

## بررسی اثر سیلاب بر فراسنج‌های زیست محیطی خلیج گرگان

احمد منبوهی<sup>۱\*</sup>، علی حمزه‌پور<sup>۲</sup>

۱- استادیار پژوهشی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: [manbohi@inio.ac.ir](mailto:manbohi@inio.ac.ir)  
۲- کارشناس پژوهشی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: [hamzehpoor.ali@inio.ac.ir](mailto:hamzehpoor.ali@inio.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۳

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۲۴

### چکیده

نواحی ساحلی، تالاب‌ها و خلیج‌ها به عنوان رابطی بین خشکی و دریا، به شدت تحت تاثیر ورود آب از خشکی به دلایل مختلف از جمله سیلاب می‌باشند. در اواخر اسفند ۱۳۹۷ بر اثر بارندگی‌های شدید در استان‌های شمالی ایران، سیلاب‌های مخربی به راه افتاد. در این پژوهش، مواد مغذی (نیترات، نیتريت، فسفات، سیلیکا و آمونیوم) و فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی دیگر (شوری، pH، اکسیژن محلول و دمای آب) در ۸ ایستگاه در خلیج گرگان پیش از وقوع سیلاب در استان‌های گلستان و مازندران (بهمن ۹۷) و پس از آن (فروردین و اردیبهشت ۹۸) اندازه‌گیری و مقایسه شدند. مواد مغذی به روش استاندارد MOOPAM اندازه‌گیری شدند. فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی دیگر به کمک مولتی متر هک (Hach) و در محل اندازه‌گیری شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که به طور کلی میزان تمام مواد مغذی در خلیج گرگان پس از وقوع سیلاب کمتر شده است. به ویژه آمونیوم و نیترات به ترتیب حدود ۸/۳۰ و ۳/۵۱ برابر کاهش نشان دادند که این رقیق‌سازی مواد مغذی به دلیل ورود آب (آب باران) از خشکی (اغلب از مسیر رودخانه‌های گرگان رود و قره‌سو) به خلیج گرگان و نیز بارندگی در خلیج گرگان می‌باشد. مقایسه دو نمونه‌برداری انجام شده نشان‌دهنده درصد بالای غلظت نیترات در منطقه مورد مطالعه است. همچنین میزان میانگین شوری خلیج پیش و پس از سیلاب به ترتیب ۱۴/۹۷ و ۹/۲۷ اندازه‌گیری شد. این تغییرات می‌تواند بر روی زیست بوم خلیج گرگان تاثیر بگذارند.

کلمات کلیدی: سیلاب، خلیج گرگان، مواد مغذی و فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی، هیدروشیمی، اثرات زیست محیطی

### ۱. مقدمه

اقیانوس‌شناسی در نظر گرفته می‌شوند (Cowell et al., 2006). نواحی ساحلی تنها ۱۰ درصد از سطح کل دریاها را شامل بوده اما با این حال نقش بسیار مهمی در تولید اولیه دریایی دارند (Muller-Karger et al., 2005; Zoppini et al., 2019). پایش کیفیت آب‌های ساحلی از جمله تعیین میزان مواد مغذی در آن‌ها، یکی از دغدغه‌های اصلی قرن حاضر است و ابزار مفیدی جهت مدیریت و ایجاد قوانین برای نواحی ساحلی می‌باشد. توزیع مواد مغذی در دریا به عواملی نظیر بارندگی، ورود آب شیرین، جذر و

تغییرات آب و هوایی چرخه جهانی آب را تغییر داده و باعث ایجاد سیلاب‌های بزرگی می‌شوند (Hirabayashi et al., 2013). مشخص شده که این تغییرات میزان کربن را در محیط‌های آبی نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند (Bauer et al., 2013). محیط‌های دریایی ساحلی رابط بین خشکی و ساحل بوده و به عنوان یکی از فعال‌ترین سیستم‌های بیوژئوشیمیایی با تغییرات بسیار زیاد

مکانی برای کوچ زمستانی پرندگان است. در طی دهه‌های اخیر به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و نیز افزایش جمعیت در اطراف خلیج، مواد مغذی به طور چشمگیری در این خلیج افزایش یافته است (Roohi et al., 2010). این عوامل باعث شده‌اند که خلیج گرگان در معرض خطر یوتروفیکاسیون قرار گرفته و زندگی آبریان و اکوسیستم خلیج به خطر بیفتد (Kouhanestani et al., 2019).

در این پژوهش اثر سیلاب و بارندگی‌های شدید در اواخر اسفند ۹۷ بر روی تغییرات هیدروشیمی خلیج گرگان بررسی شده است. توزیع مکانی و زمانی غلظت مواد مغذی (فسفات، نترات، نیتريت، آمونیوم و سیلیکا) در چندین نقطه از خلیج گرگان پیش از وقوع سیلاب (بهمن ۹۷) و پس از آن (در دو نوبت فروردین و اردیبهشت ۹۸) بررسی شده است. همچنین سایر فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی (pH، دمای آب، شوری و اکسیژن محلول) نیز ثبت و بررسی شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

جهت ارزیابی وضعیت بوم‌سامانه خلیج گرگان و بررسی اثر سیلاب و بارندگی‌های شدید در اواخر اسفند ۹۷ بر روی تغییرات هیدروشیمی خلیج، ۸ ایستگاه در این خلیج انتخاب شدند. این نقاط طوری انتخاب شده‌اند که نواحی مختلف را پوشش دهند. شکل ۱ و جدول ۱ موقعیت و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهند.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه در خلیج گرگان.

جهت بررسی غلظت مواد مغذی (نترات، نیتريت، آمونیوم، فسفات و سیلیکا) خلیج گرگان، نمونه برداری با استفاده از قایق

مد و نیز فعالیت‌های انسانی بستگی دارد (Dong et al., 2010). با پایش فراسنج‌های کیفیت آب، مشخص شده که تغییرات بیوژئوشیمیایی بلند مدت و در مقیاس بزرگ در پس سیلاب‌های بزرگ قرار دارند (Voynova et al., 2017). همچنین مشخص شده که تخلیه زیاد رودخانه نیز بر الگوهای رشد فیتوپلانکتون‌ها در نواحی ساحلی موثر می‌باشد (Caruso et al., 2016). علاوه بر این، تخلیه رودخانه‌ها به محیط‌های ساحلی ممکن است باعث انتقال آلاینده‌های آلی و معدنی شود (Zoppini et al., 2019).

