تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سیزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶
Volume 13, No. 4, Winter 2018 (IR-WRR)
۵۱-۶۳

بررسی اثر زیست‌پالایی آب‌بندان‌ها بر نیتروژن و فسفر ورودی (مطالعه موردی)

راهب ماهفروزی[۱] و علی شاهنظری[۲*]

چکیده

آب‌بندان‌ها، تالاب‌های مصنوعی هستند که از خاک‌برداری یک محدوده و ایجاد دیواره خاکی دور این محدوده پدید می‌آیند و سهم قابل توجهی در آبیاری اراضی کشاورزی استان مازندران دارند. در نظر گرفتن آب‌بندان به عنوان نوعی از تالاب‌های مصنوعی، این سؤال را بوجود می‌آورد که آیا همانند انواع تالاب‌های مصنوعی، قادر به پالایش زیستی آلاینده‌های ورودی هستند؟ در این مطالعه به مدت نه ماه از آذر ۱۳۹۱ تا مرداد ۱۳۹۲ و با فواصل ماهانه، از آب ورودی و خروجی سه آب‌بندان لَلِمرز و نوبور با کاربری پرورش ماهی و سَرآب‌بندان واقع در شمال شهرستان ساری، جمعاً تعداد ۵۴ نمونه آب برداشته شد. دما و pH نمونه‌ها در محل و غلظت پارامترهای نیترات، نیتریت، آمونیم و فسفر کل نمونه‌ها در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری و مقدار نیتروژن کل از جمع جبری داده‌ها محاسبه شد. نتایج نشان داد تنها تفاوت معنی‌داری ($P = ۰/۰۱۶$) بین میانگین غلظت فسفر کل ورودی (۰/۰۸۳ ppm) و خروجی (۰/۰۱۶ ppm) سرآب‌بندان وجود دارد و پرورش ماهی نیز اثر پالاینده یا آلاینده‌ای به صورت معنی‌دار بر غلظت خروجی پارامترها ($\alpha= ۰/۰۵$) نداشت.

کلمات کلیدی: نیترات، پرورش ماهی، تالاب مصنوعی، راندمان.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۳/۱۲

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان خرداد ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Survey of Bioremediation Effect of Abbandans on Input Nitrogen and Phosphorus (Case Study)

R. Mahfoouzi [1] and A. Shahnazari [2]*

Abstract

Abbandans are man-made wetlands constructed by excavation and borders of soil dykes around it. These hydro-structures have significant contributions in farmland irrigation in Mazandaran province. However like other types of constructed wetlands there is a question about their ability to bioremediat the input contaminants. For a period of 9 months from Dec 2012 to Aug 2013 and on a monthly basis, 54 samples were collected from inlet and outlet water of three Abbandans; Nobbor and Lalle-Marz utilized for fish culture and Sar-Abbandan with agricultural function located in north of Sari city. The temperature and pH were measured in-situ and concentration of nitrate, nitrite, ammonia and total phosphorus were measured by Atomic Absorption Apparatus in the laboratory. Total nitrogen was calculated from the sum of the nitrogen data. Significant difference was observed on input-output concentrations of total phosphorus for Sar-Abbandan (0.083-0.016 ppm) and the fish farming had no bioremediating or polluting effect on outlet parameters ($\alpha = 0.05$).

Keywords: Constructed Wetlands, Efficiency, Fish Culture, Nitrate.

Received: March 10, 2017
Accepted: June 2, 2017

1- Ph.D. Student, Irrigation and Drainage, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: Aliponh@yahoo.com
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

آب‌بنـــدان‌هـــا گونه‌ای از تالاب‌های مصنوعی[1] (انسان‌ساز) آب شیرین، با سطح آب آزاد هستند که از گود کردن و خاکبـــرداری یک محدوده و ریختن و کوبیدن آن‌ها و ایجاد دیواره و حصـــار دور این محدوده بـــه وجـــود می‌آینـــد (Bagheri, 2008; Dargahi, 2006; Daryabari and Khoram-margavi, 2010; Pourmohammad et al., 2011; Safaiyan and Shokri, 2002). تأمین و جبران کمبود آب مشترکین فاقد حقابه مستقیم و مطمئن از رودخانه‌ها، با مهار آب‌های نابهنگام (رواناب‌ها و سیلاب‌ها حاصل بارندگی‌های پاییزه و زمیستانه) هدف به وجود آمدن آب‌بندان‌ها است.

بروز خشکسالی و نقش پشتیبانی و حمایتی آب‌بندان‌ها از شبکه‌های مدرن آبیاری در سال‌های اخیر، اهمیت آب‌بندان‌ها از نگاه بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب را دو چندان نمود. همچنین، توجه نوظهور به جنبه‌های اقتصادی پرورش ماهی و اردک، تغذیه آب‌های زیرزمینی، بهره‌گیری از گیاهان تالابی، استفاده از پیت کف آب‌بندان برای فعالیت‌های باغبانی، ایجاد مأمن برای سکنی حیات وحش و پرندگان مهاجر، استفاده‌ی تفرجگاهی و شکار در کنار پایداری و سازگاری با محیط زیست، سبب پر رنگ‌تر شدن اهمیت بهره‌برداری چندمنظوره از آب‌بندان‌ها در دو دهه‌ی اخیر شد. به همین سبب و با حمایت نهادهای دولتی، طرح بهسازی آب‌بندان‌ها در دو دهه‌ی اخیر در شمال کشور اجرا شد. طی بهسازی، دیواره‌ی آب‌بندان‌ها اصلاح شد و عمق آن‌ها با لایروبی افزایش یافت. به این ترتیب آب‌بندان‌ها که با تجمع تدریجی رسوبات و کاهش عمق، گسترش پوشش گیاهان آبزی و کنار آبزی به تالابی مصنوعی در تعادل با محیط پیرامون بدل شده بودند، به مخازن ذخیره آب کشاورزی با کاربری ثانویه پرورش ماهی تبدیل شدند.

پرورش ماهیان گرمابی در آب‌بندان‌های استان مازندران از اوایل دهه‌ی هفتاد شمسی و با بهسازی و ماهی‌دار کردن آب‌بندان‌ها آغاز شد. برای تغذیه ماهی‌ها، با افزودن انواع کودهای آلی و معدنی در مراحل مختلف پرورش، باروری مصنوعی در آب‌بندان ایجاد می‌شود. غذای مصرفی نیز به شکل CO_2 و H_2O یا به شکل آمونیاک و متابولیت‌های دیگر توسط ماهی‌ها دفع می‌گردد. علاوه بر این، لایروبی متناوب آب‌بندان برای پرورش ماهیان گرمابی و تغذیه آن‌ها از گیاهان آبزی آب‌بندان، سبب نابودی پوشش گیاهی و اثر احتمالی بر کیفیت آب خروجیِ آب‌بندان‌ها شده است. چنین منابع آلاینده غیر نقطه‌ای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی تبدیل به مسئله ملی و جهانی برای تهدید کیفیت منابع آب شرب و محیط زیست در دهه‌های اخیر شده است و باید به دنبال گزینه‌های پایدار برای حل این مسئله بود.

