

خاک و سپهر فناوری¹

Soil and Technosphere

غلامحسین حق نیا^{2,3}

چکیده

دوران هولوسن که تمدن بشری را در طول ده هزار سال گذشته تغذیه کرده است در این قرن به سبب فعالیت‌های فزاینده انسان (دوران آنتروپوسن) جای خود را به زمینی در حال گرم شدن داده است که با بیش جمعیتی و نابودی جنگل‌ها رو به رواست و بسیاری از خاک‌های بارور آن با سرعتی بی‌سابقه رو به فناست. خاک می‌تواند مقادیر بیکران کربن را در خود انباشته یا رها سازد، عنصرهای غذایی را در خود نگه دارد یا آن‌ها را به رودخانه‌ها جریان داده و به صنعت ماهیگیری آسیب رساند. رسوب ناشی از فرسایش خاک تولید نیروی برق را زیر تأثیر قرار می‌دهد. از آنجا که، پیشرفت و خیز رام نشدنی فناوری به صورت نیرویی در جهان درآمده که توان ایجاد دگرگونی‌های شگرفی در خاک دارد، در این مقاله سناریوهای متعددی برای آینده خاک ترسیم شده است و بر این نکته تمرکز دارد که چگونه فناوری می‌تواند پیامدهای زیادی بر وضعیت خاک در آینده داشته باشد. هر چند بزرگترین فرایندهای جهانی و آن‌هایی که بیشترین انرژی را مصرف می‌کنند به رویدادهای زمین‌شناختی وابسته‌اند، اما امروزه سپهر دیگری پدیدار شده که به وسیله فعالیت‌های ترکیبی بشر و فناوری پا گرفته است و آن‌را می‌توان تکنوسفر⁴ یا آنتروپوسفر⁵ نامید. تأثیر فناوری بر خاک سپهر دیرپاست و در یک نمای درازمدت مشاهده خاک‌هایی با دگرگونی زیاد و ویژگی‌هایی شگفت‌انگیز دور از انتظار نخواهند بود. این موضوع امکان پایه و مبنایی برای گفتمان درباره خاک‌های هوشمند است. در دنیایی که ریزرایانه‌ها به گونه‌ای یکنواخت و فشرده توزیع شده‌اند، حسگرها و فعال‌سازها با پردازش موضعی می‌توانند برای گردآوری و باز انتقال اطلاعات محیطی درباره وضعیت خاک (دما، رطوبت، حرکت نسبی ذره‌های نزدیک) و هماهنگی با دستورهای ارسال شده از رایانه مرکزی عمل کنند. با توجه به افت قیمت و توان فزاینده تراشه‌های رایانه‌ای می‌توان انتظار داشت که بیشتر آنچه را ما به نام مدیریت خاک، زمین، آب و پوشش گیاهی می‌نامیم تا جایی پیش رود که خاک و دیگر سامانه‌های سطحی زمین بیشتر به صورت ابزارهای فناوری شناخته شوند تا سامانه‌های طبیعی.

واژه‌های کلیدی: خاک هوشمند، آنتروپوسن، فن سپهر، آنتروپوسفر.

مقدمه

دوران هولوسن که تمدن بشری را در طول ده هزار سال گذشته تغذیه کرده است، در این قرن به سبب فعالیت‌های فزاینده انسان جای خود را به زمینی در حال گرم شدن داده است که با بیش جمعیتی و نابودی جنگل‌ها رو به روست و بسیاری از خاک‌های بارور آن با سرعتی بی‌سابقه رو به فناست. واژه آنتروپوسن برای این دوره به کار می‌رود تا فعالیت‌های بشر را به صورت محرک عمده تغییرهای محیطی نشان دهد. در واقع همه تاریخ بشر در برگیرنده تمدن‌هایی بوده که به ورشکستگی منابع خاک انجامیده است. هم‌اکنون در سرتاسر گیتی میانگین سرعت از دست رفتن خاک حدود 10 برابر سرعت بازسازی آن است (1). تا زمانی که ما به گونه‌ای

1- تاریخ دریافت: 93/10/8 تاریخ پذیرش: 94/12/9

2- نویسنده مسئول، پست الکترونیک: ghaghnia@gmail.com

3- استاد دانشگاه فردوسی مشهد و عضو وابسته فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران.

