

کاربرد فن آوری پردازش تصاویر جهت برآورد میزان دوده فرودنشسته در ایران طی جنگ خلیج فارس

- حمید طاهری شهرآئینی، دانشجوی دکترای عمران آب دانشگاه صنعتی شریف
- بهرام ثقفیان، عضو هیات علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
- نادر جلالی، عضو هیات علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
- مسعود تجریشی، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

تاریخ دریافت: اسفند ماه ۱۳۷۹ تاریخ پذیرش: آبان ماه ۱۳۸۰

مقدمه

در نوزدهم ماه فوریه سال ۱۹۹۱، نیروهای عراق چاههای نفت کشور کویت را به آتش کشیدند که این آتش سوزی تا اوایل ماه نوامبر سال ۱۹۹۱ به طول انجامید (۲). سوختن چاههای نفت کویت باعث شد که مقادیر زیادی از گازهای دی اکسید گوگرد، مونوکسید کربن، سولفیدنیروژن، دی اکسید کربن و اکسیدهای نیترژن و همچنین ذراتی مثل هیدروکربنهای ناشی از احتراق ناقص و فلزات سنگین که برای سلامت انسانها و گیاهان خطرناک هستند، در فضا منتشر شوند (۹). داده‌ها و اطلاعات بسیار متفاوتی از وضعیت چاههای نفت کویت در طول جنگ خلیج فارس گزارش شده‌اند و نظرات در مورد بسیاری از مسائل همچون تعداد حلقه چاههای در حال اشتعال و میزان نفت خام سوخته شده بسیار متنوع می‌باشند. اسماعیلی ساری از اشتعال ۶۰۵ حلقه چاه نفت خبر داد (۱)، در حالی که Hosain تعداد حلقه چاههای در حال اشتعال را از گزارشات مختلف ۶۵۶ و ۶۲۵ ذکر کرده است (۹). همچنین در مورد میزان نفت خام در حال اشتعال نیز گزارشات مختلفی در دست می‌باشد.

Kuwait Oil Company از اشتعال ۶ میلیون بشکه نفت خام در روز و Browning و همکاران، Bakan و همکاران، Johnson و Small و همکاران به ترتیب از اشتعال حدود ۱/۴، ۳/۱، ۲-۱/۶ و ۳/۹±۱/۶ میلیون بشکه در روز خبر می‌دهند (۳، ۴، ۱۲، ۱۳، ۱۶). Hosain با بررسی آمار مختلف، عدد ۴ میلیون بشکه در روز را معقول می‌داند که در این مقاله نیز از نتایج مطالعه ایشان استفاده شده است (۹). در مورد تخمین میزان دود و دوده ناشی از آتش سوزی چاههای نفت کویت نیز اختلافات زیادی وجود دارد. مثلاً در هر مورد دوده منتشره، Ferek و همکاران اظهار نموده‌اند که ۰/۴۵ درصد نفت خام سوخته شده تبدیل به دوده می‌شود، در حالیکه Bakan و همکاران از تبدیل ۱۰ درصد نفت خام سوخته شده به دوده خبر می‌دهند (۳). Ransohoff و همکاران طی یک سری آزمایشات تحقیقاتی به این نتیجه رسیدند که به ازاء سوختن هر

چکیده

✓ Pajouhesh & Sazandgi, No 54 PP:86-90

Application of image processing for estimating the amount of soot deposition in Iran after the Persian Gulf war

By: H. Taheri Shahraini, Ph.D. Student of Civil Engineering Department of Sharif University of technology; Saghafeian B., Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Center; Jalali N., Scientific Staff of Soil Conservation and Watershed Management Research Center; Tajrishy M., Assistant Professor of Civil Engineering Department of Sharif University of technology

In late February 1991, the burning of the Kuwaiti oil wells produced and emitted huge amounts of smokes in the region. Because of the importance of environmental impacts and for the completion of related previous studies, the emitted smoke was tracked for several days in February and March by a new image processing method. In this new method, a reference image was for considering the effects of the cloudy regions and another was used for the effects of specific atmospheric and land surface conditions. Therefore the smoke index for Iran and the whole region was determined. According to this index, and considering the burning of about 4 million barrels of crude oil per dag and the amount of spreaded soot by burning a unit of crude oil some analysis was done which resulted in an estimation of soot deposited in Iran. These estimations showed that from the beginning of the burning of oil wells to the end of March, approximately thirty-thousand tons of soot have been deposited in Iran by black rain.

