

نقش فناوری‌های نوظهور در مقابله با تهدیدات نظامی و امنیتی تغییر اقلیم

دکتر علی حنفی^۱

چکیده

تغییر اقلیم به عنوان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن ۲۱، تهدیدی چندبعدی برای امنیت زیست‌محیطی، اقتصادی و حتی نظامی کشورهاست. ایران نیز با خشکسالی، طوفان‌های گرد و غبار، کاهش منابع آب و گرمایش شدید مواجه است. در چنین شرایطی، فناوری‌های نوظهور (Emerging Technologies) می‌توانند ابزاری مؤثر برای پایش، پیشگیری، مدیریت و سازگاری با پیامدهای اقلیمی باشند. تغییر اقلیم، دیگر صرفاً یک مسئله زیست‌محیطی نیست؛ بلکه به عنوان یک تهدید امنیتی چندبعدی (Multi-dimensional Security Threat) شناخته می‌شود. در ایران، با توجه به موقعیت جغرافیایی خشک، منابع محدود آب، و قرارگیری در منطقه‌ی ناپایدار خاورمیانه، تغییر اقلیم می‌تواند بر ثبات ملی، مأموریت‌های نظامی، و امنیت مرزها تأثیر مستقیم بگذارد. شرایط آب و هوایی نامطلوب می‌تواند به برنامه‌های آموزشی، زنجیره‌های آمادی و تجهیزات مهم آسیب برساند. خشکسالی، آتش سوزی و دمای بالای هوا می‌تواند بسیاری از فعالیتهای آموزشی را تحت تأثیر قرار دهد و زنجیره آمادی ممکن است تحت تأثیر قرار بگیرد. تغییرات اقلیمی تبعات و پیامدهای نظامی و امنیتی گسترده‌ای را به همراه دارد. در اکثر مدل‌های اقلیمی که شرایط اقلیمی آینده را شبیه‌سازی می‌کنند به بحرانی‌تر شدن شرایط اشاره دارد تاکنون، فعالیت‌های انسانی حدود ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای جهانی را نسبت به سطح پیش از صنعتی ایجاد کرده‌اند و اگر نرخ فعلی انتشارات ادامه یابد، احتمالاً تا سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ دمای جهانی به ۱.۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. این مقاله به بررسی استراتژی‌های اصلی کاهش تغییرات آب و هوا می‌پردازد، به عنوان مثال، کاهش معمولی، فناوری‌های جذب منفی و مهندسی ارتعاشات رادیواکتیو. فناوری‌های کاهش معمولی بر روی کاهش انتشار CO₂ مبتنی بر فسیلی‌ها تمرکز دارند. فناوری‌های جذب منفی به دنبال گرفتن و ذخیره‌سازی کربن جوی برای کاهش سطح دی‌اکسید کربن هستند. در نهایت، تکنیک‌های مهندسی ارتعاشات رادیواکتیو برای تغییر بودجه انرژی تابشی زمین به منظور استحکام بخشی یا کاهش دمای جهانی تغییرات ایجاد می‌کنند. آشکار است که اقدامات کاهش معمولی به تنهایی برای دستیابی به اهداف تعیین شده توسط توافق پاریس کافی نیست؛ بنابراین، استفاده از مسیرهای جایگزین ضروری به نظر می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: کاهش تغییرات آب و هوا، فن‌آوری‌های منفی انتشار کربن، تهدیدات اقلیمی و امنیتی، تغییر اقلیم.

۱. دانشیار اقلیم شناسی گروه جغرافیا دانشگاه امام علی (ع)، تهران، ایران.

تغییرات آب و هوایی چالشی اساسی برای جامعه بشری و محیط طبیعی است. شواهد نشان از نقش فعالیت‌های انسانی در افزایش دما در مقیاس‌های گوناگون زمانی و مکانی دارد (ایرینگ و همکاران، ۲۰۱۶). مطابق آخرین گزارش هیئت بین دول تغییرات اقلیمی (IPCC)، میانگین دمای جهانی تا پایان قرن حاضر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (آلن و همکاران، ۲۰۱۹). هرگونه تغییر در دمای هوا به تغییرات جدی در بودجه انرژی سطحی، تشدید چرخه هیدرولوژیکی، جریان تبخیر و تعرق، افزایش سطح آب دریاها و فرین‌های آب و هوایی منجر می‌شود و خطرهای ناشی از آن مشکلات مرتبط با سلامت عمومی را افزایش می‌دهد (زرین و داداشی، ۱۴۰۰). تغییر اقلیم یکی از ۱۵ چالش هزاره آینده جهان و یکی از هفت چالش اصلی ایران است. گرمایش جهانی ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و تغییر کاربری اراضی، موجب تغییر آشکاری در فراسنج‌های اقلیمی ایران شده است (زارعی و رضایان قیه‌باشی، ۱۴۰۰). گازهای گلخانه‌ای که به طور گسترده در ادبیات مورد بحث قرار می‌گیرند و توسط پروتکل کیوتو تعریف شده‌اند، شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4)، اکسید نیتروژن (N_2O)، هیدروفلوروکربن‌ها (HFCs)، پرفلوروکربن‌ها (PFCs) و هگزاfluorید سولفور (SF_6) هستند (UNFCCC, 2008). درک اثرات شدید تغییرات آب و هوا بر سیستم‌های طبیعی و انسانی، همچنین خطرات و آسیب‌پذیری‌های مرتبط، نقطه شروع مهمی در درک وضعیت فعلی اضطراب آب و هوایی است. تغییرات در نشانگرهای آب و هوا، به ویژه دما، بارش، افزایش سطح دریا، اسیدی شدن اقیانوس‌ها و رخدادهای شدید آب و هوایی در یک گزارش اخیر از دبیرخانه تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد (UNCCS) مورد توجه قرار گرفته‌اند. براساس مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایا، جهان در سال ۲۰۱۸ با ۳۱۵ حادثه بلایای طبیعی روبرو شد که اصلی‌ترین آن‌ها با آب و هوا ارتباط داشتند. این حوادث شامل ۱۶ حادثه خشکسالی، ۲۶ حادثه دمای فرین، ۱۲۷ حادثه سیلاب، ۱۳ حادثه بهمن، ۹۵ حادثه طوفان و ۱۰ حادثه آتش‌سوزی بود. تعداد افراد تحت تأثیر بلایای طبیعی در سال ۲۰۱۸، ۶۸.۵ میلیون نفر بود، که سیلاب‌ها، طوفان‌ها و خشکسالی‌ها ۹۴٪ از کل افراد تحت تأثیر را تشکیل می‌دهند. از نظر خسارات اقتصادی، در سال ۲۰۱۸، مجموعاً ۱۳۱.۷ میلیارد دلار به دلیل بلایای طبیعی از دست رفت، که طوفان‌ها (۷۰.۸ میلیارد دلار)، سیلاب‌ها (۱۹.۷ میلیارد دلار)، آتش‌سوزی‌های جنگلی (۲۲.۸ میلیارد دلار) و خشکسالی‌ها (۹.۷ میلیارد دلار) حدود ۹۳٪ از کل هزینه‌ها را تشکیل می‌دهند. خسارات اقتصادی مربوط به آتش‌سوزی‌های جنگلی در سال ۲۰۱۸ به تنهایی تقریباً برابر با خسارات تمام آتش‌سوزی‌های جنگلی در دهه گذشته است (CRED, ۲۰۱۹).