اصولی شیوه کاربری خود را از خاک تغییر ندهیم، نرخ کنونی تلفات خاک و فرسایش چالشهای جدی را برای باروری کشاورزی ایجاد کرده و پاکسازی زمین‌های بیشتری را برای جمعیت رو به رشد جهان ضروری می‌سازد.

موافقت عموم بر این است که در طول دوره زندگی بیشتر ما جمعیت دنیا از 7 میلیارد کنونی به 9 میلیارد خواهد رسید (1). هم اکنون 1 میلیارد نفر با سوء تغذیه مزمن دست به گریبانند (5). *Lenne and Wood (10)* درباره نیازهای امنیت غذایی گزارش می‌کنند که تا سال 2030 میلادی جهان باید 50% تولید بیشتر روی زمین کمتر با آب شیرین کمتر و صرف انرژی کمتر و همچنین کود شیمیایی و آفت‌کش کمتری داشته باشد. چالش ترسناکی که باید برآورده شود. با این همه، خاک شناسان هیچگاه در صدر خبرها و صفحه نخست روزنامه‌ها نبوده‌اند. در حالی که رسانه‌ها به گونه‌ای رایج درباره موضوع‌هایی از جمله تعداد پرندگان مهاجر، ماهیگیری بی‌رویه و کاهش سامانه‌های دریایی، انقراض جمعی، جنگل زدایی و البته اختلال‌های اقلیمی می‌نویسند و هشدار می‌دهند، که البته هر کدام از این بحران‌های محیطی شایسته توجه‌اند. اما چه موضوعی از خاک مهمتر و اساسی‌تر است که در آن گیاهانی می‌رویند که 99% انرژی مورد نیاز بشریت را تامین می‌کند. از دست دادن هرگونه ای غم‌انگیز است اما از دست دادن خاک حاصلخیز مصیبت بار. گذشته از آن، این همان خاکی است که می‌تواند مقادیر زیاد کربن را در خود انباشته یا رها سازد، می‌تواند عنصرهای غذایی را در خود نگه داشته یا آن‌ها را به رودخانه‌ها و دهانه خلیج‌ها جریان دهد و به وضعیت ماهیگیری آسیب رساند. رسوب ناشی از فرسایش تولید نیروی برق را کاهش می‌دهد.

بزرگترین چالش پیش روی بشریت تغییر اقلیم است. در همین راستاست که گفته می‌شود چگونگی استفاده از خاک می‌تواند هم عامل و هم پاسخ بالقوه‌ای برای چالش‌های یاد شده باشد بر پایه برآورد *Costanza et al. (4)* رقم محافظه کارانه‌ای که برای ارزش خاک‌های کره زمین در نظر گرفته‌اند 25 تریلیون دلار در سال است و ما چه ساده این سرمایه طبیعی را به هدر می‌دهیم.

شرح و بررسی موضوع

پیشرفت و خیز رام نشدنی فناوری در جهان به صورت نیرویی درآمده که می‌تواند در آینده‌ای نه چندان دور دگرگونی‌های شگرفی را در خاک ایجاد کند. سابقه و زمینه محیطی که وضعیت تکاملی خاک را کنترل و تعریف می‌کند نامشخص است. یکی از زمینه‌های کنترل‌کننده، اقلیم است که آینده خود آن بسیار نامعلوم است. برای مثال، کسی نمی‌داند که توسعه اقتصادی چین و تولید کربن اتمسفری در دهه‌های آینده ادامه خواهد داشت یا خیر.

