درآمدی بر انقلاب صنعتی پنجم: کنترل کربن، راهبردی برای کنترل جهان

سیده زهرا موسوی[۱]، محمدعلی شکوهیان‌راد[۲]

[۱]پژوهشگر و کارشناس ارشد شیمی آلی
szmousavi@chmail.ir
[۲]پژوهشگر ارشد آزمایشگاه پژوهشی فضای سایبر دانشگاه تهران
cm@shokoohian.ir

چکیده

در هر انقلاب صنعتی، متأثر از متغیر تحول‌آفرین آن انقلاب صنعتی، کیفیت و کمیت توانی که انسان برای اعمال کنترل بر محیط و دیگر انسان‌ها کسب نموده بی‌بدیل است. در یک نگاه، متغیر اصلی کنترل در انقلاب صنعتی یکم شامل ماشین‌های مکانیکی، در انقلاب صنعتی دوم شامل الکتریسیته، در انقلاب صنعتی سوم شامل کامپیوتر و در انقلاب صنعتی چهارم شامل دیجیتالی‌شدن فرایندها و تکنولوژی‌ها بر بستر هوشمندسازی و ارتباطات شبکه‌ای گسترده و همه‌جاحاضر است. این بدان معنا است که کنترل هر کدام از موارد فوق، تمامی زنجیره‌ی وابسته به آن را کنترل می‌نماید. از سویی بر اساس روندی که فضای بین‌الملل در حدود ۱۰ سال گذشته در حوزه‌ی معاهدات بین‌المللی زیست‌محیطی طی نموده و از سوی دیگر بر اساس برخی پروتکل‌های کنترلی مؤکد در انقلاب صنعتی چهارم نظیر کنترل هوشمند میزان مصرف سرانه‌ی کربن؛ پیش‌بینی می‌شود که اولاً جهان در آینده‌ی نه‌چندان دور با انقلاب صنعتی پنجم مواجه شود و ثانیاً مبنای کنترلی آن، عنصر کربن و تمامی مشتقات صنعتی آن باشد. در این زمینه، تعامل ویژه‌ی دانش سایبرنتیک و تکنولوژی‌های هوش مصنوعی با مقوله‌ی کنترل تولید و مصرف کربن که زمینه‌ساز اجرای «استاندارد کم‌کربن» در سند توسعه‌ی پایدار ۲۰۳۰ است، جایگاه ویژه‌ای دارد که باعث می‌شود انقلاب صنعتی پنجم بر بستر انقلاب صنعتی چهارم به‌وقوع بپیوندد. آنچه در این میان برای جمهوری اسلامی ایران بسیار مهم است، این است که مراقبت نماید تا اجرای پروتکل‌های استاندارد کربن، موجب توقف انواع صنایع کشور که به‌صورت‌های مستقیم و غیرمستقیم به کربن و مشتقات آن وابسته هستند، نگردد.

کلمات کلیدی: سایبرنتیک، انقلاب صنعتی پنجم، استاندارد کربن، کنترل کربن، کنترل جهان.

۱ مقدمه

کربن و مشتقات آن، حائز جایگاه کلیدی در خلقت و تمدن بشری هستند. این اهمیت تا آنجا است که وقوع اکثر انقلاب‌های صنعتی بدون حضور اشکال مختلف کربن غیر ممکن به‌نظر می‌رسد. ترکیبات هیدروکربنی

یکی از موضوعات اصلی مطالعات شیمی و پلیمر، مواد نفتی و پتروشیمی و بسیاری صنایع دیگر است. به سختی می‌توان ماده‌ی دیگری را یافت که طیف تنوع آن به این میزان گسترده باشد و هر یک از ساختارهای آن چون الماس، گرافیت، الیاف کربن، گرافن، نانو لوله‌ی کربن، فولرن و مشتقات آنها، ویژگی‌های منحصر به‌فردی را ارائه دهد. از این رو شاید بتوان گفت تحول‌آفرینی نانو در کربن بیش از دیگر حوزه‌ها مشهود و مؤثر است. امکان ایجاد و یا تغییر در پیوندهای شیمیایی کربن، منشأ ساختارهای متنوع آن است؛ از این رو آن را به مهندسی‌پذیرترین عنصر طبیعت تبدیل کرده که سهم صنعتی، اقتصادی و تکنولوژیک خاصی را در جهان کنونی ایفا می‌نماید.

حال با توجه به توضیحات فوق، می‌توان اذعان داشت که اگر تولید و مصرف کربن و انواع مشتقات آن در یک کشور کنترل شود؛ به‌تبع می‌توان تقریباً تمامی صنایع وابسته به آن را کنترل نمود. بر این اساس، کربن ظرفیت بالایی دارد که به یک متغیر کنترلی جهانی تبدیل شود.

این مهم، ریشه در نگاه دانش سایبرنتیک دارد و محرز است که هر چقدر یک متغیر کنترلی، نقش گسترده‌تر و عمیق‌تری را در بسترسازی بخشی از تمدن ایفا کند، اعمال کنترل از طریق آن متغیر بر تمدن بیشتر، مؤثرتر و سریع‌تر خواهد شد. لذا از منظر سایبرنتیک، کنترل کربن یک متغیر بسیار مهم برای جهت‌دهی به رفتار، سمت‌گیری و شکل‌دهی آینده‌ی کشورها و جوامع می‌باشد، خصوصاً از منظر وابستگی صنعتی و همچنین پیشرفت تکنولوژی‌های نوین و نوظهور. این گزاره تا آنجا می‌تواند عمیق و گسترده گردد که به‌عنوان مبنا و زمینه‌ساز **انقلاب صنعتی پنجم** مدنظر قرار گیرد. لذا توجه به پروتکل‌ها و استانداردهای بین‌المللی و ملی کنترل کربن، بسیار حائز اهمیت است.

پژوهش حاضر از این جنبه دارای نوآوری است که اولاً موضوع کنترل کربن را از منظر مقوله‌ی کنترل در دانش سایبرنتیک مورد مطالعه و بررسی قرار داده است و ثانیاً ترسیم آینده‌ی جهان بر بستر کنترل کربن را در قالب انقلاب صنعتی پنجم تشریح و ترسیم نموده.

بدین منظور، ساختار محتوایی پژوهش حاضر چنین است که ابتدا نقش کلیدی کربن در صنعت، اقتصاد و تکنولوژی تشریح می‌شود؛ سپس برخی پروتکل‌ها و استانداردهای سنجش میزان کربن معرفی می‌گردد؛ پس از آن نقش پروتکل‌های مذکور و سایر موارد مشابه در کنترل جهانی کربن توضیح داده می‌شود و نهایتاً مبتنی بر نگاه دانش سایبرنتیک مشخص می‌گردد که چگونه مقوله‌ی کنترل کربن، ظرفیت تبدیل شدن به انقلاب صنعتی پنجم در جهان را دارا است.

۲ پیشینه‌ی پژوهش

بیل گیتس در پیشگفتار کتابی با عنوان «چگونه از فاجعه اقلیمی جلوگیری کنیم؟» به اصطلاح «۵۱ میلیارد به صفر» اشاره کرده است. وی در بخش مذکور بیان می‌دارد «انسان‌ها برای جلوگیری از گرم شدن هوا و جلوگیری از بدترین اثرات تغییر اقلیم –که این تأثیرات بسیار بد خواهند بود– باید از اضافه کردن گازهای گلخانه‌ای به جو پرهیز کنند؛ یعنی میزان ۵۱ میلیارد تن گاز گلخانه‌ای سالانه را تدریجاً به صفر برسانند» (بیل گیتس، ۱۴۰۰). گیتس در کتاب مذکور به پروتکل‌ها و استانداردهایی اشاره می‌کند که ذیل یک همکاری

جهانی می‌تواند هدف فوق را محقق سازد.

در **سند توسعه‌ی پایدار ۲۰۳۰** و ذیل هدف سیزدهم، صراحتاً به استاندارد کم کربن و صفر شدن میزان کربن دی‌اکسید اشاره شده است. در بخشی از سند مذکور آمده است «جهان در رسیدن به هدف توافقنامه‌ی پاریس مبنی بر محدود کردن گرمایش جهانی به ۵.۱ درجه‌ی سانتی‌گراد بالاتر از سطح قبل از صنعتی شدن و رسیدن به صفر خالص انتشار دی‌اکسید کربن در سطح جهان تا سال ۲۰۵۰، به طرز تأسف‌باری از مسیر خارج شده است» (سازمان ملل، ۲۰۲۱).

مقاله‌ی «انتقال به اقتصادهای کم‌کربن تحت دستور کار ۲۰۳۰: به حداقل رساندن مبادلات تجاری و افزایش منافع مشترک اقدام در زمینه تغییر اقلیم برای اهداف توسعه پایدار»[1] که توسط گابریلا ایلینا یاکوبوتا[2] و همکارانش نگاشته شده است، تلاش نموده تا با روش‌های مختلف، با تأکید بر هدف‌گذاری سند توسعه‌ی پایدار ۲۰۳۰ نسبت به عملیاتی‌سازی استاندارد کم‌کربن، راه‌حل‌هایی برای کنترل مصرف کربن ارائه نماید. وی بیان داشته «از طریق بررسی ادبیات گسترده، متوجه شدیم که اقدامات کاهش تغییرات آب و هوایی به‌طور مستقیم بر بیشتر اهداف ۲۰۳۰، عمدتاً از طریق منافع مشترک، تأثیر می‌گذارد. بهبود بهره‌وری انرژی، کاهش تقاضای خدمات انرژی و روی آوردن به انرژی‌های تجدیدپذیر بیشترین مزایا را به همراه دارد. در مقابل، جذب و ذخیره‌سازی کربن و انرژی هسته‌ای احتمالاً به مبادلات متعدد منجر می‌شود.» (ایلینا یاکوبوتا و همکاران، ۲۰۲۱).