تالاب‌های مصنوعی گزینه‌ی جذابی برای این منظورند؛ زیرا آن‌ها سامانه‌هایی مؤثر در حذف مواد آلاینده بوده و برای راه اندازی و نگهداری نسبتاً ارزان هستند (Hammer, 1992; Larson et al., 2000). تالاب‌های مصنوعی سامانه‌های بسیار پیچیده‌ای هستند و مواد آلاینده را حین جریان یافتن در سامانه، به‌صورت همزمان یا به ترتیب توسط فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، در انواع مختلفی از پساب‌ها چون رواناب سطحی و فاضلاب‌های شهری، پساب‌های صنعتی، زه‌آب اسیدی معادن و زه‌آب کشاورزی، در سطوح مختلف تصفیه می‌کنند (US-EPA, 2000). ۵۷ تالاب طبیعیِ بین‌المللی توسط Fisher and Acreman (2004) مطالعه شد. به ترتیب ۸۰ و ۸۴ درصد تالاب‌ها نیتروژن و فسفر را حذف، ۷ و ۶ درصد بدون اثر بر غلظت و ۱۳ و ۱۰ درصد نیتروژن و فسفر آزاد کردند. اثر پوشش گیاهی در حذف مؤثر گزارش شد؛ اما اثر آن بر عملکرد تالاب چند وجهی و در مقایسه با سایر فرآیندها کم اهمیت بود. O'Geen et al. (2010) تالاب‌های مصنوعی را قادر به حذف مؤثر بیش از ۵۰ درصد نیترات و فسفر متصل به ذرات، از رواناب‌های اراضی کشاورزی در صورت طراحی مناسب و راهبری صحیح دانسته‌اند. David et al. (2006) توان نیترات‌زدایی دریاچه شلبیویلِ ایلینویز در ایالات متحده را ۵۸ درصد ازت نیتراته ورودی ناشی از اراضی کشاورزی گزارش نمودند. Koskiaho et al. (2003) حذف سالانه‌ی فسفر کل، ازت کل، نیترات و آمونیوم در سه تالاب مصنوعی در فنلاند را به ترتیب ۶۷-۶ درصد، ۴۰-۷ درصد، ۳۸-۸ درصد و ۵۷-۵۰ درصد گزارش کردند. نقش پوشش گیاهی نیز محدود اعلام شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که تالاب‌های با طراحی و مکان‌یابی دقیق قادر به حذف مؤثر مواد مغذی با منشاء کشاورزی هستـــند. Dong et al. (2009) نقش استخرهای ذخیره آب اراضی شالیزاری جنوب چین را بر کیفیت آب در یک دوره رشد برنج مطالعه نمودند. نتایج نشان داد کیفیت آب در عبور از استخر در مجموع افزایش یافته، اما در ۵ دوره رشد گیاه برنج مقدار راندمان حذف متفاوت و در دوره چهارم و پنجم منفی نیز بوده است. مقادیر گزارش شده از ۲۵۳/۴- تا ۶۰/۷ درصد برای فسفر کل و ۲۸/۶- تا ۵۵/۴ درصد برای ازت کل بوده است. Ham et al. (2010) گزارش نمودند که ایجاد یک تالاب مصنوعی با مساحت ۰/۵ درصد مساحت حوزه آبریز، ۱۱/۶۱ و ۱۳/۴۹ درصد از بار نیتروژن کل و فسفر کل را کاهش خواهد داد. Braskerud (2002a, 2002b) چهار تالاب مصنوعی تحت تأثیر منابع آلاینده غیر نقطه‌ای مرتبط با کاربری کشاورزی و دامپروری را در کشور نروژ مورد بررسی قرار داد. متوسط سالانه حذف فسفر کل بین ۲۱ الی ۴۴ درصد مقدار ورودی و حذف سالانه نیتروژن ۳ الی ۱۵ درصد از نیتروژن ورودی بود. علت پایین بودن حذف نیتروژن، بار ورودی زیاد و دمای پایین محیط در شرایط شمالی نروژ اعلام شد؛ اما نتایج نشان داد کـــه

تالاب‌های کوچک ابزاری کارآمد به عنوان بهترین اقدام مدیریتی[۲] (BMPs) برای حذف نیتروژن و فسفر در اراضی زراعی هستند. Hsu et al. (2011) در بررسی عملکرد دو تالاب مصنوعی با جریان آب سطحی در تایوان، راندمان حذف نیتروژن و فسفر کل را به ترتیب ۳۵/۶ و ۲۰/۷ گزارش دادند. Li et al. (2009) ضمن ارزیابی تالابی مصنوعی در منطقه شهری شانگهای کشور چین، مقدار راندمان حذف ۱۸/۵ درصد را برای TP عنوان نمودند. Terzakis et al. (2008) و Arroyo et al. (2013) نیز در بررسی موارد مشابه به ترتیب مقادیر ۶۲/۸ و ۶۹/۷۴ درصد را برای راندمان حذف TP گزارش نمودند. عملکرد سیستم تالاب انزلی در حذف و کاهش آلاینده‌ی ورودی به آن توسط Fatolahi Dehkordi et al. (2002) طی ۶ ماه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت آلاینده‌ها در طول عبور از تالاب به سمت نقاط خروجی کاهش یافته که معرف توان خودپالایی تالاب است. Asgharnia et al. (2011) به منظور ارزیابی توان تصفیه فاضلاب‌های خانگی توسط آب‌بندان مرزون آبادِ شهرستان بابل، ۱۲ نمونه از ورودی و خروجی برداشتند. نتایج کاهش قابل توجهی بین مقدار ورودی و خروجی پارامترهای نیترات، آمونیاک و فسفات را بدون وجود تفاوت معنی‌دار نشان داد. راندمان حذف نیترات، آمونیاک و فسفات، به ترتیب ۷۴/۱، ۷۰ و ۱۸ درصد بود. مقادیر انحراف معیار از میانگین در اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده نیز بسیار بالا گزارش شد. مقاله حاضر با در نظر گرفتن آب‌بندان به عنوان یک تالاب مصنوعی و انسان‌ساز و با فرض آن به عنوان یک سیستم با ورودی و خروجی، به بررسی توان زیست‌پالایی نیتروژن و فسفر ورودی ناشی از منابع غیر نقطه‌ای کشاورزی، در این منابع آبی می‌پردازد. همچنین، اثر پرورش ماهی بر توان زیست‌پالایی آب‌بندان‌ها را مورد مطالعه قرار می‌دهد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- محل و زمان مطالعه

مطالعه از آذر ۱۳۹۱ تا مرداد ۱۳۹۲، در طول یک دوره آبگیری و تخلیه آب‌بندان‌ها مقارن با دوره‌ی آبیاری در یک فصل کشت برنج، انجام شد. برای انتخاب آب‌بندان‌های مورد مطالعه، بررسی تطبیقی بین شناسنامه آب‌بندان‌های استان مازندران (Anonymous, 2008)، گزارش وضعیت آب‌بندان‌های استان مازندران (Ebrahimi, Undated) و گزارش مشخصات فنی آب‌بندان‌های منطقه ساری (Matlubi, 1994) انجام شد. مواردی چون برخورداری از کم‌ترین تعداد ورودی و خروجی، عدم تغذیه از چاه، چشمه و سایر منابع غیر قابل اندازه‌گیری از نظر کمی و کیفی، یکسان بودن منبع آب ورودی تا حد ممکن، امکان‌پذیر بودن نمونه‌برداری در طول مطالعه و شرایط مختلف جوی، حداقل فاصله ۵ سال از آخرین لایروبی، موافقت مالک یا مستأجر و نزدیکی به هم و به آزمایشگاه‌ها به منظور کاهش خطای نمونه‌برداری و سهولت ترابری برای انتخاب این آب‌بندان‌ها، از بین بیش از ۸۰ آب‌بندان شهر ساری، در نظر گرفته شد. در نهایت و پس از بازدید از ۱۸ آب‌بندان دارای شرایط اولیه، سه آب‌بندان برای مطالعه انتخاب شد.

آبندان‌های لِلمرز و نوبور آبندان سیدمحله با کاربری‌های پرورش ماهی و کشاورزی و سرآبندان سیدمحله با کاربری کشاورزی و دارای پوشش گیاهی برای مطالعه انتخاب شدند (شکل ۱).

آب‌بندان‌های مورد مطالعه در حد فاصل روستاهای للمرز و سیدمحله، در ۱۵ کیلومتری شمال شهر ساری و میان اراضی زراعی قرار دارند. جدول ۱ اطلاعات بیشتری در این مورد ارائه می‌نماید. کشت غالب در منطقه برنج بوده و شروع فصل کشت با آغاز آماده‌سازی اراضی در نیمه اول فروردین، همزمان با آغاز آبیاری و رهاسازی آب از آب‌بندان‌ها است. دریچه‌های زراعی توسط میراب کنترل شده و تا اواسط مرداد متناسب با نیاز زراعی، دائماً باز نگه‌داشته می‌شوند. پس از آن، دریچه‌های خروجی بسته شده و آب‌بندان در اختیار پرورش‌دهنده‌ی ماهی قرار می‌گیرد. زمان رهاسازی بچه ماهی در آب‌بندان‌ها، اول فروردین و بر اساس شرایط مخزن است. کوددهی به صورت هفتگی از خرداد و تغذیه مصنوعی (به وسیله‌ی کنسانتره) از تیر آغاز می‌گردد. به دلیل کاهش دائم عمق آب‌بندان و به منظور کنترل شرایط تنش دمایی و کاهش تلفات در پرورش ماهی، پرورش‌دهنده در روزهای گرم علاوه بر استفاده از هواده‌ها، تغذیه را قطع نموده و با حرکت به وسیله قایق موتوری و یدک کشیدن وزنه در کف آب‌بندان، سبب به هم خوردن رسوبات می‌شود. بنابراین، رویه یکنواختی برای مدیریت آب‌بندان‌ها از نظر پرورش ماهی وجود نداشت. زمان برداشت ماهی از نیمه‌ی مهر تا اواسط آبان است؛ اما پرورش دهندگان به منظور حفظ بازار به وسیله‌ی مدیریت عرضه، هم زمان با صید، تخلیه آب‌بندان را از اواسط مهر آغاز نموده و تا اواخر آذر ادامه می‌دهند. با وجود باز بودن دریچه تخلیه (از تراز کف آب‌بندان) در این مدت، اغلب آب‌بندان‌ها هیچگاه خشک نمی‌شوند. آغاز فصل بارش و کاهش تبخیر از سطح، رسوب‌گذاری در کف آب‌بندان و تغییر شیب کف، بالا بودن سطح آب زیرزمینی در این زمان از سال و کمینه شدن نفوذ عمقی عوامل آن هستند. به این دلیل در اکثر آب‌بندان‌های استان عملیات خاک‌ورزی در شروع فصل پرورش صورت نمی‌گیرد.

