

Research Article

Investigating the Source of Nitrate Pollutant in Tajn River from Shahid Rajaei Dam to the Mouth of the River to the Sea Using Load Duration Curves

M Radfar ^{1*}, F Alipour Nasirmahale²

Received: January 7, 2023

Accepted May 9, 2023

Revised: April 26, 2023

Published online: March 20, 2024

1- Assis. Prof., Dept. of Water Engineering, Collage of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2- PhD Student, Dept. of Water Engineering, Collage of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

* Corresponding Author, Email: mahdi1010@yahoo.com

Abstract

Background and Objectives

Water is one of the main pillars of the country's sustainable development, and surface water resources play an undeniable role in this by providing many needs for drinking, industry and agriculture. These resources must meet different demands not only in terms of quantity but also in terms of quality. In most studies, complex watershed models that evaluate hydrology and water quality simultaneously are widely used (Borui and Gazzetti 2014, Haas et al. 2016), but these models are difficult to run on large amounts of data and information. They require input and this can be considered as a limitation for use in developing countries where we face a lack of quality data (Paiva et al. 2012, Melo et al. 2016). This limitation in the use of models can be overcome by using simpler qualitative-quantitative methods that require less data and are less dependent on pollutant flow and transfer equations, such as the Load Duration curves (LDC) method (Serrano et al. 2020). LDC is a graphical output obtained by combining daily flow values with water quality data and is used to assess pollutants (McKay et al. 2010). The LDC curve provides insight into the loading pattern under different flow conditions, particularly by characterizing point and nonpoint pollutant sources (Johnson et al. 2009). This technique is often used in the development of watershed protection plans as well as in TMDL calculations (Beynam 2007, Ward et al. 2009). The use of load Duration curves (LDC) for water quality planning and management, especially to support TMDL programs, is common in different countries due to the need for less data compared to complex quality models. However, this method has been used in Iran. has not been In this research, by drawing the LDC and TMDL curves for the nitrate pollutant in the Tejn River, the qualitative condition of the river for agricultural and aquatic uses along the 80-kilometer route from the downstream of the Shahid Rajaei Dam to the mouth of the sea has been investigated.

Methodology

In this research, by choosing two hydrometric stations, Rig Cheshme and Kordkheyl, along the flow path of the Tejn River, the Tejn watershed was divided into three sections with different characteristics. The upstream area of Rig Cheshme station, where the Shahid Rajaei Dam is located, mostly includes forest and mountain areas with natural vegetation and agricultural lands and less human settlements. The middle area includes the areas between Rig Cheshme station and Kordkheyl station, which mostly includes agricultural lands, especially rice fields, citrus and blackberry orchards, as well as numerous urban and rural areas, and the lower area, which includes the downstream areas from Kordkheyl station to the mouth of the sea. Investigating the quality conditions of the river flow path in these two stations can determine the perspective of nitrate pollution under the influence of these two land use patterns in the region. The data of the research includes the



information of the daily discharge of the stream for 18 years (1998-1999 to 2016-2017) and the nitrate concentration measured for 8 years (2011-2012 to 2019-2020) at the location of the hydrometric stations, which were obtained from the Mazandaran Regional Water Company. In order to analyze the flow conditions and the rate of nitrate pollution in the water of Tajen river, the latest quantitative and qualitative long-term information was obtained from the regional water company of Mazandaran province and the average flow rate in the months of the year and the changes of nitrates in the basin were investigated. The 18-year daily flow data from the water year 1998-1999 to the water year 2016-2017 were used to draw the flow Duration curve. Considering that the studied area mostly includes agricultural lands and as a result, the entry of pollutants from these lands is a function of the conditions of the cultivation and non-cultivation seasons. Therefore, the discharges are divided into two groups of discharges of the cultivation and non-cultivation seasons. Then for each of these seasons, the Flow Duration curve was drawn. For this purpose, the discharges were arranged in descending order and using the Kolmogorov-Smirnov index of probability distribution function suitable for each data series, the probability of occurrence of each of the discharges was calculated. To investigate the quality conditions of Tajen river in terms of nitrate concentration, the data measured in 2011-2012 to 2016-2017 were used. After drawing the continuous Flow Duration curve (FDC), by multiplying the standard values of nitrate concentration by the flow rate, the maximum allowable daily nitrate load was obtained. Also, by multiplying the measured nitrate load with the corresponding flow rates, the amount of nitrate passing through was calculated. Investigation and determination of Total Maximum Daily Load (TMDL) curves for two agricultural uses and water ecosystems (environment) in two seasons of cultivation and non-cultivation were carried out at measuring stations along the flow path. By drawing the curves of TMDL and LDC values, investigating and analyzing the quality conditions of the river along about 80 kilometers between the Shahid Rajaei dam and the mouth of the river in terms of the amount of nitrate pollution with the aim of agricultural and aquaculture applications in terms of space and time, and the necessary implementation proposals presented.

Findings

The discharge data series of Rig Cheshmeh station has a Normal distribution in the cultivation season and a Burr distribution in the non-cultivation season, and the data series in Kordkheyl station have a better fit with the Burr distribution in both the cultivation and non-cultivation seasons. The flow rate at Rig Cheshme station is higher in the first half of the water year and lower in the second half of the year. This is due to the withdrawal of water from Shahid Rajaei Dam in the second half and the release of more water for agricultural uses in the first half of the year. The discharge changes in Kordkheyl station have different conditions, so that in the first half of the year we see lower discharges and in the second half of the year more discharges. This issue is due to more harvests of river water for agriculture, especially rice cultivation in the river terrace lands, during spring and summer. The reason for the higher discharge in the second half of the year is the connection of the branches downstream of Rig Cheshme station. Flow Duration curve (FDC) and discharges with a probability of 90% for Rig Cheshme and Kordkheyl stations and separated by cultivation and non-cultivation seasons. At Rig Cheshme station in discharges with a probability of 90%, it has more values than at Kordkheyl station, which is justified considering that Rig Cheshme station is located upstream and the withdrawals from the river are less in those areas. On the other hand, because there are limited agricultural lands upstream of Rig Cheshme station, and most of the lands are forest and pasture, therefore, due to the need of water during the cultivation period in the downstream; More water has been released from Shahid Rajaei Dam and higher discharges have occurred. On the other hand, due to the location of abundant agricultural lands and harvesting from the river in the cultivation season upstream of Kordkheyl station, the discharge values in this station are lower in the cultivation season than in the non-cultivation season. In the investigated period, in none of the data collection times, nitrate values (LDC) were not more than the permissible limit (TMDL) and therefore, from the upstream of the river to the location of Rig Cheshme station, favorable quality conditions were established in terms of nitrate pollutant concentration, and in terms of agricultural uses and There is no limit to aquaculture throughout the year. Carefully in the curves, it is determined that the values of the passing load in larger flows are closer to the TMDL curve, so that these points are in the range of 10-40% probability of occurrence and in wet conditions. In the LDC curve, if loads are in this range, their origin can be non-point pollution loads (Tiago et

al. 2011, Chin 2012, Thiago 2012). Therefore, it can be concluded that the origin of loads in the upstream area of Rig Cheshme station are mostly non-point sources. according to LDC curves of Kordkheyl station, It can

be seen that some of the values are tangent or above the TMDL curve, which indicates the violation of the rules of the maximum allowed load in this station. This has occurred in low river flows, indicating the impact of point pollutant sources (Cleland 2002, Bonta and Cleland 2003, Serrano et al. 2020). There are many point sources in the upstream area of Kordkheyl station and its distance from Rig Cheshme station. The location of three industrial centers of wood and paper factory, dairy products company and Sari antibiotic factory in this area introduce point pollutants to the river. Also, the effluents of the city of Sari and the neighboring villages are located in this area and enter the river as a point along the flow path (Sadeghi Azad 2017). The limitation of river water use occurs from medium flows to low flows (probabilities of occurrence (40-100%) which are related to the irrigation seasons of paddy fields.

Conclusion

In this research, using LDC in two stations, Rig Cheshme and Kordkheyl, the quality conditions and factors affecting the water quality of Tajen River were investigated. Examining the trend of pollutant concentration changes in consecutive years shows that the Rig Cheshme station has almost a constant trend and the concentrations do not show much change, but in Kordkheyl station, over the years, the nitrate load concentration of the river, both in the cultivation season and in the non-cultivation season, cultivation has been added. The results showed that most of the non-point sources are effective on the nitrate pollution of the river in the area of Rig Cheshme station. But these factors do not create a situation where the nitrate concentration in the river exceeds the maximum limit. The results indicate that the Load Duraton curves compared to the Total Maximum Daily Load for agricultural, fisheries and aquaculture applications from the upstream of Shahid Rajaei Dam to Rig Cheshme Station are in the safe margin and have no limitations. Examining the graphs of the Load Duraton curve for river at Kordkheyl station indicates that the amount of nitrate pollutant has increased from the maximum allowed, and these cases are related to the minimum discharges and during the cultivation seasons. On the other hand, according to the surveys conducted and according to the quality conditions of the river at Kordkheyl station up to 16 km below (the mouth of the Tajen River to the Caspian Sea), during the cultivation seasons, the river will suffer nitrate pollution more than the allowed limit. Therefore, it is necessary to revise the calculations of releasing the flow from Shahid Rajaei Dam. Also, the management of the use of nitrogen fertilizers in the fields and gardens of the region, especially the edges of the flow path from Kordkheyl station to the mouth of the sea, has been reviewed and reconsidered.

