



## ارزیابی زیست‌محیطی سد گتوندعلیا با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی

سامان جوادی پیربازاری<sup>۱</sup>، کورش محمدی<sup>۲</sup> و احمد خدادادی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۳- استادیار گروه مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

Saman.Javadi@gmail.com

### خلاصه

سد مخزنی گتوندعلیا در منطقه گتوند- شوشتر به عنوان آخرین سدی است که بر رودخانه کارون احداث می‌شود. در این تحقیق با توجه به حجم عظیم مخزن سد و بالآمدگی رودخانه تا رقوم ۲۴۵ متری و در نتیجه اثرهای زیست‌محیطی نامطلوب آن، به ارزیابی زیست‌محیطی آن با استفاده از روش رویهم‌گذاری نقشه‌ها پرداخته و سپس نتایج به دست آمده از آن، با منطق فازی نیز مقایسه گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد، مساحتی از اراضی که به زیر آب می‌رود از لحاظ اکولوژیکی دارای ارزش چندان زیادی نبوده، مهمترین کاربری آن یعنی توسعه جنگل تنها ۷ درصد اراضی مستعد را تشکیل می‌دهد. همچنین استفاده از منطق فازی در روش مذکور، کم اهمیت نبوده است. به طوری که درصدهای مربوط به مدل توسعه جنگل‌کاری را تغییر قابل ملاحظه‌ای داشته و طبقه خوب را از ۷ درصد به ۱۲ درصد و طبقه متوسط آن را از ۳۰ درصد به ۴۵ درصد رسانده است. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از منطق بولین یا فازی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در طبقه‌بندی داشته باشد.

**کلید واژگان:** ارزیابی زیست‌محیطی، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، سد گتوند، منطق فازی

### مقدمه

انسان موثرترین و مهمترین عامل تغییرات زیست‌محیطی می‌باشد. فعالیت‌های انسان در راستای توسعه به هر طریقی که باشد اثرهای مختلفی بر محیط خواهد داشت، اما نمی‌توان این فعالیت‌ها را که جنبه حیاتی برای بقای انسان دارد محدود نمود. بلکه باید متناسب با نیازهای حال و آینده هر چه بیشتر در توسعه و تکامل آن تلاش شود، مشروط بر آن که به بهای نابودی محیط‌زیست و منابع طبیعی نباشد. با توجه به اینکه توسعه و محیط زیست دو موضوع جدایی ناپذیر می‌باشند، ضروری است که با دستیابی و استفاده از ابزارهای مدیریت محیط‌زیست در کلیه برنامه‌های توسعه حداقل خسارت به منابع و محیط‌زیست وارد شود [۱]. امروزه سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) بیش از چهل سال می‌باشد که به عنوان یکی از ابزارهای توانمند کامپیوتری وارد بسیاری از علوم، از جمله مسایل مربوط به منابع آب و محیط‌زیست شده است. اما یکی از استفاده‌های GIS در ارزیابی زیست-محیطی سد، روش رویهم‌گذاری نقشه می‌باشد. این روش بدون استفاده از GIS از اواخر دهه ۶۰ میلادی پیشنهاد گردید و اولین بار در انتخاب مسیرهای مناسب جهت احداث یک بزرگراه مورد استفاده قرار گرفته و از این طریق اثرهای احداث این بزرگراه به تصویر کشیده شد [۲].

