آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی از آفت‌کشها و رتبه‌بندی و دسته‌بندی آنها(مطالعه موردی)

احمد ابریشم‌چی[1] حمید طاهری شهر آئینی[2] مسعود تجریشی[3]

(دریافت ۸۹/۵/۳۱ پذیرش ۸۹/۱۱/۹)

چکیده

در این تحقیق، ابتدا ضمن توصیف روشهای مختلف ارزیابی میزان آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی از آفت‌کشها و عدم قطعیت آنها، آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی دشت کشاورزی زیر پوشش شبکه آبیاری و زهکشی سد پاشاکلا (البرز) در استان مازندران از ۷ آفت‌کش مختلف در شرایط متعارف مشخصات آفت‌کشها (t1/2 , Koc) به‌روش شاخصهای پتانسیل حرکت ارزیابی شد و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی این دشت با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. سپس با توجه به عدم قطعیت مشخصات آفت‌کشها و کمبودهای اطلاعاتی برای استفاده از روشهای رایج تحلیل عدم قطعیت، شاخصهای پتانسیل حرکت آفت‌کشها در سناریوهای بدترین و بهترین شرایط از مشخصات آفت‌کشها محاسبه شد که به‌ترتیب "آسیب‌پذیری در بدترین شرایط" و "آسیب‌پذیری در بهترین شرایط" نامگذاری شدند. سپس به‌کمک این شاخصهای پتانسیل حرکت، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مجدداً انجام شد و با نقشه‌های پهنه‌بندی اولیه با شرایط متعارف مقایسه گردید. در ادامه با توجه به مقدار منطقه‌ای شاخصهای مختلف حرکت آفت‌کشها که برای سناریوهای مختلف محاسبه شده‌اند، رتبه‌بندی آفت‌کشها به‌روش "برنامه‌ریزی مرکب" انجام شد و در نهایت با تلفیق نتایج بخشهای قبلی، آفت‌کشها به سه گروه مناسب، متوسط و نامناسب دسته‌بندی شدند. نتایج دسته‌بندی‌ها نشان داد که از بین آفت‌کشهای مطالعه شده، 2,4 D Acid، Dimethoate و Fenvalerate برای منطقه مطالعاتی مناسب و Metsulfuron و Triclopyr نامناسب هستند و دیگر آفت‌کشهای مطالعه شده حالت بینابینی دارند.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی، عدم قطعیت پارامترها، آفت‌کشها، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، شاخصهای حرکت آفت‌کشها، برنامه ریزی مرکب، استان مازندران، رتبه بندی آفت‌کشها

Groundwater Vulnerability Assessment to Pesticides and Their Ranking and Clustering

Ahmad Abrishamchi [1] Hamid Taheri Shahraiyni [2] Masoud Tajrishy[3]

(Received Aug. 22, 2010 Accepted Jan. 29, 2011)

Abstract

In this study, the different methods for groundwater vulnerability assessment to pesticides contamination and their uncertainties were introduced. Then, the groundwater vulnerability of agricultural regions of Pasha-Kolaa dam (Mazandaran province) to 7 pesticides has been assessed by the mobility potential indices in the typical conditions of pesticide properties ($t_{1/2}$ and K_{OC}) and the zonation maps of groundwater vulnerability in this region have been generated in the GIS environment. According to the uncertainty of the pesticide properties and the lack of necessary data for uncertainty analysis in the region of study, the mobility potential indices in different scenarios of pesticide properties (worst and best conditions of pesticide properties) ($t_{1/2}$ and K_{OC}) have been calculated, mapped and zoned. The zonation maps in three scenarios (best, typical and worst conditions of pesticide properties) were compared. Next, according to the regional values of mobility potential indices, generated for different scenarios, the pesticides are ranked using the composite programming method. Finally, the pesticides are clustered to three groups (suitable, transitional and unsuitable) by the combination of the results of previous sections. The clustering results showed that among of studied pesticides, 2,4 D Acid, Dimethoate and Fenvalerate are suitable ,and Metsulfuron and Triclopyr are unsuitable pesticides for region of study. The other pesticides showed transitional condition.

Keywords: Groundwater Vulnerability, Uncertainty of Parameters, Pesticides, Geographic Information Systems, Pesticide Mobility Indices, Composite Programming, Mazandaran Province, Pesticide Ranking.

۱ - استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
(نویسنده مسئول)، ۸۲۸۸۴۳۴۲ (۰۲۱) hamid.taheri@modares.ac.ir

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

1. Prof. of Civil Eng., Sharif University of Technology, Tehran
2. Assist. Prof., Dept. of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University, Tehran (Corresponding Author), (+98 21) 82884342, hamid.taheri@modares.ac.ir
3. Assoc. Prof., School of Civil Eng., Sharif University of Technology, Tehran

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

توسعه کشاورزی و عدم مدیریت صحیح آن می‌تواند موجب آلودگی منابع آب و خاک ناشی از مصرف انواع کودها و سموم کشاورزی شود. آلودگی آبهای زیرزمینی به آفت‌کشها به‌ویژه در مناطقی که از سفره‌های آب زیرزمینی برای مصارف خانگی (مخصوصاً شرب) استفاده می‌شود، می‌تواند برای سلامت انسان خطرناک باشد.

استفادهٔ صحیح و مناسب از آفت‌کشها در کشاورزی به‌طوری که موجب آلودگی آبهای زیرزمینی نشود، مستلزم شناخت چگونگی انتقال این آلاینده ها به آب زیرزمینی و نیز ارزیابی میزان آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی از آلودگی آفت‌کشهاست. فرایندها و عوامل زیادی بر میزان انتقال آفت‌کشها به آب زیرزمینی در ابعاد مکانی و زمانی مؤثراند. ساده‌سازی این فرایندها و تأثیر عوامل مؤثر بر آنها، برای مطالعات دقیق کافی نیست ولی برای تعیین آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی در مقیاس منطقه‌ای، مناسب تشخیص داده شده است [۱ و ۲].

با توجه به این‌که بیش از ۷۰ درصد آب شرب کشور توسط آبهای زیرزمینی تأمین می‌گردد و در استان مازندران بیش از ۳۰ درصد سم مصرفی کشور به مصرف می‌رسد، ارزیابی حساسیت و پتانسیل آبهای زیرزمینی نسبت به آلودگی توسط آفت‌کشها و ارائه روشی برای انتخاب آفت‌کش مناسب به‌منظور ایجاد اطمینان از آلوده نشدن آبهای زیرزمینی بر اثر مصرف آن در استان مازندران و دیگر مناطق کشور بسیار سودمند است [۳ و ۴].

در این تحقیق، روشی جدید برای ارزیابی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی از آفت‌کشهای مختلف در برخی از مناطق شالیکاری استان مازندران ارائه شد و در نهایت آفت‌کشهای مختلف رتبه‌بندی و دسته بندی گردیدند.

۲- روشهای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی

آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی را می‌توان احتمال رسیدن آلاینده‌ها به محل مشخصی (محل مرجع) در سیستم آب زیرزمینی پس از اعمال و کاربرد آلاینده در نقاطی در بالای سفره آب زیرزمینی تعریف کرد. اولین تلاشها در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری، از طریق همپوشانی نقشه‌های کاغذی به‌طور دستی صورت گرفته است ولی در سه دهه اخیر، ابداع سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی[1] موجب تسهیل و رواج کاربرد کامپیوتر و نقشه‌های رقومی و پایگاه داده‌ها شده است. هم اکنون روشهای ارزیابی آسیب‌پذیری بسیار متنوع هستند که می‌توان آنها را در سه گروه زیر طبقه‌بندی کرد:

۱- روشهای همپوشانی و شاخص [۱، ۵-۷]،

۲- روشهای مبتنی بر مدل‌های شبیه‌سازی [۸-۱۱]،

۳- روشهای آماری [۱۲ و ۱۳].