پس چه باید کرد؟ یک رویکرد به این موضوع ایجاد سناریوهای گوناگون است. سناریوها گاهی در تجارت و یا دولت برای ایجاد آگاهی از آینده احتمالی رخدادهایی به وجود می‌آید که با قاطعیت نمی‌توان پیش‌بینی کرد. از این رو سناریو با پیش‌بینی تفاوت دارد. بنابراین هشدار در مورد آنچه ممکن است رخ دهد بهتر از فکر نکردن درباره آینده آن است. در این مقاله سناریوهای متعددی برای آینده خاک ترسیم شده و بر این نکته تمرکز می‌شود که چگونه فناوری می‌تواند نیروهای محرک تازه‌ای ایجاد نماید که این نیروها پیامدهای زیادی بر وضعیت خاک در آینده داشته باشد. نقطه آغاز هر کدام از این سناریوها بر این فرض بنا شده که فناوری عامل تعیین‌کننده ویژگی‌های خاک‌های دنیا در آینده خواهد بود. بزرگترین فرایندهای جهانی و آن‌ها که بیشترین انرژی را مصرف می‌کنند به رویدادهای زمین‌شناختی وابسته‌اند که آن‌ها را سپهر¹ می‌نامیم مانند هوا سپهر، (اتم‌سفر)، آب سپهر (هیدروسفر)، سنگ سپهر (لیتوسفر)، زیست سپهر (بیوسفر). به آن‌ها می‌توان خاک سپهر (پدوسفر) را نیز افزود. در یک نمای گسترده پویایی این الگوها² زمین‌شناختی تا حدود زیادی تعریف‌کننده دنیای طبیعی برای میلیاردها سال بوده است. با این

دلیل دیگری که برای اهمیت فن سپهر می توان برشمرد مصرف دست و دل بازانه انرژی در آن است. از دیدگاه نیرو، فن سپهر بر خاک سپهر چیرگی داشته و هم اکنون با مقدار توان و نیروی زیست سپهر و بخش شیرین آب سپهر رقابت می کند. بودجه تقریبی انرژی سپهرها آن گونه که بر سطح زمین تأثیر می گذارند به صورت زیر است:

هوا سپهر از راه اصطکاک باد با سطح زمین 150 تراوات¹ (10^{12} وات)، زیست سپهر از راه تولید انرژی شیمیایی اندوخته شده در مواد گیاهی 90 تراوات، فن سپهر که 80% نیروی خود را از سوخت فسیلی تأمین می کند 17 تراوات، آب سپهر از راه جریان رودخانه 7 تراوات و آب سپهر از راه برخورد قطره باران روی زمین 0/01 تراوات. خاک سپهر در پایین این مقیاس دیده می شود. انرژی فراهم برای انجام کار در خاک دربرگیرنده انرژی پتانسیل گرانشی است که از طریق حرکت پایین دست شیب با نرخ حدود 0/01 تراوات مصرف می شود. انرژی بسیار زیادتری برای فن سپهر فراهم است که بیش از انرژی مربوط به خاک سپهر یا بخش در حال جریان آب سپهر برای تأثیر روی محیط است. بر پایه این درجه بندی جای شگفتی نیست که فناوری می تواند عامل موثری برای تغییر زمین نما باشد، به ویژه اگر که روی رودخانه ها و خاک تأثیر کند. افزون بر این، ناتوازی شدید و شدیدتر نیز می شود. در حالی که خاک سپهر و دیگر سپهرهای طبیعی به طور میانگین از نقطه نظر سطح مصرف انرژی به نسبت پایا هستند، در حال حاضر مصرف انرژی به وسیله فن سپهر با بیش از 2% در سال رو به فزونی است (7).

برای این که درک بهتری از تأثیر مستقیم فناوری روی خاک داشته باشیم، توجه به مقدار خاک و سنگ که در هر سال به وسیله عامل فناوری حرکت می کند و مقایسه آن با مقدار جابه جا شده به وسیله عامل های طبیعی سودمند به نظر می رسد. Hooke (8)، جرم ماده جابه جا شده به وسیله جاده سازی، ساختمان سازی، کانساری و شخم و نیز جرم جا به جا شده به وسیله فرایندهای طبیعی گوناگون را برآورده کرده است. بر پایه این محاسبه ها کل جا به جایی خاک بر اثر فعالیت های فناوری به جز شخم 30 گیگاتن (10^9 تن) در سال برآورد شده است. در مقایسه می توان گفت که یک گیگاتن آب حجم یک کیلومتر مکعب را پر می کند. مقدار خاکی که به وسیله شخم جا به جا می شود بیش از مجموع دیگر فرایندهای فناوری و حدود 1500 گیگاتن در سال است. این موضوع چیرگی بخش کشاورزی را به صورت مهمترین پدیده جا به جایی توده خاک در هر سال بر اثر فناوری نشان می دهد.