Keywords: Flow Duraton curve, Load Duraton curve, Maximum permissible load, Water quality.

مقاله پژوهشی

بررسی منشاء آلاینده نترات رودخانه تجن در محدوده سد شهید رجایی تا مصب دریا با

استفاده از منحنی‌های تداوم بار

مهدی رادفر^{۱*}، فرشاد علی‌پور نصیرمحلله^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mahdi1010@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق با استفاده از منحنی‌های تداوم بار (LDC) به تعیین منابع آلاینده تاثیرگذار بر رودخانه تجن پرداخته شد. ابتدا به کمک توابع توزیع احتمال و اطلاعات دبی جریان موجود (۱۸ سال)، برترین منحنی تداوم جریان در دو ایستگاه هیدرومتری ریگ چشمه و کردخیل ترسیم و سپس منحنی‌های حداکثر بار مجاز آلاینده نترات برای دو کاربری کشاورزی و اکوسیستم آبی در فصول کشت و غیر کشت ایجاد گردید، سپس منحنی‌های LDC برای دوره ۸ ساله موجود (۹۰-۹۱ تا ۹۷-۹۸) ترسیم گردید. نتایج نشان داد که در محدوده ایستگاه ریگ چشمه بیشتر منابع غیرنقطه‌ای بر آلاینده نترات رودخانه تاثیرگذارند و در محل ایستگاه کردخیل با توجه به افزایش موردی میزان آلاینده نترات برای دبی‌های حداقل در فصول کشت مشخص گردید که منابع غیرنقطه‌ای عامل این افزایش می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان دهنده توانایی مطلوب منحنی‌های تداوم بار در تعیین منشاء بار آلاینده بودند. از طرف دیگر با بررسی‌های انجام گرفته و با توجه به شرایط کیفی رودخانه از ایستگاه کردخیل تا مصب دریا در حدود ۱۶ کیلومتری، مشخص گردید که رودخانه در فصول کشت دچار آلودگی بیشتر از حد مجاز خصوصا در نزدیکی مصب می‌باشد، لذا بازنگری در محاسبات آزادسازی جریان از سد شهید رجایی، مصرف بهینه آب در مسیر رودخانه و نیز مدیریت بکارگیری کودهای ازته در اراضی منطقه باید مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: حداکثر بار مجاز، رود تجن، کیفیت آب، منحنی تداوم بار، منحنی تداوم جریان

مقدمه

TMDL میانگین بار آلاینده روزانه را بر حسب

میانگین بلندمدت شرایط جریان نشان می‌دهد، که کارایی آن را از نظر توصیف مسائل قابل بررسی محدود می‌کند و از این رو به دلیل نبود اطلاعات کافی از مشکلات حوضه نمی‌توان راهکارهای مناسب را شناسایی و اجرا کرد (کیم و همکاران ۲۰۱۲). به همین علت به جای استفاده از یک مقدار ثابت بعنوان جریان حوضه (مانند جریان متوسط روزانه) می‌بایست مشخصات کیفی آب در شرایط مختلف جریان را برای بررسی کیفی آب رودخانه‌ها در نظر گرفت (کلیند ۲۰۰۲). برای توسعه موفقیت آمیز TMDL باید هم به بار آلاینده جاری و هم به مقادیر مجاز بار آلاینده توجه نمود. برای ترسیم منحنی تداوم بار (LDC) نیاز به ترسیم منحنی تداوم جریان (FDC³) است (سرانو و همکاران ۲۰۲۰). یک منحنی تداوم بار میزان مجاز آلاینده در جریان را به نحوی که همچنان شرایط استاندارد کیفیت آب باقی بماند، نشان می‌دهد (تیاگو ۲۰۱۲). اگر بارهای اندازه‌گیری شده و منحنی TMDL در یک نمودار رسم گردند می‌توان حالتی شهودی از شرایط استاندارد کیفیت آب را مشاهده و درک کرد.

تاکنون در مطالعات بسیاری از منحنی تداوم بار (LDC) برای بررسی شرایط کیفی رودخانه استفاده شده است. چئونگ و همکاران (۲۰۱۷) از LDC بمنظور بهبود ارزیابی‌های TMDL در حوضه رودخانه یانگسان تامجین کره جنوبی که تا کنون از روش TWQ⁴ در آن استفاده می‌شد، بهره بردند. نتایج نشان داد که روش LDC تقریباً ۱۱٪ نسبت به روش TWQ در برآورده کردن اهداف TMDL موفق‌تر بوده است و پیشنهاد کردند تا در زیرحوضه‌های این حوضه نیز از این روش بهره گرفته شود. جانگ و همکاران (۲۰۱۸) با هدف اولویت بندی حوضه‌ها برای مدیریت منابع آلاینده غیرنقطه‌ای در

آب از ارکان اصلی توسعه پایدار کشور است و منابع آب سطحی با تامین بسیاری از نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی نقشی غیرقابل انکار در این مهم دارند. این منابع نه تنها از نظر کمی بلکه از نظر کیفی نیز باید جوابگوی تقاضاهای مختلف باشند. در بیشتر مطالعات، مدل‌های پیچیده حوضه آبریز که هیدرولوژی و کیفیت آب را همزمان مورد ارزیابی قرار می‌دهند بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (بوروی و گزتی ۲۰۱۴، هاس و همکاران ۲۰۱۶)، ولی این مدل‌ها برای اجرا به حجم زیادی از داده‌ها و اطلاعات ورودی نیاز دارند و این امر می‌تواند به عنوان محدودیتی برای استفاده در کشورهای در حال توسعه - همانند ایران - که در آنها با کمبود داده‌های با کیفیت مواجه هستیم، در نظر گرفته شود (پایوا و همکاران ۲۰۱۲، ملو و همکاران ۲۰۱۶). این محدودیت در استفاده از مدل‌ها را می‌توان با بهره‌گیری از روش‌های کمی - کیفی ساده‌تر که به داده‌های کمتری نیاز داشته و وابستگی کمتری به معادلات جریان و انتقال آلاینده دارند، مانند روش منحنی‌های تداوم بار (LDC¹) برطرف کرد (سرانو و همکاران ۲۰۲۰). LDC بروندادی گرافیکی است که با ترکیب مقادیر جریان روزانه با داده‌های کیفی آب بدست می‌آید و برای ارزیابی آلاینده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (مکی و همکاران ۲۰۱۰). منحنی LDC بینشی در زمینه الگوی بارگذاری در شرایط مختلف جریان، به ویژه با توصیف منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای ارائه می‌دهد (جانسون و همکاران ۲۰۰۹). این تکنیک اغلب در توسعه طرح‌های حفاظت از حوضه آبخیز و همچنین در محاسبات حداکثر بار روزانه قابل حمل (TMDL²) مورد استفاده قرار می‌گیرد (بی نام ۲۰۰۷).

¹ Load Duration Curves

² Total Maximum Daily Loads

³ Flow Duration Curves

⁴ Target Water Quality

کره جنوبی و تعیین اهداف کاهش بار از منحنی‌های LDC استفاده نمودند. نتایج نشان داد که ۲۴ حوضه برای مدیریت بارهای غیر نقطه‌ای دارای اولویت هستند و پارامترهای فسفر کل و COD بالاترین اولویت را در آلاینده‌ها دارند. ایشان بهره بردن از LDC را برای شناسایی مناطق بحرانی و همچنین اهداف کاهش بار بسیار موثر دانستند.

سرانو و همکاران (۲۰۲۰) با هدف ایجاد ارتباط بین کمیت و کیفیت آب دو حوضه پیراسیکا با پیرانگا در برزیل و برآورد الگوهای آلودگی کلیفرم در فصول و موقعیتهای مختلف، منحنی‌های تداوم بار را ترسیم نمودند. آنها روشی را پیشنهاد کردند که در آن توزیع Burr XII با LDC تنظیم می‌شود تا بتوان همه بارهای مشاهده شده را با TMDL مقایسه و امکان تخمین اختلاف نسبی (RD^1) بین آنها را فراهم نمود. نتایج نشان داد که در حوضه پیراسیکا بیشتر آلودگی از منابع نقطه‌ای بوده اما در حوضه پیرانگا آلودگی از هر دو منبع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای منشاء می‌گیرد. جانگ و همکاران (۲۰۲۱) خصوصیات کیفی آب و منابع آلودگی را در منطقه گل-پو^۲ کره جنوبی با استفاده از منحنی تداوم بار بررسی کردند. نتایج نشان داد که منطقه بالادست به میزان قابل توجهی تحت تاثیر منابع نقطه‌ای قرار می‌گیرد، در حالی که مناطق میان دست و پایین دست بیشتر تحت تاثیر منابع غیرنقطه‌ای می‌باشند. ایشان عنوان نمودند که اگر بهره‌گیری از منحنی‌های LDC برای رودخانه‌های بیشتری در منطقه استفاده شود با انجام مقایسات بیشتر می‌تواند در مدیریت کیفی رودخانه مفید باشد.