معمولاً روشهای همپوشانی و شاخص و نیز روشهای آماری در مناطق بزرگ مطالعاتی و روشهای مبتنی بر مدل‌های شبیه‌سازی در مناطق کوچک‌تر مطالعاتی استفاده می‌شوند. مدل‌های شبیه‌سازی نیاز به داده‌های بسیار زیادی دارند، لذا کمبود داده‌های مورد نیاز آنها و عدم وجود اطلاعات پایش کیفی آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق، موجب شده است که استفاده از شاخصهای مبتنی بر پتانسیل حرکت[2] مثل فاکتور کاهش[3] و فاکتور کُندی[4] برای تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری منطقه‌ای بیشتر رایج و توجیه‌پذیر شود. در این تحقیق از شاخصهای GUS، RF و AF برای توصیف آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی استفاده شد.

در ادامه توضیح مختصری درباره این سه شاخص مهم ارائه می‌شود:

الف) شاخص GUS: این شاخص که توسط گوستافسون[5] در سال ۱۹۸۹ ارائه شده، پتانسیل آبشویی شیمیایی آفت‌کش و انتقال به آبهای زیرزمینی را ارائه می‌کند [۱۴]. این شاخص فقط اثر پارامترهای جذب و تجزیه را در نظر می‌گیرد و به‌صورت زیر بیان می‌شود

$$GUS = \log_{10} t_{1/2} \times [4 - \log_{10} K_{oc}] \qquad (۱)$$

که در این رابطه

K_{oc} ضریب جذب آفت‌کش توسط کربن آلی خاک بر حسب میلی‌لیتر بر گرم و $t_{1/2}$ زمان نیمه عمر آفت کش در محیط خاک بر حسب روز است. شاخص GUS برای نمایش پتانسیل آبشویی آفت‌کش به سه دسته تقسیم می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱- ارتباط بین مقدار شاخص GUS و پتانسیل آبشویی آفت‌کش [۱۴]

شرایط	شاخص GUS
غیرقابل آبشویی[6]	< ۱/۸
حالت بینابینی[7]	۱/۸-۲/۸
آبشویی[8]	> ۲/۸

[1] Geographic Information System (GIS)

[2] Groundwater Ubiquity Score (GUS)
[3] Attenuation Factor (AF)
[4] Retardation Factor (RF)
[5] Gustafson
[6] Nonleacher
[7] Transitional
[8] Leacher

Archive of SID
www.SID.ir

ب) شاخص RF: این شاخص که توسط رائو و همکاران[1] در سال ۱۹۸۵ ارائه شده، فرایند تجزیه را در محیط خاک در نظر نمی‌گیرد ولی توانایی آبشویی آفت‌کش به خارج از ناحیه غیراشباع را در حالتی که جریان آب کافی برای انتقال آن وجود داشته باشد نشان می‌دهد [۱۵ و ۱۶]. این شاخص به‌صورت رابطه ۲ بیان می‌شود

$$RF = \left[1 + \frac{\rho_b f_{oc} K_{oc}}{\theta_{fc}}\right] \qquad (۲)$$

که در این رابطه

f_{oc} جزء جرمی کربن آلی موجود درخاک، θ_{fc} جزء حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی[2] و ρ_b چگالی توده خاک بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب است. پارامتر RF برای نمایش پتانسیل آبشویی آفت‌کش به خارج از محیط غیراشباع به‌صورت جدول ۲ طبقه بندی می‌شود.

جدول۲- ارتباط بین مقدار شاخص RF و وضعیت آبشویی آفت‌کش [۱۵]

شرایط	فاکتور کندی (RF)
خیلی متحرک[3]	۱
متحرک[4]	۱-۲
نسبتاً متحرک[5]	۲-۳
نسبتاً نامتحرک[6]	۳-۱۰
خیلی نامتحرک[7]	> ۱۰

ج) شاخص AF: این شاخص نیز توسط رائو و همکاران در سال ۱۹۸۵ ارائه شده است. این شاخص نه تنها پارامتر RF را در خود دارد بلکه فرایند تجزیه آفت‌کش و مشخصات هیدرولوژیک منطقه را نیز در نظر می‌گیرد به‌همین خاطر باید شاخص AF واقع‌بینانه‌تر از RF باشد [۱۵ و ۱۶]. این شاخص به‌صورت رابطه ۳ بیان می شود

$$AF = \exp\left[\frac{-0.693 d\ RF\ \theta_{fc}}{q\ t_{1/2}}\right] \qquad (۳)$$

که در این رابطه

d فاصله سطح آب زیرزمینی تا سطح زمین برحسب متر و q میزان تغذیه خالص آب زیرزمینی برحسب متر بر روز هستند. پارامتر AF برای نمایش امکان آسیب پذیری آبهای زیرزمینی توسط آفت‌کشها، به‌صورت جدول ۳ طبقه بندی می‌شود.

جدول۳- ارتباط بین مقدار شاخص AF و آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی [۱۵]

شرایط	فاکتور کاهش (AF)
خیلی نامحتمل[8]	۰-$۱۰^{-۴}$
نامحتمل[9]	$۱۰^{-۴}$ - $۱۰^{-۲}$
نسبتاً محتمل[10]	$۱۰^{-۲}$ - $۱۰^{-۱}$
محتمل[11]	$۱۰^{-۱}$ - $۲۱۰^{-۱}$
خیلی محتمل[12]	$۲۱۰^{-۱}$ - ۱

۳- عدم قطعیت در توصیف آسیب پذیری توسط شاخصها

پارامترهای استفاده شده در روش شاخصها از عدم قطعیت زیادی برخوردارند که باعث بروز خطا در توصیف آسیب پذیری می‌شوند. این عدم قطعیت‌ها، شامل عدم قطعیت در پارامترهای هیدروژئولوژیک، پارامترهای خاک و خصوصیات آفت‌کشها است [۲]. اثرات عدم قطعیت این داده‌ها بر توصیف آبشویی آفت‌کشها توسط محققان مختلفی مطالعه شده است [۱۷-۱۹]. نتایج نشان داده است که عدم قطعیت پارامترها تأثیر مهمی در توصیف آسیب‌پذیری دارند.

اریکسون[13] و لی[14] در سال ۱۹۸۹ میزان نیمه عمر آترازین[15] را در خاکهای مختلف ۱۶۸-۳۷ روز ذکر کرده‌اند [۲۰]. شوئن[16] و وینترلین[17] در سال ۱۹۷۸ اظهار داشته‌اند در صورتی که غلظت آترازین در محیط خاک از نوع Sandy loam از ۱۰۰ به ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر برسد، زمان نیمه عمر در محیط خاک ۲ تا ۵ برابر می‌شود [۱۷]. مطالعه سرعت تجزیه در خاکهای مختلف نشان داده است که با تغییرات غلظت سم، زمان نیمه عمر در خاکهای مختلف به صور مختلفی تغییر می‌کند [۱۸ و ۱۹]. کاکس و همکاران[18] در سال ۱۹۹۷ نیز نشان داده‌اند که میزان K_{oc} آفت‌کشها می‌تواند

[1] Rao et al
[2] Field Capacity
[3] Very Mobile
[4] Mobile
[5] Moderately Mobile
[6] Moderately Immobile
[7] Very Immobile

[8] Very Unlikely
[9] Unlikely
[10] Moderately Likely (ML)
[11] Likely (L)
[12] Very Likely
[13] Erikson
[14] Lee
[15] Atrazine
[16] Schoen
[17] Winterlin
[18] Cox et al.

www.SID.ir
Archive of SID

بستگی زیادی به‌غلظت آنها داشته باشد. برای مثال آزمایش‌های ایشان نشان داد زمانی که غلظت آفت‌کش ایمیداکلوپرید[1] در محلول اولیه از ۰/۱۵ به ۰/۰۵ میکروگرم در لیتر رسید، مقدار K_{oc} در خاکهای مختلف حدود ۲ تا ۳ برابر کاهش یافت [۲۱]. البته عوامل زیادی بر عدم قطعیت هرکدام از پارامترهای به‌کار رفته در شاخصها نقش دارند. برای مثال، عوامل مؤثر بر پارامتر زمان نیمه عمر عبارت‌اند از: بافت خاک، مشخصه‌هایی از خاک مثل pH، محتوای آب و دمای خاک)، عمق از سطح خاک و فعالیت بیولوژیک در محیط خاک [۲۲].