در اواخر اسفند ۱۳۹۷ بر اثر بارندگی‌های شدید در استان‌های شمالی ایران از جمله گلستان و مازندران سیل‌های مخربی به راه افتادند. در این حادثه طبیعی، طی سه روز ۳۵۴ میلی‌متر بارش رخ داده که برابر متوسط بارش یک ساله استان گلستان است. متوسط بلند مدت بارش سالیانه برای حوضه گرگان رود و قره سو در دوره ۵۰ ساله ۲۶۷ میلی‌متر در سال می‌باشد. رقم بارندگی سیل آسای گلستان ۱۲۲ برابر مقدار میانگین ۵۰ ساله بوده است (Beytollahi, 2019). این حجم از بارش در این منطقه در تمام دوران ثبت داده‌های هواشناسی، دست‌کم در هفتاد سال گذشته، بی‌سابقه بوده است. سیل استان‌های گلستان و مازندران، اصطلاحاً یک سیل دورانی بوده که هر صد سال یکبار رخ می‌دهد (کریمی، ۱۳۹۸).

خلیج گرگان، با مساحت ۴۰۰ کیلومتر مربع، بزرگترین خلیج در دریای خزر بوده و در جنوب شرقی این دریا واقع شده است (Kouhanestani et al., 2019). خلیج گرگان از سمت دهانه بندر ترکمن-آشوراده در شمال شرق خلیج، که دارای طول ۳ کیلومتر و عرض ۴۰۰ متر است، به دریای خزر متصل شده است (Ghorbanzadeh Zaferani et al., 2017). سالانه به طور میانگین نیم کیلومتر مکعب آب و ۳/۵ میلیون تن رسوب از چندین رودخانه به خلیج وارد می‌شود (Kouhanestani et al., 2019). میزان آب و شوری خلیج به وسیله عواملی همچون نفوذ آب از دریای خزر، ورود آب شیرین (عمدتاً از رودخانه‌های گرگان رود و قره سو)، بارندگی و تبخیر تعیین می‌شود (Kurdi et al., 2015). رودخانه‌ها همچنین مواد مغذی به خلیج وارد می‌کنند (Ranjbar and Hadjizadeh Zaker, 2016). جریان‌ات آب در خلیج به وسیله بادهای محلی تولید می‌شوند و موج بسیار ضعیف از دریای خزر دریافت می‌شود. این جریان ضعیف بوده (کمتر از ۴ سانتی متر در ثانیه) و عمدتاً در قسمت مرکزی خلیج بوده که از دهانه خلیج به قسمت‌های داخلی مهاجرت می‌کند (Bastami et al., 2012). این خلیج محل ماهیگیری افراد محلی بوده و

بررسی وضعیت هیدروشیمی و زیست محیطی خلیج گرگان و اثرات سیلاب بر آنها، مواد مغذی و فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی دیگر پیش از سیلاب و پس از آن در خلیج گرگان بررسی شدند. مقادیر و تغییرات فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی آب‌های سطحی مناطق نمونه‌برداری شده پیش از وقوع سیلاب و پس از آن در جدول ۲ آورده شده‌اند.

جدول ۲: مقادیر و تغییرات فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی آب‌های سطحی مناطق نمونه‌برداری شده در خلیج گرگان

| متغیر               | دامنه تغییرات | میانگین | انحراف استاندارد |
|---------------------|---------------|---------|------------------|
| دمای آب (°C)        | ۱۱/۱۸-۱۲/۲۰   | ۱۱/۷۷   | ۰/۱۸             |
| pH                  | ۸/۰۲-۸/۶۳     | ۸/۳۱    | ۰/۰۵             |
| اکسیژن محلول (mg/l) | ۱۰/۰۰-۱۰/۲۷   | ۱۰/۱۵   | ۰/۴۳             |
| شوری (psu)          | ۱۴/۳۶-۱۵/۶۶   | ۱۴/۹۷   | ۰/۳۵             |
| پیش از سیلاب        |               |         |                  |
| دمای آب (°C)        | ۱۵/۱۰-۱۶/۰۰   | ۱۵/۴۶   | ۰/۲۳             |
| pH                  | ۸/۰۳-۸/۶۷     | ۸/۳۴    | ۰/۰۷             |
| اکسیژن محلول (mg/l) | ۹/۳۰-۱۰/۲۷    | ۹/۷۳    | ۰/۹۲             |
| شوری (psu)          | ۵/۸۲-۱۵/۴۰    | ۹/۲۷    | ۰/۵۵             |

نتایج آزمون آماری غیر پارامتریک Mann-Whitney U جهت مقایسه غلظت‌های مواد مغذی و سایر فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی از نظر وجود اختلاف معنی‌دار پیش و پس از سیلاب، نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در میزان فسفات، نیترات، نیتريت، آمونیوم، سیلیکات، دما و شوری پیش و پس از سیلاب است ( $p < 0.05$ ).

میانگین دمای سطحی آب و گستره آن در بهمن ماه ۱۱/۷۷ و ۱۱/۱۸-۱۲/۲۰ درجه سانتی‌گراد بوده در حالی که میانگین و گستره دما در فروردین‌ماه ۱۵/۴۶ و ۱۵/۱۰-۱۶/۰۰ درجه سانتی‌گراد ثبت شد که این تغییرات دمایی به دلیل تغییر فصل است. میانگین شوری آب و گستره آن در بهمن ماه و پیش از سیلاب ۱۴/۳۶ psu و ۱۴/۹۷-۱۵/۶۶ بوده در حالی که میانگین و گستره شوری در فروردین ماه و پس از سیلاب ۹/۲۷ psu و ۵/۸۲-۱۵/۴۰ ثبت شد. همچنین در نمونه‌برداری دوم پس از سیلاب به طور مثال در ایستگاه GB-4 میزان شوری در حدود ۸ psu ثبت شد. در این ایستگاه میزان شوری پیش و پس از سیلاب (نمونه برداری اول پس از سیلاب) به ترتیب ۱۵/۶۶ psu و ۵/۸۲ ثبت شد. همانطور که در جدول ۲ نیز مشاهده می‌کنید، میزان شوری آب خلیج در فروردین‌ماه بسیار کمتر از بهمن ماه و پیش از سیلاب است. همچنین در هر دو مورد پیش و پس از سیلاب میزان شوری در دهانه خلیج نسبت به مناطق دیگر داخلی