سابق بر این در قراردادهای بین‌المللی نیز **معاهده‌ی اقلیمی پاریس و قرارداد مونترال**، به موضوع کنترل جهانی تولید و مصرف کربن و تعهد کشورها برای کاهش میزان آن بر اساس پروتکل‌های بین‌المللی اشاره و تأکید شده است. قرارداد مونترال یا پروتکل مونترال در خصوص مسائلی است که باعث تخریب لایه‌ی ازون می‌شوند و اساساً یک معاهده‌ی بین‌المللی است که برای محافظت از لایه‌ی ازون با خاتمه دادن به تولید مواد بی‌شماری که عامل کاهش ازون هستند طراحی شده است (خبرگزاری ایمنا، ۱۴۰۰).

اعظم محمدباقری در مقاله‌ای با عنوان «اقتصاد کم کربن و سیاست‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای»، در خصوص پروتکل‌های کم کربن‌سازی اقتصاد بیان داشته «حرکت به‌سوی اقتصاد کم کربن، مستلزم انجام فعالیت‌هایی است که ... از انتشار دی‌اکسید کربن جلوگیری کند که ... سیستم‌های کنترل هوشمند ساختمان نمونه‌هایی از تکنولوژی‌ها، فرایندها و خدماتی هستند که پاسخگوی این ضرورت می‌باشند» (محمدباقری و همکاران، ۱۳۹۲، صص ۱۸–۲۰). لذا تأکید شده که زیرساخت هوشمند از ضرورت‌های کنترل کربن می‌باشد.

در مقاله‌ای دیگر با عنوان «ارزیابی پایداری محله‌های شهری با رویکرد محله‌ی کم کربن» صابر محمدپور نسبت به الگوی اجرای کم کربن، بیان داشته «دانشمندان برای دستیابی به جامعه‌ی کم کربن و توسعه‌ی پایدار، تمرکز خود را بر روی نظام‌های طراحی و برنامه‌ریزی به‌منظور ارزیابی محله‌ی کم کربن معطوف کرده‌اند» (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۹). وی در ادامه با بررسی‌های کیفی و کمی، روش‌های برتر آزموده

[1] Transitioning to Low-Carbon Economies under the 2030 Agenda: Minimizing Trade-Offs and Enhancing Co-Benefits of Climate-Change Action for the SDGs

[2] Gabriela Ileana Iacobuță

شده در خصوص کنترل کربن را معرفی و تشریح می‌نماید.

مهدی مجیدپور نیز در مقاله‌ای با نام «جذب و ذخیره‌سازی کربن، سیاست‌گذاری فناوری برای گذار به اقتصاد کم کربن» به این مهم اشاره می‌کند که «فوریت پاسخگویی به تغییرات اقلیمی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی باعث شده است تا توسعه‌ی تکنولوژی‌های کم کربن، بیش از پیش مورد توجه قرار بگیرد» (مجیدپور، ۱۳۹۱). وی در ادامه تأکید دارد که برای اجرای پروتکل‌های کم کربن، باید از سد چهار دسته چالش فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی عبور کرد؛ زیرا کنترل کربن بر حوزه‌های مذکور اثرگذار است.

۳ ادبیات پژوهش

۱.۳ نقش کلیدی کربن در صنعت، اقتصاد و تکنولوژی

به دلیل گستردگی ترکیبات کربنی و هیدروکربنی و کاربردهای بسیار زیاد آنها؛ امکان بررسی تمامی ترکیبات موجود در پژوهش حاضر میسر نیست. لذا صرفاً به میزانی از بیان موارد فوق اکتفا می‌شود که بتوان جایگاه این عنصر مهم و حیاتی را برای ورود به مبحث اصلی مشخص و اثبات نمود.

- زغال سنگ، نفت، گاز

زغال سنگ، ماده‌ی اصلی در تولید محصولاتی چون کربن فعال است. از زغال سنگ، کک تهیه می‌شود که سوخت نیروگاه‌های برق را فراهم می‌آورد (IEA، ۲۰۲۱). در حال حاضر ۳۵% تا ۳۸% برق جهان به‌وسیله‌ی زغال سنگ تأمین می‌شود (انجمن جهانی زغال‌سنگ، ۲۰۲۱). پس از تولید انرژی الکتریکی، صنایع فولاد و سپس تولید سیمان رتبه‌های بعدی مصرف زغال سنگ را دارا هستند. از زمان امضای توافقنامه اقلیمی پاریس ۲۱ کشور متعهد شده‌اند که تولید با سوخت زغال سنگ را از بخش برق خود تا سال ۲۰۳۰ حذف کنند. این ۲۱ کشور ۳.۲ درصد از تولید برق جهانی در سال ۲۰۲۰ و یا تولید ۱% از دی‌اکسید کربن جهان را تشکیل می‌دهند (IEA، زغال‌سنگ، ۲۰۲۱).

درباره‌ی جایگاه نفت و گاز نیازی به توضیح نیست اما می‌توان ضرورت تولید برق که نیاز الزامی دیگر صنایع به انرژی‌های فسیلی در جهان است را از جدول ۱ استخراج و با نسبت مصرف به امضاکنندگان معاهده‌ی پاریس بیشتر مقایسه نمود.

طبق گزارش مؤسسه‌ی جهانی زغال سنگ، تولید ۷۰% فولاد جهان به روش کوره‌ی بلند با بهره‌گیری از زغال سنگ تولید می‌شود (انجمن جهانی زغال‌سنگ، ۲۰۲۲). همچنین زغال‌سنگ در صنایع دیگری مانند آلومینا، صنایع شیمیایی و دارویی، بازیابی آمونیاک برای تولید کود شیمیایی، تولید آلیاژها و فروآلیاژها به دلیل تولید انرژی کاربرد دارد. به‌عنوان مثال تولید آلومینیوم نیاز شدیدی به برق دارد و در سال ۲۰۲۰ میزان برق مصرفی جهانی برای ذوب اولیه‌ی آلومینیوم 14273 KWH/T[۳] تخمین زده شده است (IEA، آلومینیوم، ۲۰۲۱).

[۳] کیلووات ساعت بر تن

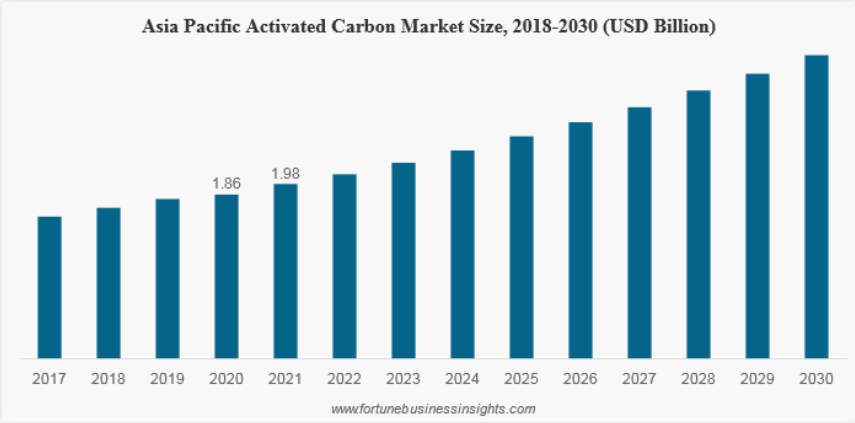
جدول ۱: میزان تولید برق از سوخت‌های فسیلی در کشورهای جهان

