كارآيي انتگرال‌هاي فازي در انبوهش معيارهاي به كار رفته در ارزيابي تناسب اراضي (بررسي موردي: دشت سيلاخور شهرستان دورود، استان لرستان)

عليرضا اميريان‌چكان*[1]، فريدون سرمديان[2]، احمد حيدري[3]، محمود اميد[2]، جهانگرد محمدي[4] و ايناكو اده[5]

[1] فارغ‌التحصيل دكتري پرديس كشاورزي و منابع طبيعي دانشگاه تهران، ايران

[2] دانشيار پرديس كشاورزي و منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران

[3] استاديار پرديس كشاورزي و منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران

[4] دانشيار دانشكده كشاورزي، دانشگاه شهر كرد، ايران

[5] دانشيار دانشكده غذا، كشاورزي و منابع طبيعي، دانشگاه سيدني، استراليا

(تاريخ دريافت: ٨٩/١٢/١٥، تاريخ تصويب: ٩٠/٨/٢)

چكيده

عملگرهاي مرسوم فازي از جمله t-نرم ها ، t-هم نرمها و عملگرهاي ميانگين‌گيري براي انبوهش معيارها و به دست آوردن شاخص نهايي تناسب در ارزيابي تناسب اراضي مورد استفاده قرار گرفته اند. اين عملگرها در شرايطي كه بين معيارها اثرهاي متقابل وجود دارد اثر تعديل كنندگي و جبران كنندگي معيارها نسبت به هم را در نظر نمي‌گيرند. از مهمترين عملگرهاي فازي با قابليت انعطاف و كارآيي بالا در حالت‌هايي كه بين معيارها بر همكنش وجود دارد، انتگرال‌هاي فازي مي‌باشند كه داده‌هاي به دست آمده از منابع مختلف را بر پايه اندازه‌هاي فازي با هم تركيب مي‌كنند. انتگرال چاكوئت جزء شناخته شده ترين اين انتگرال‌ها است كه به ندرت در ارزيابي تناسب اراضي مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراين در اين پژوهش به منظور بررسي كارآيي آن، نمونه‌هاي خاک و محصول از ٢٩ مزرعه زير كشت برنج در دشت سيلاخور شهرستان دورود در استان لرستان برداشت گرديد. درجه‌هاي عضويت فازي به دست آمده از توابع عضويت فازي براي هفت خصوصيت اراضي با استفاده از انتگرال چاكوئت با هم تركيب و يک شاخص تناسب نهايي براي هر مزرعه به دست آمد. به منظور اعتبار سنجي روش، شاخص‌هاي تناسب به دست آمده از اين روش و شاخص‌هاي به دست آمده از عملگر تركيبي لوكاسويچ (تركيبي از t-نرم و t-هم نرم) با مقدار محصول برنج مقايسه گرديد. نتايج نشان داد با وجود اينكه ضريب تبيين بين شاخص‌هاي به دست آمده از دو عملگر و مقدار محصول برنج نسبتا بالا بود ولي اين همبستگي براي انتگرال چاكوئت بيشتر(R^2=٠/٨٣) از عملگر تركيبي لوكاسويچ بود (R^2=٠/٧٥). همچنين مقادير جذر ميانگين مربعات خطاها (RMSE) براي انتگرال چاكوئت و عملگر تركيبي لوكاسويچ به ترتيب برابر با ٢٥٢/٧ و ٣٠٦/٢٥ به دست آمد. لذا مي‌توان نتيجه گرفت انتگرال چاكوئت از كارآيي بيشتري براي انبوهش معيارها در ارزيابي تناسب اراضي برخوردار است.

واژه‌هاي كليدي: ارزيابي تناسب اراضي، انتگرال فازي، انتگرال چاكوئت، عملگرهاي فازي، عملگر لوكاسويچ

* نويسنده مسئول: تلفن: ٠٢٦-٣٢٢٣١٧٨٧ فاكس: ٠٢٦-٣٢٨١٣٥٠٥ E-mail: aramirian@yahoo.com

مقدمه

افزايش سريع جمعيت هم زمان با آغاز انقلاب صنعتي در قرن نوزدهم و به تبع آن افزايش تقاضا براي غذا منجر به شتاب سريع در توليد محصولات کشاورزي در قرن بيستم گرديد. نتيجه اين توسعه، تخريب خاک و بيابانزايي و در نهايت کاهش سرانه زمين براي هر نفر را در پي داشت (Lal & Stewart, 2010). بر پايه گزارش فائو (FAO, 2006) غذاي مورد نياز براي يک و نيم ميليارد نفري که تا سال ۲۰۲۰ به جمعيت کره زمين افزوده مي‌شود بايد از توليد بيشتر بر روي اراضي کشاورزي موجود تأمين شود. اين در حالي است که خاک به دليل حساسيت بالا به تخريب يکي از منابع تجديد ناپذير محسوب مي‌شود (FAO, 2007). بنابراين و از آنجاييکه انسان هميشه به غذا وابسته مي‌باشد، ارزيابي و مديريت خاک و اراضي از اهميت روز افزوني برخوردار است و دارا بودن اطلاعات دقيق از وضعيت خاک و اراضي پيش نياز تصميم گيري‌هاي آگاهانه و آمايش سرزمين است (McKenzie *et al*., 2008). براي کسب اينگونه اطلاعات روش‌هاي متعدد ارزيابي اراضي به کار گرفته مي‌شوند. بنابراين ارزيابي قابليت اراضي را مي‌توان به عنوان يک حلقه پايه‌اي از زنجيره‌اي قلمداد نمود که منجر به مديريت پايدار اراضي، برنامه ريزي براي استفاده از اراضي و امنيت غذايي مي‌شود (FAO, 2007).

سايس و همکاران (1991) ارزيابي اراضي را بررسي کارآيي زمين براي انتخاب استفاده‌هاي بهينه با در نظر گرفتن شرايط فيزيکي، اقتصادي-اجتماعي و محيط زيستي تعريف کردند. اصطلاح ديگري که تعريف آن مقداري با تعريف ارزيابي اراضي متفاوت است ارزيابي تناسب اراضي است که عبارت است از قابليت يک نوع مشخص از اراضي براي يک کاربري خاص (FAO, 1976; Choudhury & Jansen, 1998). در طبقه بندي تناسب اراضي محدوده معيني از اراضي برپايه قابليت آنها براي يک نوع خاص از کاربري‌ها گروه بندي مي‌شود (FAO, 1976). براي انجام اين گروه‌بندي، بررسي کيفيت خاک و اراضي از اهميت زيادي برخوردار است که توسط يک مجموعه صفات و يا شاخص‌ها تعيين مي‌شود. براي اين منظور يک شاخص ايده آل وجود ندارد، ولي مي‌توان شاخص مورد نظر را بر پايه رويکردي به دست آورد که نتيجه کسب شده به اهداف مهم مورد نظر در فرآيند ارزيابي اراضي نزديکتر باشد (Karlen *et al*., 2003). بنابراين، کارآيي يک سيستم ارزيابي اراضي به مقدار زيادي به انتخاب شاخص‌هاي کيفيتي بستگي دارد که روي رشد گياه تاثير دارند.