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

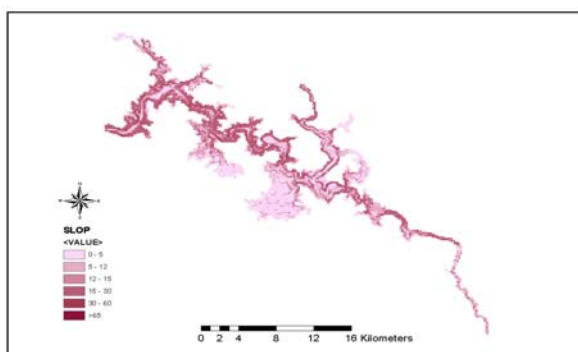
<sup>۲</sup> دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران kouroshm@modares.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

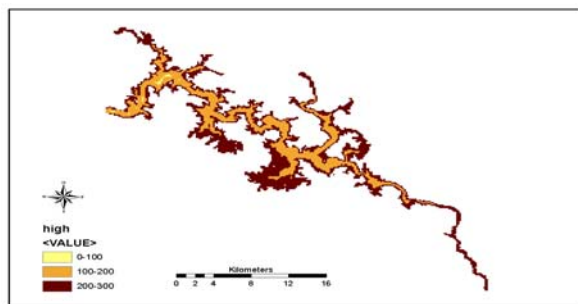


### تهیه نقشه شیب، ارتفاع و جهت‌های جغرافیایی

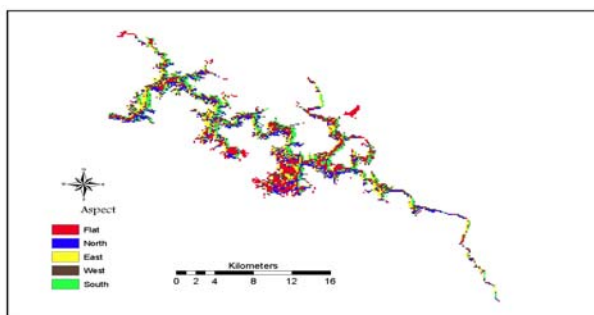
برای تهیه نقشه‌های فوق ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه، نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM<sup>1</sup>) که شامل محدوده مخزن و خطوط تراز داخلی تا ارتفاع ۲۴۰ متر (رقومی که زیر آب می‌رود) می‌باشد استخراج گردید. سپس با قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS می‌توان نقشه شیب منطقه را برحسب درصد تهیه نمود. بنابراین به منظور تهیه توان اکولوژیکی محدوده مطالعاتی طرح گتوندعلیا، نقشه شیب در شش طبقه استخراج شد. شکل (۲) طبقات شیب را در شش طبق مذکور نشان می‌دهد. همچنین مناطق با شیب کمتر از ۱۰٪ به عنوان مسطح (P) در نظر گرفته شده است. خطوط منحنی میزان نقشه توپوگرافی نوسانات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه را در اختیار می‌گذارند. اما با تهیه نقشه طبقات ارتفاعی از DEM می‌توان نوسان‌های ارتفاع را آسانتر و سریعتر تشخیص داد [۱۳]. شکل (۳) نقشه نوسان‌های ارتفاعی را همراه با طبقات در نظر گرفته شده نشان می‌دهد. برای تهیه نقشه جهت‌های جغرافیایی نیز از ویژگی‌های خطوط منحنی میزان بر روی نقشه توپوگرافی به اضافه سایر ویژگی‌های این گونه نقشه‌ها مانند رودخانه‌ها، نهرها، آبراهه‌ها و ... استفاده می‌شود. نقشه جهت‌های جغرافیایی به علت آسان‌تر دیدن جهت دامنه‌ها در مطالعات استفاده می‌شود. در این تحقیق نقشه جهت‌های جغرافیایی در پنج طبقه اصلی جهت‌ها یعنی شمال، جنوب، غرب، شرق و مسطح استخراج گردید. در تهیه نقشه جهت‌های جغرافیایی از وارد نمودن جهت‌های فرعی جغرافیایی در طبقه‌بندی پرهیز شده است. شکل (۴) نقشه جهت‌های جغرافیایی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نقشه شیب منطقه مورد مطالعه در طبقات مختلف



شکل ۳- نقشه ارتفاع منطقه مورد مطالعه در طبقات مختلف



شکل ۴- نقشه جهت‌های جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در طبقات مختلف

