# مدلسازی بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک چابهار با استفاده از نرو فازی

محمدرضا سالاری فنودی[۱]، محسن سالاری فنودی[۲]
[۱]اداره کل هواشناسی سیستان و بلوچستان و دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا (اقلیم شناسی) دانشگاه سیستان و بلوچستان،
rsalari@pgs.usb.ac.ir
[۲]دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی- تغییر اقلیم، دانشگاه پیام نور، واحد مهریز یزد،mohsensf@gmail.com

**چکیده**

بارش باران یکی از مهمترین پدیده های جوی است که بر زندگی بشر اثر می گذارد. پیش بینی بارش برای کشورهای در حال توسعه که اقتصاد آنها مبتنی بر کشاورزی است، امری حیاتی است. در مقیاس جهانی، پیش بینی بارش بسیار مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. در این پژوهش، کارآیی سیستم فازی-عصبی برای مدلسازی بارش ماهانه ایستگاه چابهار با استفاده از پارامترهای میانگین حداکثر دما، میانگین دمای هوای، میانگین حداقل رطوبت، سرعت باد حداکثر، مجموع ساعات آفتابی، میانگین فشار در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰) مورد ارزیابی قرار گرفت. داده های موجود ۷۰ درصد برای آموزش و ۳۰ درصد برای تست شبکه مورد استفاده قرار گرفتند. جهت ارزیابی و توانمندی مدل با استفاده از شاخص‌های MAD، RMSD و R مورد مقایسه قرار گرفتند. هدف پژوهش ایجاد مدلی مناسب برای مدلسازی بارش می باشد. نتایج پژوهش نشان داد که مقدار رادیان ۰/۸۴ در بین حالات مختلف با مقدار خطای ریشه میانگین مربعات خطا ۱۱/۱۱ میلیمتر در بخش آزمون مدل مناسب ترین مقدار برای مدلسازی شناخته شد.

**واژه‌های کلیدی**

انفیس، بارش، مدلسازی، چابهار

**مقدمه**

بارش به عنوان یک پدیده آب و هوایی، نقش مهمی در مطالعات پیش بینی سیلاب، منابع آب و مدیریت حوضه آبخیزداری دارد. برآورد بارش را می توان به دو گروه روش های آماری و مدل های عددی پیش بینی تقسیم کرد. مدل های آماری به دلیل غیر خطی بودن پدیده بارش و همچنین تاثیرگذاری شرایط اقلیمی محلی در فرایند بارش نمی توانند نتایج مناسبی را ایجاد کنند. یکی از روش های محاسبات نرم که به تازگی در مابحث بارش مورد توجه قرار گرفته، رویکرد مبتنی بر قواعد فازی در مدلسازی است که برای اولین بار توسط پرفسورزاده (۱۹۶۵) معرفی شد. تئوری و منطق مجموعه های فازی، برای توصیف تفکر انسان و استدلال در یک چارچوب ریاضی، به کار گرفته شده است. مدل سازی مبتنی بر قواعد فازی یک رویه مدلسازی کیفی است که در آن رفتار سیستم با یک زبان طبیعی توصیف می شود (سوگنو و یاسوکاوا، ۱۹۹۳: ۱۰). این روش ثابت کرده است زمانی که در محل مناسب مورد استفاده قرار گیرد، می تواند موثر واقع شوند. در سال های اخیر، با ادغام شبکه های عصبی و منطق فازی، سیستم های نرو فازی تولید شدند. سیستم های عصبی-فازی، پتانسیل به کارگیری منافع و مزایای هر دو روش را در یک چارچوب واحد دارند (نایاک و همکاران، ۲۰۰۴: ۵۴) سیستم های عصبی-فازی، مشکل اساسی در طراحی سیستم فازی ( به دست آوردن مجموعه ای از قواعدفازی) را با استفاده از قابلیت موثر یادگیری شبکه عصبی را از بین می برد. این کار را با استفاده از تولید خودکار قواعد اگر-آنگاه فازی و پارامترهای بهینه سازی انجام می دهد. در نتیجه این سیستم می تواند از اطلاعات زبانی انسان متخصص (تجربه)، همچون اطلاعات اندازه گیری شده، در طی مدلسازی استفاده کند (جانگ، ۱۹۹۳: ۶۶۷). سیستم استنتاج فازی-عصبی و قواعد آن در ابتدا توسط جانگ در سال ۱۹۹۳ توسعه یافت؛ و در بسیاری از مسائل و همچنین رشته های هیدرولوژیکی اعمال شده است. اخیرا؛ تکنیک‌های هوش مصنوعی به دلیل توانایی و انعطاف پذیری که در مدل سازی فرایند غیر خطی دارند جهت پیش بینی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. کاکائی و همکاران در سال ۱۳۹۰ برای پیش بینی روزانه بارش از روش انفیس برای حوضه آبخیز سد زاینده رود استفاده کردند و نتایج نشان داد که مدل انفیس با ضریب تعیین برابر با ۰/۹۳ و RMSE برابر با ۰/۷۲ بهتر از سایر مدل ها بارش را پیش بینی نماید. پژوهش های زیادی با دیگر روش های هوشمند همچون شبکه عصبی انجام شده است. مکانیک و همکاران در سال ۲۰۱۳ به پیش بینی بلند مدت بارش با استفاده از مدل های اقلیمی بزرگ مقیاس با استفاده از شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره استفاده کردند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی همبستگی بیشتری دارد و خطای آن کمتر است (Mekanik et al, 2013). عجم زاده و همکاران در سال ۱۳۹۶ به مقایسه برخی از روش های هوش مصنوعی در پیش بینی سری های زمانی دمای حداقل، حداکثر و بارش ایستگاه سد تنگاب واقع در استان فارس پرداختند، نتایج نشان از عدم کارایی مدل ها در پیش بینی بارش است ولی به منظور بازیابی بارش و پیش بینی دما می توان از این روش ها استفاده کرد (عجم زاده و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۰۵).

