

## برآورد سهم منابع آلودگی نیترات در توزیع مکانی آلودگی در دریای خزر

امید اکبری اسرمی<sup>۱</sup>، اصغر بهلولی<sup>۲\*</sup> و عباسعلی علی اکبری بیدختی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجو کارشناسی ارشد فیزیک دریا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار گروه آموزشی فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران  
<sup>۳</sup> استادیار گروه آموزشی فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۰، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰)

### چکیده

امروزه شناخت آلودگی دریاها با توجه به آثار آلودگی آب دریاها و اقیانوس‌ها بر زندگی انسان بسیار مهم است. در این پژوهش با انتخاب نیترات به عنوان شاخص آلودگی و مدل‌سازی تفکیک‌شده منابع آلودگی و تحلیل آن، سهم منابع مختلف آلودگی در دریای خزر برآورد شده است. عمده آلودگی دریای خزر ناشی از رودخانه ولگا است و رود کورا بعد از ولگا بیشترین سهم آلودگی را دارد. در تحقیق حاضر برای اولین بار به صورت کمی سهم منابع مختلف آلودگی نیترات در میزان آلودگی مناطق مختلف دریای خزر به صورت فصلی برآورد و در قالب نقشه‌های دوبعدی تفکیک شده است. همچنین با جمع اثر منابع مختلف، توزیع غلظت کلی آلودگی نیترات در فصول مختلف برآورد شده است. در آب‌های ساحلی ایران، بین ۱ تا ۵۰ درصد آلودگی‌ها ناشی از ولگا است. در نواحی غربی تا ۵۰ درصد (یا بیشتر) ناشی از رود کورا است و بقیه به منابع آلودگی رودخانه‌های ورودی از سمت ایران مربوط می‌شود. مقایسه غلظت کل نیترات به دست آمده از مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهد مدل توانسته است آلودگی نیترات را در خزر جنوبی با دقت خوبی برآورد کند. با توجه به اینکه به نظر می‌رسد تاکنون سهم هریک از منابع آلاینده به‌تنهایی، در میزان آلودگی مناطق مختلف خزر برآورد نشده است، نتایج این پژوهش می‌تواند اهمیت زیادی در انواع مطالعات درباره آلودگی و فعالیت‌های منطقه‌ای خزر داشته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** دریای خزر، آلودگی نیترات، سهم آلودگی رودخانه‌ها، رود ولگا

## ۱ مقدمه

در گذشته تصور می‌شد آب دریاها و اقیانوس‌ها آنقدر گسترده است که می‌توان از میزان مواد آلاینده آن چشم‌پوشی کرد، اما امروزه با توجه به آثار مستقیم و غیرمستقیم آلودگی آب دریاها و اقیانوس‌ها در زندگی انسان، این مسئله بسیار مطرح است. انتشار آلودگی در محیط‌های آبی پدیده‌ای روبه‌رشد است و توسعه مراکز صنعتی در سواحل دریاها و ورود پساب این مراکز به دریا، سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی شده است. آلودگی اقیانوس یا دریا تأثیر مستقیمی بر زندگی انسان و دیگر جانداران دارد. این آلودگی بر جوامع گیاهی و جانوری و زیست‌بوم دریاها اثر مخربی دارد و آثار منفی این گونه آلودگی‌ها تا سال‌ها باقی خواهد ماند. حساسیت و شکنندگی محیط زیست دریایی خزر به جهت بسته بودن محیط آن و انباشته شدن آلاینده‌های مختلف، دریای خزر را با بحران بوم‌شناختی روبه‌رو کرده است.

با توجه به اهمیت آلودگی دریاها و اقیانوس‌ها مطالعات متنوعی در این زمینه انجام شده است؛ از جمله رحمان و همکاران (۱۳۹۳) آلودگی گرمایی ناشی از تخلیه آب گرم از نیروگاه و تغییرات دما را در محیط آبی اطراف سواحل کیشهر بررسی کردند. ایشان با استفاده از مدل عددی سه‌بعدی، انتشار گرما را در محیط دریایی در اثر جریان‌های ناشی از باد و عواملی مثل تبخیر، بارش، نیروی کوریولیس، دمای هوا و باد شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان می‌دهد بحرانی‌ترین حالت انتشار گرما در حالت نبود باد غالب (نبود جریان‌های ناشی از باد) و وزش باد غالب (وجود جریان‌های ناشی از باد) برای بازده نیروگاه مشکلی ایجاد نمی‌کند؛ یعنی دمای اضافی چشمه گرمایی به‌صورت مؤثری کاهش می‌یابد و وارد چرخه ورودی نیروگاه نمی‌شود. همچنین افزایش دمای محیط آبی در شعاع ۲۰۰ متری از چشمه گرمایی، در هیچ نقطه‌ای از سطح و عمق آب، از ۳ درجه سانتی‌گراد بیشتر نشده است؛

لذا تغییرات دمای مورد نظر، در محدوده مجاز ضوابط زیست‌محیطی است.

میر خلیلی و مظاهری (۲۰۱۵) با استفاده از مدل سه - بعدی مایک، توزیع نشت نفت را در دریای خزر برای هر فصل از سال شبیه‌سازی کردند. نتایج تحقیقات ایشان تعیین می‌کند که در چه بازه‌های زمانی کدام‌یک از سواحل دریای خزر تحت تأثیر آلودگی‌های نفتی قرار می‌گیرد.

بدری و فقیهی فرد (۱۳۹۴) از مایک ۳ جهت مدل - سازی انتقال و انتشار لکه نفتی در منطقه عسلویه استفاده کردند. نتایج آن پژوهش نشان داد در سال ۲۰۰۸، سطح منطقه آلوده حدود ۶۲ کیلومتر مربع است که موجب آلودگی بندر سیراف و قسمتی از بندر کنگان شده است، اما در سال ۲۰۱۲ گسترش آلودگی در سمت جنوب عسلویه بود که حاکی از آلوده شدن خلیج نایبند در ۳۰ کیلومتری عسلویه است.

کوروتنکو و همکاران (۲۰۰۰) یک مدل جریان انتقال سه‌بعدی را برای پیش‌بینی پراکندگی آلودگی نفتی در آب‌های ساحلی دریای خزر توسعه دادند. جریان‌های اقیانوسی آشفته و انتشار به‌کاررفته در این مدل، با مدل چرخش عددی اقیانوس (POM) در دریای خزر تولید شده‌اند. در این مدل، شبیه‌سازی لکه نفتی در آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر برای مدت پنج و ده روز اجرا و حرکت سریع لکه نفت و خطر آلودگی خط ساحل برای وضعیت‌های مختلف باد نشان داده شده است.

کارژابایو (۲۰۱۶) برای پیش‌بینی آلودگی نفتی ناشی از تخلیه آب رودخانه در دریای خزر، یک مدل انتقال دوبعدی را توسعه داده است. در این مدل جهت و سرعت باد و دمای سطح آب ثابت فرض شده است. از این مدل برای شبیه‌سازی انتشار مداوم نفت از رودخانه‌های ولگا و اورال در آب‌های ساحلی شمال دریای خزر استفاده و حرکت نشت نفت و خطر آلودگی خطوط ساحلی

با توجه به نگرانی‌های زیست‌محیطی به لحاظ وجود منابع مختلف آلودگی در دریای خزر، یکی از سؤالات مهم درباره آلاینده‌های دریای خزر، میزان سهم هریک از منابع آلودگی در مناطق مختلف خزر است؛ به این معنی که برای مثال در آلودگی‌هایی که در سواحل جنوبی خزر مشاهده می‌شود، چه مقدار منابع آلاینده خزر شمالی یا منابع آلاینده ورودی به خزر میانی نقش دارند؟ پاسخ به چنین سؤالی می‌تواند نقش مهمی در مباحث حقوقی مرتبط با محیط زیست دریای خزر داشته باشد. در این مقاله سعی شده است با روش تفکیک منابع آلودگی و با استفاده از ابزار مدل‌سازی، سهم منابع آلودگی اصلی دریای خزر در میزان آلودگی مناطق مختلف برآورد شود.

## ۲ روش‌شناسی

همان‌طور که در مقدمه ذکر شد، هدف این پژوهش، برآورد سهم منابع اصلی آلاینده نیترات در مناطق مختلف دریای خزر است. برای رسیدن به این هدف، از ابزار مدل‌سازی استفاده شده است. با توجه به اهمیت الگوی جریان در خزر، ابزار مدل‌سازی باید بتواند شرایط هیدرودینامیکی بدنه آبی خزر و همچنین انتقال و انتشار آلاینده‌ها (یا آلاینده شاخص) را شبیه‌سازی کند. برای این منظور در این شبیه‌سازی از مدل Mike3 flow model استفاده شده است. این مدل می‌تواند شرایط هیدرودینامیکی را با فرض تغییرات چگالی ناشی از دما و شوری، اعمال باد و اثر کوریولیس شبیه‌سازی کند و امکان شبیه‌سازی انتقال و انتشار آلاینده‌ها در آن فراهم است. در این مدل هیدروگرافی، بدنه آبی خزر روی یک شبکه مثلثی نامنظم اجرا شده است. مدل پایه استفاده شده در بخش هیدرودینامیک این پژوهش را پیش از این، بهلولی و همکاران (۲۰۱۸) اجرا، واسنجی و صحت‌سنجی کرده‌اند. در این مدل شبکه در مناطق کم‌عمق با دقت مکانی ۰/۰۲ درجه در نزدیکی سواحل ایران و در سایر

سواحل خزر، اغلب در سواحل قزاقستان، برای وضعیت‌های مختلف باد نشان داده شده است.

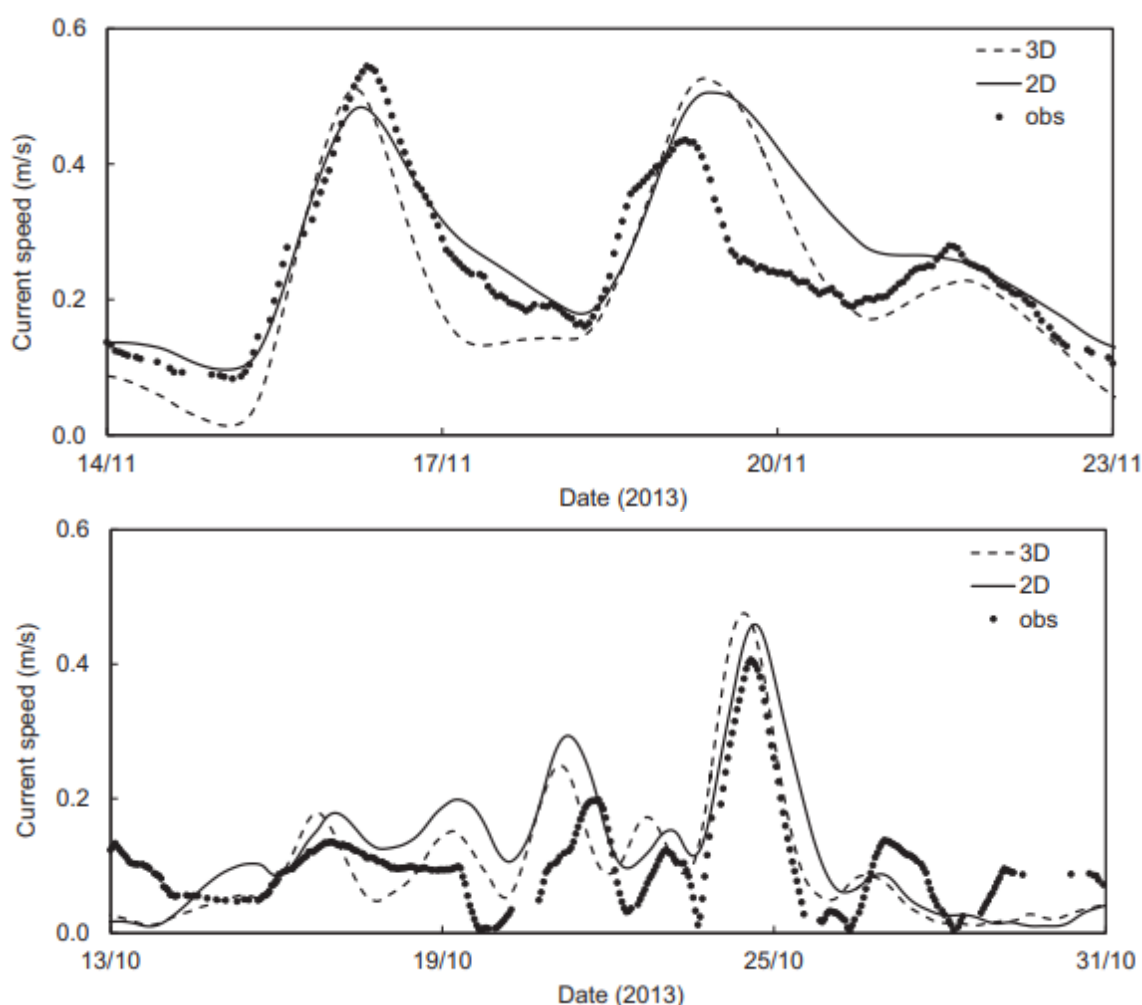
میرزا حسین و همکاران (۱۳۹۳) انتقال سطحی آلودگی نفتی در دریای خزر را با در نظر گرفتن منبع آلودگی در جنوب باکو برای ماه ژانویه سال ۲۰۱۰ به مدت ده روز با استفاده از نرم‌افزار مایک شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد آلودگی نفتی به میزان زیادی در سواحل آذربایجان رسوب کرده است. همچنین در بازه زمانی شبیه‌سازی، آلودگی نفتی به لنکران، جنوبی‌ترین شهر آذربایجان در نزدیکی ایران، رسیده است.