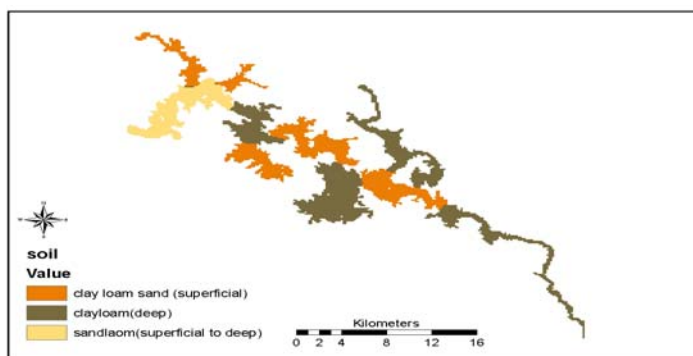
<sup>1</sup> Digital Elevation Model

### تهیه نقشه خاک، پوشش گیاهی، تراکم و منابع آب

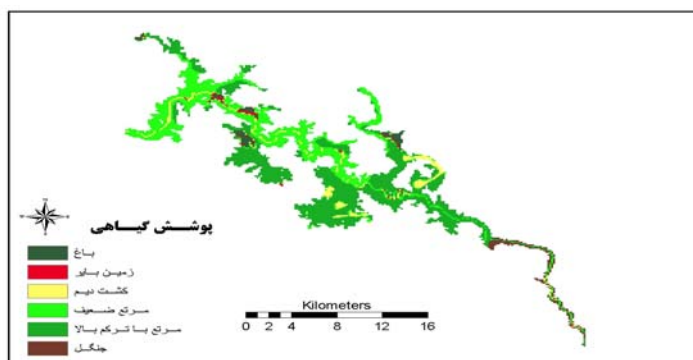
نقشه خاک با استفاده از لوگ‌های حفاری منطقه که به صورت پراکنده و در اعماق متفاوت پراکنده می‌باشد، استخراج گردید که دارای سه نوع خاک می‌باشد (لومی شنی، رسی لومی شنی و لومی رسی). شکل (۵) منطقه مورد مطالعه را همراه با نوع خاک نشان می‌دهد. البته شایان ذکر است مناطقی با خاک متفاوت در بین مناطق دیگر وجود داشته که به علت کوچک بودن مساحت آنها جز طبقه بزرگ‌تر در نظر گرفته شده‌اند.

یکی دیگر از نقشه‌های مورد نیاز جهت مشخص کردن توان اکولوژیکی یک منطقه، نقشه پوشش گیاهی به همراه تراکم آن می‌باشد. زیرا برای تمامی مدل‌های ارایه شده این دو پارامتر بسیار تعیین‌کننده می‌باشند. شکل‌های (۶) و (۷) به ترتیب نقشه پوشش گیاهی و تراکم منطقه می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین سطح پوشش مرتع بوده و قسمت‌های کمی از آن نیز دارای پوشش جنگل می‌باشد. همچنین قسمت‌هایی از منطقه توسط ساکنین محل به کشت دیم و آب (باغ‌های منطقه) اختصاص یافته است.

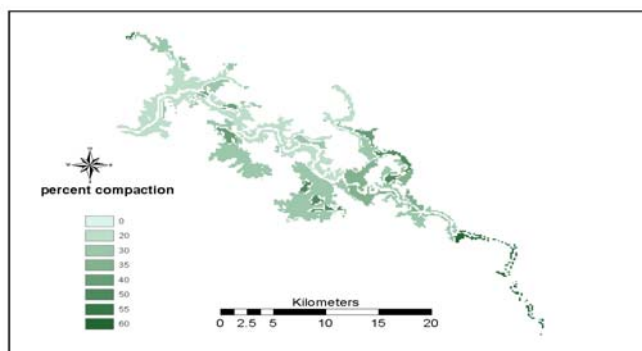
دو نقشه اقلیم و منابع آب منطقه می‌بایست در تعیین توان اکولوژیکی منطقه وارد شده، اما در منطقه مورد مطالعه به علت یکنواختی نسبی، تمام منطقه دارای یک اقلیم مشخص (با روش آمبرژه) یعنی اقلیم گرم و نیمه خشک می‌باشد. همچنین منابع آب منطقه نیز در محدوده مطالعاتی به رودخانه دایمی یا فصلی تقسیم می‌شود که به علت کمبود مکان از آوردن آن خودداری شده است.



