

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

ارزیابی عدم قطعیت و قابلیت اطمینان شاخص‌های مؤثر بر ظرفیت برد منابع آب

شاهین فتحی^{۱*}، وحید نورانی^۲، محمد تقی اعلمی^۳، سینا صادق فام^۴

Shahin Fathi^{۱*}, Vahid Nourani^۲, Mohammad Taghi Aalami^۳, Sina Sadeghfam^۴

چکیده

مدیریت منابع آب پایدار مستلزم ایجاد تعادل بالقوه در معادله بیلان آب برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار است. همچنین در مطالعات بیلان آب به‌طور ساختاری می‌بایست اثرات متقابل بخش‌های هیدرولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی لحاظ گردد. تا بتوان اثرات عوامل متعددی که باعث بی‌ثباتی و تشدید چالش‌ها در حوضه‌ها می‌شوند، شناسایی نمود. برای این منظور شاخص‌های متعددی به‌منظور ارزیابی همه‌جانبه بخش‌های مختلف محیطی، اقتصادی و اجتماعی در حوضه‌ها ایجاد گردیده‌اند. ظرفیت برد منابع آب به‌عنوان شاخصی که توانایی منابع آب برای پشتیبانی از مسائل اجتماعی-اقتصادی، جمعیت و محیط‌زیست در بازه زمانی مشخص را ارزیابی می‌کند، پیشنهاد شده است. هدف این مطالعه بررسی ظرفیت برد منابع آب در حوضه قرنقو در شمال غرب ایران تحت تأثیر عدم قطعیت و قابلیت اطمینان پارامترهای مؤثر بر آن، با تأکید بر پارامترهای تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی با استفاده از یک مدل توسعه‌یافته تبخیر و تعرق، ترکیب تئوری خاکستری، آنتروپی و اعداد Z است. یک مدل پویایی‌شناسی سیستم برای بررسی بازخورد زیرسیستم‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی ساخته شد. با استناد به چارچوب فشار - وضعیت - پاسخ، مطالعات قبلی و نظر خبرگان یازده شاخص مؤثر بر ظرفیت برد منابع آب در حوضه قرنقو شناسایی شد. که برخی ماهیت مثبت و برخی ماهیت معکوس دارند. شاخص‌ها شناسایی شده، با استفاده از ادغام مفهوم قابلیت اطمینان در تئوری خاکستری و آنتروپی، وزن‌دهی شدند. سپس مقادیر ظرفیت برد منابع آب در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۰ استخراج و متغیرهای زبانی در مقادیر به‌دست‌آمده اعمال شدند. نتایج حاکی از تغییر وضعیت ظرفیت برد منابع آب حوضه از حالت "فقیر" در سال ۲۰۰۰ به حالت "خوب" در سال ۲۰۲۰ بوده و در سال‌های پایانی مطالعه وضعیت "خوب" ظرفیت برد منابع آب حوضه با قابلیت اطمینان "قابل قبول" همراه است. به‌منظور رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر ظرفیت برد منابع آب از ادغام اعداد Z در مدل TOPSIS تحت عنوان روش Z-TOPSIS استفاده گردید. رتبه اول توسط شاخص تبخیر و تعرق و جایگاه‌های بعدی به شاخص‌های محیطی و اجتماعی نظیر توسعه اراضی کشاورزی به‌عنوان نشانگر تغییر کاربری اراضی و جمعیت اختصاص یافت. این مطالعه ضرورت ارزیابی وضعیت هم‌جانبه در حوضه‌ها بالأخص تحت تأثیر تبخیر و تعرق در مناطق خشک و نیمه‌خشک را بیان نموده و اهمیت یکپارچه‌سازی قابلیت اطمینان و عدم قطعیت بر اساس متغیرهای زبانی را در ارزیابی‌های منابع آب برجسته می‌کند و استفاده نوآورانه از اعداد Z و آنتروپی خاکستری را در مدیریت مسائل آب افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: ظرفیت برد منابع آب، پویایی‌شناسی سیستم، آنتروپی، اعداد Z، شباهت به گزینه ایده‌آل، حوضه قرنقو.

^۱ - دانشجوی دکترای مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز. ایمیل: Sh.Fathi@Tabrizu.ac.ir & Shahin.Fathi@gmail.com

^۲ - استاد گروه آب، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

^۳ - دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه.

* - نویسنده مسئول

1- Water Resources Engineering & Management Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: Sh.Fathi@Tabrizu.ac.ir & Shahin.Fathi@gmail.com

2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran

*- Corresponding Author



25

26

۱- مقدمه

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

مدیریت پایدار منابع آب، به مفهوم ایجاد توازن بین ظرفیت‌های آبی هر منطقه و تحقق اهداف توسعه اجتماعی و اقتصادی است. برای بیان این مهم می‌توان از مفهوم "ظرفیت برد"^۱ استفاده نمود. ظرفیت برد برای شبیه‌سازی سیستم جفت شده انسان - محیط به صورت رویکردی جامع باهدف توسعه پایدار^۲، به‌جای تأکید فقط بر انسان یا طبیعت است (Peng et al., 2016). مفهوم ظرفیت برد در علوم مختلف و همچنین در بخش آب تسری یافته و تحت عنوان ظرفیت برد منابع آب^۳ (WRCC) معرفی می‌گردد. به دلیل پیچیدگی سیستم‌های منابع آب و ماهیت چندجانبه و سلسله‌مراتبی، عوامل متعددی بر WRCC تأثیر می‌گذارند، لذا برای این مفهوم تعاریف متعددی ارائه شده است (Luo et al., 2017). در این مطالعه مفهوم WRCC به صورت "حداکثر توانایی منابع آب برای پشتیبانی از مقیاس اجتماعی- اقتصادی، جمعیت و محیط‌زیست در بازه زمانی مشخص است، که با رعایت شرایط زیست‌محیطی به توسعه اقتصادی و اجتماعی هدف‌گذاری شده، می‌رسد" تعریف شده است (Mohammadi Sedaran et al., 2021). WRCC شاخص مناسبی برای تصمیم‌گیران در مباحث توسعه پایدار تلقی می‌گردد (Lv et al., 2023). در سال‌های اخیر مطالعات در خصوص WRCC روند صعودی داشته و اکثر مطالعات به مسائل اجتماعی- اقتصادی پرداخته‌اند و عملکردهای مسائل اکولوژیکی و تغییرات آب و هوایی را کمتر مدنظر قرار داده‌اند (Li et al., 2023b). در مطالعه‌ای مروری (۲۷۱ مقاله بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ در خصوص WRCC بررسی و روش‌های محاسبه شاخص WRCC طبقه‌بندی شده است (Yang et al., 2022). مطالعاتی دیگر به بررسی سیستماتیک روند مطالعات WRCC بر مبنای تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی، سیستم‌های اجتماعی- اقتصادی و اکوسیستم به‌منظور تهیه شاخص ارزیابی، معیارهای طبقه‌بندی و روش‌های ارزیابی و غیره پرداخته است (Li et al., 2023b). بیشتر مطالعات WRCC در ارتباط با شهرها صورت پذیرفته و به‌تدریج محققان به دنبال توسعه این مفهوم به مسائل منطقه‌ای می‌باشند (Yang et al., 2022). در سال‌های اخیر مطالعاتی در خصوص WRCC بر روی حوضه‌های آبریز انجام شده است (بینید (Wu et al., 2018; Meng et al., 2018; Wang et al., 2018; Kang et al., 2019). در ایران نیز مطالعاتی نظیر ارزیابی WRCC در حوضه آبریز زرینه‌رود (Mohammadi Sedaran et al., 2021)، ارزیابی WRCC در شرایط تغییر اقلیم در حوضه آبریز طشک - بختگان (Abbasi et al., 2022)، ارزیابی WRCC تالاب انزلی (Keyvanfar et al., 2025) صورت پذیرفته است.

به‌طور کلی، محاسبه WRCC شامل سه مرحله تعریف شاخص‌های ارزیابی، محاسبه وزن شاخص‌ها و ساخت مدل ارزیابی است (Wang et al., 2022). مطالعات نشان می‌دهند در ارزیابی WRCC استفاده از پویایی‌شناسی سیستم^۴ (SD) رایج‌تر است (Yang et al., 2022). SD با تمرکز بر حلقه‌های بازخوردی^۵ درون سیستم، تأثیرات غیرخطی و تأخیرهای زمانی موجود بین متغیرها، به بررسی رفتارهای یک سیستم می‌پردازد (Forrester, 1971). استفاده از این ابزار در مسائل مدیریت منابع آب که به دلیل برهم‌کنش مسائل محیطی، اقتصادی و اجتماعی که دارای پیچیدگی بسیار است، می‌تواند اثربخش‌تر باشد. در مدیریت یکپارچه منابع آب^۶ (IWRM) از سه زیرسیستم محیطی، اقتصادی و اجتماعی در بسیاری از مطالعات استفاده شده است (بینید (Phan et al., 2021). در مفهوم WRCC تبیین دقیق ظرفیت‌های محیطی جهت پوشش توسعه‌های اجتماعی و اقتصادی حائز اهمیت است. لذا می‌بایست نگرش سیستماتیک به ظرفیت‌های محیطی بر اساس مطالعات معادله بیلان آب^۷ داشت. همچنین در صورت ارائه راهبردهای مدیریت در حوضه‌های آبریز بدون توجه به اثرات بالقوه آن‌ها بر اجزای بیلان آبی، علاوه بر ایجاد ناپایداری^۸، ابعاد جدیدی از چالش‌ها در حوضه‌ها



52 ایجاد می‌گردد. واکاوی معادله بیلان آبی که بتواند در عین سادگی، توانایی بیان تغییرات محیطی و اقلیمی منابع آب را داشته باشد، حائز اهمیت است.

53 معادله تورنت وایت^۹ (Thorntthwaite, 1948) به ساده‌ترین شکل معادله بیلان آب شناخته شده است و از میان پارامترهای مؤثر در این معادله، تبخیر

54 و تعرق^{۱۰} به‌عنوان یک پارامتر مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. به‌کارگیری مدل‌های تبخیر و تعرق که بتوانند اثرات

55 تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی را لحاظ نمایند حائز اهمیت است. در مطالعات جدیدی که در برآورد تبخیر و تعرق صورت پذیرفته مدلی تحت

56 عنوان پنمن - ماتیت - لیونینگ^{۱۱} (PML) ارائه شده است که این مدل اثرات پوشش گیاهی، غلظت CO₂ و بارش را در محاسبات میزان تبخیر و

57 تعرق لحاظ می‌نماید (Zhang et al., 2016). با استفاده از مدل PML می‌توان ارتباط بین نوع فعالیت‌های انسانی^{۱۲} را با معادله بیلان آب برقرار نمود

58 (Nourani et al., 2024).

59 پس از مدل‌سازی زیرسیستم‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی و برقراری ارتباط مناسب میان پارامترهای مؤثر هر زیرسیستم، به‌منظور ارزیابی کمی

60 WRCC، لازم است پارامترهای مؤثر بر WRCC بر اساس مطالعات قبلی، نظر خبرگان و یا چارچوب‌هایی انتخاب شوند. سپس با استفاده از روش‌های

61 متعدد وزن‌دهی نظیر روش سلسله مراتبی^{۱۳} AHP (Saaty and Alexander, 1989)، روش بهترین - بدترین^{۱۴} BWM (Rezaei, 2015)، روش

62 آنتروپی^{۱۵} (Shannon, 1948) و ... وزن‌دهی گردیده و شاخص ارزیابی ایجاد شود. بعد از محاسبه WRCC، می‌توان اثرات پارامترهای مؤثر بر

63 WRCC طی سال‌های مختلف را با رتبه‌بندی بر اساس گزینه ایده‌آل، به روش‌های نظیر روش شباهت به گزینه ایده‌آل^{۱۶} (Hwang and TOPSIS

64 Yoon, 1981)، روش فازی^{۱۷} (Bellman and Zadeh, 1970) و ... بررسی نمود. محاسبه و رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر بر شاخص ارزیابی WRCC،

65 کار اساسی ارزیابی WRCC است (Li et al., 2023b). فرآیند جمع‌آوری داده‌ها و مدل‌سازی جهت محاسبه و رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر بر شاخص

66 ارزیابی WRCC با موضوع بسیار جدی عدم قطعیت^{۱۸} مواجه است. این عدم قطعیت‌ها می‌توانند ناشی از جمع‌آوری داده‌ها، عدم دقت داده‌ها، ناهم‌جنس

67 بودن داده‌ها، مدل‌سازی و ... باشند. همچنین اعمال تغییرات مکانی (مانند یکپارچه فرض نمودن تغییرات کاربری اراضی حوضه در مدل‌سازی) و زمانی

68 (مانند استخراج اطلاعات سالانه از روی اطلاعات ماهانه برای برخی از پارامترها) عدم قطعیت‌هایی به موضوع WRCC اعمال می‌نمایند. در ارزیابی

69 اطلاعات توسط کارشناسان ممکن است به دلیل تفاوت در تخصص و سوابق حرفه‌ای کارشناسان نتایج ارزیابی متفاوت باشند که باعث عدم قطعیت

70 گردد (Keshavarz-Ghorabae et al., 2021). تئوری‌های متفاوتی جهت بررسی عدم قطعیت‌های شکل گرفته، ایجاد شده است. تئوری فازی

71 (Zadeh, 1965) و تئوری اعداد Z^{۱۹} که از دو جزء عدم قطعیت و قابلیت اطمینان^{۲۰} تشکیل شده و برای پوشش عدم قطعیت‌های مکانی و احتمالی

72 به‌صورت توأم، پیشنهاد شده است (Zadeh, 2011) از این جمله‌اند. در مواجهه با مشکلات مذکور و همچنین این واقعیت که مطلق فازی، علیرغم لحاظ

73 کردن ابهام سیستم‌ها، اما همچنان ناکامل بودن اطلاعات را پوشش نمی‌دهند، مسئله تئوری خاکستری^{۲۱} ارائه گردید (Ju-Long, 1982). در مطالعات

74 WRCC روش‌های متفاوتی در بررسی آثار عدم قطعیت بکار برده شده است که به‌طور نمونه می‌توان به روش‌های از جمله فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

75 و روش‌های فازی (Zhang et al., 2014; Chi et al., 2019)؛ تجزیه و تحلیل زوج مجموعه‌ها و روش وزن آنتروپی (Cui et al., 2018)؛ روش

76 اعداد Z بر مبنای متغیر زبانی (Wang et al., 2020)؛ روش ارزیابی جامع فازی (Wang et al., 2021a)؛ وزن آنتروپی و TOPSIS خاکستری

77 (Song et al., 2024) و روش تشخیص الگوی فازی (Sun et al., 2024) اشاره نمود. مطالعات انجام شده به‌طور محدودی به موضوع عدم قطعیت و

78 بالأخص قابلیت اطمینان عدم قطعیت پرداخته‌اند. لذا نیاز به مطالعات گسترده و مبسوط در این خصوص مشاهده می‌گردد. در این مطالعه سعی شده

79 است که با ایجاد یک مدل بر مبنای SD به بررسی اندرکنش پارامترهای مؤثر بر WRCC پرداخته و در فضای عدم قطعیت پارامترهای مؤثر بر



80 WRCC، با اعمال قابلیت اطمینان در آنتروپی خاکستری، مقدار WRCC در حوضه قرنقو در شمال غرب ایران محاسبه گردد. همچنین با استفاده از
81 مدل تبخیر و تعرق PML که مداخلات انسانی را در معادله بیلان اعمال می‌نماید، به‌صورت نوآورانه نقش تغییرات کاربری اراضی در WRCC بررسی
82 گردد. سپس برای رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر بر WRCC از اعمال تئوری اعداد Z در Topsis به‌عنوان مدل Z-Topsis^{۲۲} استفاده گردد. در فضای
83 کمبود داده‌ها، تنوع پارامترها و استفاده از حداقل پارامترها برای ارزیابی WRCC، ادغام قابلیت اطمینان در آنتروپی خاکستری به‌منظور وزن‌دهی به
84 پارامترهای مؤثر بر WRCC به‌عنوان یک نوآوری قابل‌ارائه است. در این مدل امکان استفاده از فراوانی متغیرهای زبانی برای استخراج قابلیت اطمینان
85 و استفاده از فاصله هاسدورف^{۲۳} (Aliev et al., 2016) در تعیین فاصله شاخص‌های موجود با بهترین گزینه، تحت عنوان مدل Z-Topsis برای
86 رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر بر WRCC برای نخستین بار فراهم گردید.

87 از اهداف مورد انتظار در این مطالعه می‌توان به ارزیابی WRCC حوضه قرنقو در شمال غرب ایران تحت تأثیر عدم قطعیت و قابلیت اطمینان بر اساس
88 حداقل پارامترهای مؤثر بر WRCC، با تأکید بر پارامترهای تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی با استفاده از یک مدل توسعه‌یافته تبخیر و تعرق
89 اشاره نمود. این اهداف با استفاده از پویایی‌شناسی سیستم، ادغام مفهوم قابلیت اطمینان در آنتروپی خاکستری و مدل Z-Topsis میسر می‌گردد.