صیادی پیش از وقوع سیلاب (بهمن ۹۷) و پس از آن (در دو نوبت فروردین و اردیبهشت ۹۸) انجام گرفت. در تمام قسمت‌های این پژوهش، "پس از سیلاب" اشاره به اولین نمونه‌برداری پس از سیلاب (فروردین ۹۸) داشته و در مواردی که جهت مقایسه، نمونه‌برداری دوم پس از سیلاب ذکر شده، اشاره به نمونه‌برداری در اردیبهشت ماه داشته و در همانجا به آن اشاره شده است. در هر ایستگاه نمونه‌برداری از آب سطحی و با سه تکرار صورت گرفت. نمونه‌های آب پس از نمونه برداری سریعاً توسط فیلتر سرسرنگی (شرکت سارتریوس آلمان) با قطر چشمه ۰/۴۵ میکرون فیلتر شدند. اندازه‌گیری غلظت مواد مغذی نیترات، نیتريت، آمونیوم، فسفات و سیلیکا با استفاده از روش کالبریمتری MOOPAM صورت گرفت (ROPME, 2010). فراسنج‌های دما (°C)، شوری (psu)، اکسیژن محلول (DO) و pH در محل و توسط مولتی‌متر پرتابل هک (Hach) مدل HQ40d اندازه‌گیری شدند.

آنالیزهای آماری توسط نرم‌افزار SPSS، نسخه ۱۹ اجراء گردید. آزمون آماری غیر پارامتریک Mann-Whitney U جهت مقایسه فراسنج‌ها از نظر وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها پیش و پس از سیلاب به کار برده شد. جهت ارزیابی یکسان بودن یا معنی‌دار بودن اختلاف بین متغیرها در نواحی مختلف از معیار اندازه احتمال با سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده گردید.

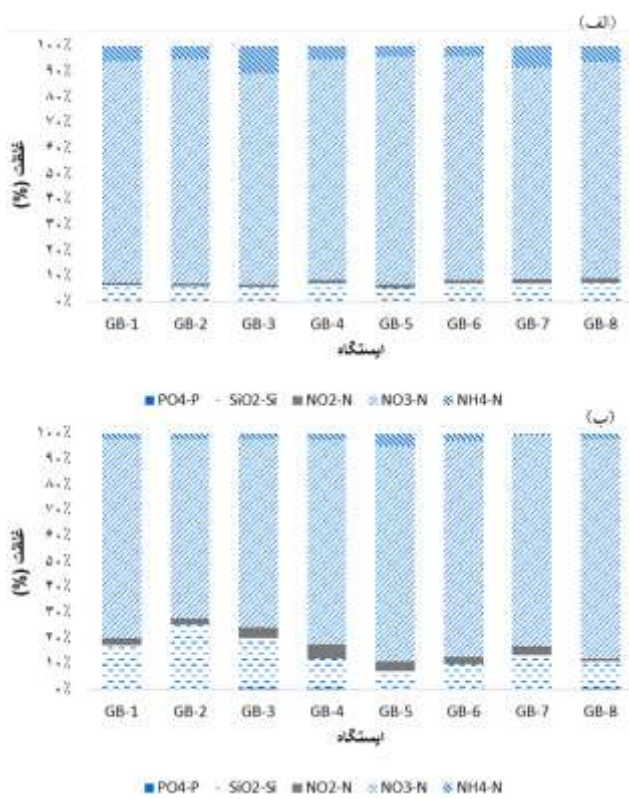
جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در خلیج گرگان

| ایستگاه | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی |
|---------|---------------|---------------|
| GB-1    | ۳۶/۹۵۶۸۴      | ۵۴/۰۰۶۱۹      |
| GB-2    | ۳۶/۹۴۷۸۸      | ۵۴/۰۳۶۷       |
| GB-3    | ۳۶/۹۳۰۷۷      | ۵۴/۰۳۷۲۷      |
| GB-4    | ۳۶/۹۰۰۴۹      | ۵۴/۰۳۲۲۲      |
| GB-5    | ۳۶/۸۸۲۶۴      | ۵۴/۰۱۳۰۶      |
| GB-6    | ۳۶/۸۷۰۲۵      | ۵۳/۹۹۶۰۷      |
| GB-7    | ۳۶/۸۴۸۹۷      | ۵۳/۹۴۸۰۶      |
| GB-8    | ۳۶/۸۳۲۶۳      | ۵۳/۹۱۶۰۶      |

## ۳. نتایج و بحث

سامانه بارشی گسترده‌ای از روز ۲۶ اسفندماه ۹۷ بر بخش وسیعی از آسمان استان گلستان مستقر و در اثر استمرار بارندگی‌های شدید منجر به سیل ناگهانی (Flash Flood) در امتداد گرگان رود و رودخانه‌های متصل به آن گردید. اوج اثرات مخرب این سیلاب در روزهای ۲۸ و ۲۹ اسفندماه ۹۷ و اول فروردین ۹۸ بود (Beytollahi, 2019). در این پژوهش، جهت

محلول پس از سیلاب نسبت به پیش از آن کمتر می‌باشد. شکل ۲ درصد غلظت نیترات، نیتريت، آمونیوم، فسفات و سیلیکا را در هر ایستگاه پیش از سیلاب و پس از آن نشان می‌دهد. نتایج در هر دو زمان نمونه‌برداری نشان دهنده درصد بالای نیترات در همه ایستگاه‌ها می‌باشد. در همه ایستگاه‌ها، پیش از سیلاب میزان درصد سیلیکا و آمونیوم نیز قابل توجه می‌باشد. پس از سیلاب میزان درصد سیلیکا نیز بالا می‌باشد اما درصد نیتريت در مقایسه با مواد مغذی دیگر نیز افزایش نشان می‌دهد. همچنین شکل نشان می‌دهد که فسفات حداقل درصد مواد مغذی را در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه پیش و پس از سیلاب دارد.



شکل ۲: درصد غلظت مواد مغذی در ایستگاه‌های نمونه برداری شده خلیج گرگان (الف) پیش و (ب) پس از سیلاب.