شکل ۵- نقشه خاک منطقه مورد مطالعه در طبقات مختلف



شکل ۶- نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در طبقات مختلف



شکل ۷- نقشه تراکم منطقه مورد مطالعه در طبقات مختلف

### کاربرد منطق فازی در ارزیابی زیست‌محیطی

در ارزیابی زیست‌محیطی به روش رویهم‌گذاری نقشه‌ها، مدل‌های به کار گرفته شده از منطق بولین پیروی می‌کنند. در این روشها توان اکولوژیکی و شرایط زیست‌محیطی یک منطقه با پدید آمدن یک تغییر جزئی در هر پارامتر موثر در ارزیابی ممکن است از یک طبقه به طبقه دیگر جابجا شود. به

عنوان مثال در مدل اکولوژیکی کاربری جنگل کاری مشاهده می‌شود که اگر در یک منطقه مقدار شیب از ۱۲ درصد به ۱۳ درصد برسد، منطقه مورد نظر از لحاظ اکولوژیکی جز منطقه‌ای با محدودیت متوسط از نظر جنگلکاری قرار می‌گیرد. حال آنکه در واقعیت توان اکولوژیکی هیچ منطقه‌ای با تغییر یک درصد شیب، تغییر نخواهد کرد. بنابراین به نظر می‌رسد که با استفاده از تئوری فازی بتوان با برطرف نمودن این مشکل، به روشی مناسب‌تر برای ارزیابی شرایط زیست محیطی دست یافت.

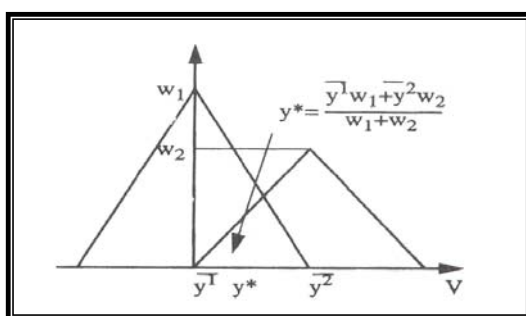
برای تکمیل یک سیستم کنترل فازی که به وسیله گزاره‌های شرطی "اگر-آنگاه" انجام می‌پذیرد، مراحل زیر لازم است:

فازی سازی مقادیر قطعی ورودی

بیان قواعد سیستم و روش استنتاج

دی‌فازی‌سازی مقادیر فازی خروجی

در این تحقیق، تابع عضویت مثلثی جهت فازی‌سازی مقادیر قطعی انتخاب شده، همچنین سیستم فازی انتخابی بر حسب موضوع، سیستم فازی‌ساز و غیر فازی‌ساز بوده و از غیرفازی‌ساز میانگین مراکز مطابق شکل (۸) برای دی‌فازی سازی مقادیر فازی خروجی استفاده شده است. علت انتخاب تابع عضویت مثلثی، سادگی آن و همچنین عدم پیچیدگی عوامل انتخاب شده برای طبقه بندی فازی در تحقیق حاضر بود.