۲- روش انجام کار و مطالعه موردی

۲-۱- مدل مفهومی مطالعه

92 به‌منظور بررسی IWRM سه بخش محیطی، اقتصادی و اجتماعی مورد بحث قرار گرفت که روش مطالعه در شکل ۱ تشریح گردیده است. این مطالعه
93 در هفت گام صورت می‌پذیرد. در گام نخست نسبت به معرفی حوضه مورد مطالعه، مدل‌های مورد استفاده در هر سه بخش و نحوه جمع‌آوری داده و
94 اطلاعات برای هر بخش مشخص می‌شود. در گام دوم با استفاده از پارامترهای شناسایی شده هر زیرسیستم مدل SD ایجاد شد، تا ارتباط بین پارامترها
95 و استخراج مقادیر برخی از داده‌ها در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۰ امکان‌پذیر گردد. در گام سوم با استفاده از دانش خبرگان و چارچوب فشار - وضعیت -
96 پاسخ (PSR) پارامترهای مؤثر بر WRCC شناسایی شد، که به‌عنوان شاخص معرفی می‌گردند. در گام چهارم بعد از شناسایی شاخص‌های مؤثر نسبت
97 به بررسی عدم قطعیت شاخص‌ها بر اساس تئوری خاکستری، تعیین قابلیت اطمینان شاخص‌ها بر مبنای فراوانی و وزن‌دهی مقدار و قابلیت اطمینان
98 شاخص‌ها اقدام می‌شود. در گام چهارم مقدار و قابلیت اطمینان WRCC در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ محاسبه و روند تغییرات آن بررسی می‌شود. در گام
99 ششم بر مبنای ادغام مفهوم اعداد Z در روش Topsis مدلی برای رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر WRCC ارائه شده و شاخص‌ها رتبه‌بندی می‌گردد.
100 در گام هفتم رتبه‌بندی شاخص‌ها بر مبنای مدل جدید ارائه شده که عدم قطعیت و قابلیت اطمینان را مدنظر قرار می‌دهد با مدل سنتی مقایسه می‌شود.

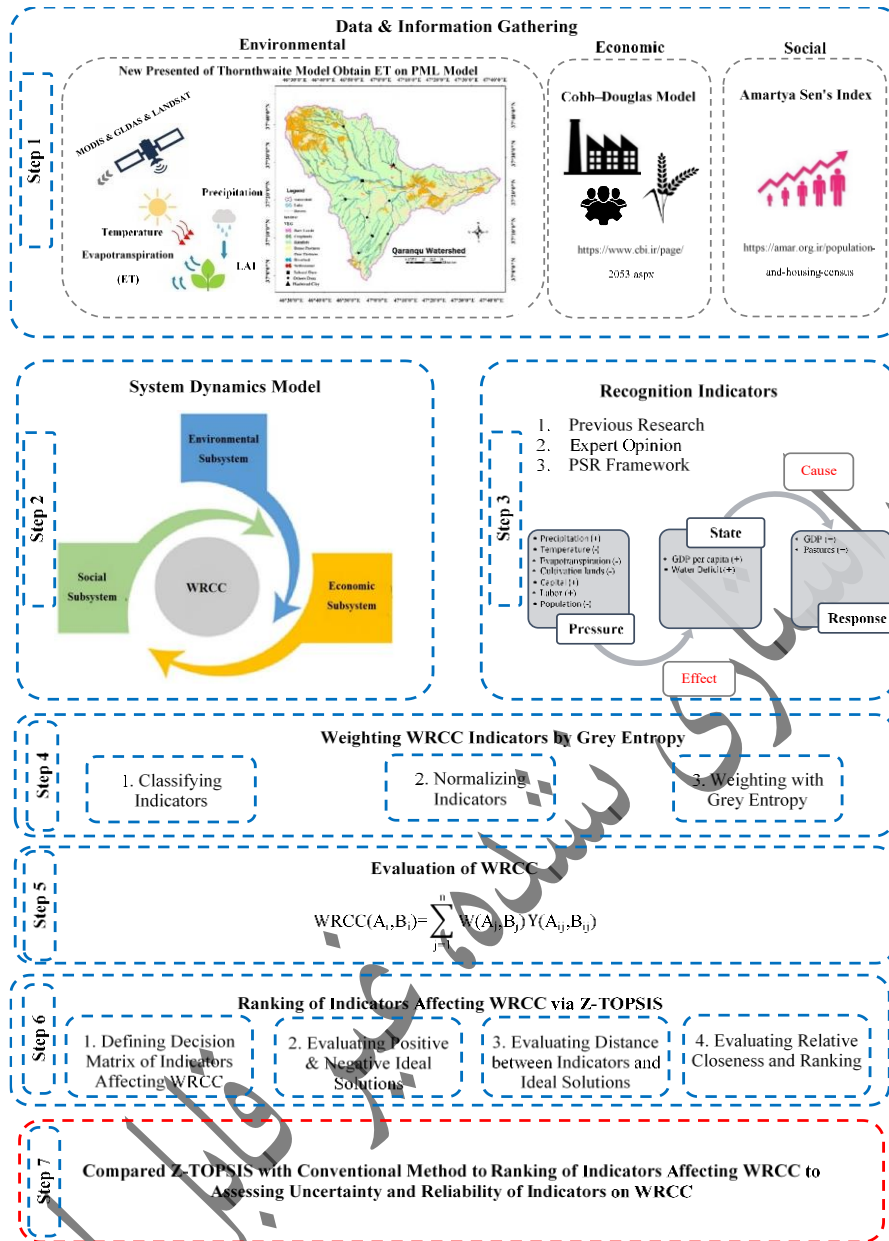


Fig. 1- The overall methodology applied in the paper involves modeling three subsystems (environmental, economic, and social) and determining the indicators affecting WRCC based on the PSR framework and weighting via grey entropy, and ranking based on Z-TOPSIS.

شکل ۱- روش کلی به کار رفته در این مقاله شامل مدل سازی سه زیرسیستم (زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی) و تعیین شاخص های مؤثر بر WRCC بر اساس چارچوب PSR و وزن دهی از طریق آنالیزی خاکستری و رتبه بندی بر اساس Z-TOPSIS است.

101

102

۲-۲- منطقه مورد مطالعه

103

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز رودخانه قرنقو یکی از زیر حوضه های حوضه آبریز قزل اوزن در شمال غرب ایران در دامنه شرقی کوه سهند واقع

104

است (شکل ۲). اقلیم حوضه قرنقو تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی و خصوصیات توپوگرافی محلی است. در حدود ۸۵/۷ درصد بارندگی های حوضه،

105

طی ماه های آبان تا اواخر اردیبهشت و بخش اعظم آن، در ماه های فروردین و اردیبهشت اتفاق می افتد. بارندگی سالانه کل حوضه ۴۰۳/۷ میلی متر

106

است که از این میزان، به طور متوسط ۳۳۲/۶ میلی متر تبخیر می گردد. با در نظر گرفتن میزان تبخیر و بارش، حجم آب خروجی از حوضه، ۲۵۰/۴



107 میلیون مترمکعب برآورد شده است (Heydari and Moghimi, 2008). حوضه قرنقو جزء حوضه‌های بسیار کم نفوذ می‌باشد. به دلیل
108 خصوصیات زمین‌شناسی، از لحاظ آب‌های زیرزمینی از ذخایر قابل توجهی برخوردار نیست ولی از لحاظ آب‌های سطحی، جزء حوضه‌های
109 پرآب در شمال غرب ایران محسوب می‌شود (Heydari and Moghimi, 2008). در حوضه قرنقو با وجود رودهای پرآب، به دلیل سنتی بودن
110 نظام بهره‌برداری و نبود الگوی حکمرانی مطلوب منابع آب، کشاورزی در اکثر مناطق به صورت دیم انجام می‌شود. کشاورزی دیم از آسیب‌پذیری
111 بالایی ناشی از تغییر اقلیم در مقایسه با کشاورزی آبی مواجه است، علاوه بر این، ظرفیت سازگاری پایین کشاورزان که ناشی از عوامل متعددی
112 مانند شرایط و ناکارآمدی نهادی است، منجر به مهاجرت کشاورزان و تخلیه روستاها گردیده است (Ghorbani et al., 2022). بطوریکه این حوضه
113 با کانون‌های جمعیتی متمرکز در شهرهای هشترود و چارایماق طی سرشماری سال‌های قبل با کاهش جمعیت مواجه گردیده است. بر اساس سرشماری
114 سال ۱۳۸۵ جمعیت حوضه ۱۱۶۳۹۳ نفر بوده که این میزان جمعیت در سال ۱۳۹۵ به ۹۹۴۳۱ نفر کاهش یافته است (National Population and
115 Housing Census of 2006 and 2016, Statistical Center of Iran).

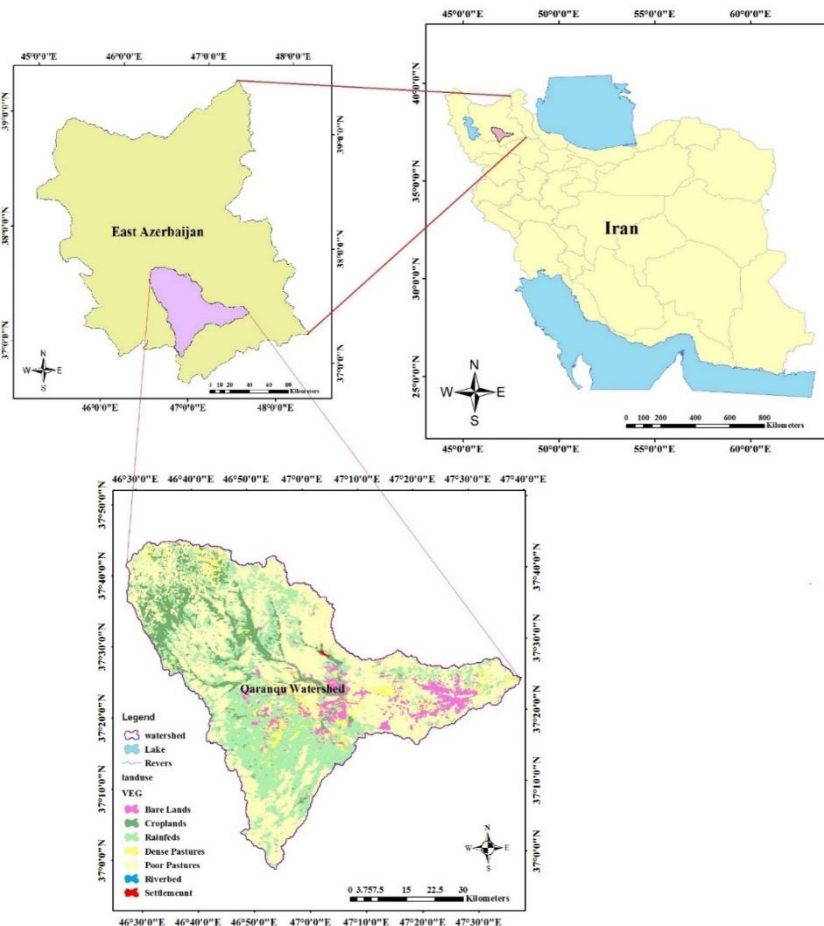


Fig. 2- Qaranqu watershed geographical location and Land use map

شکل ۲- موقعیت جغرافیایی حوضه قرانقو و کاربری اراضی

116
117 این حوضه با مساحت نزدیک به ۳۵۴۰ کیلومترمربع دارای اراضی عمدتاً دیم و مرتع است که بیشترین کشت در اراضی دیم به صورت محصول گندم
118 است. بیشترین اشتغال در حوضه، مربوط به بخش کشاورزی است. سهم اقتصادی بخش کشاورزی از کل سه بخش کلان اقتصادی (کشاورزی، صنعت



119 Input-Output Table of 2016,) ۶۰ درصد است و ۱۷ و ۲۳ درصد است. سهم اقتصادی سایر بخش‌ها یعنی صنعت و خدمات به ترتیب ۱۷ و ۶۰ درصد است (Central Bank of Iran
 120 Annual Labor). سهم اشتغال هریک از بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات به ترتیب ۲۰، ۲۰،۶۰ و ۲۰ درصد است (Force Survey of 2020, Statistical Center of Iran
 121). بررسی سهم‌های اقتصادی و اشتغال حوضه، بیانگر سهم بالای اشتغال با سهم پایین
 122 اقتصادی بخش کشاورزی است. اشتغال بالا در بخش کشاورزی با بهره‌وری پایین منجر به استفاده بیشتر از منابع محیطی گردیده است. هرچند بخش
 123 کشاورزی از لحاظ اقتصادی سهم پایینی دارد ولی به دلیل سهم بالای اشتغال، از لحاظ اجتماعی حائز اهمیت است. به منظور مدل‌سازی اثرات متقابل
 124 عوامل محیطی، اقتصادی و اجتماعی از SD با زیرسیستم‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی استفاده گردید. در جدول ۱ مآخذ اطلاعات و داده‌های
 125 مورد نیاز برای مدل‌سازی حوضه در زیرسیستم‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی ارائه شده است.

Table 1 - Data, periods, and information sources

جدول ۱ - داده‌ها، بازه زمانی و منابع اطلاعات

Subsystem	Data	Period	Source
Social	Population		
	Urban population	2000 - 2020	https://amar.org.ir/population-and-housing-census
	Rural population		
Economy	Sector employment	2000 - 2020	https://amar.org.ir/population-and-housing-census
	Capital in the sector	2000 - 2020	https://www.cbi.ir/page/2053.aspx
	Area of the croplands	2000 - 2020	https://amar.org.ir/agri-census
	Area of the rainfed	2000 - 2020	https://amar.org.ir/agri-census
	Dam Information	2006	Regional Water Company of East Azerbaijan
Hydrological	Anthropogenic activity	2020	Base for NDVI from Landsat8
	Evapotranspiration	2000 - 2020	Base for PML model
	Temperature, Precipitation, & Leaf Area Index	2000 - 2020	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS

128
 129 اطلاعات مرتبط با مسائل اقتصادی در درگاه بانک مرکزی ایران تا پایان سال ۲۰۲۰ در دسترس است، بنابراین مدل‌سازی تا پایان سال ۲۰۲۰ انجام شده
 130 است.

۲-۳- روش شناسی

۲-۳-۱. ارزیابی پارامترهای WRCC با استفاده از پویایی شناسی سیستم (SD)

134 درک رفتارهای سیستم‌های پیچیده در طول زمان با استفاده از SD قابل بررسی است. مدل SD به دلیل ایجاد حلقه‌های بازخورد، دیگرام‌های علی-
 135 معلولی^{۲۴} و انباشت-جریان^{۲۵} در مطالعه سیستم‌های پیچیده رویکرد متفاوتی نسبت به سایر مدل‌ها دارد. در حوضه مورد مطالعه که توسعه آن متأثر از



136 پیامدهای محیطی، اجتماعی و اقتصادی می‌باشد گستردگی پارامترهای دخیل، یک سیستم پیچیده ایجاد می‌نماید و نیاز به ایجاد یک مدل مبتنی بر
137 SD مشهود است. همچنین ایجاد زیرسیستم‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی به‌عنوان مناسب‌ترین تقسیم‌بندی پیشنهاد گردید (Phan et al.,
138 2021). پارامترهای هریک از زیرسیستم‌ها بر اساس بیشترین پارامترهای دخیل در ارزیابی WRCC و نظرات خبرگان انتخاب گردید (Li et al.,
139 2023b). مدل ذهنی بر اساس روابط علی و معلولی میان پارامترها در نرم‌افزار Vensim برای هریک از زیرسیستم‌ها مدل‌سازی گردید. مدل ذهنی
140 ایجادشده در حوضه فرنقو توانایی ارزیابی اثرات محیطی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی را دارد و همچنین اثرات اقتصادی تغییرات
141 کاربری اراضی و تغییرات رفاه اجتماعی^{۲۶} ناشی از سرمایه‌گذاری در بخش‌های مختلف اقتصادی (کشاورزی، صنعت و خدمات) حوضه را ارائه می‌کند.
142 به‌منظور بررسی اندرکنش پارامترهای زیرسیستم‌های ایجادشده، دیاگرام انباشت- جریان با استفاده از نرم‌افزار Vensim ایجاد شد و درنهایت مدل
143 ایجادشده صحت‌سنجی گردید.

144

145

- زیرسیستم محیطی

146 بررسی تغییرات گردش منابع آب در یک حوضه با استفاده از معادله بیلان آب میسر می‌گردد برای این منظور از مدل بیلان آب تورنت وایت که با
147 استفاده از حداقل تعداد پارامترها به بیان چرخش آب در حوضه می‌پردازد، استفاده شد. معادله بیلان آب به‌کاربرده شده با استفاده از پارامترهایی نظیر
148 بارش، نفوذ، رواناب، تبخیر و تعرق و رطوبت خاک به بررسی گردش آب در حوضه می‌پردازد. در حوضه مورد مطالعه به دلیل ساختار زمین‌شناسی
149 میزان نفوذ و مقدار آب زیرزمینی در مقایسه با منابع آب سطحی ناچیز می‌باشد (Heydari and Moghimi, 2008). لذا پارامترهای بارش، رواناب،
150 تبخیر و تعرق و رطوبت خاک به‌عنوان پارامترهای مؤثر در زیرسیستم محیطی قابل‌شناسایی می‌باشند. اهمیت تبخیر و تعرق در مناطق خشک و
151 نیمه‌خشک قابل‌توجه بوده و به این منظور از مدل توسعه‌یافته تبخیر و تعرق PML استفاده شد (Leuning et al., 2008; Zhang et al., 2016).
152 مدل PML می‌تواند میزان تبخیر و تعرق را از پارامترهای شاخص سطح برگ^{۲۷}، آلدو، درجه حرارت، سرعت باد، فشار هوا، بارش، تابش خالص و
153 رطوبت به‌صورت مناسب‌تری تخمین بزند (Nourani et al., 2024; Nourani et al., 2025) را مطالعه نمایید). به‌کارگیری مدل PML توانایی بررسی
154 اثرات تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از شاخص سطح برگ دارد لذا می‌توان اثرات فعالیت‌های انسانی را در زیرسیستم محیطی اعمال نمود. چراکه
155 با تغییر کاربری اراضی و تغییر الگوی کشت از طریق شاخص سطح برگ تغییرات تبخیر و تعرق بر معادله بیلان آب اعمال می‌گردد. همچنین
156 پارامترهای بارش و دما در محاسبه میران تبخیر و تعرق در مدل PML تأثیر دارند و این پارامترها به‌عنوان پارامترهای اقلیمی توانایی بررسی اثرات
157 تغییرات اقلیمی بر روی معادله بیلان آب را فراهم می‌نماید. لذا زیرسیستم محیطی بر اساس روابط بازخوردی بین متغیرهای اقلیمی و منابع آب بیان
158 و نگرش متفاوتی به متغیرهای تغییر اقلیمی خواهد داشت (شکل ۳a را ببینید). ایجاد دیاگرام انباشت- جریان می‌تواند چرخش آب را به‌صورت ماهانه
159 و سالانه بررسی نماید (شکل ۳b را ببینید). مدل ایجادشده با استفاده از پارامترهای دما و بارش به‌عنوان پارامترهای اقلیمی و پارامترهای رواناب و
160 ضریب نگهداشت رطوبت خاک در قالب کسری آب موجود در حوضه و پارامتر تبخیر و تعرق به‌عنوان پارامتر فعالیت‌های انسانی متأثر از تغییرات اقلیمی
161 توانایی بررسی بیلان آب حوضه را دارد.