Fig. 1- Study area and the three Abbandans; 1: Sar-Abbandan; 2: Nobbor, 3: Lalle-Marz

شکل ۱- محدوده مورد مطالعه؛ ۱: سرآب‌بندان، ۲: آب‌بندان نوبور و ۳: آب‌بندان للمرز

Table 1- Surveying Abbandans' characteristics

جدول ۱- مشخصات آب‌بندان‌های مورد مطالعه

Abbandan	UTM Cord.	Area (ha)	Water depth (m)	App.	Veg. Cover (%)	No. of Input-Output	Details
Sar-Abbandan	4064800.68 m N 680622.42 m E	150	2.7	Irrigation	70	1-6*	-
Nobbor	4065473.78 m N 681104.73 m E	40	2.2	Fish culture	0	1-2**	100 tons of cow manure coincide with the release of fingerlings (March 15, 2013), 8.1 tons of ammonium nitrate and 9 tons of superphosphate chemical fertilizer (intermittent, May 15 to Sep. 15), 22 tons of concentrates and forage (mid-May to mid-Sep. 2014)
Lalle-Marz	4064771.13 m N 68212.71 m E	40	7.4	Irrigation and Fish culture	0	1-4	50 tons of cow manure coincide with the release of fingerlings (March 27, 2013), 3 tons of ammonium nitrate and 1.5 tons of superphosphate chemical fertilizer (intermittent, May to Sep. 2014), 18 tons of concentrate, aerated during the summer

* 3 Output were active at studying time

** 1 Output was active at studying time and output no. 3 of Sar-Abbandan was Nobbor's input.

متوسط دما در دوره مطالعه ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد، مجموع بارندگی دوره ۵۴۰/۵ میلی‌متر و مجموع تبخیر ثبت شده در ایستگاه هواشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۸۹۵/۸ میلی‌متر بود. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن، از نوع مرطوب (Bakht-firouz, 2011) و طبق آمار هواشناسی ۱۲ ساله (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰)، متوسط بارندگی سالانه منطقه، ۷۳۴ میلی‌متر و متوسط دمای هوا ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد بوده است. بخش اعظم بارندگی‌های منطقه (بیش از ۷۰ درصد)، در فصول پاییز و زمستان رخ می‌دهد و در ماه‌های آبان تا اسفند مقدار متوسط بارندگی از میانگین تبخیر ماهانه بیشتر است (Jafari Talukolai, 2012).

۲-۲- نمونه‌برداری و اندازه‌گیری

نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک و ماهانه از نیمه آذر ۱۳۹۱ الی مرداد ۱۳۹۲ در یک دوره ۹ ماهه انجام شد. در سایر ماه‌های سال به سبب صفر بودن ورودی و یا خروجی آب‌بندان‌ها (برای مثال بسته بودن شیرهای خروجی برای آبگیری آب‌بندان) نمونه‌برداری غیر

ممکن بوده است. در ماه‌های منتهی به شروع فعالیت آبیاری که خروجی‌ها بسته بودند (۳ ماه نوبور، ۲ ماه للمرز و ۴ ماه سرآب‌بندان) خروجی برای نمونه‌گیری باز شد. نمونه‌برداری هر بار رأس ساعت ۹ صبح از ورودی سرآبندان آغاز و طی دو ساعت در خروجی آب‌بندان للهمرز پایان می‌یافت. مقدار کافی نمونه برداشت، تثبیت و با ظروف پلی اتیلن به آزمایشگاه منتقل شد. از ورودی و خروجی آب‌بندان‌ها، هر کدام ۹ نمونه و در مجموع ۵۴ نمونه آب برداشت شد. به علت نبود امنیت، امکان نصب دستگاه‌های ثبات (دبی و نمونه‌بردار) در ورودی و خروجی آب‌بندان‌ها ممکن نبود. بنابراین، برای حفظ یکنواختی زمان نمونه‌برداری در ورودی و خروجی هر سه آب‌بندان، از روش نمونه‌برداری لحظه‌ای استفاده شد. کلیه فعالیت‌های نمونه‌برداری، نگهداری و انتقال نمونه بر اساس استاندارد روش نمونه برداری آب شماره ۲۳۴۷ (Standard No. 2347, 1983) صورت گرفت.

دمای آب (T^o) و اسیدیته (pH) نمونه‌ها در محل و به ترتیب توسط دماسنج الکلی ASTM و pHTester 30 شرکت EUTECH اندازه‌گیری شد. غلظت پارامترهای نیتروژن کل (TN)، نیترات (NO_3^-)، نیتریت (NO_2^-) و فسفر کل (TP) در آب ورودی و آب خروجی آب‌بندان‌ها بررسی شد. مقدار نیتروژن آمونیاکی (NH_3–N) به صورت آمونیم (NH_4^+) اندازه‌گیری شده و سپس بر اساس دما و pH، بر مبنای نسبت فرم یونیزه نشده به فرم یونیزه شده آن (NH_4^+ / NH_3)، با صرف نظر اثر سایر شرایط و پارامترها بر این نسبت تصحیح شد (Thurston, 1979). مقدار فسفر کل در آزمایشگاه معتمد اداره کل محیط زیست استان مازندران (شرکت نگین آزمای خزر) و به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل OPTIZEN 2120UV plus ساخت شرکت Mecasys کشور کُره اندازه‌گیری شد. مقدار غلظت نیتروژن کل در نمونه‌ها به صورت مجموع غلظت نیترات، نیتریت و نیتروژن آمونیاکی اندازه‌گیری شد. مقادیر نیترات، نیتریت و آمونیم بر اساس روش استاندارد (Standard Method, 1999) و به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل DR4000 ساخت شرکت Hach ایالات متحده، در آزمایشگاه اداره‌ی آب منطقه‌ای استان مازندران اندازه‌گیری گردید.

۲-۳- راندمان حذف آب‌بندان‌ها

عملکرد زیست‌پالایی آب‌بندان‌ها بوسیله راندمان حذف هر پارامتر و بر اساس غلظت ورودی و خروجی پارامترها بررسی شد. راندمان حذف هر پارامتر توسط آب‌بندان برابر است با:

$$RE = \frac{\overline{C_{in}} - \overline{C_{out}}}{\overline{C_{in}}} * 100 \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، $\overline{C_{in}}$ متوسط غلظت ورودی به میلی‌گرم بر لیتر، $\overline{C_{out}}$ متوسط غلظت خروجی به میلی‌گرم بر لیتر و RE راندمان حذف[۳] است (Healy and O'Flynn, 2011). مقادیر مثبت راندمان حذف به اثر پالایندگی و مقادیر منفی آن به اثر آلایندگی آب‌بندان تفسیر گشت.