مطالعات انجام شده در مورد عدم قطعیت پارامترهای مختلفی که در محاسبه RF نقش دارند، نشان داده است که K_{oc} بیشترین نقش را در عدم قطعیت RF داشته و K_{oc} و $t_{1/2}$ به‌ترتیب بیشترین نقش را در عدم قطعیت شاخص AF دارند [۲۳-۲۵]. عدم قطعیت شاخص GUS به‌طور کامل مربوط به عدم قطعیت پارامترهای K_{oc} و $t_{1/2}$ است. لذا K_{oc} و $t_{1/2}$ به‌عنوان عوامل اصلی عدم قطعیت در شاخصها شناخته می‌شوند.

۴- روش تحقیق

۴-۱- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی

آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی از ۷ آفت‌کش مزارع برنج در دشت مورد مطالعه که آب زیرزمینی آن به‌مصرف شرب نیز می‌رسد در سه سناریو با روش شاخصها ارزیابی شد. در سناریوی اول، از مقادیر K_{oc} و $t_{1/2}$ متعارف آفت‌کشها استفاده شد. سپس آسیب‌پذیری در دو سناریوی دیگر که تحت عناوین "آسیب‌پذیری در بدترین شرایط از مشخصات آفت‌کشها[2]" و "آسیب‌پذیری در بهترین شرایط از مشخصات آفت‌کشها[3]" نام‌گذاری شده‌اند، ارزیابی شد. منظور از "بدترین و بهترین شرایط از مشخصات آفت‌کشها" این است که مقدار مشخصه‌های آفت‌کش به نحوی تعیین و در روابط محاسبه شاخصها اعمال می‌گردند که به‌ترتیب آفت‌کش بتواند به‌راحتی و به سختی آبشویی شود. به‌منظور ایجاد چنین شرایطی، باید در هر حالت مقادیر خاصی برای پارامترهای $t_{1/2}$ و K_{oc} اختصاص داده شود. مناسب‌ترین شرایط آبشویی در حالتی است که کمترین مقدار جذب آفت‌کش (K_{oc} حداقل) و کمترین مقدار تجزیه آفت‌کش ($t_{1/2}$ حداکثر) وجود داشته باشد و نامناسب‌ترین شرایط آبشویی برعکس است.

با اعمال مقادیر $t_{1/2}$ و K_{oc} متناظر با سه سناریوی مذکور برای هر آفت‌کش (استخراج شده از بانک اطلاعاتی آفت‌کشها) در روابط محاسبه شاخصها (روابط ۱ تا ۳) و به کمک نقشه‌ها و داده‌های پایه، نقشه‌های AF، RF و GUS منطقه در محیط GIS با استفاده از نرم‌افزار الویس[4] به‌ترتیب در سه سناریوی متعارف، بدترین و بهترین شرایط از مشخصات هر آفت‌کش تعیین می‌شود [۲۶]. با استفاده از نقشه‌های تولید شده، متوسط منطقه‌ای شاخصهای مزبور را می‌توان برای هر آفت‌کش در سناریوهای مختلف محاسبه کرد.

۴-۲- رتبه‌بندی آفت‌کشها به‌روش برنامه‌ریزی مرکب[5]

با توجه به اینکه در این تحقیق آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی از هر آفت‌کش توسط سه شاخص حرکت یعنی AF، RF و GUS در سه سناریوی مختلف ارزیابی می‌شود، مسئله ارزیابی و رتبه‌بندی آفت‌کشها، یک "تصمیم‌گیری چندمعیاره[6]" به حساب می‌آید. یکی از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره، "برنامه‌ریزی مرکب" است. برنامه‌ریزی مرکب، روش توسعه یافته "برنامه‌ریزی سازش[7]" است که مبتنی بر فاصله است. طبق این روش، بهترین تصمیم یا گزینه، گزینه‌ای است که حداقل فاصله را با گزینه ایده‌آل داشته باشد. تئوری و کاربرد روشهای برنامه‌ریزی سازش و برنامه‌ریزی مرکب در مراجع متعددی بحث شده است. یکی از مراجع معتبر در زمینه محیط زیست، راهنمای روش ارزیابی جامع محیط زیستی توسعه منابع است که توسط برنامه محیط زیست سازمان ملل، یونسکو و برنامه بین المللی آب‌شناسی یونسکو منتشر شده است [۲۷].

در این تحقیق، برای ارزیابی و رتبه‌بندی آفت‌کشها، از روش برنامه‌ریزی مرکب استفاده شد. طبق این روش، ارزیابی و رتبه‌بندی آفت‌کشها در چند گام به‌شرح زیر انجام می‌شود:

۱- شاخصهای پایه[8] برای آفت‌کشها انتخاب و مقدار آن برای هر آفت‌کش تعیین می‌شود. شاخص‌های پایه در این مسئله، شاخصهای حرکت AF، GUS و RF هستند.

۲- شاخصهای پایه طبق رابطه ۴ نرمال می‌شوند تا به مقادیری بین ۰ تا ۱ تبدیل شوند

(۴)

$$S_i = \frac{Z_{i+} - Z_i}{Z_{i+} - Z_{i-}} \qquad \text{یا} \qquad S_i = \frac{Z_i - Z_{i-}}{Z_{i+} - Z_{i-}}$$

که در این رابطه

i شماره شاخص پایه، Z_i مقدار واقعی شاخص پایه i، Z_{i-} و Z_{i+} به‌ترتیب حداقل و حداکثر مقادیر ممکن شاخص پایه i و S_i مقدار

[1] Imidacloprid
[2] Vulnerability in the Worst Conditions of Pesticides Properties (VWCPP)
[3] Vulnerability in the Best Conditions of Pesticide Properties (VBCPP)
[4] Integrated Land and Water Information System (ILWIS)
[5] Composite programming
[6] Multicriterion Decision Making
[7] Compromise programming
[8] Basic indicators

Archive of SID
www.SID.ir

نرمال شده شاخص پایه i است. برحسب شرایط، یکی از دو عبارت رابطه ۴ انتخاب می‌شود به نحوی که مقدار S_i مثبت باشد.

۳- مقادیر نرمال شده S_i برحسب ماهیت شاخصهای پایه به چند گروه تقسیم می‌شود. این گروهها، گروههای سطح دوم شاخصهای پایه[1] نامیده می‌شوند. در این تحقیق، گروههای سطح دوم، AF، GUS و RF و شاخصهای پایه هر گروه، همان شاخصهای حرکت در سه سناریوی مختلف است. فاصله مرکب[2] گروههای سطح دوم طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود

$$L_j = \left[\sum_{i=1}^{n_j} \alpha_{ij} \; S_{ij}^{P_j} \right]^{1/P_j} \qquad (۵)$$

که در این رابطه

S_{ij} مقدار نرمال شده شاخص پایه i ام از گروه j ام، L_j فاصله مرکب گروه j ام در سطح دوم شاخصهای پایه، n_j تعداد شاخصهای پایه موجود در گروه j ام و α_{ij} وزن‌های بیان کننده اهمیت نسبی هر کدام از شاخصهای پایه گروه j ام $\left(\sum_{i=1}^{n_j} \alpha_{ij} = 1 \right)$ و P_j فاکتور متعادل کننده[3] گروه j ام است.

۴- پس از محاسبه مقادیر L_j برای تمامی گروهها، باید مجدداً گروههای سطح دوم با هم ترکیب شده و گروه‌های سطح سوم را ایجاد نمایند. فاصله مرکب گروه سطح سوم (آخرین سطح) (L) از L_j های گروههای سطح دوم به‌صورت زیر تعیین می‌شود.

$$L = \left[\sum_{j=1}^{m_j} \alpha_j \times L_j^{p'_j} \right]^{1/p'_j} \qquad (۶)$$

که در این رابطه

m_j تعداد اجزای گروه j ام سطح سوم، L_j فاصله مرکب گروه j ام سطح دوم، α_j اهمیت نسبی اجزای سازنده گروه j ام سطح سوم و P'_j فاکتور متعادل کننده سطح سوم از گروه j ام هستند.

البته در حالت کلی، عملیات ترکیب گروههای سطح پایینی و ایجاد سطح بالاتر آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا بالاخره یک گروه واحد به‌دست آید (گروه آخرین سطح) و مقدار فاصله مرکب آن (L) محاسبه شود. در این تحقیق، تنها یک گروه سطح سوم وجود دارد، لذا عملیات ترکیب تا سطح سوم به مقدار فاصله مرکب نهایی (L) منتهی می‌شود.

در مورد P_j و P'_j، برای شاخصهای اکولوژیکی عدد ۳ یا بیشتر مناسب است و در بقیه موارد اعداد ۱ و ۲ می‌توانند انتخاب‌های مناسبی باشند [۲۸]. مقادیر α نیز باید برحسب اهمیت هر کدام از شاخصها با شناختی که از سیستم وجود دارد، تعیین شوند.

چنانچه مقدار L باتوجه به شاخصها برای هر آفت‌کش تعیین شود، می‌توان آفت‌کش‌ها را رتبه‌بندی نمود.

۵- منطقه مطالعاتی

محدوده مطالعاتی در استان مازندران واقع شده و از شمال به دریای خزر، از جنوب به سلسله جبال البرز، از شرق به رودخانه سیاهرود و از غرب به رودخانه بابل محدود است. منطقه مورد نظر در محدوده ´۴۶ و °۳۶ تا ″۰۵، ´۲۲ تا °۳۶ عرض شمالی و تا ″۳۹، ´۵۷ و °۵۲ تا ″۳۶، ´۳۷ و °۵۲ طول شرقی واقع شده است. این مطالعه فقط روی مناطق مربوط به کشت شالی متمرکز گردید. در شکل ۱، منطقه مطالعاتی و در شکل ۲، مناطق شالیکاری منطقه به‌همراه عمق آب زیرزمینی این مناطق نشان داده شده است. حداقل ارتفاع منطقه ۲۵- متر از سطح دریاهای آزاد (در حاشیه دریای خزر) و حداکثر آن ۷۰ متر است. شیب متوسط منطقه مطالعاتی کمتر از ۱درصد و جهت آن از جنوب به شمال به سمت دریای خزر است. این منطقه دارای اقلیم نیمه گرمسیری و مرطوب با تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان‌های ملایم است.

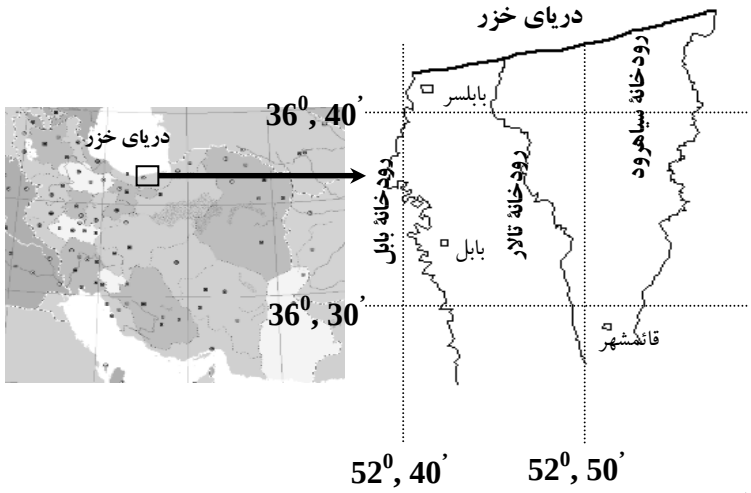
میانگین سالانه بارندگی در این منطقه حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر است که بیشترین میزان این بارندگی در اواخر تابستان و پاییز به‌وقوع می‌پیوندد. حداکثر دمای سالانه در تیرماه و حدود ۲۹ و حداقل آن در دی ماه و حدود ۱ درجه سلسیوس است. منابع آب سطحی منطقه شامل آب بندان‌ها و رودخانه‌های بابل، تالار و سیاهرود هستند. آب بندان‌ها که تعداد آنها ۷۲ عدد و مساحت آنها ۳۲۴۰ هکتار است، به‌منظور ذخیره‌سازی آب و استفاده از آنها در دوره کشت شالی در طی تابستان مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. از ۵۴۵۸۲ هکتار وسعت کل اراضی کشاورزی منطقه، ۶۷ درصد آن به کشت شالی اختصاص داده شده است و بقیه اراضی شامل اراضی دیم ۲۴ درصد و باغات ۹ درصد است[۳].

۶- اطلاعات استفاده شده

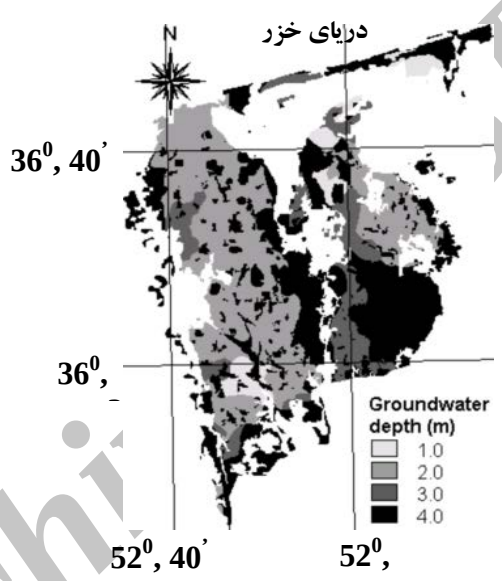
نقشه‌های پایه استفاده شده در این تحقیق شامل نقشه‌های عمق آب زیرزمینی، میزان جزء جرمی مواد آلی خاک، میزان جزء حجمی رطوبت در ظرفیت زراعی خاک، چگالی خاک و بافت خاک منطقه بودند. نمونه برداری‌ها و تولید نقشه‌ها قبلاً توسط مهندسان مشاور مهاب قدس در سال ۱۳۷۴ و تجزیشی و همکاران در سال ۱۳۷۸ تهیه و مورد استفاده قرار گرفته است [۳]. میزان متوسط نفوذ مؤثر به آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی معادل ۰/۰۰۵ متر بر روز

[1] Second-level groups of basic indicators
[2] Composite distance
[3] Balancing factor

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مطالعاتی در ایران و مختصات آن به همراه رودخانه‌های اصلی منطقه



شکل ۲- موقعیت مناطق شالیکاری منطقه به همراه عمق آب زیر زمینی منطقه

گزارش شده است [۲۹]. اطلاعات مربوط به مشخصات آفت‌کشها، از بانک اطلاعاتی مشخصات آفت‌کش‌ها که توسط سازمان تحقیقات کشاورزی وزارت کشاورزی آمریکا، تهیه و تنظیم شده دریافت شد. این بانک اطلاعاتی شامل ۱۸ پارامتر مختلف برای ۳۳۶ آفت‌کش بود. این بانک اطلاعاتی، توسعه یافته اطلاعات جمع‌آوری شده توسط هورنسبی و همکاران[1] در سال ۱۹۹۶ بود [۳۰]. این بانک برای تعدادی از آفت‌کشها، اطلاعاتی مثل مقدار K_{oc} و $t_{1/2}$ مربوط به بعضی از بافت خاکها و نیز حداقل، حداکثر و مقدار متوسط متعارف برای این پارامترها را ذکر نموده است. آفت‌کشهای بررسی شده در این پژوهش آفت‌کشهایی بودند که قابل استفاده در مزارع برنج بوده و اطلاعات مورد نظر در مورد آنها در بانک اطلاعاتی آفت‌کشها وجود داشت (جدول ۴).

جدول ۴- لیست آفت‌کشهای بررسی شده در این مطالعه [۳۴-۳۱]

۱- ۲ و ۴ د اسید (جامد)
۲- دی متیونات (جامد)
۳- فن والرات (مایع)
۴- لینورون (جامد)
۵- متسولفورون (جامد)
۶- نیتراپرن (جامد)
۷- تریکلوپیر (جامد)

[1] Hornsby et al.

www.SID.ir

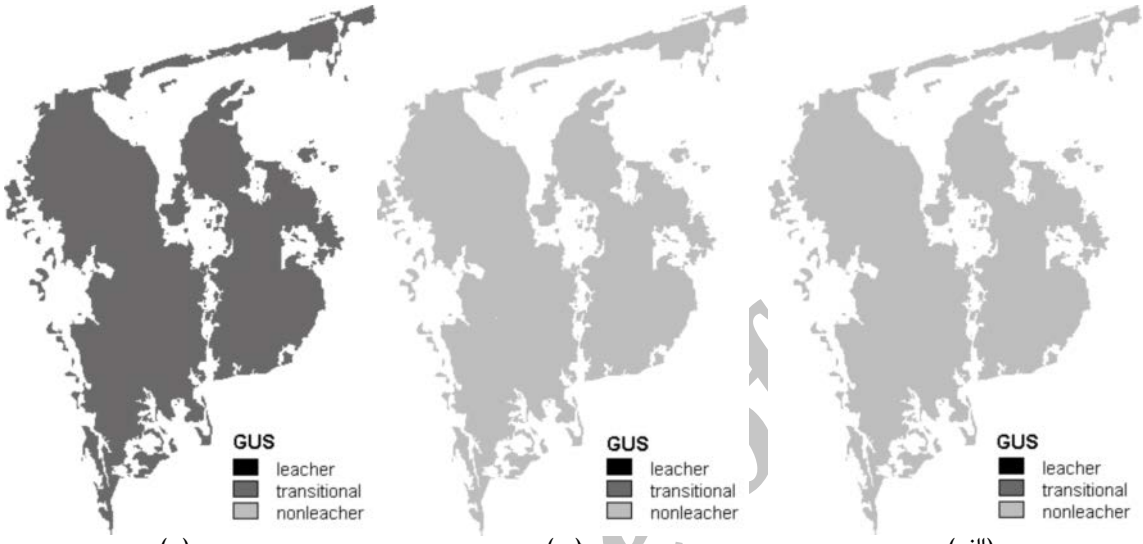
۷- نتایج و بحث

۷-۱- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی

نقشه‌های شاخص‌های GUS، RF و AF برای ۷ آفت‌کش مورد مطالعه در سناریوهای متعارف، بدترین شرایط و بهترین شرایط با استفاده از مشخصات هر آفت‌کش توسط روابط ۱ تا ۳، تهیه شد. به‌عنوان نمونه، شکلهای ۳ تا ۵ نقشه‌های آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را از آفت‌کش دی متیونات[1] در سناریوهای متعارف، بدترین شرایط و بهترین شرایط از مشخصات آفت‌کش، به‌ترتیب بر اساس شاخصهای GUS، RF و AF نشان می‌دهند.

با مقایسه شکلهای ۳ تا ۵، تفاوت آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی در سطح منطقه و پهنه‌بندی آن از نظر شاخصهای مختلف در

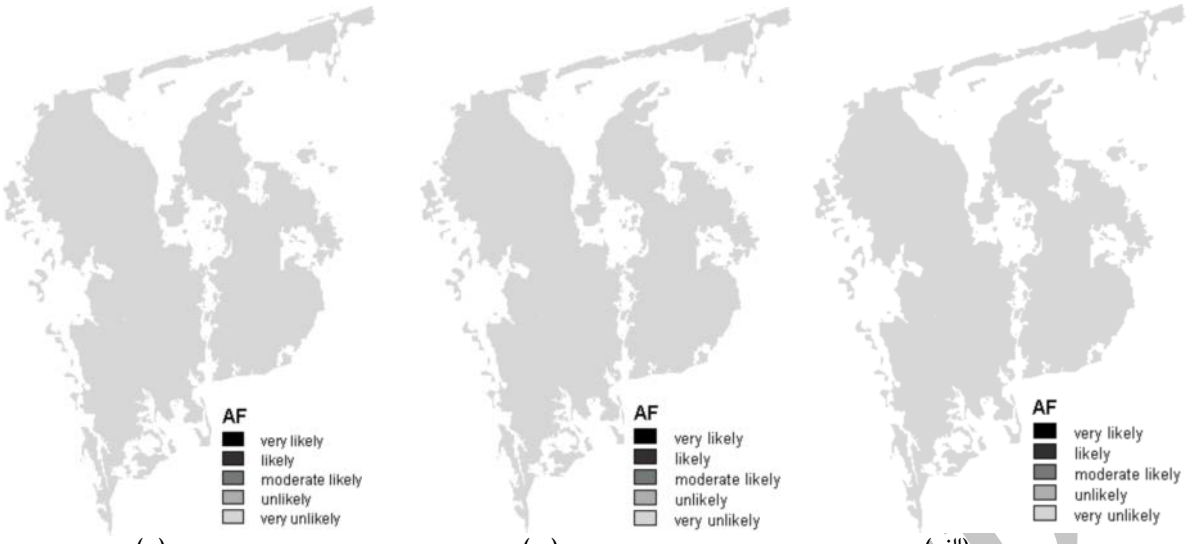
[1] Dimethoate



شکل ۳- نقشه‌های توصیف آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی آفت‌کش دی‌میتونات با شاخص GUS برای سناریوهای الف: بهترین شرایط، ب: شرایط متعارف و ج: بدترین شرایط

شکل ۴- نقشه‌های توصیف آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی آفت‌کش دی‌میتونات با شاخص RF برای سناریوهای الف: بهترین شرایط، ب: شرایط متعارف و ج: بدترین شرایط

www.SID.ir



شکل ۵- نقشه‌های توصیف آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی آفت‌کش Dimethoate با شاخص AF برای سناریوهای

الف: بهترین شرایط، ب: شرایط متعارف و ج: بدترین شرایط

سناریوهای مختلف به وضوح مشاهده می‌شود. همان‌طور که این شکلها نشان می‌دهند، مناطق زیادی وجود دارند که نقشه‌های آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی تهیه شده توسط شاخصها در یکی از سناریوها از عدم آبشویی و آسیب‌رسانی آفت‌کش به آبهای زیرزمینی خبر می‌دهد و نشان می‌دهد که آن آفت‌کش در مناطق مورد نظر به آبهای زیرزمینی آبشویی نمی‌شود درحالی که مساحت زیادی از همان مناطق در سناریویی دیگر، از امکان آبشویی آفت‌کش مصرفی خبر می‌دهد و برعکس.

مقادیر متوسط منطقه‌ای هرکدام از شاخصهای RF ، GUS و AF در منطقه، در سه سناریوی مختلف بهترین شرایط، بدترین شرایط و شرایط متعارف محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

۷-۲- رتبه‌بندی آفت‌کشها به روش برنامه‌ریزی مرکب

برای محاسبه Z_{i-} و Z_{i+} در رابطه ۴، مقادیر K_{oc} و $t_{1/2}$ در بهترین و بدترین شرایط با توجه به نمودار ارائه شده توسط رائو و هورنسبی[1] در سال ۱۹۸۹ در مورد مشخصات ۶۲ آفت‌کش مختلف، انتخاب شدند [۳۵]

بهترین شرایط: (روز) $t_{1/2} = ۳/۱۶$, $K_{oc} = ۱۰۰۰۰$ (mL/g)

بدترین شرایط : (روز): $t_{1/2} = ۳۱۶$, $K_{oc} = ۱$ (mL/g)

[1] Rao and Hornsby

جدول ۵- مقدار متوسط منطقه‌ای شاخصهای AF ، GUS و RF در سناریوهای مختلف برای آفت کشهای مختلف

آفت کش	فاکتور کاهش (AF)			شاخص GUS			فاکتور کندی (RF)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
۲ و ۴ د اسید	$۲/۱۰^{-۱۰}$	$۳/۱۰^{-۸}$	۰	۱/۷	۲/۵	۰/۳۷	۳/۲	۱/۹	۴/۷
دی متیونات	$۲/۵/۱۰^{-۱۱}$	$۷/۱۰^{-۹}$	۰	۱/۳	۱/۸	۰/۸	۱/۷	۱/۴	۱/۹
فن والرات	۰	$۲/۲/۱۰^{-۸}$	۰	۰/۶	۲/۵	۰	۲۴۷/۸	۴۷/۸	۴۶۹
لینورون	$۳/۳/۱۰^{-۶}$	$۳/۱۰^{-۳}$	۰	۲/۵	۴/۳	۱/۸	۲۲/۹	۵/۳	۴۱/۴
متسولفورون	۱۰-۳	$۶/۵/۱۰-۲$	۱۰-۱۲	۳/۴	۵/۴	۱/۹	۲/۰	۱/۲	۱۰/۶
نیتراپرن	۰	۱۰-۳	۰	۱/۹	۳/۴	۰/۸	۲۱/۵	۹/۱	۳۶/۸
تریکلوپیر	۱۰-۳	۰/۱۳	۰	۳/۵	۵/۴	۱/۶	۴/۱	۱/۵	۸/۵

A) سناریوی آسیب پذیری در شرایط متعارف

B) سناریوی آسیب‌پذیری در بدترین شرایط

C) سناریوی آسیب‌پذیری در بهترین شرایط

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- فاصله مرکب (L_j) برای سه گروه AF ، GUS و RF

آفت‌کش	L_1 (گروه AF)	L_2 (گروه GUS)	L_3 (گروه RF)
۲ و ۴ د اسید	۱	۰/۸۴۵	۰/۰۰۵
دی متیونات	۱	۰/۸۶۹	۰/۰۰۲
فن والرات	۱	۰/۹۱۵	۰/۶۳۸
لینورون	۰/۹۸۹	۰/۷۲۷	۰/۰۵۵
متسولفورون	۰/۹۷۶	۰/۶۶۴	۰/۰۱۱
نیتراپرن	۱	۰/۸۰۹	۰/۰۴۹
تریکلوپیر	۰/۹۲۸	۰/۶۵۹	۰/۰۰۹

جدول ۷- فاصله مرکب نهایی (L) به ازای مقادیر مختلف α_1 تا α_3

آفت‌کش	α_1=۰/۶۶۶ α_2=۰/۳۳۳	α_1=۰/۵ α_2=۰/۵	α_1=۰/۴۴۴ α_2=۰/۳۳۳ α_3=۰/۲۲۲	α_1=۰/۵۷۱ α_2=۰/۲۸۶ α_3=۰/۱۴۳	α_1=۰/۵ α_2=۰/۲۵ α_3=۰/۲۵	α_1=۰/۵۷۱ α_2=۰/۱۴۳ α_3=۰/۲۸۶	α_1=۰/۴۴۴ α_2=۰/۲۲۲ α_3=۰/۳۳۳
۲ و ۴ د اسید	۰/۹۵۵	۰/۹۲۶	۰/۸۲۶	۰/۸۸۱	۰/۸۲۴	۰/۸۲۱	۰/۷۷۷
دی متیونات	۰/۹۶۳	۰/۹۳۷	۰/۸۳۴	۰/۸۸۷	۰/۸۳۰	۰/۸۲۴	۰/۷۸۲
فن والرات	۰/۹۷۷	۰/۹۵۹	۰/۹۰۲	۰/۹۳۲	۰/۹۰۱	۰/۸۹۹	۰/۸۷۵
لینورون	۰/۹۱۴	۰/۸۶۸	۰/۷۸۳	۰/۸۴۳	۰/۷۸۹	۰/۷۹۷	۰/۷۴۴
متسولفورون	۰/۸۸۸	۰/۸۳۴	۰/۷۵۵	۰/۸۱۹	۰/۷۶۶	۰/۷۷۹	۰/۷۲۲
نیتراپرن	۰/۹۴۵	۰/۹۰۹	۰/۸۱۴	۰/۸۷۱	۰/۸۱۵	۰/۸۱۶	۰/۷۶۸
تریکلوپیر	۰/۸۵۱	۰/۸۰۵	۰/۷۲۶	۰/۷۸۵	۰/۷۳۴	۰/۷۴۴	۰/۶۹۲

جدول ۸- رتبه بندی آفت کشها با استفاده از نتایج روش برنامه‌ریزی مرکب

آفت کش	۲ و ۴ اسید	دی متیونات	فن والرات	لینورون	متسولفورون	نیتراپرن	تریکلوپیر
رتبه	۳	۲	۱	۵	۶	۴	۷

در صورتی که آفت‌کشی دارای مشخصاتی خارج از محدوده‌های فوق‌الذکر باشد بر حسب اینکه از بهترین شرایط یا بدترین شرایط فراتر رفته باشد به ترتیب آفت‌کش بسیار مناسب یا نامناسب در نظر گرفته می‌شود.

با استفاده از مقادیر K_{oc} و $t_{1/2}$ مذکور، مقدار متوسط منطقه‌ای شاخصهای AF ، GUS و RF در بهترین شرایط (ایده آل) و بدترین شرایط (ضد ایده‌آل) در منطقه مطالعاتی محاسبه شدند که این مقادیر به‌عنوان مقادیر Z_{i-} و Z_{i+} در رابطه ۴ مورد استفاده قرار گرفتند. به این ترتیب با استفاده از این مقادیر و مقدار شاخصها مقدار نرمال شده هر کدام از شاخصها (S_{ij}) در سناریوهای مختلف محاسبه شد (جدول ۵). شاخصهای پایه که با سه سناریوی مختلف در این جدول نشان داده شده به سه گروه AF، GUS و RF تقسیم و مقدار S_i در سه سناریوی گروه j، طبق رابطه ۵ تبدیل به مقدار فاصله مرکب L_j شدند. البته مقدار α برای هر کدام از سناریوهای بهترین و بدترین شرایط، ۰/۲۵ و برای سناریوی مقادیر متعارف، ۰/۵ و مقدار P برابر ۲ در نظر گرفته شد. جدول ۶ مقدار L_j هرکدام از گروههای AF، GUS و RF را نشان می‌دهد.

سپس به‌کمک رابطه ۶ مقدار L محاسبه شد. البته L حاصل ترکیب L_1 ، L_2 و L_3 است که به‌ترتیب مربوط به گروههای AF ، GUS و RF هستند. جدول ۷، مقدار L را به ازای مقادیر مختلف ضرایب α_1 تا α_3 نشان می‌دهد. استفاده از α های مختلف در حقیقت نقش تحلیل حساسیت جواب مسئله را نسبت به ضرایب α نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول ۷ نشان می‌دهد، رتبه‌بندی آفت‌کشها بر اساس مقدار L ، با تغییرات ضرایب α هیچ‌گونه تغییری نمی‌کند لذا این روش حساسیت زیادی نسبت به مقادیر α ندارد و این نتایج، مقاوم[1] بودن این روش را نشان می‌دهد.

در نهایت با استفاده از جدول ۷، رتبه‌بندی آفت‌کشها انجام شد و نتایج رتبه‌بندی در جدول ۸ نشان داده شده است.