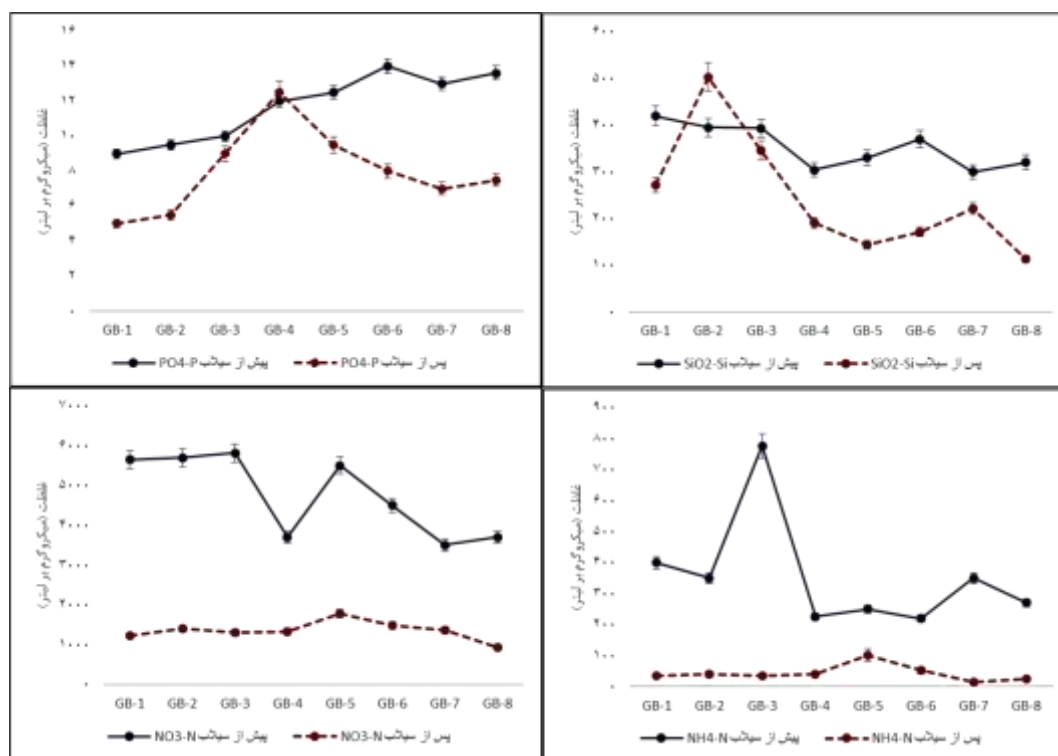
میزان غلظت فسفات، سیلیکا، نیترات و آمونیوم در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده پیش از سیلاب و پس از آن در شکل ۳ نشان داده شده است. میانگین غلظت فسفات اندازه‌گیری شده پیش از سیلاب  $11/7 \pm 0/51 \mu\text{g/L}$  و پس از سیلاب  $8/0 \pm 0/42 \mu\text{g/L}$  می‌باشد. مشخص شده که ۶۸ درصد فسفر از منابع آلاینده‌ای همچون تصفیه‌خانه‌های بندر ترکمن در نزدیکی ورودی دهانه ناشی می‌شود (Ranjbar and Hadjizadeh Zaker, 2016).

کمتر است. میزان میانگین شوری در ایستگاه‌های نزدیک به دهانه خلیج پیش و پس از سیلاب به ترتیب  $14/95$  و  $16/50$  بوده در حالی که این میزان برای ایستگاه‌های داخلی‌تر، پیش و پس از سیلاب، به ترتیب  $15/15$  و  $13/33$  تعیین شد. اختلاف میزان شوری در ایستگاه‌های دهانه خلیج نسبت به ایستگاه‌های داخلی‌تر پیش از سیلاب در حدود کمتر از  $0/3$  psu بوده در صورتی که این اختلاف میزان پس از سیلاب (مرحله اول نمونه‌برداری) حدود  $7$  psu ثبت شد. همانطور که دیده می‌شود، این کاهش در میزان شوری عمدتاً ناشی از ورود روان‌آب ناشی از سیلاب از طریق رودخانه گرگانود است. آب شیرین ورودی از رودخانه‌ها، بارندگی، تبخیر، جریان ناشی از دریا، فرایندهای هیدرودینامیک داخل خلیج، میزان شوری خلیج را کنترل می‌کنند (Ghorbanzadeh Zaferani et al., 2017). اگرچه ایستگاه‌های نزدیک به دهانه خلیج و نواحی شرقی خلیج از دو رودخانه اصلی (گرگانود و قره‌سو) آب شیرین دریافت می‌کنند با این حال، جریان ناشی از دریای خزر میزان شوری به ویژه در دهانه خلیج را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. در یک پژوهش مشخص شده که دما و شوری در دهانه خلیج تقریباً مشابه دریا است (Jamshidi and Bin Abu Bakar, 2011). شوری سطحی در خزر جنوبی در محدوده  $10/23$  psu تا  $13/19$  psu بوده در حالی که میزان شوری نواحی خلیج گرگان در محدوده  $12/7$  psu تا  $14/8$  psu گزارش شده است (Kouhanestani et al., 2019). میانگین pH سطحی آب و گستره آن در بهمن ماه به ترتیب  $8/31$  و  $8/63$  -  $8/02$  بوده در حالی که میانگین و گستره pH در فروردین ماه به ترتیب  $8/34$  و  $8/67$  -  $8/03$  ثبت شد. میزان pH پیش و پس از سیلاب، در دهانه خلیج نسبت به مناطق دیگر اندکی پایین‌تر بود. میزان میانگین pH سطحی آب در ایستگاه‌های نزدیک به دهانه خلیج پیش و پس از سیلاب به ترتیب  $8/15$  و  $8/22$  بوده در حالی که این میزان برای ایستگاه‌های داخلی‌تر، پیش و پس از سیلاب، به ترتیب  $8/37$  و  $8/35$  تعیین شد. میانگین اکسیژن محلول سطحی آب و گستره آن در بهمن ماه  $10/15$  و  $10/37$  -  $10/00$  بوده در حالی که میانگین و گستره اکسیژن محلول در فروردین ماه  $9/30$  و  $10/27$  ثبت شد. در کل میزان اکسیژن محلول در خلیج گرگان در فروردین ماه نسبت به بهمن ماه اندکی کمتر می‌باشد که این کاهش عمدتاً به دلیل تغییر فصل است.

