

کار آئی مدل‌های پهنه‌بندی اکولوژیکی-زراعی و واگنینگن در برآورد پتانسیل تولید اراضی

الهام قنبری*^۱، علی اصغر جعفرزاده^۲، فرزین شهبازی^۳، مسلم ثروتی^۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۲۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۴- استادیار، مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: Elham.ganbarie@yahoo.com

چکیده

امروزه به دلیل افزایش جمعیت و تخریب اراضی کشاورزی، نیاز به استفاده بهینه و مدیریت پایدار اراضی کاملاً ضروری است، بر این اساس ارزیابی تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید از مهم‌ترین فرآیندها محسوب می‌گردد. هدف از این پژوهش مقایسه مدل‌های واگنینگن و پهنه‌بندی اکولوژیکی-زراعی در برآورد تولید گرمایی-حرارتی به عنوان یکی از پارامترهای اصلی در محاسبه پتانسیل تولید به روش فائو برای گندم آبی می‌باشد. جهت نیل به این اهداف، ویژگی‌های مرفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی ۱۰ واحد از اراضی منطقه خواجه با وسعت ۱۱۰۰ هکتار واقع در استان آذربایجان شرقی انتخاب گردید. خاک‌های این منطقه دارای رژیم رطوبتی اریدیک هم‌مرز با زیرک و رژیم حرارتی مزیک بوده و بر اساس کلید رده‌بندی آمریکایی ۲۰۱۴ در رده اریدی‌سول‌ها رده‌بندی شدند. مقادیر ضریب تبیین محاسبه شده بین تولید برآورد شده و تولید واقعی در روش‌های AEZ و واگنینگن به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۷۲ برآورد گردید. برای بررسی صحت مدل‌های استفاده شده از شاخص نسبت خطای متوسط هندسی (GMER) استفاده شد که این مقدار برای مدل‌های AEZ و واگنینگن به ترتیب ۲/۲۸ و ۱/۰۲ می‌باشد. همچنین نتایج تطابق نقشه‌های حاصل از روش‌های انتخابی با تولید مشاهده شده مؤید این مطلب است که تطابق در روش AEZ (۵۵/۲ درصد) بیشتر از روش واگنینگن (۱۲/۸) می‌باشد. در نهایت می‌توان گفت روش AEZ با توجه به دقت، صحت، تطابق بیشتر نقشه حاصل با تولید واقعی و محاسبات کمتر به عنوان مدل کارا پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تطابق نقشه، خواجه، روش فائو، گندم، مدیریت پایدار

Efficiency of Agro-ecological Zoning (AEZ) and Wageningen Models in Prediction of the Production Potential of the lands

E Ganbarie^{1*}, AA Jafarzadeh², F Shahbazi³, M Servati⁴

Accepted: 15 November 2016

Received: 23 January 2016

1-M.Sc. Student, Dept. of Soil Sciences., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

2-Prof., Dept of Soil engineering and Sci., Agriculture Faculty, Univ. of Tabriz, Iran

3-Assoc. Prof., Dept of Soil engineering and Sci., Agriculture Faculty, Univ. of Tabriz, Iran

4-Assist. Prof., Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia Univ., Iran

*Corresponding Author, Email: Elham.ganbarie@yahoo.com

Abstract

Nowadays, due to the population growing and agriculture lands degradation, optimum land use and management become essential. Consequently land suitability evaluation and prediction of the production potential are important processes. The goal of the present research is the comparison of *AEZ* and Wageningen models in estimation of the Thermal-Radiation production that it is one of parameters in calculation of the Production Potential in FAO method for irrigated wheat. Soil morphological, physical and chemical characteristics of 10 land units of Khajeh region with 1100 ha extension located in East Azarbaijan province were selected. The soils of the study region have Aridic border to xeric moisture and mesic temperature regimes, and were classified in Aridisols orders according to keys to soil taxonomy 2014. Coefficient of correlation values between land production potential and observed yield were 0.74 and 0.72 for *AEZ* and Wageningen models respectively. Geometric mean error ratio (GMER) index was used for studying the model accuracy. The values of this index have been calculated for the *AEZ* and wageningen models 1.02 and 2.28 respectively. According to the coincidence of agreement maps of the *AEZ* or wageningen models and observed yield the agreement in *AEZ* method 52.8 % is more than of the Wageningen method 12.8%. Finally, the *AEZ* model is more efficient than the other because it has high precision, accuracy, overall map agreement with observed yield and low calculating process.

Keywords: FAO method, Khajeh, Map agreement, Sustainable management, Wheat

مقدمه

افزایش جمعیت خصوصاً در کشورهای در حال توسعه، منابع طبیعی و کشاورزی را تحت فشار قرار داده و موجب نیاز بیشتر به تولیدات زراعی و باغی شده است. در بسیاری از مناطق به ویژه با شرایط گرم و خشک مانند ایران، این فشارها ناشی از کمبود آب و زمین‌های کشاورزی مناسب بوده است (ایوبی ۱۳۷۵). در کشور ما، بسیاری از اراضی به دلیل وجود محدودیت‌های خاص از چرخه تولید خارج و یا استفاده از آن‌ها با کارایی بسیار پایین و به شکل ابتدایی صورت

می‌پذیرد (تومانیان ۱۳۹۰)، بنابراین بایستی از اراضی براساس استعداد و قابلیت آن‌ها استفاده شود تا اینکه ضمن تأمین نیازهای بشر برای آیندگان نیز حفظ گردد (فائو ۱۹۷۶). ارزیابی تناسب اراضی می‌تواند تناسب اراضی مختلف را برای بهره‌وری‌های خاص نشان داده و نیز پتانسیل تولید را که برای کشاورز مهم‌ترین مسئله است، برآورد نماید (فائو ۱۹۹۳). با توجه به اهمیت پتانسیل تولید، انتخاب یک روش برآورد پتانسیل تولید با دقت و صحت بالا از اهمیت بالایی برخوردار است. تاکنون روش‌های متعددی جهت ارزیابی تناسب اراضی

پتانسیل تولید و تولید واقعی نیز وقتی از مدل واگنینگن استفاده می‌شود، همبستگی بیشتری وجود دارد (خاقانی ۱۳۸۸). تحقیقات دیگری نیز حاکی از دقت بالای مدل فائو نسبت به مدل واگنینگن می‌باشد (اعتدالی و همکاران ۱۳۹۱). هدف از این پژوهش مقایسه مدل‌های واگنینگن و پهنه‌بندی اکولوژیکی-زراعی در برآورد تولید گرمایی-حرارتی به‌عنوان یکی از پارامترهای اصلی در محاسبه پتانسیل تولید به‌روشن فائو برای محصول گندم آبی می‌باشد. شایان ذکر است که مقایسه تطابق نقشه با عملگر تکثیر در محیط GIS از نوآوری‌های این تحقیق محسوب می‌گردد.