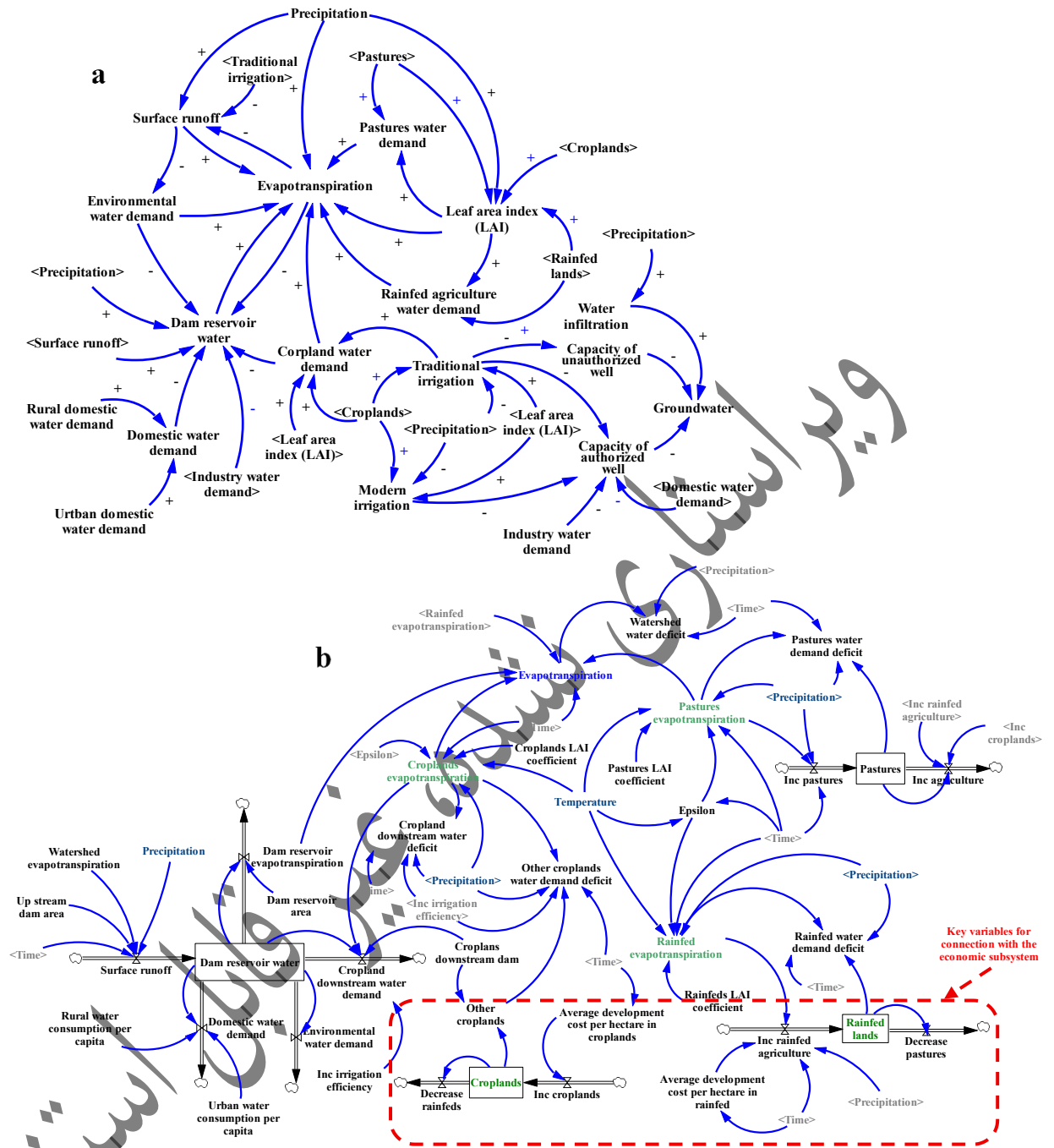


Fig. 3- Environmental subsystem a) Causal-loop diagram based on mental model stressing the importance of evapotranspiration (ET), b) Stock-flow diagram that shows ET effect on watershed and ET depends on precipitation, LAI & temperature.

شکل ۳- زیرسیستم محیطی (a) نمودار علی - معلولی بر اساس مدل ذهنی با محوریت تبخیر و تعرق (b) دیاگرام انباشت - جریان بر اساس تغییرات تبخیر و تعرق متأثر از شاخص سطح برگ، دما و بارش

162

163

- زیرسیستم اقتصادی

164 زیرسیستم اقتصادی بر اساس روابط میان متغیرهای دخیل در توسعه اقتصادی ایجاد گردید. برای مدل سازی اقتصادی از مدل کاب- داگلاس^{۲۸}

165 مهمی در اشتغال و درآمد جوامع وابسته به بخش کشاورزی دارد. لذا حوضه به اراضی کشاورزی آبی، دیم و مرتع تقسیم بندی گردید تا ارتباط مؤثر این

166



167 اراضی با مسائل اقتصادی حوضه و همچنین اثرات تغییرات کاربری اراضی بر میزان آب قابل دسترس در حوضه بررسی گردد. در زیرسیستم اقتصادی،
 168 از تقسیم‌بندی کلاسیک بخش‌های اقتصادی که شامل کشاورزی، صنعت و خدمات می‌باشد، استفاده شد. به لحاظ اهمیت بخش کشاورزی در حوضه
 169 قرقنو پارامتر زمین نقش مهمی در برقراری ارتباط بین زیرسیستم‌ها دارد. دیاگرام انباشت – جریان پارامترهای اقتصادی در سه بخش کلان اقتصادی
 170 در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۰ مدل‌سازی گردید (شکل ۴b را ببینید). متغیرهای کلیدی در زیرسیستم اقتصادی میزان تولید ناخالص داخلی^{۲۹} (GDP) و میزان
 171 سرمایه‌گذاری در هر بخش کلان اقتصادی است. شدت تغییر GDP، میزان استفاده از منابع آب، نرخ تغییر جمعیت و میزان رفاه اجتماعی، به سیاست‌های
 172 توسعه بخش‌های اقتصادی حوضه وابسته است.

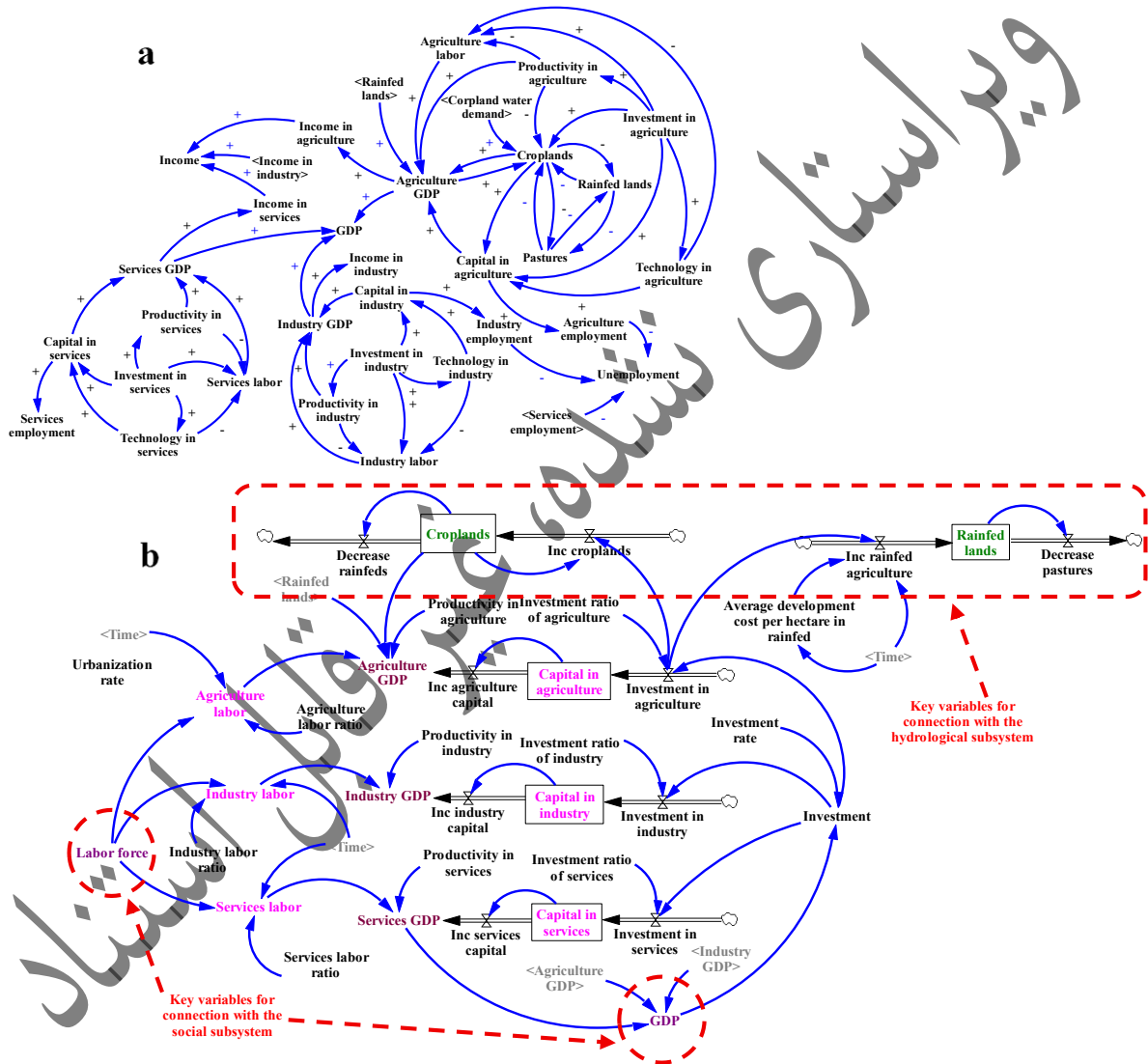


Fig. 4- Economic subsystem a) Causal –loop diagram base on mental model stressing the importance of land use b) Stock-flow diagram that show relation of land use, capital and labor with GDP

شکل ۴- زیرسیستم اقتصادی (a) نمودار علی – معلولی بر اساس مدل ذهنی با محوریت کاربری اراضی (b) دیاگرام انباشت – جریان بر اساس تغییرات GDP متأثر از کاربری اراضی، سرمایه و نیروی کار

173

174

- زیرسیستم اجتماعی



175 در مدل ذهنی پارامترهای متعددی در بیان زیرسیستم اجتماعی لحاظ گردید که اغلب این پارامترها کیفی می‌باشند (شکل ۵a را ببیند). برای
 176 کمی سازی زیرسیستم اجتماعی در راستای اهداف توسعه پایدار پویایی‌های جمعیتی و تغییرات رفاه اجتماعی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵b
 177 را ببینید). برای بررسی متغیرهای دخیل در رفاه اجتماعی از شاخص سین^{۳۰} استفاده شد (Sen, 1974). تغییرات رشد GDP بر روابط متغیرهای
 178 زیرسیستم اجتماعی تأثیر می‌گذارند. همچنان که فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی یا خدماتی در حوضه افزایش می‌یابند، مشاغل مرتبط با بخش‌ها
 179 از یک سو و تقاضای نیروی کار و نسبت شغل به شاغل در هر بخش از سوی دیگر افزایش می‌یابند. با رشد تقاضای نیروی کار، افراد بیشتری
 180 برای اشتغال در بخش‌های اقتصادی وارد حوضه می‌شوند. روند افزایش اشتغال بالأخص در بخش کشاورزی بر مسائل محیطی از جمله منابع آب
 181 فشار مضاعف دارد.

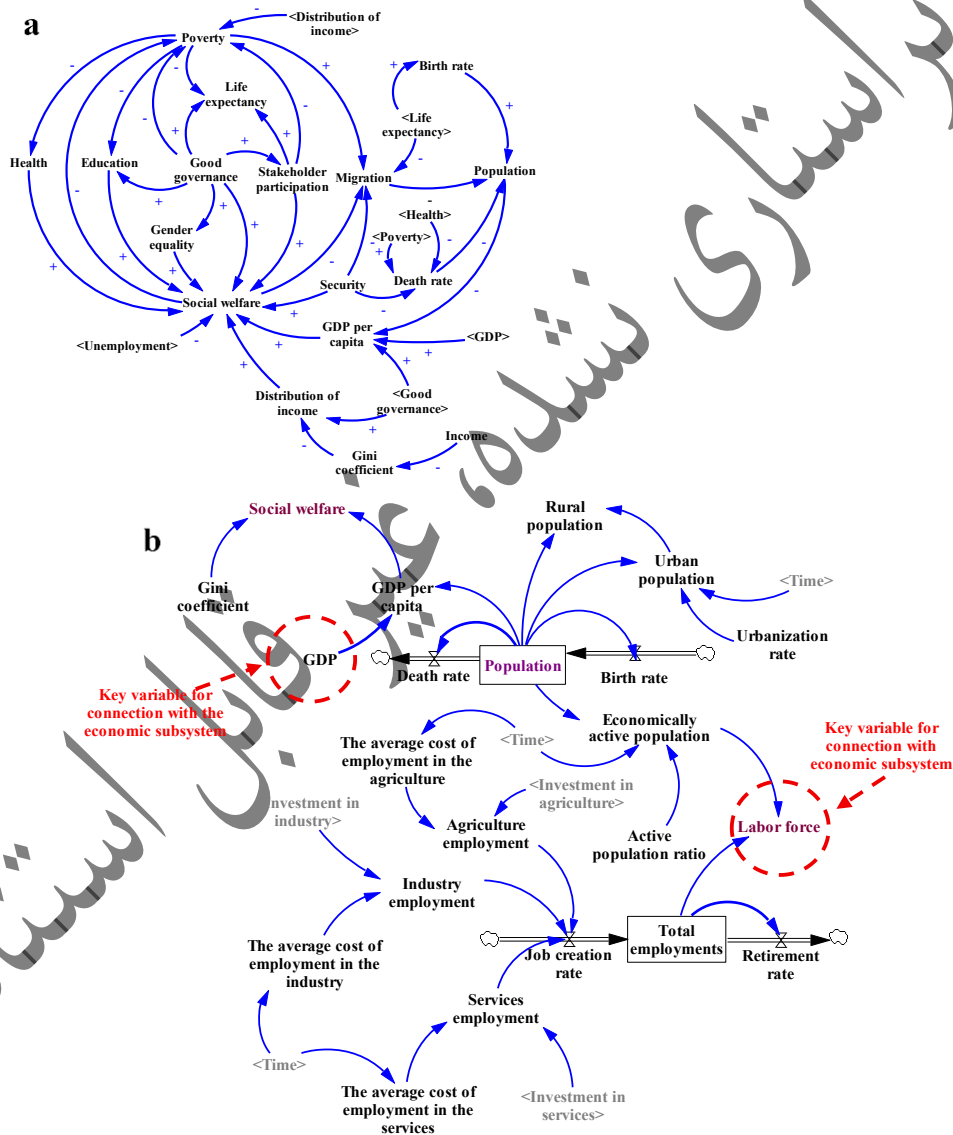


Fig. 5- Social subsystem a) Causal –loop diagram base on mental model that show important of good governance b) Stock-flow diagram that show important of population

شکل ۵- زیرسیستم اجتماعی (a) نمودار علی - معلولی بر اساس مدل ذهنی با محوریت حکمرانی خوب (b) دیاگرام انباشت - جریان بر اساس تغییرات جمعیت



ارتباط زیرسیستم‌های طراحی شده با استفاده از پارامترهای کلیدی برقرار گردید. برخی از این پارامترها در بخش‌بندی عوامل محیطی، اقتصادی و اجتماعی حوضه می‌توانند در چند زیرسیستم نقش داشته باشند. پارامتر زمین ارتباط بین زیرسیستم محیطی و اقتصادی را برقرار می‌نماید. پارامترهای GDP و نیروی کار ارتباط بین زیرسیستم اقتصادی و اجتماعی را برقرار می‌نمایند. با افزایش سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی، اراضی بیشتری زیر کشت قرار می‌گیرند که باعث افزایش میزان تبخیر و تعرق و کاهش آب در دسترس حوضه خواهد شد، این حلقه بازخورد در زیرسیستم محیطی به‌عنوان یکی از حلقه‌های غالب بوده و نقش کنترلی دارد. با افزایش اراضی زیر کشت میزان GDP افزایش یافته و باعث افزایش میزان سرمایه‌گذاری می‌گردد. بخشی از افزایش میزان سرمایه‌گذاری به بخش کشاورزی هدایت شده و منجر به افزایش مجدد GDP می‌گردد. این حلقه بازخورد در زیرسیستم اقتصادی به‌عنوان یکی از حلقه‌های غالب بوده و نقش تشدید بازخورد را دارد. با افزایش GDP در حوضه میزان رفاه اجتماعی افزایش یافته و باعث مهاجرت به سمت حوضه و افزایش جمعیت می‌گردد و به‌تبع آن درخواست برای کار افزایش یافته و وجود نیروی کار مؤثر به‌عنوان یکی از عوامل توسعه اقتصادی باعث افزایش GDP می‌گردد. این حلقه بازخورد در زیرسیستم اجتماعی به‌عنوان یکی از حلقه‌های غالب بوده و نقش تشدید بازخورد را دارد. تغییرات حلقه‌های بازخورد غالب در زیرسیستم‌ها از طریق پارامترهای کلیدی در یکدیگر اثرگذارند. این مدل‌سازی برای بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ انجام شد، تا بتواند روند مناسبی از تغییرات در حوضه بر اساس پارامترهای لحاظ شده ارائه نماید.

