

ارائه روش نوینی جهت آشکارسازی ضایعات MS با استفاده از معیار آنتروپی

سامان پروانه^۱، عمادالدین فاطمی زاده^۲ و حمید بهنام^۳

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

^۲ دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده برق

^۳ دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده برق

E-mail: saman.parvaneh@gmail.com

چکیده - تصاویر تشدید مغناطیسی ابزارهای تشخیصی قدرتمندی برای آشکارسازی ضایعات MS در مراحل اولیه بیماری هستند. در این مقاله یک روش نوین را برای استخراج ضایعات MS در شکل و اندازه واقعی معرفی خواهیم کرد. الگوریتم مطرح شده برای این آشکارسازی، ارزیابی نحوه درمان و سایر عوامل را برای پزشک تسهیل می نماید. ما روش ناحیه بندی تصویر را با سایر تکنیکهای پردازش تصویر ترکیب نمودیم تا نتایج مناسبتری را بدست بیاوریم.

کلید واژه - آنتروپی، پردازش تصویر، ضایعه MS، ناحیه بندی تصویر

۱- مقدمه

رایج آنتروپی برای ناحیه بندی را بکار برده ایم: آنتروپیهای شانون (Shannon)، تیسالیس (Tsallis) و رنی (Renyi).

در گام بعدی، عملگرهای مورفولوژیک را بعنوان یک مرحله پردازش ثانویه به نتایج ناحیه بندی گام اول اعمال نموده ایم تا فقط ضایعه MS را در نتیجه ناحیه بندی داشته باشیم. در انتها نیز بر اساس روشی که از مشابهت سنجی پیکسلهای همسایه استفاده می کند، ضایعه MS آشکار شده را به شکل و اندازه واقعی اش رسانده ایم.

در بخشهای بعدی مراحل مختلف الگوریتم به تفصیل شرح داده شده اند و نتایج اعمال الگوریتم به تصاویر تشدید مغناطیسی استاندارد بررسی شده اند. همچنین نکات مهمی که در این الگوریتم آشکارسازی باید مدنظر داشت نیز تشریح شده اند.

۲- الگوریتم آشکارسازی ضایعه MS

علت انتخاب تصاویر تشدید مغناطیسی برای آشکارسازی

مالتیپل اسکلروزیس (MS) از دیدگاه پاتولوژیک با از بین رفتن موضعی میلین در یک یا چند جایگاه از سیستم عصبی مرکزی شناخته می شود که این فرآیند دمیلینه شدن در طول زمان ممکن است تکرار شود. تصویرگری تشدید مغناطیسی توجه زیادی را برای تشخیص، مشاهده و بررسی MS و ارزیابی تاثیر درمان بر روی آن به خود جلب کرده است.

هدف اصلی این مقاله ارائه یک روش خودکار آشکارسازی ضایعات MS در تصاویر تشدید مغناطیسی است. در روش مطرح شده در گام اول، از هیستوگرام سطح خاکستری بعنوان فضای ویژگی یک بعدی استفاده کرده ایم و آستانه گذاری مبتنی بر آنتروپی را بعنوان یک روش سریع و ساده بکار برده ایم. آستانه گذاری استفاده شده سراسری می باشد بدین معنی که یک آستانه بهینه را برای کل تصویر انتخاب کرده ایم. در این روش محتوای اطلاعات شیء (ضایعه MS) و زمینه را ماکزیمم کرده ایم. ما سه تعریف

زمینه تعلق دارد. از توزیع $p_i = p_1, p_2, \dots, p_k$ ، دو توزیع احتمال کلاس A و کلاس B را بدست می آوریم که بترتیب به شیء و زمینه مربوط هستند:

$$P_A : \frac{p_1}{P(A)}, \frac{p_2}{P(A)}, \dots, \frac{p_i}{P(A)} \quad (2)$$

$$P_B : \frac{p_{t+1}}{P(B)}, \frac{p_{t+2}}{P(B)}, \dots, \frac{p_k}{P(B)} \quad (3)$$