نتایج اندازه‌گیری مواد مغذی در ایستگاه‌های مختلف در خلیج گرگان نشان داد که به طور کلی غلظت هر پنج ماده مغذی

در ایستگاه GB-4 و ایستگاه‌های نزدیک به آن میزان فسفات پیش و پس از سیلاب تقریباً نزدیک به هم بوده که می‌تواند ناشی از ورود آب از منابع آلاینده‌ای همچون تصفیه‌خانه بندر ترکمن باشد. همچنین در مورد ترکیبات نیتروژن‌دار، میانگین غلظت نیتريت به دست آمده پیش از سیلاب  $69/51 \pm 3/47 \mu\text{g/L}$  و پس از سیلاب  $56/82 \pm 2/84 \mu\text{g/L}$  می‌باشد. در کل غلظت نیتريت در آب‌های ساحلی کم است و فقط در صورتی که اکسیژن محلول باعث توقف یا محدودیت فرایند نیتريکاسیون شود ممکن است غلظت نیتريت در محیط افزایش یابد (Helder, 1983). میانگین غلظت نیترات سنجش شده پیش از سیلاب  $1356/54 \pm 66/74 \mu\text{g/L}$  و پس از سیلاب  $4758/44 \pm 285/52 \mu\text{g/L}$  می‌باشد. میزان نیترات پس از سیلاب نسبت به پیش از آن بسیار کمتر بوده (شکل ۳) به گونه‌ای که به طور میانگین این کاهش غلظت (رقیق‌سازی) در حدود  $3/5$  برابر می‌باشد. البته میزان نیترات پیش از سیلاب در همه ایستگاه‌ها یکسان نبوده و نوساناتی دارد. براساس پژوهشی مشخص شده است که نیترات به دلیل معدنی شدن (Mineralization) ترکیبات آلی در لایه سطحی بر اثر غلظت بالای اکسیژن حل شده و دمای بالا، شکل غالب نیتروژن معدنی در خزر جنوبی است (Nasrollahzadeh et al., 2008). همچنین مشخص شده که بیشترین غلظت نیترات

در نواحی شرقی و جنوبی خلیج است (Javani et al., 2014). غلظت میانگین آمونیوم اندازه‌گیری شده پیش از سیلاب  $355/31 \pm 21/13 \mu\text{g/L}$  و پس از آن  $42/82 \pm 2/55 \mu\text{g/L}$  می‌باشد. همانند روند مشاهده شده برای نیترات، میزان آمونیوم پس از سیلاب نسبت به پیش از آن بسیار کمتر بوده به طوری که به طور میانگین این رقیق‌سازی در حدود  $8/3$  برابر می‌باشد. علاوه بر این، میانگین غلظت سیلیکا پیش از سیلاب  $245/28 \pm 12/37 \mu\text{g/L}$  و پس از سیلاب  $354/11 \pm 16/93 \mu\text{g/L}$  می‌باشد به طوری که به طور میانگین رقیق‌سازی غلظت سیلیکا در حدود  $1/44$  برابر می‌باشد. حداقل دو عامل رقیق‌سازی و ورود رسوبات از رودخانه‌ها در کنترل میزان سیلیکا در خلیج گرگان تاثیرگذارند. در ایستگاه‌های GB-1، GB-2 و GB-3 که نزدیک به دهانه خلیج هستند، مقادیر سیلیکا پیش و پس از سیلاب نزدیک بهم بوده که به نظر می‌رسد اثرات رقیق‌سازی و ورود رسوبات از رودخانه‌ها همدیگر را تا حدودی خنثی کرده‌اند. در ایستگاه‌های دیگر که نزدیک به رودخانه‌ها نیز نبوده اثر رقیق‌سازی پس از سیلاب (و بارندگی) غالب بوده است. سیلیکا می‌تواند از طریق گرد و غبار، انحلال مجدد اسکلت موجودات آبی، رسوبات و رواناب‌ها وارد آب دریا شود (Sospedra et al., 2018).



شکل ۳: غلظت فسفات، سیلیکا، نیترات و آمونیوم در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده خلیج گرگان پیش و پس از سیلاب.

Lee و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کرده‌اند که در طی سیلاب، غلظت نیترات کاهش و غلظت فسفات افزایش یافته است. آنها نتیجه‌گیری کردند که در طی سیلاب و به دلیل بارندگی‌های شدید، رقیق سازی نیترات صورت گرفته و بنابراین غلظت آن کاهش یافته است. در صورتی که آب‌های سطحی ناشی از سیلاب دارای مقادیر فراوانی از فسفات حاصل از آزادسازی از خاک بوده و بنابراین غلظت فسفات افزایش یافته است (Lee et al., 2013). فسفر در بخش‌های عمیق‌تر خاک تجمع می‌کند (Tian et al., 2017). اگر چه به دلیل ظرفیت جذب بالای فسفر در خاک، تحرک فسفر پایین بوده با این حال تحقیقات زیادی در مورد اثر آلاینده‌گی فسفر خاک بر آب‌های سطحی و زیر زمینی صورت گرفته است (Tian et al., 2017; Chen, Chen, Sun, 2014; Ding et al., 2008). در نواحی سیلابی، خاک در معرض شستشو قرار گرفته و بنابراین فسفات حاصل از کودهای فسفاته به آب نفوذ می‌کند (Tian et al., 2017). فسفر یکی از عوامل اصلی در یوتروفیکاسیون بوده و آزاد شدن آن از زمین‌های کشاورزی به آب‌های ساحلی می‌تواند باعث بروز این پدیده گردد (Mulqueen, Rodgers, Scally, 2004). علاوه بر این، اکوسیستم‌های آبی و به ویژه اکوسیستم‌های کم عمق به تغییرات هیدرولوژیکی بسیار حساس هستند (Kinsman-Costello et al., 2016). جهت و میزان تبادل فسفر بین آب میان بافتی خاک (Pore water) و آب سطحی در طی سیلاب به نوع خاک بستگی دارد (Kinsman-Costello et al., 2016; Weilhoefer, Pan, 2008). پژوهش‌های متعددی درباره آزادسازی فسفر از خاک و به ویژه در حالت سیلابی انجام گرفته است (Amarawansa et al., 2015; Quintero et al., 2007; Wang et al., 2008). همچنین در مورد تبدیل بین حالت‌های معدنی و آلی فسفر و تغییرات در غلظت فسفر محلول در آب ناشی از سیل و آب میان بافتی (در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک) تحقیقاتی صورت گرفته است (Amarawansa et al., 2015; Tian et al., 2008). Tian و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که در روز دوازدهم پس از سیلاب، فسفات زیادی در عمق ۵ و ۳۰ سانتی‌متری آب میان بافتی قرار داشته در حالی که در هر دو عمق یاد شده در روز نوزدهم، غلظت فسفات کاهش پیدا کرده است. همچنین Kinsman-Costello و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که شار (flux) اولیه فسفر (۳۰ روز اول)، حتی در صورتی که میزان