193

۲-۳-۲. چارچوب فشار - وضعیت - پاسخ PSR در شناسایی پارامترهای مؤثر بر WRCC

WRCC تحت تأثیر طیف گسترده‌ای از عوامل است. روش‌های ارزیابی مبتنی بر شاخص ابزار مفیدی برای این نوع ارزیابی هستند (Yang et al., 2015). اما هنوز چالش‌های جدی در ارزیابی‌های مبتنی بر شاخص وجود دارد (Wu and Hu, 2020). تکنیک نیروی محرک - فشار - وضعیت - بازخورد - پاسخ^{۳۰} (DPSIR) یک چارچوب ساختاریافته برای تحلیل علل (محرک‌ها)، اثرات (تأثیرات) و پاسخ‌ها در یک اکوسیستم را فراهم می‌کند (ببینید Wang et al., 2021b; Yang et al., 2025). چارچوب DPSIR به دلیل داشتن دسته‌های شاخص بسیار زیاد ممکن است تأثیر شاخص‌های کلیدی را تضعیف کند و یا ممکن است با استفاده از این چارچوب شاخص‌هایی انتخاب شوند که تأثیر کم و یا نامشخصی بر WRCC دارند (Yang et al., 2015). در این پژوهش از چارچوب فشار - وضعیت - پاسخ (PSR) جهت انتخاب شاخص‌های ارزیابی استفاده شده است. برای درک بهتر پویایی تکنیک PSR، لازم است بر روابط بین عناصر آن تمرکز شود. در مطالعات منابع آب، ارتباطات بین عناصر PSR به این صورت توصیف می‌شود: "چه چیزی در بخش آب بررسی می‌شود یا رخ داده است؟" در تکنیک PSR، این سؤال از طریق شاخص‌های وضعیت (S) نشان داده می‌شود که چالش اصلی در مورد وضعیت سیستم - موضوعی که تحت تأثیر عوامل دیگر قرار دارد - را برجسته می‌کند. با تحلیل پارامترها در چارچوب SD، شاخص‌های مناسب برای وضعیت و تأثیر، از جمله سرانه تولید ناخالص داخلی و کسری آب در حوضه شناسایی شدند. این‌ها به‌عنوان نکات کلیدی ارزیابی در این سیستم پیچیده عمل می‌کنند و به‌عنوان هسته اصلی مفهوم WRCC عمل می‌کنند. تأثیرات و وضعیت سیستم تا حدودی مکمل یکدیگر هستند؛ اگر وضعیت (S) مستقیماً از فشارها (P) ناشی شود، آنگاه تأثیر (R) به‌عنوان یک پیامد یا اثر غیرمستقیم در نظر گرفته می‌شود (Shao et al., 2014). تجزیه و تحلیل بیشتر "چرا اتفاق افتاده است" برای ارزیابی بسیار مهم است. درک دلایل یک رویداد برای هدایت مدیریت سیستم ضروری است و نیاز به جمع‌آوری اطلاعات مرتبط در مورد سیستم دارد. در تکنیک PSR، چرایی وقوع آن را می‌توان از طریق فشارها (P) شناسایی کرد. در مدل SD،



209 پارامترهایی مانند تغییرات اقلیمی، جمعیت، سرمایه، نیروی کار، زمین‌های کشاورزی و تبخیر و تعرق به‌عنوان شاخص‌های فشارها شناخته شدند. تأثیر
 210 فشارها (P) بر وضعیت (S) آشکار است. با این وجود، ارتباط بین فشارها و وضعیت، مستقیم و مشهود است و بینش‌هایی را در مورد دلایل شرایط فعلی
 211 فراهم می‌کند (Shao et al., 2014). پس از درک چرایی وجود وضعیت، تجزیه و تحلیل بیشتر برای تعیین چگونگی رسیدگی به آن مورد نیاز است.
 212 در مجموع، هدف، بهبود وضعیت سیستم با کاهش اثرات منفی است. لذا شاخص‌ها بر اساس نقش مؤثر آن‌ها در زیرسیستم‌ها، چارچوب PSR، نظرات
 213 خبرگان و همچنین بر اساس مطالعات پیشین (Li et al., 2023) را ببینید)، استخراج گردید که در جدول ۲ ارائه شده است. برخی از شاخص‌های جدول
 214 به دلیل نوع مدل‌های استفاده شده در هر زیرسیستم، نقش مشترک در زیرسیستم‌ها دارند و این اشتراک، درهم تنیدگی مسائل مرتبط با مسائل آب
 215 در یک حوضه را نشان می‌دهد. به‌طور نمونه شاخص توسعه اراضی زیر کشت به‌عنوان نشانگر تغییرات کاربری اراضی در دو زیرسیستم محیطی و
 216 اقتصادی و شاخص نیروی کار در دو زیرسیستم اقتصادی و اجتماعی ملاحظه می‌گردند. شاخص‌های مؤثر ماهیتی مثبت یا معکوس در فهم از WRCC
 217 ارائه می‌کنند. ماهیت هر شاخص بر اساس مثبت و معکوس بودن در جدول ۲ ارائه شده است.

Table 2 - Extracted indicators for evaluation of water resource carrying capacity

جدول ۲ - شاخص‌های استخراج شده برای محاسبه ظرفیت برد منابع آب

Target	System-level	Evaluation indicator	Unit	Framework Layer	Attribute
WRCC	Environmental subsystem	Precipitation	mm/Year	Pressure	Positive
		Temperature	°C	Pressure	Reverse
		Evapotranspiration	mm/Year	Pressure	Reverse
		Water Deficit	Million M ³ /Year	State	Positive
		Pastures	Hectare	Response	Positive
		Cultivation lands	Hectare	Pressure	Reverse
	Economical subsystem	GDP	Millions of Rials	Response	Positive
		Capital	Million Rials	Pressure	Positive
		Labor	People	Pressure	Positive
	Social subsystem	GDP per capita	Millions of Rials / Person	State	Positive
Population		People	Pressure	Reverse	

220 هرچند در مدل‌سازی SD اطلاعات به‌صورت داده‌های قطعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند ولی به دلیل محدودیت در استخراج داده‌ها، دامنه مقدار برای
 221 هر یک از پارامترها، تعداد پارامترها، ناهم‌جنسی پارامترها و استفاده از حداقل پارامترها برای ارزیابی، مدل با عدم قطعیت و قابلیت اطمینان همراه است.
 222 لذا استفاده از تئوری‌هایی که توان بیان عدم قطعیت را دارند راهکارهای جدیدی در تشریح و تحلیل شرایط و اثرات پارامترها می‌توانند ارائه نمایند.
 223

۳-۲-۳. وزن دهی بر اساس آنتروپی خاکستری

224
 225
 226 مسائل تصمیم‌گیری، اغلب با موقعیت‌های غیرقطعی، فقدان اطلاعات دقیق، و ارزیابی‌های زبان‌شناختی ارائه شده به‌وسیله کارشناسان مواجه هست. در
 227 بسیاری موارد، اجبار تصمیم‌گیرندگان به ارائه ارزیابی عددی با استفاده از تصورات ذهنی‌شان غیرمنطقی است و واقع‌بینانه‌تر آن است که تصمیم‌گیرندگان



228 با ابزاری از اصطلاحات زبان‌شناختی برای معرفی مقادیر رتبه‌بندی و اهمیت نسبی معیارهای موردنظر استفاده نمایند (Wang et al., 2020). روش
 229 وزن‌دهی آنتروپی یک روش وزن‌دهی عینی است که می‌تواند با مقایسه مقدار آنتروپی برای هر معیار، اهمیت نسبی را در بین همه معیارها محاسبه
 230 کند (Keshavarz-Ghorabae et al., 2021). با این حال، برای تجزیه و تحلیل وزن، روش آنتروپی سنتی مبتنی بر نوع پیوسته آنتروپی برای رسیدن
 231 به یک مسئله عملی با داده‌های گسسته مناسب نیست (Wen et al., 1998). برای غلبه بر این مسئله شیوه‌ای از آنتروپی خاکستری، بر اساس نوع
 232 گسسته آنتروپی پیشنهاد گردید تا به درستی تجزیه و تحلیل وزن‌دهی انجام شود (Lotfi and Fallahnejad, 2010). تئوری سیستم‌های خاکستری
 233 داده‌ها را به صورت بازه‌ای نمایش می‌دهد که عرض بازه می‌تواند منعکس‌کننده میزان عدم قطعیت باشد. عدم قطعیت نتیجه دانش ناقص یا تغییرپذیری
 234 ذاتی در سیستم است (IPCC AR5 2014). مدل‌سازی عدم قطعیت یکی از اساسی‌ترین مشکلات سیستم‌ها است. روش‌های زیادی برای این منظور
 235 معرفی شده‌اند که تفاوت عمده آن‌ها در بیان عدم قطعیت پارامترهای ورودی سیستم است. منطق فازی (Zadeh, 1965) از توابع عضویت فازی،
 236 احتمالات از توابع چگالی احتمال و تئوری خاکستری (Ju-Long, 1982) از بازه برای بیان عدم قطعیت سیستم بهره می‌برند، وجه تشابه آن‌ها تعیین
 237 اثر ورودی بر خروجی سیستم‌ها است. تئوری خاکستری بدون در نظر داشتن تابع عضویت و بر اساس محدوده اطلاعات در دسترس نیز به خوبی عمل
 238 می‌نماید. لذا اعمال مفهوم اعداد خاکستری بر شاخص‌های مؤثر بر WRCC می‌تواند بخشی از عدم قطعیت در برآورد و ناهم‌جنس بودن داده‌ها را
 239 پوشش دهد. شاخص‌های مؤثر بر WRCC دارای ماهیت‌های مثبت و معکوس هستند ابتدا نسبت به نرمال‌سازی شاخص‌های مثبت بر اساس رابطه
 240 ۱ و شاخص‌های معکوس بر اساس رابطه ۲ اقدام گردید.

$$241 \quad y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad j=1, \dots, m \quad i=1, \dots, n \quad (1)$$

$$242 \quad y_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad j=1, \dots, m \quad i=1, \dots, n \quad (2)$$

243 در این روابط y_{ij} شاخص زام نرمال شده در سال i ، مقدار شاخص x_{ij} در سال i ، $\min(x_{ij})$ حداقل مقدار شاخص‌های i در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ و
 244 $\max(x_{ij})$ حداکثر مقدار شاخص‌های i در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ است. مقادیر شاخص‌های نرمال شده در پنج کلاس بر اساس جدول ۳ کلاس‌بندی
 245 گردید و ماتریس خاکستری از اعداد خاکستری که در آن هر کلاس بیانگر یک عبارت کلامی است تشکیل گردید. همچنین برای بیان قابلیت اطمینان
 246 شاخص‌های ماتریس خاکستری، بر اساس فراوانی هر متغیر زبانی در هر شاخص، از متغیرهای کلامی جدول ۳ در سه کلاس استفاده شد.

Table 3 - Classified Indicators and reliability based on grey theory

جدول ۳- کلاس‌بندی مقدار و قابلیت اطمینان شاخص‌ها بر مبنای تئوری خاکستری

Linguistic variable	Grey Interval	Symbol	Linguistic variable	Grey Interval	Symbol
Very Low	[0.00 0.20]	VL	Weak	[0.00 0.33]	W
Low	[0.20 0.40]	L	Fairly	[0.33 0.67]	F
Medium	[0.40 0.60]	M	Strong	[0.67 1.00]	S
High	[0.60 0.80]	H			
Very High	[0.80 1.00]	VH			

249 برای وزن‌دهی شاخص‌های مؤثر بر WRCC در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۰ که دارای مؤلفه عدم قطعیت (A) به شکل عدد خاکستری و همچنین مؤلفه
 250 قابلیت اطمینان (B) به شکل عدد خاکستری می‌باشند از آنتروپی خاکستری استفاده شد. برای شاخص‌های نرمال‌سازی شده با ویژگی ذکر شده در بازه
 251



252 ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ ماتریس تصمیم نرمال داده‌ها با قابلیت اطمینان به صورت $(Y = [y(A_{ij}, B_{ij})]_{n \times m} \quad j=1, \dots, m; \quad i=1, \dots, n)$ ایجاد شد. ماتریس
 253 حاصل ماتریس تصمیم خاکستری است. در ماتریس (B_{ij}) به عنوان یک عدد خاکستری، مؤلفه اول بیانگر مقدار (A) و مؤلفه دوم بیانگر قابلیت اطمینان
 254 (B) شاخص زاست و i بازه زمانی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ است. نرمال سازی کران بالا و پایین هر مؤلفه هر شاخص ماتریس تصمیم خاکستری با استفاده
 255 از رابطه ۳ انجام می‌پذیرد.

$$256 \quad p(A_{ij}^l, B_{ij}^l) = \frac{y(A_{ij}^l, B_{ij}^l)}{\sum_{j=1}^m y(A_{ij}^l, B_{ij}^l)} \quad p(A_{ij}^u, B_{ij}^u) = \frac{y(A_{ij}^u, B_{ij}^u)}{\sum_{j=1}^m y(A_{ij}^u, B_{ij}^u)} \quad j=1, \dots, m; \quad i=1, \dots, n \quad (3)$$

257 $y(A_{ij}^l, B_{ij}^l)$ مقدار و قابلیت اطمینان کران پایین شاخص $y(A_{ij}, B_{ij})$ ، $p(A_{ij}^l, B_{ij}^l)$ مقدار و قابلیت اطمینان نرمال کران پایین شاخص $y(A_{ij}, B_{ij})$ ،
 258 $y(A_{ij}^u, B_{ij}^u)$ مقدار و قابلیت اطمینان کران بالای شاخص $y(A_{ij}, B_{ij})$ و $p(A_{ij}^u, B_{ij}^u)$ مقدار و قابلیت اطمینان نرمال کران بالای شاخص $y(A_{ij}, B_{ij})$
 259 است. در گام بعدی آنتروپی کران بالا و پایین هر مؤلفه هر یک از کلاس‌ها بر اساس روابط ۴ و ۵ برای هر مؤلفه هر شاخص محاسبه می‌گردد.

$$260 \quad h(A_j^l, B_j^l) = \min\{-h(A_0, B_0) \sum_{i=1}^n p(A_{ij}^l, B_{ij}^l) \cdot \ln p(A_{ij}^l, B_{ij}^l), -h(A_0, B_0) \sum_{i=1}^n p(A_{ij}^u, B_{ij}^u) \cdot \ln p(A_{ij}^u, B_{ij}^u)\} \quad j=1, \dots, m \quad (4)$$

$$261 \quad h(A_j^u, B_j^u) = \max\{-h(A_0, B_0) \sum_{i=1}^n p(A_{ij}^l, B_{ij}^l) \cdot \ln p(A_{ij}^l, B_{ij}^l), -h(A_0, B_0) \sum_{i=1}^n p(A_{ij}^u, B_{ij}^u) \cdot \ln p(A_{ij}^u, B_{ij}^u)\} \quad j=1, \dots, m \quad (5)$$

262 $h(A_j^l, B_j^l)$ آنتروپی مقدار و قابلیت اطمینان کران پایین هر شاخص و $h(A_j^u, B_j^u)$ آنتروپی مقدار و قابلیت اطمینان کران بالای هر شاخص است.
 263 $h(A_0, B_0)$ ثابت آنتروپی می‌باشد که از رابطه $(\ln m)^{-1}$ محاسبه می‌گردد. سپس با استفاده از مفهوم فاصله، درجه انحراف کران پایین هر مؤلفه هر
 264 شاخص (A_j^l, B_j^l) و درجه انحراف کران بالای هر مؤلفه هر شاخص (A_j^u, B_j^u) از روابط ۶ محاسبه می‌شود.

$$265 \quad d(A_j^l, B_j^l) = 1 - h(A_j^u, B_j^u) \quad d(A_j^u, B_j^u) = 1 - h(A_j^l, B_j^l) \quad j=1, \dots, m \quad (6)$$

266 در گام بعدی وزن کران بالا $w(A_j^u, B_j^u)$ و پایین $w(A_j^l, B_j^l)$ هر مؤلفه هر شاخص بر اساس روابط ۷ به دست می‌آید.

$$267 \quad w(A_j^l, B_j^l) = \frac{d(A_j^l, B_j^l)}{\sum_{s=1}^n d(A_s^l, B_s^l)} \quad w(A_j^u, B_j^u) = \frac{d(A_j^u, B_j^u)}{\sum_{s=1}^n d(A_s^u, B_s^u)} \quad j=1, \dots, m \quad (7)$$

268 در نهایت وزن هر مؤلفه شاخص با استفاده از وزن کران بالا و پایین هر مؤلفه هر شاخص، از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$269 \quad W(A_j, B_j) = \frac{w(A_j^l, B_j^l) + w(A_j^u, B_j^u)}{2} \quad j=1, \dots, m \quad (8)$$

270 وزن هر مؤلفه هر شاخص شامل وزن مقدار و وزن قابلیت اطمینان هر شاخص می‌باشد و برای شاخص‌های استخراج شده بر اساس مدل توسعه داده شده
 271 در جدول ۵ ارائه شده است.

