

غربالگری گیاهان شورزیست به منظور استفاده در گیاه‌پالایی نمک: روشی نظام‌مند مبتنی بر تصمیم‌گیری چند معیاره ابوالفضل فرزی

گروه مهندسی عمران، واحد اسفراین، دانشگاه آزاد اسلامی، اسفراین، ایران

* ایمیل نویسنده: farzi@iauesf.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۵

چکیده

گیاه‌پالایی نمک که به معنی کاهش شوری خاک و یا آب با استفاده از گیاهان شورزیست است در سال‌های اخیر در مطالعات متعددی مورد توجه محققین بوده است. با وجود تحقیقات متعدد در این زمینه، مشکلی که در بحث استفاده از گیاهان شورزیست برای گیاه‌پالایی نمک وجود دارد، انتخاب گیاهان مناسب از بین جمعیت گسترده آنها و یا به عبارتی غربالگری گیاهان شورزیست برای گیاه‌پالایی نمک است. در این مقاله با محدود کردن کار غربالگری به تعداد ۱۲ گونه گیاهی یک ساله از خانواده کنوپودیاسه، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تلفیقی آنتروپی شانون-تاپسیس برای این منظور استفاده شده است. ارزیابی بر اساس معیارهایی مانند میزان تولید بیومس، مکانیزم مقاومت در برابر شوری، زمان گلدهی، پراکنندگی جغرافیایی در ایران و قابلیت زراعی انجام شد. روش آنتروپی شانون برای رتبه‌بندی و تعیین وزن معیارها و روش تاپسیس برای تعیین اولویت نسبی گونه‌های گیاهی مورد مطالعه استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که در بین ۱۲ گونه‌ی گیاهی مورد مطالعه، آتریپلکس تاتاریکا، باسیا موریکاتا و سالسولا کالی حائز سه رتبه نخست گشته‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از آنها در تحقیقات تجربی گیاه‌پالایی نمک در اولویت باشد.

کلمات کلیدی

"گیاه‌پالایی نمک"، "گیاهان شورزیست"، "تصمیم‌گیری چندمعیاره"، "تاپسیس"، "آنتروپی شانون"

Screening of Halophytic Plants for the Use in Salt Phytoremediation: A Systematic Approach Based on Multi-criteria Decision Making Abolfazl Farzi

Department of Civil Engineering, Esfarayen Branch, Islamic Azad University, Esfarayen, Iran.

*Email Address: farzi@iauesf.ac.ir

Abstract

Salt phytoremediation, which means reducing salinity of soil or water using halophytic plants, has been the subject of several studies in recent years. Despite numerous investigations in this area, the problem with the use of halophytic plants for salt phytoremediation is the selection of suitable plants from their large population or, in other words, screening of halophytic plants for salt phytoremediation. In this paper, by limiting the screening work to 12 annual plant species of the Chenopodiaceae family, the Shannon Entropy -TOPSIS Multi-Criteria Decision Making Method has been used for this purpose. Evaluation was done on the basis of criteria such as biomass production, salinity mechanism, flowering time, geographical distribution in Iran and agronomic capability. The Shannon entropy method was used to rank and weight the criteria and the TOPSIS method was used to determine the relative preference of the studied species. The results indicated that *Atriplex Tatarica*, *Bassia Moricata* and *Salsola Kali* were the top three among the 12 plant species studied. Therefore, their use in experimental phytoremediation of salt plants seems to be a priority.

Keywords

"Salt Phytoremediation", "Halophytes", "Multi Criteria Decision Making", "TOPSIS", "Shannon Entropy"

نمک شش گونه شورزیست شامل سوئدا نولیفلورا، سوئدا فروتیکوسا، پورتولاکا اولراسه (خرفه) آتریپلکس لنتیفورمیس، پارکینسونیا آکولیتا و زانتیوم استرومازیوم (Devi et al., 2016)، برخی از این مطالعات هستند. در کنار گیاه‌پالایی نمک از خاک‌های شور، تحقیقات در زمینه گیاه‌پالایی نمک از آب و فاضلاب شور، نیز مورد توجه بوده است. استفاده از گیاه باسیا ایندیکا در سه آزمایش مختلف یعنی در سیستم هیدروپونیک، وتلند مصنوعی زیرسطحی جریان قائم و وتلند مصنوعی زیرسطحی جریان قائم همراه با بازچرخانی، برای کاهش شوری آب و فاضلاب شور (Shelef et al., 2012)، مطالعه کارایی هشت گونه‌ی گیاهی آتریپلکس پروستراتا، دیستیکلیس اسپیکاتا، چونکوس توری کویل، فراگمتیس استرالیس، اسپارتینا الترنیفلورا، اسکونوپلکتوس تابرنائه موتانی، تیفا آنگوستوفولیا، تیفا لاتیفولیا برای شوری زدایی گیاهی از محلول‌های شور به روش هیدروپونیک (Rozema et al., 2014)، مطالعه گیاه باسیا ایندیکا در وتلند مصنوعی زیرسطحی افقی به منظور تصفیه فاضلاب و کاهش شوری (Freedman et al., 2014)، استفاده از سه گیاه شورزیست سالیکورنیا اروپایی، سالسولا کرزا و بینرتیا سیکلوپترا در وتلند مصنوعی زیرسطحی افقی برای کاهش شوری فاضلاب (Farzi et al., 2017) و مدل‌سازی گیاه-پالایی نمک در وتلندهای مصنوعی حاوی گیاهان شورزیست با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (فرزی و برقی، ۱۳۹۸) برخی از این مطالعات هستند. با وجود تحقیقات متعدد در زمینه گیاه‌پالایی نمک، مشکلی که در بحث استفاده از گیاهان شورزیست برای گیاه‌پالایی نمک وجود دارد، انتخاب گیاهان مناسب از بین جمعیت گسترده آنها است. بنابراین لازم است قبل از مطالعه بر روی گیاهان، یک غربال‌گری بر روی آنها انجام شود. منظور از غربال‌گری در بحث گیاه‌پالایی بررسی گیاهان مختلف و انتخاب گیاهان مناسب‌تر برای گیاه‌پالایی آلاینده‌ی مورد نظر است. انتخاب گیاهان مناسب برای گیاه‌پالایی معمولاً مبتنی بر آزمون و خطا و یا بر مبنای استدلال‌های علمی و تجربی بوده است که فقدان وجود یک روش نظام‌مند در این زمینه را نشان می‌دهند. در زمینه غربال‌گری گیاهان برای گیاه‌پالایی، برخی مطالعات انجام شده است. اکثر این مطالعات یک سایت آلوده انتخاب شده و تعدادی از گونه‌های گیاهی موجود در آن سایت به صورت میدانی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در این مطالعات متغیرهایی از قبیل اندازه اندام‌های گیاهان و مقدار آلاینده موجود در بافت‌های مختلف آنها، در طول دوره رشد آنها اندازه‌گیری شده‌اند و بر اساس این معیارها پتانسیل این گیاهان برای گیاه‌پالایی تعیین شده است. در این زمینه می‌توان غربال‌گری گیاهان بومی ... برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به جیوه (Marrugo-Negrete et al., 2016)، غربال‌گری گیاهان برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به نفت (Ikeura et al., 2016)، روی (Xiao et al., 2018)، مس (Asensio et al., 2018) و سرب (Sidella et al., 2016)، اشاره کرد. انجام مطالعاتی مانند مطالعات فوق برای غربال‌گری گیاهان برای گیاه‌پالایی نمک مستلزم مطالعات میدانی در یک سایت شوره‌زار و صرف زمانی معادل دوره رشد گیاهان است. به عنوان یک روش جایگزین، با توجه به قرارگیری اکثر گونه‌های شورزیست در چند خانواده معدود مانند کنوپودیاسه و گرامینه، می‌توان مطالعه را به یک یا دو خانواده محدود