علاوه بر این، در سه ایستگاه GB-1، GB-2 و GB-4، میزان تغییرات غلظت نیترات، آمونیوم و فسفات معدنی در سه نوبت پیش از سیلاب (نمونه‌برداری بهمن ماه ۹۷) و پس از سیلاب (دو نمونه‌برداری فروردین ماه و اردیبهشت ماه ۹۸ که به ترتیب "پس از سیلاب (۱)" و "پس از سیلاب (۲)" نامگذاری شده‌اند) بررسی شده است. همانطور که در شکل ۴ نیز دیده می‌شود، روند تغییرات نیترات و آمونیوم تاحدودی شبیه هم می‌باشد. به این صورت که غلظت این دو ماده مغذی پیش از سیلاب بالا بوده اما پس از سیلاب (مرحله اول-فروردین ماه) غلظت آنها در نقاط منتخب در خلیج گرگان بسیار کاهش پیدا کرده ولی در نمونه‌برداری مرحله دوم (پس از سیلاب (۲))، غلظت مقداری افزایش یافته و بنظر می‌رسد که در ادامه سیستم به یک تعادلی خواهد رسید. با این حال برای فسفات معدنی روند تاحدود متفاوت است. کاهش غلظت و رقیق سازی خیلی شدید نبوده اما همانطور که در شکل نیز دیده می‌شود، غلظت فسفات معدنی در نمونه‌برداری مرحله دوم نسبت به پیش از سیلاب و نیز مرحله اول نمونه برداری پس از سیلاب بسیار افزایش داشته است. سیستم تولید، جذب و مصرف این سه ماده با هم متفاوت می‌باشد. این افزایش غلظت فسفات معدنی در نمونه‌برداری دوم پس از سیلاب می‌تواند احتمالاً به دلیل جنس بستر و یا ورود فسفات ناشی از کودهای فسفاته باشد که به مرور زمان و با توجه به اینکه شیب زمین در استان گلستان کم بوده و آب به سرعت تخلیه نشد، وارد دریا و نیز خلیج گرگان شده است. شیب متوسط مسیر سیلاب در خشکی بسیار کم بوده و بین ۰/۲ تا ۰/۳ درصد و شیب بیشینه حدود ۱/۶ تا ۲ درصد می‌باشد (Beytollahi, 2019). کشاورزان این مناطق به طور معمول در کشاورزی از سموم فسفاته استفاده می‌کنند. میزان شوری در ایستگاه‌های GB-1، GB-2 و GB-4 پیش از سیلاب به ترتیب ۱۵/۰۸، ۱۴/۷۲ و ۱۵/۶۶ بوده در حالی که این میزان برای سه ایستگاه یاد شده در نمونه‌برداری اول پس از سیلاب به ترتیب ۶/۹، ۷ و ۵/۸۲ می‌باشد. این میزان شوری در ایستگاه GB-4 در نمونه برداری دوم پس از سیلاب برابر با ۸ بود. بنابراین اثر ورود آب شیرین از خشکی به دریا و خلیج، که ناشی از سیلاب است، قابل مشاهده بوده و این روند، با یافته‌های مواد مغذی در سه نوبت نمونه برداری پیش و پس از سیلاب همخوانی داشته (شکل ۴) و تفسیر تغییرات مواد مغذی پس از سیلاب را قابل لمس می‌سازد.

شد که هیدروشیمی خلیج گرگان پس از سیلاب اخیر تفاوت آشکاری با هیدروشیمی آن پیش از سیلاب دارد. نتایج آماری نشان داد که مواد مغذی، دما و شوری اختلاف معناداری پیش و پس از سیلاب داشتند. میزان مواد مغذی در خلیج گرگان پس از وقوع سیلاب در استان‌های گلستان و مازندران (نمونه‌برداری فروردین ماه ۹۸) نسبت به پیش از آن (نمونه‌برداری بهمن ماه ۹۷) کاهش چشمگیری نشان داد. به ویژه آمونیم و نیترات به ترتیب حدود ۸/۳۰ و ۳/۵۱ برابر کاهش نشان دادند. برخلاف این تصور که با ورود آب غنی از مواد مغذی رودخانه، میزان مواد مغذی در خلیج زیاد می‌شود اما باید دقت کرد که آبی که وارد خلیج گرگان شده بیشتر آب باران بوده که از رودخانه‌های منتهی به خلیج و نیز بارندگی در خلیج گرگان می‌باشد، به طوری که رقیق‌سازی زیادی در مواد مغذی انجام شده است. نتایج آماری نشان داد که در هر دو نمونه‌برداری پیش و پس از سیلاب، نیترات نسبت به مواد مغذی دیگر درصد بالاتری را به خود اختصاص داده است. همچنین میزان میانگین شوری خلیج پیش و پس از سیلاب به ترتیب ۱۴/۹۷ و ۹/۲۷ psu اندازه‌گیری شد. این تغییرات می‌توانند بر روی زیست بوم خلیج گرگان تاثیر بگذارند. به طور مثال، یکی از اثرات کاهش میزان مواد مغذی با این سیلاب، کاهش احتمال یوتروفیکاسیون می‌باشد. البته جوامع زیستی ساکن در رسوبات خلیج نیز احتمالاً تحت تاثیر این سیلاب قرار گرفته‌اند که نیاز به مطالعه جامعی در این زمینه هست.