272

273



274 در حال حاضر هیچ سیستم شاخص ارزیابی WRCC واحدی وجود ندارد که بتوان آن را برای تمامی حوضه‌ها اعمال نمود (Li et al., 2023a). لذا
 275 ایجاد یک شاخص به‌هم‌پیوسته از مسائل محیطی، اقتصادی و اجتماعی می‌تواند مناسب باشد. همچنین این شاخص می‌بایست در کنار بیان یک مسئله
 276 پیچیده دارای سادگی محاسباتی باشد. لذا استفاده از یک شاخص ترکیبی که بتواند لایه‌های متفاوت پیچیدگی WRCC را بیان نماید قابل استفاده
 277 است (Wang et al., 2022) را مطالعه نمایید). برای تعیین WRCC، با استفاده از شاخص‌های مؤثر، ابتدا باید مقدار WRCC و قابلیت اطمینان آن
 278 استاندارد گردد. مقادیر استاندارد مقدار و قابلیت اطمینان WRCC به همراه نمادها در پنج کلاس در جدول ۴ ارائه شده است. WRCC را می‌توان از
 279 طریق تابع وزن‌دهی، رابطه ۹ به دست آورد.

$$WRCC(A_i, B_i) = \sum_{j=1}^n W(A_j, B_j) Y(A_{ij}, B_{ij}) \quad (9)$$

281 در این رابطه $WRCC(A_i, B_i)$ شاخص ارزیابی ظرفیت برد منابع آب با قابلیت اطمینان در سال i و $W(A_j, B_j)$ وزن شاخص j به همراه قابلیت اطمینان
 282 و $Y(A_{ij}, B_{ij})$ مقدار شاخص j با قابلیت اطمینان آن در سال i است. در این مطالعه وضعیت WRCC به پنج کلاس تقسیم گردیده است تا تحلیل
 283 شهودی از وضعیت حوضه در طی سال‌های سپری شده ارائه گردد (Wang et al., 2022).

284 **Table 4 - Classified WRCC Criteria and Reliability.**

285 **جدول ۴ - کلاس بندی مقدار و قابلیت اطمینان ظرفیت برد منابع آب**

WRCC value	0.00-0.20	0.20-0.40	0.40-0.60	0.60-0.80	0.80-1.00
WRCC status	Very poor (VP)	Poor (P)	Normal (N)	Good (G)	Excellent (E)
WRCC reliability value	0.00-0.33		0.33-0.67		0.67-1.00
WRCC reliability	Weak (W)		Fairly (F)		Strong (S)

286
 287 به‌طور کلی، WRCC بزرگ‌تر به این معنی است که منابع آب حوضه می‌تواند پشتیبانی قوی‌تری برای فعالیت‌های مختلف انسانی ارائه دهد. از آنجایی که
 288 شاخص ارزیابی نشان‌دهنده ظرفیت برد نسبی است، این روش می‌تواند روند توسعه WRCC را منعکس کند (Liu et al., 2022).

290 **۲-۳-۵. زد - تاپسیس (Z-TOPSIS)**

291 TOPSIS یک روش جهت ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها، با توجه به فاصله آن‌ها از ایده‌آل‌های مثبت و منفی است. از مزیت‌هایی این روش نسبت به
 292 سایر روش‌های رتبه‌بندی گزینه‌ها، آن است که شاخص‌های به‌کاررفته برای مقایسه به‌طور هم‌زمان می‌توانند کمی یا کیفی بوده و طبیعت معکوس یا
 293 مثبت داشته باشند. عدم قطعیت پارامترها و روش‌های ارزیابی گزینه‌ها منجر به ایجاد تکنیک TOPSIS مبتنی بر تئوری فازی شده است (Zyoud
 294 et al., 2016) را مطالعه نمایید). در توسعه درک عدم قطعیت با استفاده از تئوری فازی، مفهوم اعداد Z که توانایی هم‌زمان عدم قطعیت و عدم دقت
 295 اطلاعات را دارد، ارائه شد (Zadeh, 2011). اعداد Z به شکل $Z=(A, B)$ دارای دو مؤلفه است مؤلفه اول عدم قطعیت بر روی متغیر تصادفی X و
 296 مؤلفه دوم قابلیت اطمینان مؤلفه اول را نشان می‌دهد. این قابلیت اطمینان را می‌توان از نقطه نظرات مختلف از جمله: احتمال، اعتبار، اطمینان مورد
 297 بررسی قرار داد. اجزای اعداد Z اغلب توسط دانش فرد خبره تعیین می‌شوند و فاقد یادگیری هستند. لذا اعداد Z انعطاف‌پذیری مدل اصلی را از نظر



298 زبانی حفظ می کنند. با ادغام اعداد Z در روش TOPSIS می توان از قابلیت اطمینان عدم قطعیت داده ها در رتبه بندی گزینه ها استفاده نمود. در روش
 299 پیشنهادی این تحقیق، متغیرهای زبانی بر اساس اعداد Z به طور مستقیم برای تصمیم گیری و فاصله هاسدورف فازی برای رتبه بندی گزینه ها از راه حل
 300 ایده آل، استفاده شد. اطلاعات بدون محدودیت در نوع اعداد فازی به طور مستقیم مورد استفاده قرار می گیرد و توانایی فاصله هاسدورف فازی، به لحاظ
 301 نظری و عملی در برخی کاربردهای قبلی مانند تصمیم گیری و تشخیص الگو تأیید شده است (Nourani and Najafi, 2023). ابتدا ماتریس تصمیم
 302 فازی WRCC در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بر اساس شاخص ها با مؤلفه های فازی مقدار و قابلیت اطمینان هر شاخص ایجاد می شود. شاخص ها بر اساس
 303 روابط ۱ و ۲ نرمال شده و علاوه بر این، به دلیل وزن متفاوت هر شاخص در WRCC، ماتریس نرمال شده با اعمال وزن هر شاخص به ماتریس
 304 تصمیم نرمال شده وزنی، تبدیل شده و ماتریس تصمیم نرمال شده وزنی به صورت $Z = [z(A_{ij}, B_{ij})]_{n \times m}$ $j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$ تشکیل
 305 می شود. در این رابطه $z(A_{ij}, B_{ij})$ به عنوان یک عدد Z بیانگر مقدار فازی (A) و قابلیت اطمینان فازی (B) شاخص z در سال i است. در گام بعدی
 306 برای هر شاخص، گزینه ایده آل مثبت \bar{R}_P^{id} و گزینه ایده آل منفی \bar{R}_N^{id} از طریق بخش اول روابط ۱۰ و ۱۱ محاسبه می شود. برای شاخص هایی که
 307 ماهیت مثبت دارند ایده آل مثبت بزرگترین مقدار آن معیار بوده و از بخش دوم رابطه ۱۰ محاسبه شده و ایده آل منفی کوچکترین مقدار آن معیار بوده
 308 و از بخش دوم رابطه ۱۱ محاسبه می شود. همچنین برای معیارهایی که ماهیت معکوس دارند ایده آل مثبت کوچکترین مقدار آن معیار بوده و از بخش
 309 دوم رابطه ۱۱ محاسبه و ایده آل منفی بزرگترین مقدار آن معیار بوده و از بخش دوم رابطه ۱۰ محاسبه می شود.

$$310 \quad \bar{R}_P^{id} = \{Z(A_{P1}^{id}, B_{P1}^{id}), Z(A_{P2}^{id}, B_{P2}^{id}), \dots, Z(A_{Pn}^{id}, B_{Pn}^{id})\} \quad \text{where } Z(A_{Pj}^{id}, B_{Pj}^{id}) = \max(\bar{Z}_{ij}) \quad i = 1, \dots, m \quad (10)$$

$$311 \quad \bar{R}_N^{id} = \{Z(A_{N1}^{id}, B_{N1}^{id}), Z(A_{N2}^{id}, B_{N2}^{id}), \dots, Z(A_{Nn}^{id}, B_{Nn}^{id})\} \quad \text{where } Z(A_{Nj}^{id}, B_{Nj}^{id}) = \min(\bar{Z}_{ij}) \quad i = 1, \dots, m \quad (11)$$

312 سپس فاصله هاسدورف بین ویژگی های شاخص ها و گزینه ایده آل (مثبت و منفی) محاسبه می گردد. فاصله هاسدورف فازی برای محاسبه فاصله بین
 313 اعداد Z استفاده می گردد (Nourani and Najafi, 2023) را مطالعه نمایید). فاصله هاسدورف فازی با استفاده از روابط ۱۲ و ۱۳ محاسبه می شود:

$$314 \quad (Z_1, Z_2) = d(A_1, A_2) + d(B_1, B_2) \quad \text{Where, } d(A_1, A_2) = \sup\{d_H(A_1^\alpha, A_2^\alpha) | 0 < \alpha \leq 1\} \quad \& \quad d(B_1, B_2) =$$

$$315 \quad \sup\{d_H(B_1^\alpha, B_2^\alpha) | 0 < \alpha \leq 1\} \quad \text{Where } d_H \text{ is fuzzy Hasdroff distance, } d_H(A_1, A_2) =$$

$$316 \quad U_{\alpha \in [0,1]} \alpha d_H^\alpha(A_1, A_2) \quad \& \quad d_H(B_1, B_2) = U_{\alpha \in [0,1]} \alpha d_H^\alpha(B_1, B_2) \quad \text{Where } U \text{ indicates the unions of sets.} \quad (12)$$

$$317 \quad DT_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (D(Z_{Pj}^{id}, Z_{ij}))^2} \quad \& \quad DT_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (D(Z_{Nj}^{id}, Z_{ij}))^2} \quad ; i=1, \dots, m \quad (13)$$

318 $D(Z_1, Z_2)$ فاصله بین کلاس مقدار و قابلیت اطمینان دو عدد Z است. DT_i^+ فاصله نهایی از گزینه ایده آل مثبت و DT_i^- فاصله نهایی از گزینه ایده آل
 319 منفی می باشد. گام نهائی محاسبه گزینه ایده آل است. در این گام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به گزینه ایده آل از رابطه ۱۴ به دست می آید:

$$320 \quad RC_i = \frac{DT_i^-}{DT_i^- + DT_i^+} \quad (14)$$

321 مقدار RC بین صفر و یک تغییر می کند و هرچه به یک نزدیک تر باشد گزینه به جواب ایده آل نزدیک تر و گزینه بهتری است.



۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱. ظرفیت برد منابع آب حوضه

322
 323
 324 پارامترهای متعددی توسط SD در قالب سه زیرسیستم محیطی، اقتصادی و اجتماعی در حوضه قرنقو مدل سازی گردید و شاخص های مؤثر بر WRCC
 325 به استناد مطالعات قبلی، دانش خبرگان و تکنیک PSR شناسایی شده و در جدول ۲ ارائه شده اند. از یازده شاخص شناسایی شده، شاخص های دما، توسعه
 326 اراضی کشاورزی، جمعیت، تبخیر و تعرق بر مفهوم WRCC اثر معکوس دارند. با استفاده از مدل SD مقادیر کمی یازده شاخص مؤثر بر WRCC در
 327 بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ تهیه گردید و با استفاده از مفهوم آنتروپی، تئوری خاکستری و قابلیت اطمینان شاخص های مؤثر وزن دهی گردیدند. محاسبه
 328 قابلیت اطمینان شاخص های مؤثر بر WRCC با استفاده از تبدیل مقادیر شاخص ها به متغیر زبانی بر اساس جدول ۳ و بررسی فراوانی تکرار متغیرهای
 329 زبانی شاخص ها در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ میسر گردید. مقادیر محاسبه شده برای وزن هر یک از شاخص ها در قالب اعداد خاکستری شامل دو جزء هستند
 330 که اولی بیانگر وزن شاخص ها و دومی وزن قابلیت اطمینان هر شاخص در محاسبه WRCC است که در جدول ۵ ارائه شده است.

Table 5 - Indicators value and Indicators reliability

جدول ۵ - وزن مقدار و قابلیت اطمینان شاخص ها

Evaluation indicator	Indicator's Weight	Indicator's Reliability Weight
Precipitation	0.067	0.078
Temperature	0.086	0.080
Evapotranspiration	0.090	0.095
Water Deficit	0.059	0.079
Pastures	0.079	0.095
Cultivation lands	0.079	0.095
GDP	0.107	0.105
Capital	0.118	0.086
Labor	0.118	0.073
GDP per capita	0.107	0.106
Population	0.090	0.108

333
 334 با استفاده از وزن مقدار و قابلیت اطمینان شاخص ها، WRCC در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ محاسبه گردید. روند تغییرات شاخص های مؤثر بر WRCC در
 335 شکل ۶ ارائه شده است. در شکل ۶a روند تغییرات دما، تبخیر و تعرق و بارش در حوضه در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ نمایش داده شده است. ملاحظه می شود
 336 هرچند تغییرات این پارامترها در بازه زمانی دوره ای بوده ولی بارش و تبخیر و تعرق دارای روند افزایشی می باشند و روند افزایش بارش از تبخیر و تعرق
 337 پیشی گرفته است. به طوری که میزان بارش از ۲۴۰ میلی متر در سال ۲۰۰۰ به ۳۵۹ میلی متر در سال ۲۰۲۰ بررسی با رشد ۴۸ درصدی همراه است
 338 در حالی که میزان تبخیر و تعرق از ۳۲۰ میلی متر در سال ۲۰۰۰ به ۳۳۴ میلی متر در سال ۲۰۲۰ با رشد ۴ درصدی مواجه بوده است. شکل ۶b بیانگر
 339 کاهش سطح مراتع و افزایش اراضی زیر کشت می باشد. میزان تغییر کاربری اراضی در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ در حدود ۵۴۶۰۰ هکتار می باشد که با رشد
 340 ۳۸ درصدی اراضی زیر کشت و کاهش همین مقدار مراتع می باشد. شکل ۶c روند کاهشی کسری آب حوضه را نمایش می دهد. روند کاهشی کسری



341 آب در حوضه را ناشی از افزایش میزان بارندگی می‌توان دانست. علیرغم افزایش اراضی زیر کشت به دلیل نوع کشت که به‌صورت کشت دیم و با
342 محصول غالب گندم می‌باشد، ملاحظه می‌شود وضعیت آبی حوضه در این بازه بهبودیافته است. در شکل ۶d روند تغییرات سرمایه بر اساس قیمت‌های
343 ثابت و سرانه GDP در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ نمایش داده شده است. مقادیر این پارامترها در بازه‌های روند افزایشی داشته و شیب این منحنی‌ها از
344 سال ۲۰۰۶ به‌شدت افزایشی گشته است که بیانگر افزایش سرمایه‌گذاری در حوضه می‌باشد. میزان سرمایه‌گذاری در سال ۲۰۲۰ با رشد ۱۲ برابری
345 سرمایه نسبت به سال ۲۰۰۰ مواجه می‌باشد. بر اساس اطلاعات بانک مرکزی ایران عمده سرمایه‌گذاری از این سال در بخش‌های صنعت و خدمات
346 بوده و بخش کشاورزی با سرمایه‌گذاری قابل توجهی همراه نمی‌باشد و توسعه بخش کشاورزی به‌صورت معیشتی و با توسعه اراضی دیم صورت پذیرفته
347 است. علیرغم افزایش میزان سرمایه‌گذاری، حوضه با کاهش سرانه GDP مواجه می‌باشد که دلایل آن را در تغییرات نیروی کار و اراضی زیر کشت
348 باید بررسی نمود چراکه بر اساس مدل اقتصادی ارائه شده، GDP تحت تاثیر این سه عامل می‌باشد. شکل ۶e روند کاهش جمعیت و نیروی کار در
349 حوضه را نمایش می‌دهد. در سال ۲۰۰۰ جمعیت حوضه ۱۱۴۷۸۸ نفر بوده و در سال ۲۰۲۰ این میزان جمعیت به ۹۹۳۸۹ نفر کاهش یافته است. که
350 این کاهش جمعیت در حدود ۱۳ درصد می‌باشد. کاهش جمعیت ناشی از کاهش نرخ زادوولد و همچنین افزایش نرخ مهاجرت به دلایل معیشتی
351 می‌باشد (Ghorbani et al., 2022). افزایش میزان نیروی کار در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ می‌تواند ناشی از افزایش سرمایه‌گذاری در دیگر بخش‌های
352 اقتصادی باشد. همچنین الگوی رفتاری اشتغال در برخی از حوام متفاوت می‌باشد به‌نحوی که شاید جامعه دارای نیروی کار باشد ولی تمایلی به اشتغال
353 نداشته باشند یعنی به‌صورت نیروی کار فعال نباشد و در برهه زمانی خاص وارد اشتغال گردند و مجدداً از چرخه فعالیت خارج شوند. هر یک از
354 پارامترهای انتخاب شده بر اساس نوع ماهیت تأثیر مثبت یا منفی بر شاخص WRCC دارند. به‌طور نمونه اثرات افزایش دما بر میزان تبخیر و تعرق و
355 افزایش تبخیر و تعرق بر آب در دسترس در حوضه اثر نامطلوب داشته لذا کاهش این شاخص‌ها بر WRCC اثر مثبت دارد. درحالی‌که هر یک از
356 شاخص‌ها دارای روندهای متفاوتی هستند شاخص‌های با ماهیت معکوس در صورت افزایش، اثرات نامطلوب به میزان وزن خود در محاسبه WRCC
357 خواهند داشت. ملاحظه شد شاخص‌های جمعیت و توسعه مراتع کاهشی و شاخص‌های سرمایه، سرانه GDP، توسعه اراضی کشاورزی افزایشی بوده و
358 بقیه شاخص‌ها روند دوره‌ای دارند. روند تغییرات WRCC شکل ۶f در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۰ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود روند WRCC بهبودیافته
359 است. بهبود وضعیت می‌تواند ناشی از افزایش آب قابل‌دسترس در حوضه با توجه با روند افزایشی بارش و کاهش کسری آب در حوضه، کاهش میزان
360 جمعیت و افزایش میزان سرمایه‌گذاری در حوضه رخ داده باشد. چراکه این تغییرات با مفهوم WRCC سازگار بوده و روند این تغییرات منجر به بهبود
361 وضعیت WRCC می‌گردد. همچنین WRCC بر اساس وزن‌دهی به روش آنتروپی و آنتروپی خاکستری نمایش داده شده است که ملاحظه می‌گردد
362 روند تغییرات WRCC در این دو شیوه وزن‌دهی مشابه بوده و مقادیر WRCC در این دو شیوه در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ در حدود ۸ درصد اختلاف
363 دارند. که در مقیاس مطالعه قابل توجه نبوده و استفاده از روش خاکستری به دلیل توانایی به کارگیری متغیرهای زبانی در بیان مفاهیم ارجح‌تر می‌باشد.
364 بهبود وضعیت WRCC در سال ۲۰۱۱ را می‌توان ناشی از بهبود وضعیت بارش در این سال و به تبع آن کاهش میزان کسری آب در حوضه دانست.
365 هرچند میزان تبخیر و تعرق در این سال افزایش یافته ولی افزایش میزان بارش نسبت به تبخیر و تعرق وضعیت WRCC را بهبود بخشیده است.

