

شناسایی و تحلیل اقدامات رسمی کشورها در حوزه‌ی مواد حیاتی

مجری: پژوهشکده مطالعات فناوری، گروه مطالعات بین‌الملل علم و فناوری

کارفرما: مرکز همکاری‌های تحول و پیشرفت

همکاران طرح: عفت نوروزی، مسعود قاراخانی، سید حسین نکومنش فرد، جواد مشایخ

بهار ۱۳۹۷

چکیده مدیریتی

بشـر در طول عصـرهای مختلف زندگی خود منابع متفاوتی را دسـتمایه‌ی پیشـرفت خود قرار داده است. زمین، نیروی کار و فناوری مهم‌ترین منابع رشـد را در تاریخ زندگی بشر به خود اختصاص داده‌اند. فناوری که به‌عنوان عامل نسبتاً جدیدی از رشد معرفی می‌شود در ذات خود وابستگی‌هایی دارد. یکی از این وابستگی‌ها، وابستگی به مواد برای ساخت و تولید است. با توجه به محدودیتی که در کره‌ی زمین درمورد مواد و فلزات وجود دارد، بدیهی اسـت که دسترسی به مواد برای همگان یکسان نبوده و به میزان مورد نیاز هم نیست. از این رو به موادی که در یک برهه‌ی زمانی با محدودیت در دسـترسـی و تأمین مواجه شـوند، مواد حیاتی گفته می‌شـود. مواد حیاتی[1] یا بحرانی موادی هسـتند که از چندین جهت با اهمیت می‌باشـند. یکی از پررنگ‌ترین وجوه اهمیت این مواد در دسـترسـی به آنها برای تأمین این مواد در کاربردهای مختلف آنها می‌باشد. کشورها به دلیل ریسک‌های سیاسی موجود میان روابط کشورهای تأمین کننده و خریدار، مقررات داخلی و بین‌المللی، عدم وجود تنوع در کشورهای برخوردار از این مواد، و هم‌چنین خصـوصیات ذاتی این مواد در جداسازی و بازیابی مشکل و پرهزینه، با موضوع مواد حیاتی آشنا شده‌اند.

اهمیت این مواد به دلیل کاربردشـان در صنایع مختلف (ساختمان‌سازی، چاپ و نشر، صنایع فلزی، لوازم خانگی و ...) و تأثیر فزاینده‌شـان در فناوری‌های مختلف (اعم از هوا فضـا، الکترونیک، انرژی‌های پاک، فناوری زیستی و ...)، موجب شکل‌گیری اسناد راهبردی (راهبرد مواد حیاتی در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ در ایالات متحد، گزارش مواد خام حیاتی در اتحادیه اروپا در می ۲۰۱۴)، قوانین و مقررات (قانون انباشت مواد حیاتی و استراتژیک در امریکا) و نهادهای رسمی (مؤسسه مواد حیاتی) شده که به طور ویژه بر این مواد تمرکز نموده‌اند.

جمهوری اسـلامی ایران نیز مانند سـایر کشورها، دارای مسائلی در زمینه‌ی دسترسی به مواد می‌باشد به‌خصوص که حجم گسـترده‌ی تحریم‌های وضـع شده علیه کشور در حوزه‌ی موادی که کاربردهای چندگانه دارند از جمله تریتیم، آلومینیوم، لیتیم و ... ایران را با محدودیت بیشـتری برای دسـترسـی به این مواد روبرو ساخته است. لذا کشور نیازمند شروع اقدامات نهادی برای تأمین مواد مورد نیاز برای توسعه‌ی فناوری‌های وابسته به آنها و کاهش وابسـتگی‌ها به خارج و در نهایت کاهش آسـیب‌پذیری کشـور در این حوزه می‌باشد. اولین اقدام نهادی پیش رو، نهادهای رسمی هستند که شامل قوانین، اسناد راهبردی و نهادهای مسئول می‌باشند.

[1] Critical material

در همین راستا در خرداد ۱۳۹۶ طرح حاضر با موضوع **شناسایی و تحلیل اقدامات رسمی سایر کشورها در حوزه مواد حیاتی** که فاز اول طرحی کلان‌تر با هدف توسعه‌ی یک چارچوب از اقدامات رسمی مورد نیاز در حوزه‌ی مواد حیاتی در ایران است، با حمایت مرکز همکاری‌های تحول و پیشرفت در کمیته‌ی مطالعات بین‌الملل علم و فناوری آغاز گردید. هدف اصلی در این فاز از مطالعه، شناسایی و دسته‌بندی اقدامات رسمی کشورهای فعال در این زمینه، اعم از سیاست‌های ملی، قوانین، راهبردها و نهادسازی در حوزه مواد حیاتی است که در خلال انجام کار اهداف دیگری نیز از جمله شناسایی مفهوم حیاتی بودن[۲] و ابعادی که یک ماده را تبدیل به یک ماده‌ی حیاتی می‌کند، برآورده شده‌اند. دستاورد اصلی این طرح شناسایی معیارهای اهمیت مواد حیاتی و استفاده از این معیارها در آینده برای سیاستگذاری‌های مرتبط و هم‌چنین الگوگیری در خصوص اقدامات رسمی قابل انجام توسط نهادهای دولتی ذی‌ربط و ارائه‌ی مبنایی برای این تقسیم کار است.

در این طرح با اشاره به اهمیت موضوع، سعی بر شناسایی وضع موجود در سایر کشورها با تکیه بر اقدامات رسمی دولت‌ها شده است. در این راستا طرح پیش رو با سه نقطه تمرکز عمده که به شرح ذیل می‌باشند، اقدام به شناسایی وضعیت موجود در دنیا نموده است:

- تشریح اهمیت و ضرورت تمهید اقدامات رسمی دولت‌ها در حوزه مواد حیاتی؛
- تبیین انواع چارچوب‌های حیاتی بودن برای مواد؛
- بررسی اقدامات رسمی ایالات متحده به‌عنوان باسابقه‌ترین کشور در حوزه‌ی اقدامات رسمی در زمینه‌ی مواد حیاتی و تحلیل این اقدامات در یک چارچوب سیاستگذاری.