جابه جایی خاک و سنگ به وسیله فرایندهای طبیعی از جمله انتقال به سمت پایین دست رودخانه، جا به جایی کناره های پیچ رودخانه ها، خزش به پایین تپه و حرکت خاک به وسیله باد برابر 50 گیگاتن برآورد شده است. از این رو دیده می شود که اختلال سطح زمین به وسیله فناوری بر پایه جرم جابه جا شده خاک در هر سال به طور کامل بیش از جا به جایی از طریق فرایندهای طبیعی است (8).

تأثیر فناوری بر خاک سپهر دیر پاست. به گفته دیگر خاک دارای حافظه است. اگر حرکت یک قایق سطح آب در یک رودخانه را بشکافد، تأثیر این اختلال گذرا خواهد بود و رودخانه یا دریاچه به سرعت به وضعیت اصلی خود باز می گردد، اما هنگامی که تراکتور ردیفی از خاک بکر را شخم می زند و حجمی بیش از برش تولید شده آب را بر هم نمی زند، وضعیت خاک (اگر هم برگردد) به سرعت به حالت نخستین خود باز نمی گردد. افق های خاک زیر و رو شده و خاک شکسته به فرض این که تسلیم فرسایش نشود حافظه پایداری را در رویارویی با فناوری گاو آهن تجربه خواهد کرد.

حافظه در رودخانه در چند دقیقه پاک می شود، اما از خاک بیش از هزار سال یا بیشتر باقی می ماند، البته خاک های کشاورزی مکرر شخم می خورند. تا این زمان، تأثیر اصلی فن سپهر روی خاک، افزونی شخم (و اثرهای پیامدی آن مانند فرسایش، تهی شدن مواد غذایی، به زیر کشت رفتن خاک های متروکه) بوده است. با این حال گنجایش حافظه خاک به وسیله شخم یا هر فرایند دیگری که به گونه فیزیکی خاک را خارج نکند باز هم از بین نمی رود. زیر تأثیر فناوری به سرعت در حال تغییر با انرژی فراوان

اطلاعات تازه ای بسیار سرشارتر از ثبت رخ دهنده عبور گاو آهن می تواند بالقوه به حافظه خاک سپهر وارد شود. از این رو، در یک نمای دراز مدت شگفت زده نخواهیم شد که سرزدن خاک هایی را ببینیم با دگرگونی زیاد و ویژگی هایی که نو و شگفت زده خواهند بود. این موضوع امکان مبنایی است برای گفتمان درباره خاک های هوشمند (خاک هایی اند که در برابر نیروهای طبیعی، به سبب پیشرفت فناوری رفتارشان هماهنگ با دستورهای رایانه ای کنترل می شود). نکته بحرانی آخری که می توان درباره نقش فناوری روی آینده خاک گفت این است که فن سپهر زیر کنترل بشر قرار ندارد. به طور معمول ما فناوری را به صورت یک سری اختراع های بشری می پنداریم که طراحی می کنیم، می سازیم تا محیط را سازگار با خواسته هایمان درآوریم. با این حال، فناوری در کل بی آن که هدف یا مدیریتی جامع داشته باشد به رشد خود ادامه داده است. همان گونه که قطعه ها و اجزای فن سپهر سر هم شدند و به صورت شبکه درآمدند، اندازه و پیچیدگی سامانه شکل گرفته به اندازه ای زیاد شد که برای هر فرد یا گروهی از افراد بشر قابل درک نیست. به گفته دیگر فن سپهر برای این که بتواند با همه پیچیدگی کار کند باید خودگردان باشد. فن سپهر با وجود منشأ انسانی و وابستگی اش به اجزای انسانی به صورت یک سامانه زمین شناختی تازه رسیده می ماند که می توان گفت تولید تکامل زمین است و عملکرد آن مطابق با قوانین دینامیکی است که محیطی را تعریف می کند که در آن بشر باید زندگی کند (6).

