

# بهبود بهره‌برداری از مخازن سوخت نیروگاهی با استفاده از سیستم فازی متضاد

زهرا جمالی<sup>۱</sup>

فاطمه محسنی پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، کارشناس کنترل پروژه شرکت مدیریت تولید برق هرمزگان

<sup>۲</sup> کارشناس ابزار دقیق شرکت مدیریت تولید برق هرمزگان

## چکیده

امروزه با پیشرفت سیستم های صنعتی و پیچیده شدن آنها، عدم قطعیت ها و تناقض ها بصورت اجتناب ناپذیری بعنوان قسمت هایی از سیستم طبیعی قرار گرفته اند. روشهای محاسباتی کلاسیک در مدلسازی سیستمهای دارای عدم قطعیت، بسیار سخت و پیچیده بوده و گاهاً دقت و سرعت کافی را دارا نیستند. منطق فازی راهکاری است که به وسیله آن می توان سیستمهایی پیچیده را که مدلسازی آنها با استفاده از ریاضیات و روشهای مدلسازی کلاسیک غیرممکن بوده و یا بسیار مشکل است، به آسانی و با انعطاف بسیار بیشتر، مدلسازی کرد. امروزه با توجه به افزایش مصرف انرژی لزوم ذخیره سازی سوخت برای نیروگاهها از اهمیت بالایی برخوردار است. لایروبی مخازن به خصوص مخازن سوخت، کاری پر هزینه و غیر قابل پیش بینی است. در حالت عادی میزان لجن ته مخازن قابل برآورد نیست لذا هدف کلی این تحقیق برآورد میزان لجن و رسوب ته نشین شده در مخازن با استفاده از یک سیستم فازی بهبود یافته با مفاهیم تضاد است. سیستم فازی متضاد دارای ساختاری بسیار ساده و متشکل از سیستم بهینه شده فازی است. طراحی سیستم فازی توسط روش خوشه سازی و مفهوم تضاد برای بالا بردن دقت، صورت گرفته است.

واژه های کلیدی: "مخازن سوخت"، "سیستم فازی"، "تضاد"

## ۱- مقدمه

محصول، تشکیل لجن و خوردگی لوله ها و مخازن ذخیره منجر شود.

لایروبی مخازن به خصوص مخازن سوخت، کاری پر هزینه و غیر قابل پیش بینی است. در حالت عادی میزان لجن ته مخازن قابل برآورد نبوده و تنها پس از تخلیه مخزن و ورود به آن می توان حجم را مشخص و نسبت به برنامه ریزی آن اقدام کرد. در حالت عادی این فرآیند ماه ها زمان برده و هماهنگی های لازم برای تهیه و انجام کارهای پشتیبانی تخلیه رسوبات مشکل ساز است. در صورتی که بتوان قبل از تخلیه مخزن حجم لجن را مشخص کرد امکان برنامه ریزی صحیح برای فعالیت های پشتیبانی و تخلیه میسر می شود که همین

امروزه بشر با دو بحران بزرگ روبرو است که بیش از آنچه ما ظاهراً تشخیص می دهیم با یکدیگر ارتباط دارند. از یک طرف جوامع صنعتی و همچنین شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی محیط زیست مواجه اند و از طرف دیگر مشاهده می شود که مواد اولیه و سوخت مورد نیاز با شتاب روز افزون در حال اتمام است. لذا با توجه به افزایش مصرف انرژی، لزوم ذخیره سازی سوخت برای نیروگاهها از اهمیت بالایی برخوردار است.

عمده ترین مشکل که در نگهداری مخازن وجود دارد، آلودگی محصولات ذخیره شده می باشد که می تواند به افت کیفیت

گنجایش هر یک ۵۰۰۰۰ متر مکعب فرستاده می‌شود. سپس از طریق همین پمپ‌ها این سوخت به تانک روزانه هر واحد که گنجایش آن ۲۰۰۰ متر مکعب می‌باشد جهت مصرف روزانه ارسال می‌گردد. کلیه مخازن و مسیرهای سوخت سنگین توسط لوله‌های بخار گرم می‌شود تا سوخت به سهولت جریان یابد [۱].

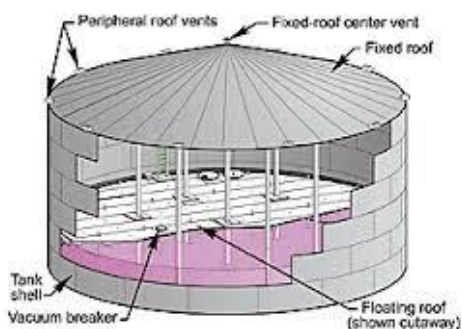
## ۱-۲- مشخصات فنی مخازن نفت کوره نیروگاه حرارتی بندرعباس

این مخازن دارای سقف شناور بوده و با حرکت مایع به بالا و پایین حرکت می‌کند. مشخصات فنی مخازن در جدول ۱ قید گردیده است [۱]:

جدول ۱: مشخصات فنی مخازن

پارامتر مخزن	مقدار
حجم مخزن	$50,000 m^3$
ارتفاع مخزن	17m
قطر اسمی مخزن	61.707m
دما	$60^\circ F$
بالاترین سطح	16.50m
کمترین سطح	150cm
سطح بحرانی	82.58-100.33cm

شکل ۱ نمایی از مخازن سوخت نفت کوره می‌باشد [۲].