مواد و روش

وضعیت عمومی منطقه

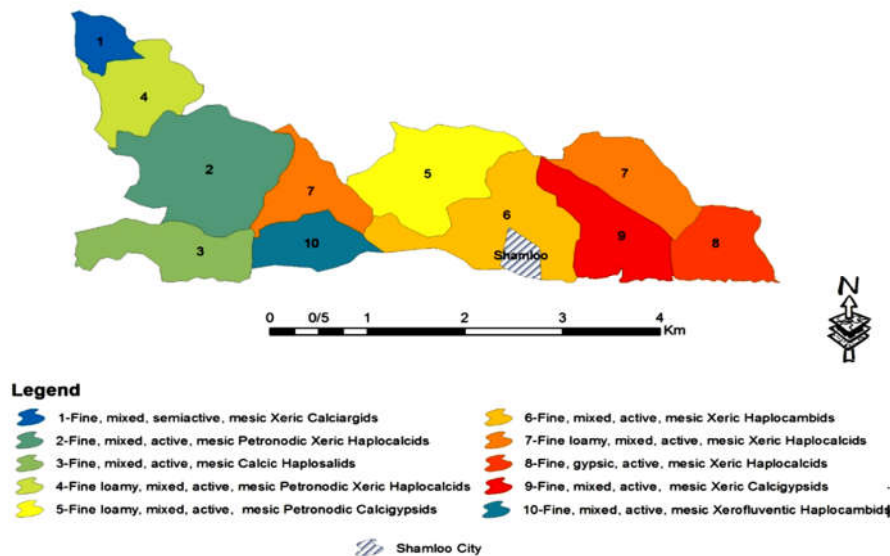
منطقه مورد مطالعه با وسعتی حدود ۱۱۰۰ هکتار، در شمال‌شرق تبریز و در استان آذربایجان شرقی با مختصات جغرافیایی "۳۷'۳۶" تا "۴۶'۴۲" طول شرقی و "۷۴'۴۴" تا "۲۵'۳۸" عرض شمالی واقع شده است. بر اساس میانگین دمای سالانه (۱۳۶۳ تا ۱۳۹۲) نزدیکترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه (ایستگاه سینوپتیک تبریز)، ۱۳/۶ سلسیوس و افزودن یک درجه به آن، میانگین دمای سالانه خاک در عمق کمتر از ۵۰ سانتی‌متری ۱۴/۶ درجه سلسیوس بوده و دارای رژیم حرارتی مزیک می‌باشد. همچنین با توجه به میانگین بارندگی منطقه (۲۴۱/۸ میلی‌متر) و برنامه نیوهال (عبادپور ۱۳۷۹)، رژیم رطوبتی منطقه از نوع اریدیک هم‌مرز با زیریک^۲ است. جهت نیل به اهداف ۱۰ واحد اراضی براساس رده‌بندی خاک در سطح خانواده انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند. براساس کلید رده‌بندی خاک (۲۰۱۴) خاک‌های منطقه در رده اریدی‌سول‌ها رده‌بندی شدند (شکل ۱).

توسعه‌یافته‌اند که از پرکاربردترین آن‌ها می‌توان به‌روش FAO اشاره کرد (ایوبی و جلالیان ۱۳۸۹). در روش فائو ابتدا پتانسیل تابشی-حرارتی با استفاده از یک روش پهنه‌بندی اکولوژیکی زراعی^۱ یا واگنینگن^۲ برآورد شده سپس در شاخص خاک و مدیریت ضرب می‌گردد (سایس و همکاران ۱۹۹۱a). در واقع میزان تولید محصول که خود به اقلیم، نوع خاک و سیستم مدیریتی بستگی دارد، یکی از مراحل اصلی ارزیابی کمی تناسب اراضی به حساب می‌آید و براساس آن می‌توان باروری اراضی مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد (فرچ‌نیا ۱۳۸۶). مدل واگنینگن یک مدل مکانیسمی است که به نقل از آلن و همکاران (۱۹۹۸) توسط وان‌کولن و همکاران نوشته شد و توسط اسپیتز تشریح و ارائه گردید. در این مدل برای پیش‌بینی پتانسیل تابشی-حرارتی، از ویژگی‌های مؤثر آن، شرایط محیطی، تنفس و آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن استفاده می‌شود (آلن و همکاران ۱۹۹۸). مدل واگنینگن تولید را در سطح پتانسیل، شبیه‌سازی می‌کند (نصیری محلاتی ۱۳۷۹). فتوسنتز تاج پوشش مبنای محاسبات جهت برآورد میزان تولید ماده خشک گیاهی خواهد بود. این میزان به انرژی جذب‌شده توسط سایه‌انداز تاج پوششی که تابع مقادیر اشعه ورودی و سطح برگ گیاه است، بستگی دارد. مقداری از کربوهیدرات‌های تولید شده در جریان فتوسنتز، برای نگهداری زیست‌توده موجود استفاده می‌شوند و سایر کربوهیدرات‌ها به ماده خشک ساختمانی تبدیل می‌گردند. مقداری از این ماده خشک، به‌خاطر تنفس به هدر می‌رود. ماده خشک تولیدی در بین اندام‌های مختلف گیاه توزیع می‌گردد (نوری امام‌زاده‌ای ۱۳۸۳). تحقیقات نشان می‌دهد که پتانسیل تولید برآورد شده توسط این مدل کمتر و از طریق مدل فائو، بیشتر از تولید واقعی زارعین است. بین مقدار

³-Arid that borders on Xeric

¹-Agro-ecological zoning (AEZ)

²- Wageningen



شکل ۱- نقشه واحدهای اراضی و رده‌بندی آن‌ها تا سطح خانواده.