نیتروژن چرخه‌ای طبیعی در محیط دارد (گیلکریست و همکاران ۲۰۱۰). فرسایش خاک، فاضلاب شهری، کودهای شیمیایی و باقی مانده گیاهان در اراضی زراعی از منابع مهم نیتروژن در طبیعت هستند (گنجی

دوست و همکاران ۲۰۰۹). نیتروژن موجود در طبیعت توسط باکتری‌ها به نیترات تبدیل شده و نیترات توسط گیاهان جذب می‌گردد و حیوانات با مصرف گیاهان از نیترات برای تولید پروتئین بهره می‌برند (میران زاده و همکاران ۲۰۱۱). در آبها غلظت نیترات با نیتریفیکاسیون و ورود از منابع مختلف افزایش یافته و در اثر دینیتریفیکاسیون و فتوسنتز از غلظت آن کاسته می‌شود (بیگلری و همکاران ۲۰۱۹). وجود نیترات فراوان در آب باعث تشدید دینیتریفیکاسیون شده و کاهش اکسیژن محلول را در پی دارد که تداوم این چرخه می‌تواند باعث ازدیاد تلفات در آبزیان گردد. رحمانی و همکاران (۲۰۱۳) گونه‌های ماهی در رودخانه تجن را برشمرده‌اند و ۹ گونه مختلف را نام می‌برند، نتایج مطالعه ایشان نشان داده است که پایین دست سد شهید رجایی دارای تنوع گونه‌ای بیشتری در مقایسه با بالادست سد می‌باشد، لذا تغییر در شرایط کیفی و افزایش آلاینده‌ها در رودخانه تجن می‌تواند باعث بروز لطمه به این تنوع در گونه‌های جانوری گردد.

استفاده از (LDC) برای برنامه ریزی و مدیریت کیفی آب و بویژه پشتیبانی از برنامه‌های TMDL با توجه به نیاز به داده‌های کمتر در مقایسه با مدل‌های پیچیده کیفی در کشورهای مختلف رایج است با این حال در ایران از این روش بهره گرفته نشده است. در این تحقیق با ترسیم منحنی‌های LDC و TMDL برای آلاینده نیترات در رودخانه تجن، به بررسی وضعیت کیفی رودخانه برای کاربریهای کشاورزی و آبزیان در طول مسیر حدود ۸۰ کیلومتری جریان از پایین دست سد شهید رجایی تا مصب دریا پرداخته شده است.

مواد و روشها

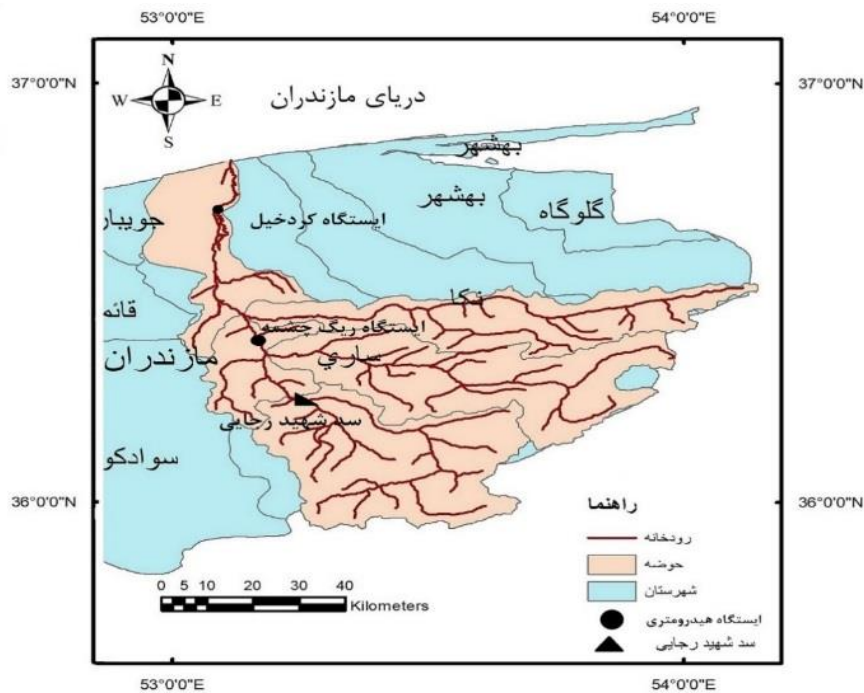
منطقه مورد مطالعه

¹ Relative Difference

² Gul-po

رودخانه تجن بخشی از حوضه آبریز تجن با آب و هوای معتدل، رودخانه‌ای دائمی و به طول تقریبی ۱۴۰ کیلومتر بوده که از دامنه‌های شمالی رشته‌کوه البرز با ارتفاع حداکثر ۳۷۸۲ متر از سطح دریا؛ سرچشمه می‌گیرد و با گذر از حاشیه شرقی شهر ساری (مرکز استان مازندران)، در نزدیک روستای فرح آباد (۲۶ کیلومتری شمال شهر ساری) به دریای مازندران می‌ریزد. در سال ۱۳۷۷ سد شهید رجایی در محل سلیمان تنگه بر روی این رودخانه احداث و به بهره برداری رسیده است. هدف از احداث این سد تامین آب

برای آبیاری اراضی کشاورزی، تامین بخشی از آب شرب شهر ساری و مهار خطرات و ضایعات ناشی از جریانات سیل در منطقه می‌باشد (صادقی آزاد ۲۰۱۷). در این مطالعه دو ایستگاه هیدرومتری ریگ چشمه و کردخیل که به ترتیب در فاصله ۶۵ کیلومتری و ۱۶ کیلومتری از مصب رودخانه قرار گرفته‌اند برای بررسی شرایط آلودگی نیترات با استفاده از ترسیم منحنی LDC انتخاب گردیدند.



شکل ۱- حوضه آبریز تجن و محل قرار گیری سد شهید رجایی و ایستگاههای ریگ چشمه و کردخیل.

داده‌های مورد نیاز

در این تحقیق با انتخاب دو ایستگاه هیدرومتری ریگ چشمه و کردخیل در مسیر جریان رودخانه تجن، حوضه آبریز تجن به سه بخش با ویژگی‌های متفاوت تقسیم گردید. محدوده بالا دست ایستگاه ریگ چشمه که سد شهید رجایی در آن واقع و بیشتر شامل مناطق جنگلی و کوهستانی با پوشش گیاهی طبیعی است و اراضی کشاورزی و سکونت گاه‌های انسانی کمتری در

آن قرار دارد. منطقه میانی شامل مناطق حدفاصل بین ایستگاه ریگ چشمه تا ایستگاه کردخیل که بیشتر شامل اراضی کشاورزی بویژه شالیکاری و باغات مرکبات و سیاه ریشه و نیز مناطق شهری و روستایی متعدد است و محدوده پایینی که شامل مناطق پایین دست ایستگاه کردخیل تا مصب دریا است. بررسی شرایط کیفی مسیر جریان رودخانه در این دو ایستگاه می‌تواند چشم اندازی از شرایط آلودگی به نیترات تحت تاثیر این دو الگوی

روش ساده برای مطابقت دادن داده‌های هیدرولوژی با توزیع‌های آماری وجود دارد که عبارتند از: روش تحلیلی چاو و روش نموداری و استفاده از کاغذ احتمالی (پاترا ۱۹۸۹). توابع توزیع مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه گردیده‌اند. ممکن است سری داده‌ها با چندین توزیع احتمالی همخوانی داشته باشد. در این شرایط انتخاب مناسب‌ترین توزیع مقوله‌ای مهم است که تست‌های کی دو، کلموگروف اسمیرنوف، خطای استاندارد و روش نمودار احتمال ضریب همبستگی (PPCC^۱) برای تشخیص مناسب‌ترین توزیع آماری مورد استفاده قرار می‌گیرند (علیپور نصیر مرحله ۲۰۱۷). در این تحقیق از روش کلموگروف اسمیرنوف در فضای نرم افزار EasyFit برای برآزش توزیع‌های آماری بر نمونه‌ها استفاده شد.

کاربری اراضی منطقه را مشخص نماید. داده‌های تحقیق شامل اطلاعات دبی روزانه جریان ۱۸ ساله (۷۷-۷۸ تا ۹۶-۹۵) و غلظت نیترات ۸ ساله اندازه گیری شده (۹۰-۹۱ تا ۹۷-۹۸) در محل ایستگاههای هیدرومتری است که از شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران اخذ گردید.

