

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

# کاهش اثرات منفی ناشی از عدم قطعیت در میزان تابش خورشیدی در MPPT با استفاده از روش کنترل فازی مرتبه دوم

نورالله قلی زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد - موسسه آموزش عالی کاوش

محمودآباد، ایران

Norollah.gholizadeh@gmail.com

اسدالله کاظمی

موسسه آموزش عالی کاوش

محمودآباد، ایران

asadollahk@yahoo.com

کاهش روز افزون هزینه تولید و پیشرفت تکنولوژی ساخت آن بطور عام در سراسر دنیا (از جمله ایران) به سرعت رو به افزایش است، بکارگیری شیوه هایی که توان برداشتی از تجهیزات خورشیدی را به حداکثر مقدار ممکن برساند بسیار حائز اهمیت می باشد. بطور کلی توان خروجی پانل های خورشیدی خاصیت غیر خطی داشته و به میزان شدت تابش خورشیدی و دمای محیط بستگی دارد. برای یک شدت تابش و دمای معین، توان خروجی پانل خورشیدی بسته به ولتاژ دو سر آن متغیر است و حداکثر توان خروجی در یک ولتاژ مشخص (ولتاژ نقطه توان بیشینه) روی می دهد [۱]. از این رو برای برداشت حداکثر انرژی و توان از پانل های خورشیدی لازم است تا تحت شرایط جوی مختلف، الگوریتمی کارآمد، مورد نیاز بکار گرفته شود. روش های مختلفی برای ردیابی حداکثر توان خورشیدی پیشنهاد داده شده است که می توان آن ها را به چهار گروه تقسیم بندی کرد [۲].

گروه اول روش هایی می باشند که در آن ها با ایجاد مدل سلول خورشیدی و استخراج روابط آن مدل، مقدار حداکثر توان سلول خورشیدی را محاسبه کرد. در [۳] با مدل کردن سلول خورشیدی و برقراری روابط موجود در مدل ارائه شده مقدار حداکثر توان بدست آمده است. مشکل اصلی این نوع روش، نداشتن انعطاف با تغییر سلول خورشیدی با سلول دیگر است؛ به طوری که پیاده سازی هر کدام مختص به همان سلول خورشیدی است که از پیش برای آن طراحی شده است. همچنین یافتن پارامترهای دقیق سلول خورشیدی نیز از دیگر مشکلات این روش می باشد.

چکیده — در این مقاله ردیابی حداکثر توان سلول خورشیدی توسط کنترل کننده مبتنی بر منطق فازی نوع دوم مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور سیستم خورشیدی با توان نامی ۴۳۵ وات در شرایط استاندارد (تابش  $1000\text{w/m}^2$  و دمای  $25\text{C}$ ) انتخاب و مطالعات بر روی آن انجام شده است. شبیه سازی ها در محیط نرم افزاری متلب انجام پذیرفته است. با فرض ثابت باقی ماندن دما، با تغییرات آبی و آهسته میزان شدت تابش، عملکرد کنترل کننده مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت مقایسه ای بین کنترل کننده فازی پیشنهادی و کنترل کننده فازی نوع اول و همچنین روش جستجوی حداکثر توان اغتشاش و مشاهده (P&O) انجام شده است. نتایج حاکی از عملکرد مناسب کنترل کننده پیشنهادی به نسبت سایر کنترل روش های ردیابی حداکثر توان است و توان خروجی کمترین اغتشاشات توان می باشد.

واژه های کلیدی — فتوولتائیک؛ MPPT، کنترل کننده فازی نوع اول؛ کنترل کننده فازی نوع دوم.

## ۱. مقدمه

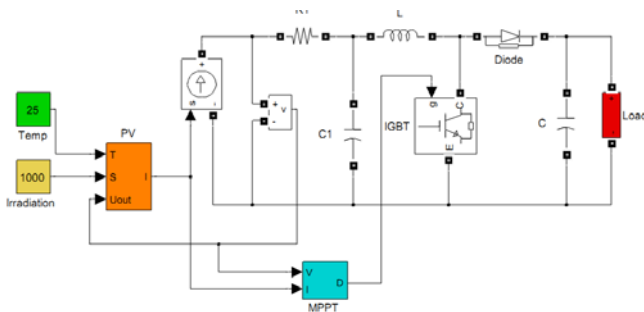
از میان منابع مختلف انرژی امروزه انرژی خورشیدی بعنوان یک انرژی طبیعی که ارزان و فراوان، پاک، بی پایان و قابل دسترس در همه جا می باشد، در نظر گرفته می شود. با توجه به اینکه استفاده از انرژی خورشیدی با

موجود در سیستم را شناسایی کرده و کنترل صحیحی داشته باشد. در این مقاله از کنترل فازی نوع دوم فاصله‌ای (Interval Type 2 Fuzzy set) در مدار جستجوی حداکثر توان سلول خورشیدی مورد استفاده قرار خواهد گرفت تا بتوان بر عدم قطعیت‌های موجود فائق آمد و کنترل نسبتاً دقیق‌تری بر توان خروجی سلول خورشیدی داشت.