شکل ۱: شماتیک مخازن سوخت [۲]

از عوامل برآورد ناصحیح عمر مفید مخازن‌های کشور عدم انتخاب روش مناسب جهت تخمین حجم رسوب در یک حوضه است. اطلاعات فشار، حجم و دمای محصولات نفتی که به اختصار PVT خوانده می‌شود از اصلی‌ترین داده‌های ورودی در محاسبات مهندسی مخازن به منظور مدیریت و برداشت از مخازن است. در موضوعات مربوط به اندازه‌گیری حجم و دما، به جهت پیوستگی پارامترها و انعطاف پذیری مجموعه‌های فازی، این مجموعه‌ها وسایل مؤثری را برای کاربردهای عملی در اختیار قرار می‌دهند.

مطلب می‌تواند مدت زمان خارج بودن مخزن از مدار را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد.

از سوی دیگر با تشخیص به موقع آب در کف مخازن و برنامه ریزی صحیح می‌توان در زمان‌های مناسب نسبت به تخلیه آب اقدام کرد. دانستن ارتفاع آب از کف مخزن این امکان را به وجود می‌آورد که از تخلیه اشتباهی سوخت در هنگام آب زدایی خودداری به عمل آید و صرفه جویی قابل ملاحظه‌ای در فعالیت‌های اپراتوری و نیز اتلاف سوخت به دنبال دارد.

روشهای مختلفی برای برآورد فرآیند رسوبگذاری وجود دارد. اما به دلیل عوامل مختلف موثر در پدیده رسوبگذاری و وجود فرآیند تصادفی در آنها هیچ یک از روشها دارای قطعیت نیست. منطق فازی راهکاری است که به وسیله آن می‌توان سیستم‌هایی پیچیده را که مدلسازی آنها با استفاده از ریاضیات و روش‌های مدلسازی کلاسیک غیرممکن بوده و یا بسیار مشکل است، به آسانی و با انعطاف بسیار بیشتر، مدلسازی کرد. سیستم فازی با توجه به ویژگی‌های منحصر بفردشان نظیر سادگی کاربرد، مقاوم بودن و عدم دارا بودن پیچیدگی ریاضیاتی و محاسباتی، تنها با بهره‌گیری از تجربه عملگرهای متخصص در فرم قوانین، بهترین پاسخ‌گویی را برای این مسئله دارا هستند. با وجود این ویژگی‌ها، سیستم‌های فازی نیازمند بهینه‌سازی برای بهبود عملکردشان هستند. همان‌طور که در ادامه نشان داده می‌شود، عملکرد یک سیستم فازی بعد از بهینه‌سازی توابع عضویت و مجموعه قوانین با استفاده از مفاهیم فازی به طور چشمگیری بهبود یافته است.

در این مقاله ابتدا توضیحات مختصری پیرامون پلنت نیروگاهی بیان شده است، سپس تشریح کلی از یک سیستم فازی صورت گرفته و در ادامه مفاهیم تضاد به کار رفته در بهینه‌سازی سیستم بیان شده‌اند. در پایان نتایج تحلیل آورده شده است.

## ۲- مخازن نیروگاه بندرعباس

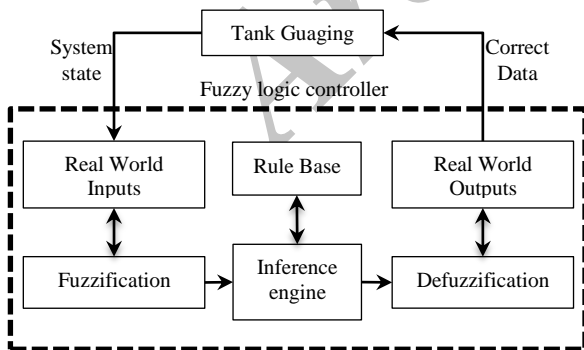
نیروگاه حرارتی بندرعباس به ظرفیت ۱۲۸۰ مگاوات مشتمل بر ۴ واحد بخار ۳۲۰ مگاواتی است و دارای قسمت‌های مختلفی نظیر ۴ واحد بخار، آب شیرین کن، کلر زنی، بویلر کمکی، مخزن‌های روزانه و ماهانه سوخت‌های گازوئیل و مازوت (نفت کوره) و..... می‌باشد [۱].