در مرحله‌ی **تشریح اهمیت اقدامات در حوزه‌ی مواد حیاتی** که اولین بخش این طرح را تشکیل می‌دهد، به بررسی کلی چگونگی اهمیت یافتن حوزه‌ی مواد حیاتی برای مطالعه و برای برنامه‌ریزی و سیاستگذاری در جهان (با تکیه بر تجارب برخی از کشورهای منتخب) پرداخته می‌شود. چگونگی پرداختن به این موضوع، در گزارش اول از دو منظر مورد توجه قرار گرفته است:

الف) ادبیات علمی منتشره که مورد استناد متخصصان و دانشمندان قرار گرفته است؛

ب) اقدامات مهمی (سیاستگذاری، قانون‌گذاری، برنامه‌ریزی و نهادسازی) که در سطح کشورهای منتخب برای مواجهه با موضوع مواد حیاتی تمهید شده و اطلاعات آن منتشر شده است.

---

[2] criticality

برای جمع‌آوری اطلاعات در این مقطع از پروژه، ابتدا جستجو در بانک‌های اطلاعاتی با کلیدواژه‌هایی آغاز گردید؛ این کلیدواژه‌ها عبارت بودند از:

Critical materials, Critical metals, Critical minerals, Strategic materials, Rare earth elements, Criticality.

پس از جستجوی اولیه، چند مورد منابع اصلی که شامل گزارش‌های سیاستی ایالات متحده و اتحادیه اروپا و هم‌چنین دو مقاله‌ی اصلی بود یافت گردید. سپس با مطالعه این مستندات و مراجع آنها به منابع بیشتری دست یافته شد و نتایج حاصل از مطالعه‌ی کلی این مستندات در قالب گزارشی با سرفصل‌های ذیل تهیه گردید:

۱. اهمیت یافتن مواد حیاتی در جهان؛
۲. اهمیت یافتن مواد حیاتی در مستندات علمی؛
۳. فهرست اقدامات برخی کشورها در خصوص مواد حیاتی؛
۴. گزارش موردی چند ماده‌ی حیاتی شامل اطلاعاتی از وضعیت این مواد در ایران و جهان؛

با مطالعه این مستندات، اهمیت یافتن این حوزه به‌طور رسمی از سال ۲۰۰۸ محرز گردید. این مواد به‌دلیل تأثیر مهمی که در سطح ملی- چه در حیطه‌ی امنیت ملی و دفاعی و در چه حیطه‌ی اقتصادی و فناوری- و در سطح بین‌المللی – متأثر از عرضه‌ی کشورهای دارنده و تولیدکننده‌ی این مواد و قوانین تجارت- دارند، به میزان زیادی تحت سیاستگذاری مستقیم دولت‌ها هستند. این امر نه تنها در قانون‌گذاری و سیاستگذاری بلکه در حمایت از انجام پژوهش‌های علمی نیز مشهود است. به‌طوری‌که اغلب مستندات علمی و مستندات سیاستی کشورها هم‌پوشانی بسیار زیادی دارند یا مستندات علمی ادامه‌دهنده‌ی فعالیت‌هایی است که در مراکز مسئول تهیه‌ی مستندات سیاستی صورت گرفته است.

نتیجه‌ی دیگر این بخش، تمرکز نهادهای متولی جمع‌آوری اطلاعات و تهیه اسناد بالادستی به دلیل تنوع و گستردگی اطلاعات مرتبط با مواد حیاتی است. تنوع از آن جهت که به‌دلیل کاربردهای وسیع این مواد در صنایع و سطوح مختلف کشور و ارتباط تنگاتنگ این مواد با تجارت، نهادهای مختلفی درگیر در این امر بوده و جمع‌آوری اطلاعات و داشتن پایگاه داده‌ای قوی مستلزم اخذ اطلاعات از تمامی این نهادها می‌باشد. تمرکز از آن جهت که یک نهاد مرکزی، قدرت قانونی برای درگیر نمودن تمامی این نهادها و اخذ اطلاعات از آنها را داراست.

بخش دوم با عنوان **تعاریف، معیارها و روش‌های سنجش مواد حیاتی با تأکید بر سطوح ملی و بین‌المللی،** ابتدا به مرور تعاریف مختلف مواد حیاتی و تعاریف مشابه آن در منابع بین المللی پرداخته شده؛ سپس، با اشاره به مفهوم حیاتی بودن معیارهای انتخاب مواد حیاتی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. درنهایت، نحوه سنجش حیاتی

بودن مواد در منابعی که تمرکز ملی یا منطقه‌ای یا جهانی داشته‌اند مورد بررسی قرار گرفت. اهمیت این فصل از آنجـایی ناشـــی می‌شـــود که با وجود ارائه تعاریف مختلف در زمینه حیاتی بودن مواد در ادبیات و گزارش‌های گوناگون ارائه شـــده، اجماعی بر ســـر یک تعریف مشـــترک وجود ندارد. مواد حیاتی، در طول تاریخ با واژه‌های مختلفی ارائه شـده‌اند که یکی از نزدیک‌ترین آن‌ها مواد راهبردی یا اسـتراتژیک می‌باشـد. از این رو، شـناخت و ایجاد تمایز بین آن‌ها می‌تواند حائز اهمیت باشد.

اولین و قدیمی‌ترین تعریف موجود از مواد حیاتی به متن "قانون ذخیره سازی مواد حیاتی و استراتژیک[۳]" که در ســـال ۱۹۷۹ در کنگره ایالات متحده امریکا به تصـــویب رســـید، برمی‌گردد که مواد حیاتی و راهبردی را چنین تعریف نموده اســـت: "مواد حیاتی و راهبردی" موادی هســـتند که ۱) برای تأمین نیازهای نظامی، صـــنعتی و غیرنظامی ایالات متحده ضروری بوده و حین یک وضعیت اضطراری ملی مورد نیاز هستند و ۲) در ایالات متحده به مقادیر کافی برای تأمین چنین نیازهایی یافت نشوند.