Electricity generation by fuel*

	2020								2021							
Terawatt-hours	Oil	Natural Gas	Coal	Nuclear energy	Hydro electric	Renew-ables	Other‡	Total	Oil	Natural Gas	Coal	Nuclear energy	Hydro electric	Renew-ables	Other‡	Total
Canada	2.9	73.6	38.6	97.5	386.5	49.3	0.6	649.1	2.9	75.9	38.7	92.0	380.8	50.0	0.7	**641.0**
Mexico	32.4	200.1	18.9	11.2	26.9	36.2	–	325.7	32.8	203.3	13.6	11.9	34.7	39.7	–	**336.0**
US	18.6	1746.4	844.3	831.5	282.8	547.7	13.5	4284.8	20.2	1693.8	978.5	819.1	257.7	624.5	12.7	**4406.4**
Total North America	54.0	2020.1	901.9	940.1	696.3	633.2	14.1	5259.7	55.9	1973.0	1030.7	923.0	673.3	714.1	13.5	**5383.5**
Argentina	7.1	88.0	1.6	10.7	23.7	13.0	0.6	144.6	7.9	93.3	2.9	10.8	19.6	17.2	0.6	**152.5**
Brazil	10.5	53.5	20.3	14.1	396.4	126.5	–	621.3	21.9	86.9	24.1	14.7	362.8	144.0	–	**654.4**
Other S. & C. America	66.3	90.5	49.1	–	271.2	59.5	†	536.6	66.1	100.9	45.3	–	277.7	68.1	†	**558.0**
Total S. & C. America	83.9	231.9	71.1	24.7	691.2	199.1	0.6	1302.5	95.9	281.1	72.3	25.5	660.1	229.3	0.6	**1364.8**
Germany	4.7	95.0	134.6	64.4	18.3	231.8	24.8	573.6	4.8	89.0	162.6	69.0	19.1	217.6	22.4	**584.5**
Italy	11.4	133.7	15.1	–	45.7	68.8	5.8	280.5	8.3	146.4	14.5	–	43.1	71.4	3.5	**287.2**
Netherlands	1.4	72.6	7.6	4.1	†	33.0	4.9	123.6	1.4	56.3	17.8	3.8	0.1	40.1	2.1	**121.6**
Poland	1.7	17.3	109.4	–	2.1	25.3	1.3	157.1	1.5	15.5	131.7	–	2.3	27.8	1.3	**180.0**
Spain	10.7	69.7	6.1	58.3	30.5	83.2	4.7	263.4	10.3	69.2	6.1	56.5	29.6	95.8	4.7	**272.1**
Turkey	0.3	70.9	105.8	–	78.1	51.5	–	306.7	0.3	110.4	104.2	–	55.7	62.7	–	**333.3**
Ukraine	0.3	14.2	40.2	76.2	7.6	9.4	–	147.8	0.8	10.3	36.8	86.2	10.4	11.0	–	**155.5**
United Kingdom	0.8	111.4	5.5	50.3	6.8	127.8	9.3	312.0	1.5	124.2	6.5	45.9	5.0	116.9	9.9	**309.9**
Other Europe	17.4	180.5	145.4	580.0	468.8	291.8	30.3	1714.2	19.1	178.1	151.9	621.4	484.4	303.2	30.3	**1788.3**
Total Europe	48.9	765.4	569.7	833.2	657.9	922.7	81.1	3879.0	47.9	799.3	632.0	882.8	649.7	946.5	74.2	**4032.5**
Kazakhstan	0.1	27.3	69.4	–	9.7	2.3	–	108.6	0.1	32.9	69.3	–	9.1	3.0	–	**114.4**
Russian Federation	8.2	464.9	175.8	215.9	212.4	3.5	4.7	1085.4	8.5	496.8	204.7	222.4	214.5	5.4	4.7	**1157.1**
Other CIS	2.7	153.6	4.3	3.1	41.1	1.0	0.7	206.6	3.4	156.6	4.3	7.8	42.7	1.2	0.6	**216.5**
Total CIS	11.0	645.8	249.5	219.0	263.2	6.8	5.3	1400.7	11.9	686.4	278.3	230.2	266.3	9.6	5.3	**1488.0**
Iran	37.0	268.2	0.7	6.3	23.2	1.8	–	337.2	48.7	288.3	0.7	3.5	14.9	1.8	–	**357.8**
Saudi Arabia	130.8	207.0	–	–	–	0.2	–	338.0	139.9	215.9	–	–	–	0.8	–	**356.6**
United Arab Emirates	†	132.7	–	1.6	–	4.6		137.3	†	123.7	–	10.5	–	5.2	–	**139.4**
Other Middle East	114.7	282.7	19.0	–	4.9	9.1	†	430.4	117.6	301.8	17.0	–	4.6	10.7	–	**451.7**
Total Middle East	282.5	890.7	19.7	8.0	28.1	15.7	†	1243.0	306.1	929.7	17.7	14.1	19.5	18.5	–	**1305.6**
Egypt	22.7	151.3	–	–	14.9	9.7	–	198.6	26.9	157.6	–	–	14.6	10.5	–	**209.7**
South Africa	1.4	–	202.6	13.9	0.7	15.7	5.1	239.5	1.6	–	209.6	10.4	1.4	16.5	4.8	**244.3**
Other Africa	42.5	185.8	37.2	–	130.8	20.0	0.7	417.0	47.7	197.9	37.8	–	137.4	22.0	0.7	**443.5**
Total Africa	66.7	337.0	239.8	13.9	146.4	45.4	5.8	855.1	76.2	355.6	247.4	10.4	153.4	49.0	5.5	**897.5**
Australia	4.5	53.1	142.9	–	14.4	49.9	0.4	265.2	4.7	47.6	137.4	–	16.0	61.3	0.4	**267.5**
China	10.8	252.5	4920.8	366.2	1321.7	863.2	43.8	7779.1	12.2	272.6	5339.1	407.5	1300.0	1152.5	50.2	**8534.3**
India	2.1	74.5	1125.8	44.6	163.7	152.0	0.6	1563.3	2.3	64.2	1271.1	43.9	160.3	171.9	1.1	**1714.8**
Indonesia	6.8	51.3	180.9	–	24.3	28.6	†	291.8	6.6	56.3	190.0	–	24.7	31.5	0.3	**309.4**
Japan	36.7	353.6	298.0	43.0	77.4	117.8	70.6	997.0	31.3	326.1	301.9	61.2	77.6	130.3	91.3	**1019.7**
Malaysia	0.9	53.6	84.2	–	27.9	2.8	–	169.5	1.1	63.3	77.3	–	32.4	3.1	–	**177.2**
South Korea	6.7	159.9	209.8	160.2	3.9	31.1	3.7	575.3	7.0	176.4	211.7	158.0	3.1	40.2	4.1	**600.4**
Taiwan	4.4	99.9	125.9	31.4	3.0	10.4	4.9	280.0	5.3	108.3	128.9	27.8	3.5	12.1	5.0	**290.9**
Thailand	0.7	113.9	36.8	–	4.5	20.5	†	176.5	0.7	113.1	36.1	–	4.5	21.9	†	**176.3**
Vietnam	1.3	34.0	114.8	–	73.4	12.1	–	235.4	0.2	26.2	114.1	–	75.9	28.3	–	**244.8**
Other Asia Pacific	39.9	234.6	147.8	9.5	148.5	35.4	0.6	616.3	54.7	239.3	158.1	15.9	153.7	36.9	0.7	**659.1**
Total Asia Pacific	114.8	1480.7	7387.7	655.0	1862.9	1323.7	124.7	12949.3	126.3	1493.4	7965.6	714.3	1851.6	1690.1	153.1	**13994.4**
Total World	**661.7**	**6371.7**	**9439.3**	**2694.0**	**4346.0**	**3146.6**	**230.0**	**26889.2**	**720.3**	**6518.5**	**10244.0**	**2800.3**	**4273.8**	**3657.2**	**252.2**	**28466.3**
of which: OECD	145.6	3399.6	2065.6	1872.3	1483.3	1766.1	168.2	10900.7	142.5	3372.4	2253.0	1911.0	1440.3	1910.1	181.0	**11210.2**
Non-OECD	516.0	2972.0	7373.7	821.7	2862.7	1380.5	61.8	15988.5	577.8	3146.1	7991.0	889.2	2833.6	1747.2	71.2	**17256.1**
European Union	45.5	561.4	369.1	683.8	343.2	710.6	65.4	2779.0	43.0	548.0	439.2	732.2	344.4	730.2	58.4	**2895.3**

بر اساس گزارش سالانه‌ی مرکز تحقیقات و سیاست اقتصاد انرژی[۴] بیش از یک تریلیون تن ذخایر ثابت زغال سنگ در سراسر جهان وجود دارد که بیشترین استخراج و تولید به ترتیب متعلق به کشورهای چین، اندونزی، هند، استرالیا و آمریکا است و در رقم ارزی واردات نیز چین معادل ۴.۱۶میلیارد دلار، ژاپن ۹۵.۱۵ میلیارد دلار، هند ۱۵٫۸۷ میلیارد دلار است. با این تفاسیر جایگاه مصرف‌کنندگان زغال سنگ در دنیا به ترتیب کشور چین به تنهایی ۵۰%، هند ۱۱٫۳% ، آمریکا ۸٫۵% ، و سپس ژاپن می‌باشد (آمار جهانی انرژی، ۲۰۲۲). به روشنی قابل استنباط است که ایران جایگاه قابل توجهی را در هیچ یک از موارد تولید، واردات و یا مصرف زغال سنگ ندارد و به همین نسبت با تقسیم بر صنایع اصلی مصرف‌کننده‌ی زغال سنگ؛ صنایع تولید برق، فولاد، سیمان و... هریک سهم ناچیزتری را به خود اختصاص می‌دهند.

[4]Centre for Energy Economics Research and Policy



شکل ۱: سهم ارزی رو به رشد بازار آسیا از مصرف کربن فعال

- کربن فعال

این ماده که در صنعت به چارکول[5] نیز معروف است به دلیل مساحت سطحی بالا، کاربرد بالایی در جذب گازها، تصفیه‌ی هوا، آب و پساب، جذب ناخالصی‌ها و بو و طعم نامطلوب دارد. از دلایل مصرف بالای چارکول سهولت جمع‌آوری آن از مواد ترکیب شده و غیر سمی بودن آن در صورت استعمال است. سهم بازار جهانی آن ۴٫۷۷ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۱ ارزش‌گذاری شده و پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۰ معادل ۷٫۷۳ میلیارد دلار است (گزارش تحقیق بازار، ۲۰۲۲).

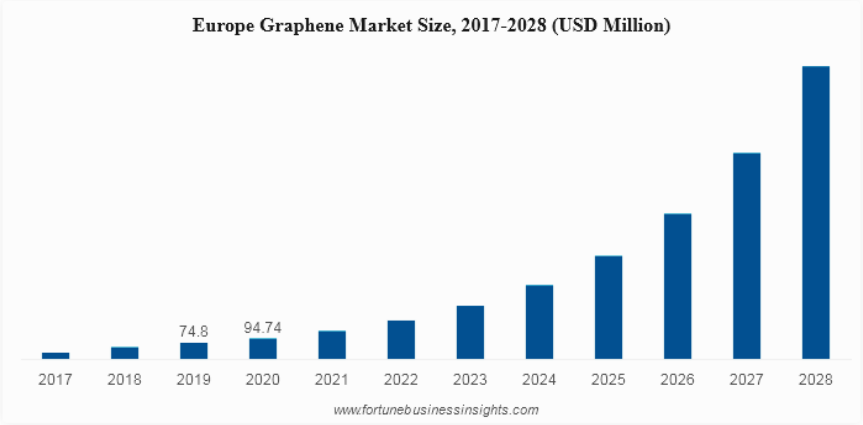
- گرافیت

شکلی از کربن است که خواص فلزی و غیرفلزی از جمله هدایت گرمایی و الکتریکی بالای آن، این ماده را برای مصارف صنعتی ایده‌آل نموده است. عمده‌ی مصرف گرافیت کربن در نسوزها، ریخته‌گری، روان‌سازها، باتری لیتیومی، صنایع فولاد و لاستیک است. افزودن ۰٫۰۵ تا ۲٫۱ درصد وزنی کربن به فولاد (فولاد کربنی) موجب افزایش استحکام آن می‌شود. همچنین استفاده از الکترود گرافیتی برای کوره‌ی قوس الکتریکی در تولید فولاد ضروری است (دنیل استپیچ، ۲۰۲۱). صنعت نسوز شامل آستر برای کوره‌ها، راکتورها و زباله‌سوزها می‌شود. مقیاس بازار جهانی از مصرف این ماده ۶۰٫۱۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ بوده و تا سال ۲۰۲۸ به ۷۰٫۲۵ میلیارد دلار خواهد رسید (گزارش تحقیق بازار، ۲۰۲۱، ص ۱۰).