چانگ و بورو (Chang & Borrough, 1987) و بورو (Borrough, 1989) اولين بار از تئوري مجموعه‌هاي فازي در ارزيابي اراضي استفاده کردند و به‌اين نتيجه رسيدند که استفاده از مدل‌هاي دقيق و متقن در محيط پيچيده خاک معمولا منجر به نتايج رضايت بخشي نمي‌شود. در مطالعات متعدد ديگري نيز برتري استفاده از روش‌هاي ارزيابي اراضي مبتني بر مجموعه‌هاي فازي نسبت به روش‌هاي سنتي نشان داده شده است (Tang *et al*., 1991; Borrough *et al*., 1992; Tang & Van Ranst, 1992; Davidson *et al*., 1994; Van Ranst *et al*., 1996; Braimoh *et al*., 2004; Sicat *et al*., 2005; Joss *et al*., 2008).

اولين عملگرهاي فازي شامل عملگرهاي ماکزيمم، مينيمم و متمم توسط زاده (Zadeh, 1965) ارايه گرديد که به ترتيب معادل عملگرهاي منطقي AND، OR و NOT در جبر بولي مي‌باشند. برخي مطالعات نشان داد که در بعضي شرايط درجه تعديل کنندگي معيارها به دليل اثرات متقابل بطور کامل توسط اين عملگرها بيان نمي‌شود (Peneva & Popchev, 2003). براي حل اين مشکل برخي عملگرهاي ديگر از جمله t-نرمها، t-هم نرمها و عملگرهاي ميانگين‌گيري وزني[1] (AWO) در مسايل مختلف تصميم‌گيري چند معياره به کار گرفته شد (Soasa & Kaymac, 2002). مشکل اين عملگرها اين است که يا فقط در شرايط خاصي قابل استفاده هستند و دامنه کاربرد محدودي دارند و يا قادر به تفسير رفتارهاي مختلف در رابطه با پارامترهاي خود نيستند (Grabisch, 1995). همچنين در شرايطي که بين معيارهاي ارزيابي

[1] Averaging Weighted Operators

برهمکنش وجود دارد و معيارها مستقل از هم عمل نمي‌کنند اين عملگرها کارآيي لازم را ندارند (Grabisch, 1995; Kojadinovik, 2007).

از ميان عملگرهاي انبوهشي، انتگرال‌هاي فازي[1](FI) به عنوان دسته‌اي از قويترين و انعطاف پذيرترين عملگرها محسوب مي‌شوند (Torra & Narukawa, 2006) که در شرايطي که بين معيارهاي ارزيابي اثرات متقابل وجود دارد، مناسب مي‌باشند (Grabisch, 1995; Kojadinovik, 2007). انتگرالهاي فازي داده‌هاي به دست آمده از منابع مختلف را بر پايه اندازه‌هاي فازي انبوهش مي‌کنند (Torra & Narukawa, 2006). يک اندازه فازي براي بيان ارزيابي معيارهايي به کار مي‌رود که اهميت نسبي آنها به مقدار زيادي به درک و آگاهي انسان بستگي دارد. به بيان رياضي اندازه فازي يک تابع مجموعه‌اي مي‌باشد که يک نوا مي‌باشد ولي جمع پذير نيست (Pham & Yan, 1997). يکي از شناخته شده ترين انتگرال‌هاي فازي انتگرال چاکوئت[2](CI) مي‌باشد (Murofushi & Sugeno, 1989; Chiang, 2000; Meyer & Roubens, 2006; Wang *et al*., 2006; Grabisch & Labreuche, 2008).

انتگرال چاکوئت بر پايه اندازه‌هاي فازي، يکي از ابزارهاي غير خطي انبوهش در مسايل تصميم‌گيري چند معياره مي‌باشد (Yang *et al*., 2005). با وجود اينکه از اين انتگرال در گرايش‌هاي مختلف علوم براي انبوهش معيارهاي تصميم‌گيري زياد استفاده شده است، ولي به عنوان يک روش براي ترکيب معيارها در مطالعات خاکشناسي و ارزيابي تناسب اراضي به ندرت مورد استفاده قرار گرفته است (Crawford, 2010).

هدف از اين پژوهش بررسي کارآيي انتگرال چاکوئت در انبوهش معيارهاي ارزيابي و به دست آوردن شاخص تناسب اراضي براي زراعت برنج در دشت سيلاخور شهرستان دورود در استان لرستان مي‌باشد. همچنين براي اعتبار سنجي روش، نتايج حاصل از آن با شاخص‌هاي تناسب اراضی به دست آمده از عملگر ترکيبي لوکاسويچ[3](CLO) و بر پايه مقدار محصول اندازه گيري شده مقايسه مي‌شود.

مواد و روش‌ها

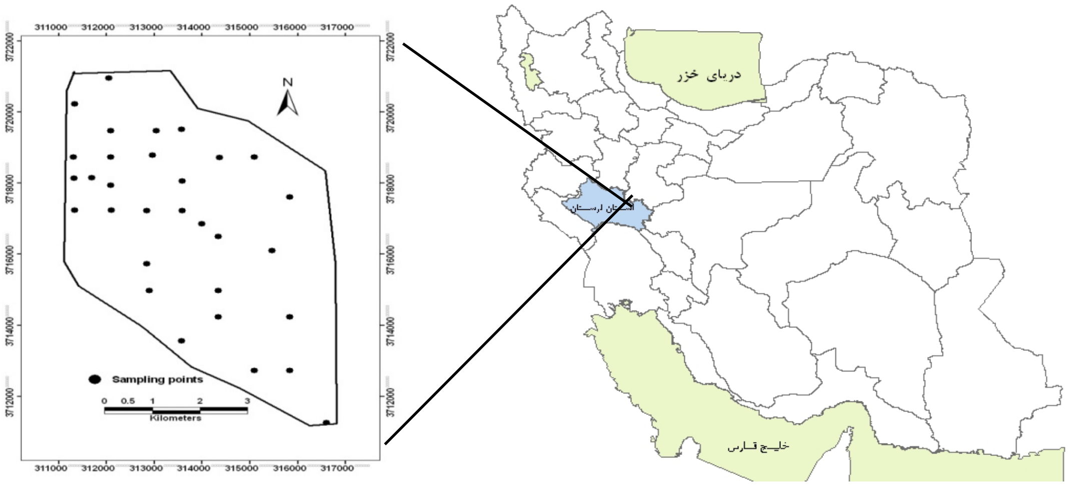
- معرفي منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشي از دشت سيلاخور واقع در شمال غربي شهرستان دورود در استان لرستان با مساحت تقريبي ۳۶۰۰ هکتار مي‌باشد (شکل ۱). منطقه بر پايه سيستم UTM در زون ۳۹ واقع شده است و طول آن از ۳۱۱۳۴۰ متر تا۳۱۶۵۹۰ متر و عرض آن از ۳۷۱۱۲۵۰ متر تا ۳۷۲۰۹۸۰ متر متغير مي‌باشد.

متوسط دما و بارندگي ساليانه به ترتيب ۱۶/۰۴ درجه سانتي‌گراد و ۶۶۴/۹ ميلي متر مي‌باشد. دماي هوا از ۲/۹- درجه سانتي‌گراد در دي ماه تا ۲۱/۱ درجه سانتي‌گراد در تير ماه و بارندگي از ۰/۱۳ ميلي‌متر در تيرماه تا ۱۳۴/۱۳ ميلي‌متر در دي ماه متغير است. واحدهاي فيزيوگرافي منطقه شامل دشت آبرفتي رودخانه‌اي در امتداد جنوب شرقي-شمال غربي و دشتهاي دامنه‌اي در دو طرف دشتهاي آبرفتي و در همان امتداد مي‌باشند. شيب اراضي از حدود صفر درصد بر روي دشت آبرفتي رودخانه‌اي تا بيش از ۵ درصد بر روي دشت‌هاي دامنه‌اي متغير مي‌باشد.