براساس ارزیابی دانشمندان پانل بین دولتی تغییر اقلیم سازمان ملل (IPCC) پیش‌بینی شده است غرب آسیا و شمال آفریقا هم‌اکنون در حال تبدیل شدن به منطقه‌ای خشک‌تر و گرم‌تر از آنچه تاکنون بوده است. افزایش دما و کمبود بارندگی و خشکسالی‌های متوالی در این منطقه شدت گرفته و تخمین زده شده تا سال ۲۰۵۰ میلادی ۸۰ تا صد میلیون نفر در معرض تنش شدید آبی قرار خواهند گرفت و منابع آب زیرزمینی با کاهش چشمگیری مواجه خواهد شد. علاوه بر این میزان تولید محصولات کشاورزی به دلیل کمبود منابع آب با کاهش چشمگیری مواجه خواهد شد. مطالعات نشان می‌دهد که تغییر اقلیم تا سال ۲۰۵۰ اثرات منفی روی عملکرد محصول زمین‌های زراعی در غرب آسیا و شمال آفریقا به‌جا خواهد گذاشت. تا سال ۲۰۵۰ تولید محصول برنج در این منطقه ۳۰ درصد، ذرت ۴۷ درصد و گندم با ۲۰ درصد کاهش مواجه خواهند شد. این در حالی است که انتظار می‌رود کالری مورد نیاز در این فاصله زمانی از ۲۸۴۶ به ۳۱۱۹ به ازای هر نفر در روز افزایش یابد که در صورت بروز تبعات تغییر اقلیم نه تنها ۵۰۰ کالری تأمین نخواهد شد که سقف کالری دریافتی ساکنان از میزان فعلی هم کمتر خواهد شد. در یک سناریوی بدون تغییر اقلیم پیش‌بینی شده

شمار کودکان دچار سوء تغذیه در این منطقه از ۳/۵ میلیون نفر به یک میلیون نفر کاهش یابد اما تغییر اقلیم شمار این کودکان را تا سال ۲۰۵۰ عملاً به دو میلیون نفر خواهد رساند. از این رو برای مقابله با اثرات تغییرات اقلیم در تغذیه در منطقه شمال آفریقا و غرب آسیا لازم است هر ساله ۲۴۱ تا ۲۷۱ میلیون دلار سرمایه گذاری اضافی توسط کشورها صورت گیرد و بهتر است این هزینه‌ها صرف تحقیقات کشاورزی و مدیریت بهینه منابع آب شود (لیلیوید و همکاران ۲، ۲۰۱۲). بسیاری از فناوری‌های مرتبط با طیف گسترده‌ای از بخش‌های اقتصادی فرصت‌های قابل ملاحظه‌ای برای کاهش انتشارات و سازگاری با تغییرات آب و هوا ارائه می‌دهند. در عین حال، توسعه بیشتر و انتقال فناوری‌های جدید یا در حال حاضر ناموفق همچنین ضروری است تا اهداف صفر کربنی به طور کامل دست یافته شود. بنابراین، توسعه و انتقال فناوری به طور موثر و شتاب زده امری کلیدی است، به همین دلیل این گزارش بر روی چه اقداماتی می‌تواند برای پیشبرد در این زمینه انجام شود، تمرکز دارد.

روش شناسی تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی است و با رویکرد توصیفی - سیستمی به دنبال تحلیل نقش فناوری‌های نوظهور در مقابله با تهدیدات نظامی و امنیتی تغییر اقلیم می‌باشد. مهمترین فناوری‌های مطرح شده عبارتند از: کاهش معمولی، فناوری‌های جذب منفی و مهندسی ارتعاشات رادیواکتیو.

یافته های تحقیق

تهدیدات نظامی و امنیتی تغییر اقلیم

با وقوع تغییرات اقلیمی، بسیاری از فعالیتها و تصمیمات مرتبط با محیطهای عملیاتی، آمادگی نظامی، استقرار، سازگاری با محیط و طراحی و نگهداری زیرساختها را در آینده تحت تأثیر قرار خواهند گرفت، کشور ایران در کمر بند خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد و این مناطق بی از سایر اقلیم ها نسبت به تغییرات اقلیمی حساس بوده و آسیب پذیری است. شرایط آب و هوایی نامطلوب میتواند به برنامه های آموزشی، زنجیره های آمادی و تجهیزات مهم آسیب برساند. خشکسالی، آتش سوزی و دمای بالای هوا میتواند بسیاری از فعالیتهای آموزشی را تحت تأثیر قرار دهد و زنجیره آمادی ممکن است تحت تأثیر قرار بگیرد. جمهوری اسلامی ایران که یک واحد سیاسی فضایی در جنوب غرب آسیاست، بدون شک در آینده نزدیک با پیامدهای تغییر اقلیم که جهانی است، مواجه خواهد شد. تغییرات اقلیمی تبعات و پیامدهای نظامی و امنیتی گستردهای را به همراه دارد. عدم توجه به تبعات تغییرات اقلیمی میتواند ضربات جبران ناپذیری بر نیروهای مسلح، تجهیزات و ادوات همراهشان در موقعیتهای مختلف جغرافیایی تحمیل نماید. لیکن عدم رصد ابعاد ویرانگر تغییرات اقلیمی با دید آینده نگرانه فرایند تدوین طرحها و برنامه های عملیاتی از سوی فرماندهان و برنامه ریزان نظامی را با چالش های جدی مواجه خواهد کرد. در جدول (۱) به تاثیرات تغییر اقلیم در فعالیت های نظامی آینده پرداخته شده است.