امروزه به دلیل افزایش جمعیت و توسعه کشاورزی، شور شدن خاک و آب به صورت یک مشکل زیست‌محیطی جهانی جلوه کرده است به طوری که یک سوم زمین‌های کشاورزی جهان متأثر از نمک می‌باشند (Singh, 2015). یکی از راهکارهای مورد نظر برای غلبه بر این مشکل جهانی، کاهش شوری آب و خاک با استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست مانند گیاه‌پالایی است. گیاه‌پالایی فناوری جدیدی است که در آن از گیاهان مقاوم برای حذف یا کاهش غلظت آلاینده‌های آلی، معدنی و ترکیبات خطرناک محیط زیست از جمله فلزات سنگین، مواد نفتی و علف‌کش‌ها استفاده می‌شود. (Greipsson, 2011) گیاه‌پالایی نمک به معنی استفاده از تکنیک گیاه‌پالایی برای کاهش شوری خاک و یا آب است (Shelef et al., 2012). با توجه به این که شوری برای اکثر گیاهان به عنوان تنش تلقی می‌گردد (Basra, 1997)، در گیاه-پالایی نمک تمرکز بر گیاهانی است که در شرایط شوری مقاوم بوده و قادر به جذب املاح نمک می‌باشند (Shelef et al., 2012). گیاهان واجد چنین خاصیتی، گیاهان شورزیست نامیده می‌شوند. شورزیست‌ها گیاهانی هستند که قادرند چرخه حیات خود را در اراضی شور کامل کنند. به عبارتی این گیاهان قادرند غلظت‌هایی از نمک را تحمل کنند که ۹۹ درصد گیاهان دیگر در این شرایط قادر به حیات نیستند (Flowers et al., 1986). حدوداً ۱۱/۱ درصد از فلور گیاهی جهان را شورزیست‌های مقاوم به شوری تشکیل می‌دهند که تعداد گونه‌های این گیاهان حدود ۳۶۴۰ گونه است (Yensen, 2006). ایران یکی از غنی‌ترین کشورهای دنیا در فلور گیاهی خود است و تاکنون بیش از ۶۲۰۰ گونه گیاهی در فلور آن شناسایی شده است. از این تعداد ۳۵۴ گونه آن را شورزیست‌ها تشکیل داده و روز به روز نیز با تکمیل مطالعات تعداد آنها افزایش می‌یابد (Yensen, 2006). شورزیست‌ها در خانواده‌های گیاهی مختلفی پراکنده شده‌اند. ۵۷ درصد شورزیست‌ها از ۱۳ خانواده می‌باشند که در این میان خانواده کنوپودیاسه (اسفناجیان) و خانواده گرامینه به ترتیب با دربرداشتن ۲۵ و ۱۰ درصد هالوفیت‌های دنیا در صدر این فهرست هستند (Kafi et al., 20109). استفاده از گیاهان شورزیست برای گیاه‌پالایی نمک از خاک در مطالعات مختلفی مورد توجه بوده است. مطالعه توانایی گیاه شورزیست سوئدا سالسا را برای گیاه‌پالایی نمک با کاشت آن در خاک شور در گلدان و نیز با آزمایش میدانی (KE-FU, 1991)، استفاده از گیاه سوئدا سالسا به عنوان گیاه همدم در کنار گوجه فرنگی و مطالعه اثر این گیاه بر شوری محیط رشد و بر رشد و عملکرد گوجه-فرنگی (Albaho and Green, 2000)، مطالعه شش گونه گیاهی شورزیست از نظر بازبایی زمین‌های شور (Ravindran et al., 2007)، مطالعه توانایی سه گیاه آرتروکنوموم ایندیکوم، سوئدا فروتیکوسا و سوسویوم پورتولاکستروم در شوری‌زدایی از محیط خاک (Rabhi et al., 2009)، مطالعه پتانسیل گیاه شورزیست سوسویوم پرتالاکستروم برای شوری‌زدایی از خاک شور (Rabhi et al., 2010)، مطالعه توانایی شورزیست‌های تکتوکورنیا ایندیکا، سوئدا فروتیکوسا و سوسویوم پرتالاکستروم برای شوری‌زدایی خاک (Zorrig et al., 2012) و مطالعه پتانسیل گیاه‌پالایی