- گرافن

گرافن یک نانو ماده‌ی دو بعدی با دوام، انعطاف‌پذیر و نیمه‌هادی است که از جداسازی ورقه‌های لایه مانند گرافیت به ضخامت یک لایه‌ی اتم تهیه می‌شود (بلال ناسف، ۲۰۲۰). اهمیت این محصول که با تکنیک‌های خاصی تولید می‌شود به واسطه‌ی خواص ویژه و منحصر به‌فرد خود و دیگر موادی که از آن مشتق می‌شود

[5] Charcoal



شکل ۲: مقیاس بازار گرافن در اروپا، بازه‌ی زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ میلادی - ارقام بر حسب میلیون دلار

مانند اکسید گرافن، نانوپلاکت گرافن، نانو لوله‌ی تک لایه و دولایه؛ بسیار مورد توجه بازار اقتصاد و تکنولوژی است. گرافن از لحاظ شیمیایی بی‌اثر و دارای ظرفیت بالای انتقال الکترون است (وونبونگ چوی، ۲۰۱۰).

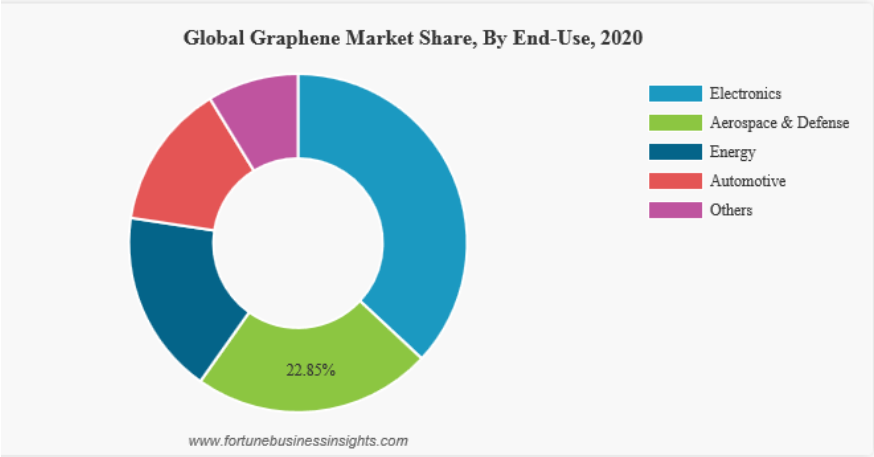
کاربردهای متنوع مانند الکترونیک، ذخیره‌ی انرژی، کامپوزیت‌ها، رنگ‌ها و روکش‌ها در بازار، محرک رشد تقاضای تجارت گرافن بوده است. پیش‌بینی می‌شود اندازه‌ی بازار گرافن از ۸۲۱٫۲ میلیون دلار در سال ۲۰۲۱ به ۷٫۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۸ افزایش یابد و فقط سهم بخش الکترونیک تا سال ۲۰۳۰ معادل ۳۷۰ میلیون دلار باشد.

بخش خودرو تا سال ۲۰۳۰ بیش از ۱۵ درصد از سهم بازار گرافن را در اختیار خواهد داشت. صنعت خودرو بر تولید خودروهایی با وزن سبک‌تر و در عین حال مطابق با استانداردهای ایمنی اجباری تمرکز دارد. انتظار می‌رود که سازندگان خودرو، استفاده از کامپوزیت‌ها را در مقیاس بزرگ برای تولید خودروهای سبک وزن با کیفیت برتر افزایش دهند.

گرافن برای تولید چسب‌های هوشمند، نانوکامپوزیت‌ها برای حسگرهای یکپارچه و سایر اجزای خودرو که احتمالاً در آینده‌ی نزدیک تجاری می‌شوند، استفاده می‌شود. بازیگران بازار به طور مداوم بر توسعه‌ی محصول و نوآوری تمرکز می‌کنند تا به مزیت رقابتی در صنایع مختلف مصرف نهایی[۶] دست یابند.

در سال ۲۰۲۰ میلادی، آسیا و اقیانوسیه بیشترین سهم بازار جهانی را داشتند. عامل اصلی رشد بازار در این منطقه برای گرافن از الکترونیک، رنگ‌ها و پوشش‌ها، پلیمر، ذخیره‌ساز انرژی و صنایع خودرو است. بخش‌های الکترونیک پیشرفته و ذخیره‌ی انرژی به‌ویژه در ژاپن، چین و کره‌ی جنوبی موجب ادامه‌ی افزایش مصرف گرافن در آسیا و اقیانوسیه خواهد شد. این منطقه از کشورهای در حال توسعه مانند چین، هند، کره‌ی جنوبی، سنگاپور، تایوان و اندونزی تشکیل شده است. این کشورها دارای امکانات تولید در مقیاس بزرگ در بخش‌های مختلف از جمله مواد شیمیایی، ساختمانی، خودرو و الکترونیک هستند. علاوه بر این سرمایه‌گذاری در توسعه‌ی تکنولوژی‌ها در چین نیز عامل مهمی برای تقاضای گرافن در منطقه است. بنابراین

[6] End Use



شکل ۳: سهم بازار جهانی گرافن بر مبنای مصرف نهایی؛ به ترتیب: الکترونیک، فضایی و دفاعی، انرژی و خودرو

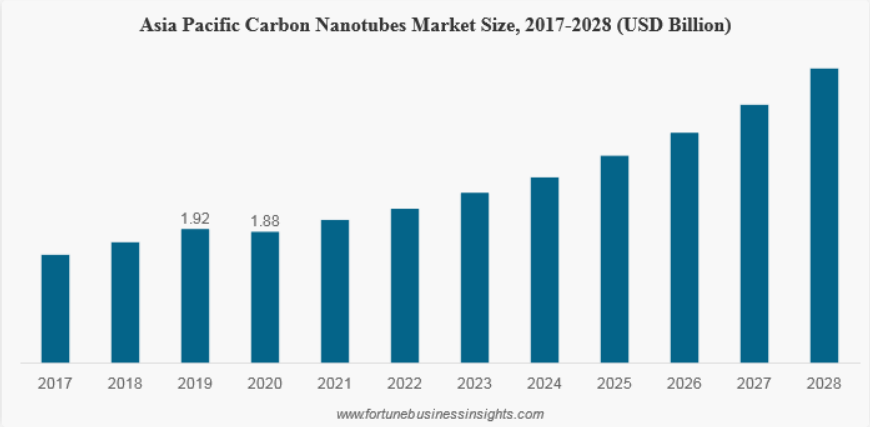
رشد صنایع مصرف‌کننده‌ی نهایی باعث ایجاد بازار گرافن می‌شود. علاوه بر این آمار، با توجه به نمودار شماره ۳ که پیش‌بینی بازار تقاضای گرافن در قاره‌ی اروپا است، مشاهده می‌شود که همچنان کشور ایران سهم آماری قابل بیانی را در گزارش‌های بین‌المللی دارا نیست (بینش بازار جهانی، ۲۰۲۱ و گزارش تحقیق بازار، ۲۰۲۲، ص ۸۰).

– نانو لوله‌ی کربن

نانو لوله‌ی کربن[۷] یک ساختار لوله مانند توخالی است که از لوله شدن یک صفحه‌ی گرافن تولید می‌شود. گستره‌ی بازار جهانی نانو لوله‌ی کربن معادل ۴۹.۴ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ میلادی بوده است و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۸ به ۵۲.۱۰ میلیارد دلار برسد. برای توجیه چنین ارقام بالایی باید گفت که نانو لوله‌های کربنی در زمینه‌های خاص و پیشرفته کاربرد دارند، نظیر مواردی که نیاز به استحکام بالا، دوام، کم‌وزنی در عین استحکام و هدایت حرارتی در مقایسه با مواد دیگر باشد. از این رو جایگاه ویژه‌ای در صنایع نظامی و هوافضا دارد.

تحقیقات مدل‌سازی ناسا پیش‌بینی می‌کند کامپوزیت‌هایی که از تقویت‌کننده‌ی نانو لوله استفاد می‌کنند، می‌توانند به کاهش ۳۰ درصدی جرم کل یک وسیله منتج شود. در پژوهشی دیگر مهندسان دانشگاه MIT در سال ۲۰۱۹ یک ریزپردازنده‌ی پیشرفته‌تر از ترانزیستور، توسط نانو لوله‌ی کربنی ساخته‌اند که جایگزین همتایان ترانزیستوری خود با ده برابر بازده انرژی بیشتر است. همچنین در آنتن برای دستگاه‌های الکترومغناطیسی و رادیویی، باتری لیتیومی، سلول‌های خورشیدی و سوختی، نمایشگر انتشار میدانی و ... تقاضای نانو لوله‌ی کربنی وجود دارد.

[7] Carbon Nano Tubes (CNTs)



شکل ۴: پیش‌بینی میزان بازار نانو لوله‌ی کربن در آسیا، سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۸ بر حسب میلیارد دلار

بر اساس داده‌های سال ۲۰۲۰ میلادی در حوزه‌ی مصارف و کاربردهای نانو لوله‌های کربنی، حوزه‌های پلاستیک و کامپوزیت در جایگاه نخست قرار دارد و پس از آن صنایع الکتریکی و الکترونیکی و انرژی در رده‌های دوم و سوم هستند (گزارش تحقیق بازار، ۲۰۲۱، ص ۲۰۰).

همچنین مصارف گسترده‌ای برای نانو لوله‌های کربنی در زمینه‌ی پزشکی وجود دارد که اهم آنها در نمودار شماره ۶ مشخص شده است (بوشان مورجانی، ۲۰۲۲).