که $P(A) = \sum_{i=1}^t p_i$ است و $P(B) = \sum_{i=t+1}^k p_i$ می باشد. همچنین ما رابطه $P(A) + P(B) = 1$ را داریم. در معادلات (2) و (3) چون دو توزیع احتمال مستقل را در نظر گرفته ایم، عملیات نرمالیزه کردن را انجام داده ایم. آنتروپی پیشین تیسالیس برای هر کدام از این توزیعها بصورت زیر تعریف می شود [2]:

$$S_T^A(t) = \frac{1 - \sum_{i=1}^t \left(\frac{p_i}{P(A)} \right)^q}{q-1} \quad (4)$$

$$S_T^B(t) = \frac{1 - \sum_{i=t+1}^k \left(\frac{p_i}{P(B)} \right)^q}{q-1} \quad (5)$$

با استفاده از خاصیت شبه جمع پذیری برای آنتروپی تیسالیس، می توانیم مجموع آنتروپیها را بصورت زیر بیان کنیم:

$$S_T(t) = \frac{1 - \sum_{i=1}^t (p_A)^q}{q-1} + \frac{1 - \sum_{i=t+1}^k (p_B)^q}{q-1} \quad (6)$$

$$+ (1-q) \cdot \frac{1 - \sum_{i=1}^t (p_A)^q}{q-1} \cdot \frac{1 - \sum_{i=t+1}^k (p_B)^q}{q-1}$$

ما مقدار t ای که $S_T(t)$ را ماکزیمم می کند بعنوان مقدار آستانه بهینه انتخاب می کنیم. در اصل معیار اطلاعاتی بین شیء و زمینه را ماکزیمم می کنیم:

$$t_{opt}^{Tsallis} = \operatorname{argmax} [S_T^A(t) + S_T^B(t) + (1-q) \cdot S_T^A(t) \cdot S_T^B(t)] \quad (7)$$

برای آنتروپی شانون، می توانیم آنتروپیهای پیشین دو کلاس را بصورت زیر بنویسیم [3]:

ضایعه MS، ارزش بالای تشخیصی این تصاویر برای این هدف خاص می باشد بگونه ای که در آنها می توانیم حتی بیماری را در مراحل اولیه نیز شناسایی کنیم و تشخیص بدهیم.

الگوریتم آشکارسازی ضایعه MS که در این مقاله ارائه نموده ایم دارای دو مرحله اصلی است:

۱- مرحله ناحیه بندی تصویر: در این مرحله ضایعه MS را بعنوان شیء ناحیه بندی می کنیم و آنرا از زمینه متمایز می نماییم. در این مرحله ممکن است بخشهای دیگری از تصویر نیز در نتیجه ناحیه بندی موجود باشند.

۲- مرحله پردازش ثانویه: در این مرحله عملگرهای پردازش تصویر را به نتیجه مرحله اول اعمال می کنیم تا بخشهای اضافه موجود در نتیجه ناحیه بندی را حذف کنیم و همچنین اندازه و شکل واقعی ضایعه MS را بدست بیاوریم.

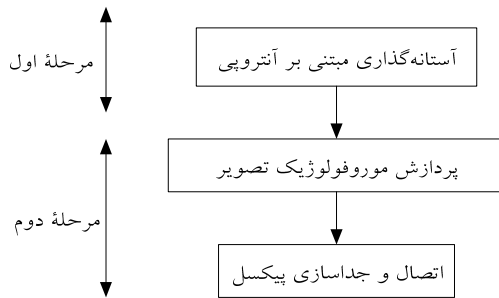
در مرحله ناحیه بندی تصویر، از آستانه گذاری مبتنی بر آنتروپی که هیستوگرام سطح خاکستری را بعنوان ویژگی تصویر بکار می گیرد استفاده کردیم. ما آستانه گذاری سراسری را بعنوان یک روش سریع و ساده از لحاظ محاسباتی بکار بردیم. رابطه ریاضی این نوع آستانه گذاری بقرار زیر است:

$$j(x, y) = \begin{cases} b_1 & i(x, y) \leq t \\ b_2 & i(x, y) > t \end{cases} \quad (1)$$

که $i(x, y)$ تصویر اصلی می باشد و $j(x, y)$ تصویر باینری حاصل از ناحیه بندی می باشد. b_1 و b_2 دو سطح خاکستری متفاوت هستند که معمولاً با مقادیر سفید و سیاه متناظر هستند. در ناحیه بندی با استفاده از آستانه گذاری، تعیین t در معادله (1) مسئله اصلی می باشد و روشهای زیادی برای تعیین آن پیشنهاد شده اند. در این مقاله، از معیار آنتروپی برای تعیین سطح آستانه استفاده کرده ایم.