محاسبه‌شده از روش پارامتریک-ریشه دوم ضرب گردید و پتانسیل تولید برای گندم آبی محاسبه شد (رابطه ۲). جعفرزاده و همکاران (۲۰۰۵) و جعفرزاده و عباسی (۲۰۰۶) گزارش کردند که این روش در برآورد شاخص خاک و اراضی دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌های فائو دارد. شایان ذکر است که در این روش نیازهای اراضی با نیازهای گیاه انتخابی از روی جداول پیشنهادی سایس مقایسه و میزان محدودیت اراضی مشخص و از روی آن شاخص اراضی محاسبه می‌گردد (سایس ۱۹۹۱ب).

$$LI = R_{min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots} \quad [2]$$

در این فرمول‌ها، A ، B و C و... درجات تناسب تخصیص یافته به هر یک از مشخص‌های اراضی، R_{min} درجه تناسب کمینه در بین ویژگی‌هاست.

برآورد تولید تابشی_ حرارتی با روش AEZ

در ارزیابی کمی تناسب اراضی پتانسیل تولید برآورد می‌شود. این ارزیابی با مقادیر کمی تولید، میزان ستوده و سودآوری انجام می‌گیرد (سایس و همکاران ۱۹۹۱ب). برای محاسبه پتانسیل تولید ابتدا تولید گرمایی و حرارتی گندم براساس پتانسیل ژنتیکی محصول و ویژگی‌های گیاهی، با استفاده از داده‌های اقلیمی همانند تابش خورشیدی و درجه حرارت، مقدار تولید زیست‌توده^۴ محصول از رابطه ۱ برآورد گردید.

$$Y = 0.36 \text{ bgm. KLAI. Hi} / [(1/L) + 0.25 \text{ Ct}] \quad [1]$$

در این رابطه Y پتانسیل تابش-حرارتی (کیلوگرم وزن خشک در هکتار)، bgm بیشینه نرخ تولید ناخالص زیست‌توده^۵ (کیلوگرم در هکتار در ساعت)، KLAI نسبت سرعت تولید ناخالص زیست‌توده وقتی شاخص برگ غیر ۵ بوده به وقتی که برابر با ۵ است، Hi شاخص برداشت^۶ و L طول دوره رشد (روز) است. نهایتاً تولید تابشی_ حرارتی محاسبه‌شده در شاخص خاک

⁶- Harvest index

⁴-Biomass production

⁵-Maximum gross biomass production rate

برآورد تولید تابشی-حرارتی با روش واکنش‌نگار

این روش پتانسیل تابشی-حرارتی آن را با استفاده از تشعشع و درجه حرارت به‌عنوان متغیر ورودی تخمین می‌زند. این روش شامل محاسبات تکراری برای هر دوره می‌باشد. برای بیشتر محصولات زمان جوانه‌زنی نقطه مناسبی برای شروع محاسبات است. معمولاً فاصله زمانی محاسبات برای بازه‌های زمانی ۱۰ روزه در نظر گرفته می‌شود. نهایتاً وزن خشک کل TDW^V در پایان دوره مورد نظر از مجموع نتایج به‌دست آمده از محاسبه وزن برگ‌ها، ساقه‌ها، دانه‌ها و ریشه‌ها از رابطه ۳ به‌دست می‌آید (سایس a ۱۹۹۱).

$$TDW = WLV + WST + WGR + WRT \quad [3]$$

در این رابطه WLV وزن برگ‌ها^۸، WST وزن ساقه‌ها^۹، WGR وزن دانه‌ها^{۱۰} و WRT وزن ریشه‌ها^{۱۱} بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشند.

برای محاسبه افزایش وزن خشک $(DMI)^{12}$ اندام‌های مختلف گیاه مورد نظر از رابطه ۴ استفاده می‌گردد. عامل‌های تخصیص به هر بخش گیاهی توسط مرحله فنولوژیک گیاه در اواسط دوره با استفاده از مقدار متوسط شروع و پایان دوره محاسبه می‌شود (سایس a ۱۹۹۱).

$$DMI = ASAG \times EC \quad [4]$$

در این رابطه DMI مقدار افزایش وزن خشک بر حسب $(kg \ CH_2O \ ha^{-1} \ days^{-1})$ ، Ec ضریب تغییر کارایی^{۱۳} بر حسب $(kg \ DM \ kg^{-1} \ CH_2O^{-1})$ است. مواد جذب شده توسط گیاه بایستی به مواد موجود در ساختار گیاهی

تبدیل شوند. از آنجایی که این تبدیلات مستلزم مصرف انرژی هستند ضریب تغییر کارایی (Ec) کمتر از ۱ می‌باشد. مقادیر Ec برای گیاهان مختلف را می‌توان به‌طور مستقیم از جدول ۱ به‌دست آورد (سایس a ۱۹۹۱).

جدول ۱-تنفس نگهداری نسبی در ۲۰ درجه سلسیوس و ضریب تغییرات گیاهی برای گروه‌های مختلف گیاهی (سایس a ۱۹۹۱).