۲-۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور مقایسه میانگین غلظت ورودی و خروجی پارامترهای مورد مطالعه در آب‌بندان‌ها، نرمال بودن توزیع داده‌ها به وسیله آزمون شاپیرو–ویلک بررسی شد. جهت مقایسه داده‌های نرمال، از آزمون t استیودنت جفت شده برای مقایسه متوسط مقادیر غلظت ورودی و خروجی آب‌بندان‌ها و از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و آزمون HSD (Dunne, 2005) برای مقایسه ورودی‌ها و خروجی‌های سه آب‌بندان استفاده شد. در مقایسه داده‌های غیر نرمال، از آزمون‌های ویلکاسن برای مقایسه مقادیر ورودی و خروجی آب‌بندان‌ها و از آزمون‌های غیر پارامتری کروسکال–والیس (NIST, 2012) و آزمون مان–ویتنی برای مقایسه سه آب‌بندان استفاده گردید. بررسی تفاوت آماری در سطح معنی‌داری ۵ درصد (α= ۰/۰۵) برای کلیه‌ی مقایسه‌ها صورت گرفت. کلیه آزمون‌های آماری به وسیله نرم‌افزار IBM SPSS نسخه‌ی ۲۲ انجام شد.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- pH

متوسط pH ورودی–خروجی آب‌بندان‌های سرآبندان، للمرز و نوبور به ترتیب ۷/۸۸ – ۸/۴۸ ، ۸/۴۶ – ۸/۹۱ و ۸/۰۸ – ۸/۲۸ بدست آمد. هر سه آب‌بندان pH را در خروجی افزایش دادند؛ اما تنها بین ورودی و خروجی سرآب‌بندان تفاوت معنی‌دار بود (P= ۰/۰۲). pH آب‌بندان‌ها همواره بین ۷/۵ و ۹/۵ بوده است (جدول ۲). دامنه تغییرات pH آب‌بندان‌ها مانند اکثر تالاب‌ها (مصنوعی و طبیعی) کمی بازی است (Mitsch and Gosselink, 2000). افزایش معنی‌دار در خروجی سرآب‌بندان، همانطور که توسط Kadlec and Wallace (2009) بیان داشتند، می‌تواند به سبب اثر پوشش گیاهی باشد.

۳-۲- نیترات، NO_3^-

داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری نیترات در هر سه آب‌بندان دارای توزیع نرمال بودند. مقایسه ورودی و خروجی هر آب‌بندان وجود تفاوت معنی‌دار (α =۰/۰۵) را برای هر سه آب‌بندان رد نمود. با این حال، مقادیر راندمان حذف ۶/۲، ۱۶/۸ و ۱۶/۹– درصد به ترتیب برای سرآب‌بندان و آب‌بندان‌های نوبور و للمرز به دست آمد (جدول ۲).

مقایسه بین آب‌بندان‌ها برای مقادیر ورودی نیترات نیز نشان داد، تفاوتی بین این آب‌بندان‌ها وجود ندارد (α =۰/۰۵)؛ اما علی‌رغم افزودن کود حیوانی و کود آمونیم نیترات طی پرورش ماهی در دو آب‌بندان نوبور و للمرز، تفاوت معنی‌داری (α= ۰/۰۵) بین مقادیر خروجی نیترات این دو آب‌بندان و سرآب‌بندان دارای پوشش گیاهی نیز مشاهده نشد. مقادیر مثبت راندمان حذف برای نوبور، نشان دهنده مهیا بودن شرایط نیترات‌زدایی در این آب‌بندان و همینطور در سر آب‌بندان است. به همین صورت منفی بودن راندمان حذف در آب‌بندان للهمرز نیز نشان‌دهنده‌ی وجود شرایط نیترات‌زایی در آن است.

علاوه بر تحولات طبیعی نیتروژن در داخل آب‌بندان، مواد دفعی حاصل از تغذیه ماهی‌ها و ایجاد شرایط هوازی–بی‌هوازی متوالی به وسیله‌ی هوادهی مصنوعی نیز می‌توانند سبب تغییر اشکال نیتروژن در لایه آب آب‌بندان و ایجاد تغییر در چرخه نیتروژن شود. بنابراین، به طور محتمل هوادهی در آب‌بندان نوبور در نزدیکی خروجی، همزمان با افزایش میزان آمونیم ناشی از افزودن مصنوعی کودها به آب آب‌بندان، سبب افزایش همزمان نیترات، نیتریت و آمونیم در خروجی این آب‌بندان، شده است.

۳-۳- نیتریت، NO_2^-

مقایسه آماری ورودی و خروجی و مقایسه بین آب‌بندان‌ها تفاوت معنی‌داری (α =۰/۰۵) را نشان نداد. با این حال مقادیر RE محاسبه شده برای نیتریت (جدول ۲) مقادیر بزرگی را نشان می‌دهد. راندمان حذف در آب‌بندان‌ها به ترتیب ۱۲۰/۰– ، ۳۷/۵– و ۷/۱– درصد برای سرآب‌بندان و آب‌بندان‌های نوبور و للمرز به دست آمد. علت این مسئله در مقادیر بسیار کم غلظت ورودی است که درصد حذف را بسیار تحت تأثیر قرار می‌دهد. اساساً NO_2^- شکل بینابینی آشکال نیتروژن از نظر مرتبه اکسایش در آب است و به همین سبب در اکثر تالاب‌ها پایدار نبوده و در غلظت‌های پایین موجود است (Kadlec and Wallace, 2009). نوسانات زیاد مقادیر آن نیز در شکل ۲، نیز می‌تواند به همین دلیل و اثر برهمکنش عوامل مختلف مؤثر بر NO_2^- باشد.

۳-۴- نیتروژن آمونیاکی، NH_3–N

محدوده pH آب‌بندان‌ها نشان داد که فرم یونیزه شده نیتروژن آمونیاکی (NH_3–N)، یعنی NH_4^+ (آمونیم) غالب است و اندازه‌گیری آن برای بررسی نیتروژن آمونیاکی در صورت تصحیح با دما و pH برای بدست آوردن نیتروژن آمونیاکی تقریب مناسبی خواهد بود (Thurston, 1979). مقادیر آمونیم، دما، pH، ضرایب تصحیح و نیتروژن آمونیاکی برای ماه‌های بهمن و تیر در جدول ۳ ارائه شده است. افزایش دمای آب به طور طبیعی طی دوره مطالعه، سبب افزایش نسبت آمونیاک به آمونیم (NH_3 / NH_4^+) در آب آب‌بندان شده و افزایش pH در آن‌ها این مسئله را در دوره گرم مطالعه (فروردین تا مرداد) تشدید نمود. مقادیر راندمان حذف NH_3–N برای سه آب‌بندان للمرز، نوبور و سرآبندان به ترتیب ۵۰/۹۴–، ۸۷/۴۵– و ۱۰/۳۷ درصد به دست آمد (جدول ۲). مقایسه‌ی آماری ورودی و خروجی و مقایسه بین آب‌بندان‌ها نشان داد، تفاوت معنی‌داری (α =۰/۰۵) وجود ندارد. غلظت NH_3–N در ورودی و خروجی آب‌بندان‌ها همراه با گرم شدن هوا در بهار، روند افزایش نسبی داشت.

افزایش دما سبب مساعد شدن شرایط فعالیت باکتری‌ها و به علاوه سبب کاهش اکسیژن محلول و غلبه شرایط بی‌هوازی در لایه آب می‌شود (Jaffarzadeh Haghighi et al., 2005).

Table 2- Remediation effect on mean and SD concentration of parameters
جدول ۲ – اثر پالایندگی آب‌بندان‌ها بر میانگین و انحراف معیار غلظت پارامترها

Title	Sar-Abbandan			Nobbor			Lalle-Marz			Max allowable con. (ppm)
	Input con. (ppm)	Output con. (ppm)	RE	Input con. (ppm)	Output con. (ppm)	RE	Input con. (ppm)	Output con. (ppm)	RE	
pH	7.88±0.38	8.48±0.6	*	8.08±0.27	8.28±0.28	-	8.46±0.54	8.91±0.27	-	6.5-8.5
NO_3^-	2.248±1.43	2.109±1.13	6.2	3.180±1.54	2.646±2.24	16.8	2.387±1.73	2.79±1.78	-16.9	50[$$]
NO_2^-	0.015±0.01	0.033±0.08	-120.0	0.016±0.01	0.022±0.03	-37.5	0.028±0.02	0.030±0.02	-7.1	10[$$]
NH_4^+	0.412±0.45	0.370±0.30	10.37	0.263±0.27	0.493±0.46	-87.45	0.244±0.18	0.368±0.23	-50.94	2.5[$$]
TN	2.68±1.21	2.51±1.19	6.11	3.46±1.73	3.16±2.44	8.63	2.66±1.79	3.19±1.87	-19.94	30[$]
TP	0.083±0.07	0.016±0.01	80.7*	0.045±0.07	0.201±0.25	-346.7	0.091±0.04	0.061±0.04	33.0	6[$$]

[$] USEPA standard for discharge to surface water [$$] IRNDOE standard for discharge to surface water * Significant difference in 95% confidence level

