmesi amaçlanmıştır. Şekil 6’da birim

basamak giriş sinyali uygulanarak sistem tanımlaması yapılmış ve sistem doğrusal hale getirilmiştir.

Doğrusal hale getirildikten sonra araç kutusunda birim basamak girişi sürekli uygulanarak kontrolcünün cevabı elde edilmiş olup Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. PID Cevap Eğrisi

PID kontrolörün kullanılma sebebi geri besleme yoluyla hata farkını minimuma düşürerek referans gerilim değerinin takip edilmesini sağlamaktadır. Kontrolörün cevabının aşım yüzdesinin %20'nin altında olduğu Şekil 7'de görülmektedir. Bu durum sistemin optimal düzeyde kontrol edildiğini göstermektedir. Sistem tanımlama sonucu PID kontrolcüsünün parametreleri elde edilmiştir ve Tablo 3'de gösterilmiştir. Tablo 3' de K_p oransal katsayısını, K_i integral katsayısını ve K_d türevsel katsayısı ifade etmektedir.

TABLO 1
PID Parametreleri

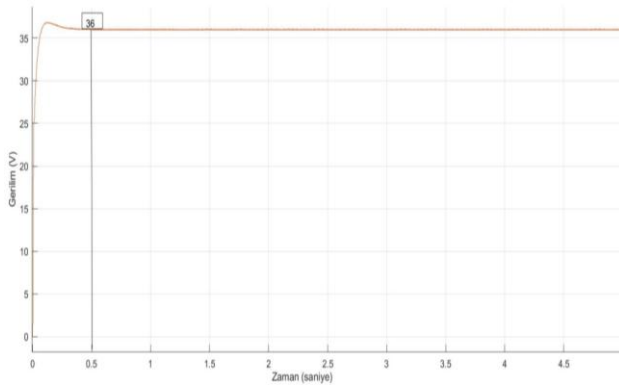
K_p	0.17915
K_i	1.75358
K_d	0.00339

Buck devre elemanlarının parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

TABLO 2
Buck Parametreleri

İndüktans (L)	150 mH
Kapasitans (C)	150 μ F
Direnç (R)	10 Ω
Frekans (f)	2 KHz

DC-DC Buck dönüştürücüsünden elde edilen simülasyon sonucu Şekil 8'de gösterilmiştir.

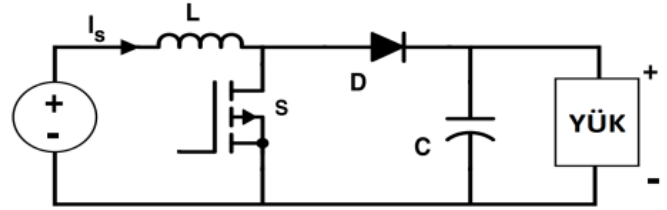


Şekil 8. Buck Simülasyon Sonucu

Şekil 8'e göre referans değeri olan 36 V elde edilmiş ve sistemin sistem cevabının oturma süresi 0.5 saniyedir. Sistemin osilasyon yapmayarak kararlı olduğu gözlemlenmiştir.

B. Boost (Yükselten) Dönüştürücü

Şekil 9'da Boost (Yükselten) tip DC-DC dönüştürücüsünün basitleştirilmiş devre modeli verilmiştir [7]. Boost devrenin çıkış gerilimi, giriş gerilimden büyüktür.



Şekil 9: Boost Dönüştürücü Devresi [7]