خاک‌هاي منطقه بر روي رسوبات آبرفتي و آهکي ناشي از دو رودخانه تيره و کول آباد و همچنين رسوبات ناشي از فرسايش کوه‌هاي آهکي اطراف تشکيل شده‌اند. رژيم حرارتي خاک‌هاي منطقه ترميک و رژيم رطوبتي آنها زريک مي‌باشد. بر پايه سيستم رده‌بندي آمريکايي (USDA, 2010)، خاک‌هاي منطقه مورد مطالعه در گروه‌هاي بزرگ Calcixerepts, Haploxerepts, Xerofluvents و Xerorthents رده‌بندي گرديدند.

[1] Fuzzy Integral
[2] Choquet Integral
[3] Combined Lukasiewisz Operator



شکل ۱- موقعيت منطقه مورد مطالعه و مکان هاي نمونه برداري

- نمونه‌برداري و تجزيه فيزيکي-شيميايي

نمونه‌هاي خاک از ۲۹ مزرعه تحت کشت برنج و تا عمق ۱ متري در سال ۱۳۸۸ برداشت گرديد (شکل ۱). نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن و کوبيدن، از الک ۲ ميلي‌متري عبور داده شدند و آناليزهاي استاندارد فيزيکي و شيميايي بر روي آنها انجام گرفت. بافت خاک به روش هيدرومتر، pH در گل اشباع (McLean, 1982) ، هدايت الکتريکي در عصاره گل اشباع (Rhoades, 1982)، کربنات کلسيم از طريق تيتراسيون با HCl (Nelson, 1982) و کربن آلي به روش هضم تر (Nelson & Sommers, 1982) اندازه گيري گرديد.

براي اعتبار سنجي نتايج حاصل از ارزيابي تناسب اراضي، در هر مزرعه و در فصل برداشت، محصول برنج در۳ پلات با ابعاد ۱×۱متر و به صورت تصادفي برداشت گرديد. پس از خشک کردن محصول برداشت شده و جدا سازي بذر از ساير قسمت‌هاي گياه، مقدار محصول دانه در هر پلات اندازه گيري شد و از ميانگين محصول به دست آمده از سه پلات براي محاسبه مقدار محصول برنج در يک هکتار استفاده گرديد.

- مجموعه‌هاي فازي

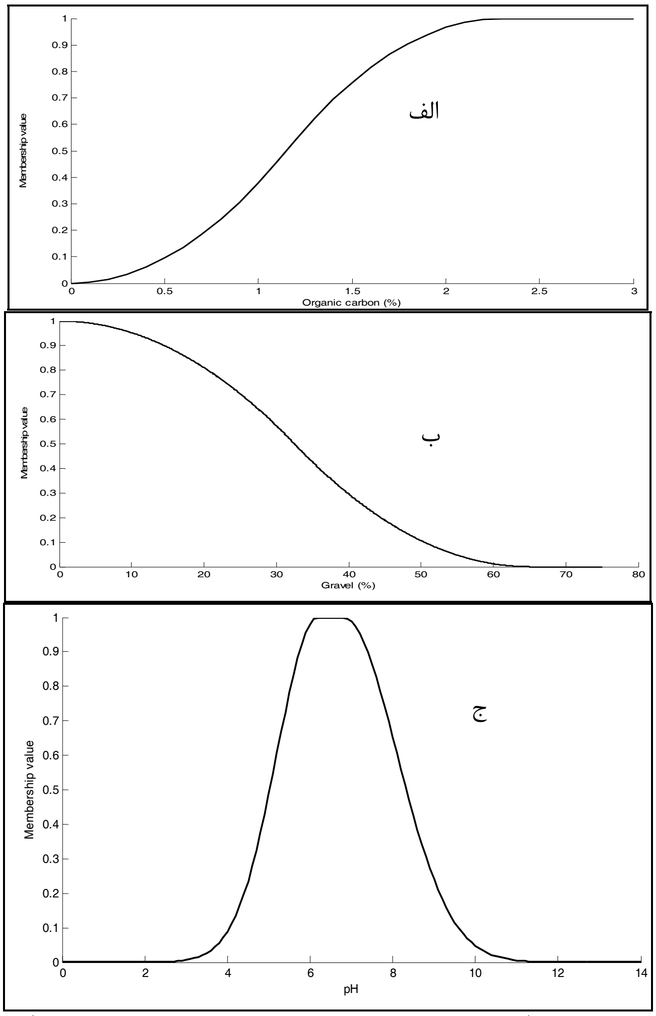
اگر X يک مجموعه از اشيا باشد که با x نشان داده مي‌شوند، مجموعه فازي A در X يک مجموعه از زوج‌هاي مرتب مي‌باشد به طوري که (Zimmermann, 1992):

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (۱)$$

براي هر x ، يک تابع عضويت بر روي X وجود دارد به صورتي که x را به بازه $[0,1]$ نگاشت مي‌کند. در اين رابطه، $\mu_A(x)$ درجه عضويت x در Aمي‌باشد. مقدار صفر براي درجه عضويت بيانگر اين است که x به مجموعه A تعلق ندارد و مقدار يک نشان مي‌دهد که x بطور کامل به مجموعه A تعلق دارد. مقادير بين صفر و يک بيانگر تعلق نسبي x به A مي‌باشد.

در ارزيابي تناسب اراضي، براي هر معيار مورد استفاده، با استفاده از توابع عضويت مناسب درجه نسبي تعلق به کلاس‌هاي تناسب اراضي مشخص شده توسط فائو تعيين می‌شود (Tang *et al.*, 1997). توابع عضويت مناسب بر پايه نوع معيار، دامنه تغييرات آن، چگونگي اثر آن بر رشد محصول، مطالعات انجام شده و نظرات اشخاص خبره تعيين مي‌شوند. در اين پژوهش از سه تابع عضويت Z

شکل، S شکل و گوسي براي فازي سازي مقادير معيارهاي به کار رفته در ارزيابي تناسب اراضي و به دست آوردن درجه‌هاي عضويت فازي استفاده گرديد (شکل ۲).



شکل ۲- نمايش گرافيکي توابع عضويت الف) S شکل ب) Z شکل و ج) گوسي

- انبوهش فازي

انتخاب بهترين کاربري‌ها و اعمال مديريت صحيح نيازمند تصميم‌گيري بر پايه شاخص تناسب اراضي در هر واحد اراضي مي‌باشد. بنابراين درجه عضويت همه معيارهاي به کار رفته در ارزيابي اراضي بايد با استفاده از يک عملگر مناسب با هم ترکيب شوند. نظريه مجموعه‌هاي فازي طيف وسيعي از عملگرها براي استفاده در شرايط مختلف در اختيار تصميم گيرندگان و برنامه ريزان قرار مي‌دهد (Sousa & Kaymak, 2002). در اين بخش به برخي از مهمترين آنها که در منابع متعددي ارايه شده‌اند اشاره مي‌شود (Zimmermann, 1992; Klir & Yuan, 1995; Sousa & Kaymak, 2002; Baczyneski & Iayaram, 2008).

حالت مثلثي

حالت مثلثي[1] يا t-نرم يک عملگر باينري T بر روي بازه $[0,1]$ مي‌باشد که داراي ويژگي جابجايي، شرکت پذيري و يک نوايي و عضو خنثي ۱ مي‌باشد. به عبارت ديگر T تابعي است که $T: [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$. از رايج ترين عملگرهاي فازي مي‌توان عملگرهاي لوکاسويچ را نام برد.