تعیین تابع توزیع مناسب

تابع توزیع احتمال تابعی است که برای تعریف و تصریح توزیع احتمال مشخصی بر روی داده‌ها به کار می‌رود (عاقلی ۲۰۲۰). از دید تئوری توابع توزیع مختلفی با معادلات مشخص وجود دارند. از این رو در تحقیقات کوشش می‌گردد برای داده‌های اندازه گیری شده، توابع توزیع احتمالی مناسب تعیین تا بتوان مقادیر متغیر مورد نظر را به ازاء احتمالات وقوع مختلف برآورد نمود. دو

جدول ۱- توابع توزیع احتمال بررسی شده.

نام تابع توزیع	فرمول تابع چگالی احتمال	تابع توزیع تجمعی	دامنه پارامترها
نرمال	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$	$\frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x-\mu}{\sigma\sqrt{2}} \right) \right]$	$\mu \in \mathbb{R}$ $\sigma^2 > 0$
لوگ نرمال	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right)$	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left[\frac{\ln x - \mu}{\sqrt{2}\sigma} \right]$	$\mu \in (-\infty, +\infty)$ $\sigma > 0$
پیرسون	$f(x) = \frac{1}{\beta\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$	$\int_0^x f(x) dx$	$\alpha > 0$ $\beta > 0$
لوگ پیرسون	$f(x) = \frac{\lambda^\beta (y - \epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(y-\epsilon)}}{\Gamma(\beta)}$	$\frac{(\ln(x) - y)^\alpha}{\beta \Gamma(\alpha)}$	$\alpha > 0$ $\beta > 0$
بتا	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}$	$I_x(\alpha, \beta)$	$\alpha > 0$ $\beta > 0$
بور	$f(x) = \frac{cd}{bz^{c+1} (1+z^{-c})^{d-1}}$	$1 - (1+x^c)^{-k}$	$c > 0$ $k > 0$
مربع کای	$f(x) = \frac{x^{\frac{\nu}{2}-1} \exp(-\frac{x}{2})}{2^{\frac{\nu}{2}} \Gamma(\frac{\nu}{2})}$	$\frac{1}{\Gamma(k/2)} \gamma \left(\frac{k}{2}, \frac{x}{2} \right)$	$x \in (0, +\infty)$ if $k = 1$ $x \in (0, +\infty)$ otherwise
گاما	$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} \exp(-\frac{x}{\beta})}{\Gamma(\alpha)}$	$\frac{1}{\Gamma(\alpha)} \gamma(\alpha, \beta x)$	$\alpha > 0$ $\beta > 0$
گامبل	$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x-\mu}{\beta} + e^{-\frac{x-\mu}{\beta}}}$	$e^{-e^{-(x-\mu)/\beta}}$	$\beta > 0$
لاپلاس	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2}b} \exp \left[-\frac{\sqrt{2} x-\mu }{b} \right]$	$\begin{cases} \frac{1}{2} \exp \left(-\frac{x-\mu}{b} \right) & \text{if } x \leq \mu \\ 1 - \frac{1}{2} \exp \left(-\frac{x-\mu}{b} \right) & \text{if } x \geq \mu \end{cases}$	$b > 0$
لوی	$f(x) = \frac{\sqrt{c}}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-c/2(x-a)}}{(x-a)^{3/2}}$	$\operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{c}{2(x-\mu)}} \right)$	$\mu, c > 0$

¹ Probability Plot Correlation Coefficient

$x_m > 0$ $\alpha > 0$	$1 - \left(\frac{x_m}{x}\right)^\alpha$	$f(x) = \frac{\theta a^\theta}{x^{\theta+1}}$	پارتو
$\alpha > 0$ $\beta > 0$	$1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right]$	$f(x) = \alpha\beta^{-\alpha}x^{\alpha-1}\exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right]$	ویبول

منحنی حداکثر بار مجاز

آتی تخصیص داده می‌شود. (MOS⁴)؛ معادل حاشیه ایمنی برای جبران عدم قطعیت در برآورد تخصیص بارها است که درصد مشخصی از TMDL بوده و معمولاً برابر با ده درصد در نظر می‌گیرند (بی‌نام ۱۹۹۷).

$$TMDL = WLA + LA + MOS \quad [1]$$

علاوه بر این مقدار حداکثر بار مجاز با ضرب مقادیر جریان در غلظت حداکثر استاندارد پارامتر کیفی مورد نظر برای هر کاربری محاسبه و نرخ بارگذاری جرمی که جریان می‌تواند بپذیرد و استانداردهای کیفی را نقض نکند، طبق فرمول ۲ نیز قابل محاسبه است

$$Load_{TMDL} = C_{MAX} * Q_{FDC} \quad [2]$$

که در آن: C_{MAX} حداکثر غلظت مجاز پارامتر کیفی برای هر کاربری، Q_{FDC} جریانی است که از منحنی تداوم جریان در محل ایستگاه حاصل شده است (بونت و کلیند ۲۰۰۳). برای ترسیم منحنی TMDL گامهای زیر باید به ترتیب انجام گیرد: ۱. گردآوری داده‌ها ۲. تعیین بهترین توزیع و ترسیم منحنی تداوم جریان (FDC) ۳. استخراج TMDL از منحنی تداوم جریان (کلیند ۲۰۰۲).

بیشترین مقدار بار آلاینده قابل حمل توسط یک رودخانه در روز به شرطی که از استانداردهای کیفی آب تجاوز نشود را حداکثر بار مجاز روزانه (TMDL) آن رودخانه گویند (مقیمی نژاد و همکاران ۲۰۱۸). TMDL استراتژی است که توسط USEPA^۱ برای نظارت بر مسائل کیفی آب در سیستم‌های بزرگ مقیاس اعلام شده است (یورگنسن و فاث ۲۰۱۴). برای محاسبه حداکثر بار مجاز (TMDL) نیاز به تعیین کاربری‌های آب رودخانه و تعیین غلظت مجاز آن کاربری با توجه به استانداردهای مورد تقاضا است. حداکثر مقدار مجاز نیترات برای کاربری‌های کشاورزی و اکوسیستم‌های آبی در جدول ۲ آورده شده است. در صورت وجود اطلاعات از جزئیات وضعیت بار آلاینده در سطح حوضه که شامل بار مواد زاید از منابع نقطه‌ای (WLA^۲) و منابع غیرنقطه‌ای (LA^۳) است، میزان TMDL با معادله ۱ نیز قابل برآورد خواهد بود که در آن: (WLA)؛ حداکثر بار کل روزانه است که به یک منبع آلاینده نقطه‌ای فعلی یا آتی تخصیص داده می‌شود. (LA)؛ حداکثر بار کل روزانه است که به یک منبع آلاینده غیرنقطه‌ای فعلی یا

جدول ۲- کاربری‌ها و غلظت مجاز نیترات.

منبع	استاندارد غلظت نیترات (mg L ⁻¹)	
Anonymus (2016)	۳۰	کشاورزی
Anonymus (2000)	۵۰	اکوسیستم آبی (محیط زیست)

¹ U.S. Environmental Protection Agency

² Waste Load Allocation

³ Load Allocation

⁴ Margin of Safety

منحنی تداوم بار

منحنی تداوم جریان (FDC)، با ضرب مقادیر استاندارد غلظت نیترات در دبی جریان، حداکثر بار مجاز روزانه نیترات بدست آمد. همچنین با ضرب بار اندازه گیری شده نیترات در دبی‌های متناظر، مقادیر نیترات عبوری محاسبه گردید. بررسی و تعیین منحنیهای حداکثر بار مجاز (TMDL) برای دو کاربری کشاورزی و اکوسیستم های آبی (محیط زیست) در دو فصل کشت و غیرکشت در ایستگاه‌های اندازه گیری در مسیر جریان انجام گرفت. با رسم منحنی های مقادیر TMDL و LDC، بررسی و تحلیل شرایط کیفی رودخانه در طول حدود ۸۰ کیلومتری در حدفاصل سد شهید رجایی تا مصب رودخانه از نظر میزان آلاینده‌گی نیترات با هدف کاربریهای کشاورزی و آبرزی پروری از حیث مکانی و زمانی انجام و پیشنهادات اجرایی لازم ارائه گردید.

نتایج و بحث

انتخاب تابع توزیع

نتایج آزمون نیکویی برازش توابع توزیع بر روی سری داده‌های دبی جریان برای فصول کشت و غیرکشت در جدول ۳ ارائه گردید. سری داده‌های دبی ایستگاه ریگ چشمه در فصل کشت دارای توزیع نرمال و در فصل غیرکشت توزیع بور بوده و در ایستگاه کردخیل در هر دو فصل کشت و غیرکشت سری داده‌ها دارای برازش مناسب تری با توزیع بور می‌باشند.