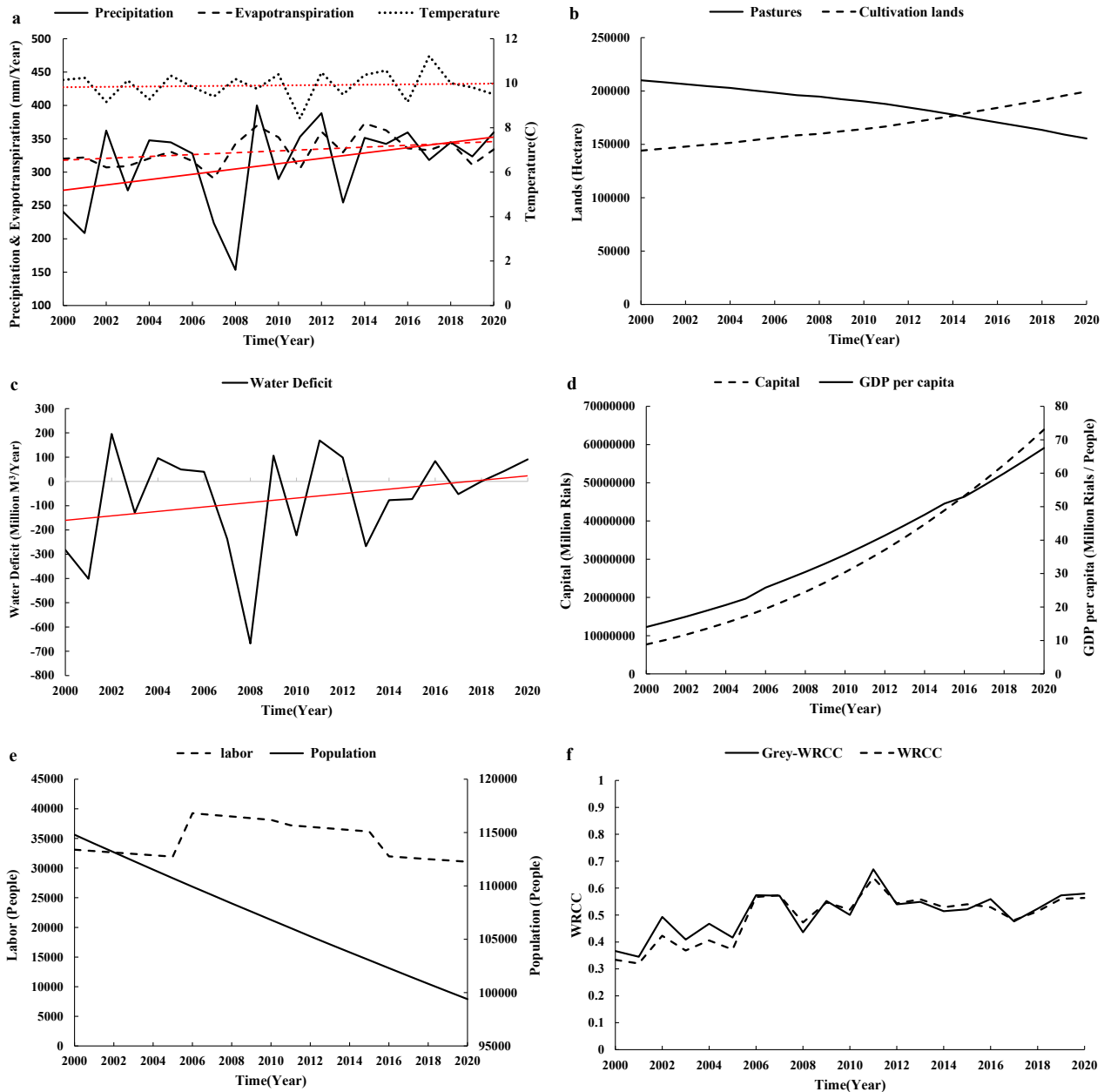


Fig. 6 - Trend of water resources carrying capacity & the affecting indicators

شکل ۶- روند تغییرات ظرفیت برد منابع آب و شاخص‌های مؤثر بر آن

366 به‌منظور بررسی نقش زیرسیستم‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی در برآورد WRCC شکل ۷ ارائه شد. ملاحظه می‌گردد زیرسیستم‌های اقتصادی
 367 و اجتماعی به‌عنوان شیف‌دهنده تأثیرات زیرسیستم محیطی بر WRCC می‌باشند. روند تغییرات WRCC از زیرسیستم محیطی تبعیت می‌نماید. روند
 368 تغییرات مجموع پارامترهای زیرسیستم محیطی کاهشی است ولی به دلیل افزایشی بودن روند تغییرات مجموع پارامترهای زیرسیستم‌های اقتصادی و
 369 اجتماعی مقدار WRCC در بازه بهبود یافته است. روند تغییرات زیرسیستم محیطی به شکل دوره‌ای بوده که ناشی از رفتار دوره‌ای پارامترهای مؤثر بر
 370 این زیرسیستم است. در زیرسیستم اجتماعی با کاهش میزان جمعیت در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ به دلیل ماهیت معکوس شاخص جمعیت، روند اثرات
 371 زیرسیستم اجتماعی بر WRCC افزایشی می‌باشد. همچنین روند شاخص‌های زیرسیستم اقتصادی افزایشی بوده و به دلیل ماهیت مثبت این شاخص‌ها،



372 زیرسیستم اقتصادی منجر به افزایش روند WRCC می‌گردند (Yang et al., 2023) را مطالعه نمایید). جهش میزان سرمایه‌گذاری در سال ۲۰۰۶
373 منجر به تغییرات اساسی در روند زیرسیستم اقتصادی گردیده و شاخص WRCC بصورت قابل توجهی افزایش یافته است.

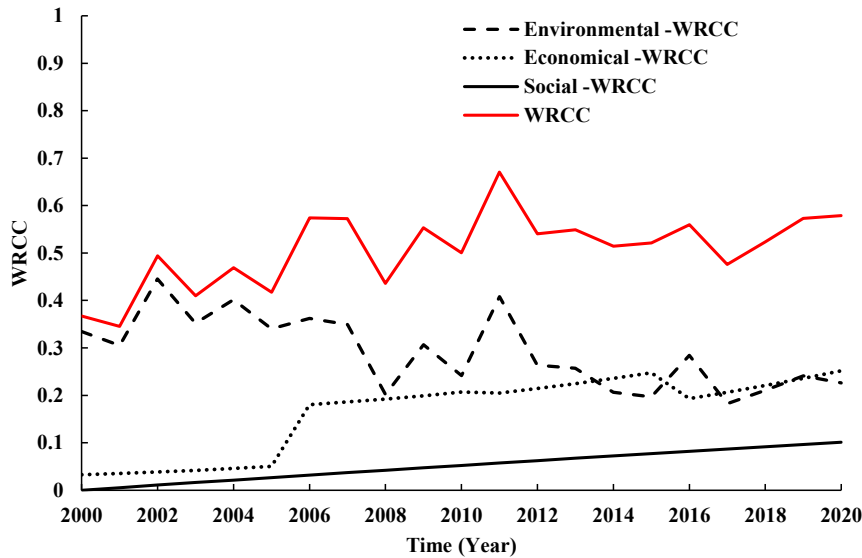


Fig. 7 - Trend of water resources carrying capacity subsystems

شکل ۷- روند تغییرات زیرسیستم‌های ظرفیت برد منابع آب

374 برای اعتبارسنجی مقادیر پارامترهای به‌دست‌آمده از محاسبات مدل در برابر داده‌های تاریخی، کالیبراسیون برای پارامترهای سرمایه، جمعیت، توسعه
375 زمین، نیروی کار و دبی خروجی از حوزه آبخیز انجام شد. حداکثر خطاهای محاسبه‌شده برای این پارامترها به ترتیب ۰.۶٪، ۰.۳۵٪، ۰.۸۷٪، ۰.۵۲٪ و ۰.۹۵٪
376 برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بود.

۳-۲. عدم قطعیت و قابلیت اطمینان شاخص‌های مؤثر بر WRCC

377
378
379 پیچیدگی خاصی در بیان اثر و روند هر یک از شاخص‌های مؤثر بر WRCC وجود دارد. شکلی دیگر از بیان شاخص‌ها به‌منظور بهبود درک و ارزیابی
380 شاخص‌ها با استفاده از متغیرهای زبانی موردتوجه قرار گرفت. استفاده از متغیرهای زبانی برای فهم پدیده‌های مفهومی بسیار مناسب‌تر است و بینش
381 مناسب ارائه می‌نماید (Alam et al., 2023). متغیرهای زبانی درک بهتر از وضعیت شاخص‌ها و قابلیت اطمینان آن‌ها و تأثیر بر WRCC ارائه
382 می‌نمایند. شاخص‌ها بر اساس جدول ۳ و WRCC بر اساس جدول ۴ قابل‌تبدیل به متغیرهای زبانی هستند که نتایج در جدول ۶ ارائه‌شده است.

Table 6 - Values and reliability of indicators & WRCC via linguistic variables

384 جدول ۶ - وضعیت و قابلیت اطمینان شاخص‌ها و ظرفیت برد منابع آب بر اساس متغیرهای زبانی

Year	IF										THEN	
	*Pr	T	ET	WD	P	CL	GDP	C	L	GDP per capita	Pop	WRCC
2000	(L,W)	(L,F)	(H,W)	(M,W)	(VH,W)	(VH,W)	(VL,W)	(VL,W)	(L,W)	(VL,W)	(VL,W)	(P,F)



2001	(L,W)	(L,F)	(H,W)	(L,W)	(VH,W)	(VH,W)	(VL,W)	(VL,W)	(L,W)	(VL,W)	(VL,W)	(P,F)
2002	(VH,W)	(H,W)	(H,W)	(VH,F)	(VH,W)	(VH,W)	(VL,W)	(VL,W)	(VL,F)	(VL,W)	(VL,W)	(N,S)
2003	(M,W)	(L,F)	(H,W)	(H,W)	(VH,W)	(VH,W)	(VL,W)	(VL,W)	(VL,F)	(VL,W)	(VL,W)	(N,F)
2004	(H,W)	(H,W)	(H,W)	(VH,F)	(VH,W)	(VH,W)	(VL,W)	(VL,W)	(VL,F)	(VL,W)	(L,W)	(N,S)
2005	(H,W)	(L,F)	(M,W)	(VH,F)	(VH,W)	(VH,W)	(VL,W)	(VL,W)	(VL,F)	(VL,W)	(L,W)	(N,S)
2006	(H,W)	(M,W)	(H,W)	(VH,F)	(H,W)	(H,W)	(L,W)	(VL,W)	(VH,W)	(L,W)	(L,W)	(N,F)
2007	(L,W)	(H,W)	(VH,W)	(M,W)	(H,W)	(H,W)	(L,W)	(L,W)	(VH,W)	(L,W)	(L,W)	(N,F)
2008	(VL,W)	(L,F)	(L,W)	(VL,W)	(H,W)	(H,W)	(L,W)	(L,W)	(VH,W)	(L,W)	(M,W)	(N,F)
2009	(VH,W)	(M,W)	(VL,W)	(VH,F)	(H,W)	(H,W)	(L,W)	(L,W)	(VH,W)	(L,W)	(M,W)	(N,F)
2010	(M,W)	(L,F)	(L,W)	(M,W)	(H,W)	(H,W)	(M,W)	(L,W)	(VH,W)	(M,W)	(M,W)	(N,F)
2011	(VH,W)	(VH,W)	(VH,W)	(VH,F)	(M,W)	(M,W)	(M,W)	(L,W)	(H,W)	(M,W)	(M,W)	(G,F)
2012	(VH,W)	(L,F)	(VL,W)	(VH,F)	(M,W)	(M,W)	(M,W)	(M,W)	(H,W)	(M,W)	(H,W)	(N,F)
2013	(M,W)	(H,W)	(M,W)	(M,W)	(M,W)	(M,W)	(M,W)	(M,W)	(H,W)	(M,W)	(H,W)	(N,F)
2014	(VH,W)	(L,F)	(VL,W)	(H,W)	(M,W)	(M,W)	(H,W)	(M,W)	(H,W)	(H,W)	(H,W)	(N,F)
2015	(H,W)	(L,F)	(VL,W)	(H,W)	(L,W)	(L,W)	(H,W)	(H,W)	(H,W)	(H,W)	(H,W)	(N,F)
2016	(VH,W)	(H,W)	(M,W)	(VH,F)	(L,W)	(L,W)	(H,W)	(H,W)	(VL,F)	(H,W)	(VH,W)	(N,F)
2017	(H,W)	(VL,W)	(M,W)	(H,W)	(L,W)	(L,W)	(H,W)	(H,W)	(VL,F)	(H,W)	(VH,W)	(N,F)
2018	(H,W)	(M,W)	(L,W)	(H,W)	(VL,W)	(VL,W)	(VH,W)	(VH,W)	(VL,F)	(VH,W)	(VH,W)	(N,F)
2019	(H,W)	(M,W)	(H,W)	(VH,F)	(VL,W)	(VL,W)	(VH,W)	(VH,W)	(VL,F)	(VH,W)	(VH,W)	(G,F)
2020	(VH,W)	(H,W)	(M,W)	(VH,F)	(VL,W)	(VL,W)	(VH,W)	(VH,W)	(VL,F)	(VH,W)	(VH,W)	(G,F)

* Pr: Precipitation, T: Temperature, ET: Evapotranspiration, WD: Water Deficit, P: Pastures, CL: Cultivation Lands, C: Capital, L: Labor, Pop: Population

385

- 386 بر اساس جدول ۶ وضعیت WRCC در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ رو به بهبود می‌باشد و ملاحظه می‌گردد وضعیت WRCC حوضه از حالت فقیر (P) در سال
- 387 ۲۰۰۰ به حالت خوب (G) در سال ۲۰۲۰ تغییر می‌نماید و در سال‌های آخر این وضعیت خوب (G) باقابلیت اطمینان قابل قبول (F) همراه است. دلایل
- 388 بهبود وضعیت WRCC در سال ۲۰۰۲ از حالت فقیر (P) به حالت نرمال (N) و سال ۲۰۱۱ از حالت نرمال (N) به حالت خوب (G) با بررسی روند
- 389 تغییرات شاخص‌های مؤثر بر WRCC بر اساس نمودارهای شکل ۵ می‌توان در افزایش بارش و بهبود کسری آب حوضه در این دو سال یافت چراکه
- 390 تغییرات شاخص‌ها از یک روند تبعیت نموده و در این دو سال به‌طور مشهودی میزان بارش و وضعیت کسری آب حوضه بهبود یافته است. این تغییرات
- 391 بیانگر اثرات قابل توجه شاخص‌های محیطی بر WRCC می‌باشند. هرچند اثرات زیرسیستم محیطی بر شاخص WRCC بر اساس شکل ۶ کاهش یافته
- 392 است ولی روند افزایشی شاخص‌هایی نظیر بارش و بهبود کسری آب حوضه باعث تثبیت وضعیت WRCC در حال نرمال (N) بعد از سال ۲۰۰۲ گردیده
- 393 است. تغییرات شاخص WRCC از حالت نرمال (N) باقابلیت اطمینان قوی (S) در سال ۲۰۰۵ به حالت نرمال (N) باقابلیت اطمینان قابل قبول (F) در
- 394 سال ۲۰۰۶ بیانگر اثر تغییرات شاخص‌های مؤثر بر WRCC است. چراکه با ایجاد تغییرات ناگهانی در مقادیر شاخص‌های مؤثر در سال‌های ذکر شده،
- 395 حساسیت با اطمینان مدل به تغییر مقادیر با استفاده از مفهوم قابلیت اطمینان درصد می‌گردد. در سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۶ حوضه با تغییرات محسوس در
- 396 مقادیر شاخص‌های مؤثر بر WRCC مواجه بوده به‌طوری‌که بارش کاهش یافته و به‌تبع آن حوضه با کسری آب مواجه بوده در کنار آن با افزایش
- 397 سرمایه‌گذاری و نیروی کار مواجه است. این تغییرات ناگهانی با استفاده از مدل زبانی که قابلیت اطمینان عدم قطعیت را بیان می‌کند قابل فهم‌تر
- 398 می‌باشد. طوری که اطمینان به این تغییر پارامترهای اثرگذار با احتیاط بیشتر مطرح شده و از اطمینان به خروجی حوضه که WRCC است کاسته شده
- 399 و وضعیت قابلیت اطمینان حوضه از قوی (S) به قابل قبول (F) تغییر می‌نماید. شاخص‌های مؤثر بر WRCC مقادیر متفاوتی در سال‌های مختلف دارند
- 400 به‌طور نمونه در سال ۲۰۱۶ وضعیت بارش خیلی زیاد (VH) باقابلیت اطمینان ضعیف (W)، وضعیت دما زیاد (H) باقابلیت اطمینان ضعیف (W)، وضعیت



401 تبخیر و تعرق متوسط (M) باقابلیت اطمینان ضعیف (W) و بقیه شاخص‌های همان سال بر اساس جدول ۶ منجر به ایجاد WRCC نرمال (N) باقابلیت
 402 اطمینان قابل قبول (F) گردیده است. درحالی‌که در سال ۲۰۱۷ با وضعیت بارش زیاد (H) باقابلیت اطمینان ضعیف (W)، وضعیت دما خیلی کم (VL)
 403 باقابلیت اطمینان ضعیف (W)، وضعیت تبخیر و تعرق زیاد (H) باقابلیت اطمینان ضعیف (W) و بقیه شاخص‌های همان سال بر اساس جدول ۶ وضعیت
 404 شاخص WRCC نرمال (N) باقابلیت اطمینان قابل قبول (F) شده است. لذا اثرات مستقیم و عکس شاخص‌ها در WRCC به صورت زبانی بسیار
 405 قابل فهم تر است.