این سوخت توسط تانکرهای سوخت به نیروگاه حمل و در مخزن بتونی زیرزمینی تخلیه می‌گردد و یا بصورت مستقیم از طریق خط لوله از پالایشگاه نفت بندرعباس به نیروگاه ارسال می‌گردد و سپس بوسیله ۴ پمپ به دو مخزن ذخیره به

به منظور تحلیل سیستم‌های صنعتی (دارای عدم قطعیت) و مدلسازی آنها، شیوه‌های قدیمی مدلسازی عدم قطعیت‌ها من جمله کاربرد تئوری‌های آمار و احتمال در بسیاری از موارد موفقیت آمیز بوده، اگرچه کاربرد این تئوری‌ها برای مدل‌های پیچیده نیازمند به فرضیه‌های متعدد تئوریک بوده که عملاً کاربردها آنها را غیرقابل استفاده و بسیار مشکل می‌ساخته است. در بیشتر موارد، تأکید بیش از اندازه بر دقت بیشتر سبب پیچیدگی مدل‌ها شده تا جائیکه در بعضی موارد کاربرد آنها برای منظوره‌های عملی امکان پذیر نمی‌باشد [۴]. اما منطق فازی راهکار دیگری را جهت مقابله با عدم قطعیت‌ها ارائه می‌کند. در دنیای واقعی کمتر با مواردی روبرو می‌شویم که منطق صفر و یک بر آن حاکم باشد و معمولاً موارد تحت بررسی را نمی‌توان به طور مطلق در نظر گرفت. بنابراین اکثر مواقع با استفاده از منطق کلاسیک صفر و یک، نمی‌توان به بررسی دقیقی از یک مسئله پرداخت [۵].

نظریه مجموعه‌های فازی به سرعت وارد دنیای ریاضیات شد [۶]. امروزه منطق فازی به عنوان یک ابزار قدرتمند ریاضی در علوم مختلف جایگزین ریاضیات کلاسیک شده است [۷]. این امر موجب کاهش پیچیدگی روابط ریاضی حاکم بر مدل‌ها، انعطاف پذیری در مقابل نظر تصمیم گیرنده و نیز صرفه جویی در وقت و هزینه‌ها می‌گردد. سیستم فازی براساس مفهوم مجموعه‌های فازی است [۸].

یک سیستم فازی شامل ۳ قسمت، مرحله فازی ساز<sup>۳</sup>، ماشین استنتاج<sup>۴</sup>، مرحله غیرفازی ساز<sup>۵</sup> است [۹]. در شکل ۲ بلوک دیاگرام سیستم منطق فازی نشان داده شده است.



شکل ۲: بلوک دیاگرام سیستم منطق فازی

سوخت اصلی نیروگاه بندرعباس مازوت است که در ۶ مخزن مجموعاً به ظرفیت ۱۰۸ میلیون لیتر ذخیره‌سازی می‌شود. سنسورهای راداری FMR<sup>۱</sup> به منظور اندازه‌گیری سطح مایعات استفاده می‌شوند. این سنسورها بدون تماس با مایع درون مخزن، ارتفاع آن را با دقت بالا اندازه‌گیری می‌کنند، امواج راداریوسیله آنتن بطور پیوسته ارسال می‌شوند. فرکانس امواج پس از برخورد با سطح سیال تغییر می‌کند، که این تغییر متناسب با فاصله پیموده شده است (که همان فضای خالی مخزن است). با ارسال امواج رادار، فضای خالی بالای مخزن را اندازه‌گیری می‌کنند. با کسر ارتفاع خالی مخزن، از مقدار ارتفاع واقعی که به عنوان "مقدار اولیه" به حسگر داده شده است "ارتفاع مایع" محاسبه می‌شود. [۳]

تاکنون اندازه‌گیری میزان ارتفاع سوخت مخزن با روش ذکر شده موفق بوده است. همواره مقداری آب همراه سیال در مخزن وجود دارد بنابراین لازم است ارتفاع مخلوط آب و مازوت ته نشین شده در کف مخزن بدست آید. دوربین ترموگرافی<sup>۲</sup> وسیله مناسبی جهت بررسی تغییرات دما و مشخص کردن مرزهای اختلاف دما در سطوح بزرگ و یا دور از دسترس است.

یکی از کاربردهای خاص ترموگرافی مادون قرمز تعیین لجن و آب باقیمانده در کف مخازن سوخت و یا سایر مواد است. با استفاده از این تکنیک بدون آنکه درب مخزن باز شود می‌توان میزان رسوبات و آب ته مخزن را اندازه‌گیری کرد. از آنجایی که میزان دمای مخزن براساس فارنهایت محاسبه می‌شود نیاز است ارتفاع سطح سیال مخزن در دمای ۶۰ فارنهایت محاسبه گردد.

X: میزان دمای سطح مایع بر حسب سانتی‌گراد

X: میزان لجن ته نشین شده بر حسب سانتی‌گراد

Y: ضریب تصحیح نفت کوره که سالانه تعیین می‌گردد.

$$X^{\circ}C \times 1.8 + 32 = X^{\circ}f \quad (1)$$

$$100000 * (X^{\circ}f - 60) * Y = B \quad (2)$$

$$C = \frac{B}{100000} \quad (3)$$

$$C * V_L = V_{Lf} \quad (4)$$

<sup>3</sup> Fuzzification process

<sup>4</sup> Inference engine

<sup>5</sup> fuzzification process

<sup>1</sup> Frequency measurement radar

<sup>2</sup> Thermography

### ۱-۳- مرحله فازی ساز

همانطور که اشاره شد برای بهبود بهره برداری از مخازن نیاز است میزان لجن ته نشین شده در مخازن، نقاط بحرانی (حداکثر لجن ته نشین شده و حداقل میزان موجودی سوخت) و نقاط آلام مخزن (حداکثر موجودی سوخت و نقطه سفارش سوخت) مشخص شود.