جدول شماره (۱): تاثیرات تغییر اقلیم بر مأموریت های نظامی فناوری های نوظهور مقابله با تهدیدات اقلیمی فناوری های معمول
در کاهش انتشار دی اکسید کربن

نام عملیات	تاثیرات تغییر اقلیم بر مأموریت های نظامی
عملیات زمینی	افزایش دما و رطوبت موجب کاهش کارایی سربازان در عملیات های روزانه می شود. افزایش طوفان های گرد و غبار باعث کاهش دید افقی، اختلال در پرواز پهپادها و هواپیماهای نظامی و کاهش دقت سامانه های اپتیکی می گردد. کمبود منابع آب در مناطق بیابانی عملیات های طولانی را دشوار می کند. خطوط تدارکاتی زمینی در هنگام سیلاب های کوتاه مدت یا طوفان های ماسه ای قطع می شود.
زیرساخت ها و تجهیزات	گرما و رطوبت بالا باعث فرسایش سریع تر تجهیزات فلزی و الکترونیکی می شود. بالا آمدن سطح دریا در سواحل مکران تهدیدی برای پایگاه های دریایی، اسکله های نظامی و زیرساخت های لجستیکی ساحلی است. در مناطق مرزی مانند سراوان و میرجاوه، بی ثباتی اقلیمی موجب افزایش مهاجرت و قاچاق می شود که کنترل مرز را دشوارتر می کند. نیاز به انبارهای مقاوم در برابر رطوبت و خوردگی افزایش می یابد.
آموزش و آمادگی نیروها	نیاز به آموزش نظامیان در شرایط اقلیمی سخت تر (گرما، طوفان، کم آبی) افزایش می یابد. تمرکز بر توسعه پایگاه های سازگار با اقلیم (دارای سامانه های خنک کننده، انرژی خورشیدی و ذخیره آب) ضروری است. ضرورت استفاده از تجهیزات محافظتی، لباس های سبک، و سامانه های خنک کننده ضرورت تدوین برنامه های چرخش نیرو برای جلوگیری از گرمزدگی و کم آبی ضرورت آموزش نیروها برای عملیات در شرایط گرمای شدید و رطوبت بالا
امنیت منطقه ای	فشار اقلیمی بر منابع آب و معیشت محلی ممکن است باعث ناامنی اجتماعی و مهاجرت های مرزی شود. افزایش رقابت برای منابع آبی در مرزهای شرقی، به ویژه در حوضه هیرمند، جنبه های نظامی و سیاسی جدیدی پیدا می کند.

انتشارات مرتبط با انرژی، عامل اصلی افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو هستند؛ بنابراین، فناوری‌ها و تلاش‌های کاهش معمولی باید بر روی هر دو طرف عرضه و تقاضای انرژی تمرکز داشته باشند. فناوری‌های معمول شامل بخش تأمین انرژی و صنعت و حمل و نقل و ساختمان‌ها در بخش تقاضا می‌باشد. در بخش تأمین انرژی، از طریق معرفی انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی اتمی، ذخیره‌سازی و ذخیره کربن و همچنین تعویض سوخت‌ها و در طرف عرضه به سوخت‌های کم کربن مانند گاز طبیعی و سوخت‌های تجدیدپذیر، می‌توان اشاره کرد. علاوه بر این، تلاش‌های کاهش در طرف تقاضا شامل بهره‌وری بالا و کاهش مصرف انرژی، به همراه تعویض سوخت از سوخت‌های مبتنی بر فسیلی به سوخت‌های تجدیدپذیر از فناوری‌های معمول اقلیمی می‌باشند.

بر اساس گزارش جدیدی در مورد وضعیت جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر، در سال ۲۰۱۷، درصد انرژی تجدیدپذیر از کل مصرف نهایی انرژی به طور جهانی به ۱۸.۱٪ تخمین زده شده است. (REN21 2019) یک آرایه از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر مدرن در ادبیات مورد بحث قرار می‌گیرد. مهم‌ترین فناوری‌ها شامل نیروی خورشیدی فتوولتائیک، نیروی خورشیدی متمرکز، نیروی حرارتی خورشیدی برای کاربردهای گرمایش و سرمایش، نیروی بادی در زمینی و دریایی، نیروی آبی، نیروی دریایی، نیروی زمین‌گرمای، نیروی بیومس و سوخت‌های زیستی. در زمینه تولید برق، تا سال ۲۰۱۸، انرژی‌های تجدیدپذیر حدود ۲۶.۲٪ از تولید برق جهان را تشکیل می‌دادند. نیروی آبی ۱۵.۸٪ را تشکیل می‌دهد، در حالی که سهم نیروی بادی ۵.۵٪، نیروی خورشیدی فتوولتائیک ۲.۴٪، بیوپاور ۲.۲٪ و نیروی زمین‌گرمایی، نیروی خورشیدی متمرکز و نیروی دریایی ۰.۴۶٪ از برق تولید شده را تأمین می‌کنند. (REN21 2019) در حالی که نیروی آبی در زمینه ظرفیت تولید و همچنین تولید برتری دارد، در دهه گذشته، افزایش قابل توجهی در ظرفیت تولید نیروی خورشیدی فتوولتائیک و نیروی بادی در زمین ایجاد شده است. تا پایان سال ۲۰۱۸، کل ظرفیت نصب شده جهانی برای نیروی خورشیدی فتوولتائیک به مقدار ۵۰۵ گیگاوات افزایش یافته است. در مورد نیروی بادی، ظرفیت نصب شده جهانی در سال ۲۰۱۸ به مقدار ۵۹۱ گیگاوات ثبت شده است ظرفیت جهانی بیوپاور نیز در سال ۲۰۱۸ به میزان ۱۳۰ گیگاوات تخمین زده شده است. علاوه بر بخش تولید برق، انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند در صنعت، حمل و نقل و بخش ساختمان نیز مورد استفاده قرار گیرند. انرژی خورشیدی فتوولتائیک و حرارتی به همراه تعویض سوخت‌های مصرفی صنعتی به سوخت‌های تجدیدپذیر مانند سوخت‌های زیستی جامد، مایع و گازی برای تولید ترکیبی حرارتی و برق، مثال‌هایی از تلاش‌های کاهش کربن از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. ساختمان‌ها همچنین می‌توانند از فناوری‌های خورشیدی و مبتنی بر زیست‌توده برای نیازهای برق، گرمایش و سرمایش بهره‌برداری کنند. از دیدگاه بخش حمل و نقل، تعویض سوخت‌های مصرفی عامل تعیین‌کننده‌ای برای کاهش کربن در این بخش است. (سریواستاوا و همکاران ۲۰۲۰). انرژی‌های تجدیدپذیر متغیر مانند خورشید و باد، فناوری‌های کلیدی با پتانسیل کاهش قابل توجه کربن‌زایی هستند. یکی از چالش‌های فناوری‌ای اصلی مرتبط با طبیعت متقطع/متغیر در تولید برق است. این چالش توسط ادغام اینگونه فناوری‌ها با ذخیره‌سازی و همچنین فناوری‌های پایه مجدد تجدیدپذیر و شبکه حل شده است. سینسل و همکاران چهار حوزه چالش مشخص مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر متغیر را مورد بررسی قرار می‌دهند، به عنوان مثال کیفیت، جریان، پایداری و تعادل. علاوه بر این، آن‌ها چندین راه‌حل را ارائه می‌دهند که عمدتاً بر پایداری و فناوری‌های شبکه برای سیستم‌های توزیع‌شده و متمرکز تمرکز دارند (سینسل و همکاران ۲۰۲۰).

