

Araştırma Makalesi – Research Article

Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici Tabanlı Yükselten Tip DA-DA Çevirici Yapısının Denetimi ve Deneysel Analizi

Hakan Açıkgöz^{1*}, Ö. Fatih Keçecioglu²

Geliş / Received: 11/05/2020

Revize / Revised: 17/06/2020

Kabul / Accepted: 23/06/2020

ÖZ

Bu çalışmada, yükselten tip DA-DA çeviricinin çıkış geriliminin denetimi için Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici (AT2BMD) yapısı önerilmiştir. Bu denetleyici yapısı ile yük değişimine karşı DA-DA çeviricinin dinamik cevabının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak yükselten tip DA-DA çevirici yapısı deneysel olarak geliştirilmiştir. Daha sonra önerilen denetleyici yapısının performansının ve güvenilirliğinin incelenmesi için birbirinden farklı iki deneysel çalışma durumu oluşturulmuştur. AT2BMD ile Tip-1 BMD (T1BMD) bu çalışma durumları altında karşılaştırılmıştır. Bu denetleyici yapılarının deneysel çalışmalara uygulanabilmesi için dSPACE DS1104 denetleyici kartı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen denetleyici yapısının her iki deneysel çalışmada da T1BMD'den daha tatmin edici dinamik cevaplar sağladığı açıkça gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- *DA-DA Çevirici, Akıllı Denetleyici, Tip-1 Bulanık Mantık Denetleyici, Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: hakan.acikgoz@gibtu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6432-7243>)

Gaziantep İslam, Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

²İletişim: fkececioglu@ksu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7004-4947>)

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Control and Experimental Analysis of DC-DC Boost Converter Based on Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller

ABSTRACT

In this study, Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller (IT2FLC) structure is proposed for the control of the output voltage of DC-DC boost converter. With this controller structure, it is aimed to improve the response of DC-DC boost converter structure against load changes. First, DC-DC boost converter structure has been experimentally developed for this purpose. Then two different experimental operating conditions are prepared to investigate the performance and reliability of the proposed controller. IT2FLC and Type-1 FLC (T1FLC) are compared under these conditions. dSPACE DS1104 controller card is used to apply these controller structures to experimental studies. According to the obtained results, it is clearly observed that the proposed controller structure is provided more satisfactory dynamic response than T1FLC in both experimental studies.

Keywords- *DC-DC Converter, Intelligent Controller, Type-1 Fuzzy Logic Controller, Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller*

I.GİRİŞ

DA-DA çeviriciler yapılarında bulunan güç elektroniği elemanlarının sayesinde giriş kısmındaki DA gerilimi başka bir seviyeye dönüştürerek kesintisiz güç kaynağı, DA motor sürücülerini, hibrid elektrikli araçlarda ve yenilenebilir enerji sistemleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılırlar [1-3]. Bu çeviriciler doğrusal olmayan yapılarından dolayı birçok çalışmanın da odak noktası haline gelmiştir. Bu çalışmalar yeni tasarım ve dayanıklı denetim ilkelerine dayanmaktadır [4-5]. Bilindiği gibi DA-DA çevirici yapılarının çıkışlarından belirli bir seviyeye kadar gerilim değerleri elde edilebilmektedir. Bu kısıtlamaları ortadan kaldırmak için birçok araştırmacı yüksek kazançlı DA-DA çevirici yapılarını tasarlamaktadırlar [6]. Bu çevirici yapılarının denetimlerinde ise basit yapılarından ve uygun maliyetlerinden dolayı klasik Oransal+Integral (PI) denetleyiciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bu denetleyicilerin sabit parametrelere sahip olmasından dolayı zayıf performans göstermeleri de kaçınılmaz bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Birçok uygulama için gerekli olan geçici durumlara karşı hızlı cevap verebilme ve kararlı durumda ise bozuculara karşı dayanıklı bir performans gösterme özellikleri DA-DA çevirici yapılarından da istenilen en önemli çalışma durumları olarak düşünülebilir. Bu çalışma durumlarını sağlayabilmek için akıllı denetleyici yapılarına gerek duyulmaktadır [7-8].

L. Zadeh [9] tarafından ortaya atılan bulanık mantık kavramı akıllı denetleyici yapılarının başında gelmektedir. Klasik kümelerde kullanılan keskin küme değerleri yerine bulanık mantıkta kümeler $[0,1]$ arasındaki değerlere sahip olmaktadır. Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) yapıları Tip-1 ve Tip-2 olmak üzere iki tasarıma sahiptir. Tip-1 BMD (T1BMD) yapısı; bulanıklaştırıcı, kural tabanı, çıkarım mekanizması ve durulaştırıcı gibi dört ana kısımdan oluşmaktadır. T1BMD'ler birçok endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bilindiği gibi T1BMD'lerde uzman bilgi ve birikimi çok önemlidir [10-11]. Bu tip denetleyicilerde kullanılan kümeler $[0,1]$ arasında net değere sahip oldukları için kurallarda meydana gelen belirsizliklerle baş etmede yeterli özelliklere sahip değildirler. Ayrıca, kural tabanında kullanılan dilsel terimler farklı kişiler için farklı yorumlamalara neden olmaktadır ve bu da kurallardaki belirsizliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [12-13]. Yukarıda belirtilen problemleri azaltmak için L. Zadeh [14] T1BMD'nin genişletilmiş versiyonu olan T2BMD yapısını önermiştir. Bu bulanık yapı da "Eğer-O Halde" kuralları ile karakterize edilmektedir. T2BMD'ler, T1BMD'lerdeki gibi dört ana kısmın haricinde tip indirgeme birimine sahiptir. T2BMD'lerde kullanılan üyelik fonksiyonlarının üyelik dereceleri $[0,1]$ arasındaki bulanık sayılarla ifade edilmektedir. Bu durum üyelik fonksiyonlarındaki belirsizliklerin çözümünde önemli bir araç olabilmektedir [15-20].