الگوی کمی حاکم بر جریان رودخانه

دبی جریان در ایستگاه ریگ چشمه در نیمه اول سال آبی بیشتر و در نیمه دوم سال کمتر می‌باشد (شکل ۲). این امر ناشی از آبیگری سد شهید رجایی در نیمه دوم و آزادسازی بیشتر آب به منظور کاربری‌های کشاورزی در نیمه اول سال می‌باشد. تغییرات دبی در ایستگاه کردخیل شرایط متفاوتی دارد به گونه‌ای که در نیمه اول سال دبی‌های کمتر و در نیمه دوم سال دبی‌های بیشتر را شاهد هستیم. این موضوع به دلیل برداشت‌های

منحنی LDC رابطه بین بار آلاینده مجاز مطابق استانداردها را با شرایط جریان موجود بیان می‌کند (چین ۲۰۱۲). به بیانی دیگر LDC گسترش منحنی تداوم جریان است به نحوی که در آن نقض استاندارد کیفی آب با توجه به شرایط جریان در زمان وقوع مشخص می‌گردد (تیاگو و همکاران ۲۰۱۱). مقدار بار عبوری طبق فرمول ۳ با ضرب غلظت مشاهداتی در جریان متناظر آن در بازه زمانی محاسبه و با رسم پوش بار عبوری آلاینده از رودخانه در برابر احتمال وقوع جریان، منحنی LDC حاصل می‌شود. در این معادله: C_{OBS} غلظت اندازه گیری شده و Q_{OBS} دبی مشاهداتی در زمان نمونه برداری می‌باشد (سرانو و همکاران ۲۰۲۰).

$$Load_{OBS} = C_{OBS}Q_{OBS} \quad [۳]$$

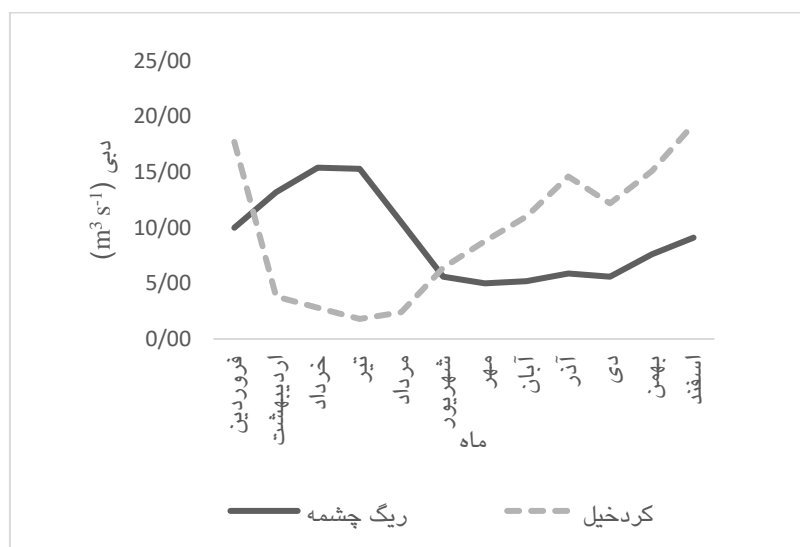
بمنظور تحلیل شرایط جریان و نرخ آلودگی نیترات در آب رودخانه تجن، جدیدترین اطلاعات طولانی مدت کمی و کیفی از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران اخذ و به بررسی میانگین دبی جریان در ماههای سال و نیز تغییرات نیترات در حوضه پرداخته شد. داده های ۱۸ ساله دبی روزانه جریان از سال آبی ۷۷-۷۸ تا سال آبی ۹۵-۹۶ برای ترسیم منحنی تداوم جریان مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه بیشتر شامل اراضی کشاورزی است و به تبع آن ورود آلاینده‌ها از این اراضی تابعی از شرایط فصل کشت و غیرکشت می‌باشد، لذا دبی ها به دو گروه دبی فصول کشت و غیرکشت تقسیم و برای هر یک از این فصول منحنی های تداوم جریان ترسیم شد. بدین منظور دبی‌ها بصورت نزولی مرتب شده و با بهره‌گیری از شاخص کلموگروف اسمیرنوف تابع توزیع احتمالاتی مناسب هر سری داده، احتمال وقوع هر یک از دبی‌ها محاسبه گردید. برای بررسی شرایط کیفی رودخانه تجن از نظر میزان غلظت نیترات، اطلاعات اندازه‌گیری شده در سالهای ۹۰-۹۱ تا ۹۷-۹۸ مورد استفاده قرار گرفت. پس از ترسیم

پیوستن شاخه‌های فرعی در پایین دست ایستگاه ریگ چشمه می‌باشد.

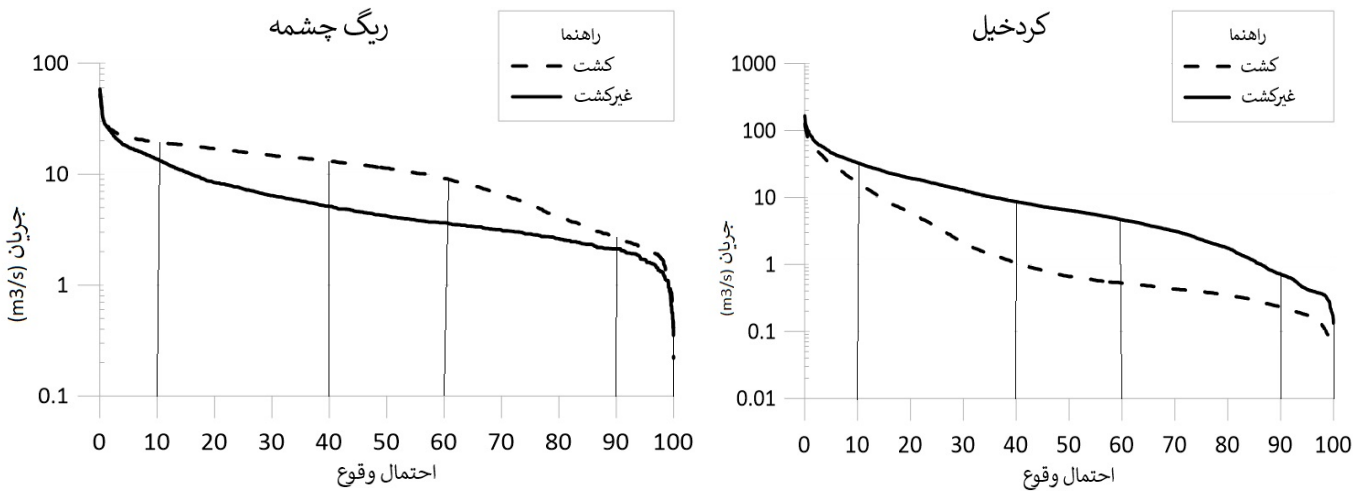
بیشتر از آب رودخانه برای کشاورزی و به ویژه زراعت برنج در اراضی تراس رودخانه، در نیمه اول سال می‌باشد. علت بیشتر بودن دبی در نیمه دوم سال نیز

جدول ۳- آماره‌های آزمون نیکویی برازش کولموگروف اسمیرنوف سری داده‌های دبی ایستگاهها در فصل‌های کشت و غیرکشت.

ایستگاه (فصل) تابع توزیع	ریگ چشمه (کشت)	ریگ چشمه (غیرکشت)	کردخیل (کشت)	کردخیل (غیرکشت)
نرمال	۰/۰۶۴	۰/۱۹۲	۰/۱۵	۰/۲۳۶
لوگ نرمال	۰/۰۷۳	۰/۰۵۹	۰/۱۳۵	۰/۰۴۴
پیرسون	۰/۱۸۱	۰/۰۳۷	۰/۰۸۵	۰/۱۶۸
لوگ پیرسون	۰/۰۸۱	۰/۰۴۲	۰/۱۰۴	۰/۰۳۵
بتا	۰/۰۸۱	۰/۱۰۹	۰/۲۳	۰/۰۸۵
بور	۰/۰۷۴	۰/۰۲۸	۰/۰۵۶	۰/۰۲۷
مربع کای	۰/۰۷۵	۰/۰۸۷	۰/۲۳۸	۰/۱۹۷
گاما	۰/۰۹۵	۰/۱۰۹	۰/۲۲۱	۰/۱۰۳
گامیل	۰/۰۸۸	۰/۱۶۸	۰/۳۷۹	۰/۲۴۴
لاپلاس	۰/۱۱۷	۰/۲۳	۰/۳۶۱	۰/۲۴۴
لوی	۰/۳۶۵	۰/۲۸	۰/۱۲۹	۰/۱۲۳
پارتو	۰/۴۱۵	۰/۴۰۲	۰/۲۹۶	۰/۳۰۶
ویبول	۰/۰۷۴	۰/۱۳۷	۰/۱۶۶	۰/۰۴۶



شکل ۲- تغییرات میانگین دبی روزانه در ایستگاههای ریگ چشمه و کردخیل در ماههای سال.



شکل ۳- منحنی تداوم جریان برای ایستگاههای ریگ چشمه و کردخیل.