با توجه به پژوهش های انجام شده و عملکرد شبکه های هوشمند در این تحقیقات و همچنین اهمیت پیش بینی بارش، در این پژوهش با استفاده از روش هوشمند انفیس به پیش بارش در ایستگاه سینوپتیک چابهار پرداخته شد.

**داده ها و روش ها**

**منطقه مورد مطالعه**

بندر چابهار در جنوب شرق کشور و سواحل شمالی دریای عمان در مختصات ۶۰ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع این بندر از سطح آب های آزاد ۸ متر می باشد. فاصله تا مرکز استان سیستان و بلوچستان ۷۳۱ کیلومتر می باشد. این بندر از خوش آب و هوا ترین بنادر جنوبی ایران محسوب می شود. به علت نوسانات کم شرایط آب و هوایی و عدم وجود فصل یخبندان و وجود درختان همیشه سبز در قدیم به آن چهار بهار اطلاق می شده است (جدول۱) که تدریجا به چابهار تغییر نام پیدا کرده است (خواجه امیری و سالاری، ۱۳۹۵). داده های دوره آماری (۱۳۷۰ – ۱۴۰۰) از سازمان هواشناسی اخذ گردید (شکل۱).

شکل ۱ – نقشه موقعیت ایستگاه مورد مطالعه

**جدول ۱: پارامترهای آماری مربوط به سری های زمانی مجموع بارش منطقه مورد مطالعه**

| Parameter | Years | Month | Skew | Kurt | C.V | Stdev |
|---|---|---|---|---|---|---|
| بارش | ۳۰ | بهار | ۲/۸ | ۷/۱ | ۲۱۲/۵ | ۳۰/۲ |
| | ۳۰ | تابستان | ۲/۷ | ۷/۱ | ۲۲۵/۵ | ۱۱/۴ |
| | ۳۰ | پاییز | ۳/۷ | ۱۶/۱ | ۱۸۹/۹ | ۷۴/۶ |
| | ۳۰ | زمستان | ۱/۱ | ۱/۰ | ۸۰/۹ | ۴۶/۶ |
| | ۳۰ | کل فصول | ۲/۰ | ۵/۳ | ۸۸/۵ | ۱۰۲/۸ |

**سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی (ANFIS)**

شبکه‌های عصبی مصنوعی با الگوبرداری از سیستم کارکرد مغز انسان، با پردازش داده‌های تجربی و بدون توجه به فیزیک داده‌های تجربی و بدون توجه به فیزیک مسئله، قانون نهفته در ورای این اطلاعات را استخراج می‌کنند. در مقایسه با مدل‌های مرسوم، این مدل‌ها به ورودی‌های کمتر و تلاش محاسباتی اندکی نیاز دارند. سیستم فازی یک سیستم مبتنی بر قواعد منطقی (شرط - نتیجه) است که با استفاده از مفهوم متغیرهای زبانی و روند تصمیم گیری فازی، فضای متغیرهای ورودی را بر فضای متغیرهای خروجی تصویر می‌کند. در سال ۱۹۹۳، Jang برای اولین بار با مدنظر قرار دادن توانایی‌های تئوری فازی که مبتنی بر قواعد منطقی بوده و روش شبکه عصبی مصنوعی که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارند، منجر به ارائه سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی شده است. پارامتر های هر گره تعیین کننده شکل تابع عضویت مجموعه فازی آن گره است. تابع عضویت مجموعه‌های فازی معمولاً توسط توابع زنگوله‌ای شکل به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c_i}{a_i}\right|^{2b_i}} \qquad (۱)$$

x: مقدار ورودی به گره i و مجموعه $S_1 = \{a_i, b_i, c_i\}$ پارامترهای تطبیقی نامیده می‌شوند.

**لایه دوم، گره‌های قاعده:** هر گره در این لایه درجه فعالیت یک قانون را محاسبه می‌کند.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x).\mu_{B_i}(y) \qquad i = 1, 2 \qquad (۲)$$

$\mu_{A_i}(x)$: درجه عضویت $x$ در مجموعه $A_i$ و $\mu_{B_i}(y)$: درجه عضویت $y$ در مجموعه $B_i$ است.

**لایه سوم، گره‌های متوسط:** در این لایه $i$ امین گره، نسبت درجه فعالیت قانون $i$ ام را به مجموع درجه فعالیت کلیه قوانین بهه صورت زیر نرمال سازی می‌کند:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \qquad (۴)$$

یس $\bar{w}$: درجه فعالیت نرمال شده قانون $i$ ام.

**لایه چهارم، گره‌های نتیجه:** در این لایه خروجی هر گره برابر است با:

$O_{4,i} = \bar{w}_i.f_i = \bar{w}_i(p_i x + q_i y + r_i)$ مجموعه $S_2 = \{p_i, q_i, r_i\}$ (۵)

پارمترهای متعاقب نامیده می‌شوند.

**لایه پنجم، گره‌های خروجی:** در این لایه هر گره مقدار خروجی نهایی را بهصورت زیر محاسبه می‌مایدد( تعداد گره‌ها برابر تعداد خروجی هاست):

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i.f_i = \frac{\sum_i w_i.f_i}{\sum_i w_i} \qquad (۶)$$

در مدل ANFIS زمانی عمل شبیه سازی به درستی انجام شده است که مجموعه پارامترهای تطبیقی $S_1$ و مجموعه پارامترهای متعاقب $S_2$ طوری تخمین زده شوند که مقدار تابع خطای مدل در بخش آموزش و آزمایش به حداقل برسد.