پیش از این که به سناریوهای احتمالی پردازیم ضرورت دارد تا اشاره ای به سرمایه طبیعی¹ داشته باشیم. مواد ضروری که خاک برای ما فراهم می آورد سرمایه طبیعی خوانده می شود (2). سرمایه طبیعی منبع همه کالاها و خدماتی است که از دنیای غیرفناوری برخاسته و برای موجودیت و سلامت ما اساسی است، اما در بیرون از محاسبه استاندارد اقتصادی قرار می گیرد. سرمایه طبیعی ذاتی در خاک دربرگیرنده: حاصلخیزی، توان جذب آب، به عنوان صافی و ظرفیت انتقال، تولید غذا از طریق استقرار گیاه، مواد غذایی و آب که خاک برای گیاه تأمین می کند. دانه بندی ریز آن که نفوذ آسان آب به سمت ریشه را امکان پذیر می سازد و ایجاد پناهگاه ریز محیطی که برای ریز جانداران به وجود می آورد و امکان های فراوان دیگر. در زیر به چهار سناریوی احتمالی برای آینده خاک با نگاهی به نقش آن به عنوان منبعی از سرمایه طبیعی می توان اشاره کرد:

خاک های منطقی

در این سناریو تکامل خاک هایی را در آینده در نظر می گیریم که اگر فن سپهر الگوی کنونی استفاده از منابع را ادامه دهد. واژه منطقی در اینجا همان است که در زیست شناسی برای توضیح رابطه نرخ رشد یک جمعیت حیوانی با منابع فراهم به منظور تأمین رشد آن به کار می رود. اگر نرخ افزایش خیلی سریع نباشد، رشد جمعیت کند شده و در نهایت در حد منطقی یا گنجایش محیطی² متوقف می شود.

خاک های ترمیمی

در این سناریو هدف آن است در مسیری گام برداشته شود که به آینده ای بیانجامد که در آن هم بشر و هم فن سپهری که به آن وابسته است به سوی پایداری عمل کنند بی آن که سرمایه طبیعی ضروری تخریب شود. در این سناریو مسیر آینده ناهموار و پیشرفت به احتمال کند خواهد بود.

خاک های مهندسی شده

مهندسی زمین به برنامه هایی دلالت دارد که به خواسته انسان سامانه اقلیم دنیا دستکاری می شود. ایده های گوناگونی برای سرد کردن کره زمین پیشنهاد شده و برخی آزمایش های اکتشافی را نیز گذرانده اند. برای مثال، تحریک و افزایش فیتوپلانکتون ها با استفاده از آهن در اقیانوس که به جذب کربن بیشتری از هوا می انجامد (3). به این صورت این گونه شیوه مهندسی که به احتمال زیاد در مقیاس بزرگ به کار خواهد رفت آلبیدوی سیاره ای را از راه افزایش غلظت ریزگردها¹ در بالای هوا سپهر تغییر می دهد. از آنجا که اقلیم تأثیر زیادی بر شکل گیری خاک دارد به آن خاک مهندسی شده می گوئیم. خاک های مهندسی شده ممکن است به ما نزدیکتر از آن چیزی باشد که فکر می کنیم.

خاک های هوشمند

در آینده ای دور می توان گونه ای فن سپهر با پیچیدگی و قدرت کافی تصور کرد که در آن سامانه های فناوری بتوانند جایگزین سامانه های طبیعی شوند که هم اکنون به عنوان منابع سرمایه طبیعی هستند. این آینده ای است که در آن فناوری در نهایت سرمایه طبیعی را به نا بهنگامی و دگرگونی در ترتیب حقیقی رخدادهای واگذار می کند و در آن خاک طبیعی، رودخانه ها و حتی بیشتر زیست شناسی که پیش از این تأمین کننده ضروری کالاهای طبیعی و خدمات بوده اند غیرالزامی می شوند.