محدودی وجود دارد و بیشتر اراضی جنگلی و مرتعی می‌باشند، لذا به خاطر نیاز آبی در دوره کشت در پایین دست؛ رهاسازی بیشتر آب از سد شهید رجایی انجام گرفته و دبی‌های بالاتری اتفاق افتاده است. از طرف دیگر با توجه به قرارگیری اراضی کشاورزی فراوان و برداشت از رودخانه در فصل کشت در بالادست ایستگاه کردخیل، مقادیر دبی در این ایستگاه در فصل کشت نسبت به فصل غیرکشت مقادیر کمتری دارد.

منحنی تداوم جریان (FDC) و دبی‌های با احتمال وقوع ۹۰٪ برای ایستگاه‌های ریگ چشمه و کردخیل و به تفکیک فصل کشت و فصل غیرکشت در شکل ۳ و جدول ۴ ارائه شده‌اند. در ایستگاه ریگ چشمه دبی با احتمال وقوع ۹۰٪ مقادیر بیشتری نسبت به ایستگاه کردخیل دارد که با توجه به اینکه ایستگاه ریگ چشمه در بالادست قرار داشته و برداشتها از رودخانه در آن نواحی کمتر است این تفاوت قابل توجیه می‌باشد. از طرف دیگر چون در بالادست ایستگاه ریگ چشمه اراضی کشاورزی

جدول ۴- مقادیر دبی با احتمال وقوع ۹۰٪ در ایستگاههای کردخیل و ریگ چشمه به تفکیک فصل‌های کشت و غیرکشت.

ایستگاه	زمان	دبی ($m^3 s^{-1}$)
ریگ چشمه	فصل کشت	۲.۷۲
	فصل غیرکشت	۲.۱۲
کردخیل	فصل کشت	۰.۲۳
	فصل غیرکشت	۰.۷

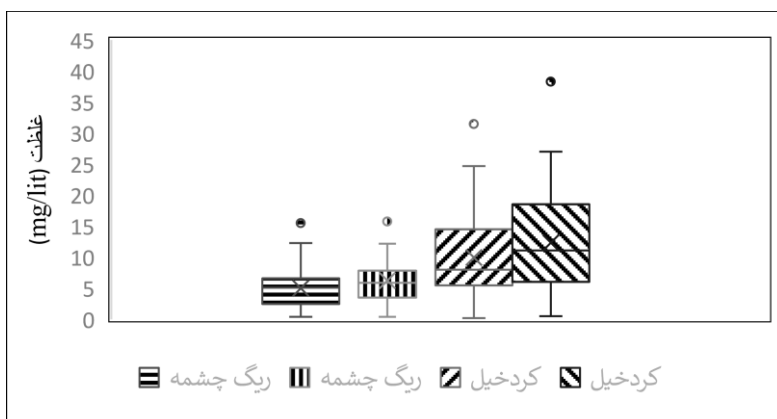
یک از ایستگاه‌ها باشد. در بالادست ایستگاه ریگ چشمه بیشتر اراضی جنگلی و مرتعی قرار گرفته اند لذا غلظت نیترات به مراتب کمتر از مقادیر مربوط به ایستگاه کردخیل می‌باشد که اراضی شالیزار در حفاصل بین دو ایستگاه قرار دارند. بررسی روند تغییرات غلظت آلاینده در سالهای متوالی نشان می‌دهد که این تغییرات در هر دو فصل کشت و غیرکشت در ایستگاه ریگ چشمه

الگوی کیفی حاکم بر جریان رودخانه

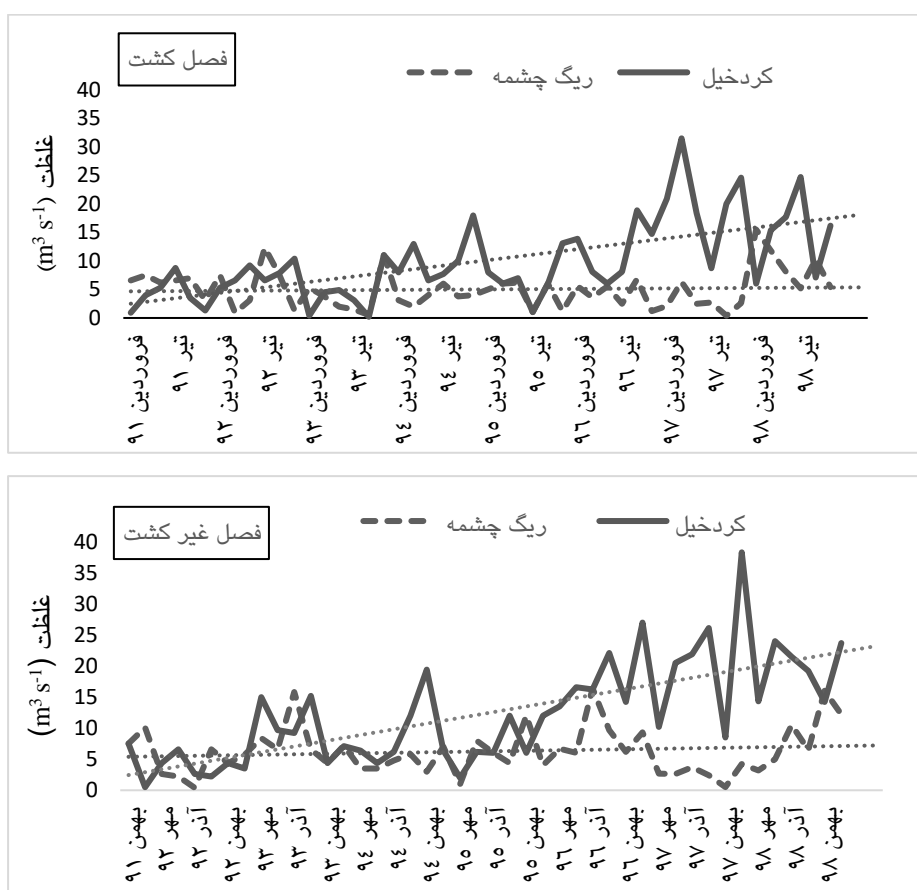
شکل ۴ نمودار جعبه ای مقادیر غلظت نیترات در هر یک از ایستگاهها به تفکیک فصل کشت و فصل غیرکشت را نشان می‌دهد. ایستگاه کردخیل در پایین دست در مقایسه با ایستگاه ریگ چشمه که بالادست می‌باشد، غلظت نیترات بیشتری را دارا است. این موضوع می‌تواند ناشی از کاربری اراضی متفاوت در محدوده هر

طی سالیان بر غلظت نیترات رودخانه در فصول کشت و غیرکشت افزوده شده است (شکل ۵).

تقریباً روندی ثابت دارد و غلظت‌ها تغییرات چندانی را نشان نمی‌دهند، اما در ایستگاه کردخیل به مرور و در



شکل ۴- نمودار جعبه ای مقادیر غلظت نیترات در دو ایستگاه مورد تحقیق.



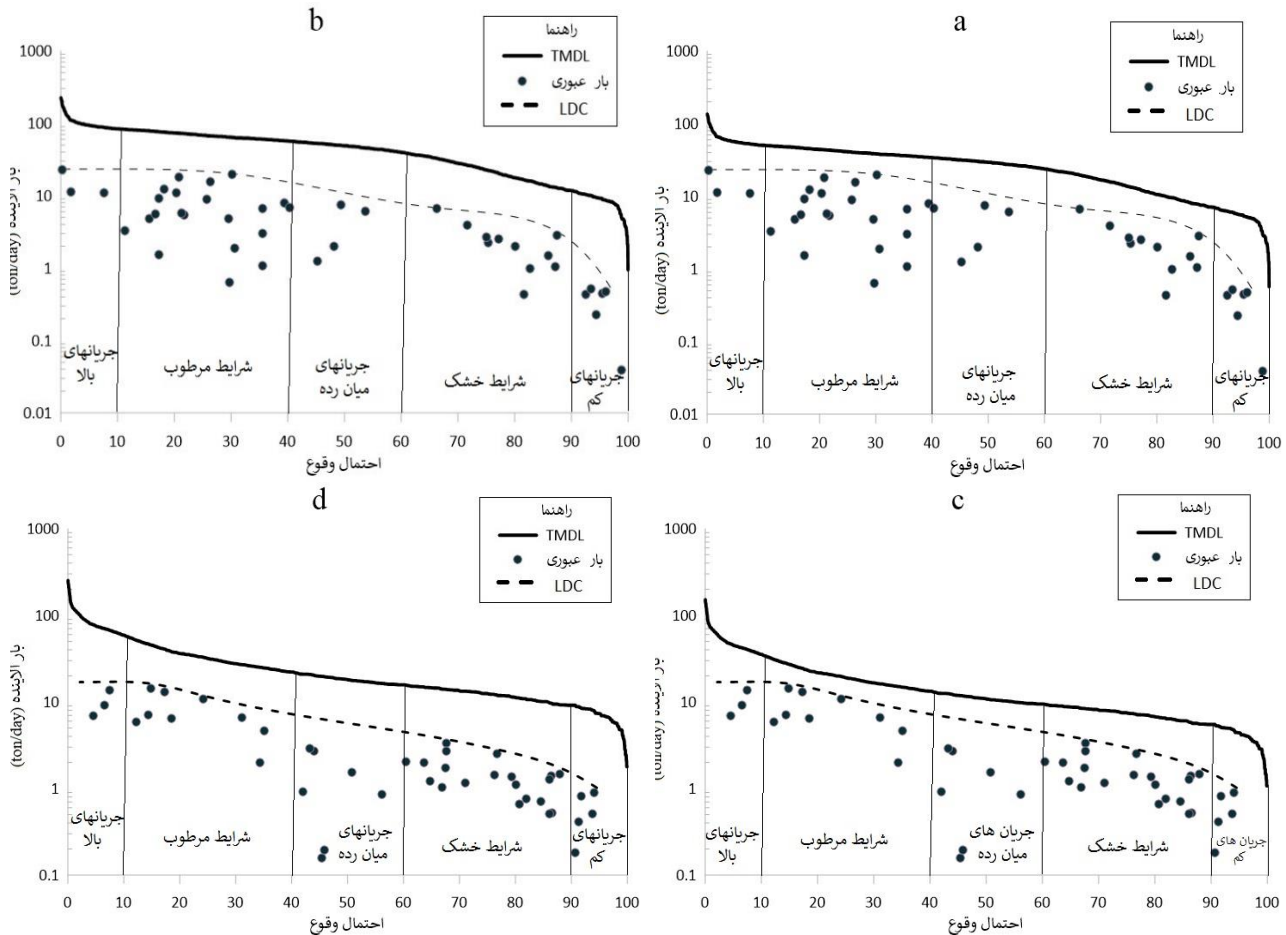
شکل ۵- نمودار تغییرات آلاینده نیترات در طی سالهای مورد مطالعه.