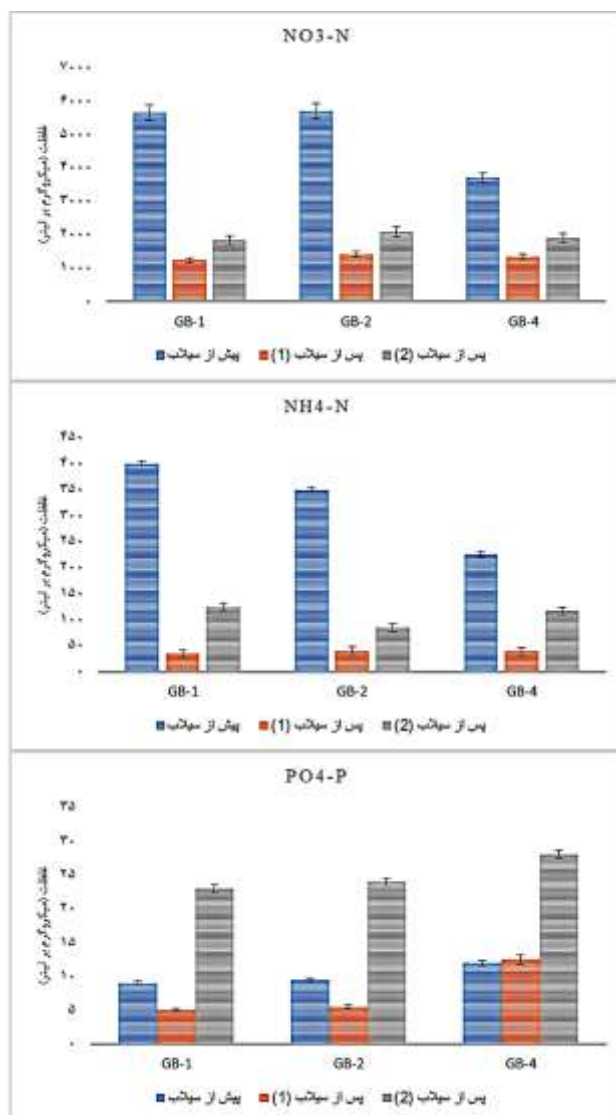
## ۵. سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح کلان پایش نواحی ساحلی دریاهای پیرامونی ایران به شماره ۰۱-۰۹-۰۶-۱۱-۰۱۱-۳۹۷- انجام شده است. از معاونت محترم پژوهشی جناب آقای دکتر علیزاده به خاطر کمک‌های مادی و معنوی این پژوهش کمال تشکر را داریم. همچنین از جناب آقای دکتر فرجامی بخاطر همکاری در تهیه نقشه GIS (شکل ۱) نهایت تشکر را داریم.

## منابع

کریمی، ن.، ۱۳۹۸. "سیل گلستان در چنبره تقلیل و ساده‌سازی". <http://www.bbc.com/persian/iran-features-47679976>

فسفر در خاک یا رسوب بالا باشد، به طور کلی پایین تا متوسط است و بنابراین آزاد شدن فسفر آبی نبوده و به مرور زمان است.



شکل ۴: نمودارهای غلظت نیترات، آمونیم و فسفات در سه ایستگاه منتخب در خلیج گرگان پیش از سیلاب و پس از سیلاب در دو مرحله.

## ۴. نتیجه‌گیری

نواحی ساحلی و خلیج‌ها به شدت تحت تاثیر ورود آب از خشکی به دلایل مختلف از جمله سیلاب می‌باشند. در این پژوهش، مواد مغذی (نیترات، نیتريت، فسفات، سیلیکا و آمونیم) و فراسنج‌های فیزیوشیمیایی دیگر (شوری، pH، اکسیژن محلول و دمای آب) در ۸ ایستگاه در خلیج گرگان پیش از وقوع سیلاب در استان‌های گلستان و مازندران (بهمن ۹۷) و پس از آن (فروردین اردیبهشت ۹۸) اندازه‌گیری و مقایسه شدند. مشخص

- Cowell, P.J., B.G. Thom, R.A. Jones, C.H. Everts, and D. Simanovic, 2006. Management of Uncertainty in Predicting Climate-Change Impacts on Beaches. 2006 (221). BIOONE.  
<https://doi.org/10.2112/05A-0018.1>
- Ding, X., C. Wei, R. Wang, X. Liao, and S. Li, 2014. Phosphorus Leaching Risk Assessment with Manure Fertilizer Application in South China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 93: 120-125.  
<https://doi.org/10.1007/s00128-014-1262-1>
- Dong, J.-D., Y.-Y. Zhang, Y. Shao Wang, M.-L. Wu, S. Zhang, and C.-H. Cai, 2010. Chemometry use in the evaluation of the sanya bay water quality. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58: 339-352.  
<https://doi.org/10.1590/S1679-87592010000400008>
- Ghorbanzadeh Zaferani, S.G., A. Machinchian Moradi, R. Mousavi Nadushan, A.R. Sari, and S.M.R. Fatemi, 2017. Spatial and temporal patterns of benthic macrofauna in Gorgan Bay, south Caspian Sea, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16: 274-252.
- Helder, W., 1983. Estuarine nitrite maxima and nitrifying bacteria (Elms-Dollard estuary). *Netherlands Journal of Sea Research*, 17: 1-18.  
[https://doi.org/10.1016/0077-7579\(83\)90002-9](https://doi.org/10.1016/0077-7579(83)90002-9)
- Hirabayashi, Y., R. Mahendran, S. Koirala, L. Konoshima, D. Yamazaki, S. Watanabe, H. Kim, and S. Kanae, 2013. Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3: 816.  
<https://doi.org/10.1038/nclimate1911>  
<https://www.nature.com/articles/nclimate1911#supplementary-information>
- Jamshidi, S., and N. Bin Abu Bakar, 2011. A study on distribution of chlorophyll-*a* in the coastal waters of Anzali Port, south Caspian Sea. *Ocean Sci. Discuss.*, 2011: 435-451.  
<https://doi.org/10.5194/osd-8-435-2011>
- Amarawansa, E.A.G.S., D. Kumaragamage, D. Flaten, F. Zvomuya, and M. Tenuta, 2015. Phosphorus Mobilization from Manure-Amended and Unamended Alkaline Soils to Overlying Water during Simulated Flooding. *Journal of Environmental Quality*, 44: 1252-1262.  
<https://doi.org/10.2134/jeq2014.10.0457>
- Bastami, K.D., H. Bagheri, S. Haghparast, F. Soltani, A. Hamzehpoor, and M.D. Bastami, 2012. Geochemical and geo-statistical assessment of selected heavy metals in the surface sediments of the Gorgan Bay, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 64: 2877-2884.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.08.015>
- Bauer, J.E., W.-J. Cai, P.A. Raymond, T.S. Bianchi, C.S. Hopkinson, and P.A.G. Regnier, 2013. The changing carbon cycle of the coastal ocean. *Nature*, 504: 61.  
<https://doi.org/10.1038/nature12857>
- Beytollahi, A., 2019. Golestan Flood Report. Road, Housing and Development Research Center, [t.me/Dr\\_AliBeitollahi](http://t.me/Dr_AliBeitollahi).
- Caruso, G., R. La Ferla, M. Azzaro, A. Zoppini, G. Marino, T. Petochi, C. Corinaldesi, M. Leonardi, R. Zaccone, S. Fonda Umani, C. Caroppo, L. Monticelli, F. Azzaro, F. Decembrini, G. Maimone, R.A. Cavallo, L. Stabili, N. Hristova Todorova, V. K. Karamfilov, E. Rastelli, S. Cappello, M.I. Acquaviva, M. Narracci, R. De Angelis, P. Del Negro, M. Latini, and R. Danovaro, 2016. Microbial assemblages for environmental quality assessment: Knowledge, gaps and usefulness in the European Marine Strategy Framework Directive. *Critical Reviews in Microbiology*, 42: 883-904.  
<https://doi.org/10.3109/1040841X.2015.1087380>
- Chen, M., J. Chen, and F. Sun, 2008. Agricultural phosphorus flow and its environmental impacts in China. *Science of The Total Environment*, 405: 140-152.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.031>