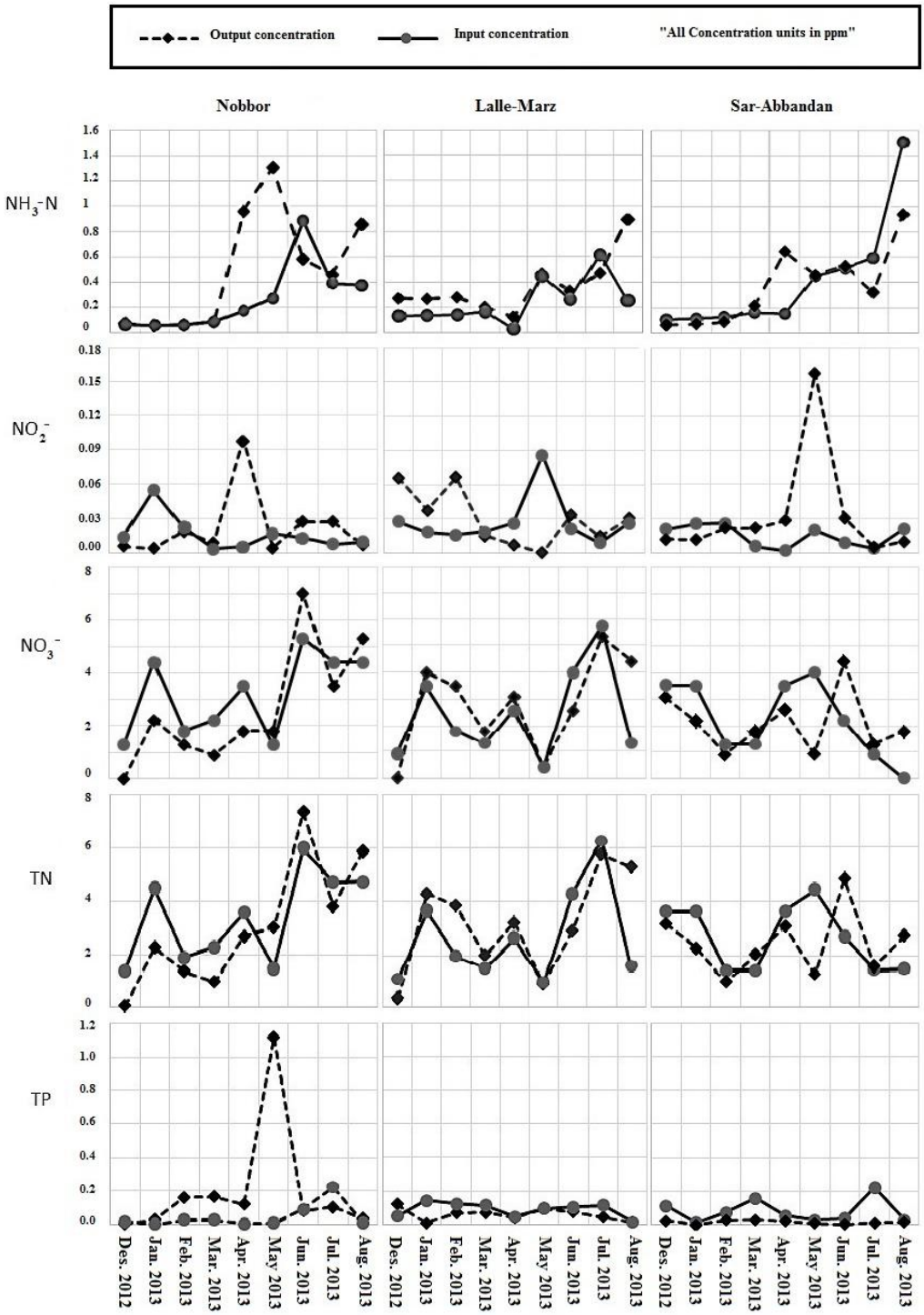

Fig. 2- Comparison of input-output and variation of parameter concentrations

شکل ۲- مقایسه مقادیر ورودی- خروجی و تغییرات غلظت پارامترها

با شروع دوره پرورش آب‌بندان‌های نوبور و للمرز، علاوه بر روند افزایشی، نوسان غلظت NH_3–N نیز در خروجی این دو آب‌بندان مشاهده گردید. غذادهی علاوه بر افزایش مقدار NH_3–N به صورت مواد دفعی ماهی‌ها در کنار کود شیمیایی، سبب افزایش اکسیژن خواهی آب شده و در تقابل با هوادهی که بخشی از اکسیژن مورد نیاز برای اکسایش بیوشیمیایی NH_3–N به اشکال دیگر اکسیژن (نیترات و نیتریت) را تأمین می‌نماید، سبب نوسان بیشتر در مقادیر NH_3–N خروجی می‌شود (شکل ۲). مقایسه آماری بین ماه‌های سرد (چهار ماه

ابتدایی) و ماه‌های گرم (۵ ماه‌های انتهایی) دوره مطالعه، علی‌رغم تعداد کم داده، افزایش معنی‌داری (α =۰/۰۵) در دوره‌ی گرم نسبت به دوره‌ی سرد در خروجی آب‌بندان نوبور و سرآب‌بندان را نشان داد. دلیل دیگر نوسان شدید در خروجی آب‌بندان نوبور، بی‌نظمی در افزودن کود و خوراک به آب‌بندان و عدم فاصله یکنواخت آن از زمان نمونه‌برداری می‌تواند باشد.

۳-۵- نیتروژن کل، TN

نیتروژن کل (TN) از جمع مقادیر غلظت نیترات، نیتریت و نیتروژن آمونیاکی به دست آمد. بنابراین، مقادیر محاسبه شده TN تنها به اندازه غلظت نیتروژن آلی با مقدار نیتروژن کل واقعی آب آب‌بندان‌ها اختلاف دارند. مقدار مثبت راندمان حذف در سرآب‌بندان و نوبور نشان داد که این دو آب‌بندان در حال کاهش نیتروژن در خروجی خود هستند و مقدار منفی راندمان حذف در لَلِمرز نشان داد که مقدار خروجی نیتروژن بیشتر از مقدار ورودی به آن است (جدول ۲) و این آب‌بندان برخلاف آب‌بندان نوبور، قادر به حذف مقادیر نیتروژن افزوده شده به صورت مصنوعی (کود) طی پرورش ماهی نیست. با این حال در مقایسه آماری غلظت TN ورودی و خروجی در هر سه آب‌بندان و همچنین در مقایسه بین آب‌بندان‌ها تفاوت معنی‌داری (α =۰/۰۵) مشاهده نشد. بنابراین، علی‌رغم تفاوت عملکرد دو آب‌بندان نوبور و لَلِمرز ، تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها از نظر اثر بر TN خروجی وجود ندارد. مقایسه آماری دوره گرم و سرد داده‌برداری نیز تنها وجود تفاوت معنی‌دار در سطح آلفای ۵ درصد (P = ۰/۰۱۶) را در خروجی آب‌بندان نوبور را نشان داد.

۳-۶- فسفر کل، TP

داده‌های فسفر کل (TP) ثبت شده برای دو آب‌بندان للمرز و سرآب‌بندان دارای توزیع نرمال و داده‌های آب‌بندان نوبور فاقد توزیع نرمال بودند. مقادیر راندمان حذف فسفر کل برای آب‌بندان لَلِمرز، نوبور و سرآب‌بندان به ترتیب ۳۳، ۳۴۶/۷- و ۸۰/۷ درصد به دست آمد (جدول ۲). عدد بزرگ راندمان حذف برای آب‌بندان نوبور به سبب داده بزرگ خروجی در ماه اردیبهشت است (شکل ۲). علت تفاوت این داده نزدیک بودن زمان نمونه‌برداری از این آب‌بندان به کوددهی (شیمیایی) بوده است و به علت کم بودن متوسط غلظت ورودی، بر راندمان حذف اثر قابل توجهی گذاشته است. با این حال به سبب واقعی بودن داده، در محاسبات لحاظ شد. مقایسه آماری بین ورودی و خروجی آب‌بندان‌ها، تنها تفاوت معنی‌دار (P = ۰/۰۱۶) بین ورودی و خروجی سرآب‌بندان را تأیید نمود. راندمان حذف سرآبندان برای TP بزرگتر از مقادیر گزارش شده توسط Li et al. (2009)، Hsu et al. (2011) و Arroyo et al. (2013) بود. دلیل این امر می‌تواند وجود پوشش گیاهی و مهیا بودن شرایط ته‌نشینی در این آب‌بندان به سبب مساحت زیاد آن باشد. غلظت خروجی فسفر کل در سرآب‌بندان همواره کمتر از مقادیر ورودی بوده و بنابراین این آب‌بندان غلظت فسفر ورودی را به مقدار معنی‌دار (P =۰/۰۵) و به صورت مؤثر کاهش داده است. پارامتر فسفر (TP) فارغ از روند حذف، در نهایت همانند TSS در رسوبات کف آب‌بندان جای می‌گیرند (US-EPA, 2000؛ Li et al., 2009). در این صورت معلق شدن دوباره رسوبات در اثر حرکت ماهی‌ها در بازگشت مجدد رسوبات به لایه آب اثر قابل توجهی دارد.