هیستوگرام سطح خاکستری، تخمینی از احتمال رخ دادن سطوح خاکستری می باشد [1]. برای یک تصویر با k سطح خاکستری، $p_i = p_1, p_2, \dots, p_k$ توزیع احتمال سطوح خاکستری را در اختیار ما قرار می دهد. در روش آستانه گذاری مبتنی بر آنتروپی، ما دو توزیع احتمال را فرض کرده ایم که یکی متعلق به شیء می باشد و دیگری به

باید در همسایگیهای آن به شباهت‌سنجی می‌پردازیم. شباهت‌سنجی ذکر شده در بالا را در بین خود پیکسل‌های تصویر و بر اساس سطح خاکستریشان انجام می‌دهیم. بلوک دیاگرام الگوریتم استفاده شده در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: بلوک دیاگرام آشکارسازی ضایعه MS

۲-۱- نتایج

الگوریتم ارائه شده در بالا را به بانک داده‌ای که شامل ۲۳ تصویر تشدید مغناطیسی (تصویر T۲) مربوط به بیماران دارای بیماری MS بود، اعمال نمودیم. این بانک داده مربوط به پروژه The Whole Brain Atlas از دانشگاه هاروارد است [۶].

یک تصویر تشدید مغناطیسی نمونه از بانک داده فوق که از فرد مبتلا بیماری MS بدست آمده است، در شکل ۲ (الف) نشان داده شده است. نتایج ناحیه‌بندی تصویر با استفاده از آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپی که از سه معیار آنتروپی متداول شانون، تیسالیس و رنئی که در بالا توضیح داده شد بترتیب در شکل ۲ (ب-د) نمایش داده شده است.

همانطور که در نتایج شکل‌های ۲ (ب-د) دیده می‌شود پس از ناحیه‌بندی علاوه بر ضایعه MS بخش‌های دیگری نیز در تصویر حاصله دیده می‌شود که حذف آنها به پردازش‌های ثانویه که در بخش قبلی توضیح داده شد نیاز دارد. در شکل ۳ (الف-ج) عملگر مورفولوژیک (عملگر بستن) را به تصویر باینری که از مرحله ناحیه‌بندی تصویر بدست آورده بودیم اعمال کردیم.

$$S_{BG}^A(t) = -\sum_{i=1}^t \left(\frac{P_i}{P(A)} \right) \log_r \left(\frac{P_i}{P(A)} \right) \quad (8)$$

$$S_{BG}^B(t) = -\sum_{i=t+1}^k \left(\frac{P_i}{P(B)} \right) \log_r \left(\frac{P_i}{P(B)} \right) \quad (9)$$

و مجموع این دو آنتروپی پیشین بر اساس خاصیت جمع‌پذیری مربوط به آنتروپی شانون بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_{BG}(t) = [S_{BG}^A(t) + S_{BG}^B(t)] \quad (10)$$

آستانه‌ای که معادله بالا را ماکزیمم می‌کند را بعنوان مقدار آستانه بهینه در نظر می‌گیریم:

$$t_{opt}^{BG} = \arg \max [S_{BG}^A(t) + S_{BG}^B(t)] \quad (11)$$

و در نهایت، آنتروپیهای رنئی شیء و زمینه بصورت زیر تعریف می‌شود [۴]:

$$S_R^A(t) = \frac{1}{1-q} \cdot \log_r \sum_{i=1}^t \left(\frac{P_i}{P(A)} \right)^q \quad (12)$$

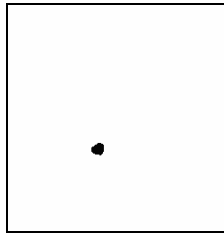
$$S_R^B(t) = \frac{1}{1-q} \cdot \log_r \sum_{i=t+1}^k \left(\frac{P_i}{P(B)} \right)^q \quad (13)$$