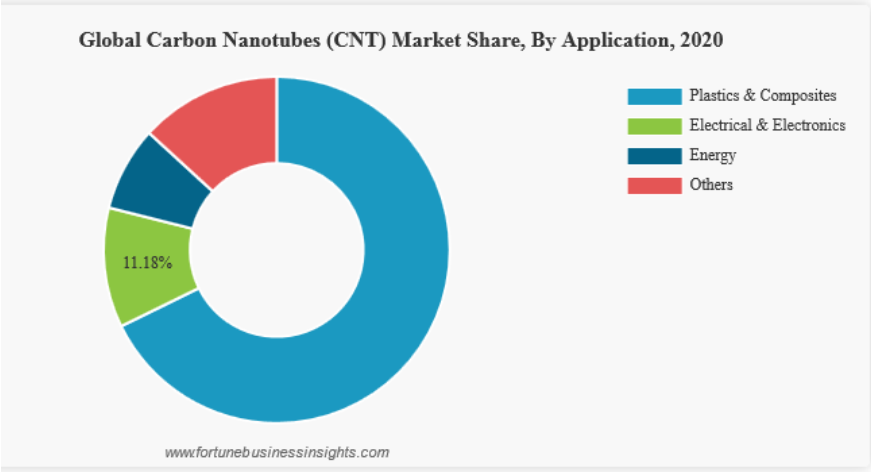
- فیبر کربن

پلیمرهای هیدروکربنی که بالای نود درصد کربن داشته باشند، در فرایند دمایی بالا تبدیل به فیبر می‌شوند که هدایت الکتریکی چشمگیر و استحکام بالایی (تقریباً ده برابر فولاد با یک سوم وزن آن) را دارند. ترتیب سهم کاربرد فیبر کربن در انرژی بادی، هوافضا، تجهیزات ورزشی (از جمله دریایی) و خودرو است (پایگاه استاتیستا، ۲۰۲۱).

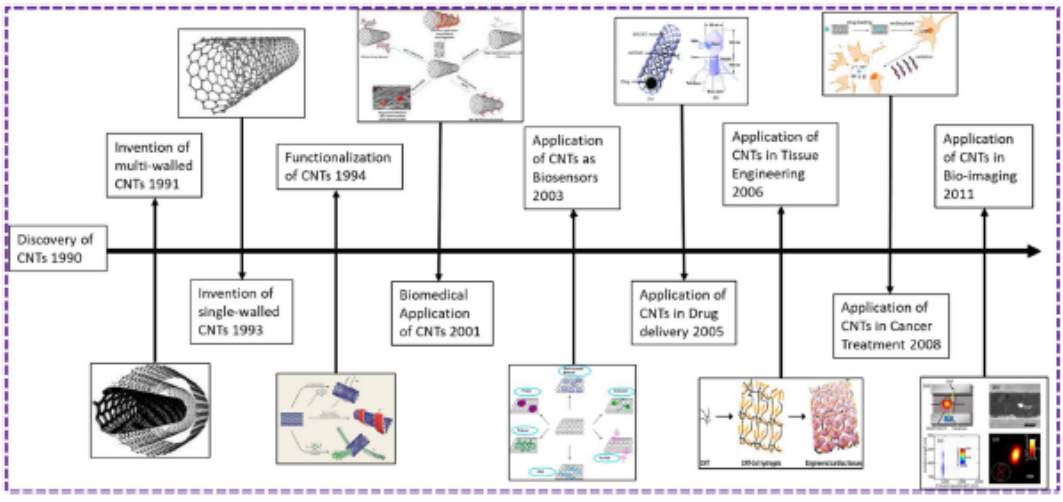
۲.۳ سنجش میزان کربن مصرف شده

اندازه‌گیری‌های مداوم انتشار کربن نظیر دی‌اکسید کربن صنعتی با استفاده از ابزارهای رایج و متنوع توسط دستگاه‌های کوچک قابل حمل، به سهولت در دسترس است. برای اندازه‌گیری‌های جوی بسیار دقیق، از آشکارسازهای لیزری پالسی (رادار جذب دیفرانسیل ناشی از لیزر یا LIDAR[۸]) استفاده می‌شود که در طول موج‌های کمی بیش از ۲ میکرومتر عمل می‌کنند. همچنین برای نظارت بر غلظت دی‌اکسید کربن در جو، شبکه‌ی مشاهده ستون کربن کل (TCCON)[۹] در سال ۲۰۰۴ تشکیل شد. TCCON یک شبکه‌ی جهانی از ایستگاه‌ها است که مقادیر دی‌اکسید کربن، مونو اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن و سایر گازهای کمیاب

[8]LIDAR: Laser Induced Differential Absorption Radar
[9]TCCON: Total Carbon column Observing Network



شکل ۵: سهم بازار جهانی نانوتیوپ کربن بر اساس کاربرد در سال ۲۰۲۰؛ به ترتیب: پلاستیک و کامپوزیت،الکتریکی و انرژی



شکل ۶: تایم‌لاین نانوتیوپ کربن و کاربردهای زیست‌پزشکی

موجود در جو را اندازه‌گیری می‌کند. برای این شبکه تا سال ۲۰۱۵ میلادی، ۲۳ ایستگاه نظارتی در سراسر جهان احداث شد. هدف TCCON بررسی جریان (شار) کربن بین جو، زمین و اقیانوس (به اصطلاح بودجه‌ی کربن یا چرخه‌ی کربن) است. این هدف با اندازه‌گیری جرم اتمسفر کربن (کسری در هوا) به‌دست می‌آید.

۱.۲.۳ تلاش ناسا برای اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن

ادعا شده که اندازه‌گیری‌های فضایی دی‌اکسید کربن، در پاسخ به سؤالات مربوط به چرخه‌ی کربن کره‌ی زمین کمک می‌کند. اولین مأموریت ماهواره‌ای مانیتور تداخل‌سنجی برای گازهای گلخانه‌ای[10] توسط ماهواره‌ی ADEOS I در سال ۱۹۹۶ انجام شد که کمتر از یک سال به طول انجامید. از آن زمان، اندازه‌گیری‌های فضایی اضافی، از جمله اندازه‌گیری‌های دو ماهواره با دقت بالا (بهتر از ۰٫۳ درصد یا دقت 1ppm) انجام شده است.

دو دهه تلاش ناسا در LIDAR و توسعه‌ی «فرستنده‌ی دو میکرونی» منجر به قابلیت جدیدی برای اندازه‌گیری از راه دور سطح دی‌اکسید کربن شد (ناسا، ۲۰۲۰ و بلا لیپتیک، ۲۰۱۹).

۳.۳ چرا کنترل جهانی کربن؟

تمام آنچه تاکنون در پژوهش حاضر بیان گردید، صرفاً بدین منظور است که مشخص شود:

۱. کربن و انواع مشتقات آن در حوزه‌های مختلف، از سطوح فردی تا اجتماعی و از سطوح فنی تا راهبردی حائز اهمیت بی‌بدیل است.

۲. برخی کشورها نظیر آمریکا در تلاش هستند از طریق دستیابی به روش‌های عملیاتی و تکنولوژی‌های لازم، میزان کربن آزاد شده را اندازه‌گیری کنند که معادل میزان کربن مصرف شده است. یعنی هر چقدر در یک کشور، آثار جوی کربن بیشتر مشاهده شود؛ آن کشور استفاده‌ی بیشتری از این عنصر به‌عنوان ماده‌ی اصلی موجود در ترکیبات مادر مورد نیاز در زیرساخت‌ها و احتمالاً دیگر مواد کربنی با کاربردهای خاص‌تر را دارد. پس در نتیجه از صنایع و جامعه‌ی به‌روزتر و پیشرفته‌تری برخوردار است، زیرا بسیاری از حوزه‌های امروزی مصارف کربن نظیر گرافن، نانو لولهی کربنی و ... نه به سادگی تولید می‌شوند و نه به سادگی مصرف می‌گردند.

حال پرسش مهم این است که:

۱. ۱. آیا احتمال دارد سنجش‌های مداوم جهانی میزان مصرف کربن و توسعه‌ی تکنولوژی اندازه‌گیری گازها، فقط به‌منظور کنترل مصرف کربن باشد؟

۲. ۲. در این صورت آیا به‌تبع کنترل میزان مصرف کربن، کشورها در حوزه‌های مختلف از علوم آزمایشگاهی گرفته تا تجهیزات و تسلیحات نظامی، صنایع مادر، پزشکی و ... کشف، شناسایی و کنترل نمی‌شوند؟

[10] IMG: Interferometric Monitor for Greenhouse Gases

۳. ۳. اساساً کنترل فوق چگونه امکان تحقق دارد و اگر توسعه یابد، چه فضایی را در جهان رقم می‌زند؟

۱.۳.۳ سایبرنتیک، دانش کنترل

نوربرت وینر در سال ۱۹۴۸ میلادی برای اولین بار به زبان انگلیسی در کتابی با عنوان «سایبرنتیک: یا کنترل و ارتباط در حیوان و ماشین»[11] واژه‌ی سایبرنتیک را به‌کار برد.

وینر در خصوص انتخاب واژه‌ی سایبرنتیک چنین بیان می‌دارد: «تا دوران اخیر، واژه‌ای که مبیّن این گروه از افکار [منظور، کنترل پدیده‌ها از طریق جریان اطلاعات و محتوای ارسالی به آنها] باشد، وجود نداشت و برای برگرفتن این حوزه‌ی افکار به تمامی در یک اصطلاح، مجبور به اختراع واژه‌ای مخصوص شدم. لذا سایبرنتیک را به‌معنای سکاندار و از منشأ انگلیسی Governor انتخاب کردم» (وینر، ۱۳۶۶، ص ۱). وی در تعریف این واژه گفته است: «تصمیم ما بر این است که کلیات مطالعات نظری کنترل و ارتباطات در ماشین و موجودات زنده را سایبرنتیک بنامیم» (شکوهیان‌راد، ۱۳۹۷، ص ۵۹).