تنفس نگهداری نسبی	ضریب تغییر گیاهی $(kg \ DM \ kg^{-1} \ CH_2O^{-1})$	گروه محصول
۰/۰۱۰	۰/۷۵	محصولات ریشه‌ای و غده‌ای
۰/۰۱۵	۰/۷۰	غلات
۰/۰۲۵	۰/۶۵	محصولات دانه پروتئینی
۰/۰۳۰	۰/۵۰	محصولات دانه روغنی

مقدار آسمیلاسیون که برای محاسبه افزایش وزن خشک^{۱۴} ($ASAG$) به‌کار می‌رود از تفاوت بین آسمیلاسیون ناخالص^{۱۵} و مصرف تنفس^{۱۶} به‌صورت رابطه ۵ به‌دست می‌آید.

$$ASAG = GASS - MRES \quad [5]$$

که در این رابطه آسمیلاسیون ناخالص ($GASS$) بر حسب $(kg \ CH_2O \ ha^{-1} \ days^{-1})$ از رابطه ۶ و مصرف تنفس ($MRES$) از رابطه ۸ محاسبه می‌گردد.

$$GASS = DPGASS \times interception \times days \quad [6]$$

¹²- Dry matter increase (DMI)

¹³- Conversion efficiency (EC)

¹⁴- Assimilation products available for weight increase

¹⁵- Gross CO₂ assimilation (GASS)

¹⁶- Maintenance respiration (MRES)

⁷- Total dry weight (TDW)

⁸- Weight of leaves (WLV)

⁹- Weight of stems (WST)

¹⁰- Weight of grain (WGR)

¹¹- Weight of root (WRT)

تنفس نگهداری نسبی برحسب $(\text{CH}_2\text{O kg DM}^{-1}\text{days}^{-1})$ ،
 TDML ماده خشک زنده کل بر حسب واحد (kg ha^{-1})
 می باشد (سایس ۱۹۹۱ا).

ارزیابی دقت و صحت مدل

برای محاسبه صحت و دقت مدل‌ها به ترتیب از
 پارامترهای نسبت خطای متوسط هندسی^{۱۸} (GMER) و
 ضریب تبیین^(۳) استفاده گردید (رابطه ۹).

$$\text{GMER} = \exp \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(\varepsilon_i) \right] \quad [9]$$

در این رابطه N تعداد کل مشاهدات و ε_i برابر
 نسبت مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر اندازه‌گیری شده
 می باشد. نهایتاً تولید تابشی-حرارتی محاسبه شده با
 روش واگنینگن نیز در شاخص خاک محاسبه شده از
 روش پارامتریک-ریشه دوم ضرب گردید و پتانسیل
 تولید برای گندم آبی محاسبه شد.

نتایج و بحث

اطلاعات مربوط به دوره رشد گندم آبی در منطقه
 مطالعاتی در جدول ۲ و مقادیر عددی متغیرهای مورد
 نیاز برای محاسبه پتانسیل تابشی- گرمائی تولید گندم
 آبی در جدول ۳، مشخصات خاک و زمین نما به صورت
 میانگین وزنی در جدول ۴ و درجه تناسب مربوطه در
 جدول ۵ ارائه شده است.

GASS آسمیلاسیون ناخالص بر حسب (Kg

$\text{CH}_2\text{O ha}^{-1}\text{days}^{-1}$) DPGASS، آسمیلاسیون پتانسیل
 روزانه، Interception میزان جذب نور در شاخص سطح
 برگ (LAI) مورد نظر که با استفاده از رابطه ۷ بدست
 می آید و days تعداد روزهای دوره مربوطه است.

$$\text{Interception} = 1 - e^{-(0.8\text{LAI})} \quad [7]$$

که در این رابطه Interception میزان نور جذب
 شده توسط گیاه در LAI مشخص و LAI شاخص سطح
 برگ گیاه در آن مرحله می باشد. DPGASS که از روی
 bgm محاسبه شده در مدل AEZ بدست می آید ولی به
 جای واحد $(\text{kg CH}_2\text{O ha}^{-1}\text{hr}^{-1})$ واحد $(\text{kg CH}_2\text{O ha}^{-1}\text{days}^{-1})$
 بیان می شود.^(۱)

در ادامه بخشی از انرژی تثبیت شده در فرآیند
 آسمیلاسیون توسط خود محصول برای نگهداری
 ساختار موجود استفاده می شود. مقدار مصرف تنفس
 بستگی به ترکیبات شیمیایی مواد ساختاری گیاه دارد.
 هر دو بخش رشد و تنفس نگهداری^{۱۷} MRES زمانی که
 مواد پروتئینی بیشتر باشد افزایش می یابند. میزان تنفس
 نگهداری نسبی و ضریب تغییر تیپ‌های مختلف
 محصولات در جدول ۱ آورده شده است.

$$\text{MRES} = \text{RM} \times \text{TDML} \times \text{days} \quad [8]$$

که در این رابطه MRES تنفس نگهداری دوره، RM

جدول ۲- مراحل مختلف دوره رشد گندم آبی در منطقه مطالعاتی (بر اساس اطلاعات محلی).

دوره رشد (day)	دوره رشد	برداشت	رسیدن	دوره گلدهی	دوره رویشی	کاشت	تهیه زمین	محصول
	۱۰ مهر تا ۱۵							
۱۷۱	آبان+ ۱۱ اسفند تا ۲۵ تیر	۲۵ تیر	۱۵ خرداد تا ۲۰ تیر	۲۰ اردیبهشت تا ۱۵ خرداد	۱۱ مهر تا ۱۵ آبان+ اسفند تا ۲۰ اردیبهشت	۱۰ مهر	اوایل مهر	گندم آبی

جدول ۳- مقادیر متغیرهای مورد نیاز برای محاسبه پتانسیل تابشی-گرمائی تولید گندم آبی.

اطلاعات	پارامترها	اطلاعات	پارامترها
۴/۵	شاخص سطح برگ ($m^2 m^{-2}$)	گندم آبی	محصول
۰/۴	ضریب برداشت	C ₃ و گروه ۱	گروه فتوسنتزی
۱۹۹/۴۷	Bo	۱۰ مهر	شروع دوره رشد
۴۱۸/۸۵	Bc	۲۵ تیر	پایان دوره رشد
۰/۲۸۷	F	۱۷۱ روز	طول دوره رشد
۷۲۱۴/۸۹	Y	۱۶/۱۵	متوسط درجه حرارت دوره رشد
۳۵۵/۸۹	Bgm	۲۰	بیشینه سرعت فتوسنتز
۰/۰۱۵	RM	۰/۷	ضریب تغییر گیاهی
۳۶۳/۵۹	DPGASS	۰/۹۲	Interception
۶۱۶۸/۹۸	ASAG	۶۳۵۵/۵	GASS
		۴۹۳۵/۱۹	DMI

جدول ۴- میانگین وزنی ویژگی‌های خاک با استفاده از ضرایب وزنی جهت تعیین کلاس تناسب.