Keywords: Persian Gulf War, Satellite image, NOAA, Air Pollution, Wet deposition, Soot, Smoke Plum, Smoke Index

در اواخر فوریه سال ۱۹۹۱ میلادی، آتش سوزی چاههای نفت کویت منجر به بخش مقادیر زیادی دود در فضای منطقه گردید. با توجه به اهمیت اثرات زیست محیطی و در جهت تکمیل بررسیهای قبلی، دود منتشره توسط یک روش جدید پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای روزهای مختلف ماه فوریه و مارس ردیابی شد. در این روش جدید، به منظور حذف ابر از یک تصویر مرجع و برای در نظر گرفتن اثرات شرایط اتمسفری و سطح زمین از تصویر مرجع دیگری استفاده شد. سپس شاخصهای دود ایران و کل منطقه تعیین گردیدند. با توجه به این شاخص‌ها و سوختن متوسط ۴ میلیون بشکه نفت خام در روز و میزان دوده منتشره به ازای یک واحد نفت خام و با انجام یک سری تحلیل و آنالیز حساسیت، برآورد شد که طی روزهای شروع آتش سوزی تا انتهای ماه مارس، تقریباً ۳۰۰ هزار تن دوده توسط بارانهای سیاه در ایران فرو نشسته است. با استفاده از روش ارائه شده در این تحقیق، می‌توان میزان آلاینده‌های مختلف، که توسط باران سیاه بر زمین نشسته‌اند را نیز تعیین نمود.

کلمات کلیدی: جنگ خلیج فارس، آلودگی هوا، نشست تر، دوده، تصاویر ماهواره‌ای، پلوم دود، شاخص دود

کیلوگرم نفت خام ۷۵ گرم دود تولید می شود و میزان دوده موجود در کل دود، ۷۰٪ می باشد (۱۵).

بررسیهای اولیه نشان می دهد که زیانه دود ناشی از آتش سوزی چاههای نفت کویت، عمدتاً در جهت باد و در ارتفاع ۱ تا ۲ کیلومتر از سطح زمین در حرکت بوده است و ارتفاع حداکثر آن از ۵ کیلومتر تجاوز نکرده است (۶). عدم وجود باد عمودی و حاکمیت نوعی وارونگی هوا در منطقه باعث شد که زیانه دود نتواند به داخل استراتوسفر گسترش یابد. به همین دلیل، اثرات جهانی زیست محیطی تا اندازه های محدود گردید، اگر چه اثرات منطقه ای و محلی باعث خسارات عمده ای شدند. به علت کمبود ایستگاههای سنجش آلودگی هوا و فقدان ارتباط داخلی بین ایستگاههای موجود، فراهم سازی یک مدل جهت پیش بینی رفتار آلاینده های هوا، کاری بسیار مشکل بنظر می رسد (۶). در اولین گردهمایی سازمان جهانی هواشناسی (WMO) که در آوریل سال ۱۹۹۱ در شهر ژنو برگزار شد، توجه خاصی به مدل های جهانی^۱ و منطقه ای^۲ معطوف گردید (۱۸). در دومین گردهمایی WMO در سال ۱۹۹۲، مطالعه اثرات و مدل سازی منطقه ای و محلی^۳ در اولویت قرار گرفتند. در این گردهمایی مدل های ریاضی مختلفی جهت نشان دادن نحوه پخش زیانه دود و توصیف اثرات زیست محیطی ناشی از سوختن چاههای نفت ارائه شدند (۱۹). این مدلها را می توان به دو گروه تقسیم کرد:

الف- مدل های پوشش دهنده محدوده نزدیک که قابل کاربرد در محدوده ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتری از منبع آلودگی می باشند.

ب- مدل های منطقه ای و جهانی که تا هزار کیلومتر از منبع آلودگی را تحت پوشش قرار می دهند.

اما نتایج اکثر مدل های ریاضی مورد استفاده در مقایسه با مشاهدات دوده و آلاینده های گازی و دود تفاوت چشمگیری را نشان می دهند. اکثر مدلها نتوانسته اند تغییرات ویژگیهای جغرافیایی منطقه را که روی تبدیل آلاینده ها تأثیر می گذارند را در نظر بگیرند (۶). از طرفی این مدل های ریاضی به داده های بسیار زیادی درباره ترکیب آلاینده ها در محل منبع، نرخ پراکنش و ویژگیهای هواشناسی محلی نیاز دارند و به علت محدودیت داده های موجود از آتش سوزی چاههای نفت کویت، استفاده از این مدلها محدود شده است (۹). در این تحقیق، امکان استفاده از مدل های ریاضی به دلایل فوق فراهم نگردید و از دسته ای دیگر از مدل های متکی بر پردازش تصاویر ماهواره ای استفاده شد.