[1] Angular norm

t-نرم لوکاسويچ (T_{LK}) براي هر a و b عضو بازه $[0,1]$ به صورت زير بيان مي‌شود (Baczyneski & Jayaram, 2008):

$$T_{LK}(a,b) = \max(a+b-1,0) \quad (۲$$

همنرم‌هاي مثلثي

هم نرم مثلثي[1] يا t-هم نرم يک عملگر باينري S بر روي بازه $[0,1]$ مي‌باشد که داراي خواص جابجايي، شرکت پذيري و يک نوايي و عضو خنثي صفر مي‌باشد. به عبارت ديگر S يک تابع است به طوري که $S:[0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ و $S(a,0)=a$. در زير هم نرم مثلثي لوکاسويچ (S_{LK}) براي هر a و b عضو بازه $[0,1]$ نشان داده شده است (Baczyneski & Jayaram, 2008):

$$S_{LK}(a,b) = \min(a+b,1) \quad (۳$$

توابع انبوهشي ممکن است از يک عملگر و يا از ترکيب چند عملگر تشکيل شده باشند (Pham & Yan, 1997). از ترکيب t-نرم و t- هم نرم لوکاسويچ مي‌توان يک عملگر ترکيبي به صورت زير براي محاسبه شاخص تناسب اراضي به دست آورد (Van Ranst *et al.*, 1996):

$$LSI = \min(c_1 + c_2 + \cdots + c_n, 1) \quad (۴$$

$$c_i = \max(0, \mu_i + w_i - 1)$$

در اين روابط، LSI شاخص تناسب اراضي[2] به دست آمده از عملگر ترکيبي لوکاسويچ، μ_i درجه عضويت معيارها و w_i وزن معيارها مي‌باشند.

انتگرال‌هاي فازي

انتگرال‌هاي فازي را مي‌توان تعميمي از يک نوع خاص از عملگرهاي ميانگين‌گيري در نظر گرفت که بر پايه اندازه‌هاي فازي محاسبه مي‌شوند (Sousa & Kaymak, 2002). فرض شود $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ يک مجموعه محدود و $P(X)$ توان مجموعه X باشد. يک اندازه فازي بر روي مجموعه X تابعي است به نام g که $P(X)$ را به بازه $[0,1]$ نگاشت مي‌کند. به عبارت ديگر $g: P(X) \rightarrow [0,1]$ به طوري که شرايط زير برقرار باشد:

(۵

$$g(\emptyset) = 0, \qquad g(X) = 1$$

$$\text{If } A, B \subset P(X) \text{ and } A \subset B, \text{ then } g(A) \leq g(B) \quad (۶$$

نوع خاصي از اندازه‌هاي فازي به نام اندازه‌هاي فازي لاندا[3] نيز معرفي شده است که علاوه بر دو شرط فوق شروط زير را نيز برآورده مي‌کنند:

$$A \cap B = \emptyset \text{ with } A, B \subset X \quad (۷$$

۸) براي مقادير ثابت $\lambda > -1$:

$$g(A \cup B) = g(A) + g(B) + \lambda g(A) g(B)$$

مقدار λ را مي‌توان با قرار دادن $g(X) = 1$ به دست آورد که معادل حل معادله زير مي‌باشد:

$$\lambda + 1 = \prod_{i=1}^{n} (1 + \lambda g_i) \quad (۹$$

فرض شود $A = \{x_i, x_{i+1}, \ldots, x_n\}$ باشد. مقدار $g(A_i)$ را مي‌توان به صورت برگشتي و از روابط زير به دست آورد:

$$g(A_n) = g(\{x_n\}) = g_n \quad (۱۰$$

[1] - Angular conorm

[2] - Land suitability index

[3]- λ – measures

For $1 \le i < n$ (۱۱

$$[g(A)]_i = g_i + g(A_{i+1}) + \lambda g_i g(A_{i+1})$$

براي توضيح انتگرال چاكوئت فرض شود h يک مجموعه از منابع ورودي $h(x_1), h(x_2), \ldots, h(x_n)$ و g يک اندازه فازي از نوع لاندا باشند. از رابطه زير مي‌توان براي به دست آوردن نتيجه حاصل از انبوهش استفاده نمود:

$$\int_X h(\cdot) \circ g(\cdot). \qquad (۱۲$$

همچنين با فرض اينکه X يک مجموعه محدود و گسسته مي‌باشد، مي‌توان انتگرال چاكوئت فازي را به صورت زير هم محاسبه نمود:

$$E_g(h) = \sum_{i=1}^{n} [h(x_i) - h(x_{i-1})][g(A)_i] \qquad (۱۳$$

در اين رابطه $h(x_1) \le h(x_2) \le \cdots \le h(x_n)$ و $h(x_0) = 0$ مي‌باشد.

- اعتبار سنجي روش

به منظور آزمون برازندگي روش‌هاي انبوهشي فازي، از دو شاخص آماري ضريب تبيين (R^2) و ميانگين ريشه دوم مربعات باقيمانده‌ها (RMSE)[1] استفاده گرديد. مقدار RMSE از رابطه زير به دست مي‌آيد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[(Z(x_i)) - Z^*(x_i))^2} \qquad (۱۴$$

در اين رابطه $Z^*(x_i)$ مقدار تخميني و $Z(x_i)$ مقدار اندازه گيري شده متغير مورد نظر و N تعداد مشاهدات مي‌باشد. هر چه مقدار RMSE کمتر و مقدار R^2 بيشتر باشد، کارآيي روش به کار رفته بيشتر است.

نتايج

ارزيابي تناسب اراضي بر پايه رويكرد فازي را مي‌توان در چهار مرحله انجام داد (Tang *et al*., 1997; Braimoh *et al*., 2004). ابتدا ويژگي‌ها و کيفيت هاي اراضي که براي رشد محصولات مورد نظر مهم مي‌باشند انتخاب مي‌شود. در مرحله بعد بر پايه توابع عضويت مناسب معيارهاي انتخاب شده فازي سازي شده و به مقادير پيوسته بين ۰ و ۱ تبديل مي‌شوند. با توجه به‌اينکه تاثير معيارهاي مختلف بر روي رشد و مقدار محصول يکسان نيست، براي هر معيار يک فاکتور وزني که بيانگر اهميت نسبي آن معيار است محاسبه مي‌شود. در پايان مقدار درجه‌هاي عضويت وزن دار شده توسط يک عملگر فازي با هم ترکيب شده و شاخص تناسب نهايي براي هر واحد اراضي به دست مي‌آيد.

بر پايه اين مراحل، هفت خصوصيت اراضي که از تغييرپذيري بيشتري در منطقه مورد مطالعه برخوردار بود و به نظر مي‌رسيد که تغييرات تناسب اراضي و در نتيجه مقدار محصول برنج بيشتر به آنها وابسته باشد، انتخاب گرديد. در جدول ۱ خلاصه آماري اين ويژگي‌ها ارايه شده است.