ژو و همکاران (۲۰۱۹) از مدل POM جهت مدل‌سازی نحوه پخش و گسترش آلودگی جیوه از خلیج می‌نامات به دریای یاتسوشیرو استفاده کردند. نتایج مدل‌سازی نشان داد در مرحله اول شبیه‌سازی، جیوه فراوانی رسوب کرده است. بر اثر جریان خروجی از دهانه خلیج، جهت انتقال جیوه به سمت شمال دریای یاتسوشیرو است، در حالی که تصور می‌شد گسترش آلودگی جیوه در حین جزر و مد به سمت غرب دریای یاتسوشیرو است. انتقال جیوه سطحی تحت تأثیر باد قرار دارد و سرعت جریان، باعث انتقال متفاوت آلودگی جیوه در مقایسه با لایه‌های پایین‌تر می‌شود.

ستینا و همکاران (۲۰۰۰)، جریان‌های دریایی دریای ژاپن و نحوه انتقال و پخش آلاینده‌های رادیواکتیو را تحت تأثیر جریان‌های ترموهالاینی و اعمال تنش توپوگرافی شبیه‌سازی کردند. نتایج حاکی از آن بود که نشت آلاینده‌های رادیواکتیو از مکان دفن زباله‌های هسته‌ای پس از گذشت سه سال به عمق ۱۸۰ متری می‌رسد؛ عمقی که ماهیگیری در آن انجام می‌شود. پس از ۲۰ سال، غلظت این مواد به ۹۶ درصد خود می‌رسد و بعد از سپری شدن ۳۰ سال از زمان نشت، آلودگی به بیشترین غلظت خود می‌رسد که این مقدار دو برابر حد مجاز این مواد در آب‌های اقیانوسی است.

مدل WRF با دقت ۰/۱ درجه استفاده شده است که بر پایه داده‌های ECMWF در بازه زمانی ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۳ به دست آمده است. نحوه استخراج این داده در مطالعه قادر و همکاران (۲۰۱۴) تشریح شده است. نمونه نتایج بهلولی و همکاران (۲۰۱۸) درباره شبیه‌سازی جریان در خزر و مقایسه با داده‌های میدانی در شکل ۱ ارائه شده است. شکل ۱ نشان می‌دهد سرعت در مدل دو و سه‌بعدی با داده‌های مشاهده‌ای همخوانی دارد.

مناطق با دقت مکانی تا ۰/۱ درجه ریز شده است. در شبکه سه‌بعدی، در عمق ۳۳، لایه هیبریدی اعمال شده است. در این شبکه عمقی، سه لایه سطحی که در مجموع ۵ متر ضخامت دارند، با الگوی سیگما و ۳۰ لایه باقیمانده زیرین با الگوی شبکه‌بندی ساده موازی با افق تفکیک شده‌اند که در مدل مایک با z نام‌گذاری شده است. ضخامت هر یک از لایه‌های شبکه در بخش لایه‌بندی موازی (z) از ۳ متر در لایه بالایی تا ۱۰۰ متر در لایه نزدیک بستر متفاوت است. برای اطلاعات باد از خروجی



شکل ۱. مقایسه سری زمانی سرعت جریان حاصل از نتایج شبیه‌سازی دوبعدی (2D) و سه‌بعدی (3D) داده‌های مشاهده‌ای (obs) در عمق ۱۰ متر در دو نقطه در آستارا و انزلی (برگرفته از بهلولی و همکاران، ۲۰۱۸).

پذیرفتنی باشد. از آنجا که نیترات رنگ و بو ندارد و در سموم کشاورزی و فاضلاب خانگی موجود است، به صورت مستقیم و غیر مستقیم وارد دریای خزر و رودهای منتهی به آن می‌شود. از طرفی، پارامتر نیترات که یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آلاینده‌ها است و نشان‌دهنده میزان ورود فاضلاب به خزر است، در مقایسه با سایر آلاینده‌ها پایداری بیشتری دارد؛ لذا این فرض دور از واقعیت نیست.

مقدار آلاینده‌های نیترات برای هر منبع، از مقالات مرتبط یا از پژوهش‌کننده اکولوژی دریای خزر (<http://csere.ifsri.ir/>) اخذ شده است. در جدول ۱ مجموعه اطلاعات جمع‌آوری شده درباره منابع آلودگی خزر و محل تأمین هریک از اطلاعات ارائه شده است.

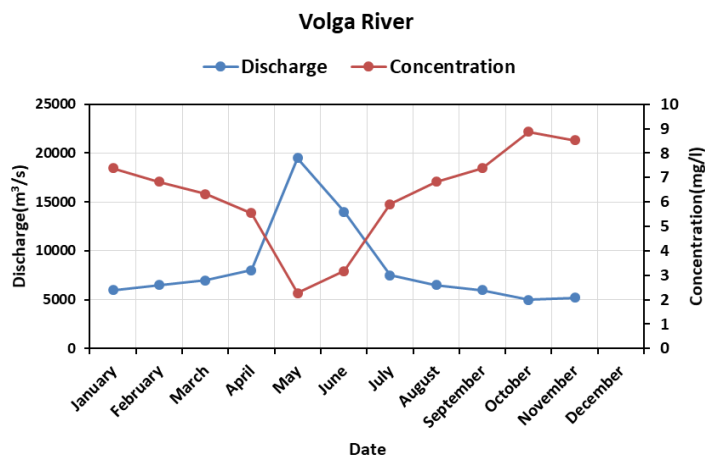
جدول ۱. مقدار گزارش شده آلاینده‌های نیترات در رودخانه‌های اصلی ورودی به دریای خزر، گردآوری شده از منابع مختلف.

شماره	موقعیت منبع	مقدار غلظت (mg/lit)	منابع
۱	سفیدرود	۱/۵	قویدل و همکاران (۱۳۸۸)
۲	چالوس	۱/۱	پژوهش‌کننده اکولوژی دریای خزر
۳	هراز	۱/۵	محسنی بندپی و همکاران (۲۰۱۳)
۴	تجن	۲/۶	احمدی ممقانی و همکاران (۱۳۸۹)
۵	بابلرود	۳/۸۷	صادقی تالارپشتی و همکاران (۱۳۹۹)
۶	کورا	۵	تلام و همکاران (۲۰۰۶)
۷	آبشوران	۴	سالاها و همکاران (۲۰۱۷)
۸	گرگانرود	۰/۹۲	پژوهش‌کننده اکولوژی دریای خزر
۹	تالار	۲/۳۴	صادقی تالارپشتی و همکاران (۱۳۹۹)
۱۰	ولگا	۵/۵	شیلینگ و لیبرا (۲۰۰۰)

دبی استفاده می‌شود تا خروجی مدل به واقعیت نزدیک‌تر باشد. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده تغییرات ماهانه دبی رودخانه‌های مهم ورودی به خزر، غلظت نیترات

در مدل اجرا شده، برای دبی هریک از رودها از سری زمانی ماهانه استفاده شد. از آنجا که مقدار دبی در بعضی از ماه‌ها افزایش یا کاهش می‌یابد، از سری زمانی ماهانه برای

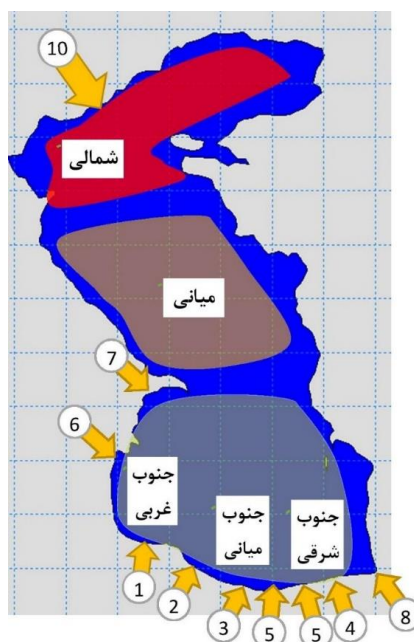
رودها به صورت سری زمانی ماهانه به مدل اعمال شد؛ چون با فرض ثابت بودن بار نیترات، با افزایش (کاهش) دبی، مقدار غلظت نیترات کاهش (افزایش) می‌یابد. در شکل ۲، تغییرات ماهانه دبی رودخانه ولگا و تغییرات غلظت آلودگی این رودخانه در ماه‌های مختلف استخراج و به مدل اعمال شده است.



شکل ۲. سری زمانی دبی و غلظت نیترات خروجی از رودخانه ولگا به دریای خزر.

قسمت جنوبی به سه قسمت جنوب شرقی، جنوب میانی و جنوب غربی تفکیک شده است. به طور کلی در این پژوهش از ده منبع آلودگی برای بررسی برآورد سهم و میزان آلودگی استفاده شده است (شکل ۳).

دریای خزر بر اساس موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های ساختاری بستر، ساختارهای فیزیکی و خصوصیات هیدرولوژیکی به سه بخش خزر شمالی، خزر میانی و خزر جنوبی تقسیم شده است. علاوه بر این، برای درک بهتر،



شکل ۳. تقسیم‌بندی نواحی مختلف دریای خزر و موقعیت منابع آلاینده در دریای خزر (۱) سفیدرود (۲) رود چالوس (۳) رود هرآز (۴) رود تجن (۵) بابل رود (۶) رود کورا (۷) ناحیه آبشوران (۸) گرگان‌رود (۹) رود تالار (۱۰) رود ولگا.

است.  $t$  و زمان  $x$  موقعیت

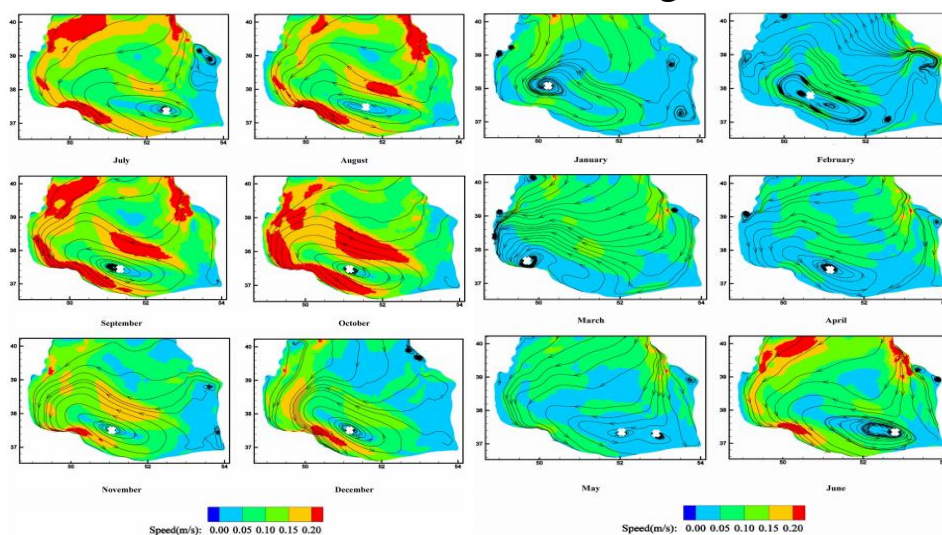
### ۳ الگوی جریان در جنوب دریای خزر

در شکل ۴ الگوی گردش ماهانه جریان سطحی در دریای خزر ارائه شده است. میدان گردش ماهانه از نتایج مدل سه‌بعدی بهلولی و همکاران (۲۰۱۸) محاسبه و استخراج شده است. سه ویژگی مهم برای الگوی گردش ماهانه دریای خزر شناسایی شده است. ویژگی اول، وجود جریانی به سمت شرق در سواحل جنوبی است که این الگو از ماه مه تا نوامبر قوی‌تر است. در سواحل شرقی، جهت جریان اغلب به سمت جنوب است، به‌جز در ماه فوریه که در آن جریان غالب به سمت شمال است. ویژگی دوم، وجود دو سلول چرخشی و یک الگوی قطبی و اچرخشی است که در ضلع غربی دریای خزر جنوبی گزارش شده است. شدت و گسترش این سلول‌ها در ماه‌های مختلف متفاوت است. ویژگی سوم این است که از اواسط تابستان تا پایان زمستان (از اوت تا مارس) مرکز چرخش در جنوب غربی این حوضه است و از بهار تا اواسط تابستان (از آوریل تا ژوئیه) به سمت جنوب شرقی تغییر می‌کند (شکل ۴).