اگر به تاریخچه زمین شناختی کره زمین نگاه کنیم دگرگونی های بزرگ آن را می بینیم. برای مثال، پیدایش گیاهان آوندی در سطح زمین در دوره سیلورین عنصرهای پایه ای دنیای پیش از خود را تغییر داد، اما آن ها را حذف نکرد. برای نمونه پیش از دنیای پوشش گیاهی به سبب نقش گیاهان در تجزیه فیزیکی و شیمیایی سنگ ها کم عمق تر و نازک تر بودند. ریشه های گیاه به نگهداری خاک در جای خود کمک کردند و پوشش گیاهی برخی از جنبش آبی² باد را که در غیر این صورت به فرسایش خاک می انجامید جذب کردند. همچنین ظهور پوشش گیاهی کناره های رودخانه ها موجب مهار آن ها در محدود کردنشان به یک آبراهه منفرد مشخص کرد، که پیش از آن چند شاخه می شدند و در جایی به یکدیگر می پیوستند. با وجود همه این دگرگونی ها پس از این که قاره ها با گیاهان پوشیده شدند، خاک ها و رودخانه ها با شکلی تغییر یافته به بقای خود ادامه دادند. همین رویداد در دنیایی ممکن است رخ دهد که در آن سطح زمین به صورتی فشرده با لایه ای از خاک مستعمره فناوری شود، اما ویژگی هایی که به وسیله رژیم های دینامیکی تازه تغییر یافته است. هیچکس نمی داند که یک خاک فناوری شده در واقع چه شکلی است و ویژگی های آن چگونه خواهد بود. اما با تثبیت فن سپهر به صورت یک الگوواره زمین شناختی سرگردانی آینده خاک را می توان در قالب اندیشه های زیر تصور کرد.

هم اکنون چیزی در حدود 10^{21} ترانزیستور ساخته و در محیط پخش شده است، و بیشتر آن ها در سال های اخیر. این ریزفراورده های مصنوعی ابتدا در وسیله هایی مانند رادیو به کار رفتند. با ریزتر شدن مدارها، سرعت های بیشتر، هزینه کمتر و تولید ریزحسگرها (نوری، دمایی، ارتعاشی و مانند آن) بسته های کوچک ترانزیستورها (تراشه ها) به ساعت ها، تلفن های همراه، اسباب بازی ها، دستگاه های پزشکی، قهوه سازها، توسترها، یخچال ها به گونه ای کلی تر در محیط به صورت بخشی از حسگرهای پایش محیطی و شبکه های امنیتی و نظارتی راه یافتند. در ضمن اکنون پروژه ای در راه است (9) که به همه گونه های جهان بارکد داده شود و یا برگه مصنوعی ساخته شود که پدیده فتوسنتز را تقلید کند (11) پیوستگی رو به رشد وسایل دست ساز با تراشه های رایانه ای و ارتباط بی سیم آغازی برای توسعه شبکه ای اشیا³ است که در آن بسیاری از عنصرهای محیطی رایانه ای خواهند شد. نقطه نهایی این گونه فناوری می تواند رایانه ای شدن خاک ها باشد.

سطح زمین روی کره خاکی ما حدود 10^{14} متر مربع است. اگر توان رایانه ای را روی این سطح پخش کنیم به طور یکنواخت حدود 10^7 ترانزیستور برای هر متر مربع می توان تخصیص داد. یک رایانه قابل حمل جدید دارای 10^8 ترانزیستور است. از این رو، در آینده ای نه چندان دور توان رایانه ای بیشتر از آنچه اکنون در یک رایانه قابل حمل قوی فراهم است می تواند در مساحت یک متر مربعی سطح زمین فراهم باشد. دو دهه دیگر در آینده، به شرطی که قانون مور¹ درست باشد (که می گوید توان رایانه ای هر سال دو برابر می شود) توان رایانه ای در هر متر مربع معادل میلیون ها برابر رایانه های قابل حمل امروزی خواهد بود. تصور می شود که بخشی از این پایه محاسبه ای رایانه ای برای سطح زمین به کار رود. به سبب کوچکتر شدن مدارهای الکترونیکی شمار زیادی رایانه های در اندازه شن یا کوچکتر ممکن است در هر متر مربع ساکن و فعال شوند. نیروی لازم را از منابع انرژی محدود خواهند گرفت (خورشید، باد، زمین لرزه، ارتعاش و مانند آن). رایانه های انفرادی خاک به گونه ای بی سیم با همسایه های خود شبکه تشکیل داده و بدین ترتیب اطلاعات در هر ناحیه محلی رد و بدل می شوند یا این که ممکن است با کابل های رشته ای به یکدیگر پیوند داشته باشند. یک چنین راهکار ارتباطی اکنون از طریق زیستی در شکل هیف های قارچی عمل می کند. رشته های کابلی همچنین می توانند برای عناصر رایانه ای خاک پایداری مکانیکی ایجاد کنند که در غیر این صورت در برابر فرسایش به وسیله آب و باد حساس می شوند. به سبب محدودیت از نظر انرژی محدود، داده های به دست آمده به مراکز رایانه ای متمرکز دگرجا ارسال می شود که به گونه ای پیوسته جریان داده های ارسالی از صحرا را پردازش می کند.