مجدداً مقدار آستانه بهینه بر اساس ماکزیمم کردن مجموع دو آنتروپی فوق بدست می‌آید:

$$t_{opt}^{Renyi} = \arg \max [S_R^A(t) + S_R^B(t)] \quad (14)$$

در مرحله پردازش ثانویه، از عملگر مورفولوژیک (عملگر بستن) برای حذف سایر بخش‌هایی که به ضایعه MS مربوط نیستند و اکثراً مربوط به بخش‌هایی از جمجمه هستند، استفاده می‌کنیم. سپس ما روشی که ترکیبی از اتصال پیکسل و جداسازی پیکسل است را بکار بردیم تا ضایعه MS آشکار شده را به اندازه و شکل واقعی برسانیم. در این مرحله بر حسب شباهت سطح خاکستری پیکسل‌هایی که پس از اعمال عملگر مورفولوژیک باقی مانده بودند با پیکسل‌های همسایشان، ناحیه را رشد می‌دهیم و در صورت عدم شباهت ناحیه را تقلیل می‌دهیم. در اصل پیکسل‌های باقیمانده در تصویر حاصل از اعمال ناحیه‌بندی و عملگر مورفولوژیک، مختصات نقاطی را در اختیار ما قرار می‌داد که

برسانیم. نتایج اعمال این فرآیند به سه تصویر نشان داده شده در شکل ۳، با توجه به انجام فرآیند شباهت‌سنجی به نتیجه مشابهی منجر می‌شود که این نتیجه در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: نتیجه اتصال و جداسازی پیکسلها که به نتایج حاصل از بکاربردن عملگر مورفولوژیک اعمال شده است.

برای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی MS، ما از معیار ارزیابی کیفی استفاده کردیم. بدین شکل که نتایج آشکارسازی را به دو متخصص نشان دادیم و کیفیت آشکارسازی را توسط مشاهده‌گر انسانی (متخصص) ارزش‌سنجی کردیم. نتایج آشکارسازی ضایعات MS ای که برای هر ۲۳ تصویر موجود در بانک داده بدست آوردیم توسط دو متخصص بصورت کیفی تحلیل شدند و همه نتایج مناسب ارزیابی شدند. برای ارزیابی کیفی نتایج ناحیه‌بندی نیز از پنج درجه ارزیابی که بصورت جدول ۱ تعریف شده بود، استفاده شد. نتیجه‌گیرهای مطرح شده در مورد ناحیه‌بندی در بخش بحث در مورد نتایج بر مبنای جدول ۱ است.

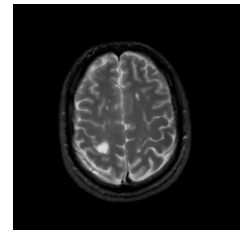
۲-۲- بحث در مورد نتایج

در روش مطرح شده در این مقاله، بعد از ناحیه‌بندی نتایجی را بدست آوردیم که ارزیابی آنها توسط پزشک آسان بود و بعد از اعمال پردازشهای ثانویه مطرح شده در این پژوهش، ضایعه MS را در شکل و ابعاد واقعی‌اش استخراج کردیم. همه نتایج هنگامیکه توسط پزشک متخصص ارزیابی شدند، قابل قبول و مناسب بودند. در زیر نکاتی را در ارتباط با مرحله ناحیه‌بندی ذکر خواهیم کرد:

- آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپی شانون برای یک تصویر و در همه شرایط منجر به یک نتیجه می‌شود ولی در آستانه‌گذاریهای مبتنی بر آنتروپیهای تیسالیس و رنئی و در صورت تنظیم مناسب پارامتر قابل کنترل q می‌توانیم در شرایط مختلف نتایج مناسبتری را بدست بیاوریم.