[1] Root Mean Square Error

جدول ۱- خلاصه آماري معيارهاي به کار رفته در ارزيابي اراضي، اوزان آنها و مقدار محصول برنج

معيار ارزيابي	Mean*	Min	Max	SD	CV(%)	چولگي	اوزان
$EC(dSm^{-1})$	۰/۹۷	۰/٤٤	۷/۸۹	۰/۹۱	۹۳/۸۱	٥/٤٨	۰/۰٤
سنگريزه (%)	۱/۹۰	۰/۰۰	۲۲/۸٥	۲/۷٥	۱٤٤/۷٤	٤/٥۹	۰/۰٥
کربن آلي (%)	۱/۲۰	۰/٤٥	۲/۳۰	۰/۳۸	۳۱/٦۷	۰/٥۷	۰/٤٥
شيب (%)	۰/۷۹	۰/۰۰	٥/۷۷	۱/۰۲	۱۲۹/۱۱	۱/۸۸	۰/۰٤
$CaCO_3$ (%)	۲۱/۸٥	۹/٤٥	٤۸/۳۸	۹/۳۹	٤۲/۹۷	۰/۷۹	۰/۲٥
pH	۷/٦٥	۷/۱٤	۸/۸۹	۰/۲٦	۳/٤۰	۱/۱۰	۰/۰۹
رس (%)	٤۲/۸۷	۱۱/۱۳	٦٦/۳۱	۱۲/٥۹	۲۹/۳۷	-۰/۷٦	۰/۰٥
لاي (%)	۳٥/۱۹	۲۱/٤۲	٤۹/۲٥	٥/۰۲	۱٤/۲۷	۰/۳٤	۰/۰٥
محصول (kgh^{-1})	۲۰۲۸/٦٤	۸٤٦/۹۱	۳۳٦٤/۹۲	٦۲۹/۳۸	۳۱/۰۲	-۰/۰٥	-

*: Mean, Min, Max, SD و CV به ترتيب بيانگر انحراف معيار، ماکزيمم، مينيمم، ميانگين و ضـريب تغييـرات مي‌باشند

براي فازي‌سازي مقادير معيارها و در نتيجه به دست آوردن درجه عضويت هر خصوصيت (درجه مناسب بودن)، توابع عضويت مناسب به کار گرفته شد. براي EC، درصد سنگريزه، درصد کربنات کلسيم و شيب از تابع عضويت Z شکل، براي کربن آلي از تابع S شکل و براي pH از تابع گوسي استفاده گرديد (شکل ۲). درجه‌هاي عضويت به دست آمده از اين توابع براي ويژگي‌هاي مختلف در جدول ۲ ارايه شده است. براي اعمال اهميت نسبي معيارها در محاسبه شاخص تناسب، به هر کدام از معيارها يک ضريب وزني با استفاده از روش فرايند تحليل سلسله مراتبي (AHP) اختصاص داده شد (Saaty, 1980). مقادير اوزان به دست آمده در جدول (۱) ارائه شده است.

اعمال مديريت صحيح در هر واحد اراضي نيازمند تلفيق درجه‌هاي عضويت مختلف و به دست آوردن يک شاخص نهايي تناسب در هر واحد مي‌باشد. به همين منظور درجه‌هاي عضويت به دست آمده براي هر هفت خصوصيت در هر واحد اراضي با استفاده از انتگرال چاکوئت با هم ترکيب گرديدند (جدول ۲). از عملگرهاي رايج به کار رفته براي محاسبه شاخص تناسب اراضي مي‌توان عملگرهاي لوکاسويچ را نام برد (Van Ranst *et al*., 1996; Tang *et al*., 1997) . شاخص‌هاي تناسب به دست آمده از عملگرترکيبي لوکاسويچ (ترکيبي از t-نرم و t-هم نرم لوکاسويچ) براي مقايسه با نتايج حاصل از انتگرال چاکوئت نيز محاسبه گرديد (جدول ۲).

براي ارزيابي کارآيي انتگرال‌هاي چاکوئت و عملگر ترکيبي لوکاسويچ در انبوهش معيارهاي ارزيابي، نتايج به دست آمده از اين دو روش با مقدار محصول اندازه گيري شده برنج مقايسه گرديد. درجدول ۱ خلاصه آماري محصول برنج در مزارع مورد مطالعه ارايه شده است. بر پايه اين نتايج، مقدار محصول برنج با توجه به حاصلخيزي خاک و ويژگي‌هاي اراضي از ۸۴۶/۹ تا ۳۳۶۴/۹ کيلوگرم در هکتار متغير مي‌باشد.

جدول ٢- درجه‌هاي عضويت معيارهاي ارزيابي و شاخص‌هاي به دست آمده از عملگرهاي انتگرال فازي و لوكاسويچ

شاخص انبوهشي		درجه‌هاي عضويت ويژگي‌هاي اراضي							
CLO*	CI*	شيب	pH	بافت	$CaCO_3$	كربن	EC	سنگريزه	شماره
٠/٠٦	٠/٤٥	٠/٦٢	٠/٦٨	٠/٩٦	٠/٤٣	٠/٤٩	٠/٩٧	٠/٩٨	١
٠/٠٨	٠/٤٦	٠/٦٢	٠/٨٧	٠/٩٩	٠/٣٩	٠/٧٠	٠/٩٧	٠/٨٦	٢
٠/١٠	٠/٤٩	٠/٥٠	٠/٨٩	٠/٣٤	٠/٨٧	٠/٦٣	٠/٩٧	٠/٧٧	٣
٠/١٠	٠/٥٠	١/٠٠	٠/٧٣	٠/٣٤	٠/٥٧	٠/٨١	٠/٨٦	٠/٩٣	٤
٠/١١	٠/٥٢	١/٠٠	٠/٨٧	٠/٤٠	٠/٨٣	٠/٥٧	٠/٩٥	٠/٩٩	٥
٠/١٥	٠/٥٦	٠/٤٧	٠/٨٥	٠/٨٢	٠/٦٣	٠/٦٣	٠/٩٨	٠/٥٥	٦
٠/١٥	٠/٥٦	٠/٥٤	٠/٩٤	٠/٩١	٠/٥٢	٠/٧٤	٠/٩٧	٠/٨٠	٧
٠/٢٠	٠/٥٧	٠/٩٠	٠/٨٥	٠/٩٧	٠/٥٦	٠/٥٧	٠/٩٧	٠/٩٩	٨
٠/٢٠	٠/٥٩	٠/٩٥	٠/٨٧	٠/٧٠	٠/٨٤	٠/٥٥	٠/٩٨	٠/٩٤	٩
٠/٢٠	٠/٥٩	٠/٩٥	٠/٧٨	٠/٩٩	٠/٦٨	٠/٥٧	٠/٩٧	٠/٩٩	١٠
٠/٢١	٠/٦٠	١/٠٠	٠/٧٤	٠/٧٢	٠/٥٤	٠/٩٥	٠/٩١	٠/٩٣	١١
٠/٢٢	٠/٦١	٠/٦٠	٠/٧٣	٠/٩٧	٠/٥٩	٠/٧٥	٠/٩٧	٠/٥٩	١٢
٠/٢٢	٠/٦٢	١/٠٠	٠/٨٨	٠/٩٨	٠/٥٩	٠/٧٠	٠/٩٦	٠/٩٣	١٣
٠/٢٢	٠/٦٤	٠/٩٣	٠/٩٦	٠/٧١	٠/٨٣	٠/٦١	٠/٩٦	٠/٩٨	١٤
٠/٢٣	٠/٦٥	٠/٧١	٠/٩٢	٠/٩٨	٠/٧٥	٠/٦٣	٠/٩٧	٠/٩٣	١٥
٠/٢٤	٠/٦٥	٠/٩٠	٠/٨٥	٠/٩٧	٠/٥٦	٠/٥٧	٠/٩٧	٠/٩٩	١٦
٠/٢٤	٠/٦٨	٠/٩٣	٠/٩٣	٠/٩٩	٠/٧٩	٠/٦٥	٠/٩٧	٠/٩٧	١٧
٠/٢٥	٠/٦٨	١/٠٠	٠/٨٥	٠/٩٢	٠/٨١	٠/٦٥	٠/٩٧	٠/٩٤	١٨
٠/٢٥	٠/٦٩	١/٠٠	٠/٩٣	٠/٩٣	٠/٨٠	٠/٦٦	٠/٩٦	٠/٩٩	١٩
٠/٢٨	٠/٧٠	٠/٩٤	٠/٧٩	١/٠٠	٠/٧٤	٠/٦٩	٠/٩٢	٠/٩٩	٢٠
٠/٣٠	٠/٧١	٠/٩٠	٠/٨٢	٠/٨٥	٠/٧١	٠/٧٠	٠/٩٦	٠/٩٩	٢١
٠/٣٢	٠/٧١	٠/٩٣	٠/٧٩	٠/٩٣	٠/٧٣	٠/٧٠	٠/٩٦	٠/٨٣	٢٢
٠/٣٣	٠/٧١	٠/٩٠	٠/٩١	٠/٩٧	٠/٨٥	٠/٦٨	٠/٩٧	٠/٩٩	٢٣
٠/٣٣	٠/٧٢	٠/٦٧	٠/٨٩	٠/٩٠	٠/٧١	٠/٨٧	٠/٩٦	٠/٨٤	٢٤
٠/٤٤	٠/٧٤	١/٠٠	٠/٨٤	١/٠٠	٠/٧٠	٠/٨٦	٠/٩٧	٠/٩٩	٢٥
٠/٤٤	٠/٧٥	٠/٧٧	٠/٧٦	١/٠٠	٠/٨٠	٠/٧٥	٠/٩٧	٠/٩٠	٢٦
٠/٤٦	٠/٧٦	٠/٩٤	٠/٩٧	٠/٨٥	٠/٧٢	٠/٩٦	٠/٩٤	٠/٩٣	٢٧
٠/٤٧	٠/٨١	٠/٩٣	٠/٨٧	٠/٨٤	٠/٧٩	٠/٩٦	٠/٩٦	٠/٩٩	٢٨
٠/٥١	٠/٨٢	٠/٩٣	٠/٩٣	٠/٩٥	٠/٨١	٠/٨٤	٠/٩٧	٠/٩٩	٢٩