- macronutrients and phytoplankton before and after the invasion of the ctenophore, *Mnemiopsis leidyi*, in the Southern Caspian Sea. *Chemistry and Ecology*, 24: 233-246.  
<https://doi.org/10.1080/02757540802310967>
- Quintero, C.E., F. Hernán Gutierrez-Boem, M. Befani Romina, and N.G. Boschetti, 2007. Effects of soil flooding on P transformations in soils of the Mesopotamia region, Argentina. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170: 500-505.  
<https://doi.org/10.1002/jpln.200625015>
- Ranjbar, M.H., and N. Hadjizadeh Zaker, 2016. Estimation of environmental capacity of phosphorus in Gorgan Bay, Iran, via a 3D ecological-hydrodynamic model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188: 649.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-016-5653-0>
- Roohi, A., A.E. Kideys, A. Sajjadi, A. Hashemian, R. Pourgholam, H. Fazli, A.G. Khanari, and E. Eker-Develi, 2010. Changes in biodiversity of phytoplankton, zooplankton, fishes and macrobenthos in the Southern Caspian Sea after the invasion of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Biological Invasions*, 12: 2343-2361.  
<https://doi.org/10.1007/s10530-009-9648-4>
- ROPME, 2010. Manual of oceanographic observations and pollutant analyses methods.
- Sospedra, J., L.F.H. Niencheski, S. Falco, C.F.F. Andrade, K.K. Attisano, and M. Rodilla, 2018. Identifying the main sources of silicate in coastal waters of the Southern Gulf of Valencia (Western Mediterranean Sea). *Oceanologia*, 60: 52-64.  
<https://doi.org/10.1016/j.oceano.2017.07.004>
- Tian, J., G. Dong, R. Karthikeyan, L. Li, and R.D. Harmel, 2017. Phosphorus Dynamics in Long-Term Flooded, Drained, and Reflooded Soils. *Water*, 9: 531.  
<https://doi.org/10.3390/w9070531>
- Javani, A., H.T. Shahraeni, H. Mohammadkhani, B. Mansouri, and A.H. Tabari, 2014. Spatial and temporal fluctuation of nitrate and phosphate in Gorgan Bay. *Environmental Science and Engineering (In Persian)*, 1: 1-13.
- Kinsman-Costello, L.E., S.K. Hamilton, J.M. O'Brien, and J.T. Lennon, 2016. Phosphorus release from the drying and reflooding of diverse shallow sediments. *Biogeochemistry*, 130: 159-176.  
<https://doi.org/10.1007/s10533-016-0250-4>
- Kouhanestani, Z.M., D.L. Roelke, R. Ghorbani, and M. Fujiwara, 2019. Assessment of Spatiotemporal Phytoplankton Composition in Relation to Environmental Conditions of Gorgan Bay, Iran. *Estuaries and Coasts*, 42: 173-189.  
<https://doi.org/10.1007/s12237-018-0451-2>
- Kurdi, M., T. Eslamkish, M. Seyedali, and M.S. Ferdows, 2015. Water quality evaluation and trend analysis in the Qareh Sou Basin, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 73: 8167-8175.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-014-3975-1>
- Lee, T.Y., J.C. Huang, S.J. Kao, and C.P. Tung, 2013. Temporal variation of nitrate and phosphate transport in headwater catchments: the hydrological controls and land use alteration. *Biogeosciences*, 10: 2617-2632.  
<https://doi.org/10.5194/bg-10-2617-2013>
- Muller-Karger, F.E., R. Varela, R. Thunell, R. Luerssen, C. Hu, and J.J. Walsh, 2005. The importance of continental margins in the global carbon cycle. *Geophysical Research Letters*, 32.  
<https://doi.org/10.1029/2004GL021346>
- Mulqueen, J., M. Rodgers, and P. Scally, 2004. Phosphorus transfer from soil to surface waters. *Agricultural Water Management*, 68: 91-105.  
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.10.006>
- Nasrollahzadeh, H.S., Z.B. Din, S.Y. Foong, and A. Makhloogh, 2008. Spatial and temporal distribution of

- <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.02.004>  
Weilhoefer, C.L., Y. Pan, and S. Eppard, 2008. The effects of river floodwaters on floodplain wetland water quality and diatom assemblages. *Wetlands*, 28: 473-486.
- <https://doi.org/10.1672/07-114.1>  
Zoppini, A., N. Ademollo, M. Bensi, D. Berto, L. Bongiorno, A. Campanelli, B. Casentini, L. Patrolecco, and S. Amalfitano, 2019. Impact of a river flood on marine water quality and planktonic microbial communities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 224: 62-72.
- <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.04.038>  
Tian, J., L. Liu, H.-S. Ding, and T. Chen, 2008. [Mobilization and transformation of phosphorus from water-soil interface of flooded soil]. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, 29: 1818-1823.
- Voynova, Y.G., H. Brix, W. Petersen, S. Weigelt-Krenz, and M. Scharfe, 2017. Extreme flood impact on estuarine and coastal biogeochemistry: the 2013 Elbe flood. *Biogeosciences*, 14: 541-557.
- <https://doi.org/10.5194/bg-14-541-2017>  
Wang, G.-P., Z.-L. Zhai, J.-S. Liu, and J.-D. Wang, 2008. Forms and profile distribution of soil phosphorus in four wetlands across gradients of sand desertification in Northeast China. *Geoderma*, 145: 50-59.