جهت برآورد سهم آلاینده‌ها به لحاظ زمانی و مکانی و بر اساس الگوی ذکر شده، مدل هیدرودینامیک همراه با مدل کیفی برای یک سال و نیم اجرا و نتایج جمع‌آوری شده است. برای پایدار شدن شرایط اولیه در تحلیل‌ها، نتایج شش ماه اول در نظر گرفته نشده است. کلیه تحلیل‌های کیفی و کمی برای دوازده ماه دوم و پس از میانگین‌گیری ماهانه نتایج انجام شده است. برای تحلیل نتایج خروجی داده‌های میانگین‌گیری شده ماهانه، مجموع غلظت میانگین نیترات برای هر ده منبع آلودگی به صورت ماهانه بررسی شده است. مجموع غلظت منابع آلودگی، در عمل به‌عنوان مقدار مطلق شاخص آلودگی (نیترات) در مناطق مختلف شناسایی می‌شود. حال بر اساس مقدار مطلق شاخص آلودگی در هر نقطه و در هر ماه و از طرفی مقدار آلودگی هریک از منابع آلاینده در آن نقطه و در آن ماه می‌توان درصد یا سهم آن منبع آلودگی را در هر زمان و مکان برآورد کرد. معادله (۱) نحوه برآورد سهم یا درصد آلاینده شماره  $i$  را در مکان  $x$  و زمان  $t$  نشان می‌دهد:

$$P_{ixt} = \frac{C_{ixt}}{\sum_{i=1}^{10} C_{ixt}} \quad (1)$$

در  $i$  غلظت آلاینده مربوط به منبع شماره  $C_{ixt}$  که



شکل ۴. میانگین ماهانه گردش سطحی در دریای خزر جنوبی، استخراج شده از شبیه‌سازی عددی برای سال ۲۰۱۳. مراکز گردش‌ها با صلیب مشخص

شده‌اند (برگرفته از بهلولی و همکاران، ۲۰۱۸).

جدول ۲. مقایسه غلظت آلودگی (میلی گرم بر لیتر) برآوردشده با مدل عددی و مقادیر اندازه‌گیری‌شده در نقاط مختلف خزر جنوبی.

شماره	موقعیت زمان	محاسبات مدل (mg/lit)	اندازه‌گیری (mg/lit)	مرجع اندازه‌گیری
۱	آستارا (بهار)	۰/۱۶	۰/۱۸	خسرو پناه و همکاران (۲۰۱۱)
۲	آستارا (تابستان)	۰/۲۱	۰/۳۷	
۳	چمخاله سفیدرود (بهار)	۰/۲	۰/۲۹	
۴	چمخاله سفیدرود (تابستان)	۰/۱۹	۰/۸۷	
۵	لیسار (بهار)	۰/۰۳	۰/۰۳	
۶	لیسار (تابستان)	۰/۲	۰/۸۲	
۷	بابلسر (بهار)	۰/۰۳	۰/۰۳	نجات‌خواه و همکاران (۱۳۸۸)
۸	بابلسر (تابستان)	۰/۰۴	۰/۰۶	
۹	خواجه نفس (بهار)	۰/۰۱۵	۰/۰۳	
۱۰	خواجه نفس (تابستان)	۰/۰۲	۰/۰۵	

دریای خزر سنجیده می‌شود. موقعیت نقاط داده‌های موجود اندازه‌گیری‌شده در شکل ۵ نمایش داده شده است. مقایسه نشان می‌دهد مقادیر اندازه‌گیری‌شده، که در منابع مختلف ارائه شده است، با مقادیر محاسبه‌شده در مدل مشابهتی پذیرفتنی دارند. این اطلاعات در جدول ۲ به صورت کمی ارائه و مقایسه شده است. برای نمونه، شکل ۶ غلظت کلی شیب‌سازی‌شده نترات را برای ماه ژانویه نشان می‌دهد.

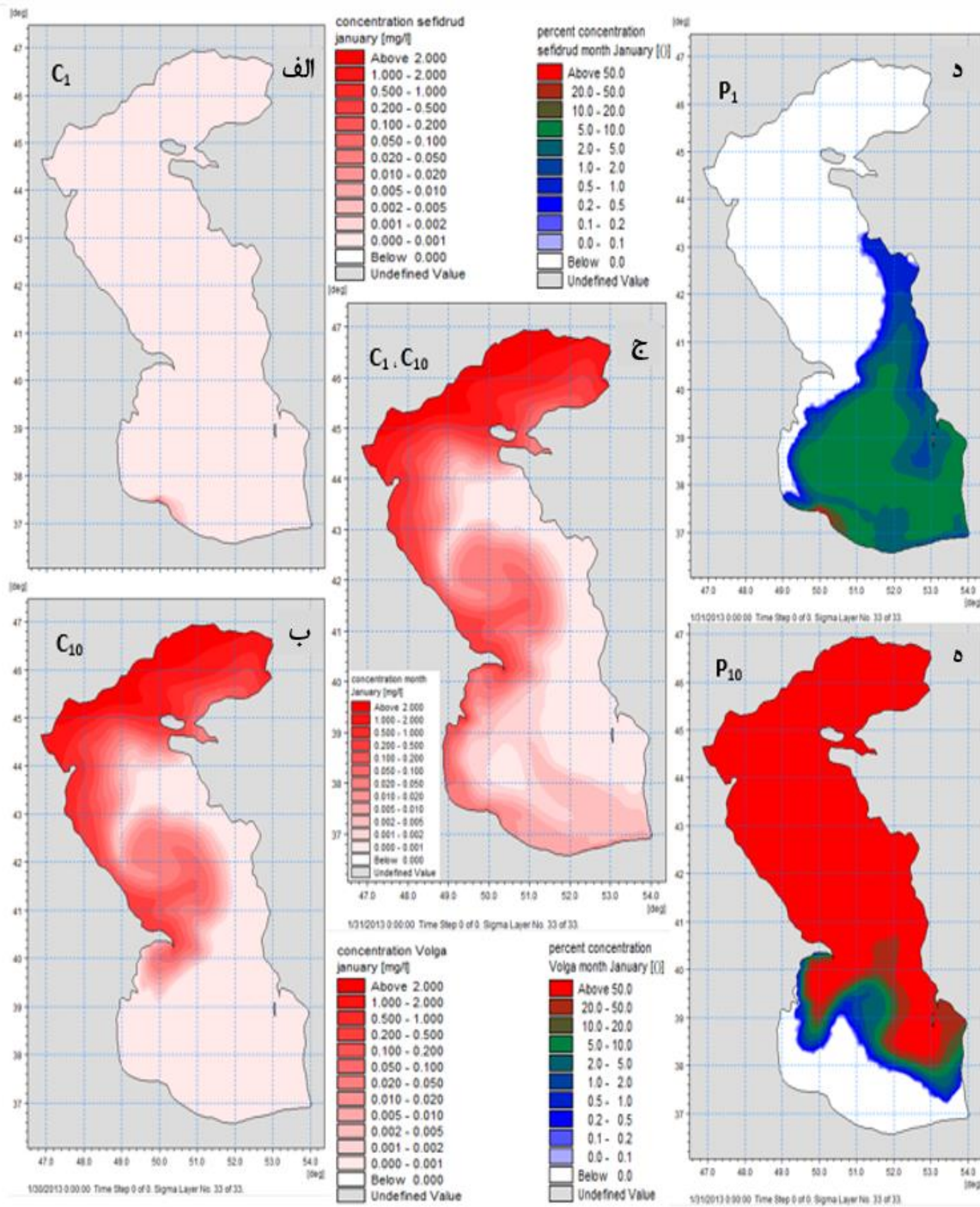
#### ۴ نتایج مدل‌سازی انتشار آلودگی و ارزیابی اولیه نتایج

همان‌طور که پیش از این گفته شد، صحت‌سنجی قسمت هیدرودینامیکی در این مدل در مطالعه بهلولی و همکاران (۲۰۱۸) انجام شده است. در این قسمت ابتدا اعتبار کلی نتایج مدل‌سازی کیفی با مقایسه کردن غلظت آلودگی نترات گزارش‌شده در سایر مقالات و نتایج مقدار آلودگی به‌دست‌آمده از مدل‌سازی در مناطق مختلف



شکل ۵. موقعیت نقاط مقایسه اندازه‌گیری و مدل‌سازی نترات در جنوب دریای خزر.





شکل ۶. نتایج غلظت کلی نیترات در دریای خزر در ماه ژانویه (الف) غلظت ناشی از انتشار آلودگی نیترات از رودخانه سفیدرود (C<sub>1</sub>) (ب) غلظت ناشی از انتشار آلودگی نیترات از رودخانه ولگا (C<sub>10</sub>) (ج) مجموع غلظت‌های ناشی از انتشار آلودگی نیترات از ده نقطه (C<sub>1</sub>, C<sub>10</sub>) (د) درصد اثرگذاری آلودگی خروجی از رودخانه سفیدرود (P<sub>1</sub>) بر مناطق مختلف دریای خزر (ه) درصد اثرگذاری آلودگی خروجی از رودخانه ولگا (P<sub>10</sub>) بر مناطق مختلف دریای خزر.

ماه ژانویه در شکل ۶ نشان داده شده است. همچنین می‌توان سهم هریک از منابع در هر منطقه از دریای خزر را به‌راحتی شناسایی کرد. در ادامه، با استفاده از میانگین غلظت ماهانه، سهم آلاینده‌های هریک از ورودی‌ها به‌صورت درصد و برای هر ورودی به‌صورت جداگانه و تفکیک‌شده برای چهار فصل از سال، در خروجی به‌صورت دوبعدی نشان داده خواهد شد. برای این منظور داده‌های تحلیل‌شده یک ماه از هر فصل انتخاب شده است.

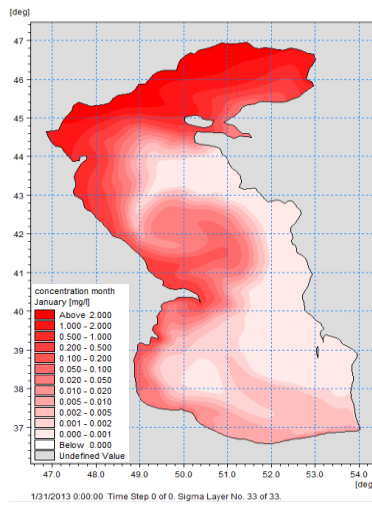
#### ۵-۱ سهم منابع آلاینده در توزیع آلودگی نیترات در ژانویه (فصل زمستان)

شکل ۷ مجموع میانگین ماهانه غلظت در دریای خزر را برای ماه ژانویه، نماینده فصل زمستان، نشان می‌دهد. در این ماه، ناحیه شمالی دریای خزر بیشتر در معرض آلودگی بوده است. در شکل ۸ سهم منابع مختلف آلودگی در دریای خزر برای ماه ژانویه به تفکیک ارائه شده است. در شکل ۸- $P_1$  مشاهده می‌شود اثر آلاینده‌های سفیدرود تنها در ناحیه اطراف و نزدیک مصب بیش از ۵۰ درصد است. همچنین حدود ۵ تا ۱۰ درصد آلودگی در ناحیه جنوبی و جنوب میانی، سهم اثر سفیدرود است. برای رود کورا برآورد سهم آلودگی بیش از ۵۰ درصد است و بیشتر ناحیه جنوب غربی و جنوب میانی را دربرمی‌گیرد. آلودگی ناحیه شمالی و میانی دریای خزر بیش از ۵۰ درصد تحت تأثیر رود ولگا است. در شکل ۸- $P_{10}$  تأثیرگذاری ولگا در مناطق نزدیک به سواحل ایران ناچیز است، اما بر اساس شکل ۸- $P_6$  و ۸- $P_7$ ، آلودگی سواحل ایران به میزان زیادی تحت تأثیر آلودگی رودخانه کورا و آلودگی ورودی به خزر از محدوده آبخوران است.