به دست آوردن مقدار این پارامترها معمولاً در دو گام صورت می‌گیرد. در گام اول که تا لایه چهارم پیش می‌رود و گام رو به جلو نامیده می‌شود، مجموعه پارامترهای $S_1$ ثابت فرض شده و مجموعه پارامترهای $S_2$ با استفاده از الگوریتم حداقل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه می‌شوند. در گام دوم که گام رو به عقب نامیده می‌شود، مجموعه پارمترهای $S_2$ ثابت فرض شده و مجموعه پارامترهای $S_1$ با استفاده از از الگوریتم شیب کاهشی به دست می‌آیند. انتخاب تابع عضویت براساس آزمایش انواع مختلف توابع صورت می‌گیرد. به این معنی که توابع عضویت، هر کدام جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند و مدل ANFIS برای هر کدام از این توابع عضویت به صورت جداگانه آموزش می‌بینند. در پایان میزان خطای مدل‌ها حاصل با هم مقایسه می‌شود و تابعی که دارای کمترین میزان خطا را در کمترین زمان آموزش حاصل کند، به عنوان تابع عضویت برگزیده می‌شود(Kisi, 2007).

**ارزیابی عملکرد مدل**

به منظور ارزیابی کارآیی مدل عصبی – فازی (انفیس) استفاده شده، از میانگین قدرمطلق خطا[1]، ریشه میانگین مربعات خطا[2] و ضریب همبستگی[3] استفاده شد (معادله ۷، ۸ و ۹).

---

[1]. Mean Absolute Error
[2]. Root Mean Square Error
[3]. Correlation Coefficient

$$MAE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|Q_i^{Obs} - Q_i^{Sim}\right|}{N}\right] \quad (۷)$$

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{N}\right]} \quad (۸)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i^{obs} + Q_{mean}^{obs}\right)\left(Q_i^{sim} - Q_{mean}^{sim}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_i^{obs} + Q_{mean}^{obs})^2 (Q_i^{sim} - Q_{mean}^{sim})^2}} Q_i^{obs} \quad (۹)$$

$i$ : امین مقدار مشاهده شده دمای حداقل، $Q_i^{sim}$ : $i$ امین مقدار شبیه‌سازی شده دمای حداقل، $Q_{mean}^{obs}$: میانگین مقدار مشاهده شده دمای حداقل، $Q_{mean}^{sim}$ : میانگین مقدار شبیه‌سازی شده دمای حداقل، $N$ : تعداد مشاهدات می‌باشد (مسگری و همکاران، ۱۳۹۹).

**یافته های پژوهش**

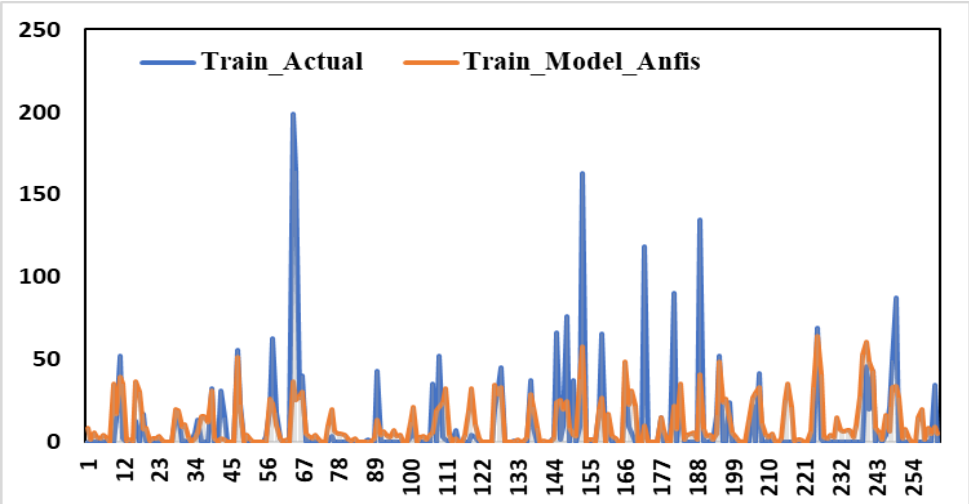
جدول ۲، نشان می دهد که در مرحله اول رادیان ۰/۸ کمترین مقدار رادیان را نسبت به رادیان های دیگر به خود اختصاص داده است و جهت کمینه کردن مقدار این رادیان در سطح صدم درصد هم مورد محاسبه قرار گرفت که رادیان ۰/۸۴ به عنوان مبنا و بهترین رادیان برگزیده شد. با توجه به محاسبات آماری مدل روش انفیس با شاخص RMSE مقدار میانگین آماره ۱۱/۱۱ میلی متر بارش و شاخص MAE با ۲/۴۵ و میزان همبستگی ۰/۵ بارش را برآورد نماید(جدول ۳). در اشکال ۲ و ۳ پیش بینی بارش در مرحله آموزش و آزمون مدل جهت مشاهده کامل مدلسازی بارش در ایستگاه چابهار به نمایش گذاشته شد. با توجه به مقدار انحراف معیار زیاد داده های بارش مدل مربوطه توانسته است بارش ماهانه مناسبی را مدل سازی نماید.