نیروی اتمی

بر اساس گزارش جدیدی که توسط سازمان انرژی اتمی بین‌المللی (IAEA) تهیه شده است، تا سال ۲۰۱۸، ۴۵۰ نیروگاه انرژی اتمی با ظرفیت نصب شده جهانی کلی ۳۹۶.۴ گیگاوات در حال فعالیت بوده‌اند. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰، افزایشی حدود ۳۰٪

در ظرفیت نصب شده ایجاد شود. در سناریوی پیش‌بینی موارد پایین، تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ ممکن است یک کاهش ۱۰٪ بر اساس اعداد سال ۲۰۱۷ رخ دهد. در بلندمدت، پیش‌بینی می‌شود که ظرفیت جهانی ممکن است تا سال ۲۰۵۰ به ۷۴۸ گیگاوات برسد. پراوایی و همکاران بررسی جالبی از وضعیت نیروی اتمی ارائه می‌دهند. این بررسی نقش مهمی که نیروی اتمی در تولید انرژی جهانی ایفا کرده است و همچنین پتانسیل کاهش کربن‌زایی در سیستم انرژی جهانی را نشان می‌دهد. این مطالعه برآوردی حدود ۱.۲-۲.۴ گیگاتون از انتشار CO₂ را که به طور جایگزین از نیروی اتمی جلوگیری می‌شود، سالانه ارائه می‌دهد، زیرا در غیر این صورت انرژی از سوخت و گاز طبیعی تولید می‌شد. مقاله توصیه می‌کند که برای تطابق با هدف ۲ درجه سلسله مراتبی معین شده توسط توافق پاریس، ظرفیت نیروگاه‌های اتمی باید تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۹۳۰ گیگاوات افزایش یابد، با سرمایه‌گذاری کلی حدود ۴ تریلیون دلار (پراوایی و باندوک ۲۰۱۸).

گرفتن، ذخیره‌سازی و استفاده از کربن

گرفتن و ذخیره‌سازی کربن یک فناوری امیدبخش است که در ادبیات به عنوان یک رویکرد پتانسیل‌دار در کاهش کربن‌زایی برای بخش‌های تولید انرژی و صنعت مورد بحث قرار گرفته است. این فناوری شامل جدا کردن و گرفتن گازهای CO₂ از فرآیندهایی است که بر سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ، نفت یا گاز تکیه دارند. دی اکسید کربن گرفته شده سپس به محفظه‌های زمین‌شناسی برای مدت‌های بسیار طولانی انتقال داده و ذخیره می‌شود. هدف اصلی کاهش سطوح انتشار در حالی است که از منابع فسیلی استفاده می‌شود. در ادبیات، سه فناوری گرفتن مورد بحث قرار می‌گیرند: گرمایش قبل از سوخت‌سوزی، گرمایش پس از سوخت‌سوزی و گرمایش اکسی سوخت. هر فناوری فرآیند خاصی برای استخراج و گرفتن CO₂ دارد. با این حال، فناوری‌های گرفتن پس از سوخت‌سوزی مناسب‌ترین گزینه برای پروژه‌های بازسازی هستند و دارای پتانسیل کاربرد وسیعی هستند. هنگامی که CO₂ با موفقیت گرفته شده است، آن مایع شده و از طریق لوله‌های یا کشتی‌ها به مکان‌های مناسب ذخیره‌سازی انتقال داده می‌شود. بر اساس ادبیات، گزینه‌های ذخیره‌سازی شامل مخازن نفت و گاز خالی شده، لایه‌های زغال‌سنگ و منافذ زیرزمینی شوراب از آب نامصرف (وینکا و همکاران ۲۰۱۸).

فناوری‌های جذب منفی

شامل یک مجموعه جدید از فناوری‌ها و روش‌هایی است که به تازگی پیشنهاد شده‌اند. این تکنیک‌ها به طور پتانسیل برای به دست آوردن و ذخیره کربن از جو واکنش‌گرا هستند و به عنوان فناوری‌های امیسیون‌های منفی شناخته می‌شوند، همچنین به عنوان روش‌های حذف دی اکسید کربن نیز معروفند (ریکه و همکاران ۲۰۱۷). اصلی‌ترین تکنیک‌های امیسیون‌های منفی که به طور گسترده در ادبیات بحث می‌شوند شامل کربن‌اسمپری بیوانرژی و ذخیره‌سازی، بایوچار، واکنش‌گرایی بهبود یافته، ذخیره و ذخیره‌سازی مستقیم هوا، کوددهی اقیانوس، افزایش قلیائیت اقیانوس، ذخیره‌سازی کربن خاک، افراشت و باز کردن باغچه‌ها و جنگل‌زایی، ساخت و بازسازی مرطوبات، و همچنین روش‌های دیگر استفاده و ذخیره‌سازی امیسیون‌های منفی مانند کربن‌اسیون معدنی و استفاده از زیست‌جمع در ساخت و ساز (لارنس و همکاران ۲۰۱۸).