تحقیقات متعددی بر پایه تفسیر تصاویر ماهواره ای در بررسی اثرات جنگ خلیج فارس انجام شده است. نتایج نشان داده اند که دود به شدت دستخوش تغییر می باشد، به نحوی که حتی حرکت آن در مقیاس روزانه غیر قابل پیش بینی است. یکی از سه جهت عمده حرکت آلاینده ها، حرکت مستقیم به سمت شرق (ایران) می باشد (۵، ۱۴) به نحوی که تصاویر ماهواره ای حرکت زیانه دود را به سمت مرزهای ایران، به خاطر وجود یک ناحیه کم فشار در ایران در روزهای مورد بررسی، تصدیق می کنند (۱۷) Limaye و همکاران با مقایسه مشاهدات ماهواره ای و بادهایی که از پیش بینی های مدل های عددی بدست آمده بودند، حسن نتیجه گیری کردند که بیشتر دود در بین محدوده فشارهای ۷۰۰ تا ۸۵۰ میلی بار مستقر بوده اند. این نظریه نشان داد که بر اساس



شکل ۱- تصویر باند ۲ ماهواره NOAA پس از حذف محدوده خلیج فارس



شکل ۲- تصویر بدست آمده پس از حذف مناطق ابری از تصویر شاخص دود SI



شکل ۳- تصویر شاخص دود SI که پس از اعمال اثرات زطوبت بدست می آید.

جدول شماره ۱- مجموع شاخصهای دود ایران (ISI) و منطقه (RSI) و درصد دود ورودی به ایران (PS) در روزهای مختلف مورد بررسی

تاریخ	RSI	ISI	PS
۱مارس	۳۳۸۲	۱۵۶۲	۴۶
۳مارس	۳۱۵۰	۱۲۲۶	۳۸
۷مارس	۱۰۹۰	۳۳۳	۳۰
۹مارس	۲۱۱۱	۴۶۷	۳۱
۱۰مارس	۱۷۸۹	۱۲۲۰	۶۸
۱۱مارس	۲۲۴۵	۵۰۳	۲۲
۱۲مارس	۲۷۷۶	۹۷۹	۳۵
۲۰مارس	۲۶۱	۱۸۲۷	۶۹
۲۷مارس	۱۷۱۶	۷۰۳	۴۱
۲۸مارس	۲۴۲۶	۱۳۰۷	۵۴
۲۹مارس	۳۸۹۸	۲۲۸۸	۵۸
۲۳فوریه	۴۵۳۲	۲۰۲۹	۴۴
۲۵فوریه	۲۸۹۲	۲۸۴	۱۰

برای انجام این تحقیق لازم است که ابتدا پراکنش دود در منطقه بصورت روزانه مدل‌سازی شود تا میزان دود بر روی مناطق مختلف کشور تعیین گردد. سپس با استفاده از برآورد میزان کل دوده و نسبت دوده ورودی به ایران، می‌توان برآوردی از کل دوده فرو نشسته در ایران توسط بارانهای سیاه را بدست آورد.

روش کار و داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای GAC^۴ و متوسط روز باند ۲ سنجنده AVHRR^۵ از ماهواره NOAA^۶-۱۱ استفاده شد. تصاویر GAC دارای قدرت تفکیک حدود ۴ کیلومتر می‌باشند (۲). تمامی تصاویر از مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR)^۷ بر روی نوار دریافت شده بودند که اطلاعات نوارها پس از تبدیل به فرمت Erdas-Lan به CD منتقل گردید (۲). برای پردازش تصاویر از نرم‌افزار ILWIS (۱۰) استفاده شد. شکل ۱- یک نمونه تصویر خام باند ۲ منطقه تحت تأثیر دود پس از حذف محدوده خلیج فارس را نشان می‌دهد. زمان برداشت این تصویر، ساعت ۱۰ صبح روز دوازدهم مارس سال ۱۹۹۱ به وقت گرینویچ می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه در محدوده طول جغرافیایی (۱۳°E و ۵۷°E - ۴۸°E) و محدوده عرض جغرافیایی (۳۰°N و ۳۳°N - ۲۱°N) واقع شده است.

در این مرحله لازم است که در مورد مدل شاخص دود مرجع (۲) توضیح مختصری ارائه شود. مدل مذکور به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود و چون برای مناطق آبی کاربرد ندارد، محدوده خلیج فارس از تمامی تصاویر حذف شده است:

$$SI = 1 - \left(\frac{RI}{RCI} \right)^{0.5}$$

که در آن:

SI: نقشه شاخص دود،

RI: تصویر ماهواره‌ای خام باند ۲ ماهواره NOAA پس از حذف محدوده خلیج فارس و

RCI: تصویر مرجع می‌باشند.