ورودی سیستم های فازی در زیر نشان داده می شود:

(۱) ارتفاع لجن ته نشین شده در کف مخزن:

$$\tilde{H} = \{\text{کم، خیلی کم، متوسط، زیاد، زیاد، خیلی کم}\}$$

(۲) ارتفاع موجودی در مخزن:

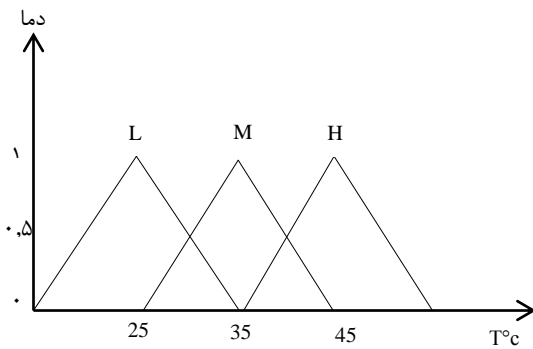
$$\tilde{L} = \{\text{کم، خیلی کم، متوسط، زیاد، زیاد، خیلی کم}\}$$

(۳) میزان دما (مایع سیال، لجن) در مخزن

$$\tilde{T} = \{\text{کم، خیلی کم، متوسط، زیاد، زیاد، خیلی کم}\}$$

با استفاده از دوربین ترموگرافی و تغییرات دمایی میزان لجن باقی مانده در کف مخزن محاسبه می شود.

البته لازم به ذکر است که اثر فشار بر روی خروجی حجم در ضرائب کالیبراسیون مورد استفاده در قوانین استنتاج لحاظ شده است. لذا از ذکر این پارامتر به عنوان ورودی دیگر خودداری شده است.



شکل ۵: مجموعه توابع عضویت ورودی دما

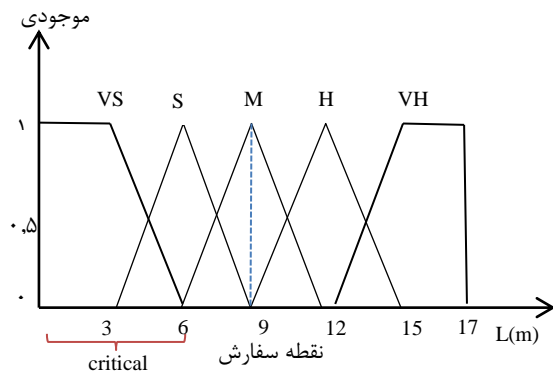
### ۲-۳- ماشین استنتاج

هنگامی که درجه عضویت هر مجموعه فازی برای هر ورودی به طور منحصر بفرد مشخص شد، به ماشین استنتاج ارائه می شود. ماشین استنتاج، قوانین را بر اساس مقادیر غیرصفر اعضای ورودی انتخاب کرده و سپس آنها را ارزیابی می کند. پس از آن درجه عضویت خروجی مطابق با مقدار عضویت ورودی ها تعیین خواهد شد. سپس به مرحله آخر سیستم فازی ارسال می شود [۹]. با توجه به جدول کالیبراسیون مخازن سوخت نیروگاه بندرعباس مورد استفاده به منظور تخمین حجم سوخت موجود، تعداد قوانین ۱۶۹۷ می باشد. این تعداد قوانین تنها با در نظر گرفتن ورودی ارتفاع موجودی است که با افزودن ورودی ارتفاع لجن و دما، تعداد ۱۱۴ قانون دیگر به آن اضافه خواهد شد و در مجموع ۱۸۱۱ قانون در ماشین استنتاج نوشته خواهد شد.

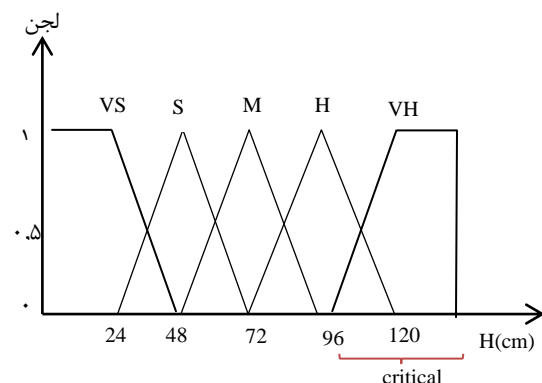
### ۳-۳- غیرفازی ساز

هنگامی که درجه عضویت خروجی توسط ماشین استنتاج تعیین شد، مرحله غیرفازی ساز این مقادیر را گرفته و آنها را به یک مقدار خروجی بر می گرداند. روش انتخاب شده برای غیرفازی ساز (با صرف نظر از هر گونه اثر همپوشی) روش مرکز ثقل<sup>۶</sup> است. مقادیر بدست آمده به عنوان خروجی سیستم منطق فازی فرض می شود و به وسیله یک مقدار نرمالیز کننده<sup>۸</sup> به سطح خروجی دنیای واقعی می رساند [۹].