تعاریف مختلف در ادبیات موجود و در اسناد رسمی به دقت مورد بررسی قرار گرفته و نتایج در جدول ۱ خلاصه شده است:

[۳] Strategic and Critical Materials Stock Piling Act

جدول ۱. جمع بندی تعاریف مختلف از مواد حیاتی

نام مطالعه	مرجع	اشاره به مفهوم		تعریف	کلمات کلیدی یا ابعاد
		مواد حیاتی	حیاتی بودن		
Strategic and Critical Materials Stock Piling Act	GPO, 96th) Congress, (1979	•		مواد حیاتی و استراتژیک موادی هستند که ۱)برای تأمین نیازهای نظامی، صنعتی و غیرنظامی ایالات متحده حین یک وضعیت اضطراری ملی مورد نیاز هستند و ۲) در ایالات متحده به مقادیر کافی برای تأمین چنین نیازهایی یافت نشوند.	مورد نیاز نظامی، صنعتی و غیرنظامی مقدار ناکافی تأمین داخلی موقعیت اضطراری ملی
Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy	(NRC, 2008)	•	•	یک ماده تنها زمانی می‌تواند به عنوان ماده‌ای حیاتی تلقی شود که کارکردی ضروری داشته باشد که برای آن هیچ جایگزینی وجود نداشته باشد یا تعداد کمی جایگزین مناسب برای آن یافت شود. علاوه بر این، ارزیابی‌ها نیز نشان دهد که امکان بالای تأمین این مواد ممکن است محدود شود و به عدم دسترسی فیزیکی یا قیمت‌های بسیار بالا برای ماده مورد نظر در کاربردهای کلیدی منجر گردد.	کارکرد ضروری جایگزینی محدودیت در تأمین عدم دسترسی یا قیمت بالا
Material Scarcity	(M2i, 2009)	•		مواد دارای میزان مصرف مشخص که ایجاد یک تغییر در عرضه‌ی این مواد بر زندگی فعلی انسان تأثیرگذار خواهد بود؛ چنین موادی دارای منابعی هستند که بین دو تا پنج دهه‌ی آینده به اتمام خواهند رسید.	مصرف مشخص دارای منابع محدود و تمام‌شدنی
Critical Raw Material for the EU	European) Commission, (2010	•	•	برای اینکه یک ماده اولیه به عنوان ماده حیاتی شناخته شود باید ریسک‌های بالایی در رابطه با دسترسی داشته باشد، که شامل ریسک‌های بالای تأمین، ریسک‌های بالای زیست محیطی و همینطور اهمیت بالای اقتصادی می‌شود. مواد اولیه حیاتی، موادی هستند که ریسک بالای ویژه‌ای در کمبود تأمین در ۱۰ سال بعد دارند و به طور خاص برای زنجیره ارزش اهمیت دارند.	ریسک تأمین ریسک محیطی اهمیت
Critical Minerals Strategy	(DOE, 2010)		•	حیاتی بودن معیاری است که اهمیت برای اقتصاد انرژی پاک و ریسک اختلال در عرضه را ترکیب می‌کند.	ریسک تأمین اهمیت (انرژی پاک)
Strategically important metals	(Science and Technology Committe, 2011)	•		هر ماده یا فلزی که برای یک کاربر در بریتانیا با اهمیت باشد. ادغام تعریف مواد راهبردی که "موادی با اهمیت از منظر کاربردهای دفاعی و امنیتی هستند" با تعریف مواد حیاتی به‌عنوان "مواد دارای مشکل کمیابی". این کمیته اهمیت این مواد را نیز تنها اقتصادی	کمیابی منابع اهمیت اقتصادی حفاظت از محیط زیست

نام مطالعه	مرجع	اشاره به مفهوم		تعریف	کلمات کلیدی یا ابعاد
		مواد حیاتی	حیاتی بودن		
				نمی‌داند بلکه مواردی را از جمله حفاظت از محیط زیست، امنیت ملی و دیگر مواردی که هر گونه سودی برای کشور به همراه دارد، جزء دلایل اهمیت این مواد برمی‌شمرد.	امنیت ملی ادغام مواد حیاتی و راهبردی
Modeling Mining Economics and Materials Markets to Inform Criticality Assessment and Mitigation	Poulizac,) (2013		•	بحرانی بودن پیامد تلاقی چند عامل می‌باشد: ۱) نقصان‌های بازار در تولید یا مصرف مواد و یا هر دو؛ ۲) تأثیر بازیگران غیراصلی همچون دولت‌ها و سرمایه گذاران؛ ۳) شکنندگی زنجیره تأمین منابع در برابر اختلالات "حالت معمول" که برآمده از اختلالات عملیاتی است، اختلالاتی که یا تصادفی هستند (مانند بلایای طبیعی) یا سازمانی (مانند ناآرامی‌های کارگری) و یا نهادی (مانند رفتار غیررقابتی بنگاه‌ها همچون ایجاد کارتل)؛ ۴) یک مجموعه نسبتاً ضعیف (یا حداقل کم هزینه) از تکنولوژی‌های جایگزین برای دست‌یابی به کارکرد قابل مقایسه با استفاده از مواد متفاوت.	نقصان در بازار بازیگران غیر اصلی اختلال در تأمین جایگزینی کارکرد
Critical commodities for a high-tech world: Australia’s potential to supply global demand	Geoscience) Australia, (2013	•	•	ترکیب تعاریف مختلف کشورها به ویژه مطالعات ایالات متحده و اتحادیه اروپا، از جنبه دامنه حیاتی بودن (مواد معدنی، مواد خام، فلزات و ...)	اهمیت کاربرد در دسترس بودن یا ریسک تأمین
Identifying Critical Materials for Photovoltaics in the US: a multi-metric approach	& Goe) (Gaustad, 2014		•	طبق تعریفی که اینجا ارائه می‌شود، حیاتی بودن مواد مفهومی است که در آن مواد با یکدیگر مقایسه می‌شوند تا موادی که بالاترین ریسک را در اختلال تأمین دارند شناسایی شوند.	مفهوم نسبی حیاتی بودن ریسک اختلال در تأمین
Assessing the dynamic material criticality of infrastructure transitions: A case of low carbon electricity	(Roelich, 2014)		•	ما حیاتی بودن را از ترکیب اختلال بالقوه در تامین و راه‌ها یا سناریوهای از پیش‌تعیین شده در گسترش فناوری برای ایجاد آن اختلال تعریف می‌کنیم.	اختلال در تأمین تأثیرگذاری فناوری
Critical Minerals Today and in 2030	(OECD, 2015)	•		یک ماده معدنی زمانی حیاتی محسوب می‌شود که اهمیت اقتصادی بالایی داشته باشد و تأمین آن ریسک قابل توجهی را به همراه داشته باشد.	اهمیت اقتصادی ریسک تأمین