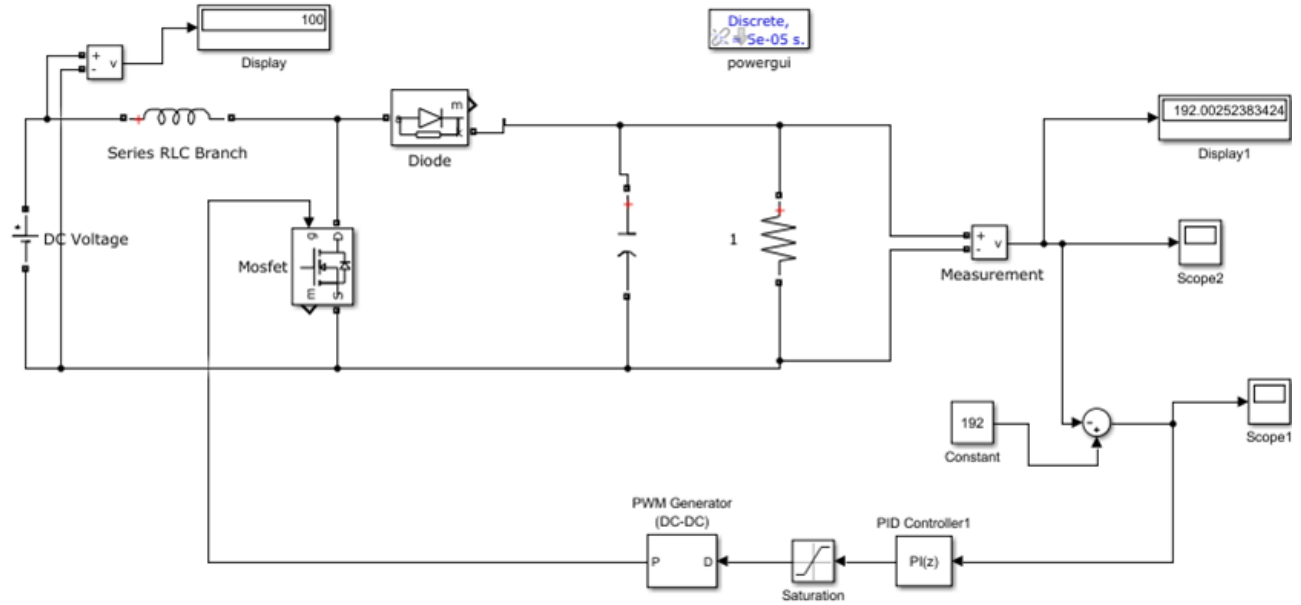
$$L_{min} = \frac{D_{opt} (1-D_{opt})^2 V_0}{2f_s I_0} \quad (3)$$

$$C_{min} = \frac{I_0 D_{max}}{V_0 \frac{\Delta V_0}{V_0} f_s} \quad (4)$$

Burada, D_{opt} değeri minimum indüktans değerini veren duty cyle değeridir. D_{max} maksimum anahtarlama sinyali değeridir. V_0 , yükteki çıkış gerilimini ifade eder. I_0 ise yük akımıdır. Seçilen bobin ve kondansatör idealdir.

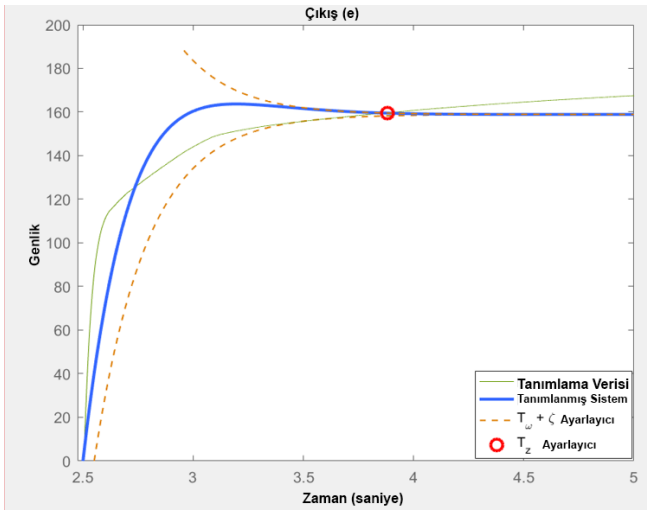
Şekil 10 'da önerilen Boost devrenin simülasyon çalışması verilmiştir. Şekil 10'da referans değeri olarak 192 V seçilerek, Boost devresinin yük geriliminin de 192 V olması hedeflenmektedir. Anahtarlama frekans kontrolü kapalı çevrimde PI kontrolör kullanılmıştır ve istenilen gerilim elde edilmiştir.