وظیفه و نقش این رایانه ها چیست؟ در دنیایی که ریز رایانه ها، حسگرها و فعال سازها (فعال سازها سامانه هایی اند که می توانند روی محیط پیرامون نیروی فیزیکی وارد سازند) به صورت یکنواخت و فشرده پخش شده اند، پردازش موضعی می تواند برای گردآوری و رله اطلاعات محیطی درباره وضعیت خاک (دما، رطوبت، حرکت، نسبی ذره های نزدیک) و هم آهنگی با دستورهای ارسال شده از رایانه مرکزی برای فعال سازی و کنترل فعال کننده ها به کار رود. فعال سازها خواهند توانست که وضعیت پیکربندی خاک ذره های نزدیک به هم را تغییر بدهند تا سطح جدید و تغییر یافته ای تشکیل دهند که پارامترهای آنان برای به روز شدن بعدی دوباره به رایانه مرکزی فرستاده شوند. برای مثال ممکن است به فعال ساز دستور داده شود که خود و دانه های نزدیک خود را به سمت بالادست شیب حرکت دهند تا تأثیرهای موضعی فرسایش را خنثی سازند. برای حرکت دادن مساحت یک متری با تک لایه ای از ذره های شن به اندازه یک سانتی متر به سمت بالا دست شیب 4 درجه ای نیاز به 0/05 ژول انرژی خواهد بود که بر نیروی گرانش چیره شود، و شاید 1 ژول برای برطرف کردن اصطکاک از دانه های زیرین. به طور میانگین در حدود هر یکصدم ثانیه 1 ژول انرژی خورشیدی به هر متر مربع سطح زمین می رسد. به گفته دیگر با پردازش رایانه ای قوی و کافی و توسعه ریز حسگرها و فعال سازهای مناسب، دینامیک خاک می تواند خود را از نیروهای سنتی جاذبه، باران و دیگر نیروهای محیطی جدا کرده و تابع اجرای اطلاعاتی باشد که فن سپهر ترسیم می کند.

نتیجه گیری و پیشنهادها

با افت قیمت و توان فزاینده تراشه های رایانه ای، حسگرها و فعال سازها می توان انتظار داشت که بیشتر آنچه را ما به نام مدیریت خاک، زمین، آب و پوشش گیاهی می نامیم تا جایی پیش خواهد رفت که خاک و دیگر سامانه های سطحی زمین بیشتر به صورت ابزارهای فناوری شناخته شوند تا سامانه های طبیعی. ما می دانیم که فناوری کنونی برای جایگزین شدن سرمایه طبیعی که

خاک و دیگر سامانه های طبیعی فراهم می آورند به اندازه کافی توانمند نیست، اما با توجه به سرعت دگرگونی های فناوری به این نتیجه می رسیم که سرنوشت آینده خاک در دست سیاره ای خواهد بود که در آن فناوری چیرگی دارد. هم‌اکنون پژوهش در گفتگوها درباره ساخت نوعی برگ یا درخت مصنوعی است که پدیده فتوسنتز را بتواند انجام دهد و بخش بزرگی از کربن اتمسفری را که عامل گرم شدن کره زمین بشمار می‌رود تعدیل کند. کشاورزی دقیق که به منظور حفاظت از خاک و محیط زیست و سودجویی از ماهواره‌ها انجام می‌شود، در کشورهای پیشرفته دنیا رو به گسترش است.