نام مطالعه	مرجع	اشاره به مفهوم		تعریف	کلمات کلیدی یا ابعاد
		مواد حیاتی	حیاتی بودن		
Assessment of critical minerals: Screening methodology and initial application	(OSTP, 2016)	•	•	مواد حیاتی موادی هستند که زنجیره‌ی تأمین آنها نسبت به اختلالاتی آسیب‌پذیر است، در حالیکه کارکردی ضروری در تولید یک کالا دارند، به‌طوری‌که نبود آنها باعث عواقب مهم اقتصادی یا امنیتی می‌گردد.	آسیب‌پذیری در تأمین کارکرد ضروری در تولید تأثیرگذاری‌های بازار (مانند قیمت)

در ادامه‌ی این بخش، مفهوم حیاتی بودن و ماتریس حیاتی بودن که از ابداعات شورای تحقیقات ملی امریکاست به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفته و پایه‌ای برای جستجو در موضوع حیاتی بودن گردید. به‌این ترتیب که ابعاد حیاتی بودن در چندین مطالعه مورد بررسی قرار گرفته و به‌صورت جدول ۲ خلاصه شد:

جدول ۲. ابعاد سنجش حیاتی بودن

مطالعه	سال	موضوع مورد سنجش	معیارهای حیاتی بودن	شاخص‌ها	افق زمانی مطالعه	دامنه‌ی مطالعه	فهرست مواد حیاتی
NRC	۲۰۰۸	میزان حیاتی بودن	ریسک تأمین (میزان دسترس‌پذیری، قابلیت اطمینان به تأمین)	در بلند مدت (بیش از ۱۰ سال): تابعی از عوامل زمین‌شناسانه، فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی، سیاسی و اقتصادی	کوتاه مدت و بلند مدت	ایالات متحده	دارد
				در دوره‌های کوتاه و میان‌مدت (چند ماه تا چند سال یا کمتر از یک دهه)، قابلیت دسترسی و قابلیت اطمینان برای تأمین می‌تواند با استفاده از عوامل مختلف مربوط به بازارمانند نسبت جهانی ذخیره به تولید مواد، تولید جهانی محصولات جانب، تولید ثانویه ایالات متحده (بازیافت و ضایعات)، وابستگی به صادرات و میزان تمرکز تولید در شرکت‌ها یا کشورها			
			اهمیت کاربرد (نداشتن جایگزین یا داشتن جایگزین‌های محدود)	خصوصیات فیزیکی و شیمیایی			
Knowledge Transfer Network	۲۰۰۸	سنجش ریسک تأمین	ریسک مواد	سطوح مصرف جهانی(A)	بلندمدت	بریتانیا	دارد
				عدم جایگزینی(B)			
				پتانسیل گرم شدن زمین(C)			
				نیازمندی کلی مواد(D)			
			ریسک تأمین	کمیاب بودن(E)			
				تأمین انحصاری(F)			
				بی‌ثباتی سیاسی در مناطق کلیدی تأمین‌کننده(G)			
				آسیب‌پذیری در برابر اثرات تغییرات آب و هوایی در مناطق کلیدی تأمین‌کننده (H)			
Oko-Institute and UNEP	۲۰۰۹	دسته‌بندی مواد حیاتی	رشد تقاضا	رشد تقاضای سریع: بیش از پنجاه درصد افزایش کل تقاضا تا سال ۲۰۲۰؛ رشد متوسط تقاضا: بیش از بیست درصد افزایش کل تقاضا تا سال ۲۰۲۰؛	کوتاه، میان و بلند مدت	جهان	دارد
			ریسک تأمین	تمرکز منطقه‌ای استخراج (بیش از نود درصد سهم استخراج جهانی در سه کشور عمده)؛			