۷-۳- ارزیابی و دسته‌بندی آفت‌کشها

به‌کمک مقادیر متوسط منطقه‌ای شاخصهای مختلف (جدول ۵)

[1] Robust

Archive of SID

www.SID.ir

می‌توان آفت‌کشها را در سناریوهای مختلف رتبه‌بندی نمود. نتایج این رتبه‌بندی نشان داد که رتبه‌بندی آفت‌کشها از نظر شاخصهای GUS و AF در هر سناریو تشابه زیادی به هم دارند. اما از آنجا که شاخص RF برخلاف شاخصهای AF و GUS، فقط فرایند جذب را در نظر گرفته و فرایند تجزیه را در نظر نمی‌گیرد، رتبه‌بندی از نظر شاخص RF تفاوت زیادی با رتبه‌بندی بر مبنای شاخصهای AF و GUS دارد. از این‌رو شاخصهای AF و GUS، شاخصهای قابل اعتمادتری نسبت به شاخص RF هستند. به‌همین دلیل، تنها زمانی که داده‌های تجزیه آفت‌کش موجود نیست باید از شاخص RF استفاده شود[۱۶].

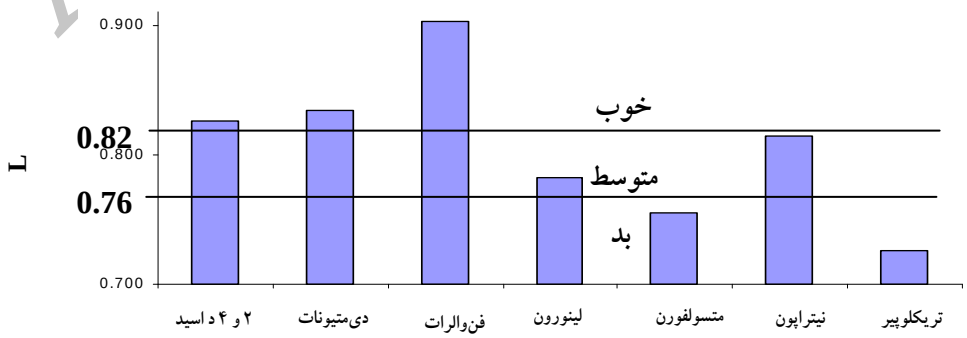
به‌این ترتیب چنانچه فقط از شاخصهای GUS و AF برای ارزیابی آفت‌کشها استفاده شود با استفاده از مقادیر آنها که در جدول ۵ آمده و با توجه به جدولهای ۱ و ۳، می‌توان جدول ۹ را تهیه نمود. برای ارزیابی آفت‌کشها در صورتی که یک آفت‌کش در هیچ کدام از سناریوهای بدترین شرایط، خبر از آبشویی یا تراوش آفت‌کش به آب زیرزمینی ندهد، آن آفت کش مناسب (خوب) تشخیص داده می‌شود. در صورتی که آفت‌کش در سناریوی بهترین شرایط، جواب مثبت به عدم آبشویی آفت‌کش نداده یا در شرایط متعارف خبر از آبشویی آفت‌کش به آبهای زیرزمینی دهد، آن آفت کش نامناسب (بد) تشخیص داده می‌شود و در غیر این صورت آفت‌کش، متوسط (حالت بینابینی) تشخیص داده می‌شود. ستون آخر جدول ۹، ارزیابی آفت‌کش‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به قابلیت اعتماد شاخصها، وزن‌های مناسب (α) در روش رتبه‌بندی را می‌توان چنین انتخاب نمود که ضریب مربوط به AF از همه بزرگ‌تر و ضریب RF از همه کوچک‌تر باشد. به‌این ترتیب مثلاً اگر ضرایب α_1 تا α_3 به ترتیب ۰/۴۴۴، ۰/۳۳۳۳ و ۰/۲۲۲۳ در نظر گرفته شوند، فواصل مرکب (L) محاسبه می‌شوند که نتایج این محاسبه در شکل ۶ نمایش داده شده‌اند. سپس مرزهای تقسیم‌بندی مقادیر L را می‌توان با توجه به ستون آخر جدول ۹ تعیین نمود. با تلفیق نتایج جدول ۹ و مقادیر L در شکل ۶، مشخص می‌شود که ناحیه آفت‌کش مناسب شامل مقادیر $L > 0/82$، ناحیه آفت‌کش نامناسب شامل مقادیر $L < 0/76$ و ناحیه آفت‌کش متوسط شامل مقادیر $0/76 < L < 0/82$ است. به‌این ترتیب نه تنها آفت‌کشها رتبه‌بندی شد، بلکه از نظر آسیب‌رسانی نیز دسته‌بندی شدند. چنانچه با استفاده از این روش، هر آفت‌کش دیگری در منطقه مطالعاتی مورد تحلیل قرار گیرد و فقط مقدار L آن محاسبه شود به راحتی می‌توان قضاوت نمود که آیا آفت‌کش برای منطقه مورد نظر مناسب است یا خیر.

جدول ۹- کلاسهای مختلف مقادیر شاخصهای GUS و AF در سناریوهای مختلف و ارزیابی آفت‌کشهای مختلف

آفت‌کش	فاکتور کاهش (AF)			شاخص GUS			ارزیابی آفت‌کشها
	A	B	C	A	B	C	
۲ و ۴ د اسید	vu	vu	vu	nl	t	nl	خوب
دی متیونات	vu	vu	vu	nl	t	nl	خوب
فن والرات	vu	vu	vu	nl	t	nl	خوب
لینورون	vu	ml	vu	t	l	nl	متوسط
متسولفورون	u	ml	vu	l	l	t	بد
نیتراپرن	vu	u	vu	t	l	nl	متوسط
تریکلوپیر	u	l	vu	l	l	nl	بد

non leacher : nl (عدم وجود تراوش)، leacher :l (وجودتراوش)، transitional :t (حالت بینابینی)، very unlikely :vu (خیلی غیرمحتمل)، unlikely :u (غیرمحتمل)، moderately likely (نسبتاً محتمل)، Likely :L (محتمل)، A) سناریوی آسیب پذیری در شرایط متعارف، B) سناریوی آسیب پذیری در بدترین شرایط، C) سناریوی آسیب پذیری در بهترین شرایط



شکل ۶- مقدار L برای آفت‌کشهای مختلف (α_1= ۰/۴۴۴, α_2= ۰/۳۳۳, α_3=۰/۲۲۲۳) و مرزهای دسته‌بندی آفت‌کشها

Archive of SID
www.SID.ir

۸- نتیجه‌گیری

۱- استفاده از شاخصهای معمول اگرچه برای توصیف آسیب‌پذیری مناسب هستند ولی از عدم قطعیت بالایی برخوردارند و به تنهایی برای توصیف آسیب پذیری کافی نیستند.

۲- به‌کمک ایجاد سناریوهای بدترین و بهترین شرایط و شرایط متعارف می‌توان از روش برنامه‌ریزی مرکب استفاده نمود و فاصله مرکب نهایی (L) آفت‌کشهای مختلف را تعیین و از آن برای رتبه‌بندی استفاده کرد. تحلیل حساسیت انجام شده روی مقادیر α نشان داد که رتبه‌بندی آفت‌کش‌ها با استفاده از این روش نتایج بسیار مقاومی را ایجاد می‌کند و نتایج این روش به مقادیر α زیاد وابسته نیست.

۳- نتایج رتبه‌بندی نشان داد که شاخص RF به‌علت در نظر نگرفتن فرایند تجزیه آفت‌کش در خاک، شاخص مناسبی برای بررسی آسیب‌پذیری نیست. از نظر قابلیت اعتماد به‌ترتیب می‌توان از شاخصهای AF ، GUS و RF نام برد.