آب‌بندان لَلِمرز علی‌رغم افزوده شدن فسفر به صورت کود فسفاته به آب این آب‌بندان، دارای راندمان حذف مثبت بود. بر خلاف آب‌بندان للمرز، راندمان حذف فسفر کل در آب‌بندان نوبور منفی بوده و مانند انتظار اولیه از کاربری پرورش ماهی رفتار می‌کند. با توجه به مقدار ورودی بالاتر آهن (Mahforouzi, 2014) و pH بالاتر از ۷ آب آب‌بندان لَلِمرز، شرایط مناسبی برای رسوب ترکیبات فسفات آهن وجود دارد (Kadlec and Wallace, 2009).

Table 3- Ammonium concentration and correction factors for February and July

جدول ۳ - غلظت آمونیم و ضرایب تصحیح ماه‌های بهمن و تیر

Month	parameters	Nobbor		Lalle-Marz		Sar-Abbandan	
		Input	Output	Input	Output	Input	Output
February	T (°C)	9.4	9.0	10.9	11.0	9.8	9.8
	pH	8.1	9.0	8.5	8.5	8.1	8.3
	NH_4^+	0.060	0.051	0.135	0.262	0.123	0.084
	Correction Factor	1.020	1.205	1.053	1.075	1.031	1.042
	NH_3-N	0.061	0.061	0.142	0.282	0.128	0.088
July	T (°C)	30.0	30.2	28.0	28.0	28.7	30.0
	pH	8.4	8.8	7.8	8.2	7.7	8.2
	NH_4^+	0.312	0.298	0.592	0.410	0.571	0.291
	Correction Factor	1.250	1.538	1.042	1.149	1.036	1.111
	NH_3-N	0.390	0.458	0.617	0.471	0.592	0.323

حجم بیشتر آب در آب‌بندان للمرز، غلظت کمتر در اثر کود دهی ایجاد می‌کند و عمق زیاد اثر معلق شدن دوباره رسوبات بر ورود مجدد اشکال فسفر به آب را نسبت به آب‌بندان نوبور محدود می‌نماید.

مقایسه‌ی آب‌بندان‌ها اختلاف بسیار معنی‌داری (P =۰/۰۰۵) بین آب‌بندان‌ها برای غلظت خروجی فسفر کل را نشان داد. غلظت خروجی سرآب‌بندان نسبت به دو آب‌بندان لَلِمرز و نوبور به صورت بسیار معنی‌داری (P =۰/۰۱) کمتر بود؛ این در حالی است که غلظت ورودی به آب‌بندان نوبور به طور معنی‌داری (P =۰/۰۳۷) کمتر از سرآب‌بندان نیز بوده است. بنابراین، شرایط سرآب‌بندان و وجود پوشش گیاهی که در مجموع امکان رسوب‌گذاری و ته‌نشینی آن را فراهم می‌آورد، می‌تواند سبب کاهش مقدار فسفر در آب خروجی آن باشد.

۳-۷- اثر پالایندگی آب‌بندان‌ها بر کیفیت آب خروجی

هیچ یک از سه آب‌بندان مورد بررسی اثر پالایندگی معنی‌داری (P=۰/۰۵) بر اشکال مختلف نیتروژن مورد بررسی و TN نداشتند. همچنین، تفاوت معنی‌داری (P=۰/۰۵) بین توان پالایندگی سرآب‌بندان و دو آب‌بندان دیگر با کاربری پرورش ماهی نیز مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که افزودن مقادیر ثبت شده کودهای نیتروژنه به آب آب‌بندان‌های نوبور و لَلِمرز، اثر قابل توجهی در دوره بررسی نداشته است. مقایسه راندمان‌های حذف آب‌بندان‌های نوبور و لَلِمرز نشان می‌دهد که تفاوت بین خصوصیات و شیوه نگهداری آب‌بندان‌ها با کاربری پرورش ماهی بر توان پالایندگی اشکال نیتروژن آن‌ها مؤثر است.

سر آب‌بندان اثر پالایندگی معنی‌داری (P=۰/۰۵) بر حذف TP در خروجی خود داشت. وجود پوشش گیاهی، شرایط به دام افتادن و ته‌نشینی ذرات معلق و رسوب کمپلکس‌های فسفره، سبب توانایی مثبت سرآبندان برای پالایش فسفر در شرایط کیفی آب ورودی به این سه آب‌بندان است. انتظار اولیه از دو آب‌بندان دیگر با کاربری پرورش ماهی، ناتوانی در پالایش TP و افزایش مقدار آن نسبت به مقادیر ورودی بود. با این حال مقادیر منفی و مثبت راندمان حذف TP در آب‌بندان‌های نوبور و لَلِمرز و عدم وجود تفاوت معنی‌دار (P=۰/۰۵) بین مقادیر ورودی و خروجی، با لحاظ افزودن مصنوعی کود فسفاته به آب این آب‌بندان‌ها، نشان‌دهنده ایجاد نوعی شرایط پایدار نسبی برای TP در آب خروجی است. بنابراین، شرایط بهره‌برداری و مدیریت این دو آب‌بندان، بر توان پالایندگی TP آن‌ها مؤثر بوده است. مقدار مثبت راندمان حذف در آب‌بندان لَلِمرز نشان داد که می‌توان انتظار پالایندگی TP از آب‌بندان‌های با کاربری پرورش ماهی نیز داشت.

به منظور مقایسه متوسط غلظت ورودی و خروجی آب‌بندان‌ها با حداکثر غلظت تخلیه مجاز، از استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران[۴] (IRNDOE, 2012) برای تخلیه فاضلاب تصفیه شده برای مصارف کشاورزی و آبیاری استفاده شده است. در برخی موارد که این استاندارد فاقد آستانه مشخص بود، به ترتیب اولویت ابتدا از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای تخلیه فاضلاب تصفیه شده به آب‌های سطحی (IRNDOE, 2012) و استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده[۵] (US-EPA, 2004) برای تخلیه فاضلاب تصفیه شده استفاده شد. غلظت خروجی پارامترهای NO_3^-، NO_2^-، NH_4^+، TN و TP در هر سه آب‌بندان کمتر از آستانه مجاز در دوره مطالعه به دست آمد (جدول ۲).

پیچیدگی دیگر این مطالعه، غیر ممکن بودن تعیین غلظت معادل کودهای افزوده شده به آب‌بندان‌های نوبور و لَلِمرز نسبت به مساحت (حجم) بسیار زیاد این آب‌بندان‌ها در دوره مطالعه است. به همین دلیل نتیجه‌گیری در مورد توان زیست‌پالایی اَشکال نیتروژن در نوبور و TP در لَلِمرز با سهولت ممکن نیست. از بررسی راندمان‌های حذف آب‌بندان‌های نوبور و لَلِمرز می‌توان دریافت که آن‌ها ضمن نداشتن اثر پالایندگی، اثر آلایندگی نیز ندارند (جدول ۲). بنابراین، نمی‌توان اثر منفی پرورش ماهی بر کیفیت آب خروجی آب‌بندان‌ها را بصورت معنی‌داری نشان داد. به علاوه، تطابق تغییرات غلظت TN (جدول ۴) با نیاز بخش کشاورزی (افزایش در خروجی همزمان با شروع فصل زراعی و آبیاری) می‌تواند نیاز به مصرف کودهای نیتروژنه را در صورت بهره‌برداری صحیح از آب خـــروجی آب‌بندان، در اراضی پایین دست

Table 4- The cumulative (TTN*5), mean (TN*5) and removal efficiency (RE*5) of TN of the last five months
جدول ۴- مقدار تجمعی (TTN*5)، میانگین (TN*5) و راندمان حذف پنج ماهه‌ی آخر نیتروژن کل (RE*5)

Abbandan	TTN-input*5	TTN-output*5	difference	TN-input*5	TN-output*5	RE*5
Nobbor	21.05	23.72	2.67	1.71±4.21	2.06±4.74	-12.71
Lalle-Marz	15.79	18.18	2.39	2.17±3.16	1.98±3.64	-15.16
Sar-Abbandan	10.22	14.12	3.90	1.30±2.77	1.40±2.82	-1.77

کاهش داد و همزمان با توجه به پیوستگی کود-آبیاری، می‌توان بهبود عملکرد محصولات را به عنوان یک نتیجه منطقی، انتظار داشت (Babaii, 2013). این شیوه کاملاً با سیاست‌های کلان بخش کشاورزی و محیط زیست کشور تطابق دارد (IRI 5th 5-year development program, 2011). پس نمی‌توان راندمان حذف منفی را به صورت مطلق دارای اثر سوء قلمداد نمود.