مطالعه	سال	موضوع مورد سنجش	معیارهای حیاتی بودن	شاخص‌ها	افق زمانی مطالعه	دامنه‌ی مطالعه	فهرست مواد حیاتی
				کمیابی فیزیکی (ذخایر در مقایسه با تقاضای سالیانه)؛ کمیابی موقت (شکاف زمانی میان تولید و تقاضا)؛ کمیابی ساختاری یا فنی (فلز بخش کوچکی از تولیدات ترکیبی است و در طول فرایند استخراج، تولید و ساخت ناکارامدی رخ می‌دهد).			
			محدودیت‌های بازیافت	مقیاس بالای کاربردهای از بین‌برنده‌ی ماده؛ محدودیت‌های فیزیکی و شیمیایی برای بازیافت؛ فقدان فناوری‌های مناسب برای بازیابی و یا زیرساخت‌های بازیابی؛ فقدان مشوق‌های قیمتی برای بازیابی.			
NEDO	۲۰۰۹	سنجش میزان حیاتی بودن	ریسک تأمین	زمان تخریب یا از بین رفتن	–	ژاپن	دارد
				تمرکز ذخایر			
				تمرکز تولید سنگ معدنی			
				تمرکز شرکای تجاری وارد کننده			
			ریسک قیمت	تغییر قیمت			
				تنوع قیمت			
			ریسک تقاضا	تغییر تولید معدن			
				رشد تقاضای ملی			
				رشد تقاضای ملی برای کاربردهای خاص			
			محدودیت بازیافت	ذخایر			
				قابلیت بازیافت			
			ریسک بالقوه	امکان محدودیت در کاربرد			
EU	۲۰۱۰	سنجش میزان حیاتی بودن	اهمیت اقتصادی	میزان مصرف یک ماده ارزش افزوده‌ی بخشی که ماده را مصرف می‌کند	کوتاه و میان‌مدت	در روش: جهانی	دارد
			ریسک تأمین	ثبات سیاسی (WGI)			

مطالعه	سال	موضوع مورد سنجش	معیارهای حیاتی بودن	شاخص‌ها		افق زمانی مطالعه	دامنه‌ی مطالعه	فهرست مواد حیاتی
				میزان جایگزینی یک ماده میزان نیاز به ماده			در لیست نتایج: اتحادیه اروپا	
			ریسک زیست‌محیطی	شاخص زیست‌محیطی دانشگاه ییل				
DoE	۲۰۱۰	سنجش میزان حیاتی بودن	اهمیت برای انرژی پاک	تقاضای انرژی پاک محدودیت در جایگزینی ماده دسترسی اولیه		کوتاه تا میان‌مدت	ایالات متحده	دارد
			ریسک تأمین	تقاضای فناورانه عوامل سیاسی، مقرراتی و اجتماعی وابستگی متقابل به دیگر بازارها تنوع تولیدکنندگان				
JRC	۲۰۱۳	سنجش ریسک تأمین	عوامل بازاری	محدودیت‌ها برای افزایش ظرفیت عرضه	تحلیل ساختار پیش‌بینی عرضه و تقاضا	کوتاه تا میان مدت	اتحادیه اروپا	دارد
				امکان رشد سریع تقاضای جهانی	برآوردهای ذخیره، پیش‌بینی‌های تقاضا و ارزیابی وابستگی‌ها به محصولات جانبی			
			عوامل ژئوپلتیک	تمرکز تأمین در کشورهای مختلف	آمار تولید			
				ریسک سیاسی مربوط به تأمین‌کنندگان	شاخص‌های ریسک سیاسی (شاخص کشورهای شکست خورده و شاخص حکمرانی جهانی)			
Geoscience	۲۰۱۳	پتانسیل حیاتی بودن	میزان حیاتی بودن؛ منابع استرالیا و پتانسیل اکتشافات جدید؛ اندازه‌ی بازار؛ چشم‌انداز رشد.	امتیازهای گزارش‌های پیشین		بلندمدت	استرالیا	دارد

مطالعه	سال	موضوع مورد سنجش	معیارهای حیاتی بودن		شاخص‌ها		افق زمانی مطالعه	دامنه‌ی مطالعه	فهرست مواد حیاتی
Roelich	۲۰۱۴	سنجش ریسک تأمین	پتانسیل اختلال در تأمین (P)		عدم تعادل تولید مورد نیاز (r) کسری همراه (Cγ) دسترسی (Hγ)		کوتاه، میان و بلندمدت	جهانی	ندارد
			محدودیت‌های زیست محیطی (Eγ)		در معرض اختلال تأمین قرار گرفتن (E) حساسیت هدف (SG) حساسیت قیمت (SP)				
Goe & Gaustad	۲۰۱۴	سنجش ریسک تأمین	تأمین		ناکارآمدی نهادی	وابستگی به واردات خالص شاخص هرفیندال–هیرشمان برای مواد اولیه و تولید کنندگان سنگ‌های معدنی	–	ملی	–
					کمیاب بودن فیزیکی	نرخ بازیافت نسبت ذخیره به تولید			
			ریسک زیست‌محیطی		مسمومیت انسان	اعداد CERCLA[۴]			
					شدت انرژی	انرژی مجاز اولیه صرفه جویی‌های انرژی			
			اقتصادی		مواد ویژه	قیمت مواد اولیه			
					گستره اقتصادی	مصرف داخلی ارزش اقتصادی براساس بخش			
Yale University	۲۰۱۵	میزان حیاتی بودن	ریسک تأمین	جهانی	زمین‌شناسانه، فنی و اقتصادی	زمان تخریب یا از بین رفتن[۵]	کوتاه، میان و بلند مدت	جهانی	ندارد
						کارکرد فلزات همراه ماده			
			اثرات زیست محیطی		بر سلامت انسان	موجودی ماده در طول چرخه عمر از طفولیت تا افول			
					بر اکوسیستم				

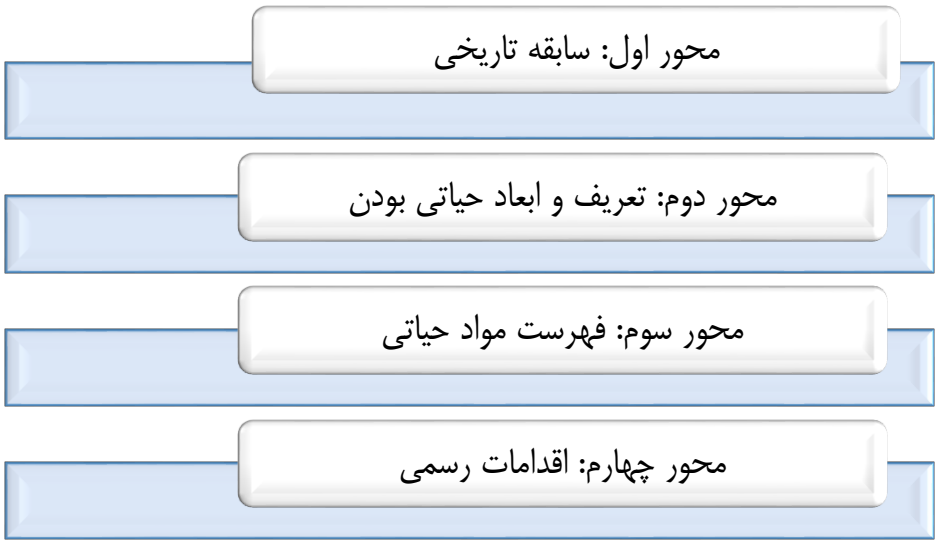
[۴] Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability

[۵] Depletion time

مطالعه	سال	موضوع مورد سنجش	معیارهای حیاتی بودن		شاخص‌ها		افق زمانی مطالعه	دامنه‌ی مطالعه	فهرست مواد حیاتی
			آسیب‌پذیری از محدودیت‌های عرضه		اهمیت	دارایی‌های موجود از مواد			
					قابلیت جایگزینی	عملکرد جایگزین در دسترس بودن جایگزین نرخ تأثیر بر محیط زیست			
			ریسک تأمین	کشوری	زمین‌شناسانه، فنی و اقتصادی	زمان تخریب یا از بین رفتن			
						کارکرد فلزات همراه ماده			
					اجتماعی و قانونگذارانه	شاخص پتانسیل سیاسی PPI			
						شاخص توسعه‌ی انسانی HDI			
					ژئوپلتیکی	ثبات سیاسی WGI			
						تمرکز عرضه جهانی			
			اثرات زیست محیطی		بر سلامت انسان بر اکوسیستم	کارکرد فلزات همراه ماده			
			آسیب‌پذیری از محدودیت‌های عرضه		اهمیت	دارایی‌های موجود از مواد اهمیت در اقتصاد ملی			
					قابلیت جایگزینی	عملکرد جایگزین در دسترس بودن جایگزین نرخ تأثیر بر محیط زیست نرخ خالص اتکا به واردات			
					حساسیت	خالص اتکا به واردات شاخص جهانی نوآوری GII			
OECD	۲۰۱۵	سنجش میزان حیاتی بودن	ریسک تأمین		تمرکز تولید تمرکز ذخیره ثبات سیاسی		بلندمدت	کشورهای او ای سی دی	دارد

مطالعه	سال	موضوع مورد سنجش	معیارهای حیاتی بودن	شاخص‌ها	افق زمانی مطالعه	دامنه‌ی مطالعه	فهرست مواد حیاتی
				قابلیت جایگزینی بازیافت			
			اهمیت اقتصادی	ارزش افزوده بخش کاربر نهایی از کارافتادگی بخش کاربر نهایی			
OSTP	۲۰۱۶	مواد حیاتی بالقوه (غربالگری اولیه) نقطه تمرکز: محدودیت‌های تأمین	ریسک تأمین	تمرکز تولید از لحاظ موارد ژئوپلتیکی	میان مدت، ۵ تا ۱۰ سال	در روش: جهانی در لیست نتایج: ایالات متحده	دارد
			رشد تولید	تغییر در اندازه بازار مواد و میزان اتکا به منابع			
			پویایی‌های بازار	حساسیت قیمت مواد به تغییرات در بازار مواد			
CEEW	۲۰۱۶	سنجش میزان حیاتی بودن	اهمیت اقتصادی	ساختار صنعتی	کوتاه‌مدت (یک سال) بلندمدت (۱۹ سال)	هندوستان	دارد
				الگوی مصرف			
			ریسک تأمین	اعطای منابع ملی			
				ریسک ژئوپلتیک			
				ریسک جایگزینی			
				ریسک بازیافت			

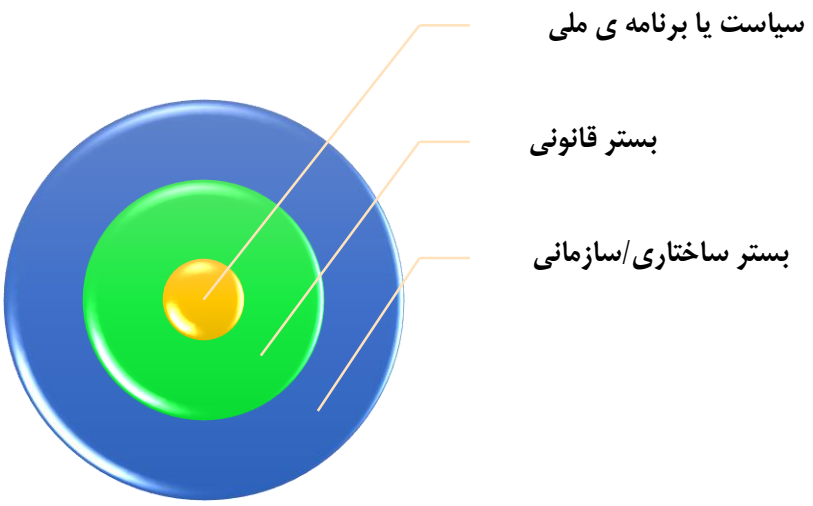
بخش سوم به طور ویژه به بررسی اقدامات رسمی کشور امریکا در حوزه‌ی مواد حیاتی می‌پردازد. در روند مطالعه نیز برای تهیه‌ی دو گزارش پیشین در این پروژه، تیم پروژه به مطالعات و شواهد زیادی از توجه فزاینده به مواد حیاتی در ایالات متحده برخورد نمود. به‌طوری‌که می‌توان گفت ایالات متحده در چهار محور تعیین شده توسط تیم پروژه، جهت بررسی مطالعات موردی در حوزه‌ی مواد حیاتی، شواهدی از خود داشت. این چهار محور عبارتند از:



شکل ۱. محورهای اصلی مطالعه امریکا

لذا می‌توان گفت اولین کشوری که مفهوم مواد حیاتی و حیاتی بودن، و هم‌چنین اقدامات رسمی در این حوزه را مورد توجه و ترویج قرار داد ایالات متحده بود. در این بخش، به بررسی ایالات متحده در چهار محور فوق پرداخته شده است. فصل اول سابقه‌ی ایالات متحده را در ارتباط با هرگونه فعالیت در حوزه‌ی مواد حیاتی بررسی می‌نماید. در این فصل دیده می‌شود که سابقه‌ی این کشور در توجه به مواد حیاتی به سال ۱۹۲۲ و جنگ جهانی اول بازمی‌گردد. فصل دوم با نگاهی به مستندات رسمی و قانونی ایالات متحده، مفهوم حیاتی بودن و ابعاد و روش‌های اندازه‌گیری آن توسط مؤسسات رسمی و دولتی ایالات متحده، اینگونه نتیجه می‌گیرد که تعریف و ابعاد حیاتی بودن توسط ایالات متحده، اکنون مرجع بسیاری از کشورها برای اقدام در این عرصه است. در فصل سوم فهرست‌هایی از مواد حیاتی ایالات متحده که توسط مؤسسات مذکور با رویکردهای مختلف اعلام شده و فهرستی که مورد استناد فعالیت‌های قانونی قرار می‌گیرند، ارائه شده است. در نهایت، فصل چهارم، با بررسی سازوکار رسمی حوزه‌ی مواد حیاتی اعم از قوانین، دستورالعمل‌ها و گزارش‌های منتشره‌ی مؤسسات دولتی، به ترسیم چارچوب سیاستگذاری ایالات متحده در حوزه‌ی مواد حیاتی مبادرت ورزیده است.

انواع اقدامات رسمی- اقداماتی که در سطح دولت یا کنگره برای مواد حیاتی صورت می‌گیرد- را می‌توان در سه سطح مورد بررسی قرار داد. این سطوح به این صورت با یکدیگر در ارتباط هستند که یک سیاست یا برنامه‌ی ملی قلب این اقدامات را تشکیل می‌دهد. برای مشروعیت اقدامات حول این برنامه، یک یا چند قانون محوری شکل گرفته که دستورالعمل و تقسیم کار در سطح ملی را ارائه نموده است. در کنار این قوانین محوری، دیگر قوانین نیز مورد بازنگری قرار گرفته تا با این قوانین و سیاست محوری تطبیق حداکثری داشته باشند. در سطح بعدی سازمان‌هایی وجود دارند که مسئولیت انجام وظایفی بر عهده‌ی آنان است. این سازمان‌ها یا سازمان‌های موجودی هستند که وظایف جدیدی به آنها اضافه شده و یا با توجه به متون قانونی و سیاست محوری، ضرورت وجودی پیدا کرده و ایجاد شده‌اند.



شکل ۲. اقدامات رسمی در سه سطح

برنامه یا سیاست محوری در خصوص مواد حیاتی، برنامه‌ی ذخیره‌سازی ملی[۶] است که تحت عنوان NDS شناخته می‌شود. قانون محوری برای این برنامه همان قانون ذخیره‌سازی مواد حیاتی و راهبردی است که در ابتدا در سال ۱۹۳۹ توسط کنگره به تصویب رسیده و در سالیان بعد مورد بازنگری و اصلاح قرار گرفت. قوانین دیگری که به نحوی با مواد حیاتی در ارتباط بودند- مانند قانون امنیت ملی[۷] و قانون تولیدات دفاعی[۸]- نیز مورد بازنگری قرار گرفتند. قانون دیگری که به‌طور مستقیم مرتبط با مواد حیاتی است قانون تحقیق و توسعه و سیاست مواد و

[6] National Defense Stockpile
[7] National Security Act
[8] Defense Production Act

مواد معدنی ملی ۱۹۸۰[9] اســت. نهادهای بســیاری نیز درگیر در موضوع مواد حیاتی و راهبردی در ایالات متحده می‌باشند که هر کدام از این نهادها نقش‌های متفاوتی را بر عهده دارند. بخشی از این نهادها عبارتند از:

- ریاست جمهوری ایالات متحده و دفاتر اجرایی؛
- کنگره و سنای ایالات متحده؛
- وزارت دفاع؛
- سازمان لجستیک دفاعی (DLA)؛
- شورای تحقیقات ملی آکادمی‌های ملی (NRC)؛
- سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS)؛
- وزارت خزانه‌داری.

در این بخش یک دسته‌بندی اولیه از نقش‌های این نهادها حاصل شد. از طرفی با توجه به اینکه هدف این مرحله از تحقیق رسیدن به یک بستر و چارچوب نهادی است که بتواند به سیاست‌گذاری در حوزه مواد حیاتی و راهبردی کمک کند، از یک چارچوب سیاست‌گذاری استفاده شد تا بتواند نقشه این نهادها را در کنار و براساس وظایف و نقش‌های آن‌ها یکدیگر نمایش دهد. این بستر ساختاری/سازمانی شامل سه نقش عمده سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری و تسهیل و ارائه خدمات می‌شود که هر کدام از زیرنقش‌ها از وظایفی تشکیل شده است. این موارد در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. چارچوب مطالعه موردی

نقش	زیرنقش	وظایف
سیاست‌گذاری	قرار گرفتن موضوعات در دستور کار سیاست‌گذاری	هوشیارسازی
	شکل‌دهی سیاست	تعیین اهداف، جهت‌گیری‌ها و اولویت‌بندی‌های کلان
		تقسیم کار
	اتخاذ سیاست/مشروعیت‌بخشی به سیاست	تصویب سیاست‌ها و برنامه‌ها و ابلاغ آن‌ها
	پیاده‌سازی سیاست	پیاده‌سازی فعالیت‌ها
		هماهنگی
	ارزیابی سیاست	ارزیابی
		پاسخگویی و حسابدهی
تنظیم‌گری و تسهیل	تنظیم‌گری مبتنی بر قانون	قانونگذاری
		اعمال مقررات
	تنظیم‌گری مبتنی بر کنترل	رصد و بازرسی
		اتخاذ تصمیمات کنترلی
	قابلیت‌سازی	تسهیل‌گری در بعد فناوری
		تسهیل‌گری منابع دانشی