Yükselten tip DA-DA çevirici yapılarının denetimi için literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bennaoui ve Saadi [21], yükselten tip DA-DA çevirici yapısının çıkış geriliminin denetimi için T2BMD tabanlı PID denetleyici yapısını önermişlerdir. Bu denetleyicinin performansını değerlendirmek için T1BMD tabanlı PID denetleyici ile karşılaştırma çalışması yapılmıştır. Denetleyici yapılarının performansları, hatanın karesinin integrali ve hatanın mutlak değerinin integrali gibi performans kriterleri bakımından incelenmiştir. Seo ve Choi [22], kesir dereceli bir PID denetleyici ile DA-DA çeviricinin performansını deneysel çalışmalar yaparak incelemişlerdir. Çevirici yapısı ile önerilen denetleyici için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalar ile önerilen denetleyicinin pratik uygulanabilirliği ve etkinliği doğrulanmıştır. Elmas ve arkadaşları [23], DA-DA çevirici için uyarlamalı bir algoritmaya sahip olan BMD yapısını önermişlerdir. Çalışmada kullanılan denetleyici yapısı için mikroişlemci tabanlı uygulama çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalar ile önerilen BMD'nin performansı incelenmiştir. Yazıcı ve Yaylacı [24], DA-DA çeviricinin çıkış geriliminin denetimi için hızlı terminal Kayma Modlu Denetleyici (KMD) önermişlerdir. Giriş gerilimindeki ve yükteki değişimlere karşı dayanıklı bir çevirici yapısının gerçekleştirilmesi temel amaç olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar yapılarak önerilen denetleyicinin etkinliği ve performansı kapsamlı olarak gözlemlenmiştir. Kim ve Lee [25], geri beslemeli doğrusallaştırma yöntemine dayalı bir çıkış gerilim denetimini DA-DA çevirici için sunmuşlardır. 3 kW'lık bir çevirici yapısı deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel ve benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar ile denetleyici yapısının bozucu girişlere karşı davranışı araştırılmıştır. Karamanakos ve arkadaşları [26], model öngörülü bir denetleyici yapısını DA-DA çevirici için tasarlamışlardır. Önerilen denetim stratejisi akım denetim döngüsüne gereksinimi ortadan kaldırarak çıkış geriliminin regülasyonunu sağlamaktadır. Önerilen denetleyici yönteminin üstünlüklerini göstermek için benzetim ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Oucheria ve Guo [27], gözlemleyici tabanlı bir KMD'yi DA-DA çevirici çıkış geriliminin denetimi için kullanmışlardır. Kapalı çevrimli bu yöntem ile tüm sistemin asimptotik olarak kararlı olması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalar ile oluşturulan senaryolarda önerilen yöntemin davranışı incelenmiştir. Wai ve Shih [28], yükselten tip DA-DA çeviricinin çıkış geriliminin denetimi için uyarlanabilir bir

sinirsel bulanık ağ tabanlı bir denetim şemasını tasarlamışlardır. Denetleyici yapısının kararlılığını arttırmak için Lyapunov teoremi yardımıyla çevrimiçi öğrenme algoritmaları türetilmiştir. Çevirici ve denetleyici yapısı için detaylı modeller yapılmış ve deneysel performans karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Cheng ve arkadaşları [29], DA-DA çeviricinin denetimi için bulanık-sinirsel temelli bir KMD yapısını önermişlerdir. Önerilen denetleyici yapısının çevrim içi eğitimi için Lyapunov metodu tercih edilmiştir. Bu yöntemin başarımının testi, giriş gerilimi ve yük direnci değişimleri altında incelenmiştir.

Bu çalışmada, klasik yükselten tip DA-DA çeviricinin çıkış geriliminin denetimi için dayanıklı bir yapıya sahip olan Aralıklı T2BMD (AT2BMD) önerilmiştir. T2BMD'nin belirsizliklere sahip olan sistemlerde T1BMD'lere göre daha iyi performansa sahip oldukları bilindiği için DA-DA çevirici yapısının çıkış geriliminin sistemdeki bozuculara karşı dayanıklılığının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için deneysel bir kurulum gerçekleştirilmiştir. Her iki denetleyici yapıları Matlab/RTI blokları ile modellenerek DS1104 denetleyici kart sayesinde DA-DA çevirici yapısına uygulanmıştır. Ayrıca deneysel çalışma durumları oluşturulmuş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın diğer kısımları şu şekilde açıklanabilir. 2.kısımda DA-DA çevirici için matematiksel modelleme yapılmıştır. Önerilen denetleyici yapısının özellikleri ve tasarımı 3.kısımda gerçekleştirilmiştir. Deneysel kurulum ve performans çalışmaları 4.kısımda sunulmuştur. 5.kısımda ise elde edilen sonuçlara göre genel bir değerlendirme yapılarak sonuçlar verilmiştir.

II. DA-DA ÇEVİRİCİ YAPISININ MATEMATİKSEL MODELİ

Yükselten tip DA-DA çevirici yapıları, girişindeki gerilim seviyesini daha yüksek bir gerilim değerine getiren devrelerdir. Devre yapıları; anahtarlama elemanı, bobin, kondansatör, diyot ve yük direncinden oluşmaktadır. Yükselten tip DA-DA çevirici devresinin analizi, anahtarın kesim ve iletim durumları dikkate alınarak yapılmaktadır [1-2]. Yükselten tip DA-DA çevirici yapısı ve anahtarın iletim ve kesim durumları Şekil 1'de sunulmuştur. İlk olarak Şekil 1 (b)'de gösterilen anahtarın iletim durumu analiz edildiğinde; çevirici yapısında uygulanan gerilim ile bobin üzerindeki gerilim birbirine eşit olur ve aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

$$v_i = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

Burada; v_i , giriş gerilimi ve di_L/dt , ise bobin üzerinden geçen akımın değişimidir. Bilindiği gibi anahtarın iletim durumunda bobin üzerinden doğrusal bir akım akar ve bu akım ise;