بنابر تعریف وینر –که پدر دانش سایبرنتیک است– دانش سایبرنتیک از سمتی هم بر کنترل هر پدیده در جای خود تمرکز دارد و از سمتی دیگر ارتباطات پدیده‌ها با یکدیگر را کنترل می‌نماید. این یعنی اعمال کنترل هم در سطح فردی است و هم در سطح اجتماعی. همچنین کنترل فردی و اجتماعی، هم نسبت به موجودات زیستی انجام می‌شود و هم پدیده‌های غیرزیستی. از تلفیق و ضرب ماتریسی گزاره‌های فوق، چنان نتیجه می‌شود که سایبرنتیک، کنترل تمام جامعه را مدنظر قرار داده است. لذا در یک جمله می‌توان سایبرنتیک را دانش کنترل تمامی پدیده‌ها در سطوح فردی و اجتماعی از طریق کنترل جریان اطلاعات تعریف نمود.

نکته‌ی بسیار مهم آن است که دانش سایبرنتیک، هر مؤلفه‌ای را که بتواند از طریق جریان اطلاعات تحت تأثیر قرار دهد، به‌عنوان متغیر کنترل مصادره نموده و از طریق آن، سایر پدیده‌ها و اجزای وابسته را کنترل می‌نماید.

۲.۳.۳ نسبت‌شناسی دانش سایبرنتیک و انقلاب‌های صنعتی

مفهوم انقلاب صنعتی[12] اشاره به رخدادهایی دارد که در قرن هجدهم آغاز شد و عموماً به جنبه‌های فنّی تحولات بزرگی نظیر احداث پل آهنی در ۱۷۷۹، احداث اولین خط آهن عمومی در بریتانیا در ۱۸۲۵، اختراع کوره‌ی آهن در ۱۸۵۶ و حفر اولین چاه نفت در ۱۸۵۹ میلادی اشاره داره که از مهم‌ترین نقاط انقلاب صنعتی هستند (دانشنامه‌ی رشد، انقلاب صنعتی). مبتنی بر روایت تاریخی، اکثر رخدادها و اختراعات مهم انقلاب صنعتی، ابتدا در بریتانیا بوده و سپس به سایر بخش‌های اروپا و آمریکای شمالی انتقال یافته است.

اما این روند متوقف نشد و با ماهیتی نوین و به شکلی متفاوت ادامه یافت. لذا این نتیجه برای دانشمندان حاصل شد که دوره‌ی زمانی ۱۷۵۰ تا حدود ۱۸۵۰ میلادی را به‌دلیل وقوع رخدادها، ابداعات و اختراعاتی که ذات مشابه داشته و آغاز راه انقلاب صنعتی بوده‌اند را به‌عنوان اولین مرحله از انقلاب صنعتی دسته‌بندی نمایند. به‌طور کل، شاخصه‌ی نوآوری‌های نخستین انقلاب صنعتی، جایگزینی ماشین‌های مکانیکی با انسان

[11] Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine
[12] Industrial Revolution

و حیوان در کاربردهای مختلف مانند کشاورزی، حمل و نقل، تولید و استخراج معادن است (ویجایا کایاستا، ۲۰۱۹).

در ادامه از حدود سال ۱۸۵۰ میلادی تا حدود ۱۹۳۰ میلادی، **انقلاب صنعتی دوم** شکل گرفت که هر چند بر پایه‌ی دستاوردهای انقلاب صنعتی یکم است اما ماهیتی متفاوت دارد. انقلاب صنعتی دوم که به انقلاب الکتریسیته نیز شهرت دارد، مقطعی است که ظهور و بروز تکنولوژی‌های مبتنی بر الکتریسیته را در بر دارد. مشاهیری مانند توماس ادیسون[۱۳] و نیکولا تسلا[۱۴] و دستاوردهایی نظیر انرژی الکتریسیته، تلفن، هواپیما و خودرو از اهم تاریخ انقلاب صنعتی دوم هستند.

در ادامه‌ی توسعه‌ی ارتباطات راه‌دور بر بستر الکتریسیته، **سومین انقلاب صنعتی** که کانون بسط آن عموماً ایالات متحده‌ی آمریکا است، بر اساس بر تکنولوژی‌های اطلاعاتی شکل گرفت و فضایی را پدید آورد که شاید بهترین تعبیر برای آن «صنعت متکی بر کامپیوتر و خودکارسازی» باشد. همچنین در کنار آن، تلاش برای دستیابی به انرژی‌های پایدار و جایگزینی با انرژی‌های فسیلی نیز آغاز شده است. انقلاب صنعتی سوم، با آغاز پایه‌گذاری دانش سایبرنتیک و طرح مسأله‌ی ماشین هوشمند و نظریه‌ی اطلاعات مقارن است. به‌عبارت دیگر، انقلاب صنعتی سوم، دوره‌ی طلوع سایبرنتیک و تکنولوژی‌های اولیه‌ی متأثر از این دانش است که به‌نوبه‌ی خود، عموم بخش‌ها از صنعت عمومی گرفته تا تسلیحات نظامی را با تحول جدی مواجه ساخت. از مهم‌ترین رخدادهای انقلاب صنعتی سوم، ابداع شبکه‌های کامپیوتری و عملیاتی‌سازی ورود کامپیوترهای نسل یکم تا چهارم به حوزه‌های مختلف حاکمیتی اعم از امنیت و دفاع، اجتماع، فرهنگ، سیاست و اقتصاد است.

اما **انقلاب صنعتی چهارم** که به‌نحوی امتداد انقلاب صنعتی سوم بوده و زمانه‌ی حاضر را شامل می‌شود، حاصل همه‌گیری مهندسی کامپیوتر پیشرفته و هوشمند می‌باشد که ظرفیت پیاده‌سازی تمام و کمال دانش سایبرنتیک را دارا است. اکنون که سیستم‌های دیجیتال کاملاً گسترده شده و توسعه یافته است، اینترنت به یکی از عادی‌ترین، اجتماعی‌شده‌ترین و زیرساختی‌ترین پدیده‌های بشری مبدل گشته و از نسل‌های جدید ارتباطی مانند 5G و 6G گرفته تا زیرساخت‌های ارتباطی همه‌جا حاضر مانند اینترنت اشیاء[۱۵] رونمایی و بهره‌برداری شده است؛ انقلاب صنعتی چهارم آماده است تا بر اساس دانش سایبرنتیک و سیستم‌های سایبر فیزیکال[۱۶]، دنیای جدیدی را تعریف و مستقر نماید.

از این رو دانش سایبرنتیک، اولاً متولی دو انقلاب از چهار انقلاب صنعتی است (مشخصاً انقلاب‌های صنعتی سوم و چهارم) و ثانیاً مبنای انقلاب صنعتی چهارم است زیرا از عمق مفاهیم فلسفی، دیدگاه‌های نظری و روش‌های عملیاتی و تکنولوژیک برخاسته است.

---

[13] Thomas Edison
[14] Nikola Tesla
[15] IoT: Internet of Things
[16] Cyber Physical Systems

۳.۳.۳ بازنگری انقلاب‌های صنعتی از منظر اعمال توان کنترل

بررسی انقلاب‌های صنعتی از منظر عملیاتی‌سازی توان کنترل چنین می‌نمایاند که اولاً بشر در هر دوره از انقلاب‌های صنعتی به توان کنترلی جدیدی دست یافته که سابق بر آن در اختیار نداشته است. بر این اساس در دوره‌ی انقلاب صنعتی یکم، بشر از طریق دانش‌هایی نظیر فیزیک، مکانیک و مباحثی مانند ترمودینامیک و ... دریافت که می‌توان از تبدیل انرژی‌ها به انرژی مکانیکی، توان حرکتی بسیار بیشتر از آنچه حیوانات ارائه می‌کنند را به‌دست آورد. در نتیجه تقریباً تمامی شئون زندگی انسانی از سطح فردی گرفته تا ملی و فراتر از آن، تحت تأثیر این یافته و خروجی‌های حاصل از آن قرار گرفت. در نتیجه بشر موفق شد مواردی را کنترل نماید که تا پیش از آن یا در سلطه نداشته یا به‌صورت جامع و کامل نبوده است. برای نمونه سفرهای منظم از طریق خطوط ریلی با توان جابجایی و ترابری انبوه، عظیم و طولانی مدت؛ از جمله مواردی است که به‌واسطه‌ی دریافت انرژی از ماشین بخار و سوزاندن زغال‌سنگ حاصل شده است. پس به‌دنبال آن، ورود به سایر مناطق و تلاش برای تسلط بر آنها و سپس انتقال منابع آنها به سرزمین‌های غربی در دستور کار قرار گرفت. بنابر این به‌طور خلاصه، دستاورد انقلاب صنعتی یکم برای بشر غربی، افزایش چشمگیر توان کنترل بر ابعاد فیزیکی زمین و دیگر ملت‌ها است.

انقلاب صنعتی دوم، ضمن حفظ دستاوردهای انقلاب صنعتی یکم؛ با ارائه‌ی انرژی الکتریسیته و وسایل مبتنی بر آن، قابلیت کنترل با سرعت بالاتر، دقت بیشتر، هزینه‌ی کمتر و مساحت گسترده‌تر را به بشر عرضه کرد. در نتیجه ضمن بروزرسانی ابزارهای مکانیکی به الکتریکی، ابزارهای جدیدی نیز ارائه نمود که امکان پیاده‌سازی آنها از طریق زیرساخت تماماً مکانیکی انقلاب صنعتی یکم میسر نبود. از مهم‌ترین نقاط تولید قدرت کنترل در دوره‌ی انقلاب صنعتی دوم، امکان ارتباطات راه‌دور به‌واسطه‌ی تلگراف و تلفن است. پس اکنون بشر می‌تواند در چند دقیقه، فرمان خود را از سویی به سوی دیگر زمین ارسال نماید تا بلافاصله اعمال گردد. این یعنی تحولی بی‌بدیل در عرصه‌ی عملیاتی‌سازی فرماندهی و کنترل.