*: CI و CLO به ترتيب شاخص‌هاي انبوهشي به دست آمده از انتگرال چاكوئت و عملگر تركيبي لوكاسويچ مي‌باشند.

محاسبات انتگرال چاكوئت بر پايه اندازه‌هاي فازي مي‌باشد. با توجه به‌اينكه هفت خصوصيت اراضي براي ارزيابي تناسب اراضي انتخاب گرديد ($x_1, \ldots, x_7$)، تعداد 2^7 زير مجموعه A و اندازه‌هاي فازي متناظر با آنها ($g(\cdot)$) محاسبه گرديد. خلاصه‌اي از ١٢٨ زير مجموعه و اندازه‌هاي فازي آنها در جدول ٣ ارايه شده است.

جدول ۳- توان مجموعه معيارها (**A**) و اندازه‌هاي فازي متناظر با آنها

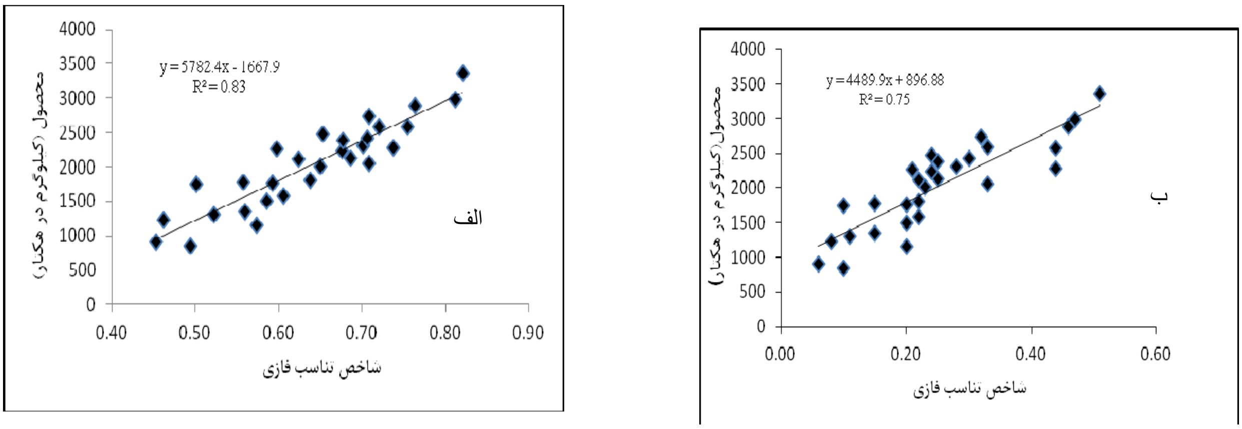
A^*	$g(A)^*$	A	$g(A)$
$\emptyset$	۰	$\{x_1,x_2,x_3,x_4\}$	۰/۱۸۳٤
$\{x_1\}$	۰/۰۰۱۸	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	$\{x_4,x_5,x_6,x_7\}$	۰/۰۵۹۳
$\{x_7\}$	۰/۰۰۱۳	$\{x_1,x_2,x_3,x_4,x_5\}$	۰/۳۱۸۲
$\{x_1,x_2\}$	۰/۰۰٤	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	$\{x_3,x_4,x_5,x_6,x_7\}$	۰/٤۰٤٦
$\{x_6,x_7\}$	۰/۰۰۵۹	$\{x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6\}$	۰/٦٦٦٩
$\{x_1,x_2,x_3\}$	۰/۰٤۲	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	$\{x_2,x_3,x_4,x_5,x_6,x_7\}$	۰/۵۹٦۷
$\{x_5,x_6,x_7\}$	۰/۰۱۲۱	$\{x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6,x_7\}$	۱

*: A و $g(A)$ به ترتيب زير مجموعه‌هاي ويژگي‌هاي اراضي و اندازه‌هاي فازي متناظر با آنها مي‌باشند.

براي بررسي کارآيي روش انبوهشي CI، شاخص‌هاي تناسب به دست آمده حاصل از اعمال اين عملگر و عملگر لوکاسويچ با مقدار محصول اندازه‌گيري شده از طريق روابط رگرسيون خطي مقايسه گرديد. نتايج حاصل در شکل ۳ و جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- مقادير **RMSE** و R^2 به دست آمده از دو روش انبوهشي به کار رفته

روش انبوهش	RMSE	R^2
انتگرال چاکوئت	۲۵۲/۷۳	۰/۸۳
CLO	۳۰٦/۲۵	۰/۷۵



شکل ۳- رابطه رگرسيوني بين مقدار محصول برنج و شاخص‌هاي تناسب اراضي به دست آمده حاصل از الف) انتگرال چاکوئت و ب) عملگر ترکيبي لوکاسويچ

بحث و نتيجه‌گيري

بررسي معيارهاي به کار رفته در ارزيابي تناسب اراضي نشان مي‌دهد (جدول ١) شوري خاک با ميانگين ٠/٩٧ دسي زيمنس بر متر، سنگريزه با ميانگين ٢٢/٨٥ درصد، شيب با ميانگين ٠/٧٩ درصد و بافت خاک از محدوديت کمي براي رشد برنج در منطقه برخوردار مي‌باشند. اهميت نسبي و محدوديت کم آنها در اوزان اختصاص داده شده به هر کدام منعکس شده است. با توجه به‌اينکه محدوده pH مناسب براي رشد برنج حدود ٥/٥ تا ٧ مي‌باشد (Sys *et al.*, 1991) و حداقل pH در منطقه ٧/١۴ مي‌باشد، مي‌توان نتيجه گرفت که pH خاک از عوامل کاهش دهنده درجه تناسب اراضي مي‌باشد. بالاترين اوزان مربوط به کربن آلي و کربنات کلسيم به ترتيب برابر با ٠/۴٥ و ٠/٢٥ مي‌باشد که بيانگر اهميت بيشتر اين معيارها در شاخص نهايي تناسب اراضي مي‌باشد.