۳-۳. رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر WRCC

408 رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر WRCC نگرش مناسب‌تری به نتایج ارزیابی WRCC ارائه می‌نماید. به دلایلی نظیر نقص داده‌ها، ناهم‌جنس بودن
 409 داده‌ها، خطاهای مدل‌سازی و غیره عدم قطعیت در این شاخص‌ها مشهود است که می‌توان با استفاده از اعداد Z بیان بهتری از شاخص‌ها در کنار هم
 410 ارائه نمود (Nourani et al., 2021). به منظور انتخاب مؤثرترین شاخص بر WRCC از Z-TOPSIS استفاده گردید. مقادیر زبانی شاخص‌های جدول
 411 ۶ با استفاده از شکل ۸ به اعداد Z تبدیل شدند. این شاخص‌ها به اعداد $Z=(A,B)$ تبدیل شدند که در این اعداد A بیانگر مقدار فازی شاخص و B
 412 بیانگر قابلیت اطمینان فازی شاخص است. در فرآیند ارزیابی مفاهیم معنایی اغلب نامشخص هستند، و اینکه آیا یک عنصر به یک مفهوم معنایی تعلق
 413 دارد، اغلب یک فرآیند تدریجی است. لذا مناسب‌ترین شیوه برای این گونه ارزیابی استفاده از مفهوم اعداد Z است (Li et al., 2021).

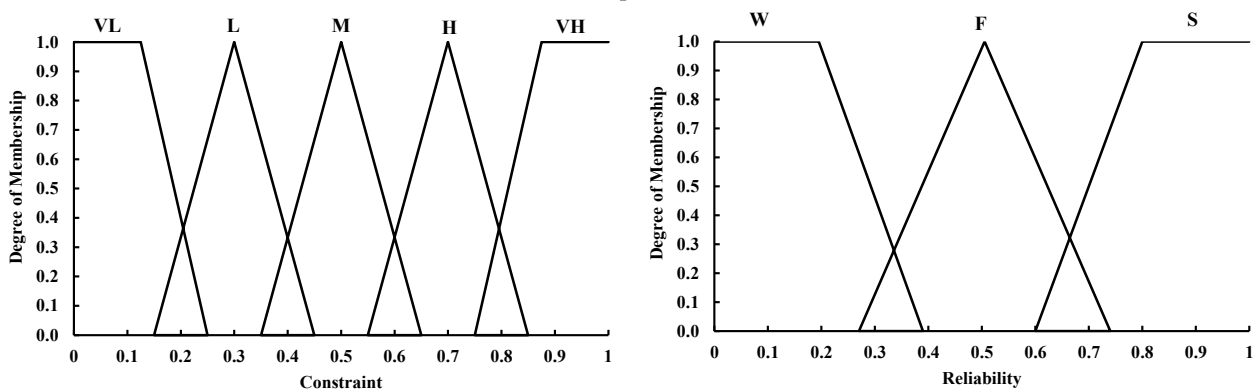


Fig. 8 - Codebook of linguistic variable to Z-number

شکل ۸- نمودار تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد Z

414
 415 با تبدیل مقادیر شاخص‌ها به اعداد فازی هر کدام از این مقادیر دارای تابع عضویتی مطابق شکل ۸ می‌باشند. سپس وزن هر شاخص به آن‌ها اعمال
 416 می‌گردد تا تمام شاخص‌ها نرمال گردند. در میان شاخص‌های نرمال شده مورد بررسی در هر سال هر کدام در بهترین وضعیت باشد به عنوان گزینه
 417 ایده‌آل مثبت و هر کدام در بدترین وضعیت باشد به عنوان گزینه ایده‌آل منفی انتخاب گردید. گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۰ به
 418 همراه قابلیت اطمینان آن‌ها محاسبه و در جدول ۷ ارائه شده است.



419

Table 7 - Ideal positive and negative based on Z-number

420

جدول ۷ - گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی بر اساس اعداد Z

Year	\tilde{R}_P^{id}		\tilde{R}_N^{id}	
	Constraint	Reliability	Constraint	Reliability
2000	(0.069,0.077,0.086)	(0.330,0.500,0.670)	(0.000,0.010,0.021)	(0.000,0.165,0.330)
2001	(0.069,0.077,0.086)	(0.330,0.500,0.670)	(0.000,0.010,0.021)	(0.000,0.165,0.330)
2002	(0.069,0.077,0.086)	(0.330,0.500,0.670)	(0.000,0.010,0.021)	(0.000,0.165,0.330)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2019	(0.128,0.144,0.160)	(0.330,0.500,0.670)	(0.000,0.009,0.017)	(0.000,0.165,0.330)
2020	(0.128,0.144,0.160)	(0.330,0.500,0.670)	(0.000,0.009,0.017)	(0.000,0.165,0.330)

421

فاصله هاسدروف بین شاخص‌ها از مقادیر ایده‌آل مثبت D^+ و منفی D^- تهیه و فاصله نهایی گزینه‌ها از گزینه ایده‌آل مثبت DT^+ و منفی DT^- استخراج و بر اساس رابطه نزدیکی نسبی شاخص‌ها رتبه‌بندی گردیدند که در جدول ۸ ارائه شدند.

424

Table 8 - Ranking Attribute based on Z-TOPSIS and conventional TOPSIS

425

جدول ۸ - رتبه‌بندی شاخص‌ها به روش Z-TOPSIS و TOPSIS

Attribute	Z-TOPSIS		Conventional TOPSIS	
	*RC	Rank	RC	Rank
Precipitation	0.448	10	0.128	9
Temperature	0.475	4	0.791	1
Evapotranspiration	0.596	1	0.696	3
Water Deficit	0.535	6	0.083	10
Pastures	0.324	9	0.270	8
Cultivation lands	0.671	2	0.730	2
GDP per capita	0.249	8	0.521	7
Capital	0.416	7	0.590	6
Labor	0.568	5	0.668	4
Population	0.748	3	0.628	5

*RC: Relative Closeness

426

بررسی مقادیر جدول ۸ که رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر در برآورد WRCC را ارائه می‌نماید، نشان می‌دهد که در روش Z-TOPSIS شاخص‌ها به صورت تبخیر و تعرق < اراضی کشاورزی < جمعیت < دما < نیروی کار < کسری آب حوضه < سرمایه < سرانه تولید ناخالص داخلی < مراتع < بارش رتبه‌بندی شده و در روش TOPSIS به صورت دما < اراضی کشاورزی < تبخیر و تعرق < نیروی کار < جمعیت < سرمایه < سرانه تولید ناخالص داخلی < مراتع < بارش < کسری آب حوضه رتبه‌بندی گردیده‌اند. ملاحظه شد با اعمال عدم قطعیت و قابلیت اطمینان تبخیر و تعرق به‌عنوان مؤثرترین شاخص انتخاب گردید و رتبه‌های دوم و سوم به شاخص‌های اراضی کشاورزی و جمعیت تعلق گرفت. در حالی که در روش TOPSIS اولویت اول با دما و اولویت‌های دوم و سوم به ترتیب با اراضی کشاورزی و تبخیر و تعرق است. به نظر می‌رسد انتخاب دما به‌عنوان اولویت اول در برآورد WRCC نمی‌تواند شاخص مناسبی باشد در حالی که انتخاب شاخص تبخیر و تعرق بر اساس روش Z-TOPSIS مناسب‌تر است. همچنین شناسایی دو شاخص اراضی کشاورزی و تبخیر و تعرق به‌عنوان اولویت‌های دوم و سوم در روش TOPSIS و اراضی کشاورزی و جمعیت در روش Z-TOPSIS بیانگر اهمیت شاخص‌های محیطی و اجتماعی است. اولویت قرار گرفتن شاخص‌های زیرسیستم محیطی نشان از اهمیت این زیرسیستم در ارزیابی



436 WRCC دارد. همچنین رتبه‌بندی تبخیر و تعرق در بین سه اولویت اول هر دو روش رتبه‌بندی، بیانگر اهمیت این شاخص است. شاخصی که در این
437 مطالعه بر اساس استفاده از مدل PML محاسبه گردیده است و توانایی نمایش اثرات تغییرات اقلیمی و همچنین فعالیت‌های انسانی را دارد و این
438 ارتباط اثرات مستقیم و اولویت‌دار تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی را بر WRCC نشان می‌دهد.
439 در صورت فرض قابلیت اطمینان قوی (S) برای شاخص‌ها که نشان از تحقق شاخص‌ها با اطمینان بالا هست وضعیت رتبه‌بندی شاخص‌ها به صورت
440 نیروی کار < سرمایه < سرانه تولید ناخالص داخلی < دما < مراتع < تبخیر و تعرق < اراضی کشاورزی < جمعیت < بارش < کسری آب حوضه
441 گردید. این رتبه‌بندی حاکی از نقش پررنگ شاخص‌های اقتصادی در صورت اطمینان از تحقق مقادیر شاخص‌ها است درحالی‌که مسائل محیطی در
442 اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرد و از اهمیت شاخص‌های محیطی که تأثیر قابل‌توجهی در مفهوم WRCC می‌تواند داشته باشند کاسته می‌شود لذا
443 استفاده از مفهوم قابلیت اطمینان در بهبود رتبه‌بندی مشهود است.

444

445

۴- جمع‌بندی

446 مطالعه انجام‌شده به‌منظور بررسی WRCC در حوضه قرنقو در شمال غرب ایران و اثرات شاخص‌های مؤثر بر آن است. با توجه به مطالعات محدود
447 انجام‌شده در خصوص WRCC به‌ویژه در خصوص حوضه‌ها و علی‌الاصح حوضه‌های آبریز در ایران، این مطالعه با به‌کارگیری حداقل شاخص‌های
448 مؤثر برای ارزیابی WRCC در فضای عدم قطعیت داده‌ها به دلیل کمبود اطلاعات، ناهم‌جنس بودن داده‌ها، خطاهای ناشی از مدل‌سازی و غیره از
449 اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا شمای کلی از وضعیت حوضه قرنقو را با حداقل اطلاعات ارائه نماید. در این مطالعه با بررسی روابط علی و معلولی
450 پارامترهای مؤثر در میزان آب قابل‌دسترس در یک حوضه و عوامل محیطی، اقتصادی و اجتماعی، یک مدل SD ایجاد گردید تا تأثیر متقابل پارامترها
451 در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ به دست آید. در این مدل ذهنی ایجادشده متغیر اراضی کشاورزی به‌عنوان متغیر ارتباطی زیرسیستم محیطی و اقتصادی و
452 متغیرهای GDP و نیروی کار به‌عنوان متغیرهای ارتباطی زیرسیستم اقتصادی و اجتماعی شناسایی گردیدند. به‌طوری‌که با افزایش سرمایه‌گذاری در
453 بخش کشاورزی، اراضی بیشتری زیر کشت قرار می‌گیرند که باعث افزایش میزان تبخیر و تعرق و کاهش آب دسترس در حوضه خواهد شد، این حلقه
454 بازخورد در زیرسیستم محیطی به‌عنوان یکی از حلقه‌های غالب بوده و نقش کنترلی دارد. با افزایش اراضی زیر کشت میزان GDP افزایش یافته و
455 باعث افزایش میزان سرمایه‌گذاری می‌گردد. این حلقه بازخورد در زیرسیستم اقتصادی به‌عنوان یکی از حلقه‌های غالب بوده و نقش تشدید بازخورد را
456 دارد. با افزایش GDP در حوضه میزان رفاه اجتماعی افزایش یافته و باعث مهاجرت به سمت حوضه و افزایش جمعیت می‌گردد و به‌تبع آن درخواست
457 برای کار افزایش یافته و وجود نیروی کار مؤثر به‌عنوان یکی از عوامل توسعه اقتصادی باعث افزایش GDP می‌گردد. این حلقه بازخورد در زیرسیستم
458 اجتماعی به‌عنوان یکی از حلقه‌های غالب بوده و نقش تشدید بازخورد را دارد. حلقه‌های غالب زیرسیستم‌ها نقش محوری در تغییرات درون مدل SD
459 را ایفا می‌کنند. از اهمیت این مطالعه مدل‌سازی تبخیر و تعرق به‌عنوان یک پارامتر مؤثر بر بیلان آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک بر اساس شیوه
460 جدید برآورد تبخیر و تعرق به روش PML بود که موجب شد اثرات دما، بارش و تغییر کاربری اراضی در برآورد تبخیر و تعرق اعمال گردد و در
461 شاخص‌های انتخاب‌شده اثرات تغییرات اقلیمی و تغییر کاربری اراضی مشاهده شود. سپس شاخص‌های مؤثر بر مفهوم WRCC استخراج شد و به
462 دلیل وجود عدم قطعیت در ارتباط با این شاخص‌ها به دلایلی نظیر تنوع شاخص‌ها، برآورد دقیق آن‌ها، مدل‌های بکار رفته و .. از شیوه‌های عدم قطعیت
463 برای وزن‌دهی شاخص‌ها استفاده شد. این عدم قطعیت همراه با موضوع قابلیت اطمینان عدم قطعیت، موجب به‌کارگیری شیوه‌های نوین از وزن‌دهی با



464 ادغام تئوری خاکستری و آنتروپی گردید. با محاسبه مقدار WRCC در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۰، حوضه شاهد بهبود وضعیت WRCC بود و ملاحظه گردید
465 وضعیت WRCC حوضه از حالت فقیر (P) در سال ۲۰۰۰ به حالت خوب (G) در سال ۲۰۲۰ تغییر می‌نماید و در سال‌های آخر این وضعیت خوب (G)
466 با قابلیت اطمینان قابل قبول (F) همراه است. بر اساس بیان شاخص‌های مؤثر بر WRCC به صورت متغیرهای زبانی که فهم آن آسان تر است و عدم
467 قطعیت را نیز پوشش می‌دهند شکل جدیدی از بیان شاخص‌ها در قالب اعداد Z فراهم گردید. که در نهایت بعد از استخراج WRCC با استفاده شیوه‌ای
468 نوین در ارزیابی WRCC از Z-TOPSIS برای رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر در WRCC استفاده گردید. رتبه‌بندی شاخص‌ها به صورت تبخیر و تعرق
469 < اراضی کشاورزی < جمعیت < دما < نیروی کار < کسری آب حوضه < سرمایه < سرانه تولید ناخالص داخلی < مراتع < بارش انجام شد. که
470 نشان از اهمیت شاخص تبخیر و تعرق با کسب رتبه اول می‌باشد. جایگاه‌های بعدی به شاخص‌های توسعه اراضی کشاورزی و جمعیت تعلق یافت که
471 بیانگر اهمیت زیرسیستم اجتماعی در کنار زیرسیستم محیطی است. به کارگیری متغیرهای زبانی و کلاس‌بندی شاخص‌ها، توانایی مدل برای اعمال
472 قابلیت اطمینان را فراهم نمود. اعمال عدم قطعیت و قابلیت اطمینان باعث تغییر رتبه‌بندی شاخص‌ها گردید که دلیل آن را در بازه‌های اعمال شده
473 برای شاخص‌ها می‌توان جستجو نمود. با قرارگیری شاخص‌ها در میان بازه‌ها به دلیل کاهش عدم قطعیت وزن شاخص افزایش یافته و باعث تغییر در
474 رتبه‌بندی می‌گردد. به نظر می‌رسد مطالعات آتی با محاسبه WRCC برای حوضه‌های دیگر کشور، محدوده استان‌ها و کل کشور، نمای کلی از وضعیت
475 منابع آب کشور و اثرات محیطی، اقتصادی و اجتماعی را تحت سناریوهای مختلف می‌تواند ارائه نمایند. همچنین می‌توان با لحاظ نمودن شاخص‌های
476 پایداری و چارچوب‌های نوآورانه در انتخاب شاخص‌های مؤثر محیطی، اقتصادی و اجتماعی و اعمال برخی از متغیرهای کیفی (مانند حکمرانی خوب،
477 فقر، سلامت، برابری جنسیتی، توزیع درآمد و...) در شاخص‌های مؤثر بر WRCC به تدقیق موضوع کمک بیشتری نمود.