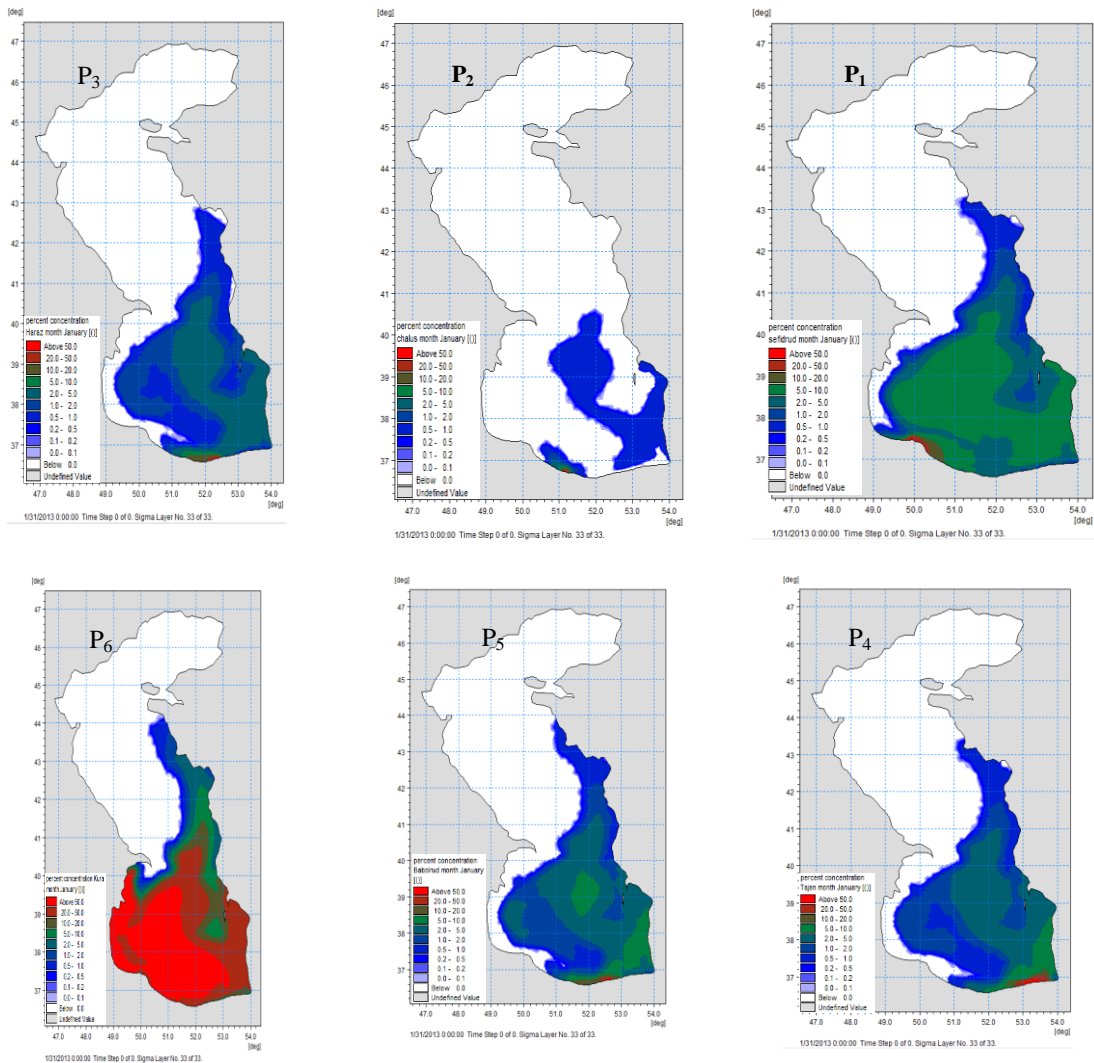
برای برآورد سهم آلاینده‌های مختلف در میزان آلودگی دریای خزر، منابع اصلی آلودگی ورودی با کدهای متفاوت به مدل معرفی می‌شود. این در حالی است که در روش‌های معمول برای شبیه‌سازی یک نوع آلاینده که از منابع مختلف وارد محیط آبی می‌شود، از کد مشابه استفاده می‌شود. استفاده از کدهای متفاوت سبب می‌شود با جمع اثر آلودگی‌های منتشرشده از منابع مختلف، میزان کل آلودگی در هر منطقه برآورد و سهم هریک از منابع در هر منطقه به‌راحتی شناسایی شود. برای این منظور ده نقطه آلودگی در نظر گرفته شد. هریک از آلودگی‌ها، نام و مشخصات متفاوتی دارد ولی جنس این آلاینده‌ها مشابه و همگی از نوع نیترات است.  $C_1$  میانگین غلظت نیترات برای سفیدرود و  $C_{10}$  میانگین غلظت نیترات برای رود ولگا در ماه ژانویه است. همچنین  $C_1, C_{10}$  مجموع غلظت میانگین آلودگی نیترات همه ده منبع آلودگی دریای خزر است.  $P_1$  درصد غلظت میانگین نیترات برای سفیدرود و  $P_{10}$  درصد میانگین غلظت نیترات برای رود ولگا در ماه ژانویه است (شکل ۶).

#### ۵ تحلیل نتایج و ارائه نقشه‌های تعیین سهم منابع مختلف در آلودگی خزر

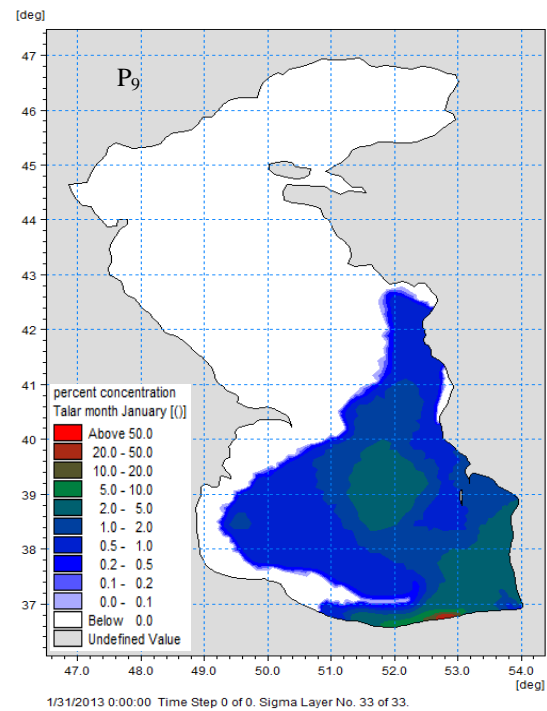
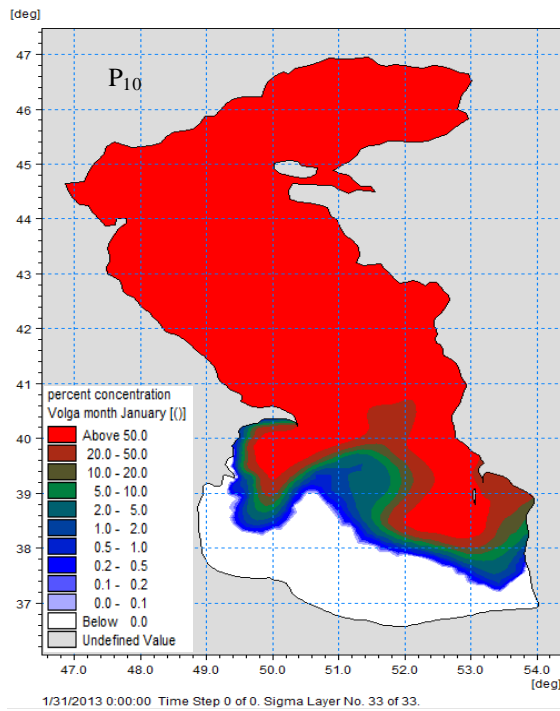
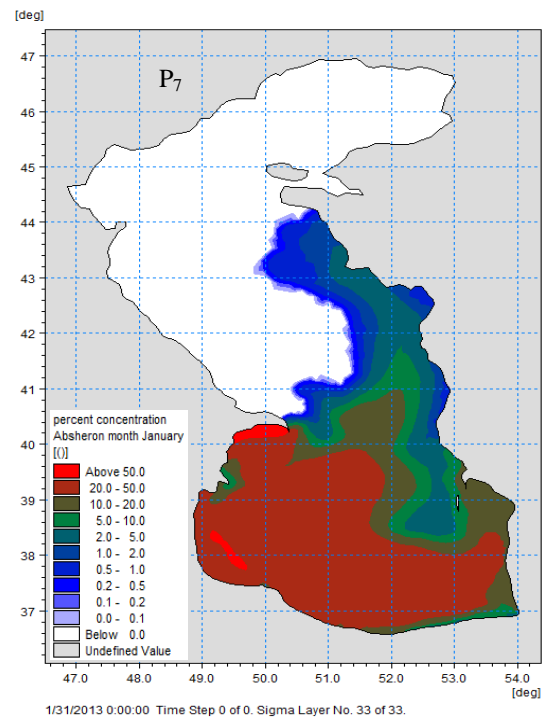
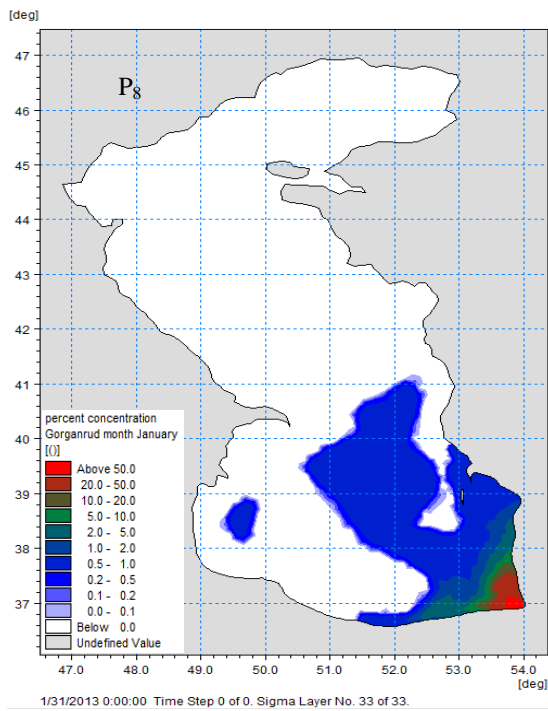
در این پژوهش نحوه پخش آلودگی‌های دریایی در دریای خزر بررسی شده است. پس از اعمال موقعیت منابع و وارد کردن سری زمانی دبی به‌صورت ماهانه و مقدار آلودگی (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)، سهم آلاینده‌های مختلف در مناطق دریای خزر برآورد می‌شود. استفاده از کدهای متفاوت سبب می‌شود بتوان با جمع اثر آلودگی‌های منتشر شده از منابع مختلف، میزان کل آلودگی در هر منطقه را برآورد کرد که نمونه آن برای



شکل ۷. غلظت نیترات (مجموع نیترات منتشر شده از همه منابع آلودگی ورودی به خزر) برای ماه ژانویه.



شکل ۸. برآورد درصد سهم منابع مختلف آلودگی در مناطق مختلف دریای خزر برای ماه ژانویه. P1 درصد سهم رودخانه سفیدرود، P2 درصد سهم رود چالوس، P3 درصد سهم رود هراز، P4 درصد سهم رود تجن، P5 درصد سهم بابلرود و P6 درصد سهم رود کورا است.