درجه‌هاي عضويت فازي نشان مي‌دهند که هر خصوصيت بطور نسبي به چه مقدار براي رشد محصول مورد نظر مناسب مي‌باشد (Van Ranst *et al.*, 1996). به عنوان مثال مزرعه ١ از نظر بافت به مقدار ٩٦ درصد و از نظر کربن آلي به مقدار ۴٩ درصد براي رشد برنج مناسب مي‌باشند (جدول ٢). به عبارت ديگر بافت خاک نسبت به شرايط ايده آل فقط ۴ درصد محدوديت ايجاد مي کند در حالي که محدوديت ايجاد شده توسط کربن آلي نسبت به حالت ايده آل ٥١ درصد مي‌باشد. همچنين بيشترين و کمترين مقدار تناسب در اين مزرعه به ترتيب مربوط به درصد سنگريزه و درصد کربنات کلسيم با درجه‌هاي عضويت ٠/٩٨ و ٠/۴٣ مي‌باشد.

نتايج نشان مي‌دهد (جدول ٢) که شاخص تناسب اراضي به دست آمده از اعمال انتگرال چاکوئت از ٠/۴٥ تا ٠/٨٢ و براي عملگر ترکيبي لوکاسويچ از ٠/٠۶ تا ٠/٥١ متغير مي‌باشد. همچنين اين نتايج نشان مي‌دهند هر چند که واحدهايي که داراي کمترين و بيشترين تناسب هستند (به ترتيب واحدهاي ١ و ٢٩) در هر دو روش يکسان مي‌باشند، ولي بين درجه تناسب به دست آمده از اعمال دو عملگر تفاوت زيادي وجود دارد و درجه‌هاي تناسب به دست آمده از انتگرال چاکوئت در همه واحدها بيشتر از مقادير حاصل از عملگر ترکيبي لوکاسويچ مي‌باشند. به دست آمدن مقادير خيلي کم شاخص تناسب اراضي مي‌تواند ناشي از عدم تعديل سازي اثر معيارها در شرايط استفاده از عملگرهاي لوکاسويچ باشد (Peneva & Popchev, 2003).

مقدار ضريب تبيين بين شاخص‌هاي تناسب به دست آمده از هر دو عملگر فازي و مقدار محصول برنج نسبتا بالاست، ولي ضريب تبيين در حالتي که از انتگرال چاکوئت استفاده شده (شکل ٣-الف) بيشتر از ($R^2 = 0.83$) حالتي است که از عملگر ترکيبي لوکاسويچ ($R^2 = 0.75$) استفاده شده است (شکل ٣-ب). همچنين جدول ۴ نشان مي‌دهد مقادير RMSE براي روشهاي انتگرال چاکوئت و عملگر ترکيبي لوکاسويچ به ترتيب برابر ٢٥٧/٧٣ و ٣٠۶/٢٥ مي‌باشد که بيانگر کارآيي بيشتر انتگرال‌هاي چاکوئت و قابل اعتماد بودن نتايج حاصل از آنها مي‌باشد.

انتگرال‌هاي فازي و بطور خاص انتگرال چاکوئت در مطالعات ارزيابي تناسب اراضي به ندرت به کار گرفته شده‌اند. شايد تنها مطالعه انجام شده در اين زمينه بررسي انجام شده توسط کراوفورد (Crowford, 2010) در ايالت نيوساوت ولز استراليا باشد. در اين مطالعه از CI براي انبوهش معيارهاي به کار رفته در ارزيابي تناسب اراضي براي زراعت گندم استفاده گرديد. نتايج حاصل از اين پژوهش بيانگر کارآيي بيشتر CI در مقايسه با روش‌هاي مرسوم انبوهش فازي مي‌باشد.

انتگرال‌هاي فازي، به عنوان روش‌هاي انبوهشي فازي، کارآيي بالايي در مسايل تصميم گيري چند معياره دارند. در اين مقاله کارآيي انتگرال چاکوئت در انبوهش معيارهاي ارزيابي و به دست آوردن شاخص تناسب اراضي براي زراعت برنج در دشت سيلاخور شهرستان دورود در استان لرستان مورد بررسي قرار گرفت. نتايج اين پژوهش نشان داد که همانند ساير گرايش‌هاي ديگر علوم، از انتگرال چاکوئت مي‌توان به عنوان يک روش قابل اعتماد براي انبوهش معيارها در ارزيابي تناسب اراضي استفاده کرد. کارآيي اين روش همانند ساير روشهاي فازي،

بستگي زيادي به چگونگي انتخاب اوزان معيارها و همچنين توابع عضويت دارد.

با توجه به‌اينکه از انتگرال‌هاي فازي به ندرت در مطالعات خاک شناسي و ارزيابي اراضي استفاده شده است، پيشنهاد مي‌شود بررسي‌هاي بيشتري در اين زمينه انجام شود و کارآيي اين روش براي ساير محصولات زراعي و روش‌هاي مختلف وزن‌دهي بررسي شود.