478

479

بی‌نوشت‌ها

480

1- Carrying Capacity

481

2- Sustainable Development

482

3- Water Resource Carrying Capacity

483

4- System Dynamics

484

5- Feedback Loops

485

6- Integrated Water Resource Management

486

7- Water Budget Equation

487

8- Unsustainability

488

9- Torrent-Waite

489

10- Evapotranspiration

490

11- Penman-Monteith-Leuning

491

12- Anthropogenic Activity

492

13- Analytic Hierarchy Process

493

14- Best-Worth Method

494

15- Entropy

495

16- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution



- 496 17- Fuzzy
497 18- Uncertainty
498 19- Z-Number
499 20- Reliability
500 21- Grey Theory
501 22- Z-Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
502 23- Hussedorff Distance
503 24- Casula-Loop Diagram
504 25- Stock-Flow Diagram
505 26- Social Welfare
506 27- Leaf Area Index
507 28- Coob- Doglas
508 29- Gross Domestic Product
509 30- Sen Index
510 31- Driver-Pressure-State-Impact-Response

511

مراجع

- 512 Abbasi H, Delavar M and Mohammadi Sedaran H (2022) Basin's Water Resource Carrying Capacity Assessment in
513 Climate Change Conditions Using Simulation-Optimization Approach; Case Study: Tashk-Bakhtegan basin. Water and
514 Irrigation Management. M.Sc. Graduate, Department of Water Resources Engineering and Management, Tarbiat Modares
515 University, Tehran, Iran. 11(4):797–814. Available at: https://jwim.ut.ac.ir/article_85408.html
- 516 Alam NMFHNB, Ku Khalif KMN, Jaini NI and Gegov A (2023) The Application of Z-Numbers in Fuzzy Decision
517 Making: The State of the Art. Information (Switzerland) 14(7):1–24
- 518 Aliev RA, Huseynov OH and Zulfugarova RX (2016) Z-Distance Based IF-THEN Rules. The Scientific World Journal.
519 John Wiley & Sons, Ltd 2016(1):1673537. Available at: <https://doi.org/10.1155/2016/1673537>
- 520 Bellman RE and Zadeh LA (1970) Decision-Making in a Fuzzy Environment. Management Science. INFORMS 17(4):B-
521 141-B-164. Available at: <https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141>
- 522 Chi M, Zhang D, Fan G, Zhang W and Liu H (2019) Prediction of water resource carrying capacity by the analytic
523 hierarchy process-fuzzy discrimination method in a mining area. Ecological Indicators 96:647–655. Available at:
524 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X18306988>
- 525 Cobb CW and Douglas PH (1928) A Theory of Production. The American Economic Review. American Economic
526 Association 18(1):139–165. Available at: <http://www.jstor.org/stable/1811556>
- 527 Cui Y, Feng P, Jin J and Liu L (2018) Water Resources Carrying Capacity Evaluation and Diagnosis Based on Set Pair
528 Analysis and Improved the Entropy Weight Method. Entropy
- 529 Forrester JW (1971) Counterintuitive behavior of social systems. Theory and Decision 2(2):109–140
- 530 Ghorbani F, Behboudi D and Zarghami M (2022) Identification and Thematic Analysis of Barriers to Adaptation to
531 Climate Change in the Water Resources System (Case Study:Qarranqu Basin).



- 532 Heydari A and Moghimi E (2008) Geomorphology and systemic management of the river, a case study_ Qaranqo basin
533 to Sahand Dam (Hashtrod). *Geography*. Assistant Professor, Department of Geography, Payam Noor University, Tehran,
534 Iran. 5(15):119–137. Available at: https://mag.iga.ir/article_712735.html
- 535 Hwang C-L and Yoon K (1981) Methods for Multiple Attribute Decision Making. In: Hwang C-L and Yoon K (eds)
536 Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the-Art Survey. Berlin, Heidelberg: Springer
537 Berlin Heidelberg, 58–191. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- 538 Ju-Long D (1982) Control problems of grey systems. *Systems & Control Letters* 1(5):288–294. Available at:
539 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016769118280025X>
- 540 Kang J, Zi X, Wang S and He L (2019) Evaluation and Optimization of Agricultural Water Resources Carrying Capacity
541 in Haihe River Basin, China. *Water*
- 542 Keshavarz-Ghorabae M, Amiri M, Zavadskas EK, Turskis Z and Antucheviciene J (2021) Determination of Objective
543 Weights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MERECE). *Symmetry*
- 544 Keyvanfar M, Janatrostami S and Ashrafzadeh A (2025) A Comprehensive Assessment of Water Resources Carrying
545 Capacity in Anzali Wetland Using AHP-Entropy-CRITIC Combined Weighting Method and TOPSIS-GRA Model.
546 *Iranian Journal of Soil and Water Research*. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences,
547 University of Guilan, Rasht, Iran 56(1):105–126. Available at: https://ijswr.ut.ac.ir/article_101491.html
- 548 Leuning R, Zhang YQ, Rajaud A, Cleugh H and Tu K (2008) A simple surface conductance model to estimate regional
549 evaporation using MODIS leaf area index and the Penman-Monteith equation. *Water Resources Research*. John Wiley &
550 Sons, Ltd 44(10). Available at: <https://doi.org/10.1029/2007WR006562>
- 551 Li Q, Liu Z, Yang Y, Han Y and Wang X (2023a) Evaluation of water resources carrying capacity in Tarim River Basin
552 under game theory combination weights. *Ecological Indicators* 154:110609. Available at:
553 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X23007513>
- 554 Li W, Liu S, Chang W, Zhang X, Li C and Qin T (2023b) Research Progress on the Evaluation of Water Resources
555 Carrying Capacity. *Polish Journal of Environmental Studies* 32
- 556 Li Y, Pelusi D, Deng Y and Cheong KH (2021) Relative entropy of Z-numbers. *Information Sciences* 581:1–17. Available
557 at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025521008859>
- 558 Liu Y, Gao C, Ji X, Zhang Z, Zhang Y, Liu C and Wang Z (2022) Simulation of water resources carrying capacity of the
559 Hangbu River Basin based on system dynamics model and TOPSIS method. *Frontiers in Environmental Science* 10.
560 Available at: <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2022.1045907>
- 561 Lotfi FH and Fallahnejad R (2010) Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making. *Entropy*, 53–62
- 562 Luo X, Wang G, Mou Y, Liu R, Zhou H, Si H and Chen Q (2017) The Analysis of the Water Resource Carrying Capacity
563 in the Shale and Gas Exploration Area, Southwest China Karst Region – A Case Study from Cengong County. *The Open*
564 *Civil Engineering Journal* 11:258–269
- 565 Lv Y, Wang Y, Zhang X and Zhang D (2023) A Study on the Carrying Capacity of Water Resources Utilizing the Fuzzy
566 Comprehensive Evaluation Model—Illustrated by a Case from Guantao County. *Water* 15(24). Available at:



- 567 <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/24/4277>
- 568 Meng C, Wang X and Li Y (2018) An Optimization Model for Water Management Based on Water Resources and
569 Environmental Carrying Capacities: A Case Study of the Yinma River Basin, Northeast China. *Water*
- 570 Mohammadi Sedaran H, Delavar M and Shahbazbegian M (2021) Assessment of Water Resources Carrying Capacity of
571 the River Basins Using the Simulation Approach and Index-Based Evaluation Method; Case Study: Zarrineh-Roud Basin.
572 *Iran-Water Resources Research* 17(2):154–173. Available at:
573 https://www.iwrr.ir/article_135136_d136b866ade11907b1d495dede07d7df.pdf
- 574 Nourani V, Ahmadi R, Zhang Y and Dąbrowska D (2025) Ensemble machine learning-based extrapolation of Penman-
575 Monteith-Leuning evapotranspiration data. *Ecological Indicators* 170:113012. Available at:
576 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X24014699>
- 577 Nourani V, Gholinia A, Abbaszadeh P, Ahmadi R and Ke C-Q (2024) Unravelling the impact of climate change and
578 anthropogenic activities on streamflow: the benefit of newly developed evapotranspiration data. *Hydrological Sciences*
579 *Journal*. Taylor & Francis 69(14):2026–2043. Available at: <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2398654>
- 580 Nourani V and Najafi H (2023) A Z-number based multi-attribute decision-making algorithm for hydro-environmental
581 system management. *Neural Computing and Applications* 35(9):6405–6421. Available at:
582 <https://doi.org/10.1007/s00521-022-08025-3>
- 583 Nourani V, Najafi H, Sharghi E and Roushangar K (2021) Application of Z-numbers to monitor drought using large-scale
584 oceanic-atmospheric parameters. *Journal of Hydrology* 598:126198. Available at:
585 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169421002456>
- 586 Peng J, Du Y, Liu Y and Hu X (2016) How to assess urban development potential in mountain areas? An approach of
587 ecological carrying capacity in the view of coupled human and natural systems. *Ecological Indicators* 60:1017–1030
- 588 Phan TD, Bertone E and Stewart RA (2021) Critical review of system dynamics modelling applications for water
589 resources planning and management. *Cleaner Environmental Systems* 2:100031. Available at:
590 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666789421000234>
- 591 Rezaei J (2015) Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega* 53:49–57. Available at:
592 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048314001480>
- 593 Saaty TL and Alexander JM (1989) *Conflict resolution: the analytic hierarchy approach*. New York ; London: Praeger.
594 Available at: <https://catalog.hathitrust.org/Record/001816150>
- 595 Sen A (1974) Informational bases of alternative welfare approaches: Aggregation and income distribution. *Journal of*
596 *Public Economics* 3(4):387–403. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0047272774900061>
- 597 Shannon CE (1948) A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27(3):379–423
- 598 Shao C, Guan Y, Chu C, Shi R, Ju M and Shi J (2014) Trends Analysis of Ecological Environment Security Based on
599 DPSIR Model in the Coastal zone: A survey study in Tianjin, China. *International Journal of Environmental Research*.
600 *College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China* 8(3):765–778. Available
601 at: https://ijer.ut.ac.ir/article_770.html



- 602 Song Q, Wang Z and Wu T (2024) Risk analysis and assessment of water resource carrying capacity based on weighted
603 gray model with improved entropy weighting method in the central plains region of China. *Ecological Indicators*
604 160:111907. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X24003649>
- 605 Sun X, Peng A, Hu S, Shi Y, Lu L and Bi A (2024) Dynamic Successive Assessment of Water Resource Carrying Capacity
606 Based on System Dynamics Model and Variable Fuzzy Pattern Recognition Method. *Water* 16(2):304. Available at:
607 <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/2/304>
- 608 Thornthwaite CW (1948) An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*. Taylor &
609 Francis, Ltd. 38(1):55–94. Available at: <http://www.jstor.org/stable/210739>
- 610 Wang G, Xiao C, Qi Z, Meng F and Liang X (2021a) Development tendency analysis for the water resource carrying
611 capacity based on system dynamics model and the improved fuzzy comprehensive evaluation method in the Changchun
612 city, China. *Ecological Indicators* 122:107232. Available at:
613 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20311717>
- 614 Wang J, Mu X, Chen S, Liu W, Wang Z and Dong Z (2021b) Dynamic evaluation of water resources carrying capacity
615 of the Dianchi Lake Basin in 2005–2015, based on DSPERM framework model and simulated annealing-projection
616 pursuit model. *Regional Sustainability* 2(2):189–201. Available at:
617 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666660X21000232>
- 618 Wang X-K, Wang Y-T, Wang J-Q, Cheng P-F and Li L (2020) A TODIM-PROMETHEE ? Based Multi-Criteria Group
619 Decision Making Method for Risk Evaluation of Water Resource Carrying Capacity under Probabilistic Linguistic Z-
620 Number Circumstances. *Mathematics* 8(7):1190. Available at: <https://www.mdpi.com/2227-7390/8/7/1190>
- 621 Wang X, Liu L, Zhang S and Gao C (2022) Dynamic simulation and comprehensive evaluation of the water resources
622 carrying capacity in Guangzhou city, China. *Ecological Indicators* 135:108528. Available at:
623 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21011936>
- 624 Wang Y, Zhou X and Engel B (2018) Water environment carrying capacity in Bosten Lake basin. *Journal of Cleaner*
625 *Production* 199:574–583. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618321917>
- 626 Wen K-L, Chang T-C and You M-L (1998) The grey entropy and its application in weighting analysis. *SMC'98*
627 *Conference Proceedings*. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No. 98CH36218).
628 IEEE, 1842–1844
- 629 Wu L, Su X, Ma X, Kang Y and Jiang Y (2018) Integrated modeling framework for evaluating and predicting the water
630 resources carrying capacity in a continental river basin of Northwest China. *Journal of Cleaner Production* 204:366–379.
631 Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618326805>
- 632 Wu X and Hu F (2020) Analysis of ecological carrying capacity using a fuzzy comprehensive evaluation method.
633 *Ecological Indicators* 113:106243. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20301801>
- 634 Yang JF, Lei K, Khu ST, Qiao F and Liu Q (2015) Assessment of water ecological carrying capacity using an indicator-
635 based method applied to Tieling City, China. *Water Supply* 15(5):940–947. Available at:
636 <https://doi.org/10.2166/ws.2015.051>



- 637 Yang L, Hao Y, Wang B, Li X and Gao W (2025) Evaluation of the water resources carrying capacity in Shaanxi Province
638 based on DPSIRM–TOPSIS analysis. *Ecological Indicators* 173:113369. Available at:
639 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X25002997>
- 640 Yang M, Qu D, Shen Y, Yang S, Liu B and Lu W (2023) Evaluation of Water Resources Carrying Capacity of Zhangye
641 City Based on Combined Weights and TOPSIS Modeling. *Water*
- 642 Yang X, Sun B, Lei S, Li F and Qu Y (2022) A bibliometric analysis and review of water resources carrying capacity
643 using rene descartes’s discourse theory. *Frontiers in Earth Science* 10
- 644 Zadeh LA (1965) Fuzzy sets. *Information and Control* 8(3):338–353. Available at:
645 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001999586590241X>
- 646 Zadeh LA (2011) A Note on Z-numbers. *Information Sciences* 181(14):2923–2932. Available at:
647 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025511001046>
- 648 Zhang Y, Peña-Arancibia JL, McVicar TR, Chiew FHS, Vaze J, Liu C, Lu X, Zheng H, Wang Y, Liu YY, ... Pan M
649 (2016) Multi-decadal trends in global terrestrial evapotranspiration and its components. *Scientific Reports* 6(1):19124.
650 Available at: <https://doi.org/10.1038/srep19124>
- 651 Zhang Z, Lu WX, Zhao Y and Song WB (2014) Development tendency analysis and evaluation of the water ecological
652 carrying capacity in the Siping area of Jilin Province in China based on system dynamics and analytic hierarchy process.
653 *Ecological Modelling* 275:9–21. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380013005838>
- 654 Zyoud SH, Kaufmann LG, Shaheen H, Samhan S and Fuchs-Hanusch D (2016) A framework for water loss management
655 in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with*
656 *Applications* 61:86–105. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417416302342>
- 657
- 658
- 659
- 660
- 661
- 662
- 663
- 664
- 665
- 666

667 **Assessment Uncertainty and Reliability of Affecting Indicators on Water Resources Carrying Capacity**

668

669 **Abstract**

670 Sustainable water resources management requires establishing a balance in the water balance equation to achieve
671 sustainable development goals. Additionally, water balance studies should structurally consider interactions among
672 hydrological, economic, social, and environmental sectors to identify factors causing instability and worsening challenges
673 in watersheds. For this reason, several indicators have been developed to assess these sectors within watersheds
674 comprehensively. Water resources carrying capacity has been proposed as an indicator that evaluates the ability of water
675 resources to support socio-economic, population, and environmental issues over time. This study aims to examine the
676 water resources carrying capacity in the Qarnqu watershed in northwest Iran, focusing on the uncertainty and reliability
677 of parameters affecting it, particularly climate change factors and anthropogenic activities, by using an advanced
678 evapotranspiration model that combines grey theory, entropy, and Z numbers. A system dynamics model was created to
679 analyze feedback among environmental, economic, and social subsystems. Based on the pressure-state-response
680 framework, previous research, and expert input, eleven indicators impacting water resource carrying capacity were
681 identified. Some indicators are positive, while others are inverse. These indicators were weighted by integrating grey
682 theory's reliability concept and entropy. The values of water resource carrying capacity from 2000 to 2020 were then
683 extracted, and linguistic variables were applied to interpret the results. The findings show a shift from a "poor" state in
684 2000 to a "good" state in 2020, with the water resource carrying capacity in the final years reaching a "fairly" level of
685 reliability. To rank these indicators, the Z numbers were integrated into the TOPSIS model, forming the Z-TOPSIS
686 method. The findings revealed that evapotranspiration ranked first, followed by environmental and social indicators such
687 as agricultural land development (as an index for land-use change) and population. This research underscores the
688 importance of comprehensive watershed assessments, especially in arid and semi-arid regions affected by
689 evapotranspiration. It highlights the need to incorporate reliability and uncertainty, using linguistic variables, into water
690 resource assessments and advocates for innovative applications of Z-numbers and grey entropy in water management.

691 **Keywords:** Water Resources Carrying Capacity, System Dynamics, Entropy, Z-Numbers, Similarity to Ideal Solution,
692 Qaranqu watershed.

693

694

استاد
فاطمه
عبدالستار
عبدالله