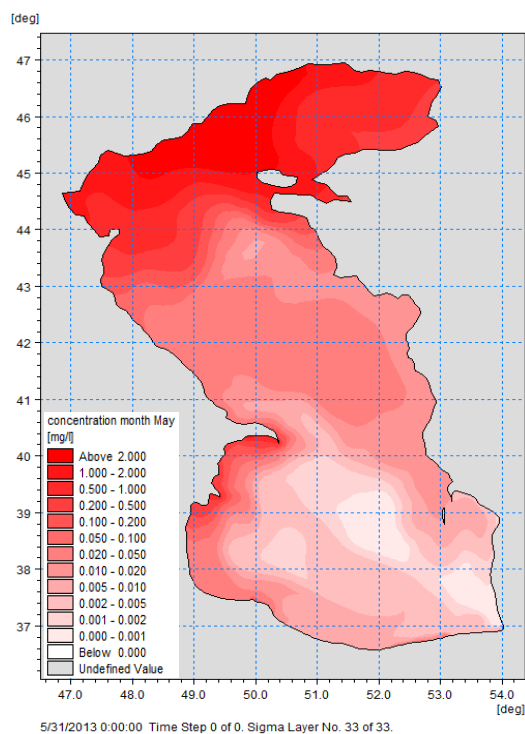
ادامه شکل ۸. برآورد درصد سهم منابع مختلف آلودگی در مناطق مختلف دریای خزر برای ماه ژانویه. P<sub>7</sub> درصد سهم ناحیه آبشوران، P<sub>8</sub> درصد سهم گرگانرود، P<sub>9</sub> درصد سهم رود تالار و P<sub>10</sub> درصد سهم رودخانه ولگا است.

## ۲-۵ سهم منابع آلاینده در توزیع آلودگی

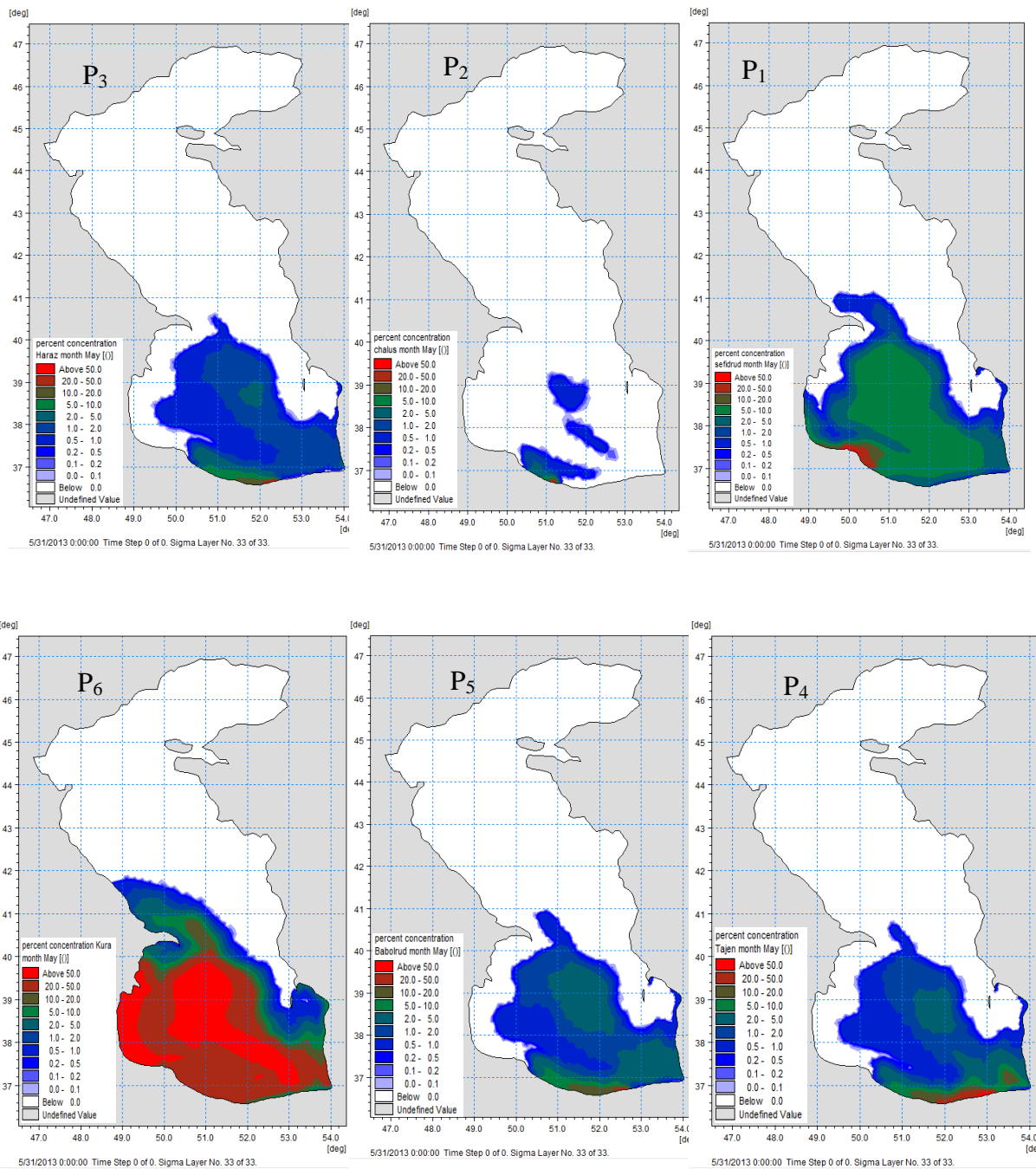
### نیترات برای ماه مه (فصل بهار)

شکل ۹ مجموع میانگین ماهانه غلظت نیترات در ماه مه را نشان می‌دهد که نسبت به ماه ژانویه روند افزایشی داشته و ناحیه شمالی، میانی و جنوب شرقی بیشتر از ناحیه‌های دیگر در معرض آلودگی بوده است. شکل ۱۰- $P_1$  برای ماه مه نشان می‌دهد سهم آلودگی سفیدرود در مصب، نسبت به ماه ژانویه بیشتر شده و آلودگی به سمت شرق

متمایل شده است. شکل ۱۰- $P_6$  نشان می‌دهد در ماه مه، درصد سهم آلودگی برای رود کورا نیز کمتر از ماه ژانویه بوده است. شکل ۱۰- $P_{10}$  نشان می‌دهد در این ماه، آلودگی رود ولگا به سواحل ایران رسیده است. در این ماه بین ۱ تا ۵۰ درصد آلودگی‌های دریایی نزدیک سواحل ایران ناشی از آلودگی‌های ولگا است. ناحیه جنوب میانی دریای خزر سهم کمتری نسبت به ناحیه‌های جنوب غربی و جنوب شرقی دریای خزر دارد.

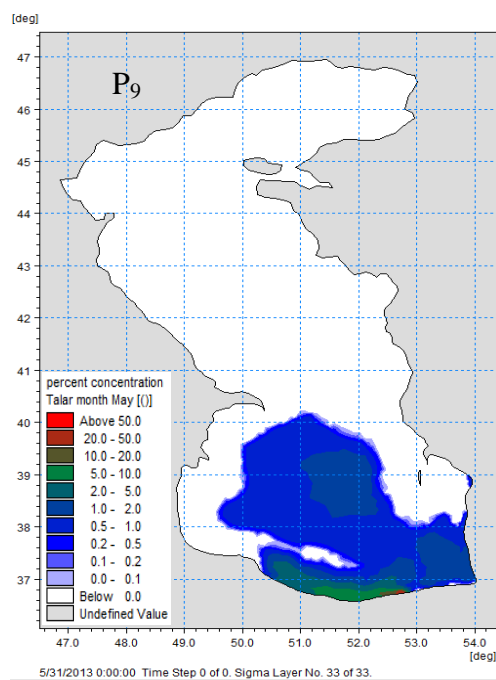
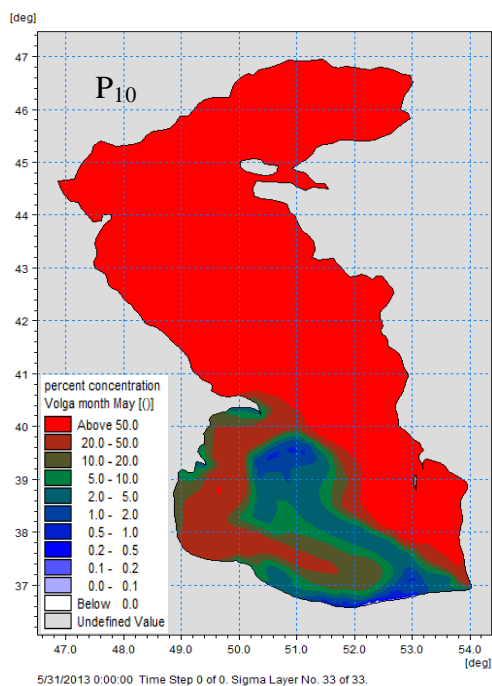
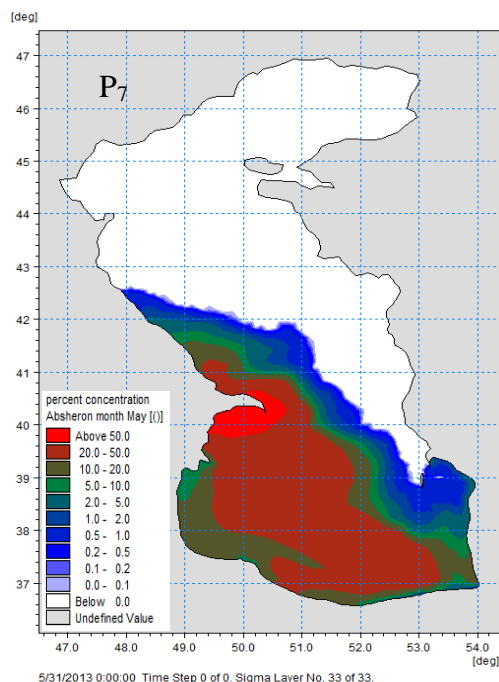
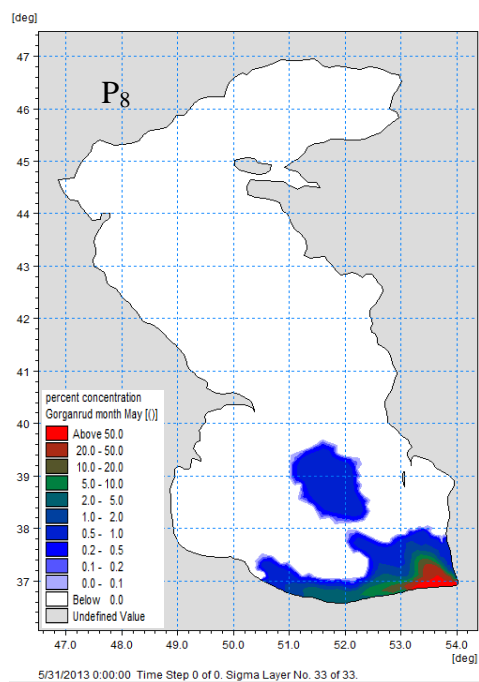


شکل ۹. غلظت نیترات (مجموع نیترات منتشرشده از همه منابع آلودگی ورودی به خزر) در ماه مه.



شکل ۱۰. برآورد درصد سهم منابع آلودگی در مناطق مختلف دریای خزر برای ماه مه. P<sub>1</sub> درصد سهم رودخانه سفیدرود، P<sub>2</sub> درصد سهم رود چالوس، P<sub>3</sub> درصد سهم رود هراز، P<sub>4</sub> درصد سهم رود تجن، P<sub>5</sub> درصد سهم بابلرود و P<sub>6</sub> درصد سهم رود کورا است.