در ادامه در بخش دوم مدل سیستم مورد مطالعه آورده شده است و پس از آن در بخش سوم روش مدار ردیابی حداکثر توان مبتنی بر منطق فازی توضیح داده شده است. در بخش چهارم مروری بر منطق فازی نوع دوم داشته‌ایم. در بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی آورده شده است و در نهایت این مقاله با ارائه برخی نتایج در بخش پنجم به پایان می‌رسد.

## ۲. مدل سیستم مورد مطالعه

ساختار سیستم های تولید توان خورشیدی را به شیوه‌های مختلفی می‌توان پیاده سازی نمود. ساختار سیستم مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. این ساختار به سه بخش پانل خورشیدی، مبدل DC به DC و کنترل و ردیاب نقطه حداکثر توان (MPPT) قابل تقسیم است. مبدل مورد استفاده در این مقاله از نوع افزایشنده می‌باشد. علت استفاده از مبدل افزایشنده علاوه بر افزایش ولتاژ خروجی سیستم، متغیر بودن مقاومت ورودی مبدل با تغییر سیکل کاری سیگنال PWM اعمالی است. این ویژگی مبدل این قابلیت را می‌دهد که با تغییر سیکل کاری بتوان ولتاژ نقطه کار سلول خورشیدی را تغییر داد.



شکل ۱: مدل سیستم خورشیدی مورد مطالعه

آرایه سلول خورشیدی مورد استفاده از نوع Sunpower با توان 435 KW در شرایط استاندارد (تابش 1000w/m<sup>2</sup> و دمای 25C) می‌باشد که در جدول (۱) مشخصات آن آورده شده است [۱۰].

جدول ۱: پارامترهای آرایه فتولتائیک (PV)

Characteristics	Specifications
Typical peak power	435 W

گروه دوم روش‌هایی هستند که در آن با ایجاد رابطه خطی بین ولتاژ مدار باز و ولتاژ نقطه کار یا جریان اتصال کوتاه و جریان نقطه کار، نقطه حداکثر توان بدست آورده می‌شود. عیب این روش آن است که این رابطه خطی نیست و با خطی سازی دقت پایین می‌آید. در [۴] از روش‌های مبتنی بر رابطه موجود بین نقطه کار و پارامترهای سلول خورشیدی برای ردیابی نقطه حداکثر توان استفاده شده است. روشی بر مبنای رابطه تقریباً خطی موجود بین جریان اتصال کوتاه و جریان نقطه کار، بکار گرفته شده است.

گروه سوم که به روش آشفستگی و مشاهده معروف است. در این روش، اساس بر ایجاد آشفستگی در ولتاژ و مقایسه توان خروجی بعد از آشفستگی با توان خروجی قبل از آن می‌باشد، که در صورت افزایش توان، آشفستگی را در همان مسیر حفظ می‌شود و در غیر این صورت آشفستگی بعدی معکوس می‌شود [۵]. در [۶] به الگوریتم‌های مختلف روش آشوب و مشاهده پرداخته شده است. برای غلبه بر تلفات و کندی روش آشوب و مشاهده از روش هدایت افزایش یافته استفاده می‌شود. در روش هدایت افزایش یافته ولتاژ یا جریان به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که نسبت جریان به ولتاژ خروجی آرایه فتولتائیک برابر با هدایت افزایشی  $di/dv$  شود. با مشاهده هر گونه انحراف، نسبت جریان به ولتاژ به گونه ای تغییر می‌کند که این نسبت برابر  $di/dv$  شود، زیرا در این نقطه حداکثر توان حاصل می‌شود. مشکل این روش آن است که توان خروجی آن همواره دارای رپل می‌باشد [۷]. همچنین در این روش امکان از دست دادن نقطه حداکثر توان وجود دارد.

گروه چهارم، روش های هوشمند می‌باشند که در آنها از منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی به کار رفته است که به نسبت روش‌های قبلی از دقت بالاتری برخوردار است [۸]. روش‌های هوش مصنوعی باعث ماهیت انعطاف پذیر بسیار بالا بطور وسیعی در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از منطق فازی به عنوان سیستم جستجوی حداکثر توان در [۹] ارائه شده است. منطق فازی قابلیت انتقال مفاهیم ابتکاری در قالب زبان را به مقادیر عددی از طریق قوانین فازی و توابع، عضویت دارد. علی رقم سادگی روش فازی، مشکل اصلی این روش عدم تطبیق پذیری آن در صورت تغییر شرایط است.