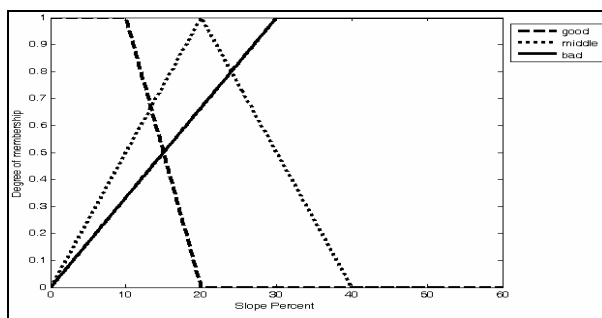
شکل ۸: نمایش گرافیکی غیر فازی سازی میانگین مراکز

#### پارامترهای ورودی

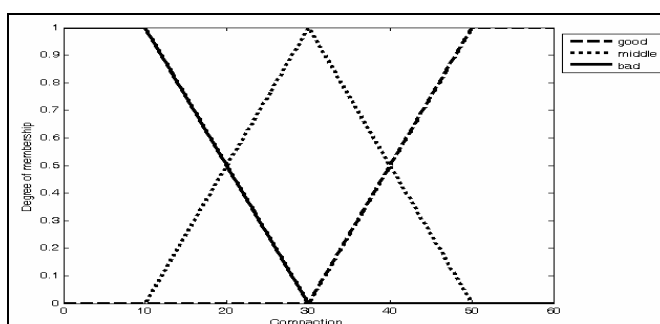
اولین گام در طراحی یک سیستم فازی مشخص نمودن متغیرهای ورودی به مدل می‌باشد. متغیرهای ورودی به مدل فازی، ارزیابی توان اکولوژیکی برای کاربری جنگل کاری همان متغیرهای در نظر گرفته شده برای این امر، در مدل ارائه شده در منطق بولین می‌باشد. این متغیرها شامل ارتفاع، شیب، تراکم و نوع خاک می‌باشد. همچنین با توجه به مدل بولین، در منطق فازی نیز برای هر متغیر ورودی در دامنه تعریف آن سه مجموعه فازی خوب، متوسط و ضعیف یا نامناسب (که با حروف انگلیسی مشخص شده‌اند) تعریف شده و برای هر یک از مجموعه‌های فوق یک تابع عضویت مشخص گردید. در این تحقیق به علت اینکه ارتفاع زمین از سطح دریا برای تمام نقاط منطقه مورد بررسی کمتر از ۱۰۰۰ می‌باشد، لذا در نظر گرفتن این پارامتر به عنوان یک پارامتر ورودی فقط سبب افزایش تعداد قواعد موجود در پایگاه قواعد شده و بر روی نتایج حاصله اثری نداشت. همچنین از آنجا که متغیر نوع خاک یک متغیر کیفی می‌باشد، برای استفاده از آن در مدل فازی با توجه به نوع خاک و تاثیر آن در توان اکولوژیکی منطقه برای جنگل کاری، برای هر نوع خاک موجود در منطقه یک عدد به عنوان وزن در نظر گرفته شد. شکل‌های (۹) و (۱۰) دامنه تغییرات متغیرهای ورودی و مجموعه‌های فازی در نظر گرفته شده در دامنه تغییر هر متغیر را نشان می‌دهد.

#### استخراج پایگاه قواعد

در این تحقیق از مدل‌های مذکور که در جدول‌های (۲) تا (۵) برای تشکیل یک پایگاه قواعد فازی کامل و سازگار استفاده شده است. در این پایگاه قواعد فازی با توجه به متغیرهای ورودی (ارتفاع، شیب، تراکم و نوع خاک) و مجموعه‌های فازی تعریف شده برای هر یک از این متغیرها در دامنه تعریف آنها و ترکیب‌های مختلف ممکن از این مجموعه‌های فازی، توان اکولوژیکی منطقه برای جنگل کاری برای هر یک از این ترکیب‌ها بصورت یک عدد (وزن) در نظر گرفته شده است. در هر ترکیب از پارامترهای ورودی چنانچه وزن ترکیب (عدد مربوط به بخش آنگاه قواعد فازی) به عدد یک نزدیک باشد، نشان‌دهنده آن است که توان اکولوژیکی یک منطقه با داشتن چنین خصوصیات برای جنگل کاری بالا است. پایگاه قواعد از ۲۷ قاعده تشکیل می‌شود که در جدول (۶) آمده است.