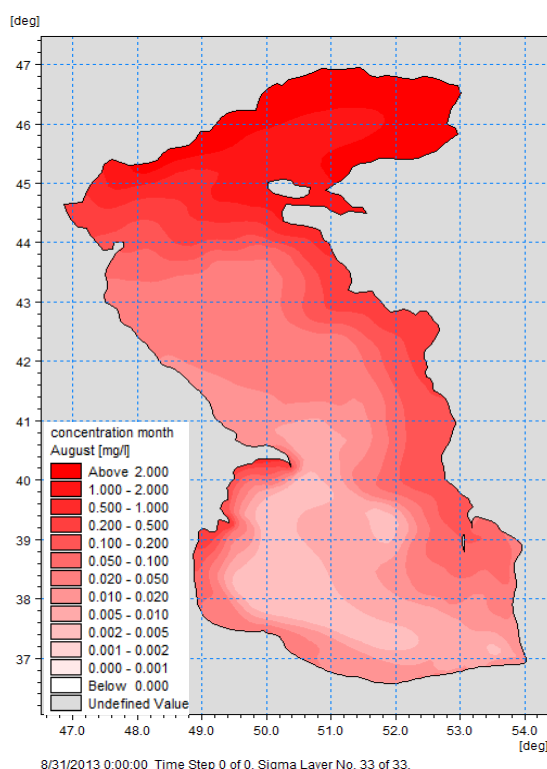
ادامه شکل ۱۰. برآورد درصد سهم منابع آلودگی در مناطق مختلف دریای خزر برای ماه مه. P<sub>7</sub> درصد سهم ناحیه آبشوران، P<sub>8</sub> درصد سهم گرگانرود، P<sub>9</sub> درصد سهم رود تالار و P<sub>10</sub> درصد سهم رودخانه ولگا است.

### ۳-۵ سهم منابع آلاینده در توزیع آلودگی

#### نیترات در ماه اوت (فصل تابستان)

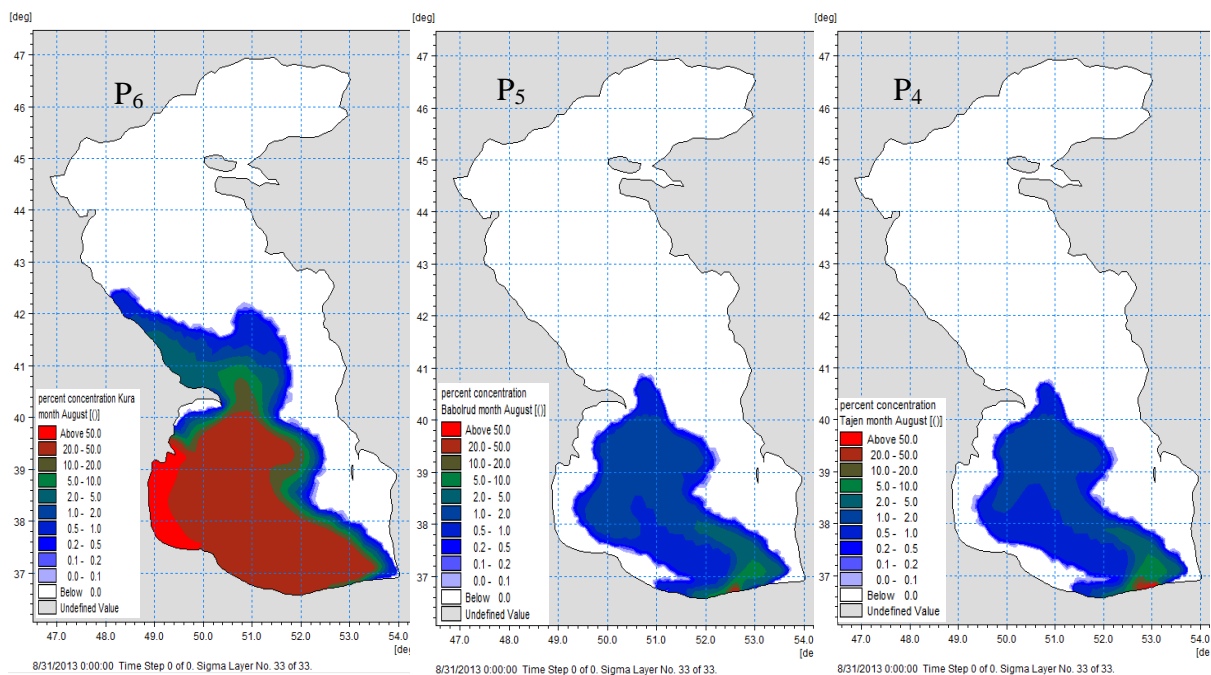
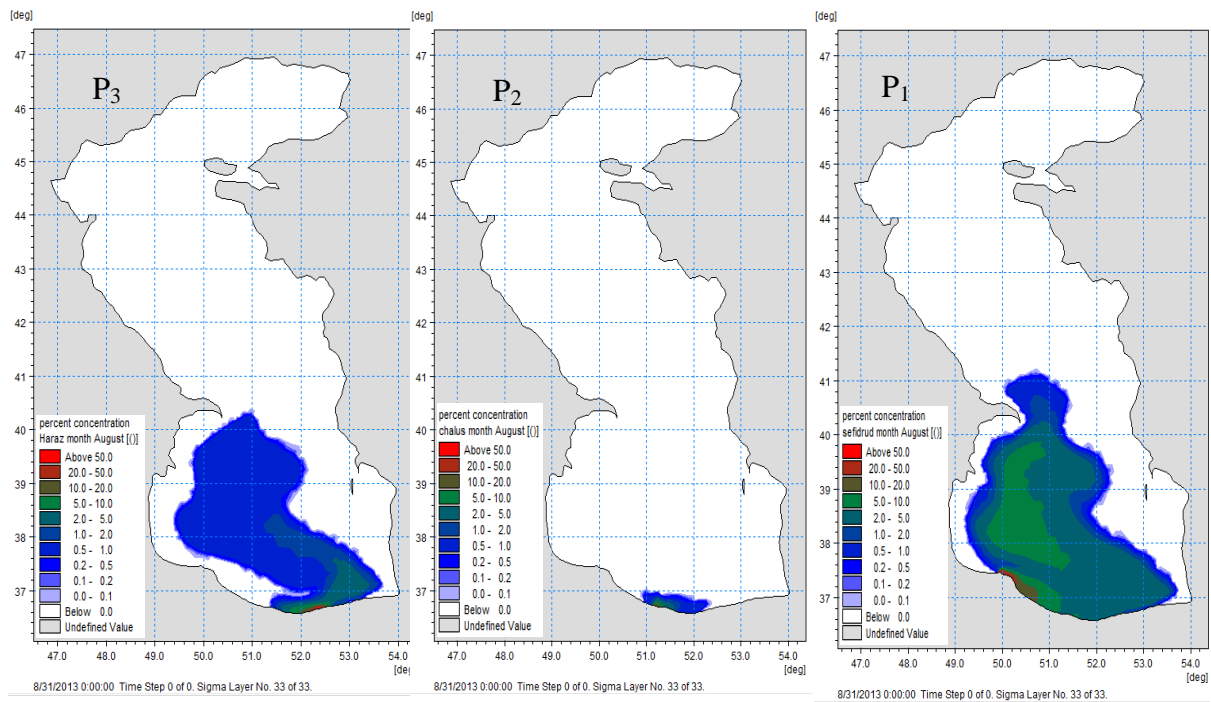
شکل ۱۱ مجموع میانگین غلظت نیترات از منابع مختلف را در ماه اوت نشان می‌دهد. غلظت آلودگی نسبت به ماه قبل (ماه مه) بیشتر است. شکل ۱۲ -  $P_1$  نشان می‌دهد در ماه اوت سهم درصد آلودگی سفیدرود نسبت به ماه مه کمتر شده و در ناحیه جنوب میانی و جنوب شرقی، آلودگی در حدود ۱ تا ۲ درصد تحت تأثیر آلودگی سفیدرود است که مقدار کمی است. شکل ۱۲ -  $P_6$  نشان می‌دهد در بیشتر ناحیه جنوب غربی، سهم

آلودگی رود کورا بیش از ۵۰ درصد است. در ناحیه جنوب میانی دریای خزر، درصد سهم آلودگی نسبت به ماه مه کمتر شده و در ناحیه جنوب میانی و بخشی از جنوب شرقی، حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد آلودگی ناشی از آلودگی کورا بوده است. شکل ۱۲ -  $P_{10}$  نشان می‌دهد در ناحیه شمالی، میانی و جنوب شرقی دریای خزر، بیش از ۵۰ درصد آلودگی‌های نیترات سهم آلودگی ولگا است. در قسمت جنوب میانی و جنوب غربی دریای خزر (سواحل ایران) حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد از آلودگی‌ها تحت تأثیر رود ولگا بوده است.

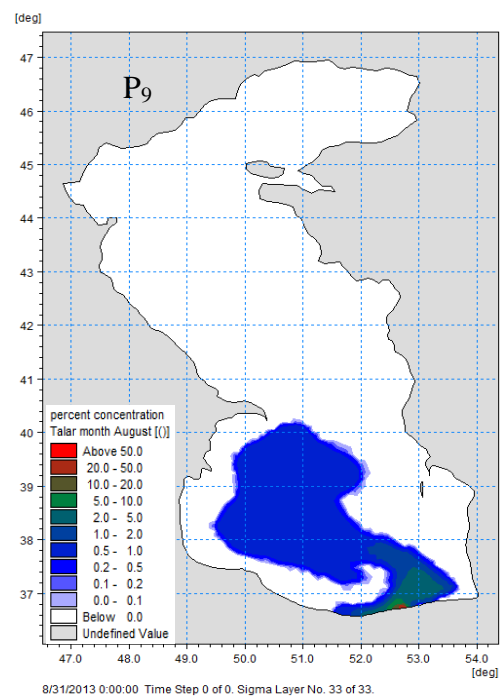
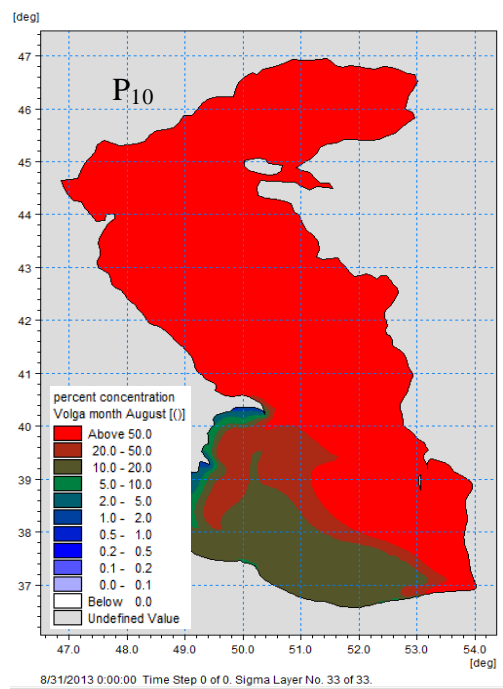
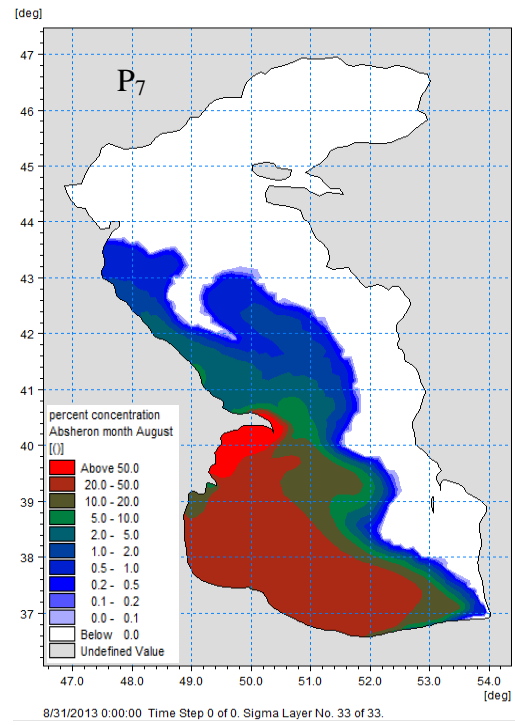
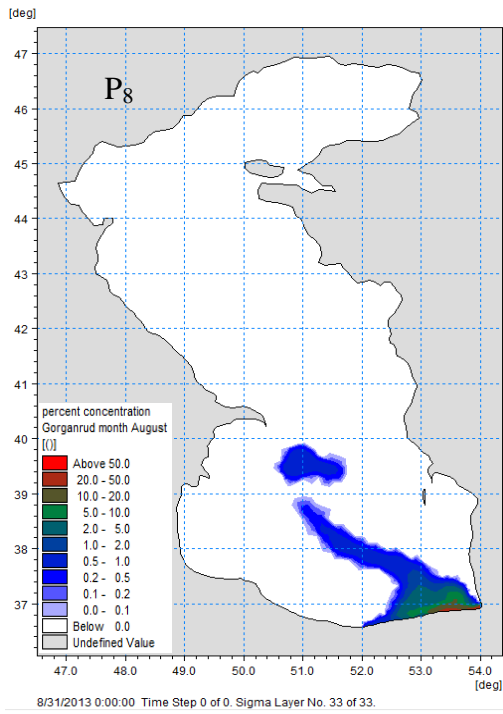


شکل ۱۱. غلظت نیترات (مجموع نیترات منتشرشده از همه منابع آلودگی ورودی به خزر) در ماه اوت.





شکل ۱۲. برآورد درصد سهم منابع مختلف آلودگی در مناطق مختلف دریای خزر در ماه اوت. P<sub>1</sub> درصد سهم رودخانه سفیدرود، P<sub>2</sub> درصد سهم رود چالوس، P<sub>3</sub> درصد سهم رود هرز، P<sub>4</sub> درصد سهم رود تجن، P<sub>5</sub> درصد سهم بابلرود و P<sub>6</sub> درصد سهم رود کورا است.

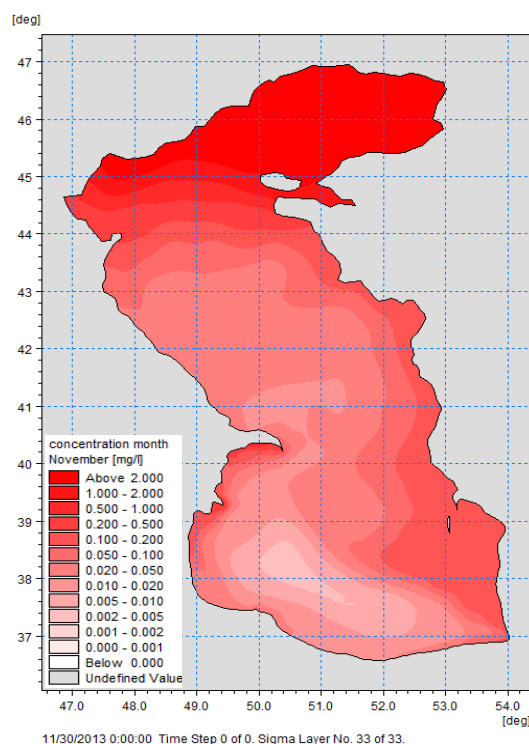


ادامه شکل ۱۲. برآورد درصد سهم منابع مختلف آلودگی در مناطق مختلف دریای خزر در ماه اوت. P<sub>7</sub> درصد سهم ناحیه آبشوران، P<sub>8</sub> درصد سهم گرگانرود، P<sub>9</sub> درصد سهم رود تالار و P<sub>10</sub> درصد سهم رودخانه ولگا است.

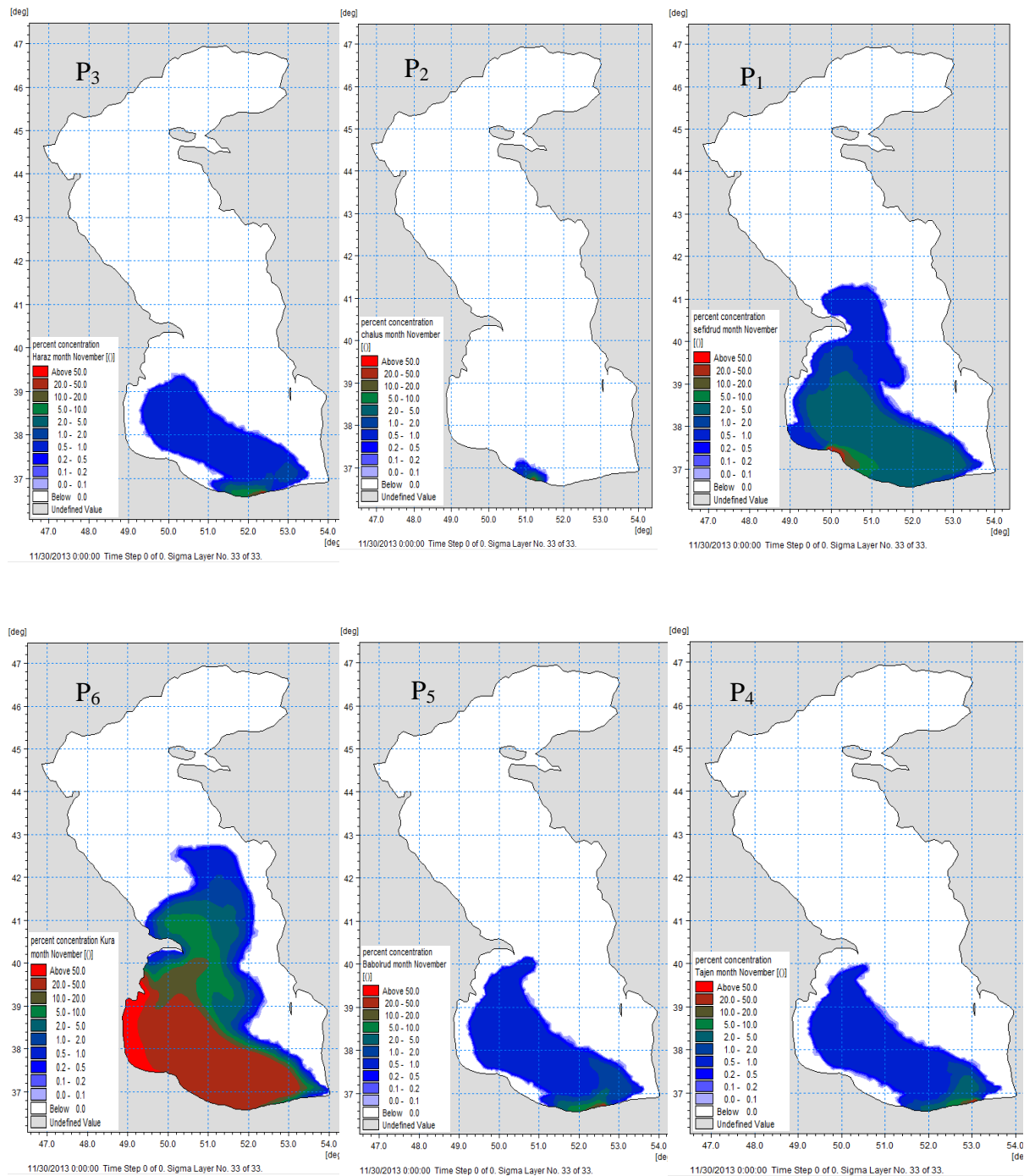
#### ۴-۵ سهم منابع آلاینده در توزیع آلودگی نیترات در نوامبر (فصل پاییز)

شکل ۱۳ غلظت کلی آلودگی نیترات را در ماه نوامبر نشان می‌دهد. شکل ۱۴-P<sub>1</sub> نشان می‌دهد سهم آلاینده‌های سفیدرود در آلودگی کلی محدوده مصب سفیدرود اندکی افزایش یافته است. آلودگی در مصب سفیدرود بیش از ۵۰ درصد تحت تأثیر خود رودخانه سفیدرود است. شکل ۱۴-P<sub>6</sub> نشان می‌دهد ناحیه جنوب میانی، جنوب غربی و قسمتی از جنوب شرقی دریای خزر و سواحل ایران بیشتر از ۲۰ درصد تحت تأثیر آلودگی کورا هستند. همچنین در ناحیه جنوب غربی (از دهانه رود کورا

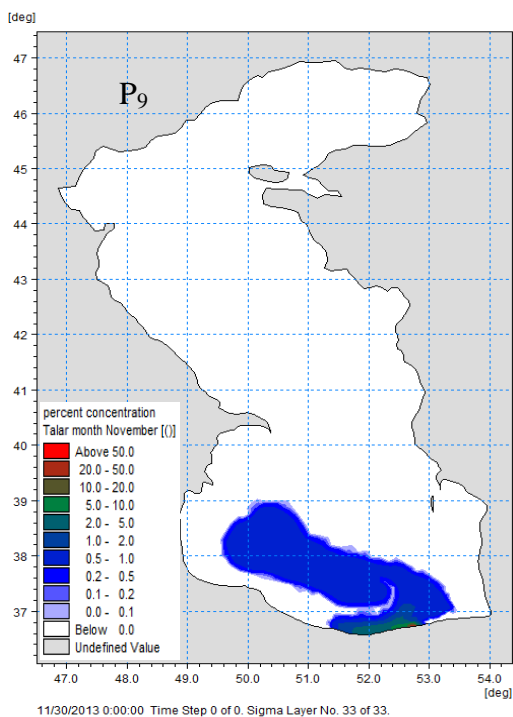
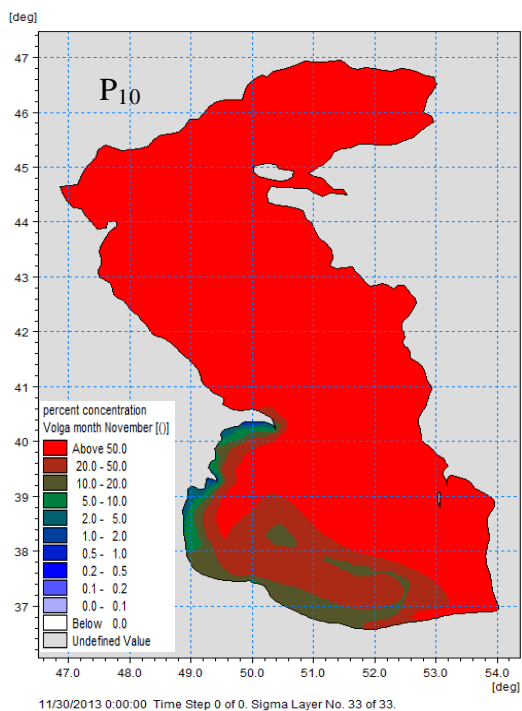
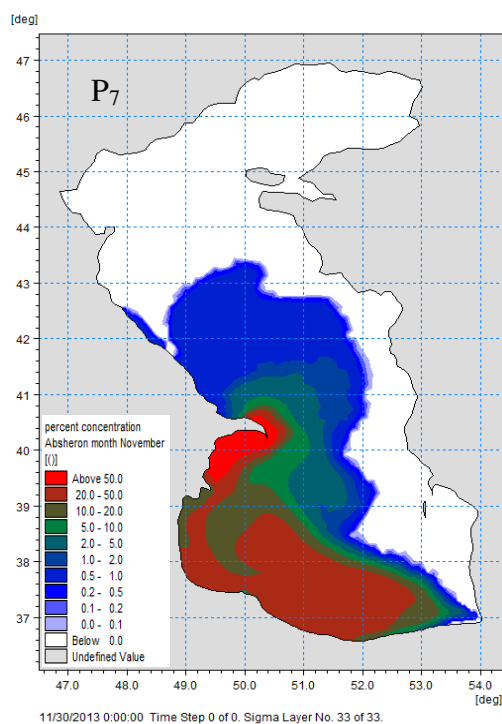
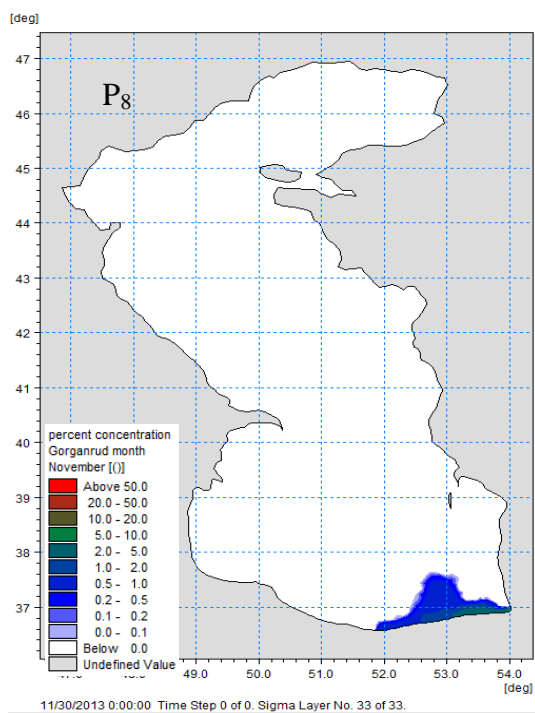
تا آستارا) سهم آلودگی کورا بیش از ۵۰ درصد است. آلودگی رود ولگا نیز همه دریای خزر را دربر گرفته است، ولی هر ناحیه سهم خاصی دارد. در شکل ۱۴-P<sub>10</sub> رود ولگا ناحیه شمالی، میانی و جنوب شرقی دریای خزر را با سهم آلودگی بیش از ۵۰ درصد درگیر آلودگی کرده است. همچنین ۵ تا ۱۰ درصد آلودگی سواحل باکو و قسمتی از سواحل غربی و میانی ایران (سواحل باکو تا سواحل بابلسر) ناشی از ولگا است. به‌طور کلی رود ولگا در ماه نوامبر، حدود ۸۵ درصد از دریای خزر را بیش از ۵۰ درصد تحت تأثیر قرار داده است.