سیستم های فازی با وجود ویژگی های انعطاف پذیری و دقت مطلوب، نیازمند بهینه سازی برای بهبود عملکردشان هستند. برای بهینه سازی سیستم فازی بیان شده، از مفاهیم تضاد استفاده شده است. اصول کار برای بکارگیری روش پیشنهادی



شکل ۳: مجموعه توابع عضویت ورودی ارتفاع مایع سیال



شکل ۴: مجموعه توابع عضویت ورودی میزان لجن

<sup>6</sup> Overlapping effects

<sup>7</sup> Centroid method

<sup>8</sup> Normalizing value

$$\tilde{x}_i = a_i + b_i - x_i \quad i=1, \dots, n \quad (6)$$

#### ۴-۳- مجموعه فازی متضاد:

یک مجموعه فازی  $A \subset X$  با تابع عضویت  $\mu_A(x)$  به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۱]:

$$A = \{x \in X, \mu_A(x) \in [0,1]\} \quad (7)$$

که  $x$  متغیر مورد بحث،  $X$  مجموعه متغیرها می‌باشد. تابع عضویت به فرم  $\mu_A(x) = f(x; a, \delta)$  فرض شده است، برای این تابع  $\mu_A(a) = 1 \quad \forall a_i \in a$  و  $\delta$  پارامتر کناره‌ای<sup>۱۱</sup> و تعیین کننده‌ی شکل تابع عضویت است. مجموعه فازی متضاد این مجموعه با  $\tilde{A} \in X$  و تابع عضویت  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  به این صورت نشان داده می‌شود [11]:

$$\tilde{A} = \{x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]\} \quad (8)$$

در این رابطه  $\mu_{\tilde{A}}(x) = f(x; \tilde{a}, \tilde{\delta})$  و بردار  $\tilde{a} = [\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots]$  بردار  $a = [a_1, a_2, \dots]$  و بردار متضاد آن نشانگر نقاطی بر روی مجموعه متغیرها با  $\mu(a_i) = \mu(\tilde{a}_i) = 1$

است؛  $\tilde{\delta}$  تغییر شکل متضاد در مقایسه با  $\delta$  اصلی است. به طور مثال، اگر یک تابع عضویت گوسی منحنی بل<sup>۱۲</sup> با  $\mu_A(x) = f(x; a, \delta)$  نشان داده شود، پارامترهای  $a=c$  و  $\delta=\sigma$  است. پس تابع عضویت متضاد آن  $\mu_{\tilde{A}}(x) = f(x; \tilde{a}, \tilde{\delta})$  با  $\tilde{\delta} = \tilde{\sigma}$  و  $\tilde{a} = \tilde{c}$  می‌باشد. اگر هر دو المان  $a$  و  $\delta$  عدد حقیقی باشند، متضاد آنها از رابطه (6) بدست می‌آید.

یکی از کاربردهای اصلی مجموعه‌های فازی متضاد، تولید توابع عضویت برای سیستم استنتاج است [11]. تولید توابع عضویت از روی توابع عضویت اولیه یک رقابت است [11]. از نظریه‌ها و رابطه‌های تضاد برای تولید توابع استفاده می‌شود. در جدول ۲ الگوریتم ساده‌ای برای این منظور بیان شده است.

جدول ۲: تولید توابع عضویت متضاد [11]

تعیین $n$ برای تولید $2n+1$
for $i=1:n$
نوشتن حلقه برای $n$ تا توابع اولیه
$\mu_{A_i}(x) = f(x; a_i, \delta_i)$
end

در بهینه‌سازی کنترل کننده در دو مرحله انجام می‌گیرد؛ ابتدا توابع عضویت، بهینه شده و سپس قوانین بازنویسی می‌شوند. در طراحی سیستم فازی، انتخاب تعداد قواعد مناسب بسیار مهم است؛ تعداد زیاد قواعد باعث پیچیده‌تر شدن سیستم می‌شود و ممکن است برای مسئله ضروری نباشد، از طرفی تعداد کم قواعد ممکن است سیستم فازی ضعیفی را بوجود بیاورد که هدف مورد نظر را تأمین نکند. ایده اصلی این روش گروه بندی زوج‌های ورودی - خروجی در خوشه‌های مختلف و استفاده از یک قاعده برای هر خوشه است (روش خوشه سازی<sup>۹</sup>). ابتدا برای آنکه سیستم فازی بتواند تمامی زوج‌های ورودی و خروجی را با دقت مطلوبی پوشش دهد، یک سیستم فازی بهینه را بوجود می‌آوریم. سپس خوشه‌های ورودی - خروجی را با استفاده از الگوریتم نزدیکترین همسایه تعیین می‌کنیم و در نهایت سیستم فازی بهینه را برای تطابق آنها طراحی می‌کنیم [۱۱ و ۱۰].

#### ۴-۲- مجموعه فازی مبتنی بر تضاد

ابتدا مفهوم تضاد تعریف و سپس نحوه پیاده‌سازی این مفهوم بر روی مجموعه‌های فازی بیان می‌شود.

##### ۴-۱- تضاد:

اگر  $x \in R$  یک عدد حقیقی تعریف شده بر روی بازه معین  $x \in [a, b]$  باشد، عدد متضاد  $\tilde{x}$  به این صورت تعریف می‌شود [۱۲ و ۱۱]:

$$\tilde{x} = a + b - x \quad (5)$$

برای مثال اگر  $a=0$  و  $b=1$  باشد، عدد متضاد بدست آمده به این صورت است:

$$\tilde{x} = 1 - x$$

همانند تعریف عدد متضاد، می‌توان برای موارد چند بعدی نیز این مفهوم را تعمیم داده و متضادهایی را بدست آورد.