شکل ۱۰: تابع عضویت درصد شیب بالادست سد



شکل ۱۱: تابع عضویت تراکم پوشش گیاهی بالادست سد

جدول ۶: پایگاه قواعد پارامترهای مدل اکولوژی توسعه جنگل کاری و جنگلداری

شیب	تراکم	خاک	وزن	شیب	تراکم	خاک	وزن
A	D	G	1	B	E	I	0.25
A	D	H	0.85	B	F	G	0.1
A	D	I	0.75	B	F	H	0.05
A	E	G	0.75	B	F	I	0
A	E	H	0.6	C	D	G	0.85
A	E	I	0.5	C	D	H	0.75
A	F	G	0.25	C	D	I	0.5
A	F	H	0.1	C	E	G	0.6
A	F	I	0	C	E	H	0.4
B	D	G	0.85	C	E	I	0.3
B	D	H	0.75	C	F	G	0.2
B	D	I	0.5	C	F	H	0.1
B	E	G	0.6	C	F	I	0
B	E	H	0.5				

:

$$A = - \quad D = \quad G = ( \quad )$$

$$B = - \quad E = \quad H = ( \quad )$$

$$C = - \quad F = \quad I = ( \quad )$$

#### نحوه برنامه نویسی

پس از تعریف توابع عضویت برای متغیرهای ورودی در دامنه تعریف آنها، استخراج پایگاه قواعد و انتخاب نوع روش استلزام فازی، مدل ارزیابی توان اکولوژیکی برای کاربری جنگل کاری با روش فازی در نرم افزار *Matlab 6.0* برنامه نویسی شد. سطح منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شامل ۷۶۶ سلول مساحتی می باشد که برای هر یک از این سلولها مقادیر متغیرهای ورودی شیب و تراکم و نوع خاک مشخص شده و به مدل وارد می شود. ابتدا



به کمک توابع عضویت تعریف شده، متغیرهای ورودی هر سلول به مجموعه‌های فازی تبدیل می‌شوند و هر سلول درجه‌ای بین ۰ تا ۱ اختیار می‌کند. در گام بعدی، با استفاده از پایگاه قواعد فازی برای هر قاعده موجود در این پایگاه یک خروجی فازی تولید می‌شود. برای همه سلول‌ها ۷۶۶ عدد به عنوان خروجی مدل تولید شد. به منظور ارزیابی کمی کل منطقه و با توجه به اینکه اعداد بدست آمده بعنوان خروجی از مدل برای هر سلول مقداری بین ۰ تا ۱ می‌باشند، در این فاصله سه طبقه برای کاربری جنگل کاری در نظر گرفته شد. این طبقه‌ها عبارت بودند از: کلاس بد (۰-۰/۱۲)، کلاس متوسط (۰/۱۲-۰/۳۶) و کلاس خوب (۰/۳۶-۱). در نتیجه‌گیری نهایی با مشخص شدن تعداد سلول‌هایی که در هر یک از طبقه‌های فوق قرار می‌گیرند، می‌توان درصد مساحتی که توسط هر یک از طبقه‌های فوق پوشش داده می‌شوند را مشخص نمود.

## نتایج و بحث

### تجزیه و تحلیل نقشه‌ها با استفاده از مدل‌های اکولوژیکی در ArcGIS

مدل‌های اکولوژیکی بسیاری جهت تعیین توان منطقه عرضه شده است که شباهت‌ها و تفاوت‌هایی نیز با هم دارند. در ایران نیز مخدوم با استفاده از مدل‌های مشابه به کار گرفته شده در کشورهای مختلف یک مدل اکولوژیکی کامل برای هفت کاربری جنگل، کشاورزی و مرتع، توسعه روستایی، حفاظت، تفرج متمرکز، تفرج گسترده و آبی‌پروری تهیه نموده است [۱۳].