سديم تبادلې (%)	EC ($dS m^{-1}$)	گچ (%)	CCE (%)	ذرات >۲mm	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	واحد اراضی
۱۰/۱	۰/۹۲	۲/۲۱	۱۹/۲۵	۷/۰۴	۳۴/۸۷	۲۷/۱۳	۳۸	۱
۴/۹۸	۱/۴۴	۱/۰۲	۱۴/۱۱	۶/۸۸	۳۱/۴۹	۳۲/۵۹	۳۵/۹۲	۲
۴/۹۵	۲۶/۱۸	۸/۶۷	۱۲/۸۴	۳/۹۶	۳۹/۳	۳۵/۶۳	۲۵/۰۷	۳
۵/۹۱	۱/۳۵	۱/۶۲	۱۸/۷۷	۶/۴۹	۲۹/۰۵	۳۲/۹۵	۳۸	۴
۸/۱	۴/۱۴	۸/۰۱	۱۶/۷۲	۶/۰۸	۲۶/۹۷	۲۰/۲	۵۲/۸۳	۵
۷/۴۸	۱/۴	۴/۵۴	۱۹/۱۵	۳/۸۸	۳۸/۳	۳۲/۸	۲۸/۹۱	۶
۹/۸۷	۲/۲	۱/۸۴	۱۹/۷۷	۱۰	۳۵/۱۵	۲۵/۹۱	۳۸/۹۳	۷
۱۰/۳۴	۱۵/۸۸	۶/۹۱	۲۲/۱۵	۷/۴۴	۲۹/۲۷	۳۰/۳۵	۴۰/۳۷	۸
۶/۶۵	۷/۳۲	۸/۲۴	۱۷/۴۹	۳/۹	۳۳/۵۱	۲۷/۸۲	۳۸/۶۸	۹
۴/۷۳	۰/۷۳	۱/۸	۱۶/۳۲	۳/۹۶	۳۹/۸۶	۴۱/۶۶	۱۸/۴۸	۱۰

در هکتار به‌روش AEZ و ۵۳۱/۷۵ تا ۱۵۳۶۱/۱۵ به‌روش واگنینگن تخمین زده شد (جدول ۶). چنانچه مشاهده می‌شود دامنه تغییرات پتانسیل تولید گندم آبی محاسبه شده از روش واگنینگن دارای دامنه تغییرات بیشتری نسبت به روش AEZ است. همچنین نتایج مویید این مطلب است که روش واگنینگن نسبت به تولید مشاهده شده دارای بیش-برآوردی می‌باشد.

با توجه به رژیم حرارتی و رطوبتی خاک‌های مورد مطالعه بر اساس کلید رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) در رده اریدی‌سول‌ها قرار گرفتند. بررسی‌ها از زارعان منطقه نشان داد که از نظر میزان نهاده مصرفی، میان مزارع با اندازه‌های مختلف تفاوتی نیست ولی از لحاظ اعمال مدیریتی تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود که این نتیجه توسط رحیمی لک (۲۰۰۹) نیز گزارش شده‌است. پتانسیل تولید در منطقه خواجه از ۲۲۱/۷۲ تا ۶۴۰۳/۱۲ کیلوگرم

بوده و دلیل آن به احتمال زیاد حضور میزان زیاد شوری در واحد اراضی مربوطه است. این نشان می‌دهد که شوری اگر از مقدار مشخصی تجاوز کند، تأثیر آن در کاهش محصول کمتر می‌شود. چنین نتایجی توسط ایوبی (۱۳۷۵) و ثروتی (۱۳۹۲) نیز گزارش شده است.

مقادیر تولید مشاهده شده، پتانسیل تولید برآورد شده توسط هر دو مدل و شاخص اراضی محاسبه شده با روش پارامتریک_ ریشه دوم در جدول ۷ ارائه گردید. در حالت عادی بایستی تولید مشاهده شده از تولید پتانسیل کمتر باشد، ولی چنانچه مشاهده می‌شود در واحد ۷ میزان تولید مشاهده شده بیشتر از تولید پتانسیل

جدول ۵- درجه تناسب مشخصات اراضی برای گندم آبی.

واحد اراضی	شاخص اقلیم	بافت	ذرات >۲mm	CCE (%)	گچ (%)	EC (dS m ⁻¹)	سدیم تبادل (٪)	شیب (٪)	زهکشی
۱	۹۴/۷۸	۹۸/۰۳	۹۱/۶۳	۹۵/۲۲	۹۶/۳۲	۹۵/۴	۹۶/۶۳	۱۰۰	۹۵
۲	۹۴/۷۸	۹۶/۷۳	۹۱/۷۷	۹۶/۷۳	۹۸/۳	۹۲/۸	۹۸/۳۴	۹۵	۱۰۰
۳	۹۴/۷۸	۹۹/۷۳	۹۴/۲	۹۷/۱۱	۶۶/۶۵	۲۰/۵۱	۹۸/۳۵	۹۵	۱۰۰
۴	۹۴/۷۸	۹۵/۷۹	۹۲/۰۹	۹۵/۳۶	۹۷/۳	۹۳/۲۵	۹۸/۰۳	۷۲/۵	۱۰۰
۵	۹۴/۷۸	۷۱/۶۱	۹۲/۴۳	۹۵/۹۶	۶۹/۹۵	۷۰/۷۵	۹۷/۳	۴۰	۱۰۰
۶	۹۴/۷۸	۹۹/۳۷	۹۴/۲۷	۹۵/۲۵	۸۷/۳	۹۳	۹۷/۵۱	۷۲/۵	۱۰۰
۷	۹۴/۷۸	۹۸/۱۳	۸۹/۱۷	۹۵/۰۷	۹۶/۹۳	۸۹	۹۶/۷۱	۲۳/۹۴	۱۰۰
۸	۹۴/۷۸	۹۵/۸۷	۹۱/۳	۹۲/۸۵	۷۵/۴۵	۲۳/۳۷	۹۶/۵۵	۷۲/۵	۱۰۰
۹	۹۴/۷۸	۹۷/۵	۹۴/۲۵	۹۵/۷۴	۶۸/۸	۳۵/۰۵	۹۷/۷۸	۸۵	۱۰۰
۱۰	۹۴/۷۸	۹۹/۹۵	۹۴/۲	۹۶/۰۸	۹۷	۹۶/۳۵	۹۸/۴۲	۸۵	۱۰۰

جدول ۶- تولید مشاهده شده، پتانسیل تولید محاسبه شده با هر دو روش، شاخص خاک و اراضی.