عدم حذف داده‌های به ظاهر پرت می‌تواند باعث انحراف معیار از میانگین زیاد همانند نتایج Asgharnia et al. (2011) شود (شکل ۲). وقوع این داده‌های که حاصل از اندازه‌گیری‌های دقیق غلظت پارامترهای مورد بررسی هستند، با توجه به اثر متقابل خصوصیات مدیریت آب‌بندان‌ها با شرایط پایدار طبیعی آن، ناشی از خطا نبوده و بنابراین باید در محاسبات لحاظ شوند. بنابراین توصیه می‌شود در مطالعات بعدی، تعداد و فواصل نمونه‌برداری متناسب با این ویژگی آب‌بندان‌ها در نظر گرفته شود.

تکیه بر راندمان حذف مقایسه ورودی-خروجی در یک آب‌بندان به تنهایی و بدون در نظر داشتن غلظت ورودی پارامتر، می‌تواند گمراه‌کننده باشد و بزرگی اندازه RE برداشت درستی از مقدار واقعی حذف ارائه ندهد. گرچه مرجعی برای مقدار دقیق غلظت زمینه‌ای پارامترهای مورد بررسی در منابع آب مذکور یافت نشد؛ اما به نظر شدت این خطا با نزدیک شدن مقادیر اندازه‌گیری شده، به مقادیر غلظت زمینه‌ای پارامتر مورد بررسی و کمتر از آن در آب ورودی آب‌بندان‌ها، بیشتر می‌شود. راندمان حذف TP در آب‌بندان نوبور (RE= -۳۴۲/۵) و راندمان حذف نیترات در سرآب‌بندان (RE = -۱۲۱/۹) از این دست است.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

سرآبندان دارای پوشش گیاهی و آب‌بندان‌های نوبور و لَلِمرز فاقد پوشش گیاهی و دارای کاربری پرورش ماهی، از نظر راندمان حذف پارامترهای مورد مطالعه دارای تفاوت با یک دیگر بودند. در سرآب‌بندان شرایط حذف TP مهیا بود و این آب‌بندان به صورت معنی‌داری TP ورودی را کاهش داد (P=۰/۰۵). سرآب‌بندان pH را نیز به صورت معنی‌داری در خروجی خود افزایش داد.

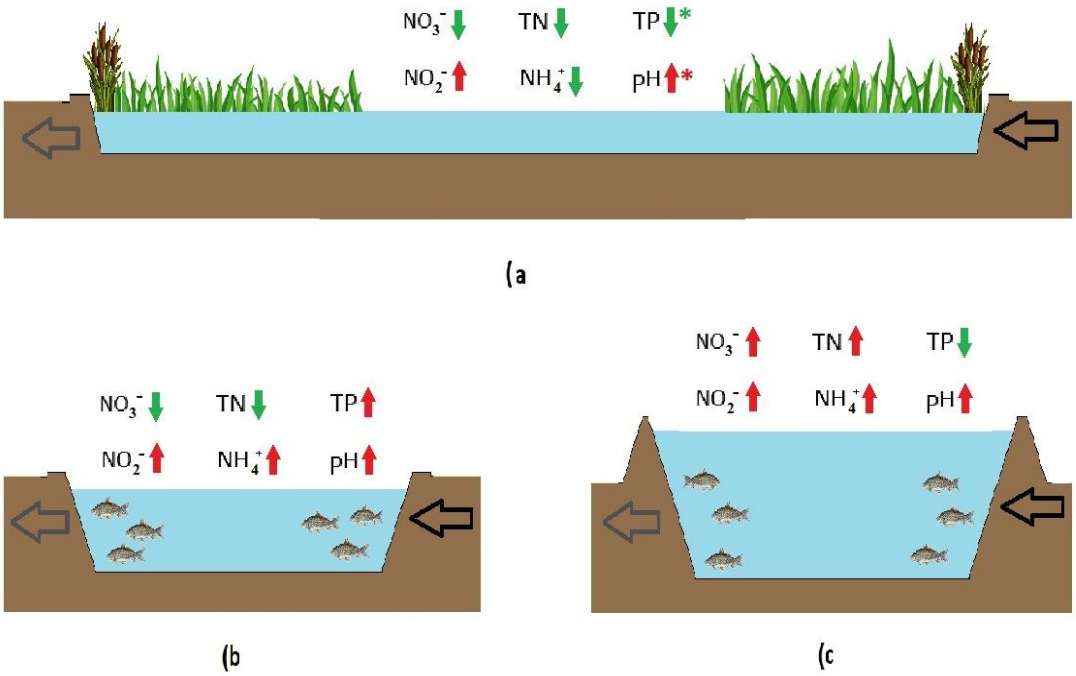

Fig. 3- A graphical overview of remediation effects of Abbandans
a) Sar-Abbandan, b) Nobbor, c) Lalle-Marz, ↑: Increase over input concentration, ↓: Decrease over input concentration, ⁎: Significant difference in 95% confidence level

شکل ۳ – مرور گرافیکی راندمان حذف آب‌بندان‌ها

a) سرآب‌بندان، b) آب‌بندان نوبور، c) آب‌بندان لَلِمرز ، ↑: افزایش نسبت به مقدار ورودی پارامتر، ↓: کاهش نسبت به مقدار ورودی پارامتر و ⁎: تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪

سر آب‌بندان غلظت ورودی TN، NO_3^-، NH_3–N را نیز در خروجی کاهش داد؛ اما راندمان حذف آن برای اشکال نیتروژن معنی‌دار نبود (P=۰/۰۵). بررسی آماری و راندمان‌های حذف، برتری نسبی سرآب‌بندان را در پالایندگی نسبت به دو آب‌بندان دیگر نشان داد (شکل ۳). این نتیجه نشان می‌دهد حفظ بخشی از پوشش گیاهی و مدیریت چند عمقی آب در مهندسی آب‌بندان‌ها، می‌تواند اثر مثبتی بر توان زیست‌پالایی داشته باشد. توصیه می‌شود مطالعات بیشتری در این باره صورت گیرد.

آب‌بندان نوبور غلظت TP و NH_3–N را در خروجی خود افزایش و TN و NO_3^- را در خروجی نسبت به متوسط غلظت ورودی کاهش داد اما اثر پالایندگی معنی‌داری (P=۰/۰۵) بر هیچ یکی از پارامترهای مورد بررسی نداشت؛ با این حال با در نظر گرفتن کودهای نیتروژنه‌ی افزوده شده به آن طی پرورش ماهی و آمونیاک ناشی از دفع ماهی‌ها، می‌توان نتیجه گرفت پالایش زیستی نیتروژن به صورت محدود رخ داده است. آب‌بندان للهمرز نیز همانند نوبور اثر پالایندگی معنی‌داری (P=۰/۰۵) بر پارامترهای مورد بررسی نداشت؛ اما همانند سرآب‌بندان TP را در خروجی خود کاهش داد. بنابراین، آب‌بندان‌های دارای کاربری پرورش ماهی نیز همانند آب‌بندان‌های دارای پوشش گیاهی، می‌توانند در صورت بهینه‌سازی، پالاینده باشند. راندمان حذف کلیه اشکال نیتروژن در نوبور منفی به دست آمد و نشان داد که افزایش مصنوعی نیتروژن طی کوددهی در این آب‌بندان، اثر معنی‌داری بر افزایش غلظت خروجی این پارامترها نداشته است (P=۰/۰۵).

RE به تنهایی شاخص مناسبی برای عملکرد آب‌بندان‌ها نیست. بنابراین، در استفاده از روش مقایسه‌ی ورودی–خروجی، همراه بودن نتایج آزمون مقایسه‌ی آماری و مقدار غلظت ورودی با RE لازم است. با این حال استفاده از این روش در مواجهه با تحولات بسیار پیچیده پارامترهای مورد بررسی درون آب‌بندان‌ها، برای سهولت و اختصار نتیجه‌گیری پیرامون اثر پالایندگی آب‌بندان کارا است.