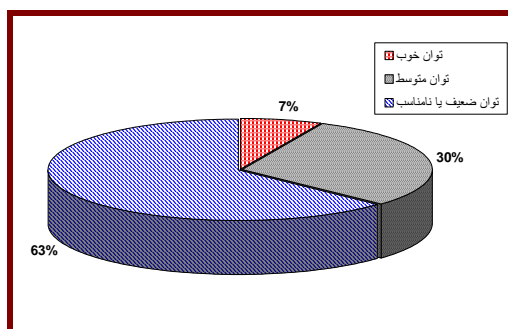
در این پژوهش با استفاده از مدل‌های فوق تعداد چهار مدل کاربری جنگل، کشاورزی و مرتع، توسعه روستایی و تفرج متمرکز انتخاب و در منطقه مورد مطالعه به کار گرفته شده است. از دو مدل حفاظت و آبی‌پروری به علت شرایط خاص مورد نیازشان استفاده نشده، زیرا هیچ مساحتی را در بر نمی‌گرفتند.

بعد از مشخص شدن مدل‌های اکولوژیکی، نقشه‌های مورد نیاز برای هر مدل در نرم‌افزار ArcMap با کمک ابزار Raster calculator و با استفاده از نقشه‌های پایه تهیه شده، به دست آمد.

### جمع‌بندی و نتایج حاصل از رویهم‌گذاری نقشه‌ها

- از کل مساحت منطقه‌ای که زیر آب می‌رود (۴۴۵۰ هکتار)، حدود ۷ درصد دارای توان خوب، حدود ۳۰ درصد دارای توان متوسط و مابقی آن (۶۳ درصد) دارای توان ضعیف و نامناسب جهت کاربری جنگلداری می‌باشد (شکل ۱۲).
- در مورد کاربری کشاورزی و مرتعداری، از کل مساحت مخزن سد، حدود ۱۰ درصد توان خوب و ۱۵ درصد توان متوسط جهت کشاورزی و حدود ۵۵ درصد با توجه به مدل اکولوژیکی دارای توان خوب جهت کاربری مرتع می‌باشد، ۲۰ درصد نیز دارای توان ضعیف و نامناسب می‌باشد.
- همچنین از کل مساحت مخزن، در حدود ۳۰ درصد توان مناسب جهت توسعه روستایی، ۱۵ درصد متوسط و ۵۵ درصد نیز دارای توان ضعیف و نامناسب می‌باشد
- در مورد کاربری تفرج متمرکز نیز در حدود ۳۰ درصد دارای توان خوب، ۱۵ درصد متوسط و ۵۵ درصد نیز دارای توان ضعیف و نامناسب می‌باشد.

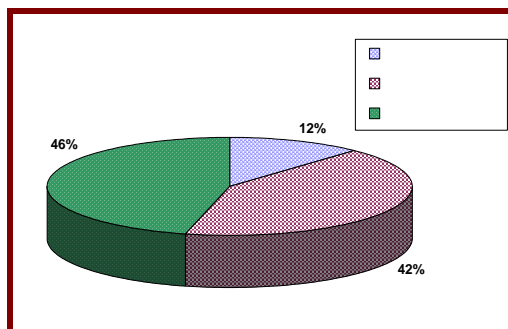
شکل (۱۲) به عنوان مثال درصد مربوط به هر یک از طبقه‌های خوب، متوسط و ضعیف را در مورد کاربری جنگل کاری و جنگلداری را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲: درصد طبقات مختلف جهت کاربری و توسعه جنگلداری و جنگل کاری

### جمع‌بندی و نتایج حاصل از منطق فازی

در این قسمت، مدل اکولوژیکی جنگل کاری و جنگلداری به صورت فازی استخراج شده است. همانطور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، درصدهای مربوط به هر طبقه با نتایج منطق بولین متفاوت می‌باشد. به طوری که طبقه خوب جهت جنگلداری از ۷ درصد به ۱۲ درصد تغییر یافته است. اما بیشترین تغییر مساحت در طبقه متوسط مشاهده می‌شود، به طوری که میزان درصد این طبقه از ۳۰ درصد به ۴۲ درصد تغییر کرده است. با توجه به مساحت منطقه، ملاحظه می‌گردد که این تغییر درصدها، وسعت زیادی از منطقه را در بر می‌گیرد و تفاوت قابل ملاحظه‌ای با منطق بولین پیدا می‌شود.