##### ۴-۲- نقطه متضاد:

اگر  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$  یک نقطه در دستگاه مختصات  $n$ -بعدی<sup>۱۰</sup> باشد و فرض کنیم  $x_1, x_2, \dots, x_n \in R$  و  $x_i \in [a_i, b_i]$  به صورت  $\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$  متضاد نقطه  $P$  به صورت  $\tilde{P}(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n)$  در کل، توسط مختصات  $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n$  تعریف خواهد شد [۱۲ و ۱۱]. هر کدام از این مختصات‌ها نیز با فرمول عدد متضاد محاسبه می‌شوند [۱۲ و ۱۱]:

<sup>11</sup> Somatic parameter

<sup>12</sup> Gaussian Bell curve function

<sup>9</sup> Clustering

<sup>10</sup> N-dimensional coordinate system

در وسط خوشه‌ها مقایسه می‌شود. در صورتی که ورودی قبل از این نقطه قرار داشته باشد با n خوشه اول مقایسه می‌شود، در غیر این صورت با n+1 خوشه بعدی (که متضادهای خوشه اول هستند) مقایسه می‌شود. در صورتی که فاصله از مقدار مشخص شده R (معیاری برای تعیین قرار گرفتن در فضای خوشه‌ها) بیشتر باشد باید برای آن ورودی خوشه جدیدی با مرکزیت همان ورودی تعریف نمود و بلافاصله برای آن خوشه متضادی تعیین کرد (بلوک OFIS2). الگوریتم پیاده سازی شده برای بلوک OFIS2 در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: الگوریتم پیاده شده در بلوک OFIS2

۱. تعریف مجموعه A	
۲. محاسبه انتروبی A :	E(A)
۳. مقداردهی اولیه تابع عضویت متضاد $\mu_{\tilde{A}}(x)$ در آخرین نقطه (a=L-1)	
۴. نوشتن حلقه انتروبی for i=L-1:-1:a+δ a) Define opposite fuzzy set $\tilde{A}_i$ at $\tilde{a}_i = i$ b) Calculate the entropy of $\tilde{A}_i$ : E( $\tilde{A}_i$ ) c) Calculate the entropy difference $d_i =  E(\tilde{A}_i) - E(A) $	
end	
۵. تعیین مکان زام از روی :	$d_j = \min_i d_i$
۶. تعریف مجموعه فازی متضاد نهایی در $\tilde{a} = j$	
۷. تعیین تابع عضویت وسط بر اساس NO	
۸.	
۹. $-T(A \cup \tilde{A})$	

برای سیستم فازی، فازی‌ساز منفرد، استنتاج قوانین ضرب و غیرفازی سازی مرکز ثقل رابطه (9) استفاده می‌کنیم.

$$f_{out} = \frac{\sum_{all m} Y_{Cn} e \frac{|\bar{x}_k - \bar{x}_{Cn}|^2}{\sigma^2}}{\sum_{all m} U_{Cn} e \frac{|\bar{x}_k - \bar{x}_{Cn}|^2}{\sigma^2}} = H_{fuel}, H_{water} \quad (9)$$

پارامترهای این رابطه به صورت زیر می‌باشد:

$\bar{x}_k$  بردار ورودی‌ها بعد از نمونه k

$\bar{C}_n$  ساختار n امین خوشه که شامل موارد زیر است:

$\bar{X}_{Cn}$  ورودی‌های n امین خوشه

$Y_{Cn}$  خروجی n امین خوشه

$U_{Cn}$  ضریب n امین خوشه

نوشتن حلقه برای n تا توابع متضاد توابع اولیه

for i=n+2:2n+1

Determine  $\tilde{a}_i$  Subject to the constraint  $\tilde{a}_i < \tilde{a}_{i+1}$

Determine  $\tilde{\delta}_i$

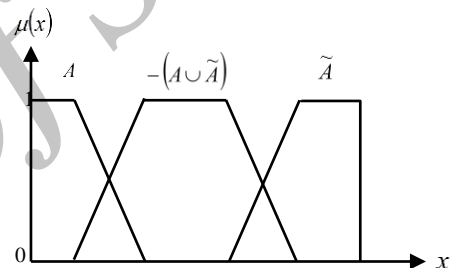
$$\mu_{\tilde{A}_i}(x) = f(x; \tilde{a}_i, \tilde{\delta}_i)$$

end

تعیین تابع عضویت وسط (n+1 امین تابع) بر اساس NOT ( $A \cup \tilde{A}$ )

$$\mu_{A_{n+1}}(x) = f(x; a_{n+1}, \delta_{n+1}) = \text{not}(A \cup \tilde{A})$$

به طور مثال برای n=3 الگوریتم مذکور تولید توابع عضویت آورده شده در شکل 6 را می‌کند.



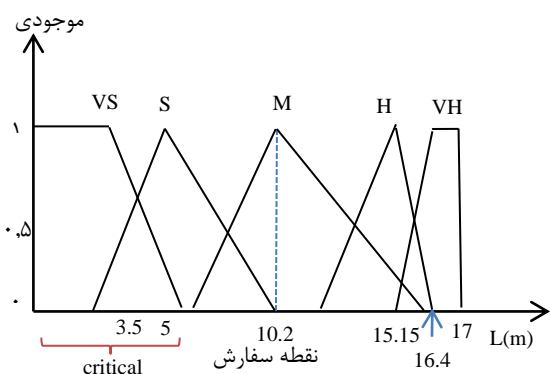
شکل 6: تابع عضویت A، تابع متضاد  $\tilde{A}$  و تابع عضویت «سایر» [11]

شکل 6 فلوجارت کامل روش بهینه سازی را نشان می‌دهد. در این سیستم فازی مجموعه ورودی‌ها شامل n نمونه متوالی است. خروجی این سیستم فازی نیز میزان حجم سوخت و لجن ته مخازن است که به طور بهینه شده‌ای تصحیح شده است. سیستم در آغاز با تعداد اندکی از زوج‌های ورودی - خروجی به عنوان خوشه‌های اولیه شروع به کار می‌کند. در بلوک سوم پرچمی<sup>۱۳</sup> قرار داده است که اگر اولین تکرار اجرای الگوریتم باشد، متضاد خوشه‌ها محاسبه شده و به خوشه‌های اولیه اضافه شود. مجموعه تمام این خوشه‌ها در بلوک چهارم محاسبه می‌شود. در بلوک چهارم (تعیین فاصله) ورودی با هر خوشه مقایسه شده و نرم<sup>۱۴</sup> فاصله ورودی نسبت به هر خوشه محاسبه می‌شود. در بلوک پنجم این فاصله نسبت به یک نقطه

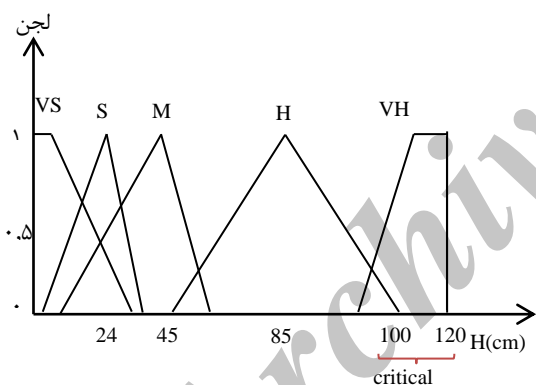
<sup>13</sup> Flag

<sup>14</sup> Norm

مخازن، تشخیص میزان آب داخل مخازن، سیستم فازی متضاد به منظور بالا بردن دقت طراحی شده است. سیستم ایجاد شده نسبت به سیستم اولیه به سبب بهینه سازی توابع و قوانین سریع تر و دقیق تر می باشد. تغییرات اعمال شده بر روی توابع عضویت در شکل های ۸ و ۹ نمایش داده شده است. همچنین تعداد قوانین بعد از خوشه سازی به تعداد ۱۶۴۵ قانون کاهش یافته است.



شکل ۸: مجموعه توابع عضویت ورودی ارتفاع مایع سیال

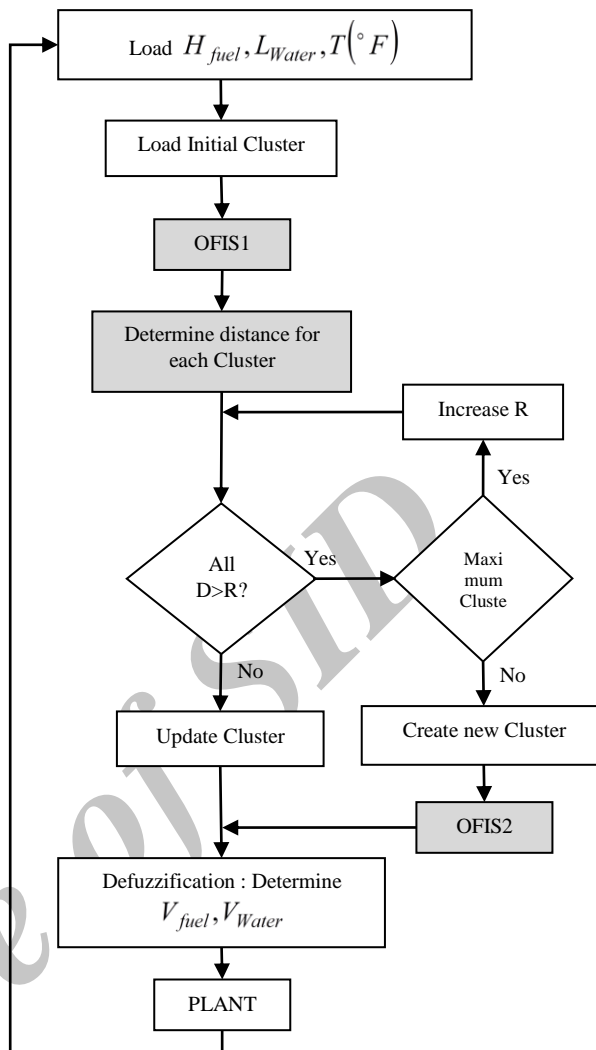


شکل ۹: مجموعه توابع عضویت ورودی میزان لجن

می توان خروجی این سیستم را به یک سیستم آلارم متصل نمود تا با بالا رفتن سطح لجن به میزان بحرانی این سیستم به صورت خودکار عمل نماید و آلارم می دهد.