اما مسئله‌ای که در این میان از اهمیت بالایی برخوردار است، عدم قطعیت در میزان تابش خورشید می‌باشد. فازی نوع اول نمی‌تواند عدم قطعیت‌ها را به درستی کنترل کند. برای رفع این مشکل فازی نوع دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. فازی نوع دوم قابلیت آن را دارد که عدم قطعیت‌های

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{I(k) - I(k-1)} \quad (1)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (2)$$

#### ۴. روش پیشنهادی

پروفسور لطفی‌زاده مجموعه‌های فازی را برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ معرفی کرد. این مجموعه‌ها پایه‌گذار روشی موفق برای مدل‌کردن عدم قطعیت بودند. سیستم‌های فازی به علت دارا بودن توابع عضویت با درجات تعلق دقیق، توانایی محدودی در کاهش اثر عدم قطعیت در قوانین فازی دارند [۱۲]. در دنیای واقعی، منابع زیادی از عدم قطعیت در مواجهه با سیستم‌های فازی وجود دارد که عبارت است از:

- قسمت‌های توصیف‌کننده قوانین فازی دارای عدم قطعیت باشند، یعنی کلمات به کار رفته در قسمت‌های شرط و نتیجه قوانین می‌تواند معانی مختلفی برای افراد مختلف داشته باشد.
- نتایج بدست آمده از گروهی خبره، اغلب برای قانونی متفاوت خواهد بود؛ زیرا افراد خبره لزوماً در توافق با یکدیگر نیستند.
- ممکن است داده‌های نویزی برای تنظیم پارامترهای یک سیستم فازی استفاده شود.
- اندازه‌گیری‌هایی که یک سیستم فازی را فعال می‌کند، نویزی و در نتیجه دارای عدم قطعیت باشند. به این ترتیب اغلب مقداری عدم قطعیت وابسته به داده‌ها (اطلاعات کلامی یا عددی) وجود دارد.

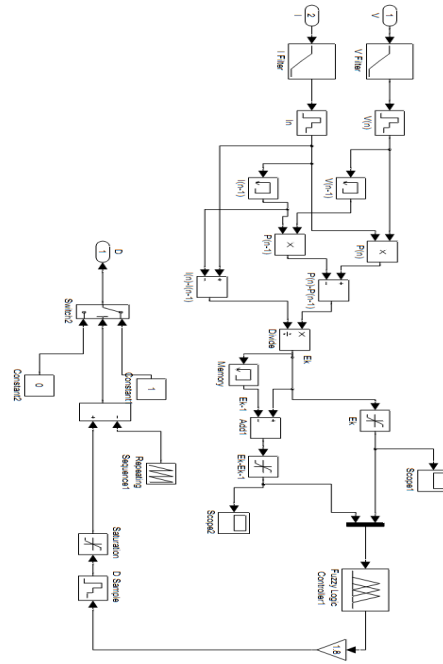
پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۷۵ مجموعه‌های فازی نوع-۱۲ را به عنوان توسعه‌ای از مجموعه‌های فازی معرفی کرد [۱۳]. از آن پس برای تمایز بین مجموعه‌های فازی و مجموعه‌های فازی نوع-۲، به مجموعه‌های فازی قبلی، بطور معمول مجموعه‌های فازی نوع-۲۱ می‌گویند. مجموعه‌های فازی نوع-۲ دارای درجه عضویت‌های فازی می‌باشند؛ از این رو، به آن‌ها مجموعه‌های فازی-فازی نیز می‌گویند که در برخورد با عدم قطعیت‌ها توانایی کاهش اثر و مدل کردن آن‌ها را دارند. بطور خلاصه دلایل ظهور فازی نوع-۲ را می‌توان بصورت زیر بیان کرد [۱۴]:

- عدم توانایی توصیف ریاضی سیستم‌هایی که مکانیزم تولید داده در آن بصورت متغیر با زمان است. مانند مخابرات سیار

(Pmpp)	
Voltage at peak power (Vmp)	54.2 V
Current at peak power (Imp)	8 A
Short-circuit current (Isc)	9.5 A
Open-circuit voltage (Voc)	66 V

#### ۳. مدار ردیاب حداکثر توان فازی

در مدار ردیاب حداکثر توان سیستم خورشیدی، با اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز، نقطه کار مناسب که همان نقطه حداکثر توان خروجی سلول خورشیدی است، جستجو می‌شود. سپس با توجه به شرایط با اعمال فرمان مناسب را تغییر سیکل کاری به مبدل موج PWM، این مبدل ولتاژ خروجی سلول خورشیدی را به نقطه کار مناسب سوق می‌دهد. بلوک دیاگرام مدار ردیاب حداکثر توان سیستم خورشیدی در شکل (۲) نشان داده شده است [۱۱].