جدول ۲: مقدار خطای هر رادیان بر حسب شاخص ریشه میانگین مربعات خطا

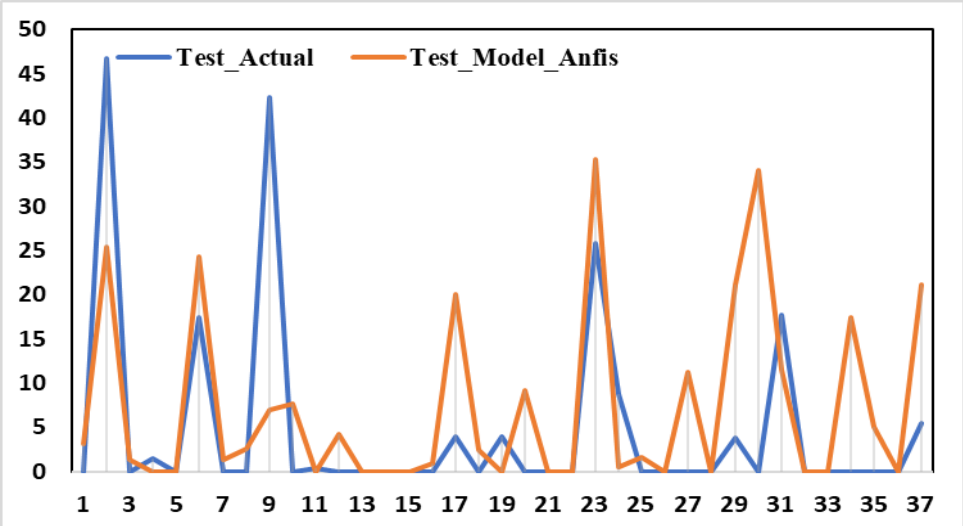
| Radian | RMSE | Radian | RMSE |
|---|---|---|---|
| 0.2 | 67.93 | 0.81 | 11.19 |
| 0.2 | 42.93 | 0.82 | 11.20 |
| 0.3 | 20.89 | 0.83 | 11.20 |
| 0.4 | 15.29 | 0.84 | 11.11 |
| 0.5 | 24.96 | 0.85 | 11.15 |
| 0.6 | 19.30 | 0.86 | 11.21 |
| 0.7 | 17.98 | 0.87 | 11.22 |
| 0.8 | 11.21 | 0.88 | 11.20 |
| 0.9 | 11.23 | 0.89 | 11.20 |

جدول ۳: ارزیابی عملکرد مدل

| نام ایستگاه | رادیان | شاخص ها | مقدار آماره |
|---|---|---|---|
| ایستگاه چابهار | ۰/۸۴ | MAE | ۲/۴۵ |
| | ۰/۸۴ | R(XY) | ۰/۵ |
| | ۰/۸۴ | RMSE | ۱۱/۱۱ |