آنتروپی هر معیار E_j به صورت زیر محاسبه می گردد و k به عنوان مقدار ثابت مقدار E_j را بین ۰ و ۱ نگه می دارد.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m [P_i \cdot \ln(P_i)] , \quad \text{رابطه ۱}$$

$$K = \frac{1}{\ln(m)}$$

که در آن $p(x)$ توزیع احتمال متغیر تصادفی x است. افزایش در آنتروپی شانون باعث افزایش عدم اطمینان و کاهش اطلاعات در مورد دانش متغیر تصادفی می شود.

گام چهارم: محاسبه مقدار (درجه انحراف)

درجه انحراف d_j بیان می کند شاخص مربوطه (C_j) چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم گیری در اختیار تصمیم گیرنده قرار می دهد. هر چه مقادیر اندازه گیری شده شاخصی به هم نزدیک باشند نشان دهنده آنست که گزینه های رقیب از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. لذا نقش آن شاخص در تصمیم گیری باید به همان اندازه کاهش یابد.

$$d_j = 1 - E_j, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۲}$$

گام پنجم: محاسبه وزن معیارها

مقدار وزن معیارها W_j از تقسیم هر d_j بر مجموع d_j ها به دست می آید.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^m d_j}, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۳}$$

۲-۲- روش تاپسیس

واژه تاپسیس مخفف کلمات انگلیسی معادل روش مرتب سازی ارجحیت بر اساس شباهت به حل ایده آل است و یکی از معروفترین روش های کلاسیک تصمیم گیری چندمعیاره است. این مدل توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد (Hwang and Yoon, 1981). در روش تاپسیس امکان استفاده از معیارهای کمی و کیفی به طور هم زمان وجود دارد. این روش جزء یکی از روش های تصمیم گیری چند معیاره از نوع جبرانی است. در این روش m گزینه به وسیله n شاخص ارزیابی می شود. اساس این تکنیک این مفهوم است که راه حلی باید انتخاب شود که کمترین فاصله را تا راه حل ایده آل مثبت (PIS) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده آل منفی (NIS) داشته باشد. راه حل ایده آل مثبت راه حلی است که معیار سود را افزایش و معیار هزینه را کاهش می دهد. گزینه ی بهینه، گزینه ای است که کمترین فاصله از راه حل ایده آل مثبت و در عین حال دورترین فاصله از راه حل ایده آل منفی دارد. به عبارتی در رتبه بندی گزینه ها به روش تاپسیس گزینه هایی که بیشترین تشابه را با راه حل ایده آل مثبت داشته باشند، رتبه بالاتری کسب می کنند. الگوریتم تاپسیس شامل گام های زیر است (Triantaphyllou, 2000):

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم

در تکنیک تاپسیس با استفاده از n معیار به ارزیابی m گزینه پرداخته می شود. بنابراین به هر گزینه بر اساس هر معیار امتیازی داده می شود. این امتیازات می تواند بر اساس مقادیر کمی و واقعی باشد یا اینکه

کرده و با توجه به معیارهایی که از منظر گیاه پالایی اهمیت دارند - مانند میزان تولید بیومس، مکانیزم مقاومت در برابر شوری، زمان گلدهی، پراکندگی جغرافیایی در ایران و قابلیت زراعی - و استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره، نسبت به انتخاب گونه های مناسب اقدام کرد. در این مقاله با محدود کردن کار غربالگری به تعدادی از گونه های گیاهی خانواده کنوود یاسه، از روش تصمیم گیری چند معیاره تلفیقی آنتروپی شانون - تاپسیس برای این منظور استفاده شده است.

۲- مواد و روش ها

در این مقاله غربالگری گیاهان شورزیست برای استفاده در گیاه پالایی نمک، به عنوان یک مساله تصمیم گیری چندمعیاره، ملاحظه شده و با استفاده از روش تاپسیس مورد بررسی قرار گرفته است. در مسائل تصمیم گیری چندمعیاره، هدف، انتخاب یک گزینه از بین چند گزینه بر اساس تعدادی معیار است. با توجه به این که در روش تاپسیس تنها به اولویت بندی گزینه ها پرداخته می شود، برای تعیین اولویت و یا وزن معیارها، باید یکی از روش های رتبه بندی معیارها مانند روش های تحلیل سلسله مراتبی، دیمتل و یا آنتروپی شانون استفاده کرد. در این مقاله برای این منظور از روش آنتروپی شانون استفاده شده است.

۲-۱- روش آنتروپی شانون

روش آنتروپی یکی از روش های تصمیم گیری چندمعیاره برای محاسبه وزن معیارها است. کلود شانون در سال ۱۹۴۸، آنتروپی شانون را معرفی کرد و پایه گذار نظریه اطلاعات شد (Shannon, 1948). آنتروپی بیان کننده مقدار عدم اطمینان در یک توزیع احتمال پیوسته است. ایده ی اصلی این روش آن است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. شانون نشان داد که وقایع با احتمال وقوع زیاد اطلاعات کمتری در اختیار می گذارند و برعکس هر چقدر احتمال وقوع یک رخداد کمتر باشد، اطلاعات حاصل از آن بیشتر است. با به دست آوردن اطلاعات جدید، در واقع عدم قطعیت کاهش یافته و ارزش اطلاعات جدید برابر با مقداری است که از عدم قطعیت کاسته شده است. در نتیجه عدم قطعیت و اطلاعات پارامترهایی وابسته به هم هستند.

روش آنتروپی شانون به عنوان یک روش تصمیم گیری چند معیاره، گام های زیر را دربر دارد (Mavi et. Al 2016):

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم

برای تشکیل این ماتریس تصمیم کافی است اگر معیارها کیفی هستند از عبارات کلامی، ارزیابی هر گزینه را نسبت به هر معیار بدست آوریم و اگر معیارها کمی هستند عدد واقعی آن ارزیابی را قرار دهیم. در شکل زیر که نشان دهنده ماتریس تصمیم است، ستون ها معیار و سطرها گزینه ها هستند. به عنوان مثال درایه x_{12} امتیاز گزینه اول نسبت به معیار دوم است.

$$D = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

گام دوم: نرمال سازی ماتریس تصمیم.

نرمال شدن به این صورت می باشد که درایه هر ستون را بر مجموع ستون تقسیم می کنیم. هر درایه نرمال شده را p_{ij} می نامیم.

گام سوم: محاسبه آنتروپی هر معیار.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad \text{رابطه ۶}$$

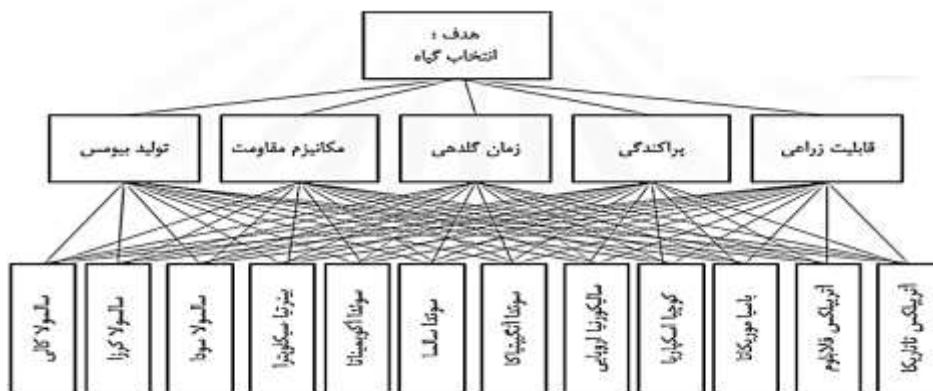
گام نهایی: محاسبه راه حل ایده آل در این گام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه حل ایده آل حساب می شود. برای این کار از فرمول زیر سود می بریم:

$$CL_j^+ = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad \text{رابطه ۷}$$

مقدار CL بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیک تر باشد راهکار به جواب ایده آل نزدیک تر است و راهکار بهتری است.

۲-۳- روش انجام تحقیق

برای انجام این تحقیق در مرحله نخست، با توجه به این که خانواده کنوپدیاسه بیشترین درصد گیاهان شورزیست را در خود جای داده است (Kafi et al., 2010)، با مراجعه به جلد ۳۸ کتاب فلور ایران (Assadi, 2001)، به عنوان انتخاب اولیه تعدادی از گونه های گیاهی یک ساله از این خانواده انتخاب شد. سعی شد که این انتخاب از جنس های مختلف شامل جنس های آترپلکس، باسیا، کوچیا، سوئدا، سالیکورنیا، بینرتیا و سالسولا باشد. پس از انتخاب گیاهان اولیه، معیارهایی که به نظر می رسید از منظر گیاه پالایی نمک حائز اهمیت هستند، انتخاب گردید. این معیارها شامل میزان تولید بیومس، مکانیزم مقاومت در برابر شوری، زمان گلدهی، پراکندگی جغرافیایی در ایران و قابلیت زراعی بود. شکل ۱ ساختار سلسله مراتبی مساله ی تصمیم مربوط به این تحقیق را نشان می دهد.



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی مساله

زمان گلدهی و در نتیجه کاهش جذب، بنابراین زمان دیرتر گلدهی مطلوبیت دارد. (۴) پراکندگی بیشتر نیز به معنی امکان دسترسی بیشتر به گیاه بوده و بنابراین مطلوب است. (۵) داشتن قابلیت کاشت به عنوان محصول زراعی با کاربردهای مختلف بالقوه و بالفعل نیز می تواند باعث تولید محصول جانبی مفید از فرایند گیاه پالایی شود و بنابراین مطلوب است. اطلاعات گیاهان در ارتباط با معیارهای فوق الذکر از

کیفی و نظری باشد. در هر صورت باید یک ماتریس تصمیم $m \times n$ در تشکیل شود.

$$D = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ A_1 & x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{matrix}$$

گام دوم: نرمال کردن ماتریس تصمیم

ماتریس تصمیم تشکیل شده، برای استفاده در مراحل بعد باید نرمال شود. برای نرمال سازی مقادیر از روش برداری استفاده می شود. روش برداری برخلاف روش ساده نرمال سازی خطی به صورت زیر انجام می شود:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad \text{رابطه ۴}$$

گام سوم: تشکیل ماتریس تصمیم نرمال موزون

برای تشکیل ماتریس نرمال موزون، وزن هر معیار - که قبلا از روش آنتروپی شانون محاسبه شده- در درایه های مربوط به آن معیار ضرب می شود.

گام چهارم: محاسبه ایده آل مثبت و ایده آل منفی

در این گام برای هر معیار یک ایده آل مثبت و یک ایده آل منفی محاسبه می شود. برای معیارهایی که بار مثبت دارند ایده آل مثبت بزرگترین مقدار آن معیار و ایده آل منفی کوچکترین مقدار آن معیار است. برای معیارهایی که بار منفی دارند ایده آل مثبت کوچکترین مقدار آن معیار و ایده آل منفی بزرگترین مقدار آن معیار است.

گام پنجم: فاصله از ایده آل های مثبت و منفی و محاسبه راه حل ایده آل در این گام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه حل ایده آل حساب می شود. فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده آل مثبت و منفی با فرمول زیر محاسبه خواهد شد.

دلایلی که در انتخاب این معیارها مد نظر بوده است عبارتند از: (۱) بیشتر بودن بیومس تولیدی امکان تجمع بیشتر نمک را فراهم می کند و از این لحاظ مطلوب است. (۲) در ارتباط با مکانیزم مقاومت در برابر شوری، گوستی بودن بافتهای گیاه در مقایسه با داشتن کرک و پرز مطلوبیت دارد چون کرک و پرزهای روی برگ گیاهان می تواند باعث برگشت بیشتر نمک به محیط گردد. (۳) به دلیل کوچکتر شدن برگها در

طبق روش گفته شده، امتیاز هر گیاه در ارتباط با هر معیار توسط نگارنده با مراجعه به مراجع تعیین گردید. بنابراین ماتریس اولیه تصمیم مطابق با جدول ۲ تشکیل شد. در گام نخست و برای اعمال روش آنتروپی شانون، ماتریس تصمیم بعد از تشکیل نرمال شد. برای نرمال کردن ماتریس تصمیم، تمام درایه‌های هر ستون بر مجموع آن ستون تقسیم شد. پس از تشکیل ماتریس نرمال، مقدار آنتروپی هر معیار محاسبه شد. در گام بعد درجه انحراف که در واقع تفاضل آنتروپی از یک است محاسبه شد. این مقادیر با تقسیم بر جمع آن‌ها نرمال شدند. این مقادیر نرمال شده در واقع همان وزن معیارها هستند که در روش تاپسیس به کار رفتند. مقادیر آنتروپی، درجه انحراف و وزن معیارها در جدول ۳ آورده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود بر اساس روش آنتروپی شانون معیار مکانیزم مقاومت در برابر شوری، بالاترین وزن را داشته و بنابراین حائز رتبه اول گشته است. معیارهای زمان گلدهی، میزان تولید بیومس، پراکندگی جغرافیایی در ایران و قابلیت زراعی، رتبه های دوم تا پنجم را به خود اختصاص داده‌اند.

کتاب فلور ایران و سایر مراجع استخراج شد (جدول ۱). با داشتن این اطلاعات امتیاز هر یک از گونه‌ها در ارتباط با هر معیار مشخص شد. برای تعیین امتیازها در مورد معیار تولید بیومس، ارتفاع گیاه به صورت کمی در نظر گرفته شد، در مورد معیار مکانیزم مقاومت، برای مکانیزم بافتهای گوشتی امتیاز ۷ و برای مکانیزم غده و کرک امتیاز ۳ در نظر گرفته شد، در مورد معیار زمان گلدهی، زمان گلدهی از ابتدای بهار بر حسب ماه به صورت کمی لحاظ شد، در مورد معیار پراکندگی جغرافیایی، تعداد نواحی وجود گیاه از بین نواحی ۹ گانه ایران به صورت کمی در نظر گرفته شد و در نهایت در مورد معیار قابلیت زراعی، به برخی از گیاهان مانند سالیکورنیا با قابلیت استخراج روغن، امتیاز ۷، برای گیاه کوچیا امتیاز ۵، گیاهان علوفه ای ۳ و سایر گیاهان فاقد قابلیت زراعی امتیاز ۱ در نظر گرفته شد. بنابراین ماتریس تصمیم مورد نیاز برای هر دو روش تنظیم گردید. با استفاده از روش آنتروپی شانون، وزن معیارها به دست آمد و با استفاده از روش تاپسیس به رتبه‌بندی گزینه‌ها پرداخته شد.

۳- نتایج و بحث

جدول ۱- خلاصه اطلاعات مربوط به گیاهان مد نظر برای مطالعه

نام گیاه	ارتفاع گیاه (cm) (Assadi, 2001)	مکانیزم مقاومت	زمان گلدهی (Assadi, 2001)	پراکندگی جغرافیایی (Assadi, 2001)	قابلیت زراعی
آتریپلکس تاتاریکا	۱۰۰	غده و کرک	اواخر تابستان	شمال، شمال غرب، غرب، شرق، شمال شرق و مرکز	ندارد
آتریپلکس فلاپلوم	۵۲	غده و کرک	بهار	شمال شرق	ندارد
باسیا موریکاتا	۳۲	غده و کرک	اواخر زمستان	جنوب شرق	ندارد
کوچیا اسکپاریا	۷۰	غده و کرک	تابستان	کل ایران	دارد
سالیکورنیا اروپایی	۳۶	برگهای گوشتی	پاییز	کل ایران به جز جنوب غرب	دارد
سوئدا آنگیتیاکا	۶۰	برگهای گوشتی	تابستان و پاییز	جنوب، جنوب شرق و مرکز	ندارد
سوئدا سالسا	۲۰	برگهای گوشتی	پاییز	شمال	ندارد
سوئدا آکومیناتا	۸۰	برگهای گوشتی	تابستان و پاییز	شمال غرب، غرب، جنوب	ندارد
بینرتیا سیکلوپترا	۶۰	برگهای گوشتی	اواخر تابستان	شمال غرب، جنوب، جنوب شرق، شرق و شمال شرق، مرکز	ندارد
سالسولا سودا	۸۰	برگهای گوشتی	اوایل پاییز	شمال غرب، شمال شرق و مرکز	ندارد
سالسولا کرزا	۴۰	برگهای گوشتی	اوایل پاییز	شمال، شمال غرب، غرب، جنوب، جنوب شرق، شرق و شمال شرق	تا حدودی
سالسولا کالی	۱۰۰	برگهای گوشتی	اواخر تابستان	شمال، شمال غرب، مرکز و شمال شرق	ندارد

جدول ۲- ماتریس تصمیم اولیه استفاده شده در روش آنتروپی شانون و تاپسیس

قابلیت زراعی	پراکندگی جغرافیایی	زمان گلدهی	مکانیزم مقاومت	تولید بیومس	گونه گیاهی
۱	۶	۶	۳	۱۰۰	آتریپلکس تاتاریکا
۱	۱	۱	۳	۵۲	آتریپلکس فلاپلوم
۱	۱	۱۱	۳	۳۲	باسیا موریکاتا
۵	۹	۵	۳	۷۰	کوچیا اسکپاریا
۷	۸	۸	۷	۳۶	سالیکورنیا اروپایی
۱	۳	۶	۷	۶۰	سوئدا آنگیتیاکا
۱	۱	۸	۷	۲۰	سوئدا سالسا
۱	۳	۶	۷	۸۰	سوئدا آکومیناتا
۱	۶	۶	۷	۶۰	بینرتیا سیکلوپترا
۱	۳	۷	۷	۸۰	سالسولا سودا
۳	۷	۷	۷	۴۰	سالسولا کرزا
۱	۴	۶	۷	۱۰۰	سالسولا کالی

جدول ۳- مقادیر آنتروپی، درجه انحراف و وزن معیارها

قابلیت زراعی	پراکندگی جغرافیایی	زمان گلدهی	مکانیزم مقاومت	تولید بیومس		
۱/۵۴۲۱	۱/۶۴۳۸	۱/۷۴۰۴	۱/۷۴۷۹	۱/۷۲۸۵	E_j	آنتروپی هر معیار
۰/۵۴۲۱	-۱/۶۴۳۸	۰/۷۴۰۴	-۰/۷۴۷۹	-۰/۷۲۸۵	d_j	درجه انحراف
۰/۱۵۹۳	-۰/۱۸۹۲	۰/۳۱۷۶	-۰/۲۱۹۸	-۰/۲۱۴۱	W_j	وزن نرمال شده
۵	۴	۲	۱	۳	RANK	رتبه

رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شدند. در جدول ۴ مقادیر فواصل هر یک از گونه‌های گیاهی از گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی و نیز ضرایب نزدیکی به گزینه‌ی ایده‌آل به انضمام رتبه هر گونه آورده شده است. ضرایب نزدیکی به گزینه‌ی ایده‌آل مربوط به گونه‌های مورد مطالعه در شکل ۲ نیز ترسیم شده است. همان‌طور که در جدول ۴ و شکل ۳ مشاهده می‌شود، از منظر استفاده برای گیاه‌پالایی نمک، گونه گیاهی آتریپلکس تاتاریکا از بالاترین اولویت ($CL+=0.734$) و رتبه اول برخوردار بوده و پس از آن باسیا موریکاتا در رتبه دوم قرار گرفته است ($CL+=0.695$). رتبه‌های سوم تا پنجم به ترتیب به گیاهان سالسولا کالی ($CL+=0.585$)، سالسولا سودا ($CL+=0.578$) و سوئدا آکوئیمیناتا ($CL+=0.537$) اختصاص یافته است.

پس از تعیین وزن معیارها، رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش تاپسیس انجام شد. برای این منظور نیز ماتریس تصمیم جدول ۲ استفاده شد. با این تفاوت که در این مورد برای نرمال سازی ماتریس تصمیم از رابطه ۶ استفاده شد. ماتریس نرمال حاصل با ضرب مقادیر ذیل هر معیار در وزن آن معیار، وزن‌دار گردید و مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی مربوط به هر معیار محاسبه شدند. با توجه به این که همه معیارهای مساله از نوع معیارهای مثبت هستند، ایده‌آل مثبت بزرگ‌ترین مقدار ذیل هر معیار و ایده‌آل منفی کوچک‌ترین مقدار ذیل آن معیار بود. در گام بعد ضرایب نزدیکی به گزینه‌ی ایده‌آل مثبت از رابطه ۷ و ضرایب نزدیکی به گزینه‌ی ایده‌آل منفی از رابطه ۸ برای هر کدام از گیاهان محاسبه گردیدند. در نهایت با استفاده از رابطه ۹ ضرایب نزدیکی به گزینه‌ی ایده‌آل برای هر کدام از گیاهان محاسبه شد. این ضرایب نشان دهنده اولویت نسبی گزینه‌ها هستند که برای

جدول ۴- مقادیر فواصل گزینه‌ها از گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی و ضرایب نزدیکی به گزینه ایده‌آل

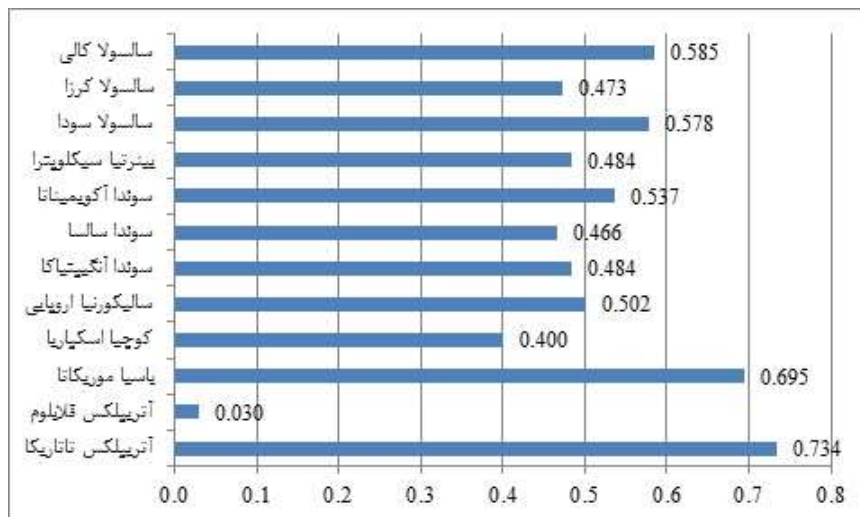
رتبه	ضریب نزدیکی به گزینه‌ایده‌آل	فاصله از ایده‌آل منفی	فاصله از ایده‌آل مثبت	
۱	۰/۷۳۴	۰/۰۲	۰/۰۱	آتریپلکس تاتاریکا
۱۲	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۳	آتریپلکس فلاپلوم
۲	۰/۶۹۵	۰/۰۳	۰/۰۱	باسیا موریکاتا
۱۱	۰/۴۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	کوچیا اسکپاریا
۶	۰/۵۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	سالیکورنیا اروپایی
۷	۰/۴۸۴	۰/۰۳	۰/۰۳	سوئدا آنگینتیکا
۱۰	۰/۴۶۶	۰/۰۳	۰/۰۴	سوئدا سالسا
۵	۰/۵۳۷	۰/۰۳	۰/۰۳	سوئدا آکوئیمیناتا
۷	۰/۴۸۴	۰/۰۳	۰/۰۳	بینرتیا سیکلوپترا
۴	۰/۵۷۸	۰/۰۴	۰/۰۳	سالسولا سودا
۹	۰/۴۷۳	۰/۰۳	۰/۰۳	سالسولا کرزا
۳	۰/۵۸۵	۰/۰۴	۰/۰۳	سالسولا کالی

از میان گیاهان مورد بحث در این تحقیق، می‌توان تمرکز را بر روی ۵ گیاه اول فهرست قرار داد. بدیهی است که این مقاله با هدف معرفی روشی نظام‌مند برای غربال‌گری گیاهان شورزیست مورد استفاده در تحقیقات گیاه‌پالایی نمک تدوین یافته و بنابراین به عنوان مثال، مطالعه را محدود به ۱۲ گونه گیاهی از یک خانواده نموده است و بنابراین از این حیث دارای محدودیت است. می‌توان گونه‌های گیاهی را به دیگر گیاهان خانواده کنوپودیاسه و خانواده‌های دیگر نیز تسری داد تا نتایج به واقعیت نزدیکتر باشند. همچنین می‌توان در معیارها نیز بازنگری نمود. به عنوان مثال استفاده از ارتفاع به عنوان شاخص تولید بیومس ممکن است مقرون به واقعیت نبوده و در مورد گیاهان با ارتفاع کم و رشد عرضی زیاد در مقایسه با گیاهان بلند لاغر، باعث ایجاد

علیرغم این که معیار مکانیزم مقاومت، در بین معیارهای پنجگانه از بالاترین اولویت برخوردار بود و پیش‌بینی می‌شد که رتبه‌های اول به گیاهان دارای این مکانیزم تعلق گیرد ولی بر خلاف این انتظار دو گیاه با مکانیزم غده و کرک رتبه اول و دوم را کسب کرده‌اند. دلیل این امر را می‌توان اینگونه توضیح داد که با توجه به این که وزن سه معیار مکانیزم مقاومت، تولید بیومس و زمان گلدهی نزدیک به یکدیگر هستند، اختلاف فاحش در امتیاز یک گیاه در یکی این سه معیار نسبت به گیاهان دیگر می‌تواند در امتیاز نهایی گیاه تاثیر بگذارد. در مورد گیاه آتریپلکس تاتاریکا این اختلاف فاحش به تولید بیومس مربوط بوده و در مورد گیاه باسیا موریکاتا به زمان گلدهی مربوط بوده است. بنابر نتایج فوق‌الذکر به نظر می‌رسد برای انجام مطالعات گیاه‌پالایی نمک،

لیست گزینه‌های مورد ارزیابی را از گونه‌های گیاهی موجود در آن سایت تشکیل داد. همچنین می‌توان در مطالعات غربال‌گری مبتنی بر اندازه‌گیری میدانی نیز روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را برای جمع‌بندی نتایج و تشخیص پتانسیل گیاه‌پالایی گیاهان موجود در سایت‌های آلوده به آلاینده‌های مختلف به کار برد.

اشتباه در ارزیابی شود. استفاده از وزن خشک به جای ارتفاع، هر چند که مستلزم اندازه‌گیری میدانی است، می‌تواند این مشکل را رفع نماید. با توجه به این که در صورت تمرکز غربال‌گری بر روی یک یا چند خانواده، ممکن است در لیست گیاهان مورد ارزیابی، گونه‌هایی باشند که رویشگاه خاص داشته و دور از دسترس محقق باشند؛ می‌توان مطالعه را به جای یک خانواده بر روی یک سایت شور متمرکز کرد و



شکل ۲- امتیاز نهایی گیاهان

استفاده از روش آنترپی شانون به تعیین وزن معیارها و با استفاده از روش تاپسیس به تعیین اولویت گونه‌های گیاهی مختلف اقدام شد. نتایج حاکی از آن بود دو گیاه آنریلیکس تاتاریکا و باسیا موریکاتا حائز رتبه‌های اول و دوم شده‌اند. به نظر می‌رسد که استفاده از روش پیشنهادی در این تحقیق بر خلاف برخی تحقیقات غربال‌گری گیاهان برای تعیین پتانسیل گیاه‌پالایی آنها که مستلزم صرف زمانی برابر با دوره رشد گیاهان هستند، وقت کمتری را صرف این کار مقدماتی نماید. ضمن این که می‌توان با برخی اصلاحات از قبیل افزایش تعداد گیاهان مورد ارزیابی، اصلاح برخی معیارها و اصلاح جامعه اصلی، کارایی این روش را در تخمین بهتر گیاهان مناسب‌تر برای گیاه‌پالایی نمک، افزایش دهد.

۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف ارائه یک روش نظام‌مند برای غربال‌گری گیاهان شورزیست برای استفاده در گیاه‌پالایی نمک تدوین گردید. برای این منظور با توجه به این که درصد قابل توجهی از گیاهان شورزیست متعلق به خانواده کنوپودیاسه هستند، مطالعه بر روی گونه‌های گیاهی متعلق به این خانواده محدود و متمرکز شد. تعداد ۱۲ گونه‌ی گیاهی یک‌ساله از این خانواده انتخاب و بر اساس معیارهای مختلفی مانند میزان تولید بیومس، مکانیزم مقاومت در برابر شوری، زمان گلدهی، پراکندگی جغرافیایی در ایران و قابلیت زراعی به رتبه‌بندی آنها از منظر کاربرد برای گیاه‌پالایی نمک پرداخته شد. برای رتبه‌بندی از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تلفیقی آنترپی شانون- تاپسیس استفاده شد. امتیاز هر گیاه در ارتباط با هر معیار از مراجع مکتوب به دست آمد و با

منابع

- Albaho, M.S., Green, J.L., 2000. Suaeda salsa, A Desalinating Companion Plant for Greenhouse Tomato. HORTSCIENCE 35, 620-623.
- Asensio, V., G. Flórido, F., Ruiz, F., Perlatti, F., Otero, X., Ferreira, T.O., 2018. Screening of native tropical trees for phytoremediation in copper-polluted soils. International journal of phytoremediation 20, 1456-1463.
- Assadi, M., 2001. FLORA OF IRAN. Research Institute of Forests And Rangelands, Iran.
- Basra, A., 1997. Mechanisms of environmental stress resistance in plants. CRC Press.
- Devi, S., Nandwal, A., Angrish, R., Arya, S., Kumar, N., Sharma, S., 2016. Phytoremediation potential of some halophytic species for soil salinity. International journal of phytoremediation 18, 00-00.
- Farzi, A., Borghei, S.M., Vossoughi, M., 2017. The Use of Halophytic Plants for Salt Phytoremediation in Constructed Wetlands. International Journal of Phytoremediation, 00-00.

- Farzi, A., Borghei, S., 2019. Modeling of salt phytoremediation in constructed wetlands containing halophytic plants using Artificial Neural Network. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(2), 1373-1380.
- Flowers, T.J., Hajibagheri, M.A., Clipson, N.J.W., 1986. Halophytes. *The Quarterly Review of Biology* 61, 313-337.
- Freedman, A., Gross, A., Shelef, O., Rachmilevitch, S., Arnon, S., 2014. Salt uptake and evapotranspiration under arid conditions in horizontal subsurface flow constructed wetland planted with halophytes. *Ecological Engineering* 70, 282-286.
- Greipsson, S., 2011. Phytoremediation. *Nature Education Knowledge* 3, 7.
- Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, New York, USA.
- Ikeura, H., Kawasaki, Y., Kaimi, E., Nishiwaki, J., Noborio, K., Tamaki, M., 2016. Screening of plants for phytoremediation of oil-contaminated soil. *International journal of phytoremediation* 18, 460-466.
- Kafi, M., Salehi, M., Eshgizadeh, H., 2010. *Biosaline Agriculture*, 1 ed. Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- KE-FU, Z., 1991. Desalinization of saline soils by Suaeda salsa. *Plant and Soil* 135, 303-305.
- Marrugo-Negrete, J., Marrugo-Madrid, S., Pinedo-Hernández, J., Durango-Hernández, J., Díez, S., 2016. Screening of native plant species for phytoremediation potential at a Hg-contaminated mining site. *Science of the total environment* 542, 809-816.
- Mavi, R. K., Goh, M., & Mavi, N. K. (2016). Supplier selection with Shannon entropy and fuzzy TOPSIS in the context of supply chain risk management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 235, 216-225.
- Rabhi, M., Ferchichi, S., Jouini, J., Hamrouni, M.H., Koyro, H.-W., Ranieri, A., Abdelly, C., Smaoui, A., 2010. Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop. *Bioresource Technology* 101 6822-6828.
- Rabhi, M., Hafsi, C., Lakhdar, A., Hajji, S., Barhoumi, Z., Hamrouni, M.H., Abdelly, C., Smaoui, A., 2009. Evaluation of the capacity of three halophytes to desalinize their rhizosphere as grown on saline soils under nonleaching conditions. *African Journal of Ecology* 47, 463-468.
- Ravindran, K.C., Venkatesan, K., Balakrishnan, V., Chellappan, K.P., Balasubramanian, T., 2007. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology & Biochemistry* 39, 2661-2664.
- Rozema, E.R., Gordon, R.J., Zheng, Y., 2014. Plant Species for the Removal of Na⁺ and Cl⁻ from Greenhouse Nutrient Solution. *HortScience* 49, 1071-1075.
- Shannon, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell system technical journal* 27, 379-423.
- Shelef, O., Gross, A., Rachmilevitch, S., 2012. The use of *Bassia indica* for salt phytoremediation in constructed wetlands. *water research* 46, 3967-3976.
- Sidella, S., Barbosa, B., Costa, J., Cosentino, S., Fernando, A., 2016. Screening of Giant reed clones for Phytoremediation of lead contaminated soils. *Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World*. Springer, pp. 191-197.
- Singh, A., 2015. Soil salinization and waterlogging: A threat to environment and agricultural sustainability. *Ecological indicators* 57, 128-130.
- Triantaphyllou, E., 2000. *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Springer, US.A.
- Xiao, R., Shen, F., Du, J., Li, R., Lahori, A.H., Zhang, Z., 2018. Screening of native plants from wasteland surrounding a Zn smelter in Feng County China, for phytoremediation. *Ecotoxicology and environmental safety* 162, 178-183.
- Yensen, N.P., 2006. Halophyte uses for the twenty-first century. *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants* 40, 367-396.
- Zorrig, W., Rabhi, M., Ferchichi, S., Smaoui, A., Abdelly, C., 2012. Phytodesalination: a Solution for Salt-affected Soils in Arid and Semi-arid Regions. *Journal of Arid Land Studies* 22, 299 -302.