۵- تشکر

نویسندگان مراتب قدردانی عمیق خود را تقدیم مردم و اعضای شورای اسلامی روستاهای لَلِمرز و سیدمحله و آقای تقی‌زاده، بهره‌بردار آب‌بندان روستای سیدمحله می‌نمایند. همچنین، نویسندگان همکاری با مجموعه کارکنان و مدیریت شرکت نگین آزمای خزر و مهندس خلردی، مسئول محترم آزمایشگاه آب اداره‌ی آب منطقه‌ای استان مازندران به سبب سعه صدر و دقت در انجام آزمایش‌ها را ارج می‌نهند.

پی‌نوشت

سه آب‌بندان نوبور، لَلِمرز و سرآب‌بندان در جداول و اشکال با علائم اختصاری به ترتیب SP، LP و SA نشان داده شده‌اند. همچنین پسوندهای in و out در جلوی نام اختصاری هر آب‌بندان به ترتیب به معنی تعلق داده به ورودی یا خروجی آب‌بندان است.

1- Constructed Wetlands
2- Best Management Practices
3- Removal Efficiency
4- IRNDOE
5- US-EPA

۶- مراجع

Anonymous (2008) Abbandans identification list of Mazandaran province. Consulting Engineers Jame' Kar Sepahan. In order of agriculture organization of Mazandaran province, the Ministry of Agriculture (In Persian)

Arroyo P, Ansola G, de Luis E (2010) Effectiveness of a full-scale constructed wetland for the removal of metals from domestic wastewater. Water, Air, and Soil Pollution, 210(1–4):473–481

Asgharnia H, Sedighian F, Jafarzadeh F, Shahande g, Yousefi k, Amuii, A, Haji-Ahmadi M (2011) Survey of the treatment status of domestic sewage by Marzon-Abad abbandan of Babol. Journal of Babol University of Medical Sciences. 14th, Special Issue 1, Pages 76-71 (In Persian)

Babaii H (2013) Evaluation of cold-water effluent breeding farms and its impact on agricultural fields (Zanjan province). Iranian Fisheries Science Research Institute, Project Num. 4-73-12-89058

Bagheri A (2008) Abbandans' management and its role on storage and supply of required water for agricultural lands in north of Iran (In Persian)

Bakht-firouz A (2011) Study of the drainage systems effect on the emission of methane and carbon dioxide from the rice paddies. Master thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari, 50 pages (In Persian)

Braskerud BC (2002a) Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. Ecological Engineering 19:41–61

Braskerud BC (2002b) Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. Ecological Engineering 18:351–370

Dargahi B (2006) Abbandans: the best option for coping with drought in northern coastal provinces. 1st

treatment. Ecological Engineering, 37(10):1533–1545

IRI 5th 5-year development program (2011) Office of the Vice President for Strategic Planning and Control, 834 pages (In Persain)

IRNDOE (2012) Human environmental laws, regulation criteria and standards. Hak Publication, 336p (In Persian)

Jafari Talukolai M (2012) Evaluation of underground drainage water quality of paddy fields and its reusability. Master thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari, Department of Water Engineering, 81 pages (In Persian)

Jaffarzadeh Haghighi N, Tavasoli M, Baroutkoub A (2005) Investigation of Karoon River water quality variations using Qual2E program. IR-WRR, 1(2):85-96 (In Persain)

Kadlec RH, Wallace, SD (2009) Treatment wetlands second edition. Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press

Koskiaho j, Ekholm P, Raty M, Riihimaki J, Puustinen M (2003) Retaining agricultural nutrients in constructed wetlands experiences under boreal conditions. Ecological Engineering, 20:89-103

Larson AC, Gentry L E, David MB, Cooke RA, Kovacic DA (2000) The role of seepage in constructed wetlands receiving agricultural tile drainage. Ecological Engineering, 15:91–104

Li X, Chen M, Anderson BC (2009) Design and performance of a water quality treatment wetland in a public park in Shanghai, China. Ecological Engineering, 35(1):18–24

Mahforouzi R (2014) Study of abbandan's purification effect on outlet water quality. Master degree thesis. University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari, department of water engineering, 96 pages (In Persain)

Matlubi A (1994) Technical specifications of Sari's abbandans. Studies of Mazandaran Regional Water Company, department of water resources, Ministry of Energy (In Persain)

Mazandaran Regional Water Company (2014) Statistical summary of Mazandaran province's abbandans of Mazandaran Regional Water Company (In Persain)

Mitsch WJ, Gosselink JG (2000) Wetlands, Third Edition. John Wiley & Sons: New York

NIST (2013) NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, http://www.itl.nist.gov/ div898/ handbook, 8/17/2014. (http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section4/prc473.htm)

Conference on Coping with Water Scarcity, Tehran (In Persian)

Daryabari SM, Khoram-margavi F (2010) Abbandans construction and improvement impact on water resources (case study: Mazandaran province's Abbandans). The first national conference on water resources management of coastal lands. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 17 and 18 December 1389 (In Persian)

David MB, Wall LG, Royer TV, Tank JL (2006) Denitrification and the Nitrogen Budget of a Reservoir in an Agricultural Landscape. Ecological Applications, 16(6):2177–2190

Dong B, Mao Z, Brown L, Chen XH, Peng LY, Wang JZ (2009) Irrigation ponds: possibility and potentials for the treatment of drainage water from paddy fields in Zhanghe Irrigation System. SCIENCE CHINA Technological Sciences, 52(11):3320-3327

Dunne EJ, Culleton N, O'Donovan G, Harrington R, Olsen AE (2005) An integrated constructed wetland to treat contaminants and nutrients from dairy farmyard dirty water. Ecological Engineering, 24:221–234

Ebrahimi M (Undated) Abbandans' status report of Mazandaran province. Mazandaran Water Utilization and Distribution Office, Deputy of Utilization (In Persian)

Fatolahi Dehkordi F (2003) Evaluation of Anzali natural wetland system performance on reducing and eliminating urban, industrial and agricultural pollutants. Faculty of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Environmental Engineering Master's Thesis (In Persian)

Fisher J, Acreman MC (2004) Wetland nutrient functioning: a review of the evidence. Hydrology and Earth System Sciences 8(4):673-685

Ham J, Yoon ChG, Kim HJ, Kim HCh (2010) Modeling the effects of constructed wetland on nonpoint source pollution control and reservoir water quality improvement. Journal of Environmental Sciences, 22(6):834–839

Hammer DA (1992b) Designing constructed wetlands systems to treat agricultural nonpoint source pollution. Ecological Engineering, 1:49–82

Healy MG, O'Flynn CJ (2011) The performance of constructed wetlands treating primary, secondary and dairy soiled water in Ireland (a review). Journal of Environmental Management, 92:2348-2354

Hsu CB, Hsieh HL, Yang L, Wu SH, Chang JS, Hsiao SC, Su HC, Yeh CH, Ho YS, Lin HJ (2011) Biodiversity of constructed wetlands for wastewater

Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation Publication, 2671 pages

Standard No. 2347 (1983) Water sampling. Institute of Standards and Industrial Research of Iran (In Persian)

Thurston RV (1979) Aqueous ammonia equilibrium: tabulation of percent un-ionized ammonia. Environmental Research Laboratory-Duluth, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 428 pages

US-EPA (2000) Design manual of constructed wetlands treatment of municipal wastewaters. Environmental protection agency of United States of America, Office of Research and Development Cincinnati, Ohio, 166 pages

US-EPA (2004) Guidelines for water reuse. Environmental protection agency of United States of America. EPA/625/R-04/108

O'Geen AT, Budd R, Gan J, Maynard JJ, Parikh SJ, Dahlgren R A (2010) Mitigating nonpoint source pollution in agriculture with constructed and restored wetlands. Advances in Agronomy, 108(1):1-76

Purmohammad Y, Shahnazari A, Emmadi AR, ZiaTabr Ahmadi MKh (2011) Effect of dredging of wetlands on variation of water allocation in Alborz dam watershed using WEAP model. Journal of Watershed Management Research, 2(4):44-56 (In Persain)

Terzakis S, Fountoulakis MS, Gergaki I, Albantakis D, Sabathianakis I, Karathanasis AD, Kalogerakis N, Manios T (2008) Constructed wetlands treating highway runoff in the central Mediterranean region. Chemosphere, 72(2):141–149

Safaiyan N, Shokri M (2002) Wetlands or abbandans of Mazandaran. Journal of Ecology, 31:70-47 (In Persian)

Standard Methods (1999) Standard methods for the examination of water and wastewater. American