References

- Baczynski, M. and Jayaram, B. 2008. Fuzzy Implications, Springer-Verlag press, 310 p.
- Braimoh, A. K., Velek P. L. G. and Stein, A. 2004. Land evaluation for maize based on fuzzy set and interpolation. Environmental Management 32, 226-238.
- Burrough, P. A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. Journal of Soil Sci. 40, 477-492.
- Burrough, P. A., McMillan, R. A. and Van Deursen. V. 1992. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography. Journal of Soil Sic. 43, 193-210.
- Chang, L. and Burrough, P. A. 1987. Fuzzy reasoning: a new quantitative aid for land evaluation. Soil Survey and Land Evaluation 7, 69-80.
- Chiang, J. H. 2000. Aggregating membership values by Choquet-fuzzy-integral based operators. Fuzzy Sets and Systems 114, 367-375.
- Choudhury, K. and Jansen, L. J. M. 1998. Terminology for Integrated Resource Planning and Management, FAO press.
- Crawford, M. H. 2010. Fuzzy modeling of soil suitability in relation to crop yield at the farm scale. MS. thesis. University of Sydney. 98pp.
- Davidson, D. A., Theocharopoulos, S. P. and Bloksma, R. J. 1994. A land evaluation project in Greece using GIS and based on Boolean and fuzzy set methodologies. INT. J. Geographic Information Systems 8, 369-384.
- FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation, FAO Soils Bulletin No. 32, FAO press, 71p.
- FAO. 2006. Plant Nutrition for Food Security: A Guide for Integrated Nutrient Management, FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin No. 16, FAO press, 341 p.
- FAO. 2007. Land Evaluation: Towards a Revised Framework, Land and Water Discussion Paper No. 6, FAO press, 124p.
- Grabisch, M. and Labreuche, C. 2008. A review of methods for capacity identification in Choquet integral based multi-attribute utility theory: applications of the Kappalab R package. European J. Operation Res. 186, 766-785.
- Grabisch, M. 1995. Fuzzy integrals in multicriteria decision making. Fuzzy Sets and Systems 69, 279-298.
- Joss, B. N., Hall, J. Sidders, D. M. and Kedy, T. J. 2008. Fuzzy-logic modeling of land suitability for hybrid poplar across the prairie province of Canada. Environ. Monit. Assess. 141, 79-96.
- Karlen, D. L., Ditzler, C. A. and Andrews, S. S. 2003. Soil quality: why and how? Geoderma 114, 145-156.
- Klir, G. J. and Yuan, B. 1995. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications, Prentice-Hall press, 588p.
- Kojadinovic, I. 2007. A weight-based approach to the measurement of the interaction among criteria in the framework of aggregation by the bipolar Choquet integral. European J. Operational Res.179, 498-517.
- Lal, R. and Stewart, B. A. 2010. Food Security and Soil Quality, CRC Press, 408 p.
- McKenzie, N. Grundy, M. Webster, R. and Ringrose-Voase, A. 2008. Guideline for Surveying Soil and Land Resources, CSIRO press, 557p.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In Page, L. E., Miller, R. H. Keeney, D. R. (Eds), Methods of Soil Analysis (part 2): Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy press, pp. 199-224.
- Meyer, P. and Roubens, M. 2006. On the use of the Choquet integral with fuzzy numbers in multiple criteria decision support. Fuzzy Sets and Systems 157, 927-938.
- Murofushi, T. and Sugeno, M. 1989. An interpretation of fuzzy measures and the Choquet integral as an integral with respect to a fuzzy measure. Fuzzy Sets and Systems 29, 201-227.

- Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. In Page, L. E., Miller, R. H. Keeney, D. R. (Eds), Methods of Soil Analysis (part 2): Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy press, pp. 181-197.
- Nelson, R. E. and Sommers, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Page, L. E., Miller, R. H. Keeney, D. R. (Eds), Methods of Soil Analysis (part 2): Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy press, pp. 539-579.
- Peneva, V. and Popchev, I. 2003. Properties of the aggregation operators related with fuzzy relations. Fuzzy Sets and Systems 139, 615-633.
- Pham, T. D. and Yan, H. 1997. A kriged fuzzy integral. Information Sciences 98, 157-173.
- Rhodes, J. D. 1982. Soluble salts. In Page, L. E., Miller, R. H. Keeney, D. R. (Eds), Methods of Soil Analysis (part 2): Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy press, pp. 167-179.
- Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill press.
- Sicat, R. S., John, E., Caraza, M. and Nidumolu, U. B. 2005. Fuzzy modeling of farmers' knowledge for land suitability classification. Agricultural Systems 83, 49-75.
- Sousa, J. M. C. and Kaymak, U. 2002. Fuzzy Decision Making Modeling and Control, World Scientific Publishing Co., 335p.
- Sys, C., Van Ranst, E. and Debaveye, J. 1991. Land Evaluation. Part I: Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculations. General Administration for Development Cooperation, Agric Pub. No. 7, Brussels, Belgium, 274p.
- Tang, H. J., Debavye, J. Van Ranst, E. 1991. Land suitability classification based on Fuzzy set theory. Pedologie 51, 277-290.
- Tang, H. J. and Van Ranst, E. 1992. Testing of fuzzy set theory in land suitability assessment for rainfed grain maize production. Pedologie 52, 129-147.
- Tang, H. J., Van Ranst, E. and Groenemans, R. 1997. Application of fuzzy set theory to land suitability assessment. Trend in soil Science 2, 191-203.
- Torra, V. and Narukawa, Y. 2006. The interpretation of fuzzy integrals and their application to fuzzy systems. Int. J. Approximate Reasoning 41, 43-58.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th edition, USDA press.
- Van Ranst, E., Tang, H. T., Groenemans, R. and Sinthurahat, S. 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in Peninsular Thailand. Goderma 70, 1-19.
- Wang, Z., Yang, R., Heng, P. N. and Leung, K. S. 2006. Real-valued Choquet integrals with fuzzy-valued integrals. Fuzzy Sets and Systems 157, 256-269.
- Yang, R., Wang, Z., Heng, P. N. and Leung, K. S. 2005. Fuzzy numbers and fuzzification of the Choquet integral. Fuzzy Sets and Systems 153, 95-113.
- Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy sets. Information and Control 8, 338-353.
- Zimmermann, H. J. 1992. Fuzzy Set Theory and its Applications, 2ed Edition, Kluwer Academic press, 399p.

Performance Assessment of Fuzzy Integrals as Aggregation Operators for Soil Suitability Analysis (Case Study: Silakhor Plain of Lorestan Province

A. Amirian Chakan[*1], F. Sarmadian[2], A. Heydari[3], M. Omid[2] ,J. Mohammadi[4] and Inakwu Odeh [5]

[1] Ph.D Graduate, University College of Agriculture and Natural Resources, Univ. of Tehran, Karaj, I.R Iran
[2] Associate Prof., University College of Agriculture and Natural Resources, Univ. of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[3] Assistant Prof., University College of Agriculture and Natural Resources, Univ. of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[4] Associate Prof., Faculty of Agriculture, Shahrekord University Shahrekord, I.R. Iran

[5] Associate Prof., Food Agriculture and Natural Resources Faculty, University of Sidney, Australia

(Received: 2011/March/06, Accepted: 2011/October/24)

Abstract

The traditional fuzzy operators, such as t-norms, t-conorms and averaging operators have been used for soil suitability evaluation to aggregate criteria as an overall suitability index. However, such operators do not account for the degree of compensation common to human aggregation criteria, especially in the presence of conflicting criteria. Fuzzy integrals are powerful and flexible aggregation functions that combine the data provided by several information sources based on fuzzy measures. One of the most known fuzzy integrals is the Choquet Integral (CI) that is often used as a nonlinear aggregation tool that takes into account the interactions among the conflicting and interrelated criteria. CI has hardly ever been used in soil suitability evaluation. In this paper, we tested the CI performance as an aggregation operator to evaluate soil suitability for irrigated rice in Lorestan province, western Iran. To conduct standard fuzzy analysis, soil samples were taken from 29 farms under rice cultivation and for the purpose of validation, average dry matters of the three 1×1m quadrates were used to determine the grain yield of rice in each farm. Fuzzy membership values of seven evaluation criteria were combined using CI to obtain a single suitability index in each land unit. In order to validate the results, the soil suitability indices were tested and compared with the results obtained by Lukasiedwicz's t-norm and t-conorm operator (CLO) by correlation with the measured rice yield. The results show R^2 values were fairly high for both aggregated methods, but the soil suitability index obtained by the CI integral has significantly better agreement with rice yield (R^2 = 0.83) than those obtained with the CLO (R^2 = 0.75). These results call for further investigation of CI as an alternative, and perhaps a better, aggregation operator for soil suitability evaluation.

Keywords: Land suitability evaluation, Fuzzy Integral, Choquet Integral, Fuzzy operator

*Corresponding author: Tel: +98 2632231787 Fax: +98 32813505 E-mail: aramirian@yahoo.com