اما انقلاب صنعتی سوم، پا را از ارتباطات فراتر گذاشت و مسأله‌ی محاسبات را مطرح ساخت. اکنون بشر نیاز داشت با همان سرعت و ظرفیتی که فرمان خود را ارائه می‌کند، محاسبات اطلاعاتی را انجام دهد تا اولاً دریابد چینش محیطی که داده‌ها توصیف‌گر آن هستند چگونه است و ثانیاً چه تصمیمی اخذ و چه فرمانی صادر کند که شرایط را به سمت وضعیت مطلوب خودش سوق دهد؟ همچنین بشر نیازمند بود تا امور معمول محاسباتی را از خود دور نموده و به ابزارها بسپارد تا بتواند صرفاً بر حوزه‌های کلان و راهبردی تمرکز کند.

تمام نیازمندی‌های فوق در مفهوم کامپیوتر گنجانده شد و تدریجاً برای تحقق آن تلاش گردید. از این رو قلب تپنده‌ی انقلاب صنعتی سوم، انقلاب در عرصه‌ی محاسبات است؛ چه از منظر روش‌ها و الگوریتم‌های آن، چه از حیث ابزار و وسایل اجرای محاسبات.

حال بشر، توان جابجایی سریع، انتقال سریع اطلاعات و محاسبه و ذخیره‌سازی آن را به‌دست آورده است و کم‌کم دریافته که شاکله‌ی اصلی کنترل «اطلاعات» است. اما اگر این مهم را بپذیرد –که پذیرفته است– یعنی همزمان باید بپذیرد که هر پدیده‌ی غیراطلاعاتی، از دامنه‌ی کنترلی وی خارج است. به‌تعبیر دیگر، اگر پدیده‌ای از اطلاعات اثر نپذیرد، آنگاه کنترل نیز نخواهد شد، مگر با همان روش‌های سابق فیزیکی و مکانیکی

که سخت‌تر، محدود، زمان‌بر، هزینه‌بر و غیر دقیق بوده و سنخیتی با فضای کلان کنترل که به‌واسطه‌ی انقلاب صنعتی سوم پدید آمده است، ندارند. از سوی دیگر، بشر دریافته بود که هرچند توان ادراک اطلاعات یا همان هوشمندی، ابتدا به ساکن طبیعی است، اما ظاهراً می‌توان آن را در بعضی پدیده‌های غیرهوشمند نیز شبیه‌سازی کرد. بدین معنا که درجاتی از هوشمندی مصنوعی در پدیده‌های غیر هوشمند ایجاد گردد تا بتواند تحت تأثیر جریان اطلاعات، کنترل شود؛ و این یافته، سرآغاز انقلاب صنعتی چهارم گردید.

کلاوس شواب در خصوص ویژگی‌های منحصر به‌فرد انقلاب صنعتی چهارم و تفاوت‌های ماهوی آن با سه انقلاب صنعتی پیش از خود چنین بیان می‌دارد: «به اعتقاد من، سه دلیل وجود دارد که انقلاب صنعتی چهارم، متمایزاً در حال انجام است:

۱. سرعت. برخلاف انقلاب‌های صنعتی قبلی که سرعت تکوین آنها خطی است، این انقلاب دارای سرعت تصاعدی است و حاصل آن جهان چند وجهی و عمیقاً مرتبط است که ما در آن جهان با این واقعیت زندگی می‌کنیم که تکنولوژی‌های جدید، هر روز بهتر و حتی با امکانات بیشتر می‌شوند.

۲. دامنه و عمق. انقلاب صنعتی چهارم در بستر ترکیبی از تکنولوژی‌های چندگانه و انقلاب دیجیتال در دوره‌ی انتقالی پارادایم بی‌سابقه در اقتصاد، کسب و کار، اجتماع و افراد جاری است. این انقلاب نه تنها «چه»[17] را و «چگونه»[18] را، بلکه مفهوم «چه کسی هستیم»[19] را نیز تغییر میدهد.

۳. تبعات سیستم. انقلاب صنعتی چهارم شامل گذار از کل سیستم‌ها، در کلیه‌ی کشورها، شرکت‌ها، صنایع و جامعه به‌عنوان یک مجموعه [یکپارچه] است... تأکید من بر شیوه‌های ناظر بر همزیستی تکنولوژی و بقاء جامعه است؛ زیرا تکنولوژی یک نیروی برون‌زادی نیست که ما کنترلی بر آن نداشته باشیم» (کلاوس شواب، ۱۳۹۸، صص ۱۵-۱۶).

آنچه شواب مطرح کرده، مؤید تفسیری است که نسبت به انقلاب صنعتی چهارم بیان شد. چرا سرعت بیشتر؟ چون اطلاعات مشمول محدودیت‌های مادی و فیزیکی نیست. چرا دامنه و عمق فراتر؟ زیرا بشر منطبق با فهم خود تصمیم‌گیری و اقدام می‌کند و اطلاعات، کانون اصلی شکل‌گیری فهم بشر نسبت به هر موضوعی است. پس انقلاب صنعتی چهارم به عمیق‌ترین لایه‌ی شناخته از انسان توجه دارد. چرا تبعات سیستمی؟ چون جریان اطلاعات، منطبق با ساز و کار و منطق سیستم‌های سایبرنتیکی ایجاد و کنترل می‌شود که ریشه در نظریه‌ی سیستم‌ها دارد. در نتیجه تمامی پدیده‌های زیستی و غیرزیستی محیط را به مثابه اجزایی در نظر می‌گیرد که در نسبت با یک کل (مجموعه) بر اساس روابط معنادار به یکدیگر مرتبط شده‌اند و به محیط خود، خدمات ارائه می‌کنند. لذا کنترل از منظر نگاه سیستمی معنا می‌یابد، نه موردی و تفکیک شده.

در یک نگاه، هر انقلاب صنعتی توانسته عمق و گستره‌ی کنترل بشر در سطح جهان را افزایش دهد. با این اوصاف پرسش مهم این است که آیا کربن می‌تواند یک متغیر کنترلی برای کنترل جهان باشد؟

[17] What
[18] How
[19] Who

۴.۳.۳ کنترل کربن و انقلاب صنعتی پنجم

اهمیت روزافزون کربن در حوزه‌های مختلف و همچنین تحولات عظیم و بی‌بدیلی که مشتقات نوین آن رقم زده‌اند؛ این ظرفیت را برای کربن ایجاد نموده‌اند که بتوان آن را مؤلفه و مبنای یک انقلاب صنعتی جدید دانست. به‌عبارت دیگر امروزه کربن، چنان جایگاه بی‌بدیلی یافته که با هیچ چیز دیگر قابل جبران نیست، نظیر نقش بی‌بدیلی که ماشین بخار در انقلاب صنعتی یکم، الکتریسیته در انقلاب صنعتی دوم، کامپیوتر در انقلاب صنعتی سوم و هوش مصنوعی در انقلاب صنعتی چهارم دارند. از این رو می‌توان کربن را مبنای انقلاب صنعتی پنجم دانست.

همچنین در چند سال اخیر، بخش مهمی از تمرکز پژوهشی در جهان به موضوع ترسیب کربن[۲۰] اختصاص یافته است. ترسیب کربن به‌معنای دریافت کربن موجود در هوا به‌وسیله‌ی جذب در خاک و گیاهان است. اما از سوی دیگر، ادبیات علمی این حوزه در سال‌های اخیر به‌سمت وضع «استاندارد کم کربن» یا «استاندارد کربن صفر» میل پیدا کرده است. منظور از استاندارد کم کربن، عدم تولید کربن در فرایندهای مختلف اجتماعی، حاکمیتی، صنعتی، نظامی، پزشکی و ... است.

این موضوع تا آنجا مهم انگاشته شد که حتی برخی معاهدات بین‌المللی مانند معاهده‌ی اقلیمی پاریس با توجه ویژه به عدم تولید و انتشار کربن تدوین شده است؛ به‌گونه‌ای که کشورهای عضو معاهده، متعهد شده‌اند از طریق برنامه‌ی مشارکت ملی[۲۱] میزان انتشار مشتقات کربن نظیر دی‌اکسید کربن را کاهش دهند.

تحلیل‌گران بسیاری به این مهم دست یافتند که معاهده‌ی پاریس در واقع بستری است برای کنترل رشد اقتصادی کشورها، کنترل فضای زیست‌محیطی آنها طبق پروتکل‌های اعلامی، نظارت بر نوع و گستره‌ی صنایع کشورها از طریق سنجش آلاینده‌های کربنی تولید شده و سایر موارد. اما نسل جدید مشتقات بسیار مهم و راهبردی کربن –که در همین پژوهش اجمالاً معرفی شدند– از یک سو و تشدید استاندارد کم‌کربن از سوی دیگر حاکی از آن است که سطح کنترل به‌واسطه‌ی کربن بر کشورها در حال افزایش است.

آنچه باعث می‌شود که نتوان باور کرد هدف اصلی استاندارد کربن و نظارت‌های اینچنینی، محیط‌زیست جهانی است، آمارهایی است که نشان می‌دهد آمریکای شمالی و اروپای غربی دائماً در حال افزایش تولید مشتقات کربنی و توسعه‌ی صنایعی هستند که کربن تولید می‌کند؛ در حالی که عمل به مفاد معاهده‌ی پاریس را به دیگر کشورها تذکر می‌دهند.

در عین حال محرز است که یکی از عناصر اصلی که در بطن هر چهار انقلاب صنعتی یکم تا چهارم نقش دارد، کربن است. از این رو کنترل کربن، به‌معنای ممانعت از پیشرفت کشورها در مسیر چهار انقلاب صنعتی سابق است.