## ۶- نتیجه گیری

مدلسازی مخازن سوخت با توجه به عوامل گوناگون مؤثر نظیر فشار، حجم و دمای محصولات نفتی با استفاده از روشهای کلاسیک بسیار پیچیده بوده و نتایج بدست آمده از مدل مذکور در تعیین میزان دقیق حجم سوخت درون مخازن نیز دقت کافی را دارا نیستند. از آنجا که در اندازه گیری حجم، به جهت پیوستگی پارامترها وانعطاف پذیری مجموعه های فازی، این مجموعه ها وسایل مؤثری را برای کاربردهای عملی در



شکل ۷. نمای کنترلی از کنترلر PI

بعد از هر نمونه  $k$ ،  $\bar{X}_k = [x(k-m), x(k-m+1), \dots, x(k)]$  در مقایسه با بردار ورودی به هر خوشه بروزرسانی می شود،  $|\bar{X}_k - \bar{X}_{Cn}|$  برای تعیین فاصله های  $D_m$ ،  $m$  تعداد خوشه های تولید شده در این مرحله است.

اگر شعاع  $R$  از  $D_m$  کمتر باشد ( $R < all D_m$ ) یک خوشه جدید  $u$  به این صورت تعریف می شود،  $\bar{X}_k = \bar{X}_{Cn}$ ،  $U_{Cn} = 1$  و  $Y_{Cn} = f_{out}$ . و اگر شعاع  $R$  برای تمام  $p=0,1,\dots,m$   $x(k-p)$  بزرگتر از  $D_m$  باشد ( $R \geq all D_m$ )،  $\bar{X}_k$ ،  $U_{Cn}$  و  $Y_{Cn}$  بروزرسانی می شود ( $U_{Cn} = U_{Cn} + 1$  و  $Y_{Cn} = Y_{Cn} + f_{out}$ ).

## ۵- نتایج شبیه سازی

برای کنترل فازی سطح مخازن به منظور افزایش کارایی و سهولت در انجام امور مدیریت مخازن و همچنین اطلاع لحظه ای از موجودی سوخت موجود در مخازن، جلوگیری از اتمام فرآورده و سفارش به موقع بار، آگاهی از دمای فرآورده داخل

مفهوم تضاد در کنترل سرعت موتور BLDC"، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس سیستمهای فازی ایران، تیر ۱۳۹۰

[12] Tizhoosh, Hamid R. Opposition-Based Reinforcement Learning, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.10 No.4, 2006

اختیار قرار می دهند، میزان لجن و رسوب ته نشین شده در مخازن با استفاده از یک سیستم فازی بهبود یافته با مفاهیم تضاد تخمین زده شده است. سیستم فازی متضاد دارای ساختاری بسیار ساده و متشکل از سیستم بهینه شده فازی است. طراحی سیستم فازی توسط روش خوشه سازی و مفهوم تضاد برای بالا بردن دقت، صورت گرفته است.

## تشکر و قدردانی

شایسته است از راهنماییهای ارزشمند و صمیمانه آقایان مهندس رفیعی و مهندس ثابتی کمال قدردانی و سپاسگزاری را داشته باشیم.

## مراجع

- [1] آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه تولید در سال ۱۳۹۱ ، ناشر شرکت مادر تخصصی توانیر ، ۱۳۹۲
- [2] API Standard 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, 10th edition, Washington, DC, 1998.
- [3] Devine .P, "Radar level measurement-the user's guide", 2000
- [4] Bardossy, and L. Duckstein, Fuzzy Rule-Based Modeling with Applications to Geophysical, Biological and Engineering Systems. CRC press Inc, Boca Raton, Florida, USA, 1995.
- [5] H.J Zimmermann, Fuzzy Set Theory and its Application. Dordrecht: Kluwer Nijhoff Publishing Publishing, Hingham, Mass. 1985
- [6] L. A.Zadeh, , "Fuzzy sets as a basic for theory of possibility", Fuzzy Sets and Systems VOL.1, 3-29. 1965
- [7] محمدرضا رضایی، علی چهارزی ، اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی، انتشارات دانشگاه تهران ، ۱۳۸۵.
- [8] کازو تاناکا، مقدمه ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۳
- [9] فاطمه محسنی پور، علی اکبر قره ویسی، امیر افرومند، سید محمد علی محمدی ، " بهینه سازی کنترلر فازی سیستم فوتوولتائیک مستقل از شبکه"، اولین کنفرانس سالانه انرژی پاک ، اسفند ماه ۱۳۸۹
- [۱۰] لی وانگ ، سیستم های فازی و کنترل فازی، ترجمه محمد تشنه لب ، نیما صفارپور ، داریوش افیونی ، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مرداد ۱۳۸۸
- [۱۱] فاطمه محسنی پور ، علی اکبر قره ویسی، امیر افرومند، "طراحی کنترلر فازی تطبیقی با استفاده از