شکل ۲: مدار ردیاب حداکثر توان

ورودی مدار ردیاب حداکثر توان ولتاژ و جریان سلول خورشیدی می‌باشد و خروجی آن، سیکل کاری برای مبدل بوست می‌باشد. کنترل‌کننده بکار گرفته شده در این مدار از نوع فازی می‌باشد که ورودی آن مقدار E و مشتق آن در نظر گرفته شده است که همانطور که در شکل نشان داده شده است، مقادیر ورودی از روابط (۱) و (۲) بدست می‌آید.

<sup>1</sup> Type-2 Fuzzy Set

<sup>2</sup> Type-1 Fuzzy Set

$$A = \int_{x \in X} \frac{\mu_A(X)}{X} = \int_{x \in X} \left[ \int_{u \in J_x} \frac{f_x(u)}{(u)} \right] / X \quad (3)$$

$$A = \left\{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X \right\} \quad (4)$$

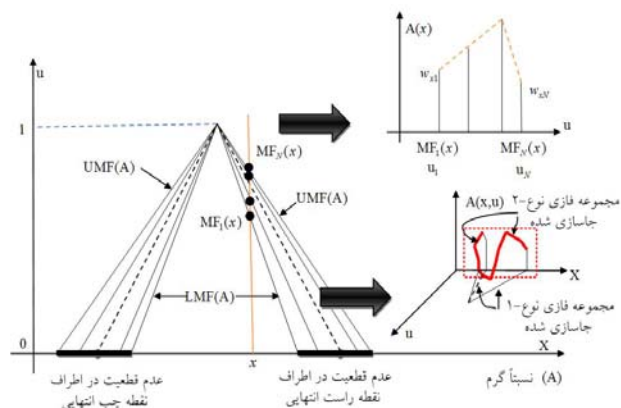
در این روابط  $X$  مجموعه مرجع،  $x$  متغیر اولیه یا متغیر اصلی، می‌باشند.  $\mu_A(x)$  تابع عضویت ثانویه است  $f_x(u) \in [0,1]$  مجموعه‌ای از درجات عضویت اولیه می‌باشد.

$U$  متغیر ثانویه،  $f_x(u) \in [0,1]$  درجه عضویت ثانویه است. پروفیسور لطفی‌زاده در ابتدا مجموعه فازی نوع ۲ را به صورت رابطه (۵) بیان کرد.

$$A = \bigcup_{x \in X} \mu_A(X) \quad (5)$$

$$\mu_A(x) = \int_{u \in J_x} \frac{\mu_A(x, u)}{(u)}; \mu_A(x, u_i) = W_{xi}, 0 \leq W_{xi} \leq 1 \quad (6)$$

مجموعه‌ای از درجات عضویت اولیه می‌باشد که در آن  $\mu_A(x)$  تابع عضویت ثانویه یا برش عمودی است.  $W_{xi}$  وزن‌های مربوط به متغیر ثانویه می‌باشند. نمای کلی تابع عضویت یک مجموعه فازی نوع ۲ در شکل (۳) نشان داده شده است. هرگاه همه درجات عضویت ثانویه در یک مجموعه فازی نوع ۲ برابر یک باشد، به آن مجموعه، مجموعه فازی نوع ۲ فاصله‌ای می‌گویند. در غیر این صورت، به آن مجموعه فازی، مجموعه فازی نوع ۲ کلی گفته می‌شود. تابع عضویت یک مجموعه فازی نوع ۲، سه بعدی است. رسم شکل سه بعدی تابع عضویت نوع ۲ ساده نیست. اما برای داشتن تجسمی از آن کشیدن دامنه دو بعدی که به آن اثر عدم قطعیت تابع عضویت نوع ۲ می‌گویند، مفید واقع می‌شود. در شکل (۳) اثر عدم قطعیت به وسیله یک تابع عضویت بالایی (UMF) و پایینی (LMF) محدود شده است.



شکل ۳. تابع عضویت مجموعه فازی نوع دوم

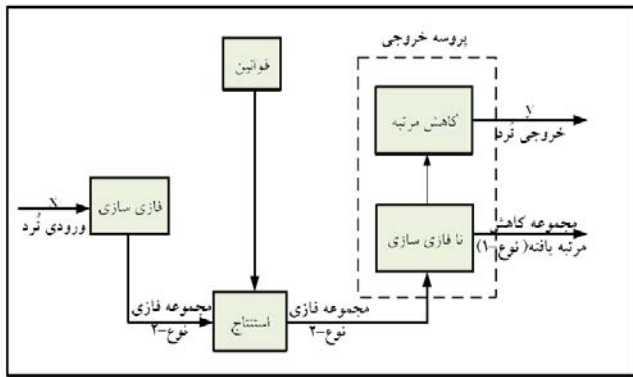
- عدم توانایی توصیف ریاضی اندازه‌ی نویز غیر ثابت مانند نسبت سیگنال به نویز
- عدم توانایی توصیف ریاضی ویژگی‌ها در کاربردهای بازشناخت الگو که دارای خواص آماری غیر ثابت می‌باشند. مانند طبقه‌بندی قانون پایه تصاویر ترافیک
- دانش بدست آمده از تعدادی فرد خبره به وسیله سوالاتی حاوی کلماتی که دارای عدم قطعیت هستند.
- استفاده از عبارات زبانی که دارای دامنه غیر قابل اندازه‌گیری باشند.