سرانجام، مسیر سوم بر پایه اصل تغییر توازن تابش زمین از طریق مدیریت تابش خورشیدی و زمینی می‌چرخد. چنین تکنیک‌هایی به عنوان فناوری‌های جیواینجینیرینگ نیروی تابشی شناخته می‌شوند و هدف اصلی آن کاهش یا استحکام دما است. بر خلاف فناوری‌های امیسیون‌های منفی، این کار بدون تغییر غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو انجام می‌شود. اصلی‌ترین تکنیک‌های

جیواینجینیرینگ نیروی تابشی که در ادبیات بحث می‌شوند، شامل تزریق اروزل‌های استراتوسفری، روشنایی آسمان دریایی، نازک کردن ابرهای سیرس، آینه‌های مبتنی بر فضا، روشن کردن بستر و انواع تکنیک‌های مدیریت تابش هستند. همه این تکنیک‌ها هنوز در مراحل نظری یا در مراحل آزمایشی ابتدایی قرار دارند و در ارتباط با استقرار عملی در مقیاس بزرگ، شامل ابهامات و ریسک‌های زیادی را دارند. در حال حاضر، تکنیک‌های جیواینجینیرینگ نیروی تابشی به چارچوب‌های سیاستی اضافه نشده‌اند (لارنس و همکاران ۲۰۱۸؛ لاکلی و همکاران ۲۰۱۹). بیشتر مسیرهای اقلیمی که توسط هیات بین‌المللی تغییرات اقلیمی (IPCC) مورد بررسی قرار گرفتند، شامل استفاده از فناوری‌های آمیزش منفی به همراه فناوری‌های معمول کاهش کربن برای ارزیابی امکانات دستیابی به اهداف مورد نیاز توافق پاریس بود. تنها دو فناوری آمیزش منفی تاکنون در ارزیابی‌های IPCC شامل گرفتن و ذخیره کربن از بیوانرژی و احیای جنگل‌ها و جنگل‌زدایی است. (IPCC 2018) گاسر و همکاران به طور تجربی پتانسیل انتقالات منفی مورد نیاز برای محدود کردن گرمایش جهانی به کمتر از ۲ درجه سانتیگراد را مورد بررسی قرار دادند. این تحلیل از یک مسیر بین‌المللی انجام شده است که احتمالاً تا نکه داشتن گرمایش در این سطح را دارد و بر اساس فرضیات کاهش معمولی سعی شده است تا تلاش‌های پتانسیل انتقالات منفی مورد نیاز را اندازه‌گیری کند. نتایج نشان داد که در حالت بهترین حالت، به این معنا که زیر فرضیات بهترین درباره تلاش‌های کاهش معمولی، انتقالات منفی ۰.۵ تا ۳ گیگاتون کربن در سال و ۵۰ تا ۲۵۰ گیگاتون کربن ظرفیت ذخیره‌سازی مورد نیاز است. بر اساس یک حالت بدترین حالت، انتقالات منفی ۷ تا ۱۱ گیگاتون کربن در سال و ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ گیگاتون کربن ظرفیت ذخیره‌سازی مورد نیاز است. (۱ گیگاتون کربن = ۳.۶۶۷ گیگاتون CO₂e) نتایج نشان می‌دهد که نیاز به انتقالات منفی بدون توجه به نرخ بسیار بالای تلاش‌های کاهش معمولی است. علاوه بر این، مطالعه نشان می‌دهد که فقط به انتقالات منفی برای دستیابی به هدف ۲ درجه سانتیگراد اعتماد نباید شود.

بایوانرژی با ذخیره‌سازی کربن

بایوانرژی با ذخیره‌سازی کربن، معروف به BECCS، یکی از فناوری‌های برجسته انتقالات منفی مورد بحث گسترده در ادبیات است. گروه کارشناسی بین‌المللی برای تغییرات اقلیمی (IPCC) به طور قابل توجهی بر بایوانرژی با ذخیره‌سازی کربن در ارزیابی‌های خود به عنوان یک مسیر پتانسیلی برای دستیابی به اهداف دمايي اعتماد داشتند. (IPCC 2018) این فناوری به طور ساده یک ادغام از بیوانرژی و فناوری‌های ذخیره‌سازی کربن است که قبلاً بحث شده‌اند. اصل اساسی این فناوری بسیار مستقیم است. بیومس به صورت بیولوژیکی دی اکسید کربن جو را از طریق فتوسنتز در طول رشد جذب کرده، که سپس برای تولید انرژی از طریق سوخت‌سوزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گازهای دی اکسید کربن متولد شده در زمان سوخت‌سوزی سپس گرفته و در مخازن زمینی مناسب ذخیره می‌شوند. این فناوری می‌تواند غلظت گازهای گلخانه‌ای را با حذف دی اکسید کربن از جواناتها به طور قابل توجهی کاهش دهد. پتانسیل حذف دی اکسید کربن این فناوری در ادبیات متفاوت است؛ با این حال، یک ارزیابی محتاطانه انجام شده توسط فوس و همکاران یک محدوده تخمین زده شده از ۰.۵ تا ۵ گیگاتون دی اکسید کربن در سال تا سال ۲۰۵۰ ارائه می‌دهد. از نظر برآوردهای جهانی برای ظرفیت ذخیره‌سازی، ادبیات یک محدوده گسترده از ۲۰۰ تا ۵۰,۰۰۰ گیگاتون دی اکسید کربن ارائه می‌دهد. برآوردهای هزینه برای حذف دی اکسید کربن از طریق بایوانرژی با ذخیره‌سازی کربن در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ دلار بر تن دی اکسید کربن است. منابع تغذیه‌ای بیومس مورد استفاده برای این رویکرد می‌تواند یا محصولات کشاورزی یا جنگلی اختصاصی یا پسماندهای متنوع از منابع کشاورزی یا جنگلی باشد. علاوه بر این، چنین منابع تغذیه‌ای می‌توانند یا به عنوان منابع تغذیه‌ای بیوماس اختصاصی استفاده شوند یا می‌توانند با سوخت‌های مبتنی بر فسیلی در نیروگاه‌های ترکیبی سوخت شوند. علاوه بر مسیر احتراق

استاندارد، ادبیات نشان می‌دهد که دی اکسید کربن می‌تواند در برنامه‌های بیوماس غیر قدرتمند مانند در فرآیند تخمیر در تولید اتانول یا گازسازی پسماندهای حاصل از چوب، به عنوان مثال لیکور سیاه، در تولید خمیر چوب ذخیره شود.