$$\Delta i_L = \frac{v_i dT}{L} \quad (2)$$

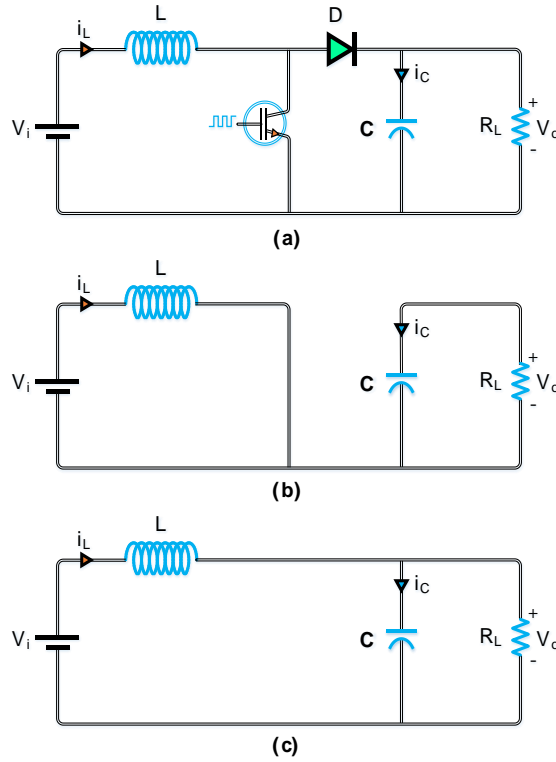
olarak yazılabilir. Şekil 1 (c)'de verilen anahtarın kesim durumu için ilk olarak gerilimler arasındaki ifade aşağıdaki gibidir:

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} = v_i - v_o \quad (3)$$

Burada; v_L , giriş gerilimini, v_o ise çıkış gerilimini göstermektedir. Bobin üzerinden geçen akımın değişimi ise aşağıdaki denklem ile elde edilebilir:

$$\Delta i_L = \frac{(v_i - v_o)(1-d)T}{L} \quad (4)$$

Burada; d görev oranıdır. DA-DA çevirici yapısının kararlı durumda çalıştığı düşünülürse iletim ve kesim durumlarında bobin üzerinden geçen akımların değişimleri birbirine eşit olmalıdır.



Şekil 1.a) DA-DA çevirici yapısı b) Anahtarın iletimde olma durumu c) Anahtarın kesimde olma durumu

Daha önce verilen değişim denklemleri düzenlenirse aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\frac{v_i DT}{L} = \frac{(v_i - v_o)(1-d)T}{L} \quad (5)$$

Yukarıdaki denklem düzenlenirse çıkış gerilimi;

$$v_o = \frac{v_i}{(1-d)} \quad (6)$$

olarak bulunur. DA-DA çevirici yapısı için giriş ve çıkış güçleri birbirine eşitlenirse;

$$v_i i_L = \frac{(v_i / (1-d))^2}{R_{yük}} = \frac{(v_i)^2}{(1-d)^2 R_{yük}} \quad (7)$$

elde edilir. Burada; $R_{yük}$, çıkış kısmına bağlanan yük direncidir. Bobin üzerinde geçen akımın minimum ve maksimum değerleri aşağıdaki gibidir:

$$i_{max} = \frac{v_i}{(1-d)^2 R_{yük}} + \frac{v_i dT}{2L} \quad (8)$$

$$i_{min} = \frac{v_i}{(1-d)^2 R_{yük}} - \frac{v_i dT}{2L}$$

Ayrıca, DA-DA çevirici yapısının tasarımı bobin ve kondansatör değerlerinin doğru bir şekilde bulunması sistem performansı için oldukça önemlidir [1]. Bu nedenle bobin ve kondansatör değerleri için aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

$$L_{\min} = \frac{d(1-d)^2 R_{yük}}{2f} \quad (9)$$

$$\Delta V_c = \frac{v_o dT}{R_{yük} C} \quad (10)$$

Burada; V_c , kondansatör üzerindeki gerilimdir. C ise kondansatör değeridir.

III. ARALIKLI TİP-2 BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ YAPISININ TASARIMI

Tip-1 bulanık kümelerin aksine tip-2 bulanık kümeler dilsel değişkenlerdeki belirsizlikleri ve sayısal belirsizliklerden kaynaklanan problemlerin modellenmesinde daha üstün özelliklere sahiptirler [14-17]. Bilindiği gibi tip-1 bulanık kümeler giriş ve çıkışlardaki belirsizlerin modellenmesinde keskin değerlere sahip üyelik fonksiyonlarını kullanmaktadır. Bu durumun çıkartılabilecek en önemli çıkarım; üyelik fonksiyonlarındaki belirsizliklerle mücadele etmede tip-1 kümelerin yetersiz kaldığıdır. Yukarıda bahsedilen belirsizliklerin etkilerinin en aza indirilmesi için tip-2 bulanık kümeler önemli bir araç olmuştur ve birçok uygulamada sıklıkla kullanılmaya da başlanmıştır [18-20]. Tip-2 bulanık kümelerin en belirgin özellikleri ise kullanılan üyelik değerlerinin $[0,1]$ arasında bulanık bir küme olması ve bu durumda belirsizlikleri en aza indirmede kullanılan belirsizliğin ayak izlerinin ortaya çıkarılmasıdır [16]. A ile gösterilen bir tip-2 bulanık küme aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

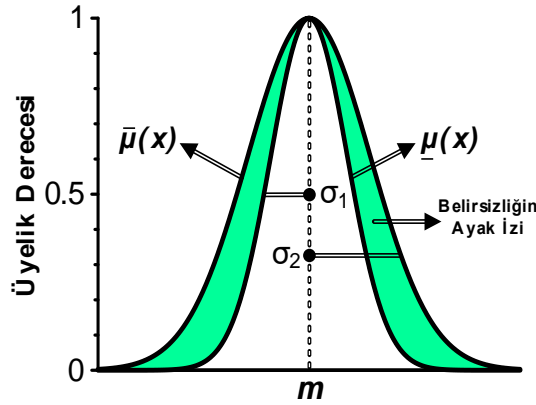
$$\tilde{A} = \{(x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u)\}, \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1] \quad (11)$$

Burada, $0 \leq \mu_{\tilde{A}} \leq 1$. Aralıklı tip-2 kümelerin hesap yükü daha az olduğu için daha yaygın olarak tercih edilmektedirler. Aralıklı tip-2 küme:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} 1/(x, u), J_x \subseteq [0,1] \quad (12)$$

olarak ifade edilebilir. Burada; \iint tüm kabul edilebilir m ve u üzerindeki birleşimi ifade eder. J_x ise x girişinin birincil üyelik fonksiyonu olarak belirtilir. Tüm birincil üyelik fonksiyonları arasında kalan alan Belirsizliğin Ayak İzi (FOU) olarak ifade edilmektedir [14-16]. Şekil 2'de gösterilen Gauss üyelik fonksiyonları arasında kalan diğer bir deyişle alt ve üst üyelik fonksiyonları ile sınırlanmış bu alan aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$FOU(\tilde{A}) = U_{\forall x \in X} J_x = \{(x, u) : u \in J_x \subseteq [0,1]\} \quad (13)$$



Şekil 2. Tip-2 üyelik fonksiyonu ve Belirsizliğin ayak izi

Alt ve üst üyeliklere sahip olan Gauss üyelik fonksiyonu matematiksel olarak aşağıdaki gibi sunulabilir:

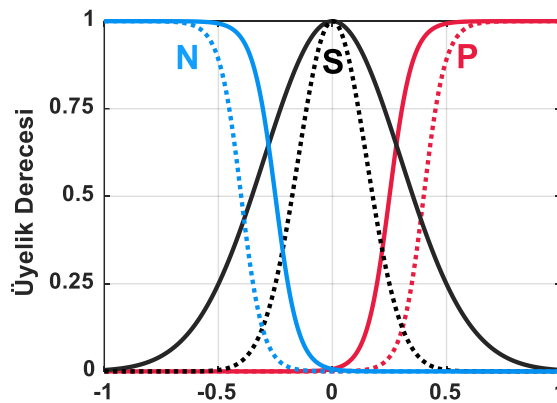
$$\begin{aligned}\bar{\mu}_{A_j}(x_i) &= \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - m_{ij}}{\bar{\sigma}_{ij}}\right)^2\right\} \\ \underline{\mu}_{A_j}(x_i) &= \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - m_{ij}}{\underline{\sigma}_{ij}}\right)^2\right\}\end{aligned}\quad (14)$$

Burada; $\mu_{A_j}(x_i)$ giriş değişkeni için üyelik derecesini simgelemektedir. m ve σ değişkenleri sırası ile üyelik fonksiyonunun merkezini ve genişliğini temsil etmektedir. AT2BMD yapısı iki girişe ve tek çıkışa sahiptir. İlk olarak girişlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu girişler çıkış gerilimi ve referans gerilimi arasındaki fark ile hatanın değişimi olarak belirlenmiştir.

$$e(t) = v_o^*(t) - v_o(t) \quad (15)$$

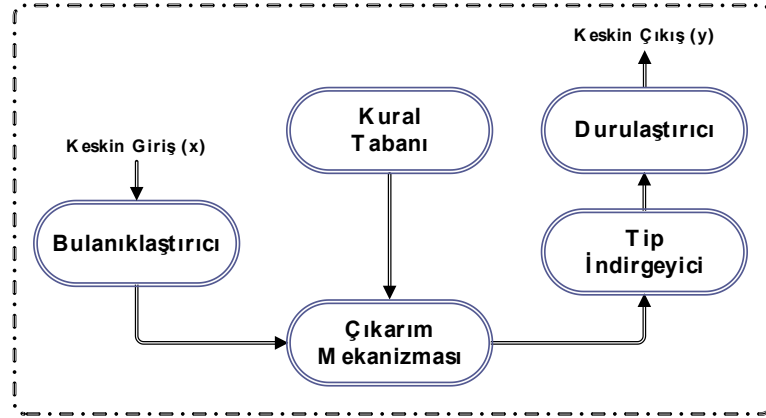
$$\Delta e(t) = e(t) - e(t-1) \quad (16)$$

Bu girişler için kullanılan Gauss üyelik fonksiyonları Şekil 3'de verilmiştir. Bu üyelik fonksiyonları [-1,1] değerleri arasında Pozitif (P), Sıfır (S) ve Negatif (N) gibi üç dilsel ifade ile etiketlenmiştir.



Şekil 3. Hata ve hatanın değişimi için kullanılan üyelik fonksiyonları

Tip-1 bulanık sistemlere benzer yapıya sahip olan tip-2 bulanık sistemlere ait genel blok şeması Şekil 4'te sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi Bulanıklaştırıcı, Kural Tabanı, Çıkarım Mekanizması, Tip İndirgeyici ve Durulaştırıcı'dan oluşan birimler bulunmaktadır. Bu birimler şu şekilde tanımlanabilir [10-11,16]. Bulanıklaştırıcı, girişleri ($x=x_1, \dots, x_p$) daha önce tanımlanan üyelik fonksiyonlarına net bir nokta olarak eşler.



Şekil 4. AT2BMD'nin genel yapısı

Kural tabanında ise dilsel terimler kullanılarak tip-1 bulanık sistemlere benzer şekilde aşağıdaki gibi p girişli ve z çıkışlı bir AT2BMD için genel bir ifade ile açıklanabilir:

$$R^i = IF \ x_1 \text{ is } \tilde{F}_1^i \text{ ve } x_p \text{ is } \tilde{F}_p^i \text{ THEN } y \text{ is } \tilde{G}^i \quad (17)$$

Burada; $l=1, \dots, M$ olarak ifade edilir. M , kural tabanında kullanılan kural sayısıdır. Bu çalışmada üç üyelik fonksiyonu seçilerek Tablo 1'deki 9 kural oluşturulmuştur.

Tablo 1. AT2BMD için oluşturulan kurallar

Δu		e		
		N	S	P
Δe	N	N	N	S
	S	N	S	P
	P	S	P	P

Çıkarım mekanizması, tüm kuralları birleştirir ve giriş tip-2 bulanık değerleri çıkış tip-2 bulanık değerlere dönüştürür. Bu mekanizmada her bir kuralın ateşleme derecesi aşağıdaki denklemlerle elde edilir.

$$F^i(x') = [f^i(x'), \bar{f}^i(x')] \equiv [f^i, \bar{f}^i] \quad (18)$$

$f^i(x')$ ve $\bar{f}^i(x')$ için aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$\begin{aligned} f^i(x') &= \mu_{\tilde{F}_1^i}(x'_1) * \dots * \mu_{\tilde{F}_p^i}(x'_p) \\ \bar{f}^i(x') &= \bar{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x'_1) * \dots * \bar{\mu}_{\tilde{F}_p^i}(x'_p) \end{aligned} \quad (19)$$