(ب)



(الف)

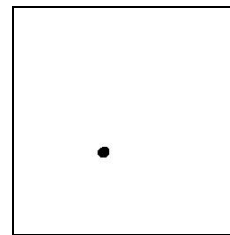


(د)

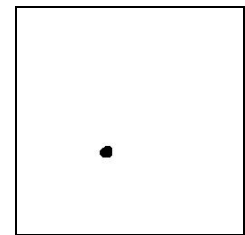


(ج)

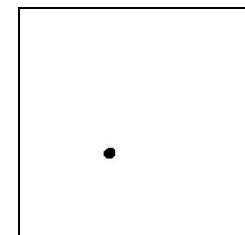
شکل ۲: (الف) تصویر تشدید مغناطیسی با ضایعه MS (ب) نتیجه ناحیه‌بندی مبتنی بر آنتروپی شانون (ج) نتیجه ناحیه‌بندی مبتنی بر آنتروپی تیسالیس با $q = 0.5$ (د) نتیجه ناحیه‌بندی مبتنی بر آنتروپی رنئی با $q = 0.5$



(ب)



(الف)



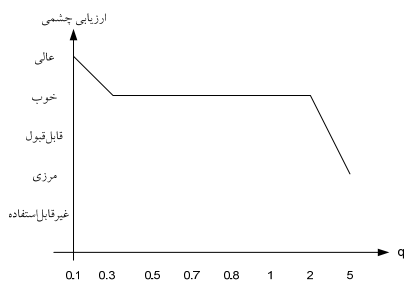
(ج)

شکل ۳: نتیجه اعمال عملگر بستن که به (الف) تصویر ناحیه‌بندی شده با معیار شانون (ب) تصویر ناحیه‌بندی شده با معیار تیسالیس با $q = 0.5$ (ج) تصویر ناحیه‌بندی شده با معیار رنئی با $q = 0.5$ اعمال شده است

همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود، اندازه و شکل ضایعه آشکار شده از اندازه واقعی ضایعه MS که در شکل ۲ (الف) دیده می‌شود متفاوت است در نتیجه مرحله اتصال و جداسازی پیکسلها را به این تصاویر اعمال می‌کنیم تا اندازه و شکل ضایعه آشکار شده را به شکل و اندازه واقعی

جدول ۱: معیار درجه‌بندی مطلق که در این مقاله برای ارزیابی‌های روش‌های ناحیه‌بندی استفاده شده است.

مقدار	درجه	شرح
۱	عالی	نتیجه ناحیه‌بندی بسیار خوب می‌باشد و ساختار مورد نظر به همان خوبی که انتظار داریم، ناحیه‌بندی شده است و ساختار مزاحم دیگری در نتیجه دیده نمی‌شود.
۲	خوب	ساختار مورد نظر بدرستی ناحیه‌بندی شده است و ساختارهای دیگری که در نتیجه ناحیه‌بندی وجود دارند، تداخل آزاردهنده نمی‌باشند.
۳	قابل قبول	یک ناحیه‌بندی که ساختار مورد نظر را با کیفیت قابل قبول، جدا کرده است.
۴	مرزی	یک ناحیه‌بندی نه چندان مناسب و با ساختارهای دیگری که به اشتباه در نتیجه ناحیه‌بندی شامل شده‌اند. آرزو می‌کنیم که کیفیت ناحیه‌بندی را بهبود بدهیم.
۵	غیر قابل استفاده	نتیجه ناحیه‌بندی به حدی بد است که نمی‌توان از آن استفاده کرد.



شکل ۴: نتایج ارزیابی چشمی عملکرد ناحیه‌بندی تصویر حاوی ضایعه MS با کمک معیارهای آنتروپی تیسالیس و رنیئی در فضای ویژگی یک‌بعدی

- با استفاده از تعاریف آنتروپیهای تیسالیس و رنیئی در مرحله آستانه‌گذاری می‌توانیم نتایج مناسبتری را نسبت به حالتی که از آنتروپی شانون استفاده می‌کنیم بدست بیاوریم زیرا این دو نوع آنتروپی اطلاعات غیرجمع‌شونده‌ای که در تصویر موجود است را نیز در نظر می‌گیرند.

- تعاریف تیسالیس و رنیئی به ازای مقدار مشخص و یکسانی برای q به سطح آستانه یکسانی منجر می‌شوند. اثبات ریاضی این معادل بودن در مرجع [۵] آورده شده است.

- در آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپیهای تیسالیس و رنیئی، مقدار $0 < q < 1$ (مقدار کسری q) به مقدار آستانه خوبی در مرحله آستانه‌گذاری منجر می‌شود و برای $q > 1$ نتایج مناسبی را برای ناحیه‌بندی ضایعه MS در همه موارد بدست نیاوردیم. شکل ۴ نتایج ارزیابی کیفی (چشمی) به ازای چند مقدار مختلف برای q را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود به ازای مقادیر بزرگتر از یک برای q کیفیت ناحیه‌بندی به شدت افت می‌کند.