منظور از تصویر مرجع، تصویری کاملاً صاف از سطح زمین است که هیچگونه ابر، دود و یا مه در آن وجود ندارد. Aminipouri و همکاران این تصویر مرجع را بوسیله دو تصویر صاف از ماه می و ژوئن سال ۱۹۹۱ ساختند (۲). در این تحقیق از این تصویر مرجع جهت حذف نقاط ابری استفاده شد. در نقشه SI بدست آمده از رابطه ۱- مقادیر کوچکتر از صفر نشان‌دهنده وجود ابر، صفر نشان‌دهنده هوای صاف و نبود دود در جو و در غیر این دو حالت نشان‌دهنده حضور دود است. به دلیل عدم وجود اطلاعات مربوط به دود سال ۱۹۹۱ میلادی، کالیبراسیون این مدل امکان‌پذیر نمی‌باشد و در این تحقیق سعی شده است که این مدل برای بازه زمانی مورد نظر، توسعه و بهبود داده شده و از آن جهت برآورد میزان دوده فرو نشسته در ایران استفاده شود. حذف مقادیر منفی از نقشه شاخص دود نقشه‌ای بدون مناطق ابری را نتیجه می‌دهد که آنرا CSI می‌نامیم. شکل ۲- یک نمونه از این تصویر را نشان می‌دهد که مربوط به ساعت ۱۰ روز دوازدهم ماه مارس سال ۱۹۹۱ به وقت گرینویچ می‌باشد.

ماههای بارانی مورد نظر، فوریه و مارس، از ماههای مرطوب سال به شمار می‌روند و از نظر شرایط اتمسفری

مراجعه گردد. تفاوت مدل‌سازی انجام شده در این تحقیق با مدل Aminipouri و همکاران در استفاده از تصویر مرجع اضافی، جهت در نظر گرفتن اثرات شرایط اتمسفری و سطح زمین خاص (همچون پوشش گیاهی، رطوبت خاک و زاویه خورشیدی) ماههای فوریه و مارس می‌باشد (۲).

علاوه بر اثرات آلودگی هوای ناشی از سوختن چاههای نفت کویت، می‌توان به نشست تر و خشک این آلاینده‌ها اشاره کرد. با توجه به اینکه عمده بارشهای منطقه پس از آتش‌سوزی در ماه فوریه و مارس رخ داده و در این دو ماه بیشترین تعداد چاه نفت در حال اشتعال بوده‌اند (۲)، در نتیجه مقادیر زیادی از آلاینده‌های هوا طی ماههای فوریه و مارس امکان فرونشست بر روی زمین را یافته‌اند. هدف از این تحقیق برآورد میزان دوده‌ای است که در ایران توسط بارانهای سیاه ماه فوریه و مارس بر زمین نشست‌اند.

بررسی تصاویر ماهواره‌ای بادهای کم سرعت مربوط به فشار ۸۵۰ میلی بار (ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متر) و جهت آنها از غرب به شرق می‌باشد (۱۴). این نتایج نشان می‌دهد که دودی که وارد ایران شده است دارای ارتفاع زیادی بوده و احتمال فرونشست آن به صورت خشک کمتر از دودی بوده که در جهات دیگر حرکت کرده است. البته پروازهای هوایی نشان داده‌اند که عمده توده جرم آلاینده، به‌طور طبیعی طی چند روز تا یک هفته از تروپوسفر حذف شده‌اند (۸).

Aminipouri و همکاران با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، مدلی جهت ردیابی دود ناشی از سوختن چاههای نفت کویت ارائه کردند. در این تحقیق نیز اساس مدل‌سازی پراکنش دود، بر پایه مدلی است که توسط ایشان ارائه گردید (۲). در قسمت بعد در مورد این مدل توضیح داده خواهد شد. جهت اطلاع کامل از این مدل و پارامترهای مختلف آن به مراجع (۲) و (۱۱)

و سطح زمین با ماههای می و ژوئن تفاوت زیادی دارند مثلاً سطح خاک منطقه طی این ماهها عموماً دارای رطوبت است در حالی که تصویر مرجع مربوط به ماه می و ژوئن است که در این ماهها رطوبت زمین کم است. همچنین زاویه خوردشیدی و پوشش گیاهی منطقه در ماههای فوریه و مارس با ماههای می و ژوئن متفاوت است. لذا اثرات اتمسفری و سطح زمین خاص منطقه در ماههای مورد مطالعه در این تصویر مرجع به خوبی لحاظ نشده است. به همین خاطر مقادیر بزرگتر از صفر در تصویر شاخص دود (SI) در صورتی می‌توانند دود باشند که اثرات شرایط اتمسفری و سطح زمین در تصویر مرجع گنجانده شده باشند. برای ساختن چنین تصویر مرجعی، از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به روزهای قبل از شروع آتش‌سوزی در ماه فوریه، استفاده شد و تصویر مرجع جدیدی به نام RHI که در آن اثرات شرایط اتمسفری و اقلیمی تا حد امکان در نظر گرفته شده بود، بدست آمد. سپس رابطه ۱- به صورت معکوس به تصویر شاخص دود (CSI) اعمال شد (رابطه ۲)، تا تصویر خام بدون ابر باند ۲ ایجاد شود تا بتوان در مراحل بعدی پردازشهای لازم جهت بهبود نتایج مدل را بدست آورد و مدل مذکور را توسعه داد. رابطه ۲، بصورت زیر بیان می‌شود:

$$RNC = RCI - [1 - CSI]^2 \quad (2)$$

که RNC تصویر خام باند ۲ است که نقاط ابری آن حذف شده است.

سپس رابطه ۱- به تصویر RNC اعمال گردید (رابطه ۳) که در این قسمت برای اعمال اثرات شرایط اتمسفری و سطح زمین منطقه، از تصویر مرجع جدید (RHI) استفاده شده است.

$$SHI = 1 - \left(\frac{RNC}{RHI} \right)^{0.5} \quad (3)$$

SIH نقشه شاخص دود بر اساس تصویر مرجع است.

اگر مقادیر منفی تصویر شاخص دود SIH تبدیل به صفر شوند، نقشه شاخص دود منطقه بدست می‌آید. در این تصویر شاخص دود که SI نامیده شده، مناطق ابری و خلیج فارس از تصویر حذف شده‌اند. شکل ۳- یک نمونه از تصویر شاخص دود SI را نشان می‌دهد که مربوط به ساعت ۱۰ روز دوازدهم ماه مارس سال ۱۹۹۱ میلادی به وقت گرینویچ می‌باشد

عملیات فوق بر روی تصویرهای ۱۳ روز مختلف از ماههای فوریه و مارس اعمال شد. در تصاویر روزهای انتخابی میزان ابر داخل و خارج ایران اختلاف چشمگیری نشان ندادند و در منطقه چاههای نفت تیز ابری وجود نداشت. لیست تصاویر روزهای انتخابی در ستون اول جدول ۱- نشان داده شده‌اند.

تعداد سلولهایی که خلیج فارس را در تصویر شکل ۳ در بر می‌گیرد، ۹۶۵۶ سلول می‌باشد. کل سرزمینهای داخل و خارج ایران در تصویر شکل ۳- شامل ۶۲۳۲۴ سلول و محدوده داخل مرز ایران در محدوده تصویر ۲۳۴۹۸ سلول می‌باشد. مقادیر شاخص دود سلولهای مختلف نقشه SI در راهنمای شکل ۳- نشان داده شده است. اگر مقادیر سلولهای مختلف نقشه شاخص دود SI در داخل ایران و کل منطقه جمع زده شوند، به ترتیب مجموع مقادیر سلولهای تصویر شاخص دود SI برای مناطق داخل ایران (VI) و مجموع مقادیر سلولهای تصویر شاخص دود SI برای کل منطقه (VR) بدست

می‌آیند. البته نقاط ابری در این محاسبه نقش ندارند چونکه همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، مناطق ابری از تصویر حذف شده‌اند. از طرفی جهت گنجاندن اثر نقاط ابری در مقادیر VI و VR، بایستی این مقادیر در عکس نسبت ابرناکی مناطق مربوطه آنها ضرب شوند. عکس نسبت ابرناکی با تقسیم تعداد سلولهای هر منطقه به تعداد سلولهای معلوم همان منطقه (سلولهای حذف نشده و دارای مقادیر) محاسبه می‌شود.

اکنون با توجه به مطالب مذکور، دو پارامتر تحت عنوان مجموع شاخص‌های دود ایران و منطقه برای تصویر SI بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$SI = VI \times \frac{23498}{NI} \quad (4)$$

$$RSI = VR \times \frac{62324}{NR} \quad (5)$$

که SI: مجموع شاخص‌های دود ایران، VI: مجموع مقادیر سلولهای تصویر شاخص دود SI برای مناطق داخل ایران،

NI: تعداد سلولهای معلوم داخل ایران، RSI: مجموع شاخص‌های دود منطقه،

VR: مجموع مقادیر سلولهای تصویر شاخص دود SI برای کل منطقه

NR: تعداد سلولهای معلوم کل منطقه می‌باشند.

اکنون با استفاده از رابطه ۴- می‌توان درصد دود ورودی به ایران را محاسبه نمود:

$$PS = \frac{SI}{RSI} \times 100 \quad (6)$$

که PS درصد دود ورودی به فضای ایران بدون در نظر گرفتن محدوده خلیج فارس را نشان می‌دهد.

نتایج

با استفاده از ۱۳ تصویر پردازش شده، پارامترهای مختلف رابطه ۶- و مقادیر PS محاسبه شد (جدول ۱). با میانگین‌گیری از اعداد درصد دود ورودی به ایران در جدول ۱- و بدون در نظر گرفتن سهم دود خلیج فارس، عدد ۴۲ درصد بدست می‌آید. نزدیکی خلیج فارس به محل آتش‌سوزی و همچنین وجود یکی از سه جهت عمده باد به سمت خلیج فارس (۵، ۱۴)، باعث می‌شود که وزن دود دریافتی منطقه خلیج فارس بیشتر از دیگر مناطق در نظر گرفته شود. در این تحقیق به منظور حذف اثرات خلیج فارس این وزن ۱/۵ برابر در نظر گرفته شده است. آنالیز حساسیت انجام شده بر روی این وزن، نشان می‌دهد که به‌ازای افزایش این وزن از مقدار ۱ به اندازه ۵۰ درصد، میزان دود ورودی به ایران فقط ۹ درصد (از مقدار ۳۶/۴ به مقدار ۳۳/۴ درصد از کل دود منطقه) کاهش می‌یابد. علت این امر کوچکی مساحت خلیج فارس نسبت به کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد و به همین دلیل خلیج فارس سهم بسیار کمی از میزان کل دود منتشره را به خود اختصاص می‌دهد و تأثیر آن روی میزان دود ورودی به ایران و منطقه کم است. در نتیجه میزان دود ورودی به ایران حساسیت زیادی نسبت به این وزن ندارد. درصد دود دریافتی توسط خلیج فارس بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$PG = 1/5 \times \frac{9656}{(9656 + 62324)} \times 100 = 20$$

که PG درصد دود ورودی به محدوده و فضای خلیج فارس از کل دود منتشره می‌باشد.

بدین ترتیب سهم خلیج فارس از کل دود منتشره، ۲۰ درصد می‌باشد و در نتیجه دود ورودی به ایران تنها ۳۳/۴ درصد (۵/۸×۴۲) است. اما مقداری از دود ورودی به ایران قبل از اینکه توسط نزولات جوی بر زمین بنشینند از ایران خارج شده و یا اینکه بصورت خشک بر زمین فرونشسته‌اند. نشست خشک در مورد دود ورودی به ایران، طی ماههای فوریه و مارس کم است زیرا همانطور که در مقدمه اشاره شد، دود ورودی به ایران از ارتفاع نسبتاً زیادی برخوردار بوده است (۱۴) و ماه فوریه و مارس هم ماههای پربارانی بوده‌اند. لذا می‌توان از نسبت مجموع تعداد روزهای بدون بارش و روزهای دارای بارش بسیار کم به کل دوره، بعنوان معیاری از درصد دودی که از منطقه خارج شده و یا به‌صورت خشک فرو نشسته استفاده کرد. مدت آتش‌سوزی مورد مطالعه از ۲۱ فوریه تا آخر مارس، شامل ۲۹ روز می‌باشد. ساخت نقشه‌های بارش روزانه طی دوره مذکور نشان می‌دهد که تعداد روزهای بدون بارش و روزهای دارای بارش بسیار کم ۱۰ روز بوده‌اند. از طرفی گزارش شده است که طی ماههای فوریه و مارس به ترتیب ۶۵۰ و ۷۰۰ حلقه چاه نفت در حال احتراق بوده‌اند که بیشترین تعداد در طول دوره آتش‌سوزی می‌باشد (۲). تعداد حلقه چاههای نفت در حال احتراق در ماههای فوریه و مارس با هم تفاوت زیادی ندارند و می‌توان فرض کرد که در طول این دو ماه میزان انتشار دود به‌طور روزانه ثابت بوده است. به همین دلیل با توجه به وجود ۱۰ روز خشک در طی ۳۹ روز مورد مطالعه می‌توان چنین فرض کرد که تقریباً ۲۵ درصد آلاینده‌های ورودی به ایران به‌صورت خشک فرو نشسته‌اند و یا از منطقه مورد نظر خارج شده‌اند. لذا، درصد دودی که توسط بارش در ایران بر زمین فرو نشسته است برابر ۲۵/۲ درصد (۲۳/۶×۱۰۷/۵) می‌باشد.

با در نظر گرفتن متوسط روزانه ۴ میلیون بشکه نفت در حال اشتعال طی ماههای فوریه و مارس و میزان دوده تولیدی به ازای هر کیلوگرم نفت خام سوخته شده برابر ۵/۲۵ درصد (۱۵) و اینکه هر بشکه نفت خام معادل ۱۳۷/۸ کیلوگرم است، میزان دوده منتشره در اثر سوختن گاز روزانه ۱۲۶۷ تن است (۹) و در نتیجه کل دوده تولید شده در روز حدود ۳۰۰۰۰ تن می‌باشد. با توجه به اینکه مدت آتش‌سوزی مورد مطالعه از ۲۱ فوریه تا آخر مارس، شامل ۳۹ روز می‌باشد، بنابراین کل دوده تولیدی در مدت زمان مورد نظر حدود ۱۱۸۰۰۰۰ تن تخمین زده می‌شود.

همانطور که قبلاً نیز گفته شد، ۲۵/۲ درصد از کل دوده تولید شده در محدوده زمانی فوریه تا آخر مارس در اثر بارانهای سیاه‌بر روی محدوده ایران فرو نشسته‌اند، در نتیجه کل دوده فرو نشسته در ایران توسط بارانهای سیاه حدود ۳۰۰۰۰۰ تن می‌باشد. مساحت مورد مطالعه ایران در این تحقیق، حدود ۶۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد، که در نتیجه میزان متوسط دوده فرو نشسته در ایران توسط بارانهای سیاه حدود ۵/۵ گرم بر متر مربع معادل ۵۰۰ کیلوگرم بر کیلومتر مربع تخمین زده می‌شود.

البته به علت عدم وجود حداقل داده‌های لازم جهت بررسی قابلیت اطمینان نتایج و همچنین وجود اختلاف

the 5th asipacific conference on multilateral cooperation in the space technology Applications, I.R. of Iran, tehran, 6-9 December.

12 - Johnson, R.L., C.G. Kilsby, D.S. McKenna, R.W. Saunders G.L. Jenkins, F.B. Smith and J.S. Foot, 1991. Airborne observations of the physical and chemical characteristics of the Kuwaiti oil smoke plume. *Nature* 353: 317-321.

13- Kuwait oil company, 1991, Well numbers and dates. Production operations department, oil well survey data, Kuwait.

14- Limaye, S.S., S.A. Ackerman, P.M. Fry, M.I.H. Ali, C.Ali, A. Wright, and A., Rango, 1992, Satellite monitoring of smoke from the Kuwait oil fires. *J. Geophys. Res.*, 97(D13): 14551-14563.

15 - Ronsohaff, L.M., K. Knudson, B.W. Bush and R.D. Small, 1989, Material inventories and smoke properties for US target areas. Pacific Sierra Research Corporation.

16- Small, R.D., 1991, Environmental impact of fires in Kuwait. *Nature*, 350: 11-12.

17- Vasiliadis, H.V. and F. Adib, 1997, Smoke plumes from the 1991 Kuwait Oil fires. Center for water resources and environmental research, The city university of New York, Report No. TR97-CWRER. 12.01, December.

18- WMO, 1991, Report of First WMO meeting of experts on the atmospheric part Joint UN response to the Kuwait Oil Fires, Geneva, Switzerland, 27-30 April.

19- WMO, 1992, Report of Second WMO meeting of experts to assess the response to and atmospheric effects of Kuwaiti oil fires, Geneva, Switzerland, 25-29 May.

منابع مورد استفاده

۱- اسماعیلی ساری، عباس، ۱۳۷۷، بررسی منشأ آلودگیهای نفتی، در تالاب شادگان با استفاده از روش ردیابی Fingerprint مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۱ شماره ۲: ص ۲۲-۱۳.

2- Aminipouri, B., N., Jalali, A.A., Noroozi, and A.A., Abkar, 1998, Tracking of oil spills and smoke plumes of Kuwait's oil well fires to the coast and territory of Iran as a result of the 1991 Persian Gulf war. *Soil Conservation and Watershed Management Research Center of Iran* ISBN 90 6164 148 9, 282 pp.

3- Bakan, S., A. Chlond, U. Cubaseh, J. Feichter, H. Graf, H. Grassl, K. Hasselmann, J. Kirchner, M. Lafif, E. Roechner, R. Sausen, U. Sellese, D. Schriver, I. Schult, U. Schumann, F. Sielmann and W. Welke, 1991, Climate response to smoke from burning of wells in Kuwait. *Nature*, No. 351: 367-371.

4- Browning, K. A., R. J. Allam, S.P. Ballard, R.I.H. Barnes, D. A. Bennetts, R. H. Maryons, P.J. Mason, D. McKenna, J.F.B. Mitchell, C.A. Senior, A. Salio and F.B. Smith, 1991, Environmental effects from burning of wells in Kuwait. *Nature* 351: 363-367.

5- Cahalan, R.F., 1992. The Kuwait oil fires as seen by Landsat. *J. Geophys. Res.* 97(D13): 14565-14571.

6- Center for water resources and environmental research, 1998, development of computer based modelling system for the atmospheric air plume movement following Kuwait oil well fires. University of New York., USA, October.

7- Ferek, R.J., P.V. Hobbs, J. A. Herring, K.A. Larsen and R.A. Weiss, 1992, Chemical composition of emissions from the Kuwaiti oil fires. *Journal of Geophysical Research* 97 (14): 483-489.

8- Hobbs, P.V. and L.F.Radke, 1992, Airborne studies of the smoke from the Kuwait oil fires. *Science*, 256: 987-991.

9- Hosain, T., 1995, Kuwait oil fires: Regional environmental perspectives. 1st.ed., Elsevier Science.

10- ILWIS (Integrated Land and Water Information System), 1998, Remote sensing & software package, version 2.2, International Institute for aerospace survey and earth science (ITC), The Netherland.

11- Jalali, N., B. Aminipouri and. A. Noroozi, 1999, Tracking of smoke plumes generated by Kuwait's oil wells fire, using model based image analysis. *Proceeding of*

بسیار زیاد در داده‌های گزارش شده توسط سازمانهای داخلی و خارجی، اظهار نظر در مورد قابلیت اطمینان نتایج کاملاً امکان پذیر نمی‌باشد. با این حال، در این تحقیق سعی شده است که تا حد امکان مدل مناسبی برای پراکنش دود در منطقه توسعه داده شود و همچنین از داده‌هایی که معتبرتر و معقولتر به نظر می‌رسند حداکثر استفاده شود. همچنین در این تحقیق سعی شده است که از فرضیات معقولی استفاده شود تا عدم قطعیت نتایج حاصله تا حد امکان کاهش یابد.

نتیجه گیری

۱- از تصاویر ماهواره‌ای علاوه بر نمایش پراکنش آلاینده‌های هوا و زیانه دود، مخصوصاً در مواقعی که اطلاعات کافی برای مدل‌سازی ریاضی در دست نباشد، می‌توان بر حسب قدرت تفکیک تصویر، برای مدل‌سازیهای محلی و منطقه‌ای و جهانی استفاده نمود.

۲- از جمله مشخصه‌های اساسی روش پردازش تصویر در این تحقیق جداسازی ابر بر اساس یک تصویر مرجع و در نظر گرفتن اثرات شرایط اتمسفری و سطح زمین از تصویر مرجع دیگر می‌باشد.

۳- در صورت عدم وجود داده‌های اندازه‌گیری از حوادث گسترده آتش سوزی، می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و با یک سری فرضیات معقول، میزان آلاینده‌های فرو نشسته در منطقه مطالعاتی را تخمین زد.

۴- ۲۵٪ درصد دوده ناشی از آتش سوزی چاههای نفت کویت بصورت باران سیاه در ماههای فوریه و مارس ۱۹۹۱ روی زمینهای ایران فرو نشسته است. این درصد به طور کلی می‌تواند برای برآورد ترکیبات مختلف موجود در دود نیز بکار رود.

۵- با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، کل دوده فرو نشسته در ایران طی ماههای فوریه و مارس توسط بارانهای سیاه حدود ۳۰۰۰۰۰ تن و میزان متوسط دوده فرو نشسته در ایران حدود ۵/۰ گرم بر متر مربع تخمین زده می‌شود.

سیاسگزاری

در اینجا لازم می‌دانیم که از اعضاء هیأت علمی و کارکنان مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری و علی‌الخصوص آقای دکتر بهرام امینی پوری که بنحوی در انجام این تحقیق ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی نماییم.

پاورقی‌ها

- 1- Global
- 2- Regional
- 3- Local
- 4- Global Area Coverage (GAC)
- 5- Advanced Very High Resolution Radiometer
- 6- National Oceanographic Administration Agency (NOAA)
- 7- National Center for Atmospheric Research (NCAR)