Burada, * çarpım operatörüdür. Çıkarım mekanizmasından elde edilen tip-2 bulanık küme çıkışları tip-indirgeme işlemcisi sayesinde tip-1 bulanık kümelerle dönüştürülür. Burada aralıklı kümelerin iki uç noktasının (y_r ve y_l) belirlenmesi gerekmektedir [16-20]. Bu noktalar çıkıştan önce elde edilir ve aşağıdaki hesaplanabilir.

$$y_l = \frac{\sum_{i=1}^9 f_l^i y_l^i}{\sum_{i=1}^9 f_l^i} \quad (20)$$
$$y_r = \frac{\sum_{i=1}^9 f_r^i y_r^i}{\sum_{i=1}^9 f_r^i}$$

Durulaştırıcı işlemcisinde ise tip-indirgeyiciden elde edilen tip-1 kümelerden keskin çıkışlar Kernel-Mendel yöntemine göre uç noktaların ortalamasıyla aşağıdaki gibi elde edilebilir:

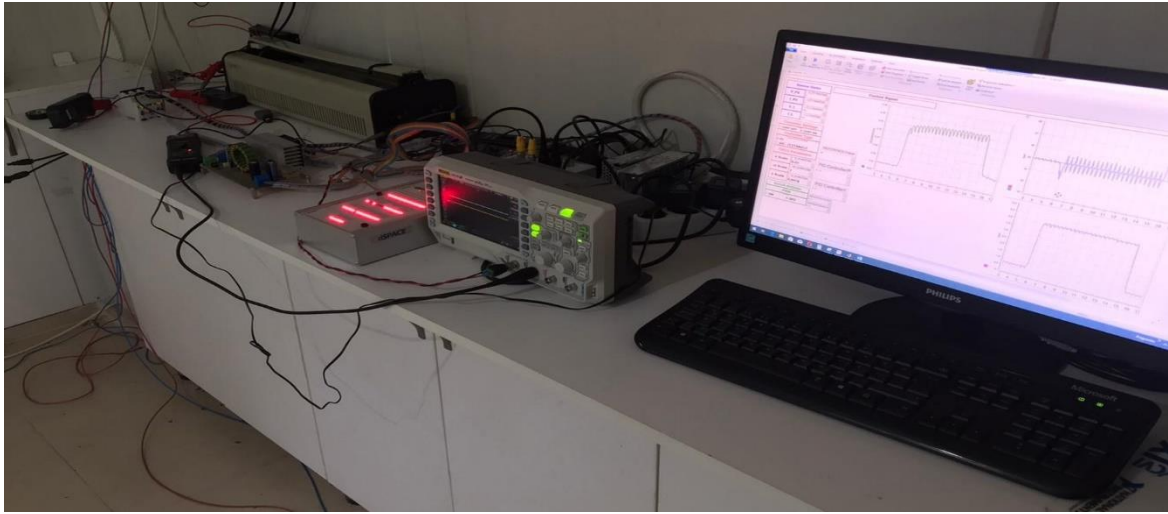
$$y = \frac{y_l + y_r}{2} \quad (21)$$

IV. DENEYSEL KURULUM VE PERFORMANS ÇALIŞMALARI

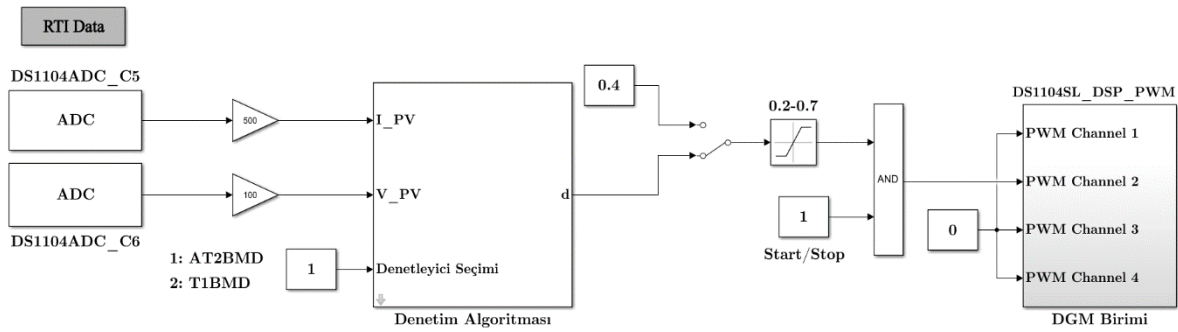
Önerilen denetleyici yapısının performansının test edilebilmesi için deneysel kurulum gerçekleştirilmiştir. Deneysel kurulum, güç devresi ve denetim algoritmasından oluşmaktadır. Güç devresi; DA-DA çeviriciyi beslemek için batarya, anahtarlama elemanı olarak IGBT, toroid nüveli bobin, kondansatör ve yük olarak reosta'dan oluşmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan elemanların değerleri Tablo 2'de verilmiştir. AT2BMD yapısının gerçek zamanlı çalışmalarda kullanılabilmesi için çok hızlı işlemcilerle sahip denetleyici kart gerekmektedir. Bu amaç için dSPACE DS1104 denetleyici kart kullanılmıştır. Bu denetleyici kart Matlab ile eşzamanlı olarak çalışabilmektedir. Böylece DA-DA çevirici için geliştirilen denetim algoritması devreye kolay bir şekilde entegre edilmiştir. Ayrıca DS1104 denetleyici kart yapısında bulunan *ControlDesk* arayüzü ile deneysel çalışmalardan elde edilen grafikler gerçek zamanlı olarak gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan batarya grubunun gerilim değeri yaklaşık olarak 27 V'tur. Bu gerilim ile DA-DA çevirici yapısı beslenmektedir. Denetim algoritmaları içinde kullanılan akım ve gerilim bilgileri diferansiyel akım ile gerilim problemleri aracılığıyla ölçülmüştür. Şekil 5'de deneysel çalışmalar için tasarlanan DA-DA çevirici yapısı gösterilmiştir. Ayrıca DA-DA çevirici için Matlab/RTI blokları ile gerçek zamanlı olarak çalışan model Şekil 6'da gösterilmiştir. Deneysel çalışmalar için iki farklı senaryo düşünülmüş ve önerilen denetleyici yapısının performansı incelenmiştir.

Tablo 2. DA-DA çevirici devresinde kullanılan malzemeler ve özellikleri

Malzeme Türü	Özellikleri
Giriş Gerilimi	25 V
Çıkış Gerilimi	35-50
Bobin (L)	10 mH
Kapasitör	330 µF
IGBT	600V-23A
Hızlı diyot	600 V, 12 A
Yük Direnci	40-50 Ω
Anahtarlama Frekansı	20 kHz
Örnekleme zamanı	100 µs



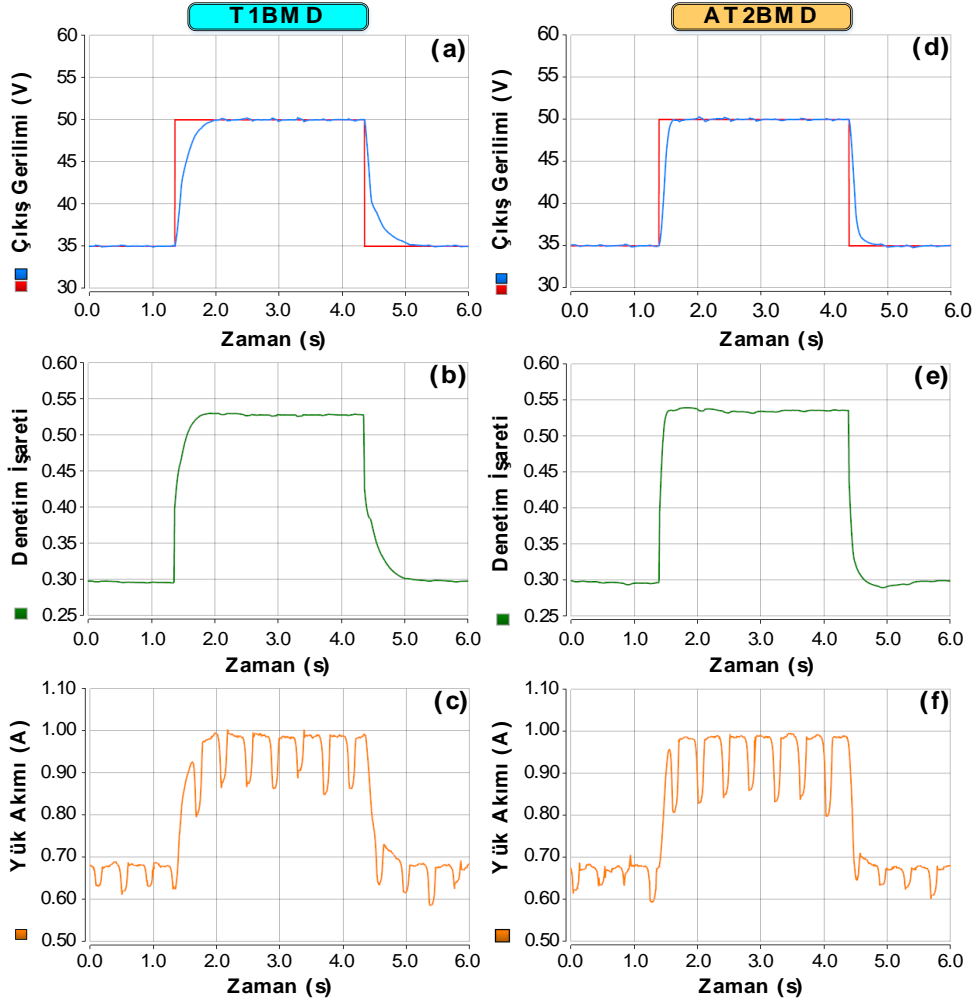
Şekil 5. DA-DA çeviricinin deneysel kurulumu



Şekil 6. DA-DA çevirici için geliştirilen Matlab/RTI modeli

A. Deneysel Çalışma-1: Referans Gerilim Değişimi

Bu çalışma referans giriş gerilimindeki değişimlere karşı önerilen denetleyicinin performansının incelenmesi amacı ile gerçekleştirilmiştir. AT2BMD'den elde edilen sonuçların daha adil bir şekilde değerlendirilebilmesi için T1BMD yapısı ile karşılaştırma yapılmıştır. İlk olarak batarya grubunun gerilimi 35 V'a yükseltilmiştir. Daha sonra DA-DA çevirici referans gerilimi $t=1.4\text{sn}$ 'de 35 V'tan 50 V'ye $t=4.3\text{sn}$ 'de ise 50 V'tan 35 V'a değiştirilmiştir. Bu şartlar altında elde edilen çıkış gerilimi, denetim sinyali ve çıkış akımına ait dalga şekilleri Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 (a ve d)'de görüldüğü gibi referans gerilim 35 V'tan 50 V'a yükseltildiğinde önerilen denetleyici yapısı 0.252 sn sonra referans hızı takip ederken T1BMD ise 0.612 sn sonra referans hızı yakalamıştır. Her iki denetleyici yapısı da bu gerilim değişiminde aşım yapmamıştır. Daha sonra referans gerilim değeri 50 V'tan 35 V'a düşürülmüştür. Yine çıkış gerilimleri ile ilgili şekiller detaylıca incelendiğinde önerilen denetleyici yapısı ve T1BMD'nin referans gerilimi yakalama süreleri sırasıyla 0.528 sn ve 0.852 sn olarak bulunmuştur. Ayrıca, her iki denetleyici yapısından elde edilen denetim işaretleri ise Şekil 7 (b-e)'de verilmiştir. Şekil 7 (c-f)'de ise DA-DA çeviricinin çıkışından elde edilen akıma ait dalga şekilleri sunulmuştur. Bu şekiller incelendiğinde referans gerilim değişimlerinde yük üzerindeki akım değeri normal olarak artmıştır. Referans gerilim ilk değerine geldiğinde ise akım değeri de düşmektedir. Bu deneysel çalışmadan, AT2BMD'nin referans gerilim değişimlerine karşı daha hızlı dinamik cevaba sahip olduğu görülmektedir.

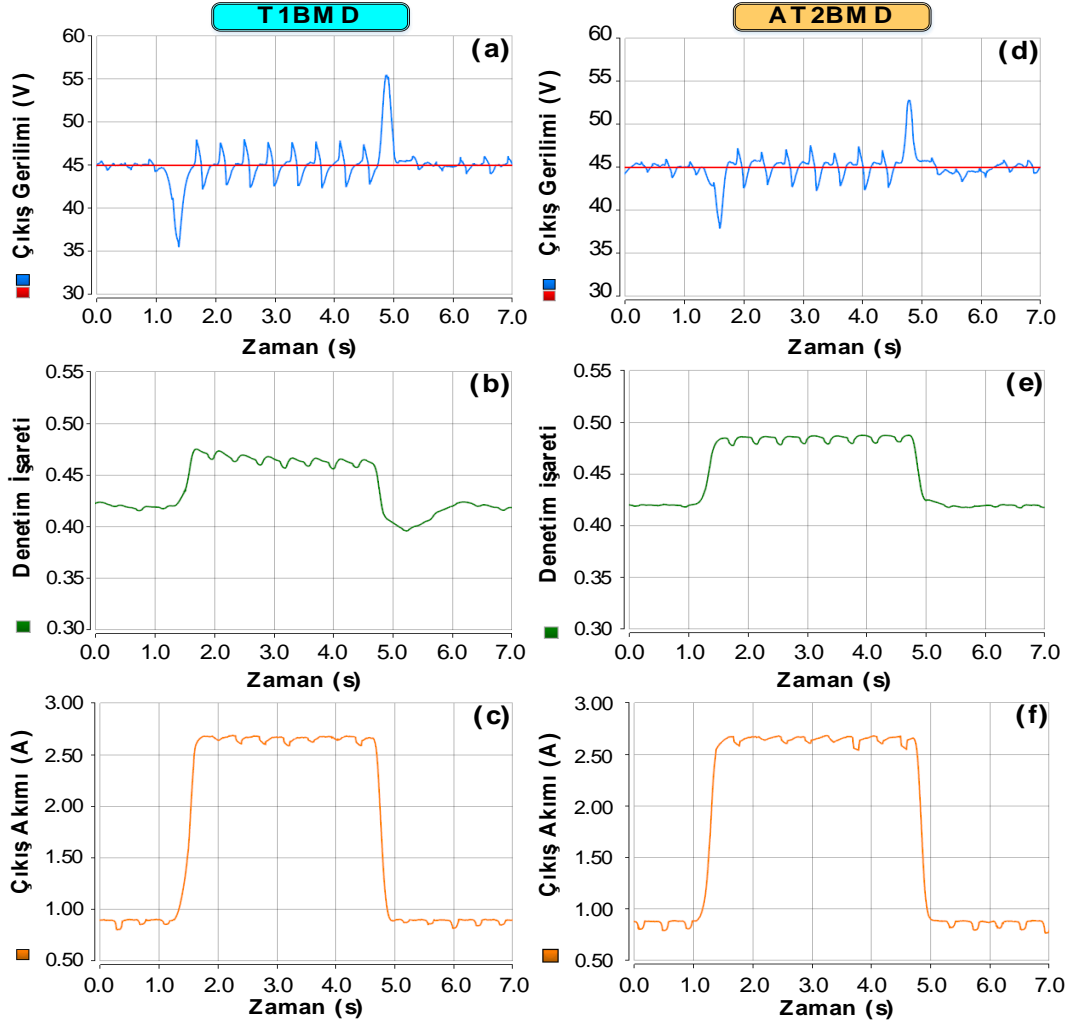


Şekil 7. Deneysel çalışma-1'den elde edilen sonuçlar

B. Deneysel Çalışma-2: Yük Değişimi

Bu deneysel çalışma, önerilen AT2BMD'nin yük değişimine karşı dinamik davranışını gözlemlemek için gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için ilk olarak çıkış gerilimi 45 V değerine ayarlanmıştır. Deneysel çalışma sonucundan elde edilen cevaplar Şekil 8'de verilmiştir. DA-DA çeviricinin çıkışına paralel olarak bağlanan resistif yükün değeri 50Ω 'dan 17Ω 'a değiştirilmiştir. Daha sonra ise yük direncinin değeri tekrardan 50Ω 'a getirilmiştir. Bu şartlar altında önerilen denetleyici yapısından ve T1BMD'den elde edilen gerilim cevapları Şekil 8 (a ve d)'de sunulmuştur. Bu şekiller incelendiğinde yük değişimine karşı önerilen denetleyicinin gerilim cevabı yaklaşık 38.2 V değerine düşmüştür ve 0.348 sn sonra ise referans değerine ulaşmıştır. T1BMD'nin gerilim cevabı yaklaşık olarak 35.32 V'a anlık olarak düşmüş ve 0.636 sn sonrada daha önce ayarlanan referans DA gerilim değerini yakalamıştır. DA-DA çeviricinin her iki denetleyiciden elde edilen çıkış gerilim cevapları dikkatlice analiz edildiğinde dalgalanma bantları AT2BMD için 4.7 V iken T1BMD için 5.1 V olarak bulunmuştur. Denetleyici yapılarının denetim sinyalleri ise Şekil 8 (b-d)'de gösterilmiştir. Yük değişiminde denetim işaretlerinin de arttığı açıkça görülmektedir. Ayrıca bu çalışma koşulu altında yük direnci üzerindeki akımın değişimi Şekil 8 (c-f)'de sunulmuştur. Şekillerden de görüldüğü gibi akım değerleri 0.85 A'dan 2.65 A değerine yükselmiştir. Yükün devrede olduğu süre boyunca akım bu değerde kalmaktadır. Resistif yükün değeri eski durumuna getirildiğinde ise akım değeri de ilk başlangıçtaki değerine gelmektedir.

Bu çalışmadan ise anlık yük değişimleri durumunda önerilen denetleyiciden daha kararlı gerilim cevabının elde edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 8. Deneysel çalışma-2'den elde edilen sonuçlar

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yükselten tip DA-DA çevirici yapısının çıkış geriliminin dinamik cevabının iyileştirilmesi için AT2BMD önerilmiştir. Önerilen denetleyici yapısının davranışını analiz edebilmek için klasik denetleyiciler yerine T1BMD ile karşılaştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İlk olarak deneysel kurulum yapılmış ve deneysel denetim algoritmaları dSPACE DS1104 denetleyici kart yapısında geliştirilmiştir. Daha sonra ise birbirinden farklı iki deneysel çalışma durumları belirlenmiştir. İlk deneysel çalışmada referans DA gerilim değişimlerine karşı performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan önerilen denetleyici yapısının daha hızlı dinamik cevaba sahip olduğu gözlemlenmiştir. İkinci çalışmada ise yük değişimine karşı DA gerilimdeki değişimler incelenmiştir. AT2BMD yapısının daha iyi performans verilerine sahip olduğu deneysel olarak doğrulanmıştır. Tüm deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında önerilen denetleyicinin DA-DA çevirici yapısının çıkış geriliminin denetiminde kullanılmasıyla daha tatmin edici dinamik cevapların elde edilebileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Rashid, M.H. (2011). *Power electronics handbook*, Butterworth-Heinemann.
- [2] Bahtiyar, B., Çetin, M., Beyhan, S., İplikçi, S. (2018). An efficient sliding mode observer based model predictive control experimental implementation on a DC-DC power converter. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 40(8), 2488-2497.
- [3] Mamur, H., Ahiska, R. (2015). Application of DC-DC boost converter with maximum power point tracking for low power thermoelectric generators. *Energy Conversion and Management*, 97, 265-272.
- [4] Atacak, I., Bay, Ö. F. (2012). A Type-2 Fuzzy Logic Controller Design for Buck and Boost DC-DC converters, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23, 1023-1034.
- [5] Yatak, M.Ö., Bay, Ö.F. (2014). A Practical Application of the Interval Type-2 Fuzzy Controller for a Photovoltaic Sourced DC-DC Boost Converter, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 26, 3021-3035.
- [6] Keçecioglu, Ö. F. (2019). Robust control of high gain DC-DC converter using Type 2 fuzzy neural network controller for MPPT. *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, 37(1), 941-951.
- [7] Duranay, Z. B., Güldemir, H., Tuncer, S. (2018). Fuzzy Sliding Mode Control of DC-DC Boost Converter. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 8(3), 3054-3059.
- [8] Kececioglu O. F., Gani, A., Kılıç, E. (2019). Robust Control of Boost Converter Using Interval Type-2 TSK Fuzzy Logic Controller. *2nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology*, 1-5.
- [9] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information Control*, 8(3), 338-353.
- [10] Kumbasar, T. (2016). Aralık değerli tip-2 bulanık PID kontrolörler ve bir çevrimiçi öz-ayarlama mekanizması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(8), 643-649.
- [11] Acikgoz, H. (2018). Speed Control of DC Motor Using Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 6(3), 197-202.
- [12] Gani, A., Kececioglu, O. F., Acikgöz, H., Sekkeli, M. (2015). Uyarlamalı Bulanık PI Denetim Esaslı Dinamik Senkron Kompanzator ile Reaktif Güç Kompanzasyonu Benzetim Çalışması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 72-76.
- [13] Çöteli, R., Dandıl, B., Ata, F. (2011). Fuzzy PI Current Controlled D-STATCOM. *Gazi University Journal of Science*, 24(1), 91-99.
- [14] Zadeh, L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-1. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.
- [15] Acikgoz, H., Kececioglu, O. F., Karadol, I., Gani, A., Sekkeli, M. (2017). Adaptive Control of Solid State Transformer Using Type 2 Fuzzy Neural System. *Studies in Informatics and Control*, 26(2), 171-181.
- [16] Castillo, O., Melin, P., Sepu, R., Rodrı, A. (2007). Experimental study of intelligent controllers under uncertainty using type-1 and type-2 fuzzy logic. *Information Sciences*, 177, 2023-2048.
- [17] Mendel, J.M., John, R.I.B. (2002). Type-2 Fuzzy Sets Made Simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10, 117-127.
- [18] Hagraş, H. (2004). A hierarchical Type-2 Fuzzy Logic Control Architecture for Autonomous Mobile robots. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 12, 524-539.

- [19] Wu, H., Mendel, J.M. (2002). Uncertainty Bounds and Their Use in the Design of Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(5), 622- 639.
- [20] Wu, D., Tan, W. W. (2006).A Simplified Type-2 Fuzzy Logic Controller for Real-Time Control. *ISA Transactions*, 45(4), 503-516.
- [21] Bennaoui, A., Saadi, S. (2017). Type-2 fuzzy logic PID controller and different uncertainties design for boost DC-DC converters. *Electrical Engineering*, 99(1), 203-211.
- [22] Seo, S., Choi, H.H. (2019). Digital Implementation of Fractional Order PID-Type Controller for Boost DC-DC Converter. *IEEE Access*, 7, 142652-142662.
- [23] Elmas, C., Deperlioglu, O., Sayan, H. (2009). Adaptive fuzzylogic controller for DC–DC converters. *Expert Systems with Applications*, 36(2):1540-1548.
- [24] Yazici, I., Kürsat, E. (2016). Fast and robust voltage control of DC-DC boost converter by using fast terminal sliding mode controller. *IET Power Electronics*, 9(1), 120–125.
- [25] Kim, S., Lee, K. (2015). Robust Feedback-Linearizing Output Voltage Regulator for DC/DC Boost Converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(11), 7127-7135.
- [26] Karamanakos, P., Geyer, T., Manias, S. (2014). Direct Voltage Control of DC-DC Boost Converters Using Enumeration-Based Model Predictive Control. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29(2), 968–978.
- [27] Oucheriah, S., Guo, L. (2013). PWM-Based Adaptive Sliding-Mode Control for Boost DC- DC Converters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(8), 3291-3294.
- [28] Wai, R., Shih, L. (2012). Adaptive Fuzzy-Neural-Network Design for Voltage Tracking Control of a DC-DC Boost Converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(4), 2104-2115.
- [29] Cheng, K., Hsu, C., Lin, C., Lee, T., Li, C. (2007). Fuzzy-Neural Sliding-Mode Control for DC-DC Converters Using Asymmetric Gaussian Membership Functions. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 54(3), 1528-1536.