شکل ۱۳. غلظت نیترات (مجموع نیترات منتشر شده از همه منابع آلودگی ورودی به خزر) در ماه نوامبر.



شکل ۱۴. برآورد درصد سهم منابع مختلف آلودگی در مناطق مختلف دریای خزر در ماه نوامبر. P<sub>1</sub> درصد سهم رودخانه سفیدرود، P<sub>2</sub> درصد سهم رود چالوس، P<sub>3</sub> درصد سهم رود هراز، P<sub>4</sub> درصد سهم رود تنجن، P<sub>5</sub> درصد سهم بابلرود و P<sub>6</sub> درصد سهم رود کورا است.



ادامه شکل ۱۴. برآورد درصد سهم منابع آلودگی در مناطق مختلف دریای خزر برای ماه نوامبر. P<sub>7</sub> درصد سهم ناحیه آبشوران، P<sub>8</sub> درصد سهم گرگانرود، P<sub>9</sub> درصد سهم رود تالار و P<sub>10</sub> درصد سهم رودخانه ولگا است.

## ۶ نتیجه‌گیری

با توجه به اولویت و اهمیت آلودگی‌های مختلف در دریای خزر، آلودگی نیترات، که شاخصی مهم است، در این مطالعه بررسی شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد آلودگی عمده دریای خزر تقریباً در همه مناطق شمالی، میانی و جنوبی ناشی از رودخانه ولگا است. این موضوع با توجه به سهم فراوان رودخانه ولگا در تأمین آب دریای خزر دور از ذهن نیست، اما در این مقاله این موضوع با استفاده از شبیه‌سازی تفکیکی منابع مختلف آلودگی و تحلیل آن، کمی‌سازی و میزان اثرگذاری هریک از منابع آلودگی (شامل رودخانه‌های مختلف و از جمله ولگا) در مقدار آلودگی (غلظت نیترات) هر نقطه دلخواه از دریای خزر به صورت درصدی مشخص شده است. به نظر می‌رسد این نتیجه با این ترتیب در سایر منابع تحقیقاتی موجود نبوده است و در قالب یک برآورد اولیه، می‌توان استفاده‌های مختلفی از آن کرد.

در بخش ۴ ابتدا غلظت آلودگی نیترات در کل خزر برای ماه‌های مختلف سال به دست آمد و مقادیر آن در جدول ۲ با اطلاعات میدانی در نقاط نمایش داده شده در شکل ۵ مقایسه شد. مقادیر مدل‌سازی همخوانی به نسبت مناسبی با داده‌های واقعی دارند. البته هدف اصلی این پژوهش، مدل‌سازی مقادیر غلظت آلودگی نیترات در دریای خزر نیست بلکه تعیین سهم منابع مختلف آلودگی در مناطق مختلف در دریای خزر است. در همین حال، صحت‌سنجی برای اطمینان اولیه از مقادیر بار آلودگی ورودی به خزر و ارزیابی نتایج شبیه‌سازی انجام شده است.

در بخش ۵ و زیربخش‌های آن، نقشه‌های توزیع مکانی درصد اثرگذاری منابع آلودگی نیترات بر مناطق مختلف ارائه و چگونگی تأثیرگذاری رودخانه‌های مهم بر سواحل ایران تحلیل و تشریح شده است. این فعالیت برای چهار ماه منتخب از فصول زمستان، بهار، تابستان و

پاییز در زیربخش‌های جداگانه انجام شده است. برای مثال برای ماه نوامبر در شکل ۱۴ - P<sub>10</sub> نشان داده شده است که سهم رودخانه ولگا در آلودگی‌های خزر شمالی، خزر میانی و بخش زیادی از خزر جنوبی بیشتر از ۵۰ درصد است. رود کورا بعد از ولگا بیشترین سهم آلودگی را در دریای خزر دارد. رود ولگا در ماه نوامبر حدود ۸۵ درصد از دریای خزر را بیش از ۵۰ درصد تحت تأثیر آلودگی خود قرار داده است. همچنین رود کورا حدود ۱۸ درصد دریای خزر را بیش از ۲۰ درصد و رود سفیدرود حدود ۲ درصد از دریای خزر را بیش از ۲۰ درصد تحت تأثیر قرار داده است.

با توجه به اینکه به نظر می‌رسد چنین پژوهشی تاکنون درباره اعتبارسنجی برآورد سهم منابع مختلف آلودگی انجام نشده است و اطلاعات تفکیک‌شده در این زمینه در اختیار نیست، ارزیابی بیشتری از نتایج این پژوهش میسر نبود. با وجود این، نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در راستای مطالعات زیست‌محیطی و همکاری‌های مشترک منطقه‌ای برای شناخت، کنترل و کاهش آلودگی‌های مؤثر در دریای خزر استفاده شود.

## منابع

- احمدی ممقانی، ی.، خراسانی، ن.، رفیعی، غ.، ۱۳۸۹، بررسی منابع آلاینده و کیفیت آب رود تجن: نشریه محیط زیست، مجله منابع طبیعی، ۶۳(۴)، ۳۱۷-۳۲۷.
- بدری، م.، فقیهی فرد، م.، ۱۳۹۴، شبیه‌سازی عددی آلودگی نفتی بر اساس الگوی بهینه اغتشاشی جریان و تأثیرات باد و جزرومد: مجله مهندسی مکانیک، ۴۵(۴)، ۱۵-۲۲.
- رحمان، ف.، کرمی خانیکی، ع.، رحمان، ف.، ۱۳۹۳، کاربرد مدل عددی MIKE3 در بررسی وضعیت آلودگی حرارتی نیروگاه: دومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین در علوم مهندسی و پایه، اردبیل.

35. Khosropanah, N., Nejatkhah-Manavi, P., Koohilay, S., and Taghi Naseri, M., 2011, Variations in nitrate and phosphate contents of waters in the Southwest Caspian Sea: *Journal of the Persian Gulf*, **2**(5), 27-34.
- Korotenko, K. A., Mamedov, R. M., and Mooers, C. N. K., 2000, Prediction of the dispersal of oil transport in the Caspian Sea resulting from a continuous release: *Spill Science & Technology Bulletin*, **6**(5-6), 323-339.
- Mirkhalili, S. H., and Mazaheri, S., 2015, Investigation of oil spill distribution in the Southern Caspian Sea affected by seasonal variability impacts: *Journal of the Persian Gulf*, **6**(21), 9-24.
- Mohseni-Bandpei, A., and Yousefi, Z., 2013, Status of water quality parameters along Haraz River: *International Journal of Environmental Research*, **7**(4), 1029-1038.
- Salahova, S. Z., Topchiyeva, S. A., Alakbarov, I. K., and Ramazanov, M., 2017, Influences of chemical pollutants to the biota of the Caspian Sea: *Chemical Engineering Transactions*, **60**, 325-330.
- Schilling, K. E., and Libra, R. D., 2000, The relationship of nitrate concentrations in streams to row crop land use in Iowa: *Journal of Environmental Quality*, **29**(6), 1846-1851.
- Tellam, J. H., Rivett, M. O., Israfilov, R. G., and Herringshaw, L. G., 2006, *Urban groundwater management and sustainability*: Springer Science & Business Media, **74**.
- Zhou, C., Tada, A., Yano, S., and Matsuyama, A., 2019, Mercury dynamic simulation of Minamata Bay by using a three-dimensional numerical model: *Ocean Dynamics*, **69**(2), 175-186.
- روحی چماقستانی، س.، ۱۳۹۵، بررسی علل آلودگی دریا در ایران: سومین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، تهران.
- صادقی تالارپشتی، ر.، ابراهیمی، ک.، هورفر، ع.، ۱۳۹۹، تعیین ضریب زوال آلودگی رودخانه‌های تالار و بابلرود: نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۴)، ۸۲-۹۵.
- قوبدل، آ.، رازدار، ب.، فلاح فیروزکوهی، ف.، ذوقی، م.، ۱۳۸۸، پهنه‌بندی رودخانه سفیدرود با استفاده از شاخص کیفیت آب WQI: همایش ملی انسان، محیط زیست و توسعه پایدار.
- میرزا حسین، م.، آزرمس، ع.، رشیدی ابراهیم حساری، ا.، ۱۳۹۳، شبیه‌سازی عددی انتقال آلودگی نفتی در دریای خزر: شانزدهمین همایش صنایع دریایی، بندرعباس.
- نجات خواه معنوی، پ.، پاسندی، ع.، ا.، سقلی، م.، بهشتی نیا، ن.، میرشکار، د.، ۱۳۸۸، بررسی میزان نیترات و فسفات در حوضه جنوب شرقی دریای مازندران در فصل بهار و تابستان: مجله پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، ۴(۳)، ۱۱-۱۹.
- Bohluly, A., Esfahani, F. S., Namin, M. M., and Chegini, F., 2018, Evaluation of wind induced currents modeling along the Southern Caspian Sea: *Continental Shelf Research*, **153**, 50-63.
- Četina, M., Rajar, R. and Povinec, P., 2000, Modelling of circulation and dispersion of radioactive pollutants in the Japan Sea. *Oceanologica Acta*, **23**(7), pp.819-836.
- Ghader, S., Montazeri-Namin, M., Chegini, F., and Bohluly, A., 2014, Hindcast of surface wind field over the Caspian Sea using WRF model: *Proceedings of the 11th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures, ICOPMAS*, 24-26.
- Karzhaubayev, K. K., 2016, Modeling oil pollution of the Caspian Sea resulting from the Ural and Volga rivers input: *International Journal of Mathematics and Physics*, **7**(2), 30-

## Estimation of contribution of nitrate pollution sources on the spatial distribution of the pollutant in the Caspian Sea

Omid Akbari Asrami <sup>1</sup>, Asghar Bohluly <sup>2\*</sup> and Abbas Ali Aliakbari Bidokhti<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc student, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>3</sup> Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 01 August 2021, Accepted: 01 September 2021)

### Summary

Seas are one of the most important sources of protein in the world. For a long time, it was thought that the oceans are so vast that the amount of their pollutants could be ignored. Nowadays, seawater pollution is a very important issue due to its direct and indirect effects on human life.

Assuming the relatively similar behavior of important pollutants and their different levels of importance, nitrate pollution is considered as a pollutant indicator in the Caspian Sea and is modeled as a conservative parameter in this study. Although these initial assumptions may cause some errors in results, owing to the main purpose of the study which is to determine the amounts of the contribution of main sources of pollution (and not their absolute amounts), the assumptions are largely acceptable.

By modeling different sources of pollutant, the contribution of these sources on spatial distribution of the pollutant in the Caspian Sea has been estimated. The main source of pollution in the Caspian Sea is the Volga River with the Kura River in the second place.

In order to estimate the contribution of different pollutants in the concentration of the pollution in the Caspian Sea, the main sources of pollution are separated and introduced to the model as individual contaminants. However, in conventional methods for simulating a type of contaminant from different sources that enters an aquatic environment, all sources of pollutants are treated in the same way. The modeling of different sources of pollution as different contaminants leads to the fact that superimposing the effects of contaminants emitted from different sources, estimates total concentration of the pollutant indicator in each region, and also, the contribution of each source in different regions can be easily identified. For this purpose, 10 points of pollution sources were considered. Each source has a contaminant with a different name and amount, but with the same characteristics. The result obtained from the advection and dispersion of these sources of pollution is analyzed later to estimate the total concentration of nitrate in the Caspian Sea, and also, to calculate the contribution of each source.

Comparing the concentration of total nitrate of the observed data with the results of numerical model, it is shown that the model has a good accuracy in the Southern Caspian Sea. It seems that it is the first research that considers the contribution of each polluting source in the pollution of different regions of the Caspian Sea. So, the results can be used in other studies about pollution in the Caspian Sea.

**Keywords:** Caspian Sea, Nitrat Pollution, contribution of pollution Sources, Volga River

\*Corresponding author:

bohluly@ut.ac.ir