نکات فوق که به مرحله ناحیه‌بندی مربوط می‌شوند در اصل مرحله اول از الگوریتم مطرح شده برای آشکارسازی MS را مورد توجه قرار می‌دهند ولی مناسب بودن نتایج مرحله اول، نقش مهمی را در افزایش کیفیت و سرعت آشکارسازی ضایعه MS در طی مراحل پردازش ثانویه دارد. لذا با توجه به مطالب فوق نتایج کلی زیر را بدست می‌آوریم:

۱- استفاده از آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپیهای تیسالیس و رنیئی بر آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپی شانون به نتایج مناسبتری منجر می‌شود.

۲- آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپیهای تیسالیس و رنیئی در شرایط یکسان به یک سطح آستانه منجر می‌شوند، در نتیجه بکاربردن یکی از این تعاریف در شرایط یکسان کفایت می‌کند.

۳- در مرحله اعمال عملگر مورفولوژیک بستن، هدف حذف بخشهایی است که به ضایعات MS متعلق نیستند لذا معمولاً از شکل دایره‌ای با ابعادی در حدود اندازه بخشهای باقیمانده مجموعه در نتیجه ناحیه‌بندی استفاده می‌کنیم.

based and Tsallis-entropy based image thresholding',
Pattern Recognition Letters, ۲۶(۱۴), pp. ۲۳۰۹-۲۳۱۲

(Electronical Website)

[۶] The Whole Brain Atlas Project of Harvard
University
Internet site address:
<http://www.med.harvard.edu/AANLIB/home.html>

۳- نتیجه گیری

ما آستانه گذاری مبتنی بر آنتروپی را بصورت ترکیبی با تکنیکهای پردازش تصویر استفاده کردیم تا ضایعه MS در تصاویر تشدید مغناطیسی را آشکار کنیم.

ما سه تعریف متداول آنتروپی (شانون، تیسالیس و رنیئی) را برای هدف ناحیه بندی تصویر استفاده کردیم و اثر آنها را بر نتیجه نهایی تحلیل نمودیم. ما نشان دادیم که تعاریف آنتروپیهای تیسالیس و رنیئی در مقایسه با تعریف آنتروپی شانون مناسبتر هستند. همچنین محدوده مناسب برای پارامتر قابل کنترل q در تعاریف آنتروپیهای تیسالیس و رنیئی را مشخص نمودیم.

ما الگوریتم خود را برای بانک داده مطرح شده در این مقاله پیاده سازی نمودیم و نتایج آشکارسازی ضایعه MS را بصورت کیفی و توسط پزشک متخصص ارزیابی نمودیم. همه آشکارسازها در این بانک داده توسط متخصص مناسب ارزیابی شدند.

از آنجاییکه الگوریتم مطرح شده در این مقاله، ضایعات MS را در شکل و اندازه دقیق استخراج می کند لذا نتایج این الگوریتم، ارزیابی اثر درمان بر روی بیمار را که توسط پزشک انجام می شود را تسهیل می نماید.

مراجع

(Books)

[۱] Gonzalez R., Woods R.E. (۲۰۰۲): 'Digital Image Processing', ۲D Edition, (Prentice Hall)

(Journals)

[۲] de Albuquerque M.P., Esquef I.A., Gesualdi Mello A.R. (۲۰۰۴): 'Image thresholding using Tsallis entropy', Pattern Recognition Letters, ۲۵, pp. ۱۰۵۹-۱۰۶۵

[۳] Wong A.K.C., Sahoo P.K. (۱۹۸۹): 'A gray-level threshold selection method based on maximum entropy principle', IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC-۱۹

[۴] Sahoo P.K., Wilkins C. (۱۹۹۷): 'Thresholding selection using Renyi's entropy', Pattern Recognition, ۳۰(۱), pp. ۷۱-۸۴

[۵] Shitong W., Chung F.L. (۲۰۰۵): 'Note on the equivalence relationship between Renyi-entropy