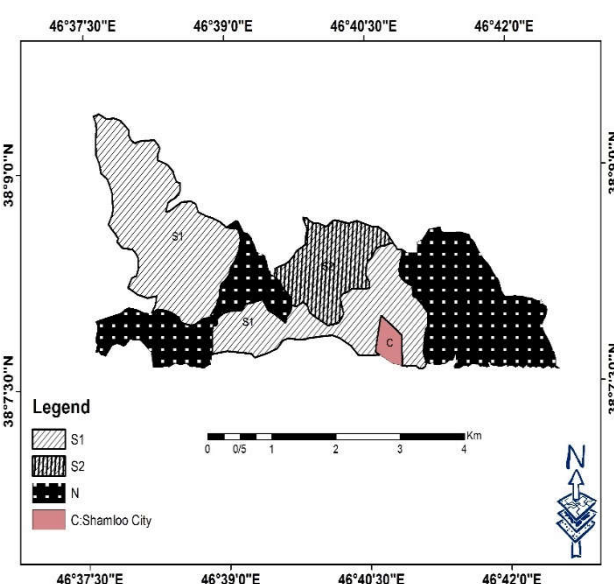
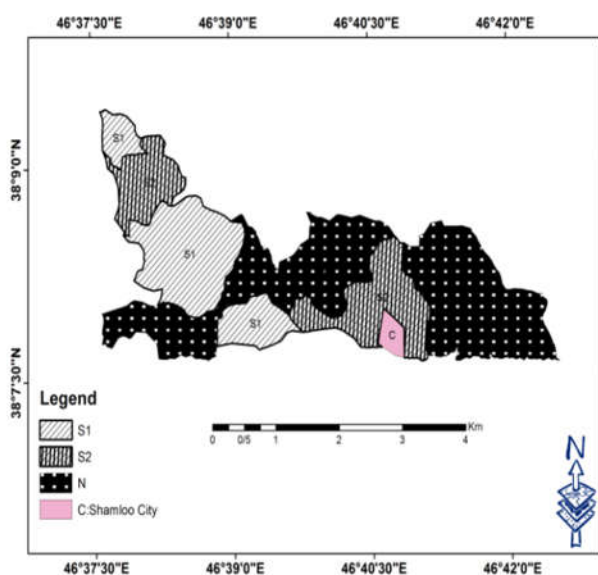
واحد اراضی	تولید مشاهده شده (kg ha ⁻¹)	پتانسیل تولید (فائو) (kg ha ⁻¹)	پتانسیل تولید (واگنینگن) (kg ha ⁻¹)	شاخص اراضی (٪)	شاخص خاک (٪)
۱	۴۳۰۰	۵۴۱۵/۴۴	۱۲۹۹۹	۸۷	۸۰/۷
۲	۳۳۰۰	۶۴۰۳/۱۲	۱۵۳۶۱	۸۷/۴	۹۵/۳
۳	۲۱۰۰	۶۶۵/۱۷	۱۶۰۲	۹/۷	۹/۹
۴	۲۸۳۰	۴۵۸۹/۰۱	۱۱۰۰۷	۶۶/۹	۶۸/۳
۵	۱۴۰۰	۱۶۵۹/۵۷	۱۹۹۵	۱۳/۵	۲۴/۸
۶	۲۱۸۰	۴۵۴۱/۹۸	۱۰۹۰۷	۶۴/۵	۶۷/۷
۷	۱۳۸۰	۵۴۴/۲۳	۱۳۱۳	۱۲/۷	۸/۲
۸	۱۲۰۰	۲۲۱/۷۲	۵۳۲	۹/۳	۳/۳
۹	۱۶۳۰	۹۳۳/۹۲	۲۲۵۰	۱۵/۱	۱۴
۱۰	۳۴۷۰	۶۱۸۸/۱۳	۱۴۸۴۱	۸۴/۷	۹۲/۱

بالاتری را نشان می‌دهد. شکل ۲ و ۳ به ترتیب نقشه کلاس‌های کمی تناسب اراضی اراضی را برای مدل‌های AEZ و واگنینگن را نشان می‌دهند. چنانچه مشاهده می‌شود قسمت غرب و جنوب منطقه مطالعاتی در هر دو روش برای گندم آبی متناسب بوده و غرب منطقه با هر دو روش نامتناسب تشخیص داده شده است.

جدول ۷ کلاس‌های تناسب کمی واحدهای مختلف اراضی را با استفاده از مدل فائو و واگنینگن نشان می‌دهد، چنانچه مشاهده می‌شود براساس هر دو مدل واحدهای اراضی در کلاس‌های نامناسب (N) نامتناسب (S1) برای گندم آبی طبقه‌بندی شدند. همچنین در ۷ واحد اراضی کلاس تناسب کمی با دو روش انتخابی یکسان بوده و در واحدهای ۴، ۵ و ۶ روش واگنینگن کلاس‌های

جدول ۷- کلاس‌های تناسب کمی واحدهای مختلف اراضی در منطقه مطالعاتی.

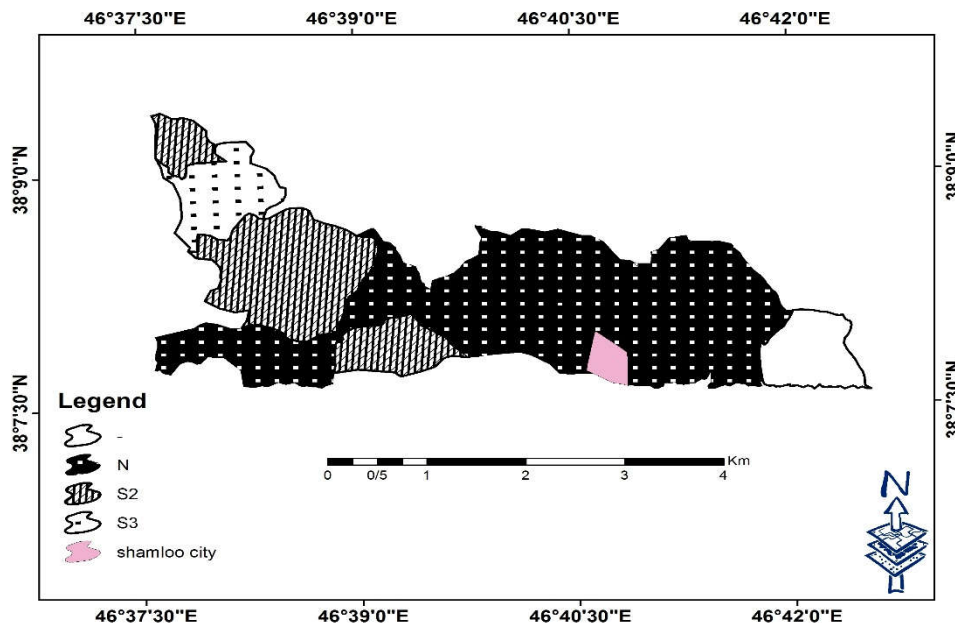
واحد اراضی	کلاس تناسب کمی (AEZ)	کلاس تناسب کمی (واگنینگن)
۱	S1	S1
۲	S1	S1
۳	N	N
۴	S2	S1
۵	N	S2
۶	S2	S1
۷	N	N
۸	N	N
۹	N	N
۱۰	S1	S1



شکل ۲- نقشه کلاس‌های پتانسیل تولید بر اساس روش AEZ. شکل ۳- نقشه کلاس‌های تولید برآورد شده بر اساس روش واگنینگن.

اساس تولید مشاهده شده هیچ قسمت منطقه مطالعاتی بر خلاف پیش بینی دو مدل انتخابی در کلاس کاملاً متناسب (S₁) طبقه بندی نشد که ناشی از مدیریت پایین اراضی می باشد.

شکل ۴ نیز نقشه کلاس های کمی تناسب اراضی را بر اساس تولید مشاهده نشان می دهد. وسعت کلاس های متناسب اراضی برای تولید مشاهده شده و روش های AEZ و واگنینگن در جدول ۷ ارائه شده است. بر



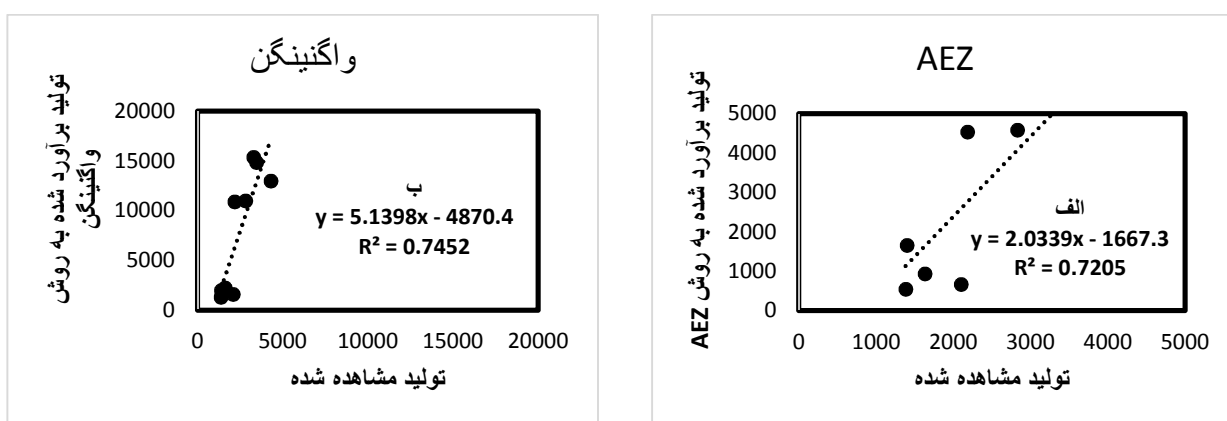
شکل ۴ - نقشه کلاس های تناسب بر اساس تولید مشاهده شده.

جدول ۸- وسعت کلاس های تناسب اراضی برای تولید مشاهده شده و روش های فائو و واگنینگن.

روش ارزیابی	S1	S2	S3	N
مشاهده شده	-	۲۸۴	۸۷	۶۴۷
واگنینگن	۵۱۷	۱۲۸	-	۴۳۸
فائو	۲۸۴	۲۳۳	-	۵۷۶

مدل واگنینگن ۰/۷۲ می باشد. شایان ذکر است که اگر تعداد مشاهدات و خاکرخها بیشتر شود و به جای اطلاعات ماهیانه از اطلاعات دهه ای در محاسبه پتانسیل تابشی-گرمایی استفاده شود انتظار می رود ضرایب تبیین افزایش می یابد. بررسی صحت مدل های استفاده شده با استفاده از شاخص GMER برای مدل های فائو و واگنینگن به ترتیب ۲/۲۸ و ۱/۰۲ محاسبه شد که نشان دهنده صحت بالای مدل AEZ است.

بر اساس جدول ۸ تطابق نقشه های پتانسیل تولید با تولید مشاهده شده با روش های AEZ و واگنینگن به ترتیب ۵۵/۲ و ۱۲/۸ بوده که حاکی از دقت بالای مدل فائو دارد زمانیکه برای برآورد تولید تابشی و حرارتی از روش AEZ استفاده می گردد. روابط رگرسیونی بین تولید پیش بینی شده برای گندم آبی محاسبه شده به دو روش فائو و واگنینگن از یک طرف و تولید مشاهده شده از طرف دیگر در شکل ۵ الف و ب ارائه شده است. ضرایب تبیین مورد اشاره، در مدل AEZ ۰/۷۴ و برای



شکل ۵- رابطه بین تولید مشاهده شده و برآورد شده (الف) روش AEZ (ب) روش واگنینگن.

نتیجه‌گیری کلی

ضریب تبیین محاسبه شده بین تولید مشاهده شده و برآورد شده مؤید این مطلب است که هر دو روش AEZ و واگنینگن دارای دقت بالایی در برآورد پتانسیل تولید در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند، با این حال نتایج مقایسه صحت روش‌ها نشان‌دهنده صحت بالای روش AEZ نسبت به روش واگنینگن است. پایین بودن ضرایب تبیین در روش‌های فائو و واگنینگن به ترتیب توجیه‌کننده ۷۲/۱ و ۷۴/۵ درصد از تغییرات پتانسیل تولید گندم آبی در منطقه خواجه هستند و بقیه مربوط به ویژگی‌های مدیریتی و سایر عوامل ناشناخته (سایر ویژگی‌هایی که در مدل‌های انتخابی در نظر گرفته نشده است) می‌باشد. هالدر (۲۰۱۳) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور در منطقه بنگال هند ویژگی‌های خاکی فسفر، نیتروژن، پتاسیم، اسیدیته خاک، ماده آلی و بافت

منابع مورد استفاده

- اعتدالی س، گیوی ج و نوری مر، ۱۳۹۱. مقایسه مدل‌های فائو و واگنینگن در برآورد پتانسیل تولید ذرت علوفه‌ای و تعیین سطح مدیریت کشت آن در اطراف شهرستان شهرکرد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۴، صفحه‌های ۸۷۳ تا ۸۸۴.
- ایوبی ش، ۱۳۷۵. ارزیابی تناسب کیفی و کمی اراضی برای محصولات زراعی مهم منطقه برآن شمالی (اصفهان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی. دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

خاک را به‌عنوان ویژگی‌های مؤثر در رشد این گیاه معرفی نمود. نتایج نشان داد که این مدل توجیه‌کننده کمینه ۹۵ درصد از تغییرات پتانسیل تولید در منطقه مطالعاتی است. پتانسیل تولید اراضی با عملکرد زارعین اختلاف داشته که احتمالاً به دلیل کارایی تفاوت در ساختار مدل‌هاست. هر چند در این پژوهش سعی شده است در سطح مدیریت یکسان ارزیابی صورت گیرد، ولی نحوه اداره مزرعه توسط زارعین متفاوت بوده و این اختلاف در هر دو روش قابل مشاهده است. در محاسبه پتانسیل تولید، مدیریت در بالاترین سطح در نظر گرفته شده و مدیریت محدودیتی را ایجاد نمی‌کند. فرج‌نیا (۱۳۸۶) آبیاری نامناسب، عدم مبارزه با علف‌های هرز، تاریخ نامناسب کاشت و عدم تأمین به موقع سموم، آفت-کش‌ها و کود و غیره را تعیین‌کننده در سطح مدیریت معرفی کرده است.

ایوبی ش و جلالیان ا، ۱۳۸۹. ارزیابی اراضی (کاربردهای کشاورزی و منابع طبیعی). ویراست دوم. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

تومانیان ن، ۱۳۹۰. خاک‌های گچی (ویژگی و کاربرد). انتشارات پلک، تهران.

ثروتی م، ۱۳۹۲. مقایسه روش‌های پارامتریک، میکرولین، منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی تناسب اراضی منطقه خواجه برای برخی از محصولات. رساله دکتری تخصصی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

خاقانی ر، ۱۳۸۸. مقایسه مدل فائو و واگنینگن برای برآورد تولید پتانسیل گندم در منطقه هرزندات مرند. صفحه‌های ۹۸ تا ۱۰۰. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۲۱ تا ۲۴ تیرماه، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.

عبادپور ا، ۱۳۷۹. مطالعه مرفولوژی، مینرالوژی و رده‌بندی خاک‌های ایستگاه تحقیقاتی خواجه (تبریز). پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

فرج‌نیا ا، ۱۳۸۶. ارزیابی تناسب اراضی و تعیین پتانسیل تولید چغندر قند در دشت یکانات مرند. مجله چغندر قند، شماره ۲۳، جلد ۱، صفحه‌های ۴۳ تا ۵۴.

نصیری محلاتی م، ۱۳۷۹. مدل‌سازی فرایندهای رشد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

نوری امامزاده‌ئی م، ۱۳۸۳. شبیه‌سازی اثرات تنش آب و میزان نیتروژن بر فرآیند رشد و نمو گندم. رساله دکتری علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز.

Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smitt M, 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement irrigation and drainage paper, No 56, FAO, Rome.

Anonymous, 1976. A framework for land evaluation system. Soil Bulletin, 32, FAO, Rome.

Anonymous, 1993. Guidelines for land use planning. FAO development series, 1, FAO, Rome.

Halder JC, 2013. Land suitability assessment for crop cultivation by using remote sensing and GIS. Journal of Geography and Geology 5(3): 65-78.

Jafarzadeh AA and Abbasi G. 2006. Qualitative land suitability evaluation for the growth of onion, potato, maize and alfalfa on soil of the Khalatpushan Research Station. Biological Bratislava 19: 49-52.

Jafarzadeh AA, Khoshzaman T, Neyshabouri MR and Shahbazi F. 2005. Qualitative evaluation of land suitability in Karkaj Research Station of Tabriz University for wheat, potato, maize, tomato, bean and alfalfa. Pp. 92-102. International Conference on Environmental Science and Technology. January 23-26, Hyderabad, India.

Rahimilake H, TaghizadehMehrijardi R, Akbarzadeh A and Ramazanpour H. 2009. Qualitative and quantitative land suitability evaluation for olive production Roodbar Region, Iran. Agricultural journal 4(2): 52-62.

Sys C, Van Ranset E and Debaveye J, 1991a. Land Evaluation, Part I, Principle in Land Evaluation and Crop Production Calculation, International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Ghent, Belgium.

Sys C, Van Ranset E and Debaveye J, 1991b. Land Evaluation, Part II, Methods in Land Evaluation. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Ghent, Belgium.

Sys C, Van Ranset E, Debaveye J and Beernaert F, 1993. Land Evaluation, Part III, Crop Requirements. General Administration for Development Cooperation Place, Brussels, Belgium.