از زمانهای داده برداری، مقادیر نیترات (LDC) بیشتر از حد مجاز (TMDL) نبوده و لذا از بالادست رودخانه تا محل ایستگاه ریگ چشمه از نظر غلظت آلاینده نیترات شرایط کیفی مطلوبی برقرار و از نظر کاربریهای

منحنی تداوم بار (LDC)

شکل ۶ منحنی تداوم بار را برای ایستگاه ریگ چشمه نشان می‌دهد. در دوره مورد بررسی در هیچ یک

کشاورزی و آبیاری پروری در طول کل سال محدودیتی وجود ندارد. با دقت در منحنی‌ها مشخص می‌گردد که



شکل ۶- منحنی تداوم بار ایستگاه ریگ چشمه (a) فصل کشت، کاربری کشاورزی. (b) فصل کشت، کاربری اکوسیستم آبی. (c) فصل غیرکشت، کاربری کشاورزی. (d) فصل غیرکشت، کاربری اکوسیستم آبی.

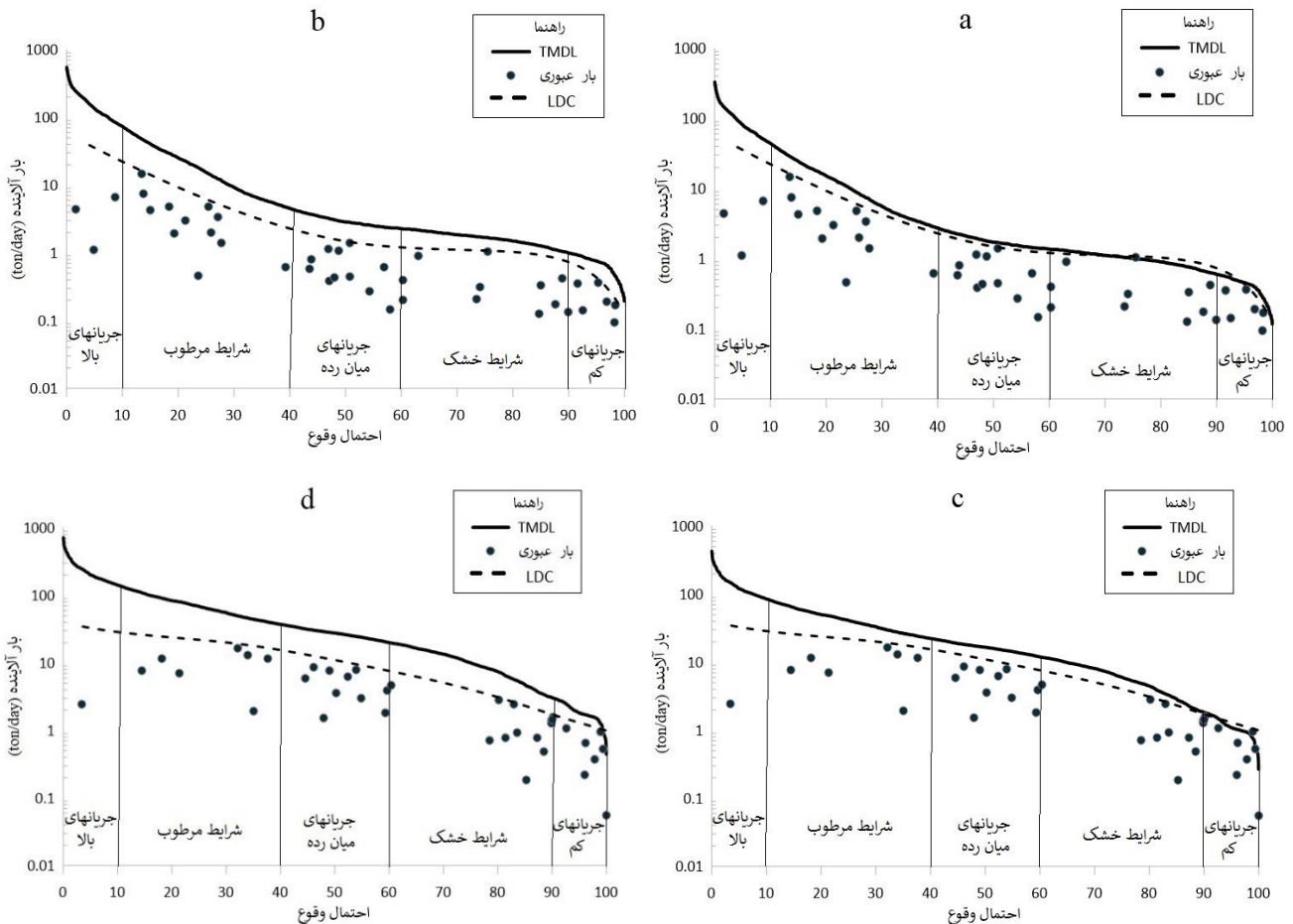
همکاران ۲۰۱۱، چین ۲۰۱۲، تیاگو ۲۰۱۲). لذا می‌توان نتیجه گرفت منشاء بارهای منطقه بالادست ایستگاه ریگ چشمه بیشتر منابع غیرنقطه‌ای هستند. با توجه به اینکه در بالا دست این ایستگاه بیشتر مناطق جنگلی و مراتع قرار دارند، لذا این نتیجه با شرایط موجود مطابقت دارد.

موضوع در جریانهای کم رودخانه اتفاق افتاده است که نشان دهنده تاثیر منابع آلاینده نقطه‌ای می‌باشد (کلیند ۲۰۰۲، بونتتا و کلیند ۲۰۰۳، سرانو و همکاران ۲۰۲۰). در محدوده بالادست ایستگاه کردخیل و حد فاصل آن با

مقادیر بار عبوری در دبی‌های بزرگتر به منحنی TMDL نزدیکتر می‌باشند، به نحوی که این نقاط در محدوده احتمال وقوع های ۱۰-۶۰ درصد و در شرایط مرطوب قرار می‌گیرند. در منحنی LDC اگر بارها در این محدوده باشند منشاء آنها می‌تواند بارهای آلاینده غیرنقطه‌ای باشد (تیاگو و

منحنی‌های LDC ایستگاه کردخیل در شکل ۷ ارائه شده اند. مشاهده می‌گردد که برخی از مقادیر مماس و یا بالاتر از منحنی TMDL قرار گرفته‌اند که بیانگر نقض قوانین حداکثر بار مجاز در این ایستگاه می‌باشد. این

ایستگاه ریگ چشمه منابع نقطه‌ای متعددی وجود دارد. قرارگیری سه مرکز صنعتی کارخانه چوب و کاغذ،



شکل ۷- منحنی تداوم بار ایستگاه کردخیل (a) فصل کشت، کاربری کشاورزی. (b) فصل کشت، کاربری اکوسیستم آبی. (c) فصل غیرکشت، کاربری کشاورزی. (d) فصل غیرکشت، کاربری اکوسیستم آبی.

جریانهای میان رده تا جریانات کم (درصد احتمالات وقوع (۴۰-۱۰۰)) که مربوط به فصول آبیاری اراضی شالیکاری است، اتفاق می‌افتد.