۴- با استفاده از شاخصهای مناسب‌تر (GUS و AF) می‌توان آفت‌کش‌ها را به سه دسته مناسب یا خوب، متوسط و نامناسب یا بد دسته‌بندی نمود. با ترکیب نتایج دسته‌بندی با نتایج رتبه‌بندی آفت‌کشها، مرزهای فاصله مرکب نهایی (L) از نظر خوب یا بد بودن یک آفت‌کش را برای منطقه مطالعاتی می‌توان تعیین کرد. به‌این ترتیب با محاسبه مقدار L برای یک آفت‌کش مطابق روش ذکر شده برای این منطقه مطالعاتی، به‌راحتی می‌توان تشخیص داد که آفت‌کش مورد نظر مناسب است یا خیر.

۹- مراجع

1- Chu, X., Basagaoglu, W., Marino, M., and Volker, R.E. (2000). "Aldicarb transport in subsurface environment: Comparison of models." *J. Env. Eng*., 126 (2), 121-129.

2- Rao, P. S. C., and Alley, W. M. (1993). "Pesticides." Alley, W.M. (Ed.), *Regional groundwater quality*, VNR, New York.

3- Tajrishy, M., Abrishamchi, A., Mousavi, S.R., Tafazzoli, M., Aelamololhoda, A.A., Tovfigh, M., and Pour-Kashani, F. (1999). "A method for the evaluation of vulnerability of groundwater against toxics and pesticides." *Proceedings of Research Papers*, Dept. of Civil Eng., Sharif University of Technology, 19-28. (In Persian)

4- Gholami, M.A. (1992). "Investigation on the increase of Gullet and Tummy Cancers." *J. of Iran University of Medical Sciences*. (In Persian)

5- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., and Hackett, G. (1987). *Drastic- a standardized system for evaluating ground water potential using hydrogeologic settings*, Ada, Ok. U.S. Environmental Protection Agency, Report 600/2-87/035.

6- Chitsazan, M., and Akhtari, Y. (2006). "Potential determination for groundwater pollution in the Zuerichery and Kharran planes using GIS and DRASTIC model." *J. of Water and Wastewater*, 59, 39-51. (In Persian)

7- Azad Shahraki, F., Aghasi, A., Azad Shahraki, F., and Zeraee, A. (2010). "Potential evaluation and sensitivity analysis of groundwater vulnerability in Hashtgerd plane using DRASTIC method." *J. of Water and Wastewater*, 21, 61-70. (In Persian)

8- Pennel, K. D., Hornsby, A. G., Jessup, R. E., and Rao, P. S. C. (1990). "Evaluation of five simulation models for predicting aldicarb and bromide behavior under field conditions." *Water Resources Research*, 26(11), 2679-2693.

9- Wagenet, R. J., and Rao, P. S. C. (1990). "Modeling pesticide fate in soils." Cheng, H. H. (Ed.), *Pesticides in the soil environment: Processes, Impacts and modeling*, Madison, WI: Soil Science Society of America.

10- Petach, M. C., Wagnet, R. J., and DeGloria, S. D. (1991). "Regional water flow and pesticide leaching using simulations with spatially disturbed data." *Geoderma*, 48, 245-269.

11- Hornsby, A. G., Rao, P. S. C., Booth, J.G., Rao, P. V., Pennell, K. D., Jessup, R. E., and Means, G. D. (1990). *Evaluation of models for predicting fate of pesticides*, Project Completion Report Submitted to Florida Department of Environmental Regulation Gainesville, FL:Soil Science Department, University of Florida.

12- Chen, H., and Druliner, A. D. (1988). "Agricultural contamination of groundwater in six areas of high plains aquifer." *Nebraska. National Water Summary 1986- Hydrologic Events and Ground-water Quality*, Reston, VA: U.S., 103-108,

Archive of SID

www.SID.ir

13- Teso, R. R., Younglove, T., Peterson, M. R., Sheeks, D. L., and Gallavan, R. E. (1988). "Soil taxomony and surveys: Classification of areal sensitivity to pesticide contamination of groundwater." *Soil Water Conservation*, 43 (4), 348-352.
14- Gustafson, D. I. (1989). "Groundwater ubiquity score-a simple method for assessing pesticide leach ability." *Environ. Toxicol Chem*., 8, 339-357.
15- Rao, P. S. C., Hornsby, A. G., and Jessup, R. E. (1985). "Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater." *Proc., Soil Crop Sci. Soc.*, Florida, 44, 1-8.
16- Khan, M. A., and Liang, T. (1989). "Mapping pesticide contamination potential." *Environmental Management*, 13 (2), 233-242.
17- Schoen, S. R., and Winterlin, W. L. (1987b). "The effects of various factors and amendments on the degradation of pesticide mixtures." *J. Environ. Sci. Health*, 22, 347-377.
18- Gan, J., Becker, R. L., Koskinen, W. C., and Buhler, D. D. (1996). "Degradation of Atrazine in two soils as a function of concentration." *J. Environ. Qual*., 25, 1064-1072.
19- Gan, J., Koskinen, W. C., Becker, R. L., and Buhler, D. D. (1995). "Effect of concentration on persistence of Alachlor in soil." *J. Environ. Qual*., 24, 1162-1169.
20- Erickson, L. E., and Lee, K. H. (1989). "Degradation of atrazine and related s-triazines." *Crit. Rev. Environ. Control*, 19, 1-13.
21- Cox, L., Koskinen, W. C., and Yen, P. Y. (1997). "Sorption-desorption of HRS imidacloprid and its metabolites in soils." *J. Agric. Food Chem*., 45, 1468-1472.
22- Freissinet, C., Guinot, V., and Vauclin, M. (1996). "Validity of model calibration and simulation results." *Proc., Hydroinformatics 96*, Balkema, Rotterdam, 355-362.
23- Loague, K. (1991). "The impant of land use on estimates of pesticide leaching potential: Assessments and uncertainties." *J. of Contaminant Hydrology*, 8, 157-175.
24- Loague, K., Green, R. E., Giambelluca, T. W., and Liang, T. C. (1989). "Uncertainty in a pesticide leaching assessment for Hawaii." *J. of Contaminant Hydrolog*., 4, 139-161.
25- Loague, K., Green, R. E., Giambelluca, T. W., and Liang, T. C. (1990). "Impact of uncertainty in soil, climatic and chemical information in a pesticide leaching assessment." *J. of Contaminant Hydrology*, 5, 171-194.
26- ILWIS. (1998). *Remote sensing and GIS software package*, Version 2.2. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). The Integrated Land and Water Information Systems the Netherlands.
27- UNESCO (1987). *Methodological guidelines for the integrated environmental evaluation of water resources development*, UNEP/UNESCO Project FP/5201-85-01, Paris.
28- Goicoechea, A., Hansen, D., and Duckstein, L. (1982). *Introduction to multiobjective analysis with engineering and business applications*, John Wiley and Sons, New York.
29- Mahab Ghods Consulting Engineers Co. (1995). *The plan of irrigation and drainage of Pasha-kola (Alborz) Preliminary Stusies, Second Step*, Technical Report of Irrigation and Drainage, Tehran. (In Persian)
30- Hornsby, A. G., Wauchope, R. D., and Herner, A. E. (1996). *Pesticide properties in the environment*, Springer, New York.
31- Taebi, M., Nikkhou, F., Sepehr, K., and Mirzaloo, M.R. (1991). *The list of Important plant pests and illnesses and weeds of agricultural products and theirs toxins with the recommended methods against them according to the recommends of the committees of determination of the pesticides and their utilizing method*, Plants Conservation Organization, Ministry of Agriculture. (In Persian).
32- Mousavi, M.R., and Rastegar, M.A. (1997). *Pesticides in agriculture*, 1st Ed., Barahmand Pub., Tehran (In Persian)
33- Montgomery, J. H. (1997). *Agrochemicals desk reference*, Lewis Pub., United Kingdom.
34- Pesticide Management Education Program, Cornell University. <http://pmep.cce.cornell.edu/>(Oc. 2009)
35- Rao, P. S. C., and Hornsby, A. G. (1989). *Behavior of pesticides in soils and water*, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Soil Science Fact Sheet, SL-40.

Archive of SID

www.SID.ir