[9] National Materials and Minerals Policy, Research and Development Act

نقش	زیرنقش	وظایف
		تسهیل‌گری منابع مالی
	تسهیل تعاملات	توسعه ارتباطات
ارائه‌ی خدمات	مشاوره	مشاوره به سیاست‌گذاری
	آموزش و آگاهی‌بخشی	آموزش و تربیت نیروی انسانی توانمند
		تجهیز اطلاعاتی فرایند سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری

پس از مبنا قرار گرفتن این بستر ساختاری، نهادهای احصا شده براساس نوع ماهیت و وظیفه در این جدول قرار گرفتند.
مطالعه‌ی پیشینه و ساختار حکمرانی در خصوص مواد حیاتی در امریکا، یادگیری‌هایی به‌همراه دارد که می‌توان آنها را به صورت زیر فهرست نمود:

- پیشینه‌ی ۱۰۰ ساله‌ی اقدامات رسمی و فردی در خصوص مواد حیاتی و راهبردی نشان‌دهنده‌ی مدت مدید اقدامات در این زمینه و یک سیاست با قدمت بسیار بالاست.
- از جنگ جهانی اول تا سال ۱۹۳۹ یک تصویب قانون و برنامه را منجر شد، افرادی در سطح مجلس، ریاست جمهوری، نهادهای علمی و مشورتی، برای در دستور کار قرار گرفتن این موضوع تلاش نموده‌اند.
- شروع اقدامات در حوزه‌ی ذخیره‌سازی، در حوزه‌ی مواد راهبردی و نظامی – پارادایم امنیتی، اقتداری- بود اما در نهایت به مواد با کاربرد صنعتی و غیرنظامی- پارادایم اقتصادی، صنعتی- نیز تسری یافت.
- در طول اجرای قانون و برنامه‌ی ذخیره‌سازی مواد حیاتی، نهادهای مختلفی عهده‌دار اجرای بخش‌های مختلف آن بودند اما پاسخگویی ریاست جمهوری به کنگره حفظ شده است.
- در طول زمان تغییرات نهادی از نهاد محوری مسئولیت‌دار اقدامات اصلی تا نهادهای مشورتی و حتی قوانین موجود در حوزه‌ی مواد معدنی و تحقیق و توسعه دستخوش تغییراتی متناسب با بازخوردهای برنامه و شرایط دفاعی و اقتصادی شده‌اند.
- تأمین مالی برنامه ابتدا صرفاً توسط بودجه‌ی دولتی تأمین شده و پس از ایجاد صندوق ذخیره‌سازی در خزانه‌داری، بخشی از هزینه‌های برنامه توسط فروش مازاد مواد تشخیص داده شده، تأمین می‌گردد.
- در حال حاضر، سازمان محوری عهده‌دار برنامه در بخش دفاعی ایالات متحده بوده و سازمان‌های دیگر در بدنه‌های وزارتی (از جمله وزارت بازرگانی و وزارت انرژی) و مشورتی سطوح عالی علمی

(مانند شورای تحقیقات علمی و دفتر سیاست علم و فناوری و پیمایش زمین‌شناسی) با این سازمان همکاری نزدیک دارند.

- فرایند فعلی گزارش‌دهی اقدامات سازمان مسئول از وضعیت کلی در بستر قانونی صورت می‌پذیرد و الزامات قانونی مشخصی از لحاظ سازمان‌های مرتبط، نوع گزارش و حتی زمان ارئه و دریافت بازخور دارد.
- در طی فرایند جستجوی اطلاعات، با درجه‌ی بالایی از شفافیت اطلاعاتی در خصوص سازمان‌های مسئول، قوانین و حتی مکانیزم فعالیت‌های برخی سازمان‌ها روبرو هستیم.
- علاوه بر ارائه‌ی گزارش‌های رسمی از سوی ارگان‌های مسئول و انتشار آنها به صورت آزاد، برخی گزارش‌های علمی و توصیه‌گونه از سوی نهادهای دیگری نیز صورت می‌گیرد که در واقع ارائه‌ی پیشنهاداتی چه برای روش‌های سنجش این مواد و چه توصیه‌هایی برای بهبود این فرایند در آینده می‌باشند.

با توجه به این سه بخش، توصیه‌هایی که در این زمینه می‌توان برای کشور داشت عبارتند از:

- ✓ تبیین و ترویج مفهوم مواد حیاتی و ابعاد حیاتی بودن برای تمامی مواد مورد استفاده در کشور، الزامی است که فقدان آن به چشم می‌خورد. با ترویج این مفاهیم در سطوح رسمی است که می‌توان این موضوع را در دستور کار اقدامات سیاستی قرار داد.
- ✓ تداوم در زمینه‌های کاری مرتبط با مواد حیاتی بایستی به‌واسطه‌ی یک قانون یا برنامه‌ی دارای وجهه‌ی رسمی و مشروع، تضمین گردد. لذا نهادهای مرتبط علمی بایستی پیگیری ایجاد چنین پشتوانه‌ی قانونی را در کشور در دستور کار خود قرار دهند.
- ✓ به‌واسطه‌ی کاربرد وسیع مواد در حوزه‌های مختلف صنعتی، تجاری و دفاعی بایستی یک نهاد فراوزارتخانه‌ای محور اجرایی کار قرار گرفته و تقسیم کار نهادی را در دست گرفته و امور مربوط به بخش‌های مالی آن را نیز تمهید نماید.