شکل۲ : نمودار داده های مشاهداتی و مدل شده در مرحله آموزش




شکل ۳: نمودار داده های مشاهداتی و مدل شده در مرحله تست

**نتیجه گیری**

بارش نتیجه پدیده های پیچیده اتمسفری و اقیانوسی است و پیش بینی این پدیده از چالش های مهم محققان طی سال های گذشته بوده است. به منظور مدیریت منابع، امنیت غذایی و مدیریت خطر سیلاب، صحت پیش بینی بارش برای چند ماه آینده بسیار مهم است. در این پژوهش از روش هوشمند انفیس برای پیش بینی بارش ایستگاه سینوپتیک چابهار استفاده گردید، نتایج نشان داد که روش هوشمند انفیس توانایی مدلسازی بارش با داده ایستگاهی میانگین حداکثر دما، میانگین دمای هوای، میانگین حداقل رطوبت، سرعت باد حداکثر، مجموع ساعات آفتابی، میانگین فشار را دارد. مدل روش انفیس با مقدار خطای شاخص های خطا RMSE مقدار ۱۱/۱۱ میلی متر بارش و شاخص MAE با ۲/۴۵ و میزان همبستگی ۰/۵ مقدار بارش ماهانه ایستگاه چابهار را مدلسازی کرد. نتایج این پژوهش نتایج عجم زاده و همکاران را در سال ۱۳۹۶ را در ضعیف بودن مدل سازی روش انفیس برای پیش بینی بارش را تائید می کند. و باید گفت بخاطر نزدیکی ایستگاه مورد نظر به اقیانوس صرفا نمی توان مدلسازی بارش را بدون در نظر گرفتن دمای سطح آب و الگوهای پیوند از دور و همچنین رخداد های اتمسفری مدلسازی کرد. پیشنهاد می شود پژوهشگران در پژوهش های دیگر این مورد را مورد توجه قرار دهند.

**منابع:**


۱. خواجه امیری خالدی، چکاوک و سالاری فنودی، محمدرضا،۱۳۹۵،بررسی روند تغییرات دما و بارش فصلی و سالانه چابهار،اولین کنفرانس بین المللی تغییر اقلیم،تهران،https://civilica.com/doc/640539

۲. کاکائی، الهام و مقدم نیا، علیرضا و پهلوانروی، احمد و احمدی، آزاده،۱۳۹۰،پیشبینی روزانه بارش با استفاده از مدلهای ANFISوANNs ،اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی،کرج،

۳. مسگری, ابراهیم, طاوسی, تقی, محمودی, پیمان, امیرجهانشاهی, سیدمهدی. (۱۳۹۹). ارزیابی برخی توابع انتقال در شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی کوتاه‌مدت دمای کمینه (مطالعه موردی: ایستگاه همدیدی سنندج) .*هواشناسی کشاورزی* , 8(1), 40-50. doi: 10.22125/agmj.2020.191817.1066

۴. عجم زاده، ع.، و ملایی نیا، م.، و قندهاری، ق. (۱۳۹۶). مقایسه برخی از روش های هوش مصنوعی در پیش بینی سری های زمانی روزانه دمای حداقل, حداکثر و بارش ایستگاه سد تنگاب واقع در استان فارس. فضای جغرافیایی, ۱۷(۵۹ ), ۲۰۵-۲۲۸. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=319546

5. Jang J.S.R. 1993. ANFIS: Adaptive-network-based Fuzzy Inference System. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetic, 23(3): 665–685.
6. Kisi O. 2007. The potential of different ANN techniques in evapotranspiration modeling. Journal of Hydrological Process, 22(14): 2449-2460.
7. Mekanik, F. and Imteaz, M.A. (2013). Evaluating the effect of single and combined climate modes on rainfall predictability, in “IAENG Transactions on Engineering Technologies”, Chapter 40, Eds.: H.K. Kim, S. Ao, M.A. Amouzegar and B.B. Rieger, Springer Publisher, ISBN 978-94-007-6817-8.
8. Nayak. P. C., Sudheer. K. P., Rangan. D. M., Ramasastri. K. S., (2004), "A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series", ***Journal of Hydrology***, 291: 52–66.
9. Sugeno, M., Yasukawa, T., (1993), "A fuzzy-logic based approach to qualitative modeling",***IEEE Transactions On Fuzzy Systems***, 1 (1): 7–31.
10. Zadeh, L. A., (1965), "Fuzzy sets", ***Information and Control***, 8 (3): 338–353.