گردید. بررسی روند تغییرات غلظت آلاینده در سالهای متوالی نشان می‌دهد که ایستگاه ریگ چشمه تقریباً روندی ثابت دارد و غلظت‌ها تغییرات چندانی را نشان نمی‌دهند، اما در ایستگاه کردخیل به مرور و در طی سالیان بر غلظت بار نیترات رودخانه چه در فصل کشت

شرکت فرآورده‌های لبنی و کارخانه آنتی بیوتیک سازی ساری در این منطقه آلاینده‌های نقطه‌ای به رودخانه وارد می‌کنند. همچنین پسابهای شهر ساری و روستاهای همجوار در این بازه قرار گرفته و به صورت نقطه‌ای در طول مسیر جریان وارد رودخانه می‌شوند (صادقی آزاد ۲۰۱۷). طبق شکل ۷ محدودیت بکارگیری آب رودخانه از

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق با بهره‌گیری از منحنی‌های تداوم بار (LDC) در دو ایستگاه ریگ چشمه و کردخیل، شرایط کیفی و عوامل موثر بر کیفیت آب رودخانه تجن بررسی

دبی‌های حداقل و در فصول کشت می‌باشند. از طرف دیگر با بررسی‌های صورت گرفته و با توجه به شرایط کیفی رودخانه در محل ایستگاه کردخیل تا ۱۶ کیلومتر پایین‌تر (مصب رودخانه تچن به دریای خزر)، در فصول کشت رودخانه دچار آلودگی نیترات بیشتر از حد مجاز خواهد شد. لذا لازم است محاسبات آزادسازی جریان از سد شهید رجایی مورد بازنگری قرار گیرد. همچنین مدیریت بکارگیری کودهای ازته در مزارع و باغات منطقه و خصوصا حواشی مسیر جریان از ایستگاه کردخیل تا مصب دریا مورد بازنگری مجدد قرار گرفته و تجدید نظر انجام پذیرد.

و چه در فصل غیرکشت افزوده شده است. نتایج نشان داد که در محدوده ایستگاه ریگ چشمه بیشتر منابع غیرنقطه‌ای بر روی آلاینده‌ی نیترات رودخانه موثر هستند. اما این عوامل شرایطی را بوجود نمی‌آورند که غلظت نیترات در رودخانه از حداکثر مجاز تجاوز کند. نتایج حاکی از آن است که منحنی‌های تداوم بار نسبت به حداکثر مجاز روزانه به منظور کاربری‌های کشاورزی، شیلات و آبی‌پروری از بالادست سد شهید رجایی تا ایستگاه ریگ چشمه در حاشیه امن بوده و فاقد محدودیت می‌باشند. بررسی نمودارهای تداوم بار رودخانه در محل ایستگاه کردخیل حاکی از افزایش موردی میزان آلاینده نیترات از حداکثر مجاز است که این موارد مربوط به

منابع مورد استفاده

- Agheli L, 2020. Probability Distribution Functions. Encyclopedia of Economics 3(1): 1-11.
- Alipour Nasirmahale F, 2017. Simulation of runoff caused by rainfall in Nazlu Chay basin by using of conceptual model. MSc Thesis, Urmia University. (In Persian with English abstract)
- Anonymous, 1997. Technical Guidance Manual for Developing Total Maximum Daily Loads, Book 2: Streams and Rivers. Part 1: Biochemical Oxygen Demand/Dissolved Oxygen and Nutrients/Eutrophication, Washington, D.C.
- Anonymous, 2000. Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra.
- Anonymous, 2007. An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds, EPA 841-B-07-006, Washington, D.C. http://water.epa.gov/lawsregs/lawsguidance/cwa/tmdl/upload/2007_08_23_tmdl_duration_curve_guide_aug2007.pdf, accessed August 2010.
- Anonymous, 2016. Water and Soil Office, Vice President of Human Environment. EPA Iran.
- Biglari M, Sima S and Saadatpour M, 2019. Modeling and management of the river water quality for aquatic life using a source control approach (Case study: The Zarrineh River). Iran-Water Resources Research 14(5): 57-70. (In Persian with English abstract)
- Bonta JV and Cleland B, 2003. Incorporating Natural Variability, Uncertainty, and Risk Into Water Quality Evaluations Using Duration Curves 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 39(6):1481-96.
- Bouraqi F and Grizzetti B, 2014. Modelling Mitigation Options to Reduce Diffuse Nitrogen Water Pollution from Agriculture. Science of the Total Environment 15(468):1267-77.
- Chin DA, 2012. Water-Quality Engineering in Natural Systems: Fate and Transport Processes in the Water Environment. John Wiley & Sons.
- Cleland B, 2002. TMDL Development From the "Bottom Up" e Part II: Using Duration Curves to connect the pieces. Proceedings of the America's Clean Water Foundation. National TMDL Science and Policy 2002 e WEF Specialty Conference. 15 August. Phoenix. USA.
- Ganjidoust H, Ayati B. Khara H, Khodaparast SH, Akbarzadeh A, Ahmadzadeh Layeghi T, Nezami SH A and Zolfinezhad K, 2009. Investigation of environmental pollution in Siah Keshim wetland. Environmental Science 6(3): 117-132. (In Persian with English abstract)

- Gilchrist M, Winyard PG and Benjamin N, 2010. Dietary nitrate—good or bad?. *Nitric oxide* 15;22(2):104-9.
- Haas MB, Guse B, Pfannerstill M and Fohrer N, 2016. A joined multi-metric calibration of river discharge and nitrate loads with different performance measures. *Journal of Hydrology* 536(1):534-45.
- Jang JY, Kim DW, Choi YJ and Jang DW, 2021. Analysis of the water quality characteristics of urban streams using the flow–pollutant loading relationship and a load duration curve (LDC). *Applied Sciences* 18;11(20):9694.
- Jang SS, Ji HS and Kim HK, 2018. Identifying priority area for nonpoint source pollution management and setting up load reduction goals using the load duration curve. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(5):17-27.
- Johnson SL, Whiteaker T and Maidment DR, 2009. A Tool for Automated Load Duration Curve Creation 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 45(3):654-63.
- Jorgensen SE and Fath B, 2014. *Encyclopedia of ecology*. Elsevier.
- Jung KY, Kim HT, Kim SS, Kim S, Shin DS and Kim GH, 2017. Application of the Load Duration curve (LDC) to evaluate the achievement rate of target water quality in the Nakdong River unit watersheds. *Journal of Environmental Science International* 26(4):433-45.
- Kim J, Engel BA, Park YS, Theller L, Chaubey I, Kong DS and Lim KJ, 2012. Development of web-based Load Duration curve system for analysis of total maximum daily load and water quality characteristics in a waterbody. *Journal of Environmental Management* 30(97):46-55.
- McKee KE, Karthikeyan R and Smith PK, 2010. Watershed Protection Plan in Rural Texas Watersheds Using Spatial Tools. In *21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment Conference Proceedings, 21-24 February 2010, Universidad EARTH, Costa Rica* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Mello CR, Norton LD, Pinto LC, Beskow S and Curi N, 2016. Agricultural watershed modeling: A review for hydrology and soil erosion processes. *Ciência e Agrotecnologia* 40:7-25.
- Miranzadeh MB, Heidari M, Dehghan S and Hasanzadeh M, 2011. An overview of nitrate in drinking water and its health effect with emphasis on its carcinogenic risk in human. *Journal of Health System Research* 6:1057-1071. (In Persian with English abstract)
- Moghimi Nezaad S, Ebrahimi K and Kerachian R, 2018. Investigation of Seasonal Self-purification Variations of Karun River, Iran. *Amirkabir Journal of Civil Engineering* 49(4): 621-634. (In Persian with English abstract)
- Paiva RC, Collischonn W, Bonnet MP and De Gonçalves LG, 2012. On the sources of hydrological prediction uncertainty in the Amazon. *Hydrology and Earth System Sciences* 5;16(9):3127-37.
- Patra, KC, 1989. *Hydrology and Water Resources Engineering*, Department of Civil Engineering, O.U.A.T Bhubaneshwar-India.
- Rahmani H, Janikhalili K and Anvarifai H, 2013. Biodiversity of Fishes in Tajan River (Mazandaran Province). *Journal of Fisheries* 66(1): 41-48. (In Persian with English abstract)
- Sadeghi Azad A, 2017. Assessment of self-purification in Tajan River and impacts of using control structures on water quality enhancement using Qual-2K and CCHE-2D models. MSc Thesis, Isfahan University of Technology. (In Persian with English abstract)
- Serrano LD, Borges AC, Pruski FF and Melo MC, 2020. A new approach to use load duration curves to evaluate water quality: A study in the Doce river basin, Brazil. *Water* 14;12(3):811.
- Teague A, 2012. Development of a distributed water quality model using advanced hydrologic simulation. Rice University, Texas.
- Teague A, Bedient PB and Guven B, 2011. Targeted application of seasonal load duration curves using multivariate analysis in two watersheds flowing Into Lake Houston 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 47(3):620-34.