شکل ۱۳: درصد طبقه‌های مختلف جهت کاربری و توسعه جنگلداری و جنگل‌کاری با استفاده از منطق فازی

### نتیجه‌گیری

با استفاده از این روش مشخص گردید، مساحتی از اراضی که به زیر آب می‌رود از لحاظ اکولوژیکی آنچنان دارای ارزش نمی‌باشد. به طوری که از لحاظ توسعه جنگل تنها ۷ درصد اراضی مناسب بوده که چندان قابل ملاحظه نیست. بنابراین مساحتی که به عنوان مخزن سد در نظر گرفته شده از لحاظ اکولوژیکی دارای ارزش و مرغوبیت بالایی نمی‌باشد.

استفاده از منطق فازی در روش مذکور، کم اهمیت نبوده است. به طوری که درصدهای مربوط به مدل توسعه جنگل‌کاری را افزایش داده و طبقه خوب را از ۷ درصد به ۱۲ درصد و طبقه متوسط آن را از ۳۰ درصد به ۴۵ درصد رسانده است. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از منطق بولین یا فازی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در طبقه‌بندی داشته باشد که با توجه به منطق به کار رفته در روش فازی، به نظر می‌رسد که اعتمادپذیری این روش بیشتر باشد.

### منابع و مراجع

- ۱- خدادادی، الف، نظری، ح، و جوادی، س. (۱۳۸۴) ارزیابی زیست‌محیطی سد با استفاده از چکلیست و ماتریس لئوپلد. پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس، گروه عمران محیط‌زیست.
2. McHarg, I. (1969) Design with Nature, Nature History Press, Garden City, New York.
3. Smith, L.G. (1993) Impact Assessment and Sustainable Resource Management, Longman Group Press, pp 21.
4. Bardossy, A. and Duckstein, L. (1995) Fuzzy Rule-Based Modeling with Application to Geophysical - Biological and Engineering Systems, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA.
5. Zimmermann, H.J. (1995) Fuzzy Set Theory and its Application - Dordeche: Kluwer Nijhoff Publishing, Netherlands.
6. Saruwatari, N. and Yomota, A. (1995) Forecasting System of Irrigation Water on Paddy Field by Fuzzy Theory - Agricultural Water Management, Vol.28, pp 163-178.
7. Al-Faraj, A., Meyer, G.E. and Horst, G.L. (2002) A crop water stress index for tall fescue Irrigation decision making a fuzzy logic method - Compute Electron Agri, Vol.32, pp 69-84.
8. Sam-Amoha, L.K. and Gowing, J.W. (2001) Assessing the performance of irrigation schemes with minimum data on water deliveries, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol.50, pp. 31-39.
9. Malano, H.M. and Gao, G. (1992) Ranking and Classification of irrigation system performance using fuzzy set theory: case studies in Australia and China, Irrigation and Drainage System, Vol.6, pp 129-148.
- ۱۰- انصاری، ح. (۱۳۸۲) پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از منطق فازی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۱- نیکنام، ر. (۱۳۸۳) تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی با استفاده از منطق فازی و کاربرد آن در دشت تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
12. Biswas, A.K., Agrawal, A.B.C. (1993) Environmental Impact Assessment for Developing Countries, Butterworth Press.
- ۱۳- مخدوم، م. (۱۳۸۴) شالوده آمایش سرزمین. چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران، صص ۲۸۹.