با این اوصاف اگر انقلاب صنعتی پنجم را یک انقلاب صنعتی مبتنی بر کربن بدانیم؛ بدین معنا خواهد بود که کشورهای پیشرو از سویی در تلاش برای رسیدن به جدیدترین کاربردهای کربن در حوزه‌های مختلف دانش و تکنولوژی هستند و از سوی دیگر، به‌بهانه‌ی مسائل زیست‌محیطی مانع از رشد و پیشرفت سایر کشورها

[20] Carbon Sequestration
[21] NDC: Nationally Determined Contribution

شده و از طریق پروتکل‌هایی که در استاندارد کربن وضع شده و معاهدات حقوقی بین‌المللی، تلاش می‌کنند تا این خواست خود را به سایر کشورها تحمیل نمایند.

۴ نتیجه‌گیری

سرعت رشد تحولات صنعتی کربن‌پایه در عصر حال و آینده و تکنولوژی‌های پیشرفته‌ی وابسته به کربن و مشتقات آن به قدری فزاینده و جایگاه کاربردهای راهبردی آن به قدری مسلم است که کنترل دانش‌ها و تکنولوژی‌های کربن‌پایه، بیش از آنکه به حفظ محیط‌زیست منجر شود، به حذف رقبای بین‌المللی خواهد انجامید. یکی از مصادیق این ادعا، به‌کارگیری تحلیل‌کننده‌ها و تجهیزات کنترلی بسیار پیشرفته و دقیق در حد تشخیص غلظت یک در میلیون [۲۲] و ایجاد پایگاه‌های متعدد در سراسر دنیا و خارج از جو برای ترکیبی است که هرچند تجمع و انتشار بالای هزاران تن از آن تغییرات زیست‌محیطی را ایجاد نموده است (به فرض صحت ادعا) اما در مقیاس کم، سمی و خطرناک نیست. به‌عبارت دیگر این حد از دقت برای تشخیص آلاینده‌های کربنی به‌منظور حفاظت از محیط‌زیست، توجیه علمی و فنی ندارد و کاملاً شبیه به رصد هرگونه فعالیت کربن‌پایه از حیث کیفی و کمی است.

این در حالی است که جامعه‌ی جهانی، نظیر چنین اقداماتی را در دهه‌های گذشته که ایام توسعه‌ی تکنولوژی‌ها و زیرساخت‌های هسته‌ای بوده، به بهانه‌ی تلاش برای شناسایی و کنترل نشت مواد خطرناک رادیواکتیو یا فعالیت‌های نامتعارف در کشورهای مختلف انجام داده است اما بعداً مشخص گردید که تماماً به نیت ممانعت از رسیدن کشورها به توان هسته‌ای است.

دومین شاهد این ادعا، سهم یک درصدی کشورهای متعهد و تحت کنترل از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان به ادعای IEA [۲۳] است. با توجه به آمارهای ارائه شده در پژوهش حاضر مشخص می‌شود کنترل کربن برای کشور ایران که در حال دستیابی به تکنولوژی‌هایی مانند تولید گرافن و به‌کارگیری آنها در مقیاس بالاتر از آزمایشگاهی در صنایعی چون الکترونیک، فضایی، خودروسازی، دفاعی و ... است؛ در نقش واگذاری اطلاعات حساس در حوزه‌ی روند دستیابی، میزان توسعه و گستره‌ی مصرف کربن کشور به پایگاه‌های بین‌المللی جمع‌آوری داده‌های کربن است.

از سوی دیگر به دلیل استفاده‌ی صنایع مادر و پشتیبان کشور مانند برق، پتروشیمی، فولاد، سیمان و ... از سوخت‌های فسیلی و محدودیت جایگزینی آن با انواع دیگر انرژی به‌دلیل سایر تعهدات بین‌المللی (مثلاً عدم استفاده‌ی گسترده از انرژی هسته‌ای برای تأمین نیرو به‌دلیل معاهدهی برجام) کشور را از پیشرفت زیرساختی، تکنولوژیک و صنایع نوین باز خواهد داشت.

مراجع

[۱] بیل گیتس، «چگونه از فاجعه اقلیمی جلوگیری کنیم؟»، مترجم: محسن صالحی اصیل، نشر گویا، تهران، ۱۴۰۰.

[22] PPM: Part Per Million
[23] IEA: International Energy Agency

[۲] خبرگزاری ایمنا، «پروتکل مونترال و لزوم حفاظت از لایه‌ی ازون»، ۲۵/۶/۱۴۰۰، پیوند: https://www.imna.ir/news/522179.

[۳] اعظم محمدباقری و سعید اسفندیاری، «اقتصاد کم کربن و سیاست‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای»، مجله اقتصاد انرژی، شماره‌های ۱۵۷ و ۱۵۸، خرداد و تیر ۱۳۹۲.

[۴] صابر محمد پور و مهرداد مهرجو، «ارزیابی پایداری محله‌های شهری با رویکرد محله‌ی کم کربن»، مجله‌ی توسعه‌ی محلی؛ دوره‌ی دوازدهم، بهار و تابستان ۱۳۹۹.

[۵] مهدی مجیدپور، «جذب و ذخیره‌سازی کربن، سیاست‌گذاری فناوری برای گذار به اقتصاد کم کربن»، سیاست‌نامه‌ی علم و فناوری، شماره ۲، بهار ۱۳۹۱.

[۶] نوربرت وینر، «استفاده‌ی انسانی از انسان‌ها»، ترجمه‌ی مهرداد ارجمند، تهران، سازمان انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی، ۱۳۶۶.

[۷] محمد علی شکوهیان‌راد، «نظریه‌ی جنگ در عصر سیستم‌های فرماندهی و کنترل»، تهران، مؤسسه‌ی آموزشی و پژوهشی شهید صیاد شیرازی، ۱۳۹۷.

[۸] دانشنامه‌ی رشد، سرفصل جامعه و علوم اجتماعی، بخش تاریخ، صفحه‌ی انقلاب صنعتی، پیوند: http://daneshnameh.roshd.ir/mavara/mavara-index.php?page= + &SSOReturnPage=Check&Rand=0.

[۹] [۹] کلاوس شواب، «انقلاب صنعتی چهارم»، مترجم: مرتضی شأنی، انتشارات شرکت چاپ و نشر بازرگانی، تهران، سال ۱۳۹۸.

[10] Sustainable Development Goal indicators website, United Nation, “Take urgent action to combat climate change and its impacts,” Link: https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/goal-13/.

[11] Sustainable Development Goal indicators website, United Nation, “Take urgent action to combat climate change and its impacts,” Link: https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/goal-13/.

[12] Gabriela Ileana Iacobuţă and Coworks, “Transitioning to Low-Carbon Economies under the 2030 Agenda: Minimizing Trade-Offs and Enhancing Co-Benefits of Climate-Change Action for the SDGs,” Sustainability Journal, 2021, Link: https://doi.org/10.3390/su131910774.

[13] International Energy Agency, “Global Energy Review 2021, Coal,” Link: https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/coal.

[14] World Coal Association, “Coal & Electricity,” Link: https://www.worldcoal.org/coal-facts/coal-electricity/.

[15] International Energy Agency, “Coal,” Link: https://www.iea.org/fuels-and-technologies/coal.

[16] International Energy Agency, “Aluminum,” Link: https://www.iea.org/fuels-and-technologies/aluminium.

[17] BP Statistical Review of World Energy 2022, 71st edition, Centre for Energy Economics Research and Policy, Heriot-Watt University, Link: https://ceerp.hw.ac.uk.

[18] World Coal Association, "Coal Facts," Link: https://www.worldcoal.org/coal-facts/.

[19] "Activated carbon market size, share & covid-19 impact analysis by type," 2022-2030, Market Research Report, Page 300, 2022, Report ID: FBI102175.

[20] "Industrial carbon and graphite materials," volume I: raw materials, production and applications, I chapter 6-5-3, graphite electrodes for electric arc furnanes. Daniel Steppich 2021, John Wiley and Sons.

[21] "Graphite market size, share & covid-19 impact analysis by product (synthetic and natural)," by application, 2021-2028, Market Research Report, Page 110, 2021, Report ID: FBI105322.

[22] Belal G. Nassef, Galal A. Nassef, "Graphene and its industrial applications-A review," International journal of Materials Engineering, 2020, 10 (1):1-12.

[23] Wonbong Choi, Inderanil lahiri, "Synthesis of graphene and its applications: A review," Critical Review in Solid State and Materials Science 2010, 35: 52-71.

[24] "Industry Overview," Global Market Insights, Link: https://www.gminsights.com/industry-analysis/graphene-market.

[25] "Graphene market size, share & covid-19 analysis by product (Graphene oxide (GO), Graphene nanoplatelets (GNP), others)," by end-use, 2021-2028, Market Research Report, Page 80, 2022, Report ID: FBI102930.

[26] "Carbon nanotubes (CNT) Market size, Share & covid 19 impact analysis," by product (Multi walled carbon nanotubes (MWCNT), 2021-2028, Market research report, 2021, Page 200, Report ID: FBI102700.

[27] Bhushan Murjani, Parikshit S. Kadu, "Carbon nanotubes in biomedical applications: current status, promises, and challenges," Carbon Letters, 2022. Link: https://doi.org/10.1007/s42823-022-00364-4.

[28] Statista, "Distribution of carbon fiber consumption worldwide in 2020 by end-use market," Link: https://www.statista.com/statistics/702145/global-carbon-fiber-consumption-share-by-end-use-market/.

[29] NASA, "Advanced earth observing satellite," Link: https://eosposo.nasa.gov/missions/advanced-earth-observing-satellite.

[30] Bela Liptake, "Measuring Atmospheric Carbon Dioxide," 2019, Link: www.ControlGlobal.com.

[31] Dr. Vijaya Kayastha, "Role of Materials in Performance of Printed Temperature Sensors," Brewer Science, June 2019, Link: https://www.brewerscience.com/wp-content/uploads/2019/07/2019_Sensors_Expo_Brewer_Science.pdf.