همانطور که در نظریه احتمال، تمام اطلاعات پیرامون یک عدم قطعیت تصادفی بوسیله یک تابع چگالی احتمال بیان می‌شود و با تعیین میانگین و پراکندگی حول میانگین، حداقل اطلاعات لازم از توابع چگالی احتمال توسط واریانس بدست می‌آید، یک مجموعه فازی نوع-۲ هم در مواجهه با عدم قطعیت‌های زبانی برای ارائه اطلاعاتی بیشتر از یک درجه عضویت ساده، این اندازه از پراکندگی (واریانس) را حول یک عدم قطعیت زبانی در اختیار قرار می‌دهد. در حقیقت مجموعه فازی نوع-۱ تقریب درجه اول عدم قطعیت و مجموعه فازی نوع-۲ تقریب درجه دوم عدم قطعیت هستند. به این ترتیب، با گسترش به مفهوم فازی نوع-۳ و نوع-۴ تا مجموعه فازی نوع-بینهایت می‌توان عدم قطعیت را بطور کامل تقریب زد. مجموعه فازی نوع بی‌نهایت مجموعه‌ای است که درجات تعلق آن یک مجموعه فازی است که آن مجموعه فازی هم دارای درجات تعلق است که خود دارای یک مجموعه فازی هستند. به همین ترتیب تا بی‌نهایت، درجات تعلق خود مجموعه فازی هستند. اما در عمل، این موضوع امکان ندارد؛ زیرا موجب پیچیدگی بسیار زیادی می‌گردد و ما ناگزیر به استفاده از یک مجموعه فازی محدود هستیم. به این ترتیب، مجموعه‌های فازی نوع-۲ در کاهش اثر عدم قطعیت در قوانین فازی بهتر عمل می‌کنند. علاوه بر کاهش اثر عدم قطعیت در قوانین فازی، به علت فازی بودن توابع عضویت در مجموعه فازی نوع-۲ امکان مدل کردن عدم قطعیت‌های زبانی و داده‌ها به نحو مؤثری بهبود پیدا کرده است.

### ۴.۱. مدل ریاضی منطق فازی نوع ۲-

مجموعه فازی نوع ۲ را به صورت رابطه (۳) یا (۴) نمایش می‌دهند

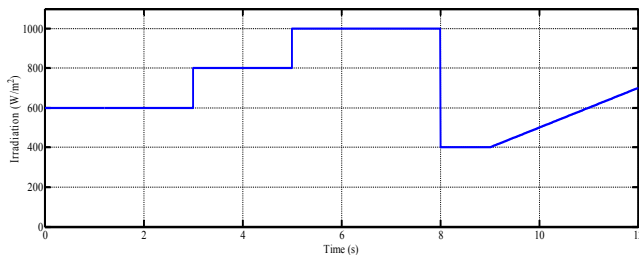
[۱۵].



شکل ۴: ساختار کلی یک سیستم فازی نوع-۲

## ۵. شبیه‌سازی و نتایج آن

در این بخش نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی در محیط نرم افزاری متلب آورده شده است. برای بررسی عملکرد کنترل‌کننده پیشنهادی، با فرض ثابت نگه داشتن دما، میزان تابش تغییرات پیدا می‌کند. الگوی تابش خورشید مطابق با شکل (۵) در نظر گرفته شده است. ابتدا شدت تابش برابر با  $600 \text{ w/m}^2$  بوده است و با تغییری به میزان  $200 \text{ w/m}^2$  در ثانیه ۳، مقدار تابش به  $800 \text{ w/m}^2$  رسیده است. روند افزایش تابش در ثانیه ۵ ادامه پیدا می‌کند و به مقدار حداکثر  $1000 \text{ w/m}^2$  رسیده است. در ثانیه ۸ میزان تابش کاهش شدیدی داشته و در مقدار  $400 \text{ w/m}^2$  ثابت باقی مانده است. در نهایت میزان تابش از ثانیه ۹ تا ۱۲ با شیب آهسته افزایش یافته است. این تغییرات به گونه‌ای در نظر گرفته شده‌اند تا عملکرد مدار ردیاب حداکثر توان با دقت بالاتری مورد ارزیابی قرار گیرد.