راه های سنتی مدیریت خاک پاسخگوی دگرگونیهای شگرفی که در قرن حاضر انسان در محیط زیست خود ایجاد کرده نیست. از این پس نیز بشر به چالشهای بیشتری در رابطه با استفاده از منابع یا سرمایه طبیعی پیش رو خواهد داشت. در گذشته فناوری عامل دگرگونی در زبان های بسیاری روی منابع و از جمله خاک بوده است. در آینده نیز از همین فناوری می توان در راستای اصلاح و بهبود آن سود برد. با این همه جایگاه خاک در کشور ما از موقعیت مطلوبی برخوردار نیست. فرسایش خاک بیش از میانگین جهانی است. آلودگی فراوان و شوری خاک رو به فزونی است. از سوی دیگر امکان های محدود است و مدیریت مدون و آینده نگری در این زمینه وجود ندارد. همه این موارد به‌گونه‌ای مستقیم و غیر مستقیم بر سامانه تولید و سلامت جامعه تأثیر گذار است. ما نیز ناگزیریم که همگام با دگرگونی های علمی به پیش برویم و خود را با فناوری های تازه سازگار سازیم. امید این است که این گونه گفتمان ها الهام بخش علوم تازه، آگاهی تازه و سیاستگذاری هایی شود که به بحران خاک بپردازد. همان‌گونه که انتشار گازهای گلخانه‌ای باید در فکر همه باشد به نگهداری و سلامت خاک باید اندیشید و گام های سریع و مؤثری در این راه برداشت تا محیطی سالم و دلپذیر برای آیندگان ترسیم شود.

منابع

1. Churchman, J.G. and E.R. Landa. 2014. *The Soil Underfoot: Infinite Possibilities for a Finite Resource*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
2. Clothier, B. and M.B. Kirkham. 2014. Soil: Natural Capital supplying valuable ecosystem services. In *The Soil Underfoot*, eds. G.J. Churchman and E.R. Landa. 135-149. CRC. Press.
3. Coale, K.H., K.S. Johnson, S.E. Fitzwater and others. 1996. A massive phytoplankton bloom induced by an ecosystem- scale iron fertilization experiment in the equatorial Pacific Ocean. *Nature* 383-495-501.
4. Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farberk. M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg and others. 1997. The value of The world`s ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
5. FAO. 2012. *The state of food insecurity in The World. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
6. Haff, P.K. 2012. Technology and human purpose: The problem of solids transport on The Earth`s surface. *Earth Syst. Dyna.* 3: 417-31.
7. Hermann, W.A. 2006. Quantifying global energy resources. *Energy* 31:1685-1702.

8. Hooke, R. LeB., 1994. On The efficacy of humans as geologic agents. *GSA Today* 4:217, 224-25.
9. iBOL, 2013. International Barcode of life project. Retrieved from <http://ibol.org/>.
10. Lenne, H.M. and Wood (Eds.). 2011. *Agrobiodiversity Management for Food Security*. Wallingford: CABI Publishing.
11. Nocera, D.G. 2012. The artificial leaf. *Account. Chem. Res.* 45:767-76.

Soil and Technosphere

G.H. Haghnia^{1,2}

Holocene era that has nourished human civilization for the last ten thousand years, has given its way to a warming planet which is over populated, its forests are depleting and its fertile soils are rapidly destroyed due to increasing human activities in our time. Hence the word Anthropocene is being used for this era. Soils can sequester or release a large mass of carbon, maintain nutrients or flow them to the rivers where it may have impact on fishing industry. Sediment from soil erosion could affect power generation. Presently technology has advanced with such a pace that can lead to great changes in the soils. In this paper different scenarios are discussed for the future of the soils. They focus on how technology may have consequences on the condition of soils in the future. However, the greatest global processes that consume. The highest energy consumptions are related to geological events. We are encountered a new sphere developed through combined activities of man and technology, called technosphere. Technology effect on pedosphere is long lasting. Therefore, in far future, experiencing soils with great changes and interesting properties would not be out of expectations. This will take us to the discussion of smart soils. In a world that miniaturized computers are uniformly distributed, sensors and activators can be used to collect and relay environmental information about the state of the soil (temperature, moisture, relative motion of near particles) and coordinate with instructions relayed back from central computers. Considering cost reduction and increasing ability of computer chips, one can expect that what we now know as soil, land, water and vegetation management, will reach to a point that soils and other surface systems will be known as technological tools rather than natural systems.

Key words: Anthropocene, Anthroposphere, Smart soils, Technosphere.

1. Corresponding author, Email: ghaghnia@gmail.com.

2. Professor, Ferdowsi University of Mashhad and Associate Member of Academy of Sciences, I.R. Iran.