ذخیره‌سازی کربن

ذخیره‌سازی کربن خاکی فرآیندی است که با تغییر روش‌های مدیریت زمین به منظور افزایش محتوای کربن در خاک، دی اکسید کربن جو را از طریق آن برداشت می‌کند. سطح غلظت کربن درون خاک توسط تعادل ورودی‌ها مانند زباله‌ها، برگ‌افته، ریشه‌ها و کود، و از دست دادن کربن که از طریق تنفس است، تعیین می‌شود که عمدتاً توسط اختلالات خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد. روش‌هایی که ورودی‌ها را افزایش می‌دهند و/یا از دست دادن‌ها را کاهش می‌دهند، فرآیند ذخیره‌سازی کربن خاکی را محرک می‌کنند. روش‌های مختلف مدیریت زمین که انباشت کربن خاکی را ترویج می‌کنند در ادبیات مورد بحث قرار گرفته‌اند که شامل شدت و نوع چرخه‌ی کشاورزی، روش‌های کشت بدون تاشیه و حفظ تاشیه، مدیریت مواد غذایی، پوشش خاک و استفاده از باقیمانده‌های محصول و کود، در آوردن بایوکاربن، استفاده از کودهای آلی و مدیریت آب می‌باشند. علاوه بر این، تأثیر سیستم‌های کشت دائمی بر انباشت کربن خاکی در ادبیات به خوبی مستند است. آگوستینی و همکاران تأثیر سیستم‌های کشت دائمی علفی و چوبی بر کربن آلی خاک را بررسی کرده و افزایش سطوح کربن آلی خاک را برای محصولات علفی به میزان ۱۴-۱۸ تن کربن در هکتار در سال و برای محصولات چوبی به میزان ۰.۶۳-۰.۷۲ تن کربن در هکتار در سال تأیید کردند. گزارش شده است که این ارقام به طور قابل توجهی بیشتر از نیاز ذخیره‌سازی پیشنهادی (۰.۲۵ تن کربن در هکتار در سال) برای تبدیل محصول به سوخت‌های زیستی و متعادل کردن کربن آن است.

جذب و ذخیره دی اکسید کربن از هوا

در ادبیات به این فناوری با نام جذب و ذخیره دی اکسید کربن از هوا (DACCS) اشاره می‌شود که به عنوان یک فناوری پتانسیل دار برای حذف مصنوعی دی اکسید کربن شناخته می‌شود. اصل اساسی این فناوری استفاده از اتصال شیمیایی برای حذف دی اکسید کربن از هوا می‌باشد و سپس ذخیره آن در مخازن زمینی یا استفاده از آن برای اهداف دیگر مانند تولید مواد شیمیایی یا کربنات معدنی است. دی اکسید کربن از هوا توسط اجازه دادن به هوای محیط برای تماس با مواد شیمیایی موسوم به جاذب‌ها گرفته می‌شود. علاوه بر این، جاذب‌ها سپس با استفاده از گرما یا آب بازیابی می‌شوند تا دی اکسید کربن برای ذخیره یا استفاده آزاد شود. اصولاً دو روش وجود دارد که جاذب‌ها کار می‌کنند: ابتدا از طریق جذب، که در آن دی اکسید کربن در ماده جاذب حل می‌شود، معمولاً با استفاده از جاذب‌های مایع مانند هیدروکسید پتاسیم یا هیدروکسید سدیم؛ دوم از طریق جذب، که در آن دی اکسید کربن به جاذب چسبیده و آن را ذخیره می‌کند، معمولاً با استفاده از مواد جامد مانند آمین‌ها. هر دو فرآیند نیاز به انرژی حرارتی برای بازیابی جاذب و آزاد سازی دی اکسید کربن دارند؛ با این حال، مهم است به یاد داشت که در مسیر جذب، کمترین انرژی مورد نیاز است.

افزایش الکالینیته اقیانوس

در ادبیات به عنوان یک مسیر پتانسیلی برای جذب و ذخیره کربن غیر آلی در اقیانوس مورد بحث قرار گرفته است. اقیانوس هر ساله مقدار قابل توجهی از دی اکسید کربن جو را جذب می‌کند، اصولاً از طریق دو مسیر. اول، از طریق پخش دی اکسید کربن از جو به آب، براساس تفاوت فشار جزئی دی اکسید کربن بین جو و اقیانوس. دومین مسیر از طریق فتوسنتز فیتوپلانکتون است که قبلاً بحث شد. این بخش به طور اصلی بر جذب دی اکسید کربن اقیانوس از طریق پخش که توسط فشار جزئی دی اکسید کربن اقیانوسی

کنترل می‌شود تمرکز دارد. هنگامی که دی اکسید کربن از جو به اقیانوس حرکت می‌کند، گاز با آب واکنش داده و اسید کربنیک را تشکیل می‌دهد، که به بیکربنات و یون‌های کربنات تجزیه می‌شود و کربنات‌های غیر آلی را ذخیره می‌کند. این واکنش همچنین یون‌های هیدروژن را آزاد می‌کند که اسیدیته اقیانوس را افزایش می‌دهد. در ادبیات بحث شده است که pH اقیانوس تأثیر قابل توجهی بر فشار جزئی دی اکسید کربن برای مقدار کربن غیر آلی دارد که مجموع آن در اسید کربنیک، کربنات و یون‌های بیکربنات است. افزایش الکلینیت اقیانوس می‌تواند با کاهش فشار جزئی سطحی اقیانوس، جذب بیشتری از دی اکسید کربن اقیانوس را ترویج دهد و باعث کاهش اسیدیته اقیانوس شود. هرچه الکلینیت بیشتر شود، مقدار بیشتری از اسید کربنیک به یون‌های بیکربنات و کربنات تبدیل می‌شود و مقادیر بیشتری از کربن به شکل غیر آلی ذخیره می‌شود.

جدول شماره (۲): فناوری‌های نوظهور اقلیمی

حوزه کاربرد	فناوری نوظهور	سطح بلوغ فناوری	تأثیر بالقوه بر کاهش انتشار	چالش‌های کلیدی
انرژی پاک	سلول‌های خورشیدی پروسکایتی (Perovskite PV)	تحقیق و توسعه تا (R&D) تجاری‌سازی اولیه	بالا	پایداری طولانی‌مدت، مقیاس‌پذیری تولید
	توربین‌های بادی شناور (Floating Offshore Wind)	تجاری‌سازی اولیه	بالا	هزینه‌های زیرساخت و نصب، فناوری نگهداری
	سیستم‌های زمین‌گرمایی بهبودیافته (EGS)	نمایشی (Demonstration)	متوسط تا بالا	ریسک‌های زمین‌شناسی، هزینه‌های حفاری بالا
ذخیره‌سازی انرژی	باتری‌های حالت جامد (Solid-State)	تحقیق و توسعه تا نمایشی	بالا	مشکلات تولید انبوه، هزینه‌های فعلی بالا
	باتری‌های جریان (Flow Batteries)	نمایشی تا تجاری‌سازی اولیه	متوسط	چگالی انرژی نسبتاً پایین، هزینه‌های اولیه

جذب و حذف کربن	جذب مستقیم کربن از هوا (DAC)	نمایشی تا تجاری سازی اولیه	بسیار بالا	مصرف انرژی بسیار بالا، هزینه بر واحد کربن
	جذب و ذخیره کربن (CCS) در صنایع	تجاری سازی اولیه	بالا	هزینه های سرمایه ای بالا، زیر ساخت حمل و نقل CO ₂
هیدروژن پاک حمل و نقل	هیدروژن سبز (از الکترولیز با برق تجدید پذیر)	تجاری سازی اولیه	بالا	هزینه تولید فعلی بالا، زیر ساخت های حمل و نقل و ذخیره
	هواپیماهای برقی/هیدروژنی	تحقیق و توسعه	بالا	چگالی انرژی باتری ها، ایمنی هیدروژن
	سوخت های هوایی پایدار (SAF)	تجاری سازی اولیه	بالا	هزینه تولید، محدودیت منابع زیست توده پایدار
کشاورزی و غذا	گوشت کشت شده (Cultivated Meat)	تجاری سازی اولیه	متوسط	مقررات، کاهش هزینه های تولید، پذیرش مصرف کننده
سیستم های یکپارچه	شبکه های برق هوشمند (Smart Grids)	بلوغ و گسترش	بالا	امنیت سایبری، سرمایه گذاری کلان
	همجوشی هسته ای (Fusion Energy)	تحقیق و توسعه	بسیار بالا	چالش های فنی بسیار پیچیده، زمان بر بودن

نتیجه گیری

با وقوع تغییرات اقلیمی، بسیاری از فعالیتهای و تصمیمات مرتبط با محیطهای عملیاتی، آمادگی نظامی، استقرار، سازگاری با محیط و طراحی و نگهداری زیرساختها را در آینده تحت تأثیر قرار خواهند گرفت، کشور ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد و این مناطق بی از سایر اقلیم ها نسبت به تغییرات اقلیمی حساس بوده و آسیب پذیری است. شرایط آب و هوایی نامطلوب میتواند به برنامه های آموزشی، زنجیره های آمادی و تجهیزات مهم آسیب برساند. براساس وضعیت فعلی بحران اقلیمی، توسعه فوری مکانیسم های مطمئن برای کاهش و تطابق با تغییرات آب و هوا بسیار حیاتی است. بررسی جامع ادبیات شامل سه استراتژی اصلی برای مقابله با تغییرات آب و هوا، تکنولوژی های معمولی کاهنده، تکنولوژی های انتشار منفی کربن، و همچنین تکنولوژی های مهندسی تابش نیروی فعال می شود. مهم است که روشن شود که هیچ راه حل قطعی برای مقابله با تغییرات آب و هوا وجود ندارد و همه تکنولوژی ها و تکنیک های مورد بحث در این بررسی، اگر فنی و اقتصادی قابل قبول باشند، باید اجرا شوند. با این حال، فن آوری های قابل استفاده هنوز باید توسعه یافته و آزمایش شوند و اثرات جانبی به طور مناسب پوشش داده شوند که ممکن است یک فرآیند طولانی باشد. تکنولوژی های انتشار منفی کربن، از طرف دیگر، با تلاش های کنونی برای دی کربنیزاسیون، راه حل محکمی را ارائه می دهند. در حالی که برخی از تکنولوژی های انتشار منفی کربن معرفی شده در بررسی ادبیات هنوز در مرحله اولیه توسعه قرار دارند، تکنیک های ذخیره سازی بیولوژیک تا حدودی بالغ هستند و می توانند بلافاصله مورد استفاده قرار گیرند. برای تشویق به پروژه های حذف کربن به شدت، سیاست گذاران و دولت ها باید سیاست های مناسب و چارچوب های حمایتی مناسب با تمرکز ویژه بر قیمت گذاری کربن ابداع کنند. علاوه بر این، صنعت مالی باید حمایت مالی و دسترسی بهتری را فراهم کند و مکانیسم های بازاری کارآمد را معرفی کند تا توسعه دهندگان پروژه را به ایجاد پروژه های حذف کربن تشویق دهد. نتایج حاصل از این پژوهش و مطالعات پیشین صورت گرفته توسط رضایان قیه باشی و همکاران (۱۳۹۷) و حنفی و همکاران (۱۴۰۰) نشان می دهند که عملیات و فعالیت های نظامی در سال های آینده در سطح کشور می توانند با چالش هایی به شرح زیر مواجه شوند که می بایست در برنامه ریزی عملیات نظامی و تصمیم گیری فرماندهان مورد توجه قرار گیرند.

افزایش دما و غیرقابل تحمل شدن آن برای انسان ها و سخت تر شدن عملیات و فعالیت های نظامی و آموزش هایی مانند رزم در کویر افزایش دما و کاهش سطح پوشش برف در مناطق کوهستانی کشور و محدودیت جهت آموزش های رزم در کوهستان و رزم در برف در منطقه امامزاده هاشم.

افزایش شدت و تکرار طوفان های تندری و وقوع سیل در منطقه امامزاده هاشم و تاثیرگذاری آن بر برنامه ها و آموزش های نظامی مشابه بارش های شدید در تابستان ۱۴۰۱.

افزایش سطح آب ها و ارتفاع امواج و تشدید جزر و مد ها می تواند منجر به زیر آب رفتن سواحل و جزایر گردیده و باعث آثار زیان بار بر سواحل و تأسیسات نیروی دریایی در سواحل جنوبی کشور گردد.

رقابت بر سر کاهش منابع آبی و افزایش درگیری میان کشورهای همسایه و حتی بین حوضه های و استانی در داخل کشور و لزوم دخالت نیروهای نظامی جهت برقراری امنیت در کشور

چالش‌های امنیتی بر سر منابع آبی، رودخانه‌های مرزی، چشمه‌های گردوغبار و تالاب‌های واقع در محدوده نوار مرزی (مانند هورالعظیم) می‌تواند موجب بروز تنش بین کشور ایران و عراق گردد و از این طریق نیروهای نظامی و امنیتی را با چالش مواجه سازد. به‌طور کلی افزایش دما، گردوخاک و افزایش مخاطرات جوی، اقلیمی و اقیانوسی می‌تواند روی توان نیروهای دفاعی کشورها تأثیر منفی گذاشته و قدرت آن‌ها در جنگ احتمالی را کاهش دهد.

با شرایط اقلیمی جدید، مهاجرت از مناطق آسیب‌پذیر اقلیمی کشور به سمت مناطق با اقلیم نسبتاً مناسب افزایش یافته و جمعیت مناطق مرزی کاهش می‌یابد. از آن جمله می‌توان به افزایش احتمالی مهاجرت از استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، خوزستان، کرمانشاه، ایلام و ... اشاره کرد. این شرایط می‌تواند به تهدیدی برای امنیت کشور در مناطق مرزی تبدیل گردد.

اثرگذاری‌های زیان‌بار تغییر اقلیم بر محصولات استراتژیک کشور و به‌ویژه گندم به علت گستردگی کشت آن بیشتر از دیگر محصولات خواهد بود. به‌طور کلی به علت کمبود آب، افزایش دمای هوا و کاهش وسعت زمین‌های مناسب کشت، مقدار تولید برخی محصولات کاهش خواهد یافت و از این‌روی با مقوله امنیت غذایی روبرو خواهیم بود که با در نظر گرفتن احتمال تشدید نارضایتی و ناامنی در مرزها برای قاچاق مواد غذایی یا محصولات کشاورزی، هزینه تأمین امنیت مرزی برای نیروهای نظامی افزایش خواهد یافت.

امروزه مقابله با تغییرات اقلیمی نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر برای حفظ تمدن انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی است. این مبارزه نیازمند رویکردی یکپارچه، فراگیر و عاجل در سطوح محلی، ملی و بین‌المللی است؛ رویکردی که هم بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و هم بر سازگاری با پیامدهای اجتناب‌ناپذیر متمرکز باشد. در این مسیر، همکاری همه‌جانبه حکومت‌ها، بخش خصوصی، نهادهای علمی و جامعه مدنی، همراه با تعهد اخلاقی به نسل‌های آینده و کشورهای آسیب‌پذیر، کلید تحقق آینده‌ای مقاوم و پایدار است. پیشنهادات زیر با در نظر گرفتن این ضرورت‌ها و با هدف ارائه راهکارهای عملی در حوزه‌های مختلف ارائه شده‌اند.

برنامه های پیشنهادی در حوزه مقابله با تهدیدات اقلیمی



منابع و مآخذ

۱. افصلی، رسول، ذکی، یاشار، کاویانی راد، مراد، محمدخانی، عماد. (۱۳۹۹). مطالعه تطبیقی تغییر اقلیم و چالش های امنیتی بحران آب در شهرهای دو حوضه آبریز مرکزی و دریاچه ارومیه، جغرافیای اجتماعی شهری، ۷(۱)، صص ۱۶۷-۱۸۹.
۲. افراشته، رضا؛ سعیدی، علی؛ مختاری، داود (۱۳۹۱) نقش عناصر آب و هوایی بر فعالیت نیروهای نظامی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص دمای فیزیولوژی (PET)، پنجمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام، تبریز.
۳. امینی، داود؛ رضایی، حسن. (۱۴۰۱). تحلیلی بر اثرات تغییر اقلیم بر فعالیت های نظامی در استان اصفهان بر مبنای شاخص میسنارد و سناریوهای آینده پژوهانه. علوم و فنون نظامی: doi: 10.22034/qjmst.2022.543615.1624, 18(61), 5-26.
۴. حنفی، علی (۱۴۰۲) تغییر اقلیم و بحران آب در منطقه غرب آسیا، فصلنامه آماد و فناوری دفاعی، ۶(۳)، ۱۷۸-۱۵۳.
۵. حنفی، علی؛ خوشحال دستجردی، جواد (۱۳۹۳) ارزیابی و پهنه بندی تقویم اقلیم نظامی مناطق مرزی هم جوار با کشور عراق، فصلنامه مدیریت نظامی، سال چهارم، شماره ۵۴، صص ۱۷۸-۱۵۵.
۶. حنفی، علی؛ منیری کامل. (۱۳۹۸). آمایش اقلیم دفاعی منطقه جنوب شرق کشور و اهمیت آن در سناریوهای طرح ریزی عملیات نظامی، فصلنامه آینده پژوهی دفاعی، سال چهارم، شماره ۱۴.
۷. عبدالعلی زاده، فیروز، محمد خورشید دوست، علی & جهان بخش اصل، سعید. (۱۴۰۱). ارزیابی دقت مدل های CMIP6 برای شبیه سازی دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پژوهش های تغییرات آب و هوایی: doi: 10.30488/ccr.2022.361233.1093, 3(11), 17-30.
۸. کاویانی راد مراد، کریمی پور یدالله، فهمی هدایت، کرمی صادق. (۱۳۹۶) تبیین پیامدهای امنیتی تغییر اقلیم نمونه موردی: حوضه آبریز مرکزی ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی؛ ۱۷ (۴۶): ۹۲-۷۳.
9. Abdulla A et al (2019) Limits to deployment of nuclear power for decarbonization: insights from public opinion. Energy Policy 129:1339–1346. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.039>
10. Agostini F et al (2015) Carbon sequestration by perennial energy crops: is the jury still out? BioEnergy Res 8:1057–1080. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9571-0>
11. Akalin MK et al (2017) Supercritical fluid extraction of biofuels from biomass. Environ Chem Lett 15:29–41. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0593-z>
12. Samer F et al (2020) Strategies for mitigation of climate change: a review, Environmental Chemistry Letters (2020) 18:2069–2094.
13. Aresta M et al (2005) Biotechnology to develop innovative syntheses using CO₂. Environ Chem Lett 3:113–117. <https://doi.org/10.1007/s10311-005-0009-y>
14. Arning K et al (2019) Same or different? Insights on public perception and acceptance of carbon capture and storage or utilization in Germany. Energy Policy 125:235–249. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.039>
15. Bach LT et al (2019) CO₂ removal with enhanced weathering and ocean alkalinity enhancement: potential risks and co-benefits for marine pelagic ecosystems. Front Clim. <https://doi.org/10.3389/fclim.2019.00007> Environmental Chemistry Letters (2020) 18:2069–2094 2091 1 3

16. Bataille C et al (2018) A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement. *J Clean Prod* 187:960–973. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.107>

17. Bustreo C et al (2019) How fusion power can contribute to a fully decarbonized European power mix after 2050. *Fusion Eng Des* 146:2189–2193. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2019.03.150>