DC-DC Boost dönüştürücünün PI kontrolörün parametrelerini bulmak için PID kontrolörde olduğu gibi, Matlab'da [8] "PID Plant Identification (PID Sistem Tanımlama)" araç kutusu kullanılmıştır.



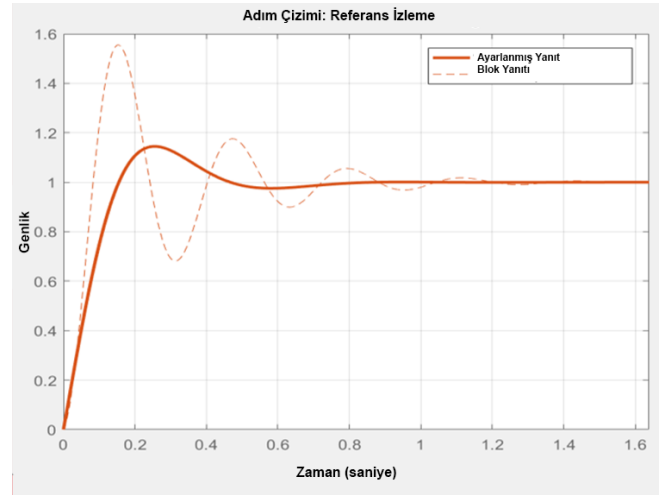
Şekil 10. Boost Devre Simülasyonu

PI kontrolörün parametre değerleri için öncelikle sistem tanımlama araç kutusunda birim basamak giriş sinyali uygulanarak, sistem doğrusal hale getirilmiştir. Bu durum Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. PI Sistem Tanımlama

Sonrasında Matlab’ da sistem tanımlama kısmında kontrolcünün daha az aşım yapması kısıtlaması uygulanarak,PI kontrolörün birim basamak giriş cevabına vermiş olduğu cevap eğrisi elde edilmiş ve Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. PI Cevap Eğrisi

Şekil 12’de sistemin cevap eğrisi kesikli eğri ile verilmiş olup, PI kontrolörün cevap eğrisi turuncu renktedir. PI kontrolörün sistem cevabına göre daha az aşım yaptığı ve osilasyon yapmadığı gözlemlenmiştir.

Sistem tanımlama simülasyon sonucunda PI kontrolörün parametreleri elde edilmiş ve Tablo 3’ de verilmiştir.

TABLO 3
 PI Parametreleri

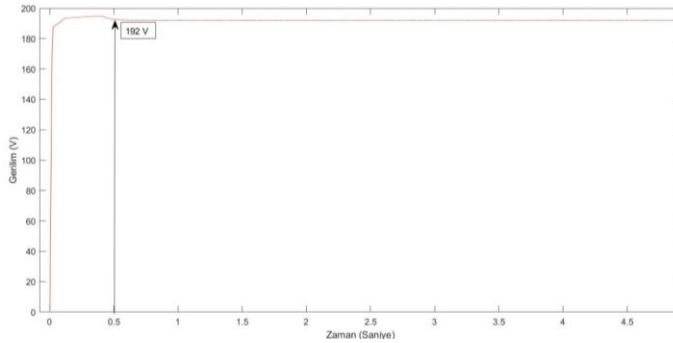
K_P	0.00899
K_I	0.13616

TEJ ile 100 V gerilim elde edildiği düşünüldüğünde hibrit araç bataryasının 192 V gerilim ile Boost devresinin devre elemanlarının değerleri Tablo 4'deki gibi seçilmiştir.

TABLE 4
Boost Parametreleri

İndüktans (L)	250 μ H
Kapasitans (C)	150 mF
Direnç (R)	20 Ω
Frekans (f)	2 KHz

DC-DC Boost dönüştürücüsünden elde edilen simülasyon sonucu Şekil 13'de gösterilmiştir. Şekil 13'e göre referans değeri olan 192 V elde edilmiş olup sistem cevabının oturma süresi 0.5 saniyedir. Cevap eğrisinden de anlaşılacağı üzere sistemin kararlı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 13. Boost Simülasyon Sonucu

IV. SONUÇ [CONCLUSION]

Bu çalışmada, araç atık ısısından termoelektrik jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisi elde edilerek araç bataryasını ve araç içi sistemlerin maksimum verimde çalışması için MPPT topolojisi önerilmiştir. TEJ'in ne kadar güç ürettiği bilinmeyen bir sistem için olası hesaplara göre MPPT topolojisi tasarlanmıştır. Elde edilen gerilim ve bataryaya da yükün durumuna göre iki farklı DC-DC dönüştürücü önerilmiştir. Önerilen DC-DC dönüştürücü devrelerinin doğrusal olmamasından ve hızlı cevap alınması istenildiği için Matlab PID sistem tanımlama araç kutusu kullanılmıştır. Önerilen Buck devresinin çalışma yapısı ve kontrolü gösterilmiştir. Buck devresinin sistem tanımlama ile doğrusal hale getirilmiş olup anahtarlama frekansı olarak PID kontrolörün kullanılması uygun bulunmuştur. TEJ' den yüksek gerilim elde etmek istediğimizde, Boost devresi kullanılmaktadır. Boost devresi de sistem tanımlama ile doğrusal hale getirilmiştir. Anahtarlama frekans kontrolü için ise PI kontrolör kullanılması uygun bulunmuştur. Her iki devredeki kontrol sonuçlarına göre sistemin daha

az aşım ve yerleşme süresinin olduğu gözlemlenmiştir. Böylece termoelektrik jeneratörün MPPT devre kontrolü ile hibrit elektrikli araçlara alternatif bir enerji kaynağı oluşturması önerilmiştir.

TEŞEKKÜR [ACKNOWLEDGMENT]

Bu çalışma TÜBİTAK ARDEB Mühendislik Araştırma Grubu tarafından 216M252 numaralı 1003 projesiyle desteklenmiştir.

Ayrıca bu çalışma İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 33416

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] Paraskevas, A., Koutroulis, E., "A simple maximum power point tracker for thermo electric generators", *Energy Conversion and Management* 108 (2016) 355–365.
- [2] Ahıska, R., Mamur, H., Uliş, M., "Termoelektrik modülün jeneratör olarak modellenmesi ve deneysel çalışma", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 26, No 4, 889-896, 2011.
- [3] Montecucco, A., Knox, A. R., "Maximum power point tracking converter based on the open-circuit voltage method for thermo electric generators", *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol. 30, No. 2, February 2015.
- [4] Park, J., Kim, S., "Maximum power point tracking controller for thermo electric generators with peak gain control of boost DC-DC converters" *Journal of Electronics Materials*, Vol. 41, No. 6, 2012.
- [5] Montecucco, A., Siviter, J., Knox, A. R., "Simple, fast and accurate maximum power point tracking converter for thermo electric generators", 2012 *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, September 15-20, 2012.
- [6] Maity, S., Ghosh, S., Pal, R., Saha, S., Samanta, S., Guya, S., Mondal, R., Sau, R., Pan, S., Das, A., Maity, J., "Performance analysis of fuzzy logic controlled DC-DC converters", *International Conference on Communication and Signal Processing*, April 4-6, 2019.
- [7] Deveci, O., "Şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistemlere yönelik çok girişli çok çıkışlı modelleme ve gürbüz kontrolcü tasarımı" *TOBB ETÜ, Fen bilimleri enstitüsü doktora tezi*, 2016.
- [8] Matlab 2019b Reference Manual, 2019.
- [9] Arıkuşu, Y.S., Bayhan, N., Tiryaki, H. "Termoelektrik jeneratör için DC-DC dönüştürücü tasarımı", 4. *Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumu*, 7-8 Mayıs, 2020