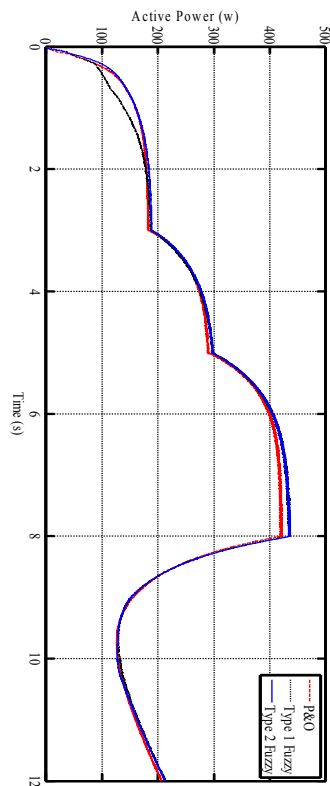
شکل (۵): میزان تغییرات تابش

علاوه بر شبیه‌سازی سیستم خورشیدی با مدار جستجوی حداکثر توان با کنترلر فازی نوع دوم نتایج بدست آمده با نتایج سیستم مشابه با ردیاب حداکثر توان فازی نوع اول و همچنین مدار ردیاب حداکثر توان P&O، مورد مقایسه قرار گرفته خواهد گرفت.

در رویکرد دوم (فازی نوع ۲)، از میانگین مقادیر نقاط انتهایی و پراکندگی هر یک از نقاط انتهایی برای به دست آوردن یک فاصله عدم قطعیت در اطراف هر مقدار میانگین نقاط انتهایی استفاده می‌شود. با انجام این کار، مکان‌های دو نقطه انتهایی روی محور افقی  $x$  را می‌توان توان نامشخص در نظر گرفت. در نتیجه توابع عضویت مثلثی را می‌توان در مکان‌هایی در نظر گرفت که دو نقطه انتهایی آن‌ها می‌توانند در هر نقطه‌ای بر روی محور افقی  $x$ ، وابسته به نقاط انتهایی میانگین نامشخص قرار گیرند. به این ترتیب، یکسری توابع عضویت مثلثی پیوسته خواهیم داشت. فرض کنید که دقیقاً  $N$  تابع مثلثی وجود داشته باشد. بنابراین، در هر مقدار از محور افقی  $N$  درجه عضویت وجود خواهد داشت  $MF_1(x), MF_2(x), \dots, MF_n(x)$ ، به هر یک از این درجه‌های عضویت، یک عدد وزنی بین صفر تا یک به صورت  $W_{x1}, W_{x2}, \dots, W_{xn}$  تعلق می‌دهیم. می‌توان یک امکان وقوع، وابسته به هریک از این درجات عضویت در  $x$  در نظر گرفت. در نتیجه، در هر  $x$ ، مجموعه این درجات یک تابع را تشکیل می‌دهند به نام تابع عضویت ثانویه  $\{(MF_i(x), W_{x_i}), i=1, 2, \dots, N\}$ .

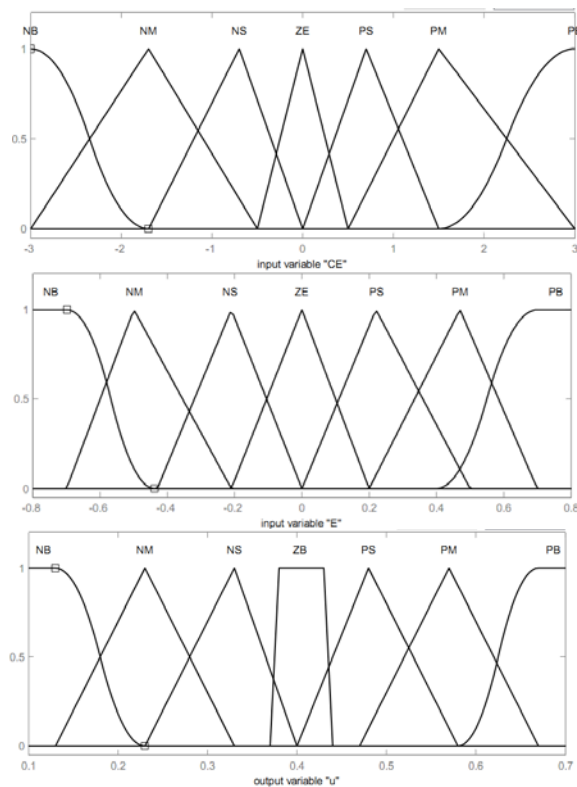
به این ترتیب، زمانی که تعیین درجه عضویت یک عنصر در یک مجموعه به عنوان ۱ یا ۰ امکان‌پذیر نباشد، مجموعه فازی را برای فازی-سازی آن اعمال می‌کنیم. به طریق مشابه، زمانی که تعیین درجه عضویت یک عنصر در یک مجموعه فازی به عنوان یک عدد در بازه  $[0,1]$  امکان‌پذیر نباشد، می‌توانیم آن را دوباره فازی‌سازی نماییم (یعنی تابع عضویت فازی). اگر همه عدم قطعیت‌ها از بین بروند، یک مجموعه فازی نوع ۲ به یک مجموعه فازی نوع ۱ کاهش می‌یابد. در شکل (۴) منطق فازی ساختار کلی نوع ۲ نشان داده شده است. یک سیستم فازی نوع ۲ از چهار قسمت فازی سازی، قوانین، استنتاج و پروسه خروجی تشکیل شده است. درحقیقت، یک سیستم فازی نگاهت بین یک ورودی غیر فازی و یک خروجی غیرفازی می‌باشد. در یک سیستم فازی نوع ۲ پروسه خروجی شامل دو مرحله می‌باشد. ابتدا نگاهت یک مجموعه فازی نوع ۲ به یک مجموعه فازی نوع ۱ که به این مرحله کاهش نوع یا کاهش مرتبه ۳ گویند. سپس مرحله نافازی‌سازی مجموعه کاهش مرتبه یافته است. روش‌های کاهش مرتبه در سیستم‌های فازی نوع ۲ در واقع همان روش‌های توسعه یافته نافازی‌سازی در سیستم‌های فازی نوع ۱ می‌باشند. کاهش مرتبه شامل روش‌های مرکز ثقل، مرکز مجموعه و ارتفاع است [۱۶].

با اعمال تغییرات تابش مقدار توان خروجی سیستم خورشیدی به صورت شکل (۷) بدست آمده است. برای نشان دادن میزان ریبیل توان خروجی سیستم خورشیدی، در شکل (۸) بزرگ شده نمودار توان در ثانیه ۷ نشان داده شده است. با توجه به این شکل می‌توان عملکرد مدارهای جستجوگر حداکثر توان در به حداقل رساندن ریبیل توان خروجی دقیق‌تر بررسی کرد.



شکل ۷: توان خروجی سلول خورشیدی

همانطور که در بخش قبلی اشاره شد، مدار ردیاب حداکثر توان نوع فازی دارای دو ورودی خطا و مشتق آن می‌باشد و خروجی آن سیگنال کنترلی می‌باشد. توابع عضویت مدار ردیاب با کنترل فازی نوع اول مطابق با شکل (۶) بدست آمده است.



شکل ۶: توابع عضویت ورودی‌ها و خروجی کنترل فازی

قوانین فازی مطابق جدول (۲) می‌باشد. در اینجا متغیرهای زبانی ورودی و خروجی عبارتند از، منفی بزرگ (Pb) ، منفی متوسط (nm) ، منفی کوچک (ns) ، صفر (zr) مثبت کوچک (Ps) ، مثبت متوسط (pm) و مثبت بزرگ (Pb).

جدول ۲: قوانین کنترل فازی

E/CE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	ZE	ZE	ZE	NB	NB	NB	NM
NM	ZE	ZE	ZE	NS	NM	NM	NM
NS	NS	NS	ZE	ZE	NS	NS	NS
ZE	NM	NS	ZE	ZE	ZE	PS	PM
PS	PS	PM	PM	PS	ZE	ZE	ZE
PM	PM	PM	PM	ZE	ZE	ZE	ZE
PB	PB	PB	PB	ZE	ZE	ZE	ZE

بیشتر از دو روش دیگر است. با افزایش میزان تابش، مدار جستجوگر حداکثر توان P&O نتوانسته است به درستی عمل کند و مقدار حداکثر توان آن در تابش  $1000 \text{ w/m}^2$  در حدود ۱۵ وات کمتر از سیستم‌های فازی می‌باشد.

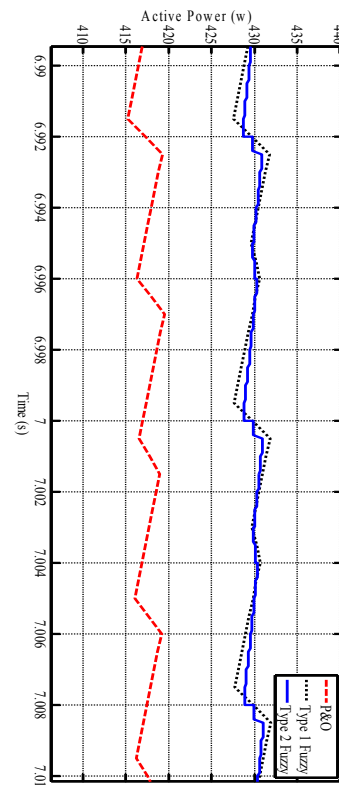
از دیگر مشخص‌های مهم مدار ردیاب حداکثر توان، سرعت ردیابی آن می‌باشد. با بررسی نتایج حاصله می‌توان گفت که هر سه روش تقریباً دارای سرعت جستجوی یکسانی می‌باشند.

## ۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله از کنترل‌کننده مبتنی بر منطق فازی نوع دوم به منظور جستجوی حداکثر توان سلول خورشیدی استفاده شده است. این کنترل‌کننده با ردیابی دقیق نقطه حداکثر توان و با داشتن حداقل اغتشاش در توان خروجی سیستم خورشیدی، عملکرد مناسب‌تری به نسبت سایر روش‌ها از خود نشان داده است.

## منابع

- [1] Bhatnagar P, Nema RK. "Maximum power point tracking control techniques: state-of-the-art in photovoltaic applications". *Renew Sustain. Energy Rev.*; vol. 23: pp. 224-241, 2013.
- [2] Elfadili A, Giri F, El Magri A. "Reference voltage optimizer for maximum power tracking in single-phase grid-connected photovoltaic systems". *J Control Syst Eng*; vol. 2: pp. 57-66, 2013.
- [3] Eltawil MA, Zhao Z. "MPPT techniques for photovoltaic applications". *Renew Sustain. Energy Rev.*; vol. 25: pp. 793-813, 2013.
- [4] Reisi AR, Moradi MH, Jamas S. "Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: a review". *Renew. Sustain. Energy Rev.*; vol. 19: pp. 433-443, 2013.
- [5] Mamarelis E, Petrone G, Spagnuolo G. "A two-steps algorithm improving the P&O steady state MPPT efficiency". *Appl Energy*; vol. 113: pp. 414-421, 2014.
- [6] AlRashidi MR, AlHajri MF, El-Naggar KM, Al-Othman AK. "A new estimation approach for determining the I- V characteristics of solar cells". *Sol Energy*; vol. 85: pp. 1543-1550, 2011.
- [7] Kamarzaman NA, Tan CW. "A comprehensive review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems". *Renew. Sustain. Energy Rev.*; vol. 37: pp. 585-598, 2014.
- [8] Esram T, Chapman PL. "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques". *IEEE Trans Energy Convers*; vol. 22: pp. 439-449, 2007.
- [9] Kottas. T, Boutalis. Y, Karlis. A. "New maximum power point tracker for PV arrays using fuzzy controller in close cooperation with fuzzy cognitive networks," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 21: pp. 793-803, 2006.
- [10] Zhang F, Thanapalan K, Procter A, Carr S, Maddy J. "Adaptive hybrid maximum power point tracking method for a photovoltaic system". *Energy Conversion, IEEE Trans*; vol. 28: pp. 353-360, 2013.
- [11] Pradhan R, Subudhi B. "Design and real-time implementation of a new auto-tuned adaptive MPPT control for a photovoltaic system". *Int J Electr Power Energy Syst*; vol. 64: pp. 792-803, 2015.
- [12] Zadeh L.A. "Fuzzy sets". *Information and Control*; vol. 8: pp. 338-353. 1965.



شکل ۸: توان خروجی سلول خورشیدی در ثانیه ۷

همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است، مدار ردیاب حداکثر توان سلول خورشیدی با منطق فازی نوع دوم دارای کمترین میزان ریبیل توان خروجی می‌باشد. مقدار ریبیل توان برای سیستم خورشیدی با مدار جستجوی حداکثر توان P&O و فازی نوع اول و دوم به ترتیب برابر با ۰/۵، ۰/۴ و ۰/۳ می‌باشد.

همچنین در صورت تغییرات تابش مقدار توان استحصالی در صورت استفاده از کنترلر مبتنی بر منطق فازی نوع دوم بیشتر از دو سیستم دیگر بوده است. در جدول (۳) مقادیر حداکثر توان خروجی سلول خورشیدی در شرایط تابش مختلف نشان داده شده است.

جدول (۳): مقدار حداکثر توان در تابش‌های مختلف

Type 2 Fuzzy	Type 1 Fuzzy	P&O	شدت تابش (W/m2)
130	128	126	400
188	186	183	600
298	298	289	800
435	435	420	1000

با توجه به اعداد بدست آمده در جدول (۳) می‌توان چنین ادعا کرد که روش ردیابی حداکثر توان مبتنی بر منطق فازی نوع دوم دارای توان خروجی



- [13] Zadeh L. A. "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning". *Inform. Sci.*; vol. 8: pp. 199-249, 1975.
- [14] Karnik N. Mendel J. Liang Q. "Type-2 fuzzy logic systems, Fuzzy Systems". *IEEE Trans on Fuzzy System*; vol. 7: pp. 643-658, 1999.
- [15] Mendel J.M. John R.I. Liu F. "Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple". *IEEE Trans on Fuzzy System*; vol. 14: pp. 808- 821, 2006.
- [16] Liang Q. Mendel J. "Interval type-2 fuzzy logic systems: theory and design". *IEEE Trans on Fuzzy Systems*; vol. 8: pp. 535-550, 2000.

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله